



Rozprawa doktorska

Problemy architektoniczne bazy na Marsie jako habitatu w ekstremalnych warunkach

autor: Joanna Kozicka

promotor: Prof. dr hab. inż. Jarosław Przewłócki

Gdańsk, 7 Maja 2008

Streszczenie

Misje załogowe na Marsa to szczególny przypadek misji kosmicznych ze względu na swój długi czas trwania. Aspekt ludzki staje się tu tak samo ważny jak problemy technologiczne. Zdaniem autorki ludzie nie mogą przebywać przez ponad 2,5 roku w ciasnej, niewygodnej kapsule, (jak zakłada się m. in. w programie kosmicznym NASA). Potrzebny jest przyjazny człowiekowi habitat. Jak wynika z badań zachowania ludzi w ICE, w liczniejszych grupach występuje mniejsza konfliktowość. Dla większej załogi należy zaprojektować duży habitat – bazę. **Ekstremalne warunki panujące na Marsie wymagają specyficznego sposobu projektowania architektonicznego.** Z tego względu autorka podjęła się przeprowadzenia szeregu analiz w celu rozpoznania w wyczerpującym zakresie zagadnień odnoszących się do problematyki architektury marsjańskiej. W rozważaniach swych doszła ona do wniosku, że **obecna wiedza o Marsie oraz dostępne dziś technologie budowlane umożliwiają zaprojektowanie bazy na Czerwonej Planecie** na wiele różnych sposobów. Modele architektoniczne autorki są tego dowodem. **Przy pomocy narzędzi dostępnych architekturze można wpłynąć na wzrost komfortu fizycznego i psychicznego mieszkańców bazy pozaziemskiej.** Wykonany przez autorkę projekt koncepcyjny bazy pokazuje, że przy stosunkowo niskich nakładach finansowych można stworzyć bezpieczny konstrukcyjnie, estetyczny i przyjazny człowiekowi habitat, który może się zmieniać i rozrastać w zależności od potrzeb.

W niniejszej dysertacji skupiono się na zagadnieniach mających wpływ na sposób projektowania szczególnego przypadku habitatu w ekstremalnych warunkach – bazy marsjańskiej. W rozdziale pierwszym poruszono problem aktualności tematu doktoratu w obliczu kształtowania się planów eksploracji kosmosu. Autorka przedstawia założenia, które nadały kierunek prowadzonym przez nią badaniom. W rozdziale drugim wymienione zostały cele, sposób prowadzenia badań, zastosowane metody badawcze oraz tezy doktoratu. W rozdziale trzecim autorka przedstawia Marsa jako specyficzne miejsce budowy. Warunki tam panujące rzutują na konstrukcję i formę habitatu, co skonkretyzowane zostało we wnioskach. Rozdział czwarty dotyczy wpływu czynnika ludzkiego na architekturę bazy na Marsie. Analiza problemu przetrwania, uwarunkowań socjopsychologicznych oraz komfortu fizycznego i psychicznego doprowadziła autorkę do konstruktywnych konkluzji co do sposobu projektowania bazy na Marsie. W rozdziale piątym przeprowadzono przekrojową analizę najrozmaitszych habitatów w warunkach ekstremalnych, pod różnymi względami analogicznymi do Marsa. Omówiono dotychczas powstałe habitaty w warunkach ekstremalnych na Ziemi oraz w kosmosie. Przegląd ten umożliwił autorce dokonanie oceny dotychczas wykorzystywanych rozwiązań dla tego typu architektury. W rozdziale szóstym omówiono architekturę habitatu w podrozdziałach: „konstrukcja”, „forma”, „funkcja” oraz „wnętro”. Przeanalizowano istniejące technologie budowlane, które rozpoznane zostały jako możliwe do zaadoptowania w warunkach ekstremalnych. Omówiono zagadnienie formy bazy, uwzględniając wpływ

na nią dostępnych rozwiązań technologicznych, możliwych gabarytów oraz czynnika ludzkiego. Ogólnie poruszono problematykę sposobu kształtowania układu funkcjonalnego bazy na Marsie. Przedstawiono sposoby projektowania wnętrz odnoszące się do restrykcji związanych z konstrukcją, formą i funkcjonalnością habitatu. Na podstawie wniosków z tego podrozdziału autorka opracowała cztery przykładowe rozwiązania dla wnętrz w bazie marsjańskiej. Wreszcie w ostatnim podrozdziale przeprowadzono krytyczną analizę koncepcji baz pozaziemskich z literatury. W rozdziale siódmym autorka przedstawiła własne modele architektoniczne bazy marsjańskiej spełniające wymagania i wytyczne sprecyzowane we wnioskach w poprzednich rozdziałach. Jeden z modeli został opracowany szczegółowo w rozdziale ósmym.

W rozdziałach: trzecim, czwartym, piątym i szóstym autorka przeprowadziła szereg analiz na podstawie dostępnej literatury obejmującej 189 pozycji. Analizy kończą wyciągnięte przez autorkę „wnioski dla architekta”, będące wytycznymi do projektowania bazy marsjańskiej. Jest ich w sumie ponad 200. Wszystkie dziewięć modeli architektonicznych oraz projekt koncepcyjny bazy marsjańskiej są oryginalnymi propozycjami autorki, wykonanymi w oparciu o powyższe wytyczne.

Spis treści

1. Wprowadzenie	1
1.1. Geneza powstania tematu	1
1.2. Założenia nadające kierunek badaniom	3
1.2.1. Punkt wyjścia dla badań	3
1.2.2. Niewiadome	6
2. Cele, metody badawcze i tezy doktoratu	9
2.1. Cele doktoratu	9
2.2. Sposób prowadzenia badań	9
2.3. Metody badawcze	11
2.4. Tezy doktoratu	12
3. Mars	13
3.1. Warunki na Marsie	13
3.2. Ukształtowanie terenu	27
4. Aspekt ludzki	41
4.1. Warunki przeżycia człowieka na Marsie	41
4.1.1. Problem przetrwania	41
4.1.2. System Podtrzymywania Życia – LSS	44
4.1.3. Źródła zasobów dla podtrzymywania życia	47
4.2. Problemy socjopsychologiczne	66
4.3. Ergonomia i komfort	86
5. Habitaty w warunkach ekstremalnych	99
5.1. Habitaty w warunkach ekstremalnych na Ziemi	99
5.1.1. Habitaty polarne	99
5.1.2. Habitaty podwodne	107
5.1.3. Habitaty podziemne	114
5.2. Habitaty w kosmosie	125
5.2.1. Habitaty orbitalne	126
5.2.2. Habitaty księżycowe	129
5.2.3. Habitaty marsjańskie	131
6. Architektura bazy marsjańskiej	137
6.1. Konstrukcja	137
6.1.1. Konstrukcje sztywne z metalu i tworzyw sztucznych	137
6.1.2. Konstrukcje rozszerzalne	142

6.1.3. Konstrukcje drążone	151
6.1.4. Konstrukcje z regolitu i kamieni	161
6.1.5. Konstrukcje z lodu	169
6.1.6. Materiały izolacyjne	172
6.1.7. Instalacje	181
6.2. Forma	184
6.3. Funkcja	187
6.4. Wnętrza	197
6.4.1. Wnętrza a konstrukcja bazy	197
6.4.2. Elementy wnętrza	200
6.4.3. Percepcja przestrzeni	211
6.5. Przykłady propozycji baz pozaziemskich	232
7. Modele architektoniczne bazy marsjańskiej	251
8. Koncepcyjny projekt bazy na Marsie	269
Bibliografia	288

Rozdział 1

Wprowadzenie

1.1. Geneza powstania tematu

Załogowe misje kosmiczne rozpoczęły się już w latach sześćdziesiątych XX wieku. Eksploracja i kolonizacja kosmosu – realne dla dziś dostępnych technologii – są motorem do prowadzenia badań naukowych w wielu dziedzinach nauki i inżynierii. Dzięki temu zyskujemy coraz lepsze rozwiązania umożliwiające realizację wielkiego celu, jakim jest poznawanie i zasiedlanie kosmosu przez ludzi.

Dotychczas człowiek wylądował tylko na jednym ciele niebieskim – Księżycu – naturalnym satelicie Ziemi. Okazało się, że jest tam bardzo niegościnna kraina, sucha, pusta, pozbawiona atmosfery; niska grawitacja bardzo utrudnia poruszanie się. Na innych planetach i księżycach występują środowiska zupełnie obce ludziom i człowiek nie jest do nich przystosowany. Można próbować *terraformowania*, czyli przekształcania tych ciał niebieskich tak, by powstały tam właściwe warunki do życia. Jednak przebieg takiego procesu jest zawsze długotrwały, skomplikowany i niebezpieczny, na zawsze zmieni też dziewiczy krajobraz. Alternatywą jest budowa sztucznych hermetycznych ekosystemów, w których ludzie mogliby bezpiecznie żyć i pracować. Rozmiary takich zamkniętych biosfer mogłyby nawet sięgnąć wielkości miast. Rozważa się również zasiedlenie samej przestrzeni kosmicznej, jak i wewnątrz planetoid. Jak na dzisiejsze możliwości najbardziej racjonalna wydaje się kolonizacja Marsa. Powodów jest wiele. Najważniejsze z nich to: stosunkowo zbliżona do ziemskiej grawitacja ($1/3g$, podczas gdy na Księżycu tylko $1/6g$, a w przestrzeni kosmicznej $0g$) oraz występowanie różnych ważnych zasobów miejscowych, w tym najważniejszego – wody. Mars jest dopiero trzecim z kolei ciałem niebieskim najbliższym Ziemi. Za to temperatura tamtejsza nie jest aż tak ekstremalna jak na Księżycu pozbawionym atmosfery czy gorącej, aktywnej wulkanicznie Wenus.

Panuje ogólne przekonanie, że kolonizacja innych planet to fantastyka. Tymczasem pierwsze marsjańskie misje załogowe planowane są na 2025-2030 r (Tab. 1.1). Powstały już różne programy eksploracji kosmosu, uwzględniające założenie pierwszych osiedli ludzkich poza Ziemią. Opracowane one zostały przez naukowców z agencji kosmicznych różnych krajów. Jednym z takich programów jest *Mars Direct*. Wymyślono go w czasie konferencji *Case for Mars*, a jego założenia zostały opublikowane m. in. w książce Zubrina i Wagnera „Czas Marsa” (1997). Jest to najszybszy, najbezpieczniejszy, najbardziej praktyczny i najtańszy program zbadania Czerwonej Planety i osiedlenia się na niej. Proponuje on organizowanie załogowych misji co trzy lata przy dogodnym układzie planet względem siebie. Najpierw ma zostać wysłany na Marsa moduł powrotny dla pierwszej misji. Po wylądowa-

Tablica 1.1: Plany światowych agencji kosmicznych związane z ludzką eksploracją Księżyca i Marsa

agencja kosmiczna	Księżyc	Mars	Źródło
NASA Stany Zjednoczone <i>National Aeronautics and Space Administration</i>	2015 – I misja załogowa (najpóźniej 2020)	ludzka eksploracja Księżyca ma być przygotowaniem do misji na Marsa (ok. 2030)	„The Vision for Space Exploration” (NASA 2004b)
ESA kraje europejskie <i>European Space Agency</i>	2024 – I misja załogowa	2030 – wystanie modułu mieszkalnego 2033 – I misja załogowa	„The Aurora Programme Brochure” (ESA 2004)
JAXA Japonia <i>Japan Aerospace Exploration Agency</i>	2025 – I misja załogowa i rozpoczęcie budowy bazy		„JAXA Vision Summary” (JAXA 2005)
CNSA Chiny <i>China National Space Agency</i>	2020 – I misja załogowa		„China Plans Manned Moon Mission by 2020” (CNSA 2003)
4Frontiers Corporation prywatna korporacja		2025 – budowa bazy na Marsie z miejscowych zasobów	„Mars Settlement Design” (4Frontiers 2007)

niu w wybranym miejscu na powierzchni rozpoczyna on produkcję paliwa z przywiezionego wodoru i surowców miejscowych. Dzięki temu nie trzeba budować na orbicie okołoziemskiej olbrzymiego statku kosmicznego i gromadzenia na nim zapasów na całą wyprawę. Jedna misja trwać ma ok. 2,5 roku, w tym: 6 miesięcy podróż w jedną stronę, 1,5 roku pobyt na planecie i 6 miesięcy podróż powrotna. Wszystkie technologie umożliwiające realizację tego programu są już dziś dostępne. Dlatego też program Mars Direct został zaaprobowany przez NASA i na jego podstawie opracowano *Mars DRM – Mars Design Reference Mission* – plan wzorcowej załogowej misji na Marsa.

Pośród różnych gałęzi nauki i inżynierii związanych z misjami załogowymi na Marsa znalazła się również architektura. Na razie jest ona w załazku. Stosunkowo niewiele powstało dotychczas opracowań poruszających tematykę formy i konstrukcji przyszłej bazy na Czerwonej Planecie. Zwykle ogólnikowo podchodzi się do tematu lub też skupia wyłącznie na jednym z rozwiązań technologicznych. Wciąż brakuje fachowej literatury, która jasno i wyraźnie określałaby wytyczne i możliwości architektury na Marsie. Nie powstało dotychczas takie naukowe opracowanie dotyczące kolonizacji Marsa, które skupione byłoby wyłącznie na architekturze. Wciąż wyrażenie „architektura kosmiczna” jest popularne w zupełnie nienaukowym znaczeniu. Tymczasem aktualność problemu zamieszkiwania kosmosu przez ludzi kieruje nas ku nowej definicji tego pojęcia. Autorka uważa, że naukowa praca na ten temat może poruszyć ludzi i spowodować, że zaczną rozumieć, w jak przełomowej epoce żyją, a niektórzy z nich przyłączą się do prowadzenia badań skierowanych ku ostatecznemu rozwiązaniu kolejnych problemów, które na razie powstrzymują nas od kolonizacji kosmosu.

Trudno dziś określić, w jaki sposób przebiegać będzie (być może) kolonizacja Marsa. Wprowadzając wymuszony podział wyznaczyć można cztery jej zasadnicze etapy:

- I pierwsze misje załogowe, wykorzystujące niewielkie moduły na habitaty kilkuosobowe;
- II założenie stacji marsjańskiej złożonej z kilku połączonych ze sobą małych modułów lub z jednego nieco większego obiektu, przeznaczonego na zamieszkanie przez kilkanaście do parudziesięciu osób;
- III wykonanie bazy marsjańskiej – co najmniej jednego dużego obiektu budowlanego przeznaczonego na stałe lub długotrwałe zamieszkiwanie go przez grupę kilkudziesięciu do ok. stu osób;
- IV stopniowa rozbudowa bazy (o kolejne obiekty budowlane) po założeniu urbanistyczne, liczba mieszkańców osiedla powyżej 100 osób.

Choć pierwszy etap (zatwierdzony w planach NASA) jest najprawdopodobniej nieunikniony, tak naprawdę wydaje się być najbardziej problematyczny ze względów wytrzymałości psychicznej członków załogi takich misji. Zdaniem autorki już pierwszy przyczółek umożliwiający zamieszkanie ludzi na Marsie powinien być komfortową bazą.

1.2. Założenia nadające kierunek badaniom

1.2.1. Punkt wyjścia dla badań

Punktem wyjścia dla badań prowadzonych przez autorkę na temat problemów architektonicznych bazy na Marsie jako habitatu w ekstremalnych warunkach były: program Mars

Direct, dwa podstawowe pytania o bazę marsjańską oraz aktualność rozważań na temat architektury bazy marsjańskiej.

Program Mars Direct opracowany został przez naukowców z USA (Zubrin i Wagner 1997) i częściowo zaadoptowany przez NASA do planów eksploracji kosmosu przez ludzi pod nazwą Marsjańska Misja Wzorcowca. Jednym z jego elementów jest problematyka bazy na Marsie związana z jej architekturą. Naukowcy i członkowie stowarzyszenia Mars Society z całego świata o różnych profesjach wciąż ulepszają i rozwijają ten program. Autorka, jako architekt i członek Mars Society Polska, rozwija temat architektury bazy na Marsie jako element badań związanych z ludzką eksploracją kosmosu.

Dwa podstawowe pytania o bazę marsjańską: Dwa zagadnienia wysuwają się na czoło wśród tematów rozważań nad założeniem bazy na Marsie. Pierwszym z nich są problemy technologiczne związane z wykonaniem konstrukcji, która zapewnić może bezpieczeństwo ludziom w ekstremalnych warunkach na Marsie. Drugim są problemy socjopsychologiczne, które związane są z wytrzymałością ludzkiej psychiki w ograniczonym zamkniętym środowisku w warunkach ekstremalnych. Oba te zagadnienia mogą być rozpatrywane w zakresie architektury – pierwsze odnosi się do sfery konstrukcji, drugie – głównie do formy, funkcji oraz wnętrza. Rozpatrywanie obu zagadnień możliwe jest tylko po przeanalizowaniu warunków na Marsie oraz specyfiki tej planety jako miejsca do życia. Te dwa zagadnienia złożyły się na powstanie tematu doktoratu: Problemy architektoniczne bazy na Marsie jako habitatu w ekstremalnych warunkach.

Sprecyzowano zatem dwa podstawowe pytania, które nadały kierunek rozważaniom autorki nad architekturą bazy marsjańskiej:

1. *Jak w warunkach marsjańskich stworzyć bezpieczne schronienie dla ludzi, umożliwiające im długotrwały pobyt na planecie?*
2. *Jak stworzyć przyjazny człowiekowi habitat na obcej, odległej od Ziemi planecie?*

Aktualność rozważań na temat architektury bazy marsjańskiej: Rozpoczęcie poważnych rozważań na temat architektury marsjańskiej potrzebne jest już teraz ze względu na wypisane poniżej argumenty.

1. Pierwsze załogowe misje na Marsa mają trwać po ok. 2,5 roku. W DRM zakłada się, że w czasie podróży na Czerwoną Planetę tam i z powrotem (w sumie trwającej około roku) ludzie przebywać będą w jednym module w kształcie walca o wymiarach ok. 8x8 m; na powierzchni planety spędzą 1,5 roku w dwóch takich modułach połączonych elastyczną śluzą. Tymczasem badania przeprowadzone nad socjologią i psychologią ludzi żyjących w małych grupach w ciasnych wnętrzach w nieprzyjaznym środowisku (tzw. *ICE – Isolated and Confined Environment*) są alarmujące. Długotrwałe przebywanie w takich warunkach jest dla psychiki człowieka oraz relacji międzyludzkich wystawieniem na ciężką próbę. Potrzeba większej przestrzeni do życia oraz kontaktów z różnymi osobami to cechy naturalne, charakterystyczne dla większości ludzi. Poważne ograniczenie czynników wpływających na nasze dobre samopoczucie doprowadzić może do poważnych powikłań, nawet psychiatrycznych. Badacze zachowań małych grup ludzi żyjących na niewielkiej przestrzeni przez dłuższy okres czasu w warunkach ekstremalnych biją na alarm. Według nich ze względów

- socjopsychologicznych misja planowana przez NASA zakończy się niepowodzeniem. Istnieją jednak różne sposoby załagodzenia tego problemu, także przy pomocy architektury. Im wcześniej powstanie większy kubaturowo obiekt mieszkalny na Marsie, wychodzący naprzeciw problemom socjopsychologicznym, tym łatwiej będzie można uniknąć sytuacji silnie stresogennych w życiu ludzi na tej planecie. Ponieważ marsjańskie misje załogowe planuje się już na 2025-2030 r., jak najszybciej należy zająć się problematyką architektury przyjaznej człowiekowi na Marsie.
2. Temat dotyczący architektury marsjańskiej jest trudny i złożony. Warto przeanalizować go wcześniej – nim stanie się rzeczywiście aktualny. Analiza wszelkich czynników, które mają wpływ na architekturę na Marsie oraz wnikliwe poszukiwania rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych, które są już dziś adaptowalne w tamtejszych warunkach, stać się może bazą do dalszych rozważań w przyszłości, podręcznikiem dla przyszłego pokolenia lub pokoleń. Podstawowe wskazówki dotyczące wymagań co do konstrukcji, materiałów budowlanych, elementów funkcjonalnych i formy bazy marsjańskiej mają dużą szansę zachować aktualność przez długi czas i stać się inspiracją dla projektantów w przyszłości – tak jak dzieje się to dziś w przypadku baz orbitalnych wzorujących się na pomysłach Ciołkowskiego¹ i wytycznych projektowych Potocnika² sprzed prawie stulecia.
 3. Pierwsze misje załogowe planowane są nie później niż na obecne pięćdziesięciolecie (Tab. 1.1). Jest więc czas, aby przygotować się do nadarzających się okoliczności. Wraz z pierwszymi marsonautami podróżować mogłyby np. roboty lub maszyny budowlane, których wcześniejsze wysłanie na planetę, przyspieszyłoby termin budowy bazy, gdy już będziemy na to rzeczywiście gotowi.
 4. Podobnie jak pierwsze kosmiczne statki załogowe pozwalały ludziom na latanie w przestrzeni pozaziemskiej, ale nie były tak dobre jak najnowsze tego typu obiekty, tak samo dzisiejsze prototypy bazy marsjańskiej mogą być ulepszane; na razie w sferze projektowej. Jeśli wcześniej zajmiemy się problematyką badań architektury w warunkach marsjańskich, wskazać będzie można kierunki dla rozwoju technologicznego, przede wszystkim jeśli chodzi o materiały konstrukcyjne, izolacyjne czy połączenia technologiczne. Udoskonalenia wpłyną na bezpieczeństwo, stabilność i niezawodność konstrukcji, a co za tym idzie – na poczucie bezpieczeństwa przyszłych mieszkańców Czerwonej Planety. Symulacje wykonywania takich budowli na Ziemi w warunkach zbliżonych do marsjańskich mogą dużo wnieść do badań – w ten sposób można sprawdzić, jakie są szanse powodzenia takiego przedsięwzięcia na Marsie. Jest jeszcze czas na przeróbki i poprawki czy na rezygnację z najwyraźniej chybionej metody budowlanej, która wcześniej wydawać się mogła najlepsza. I w tym momencie szczególnie potrzebny będzie wykaz wytycznych dla architektury marsjańskiej oraz przegląd różnych technologii budowlanych, które mają predyspozycje do zastosowania ich na Czerwonej Planecie.

¹Pierwszy projektant habitatu orbitalnego, na którego pomysłach inżynierskich wzorowały się później powstałe koncepcje.

²Herman Potocnik, pseudonim Noordung, napisał w 1928 r. książkę pt. „Problemy lotów kosmicznych”, w której opracował m. in. wytyczne dla architektury bazy orbitalnej, w tym: rodzaje potrzebnych pomieszczeń, optymalny kształt konstrukcji itd. Na podstawie jego zaleceń powstały nie tylko projekty dawnych baz orbitalnych, ale i nowe koncepcje architektoniczne hoteli w przestrzeni kosmicznej, takich jak np. opisany w Rozdz. 6.5 projekt Space Island

5. Dotychczas żadna budowla nie została wzniesiona na Marsie, toteż nie mamy stu procentowej pewności, że jakaś konkretna technologia jest najlepsza i tylko badaniom nad nią powinniśmy poświęcać czas. Przegląd i analiza różnych rozwiązań pozwala na znalezienie ich zalet i wad. To, że któraś z prezentowanych konstrukcji ma wiele dobrych stron, a tylko jedna złą, nie znaczy, że jest najlepsza. Ta jedna wada może ją bowiem wykluczyć z grona konstrukcji wykonalnych w warunkach marsjańskich. Wskazanie jednak tej jednej trudności pośród wielu zalet może skusić przyszłych badaczy do poszukiwania rozwiązania problemu. To, co dziś wydawać się może nieprawdopodobne, jutro okazać się może realne (dzięki nowej zdobyczy nauki). Z tego właśnie względu szczegółowa analiza pomóc może w przyszłości w kolejnych próbach zmagania się z problemami architektury na Marsie.

1.2.2. Niewiadome

Autorka zauważa, że istnieją pewne niewiadome dotyczące bazy marsjańskiej, które wykładować mogą się dopiero z czasem. Są one zwykle podstawą niechęci co do wszczynania rozważań problemów architektury marsjańskiej już dziś. Tymczasem wg autorki są to zagadnienia, które wcale nie zahamowują prowadzenia badań na ten temat. Będą one miały wpływ na końcową fazę programowego projektowania bazy marsjańskiej. Wybór konstrukcji czy metodyki aranżacji wnętrz mogą zostać powzięte bez wyjaśnienia wymienianych poniżej niewiadomych.

Funkcje w bazie i liczba mieszkańców: Jakie funkcje okażą się potrzebne w bazie, w jakim procentowym udziale i w jakiej postaci jest obecnie bardzo trudne do przewidzenia. Ogólne przewidywania możemy ustalić na podstawie:

- schematu funkcjonalnego stacji kosmicznych,
- schematu funkcjonalnego domu mieszkalnego,
- schematu funkcjonalnego miasta.

Założenie to opiera się na tym, że baza jest stadium pomiędzy stacją kosmiczną a kolonią:

- stacja kosmiczna – dom z gabinetem/warsztatem,
- baza kosmiczna – minimiasto (nie wieś, bo własna infrastruktura na wysokim poziomie, laboratoria, przemysł),
- kolonia kosmiczna – rozbudowana jednosak osiedleńcza w kosmosie, miasto kosmiczne (powiększona znacznie baza kosmiczna lub sieć baz kosmicznych).

Liczba mieszkańców zależy od tego, jakiej funkcji nadrzędnej zostanie podporządkowana baza – np. przemysłowej, naukowo-badawczej, turystycznej czy osadniczej.

Z powodu tych dwóch niewiadomych (rodzaj funkcji i liczba mieszkańców) rozpatrywanie schematów funkcjonalno-przestrzennych wydaje się nie mieć sensu. Scenariuszów co do liczebności bazy oraz jej funkcji nadrzędnej może być wiele i analiza ich jest wysoce problematyczna, np. w placówce badawczej może wystarczyć jedna lub parę kuchni z mesami przy laboratoriach, w bazie przemysłowej wskazane byłyby zapewne stołówki, zaś jeśli w grę wchodzi wiele różnych funkcji lub dominuje osiedleńcza, odpowiednie byłyby prawdopodobnie domostwa z osobnymi kącikami kuchennymi lub rozwinięty system jadłodajni.

Najlepsza technologia budowlana: Dziś bardzo trudno jest wskazać, która technologia budowlana jest najbardziej wskazana do zastosowania na Marsie. Obecnie możliwe jest tylko przeprowadzenie analizy różnych technologii, które roszą nadzieje na zaadoptowanie ich w warunkach marsjańskich. Takie rozważania pomocne są we wskazaniu wad i zalet tychże rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych. Na tej podstawie określić można, które z nich warto badać i ulepszać, by w przyszłości jak najlepiej sprostały stawianym im wymaganiom jako technikom budowlanym dla bazy marsjańskiej.

Wygląd bazy: Trudno dziś sprecyzować dokładnie wygląd przyszłej bazy na Marsie – jej formę, kolorystykę, detale, wnętrza. Wynika to z powyżej opisanych niewiadomych. Mimo to, rozpatrując różne modele takiego obiektu architektonicznego, możemy zbliżyć się do odpowiedzi na pytanie „jak wyglądać będzie taka baza?”

Rozdział 2

Cele, metody badawcze i tezy doktoratu

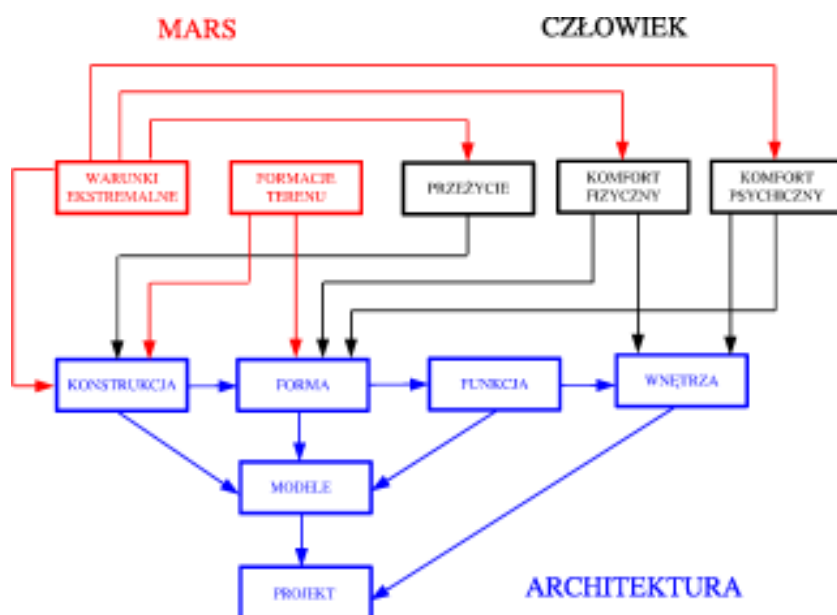
2.1. Cele doktoratu

Aby w wyczerpującym zakresie opracować temat dysertacji, autorka postanowiła osiągnąć następujące cele:

1. Rozpoznanie środowiska na Marsie jako miejsca budowy i jego wpływu na architekturę.
2. Określenie wpływu czynnika ludzkiego na kształtowanie architektury na Marsie.
3. Rozpoznanie dotychczas stosowanych rozwiązań architektonicznych dla habitatów w warunkach ekstremalnych.
4. Ocena dotychczas powstałych koncepcji architektonicznych habitatów kosmicznych pod względem trafności wykorzystanych w nich rozwiązań architektonicznych.
5. Wyszukanie i przegląd technologii budowlanych pod kątem ich przydatności w doborze konstrukcji dla bazy marsjańskiej.
6. Rozpoznanie rozwiązań architektonicznych mających wpływ na zapewnienie komfortu fizycznego i psychicznego mieszkańców bazy na Marsie.
7. Stworzenie wytycznych dla architekta bazy marsjańskiej.
8. Opracowanie modeli architektonicznych bazy marsjańskiej wg wytycznych i szczegółowa prezentacja wybranego modelu.

2.2. Sposób prowadzenia badań

Architektura to specyficzna dziedzina nauki. Środkiem jej wyrazu jest rysunek i model. To, co zwykle wyraża się w formie opisu, ona przedstawia na ilustracjach. Projekt architektoniczny zawsze uzupełniany jest opisem technicznym, jednak większość rzeczy wyjaśniona jest na rysunkach. Z tego względu na podstawie syntez stworzony zostanie zbiór modeli



Rysunek 2.1: System powiązań zagadnień badawczych dysertacji z trzech bloków tematycznych: Mars, Człowiek, Architektura

architektonicznych. Spośród nich jeden będzie wybrany i szczegółowo omówiony i narysowany. Projekt koncepcyjny ma być architektonicznym środkiem wyrazu, który poprzez prezentowane rozwiązania ma dowieść prawidłowości tez dysertacji. Wykonanie takiego projektu wymagało od autorki zagłębienia się w zagadnienia z różnych dziedzin nauki¹ i przefiltrowanych pod kątem architektury.

Trzy bloki tematyczne zostały określone w oparciu o podstawowe problemy związane z zaprojektowaniem i wykonaniem bazy na Czerwonej Planecie: Mars, Człowiek, Architektura. Kolejność prowadzenia przez autorkę badań wynika z powiązań między elementami tych zbiorów (Rys. 2.1). Poznanie warunków na Marsie rzutuje na zagadnienia związane z człowiekiem – możliwościami jego przeżycia w tamtejszym środowisku, poczuciem dyskomfortu fizycznego i psychicznego. Znajomość Marsa oraz relacji człowieka względem panującego tam środowiska pozwala na rozpoczęcie badań związanych ściśle z architekturą. Wyjątkowość warunków i ukształtowanie terenu na Czerwonej Planecie znacznie ograniczają swobodę projektowania architektonicznego w zakresie konstrukcji. Potwierdzają to badania realizacji i koncepcji habitatów w warunkach ekstremalnych na Ziemi i w kosmosie. Po przeanalizowaniu dostępnych technologii budowlanych oraz mając na uwadze rzeźbę terenu można określić, jakie możliwości ma architekt w zakresie formy dla bazy marsjańskiej. Kształtowanie jej powinno być podporządkowane skali człowieka i jego potrzebom. Rozkład funkcjonalny wydaje się być w znacznej mierze uzależniony od formy, znajdującej się pod silnym wpływem możliwości dostępnych technologii budowlanych. Jednak może on decydować o rozkładzie i połączeniach elementów bazy np. w przypadku architektury addytywnej. Wnętrza rozpatrywane są jako nieodłączny element architektury, który w przypadku projektowania bazy na Marsie powinien być potraktowany szczególnie starannie, jako że właśnie w jego gestii znajduje się przede wszystkim sposobność podwyższenia komfortu fizycznego i psychicznego mieszkańców. Analiza konstrukcji, formy i funkcji umożliwiła

¹Obok architektury należą do nich m. in.: astronomia, astronautyka, socjopsychologia, geologia, górnictwo, materiałoznawstwo.

stworzenie modeli architektonicznych bazy. Jeden z nich mógł zostać opracowany bardziej szczegółowo po uwzględnieniu dodatkowo wytycznych z wnętrza.

Kolejność prowadzenia badań podporządkowana została metodyce projektowania architektonicznego. Najpierw rozpoznane zostało miejsce budowy. W tym wypadku jest to szczególnie nietypowa wizja lokalna. Miejscem budowy jest bowiem Mars. Ekstremalne warunki na planecie oraz jej ukształtowanie terenu przeanalizowane zostały ściśle pod kątem ich wpływu na architekturę. Omówione zostały one w bloku „Mars”.

Następnie rozpoznany został użytkownik. Znowu pojawia się sytuacja nietypowa. Nie wiadomo bowiem, kto dokładnie poleci na Marsa. Jednak analiza typowych potrzeb człowieka oraz jego zachowań w przypadku gdy realizacja ich jest znacznie ograniczona, pozwala na określenie wymagań użytkownika wobec bazy marsjańskiej. Zagadnienie to rozpatrywane jest w ramach bloku „Człowiek”.

Ponieważ baza na Marsie jest specyficznym przykładem architektury, dokonana została analiza habitatów w warunkach ekstremalnych na Ziemi i w kosmosie. W ten sposób rozpoznano, jakie rozwiązania architektoniczne dotychczas wynaleziono w trudnych do zamieszkania środowiskach. Określono przy tym, które z nich okazały się trafione i pod jakim względem. To pozwoliło wyłonić te z nich, które warto są naśladowania.

Następnie autorka rozpatrywała wszystkie elementy architektury z triady Witruwiusza: konstrukcję, formę i funkcję, a także uzupełniające je wnętrza. Kolejność, jaką wybrano, uzależniona jest od sposobu systematyki prowadzenia badań z Rys. 2.1. Analizie poddano tylko te rozwiązania technologiczne, które autorka rozpoznała jako adaptowalne na Marsie. Wychwycono zarówno możliwości, jakie dają te rozwiązania formie bazy, jak i ograniczenia, które jej narzucają. Zapoznanie się z proponowanymi w literaturze koncepcjami architektury pozaziemskiej pozwoliło autorce na przeprowadzenie krytycznej ich analizy w celu wyłonienia inspirujących i godnych naśladowania rozwiązań.

Dopiero wtedy na podstawie zebranych w kolejnych rozdziałach wniosków dla architekta autorka była w stanie wykonać takie modele baz, które nadają się do wykonania w warunkach marsjańskich i nastawione są na spełnienie potrzeb swojego użytkownika w zadowalający sposób. Jeden z nich autorka opracowała bardziej szczegółowo, również w skali wnętrza i detali.

2.3. Metody badawcze

Sposób prowadzenia badań i założone przez autorkę cele doktoratu wpłynęły na dobór metod badawczych, które zostały wypunktowane poniżej.

1. Analiza Marsa jako miejsca budowy oraz synteza wszelkich czynników środowiskowych mających wpływ na architekturę bazy marsjańskiej na podstawie danych dotyczących ekstremalnych warunków panujących na Marsie zebranych przez sondy badawcze, a następnie omówionych w różnych pracach naukowych.
2. Analiza zachowań ludzi żyjących w odosobnieniu w małych grupach w nieprzyjnym środowisku w odniesieniu do architektury habitatu, na podstawie badań przeprowadzonych przez socjopsychologów.
3. Przeglądowa analiza habitatów w warunkach ekstremalnych na Ziemi i w kosmosie, umożliwiająca rozpoznanie dotychczas stosowanych metod wykonywania konstrukcji mieszkalnych dla ludzi w nieprzyjnych środowiskach.

4. Krytyczna analiza koncepcji habitatów pozaziemskich z literatury jako inspiracji dla architekta bazy marsjańskiej.
5. Szczegółowa analiza obecnie znanych technologii budowlanych rokujących największe nadzieje na zaadaptowanie ich w ekstremalnych warunkach na Marsie.
6. Analiza rozwiązań architektonicznych mających wpływ na zapewnienie komfortu fizycznego i psychicznego.

2.4. Tezy doktoratu

Zasadniczą tezę doktoratu jest wykazanie, że:

Współczesne technologie i obecny stan wiedzy o ekstremalnych warunkach panujących na Marsie pozwalają na zaprojektowanie i wykonanie bazy marsjańskiej jako przyjaznego człowiekowi habitatu.

W ramach powyższego stwierdzenia postawiono następujące tezy częściowe:

1. Ekstremalne warunki panujące na Marsie wymagają specyficznego sposobu projektowania architektonicznego.
2. W procesie kształtowania się problematyki architektury na Marsie głównym czynnikiem są względy socjopsychologiczne.
3. Przy pomocy narzędzi dostępnych architekturze można wpłynąć na wzrost komfortu fizycznego i psychicznego mieszkańców bazy pozaziemskiej i stworzyć na Marsie przyjazny człowiekowi habitat.

Rozdział 3

Mars

3.1. Warunki na Marsie

Grawitacja

Mars ma średnicę dwa razy mniejszą od Ziemi – 6794 km. Jest on także około dziesięć razy lżejszy od naszej rodzimej planety i jego średnia gęstość wynosi $3,9 \text{ g/cm}^3$. To powoduje, że przyciąganie grawitacyjne na powierzchni Marsa wynosi tylko $3,69 \text{ m/s}^2$, czyli w przybliżeniu $1/3 \text{ g}$ (ESA 2007).

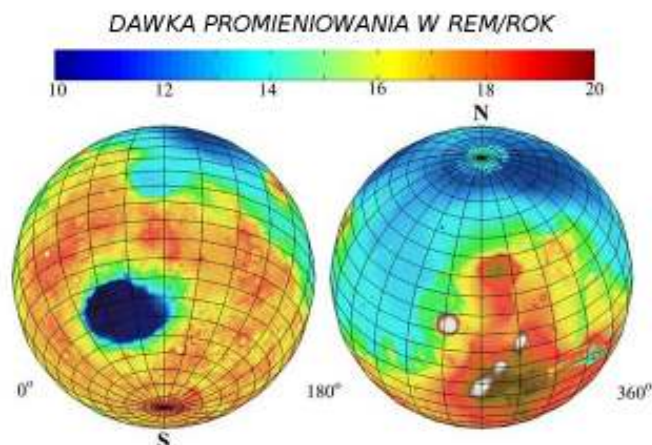
Wpływ grawitacji na architekturę

1. Nośność i wytrzymałość konstrukcji musi być obliczana przy uwzględnieniu niższej siły ciężenia. Dzięki małemu przyspieszeniu grawitacyjnemu na Marsie można stawiać dużo masywniejsze budowle niż na Ziemi nawet przy słabym gruncie.
2. Obniżona grawitacja wpływa na sposób poruszania się ludzi. Zaleca się w takiej sytuacji zastosowanie innej ergonomii niż na Ziemi.
3. W warunkach zmniejszonej grawitacji mięśnie wykorzystuje się w ograniczonym zakresie. W celu umożliwienia utrzymania odpowiedniej kondycji pozwalającej na bezpieczny powrót na Ziemię należy przewidzieć w bazie miejsca do ćwiczeń.

Promieniowanie

Z powodu niskiej gęstości atmosfery marsjańskiej wszelkie typy promieniowania w znacznie wyższym procencie docierają do powierzchni planety niż ma to miejsce na Ziemi. Szkodliwe dla człowieka promieniowanie ma dwa podstawowe źródła: pierwsze z nich to Słońce, drugie – przestrzeń kosmiczna.

Promieniowanie ze Słońca może mieć różną naturę i przejawia się m. in. jako: promieniowanie świetlne w zakresie widzialnym, promieniowanie ultrafioletowe oraz wysoko-energetyczne promieniowanie słoneczne. Mars znajduje się 1,5 raza dalej od Słońca niż Ziemia. W związku z tym do orbity marsjańskiej dociera mniej niż połowa ilości światła widzialnego, jakie występuje w okolicach Ziemi (stała słoneczna na Marsie względem Ziemi = 0,43) (URANOS 2005, ASEB 2002). Przez to na Marsie jest ciemniej niż na naszej planecie. Dzięki temu, że atmosfera marsjańska jest tak rzadka i uboga w chmury, znaczna



Rysunek 3.1: Dawka promieniowania kosmicznego dochodząca do powierzchni planety w zależności od położenia geograficznego (NASA 2002)

część światła słonecznego dochodzi do powierzchni planety. Na Ziemi, o grubej i gęstej sferze gazowej, bogatej w silnie odbijające światło białe chmury pary wodnej, dużo mniejszy ułamek promieniowania docierającego do orbity osiąga później powierzchnię planety (Mieszkowski 1975). Na Marsie chmury (szczególnie wodne) występują rzadziej, za to w atmosferze unosi się lekki drobny pył ograniczający dostęp światła do powierzchni. Jest go tym więcej, im mocniejszy wieje wiatr. W czasie silnej burzy pyłowej na powierzchni Marsa na danym obszarze robi się bardzo ciemno. Ponieważ niektóre burze mogą trwać nawet miesiącami, przez cały ten czas dostęp światła widzialnego jest znacząco obniżony.

W atmosferze marsjańskiej nie ma warstwy ozonowej, która zatrzymywałaby promienie ultrafioletowe. Choć w odległości 1,5 AU od Słońca natężenie tego promieniowania jest niższe niż w okolicach Ziemi (odpowiednio – 1 AU), to z powodu braku ozonu w atmosferze marsjańskiej do powierzchni planety będzie docierać bardzo silne promieniowanie UV, które jest niebezpieczne dla ludzi.

Promieniowaniem, które niesie największe zagrożenie, jest promieniowanie słoneczne. Jest to strumień silnie naładowanych cząstek, głównie protonów i cząstek alfa, które poruszają się z ogromną prędkością od strony Słońca ku zewnętrznym partiom naszego Układu Słonecznego (PWN 2006). Nawet krótkotrwałe wystawienie się na jego działanie może być śmiertelne lub wywołać bardzo ciężką chorobę popromienną. Człowiek nie jest w żaden sposób przystosowany do otrzymywania tak dużych dawek promieniowania wysokoenergetycznego (Musser i Alpert 2000). Na szczęście fale tego promieniowania docierają do Marsa sporadycznie i nie zawsze mają bardzo duże natężenie. Zdarzenia te związane są z rozbłyskami na Słońcu, a obserwowane przez astronomów od wielu lat, są częściowo przewidywalne. Natężenie w ich występowaniu nasila się i maleje w cyklu jedenastoletnim. Wybuchy na Słońcu są bardzo szybko wykrywane przez teleskopy naziemne i zanim fala promieniowania dotrze do Ziemi czy Marsa, upływa wystarczająco dużo czasu, by przygotować się na jej nadejście.

Promieniowanie kosmiczne, podobnie jak słoneczne, składa się z silnie naładowanych jonów. Jego natężenie jest dużo mniejsze (PWN 2006). Mimo to jest ono bardzo niebezpieczne, ponieważ nieustannie bombarduje powierzchnię Marsa. Promieniowanie kosmiczne nie jest też tak silnie ukierunkowane jak słoneczne, pochodzi bowiem z gwiazd z całej Na-

szej Galaktyki. Wartość dawki promieniowania wyraża się w remach. Człowiek na Ziemi w ciągu roku napromieniowywany jest zaledwie ułamkiem rema. W czasie jednego wybuchu na Słońcu (jednorazowe wydarzenie) do Marsa może dotrzeć około 10 remów promieniowania. Podobną wartość osiąga dawka promieniowania kosmicznego, ale po upływie całego roku (Badhwar 2003). Choć takie promieniowanie kosmiczne jest szkodliwe dla zdrowia człowieka, należy zauważyć, że powoduje ono podobne zagrożenie zachorowaniem na raka u ludzi, co palenie papierosów (Mars Society 2003).

Wysokoenergetyczne cząstki działają w ten sposób, że niszczą struktury chemiczne przy zderzeniu z nimi. W przypadku struktur organicznych, takich jak budujące ludzkie ciało, mogą spowodować raka i mutacje. Jony te potrafią także rozbijać jądra ciężkich pierwiastków i wywoływać kaskady promieniotwórczych reakcji zachodzących np. w minerałach lub materiałach konstrukcyjnych bogatych w atomy takich pierwiastków. Promieniowanie kosmiczne i słoneczne stanowi zagrożenie dla ludzi, urządzeń w bazie oraz konstrukcji bazy.

Promieniowanie na Marsie zależy w pewnej mierze od położenia nad poziomem morza – im wyżej, a zatem im cieńsza warstwa ochronna atmosfery, tym promieniowanie o większym natężeniu tam dociera. Z tego względu szczególnie narażone na silne dawki promieniowania są tereny górskie. Rysunek 3.1 przedstawia mapy rocznych dawek promieniowania kosmicznego docierającego do powierzchni planety (NASA 2002).

Wpływ promieniowania na architekturę

1. Ilość światła widzialnego docierającego do powierzchni Marsa jest ograniczona z powodu dużej odległości od Słońca. Z tego względu jak największe przegrody przezroczyste w bazie są preferowane, by zapewnić komfort psychiczny jej mieszkańcom.
2. Konstrukcja bazy powinna być wytrzymała na promieniowanie UV i ograniczać jego ilość dostającą się do wnętrza habitatu.
3. Ze względu na szkodliwość dla człowieka stale występującego na powierzchni Marsa promieniowania kosmicznego zalecane jest użycie barier ochronnych w przegrodach habitatu. Ponieważ nie jest ono jednak aż tak bardzo niebezpieczne, nie wymaga się go bezwzględnie dla wszystkich pomieszczeń w bazie.
4. Promieniowanie słoneczne stanowi zagrożenie dla życia, dlatego ludzie powinni mieć zapewnione bezpieczne schronienie przed nim. Ponieważ wybuchy na Słońcu, które są źródłem tego promieniowania, zdarzają się tylko od czasu do czasu, wystarczy wybudować specjalne schrony, które pomieszczą wszystkich mieszkańców bazy i zapewnią im warunki bytowe w tym niebezpiecznym okresie. Zabezpieczenie wszystkich przestrzeni habitatu przed szkodliwym działaniem promieniowania słonecznego jest jednak preferowane. Zabezpieczenie to może być na stałe zamontowane lub być rozkładane tymczasowo.
5. Ponieważ promieniowanie wysokoenergetyczne powodować może kaskadowe reakcje promieniotwórcze, materiały konstrukcyjne powinny być zbudowane z lekkich pierwiastków, takich jak wodór, tlen czy węgiel (izotopy lekkie). Można także stosować zewnętrzne osłony z materiałów chroniących przed promieniowaniem, np. z wody.
6. Przy wyborze miejsca na założenie bazy powinno kierować się m. in. mapami dawek promieniowania docierającego do powierzchni Marsa tak, by przez samą lokalizację habitatu wpłynąć na obniżenie zagrożenia promieniowaniem kosmicznym.



Rysunek 3.2: Drobinę pyłu unoszące się w atmosferze marsjańskiej zabarwiają niebo na kolor różowawy (NASA)

Ciśnienie i skład atmosfery

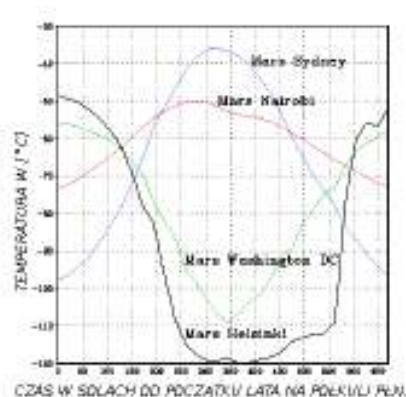
Atmosfera marsjańska składa się głównie z dwutlenku węgla, zawiera śladowe ilości tlenu. Azot, który jest najpowszechniejszym pierwiastkiem w atmosferze ziemskiej, tutaj ma niewielki udział procentowy. Skład atmosfery marsjańskiej podaje Moroz (1998): 95,72% CO₂, 2,7% N₂, 1,6% Ar, 0,2% O₂. Bardzo drobny i lekki pył marsjański potrafi utrzymywać się w atmosferze nawet przy bardzo słabym wietrze. Zabarwia on niebo na różowawy kolor (Rys. 3.2) (Williams 2006).

Mimo nieprzydatności atmosfery marsjańskiej do oddychania ze względu na jej skład, należy zauważyć, że nie jest ona toksyczna jak na Wenus (wysoka zawartość siarki) czy niebezpieczna jak na Tytanie (metan, tworzący jego sferę gazową, przy zetknięciu z tlenem spala się gwałtownie). Na Księżycu atmosfera tworzy bardzo ciekłą przypowierzchniową warstwę.

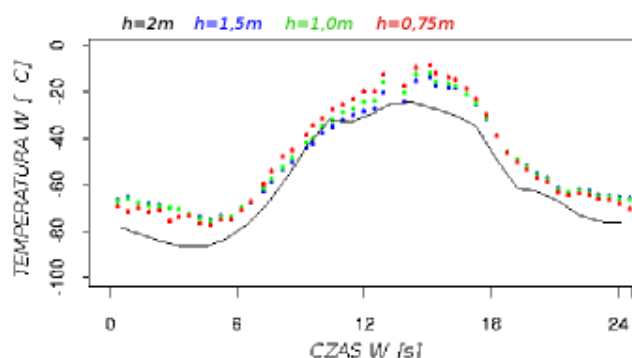
Atmosfera marsjańska jest bardzo rzadka. Przy powierzchni terenu ma średnią wartość 0,000015 g/cm³ i maleje wykładniczo wraz ze wzrostem wysokości (Lei i in. 2004). Im bliżej równika, tym większa gęstość atmosfery. Mała gęstość rzutuje też na bardzo niskie ciśnienie atmosferyczne. Średnio przyjmuje ono wartość 6,5 hPa (NASA Mars Fact Sheet) i stanowi mniej niż 1/100 ciśnienia atmosferycznego na Ziemi (w przybliżeniu 1013 hPa). Ze względu na niskie ciśnienie atmosfera na Marsie dużo szybciej reaguje na przyłożoną energię. To znaczy m. in., że łatwiej jest wywołać wiatr czy zmianę temperatury. A to z kolei powoduje wahania ciśnienia (MGCMG 2006). W wyniku ogrzewania w ciągu dnia i oziębiania w nocy atmosfery marsjańskiej następują po sobie cyklicznie procesy sublimacji i kondensacji dwutlenku węgla. Kiedy zamienia się on w parę przy wyższych temperaturach za dnia, unosi się do góry i miesza z atmosferą, co powoduje wzrost jej gęstości i ciśnienia. Im cieplejszy dzień, tym więcej dwutlenku węgla sublimuje i tym wyższe jest ciśnienie atmosferyczne.

Wpływ gęstości, ciśnienia i składu atmosfery na architekturę

1. Atmosfera marsjańska nie nadaje się do oddychania dla ludzi, dlatego habitaty muszą być hermetyczne, a we wnętrzach należy sztucznie utrzymywać atmosferę odpowiednią dla ludzi pod względem składu i ciśnienia.
2. Ze względu na dużą różnicę między ciśnieniem zewnętrznym a koniecznym do życia dla ludzi, ściany habitatów muszą być szczelne oraz wytrzymałe na rozciąganie.



Rysunek 3.3: Wykresy rocznych zmian temperatury na szerokościach geograficznych odpowiadających ziemskim miastom: Waszyngton, Helsinki, Nairobi i Sydney (Mars GCM Group)

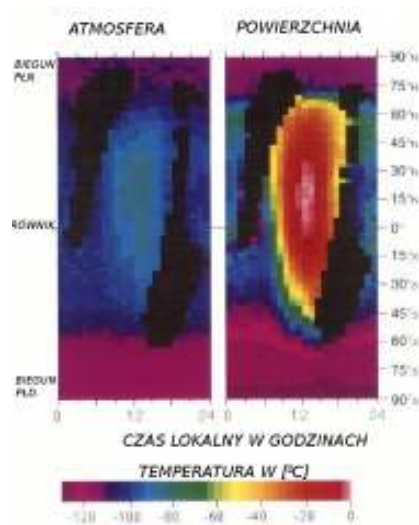


Rysunek 3.4: Temperatura na różnych wysokościach nad poziomem terenu zmierzona przez Pathfinder (Tillman 1998b)

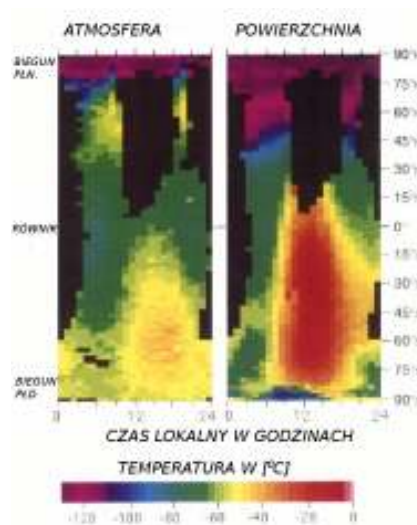
3. Przy założeniu, że utrzymywana w środku habitatu mieszanina gazów musi mieć dużo wyższe ciśnienie, wahania ciśnienia atmosferycznego są zbyt małe, by miały wpływ na zmianę naprężeń konstrukcji.
4. Ciśnienie na Marsie jest zbyt niskie, by rośliny mogły pobierać wodę z gruntu. Jednocześnie woda występuje tu tylko w stanie stałym lub gazowym. Z tych powodów agrokultura musi mieścić się wewnątrz specjalnej szczelnej i wytrzymałej konstrukcji, w której utrzymywane byłoby wyższe ciśnienie.
5. W przypadku konstrukcji nadziemnych przeanalizowane powinny być przemieszczenia mas powietrza marsjańskiego. Jeśli budowla będzie wysoka, może blokować przepływ atmosfery i spowodować kumulowanie się gęstszego powietrza z jednej strony, co wywoła trwały układ pod- i nadciśnienia między dwiema stronami bazy. Taka sytuacja może wpływać na szybsze zmęczenie konstrukcji.

Temperatura

Średnia temperatura na Marsie to zaledwie -60°C . Roczne wahania temperatury przy powierzchni planety są bardzo duże. W najzimniejszą noc zimową temperatura może spaść nawet do -140°C , a w najcieplejszy letni dzień wzrosnąć do $+27^{\circ}\text{C}$ (ESA 2007). Ponieważ Mars okrąża Słońce po dużo bardziej eliptycznej niż Ziemia orbicie, jedna z półkul – południowa – jest silniej nagrzewana latem, a bardzo słabo zimą. Dlatego największe różnice temperatur występują na półkuli południowej. Z kolei najbardziej stabilne pod tym względem są okolice równika. Wykresy rocznych wahań temperatury dla odpowiedników ziemskich miast (względem szerokości geograficznej) zostały pokazane na Rys. 3.3. Zauważyć można, że na małych szerokościach geograficznych (Mars Nairobi) w ciągu całego roku temperatura nigdy nie spada poniżej -80°C . Im dalej od równika, tym zimniej. Jednocześnie spostrzeżono, że w wielu miejscach temperatura nigdy nie osiąga wartości, w których sublimuje lód.



Rysunek 3.5: Zmiany temperatury w ciągu doby przy czystym niebie (University Chicago Laboratory Schools)

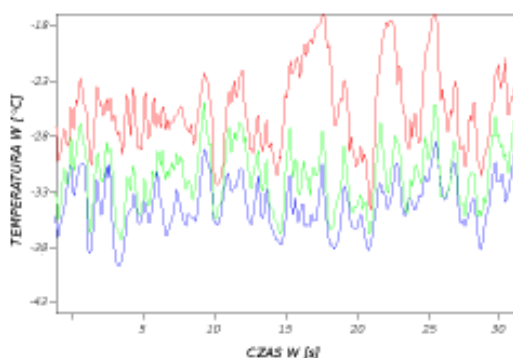


Rysunek 3.6: Zmiany temperatury w ciągu doby przy dużym zachmurzeniu (University Chicago Laboratory Schools)

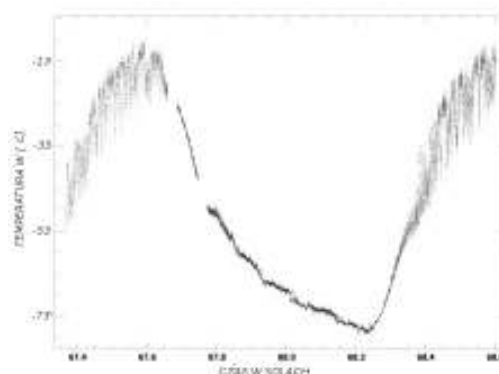
Do znacznych rocznych wahań temperatury dochodzą jeszcze zmiany dobowe. Powierzchnia planety mocno nagrzewa się w dzień i szybko stygnie nocą, ponieważ rzadka atmosfera nie powstrzymuje swobodnego przepływu ciepła. Człowiek nie jest przystosowany do życia w tak zmiennych warunkach temperaturowych. Trzeba jednak zauważyć, że na żadnej innej planecie w Układzie Słonecznym nie ma bardziej sprzyjających temperatur – na Wenus i Merkury jest strasznie gorąco, a na Jowiszu i dalej ekstremalnie zimno. Na pozbawionym atmosfery Księżycu jest zaledwie parę stopni powyżej zera bezwzględnego (ok. -270°C) tak jak w przestrzeni kosmicznej.

W najcieplejszy dzień temperatura gruntu może osiągnąć nawet 27°C , jednak powierzchnia bardzo szybko traci swe ciepło. Wyjątkowo rzadka atmosfera Marsa stanowi nikłą przeszkodę dla ciepła uciekającego z gruntu i sama słabo się nagrzewa. Temperatura atmosfery drastycznie spada wraz z wysokością: w ciągu dnia człowiek odczuwałby, że jest mu w głowę o kilka stopni zimniej niż w stopy, na odwrót byłoby w nocy. Tylko ok. 6 rano i 18 wieczorem temperatury te wyrównują się. Potwierdzają to pomiary wykonane przez sensory umieszczone na Pathfinderze na wysokościach: 0,75 m, 1 m i 1,5 m od powierzchni gruntu, co pokazano na wykresie na Rys. 3.4 (Tillman 1998b). Atmosfera marsjańska jest bardzo rzadka i przez to efekt cieplarniany powodowany przez zawarty w niej dwutlenek węgla jest niewielki. Ciepło zarówno szybko przenika do atmosfery, jak i z niej ucieka. Przez to również grunt nie jest w stanie przez dłuższy czas utrzymać ciepła nagromadzonego w ciągu dnia. Na Ziemi często już na głębokości paru metrów uzyskać można stabilną temperaturę przez cały rok. Przy warunkach temperaturowych atmosfery marsjańskiej nie jest to możliwe.

Średnia dobową amplitudę temperatur atmosfery na Marsie to ok. 40 stopni, ale sięgać może nawet do ponad 60 (Rys. 3.5). Dane te pochodzą z badań wykonanych przez lądowniki Viking i Pathfinder. W czasie burz pyłowych różnica między maksymalną a minimalną temperaturą w ciągu doby znacznie maleje – do kilkunastu stopni. W dzień temperatura może być mniejsza niż normalnie nawet o 20 stopni, za to nocą zwykle jest cieplej (Rys. 3.6). Warstwa pyłu zatrzymuje zarówno sporą ilość promieni ciepłych ze Słońca, jak i hamuje ucieczkę ciepła z gruntu. Po burzy pyłowej – kiedy pył opada – temperatura powraca do swoich przeciętnych wartości przez dziesiątki soli.



Rysunek 3.7: Nagłe zmiany temperatury w ciągu dnia w sekundach (Tillman 1998b)



Rysunek 3.8: Zmiany temperatury w ciągu dwóch soli (NASA/JPL)

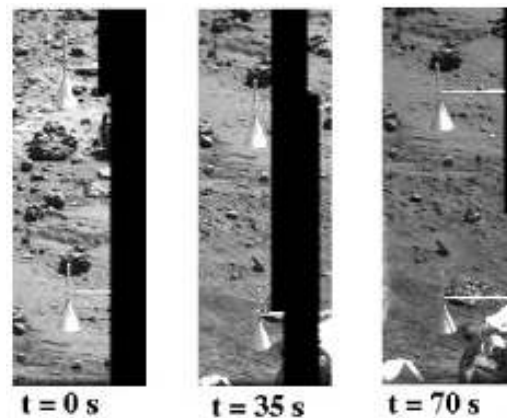
Na Marsie występują także chwilowe wahania temperatury, które czasem są bardzo drastyczne. W ciągu 8 s amplituda może sięgnąć wartości nawet 20° . Wykres na Rys. 3.7 pokazuje zmiany temperatury zarejestrowane przez Pathfinder'a w ciągu 30 sekund. Intensywność tych odchyleń zależy od pogody danego dnia, często także od pory dnia. Na Rys. 3.8 widać zmiany temperatury zarejestrowane przez Pathfinder'a przez dwie doby. Wysokie wahania są tu charakterystyczne w ciągu dnia. Nocą są one znacznie mniejsze (Schofield i in. 1997).

Wpływ temperatury na architekturę

1. Konieczne jest stworzenie ludziom budowli mieszkalnych chroniących ich przed niską temperaturą, a także jej dużymi wahaniami rocznymi, sezonowymi, dobowymi oraz chwilowymi.
2. Konstrukcja bazy musi być wytrzymała na działanie niskich i zmiennych temperatur.
3. Pod względem najbardziej korzystnych temperatur na lokalizację bazy wskazane są obszary okołorównikowe, gdzie jest stosunkowo ciepło w ciągu całego roku i amplitudy roczne są małe. Na południu temperatura sięgać może nawet do 27°C , jednak zimą jest tam bardzo zimno. Najzimniejsze temperatury, do -140°C , odnotowano na biegunach.
4. Ekstremalne temperatury ograniczają wybór materiałów budowlanych, które można użyć do budowy bazy. Jednak im bliżej równika, tym mniejsze spadki temperatury w ciągu całego roku i co za tym idzie - większa gama dostępnych materiałów. Np. w miejscach lądowania Vikingów i Pathfinder'a temperatura nie spadła poniżej -100°C , a w okolicach równika nie spada poniżej -70°C .
5. Temperatura na Marsie zależy od wysokości nad powierzchnią terenu. Na różnej wysokości konstrukcja będzie znajdowała się w nieco innym temperaturowo otoczeniu i podlegać będzie w związku z tym nieco innym napięciom, zmieniającym się również wraz z upływem czasu. Z tego powodu wymaga się od przegród zewnętrznych bazy dużej wytrzymałości na skurcz i zmęczenie.
6. Ponieważ atmosfera marsjańska jest wyjątkowo rzadka, nie absorbuje tak szybko ciepła przez konwekcję. Z tego względu w niewielkim stopniu będzie odbierała ciepło



Rysunek 3.9: Chmury nad marsjańskim biegunem północnym (NASA)



Rysunek 3.10: Zmienność siły wiatru w zależności od wysokości nad terenem (Pathfinder Weather Data 1997)

z wnętrza habitatu. Ma to wpływ na sposób projektowania termoizolacji. W pomieszczeniach ze stale pracującymi urządzeniami wydzielającymi dużo ciepła, wystąpić może problem z pozbywaniem się nadmiaru ciepła. Konieczna może się wtedy okazać specjalna wentylacja. Rozmieszczanie obok siebie przestrzeni o różnym stopniu nagrzania może ułatwiać utrzymywanie równomiernego rozkładu temperatur w habitacie.

Wiatry

Atmosfera marsjańska jest bardzo rzadka. Mimo to na Czerwonej Planecie mogą występować wiatry, osiągające czasami znaczne prędkości i na tyle silne, by unosić pył powierzchniowy do góry na duże wysokości.

Kluczową przyczyną powstawania wiatrów na Marsie są sublimacje i kondensacje dwutlenku węgla (głównego składnika atmosfery) następujące pod wpływem zmian temperatury (Tillman 1998a). Na kształtowanie się wiatrów na Marsie wpływa w głównej mierze rzeźba terenu. Nie ma tu zbiorników wodnych, które na Ziemi są w stanie wyhamowywać silne podmuchy. Przez to fluktuacje kierunków wiatrów są mniejsze i pogoda jest bardziej przewidywalna. Skutkiem tego stanu rzeczy jest również to, że bardzo silne wiatry mogą pędzić na znaczne odległości praktycznie w ogóle niezatrzymywane, unosząc duże ilości pyłu powierzchniowego i powodując burze pyłowe ogarniające nawet całą planetę. Nim taka burza się uspokoi, może minąć wiele miesięcy (Mars Climate NASA 2006).

Dane dotyczące m. in. globalnego zachowania się wiatrów na Marsie pochodzą głównie z amerykańskich orbiterów Viking, 2001 Mars Odyssey i Mars Global Surveyor. Z tego powodu, że oś obrotu Marsa nachylona jest pod podobnym kątem co oś obrotu Ziemi, mamy do czynienia z podobnym podziałem na strefę międzyzwrotnikową, strefy umiarkowane i strefy okołobiegunowe. W strefie międzyzwrotnikowej występują odpowiedniki ziemskich pasatów, w strefach umiarkowanych wiatry mają kierunki bardziej zróżnicowane, z dominującym zachodnim. Wiatry w strefach podbiegunowych mają bardzo charakterystyczny rysunek spiral rozchodzących się od biegunów, który odczytać można na podstawie chmur, których masy unoszą się nad nimi w okresie lata i sublimują znaczne pokłady dwutlenku węgla i wody (Rys. 3.9).



Rysunek 3.11: Artystyczna wizja wiru pyłowego na Marsie (GSC NASA 2004)

Badania przeprowadzone przez amerykańskie lądowniki Viking i Pathfinder zostały przeanalizowane i opublikowane w różnych dokumentach NASA. Dostarczyły one ważnych informacji dotyczących lokalnego zachowania się wiatrów. Pathfinder wyposażony był w trzy czujniki mierzące kierunek i siłę wiatru umieszczone na różnych wysokościach ponad gruntem. Ze zdjęć wynika, że nie wszystkie trzy naraz ulegały odchyleniom, co wskazuje na zróżnicowanie wiatrów pod względem wysokości nad powierzchnią gruntu (Rys. 3.10). Bardzo duża zmienność prędkości i kierunku wiatru zarejestrowana została przez Pathfinder'a w pierwszych solach jego pobytu na Marsie. Nocą wiało z południa, nad ranem – z zachodu, we wczesnych godzinach popołudniowych – z północy, a pod wieczór – ze wschodu. Poranne wiatry były najsilniejsze (50 km/h), zaś najslabiej wiało późnym popołudniem (25 km/h). Nocne wiatry najprawdopodobniej były zimnymi masami powietrza marsjańskiego schodzącego ze wzgórz Ares Valley, na których północnym krańcu wylądował Pathfinder. Potem zaczynały wiać dominujące w tej strefie wiatry zachodnie, w ciągu dnia temperatura wzrastała i wiatry słabły, zaś później pojawiała się wieczorna bryza - podobna do tej, którą znamy z Ziemi. Duże wahania kierunku i prędkości wiatru, które powtarzają się cyklicznie przez kilka kolejnych dób, pokazują, że w danym miejscu mogą występować w ciągu jednego sola wiatry o zupełnie innej charakterystyce (Pathfinder Weather Data 1997).

Średnia prędkość wiatrów na Marsie wynosi 36 km/h. Zwykle osiągają one niewielką siłę, a ich prędkość nie przekracza 100 km/h. Tylko w czasie wielkich burz pyłowych na Marsie wiatry mogą wiać z prędkością 100 - 160 km/h. Ponieważ atmosfera marsjańska jest niezwykle rzadka, parcie nawet bardzo szybkich wiatrów na Marsie byłoby znacznie słabiej odczuwane przez człowieka niż na Ziemi.

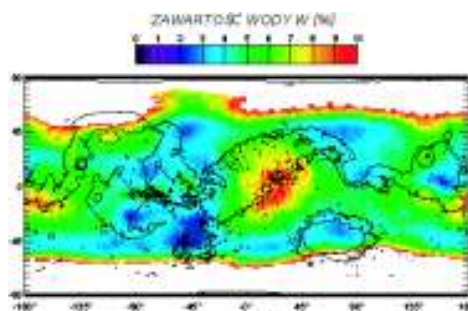
Na Marsie występują wiry pyłowe (Rys. 3.11), tzw. *dustdevils*, odpowiedniki ziemskich tornad, ale o znacznie mniejszej skali. Ich średnica waha się od 10 do 100 m, zaś prędkość – od 32 do 96 km/h. Mogą być wysokie na kilometr lub więcej. Takie trąby powietrzne są dość pospolite na Marsie. Drobiny pyłu krążące w wirze powietrznym ocierają się o siebie, silnie ogrzewają i elektryzują. Mniejsze cząstki pyłu unoszą się w górnej części tornada i elektryzują ujemnie, większe zaś i cięższe pozostają w dolnej części wiru i elektryzują się dodatnio. Powstaje w ten sposób ogromna bateria generująca pole elektromagnetyczne (GSC NASA 2004).

Wpływ wiatrów na architekturę

1. Mimo swej siły, wiatry na Marsie nie są tak niebezpieczne nawet w czasie burz pyłowych, ponieważ atmosfera jest bardzo rzadka. Konstrukcje nie muszą być specjalnie wytrzymałe na siłę parcia wiatru. Określenie jednak kierunku najsilniejszych wiatrów na wybranym na lokalizację bazy miejscu może być pomocne w przypadku projektowania obiektu o nierównomiernym rozkładzie ciężkości, np. z powodu występowania kilku kondygnacji w wybranych częściach budowli.
2. Ze względu na elektrostatyczne ładowanie się drobin pyłu unoszących się w atmosferze (szczególnie w dużej ilości w czasie burz), zewnętrzna powierzchnia budowli powinna mieć dużą oporność elektryczną.
3. Zewnętrzna okrywa bazy musi być wyjątkowo wytrzymała na ścieranie i gładka, tak by drobiny pyłu marsjańskiego jej nie zniszczyły i nie osadzały się na niej. Jest to szczególnie ważne w przypadku przegród przezroczystych i okien, które należy intensywnie chronić przed zabrudzeniami.
4. Wskazane jest unikanie powstawania lub tłumienie dźwięków związanych z „deszczem” drobin pyłu w czasie silnych wiatrów i burz.
5. Ponieważ na Marsie występują zmienne wiatry nawet w ciągu doby, konstrukcja powinna być wytrzymała na ich działanie ze wszystkich stron. Określenie kierunku, z którego wieją najintensywniejsze wiatry, pozwala na ustalenie najbezpieczniejszego rozmieszczenia drzwi wejściowych do bazy oraz okien. Uwzględnić bowiem należy, z której strony konstrukcji przewidywane jest największe nagromadzenie warstwy pyłu. Umieszczenie słuz wejściowych po stronie zawietrznej zabezpieczy je przed nawiewaniem dużych ilości pyłu. To samo dotyczy wejść do budynków magazynowych czy garaży.
6. Wiatry zależą od szerokości geograficznej oraz rzeźby terenu. Zlokalizowanie bazy na otwartym płaskim terenie wiąże się z dużym prawdopodobieństwem występowania tam szczególnie silnych wiatrów. Stopień zagrożenia działalnością intensywnych wiatrów jest wyższy na obszarze półkuli południowej, ponieważ to właśnie tam wiosną i latem zdarzają się najgroźniejsze burze pyłowe.
7. Wiry powietrzne są pospolite na Marsie, ale są obszary, na których pojawiają się częściej. Ze względu na zagrożenie dla ludzi idących po powierzchni planety czy podróżujących w pojazdach, podobnie też dla łazików, miejsca występowania marsjańskich minitornad powinny być unikane przy wyborze terenu na założenie bazy. Elektromagnetyczne właściwości tych wirów mogą mieć także negatywny wpływ na różne urządzenia w bazie lub nawet spowodować ich zepsucie. Na terenach zagrożonych występowaniem tornad rozważane mogą być praktycznie tylko bazy podziemne, dobrze odizolowane od środowiska powierzchniowego.
8. Na obszarze, gdzie występują silne wiatry, jest dużo pyłu w powietrzu. Jest to związane w kolei z zaciemnieniem nieba. Na Marsa dociera zaledwie 45% promieniowania w zakresie widzialnym, jakie dochodzi do Ziemi. Dodatkowe zmniejszenie natężenia promieniowania na powierzchni związane jest z dodatkowym obniżeniem komfortu psychicznego mieszkańców bazy.



Rysunek 3.12: Chmury nad Noctis Labyrinthus (Viking Orbiter Views of Mars, NASA)



Rysunek 3.13: Mapa występowania wody na Marsie (Los Alamos National Laboratory)

9. Wybierając na lokalizację bazy miejsce ze zróżnicowanym krajobrazem, trzeba uwzględnić mniejszą przewidywalność pogody, jako że rzeźba terenu ma znaczący wpływ na uwarunkowania pogodowe.

Woda

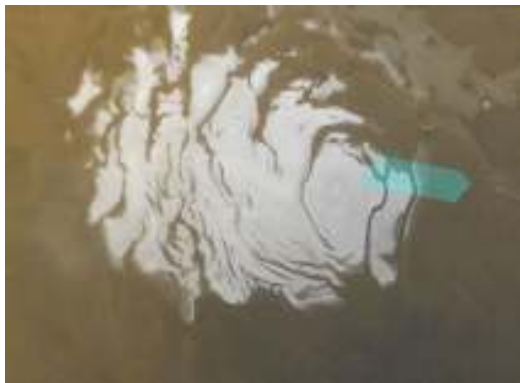
Na Marsie woda w stanie ciekłym nie występuje – jest nietrwała. Przy panującym tam układzie ciśnienia i temperatury może istnieć tylko para wodna lub lód. Warunki te ulegają zmianie dopiero na pewnych głębokościach pod ziemią.

Para wodna stanowi ok. 0,13 % atmosfery, co daje 1-2 km³ na całą planetę, gdy na Ziemi mamy ok. 13000 km³. Mimo tak niewielkich ilości pary wodnej, może ona tworzyć chmury wodne, nisko leżące mgły lub warstwy przymrozku na powierzchni gruntu. Para wodna utrzymuje się na niższych wysokościach (do 20 km) niż lotny dwutlenek węgla. Chmury wodne zaobserwować można przede wszystkim w zimowe poranki (Rys. 3.12). Zimą jest wystarczająco zimno, by woda mogła w ogóle resublimować z atmosfery. Kiedy robi się cieplej za dnia, znowu do niej powraca (Titov 2002).

Wyniki obserwacji przeprowadzonych za pomocą neutronowego spektrometru umieszczonego na orbiterze Mars Odyssey przez naukowców z Los Alamos wskazują na to, że na Marsie są wystarczająco duże ilości wody, by wspierać ludzką eksplorację. Zbadano zawartość wody w gruncie na głębokość paru metrów. Ilość ta wystarczyłaby, by pokryć całą planetę trzynastocentymetrową warstwą cieczy. Niżej mogą znajdować się kolejne pokłady wody (Ambrosiano i Danneskiöld 2005).

Już powyżej 35° szerokości geograficznej północnej i południowej mamy duże ilości lodu. Od około 55° szerokości geograficznej, ku biegunom, Mars ma ziemie bardzo bogate w wodny lód. Około 50% ich masy to woda. Gdyby podgrzać kilogram takiego gruntu, otrzymalibyśmy pół kilo ciekłej wody. W okolicach równika występują dwa obszary bogate w wodę. Tam jej masowa zawartość w gruncie sięga 2-10%. Pierwszy teren znajduje się w Arabia Terra z centrum w Kraterze Schiaparelli. Drugi bogaty w wodę obszar znajduje się po przeciwnej stronie kuli marsjańskiej. Ma centrum w Locus Planum i jest dwa razy mniejszy od pierwszego (Ambrosiano i Danneskiöld 2005). Tereny te można rozpoznać po czerwonym kolorze na mapie przedstawionej na Rys. 3.13.

Marsjański grunt jest bogaty w zeolity, gliny i siarczany magnezu – są to minerały, które mogą zawierać znaczne ilości wody. Chemicznie zaabsorbowały one wodór i przechowują go od milionów lat w postaci wody. Skały w strefie międzyzwrotnikowej pochodzą



Rysunek 3.14: Czapka lodowa na biegunie południowym (NASA/JPL/MSSS)



Rysunek 3.15: Warstwa lodu o grubości 200 m pokrywa dno krateru marsjańskiego (ESA)

najprawdopodobniej z czasów, kiedy kąt nachylenia osi obrotu planety wynosił 35° , a nie około 24° – jak dziś. W tamtych czasach woda mogła zamarzać na niższych szerokościach geograficznych. Na razie nie wiadomo, na jaką głębokość sięgają wodonośne skały, zatem ilość wody na Marsie może być ogromna (Ambrosiano i Danneskiöld 2005).

Różne formy terenu wskazują na występowanie w historii planety wody płynącej na powierzchni. Są to sieci dużych i małych kanałów. Wyżłobienia w stokach wzgórz niegdyś mogły powstawać pod wpływem spływających po nich strumieni, dziś formują się one najprawdopodobniej pod wpływem przesuwania się w dół kryształków lodu znajdujących się tuż pod niewielką warstwą gruntu, kiedy jego temperatura się podnosi (NASA 2003a).

Na Marsie występują grube pokrywy lodu wodnego i dwutlenku węgla, głównie na biegunach, w formie czapek lodowych (Rys. 3.14), a także jako lodowce na dnach kraterów (Rys. 3.15). Na Marsie lód jest często dość stabilny dzięki stale utrzymującym się tam niskim temperaturom, szczególnie w miejscach zacienionych. W okolicach bieguna północnego przez cały rok panują temperatury ujemne, dlatego tam pokrywa lodowa nigdy nie zanika, zaś na biegunie południowym może odparować niemal cała czapka lodowa w czasie ciepłego lata.

Wpływ wody na architekturę

1. Na Marsie jest wystarczająco dużo wody, by zapewnić jej zapasy w bazie z miejscowych zasobów. Należy przewidzieć na nią zbiorniki magazynowe.
2. Ponieważ woda do życia jest niezbędna, baza musi znajdować się w pobliżu dużych jej zasobów. Miejsce jej lokalizacji wyznaczają tereny z gruntem wodonośnym: Terra Meridiani i Locus Planum, ewentualnie obszary w strefie okołobiegunowej lub zacienione zbocza. W grę wchodzi także inne obszary, o ile w przyszłości odkryje się tam znaczne ilości wody na większych, ale również w miarę łatwo dostępnych głębokościach.
3. Lód nadaje się na materiał budowlany na Marsie na terenach, gdzie stale panują temperatury ujemne. Pobierać go można z okolic biegunów i lodowców. Można również pozyskiwać go ze skał wodonośnych, szronu powierzchniowego lub pary wodnej zawartej w atmosferze.



Rysunek 3.16: Bazaltowa skała Adirondack sfotografowana przez Spiritę (NASA)



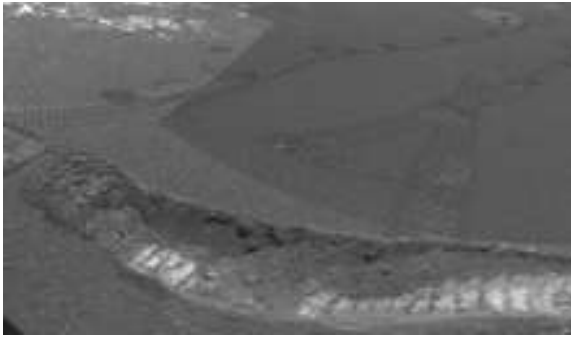
Rysunek 3.17: Hematyt w gruncie marsjańskim (NASA)

4. W przypadku szerokości geograficznych, na których w cieplejsze sole lód wodny na Marsie sublimuje, przy wykorzystywaniu go jako materiału budowlanego trzeba się liczyć z zapewnieniem mu szczelnego przykrycia od strony zewnętrznej.

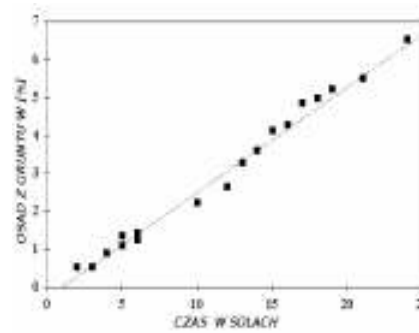
Regolit

Regolit marsjański to zewnętrzna warstwa litosfery, którą tworzą luźne kamienie powierzchniowe i grunt (ASEB 2002). Powierzchnia Marsa usłana jest grubą warstwą gruzu skalnego, składającego się z odłamków skalnych (Rys. 3.16), drobnych piasków i pyłów (Nawara 1980). Jest to efekt silnego wietrzenia, spowodowanego dużymi dobowymi wahaniami temperatury oraz działalnością wiatru. Jak pisze Taylor (2002), większość powierzchni Marsa pokrywa bardzo drobny, czerwony pył. Wyściela on zagłębienia terenu lub tworzy gnane przez wiatr wydmy. Grubość jego warstwy może być bardzo duża i wynosić nawet ponad kilka metrów. Te fragmenty planety, które są odsłonięte, mają zwykle ciemny, prawie czarny kolor. Badania przeprowadzone przez orbiter Mars Global Surveyor świadczą o tym, że są to skały pochodzenia wulkanicznego. Wykazały to także badania wszystkich łazików marsjańskich. Jak piszą Kraft i in. (2002), wyróżniono dwa typy skał wulkanicznych na Marsie: S1 i S2. Typ S1 to bazalt, bardzo zbliżony składem do swego ziemskiego odpowiednika. Drugi typ – S2 porównywany jest do ziemskiego andezytu, choć ma on także cechy bazaltu, dlatego czasem nazywa się go andezytobazaltem. **Bazalt** jest najbardziej powszechną skałą w naszym Układzie Słonecznym, występuje jeszcze na Wenus, Merkury, Księżycu, a także na niektórych asteroidach (Taylor 2002). Bazalty to skały wulkaniczne o strukturze bardzo drobnoziarnistej, zwarte i bardzo zwarte. Po przetopieniu mają one bardzo dużą twardość i jest trudnościaralny. **Andezyt** to skała magmowa o strukturze porfirowej i kolorze szarym, brunatnym, zielonym lub czarnym. Jest on słabszy niż bazalt. Na Ziemi znajduje zastosowanie jako materiał w budownictwie i dekoratorstwie, również jako substancja kwasoodporna. Skały andezytowe stosunkowo łatwo wietrzeją, dając gleby gliniaste, zasobne w składniki pokarmowe dla roślin (głównie wapń i magnez).

Bazalty i andezyty oraz ich gruz skalny powszechnie występują na całej kuli marsjańskiej, przy czym bazalty dominują na starszym geologicznie południu, a andezyty są bardziej charakterystyczne dla młodszej północy. Jednorodność geologiczna na Marsie wynika z tego, że nie ma tu śladów fałdowań górotwórczych oraz przyrody. Nieciągłe uskoki charakterystyczne dla skorupy marsjańskiej są wynikiem pęknięć skał bazaltowych kurczących się przy



Rysunek 3.18: W lekkim gruncie marsjańskim utworzyły się wyraźne ślady łazika (NASA/JPL)



Rysunek 3.19: Prędkość osiadania pyłu na panelach słonecznych Sojournera (Landis i Jenkins 1997)

krzepnięciu (Nawara 1980).

W czasie erupcji hydrowulkanicznych, w których dochodzi do interakcji magmy z wodą powierzchniową lub podziemną, powstają konkretne formy terenu zbudowane ze skały o nazwie tuf (Marti i Ernst 2005). Na Marsie odkryto wiele małych form terenu pochodzenia hydrowulkanicznego, przypominających ziemskie stożki tufowe (Fagents i in. 2002). Pokłady tufu odkładać się mogą również przy zwykłych wybuchach wulkanów. Tuf to rodzaj lekkiej, zwęzłej, zazwyczaj porowatej skały osadowej. Składa się on głównie z piasku i popiołu wulkanicznego scementowanego spoiwem krzemionkowym lub ilastym. Tufy to skały jednocześnie łatwo urabialne i wytrzymałe.

W niektórych miejscach na Marsie spotkać można rozrzucone na dużym obszarze niewielkie srebrne kulki. Są to kuliste odmiany hematytu (Rys. 3.17), charakterystyczne również na niektórych ziemskich pustyniach (NASA 2004a). Hematyt to minerał będący jedną z rud żelaza, który można przetapiać.

Grunt marsjański to mieszanina bardzo małych drobin pyłu i cząstek wielkości ziaren piasku, pochodzących z procesów wietrzenia skał wulkanicznych. Badania pyłu marsjańskiego w atmosferze wskazują, że drobinę mają raczej kształt spłaszczonych płytek, jak lepkiej gliny, a nie form o identycznych wymiarach przestrzennych, czyli np. kul, jak rzeczno-piasku (Markiewicz i in. 1999). Na Marsie odkrywa się tereny szczególnie bogate w gliniaste pokłady gruntu. Powstały one najprawdopodobniej dzięki działalności wody (MRO NASA 2006). Lekkość gruntu najlepiej potwierdzają zdjęcia śladów, jakie zostawiają łaziki marsjańskie (Rys. 3.18). Z dotychczasowych badań nie wynika, by zawierał on jakiegokolwiek substancje organiczne. Nie przypomina też żadnej znanej na Ziemi odmiany gleby (ASEB 2002). Grunt marsjański zawiera głównie krzemiany, tlenki żelaza, także wapnia, magnezu, glinu i siarki. Podobieństwo w jego składzie w miejscu lądowania obu Vikingów 1 i 2 oraz Pathfinder'a świadczy o tym, że działalność wiatru powoduje przemieszczenie i homogenizację gruntu na całym obszarze Marsa (Morris 1999, Haberle 2000).

Pył marsjański to niewielkie cząstki gruntu zalegające na powierzchni planety oraz zawieszone w atmosferze. Średnica pyłów atmosferycznych to ok. 1-3 mikrometrów; maksymalnie 10 mikronów. Ilość pyłów w atmosferze wzrasta podczas sezonowych burz pyłowych, ale nawet w spokojnych okresach jest go wystarczająco dużo, by zabarwić niebo w charakterystycznym pasteloworóżowym odcieniu. Zgodnie uznaje się, że pył wszędzie jest taki sam, bo równomiernie roznosi go wiatr. Ma on właściwości magnetyczne i zawiera duże ilości żelaza (JPL NASA 2005). Nawet w czasie kiedy nie ma burz pyłowych, wiatry są w

Tablica 3.1: Skład mineralogiczny skał marsjańskich

minerał	udział procentowy w jedn. sześcienn- nej gruntu
SiO_2 (kwarc)	44,0%
Fe_2O_3 (hematyt)	17,0%
MgO	9,0%
Al_2O_3	10,0%
CaO	5,5%
SO_3	5,5%
Na_2O	4,0%
TiO_2	1,0%
K_2O	0,7%
MnO	0,5%

Tablica 3.2: Skład pierwiastkowy skał marsjańskich

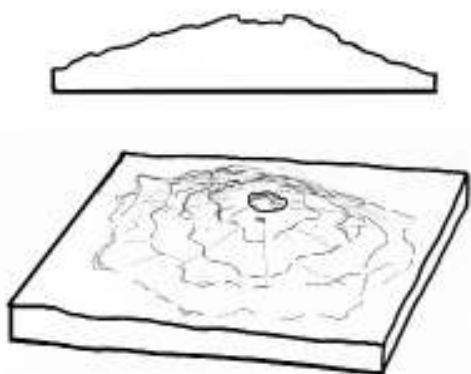
pierwiastek	udział procentowy w jednostce sze- ścienniej gruntu
O	43,0%
Si	20,6%
Fe	14,0%
Al	5,4%
Mg	5,3%
Ca	3,8%
Na	3,2%
S	2,2%
P	1,2%
Cl	0,6%
K	0,6%
Ti	0,6%
Mn	0,4%
Cr	0,3%
Ni	0,1%

stanie przesuwac pyły po powierzchni planety, zakrywając w ten sposób przeszkody warstwą gruntu lub tworząc wydmy. W przypadku Sojournera „górką” pyłu zbierała się na nim z prędkością 0,39% każdego sola (Landis i Jenkins 1997). Objaśnia to wykres przedstawiony na Rys. 3.19. Pył marsjański jest drobny i łatwo wciska się nawet w najmniejsze szczeliny. Nie jest za to tak ostry, i przez to niebezpieczny, jak pył księżycowy (Science NASA 2005).

Średnia gęstość gruntu marsjańskiego to ok. $1,2 \text{ g/cm}^3$ (Haberle 2000). Zawiera prawie wyłącznie pięć elementów: tlen, krzem, żelazo, magnez i wapń, związane w postaci tlenków. Przybliżony skład mineralogiczny gruntu marsjańskiego, ustalony na podstawie próbek pobranych przez lądowniki Viking oraz Pathfinder pokazuje Tab. 3.1, a przybliżony skład pierwiastkowy gruntu marsjańskiego – Tab. 3.2 (JPL NASA 2005).

3.2. Ukształtowanie terenu

Powierzchnia Marsa jest równa w przybliżeniu powierzchni wszystkich lądów na Ziemi. Występują tam różne formy terenu, niektóre podobne do tych znanych z naszej planety. Ukształtowanie terenu na Marsie jest bardzo zróżnicowane, podobnie jak na Ziemi. Nie ma tam za to odgrodzeń lądów w postaci zbiorników wodnych czy przecięć rzecznych. Krajobraz marsjański kształtował się przez miliony lat, by uzyskać obecny wygląd. Głównymi czynnikami, które brały udział w tym procesie były: działalność wiatrów, działalność wody, erupcje wulkanów oraz upadki meteorów. Obecnie powierzchnia Marsa nie ulega dużym zmianom, tylko wiatry przenoszą pyły, formując wędrujące wydmy. Nie występuje działalność sejsmiczna, a wulkany uważa się za wygasłe. Większość wody wyparowała wiele lat temu. Krajobraz można uznać za statyczny i mało prawdopodobne jest, by samoistnie uległ zmianom w najbliższym czasie. Na podstawie zebranych danych określone zostały podsta-



Rysunek 3.20: Wulkan marsjański: przekrój, aksonometria



Rysunek 3.21: Olympus Mons – wulkan marsjański (NASA)



Rysunek 3.22: Wnętrze ziemskiej jaskini lawowej (Wikipedia 2007)



Rysunek 3.23: Światlik w kanale lawowym, tzw. „hornitos” (Frederick 1999)

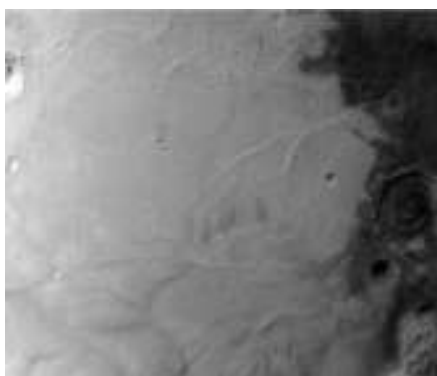
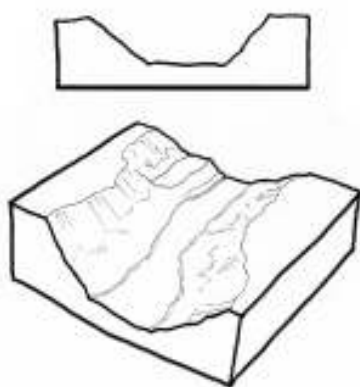
wowe typy ukształtowania terenu na Marsie. Autorka sporządziła ich charakterystykę na podstawie informacji zamieszczonych na internetowych stronach NASA i ESA. Kolejne charakterystyczne formacje terenu na Marsie zostały przedstawione w formie krótkiego opisu, przekroju i szkicu wycinka fragmentu terenu. Dokumentację dopełniają zdjęcia wykonane przez sondy marsjańskie (głównie Mars Express, ESA i Mars Observer, NASA).

Formacje terenu na Marsie

Formy terenu występujące na Marsie można sklasyfikować jako kilka zasadniczych grup: wulkany, równiny, doliny, zbocza i kratery. W ramach tych grup wymienić można różne typy, jak opisano dokładniej poniżej.

Wulkany: Wyróżnić można trzy typy wulkanów na Marsie: *mons*, *tholus* i *patera* (Caplinger 1994b). Są to wulkany tarczowe¹. Charakteryzują się one łagodnie opadającymi zboczami o zaledwie kilkuprocentowym spadku (Rys. 3.20 i 3.21). Ukształtowała je powoli spływająca lava. Na zboczach wulkanów tarczowych często powstawały kanały lawowe, będące pozostałością po bąblach powietrza zamkniętych przez spływającą lawę (Nawara 1980). Ze

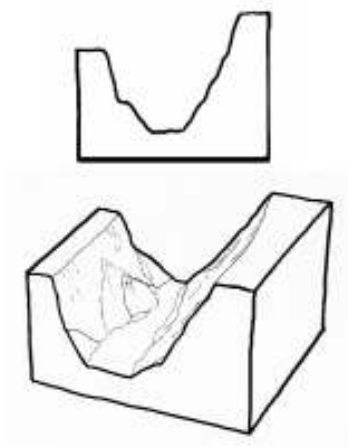
¹Typowych dla Ziemi stożkowych wulkanów na Marsie nie zaobserwowano.

Rysunek 3.24: *Hellas Planitia* (NASA)Rysunek 3.25: *Lunae Planum* (NASA)Rysunek 3.26: *Vallis*: przekrój, aksonometriaRysunek 3.27: *Dao i Niger Valles* (ESA)

względu na genezę powstania jaskinie znajdują się zwykle dość płytko pod powierzchnią, choć zależy to też od ich typu. Szczegółowe rozróżnienie typów kanałów lawowych przedstawia Frederick (1999). Mają zwykle spłaszczony kształt, dzięki czemu są przestronne, a sklepienie nie znajduje się zbyt wysoko. Światło dzienne dostaje się do wnętrza przez otwór wejściowy oraz świetliki, zwane *hornitos* (Rys. 3.23) (Frederick 1999). Najbardziej spłaszczone i jednocześnie najrozleglejsze są *paterae*. Są to najstarsze formacje wulkaniczne na Marsie. *Montes* są nieco mniej spłaszczone. Należą do nich najwyższe góry Marsa i jednocześnie Układu Słonecznego. Na planecie jest ich kilka; najbardziej znany *mons* to Olympus Mons, który ma ok. 27 km wysokości i 550 km średnicy. Kaldera ma 80 km szerokości. *Tholus* to mały wulkan tarczowy. Również ma on łagodne zbocza, ale zaokrąglają się one na obwodzie, dając wzniesieniu formę zbliżoną do spłaszczonej kopuły (Caplinger 1994b).

Równiny: Równiny na Marsie występują na różnych wysokościach. Te nisko położone noszą nazwę *planitia*. Niziny na Marsie to przeważnie bardzo rozległe tereny. Charakterystyczne są dla półkuli północnej i pokrywają większą jej część (Rys. 3.24). *Planum* to płaskowyż, przeważnie zakończony stromymi zboczami. *Plana* mają mniejszą powierzchnię niż *planitia* i występują przede wszystkim w pasie międzyzwrotnikowym (Rys. 3.25).

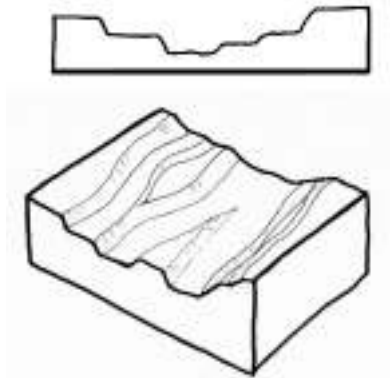
Doliny to (najprawdopodobniej) pozostałości po działalności wody niegdyś płynącej na Marsie. Mogą mieć one różny wygląd. Doliny marsjańskie najbardziej przypominające ziem-



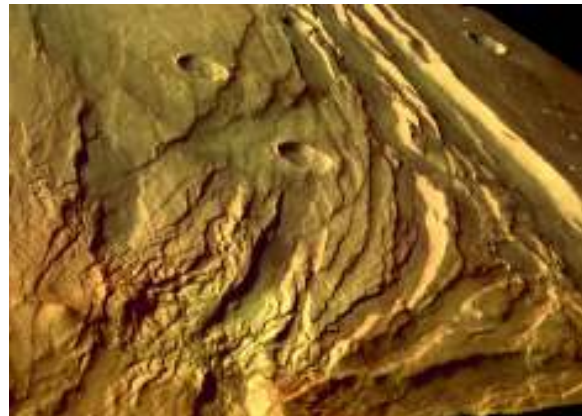
Rysunek 3.28: Chasma: przekrój, aksonometria



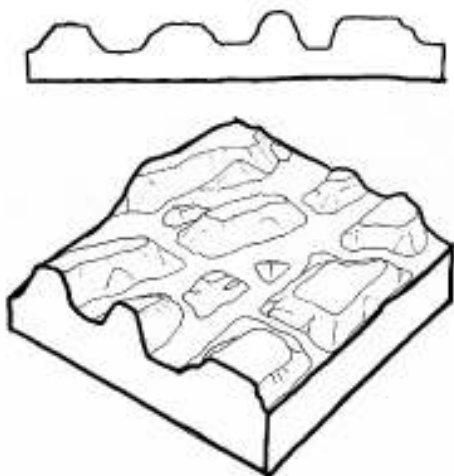
Rysunek 3.29: Coprates Chasma (ESA)



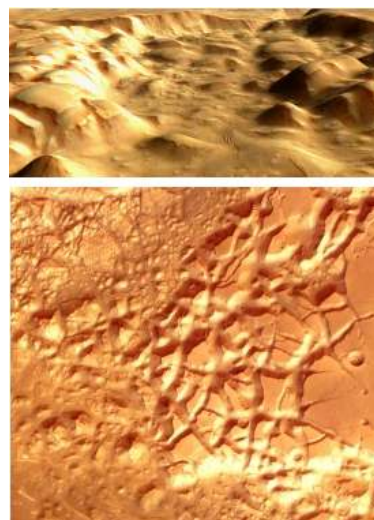
Rysunek 3.30: Fossa: przekrój, aksonometria



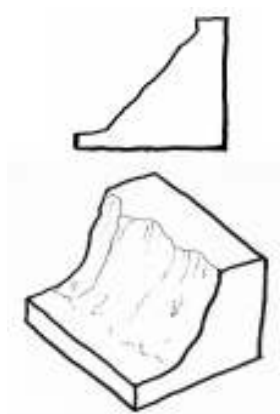
Rysunek 3.31: Claritas Fossae (ESA)



Rysunek 3.32: Chaos: przekrój, aksonometria



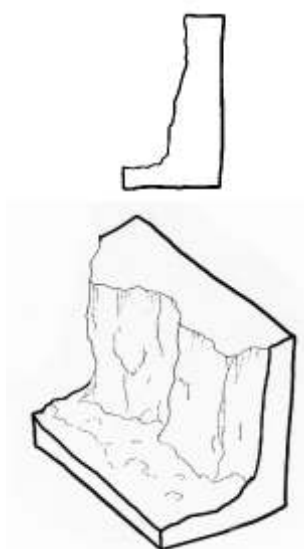
Rysunek 3.33: Aureum Chaos: perspektywa fragmentu obszaru, widok z orbity (ESA)



Rysunek 3.34: *Rupes*: przekrój, aksonometria



Rysunek 3.35: *Rupes* na *Claritas Fossae* (ESA)

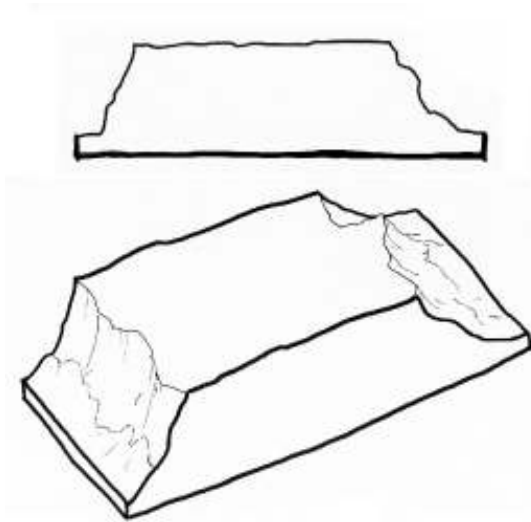


Rysunek 3.36: *Scopulus*: przekrój, aksonometria

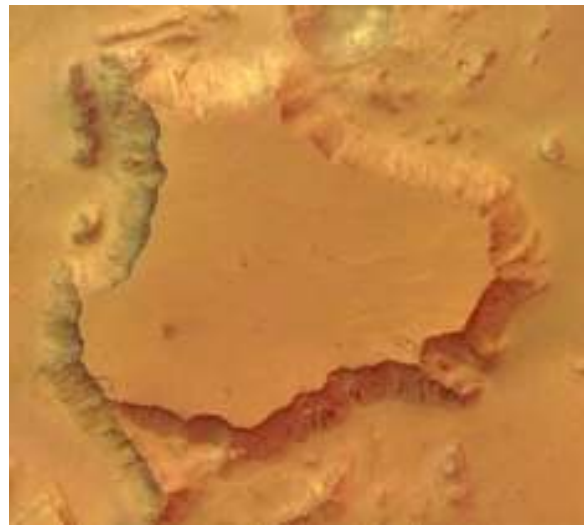


Rysunek 3.37: *Scopulus* na Marsie (NASA)

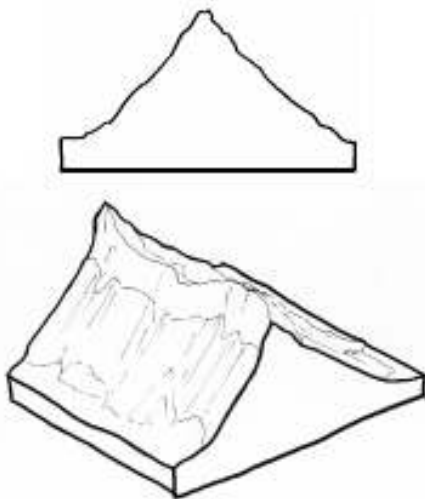
skie doliny rzeczne o dość łagodnie opadających zboczach noszą nazwę *valles* (Rys. 3.26, 3.27). Oprócz tego rozróżnić należy jeszcze *chasmata* i *fossae*. *Chasma* to bardzo głęboka wydłużona dolina o stromych zboczach; odpowiednik ziemskiego kanionu (Rys. 3.28, Rys. 3.29). *Fossa* to wydłużona i stosunkowo płytka dolina. *Chasma* to najgłębszy typ doliny. Występuje najczęściej samodzielnie, zaś *fossa* układa się często w zbiorowiska równoległych względem siebie lub promieniście rozchodzących się zagłębień terenu (Rys. 3.30, 3.31). Bardziej skomplikowane, często także przecinające się systemy dolin rozdzielonych wzgórzami czy wałami tworzą *chaos* i *labyrinthus* (Rys. 3.32, 3.33). Najlepiej poznane doliny marsjańskie są bardzo głębokie i szerokie, np. *Valles Marineris* ma głębokość do 7 km i szerokość do 200 km. Często ich dna pokryte są grubą warstwą pyłu. Na zboczach występować mogą eoliczne osuwiska. Oprócz tego na Marsie jest też wiele mniejszych dolin, które nie są tak niebezpieczne.



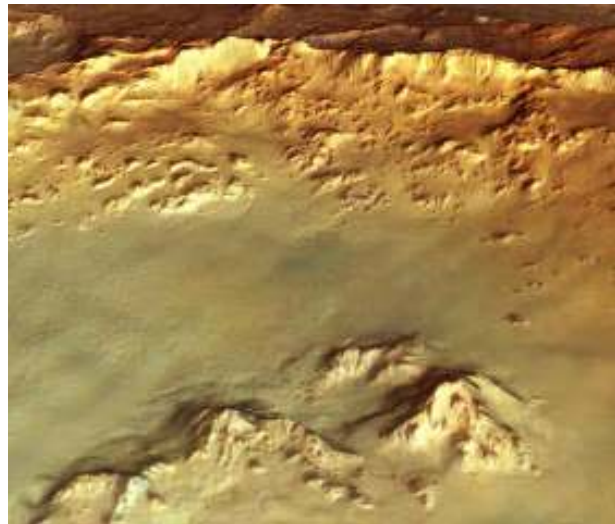
Rysunek 3.38: Mensa: przekrój, aksonometria



Rysunek 3.39: Mała mensa na Marsie (ESA)



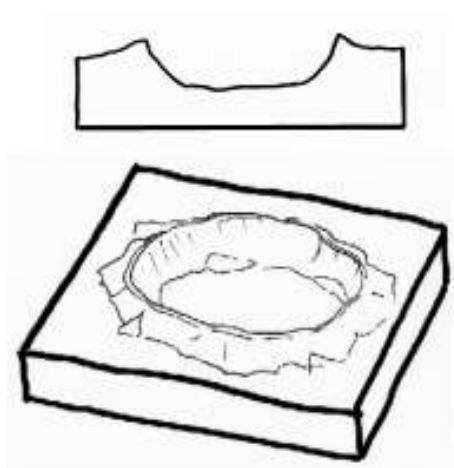
Rysunek 3.40: Wzgórza: przekrój, aksonometria



Rysunek 3.41: Wzgórza Krateru Hale (ESA)

Zbocza występujące na Marsie w zależności od linii skraju zbocza, dzieli się na: *rupes* – prosta stroma skarpa, klif (Rys. 3.34) i *scopulus* – skarpa o nieregularnej linii skraju zbocza (Rys. 3.36 i 3.37). Te nagłe, strome zapadnięcia terenu przypominają ziemskie formacje tektoniczne. Potrafią się ciągnąć kilometrami. Mogą one występować samodzielnie lub w pobliżu innych formacji terenu (np. dookoła Olympus Mons występują *rupes* wysokie na 4 km, Rys. 3.21). Na Rys. 3.35 pokazane są klify na terenie Claritas Fossae. *Mensa* to płasko zakończone wzniesienie otoczone dookoła zboczami klifopodobnymi (Rys. 3.38, 3.39). Zbocza mogą też być fragmentami wzgórz. Czasem są one strome (Rys. 3.40, 3.41). Zwykle jednak z powodu większej podatności na działanie wiatru, są bardziej zwietrzałe i zaoblone.

Krater (*crater*) pokrywają znaczną część globu marsjańskiego. Najwięcej znaleźć ich można na półkuli południowej. Są niemal wszechobecne. Te okrągłe zagłębienia terenu, powstałe przy upadkach meteorów, mogą mieć różną średnicę – od bardzo małej (ślady



Rysunek 3.42: Duży krater: przekrój, aksonometria



Rysunek 3.43: Krater Dunefield (ESA)

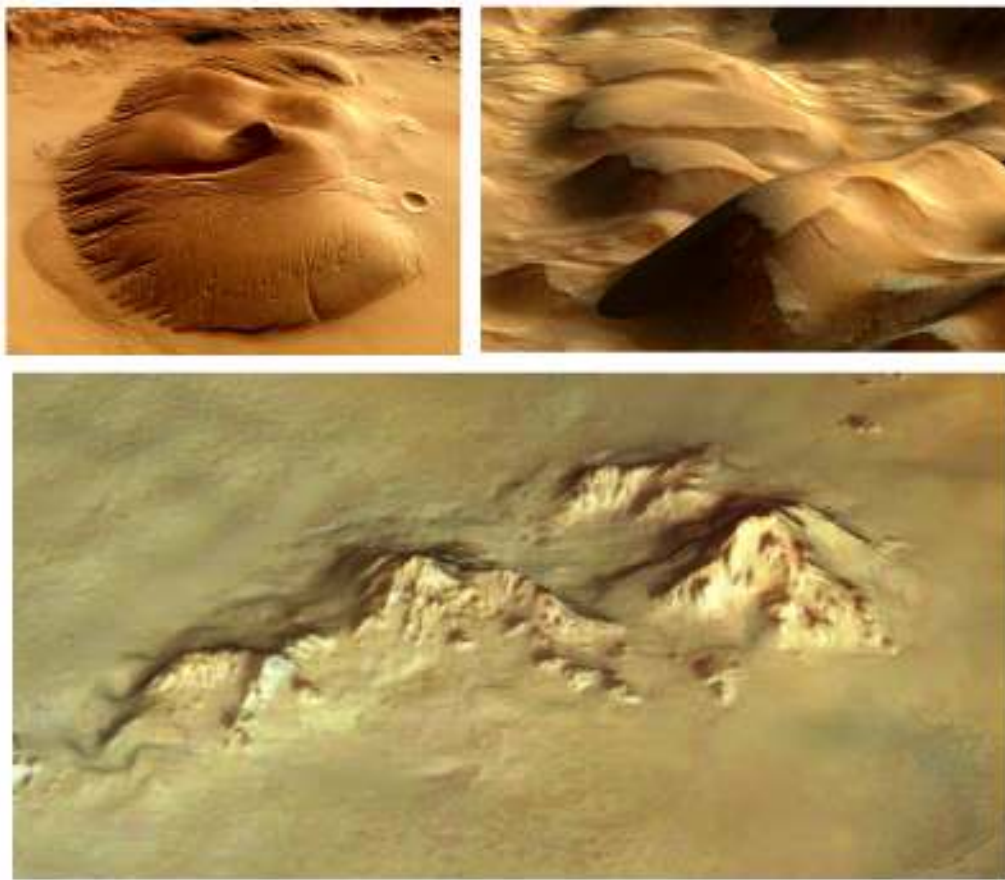
niewielkich meteorów) aż po olbrzymią – takie jak Hellas czy Argyre Planitia. Czasem jeden krater nachodzi na drugi. Charakterystyczny jest przekrój kraterów marsjańskich, niepodobnych do tych, jakie znane są np. z Księżyca. Mianowicie, wyglądają one tak, jakby meteor, który je utworzył, wpadł na błotnisty teren. Dna dużych marsjańskich kraterów są dosyć płaskie i równe, pokryte warstwą pyłu (Rys. 3.42, 3.43). Mniejsze kraterki mają zaokrąglony przekrój (Caplinger 1994a).

Opisane powyżej formy terenu zajmują w terenie stosunkowo dużą lub bardzo dużą powierzchnię. Definicje, schematy i zdjęcia pozwalają ogólnie zapoznać się ze strukturą skorupy marsjańskiej. Jednak w skali bazy mieszkalno-robotycznej będzie się trzeba odnieść do małych fragmentów tych formacji, które wyglądać mogą rozmaicie. Na podstawie fotografii wykonanych przez sondy marsjańskie zrobione zostały trójwymiarowe obrazy pokazujące fragmenty form terenu w zbliżeniu. Widać na nich zróżnicowanie w sposobie ukształtowania wzgórz, skarp i kraterów.

Wzgórza marsjańskie mogą tworzyć pojedyncze formacje, grupy lub pasma. Mogą mieć zbocza o różnym nachyleniu i być mniej lub bardziej wygładzone przez wiatr. Można dostrzec, że na danych terenach dominuje któryś kierunek wiatru, ponieważ pasmo wzgórz po jednej stronie ma łagodniejsze zbocza, a po drugiej – bardziej strome i mniej na nich zwietrzeliny. Na Rys. 3.44 pokazano różne rodzaje wzgórz: kopulaste, stołowe i strome poszarpane. Wzgórza najczęściej można spotkać na dnie dużych kraterów i dolin.

Zbocza rzadko są skaliste, zwykle występują na nich osuwiska zwietrzeliny, ich rzeźba jest wtedy bardziej wygładzona. Pokazuje to, że działalność wiatru i osady pyłowe zmieniają obraz skarp. Osuwiska wyglądają na niebezpieczne. *Valles* mają często nieregularną strukturę. Rzadko występują jako pojedyncze doliny. Częściej są to grupy dolin ze sobą sąsiadujących, rozdzielających się, kluczących, z poszerzeniami, wzgórzami lub pagórkami na ich dnie. W jednej części ich zbocza mogą być bardzo strome, proste, w innej – opadać kaskadowo, a jeszcze dalej – łagodnie. Zdjęcia różnych zboczy pokazano na Rys. 3.45.

Kraterki nie zawsze znajdują się na płaskim terenie, lecz czasem rozciągnięte są w zagłębienia lub nachodzą na siebie, tworząc bardziej skomplikowane formy. Mniejsze kraterki mają bardziej regularną budowę i jest ich więcej, często ze sobą sąsiadują. Na Rys. 3.46 widać różne ich przykłady: regularny krater, krater o nieregularnym ciągłym obwodzie i



Rysunek 3.44: Różne przykłady wzgórz na Marsie (ESA)

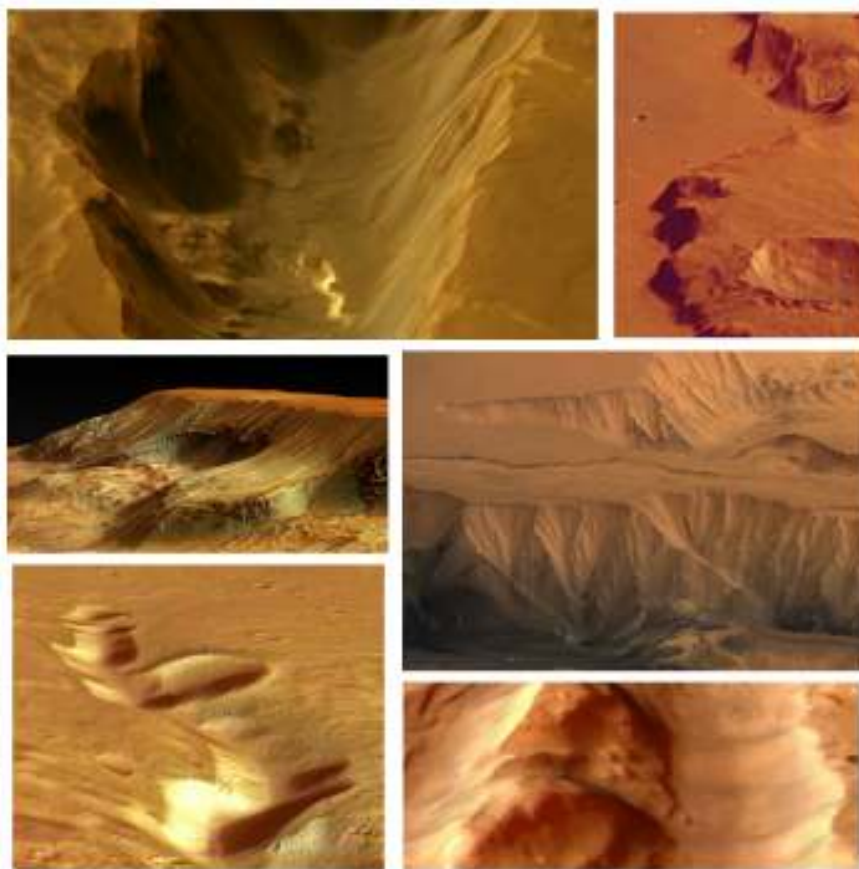
stromych zboczach, krater eliptyczny i wielki krater o bardzo nieregularnym, poszarpanym, przerywanym obwodzie, poprzecinany mniejszymi kraterami.

Wpływ ukształtowania terenu na architekturę bazy marsjańskiej

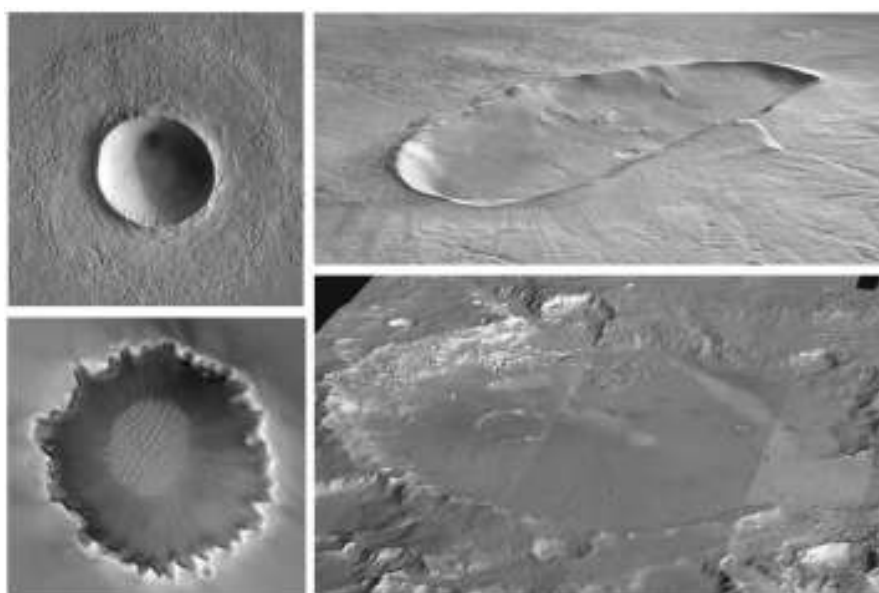
Architektura w różny sposób może odnosić się do ukształtowania terenu, dlatego rozpatrywane są trzy grupy koncepcji baz marsjańskich:

1. Uzależnione od topografii, odwołujące się do konkretnych form, niewymagające przekształceń terenu (Rys. 3.47 A).
2. Wpisane w krajobraz oraz wymagające przekształceń terenu (Rys. 3.47 B).
3. Niezależne od ukształtowania terenu (Rys. 3.47 C).

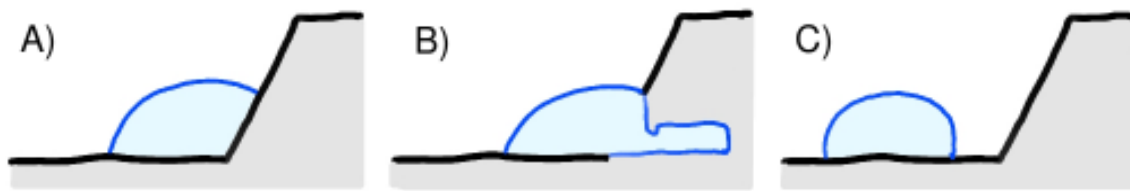
Pierwsza grupa jest zbiorem takich przypadków, gdzie wykorzystuje się ukształtowanie terenu do zastosowania konkretnego rozwiązania. Wykorzystywane są walory zastanej sytuacji. Rezygnacja z prac mających na celu przystosowanie terenu pod budowę wiąże się z zaoszczędzeniem czasu i pieniędzy. Również unika się konieczności sprowadzania specjalnych maszyn. Często jednak takie rozwiązanie powoduje, że uzyskiwana powierzchnia mieszkalna nie jest wystarczająco duża czy ergonomicznie ukształtowana. Najlepszym przykładem takiego wykorzystania terenu bez jego przekształceń jest umieszczenie konstrukcji



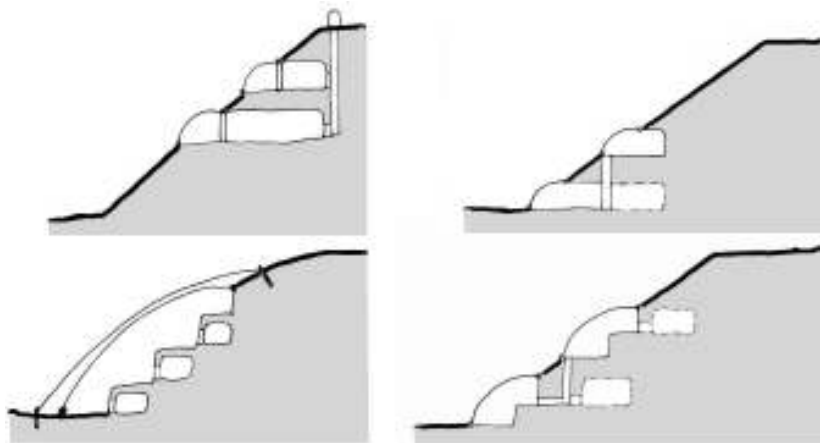
Rysunek 3.45: Marsjańskie zbocza (ESA)



Rysunek 3.46: Przykłady kraterów marsjańskich (po lewej wg NASA, po prawej wg ESA)



Rysunek 3.47: Różne sposoby odniesienia się architektury do ukształtowania terenu: A) wpasowana w istniejący krajobraz, B) wpisana w krajobraz z przekształceniami, C) niezależna



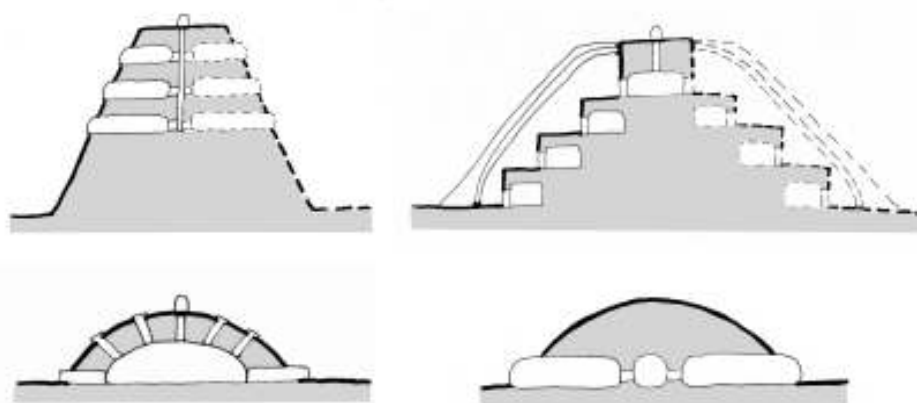
Rysunek 3.48: Szkicowe koncepcje wielokondygnacyjnej bazy zlokalizowanej w zboczu z wejściem u góry lub u podnóża zbocza

bazy w otoczeniu wzgórz osłaniających przed wiatrami, a co za tym idzie – nagłymi zmianami temperatury. Innym pasującym tu rozwiązaniem jest umieszczenie bazy wewnątrz tunelu lawowego na zboczu wulkanu.

W drugiej grupie znajdują się takie koncepcje, które wpisują się w krajobraz i zależne są od jego ukształtowania, ale wymagają przekształceń terenu. Prace ziemne mogą być prowadzone na dużą lub małą skalę. Przekształcenia terenu mają zwykle na celu takie powiększenie powierzchni habitatu, które zwiększy komfort oraz ergonomiczność wnętrza. Kubatura nie jest tak sztywno określona przez formę terenu; staje się przez to bardziej przyjazna człowiekowi oraz jego sposobowi gospodarowania przestrzenią.

Niektóre rozwiązania architektoniczne są względnie niezależne od ukształtowania terenu. Poprzez ich zastosowanie nie trzeba ograniczać się co do miejsca lokalizacji bazy. W koncepcjach z trzeciej grupy wykorzystuje się różne technologie, a prace ziemne są lub nie są potrzebne. Jest to zatem dość bogaty zbiór. Za to wykonanie takich baz wymaga zwykle większego nakładu pracy oraz materiałów.

Baza w terenie płaskim: Można uznać, iż taka baza w niewielkim stopniu uzależniona jest od ukształtowania terenu, choć na pewno łatwiej będzie ją zlokalizować na półkuli północnej, gdzie dominują równiny. Baza może być wykonana na powierzchni lub wydrążona pionowo w głąb, pod powierzchnię terenu.



Rysunek 3.49: Schematyczne koncepcje wielokondygnacyjnej bazy zlokalizowanej we wzgórzu

Zalety:

- łatwo przygotować teren pod budowę,
- dobre nasłonecznienie,
- dobre miejsce na lądowisko raket w sąsiedztwie,
- łatwy dojazd do bazy z wszystkich kierunków,
- duże pole widzenia.

Wady:

- teren nieosłonięty od wiatru; wystawienie na działanie burz pyłowych i nawiewanie pyłu na budowlę,
- duże zapotrzebowanie na materiały budowlane.

Baza na zboczu (Rys. 3.48): W zależności od sposobu ukształtowania zbocza, jego kąta nachylenia i wysokości, architektura może być różnorodnie wpisana. Zbocze przede wszystkim oferuje płaszczyznę, w której można wykonać okna lub przegrody przezroczyste przy jednoczesnym ukryciu przestrzeni użytkowej w wydrążonej skale. Wiele zboczy na Marsie jest bardzo wysokich, więc trudno byłoby zagospodarować je na całej wysokości. Trzeba wtedy zdecydować się na wejście u góry lub u podnóża zbocza. Zbocze też zwykle nie ciągnie się prostoliniowo, lecz wiję lub ostro zakręca. Może zostać to wykorzystane jako osłonięcie przed wiatrami lub na przebiecia tak, by doświetlić podziemne komory z dwóch lub trzech stron.

Zalety:

- szerokie pole widzenia z okien w zboczu,
- częściowe schronienie przed wiatrem i pyłem,
- ochrona przed promieniowaniem (wewnątrz zbocza).

Wady:

- nasłonecznienie zależy od ustawienia zbocza względem kierunków stron świata.

Baza wewnątrz wzgórza (Rys. 3.49): Może być kształtowana podobnie do baz na zboczu, jeśli wybrane wzgórze tworzy pasmo ze zboczami z dwóch stron. Na Marsie występują też zbocza kopulaste. Można zagospodarować je wtedy nieco inaczej, uzyskując bazę bardziej scentralizowaną niż w przypadku podłużnego zbocza.

Zalety:

- bardziej zwarty habitat,
- mniejsze zapotrzebowanie na mnogość kondygnacji niż w przypadku zbocza dzięki otwarciu na dwie strony wzgórza,
- szerokie pole widzenia.

Wady:

- nasłonecznienie zależy od ustawienia zbocza względem kierunków stron świata,
- szerokość wzgórza dyktuje rozpiętość korytarzy i ogranicza zasięg naturalnego doświetlenia.



Rysunek 3.50: Schematyczne koncepcje bazy zlokalizowanej w kraterze i dolinie



Rysunek 3.51: Schematyczne koncepcje bazy zlokalizowanej w terenie chaotycznym

Baza w dolinie lub kraterze (Rys. 3.50): O ile dolina jest wystarczająco wąska lub krater ma odpowiednio małą średnicę, można ich dna uszczelnąć tak, by stały się częścią łączącą ze sobą przeciwległe zbocza, które pełnić będą funkcję ścian zewnętrznych habitatu lub które skrywać będą podziemne komory i tunele użytkowe.

Zalety:

- dobra ochrona przed wiatrami i burzami pyłowymi,
- zbocza doliny mogą pełnić funkcję ścian
- niepotrzebne zewnętrzne przegrody pionowe po bokach bazy.

Wady:

- gorsze nasłonecznienie (w zależności od głębokości i szerokości doliny),
- gromadzenie się pyłu,
- wyjście z bazy na dno doliny; potrzebne dodatkowe rozwiązanie z wejściem do góry.

Baza w terenie chaotycznym (Rys. 3.51): Dzięki zgrupowaniu w *chaosie* wielu wzgórz, można wykonać tu bazę rozbudowaną, wieloczęściową. Część bytowa może być rozmieszczona w licznych dolinach przecinających się ze sobą lub przetykać może wiele wzgórz dając sieć przestrzeni lepiej naturalnie doświetlonych oraz przestrzebu lepiej chronionych przed promieniowaniem.

Zalety:

- struktura może być zwarta, koncentryczna,
- dużo możliwości w sterowaniu kierunkiem oświetlenia naturalnego - okna mogą wychodzić na różne strony świata, możliwe atria,
- urozmaicona forma,
- ochrona przed wiatrem.

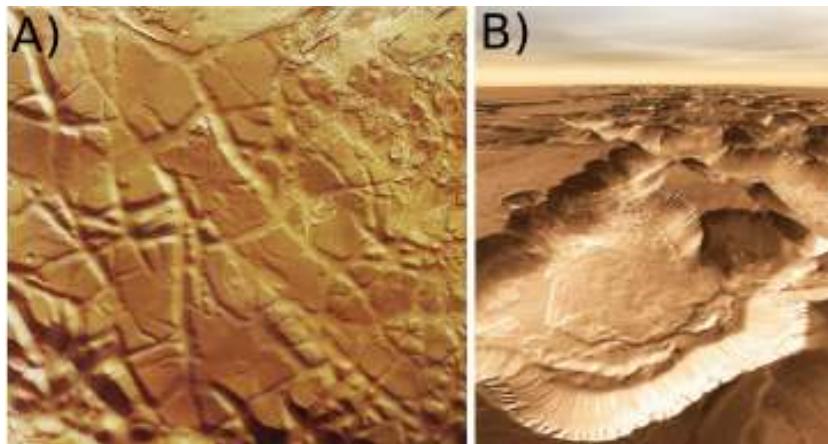
Wady:

- trudny dojazd do bazy,
- ograniczone pole widoczności,
- brak ciągłości w zabudowie, jeśli przejścia między wzgórzami nieuszczelnione.

W zależności od terenu, w jaki wpisywana jest baza marsjańska, może ona posiadać inne zalety i wady, jak opisano powyżej. Powiązanie architektury z konkretną formacją wymusza prawidłowe jej dobranie na mapie Marsa, np. wzgórze powinno być otwarte na południe i stronę zawietrzną. W niektórych przypadkach wystarczy stworzyć samo szczelne zadaszenie, by uzyskać nadającą się do zagospodarowania kubaturę. Zapotrzebowanie na materiały budowlane w tym przypadku jest minimalne, ponieważ większość zewnętrznych elementów konstrukcyjnych jest już zapewniona w postaci masywnych zboczy.

Wnioski dla architekta

1. Określone zostały dominujące formy terenu na Marsie. Rozpoznano ich charakterystyczny wizerunek i przekrój. Na tej podstawie można wykonać projekt koncepcyjny bazy mieszkalno-roboczej na wybranym rodzaju terenu. Każde miejsce na planecie jest wyjątkowe i do sporządzenia szczegółowego projektu bazy marsjańskiej konieczne jest zapoznanie się dobrze z konkretną lokalizacją wybraną pod zabudowę.
2. Wykorzystywanie ukształtowania terenu do budowy bazy marsjańskiej wydaje się bardzo ekonomiczne, ponieważ formacje skalne mogą pełnić funkcję niektórych elementów konstrukcyjnych, np. ścian osłonowych lub nośnych. Do wykonania obiektu architektonicznego wystarcza wtedy znacznie mniejsza ilość materiałów budowlanych. Umieszczenie bazy w całości wewnątrz formacji terenu zmniejsza tę ilość do minimum.
3. Łatwiejsze i lepiej funkcjonujące naturalne doświetlenie pomieszczeń podziemnych zapewnić można w przypadku bazy w zboczu, wzgórzu czy na terenie chaotycznym. Na obszarze płaskim konieczne byłoby albo specjalne wyżłobienie zboczy, co wpłynęłoby na wzrost kosztów budowy lub zadowolić by się trzeba było świetlikami. Światło słoneczne dochodziłoby wtedy wprawdzie szybami, ale nie dawałoby one widoku na okolicę tak jak okna w zboczu.
4. Zbocza na Marsie wyglądają rozmaicie. Jedne z nich pokryte są zwietrzeliną i ulegają ciągłemu kruszeniu się. Inne są mocniejsze, o bardziej stabilnym przekroju. Te drugie lepiej nadają się na wykonanie w nich bazy, ponieważ dają mniejsze zagrożenie powstawaniem osuwisk. Łatwiej je też przygotować pod budowę, gdyż nie są tak zapyłone.
5. Na lokalizację bazy lepiej jest wybierać te zbocza, które osłaniają przed wiatrem, a nie są wystawione na jego działanie. Lepiej będą chronić przed zimnem i zabrudzeniami pyłem.
6. Baza w zboczu może mieć zapewnione okna tylko z jednej strony. Im większa liczba pomieszczeń z oknami będzie potrzebna, tym dłuższy będzie habitat. Wymaga to poświęcenia większej procentowo powierzchni na komunikację przy jednoczesnym wydłużeniu drogi ewakuacji z najdalszych miejsc w bazie. Problem ten rozwiązać można poprzez wybranie takiego odcinka zbocza, które ma fragment bardziej wypukły, wystający poza główną linię podnóża zbocza albo też zlokalizować bazę tam, gdzie zbocza są z dwóch stron. W tym drugim przypadku może to być po prostu wzgórze, pojedyncza forma terenu w *chaosie* lub zbocze sąsiadujące np. z kraterem.
7. Teren *chaosu*, a szczególnie *labyrinthusa* przypomina do złudzenia tkankę miejską (Rys. 3.52). Sieć dolin przecina rodzaj niewielkiego płaskowyżu, jakby powstały w nim pęknięcia. Obszary najbliższe centrum takiego terenu są zwykle najmniej zwietrzałe. Wąskie wąwozy łatwiej można uszczelnić, a w stromych, mało zniszczonych przez wiatr zboczach można wykonać komory mieszkalne z dużą ilością okien. Tereny chaotyczne i labirynty zapewniają najlepszą ochronę przed wiatrami. Dodatkowym atutem jest to, że *chaos* i *labyrinthus* występują w okolicach równika, gdzie jest cieplej. Jednak problemem okazać się może dostarczanie sprzętu na miejsce budowy.



Rysunek 3.52: *Labyrinthus Noctis*: A) widok z góry przypominający tkankę miejską (ESA); B) komputerowo stworzona perspektywa (NASA)

8. Na Marsie spotkać można wzgórza bardzo silnie zmienione w wyniku procesów eolicznych oraz niewielkie *thola* w kształcie spłaszczonych kopuł. Tego typu wzniesienia terenu można wykorzystać do wykonania scentralizowanej podziemnej bazy. Najmniejsze takie wzgórza pozwalałyby na wykonanie okien dookoła; w większych można by wykonać dodatkowo atrium w centrum Rys. 3.49.
9. Wydawałoby się, że najbezpieczniej jest zbudować bazę na równinach, gdyż łatwo tam wylądować rakietom transportowym. Trzeba jednak pamiętać, że równiny marsjańskie nie są idealnie płaskie. Tam również występuje m. in. wiele kraterów. Na równinach najłatwiej też tworzą się wiry pyłowe oraz gnane przez wiatr wydmy, które mogłyby być niebezpieczne dla konstrukcji habitatu.

Rozdział 4

Aspekt ludzki

4.1. Warunki przeżycia człowieka na Marsie

4.1.1. Problem przetrwania

Mars to obca planeta i panują na niej warunki znacznie odmienne od ziemskich (patrz: rozdział 3). Człowiek nie jest przystosowany do życia w takim środowisku:

- atmosfera jest tak rozrzedzona i uboga w tlen, że nie nadaje się do oddychania;
- brak wilgoci w atmosferze powodowałby szybkie wysuszenie skóry;
- brak wody ciekłej uniemożliwia bezpośrednie pobieranie wody do picia, higieny osobistej czy podlewania roślin uprawnych;
- niskie temperatury oraz częste drastyczne ich zmiany w krótkim czasie powodować mogą wyziębienie organizmu i zmniejszenie jego wytrzymałości;
- bardzo drobny szorstki pył marsjański zawieszony w atmosferze jest w stanie wnikać z powietrzem marsjańskim do płuc i powodować zadrapania nabłonka i uszkodzenia narządów wewnętrznych;
- naelektryzowane drobiny pyłu pędzące z dużymi prędkościami w czasie burz pyłowych mogą powodować otarcia skóry i nieprzyjemne wyładowania elektrostatyczne;
- przebywanie na powierzchni w czasie burz słonecznych grozi napromieniowaniem dawką śmiertelną lub silnie chorobotwórczą;
- długotrwałe wystawienie na działanie promieniowania kosmicznego na powierzchni Marsa (szczególnie na terenach wysoko położonych) może wywołać chorobę popromienną i zwiększyć podatność na zachorowanie na raka.

Być może występuje też na Marsie zagrożenie jakimiś substancjami chemicznymi, choć dotychczasowe badania nie potwierdzają takiej ewentualności (ASEB 2002). Także bierze się pod uwagę zagrożenia ze strony organizmów żywych, które mogą przebywać na planecie.¹

Na wiele sposobów można próbować chronić człowieka przed tymi zagrożeniami, zapewniając mu ochronę o różnym stopniu zaawansowania:

- (a) kombinezon marsjański;
- (b) pojazd załogowy (mpv);
- (c) schron tymczasowy;

¹Celem najbliższych misji planowanych m. in. przez NASA jest szukanie śladów życia na Marsie.



Rysunek 4.1: Kombinezon kosmiczny i projektowany marsjański (David 2005)



Rysunek 4.2: Księżycowy pojazd z misji Apollo 15 (NASA)



Rysunek 4.3: Model polskiego pojazdu mpv (Mars Society Polska)

- (d) mały habitat (stacja);
- (e) duży habitat (baza).

Kombinezon marsjański pozwalać będzie człowiekowi na spacer po powierzchni planety (ang. *EVA - Extra Vehicular Activity*). Prototypy nowoczesnych kombinezonów marsjańskich to kostiumy wykonane z lekkich elastycznych materiałów, które tworzyć będą cienką osłonę przylegającą do ciała i zapewniającą pełną fleksybilność i wygodę ruchów. Projektowany w MIT (Massachusetts Institute of Technology) Bio-Suit System dla kombinezonu marsjańskiego (David 2005) zakłada wplecenie w specjalną tkaninę stroju systemu sztucznych mięśni, który wzmacniać będzie siłę ludzkich mięśni oraz ich wytrzymałość w warunkach marsjańskich. Antyelektrostatyczna powłoka zewnętrzna powstrzymać będzie pył przed przyczepianiem się i osadzaniem na ubraniu. Mieszanka gazów do oddychania wtłaczana będzie pod odpowiednim ciśnieniem do hełmu oraz systemu rurek w kombinezonie aż do rękawic i butów szczelnie z nim połączonych. Taki lekki, łatwy w zakładaniu i zdejmowaniu strój będzie szyty na miarę na każdego członka załogi misji (Rys. 4.1).

Kombinezon marsjański projektowany przez zespół kanadyjskich naukowców składać się ma z wielowarstwowego, stosunkowo lekkiego materiału – masa całkowita kombinezonu to ok. 21 kg przy grubości materiału ok. 5 mm. Ma on zapewniać długotrwałą ochronę przed promieniowaniem kosmicznym i słonecznym, uszkodzeniem mechanicznym, chłodem i atmosferą zewnętrzną. Marcy i in. (2004) podają jego szczegółowy opis.

Kombinezon marsjański umożliwia bezpośrednie badanie Marsa i spacer po powierzchni planety. Ochrona, jaką oferuje, jest jednak zawsze ograniczona i czas, w jakim można go używać nie jest długi. Chodzi tu głównie o problem ilości tlenu, jaki można jednorazowo zabrać ze sobą, następnie o konieczność doładowywania lub wymiany baterii dla systemów utrzymujących sprawność skomplikowanego stroju, a wreszcie o ograniczoną ochronę przed promieniowaniem kosmicznym i niewystarczającą osłonę przed promieniowaniem słonecznym. Kombinezon nadaje się do spacerów po powierzchni w czasie sprzyjającej pogody, ale nie można w nim normalnie jeść, pić, myć się itp., dlatego nie nadaje się do ciągłego użytku i jest niewystarczający do długotrwałej eksploracji Marsa przez ludzi.

Ponieważ mobilność człowieka, szczególnie w terenie mu nieznanym, w środowisku ekstremalnym, jest ograniczona, zasięg jego również jest nieduży. Do eksploracji większego obszaru na Marsie potrzebny jest ludziom pojazd. Do pokonywania krótszych dystansów wystarczy małe auto podobne do tych, jakie używano w czasie misji Apollo (Rys. 4.2). Wtedy jednak ludzie przebywali na powierzchni księżyca tylko do paru dni, więc nie mo-

gli zbyt oddalać się od swego promu kosmicznego, który miał ich odwieźć z powrotem do statku Apollo czekającego na orbicie. Misje marsjańskie trwać będą dużo dłużej – wg założeń DRM – na eksplorację planety przeznaczone jest ok. 1,5 roku. Czas ten pozwala na penetrację większego obszaru Marsa. Potrzebny jest jednak do tego wyspecjalizowany pojazd. Pięć zespołów naukowców z całego świata (w tym jeden z Polski), należących do stowarzyszenia Mars Society, pracuje nad projektem jak najlepszego i jednocześnie ekonomicznego ciśnieniowego pojazdu marsjańskiego **mpv** (ang. *mars pressurized vehicle*). Wewnątrz pojazdu utrzymywana będzie sztucznie atmosfera zdatna do oddychania, a wchodzić się będzie do środka poprzez śluzę. Specjalna aparatura zajmować się będzie recyklingiem wody, powietrza i odpadków. Mpv przypominać będzie funkcjonalnie ziemski samochód turystyczny z częścią sypialną i kuchenną. Dzięki temu wyprawa tym pojazdem będzie mogła trwać wiele dni. Na Rys. 4.3 pokazany jest projekt polskiego pojazdu marsjańskiego (Mars Society 2007).

Jednak w czasie ekspedycji daleko od miejsca startu promu powrotnego, może się okazać, że załoga dotrze do interesującego terenu, który wymaga zbadania lub pobrania z niego próbek do analizy, ale pojazd nie może tam dotrzeć z powodu np. zbyt dużych nierówności terenu. Wtedy konieczne będzie zabranie na pieszą wycieczkę przenośnego **schronu**, podobnego np. do ziemskiego namiotu turystycznego. Schron taki będzie musiał być lekki, łatwy w montażu i w składaniu, aby był praktyczny. Jednocześnie powinien pozwalać na utrzymywanie w jego wnętrzu atmosfery zdatnej do oddychania oraz winien chronić przed wiatrem, pyłem i zimnem. Skoro jednak schron taki ma być przenoszony, musi mieć mały ciężar. Nie umożliwiłaby przez to przebywanie w nim przez długi czas, gdyż zapasy tlenu byłyby ograniczone. Potrzebny do tego jest **habitat** – czyli przyjazne człowiekowi miejsce do życia i pracy. W dzisiejszych planach eksploracji Marsa przewiduje się, że funkcję to spełni nieduży moduł (**stacja**). Będzie on większy, cięższy, bardziej skomplikowany niż namiot. Przez to dużo mniej będzie przystosowany do demontażu i przenoszenia go z miejsca na miejsce. Jednak komfort, jaki by zapewniał, mógłby być wystarczający do pełnienia przez niego funkcji domu i miejsca pracy dla całej załogi na okres pobytu na powierzchni planety. Moduł taki, funkcjonujący jako stacja marsjańska, przypominałby funkcjonalnie i gabarytowo stacje polarne i kosmiczne (patrz Rozdz. 5). Nie będzie to habitat zapewniający wysoki standard życia. Ze względu na swoją wielkość, zapewniałby ludziom bardzo ograniczoną, stresogenną przestrzeń bytowo-robotyczną. Prawdziwy komfort życia i pracy w ciągu długiego czasu eksploracji Marsa zapewniałaby dopiero w pełni wyposażona, duża i wygodna **baza**. Pracowałby w niej ten sam system podtrzymywania życia, co w mpv, schronie czy stacji, musiałby tylko być bardziej wydajny.

Wszystkie zagrożenia i niebezpieczeństwa, wynikające z charakterystyki środowiska zewnętrznego, wiążą się z różnymi wymaganiami względem habitatu na Marsie (niezależnie czy jest on mały - stacja, czy duży - baza):

- musi być w nim sztucznie wytwarzana atmosfera podobna do ziemskiej, umożliwiająca swobodne oddychanie;
- temperatura we wnętrzu nie powinna ulegać znacznym wahaniom (m. in. pod wpływem zmian zewnętrznych) i być komfortowa dla ludzi;
- ciśnienie i temperatura powinny pozwalać na utrzymywanie wody w stanie ciekłym;
- wnętrze powinno być pozbawione pyłu marsjańskiego oraz być z niego w razie potrzeby oczyszczane;

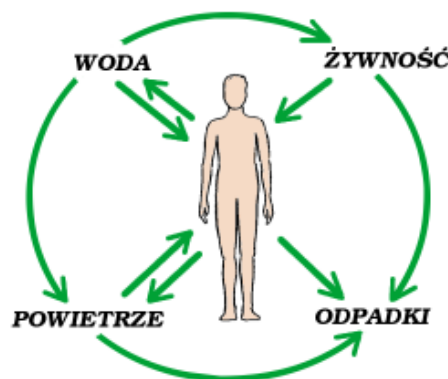
- we wnętrzach przeznaczonych do stałego i ciągłego przebywania w nich ludzi ilość promieniowania kosmicznego i słonecznego powinna być maksymalnie ograniczona;
- całość habitatu powinna być chroniona przed promieniowaniem słonecznym lub jego wydzielona część, np. w postaci schronu;
- wnętrza muszą być przystosowane do poruszania się w nich ludzi w warunkach obniżonej grawitacji.

4.1.2. System Podtrzymywania Życia – LSS

LSS to skrót od angielskiej nazwy *Life Support System*, co oznacza w polskim tłumaczeniu System Podtrzymywania Życia. Jak sama nazwa wskazuje, jest to taka kombinacja różnych urządzeń, które mają za zadanie umożliwić podtrzymywanie funkcji życiowych człowieka. System ten wykorzystywany jest w hermetycznej przestrzeni odciętej od otaczającego środowiska, w którym panują ekstremalne warunki. Potrzebny on zatem jest we wszystkich kosmicznych habitatach, w tym, w bazie na Marsie. LSS w sposób sztuczny naśladuje mechanizmy zachodzące w ziemskim ekosystemie, do którego przystosowany jest ludzki organizm. System ten zapewnia wszystko, co człowiekowi potrzebne jest do przetrwania: odpowiednie powietrze, czysta woda, żywność, dba on także o gospodarkę odpadkami. Ze względu na te cztery podstawowe zadania, jakie ma spełniać LSS, podzielono go na cztery podsystemy:

- Podsystem Zarządzania Atmosferą;
- Podsystem Zarządzania Wodą;
- Podsystem Zarządzania Żywnością;
- Podsystem Zarządzania Odpadkami.

Każdy podsystem tworzą różne urządzenia, które współpracują ze sobą, by osiągnąć wspólny cel, będący nadrzędnym zadaniem danego podsystemu. Same podsystemy również współdziałają ze sobą i są od siebie zależne, jako że wspólnie dbają o stworzenie właściwego środowiska życia w habitacie. Ekosystem ziemski w naturalny sposób samoistnie podlega recyklingowi — substancje zużyte przez jedne organizmy wykorzystywane są przez drugie. LSS wzoruje się na tych mechanizmach i naśladuje je w sposób sztuczny w małej kubaturze. Dodatkowo musi on ustosunkowywać się do obcego środowiska, np. konieczne jest sprawne



Rysunek 4.4: Schemat zależności podsystemów LSS

działanie w warunkach 0,38 g w przypadku Marsa. Schemat na Rys. 4.4 przedstawia zależność między człowiekiem a wszystkimi podsystemami LSS:

- z atmosfery człowiek pobiera tlen, oddaje dwutlenek węgla;
- człowiek pobiera czystą wodę, oddaje brudną i mocz;
- woda przekazywana jest do atmosfery w celu utrzymania odpowiedniej wilgotności;
- woda potrzebna jest do przyrządzania posiłków;
- człowiek pobiera żywność;
- odpadkami są: resztki żywności, zużyte opakowania, brud usunięty z wody oraz kał i mocz.

Podsystem Zarządzania Atmosferą: Zadania podsystemu (Dursap i Poughon 2001, Henninger i in. 1996): usuwanie dwutlenku węgla i dostarczanie tlenu - rewitalizacja atmosfery; kontrola składu chemicznego atmosfery; kontrola ciśnienia atmosfery; kontrola temperatury atmosfery; stały nadzór i kontrola jakości atmosfery (badanie występowania grzybów i bakterii oraz zanieczyszczeń) i wykrywanie dymu.

Ekosystem ziemski realizuje większość zadań regulujących zachowanie się atmosfery jako całości w konkretnych zakresach. Na dużą skalę atmosfera ziemska dostarcza ludziom tlenu, usuwa produkty metabolizmu (gazy w śladowych ilościach oraz dwutlenek węgla) i cały czas stanowi ośrodek, który reguluje temperaturę, ciśnienie i wilgotność poprzez fizyczne i biologiczne procesy². Dokładnie te same działania muszą przebiegać w zamkniętym ekosystemie, choć na mniejszą skalę. Jak pisze zespół Mars or Bust (2003, s.60) celem pracy podsystemu zarządzania atmosferą jest utrzymywanie w habitacie akceptowalnej dla człowieka atmosfery. System kontrolny temperatury dba o to, by utrzymywała się w habitacie wilgotność rzędu 25-70% (optymalnie 50%), a temperatura — między 18 a 26,7°C (optymalnie 21°C). Wymagane jest ok. 1 kg tlenu na osobę w ciągu dnia w atmosferze do oddychania, przy uwzględnieniu ewentualnych dodatkowych strat (utlenianie w środowisku dookoła). Zakładając, że podczas EVA pewne wycieki są nieuniknione, w kabinie wciąż musi utrzymywać się ciśnienie tlenu o wysokości 210 hPa w tolerancji od 195 do 230 hPa (Mars or Bust 2003). Urządzenia LSS kontrolują ciśnienia wszystkich gazów w atmosferze habitatu tak, aby nie przekraczały one progów normowych. Jak piszą Allen i in. (2003), atmosfera nie może składać się wyłącznie z tlenu (i wydychanego dwutlenku węgla), ponieważ byłaby bardzo rzadka. Zagrożenie ogniowe byłoby wysokie. Organizm ludzki nie funkcjonowałby dobrze w takiej jednorodnej atmosferze; miałby problemy z pobieraniem niewielkiej ilości tlenu – takiej, która nie jest toksyczna dla ciała. Dlatego konieczne jest wykorzystywanie gazów neutralnych, takich jak azot czy argon. Muszą być one specjalnie transportowane, aby uzupełniało się wycieki lub można je pobierać *in situ*, z lokalnych zasobów. Wymaga to dodatkowej aparatury.

Projektowana wartość ciśnienia w habitacie będzie podyktowana różnymi względami. Choć dla ludzi najodpowiedniejsze wydaje się ziemskie ciśnienie atmosferyczne (1013 hPa), to niższe jest przez nas także akceptowalne, co potwierdzają badania na Skylabie (patrz Rozdz. 5). Allen i in. (2003) wymieniają różne przyczyny konieczności utrzymywania atmosfery o mniejszej gęstości niż na Ziemi w habitacie kosmicznym. Im większa różnica między ciśnieniem w habitacie a na zewnątrz, tym:

- dłuższy czas przygotowania do EVA – tzw. *prebreathe time* – konieczny dla przystosowania się organizmu do innego typu ośrodka³;

²Choć warunki te zmieniają się wraz z wysokością nad poziomem morza i szerokością geograficzną.

³Jest to szczególnie poważny problem, kiedy z jakiegoś powodu konieczna jest szybka ewakuacja i

- bardziej wytrzymała musi być konstrukcja, by nie ulec rozerwaniu;
- większą pracę muszą wykonać urządzenia wytwarzające i utrzymujące atmosferę w habitacie, co wiąże się ze znacznym zużyciem energii;
- bardziej dotkliwe straty gazów przez konstrukcję i przez korzystanie ze śluz;
- więcej energii potrzebne do dekompresji śluz i ich ponownego napompowania powietrzem;
- dłuższy *prebreathe time*, co spowalnia wykonywanie zadań w czasie misji oraz co jest męczące dla człowieka psychicznie i fizycznie.

Jednocześnie jednak ciśnienie w habitacie nie może być zbyt niskie, gdyż:

- zła jest transmisja dźwięków (już dla ciśnienia poniżej 690 hPa), co powoduje trudności w komunikowaniu się (odnotowano to np. na stacji orbitalnej Skylab);
- większe jest zagrożenie pożarem;
- szybciej następuje oziębianie się ciała przez pocenie lub po prysznicu, kiedy skóra jest wilgotna;
- wolniej zagotowuje się woda, przez co wydłuża się czas przygotowywania jedzenia i picia, szczególnie gdy konieczne jest zabicie mikroorganizmów przez gotowanie (temperatura, w której ginie większość roślinnych bakterii wynosi 60°C, zaś bakterie odporne na gorącą wodę wymagają temperatury 120°C) (Allen i in. 2003).

Podsystem zarządzania atmosferą odpowiedzialny jest także za usuwanie różnych niepożądanych gazów, dymu i zanieczyszczeń (kurzu, rodników grzybów, bakterii itp.). Zakłada się, że na jedną osobę przypada 0,85 kg dwutlenku węgla dziennie – wydychanego oraz stanowiącego produkt uboczny technologiczny działającej w habicie aparatury. Ludzie, materiały i urządzenia w habicie generują różnorodne substancje organiczne i nieorganiczne, które dostają się do atmosfery wewnętrznej – np. amoniak, tlenek azotu, metan, etylen i benzen – w stanie gazowym. Muszą one być przechwytywane, by ich poziom w atmosferze nie przekraczał normowych ograniczeń SMAC - Spacecraft Maximum Allowable Concentrations, które wynoszą kolejno: 7 mg/m³, 0,9 mg/m³, 3800 mg/m³, 340 mg/m³ i 0,2 mg/m³ (Mars or Bust 2003).

Na Ziemi pożary w końcu same ulegają zmniejszeniu i ugaszeniu. Jednak w zamkniętym środowisku, trzeba szybko reagować, by ugasić ogień, a najlepiej jest nie dopuścić do jego powstania. Pożar wiąże się z zagrożeniem zdrowia i życia ludzi, uszkodzeniem aparatury oraz utratą cennego tlenu. Na Podsystem Atmosfery składają się z tego względu także urządzenia wykrywające dym w razie pożaru (Mars or Bust 2003).

Podsystem Zarządzania Wodą: Zadania podsystemu (Dursap i Poughon 2001, Henninger i in. 1996): dostarczanie wody pitnej, do higieny, do przygotowywania żywności i do celów gospodarczych (uzdatnianie zużytej wody z kanalizacji oraz produkcja przy wykorzystaniu reakcji chemicznych); zapewnianie odpowiedniej wilgotności atmosfery; monitoring jakości, czystości i składu dostarczanej ludziom wody i uzupełnianie zapasów wody.

Jak pisze zespół Mars or Bust (2003, s.70) głównym zadaniem systemu zarządzania wodą jest dostarczanie wody pitnej i do mycia dla członków załogi przez cały czas trwania misji. Zakłada się, że dla sześciuosobowej załogi potrzebne jest ok. 4 l wody pitnej i 23,5 l wody do mycia dziennie. Woda może być poddawana recyklingowi lub być pobierana z miejscowych zasobów marsjańskich. Jakość jej musi spełniać wymagane standardy czystości.

długotrwałe korzystanie ze śluzu nie jest możliwe.

Woda musi być badana na zawartość mikroorganizmów i w razie czego z nich oczyszczana, by nie dopuścić do zagrożenia zdrowia załogi. Monitoring musi być prowadzony przez cały czas ze względów bezpieczeństwa.

Podsystem Zarządzania Żywnością: Zadania podsystemu (Dursap i Poughon 2001): dostarczanie żywności; przygotowywanie żywności; magazynowanie żywności i kontrola jakości i skażenia.

Podsystem Zarządzania Żywnością ma za zadanie odpowiednio przechowywać żywność – np. w postaci suszu lub w zamrażarkach. Jeśli jest on przysposobiony do pozyskiwania żywności, posiada wiele elementów pomocnych w uprawie roślin lub hodowli zwierząt. Zająć może wtedy nawet kilka pomieszczeń. W jego skład wchodzić będą maszyny rolnicze, pojemniki z uprawami lub zagony, pojemniki do przechowywania nasion, pojemniki potrzebne przy zbiorach, a także odpowiedni system oświetlenia. W skład zadań tego podsystemu wchodzi również pomoc w przygotowywaniu żywności do spożycia (Dursap i Poughon 2001). Chodzi tu o urządzenia typu robot kuchenny, mikrofalówka, czajnik elektryczny itp.

Podsystem Zarządzania Odpadkami: Zadania podsystemu (Dursap i Poughon 2001, Henninger i in. 1996): zbieranie i przechowywanie odpadków stałych; zbieranie i przetwarzanie uryny; magazynowanie wody nieodnawialnej; segregacja ze względu na przydatność do recyklingu i przetwarzanie odpadków.

Podsystem Zarządzania Odpadkami odpowiada za właściwe gromadzenie, przechowywanie i przetwarzanie odpadków stałych, ciekłych i gazowych. Trafiają do niego resztki jedzenia, zużyte opakowania, zużyte filtry, gazy wychwycone przez Podsystem Zarządzania Atmosferą, uryna, kał, zużyta woda do higieny oraz spożywania, kurz i inne. W różny sposób można tymi odpadkami zarządzać: inaczej należy przechowywać te odpadki, które nie nadają się do przetworzenia, a inaczej te, które mają podlegać recyklingowi. Podsystem ten ma również za zadanie kierowanie różnych odpadków do urządzeń lub miejsc służących do ich przetwarzania (Dursap i Poughon 2001). Im więcej odpadków udaje się przetworzyć, tym mniej potrzeba miejsca na ich magazynowanie. Unika się też wtedy sposobności zanieczyszczenia Marsa.

4.1.3. Źródła zasobów dla podtrzymywania życia

Są cztery rodzaje źródeł zasobów potrzebnych do podtrzymywania życia w habitacie marsjańskim: zapasy, regeneracja fizykochemiczna, bioregeneracja i utylizacja zasobów miejscowych. Każde z nich ma swoje wady i zalety oraz każde z nich działa na nieco innych zasadach, co ma wpływ na architekturę bazy – jej układ funkcjonalny oraz ilość i rodzaj pomieszczeń.

Zapasy Jest to źródło zasobów potrzebne do podtrzymywania życia wykorzystywane w dotychczasowych misjach kosmicznych. Jest to najprostszy sposób na dostarczenie żywności, wody i tlenu mieszkańcom habitatu pozaziemskiego, ponieważ nie wymaga specjalnych urządzeń, a tylko magazyny. Jednak takie rozwiązanie możliwe jest do zaakceptowania wyłącznie w przypadku krótkotrwałych misji (Drysdale i in. 2003). Im dłużej ludzie mają przebywać poza Ziemią, tym więcej zasobów do życia potrzebują. Po pierwsze, małe habitaty nie dysponują przestrzenią na duże magazyny. Po drugie, wiele produktów żywnościowych nie ma tak długiego okresu gwarancji przydatności do spożycia. Wreszcie po trzecie, im

większa masa tych zapasów, tym droższe jest ich wystrzelenie w rakiecie. Przy dużej ilości zapasów, ich transport staje się tak kosztowny, że zupełnie nieopłacalny w porównaniu z innymi rodzajami źródeł zasobów.

Niektóre zasoby będą jednak musiały być zabrane z Ziemi. Chodzi tu głównie o rzeczy niezbędne ludziom, a których wyprodukowanie na Marsie jest niemożliwe lub dość fraso-bliwe, np. ubrania, leki, części wymienne urządzeń LSS, narzędzia itp. Wśród zapasów znaleźć się również mogą produkty najwyższej jakości, sprawdzone i przebadane na Ziemi. Zaletą zapasów jest to, że można zabrać z Ziemi niektóre specyficzne rzeczy, takie jak ulubione produkty żywnościowe mieszkańców bazy, które będą miały dobroczynny wpływ na ich samopoczucie (np. słodczyce, ulubione potrawy, przyprawy, żywność pochodzenia zwierzęcego [w przypadku gdy nie będzie się prowadzić na Marsie hodowli]).

Przy wybraniu jakiegokolwiek innego źródła zasobów do podtrzymywania życia w habitacie potrzebne są pewne startowe zasoby. Przewidując możliwość wystąpienia sytuacji awaryjnych, należy zabrać ze sobą pewien nadmiar różnych zasobów, np. gazów na wypadek wycieku powietrza z wnętrza habitatu.

Decydując się na zapasy żywności wymagających przechowywania w obniżonej temperaturze, przewidywać należy specjalne lodówki i zamrażarki do ich magazynowania. Choć, jak zauważa autorka, przestrzeń kosmiczna i atmosfera przy powierzchni Marsa jest tak zimna, że wystarczy taką żywność okryć przed działaniem gorących promieni słonecznych i przetransportować w osobnej kapsule. Przewożenie żywności w formie mrożonek jest niekorzystne głównie z tego powodu, że zawierają one w sobie dużo wody, która zwiększa ciężar tych zapasów. Susz jest o wiele tańszym rozwiązaniem i nie wymaga specjalnych pomieszczeń czy urządzeń pobierających energię (Dursap i Poughon 2001). Musi jednak być przechowywany w pojemnikach nienasiąkliwych i paroszczelnych.

Regeneracja fizykochemiczna - PC (ang. *physicochemical regeneration*):

Regeneracja fizykochemiczna w habitacie kosmicznym przebiega przy użyciu rozmaitych urządzeń służących do oczyszczania i natleniania powietrza oraz do odnawiania atmosfery, wody i żywności, przy wykorzystaniu odpadków. Produkcja takiej aparatury rozpoczęła się już wiele lat temu – gdy pojawiły się pierwsze stacje kosmiczne oraz na potrzeby misji na Księżyc. Praca nad udoskonalaniem tych urządzeń trwająca już ponad pół wieku zaowocowała wyprodukowaniem niezwykle wydajnych i godnych zaufania maszyn. Jak piszą Drysdale i in. (2003), znakomicie uzdatniają wodę i regenerują powietrze. Ich niezawodność i precyzja działania sprawiają, że są najbardziej opłacalnym systemem LSS w obecnych czasach, wykorzystywanym na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Dopiero w przypadku długotrwałych misji w odleglesze rejony naszego Układu Słonecznego (niż orbita okołoziemską czy Księżyc) inne systemy stają się bardziej konkurencyjne. Głównym problemem jest tu niemożność odnawiania zasobów żywności⁴. Jednocześnie inne systemy podtrzymywania życia nie są w stanie pracować zupełnie samodzielnie, dlatego do czasu rozpoczęcia się ich pełnego prosperowania, konieczne jest poleganie na PC LSS. Również system ten jest niezastąpiony na wypadek problemów z bioregeneracją czy utylizacją miejscowych zasobów. W ten sposób stanowi on zaplecze – zabezpieczenie albo wspomaganie innych systemów.

PC LSS to szereg urządzeń, które mimo coraz mniejszych gabarytów, wciąż zajmują procentowo dużo miejsca w małych habitatach – takich jak stacje kosmiczne. One wraz

⁴Nie odkryto dotąd sposobu nieorganicznego uzyskiwania pożywienia, możliwa jest tylko produkcja niektórych aminokwasów.



Rysunek 4.5: Całe powierzchnie ścian na ISS wypełnione są aparaturą precyzyjną (NASA)



Rysunek 4.6: Ludzie przeciskają się pomiędzy całą masą urządzeń LSS, kontrolnych i badawczych (NASA)

z aparaturą kontrolną i badawczą wypełniają niemal całe powierzchnie ścian habitatu, tak jak pokazane jest na Rys. 4.5 i 4.6, czyniąc środowisko wewnętrzne sztucznym i mało przyjaznym człowiekowi (w odbiorze emocjonalnym i wizualnym).

Nowoczesne technologie pozwalają na ulepszanie urządzeń PC LSS. Jednocześnie powstaje coraz bardziej precyzyjna aparatura. Do naprawy takich urządzeń zwykle potrzebny jest fachowiec. Wymagane jest zatem, by przynajmniej jeden z członków załogi każdej misji na Marsa był wyszkolony w naprawach takiego sprzętu. W przeciwnym razie powstałaby sytuacja dość ryzykowna – w razie awarii, załoga nie mogłaby szybko skorzystać z pomocy kontroli misji na Ziemi, jak np. w przypadku lotu Apollo 13 na Księżyc, gdyż opóźnienie w przekazie elektronicznym, a więc także w rozmowie, jest duże. Jednak należy zauważyć, że urządzenia te są bardzo wysokiej jakości i mają gwarantowany długi okres przydatności do użycia, a ich uszkodzenie jest mało prawdopodobne. Główną wadą wielu urządzeń PC LSS jest to, że wymagają części wymiennych, zwykle filtrów. Muszą one zostać zabrane na misję. Zajmują przez to przestrzeń magazynową. Im dłuższa misja, tym więcej takich elementów należy zabrać. Jednak, jak piszą Drysdale i in. (2003), wykorzystywanie PC LSS nawet na paroletniej misji kosmicznej jest wciąż cenowo konkurencyjnym rozwiązaniem w porównaniu z innymi systemami podtrzymywania życia.

Jednym z producentów urządzeń PC LSS jest firma Hamilton Sundstrand⁵, pracująca na zlecenia NASA. Oto przykładowe ich produkty wykonane na potrzeby Międzynarodowej Stacji Kosmicznej i Space Shuttle:

Common Cabin Air Assembly — zintegrowane urządzenie do zarządzania atmosferą wewnętrzną w zamkniętym habitacie. Spełnia ono funkcję zaawansowanego klimatyzatora, wymiennika ciepła, kontrolera temperatury i wilgotności powietrza. Dzięki nowoczesnej technologii jego budowy oraz dzięki użyciu odpowiednich materiałów, urządzenie to jest wyjątkowo ciche, małe i wydajne, o niskim poborze energii (Rys. 4.7).

Intermodule Ventilation Fan — wentylator zapewniający odpowiednią stałą temperaturę i stopień natlenienia atmosfery. Poziom hałasu w czasie pracy jest niemal równy 0 dB. Maszyna odpowiednio miesza powietrze tak, by we wszystkich pomieszczeniach panowała taka sama temperatura. Utrzymuje ją wszędzie na takim samym poziomie mimo

⁵Informacje o produktach firmy na stronie internetowej: hsssi.com



Rysunek 4.7: Common Cabin Air Assembly (HSSSI)



Rysunek 4.8: Intermodule Ventilation Fan (HSSSI)



Rysunek 4.9: Bacteria Filter (HSSSI)



Rysunek 4.10: RCRS (HSSSI)



Rysunek 4.11: WPA (HSSSI)

zróżnicowanej aktywności fizycznej członków załogi oraz ciepła wydzielającego się w czasie pracy różnych urządzeń w habitacie. Wentylator ten przystosowany jest do długotrwałej bezustannej eksploatacji (Rys. 4.8).

Bacteria Filter — specjalny filtr oczyszczający atmosferę z bakterii i drobnych zanieczyszczeń. Drobiny o wielkości co najmniej 0,3 mikrometra usuwa w 99,9%. Posiada wymienne filtry. Jest przystosowany do nieustannego działania 24 godziny na dobę: nie przegrzewa się, długotrwałe z niego korzystanie nie powoduje obniżenia jakości filtrowania. Dzięki zastosowaniu włókien szklanych i aluminium w obudowie, urządzenie jest wytrzymałe i lekkie (Rys. 4.9).

RCRS — urządzenie służące do usuwania dwutlenku węgla z atmosfery w habitacie. Dzięki zastosowaniu innowacyjnego sposobu pobierania CO₂, nie wydzielają się żadne produkty uboczne, a sorbent znajdujący się w urządzeniu nie potrzebuje energii do oczyszczania się. Zalety te są szczególnie ważne w przypadku długotrwałych misji (Rys. 4.10).

Water Processor Assembly (WPA) — specjalne urządzenie do oczyszczania wody. Przetwarza dziennie około 55 l zużytej wody w wodę pitną o wysokiej jakości (jaka wymagana jest przez normy NASA). Urządzenie to jest niezwykle wydajne i zupełnie autonomiczne. Wyposażone jest również w detektor uszkodzeń, nieszczelności układu oraz nieprawidłowego działania aparatury. Jest jednak dosyć duże – wielkości szafy (Rys. 4.11).

Wskazówki projektowe dla PC LSS:

1. Rozmieszczenie urządzeń w pomieszczeniach powinno być podyktowane:

- umożliwieniem jak najlepszego spełniania przez nie danej funkcji, np. równomierny rozkład wentylatorów;
- zapewnieniem jak najmniejszej odległości od miejsc, których obsługą się zajmują, np. aparatura do oszyszczania wody koło kuchni i łazienki;

- oszczędnością na okablowaniu – skracaniem długości przewodów doprowadzających;
 - zminimalizowaniem hałasów dochodzących do pomieszczeń przeznaczonych na pobyt stały ludzi.
2. Dla urządzeń LSS należy zaprojektować odpowiednie miejsca – mogą to być specjalne szafki lub całe pomieszczenia. Należy pamiętać o wygodnym do nich dostępie.
 3. Urządzenia PC LSS powinny być zasłonięte:
 - estetycznie, by zmniejszyć sztuczność środowiska wewnętrznego,
 - akustycznie, by zminimalizować hałas w habitacie,
 - bezpiecznie, by wyeliminować zagrożenie przypadkowym ich uszkodzeniem.
 4. Jeśli to możliwe, warto umieścić większość urządzeń LSS w jednym pomieszczeniu technicznym z wygodnym dostępem dla ludzi na wypadek awarii, potrzeby wymiany jakiegoś elementu (np. filtra) lub w celu kontroli aparatury. Wtedy też łatwiej zaizolować akustycznie to jedno pomieszczenie zamiast kilku lub każdego urządzenia z osobna.
 5. Wskazane jest, by przy jednym pulpicie można było sprawdzać jakość działania różnych urządzeń LSS i mieć możliwość ich dostrajania do wynikłych potrzeb, np. regulowanie wilgotności powietrza czy temperatury.
 6. Wydajność konkretnych urządzeń może mieć wpływ na maksymalne lub optymalne gabaryty pomieszczeń, np. w przypadku klimatyzacji.
 7. Urządzenia LSS zaprojektować można wyłącznie przy udziale specjalisty.

Bioregeneracja – BIO: Bioregeneracja polega na wykorzystaniu w LSS organizmów żywych do recyklingu atmosfery, wody i do produkcji żywności, przy wykorzystaniu odpadów. BIO LSS to jedyny system, który może być całkowicie zamknięty, ponieważ zapewnia produkcję żywności (nie ma zależności od nieodnawialnych zasobów). Bez wykorzystania bioregeneracji niemożliwa jest długotrwała załogowa misja na Marsa.

Podstawowe warunki konieczne do spełnienia, by system BIO działał poprawnie (Lewandowski 2000):

- a) zamknięta cyrkulacja powietrza;
- b) zamknięta cyrkulacja wody;
- c) zamknięta cyrkulacja materii organicznej;
- d) cyrkulacje odbywać się muszą na zasadzie naturalnej przemiany i reakcji biochemicznych;
- e) odpowiednie oświetlenie dla upraw;
- f) odpowiednia gleba dla roślin.

BIO LSS ma wiele zalet. Może stanowić obieg zamknięty nawet w 100% i zapewniać pełną regenerację atmosfery, wody i żywności. Jest on w małym stopniu zależny od specjalistycznej aparatury. Jak zauważają Drysdale i in. (2003), przy produkcji żywności automatycznie następuje regeneracja wody i powietrza – kiedy pokarm jest produkowany, tlen i para wodna uwalniane są do atmosfery, a dwutlenek węgla jest usuwany. Ten jeden proces spełnia wszystkie metaboliczne zapotrzebowania człowieka. System ten jest najbliższy naturalnemu ekosystemowi, w jakim żyje człowiek, dlatego jest on odbierany najbardziej

pozytywnie przez ludzi. Dodatkowo widok zieleni, otoczenie flory, zapach roślin i smak świeżej żywności sprzyjają lepszemu samopoczuciu mieszkańców habitatu marsjańskiego (NASA ALS 2004).

BIO LSS konkuruje z PC LSS przy konieczności zwiększenia wydajności systemu. Bioregeneracja wymaga tylko zasiania większej ilości roślin, zaś do przemiany fizykochemicznej wymagane jest zabranie większej ilości sprzętu, który (w porównaniu z zapasem nasion) jest ciężki, kosztowny i wymaga części zamiennych. PC na dzień obecny jest tańsze niż BIO, ale tylko w przypadku krótkotrwałych misji (Drysdales i in. 2003). Dla długotrwałej misji na Marsa bardziej ekonomiczne okazuje się wykorzystanie bioregeneracji. Szczególnie dlatego, że bioreaktory do oczyszczania wody nie potrzebują np. filtrów i nie powodują gromadzenia się odpadów jak w przypadku urządzeń PC LSS. Dzięki produkcji świeżej żywności BIO LSS potrzebuje zapasów jedzenia tylko na początku misji – do pierwszych żniw; w przeciwieństwie do PC, które wymaga olbrzymich ilości zapasów pokarmów na długotrwałą misję.

System podtrzymywania życia opierający się na bioregeneracji jest jednak dużo trudniejszy do zaprojektowania niż systemy oparte wyłącznie na wykorzystaniu maszyn. Nie jest tak przewidywalny i obliczalny jak PC LSS, ponieważ zależności w ekosystemach naturalnych nie są tak dobrze poznane jak procesy fizykochemiczne (Henninger i in. 1996). Różne rośliny dojrzewają w charakterystycznym dla swego gatunku okresie. Sezonowanie i kolejność upraw powinny być szczegółowo zaplanowane, by nie dochodziło do niedoborów lub nadmiaru tlenu, wilgoci i żywności.

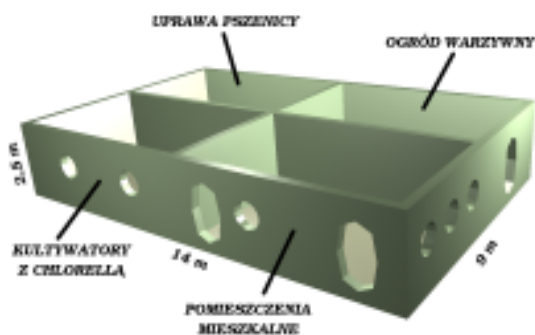
BIO LSS potrzebuje czasu, by zacząć prosperować w pełni. Dlatego na początku misji konieczna jest współpraca tego systemu z urządzeniami wykorzystującymi procesy fizykochemiczne. Jak wynika z badań, oczyszczanie wody następuje po min. 1-3 tygodni, zaś dopiero po miesiącu system może osiągnąć pełną regenerację atmosfery (Drysdales i in. 2003). Najpóźniej następuje zamknięcie obiegu poprzez wyprodukowanie żywności: min. 1 miesiąc dla pierwszych warzyw, a 3-4 miesiące dla zbóż.

Wyróżnia się trzy rodzaje upraw (Drysdales i in. 2003):

- a) uprawa warzyw, zapewniających świeżą żywność, bogatą w witaminy, np. sałata, pomidory, szpinak, cebula i różne zioła;
- b) podstawowe uprawy, zawierające dużo substancji odżywczych, np.: zboża, ziemniaki, pataty;
- c) uprawy o niskiej wydajności, do produkcji tłuszczów i protein, np. rzepak.

Odpowiedni dobór gatunków roślin uprawnych pozwala na zapewnienie mieszkańcom bazy właściwej diety oraz cyrkulacji wody i wymiany gazów w atmosferze. Pozwala także na zachowanie równowagi między uzyskiwaną biomasą jadalną a niejadalną, wykorzystywaną do spalania, kompostowania lub na paszę. Aby w odpowiednich ilościach produkowane były tlen, para wodna i żywność, należy bardzo dokładnie zaplanować czas siewu i żniw konkretnych gatunków. Jest to zadanie niezwykle trudne.

Jak zauważyli Drysdale i in. (2003), przy całkowicie zamkniętym obiegu bioregeneracji żywności powstaje nadwyżka wody, która powoduje znaczny wzrost wilgotności atmosfery. Jest to sytuacja niekorzystna ze względu na zagrożenie pojawieniem się glonów, pleśni i grzybów. Należałoby w jakiś sposób temu zjawisku przeciwdziałać – w przeciwnym razie konieczne byłoby specjalne usuwanie tych organizmów. Drysdale i in. (2003) proponują, by nadwyżka wody magazynowana była w specjalnych zbiornikach tak, by stworzyć barierę przeciwpromienną.



Rysunek 4.12: Schemat Biosu-3



Rysunek 4.13: Prywatna kwatery (biospheres.com)

Praca przy uprawach i, ewentualnie, hodowli byłaby dla mieszkańców bazy marsjańskiej sposobem na oderwanie się od obcej im rzeczywistości na odległej planecie. Jednak nie mogłaby ona na zbyt długo odrywać ich od ich obowiązków związanych z misją. Dlatego Drysdale i in. (2003) zauważają, iż konieczne będzie zabranie maszyn obsługujących uprawy i odciążających w ten sposób ludzi. W ramach projektu Bio-Plex dobiera się specjalne maszyny, które miałyby spełniać te zadania (Naghshineh-pour i in. 1999).

Badania nad bioregeneracją na potrzeby misji kosmicznych rozpoczęto w latach 50-tych XX wieku. Od tego czasu systemy podtrzymywania życia BIO były testowane w ramach różnych symulacji. Każdy z nich miał nieco inny charakter, ale zasada wykorzystywania organizmów żywych do recyklingu w zamkniętym ekosystemie była wspólna. Rośliny do wzrostu i rozmnażania się pobierały dwutlenek węgla wydychany przez ludzi i uwalniały tlen, który służył ludziom do oddychania. Do podlewania roślin wykorzystywano zużytą wodę, zaś w wyniku respiracji i parowania zbierana była czysta woda. Wreszcie rośliny były dla uczestników symulacji źródłem pokarmu i witamin, a także soli mineralnych. Część roślin była wieloletnia i systematycznie wytwarzała nadające się do spożycia owoce. Inne rośliny produkowały nasiona, które po zasianiu dawały w kolejnym sezonie nowe rośliny jadalne. Najbardziej znane i najlepiej udokumentowane symulacje BIO LSS to: Bios-3, Biosphere 2 i LMLSTP.

Bios-3 to sztuczny ekosystem, w którym w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku przeprowadzono trzy eksperymenty naukowe z udziałem ludzi. Pierwszy z nich miał miejsce w latach 1972-73 i trwał 6 miesięcy. Udział w nim wzięli jeden mężczyzna i jedna kobieta. Drugi odbył się zimą 1976/77. Trzech mężczyzn⁶ mieszkało w Biosie-3 przez 4 miesiące. Wreszcie w trzecim eksperymencie wzięło udział dwóch mężczyzn. Odbył się on zimą 1983-84 i trwał 5 miesięcy (Salisbury i in. 1997).

Bios-3 został zaprojektowany przez Borysa Kowrowa (fizyka i biologa). Miał on prostą modułową konstrukcję, co zapewniało pewną swobodę w doborze konfiguracji. Cztery prostopadłościowe moduły o wymiarach 7m x 4m, 5m x 2,5m połączone zostały ze sobą w jeden hermetycznie zamknięty kompleks o planie prostokąta 14m x 9m (Rys. 4.12). Każdy z nich miał troje drzwi, co umożliwiało łączenie ich w dowolnej konfiguracji przy zapewnieniu ciągłości przejścia między nimi oraz szybkiej ewakuacji na zewnątrz w razie potrzeby. Obliczono, że czas ucieczki wynosi 20 s.

⁶Trzech tylko do pewnego czasu, gdyż jeden z nich zrezygnował z uczestnictwa w eksperymencie w czasie jego trwania.

Jeden moduł przeznaczono na habitat, pozostałe – na fitotrony⁷. W habitacie wydzielono trzy prywatne kwatery (Rys. 4.13). Każda z nich miała małe okno wychodzące na wnętrze pomieszczenia mieszczącego bios. Można je było zakrywać zasłonką. Oprócz tego wyróżniono przestrzeń na kuchnię, łazienkę, pokój nadzorczy, miejsce do pracy i część techniczną z urządzeniami LSS.

Cały kompleks umieszczony został pod ziemią i zaizolowany od klimatycznych czynników zewnętrznych. We wnętrzu wykorzystywano wyłącznie sztuczne oświetlenie. Zdecydowano się na lampy ksenonowe, które w modułach z uprawami świeciły się przez całą dobę. Ze względu na duże natężenie światła oraz nieustanny czas pracy lampy musiały być chłodzone. Używano do tego celu wody przepuszczanej przez szczelne klosze. Intensywne naświetlanie upraw miało na celu ich zintensyfikowanie, jednak nie służyło niektórym gatunkom roślin – pomidory i ziemniaki potrzebują odpoczynku nocnego, kiedy to wytwarzają swoje owoce i bulwy.

W jednym fitotronie uprawiano zboże – jako podstawowe źródło żywności, w drugim – warzywa, jako źródło witamin, zaś w trzecim – umieszczono kultywatory z glonami jako główne źródło tlenu do oddychania. Glony okazały się jednak mało potrzebne, ponieważ nie nadawały się na źródło pokarmu ani witamin, a ich nadmierne rozmnażanie się powodowało nadprodukcję tlenu. Z tego powodu bionauci musieli palić słomę, by zmniejszyć ilość tlenu w atmosferze. Trudno było utrzymać stałą wielkość populacji. Poza tym, jak wykazały badania, ludzie nie są przystosowani do przyswajania pożywienia z glonów; wywołują one u nich nawet choroby.

Rośliny pomyślnie oczyszczały wodę, ale używano także dodatkowych urządzeń polepszających jakość wody. Wydajność systemu osiągnęła niecałe 85%. Wyprodukowana żywność stanowiła ok. 20% pokarmów, które spożywali bionauci – reszta pochodziła z zapasów. Tak więc obok miejsca z urządzeniami do mielenia zboża i wypieku chleba pojawić się musiała przestrzeń do przechowywania żywności.

Na podstawie analizy wyników symulacji przeprowadzonych w Biosie-3 wyliczono, że przy obiegu zamkniętym w 99% potrzebne jest 56 m² upraw na mieszkańca, zaś przy 95% – niemal o połowę mniej – 30 m². Także energia potrzebna do oświetlenia roślin musi być niemal dwukrotnie większa dla obiegu 99-cio procentowego niż dla 95-cio procentowego. Trzeba tu podkreślić, że w Biosie-3 zdecydowano się na intensywne uprawy przy silnym sztucznym źródle światła. Ponieważ tak duża powierzchnia upraw jest potrzebna, w eksperymencie starano się maksymalnie wykorzystać miejsce w fitotronach dla roślin – przejścia dla ludzi między poletkami były bardzo wąskie. Mimo że wyprodukowane w Biosie-3 rośliny zapewniły zaledwie 1/5 żywności potrzebnej ludziom, powierzchni z uprawami było dwa razy więcej niż powierzchni mieszkalnej, zaś do zamknięcia obiegu atmosfery – trzy razy więcej (rośliny i glony). Areał ten musiałby być znacznie powiększony, gdyby bionauci mieli także hodować zwierzęta. Salisbury i in. (1997) piszą, że zaledwie od kilku do kilkunastu procent pokarmów pobieranych przez zwierzęta przerabiane jest przez nie na mięso, które nadaje się do spożycia dla ludzi. Na przykład dla cielęciny i wołowiny przypada tylko 2,3-2,9%, zaś najwięcej dla indyka – 19%. Przy tym zwierzęta wymagają osobnej przestrzeni do życia oraz właściwego ich doglądania. Jak zatem konkludują Salisbury i in., mimo że pokarmy pochodzenia zwierzęcego stanowiły u bionautów 20% żywności, nawet dla misji kilkuletniej korzystanie z zapasów jedzenia tego typu jest bardziej opłacalne i prostsze niż hodowla. Przy czym, oczywiście, zapasy te muszą być odpowiednio przygotowywane i

⁷Fitotron – klimatyzowana komora przeznaczona do uprawy roślin w sztucznych warunkach doświadczalnych (PWN 2006).



Rysunek 4.14: Kompleks Biosphere 2 (Global Ecotechnics)



Rysunek 4.15: Architekci Biosphere 2: M. Augustine i P. Hawes (Global Ecotechnics)

Tablica 4.1: Powierzchnia sztucznych ekosystemów w kompleksie Biosphere 2 (Global Ecotechnics)

element kompleksu	m ²	rodzaj budowli
habitat	1000	główny budynek
agrokultura	2000	szklarnia ze sklepieniami
las deszczowy	2000	duża piramida
sawanna i ocean	2500	podłużna budowla
pustynia	1400	mała piramida
płuca biosfery	3600	dwie kopuły

przechowywane, by nie uległy zepsuciu.

Ze względu na zagrożenie namnażaniem się bakterii szkodliwych dla ekosystemu i ludzi, fitotrony naświetlano profilaktycznie ultrafioletem, zaś bionauci zakładali maski ochronne na twarz w czasie pracy przy uprawach.

Konstrukcja Biosu-3 wykonana została ze spawanych blach ze stali nierdzewnej. W czasie eksperymentu niektóre pierwiastki ze stopu przedostawały się do upraw. Na przykład stężenie ołowiu, niklu, glinu i chromu było 10-20 razy większe niż normalnie w roślinach. Także wykryto w nich m. in. cynę i tytan. Ich stężenie nie osiągnęło jednak poziomu niebezpiecznego dla zdrowia ludzi.

Największym osiągnięciem radzieckich eksperymentów w Biosie-3 było to, że po raz pierwszy udało się stworzyć zamknięte sztuczne ekosystemy, w których ludzie przeżyli zachowując zdrowie i dobrą kondycję fizyczną przez stosunkowo długi okres czasu. Wielkim sukcesem okazało się to, że przy pomocy roślin zielonych można utrzymać prawidłową gospodarkę wodną i gazową, a przy tym zapewnić ludziom świeżą żywność.

Biosphere 2 to olbrzymi kompleks (Rys. 4.14) o powierzchni całkowitej 1,25 ha wzniesiony w USA, na pustyni Utah w celu zbadania sztucznie stworzonych ekosystemów w warunkach izolacji. Zaprojektowane przez Margret Augustine i Phila Hawesa (Rys. 4.15) budynki w większości ze szkła i stali mieszczą habitat, tereny uprawne oraz kilka różnych ekosystemów (Tab. 4.1).

W sztucznie podtrzymywanych warunkach zasymulowanych w odpowiedni sposób dla każdego ze stworzonych ekosystemów testowano ich zachowanie się: obieg powietrza i wody oraz wegetację i rozmnażanie się ok. 3800 gatunków roślin i zwierząt (Salisbury i in. 1997). W Biosphere 2 przeprowadzono dwa eksperymenty z udziałem ludzi w latach



Rysunek 4.16: Kuchnia w Biosphere 2 (Global Ecotechnics)

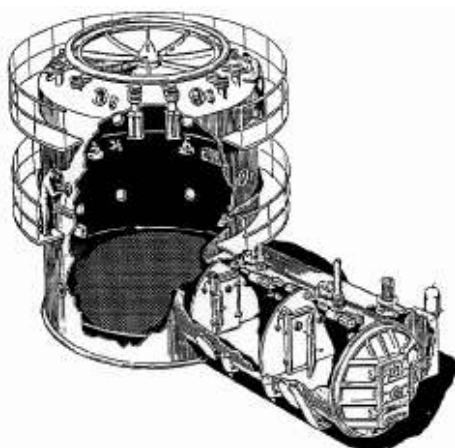


Rysunek 4.17: Biblioteka w biosie (Global Ecotechnics)

1991-94. Pierwszy z nich trwał 2 lata, drugi - 6 miesięcy. Choć każdy z nich dostarczył wielu interesujących danych na temat sztucznych ekosystemów z udziałem ludzi, żaden z nich nie zakończył się pełnym sukcesem: bardzo szybko wyginęło wiele gatunków roślin i zwierząt; konieczne było uzupełnianie zapasów tlenu (Salisbury i in. 1997). W pierwszym eksperymencie wzięło udział ośmiu ludzi (cztery kobiety i czterech mężczyzn), którzy przez okres dwóch lat żyli i pracowali w zamkniętym wieloekosystemowym kompleksie. Wnętrza z habitatu pokazano na Rys. 4.16 i 4.17. Aż 45% czasu załogi poświęcane było na zajmowanie się 0,2-hektarowym polem uprawnym i hodowlą zwierząt oraz na czynności związane z jedzeniem. W drugim roku eksperymentu wprowadzono bardziej efektywne metody uprawy, dzięki czemu załoga została częściowo odciążona od tych prac.

Rezultaty z eksperymentów Biosphere 2 opublikowali Silverstone i Nelson (1996). Najbardziej produktywnymi gatunkami okazały się: ryż, słodkie ziemniaki i banany. Świeże warzywa codziennie pojawiały się na stole bionautów. Kury dostarczały jaj, ale niewiele, ponieważ ich karma była uboga. Kozy zaś radziły sobie bardzo dobrze, dawały dużo mleka i doczekano się u nich 6 kozłąt. Hodowano także ryby. W sumie zbiory z upraw wystarczały na żywność dla 8-10 osób, przy czym u bionautów stanowiły one ok. 80% diety, reszta zaś pochodziła z zapasów. Dzięki wegetariańskiej diecie u bionautów bardzo obniżył się poziom cholesterolu, co pozytywnie wpłynęło na ich zdrowie i samopoczucie. Dwie osoby same zrezygnowały ze spożywania mięsa, gdy stało się ono już dostępne – tak przyzwyczały się do spożywania samych produktów pochodzenia roślinnego. Dzięki różnorodności ekosystemów w kompleksie ludzie mieli zapewnioną stosunkowo urozmaiconą dietę (np. w porównaniu z sytuacją w Biosie-3).

W omówionym kompleksie zastosowano szkielet ze stali podtrzymujący panele szklane. Wysokie drzewa w lesie tropikalnym wymagały budynku o dużej wysokości, dlatego zbudowano dla nich konstrukcję, której sufit sięgał do 23 m. Ocean miał głębokość ponad 8 m. Dla lepszego zasymulowania naturalnego środowiska wprowadzono wiele mechanizacji, np. specjalne urządzenie wytwarzało fale w oceanie, inne – pompowało wodę w strumieniu, jeszcze inne wytwarzało deszcz. Mimo to niewiele gatunków zaakceptowało sztuczne środowisko, większość wyginęła. Świadczy to o tym, że wciąż słabo poznane są mechanizmy w przyrodzie i trudno jest stworzyć w sposób sztuczny właściwie działający ekosystem. Szklana konstrukcja przepuszczała znaczne ilości światła do wnętrza kompleksu, dlatego początkowo zdecydowano się wyłącznie na oświetlenie naturalne. Jednak przez szkło przenikało tylko 50-60% promieni słonecznych, dodatkowo w czasie eksperymentu była pochmurna pogoda. Dlatego w końcu zaczęto używać także lamp. Dzięki temu zbiory były bardziej obfite.



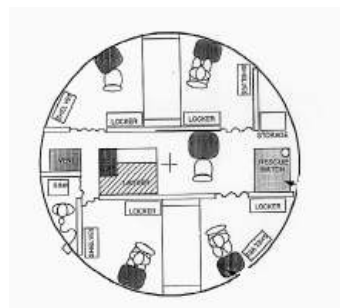
Rysunek 4.18: Schemat biosu LMLSTP (JSC NASA)



Rysunek 4.19: Moduł mieszkalny z zewnątrz (JSC NASA)



Rysunek 4.20: Rzut pierwszej kondygnacji (JSC NASA)



Rysunek 4.21: Rzut trzeciej kondygnacji (JSC NASA)

Stosowano nawozy, ale tylko takie, które nie wpływają negatywnie na jakość żywności i w ten sposób na zdrowie załogi. Jednak wytworzyły się przez nie znaczne ilości bakterii, które pochłaniały duże ilości tlenu z atmosfery. Także konstrukcja okazała się niezbyt szczelna, pozwalając na wyciek ok. 10% gazów w ciągu roku. Dlatego aż dwukrotnie w ciągu pierwszego eksperymentu trzeba było dostarczać tlen z zewnątrz (Salisbury i in. 1997).

Do sukcesów symulacji przeprowadzonych w Biosphere 2 zaliczyć na pewno można to, że ludziom udało się wyprodukować tyle żywności, że starczyło na ich wyżywienie i tylko w małym stopniu trzeba było polegać na zapasach. Po raz pierwszy zbudowano tak olbrzymi kompleks, a zaprojektowana do niego aparatura sztucznie utrzymująca odpowiedni klimat (różny dla różnych ekosystemów) działała prawidłowo. Bionauci, którzy wzięli udział w eksperymencie nie chorowali, a nawet ich stan zdrowotny poprawił się dzięki diecie wegetariańskiej.

Na podstawie analizy wyników symulacji przeprowadzonych w Biosphere 2 grupa naukowców opracowała BIO LSS dla misji na Marsa (Silverstone i in. 2003). Wybrali oni te gatunki roślin, które najlepiej sprawdziły się w eksperymentach oraz te bardziej kaloryczne (wegetariańska dieta wpłynęła na pewien spadek masy ciała bionautów).

LMLSTP to skrót od nazwy *Lunar-Mars Life Support Test Project*. Miano to nadano czterem symulacjom systemu podtrzymywania życia z udziałem bioregeneracji dla misji załogowych na Księżyc i Marsa prowadzonych w laboratorium Centrum Kosmicznego imienia Johnsona (ang. *Johnson Space Center*), będącego jednostką NASA, w której zajmuje się



Rysunek 4.22: Mesa (JSC NASA)



Rysunek 4.23: Prywatny pokój (JSC NASA)



Rysunek 4.24: Miejsce do ćwiczeń (JSC NASA)



Rysunek 4.25: Toaleta (JSC NASA)



Rysunek 4.26: Schody (JSC NASA)

załogowymi lotami w kosmos⁸. Celem symulacji było przetestowanie ALSS (ang. *Advanced Life Support System* – zaawansowany system sztucznego podtrzymywania życia), czyli zaprojektowanego przez NASA BIO LSS. W ramach symulacji przeprowadzono cztery eksperymenty, nazwane fazą I, fazą II, fazą IIA i fazą III. W sierpniu 1995 r. odbył się I eksperyment. Jeden mężczyzna spędził 15 dni w hermetycznej komorze symulacyjnej, którą podzielono na dwie części: habitat i agrokulturę. Test wykazał, że można zapewnić bioregenerację powietrza dla jednego człowieka dzięki uprawie zboża – od siewu po żniwa – w sztucznie wytworzonych warunkach klimatycznych przy użyciu sztucznego systemu nawadniania i światła o wysokiej intensywności. W fazach II i IIA testowano głównie PC LSS.

W fazie III zboże miało za zadanie oczyszczać atmosferę z dwutlenku węgla i wytwarzać tlen do oddychania dla ludzi. Także uprawy stały się źródłem pokarmu dla ludzi, choć w niewielkim stopniu, gdyż uprawiano tylko pszenicę i sałatę. CO₂ wydelał się jako produkt uboczny przy przetwarzaniu kału i kierowany był do komory z uprawami. Test odbył się jesienią 1997 roku i przebiegł pomyślnie. Trwał 90 dni i udział w nim wzięły cztery osoby: dwie kobiety i dwóch mężczyzn. W symulacji wykorzystano dwa hermetyczne moduły szczelnie ze sobą połączone (Rys. 4.18, 4.19). Pierwszy, większy człon, miał kształt pionowo stojącego walca o średnicy 6 m, podzielonego na trzy kondygnacje. Drzwi na parterze prowadziły do drugiej komory w kształcie leżącego walca. Moduł ten był mniejszy i miał tylko jedną kondygnację. Pierwszy pełnił funkcję habitatu, w drugim mieściła się

⁸www.jsc.nasa.gov



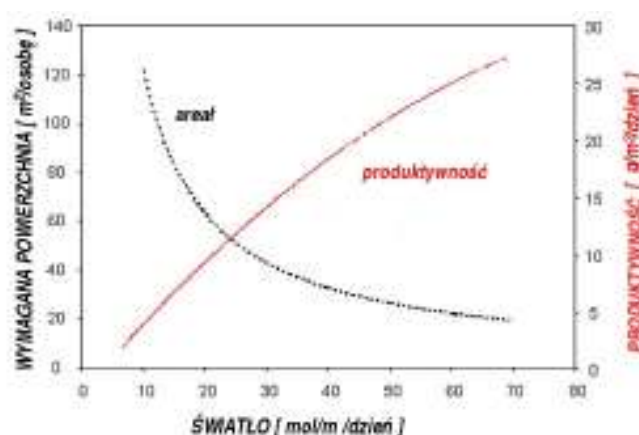
Rysunek 4.27: Sianie zboża (JSC NASA)



Rysunek 4.28: Uprawa zboża w biosie (JSC NASA)



Rysunek 4.29: „Salad machine” (JSC NASA)



Rysunek 4.30: Zależność produktywności upraw od arealu oraz natężenia światła

agrokultura. W części mieszkalnej na pierwszej kondygnacji (Rys. 4.20) w jednej dużej przestrzeni rozmieszczono: mały stół do wspólnych posiłków oraz zebrani, szafki i sprzęt kuchenny, pralkę i suszarkę (Rys. 4.22), wydzielono miejsce do ćwiczeń (Rys. 4.24). Osobne małe pomieszczenie przeznaczono na łazienkę (Rys. 4.25).

Na drugiej kondygnacji znalazła się przestrzeń techniczna z urządzeniami i sprzętem testowym ALSS. Trzeci poziom (Rys. 4.21) podzielono na cztery małe prywatne kwatery oraz małą przestrzeń z umywalką do higieny osobistej. Wszystko zostało ciasno upakowane według wymogów minimalistycznej ergonomii ze względu na stosunkowo małą przestrzeń całkowitą biosu. Kabiny prywatne są bardzo małe (Rys. 4.23), a marynarskie schody między kondygnacjami — dość strome i niebezpieczne (Rys. 4.26); szczególnie trudno poruszać się po nich z bagażem.

Intensywne uprawy umieszczono w małym module. Zboże uprawiane było piętrowo – na kilku półkach jedna nad drugą. Siano je w specjalny sposób (Rys. 4.27). Przejścia między rzędami półek były bardzo wąskie, by maksymalnie wykorzystać przestrzeń na agrokulturę (Rys. 4.28). Sałatę hodowano w specjalnej maszynie, zwanej *salad machine* (Rys. 4.29). W obu komorach doświadczalnych używano wyłącznie sztucznego oświetlenia. Rośliny były silnie naświetlane, aby przyspieszyć ich rozwój. Jeśli dysponuje się niewielką przestrzenią na agrokulturę, jest to jedyne wyjście. Wykres pokazany na Rys. 4.30 pokazuje, jak ilość energii świetlnej dostarczanej roślinom wpływa na produktywność upraw oraz na zapotrzebowanie na areal. Im więcej arealu, szczególnie dobrze oświetlanego, tym mniejsze uzależnienie od urządzeń PC LSS oraz mniej trzeba polegać na zapasach, a co się z tym wiąże – mniej

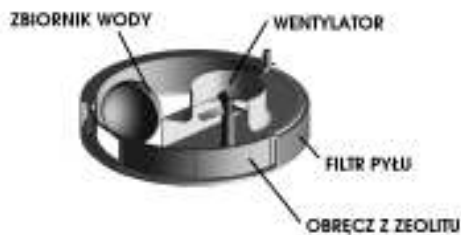
wymaga się przestrzeni na magazyny.

Na podstawie analizy różnych dotąd wykorzystywanych systemów podtrzymywania życia opartych na bioregeneracji autorka opracowała wskazówki projektowe dla BIO LSS:

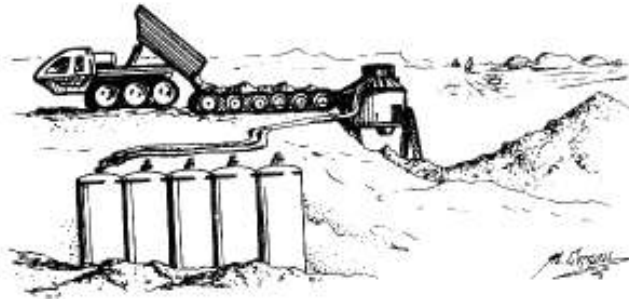
1. Wykorzystanie BIO LSS w misjach marsjańskich jest niezbędne do produkcji żywności. Dlatego w projekcie bazy uwzględnić należy elementy tego systemu podtrzymywania życia.
2. BIO LSS wymaga przestrzeni na uprawy roślin i, ewentualnie, na hodowlę zwierząt.
 - Ze względów bezpieczeństwa przestrzeń ta powinna być oddzielona od części mieszkalnej, by zapobiec przenikaniu tam szkodliwych drobnoustrojów, wolnych rodników i, ewentualnie, owadów.
 - Przestrzeń ta może być rozmieszczona wielopiętrowo lub na jednym poziomie.
 - Dla konkretnego gatunku zwierzęcia należy zaprojektować odpowiednie miejsce do życia (np. obora dla kóz, kurnik dla kur, ule dla pszczół, zbiornik wodny dla ryb).
 - Najlepiej jeśli przestrzeń dla upraw jest podzielona tak, by stworzyć osobne środowiska z optymalnymi warunkami wegetacji dla konkretnych gatunków roślin uprawnych (właściwe warunki klimatyczne, oświetleniowe, przestrzenne itd.)
 - Pola przeznaczone pod uprawę danego gatunku mogą być podzielone na mniejsze poletka tak, by obsiewać je w różnym czasie, co zapewni ciągłość zbiorów oraz stały recykling atmosfery i wody.
 - Podzielenie agrokultury na kilka osobnych modułów zapewnia bezpieczeństwo. Na wypadek awarii w jednym z nich nie traci się kontroli nad całym LSS.
 - Wąskie przejścia w agrokulturze i piętrowe uprawy pozwalają na maksymalne wykorzystanie powierzchni na uprawy. Jednak zmniejszają wygodę w poruszaniu się tam ludzi, dlatego lepsze są dla bardziej zmechanizowanego rolnictwa.
 - Przy pracy przy uprawach oraz przy przygotowywaniu żywności skupia się życie społeczne. Agrokultura oraz pomieszczenia do wytwarzania produktów żywnościowych i gotowania powinny umożliwiać przebywanie tam grupy ludzi, którzy wykonywać by mogli jednocześnie różne czynności.
 - Najbardziej produktywnym i przy tym wysokokalorycznym owocem jest banan. Palmy, na których on rośnie, są wysokie i wymagają wysokiego sufitu.
3. Rodzaj oświetlenia determinuje sposób projektowania modułów z agrokulturą.
4. Gdy słońce jest głównym źródłem światła:
 - konstrukcja agrokultury musi mieć formę szklarni, a materiał użyty na przekrycie powinien mieć wysoki współczynnik przenikania światła;
 - uprawy są ekstensywne i wymagają dużego areału zajmującego jeden poziom;
 - do zintensyfikowania oświetlenia naturalnego zaprojektować można układ zwierciadeł nakierowujący światło od słońca do wnętrza modułu.
5. Gdy lampy są głównym źródłem światła:
 - zaprojektować należy optymalne rozmieszczenia lamp danego rodzaju tak, aby cała powierzchnia upraw była dobrze oświetlona;
 - możliwe są uprawy wielopoziomowe – zaprojektowany układ regałów i rozstaw półek powinien być podyktowany wygodą w dostępie do roślin w czasie żniw oraz wysokością dojrzałych roślin;

- uprawy są intensywne, rośliny rosną gęsto i dzięki temu wystarcza im mały areał.
6. BIO LSS wymaga odpowiednich przestrzeni magazynowych, które należy funkcjonalnie zaprojektować.
 7. Na terenie modułu z agrokulturą powinien znajdować się osobny magazyn nasion, cebulek itp.;
 - Tutaj również powinien znajdować się skład pojemników na zbierane plony i miejsce do tymczasowego ich odkładania;
 - Magazyny głównych zbiorów mogą znajdować się w module z agrokulturą lub w module, w którym przygotowuje się jedzenie.
 - Schowek na narzędzia powinien mieścić się blisko wyjścia z modułu z uprawami lub w jego centrum, by dostęp do nich był wygodny.
 - Przed wejściem do modułu z agrokulturą należy zaprojektować przebieralnię ze schowkami na ubrania ochronne, maseczki na twarz, zakładki na buty itp., które mają być zabezpieczeniem przed przedostawaniem się drobnoustrojów z upraw do modułu mieszkalnego.
 - Kompostownik, czyli miejsce składowania niejadalnej biomasy nadającej się na nawóz naturalny, powinien być tak wydzielony, by nieprzyjemne zapachy oraz szkodliwe bakterie i pleśń nie wydostawały się na zewnątrz.
 - Odpadki nie nadające się na kompost powinny być składowane w pobliżu miejsc do ich przetwarzania, np. pieca do ich spalania.
 8. Do produkcji i przygotowywania jedzenia potrzebne są odpowiednio przystosowane miejsca wyposażone we właściwy sprzęt, np.:
 - pomieszczenie do mielenia ziaren zbóż i przesiewania mąki;
 - dobrze wyposażona kuchnia ze sprzętem umożliwiającym wypiek chleba i różnorakie przyrządzanie potraw (jako że sposób przygotowywania i podawania dań ma znaczny wpływ na komfort psychiczny ludzi).
 9. Ważny jest dobór materiałów konstrukcji bazy. Nie można dopuścić do zbyt dużego stopnia przenikania pierwiastków z materiałów budowlanych do roślin jadalnych oraz do organizmu człowieka.
 10. Szczegółowy projekt agrokultury musi zostać wykonany przy współpracy z fachowcem od tego typu upraw.

Utylizacja miejscowych zasobów (ISRU): Na Marsie występują wszystkie te same pierwiastki co na Ziemi, choć w innej ilości lub innej postaci chemicznej czy mineralnej. Można je pozyskiwać dla podtrzymywania życia w habitacie. Urządzenia, które są do tego zadania przystosowane tworzą ISRU LSS. Służą one do zaopatrywania habitatu w tlen do oddychania dla ludzi, w gazy neutralne dla wewnętrznej atmosfery, w wodę pitną, do higieny i celów gospodarczych. Jak zauważają Drysdale i in. (2003), działają one na podobnej zasadzie, co urządzenia PC LSS, z tym że PC przetwarza surowce ze środowiska wewnętrznego (habitatu), a ISRU – ze środowiska zewnętrznego (Marsa). Środowisko wewnętrzne jest bardziej przewidywalne, dlatego PC wydaje się godniejsze zaufania. Jednak nawet bardzo szczelna konstrukcja nie zapewnia habitatowi pełnej hermetyczności. Dodatkowo straty powietrza następują na skutek korzystania ze śluz wyjściowych na czas EVA. PC musi uzupełniać powstające w ten sposób niedobory pobierając rezerwy z zapasów zabranych z Ziemi. Im częściej załoga będzie wychodziła na powierzchnię, tym szybciej będą topniały



Rysunek 4.31: WAVAR do pozyskiwania pary wodnej z atmosfery marsjańskiej (Grover i in. 1998)

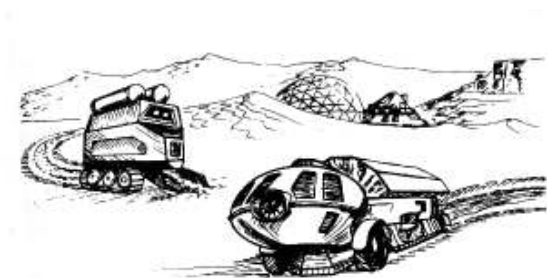


Rysunek 4.32: Piec pozyskujący wodę z przywożonego ciężarówką gruntu; odpady wyrzucane są na hałdę (Michael Carroll)

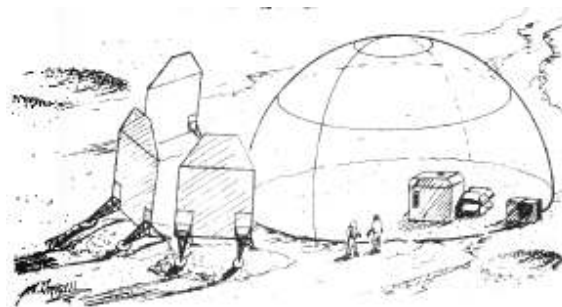
te zapasy. Kwestią przetrwania będzie ilość zabranych sprężonych gazów do uzupełniania atmosfery w habitacie. Im dłuższa misja, tym więcej musi ich być. Nie może jednak ich być zbyt wiele, by nie przeciążać rakiety wynoszącej habitat z wyposażeniem z powierzchni Ziemi. Urządzenia do utylizacji miejscowych zasobów na potrzeby systemu podtrzymywania życia mogą zostać wysłane przed przybyciem ludzi na Marsa i wcześniej zacząć pozyskiwać niezbędne do życia zasoby (Zubrin i Wagner 1997). Takie rozwiązanie zmniejsza ryzyko misji oraz nie wymaga zabierania z Ziemi znacznych zapasów dla LSS. Urządzenia raz wysłane służyć mogą wielu misjom. Wykorzystywanie ISRU zwiększa samowystarczalność bazy i jej niezależność od dostaw z naszej planety. System ten pozwala nie tylko na pobieranie tlenu do oddychania dla ludzi, ale także gazów neutralnych, takich jak azot czy argon, których zabieranie na misję byłoby szczególnie nieopłacalne. Bardzo dobrze znana jest atmosfera Marsa. W kilku niezależnych misjach potwierdzony został jej skład chemiczny, który jest podobny we wszystkich rejonach planety. Atmosfera zawiera przede wszystkim dwutlenek węgla (z którego można otrzymywać tlen), także azot, argon oraz śladowe ilości pary wodnej. Szczegółowo znany jest procentowy udział gazów w marsjańskim powietrzu. Dzięki tej dokładnej wiedzy z powodzeniem można zaprojektować urządzenia ISRU, które przetwarzałyby atmosferę na potrzeby LSS. Zubrin i Wagner (1997) piszą, że mimo iż atmosfera marsjańska jest bardzo sucha, można z niej pozyskiwać wodę. Zeolity – aluminowokrystaliczne krysztale – są silnymi absorbentami wody. Potrafią one tak wchłaniać parę wodną, że w otaczającej atmosferze pozostaje jej tylko parę cząsteczek na miliard. Jest to wartość znacznie mniejsza od średniej wilgotności marsjańskiego powietrza. Po nasyceniu zeolitu można z niego wydobyć wodę poprzez ogrzewanie. Wysuszony zeolit nadaje się do ponownego wykorzystania. Projekt urządzenia wyposażonego w zeolit do pochłaniania wilgoci z atmosfery Marsa przedstawili Grover i in. w projekcie WAVAR (Grover i in. 1998) – *Water Vapor Adsorption Reactor* – reaktor do zbierania wody z pary wodnej. WAVAR wyposażony jest w kulisty pojemnik, w którym zbiera się woda po skropleniu. Całość ma ok. 1 metra wysokości i 8 m szerokości. Docelowo umieszczony ma być na module marsjańskim wg Misji Wzorcowej NASA (Rys. 4.31).

Wody jest na Marsie pod dostatkiem (Rozdz. 3.1), warto wykorzystać urządzenia ISRU do jej pozyskiwania, zamiast zabierać jej zapasy z Ziemi. Woda pozyskana przez ISRU mogłaby być wykorzystywana do picia, celów gospodarczych i do higieny. Z wody można także produkować tlen do oddychania.

W zależności od tego, w jakiej postaci woda będzie eksploatowana, możliwe jest wyko-



Rysunek 4.33: Po lewej: mobilny piec; po prawej: pojazd z emiterem mikrofal (Michael Carroll)



Rysunek 4.34: Przenośna szklarnia ze zwierciadłami (Michael Carroll)

rzystanie różnych maszyn do jej pobierania i przetwarzania (oczyszczania, ogrzewania itp.). Twardy lód może być krojony na bloki, które następnie musiałyby być transportowane. Powierzchniowy szron mógłby być zasysany do specjalnego zbiornika po odfiltrowaniu pyłu. Aby wydobyć wodę uwięzioną w regolicie blisko powierzchni, trzeba by go ogrzewać i odparowywać wodę, a następnie skraplać do odpowiednich pojemników. Gdyby woda znajdowała się na większych głębokościach, należałoby robić odwierty, by się do niej przebić przez warstwę suchą. Kilka sposobów pozyskiwania wody z gruntu powierzchniowego przedstawiają Zubrin i Wagner (1997, s.254). Zauważają oni, że do odparowania wody z gruntu, konieczne jest jego podgrzanie. Są na to dwa sposoby: dostarczyć grunt do grzejnika lub na odwrót – grzejnik do gruntu. W pierwszym przypadku należy wykorzystać wywrotkę z ładowarką pobierającą grunt i umieszczającą go w ciężarówce. Tak nagromadzony regolit byłby wtedy transportowany do wolnostojącego pieca (Rys. 4.32). Tam grunt byłby ogrzewany do uzyskania pary wodnej. Po skropleniu byłaby ona magazynowana w osobnym pojemniku, zaś suchy grunt odpadowy byłby usuwany na hałdę. Jeśli chodzi o drugą sytuację, Zubrin i Wagner (1997) proponują kilka rozwiązań. Na przykład pojazd wyposażony w urządzenie emitujące promieniowanie mikrofalowe ogrzewa za jego pomocą grunt znajdujący się pod pojazdem. Odparowana z niego woda, skraplałaby się na baldachimie z tyłu pojazdu (Rys. 4.33). Zaletą tego rozwiązania jest to, że nie trzeba prowadzić wykopów, a zatem — nie ma potrzeby sprowadzania ciężkiego sprzętu do takich robót. Jednak do tego zadania konieczne są znaczne ilości energii elektrycznej.

Inne rozwiązanie proponuje użycie mobilnego pieca, umieszczonego na pojeździe kołowym, który pobierałby regolit z powierzchni. W piecu grunt byłby wypiekany, a po odparowaniu wody, wyrzucany podczas jazdy z tyłu za pojazdem⁹. Można także wykorzystać naturalnie występujący efekt cieplarniany do odparowywania wody z gruntu, co przyczyniłoby się do znacznej oszczędności energii. Nad wybranym terenem należałoby ustawić paroszczelną, przezroczystą kopułę (Rys. 4.34). Wnętrze mogłoby być dodatkowo ogrzewane przez ustawione obok takiego namiotu zwierciadła podążające za słońcem w ciągu dnia i kierujące skupioną wiązkę jego promieni do środka kopuły. Ogrzany grunt wydzielalby parę wodną, która następnie odkładałaby się w postaci szronu na zimnej płycie. Zamarznąłą wodę umieszczaliby się w zamrażarce z boku kopuły. Jak obliczyli Zubrin i Wagner, rozwiązanie to zapewniłoby wysoką efektywność w produkcji wody oraz byłoby wyjątkowo energooszczędne.

⁹Pomysł zaczerpnięty z: B. Clark „A Day in the Life of Mars Base 1”, *Journal of British Interplanetary Society*, 11.1990.



Rysunek 4.35: Oświetlanie upraw wg pomysłu firmy Lockheed



Rysunek 4.36: Produkcja paliwa na Marsie wg DRM (NASA)

Jednym z miejscowych zasobów na Marsie jest światło słoneczne. Może być ono wykorzystywane przez baterie słoneczne do produkcji energii. Jednak musiałyby one być bardzo wydajne lub trzeba by dostarczyć ich dużą ilość, by sprostać wymaganiom wszystkich urządzeń w bazie. Światło mogłoby być także skupiane np. przy pomocy dużych zwierciadeł. Następnie kierowane by było do wnętrza przy pomocy tuneli świetlnych. Taka skupiona wiązka promieni nadawałaby się do oświetlania upraw, a także do ogrzewania habitatu. Pomysł takiego wykorzystania zwierciadeł zaproponowała firma Lockheed. Rysunek 4.35 prezentuje sposób dostarczania skupionego światła do modułu z agrokulturą.

Wg programu NASA DRM na Marsie ma być produkowane paliwo z miejscowych zasobów oraz z przywiezionego wodoru. Posłużyłyby do tego zadania urządzenia ISRU (Rys. 4.36). Produktem ubocznym w przeprowadzanych w tym celu reakcjach byłby tlen i woda. Mogłyby one zasilać system podtrzymywania życia.

Jak zauważają (Drysdale i in. 2003), ISRU może współpracować z innymi systemami. Gdy procesy fizykochemiczne odpowiedzialne są za recykling powietrza w habitacie, ISRU może być wykorzystane tylko do uzupełniania wycieków gazów, głównie spowodowanych korzystaniem ze śluz wyjściowych. Utylizacja miejscowych zasobów może wspierać BIO LSS poprzez dostarczanie: dwutlenku węgla do oddychania dla roślin, gruntu marsjańskiego dla upraw i wody do podlewania.

Jak zauważa autorka, urządzenia ISRU mogą być wielofunkcyjne. Na przykład ISRU odpowiedzialne za wydobywanie wody podpowierzchniowej, mogłyby także służyć do wykonywania podziemnych habitatów, wydobywania gruntu do budowy bazy lub na barierę ochronną przed promieniowaniem kosmicznym, albo też do eksploatacji złóż mineralnych. Sanders (2005) wymienia różne technologie utylizacji miejscowych zasobów, które mogą ze sobą współpracować przy różnych zadaniach. Zauważa on, że jedno urządzenie może wykorzystywać kilka takich technologii, co zapewnia zaoszczędzenie kosztów związanych z wysłaniem sprzętu na Marsa.

Za pomocą maszyn do utylizacji miejscowych zasobów na Marsie można także pozyskiwać paliwo jądrowe do reaktorów, służących do generowania energii, potrzebnej także urządzeniom sztucznego systemu podtrzymywania życia.

Urządzenia PC LSS mogą być bardzo małe, zaś BIO LSS korzysta z małych ilości energii. Tymczasem do utylizacji miejscowych zasobów potrzebne są często duże i energochłonne maszyny, w tym pojazdy. Jednak dzięki ISRU LSS baza marsjańska może być samowystarczalna przez bardzo długi okres czasu. Gdyby w jakiś sposób utracono wodę czy powietrze

w bazie, w przypadku PC LSS konieczne byłoby skorzystanie z zapasów lub nawet konieczne byłoby szybkie dostarczenie ich z Ziemi. Tymczasem dzięki ISRU można szybko uzupełnić zapasy na miejscu. ISRU zatem zapewnia bezpieczeństwo. Utylizacja miejscowych zasobów jest także niezwykle korzystnym rozwiązaniem, ponieważ często przy pozyskiwaniu i wytwarzaniu jednego produktu, otrzymujemy też inne przydatne produkty lub surowce do ich wytwarzania. I tak np. przy produkcji tlenu do oddychania z CO₂ zawartego w atmosferze otrzymujemy węgiel, który w połączeniu z wodorem, np. pozyskiwanym z wody marsjańskiej, daje paliwo. Poza tym raz sprowadzony sprzęt ISRU może służyć załogom wielu misji i na długo być wykorzystywany w bazie na Marsie.

Na podstawie analizy propozycji utylizacji miejscowych zasobów na Marsie podawanych w literaturze autorka przedstawia wskazówki projektowe dla ISRU LSS:

1. W bazie potrzebne są garaże na pojazdy ISRU oraz warsztat naprawczy dla nich.
2. Urządzenia do pobierania pary wodnej z atmosfery marsjańskiej z wykorzystaniem zeolitów mogą być dopasowane do kształtu i wielkości habitatu (np. jak w projekcie WAVAR dla modułu z DRM). W bazie może zostać wskazane przez projektanta miejsce dla umieszczenia takiej aparatury, przy czym wybrać należy takie, które jest wystawione na swobodny przepływ mas powietrza.
3. W projekcie bazy można w różny sposób uwzględnić współpracę urządzeń ISRU do wykorzystywania światła słonecznego, np. w postaci zwierciadeł i tuneli świetlnych.
4. Na zebrane produkty, np. wodę, potrzebne są w bazie zbiorniki i przestrzeń magazynowa.
5. urządzenie ISRU do pobierania gruntu marsjańskiego i przekazywania go do modułu z agrokulturą powinno znajdować się w jego pobliżu; można wskazać sposób jego połączenia z konstrukcją tej budowli (Kozicki 2004).

Wnioski ogólne dla LSS w bazie marsjańskiej:

Na podstawie analizy różnych rodzajów systemów podtrzymywania życia, autorka wypisała ogólne zalecenia co do wdrażania ich w bazie marsjańskiej.

1. Do podtrzymywania życia w bazie marsjańskiej potrzebny jest LSS.
2. Na długotrwały bezpieczny pobyt ludzi na Marsie potrzebny jest duży habitat. Kombinezon, pojazd mpv czy schron to tylko tymczasowe rozwiązania dla podtrzymywania życia.
3. Niezależnie od wielkości habitatu należy zapewnić ludziom kompletny LSS:
 - większy habitat wymaga tylko bardziej wydajnego sprzętu;
 - koszt LSS przypadający na jednostkę powierzchni habitatu jest mniejszy dla większego habitatu.
4. Architekt musi posiadać podstawowe informacje na temat LSS, by móc właściwie zaprojektować bazę marsjańską, ponieważ system ten ma wpływ na jej architekturę.
5. Różne rodzaje źródeł zasobów dla podtrzymywania życia wymagają innego sposobu projektowania bazy:
 - zapasy wymagają dużych przestrzeni magazynowych;
 - regeneracja fizykochemiczna wymaga (stosunkowo małych) urządzeń, które znaleźć się muszą wewnątrz bazy w odpowiedniej konfiguracji;

- bioregeneracja wymaga modułów z agrokulturą oraz odpowiednich maszyn rolniczych do zainstalowania w tych modułach;
 - utylizacja miejscowych zasobów wymaga sprzętu, który zainstalowany będzie na zewnątrz bazy, ale musi być z nią we właściwy sposób połączony; pojazdy ISRU wymagają przestrzeni garażowej i do napraw.
6. Długotrwała misja na Marsa wymaga wykorzystania w bazie BIO LSS w celu zapewnienia ludziom żywności.
7. System podtrzymywania życia wymaga miejsca do przechowywania/magazynowania:
- tlenu, dwutlenku węgla i gazów neutralnych;
 - czystej wody pitnej oraz do innych celów;
 - zapasów żywności zabranej z Ziemi;
 - żywności wyprodukowanej na Marsie;
 - nasion, cebulek itp.;
 - brudnej wody;
 - odpadków stałych;
 - osobno moczu i kału;
 - części zamiennych dla urządzeń LSS.

4.2. Problemy socjopsychologiczne

Kluczowa rola problemów socjopsychologicznych w misjach marsjańskich

Psychologia społeczna to nauka badająca, w jaki sposób obecność innych ludzi i ich działania wpływają na psychikę jednostki (*Wikipedia* 2007). Zajmuje się ona funkcjonowaniem człowieka w sytuacjach społecznych, relacjami jednostki z innymi ludźmi oraz ich wpływem na jej zachowanie się, postawy, przekonania. W centrum badań tej dziedziny nauki stawiane są problemy kształtowania się postaw i opinii społecznej, prowadzi się badania nad specyfiką poznawania ludzi i innych obiektów społecznych, patologią społeczną, konfliktami społecznymi itp. Jako dział specjalny psychologii społecznej wyodrębnia się psychologię małych grup, zajmującą się badaniem procesów wewnątrzgrupowych oraz wpływu, jaki wywiera grupa na będące jej członkami jednostki (Encyklopedia PWN). Problemy socjopsychologiczne, jakimi zajmuje się ta gałąź nauki, są bardzo ważnym zagadnieniem misji załogowych na Marsa i jego eksploracji. Warunki, w jakich znajdą się członkowie załóg marsjańskich, są krytyczne zarówno dla jednostki – w wymiarze psychologicznym, jak i dla społeczności – w wymiarze socjologicznym.

Wg planów różnych państwowych agencji kosmicznych w pierwszych misjach na Marsa mają brać udział kilkusobowe załogi (podobnie jak to miało miejsce w przypadku wypraw na Księżyc czy wysyłania ludzi na stacje orbitalne). W dalszej części zostaną opisane problemy socjopsychologiczne małych izolowanych grup ludzi biorących udział w misjach prowadzonych w warunkach ekstremalnych na Ziemi i w kosmosie jako symulacji misji na Marsa planowanych przez agencje kosmiczne, takie jak NASA czy ESA. Badania prowadzone przez socjologów i psychologów wśród członków załóg w tych analogicznych przedsięwzięciach wskazują na duże ryzyko wysyłania na Marsa małych grup ludzi i niebezpieczeństwo klęski wynikające z tego powodu. Sauer i in. (1997) piszą, że człowiek jest w stanie znieść

nawet wysoce niekomfortowe warunki życia, jak na stacjach satelitarnych i polarnych, ale tylko przez ograniczony okres czasu. Najdłużej człowiek przebywał poza Ziemią ok. 430 dni. Dokonał tego rosyjski kosmonauta Poljakow. Było to dla niego bardzo trudnym i wysoce wyczerpującym psychicznie przeżyciem. Tymczasem misja na Marsa trwać ma - wg planów NASA - dwa i pół roku! Jak pisze Kanas (1998), problemy socjopsychologiczne mają niezwykłą wagę w przypadku długotrwałych misji, co jest niespotykane w krótszych misjach. Wynika to z różnych powodów. Po pierwsze, tutaj cele misji oraz zadania, które należy wykonywać, są bardziej skomplikowane i jest ich więcej, co nakłada na członków załogi większe wymagania. Po drugie, mamy tu do czynienia z okresami wzmożonego działania naprzemiennie występującymi z okresami monotonii, w czasie których wypełnienie sobie czasu jakimiś rozrywkami może być powodem stresu u niektórych ludzi. Po trzecie, drobne nieporozumienia czy poróżnienia między członkami załogi, które mogą być tolerowane przez niezbyt długi czas, nasilają się i męczą w czasie dłuższym, narastając do poważnych problemów interpersonalnych. Guena i Brunelli (1996) również podkreślają, że utrzymywanie w zdrowiu psychicznym członków długotrwałych misji kosmicznych jest głównym czynnikiem, który ma wpływ na powodzenie przedsięwzięcia lub jego porażkę. Należy zatem wykorzystać wszelkie możliwości łagodzenia źródeł stresu, ponieważ w przypadku tak długiej misji do tak odległego miejsca odsunięcie się od pracy jest niemożliwe, a wiele odciążających aktywności nie może być wykonywanych ze względu na ograniczoną przestrzeń do życia (Sauer i in. 1997). Jest to tym bardziej istotny problem, gdyż od powodzenia pierwszej misji zależy stosunek świata do dalszej załogowej eksploracji Układu Słonecznego.

Przy pomocy narzędzi architektury można wpłynąć na minimalizowanie wielu problemów socjopsychologicznych. Dowodzą tego badania małych grup ludzi w zamkniętych habitatach w warunkach ekstremalnych – tzw. ICE – *Isolated and Confined Environment*. W ten sposób aspekt ludzki staje się głównym czynnikiem w procesie kształtowania się problematyki architektury na Marsie.

Izolacja fizyczna i społeczna od świata zewnętrznego oraz przebywanie w zamkniętym habitatcie osadzonym w środowisku ekstremalnym będzie silnie wpływać na morale i zachowanie grupy. Socjologowie twierdzą, że ignorowanie wagi problemów społecznych jest tak samo niebezpieczne, jak ignorowanie praw fizyki¹⁰. Kluczową rolę zagadnień socjopsychologicznych tłumaczą m. in. Guena i Brunelli (1996): interakcje społeczne i międzyludzkie pełnią główną rolę w życiu człowieka. W każdej społeczności jej członkowie podlegają pewnym zasadom, schematom, które wpływają na ich zachowanie: pozytywnie (przyjaźń, miłość, solidarność) lub negatywnie (konfliktowość, zawiść, wrogość). Jest to niepodważalny fakt, że w małych zamkniętych grupach, takich jak załoga misji kosmicznej, niezwykle istotne jest, by poznać i próbować unikać wszelkich negatywnych relacji międzyludzkich, a także, by dawać możliwość wykształcania się i rozwoju tych pozytywnych relacji. Napięcia interpersonalne, jeśli nie są odpowiednio zredukowane, stanowią bardzo silne podłoże stresu. Dzieje się tak tym bardziej, że często nie znikają one wraz z upływem czasu i mogą rozszerzać się między członkami załogi. Jak podkreśla Kanas (1998), aby właściwie wypełnić cele misji, konieczne jest, aby załoga zachowała spójność i zdolność do współpracy. Pośród wielu czynników, które mogą negatywnie wpływać na ogólne samopoczucie członków załogi, stres jest z pewnością najbardziej krytycznym wyznacznikiem, wpływającym na zdrowie psychiczne i fizyczne oraz efektywność wykonywanych przez ludzi zadań (Guena i Brunelli 1996).

¹⁰ „Durkheim wrote in „Suicide” that social forces are as real as cosmic forces, and it is indeed suicide to ignore his observation” (1997).

Przykłady analogów misji marsjańskich

W badaniach problemów socjopsychologicznych załogowych misji marsjańskich naukowcy posiłkują się studiami zachowań ludzkich w analogicznych sytuacjach. Odnaleziono bardzo wiele różnych tego typu analogów. Autorka sklasyfikowała je w zależności od natury podobieństwa między danym przykładem a misją marsjańską¹¹:

- a) *Podobieństwo otoczenia* — w środowisku otaczającym panują warunki ekstremalne, do których człowiek nie jest przystosowany lub jest przystosowany w niewielkim stopniu:
 - środowisko podwodne,
 - Antarktyda i Arktyka,
 - przestrzeń kosmiczna,
 - powierzchnia Księżyca,
 - tereny wysokogórskie.
- b) *Podobieństwo warunków izolacji społecznej* — ograniczona liczebnie grupa ludzi odseparowanych od swego codziennego środowiska życia przebywa przez dłuższy okres czasu razem, dysponując niewielką przestrzenią mieszkalną, przy znacznie utrudnionej możliwości kontaktowania się z ludźmi spoza grupy:
 - stacje polarne,
 - ekspedycje polarne,
 - wyprawy wysokogórskie,
 - misje kosmiczne,
 - symulacje misji kosmicznych,
 - analogi MARS,
 - eksperymenty z zamkniętymi ekosystemami,
 - habitaty podwodne.
- c) *Podobieństwo sztucznego środowiska habitatu* — otoczenie bezpośrednio dostępne jest sztuczne, mechaniczne, wypełnione sprzętem elektronicznym, maszynami cyfrowymi, robotami – urządzeniami, które trzeba umieć używać, kontrolować i naprawiać, i od których uzależnione jest przetrwanie lub wykonanie planowanych zadań:
 - loty i misje kosmiczne,
 - misje lotnicze,
 - kontrola lotów,
 - kontrola złożonych procesów przemysłowych,
 - nuklearne łodzie podwodne,
 - symulacje misji kosmicznych,
 - analogi MARS,
 - stacje polarne (częściowo).

Nakreślenie znaczących podobieństw, będących podstawą do uznania badań socjopsychologicznych odnoszących się do tychże analogów za cenne źródło informacji na temat zachowań ludzi w przewidywanych misjach na Marsa. Tablica 4.2 przedstawia wykaz tych analogów i stopień ich pokrewieństwa, względem charakteru misji marsjańskich, określony na podstawie analiz wykonanych przez autorkę.

¹¹Podział ten został zaproponowany przez Sauer i in. (1997).

Tablica 4.2: Sposób i stopień podobieństwa do misji na Marsa u różnych przedsięwzięć prowadzonych w warunkach ekstremalnych przy udziale izolowanych grup ludzi.

rodzaj przedsięwzięcia	charakter przedsięwzięcia										
		w warunkach ekstremalnych	uzależnienie od sprawnie działającego sprzętu	trudne zadanie do wykonania	zagrożenie życia	ograniczone zapasy i sprzęt	izolacja od świata zewnętrznego	sztuczne warunki atmosferyczne w habitacie	pomoc z zewnątrz nie nadejdzie szybko	środowisko sztuczne, wypełnione aparaturą precyzyjną	ograniczony dostęp światła słonecznego
	stacje polarne	xx	xx		x	x	xx		xx	x	xx
	nuklearne łodzie podwodne	xx	xx	xx	xx	x	xxx		x	xxx	xx
	stacje orbitalne	xx	xxx	xx	xx	xx	xxx	x	xxx	xxx	x
	misje księżycowe	xx	xxx	xx	xx	xx	xxx	x	xxx	xxx	
	analogi MARS	x	x	x		xx	x			x	
	środ. pracy w lotnictwie i przemyśle		xx	xx						xxx	
	habitaty podwodne	xx	xx		xx		x	x	x	x	x
	eksperymenty bios		xx			xx	x	x		x	x
	ekspedycje polarne	xx	xx		x	x	x		xx		
	wyprawy wysokogórskie	x	x	x	x	x			x		

Stacje orbitalne – niewielkie, kilkusobowe laboratoria naukowe umieszczone na orbicie okołozemskiej. Ze względu na rodzaj prowadzonych tam badań oraz sposób transportu na nie załogi (drogi, skomplikowany, niebezpieczny) przeznaczone są także do stałego pobytu ludzi – życia i mieszkania. Jedna misja trwa zwykle od kilku tygodni do kilku miesięcy. Przez cały ten czas dana grupa nie opuszcza stacji – powrót na Ziemię jest możliwy dopiero w planowanym terminie zakończenia misji. Natychmiastowy powrót na żądanie nie jest możliwy, nawet w przypadku awarii stacji. Stacje orbitalne to hermetyczne metalowe kapsuły, oferujące niewielką przestrzeń bytową, całkowicie wypełnioną sprzętem badawczym oraz urządzeniami do obsługi stacji i podtrzymywania życia. Środowisko jest sztuczne, brak zieleni i zwierząt. Panują warunki mikrogravitacji. Stacja może obiegać kulę ziemską z różną prędkością i po różnej orbicie, co wiąże się z zachwianiem naturalnego cyklu dobowego ze wschodami i zachodami słońca. Występuje wysokie zagrożenie życia. Zadania do wykonania są bardzo trudne, wymagają skupienia i precyzji. W przypadku symulacji misji kosmicznych na stacjach orbitalnych, przeprowadza się je na Ziemi w specjalnie przygotowanych habitatach. Różnicą jest normalne przyciąganie ziemskie i zmniejszone ryzyko zdrowia i życia oraz dostępność pomocy z zewnątrz.

Misje księżycowe Apollo – kilku- lub kilkunastodniowe misje kosmiczne, w czasie których parosobowa załoga złożona z samych astronautów, mężczyzn w podobnym wieku, docierała na Księżyc, wykonywała na powierzchni różne trudne zadania i powracała na Ziemię. Podróż w jedną stronę – na statku kosmicznym – trwała około trzech dni. Na powierzchnię spuszczana była specjalna kapsuła – lądownik księżycowy LM (*Lunar Module*). Przestrzeń do życia w lądowniku zmniejszona została do minimum. Warunki zewnętrzne nie pozwalały na przeżycie, wewnątrz habitatu pracował sztuczny system podtrzymywania życia. W wyniku obniżonej grawitacji ludzie napotykali utrudnienia w poruszaniu się. Zaburzony był też cykl dobowy ze wschodami i zachodami słońca. Bezpośredni kontakt z innymi ludźmi w czasie misji był niemożliwy. W razie awarii pomoc z zewnątrz nie mogła nadejść.

Analogi marsjańskie – niewielkie laboratoria badawcze z przestrzenią mieszkalną wykorzystywane do symulacji misji marsjańskiej na Ziemi na terenach o warunkach zbliżonych do tych, jakie panują na Czerwonej Planecie. Habitaty zlokalizowane zostały na obszarze niezamieszkałym, przy ograniczonych kontaktach ze światem zewnętrznym. Wyjścia poza habitat — tylko w specjalnych kombinezonach. Jednorazowo przez okres paru tygodni kilkusobowa grupa naukowców różnych narodowości (wolontariuszy) wykonuje różne trudne zadania.

Środowiska pracy w lotnictwie i przemyśle. Praca w lotnictwie jest bardzo skomplikowana i przypomina niektóre elementy lotów kosmicznych, szczególnie że nie polega tylko na prowadzeniu pojazdu w powietrzu, ale także na nadzorowaniu różnych innych rzeczy w tym samym czasie. Ważna jest strategia w postępowaniu, człowiek narażony jest na duży stres związany z poczuciem odpowiedzialności przy wykonywaniu trudnych zadań. Misje lotnicze są dosyć krótkie, przeprowadza je jedna lub parę osób tej samej profesji. Złożoność zadań wykonywanych przez kontrole lotów jest mniejsza, ale odpowiedzialność bardzo duża, podejmowanie decyzji – ważne, opierające się na skomplikowanych działaniach poznawczych. Brak jest jednak długotrwałej izolacji – jest to zwykłe miejsce pracy. Przemysłowe procesy kontroli mają wysoki stopień automatyzacji i złożoność systemu, otoczenie jest całkowicie sztuczne, odseparowane od świata zewnętrznego. Charakterystyczna jest stałość w czasie – wielokrotne powtarzanie wielu trudnych, ale ciągle tych samych zadań. Mała załoga, duża odpowiedzialność.

Habitaty podwodne – laboratoria badawcze z częścią mieszkalną, przeznaczone do pobytu na nich jednorazowo kilku osób, zwykle przez okres kilku tygodni. Załoga (zwykle pływaki lub naukowcy różnych profesji) wykonuje różne trudne zadania i musi utrzymywać habitat i działający na nim sprzęt w stanie używalności. Wyjścia na zewnątrz możliwe są tylko ze specjalnym sprzętem do nurkowania. Całkowite wynurzenie trwa co najmniej kilka godzin, co związane jest z różnicą ciśnień między panującym dookoła habitatu a atmosferycznym, do którego się powraca. Habitat to środowisko sztuczne, wypełnione sprzętem specjalistycznym, sztucznie stwarzane są warunki do przeżycia. Środowisko zewnętrzne – wodne z ograniczonym dostępem światła słonecznego. Habitaty oferują niewielką przestrzeń do życia, brak jest prywatności.

Eksperymenty BIOS – symulacje samowystarczalnych, samopodtrzymujących się, sztucznie stworzonych ekosystemów, prowadzonych wraz z udziałem ludzi. Załoga kilkusobowa, złożona z naukowców różnych profesji (wolontariuszy), wykonuje różne badania i zajmuje się uprawami. Mieszkalna przestrzeń jest nieduża, za to tereny z agrokulturą mogą być dość spore. Ograniczone są kontakty ze światem zewnętrznym, wynikające z przebywania na terenie zamkniętym. Czas trwania eksperymentu – kilkanaście miesięcy.

Ekspedycje polarne – wyprawy badawcze poza koło podbiegunowe, prowadzone na drogach morskich i lądowych. Wielkość grupy różna – od kilku do kilkudziesięciu członków. Ekspedycje prowadzone są w warunkach ekstremalnych w krainach wiecznego śniegu i lodu, zasiedlonych przez niewiele roślin i zwierząt. Charakteryzują się ciągłym przemieszczaniem się po trudnodostępnym, niezamieszkałym, nieprzyjaznym terenie. Ludzie mieszkają na statkach i w tymczasowych schronieniach – namiotach. Pomoc z zewnątrz nie nadejdzie szybko. Wyprawa trwać może od kilku miesięcy do kilku lat (dłuższy czas trwania w przypadku pierwszych ekspedycji polarnych w XIX w.). Większość zapasów i cały sprzęt trzeba wieźć ze sobą. Zarówno sprawność fizyczna, jak i psychiczna członków załogi jest decydująca w powodzeniu ekspedycji.

Wyprawy wysokogórskie – wyprawy w wysokie góry, w której udział bierze niewielka grupa ludzi. Porusza się po niebezpiecznym i często niezamieszkałym terenie. Wyprawa trwa zwykle od paru tygodni do paru miesięcy. Większość zapasów i cały sprzęt trzeba nosić ze sobą, uzyskanie pomocy z zewnątrz – utrudnione. Wysoki stopień ryzyka wiąże się z zagrożeniem zdrowia i życia. Przed ludźmi stoją trudne zadania do wykonania. Od umiejętności i sprawności człowieka zależy osiągnięcie celu wyprawy.

Przebywanie ludzi w niecodziennym dla nich środowisku ma wpływ na ich zachowanie. Socjopsychologiczne następstwa tego stanu są odmienne od tych, jakie znamy z bardziej codziennych sytuacji. Omawiane tu „niecodzienne” środowiska pełnią funkcję laboratoriów – naturalnych lub sztucznie stworzonych – w których można znaleźć odpowiedzi na wiele nurtujących zagadnień socjopsychologicznych związanych z misjami marsjańskimi (Suedfeld 1998). Za jeden z najlepszych analogów wyprawy na Marsa i jego eksploracji uważa się ekspedycje polarne i okresy zimowe na stacjach antarktycznych (Dudley-Rowley i in. 2004), (Palinkas 1989), (Suedfeld 1998).

Źródła stresu

Misja na Marsa związana z jego eksploracją i tymczasowym zamieszkiwaniem jest wysoce stresogenna. Członkowie załogi narażeni będą w czasie jej trwania na wpływ różnych negatywnie na nich oddziałujących bodźców. Źródła stresu autorka podzieliła na: związane

ze środowiskiem zewnętrznym, związane ze środowiskiem wewnętrznym (habitatem), społeczne i psychologiczne.

Źródła stresu związane ze środowiskiem zewnętrznym

Głównym źródłem stresu w czasie misji marsjańskich będzie bez wątpienia zagrożenie życia i zdrowia, jakie niesie ze sobą przebywanie w zupełnie obcym, nieprzyjaznym środowisku, do którego człowiek nie jest przystosowany. Towarzyszyć ono będzie marsonautom bezustannie w czasie spacerów po planecie (Dudley-Rowley 1997). Poczucie strachu przed śmiercią lub utratą zdrowia wzrośnie, jeśli zdarzy się jakiś pierwszy wypadek albo pojawi się ich więcej. Strach może wtedy stać się paraliżujący. Niemożliwe będzie wychodzenie poza habitat bez specjalnego kombinezonu i aparatu do oddychania. Strój będzie chronił organizm przed wychłodzeniem, a skórę przed otarciami i skaleczeniami, a także przed zapyleniem. Aparat do oddychania będzie konieczny, ponieważ atmosfera marsjańska jest bardzo rzadka i prawie zupełnie pozbawiona tlenu. Jeśli któraś z tych rzeczy ulegnie uszkodzeniu, to osoba, do której ona należała, nie będzie mogła wychodzić na powierzchnię do końca misji. A o uszkodzenie nietrudno: mikrocząstki pyłu marsjańskiego mogą wdzierać się w miejsca połączeń i doprowadzić do niemożności ich oczyszczenia i uszczelnienia; kombinezon może zetrzeć się lub przedrzeć przez otarcie o ostre głązy, które zalegają na powierzchni planety. Pył będzie szczególnie niebezpieczny w razie burzy pyłowej, kiedy duże jego ilości pędzić będą ze znaczną prędkością w atmosferze i ocierać się o wszystko, co znajdą na swojej drodze. Zagrożenie to ludzie będą mogli minimalizować przez niewychodzenie na zewnątrz w złą pogodę i ostrożne poruszanie się po powierzchni. Nieuniknione jest jednak stałe doświadczanie zmniejszonej grawitacji (Allen i in. 2003). Kłopotliwe będzie poruszanie się przy obniżonej wartości przyspieszenia grawitacyjnego na Marsie. Chodzenie po powierzchni będzie trudne i męczące, łatwo o upadek. Problemy z wstawaniem po takim upadku można obejrzeć na filmach z misji księżycowych¹².

Na Marsie atmosfera w niewystarczającym stopniu zatrzymuje silnie naładowane cząstki z kosmosu i Słońca. Źródłem stresu będzie więc wystawienie na działanie promieniowania (Allen i in. 2003), które może niszczyć komórki ciała i spowodować raka. Podłożem stresu może również okazać się zmniejszone nasłonecznienie na Marsie, który oddalony jest od Słońca o 1,5 AU i dociera tam o ponad połowę mniej promieniowania widzialnego. Pył unoszący się w atmosferze będzie jeszcze dodatkowo zaciemniał niebo, szczególnie w czasie burz pyłowych. Tymczasem, jak spostrzega autorka, pochmurna pogoda jesienią i zmniejszone nasłonecznienie zimą uważa się na Ziemi za źródło depresji. Odmienny wygląd otoczenia może także budzić niepokoję, poczucie obcości, która wywoływać może stres: na Marsie jest bliższy horyzont, cienie są niebieskawe, skały i niebo czerwone, a tarcza słoneczna - mniejsza.

Źródła stresu związane ze środowiskiem wewnętrznym (habitatem)

Pisząc o środowisku wewnętrznym autorka ma na myśli habitat marsjański. Ogólny klimat, wygląd, wyposażenie wewnątrz itp. w habitatcie wpływają na jego odbiór emocjonalny przez mieszkańców.

¹²Zarówno na Księżycu, jak i na Marsie grawitacja jest mniejsza od ziemskiej, choć na Księżycu jest ona połowę niższa niż na Marsie - 1/6g. Tak więc problemy z poruszaniem się powinny być na Czerwonej Planecie mniejsze niż na naturalnym satelicie Ziemi.

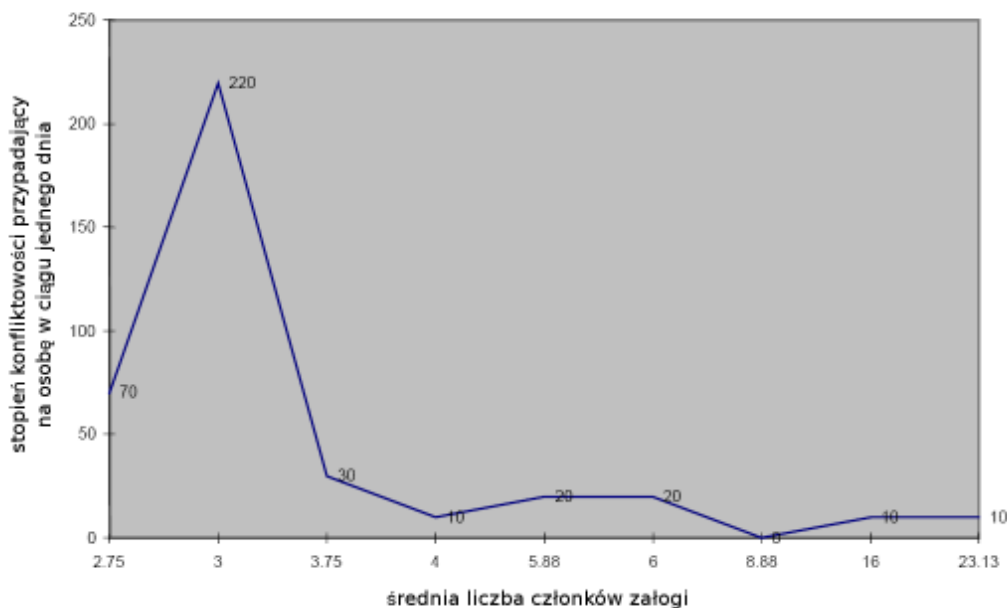
Autorka zauważa, że źródłem stresu może być sam podział na środowisko zewnętrzne i wewnętrzne, który wymuszony jest przez rozdzielenie na strefę zagrożenia życia i na niewielką strefę bezpieczeństwa. Wrażenie uwięzienia w habitacie może budzić bunt. Frustrujące stać się mogą restrykcje ograniczające swobodę opuszczania habitatu. Poczucie zamknięcia i braku przestrzeni do życia w ciasnym habitacie to jedno z najważniejszych źródeł stresu w czasie misji kosmicznych, szczególnie kiedy trwać one mogą bardzo długo (Kass i in. 1995).

Środowisko wewnętrzne w habitatach kosmicznych jest sztuczne. Urządzenia systemu podtrzymywania życia nieustannie muszą pracować, by ludzie mieli czyste, natlenione powietrze i czystą, zdatną do picia wodę. Dodatkowy system odpowiedzialny jest za kontrolę sprawności działania tej aparatury. Podłożem stresu może być poczucie uzależnienia od sprawnego działania LSS, ponieważ jego dysfunkcja może doprowadzić do śmierci mieszkańców bazy (Dudley-Rowley i in. 2004, Kass i in. 1995).

Habitat wypełniony jest także różnego rodzaju maszynami i sprzętem badawczym potrzebnym do eksploracji Marsa, poruszania się po jego powierzchni, do napraw sprzętu, do komunikowania się na planecie oraz z Ziemią, do uzyskiwania energii, paliwa itd. Autorka zwraca uwagę, że im mniejszy habitat, tym większy procent powierzchni zajmowany jest przez te urządzenia. Człowiek ze wszystkich stron otoczony jest komputerami, elektroniką i robotami. Trudno o poczucie przytulnej, domowej atmosfery w takich wnętrzach. Jako że koszt wysłania masy 1 kg na Marsa jest bardzo wysoki, ludzie nie będą mogli wziąć ze sobą zbyt wiele, nie mówiąc o rzeczach nieprzydatnych, służących tylko do dekoracji, pamiątkach, bibelotach. Podłożem stresu może stać się poczucie obcości, nieprzytulności miejsca, które przez dość długi okres czasu ma być domem. Szczególnie dokuczliwy będzie mógł być niezmienny układ przestrzenny, brak możliwości wpływania na jego wygląd, robienie przekształceń, co zwykle zapewnione ma człowiek w swoim miejscu zamieszkania. Habitaty w warunkach ekstremalnych zwykle traktowane są jak schrony - co rzutuje na brak dbałości o wystrój wnętrz. W większości przypadków są one surowe, monochromatyczne i niefleksybilne (Suedfeld 1998), uniemożliwiona jest w nich indywidualizacja. Stałość, niezmiennosc otoczenia, w którym spędza się większość czasu w ciągu dnia, szczególnie jeśli ma ono wygląd sztuczny, nieprzyjemny, mało stymulujący, stać się może podłożem stresu (Palinkas 1989).

Pierwsze stacje kosmiczne były zwykle niewielkimi pomieszczeniami pełniącym jednocześnie funkcję roboczą i mieszkalną. Sprzęt i instalacje w znacznym stopniu ograniczały mobilność i wygodę załogi. Panowała ciasnota i zupełny brak prywatności. Ograniczenia konstrukcyjne nie pozwalały na wykonanie zbyt wielu okien, były one też niewielkich rozmiarów. Ze względu na niewielkie gabaryty habitatu niemożliwe było wprowadzenie stref wypoczynkowych. W przypadku krótkotrwałych misji kosmicznych było to do przyjęcia. Jednak długie w czasie pozbawienie możliwości zróżnicowanego sposobu spędzania czasu może się stać źródłem stresu (Dudley-Rowley 1997). Człowiek musi wypoczywać i musi mieć możliwość wyboru, w jaki sposób chce spędzić swój czas wolny – tak, by wydajnie regenerował siły i umysł do dalszej pracy. W przeciwnym przypadku jego sprawność spada, co grozi niewykonaniem poprawnie powierzonego mu zadania, a to może doprowadzić nawet do fiaska całej misji.

Minimalistyczna ergonomia i hałas nieustannie działających urządzeń są głównymi przyczynami odczucia dyskomfortu u mieszkańców habitatów w ekstremalnych warunkach. Do projektowania mieszkalnych modułów kosmicznych NASA stworzyło specjalne normy (MSIS 1995). Podaje się w nich minimalne rozmiary korytarzy, śluz i pomieszczeń. Wielko-



Rysunek 4.37: Zależność konfliktowości w izolowanej grupie w zależności od liczby członków załogi (Dudley-Rowley i in. 2004)

ści te raczej pozwalają się człowiekowi gdzieś zmieścić, a nie - być, swobodnie się poruszać czy czuć bezpieczną przestrzeń wokół siebie. W standardowym ziemskim projektowaniu architektonicznym nie dopuszcza się do tak rygorystycznych ograniczeń. Zasady ergonomicznego projektowania przestrzeni na Ziemi uwzględniają bowiem oprócz fizycznych możliwości człowieka, także jego komfort psychiczny i wygodę.

Odizolowanie habitatów w warunkach ekstremalnych od świata zewnętrznego wymusza ograniczenia w korzystaniu z zapasów wody, żywności i energii. Obliguje się także do polegania na wewnętrznym systemie recyklingu, w którym nie wolno dopuszczać do jakichkolwiek strat. Restrykcje te oraz pozbawienie drobnych przyjemności (np. spożywania ulubionych potraw czy korzystania z długich kąpeli) przez dłuższy czas może doprowadzić do silnego odczuwania dyskomfortu (Sauer i in. 1997).

Społeczne źródła stresu

Jako najlepsze analogi misji marsjańskich podaje się najczęściej stacje polarne oraz misje kosmiczne lub ich symulacje. Przewiduje się bowiem, że w pierwszych misjach na Czerwoną Planetę w małych, ciasnych habitatach polecą kiluosobowe załogi. Jak wiele zagrożeń natury socjopsychologicznej niesie ze sobą taki scenariusz, zostanie opisane poniżej. Niektóre źródła stresu tego typu dotyczyć mogą jednak nie tylko małych grup żyjących w takiej specyficznej izolacji. Aczkolwiek, jak dowodzą badania naukowe, im więcej ludzi wchodzi w skład załogi, tym podłoża te są mniej stresogenne (a nawet przerodzić się mogą w coś pozytywnie oddziałującego).

Dudley-Rowley i in. (2004) przeanalizowali wiele różnych analogów misji marsjańskich – w tym misje kosmiczne, księżycowe, wyprawy polarne itd. Na podstawie tych badań naukowcy stworzyli wykres pokazujący zależność konfliktowości w izolowanej grupie od liczby członków załogi (Rys. 4.37). Wykres ten pokazuje, że najwięcej problemów socjopsycho-

logicznych dotyczy trójosobowych załóg. Konfliktowość maleje wraz ze wzrostem liczby członków załogi. W planowanej przez NASA misji na Marsa ma wziąć udział 5-6 ludzi. Według wykresu konfliktowość dla takich grup jest dużo mniejsza niż dla paruosobowych załóg, jednak co najmniej dwukrotnie wyższa niż w przypadku liczniejszych. Na podstawie analogów badanych przez Dudley-Rowley i in. wynika, że minimum problemów socjopsychologicznych przypada dla dziewięcioosobowych grup oraz ich natężenie jest bardzo niskie w przypadku większych załóg. Zauważyć tu należy, że naukowcy wybrali tylko pewną ilość konkretnych misji podobnych do wyprawy na Marsa. Z tego względu liczba dziewięć może być charakterystyczna dla tej właśnie grupy przykładów. Bezpieczniej jest zatem stwierdzić bardziej ogólnie, że dziewięć to minimalna bezpieczna ilość członków załogi, jaka powinna wziąć udział w podróży na Czerwoną Planetę i jej eksploracji. Wnioski te autorka określa na podstawie wymienionego tu dokumentu naukowego. Szersze badania, lepiej rozróżniające typy branych pod uwagę analogów, pozwoliłyby lepiej sprecyzować te stwierdzenia, ponieważ trzeba np. wziąć pod uwagę to, że duża konfliktowość występowała głównie w misjach kosmicznych, w których udział brały zawsze paruosobowe grupy, zaś te bardziej liczne charakterystyczne są tylko dla analogów ziemskich. Dopiero Międzynarodowa Stacja Kosmiczna umożliwia organizowanie misji kosmicznych dla siedmioosobowych załóg, większych grup dotąd w kosmos nie wysyłano, a zatem nie ma pewności co do konfliktowości w takiej sytuacji.

Społeczne źródła stresu podzielić można na wynikające z: izolacji społecznej, uwarunkowań wewnątrzgrupowych i ograniczeń środowiskowych o wydźwięku społecznym.

Izolacja społeczna: Mieszkańcy bazy marsjańskiej stanowią grupę odizolowaną od reszty świata ludzi. Olbrzymia odległość (od 0,5 do 2,5 AU) będzie ich dzielić od Ziemi. Długotrwały i uciążliwy transport międzyplanetarny uniemożliwi bezpośrednie kontakty z najbliższymi czy odwiedzanie znajomych. Duża odległość wpłynie będzie na opóźnienie w komunikacji satelitarnej. Rozmowa taka jak przez telefon nie będzie właściwie możliwa, ponieważ oczekiwanie na czyjąś odpowiedź trwać może od kilku do ok. 40 minut. Pozostaje przesyłanie wiadomości elektronicznych.

Mieszkańcy bazy marsjańskiej utworzą wyjątkowe w swoim rodzaju mikrospołeczeństwo. Wyjątkowe – ze względu na niemal totalną izolację od świata zewnętrznego – począwszy od najmniejszej skali – izolacja od jednostek ważnych w życiu danego człowieka (partner, rodzina, przyjaciele), poprzez skalę średnią – izolacja od grup społecznych, do jakich współnaależy ta osoba (środowisko pracy, ugrupowania, stowarzyszenia, grupy sąsiedzkie, znajomych), aż po skalę globalną – izolacja od ludzi na Ziemi.

Oddzielenie od ukochanych osób wiąże się z pozbawieniem wsparcia duchowego, po które człowiek zwykle w naturalny sposób zwraca się do rodziny i przyjaciół (Dudley-Rowley 1997). W trudnych chwilach – gdy pojawia się brak takich ludzi w najbliższym otoczeniu – człowiek zostaje sam na sam ze swymi problemami, nie ma komu się zwierzyć i na kogo liczyć jako powiernika, pocieszyciela. Jak pisze Suedfeld (1998), możliwość społecznego wsparcia ze strony najbliższych jest głównym sposobem radzenia sobie ze stresem. Pozbawienie kontaktów z najbliższymi uniemożliwia przebywanie z ludźmi, których się najlepiej zna, w których towarzystwie zachowuje się najbardziej naturalnie, z którymi odpoczywa się psychicznie, cieszy życiem, zyskuje poczucie bezpieczeństwa i własnego znaczenia w życiu innych (Palinkas 1989). Szczególnie w przypadku osób żyjących w stałych związkach konsekwencją jest także pozbawienie seksu¹³.

¹³Kanas (1998) podkreśla, że ważnym problemem w czasie długotrwałych misji kosmicznych są kontakty

Wiedza o środowisku społecznym, w jakim się obracamy, jakie role kto w nim pełni, jakie występują w nim zależności i hierarchia, dają nam poczucie przewidywalności życiowych sytuacji. Na co dzień poruszamy się wśród ludzi, których w miarę dobrze znamy, po których spodziewamy się pewnych zachowań. Przyswojona stopniowo, z czasem wiedza o otaczającym nas społeczeństwie wpływa na poczucie bezpieczeństwa, ponieważ znamy przyczynowość danych zachowań i rozumiemy to, co się dookoła nas dzieje. Jak wiele badań socjologicznych dowodzi poczucie przewidywalności i kontroli sytuacji jest poważnym buforem antystresowym. Suedfeld (1998) zwraca uwagę, że na stacjach polarnych często spotykają się ludzie z różnych środowisk, nie znający się dotąd. Stresowa jest dla nich sytuacja, kiedy muszą się do siebie przyzwyczaić, poznać się, zawalczyć o swoją pozycję społeczną, zyskać szacunek w oczach innych, by umieścić się gdzieś w hierarchii grupy. Choć po jakimś czasie sytuacja społeczna się klaruje, ludzie integrują się ze sobą i wytwarza się mikrosociedade o wspólnie ustalonych zasadach i normach, to trwa to dłuższy czas. W przypadku misji na Marsa, która jest wyjątkowym wyzwaniem dla społecznej jednostki ludzkiej, proces ten przebiegać może wyjątkowo burzliwie. Obecnie przeprowadza się już treningi i spotkania integracyjne osób, które razem mają np. lecieć na stację kosmiczną. Te pozytywne działania rozpoczęły się właśnie na skutek alarmów ze strony socjologów i psychologów.

Jednym z poważniejszych problemów jest to, że grupa ludzi biorących udział w misji jest stała i niezmienna. Ludzie skazani są na sztucznie wymyślony skład ich grupy i nie można od tego uciec (Sauer i in. 1997). W normalnym środowisku społecznym możemy podejmować wybór, jak chcemy spędzać nasz czas wolny - czy chcemy przedłużyć momenty spędzane w towarzystwie kolegów z pracy, czy wolimy być wtedy ze znajomymi, przyjaciółmi, rodziną (Suedfeld 1998). W czasie misji koledzy z pracy i ludzie, z którymi można spędzać wolny czas, to te same osoby (Sauer i in. 1997), a kontakt z najbliższymi jest niemożliwy. Brak zmian w otoczeniu społecznym, ciągłe kontakty z tymi samymi ludźmi, brak wytchnienia, tymczasowego odcięcia się od jakiejś grupy ludzi, jest dużym obciążeniem psychicznym dla człowieka. Izolacja społeczna zmusza do nauczania się życia w sztucznie stworzonym mikrosociele, polegania na sobie nawzajem; tzw. wymuszona socjalizacja (*forced socialization*) (Guená i Brunelli 1996). Często zadania trzeba wykonywać w zespole. Prywatne nieporozumienia nie mogą stanąć temu na przeszkodzie, gdyż zależy od tego bezpieczeństwo misji i jej efektywność. Wzajemne poróżnienia, brak zaufania czy poczucie niechęci stają się w takiej sytuacji niezwykle drażniące i utrudniają pracę.

Choć mieszkańcy bazy marsjańskiej będą utrzymywać pewne formy kontaktu ze światem zewnętrznym, to będą one niezwykle ograniczone: do porozumiewania się z kontrolą misji na Ziemi, oglądania zdjęć i filmów z Ziemi, wysyłania maili do rodziny, przeglądaniem dostarczanych wiadomości ze świata. Oprócz fizycznej alienacji dojdzie na pewno też do wyobcowania psychicznego. Problemy dnia codziennego członków misji będą często inne niż ludzi na Ziemi. U marsonautów pojawić się może uczucie alienacji i braku zrozumienia ze strony ludzi na Ziemi. Niechęć do kontaktowania się i współpracy z kontrolą misji, wynikające w dużej mierze z tego powodu, wielokrotnie stawały się zarzewiem konfliktów w

seksualne. Zastrzega, że abstynencja seksualna może być uwzględniana, ale raczej nie na tak długi okres czasu. Z tego względu, zastanawia się, że być może, wskazane byłoby wysyłanie małżeństw lub stałych par damsko-męskich jako członków załogi przyszłych misji. To wg niego pozwoliłoby zminimalizować stres spowodowany abstynencją seksualną, konflikty i współzawodnictwo w grupie. Jednocześnie przyznaje, że nie można mieć pewności, czy taki układ nie okaże się niestabilny - jako że może dochodzić do kłótni między partnerami, scen zazdrości itp. jak to ma nieraz miejsce na Ziemi.

czasie misji kosmicznych i ich symulacji. Zwracają na to szczególną uwagę Dudley-Rowley i in. (2004), wymieniając wśród siedmiu głównych źródeł stresu: olbrzymie oddalenie od domu, wzrastające problemy w komunikacji z kontrolą misji na Ziemi oraz zwiększającą się autonomię grupy, która nie może liczyć na zrozumienie czy szybką pomoc ze strony kontroli misji.

Uwarunkowania wewnątrzgrupowe mikrospołeczności: Na pierwsze misje kosmiczne wysyłano załogi, złożone zwykle z astronautów – ludzi o tym samym wykształceniu i profesji, mężczyzn z tego samego kraju, podobnych do siebie kulturowo. Obecnie panuje tendencja, która utrzyma się zapewne i w przyszłych misjach, że grupę tworzą ludzie dość zróżnicowani, np. na ISS wybiera się mężczyzn i kobiety o różnym doświadczeniu zawodowym (Kanas 1998).

Zróżnicowanie ludzi tworzących załogę stacji polarnych, kosmicznych czy w specjalnych symulacjach, stawia się w literaturze fachowej na czele pośród stresogennych czynników społecznych. Zróżnicowanie to przejawiać się może w: narodowości, języku i używanym słownictwie fachowym, kulturze, wychowaniu, kanonach wartości, zainteresowaniach, wykształceniu i doświadczeniu zawodowym, umiejętnościach, motywacji do działania, pracy w czasie misji, wieku i płci.

Problemy kulturowe pojawiają się szczególnie w małych grupach – np. kiedy pośród trzech osób dwie z nich są z jednego kraju, a trzecia innej narodowości. Zawsze te dwie pierwsze wolą przebywać i rozmawiać tylko ze sobą, ponieważ łatwiejsza jest między nimi komunikacja; podczas gdy ta trzecia osoba czuje się wyalienowana (szczególnie jeśli nie rozumie języka, jakim posługują się współtowarzysze). Trudno się także porozumiewać za pomocą fachowego słownictwa astronautycznego, które w każdym języku ma inną etymologię, opiera się na synonimach, akronimach czy neologizmach, które dla ludzi różnych nacji mogą być trudne do odgadnięcia i zrozumienia (Kanas 1998). Tymczasem wielokrotnie podkreśla się wagę udanej komunikacji międzyludzkiej w przypadku grup żyjących w izolacji i biorących udział w trudnych eksperymentach (Kass i in. 1995).

Problemy kulturowe mogą też być mniej bezpośrednie, bardziej subtelne. Dotyczyć to może np. różnic w poczuciu prywatności i strefy bliskości. Na przykład Arabowie lepiej znoszą bliskość fizyczną niż Amerykanie, Japończycy są w stanie wytrzymać w nawet bardzo ciasnych kwaterach, zaś Grecy mają niski poziom poczucia prywatności, jako że w ich naturze jest stałe bliskie przebywanie wśród ludzi (Kanas 1998).

Różnica w płci może wywoływać u mężczyzn zachowania stereotypowe i szowinistyczne (Kanas 1998), które są dla kobiet nieprzyjemne; odnotowano także przypadki napaści seksualnych. Brak możliwości ucieczki czy unikanie styczności z mężczyzną, który tak się zachował, stać się może wysoko stresujące.

Mieszkańcy bazy różnić się też mogą motywacjami do pracy, co związane jest ze specyfiką wykonywanego zawodu. Naukowcy zwykle lepiej radzą sobie w warunkach zamknięcia, w czasie nocy polarnych na stacjach antarktycznych, ponieważ potrafią spędzić czas na prowadzeniu badań naukowych. Tymczasem pracownicy fizyczni bardziej cierpią w warunkach zamknięcia, kiedy nie mają co robić. Ich frustracje mogą doprowadzić do otwartej wrogości i zniszczenia danych naukowych (Kanas 1998). Tak więc widać, że brak zrozumienia czyichś priorytetów i sposobu pracy także może być źródłem stresu.

Zróżnicowanie członków grupy stwarza okazję do tworzenia się rozłamów w grupie np. na podgrupy: młodych i starych, pracowników fizycznych i umysłowych, preferujących spokój i lubiących imprezy itp. (Johnson i in. 1997). Takie podziały mogą pogłębiać się z czasem

i stawać podłożem stresu, kiedy podgrupy zaczynają kłócić się lub rywalizować ze sobą.

Ograniczenia środowiskowe o wydźwięku społecznym: Na stacjach polarnych i kosmicznych, gdzie komfort mieszkalny został ograniczony do minimum i przestrzeń do życia była bardzo mała, poczucie ciasnoty było jednym z głównych źródeł stresu. W skrajnych przypadkach pojawiały się problemy klaustrofobiczne. Zamknięcie w małej kapsule to jedno podłoże stresu. Gdy zaś dodatkowo człowiek zamknięty tam jest na dłuższy okres czasu z kilkoma osobami, to obciążenie psychiczne staje się nie do zniesienia. Kosmonauta Walerij Rjumin, który spędził na stacji orbitalnej Salut 6 sześć miesięcy, napisał w swoim dzienniku: „Co jest potrzebne, by sprowokować człowieka do popełnienia morderstwa? Zabarykadować na dwa miesiące dwoje ludzi w kapsule siedmiometrowej długości!” (Kass i in. 1995). Kiedy kilkoro ludzi zamknie się w małej przestrzeni, ich prywatność jest utracona kompletnie, jeśli nie mają prywatnych kabin lub kilku pomieszczeń bytowych oddzielonych od siebie przegrodami akustycznymi. Brak odgraniczenia od siebie różnych stref w bazie oraz brak podziału na osobne pokoje powoduje, że ludzie nie mają szansy побыć samemu lub w towarzystwie tylko wybranych osób. Szczególnie stresogenne środowisko tworzy jedna wielofunkcyjna przestrzeń – jak na pierwszych radzieckich stacjach kosmicznych Salut. Męczące, a w końcu nie do zniesienia stają się różne nawyki i zwyczaje innych członków załogi, np. chrapanie (Kass i in. 1995).

Psychologiczne źródła stresu

Ból, strach, osamotnienie, zmęczenie pracą i problemy w kontaktach interpersonalnych to podstawowe źródła stresu o podłożu psychologicznym. Członkowie misji marsjańskich będą mieć z nimi do czynienia z różnych powodów. Związane one będą z: dyskomfortem fizycznym, opuszczeniem Ziemi, wykonywaną pracą i problemami społecznymi.

Dyskomfort fizyczny: Jak piszą Guena i Brunelli (1996), „każdy dyskomfort fizyczny stanowi źródło stresu dla organizmu”. W czasie pobytu na Marsie ludzie stale poddani będą działaniu trzykrotnie niższej grawitacji niż na Ziemi. Jak wynika z doświadczenia zdobytego w czasie załogowych misji kosmicznych, organizm człowieka w różny sposób reaguje na to uniedogodnienie. Najtrudniejszy jest pierwszy okres przystosowania, który trwa ok. 9 dni (Sauer i in. 1997). Różne problemy z układem szkieletowym, trawiennym i krążenia utrzymują się jednak cały czas i mogą stać się dokuczliwe lub doprowadzają do negatywnych zmian w ciele. Trudną sztuką jest też nauczenie się poruszania przy obniżonym ciśnieniu. Człowiek nie jest przystosowany do takich warunków, stąd łatwo o niezręczność, uderzenie się, upadek itp. Towarzyszyć też temu mogą problemy fizjologiczne związane np. z przełykaniem, poceniem się, załatwianiem. Reakcją organizmu na drastycznie odmienne warunki życia mogą być też różne bóle: głowy, brzucha, mięśni, zębów itd. oraz zaburzenia snu. Dolegliwości takie są uciążliwe dla człowieka i reaguje on często wtedy stresem. Guena i Brunelli (1996) wymieniają te kwestie właśnie jako psychologiczne bodźce stresowe. Dyskomfort fizyczny wywołujący stres może być również związany z niewygodą, poczuciem ciasnoty w habitacie, brakiem różnych udogodnień, do których jest się przyzwyczajonym we własnym domu.

Opuszczenie Ziemi: Najpoważniejszymi psychologicznymi źródłami stresu, które oddziaływać będą na mieszkańców bazy na Marsie, wydają się te związane z opuszczeniem Ziemi na długi okres czasu. Do pewnych rzeczy jesteśmy tak przyzwyczajeni, że dopiero w sytuacji ekstremalnej możemy dostrzec, że ich brak budzi w nas niepokój. Pozbawie-

nie widoku Ziemi z jej zielenią, wodą, zwierzętami, znaną zabudową miast i wsi wzbudzić może silną tęsknotę i wywołać stres związany z brakiem normalności dookoła, do jakiej się przyzwyczało.

Opuszczenie Ziemi wiąże się też z opuszczeniem domu i rodziny, utratą widoku i dotyku tego, co było blisko człowieka każdego dnia i co on ukochał. Silne oddziałującym podłożem stresu będzie z pewnością tęsknota za domem i najbliższymi oraz niepokój o to, co dzieje się tam pod nieobecność danego człowieka biorącego udział w misji; a także pozbawienie możliwości przeżywania chwil radosnych i trudnych z tymi, z którymi ułożyło się sobie życie. Do tego dochodzić będzie poczucie niemocy, niemożność ucieczki i powrotu do domu, strach, że się nigdy nie powróci (Guená i Brunelli 1996).

Na Ziemi w obecnych czasach ludzie mają dostęp do różnych rozrywek, stawia się przed nimi wiele możliwości. Każdy z nas może dokonywać wyboru, co chce jeść czy co chce robić w wolnym czasie, z jakich usług chce korzystać. Mamy często szczególnie ulubione produkty spożywcze, dania, restauracje czy kluby, do których najchętniej chodzimy. Mieszkańcy Marsa nie mogą liczyć na tak szeroką gamę możliwości. Uprawiane tam będą te rośliny, które szybko się rozwijają i które dostarczają dużo zdrowej żywności. Potrawy będą przygotowywać sami marsonauci. Źródłem stresu może być brak różnych form gratyfikacji: apetycznego jedzenia, seksu, wypoczynku, wakacji, wyjścia na miasto itp. (Dudley-Rowley 1997, Dudley-Rowley i in. 2004, Palinkas 1989).

Wykonywana praca: Poważnym psychicznym obciążeniem dla członków załogi misji marsjańskiej będzie wykonywana przez nich praca. Kass i in. (1995) przedstawiają sytuację, w jakiej znajduje się astronauta w czasie misji kosmicznej. Opisują oni, jakim napięciom poddany jest wtedy człowiek: „Ma on często niewiele czasu na wykonanie jakiegoś zadania, ponieważ z tego samego sprzętu, być może, zaraz po nim ktoś inny będzie musiał skorzystać. Musi pracować efektywnie, ponieważ włożono dużo wysiłku i pieniędzy, by wysłać go w kosmos i musi przeprowadzić badania w oparciu o pomysły i wieloletnie starania naukowców. Jeśli zawiedzie lub coś popsuje, nie zdobędzie danych lub spowoduje ich stratę. Pomyłka może spowodować uszkodzenie ważnego urządzenia, w tym takiego, które dba o zachowanie warunków zdatnych do życia w kabinie. Popełnienie błędu ma też inny emocjonalny wymiar – patrzą na niego jego współtowarzysze. Jego niekompetencja może spowodować, że oni nie będą mogli wykonywać swoich zadań, zaś on straci w ich oczach – jak członek drużyny sportowej, który zawiódł cały zespół”.

Drugim, najczęściej wymienianym w literaturze fachowej, źródłem stresu związanym z pracą jest naprzemienne występowanie okresów wzmożonego wysiłku i nudy (Guená i Brunelli 1996). Z jednej strony członkowie załogi liczą na trudne zadania, w których mogą się wykazać i zasłużyć na docenienie. Z drugiej zaś strony nadmiar takich wyzwań jest męczący. Przepracowanie i nadmiar obowiązków były jednymi z ważniejszych podłoży stresu w radzieckich misjach kosmicznych (Sauer i in. 1997). Dlatego dziś zwykle plany misji nie są przeładowane programowo, szczególnie że trzeba uwzględniać występowanie nieprzewidzianych sytuacji. Nuda i znużenie mogą też być wynikiem wykonywania dzień w dzień tych samych rutynowych zajęć, a takich na pewno będzie sporo w czasie misji marsjańskiej, gdyż konieczna będzie kontrola systemów, wykonywanie podobnych badań. Brak motywacji do pracy i zniechęcenie do wypełniania swych nieciekawych obowiązków mogą stać się podłożem stresu (Sauer i in. 1997).

Problemy społeczne: Źródłami stresu o podłożu psychologicznym mogą być też różne konfliktowe sytuacje interpersonalne (Kass i in. 1995), takie jak zmęczenie lub nie-

chęć do nieuniknionego przebywania w czyimś towarzystwie, problemy ze zgraniem się z grupą, okazywanie niechęci czy agresji ze strony współtowarzyszy itp. (Kass i in. 1995), (Dudley-Rowley 1997). Problemem może także okazać się wewnętrzny konflikt między chęcią przynależenia do grupy i jednoczesnej potrzeby pozostania sobą, bycia niezależnym (Palinkas 1989).

Reakcje na stres

Człowiek w różny sposób reaguje na stres. Zależy to w głównej mierze od tego, z jakim typem stresu ma do czynienia. Guena i Brunelli (1996) wyróżniają dwa jego typy: pierwszy – **ostry i nagły** (*acute stress*) oraz drugi – **chroniczny i przewlekły** (*chronic stress*). Reakcja na ostry i nagły stres zwykle jest natychmiastowa i nieprzemysłana. Wywołują go sytuacje niespodziewane, nagłe. Chroniczny i przewlekły stres pojawia się pod wpływem źródeł stresu działających długotrwale, kiedy człowiek ma okazję i czas do oceny stresogennej sytuacji. Nasycenie niepożądanymi bodźcami powoduje bardzo duże obciążenie psychiczne u takiej osoby. Towarzyszy temu nadpobudliwość lub niechęć do wykonywania pewnych czynności. Ten typ stresu ma zwykle podłoże bardziej złożone i skomplikowane niż w przypadku pierwszego typu. W czasie misji na Marsa ludzie będą narażeni na przeżywanie obu rodzajów stresu. Jakies awarie systemów, nagłe nieprzewidziane zdarzenia mogą mieć miejsce w czasie podróży, a potem – pobytu na planecie. Niektóre z takich sytuacji będą dużo bardziej stresogenne niż gdyby wydarzyły się na Ziemi – np. upadek ze schodów i złamanie nogi – w tym wypadku ze względu na ograniczoną pomoc medyczną. Unieruchomienie jednego członka załogi z powodu uszczerbku na zdrowiu zaburzy tok wykonywanych zadań, w których dotąd brał on udział oraz zwiększy zagrożenie niepowodzeniem misji. Zatem nie powinno się ignorować pierwszego typu stresu, nawet jeśli w literaturze jest on uważany za mniej problematyczny niż drugi. Należy wszakże zauważyć, że stres chroniczny i przewlekły jest bardzo niebezpieczny, ponieważ jego źródło lub źródła działają nieustannie i mogą być trudne do unikania lub usunięcia w czasie misji – np. stały hałas działających urządzeń LSS.

Reakcje emocjonalne: Guena i Brunelli (1996) wymieniają trzy typy emocjonalnych odpowiedzi na stres: niepokój, wrogość i depresja.

Wrogość i niepokój towarzyszą zwykle stresowi ostremu i nagłemu. Człowiek reaguje wtedy zwykle atakiem lub ucieczką. Stres chroniczny i przewlekły związany jest natomiast głównie z niepokojem i depresją. Człowiek próbuje uciec, wycofać się, a gdy jest to niemożliwe, czuje się zaszczuty i zadręczony, następuje u niego wstrzymanie aktywności. Czasem bunt przeciw takiej sytuacji wywołuje okresową nadpobudliwość i zachowania agresywne.

Reakcje społeczne: Reakcjom emocjonalnym – psychologicznym – towarzyszą reakcje społeczne – socjologiczne. Kanas (1998) wymienia dwa główne następstwa w zachowaniu społecznym ludzi poddanych stresowi w warunkach izolacji: napięcia interpersonalne i zaburzenia spójności grupy.

Napięcia interpersonalne pojawiają się zwykle z powodu niezadowolenia z czyjegoś towarzystwa, które w małej bazie na Marsie może być nieuniknione przez większość czasu w ciągu dnia. Palinkas (1989) podaje jako przykład problemy, jakie pojawiły się w czasie wyprawy belgijskiego okrętu na Antarktydę w latach 1898-99, który na długi czas nocy polarnej utknął w bryle lodu. Ludzie nieprzygotowani na taką okoliczność i nieprzystosowani do życia w trudnych warunkach, poddani byli silnemu przewlekłemu stresowi. Członków za-

łogi mężczyło, gdy ktoś kolejny raz próbował opowiadać tę samą historię, frustrujące stawały się trudności w komunikacji, ponieważ w skład grupy wchodziły osoby różnych narodowości. Ludzie zaczęli grać sobie na nerwach, dręczyło ich poczucie niezadowolenia, złościł się na siebie lub popadali w depresję – jeden człowiek umarł na atak serca spowodowany przerażeniem tą sytuacją.

Kanas (1998) opisuje zjawisko „kozła ofiarnego” (*scapegoating*), które często pojawia się w czasie długotrwałych misji i ekspedycji analogicznych do wyprawy na Marsa. Wiąże się ono z odsunięciem od grupy wybranej osoby, która najmniej pasuje do większości, szczególnie jeśli szerzy ona idee odbiegające od popularnych. Ostracyzm wywołuje u kogoś takiego poczucie wyalienowania, któremu często towarzyszy syndrom „długich oczu” (*long-eye syndrome*) – wpatrywanie się w dal oraz cierpienie na bezsenność, depresję, pobudzenie, a nawet na psychotyczne symptomy takie jak słuchowe halucynacje czy manie prześladowcze. Na szczęście osoba taka wraca do siebie, jeśli zostanie ponownie przyjęta do grupy.

Zaburzenia spójności grupy wynikają ze zróżnicowania wśród członków załogi. Ich następstwem jest kształtowanie się podgrup. Tworzenie się ich niekoniecznie jest problematyczne, jak pisze Kanas (1998), jednakże może prowadzić do poważnego rozłamu w grupie. Na przykład w czasie jednej z ekspedycji antarktycznych podział nastąpił pod względem narodowościowym. Po jakimś czasie subgrupy zaczęły przejawiać wobec siebie wrogość, niechęć i brak wzajemnego zrozumienia. Podobnie było w przypadku eksperymentu Biosphere 2, kiedy to czteroosobowa grupa podzieliła się na połowy o przeciwnej płci. Jedna z podgrup nie chciała współpracować z kontrolą eksperymentu, uważając ją za bandę arogantów i nieuków, druga zaś pozostawała lojalna wobec zwierzchników. Efektywna współpraca w takiej sytuacji nie była możliwa.

Reakcje fizyczne i fizjologiczne: Kass i in. (1995) wymieniają różne reakcje organizmu na stres, którym często ulegają członkowie załóg misji kosmicznych. Są to: zaburzenia snu, ogólne złe samopoczucie, opóźniona reakcja na bodźce zewnętrzne, zmniejszona produktywność. Obniżona sprawność fizyczna i psychiczna załogi pojawia się zwykle na początku misji i trwa kilka dni (Sauer i in. 1997). Związana jest najprawdopodobniej z okresem przystosowywania się ciała do warunków zmniejszonej siły ciężenia oraz jej wpływu na fizjologię (choroba kosmiczna (*space sickness*) – zwykle: nudności, dezorientacja, ból głowy itd. w warunkach mikrogravitacji). Długotrwałe przebywanie w takim środowisku zwykle wiąże się ze stopniowym przyzwyczajaniem się organizmu. Niemniej jednak wiele problemów zdrowotnych i fizjologicznych może towarzyszyć mieszkańcom bazy marsjańskiej przez cały okres misji. Guena i Brunelli (1996) wymieniają niektóre z nich: ból (głowy, zębów, mięśni), zmęczenie i słabość, nagłe lub utrzymujące się zawroty głowy, nudności i wymioty, biegunki, zaparcia, niestrawności, zaburzenia trawienne, anoreksja, osłabienie koordynacji ruchowej, poczucie zimna lub przegrzania, iluzje zmysłowe lub halucynacje, ciężkość głowy, arytmia.

Jednymi z najbardziej uciążliwych dolegliwości i najczęściej doświadczanych w czasie misji kosmicznych i ich symulacji są zaburzenia snu; głównie bezsenność, zła jakość snu i niewyspanie po przebudzeniu (Allen i in. 2003). Nawet tylko częściowe problemy ze spaniem i nieduże zaburzenia w normalnym dobowym rytmie dnia, powodują spadek wydolności organizmu, sprawności fizycznej, koncentracji i chęci do pracy. Sauer i in. (1997) dodaje jeszcze, że wydłuża się czas reakcji, na podejmowanie decyzji oraz zwiększa ilość popełnianych błędów w czasie wykonywania rutynowych lub dodatkowych zadań; zdarzają się także osłabienia pamięci i kłopoty ze skupieniem się.

Brak kontaktu ze środowiskiem zewnętrznym, jaki ma miejsce w czasie nocy polarnych na stacjach antarktycznych wynika z pozbawienia widoku słońca i nieba oraz możliwości patrzenia przez okno na krajobraz dookoła. Wywołuje to problemy psychologiczne (zdenerwowanie, niepokój, depresja), a także fizyczne i fizjologiczne. Na syndrom czasu zimowego cierpi zwykle większość członków załogi misji polarnych. Objawami tego są: kłopoty ze snem, osłabione kojarzenie, zaburzenia układu pokarmowego, bóle i bólesci mięśni i kości (Palinkas 1989).

Aby uniknąć problemów, jakie pojawiały się w czasie misji, kiedy było zbyt mało wymagających zadań, Rosjanie postanowili obarczyć załogę różnymi pracami dodatkowymi. Chciano w ten sposób uporać się z problemem przysypiania w pracy, utraty motywacji do działania z powodu rozmyślań nad samotnością, utraty uwagi, niedostrzeganie alarmujących sygnałów itp. Zwykle pomocne jest nakładanie na członów załogi wielu odpowiedzialnych zadań, które absorbują ich uwagę i są źródłem zadowolenia z wykonywanej pracy. Niestety, przy nadmiernym obciążeniu pracą Rosjanie często stawali się przemęczeni i bardziej spięci, skupiali się wtedy tylko na kluczowych zadaniach, łatwiej zaniedbując te rutynowe. Dane przez nich kompletowane były niepełne, ludzie stawali się mniej elastyczni w działaniu i mieli problemy z podzielnością uwagi. Długotrwałe obciążenie nadmiernie stresującymi zadaniami powoduje utratę motywacji do działania, co wiąże się z możliwością popełnienia błędu, np. poprzez „pójście na skróty” przy podejmowaniu jakiejś ważnej decyzji (Sauer i in. 1997). Allen i in. (2003) potwierdzają, że nadmierne obciążenie pracą wywołuje stres, zmęczenie, rozpraszanie uwagi oraz zmniejszenie motywacji do pracy.

Charakterystyczne są także następujące w czasie reakcje socjopsychologiczne na działanie różnych bodźców stresowych podczas misji lub ekspedycji w warunkach ekstremalnych związanych z długotrwałą izolacją społeczną. Na podstawie literatury z wypraw podmorskich i antarktycznych, J. Rohrer wyróżnił 3 etapy kształtowania się morale grupy w czasie długotrwałych misji (Kanas 1998): najpierw ludzie ulegają zdenerwowaniu, podnieceniu związanym z rozpoczęciem ważnej i niebezpiecznej misji oraz przystosowywaniem się do nowych warunków życia. Następnie następuje okres monotonii, który charakteryzuje się poczuciem nudy, depresji i znerwicowaniem na punkcie innych członków załogi. Ludzie wtedy często wycofują się ze wspólnego spędzania czasu, stają się sobie nieprzychylni. Wreszcie trzeci etap ma miejsce u samego końca misji, kiedy następuje niemal dziecinna radość związana z rychło nadchodzącym końcem misji i powrotem do domu. Drugi etap jest szczególnie niepokojący, ponieważ właśnie wtedy najłatwiej o utratę spójności grupy, która rozpada się pod wpływem poróżnień o małe sprawy, narastające do wielkich problemów z powodu zdenerwowania i zmęczenia trudną do zniesienia sytuacją zamknięcia. Na przykład ludzie stają się przesadnie przeculeni na punkcie naruszania ich prywatności – problemem do kłótni czy nawet bójki może być wzięcie od kogoś bez pytania książki czy długopisu.

Problemy socjopsychologiczne i zdrowotne są poważnym problemem długotrwałych misji polarnych i kosmicznych, jak pisze Dudley-Rowley (1997). Potwierdzają to dane z rosyjskich misji, które musiały być skracane ze względu na stan psychiczny załogi. Znane są także szczegółowo relacjonowane przypadki niebezpiecznego zachowania się ludzi w czasie misji arktycznych i antarktycznych, np. odkrycie szybkiego ubytku zapasów żywnościowych ekspedycji doprowadzało dowódców do sięgnięcia po broń, by zabić podejrzanego członka wyprawy. Odnotowano różne przypadki niewłaściwego i bardzo niepokojącego zachowania się ludzi pod wpływem stresu w ICE (Dudley-Rowley 1997):

- „Ada wpadła w depresję i ogarnęła ją paranoja. Chciała uciec z obozu i popełnić

samobójstwo. Prośbą i groźbą próbowano ją udobruchać. W końcu kiedy odmówiła zawiązania sobie butów, przywiązano ją do masztu z flagą, dopóki tego nie zrobi."

- „Norm nie chciał się w ogóle myć, trzeba było go do tego zmusić. Śmierdział bowiem tak, że już nikt nie mógł tego znieść."
- „Lovell odłączył swoją biomedyczną aparaturę monitorującą i nie chciał jej włączyć z powrotem. Czuł, że to naruszenie jego prywatności."

Tymczasem Suedfeld (1998) podnosi pewną znamioną kwestię. Mimo tego, że warunki życia na stacji polarnej są wyjątkowo ekstremalne, a wykonywanie tam różnych zadań trudne, czasem także niebezpieczne, to niektórzy ludzie chcą tam powracać wielokrotnie. Podobnie, do symulacji kosmicznych czy eksperymentów w zamkniętych ekosystemach na członków załogi chętnie zgłaszają się wolontariusze. Chęć wykonywania pracy związanej z pasją życia doprowadza ludzi do różnych stresogennych sytuacji lub podejmowania ryzyka. Dlatego przy analizowaniu problemów socjopsychologicznych należy pamiętać, że obarczają one długotrwałą misję załogową na Marsa dużym ryzykiem, ale nie świadczą o nierealności jej sukcesu. Wręcz przeciwnie – wzrastające bogactwo popartej badaniami literatury, poruszającej temat psychologii społecznej misji kosmicznych, daje świadomość pogłębiania się wiedzy na ten temat i daje nadzieję na właściwy dobór członków załogi oraz bardzo dobre ich przygotowanie.

Sposoby minimalizowania problemów socjopsychologicznych

Aby zminimalizować problemy socjopsychologiczne, które są jednymi z najpoważniejszych zagrożeń powodzenia misji na Marsa, należy starać się zlikwidować jak największą ilość źródeł stresu oraz zmniejszać siłę ich negatywnego oddziaływania. Zapobieganie możliwe jest na wiele sposobów. W literaturze fachowej podkreśla się najczęściej, jak ważny jest odpowiedni dobór członków załogi oraz ich wspólny trening przed misją (Kass i in. 1995). Guena i Brunelli (1996) wymieniają też medyczne sposoby łagodzenia stresu.

Niewątpliwie najlepszym sposobem łagodzenia stresu w czasie misji polarnych i kosmicznych jest umożliwienie kontaktów z rodziną i najbliższymi (Kanas 1998). Jednak rozmowy radiowe podczas pobytu na Marsie będą dość kłopotliwe. Za częściowe remedium braku kontaktów z ukochanymi osobami posłużyć może oglądanie ich zdjęć oraz trzymanie pamiętek od nich. Fotografie są lekkie i łatwe do spakowania, a jednocześnie bardzo wysoko oceniane przez członków misji polarnych i kosmicznych jako źródła ukojenia stresu, niepokojów oraz tęsknoty za dotychczasowym życiem (Evans i in. 1988).

Nie wiadomo, jak ludzie poradzą sobie psychicznie i dostosują fizjologicznie do doby marsjańskiej wydłużonej o ok. 37 minut. To, co jednak jest bardzo ważne, to utrzymanie dobowego cyklu zajęć (Allen i in. 2003), który stabilizowałby życie załogi. Zapewniłoby to pewną przewidywalność codziennych sytuacji, co, jak potwierdzają źródła (Suedfeld 1998), korzystnie wpływa na psychikę i daje pewność siebie.

Kolejne zalecenie dotyczące łagodzenia źródeł stresu w habitacie dotyczy wprowadzenia możliwości zróżnicowanego sposobu spędzania czasu wolnego (Kanas 1998). Evans i in. (1988) dowodzą, że ci mieszkańcy stacji antarktycznych, którzy zorganizowaną mieli największą różnorodność rozrywek (szczególnie indywidualnych), najmniej cierpieli z powodu problemów socjopsychologicznych. Najczęściej wymieniane rozrywki lubiane przez badanych z misji polarnych i kosmicznych to: czytanie książek, oglądanie filmów, słuchanie muzyki, fotografowanie, wyglądanie przez okno, ćwiczenie, granie w gry zespołowe (np. rzutki),

organizowanie i zabawa na imprezach okazjonalnych (Evans i in. 1988). Jako że często członkowie tych załóg mają podobne upodobania w sposobie spędzania czasu, można stworzyć przestrzeń umożliwiającą np. granie, zabawę czy oglądanie filmów w grupie. Będzie to stwarzało okazję do spotkań ludzi o tych samych zainteresowaniach i wspomagało integrację (Palinkas 1989). Evans i in. (1988) zauważają również, że takie przestrzenie powinny znajdować się przy ciągach komunikacyjnych o największym natężeniu ruchu (lub przy ich skrzyżowaniach).

Hałas to poważne podłoże stresu, szczególnie w habitatach kosmicznych, wskazane jest stosowanie przegród akustycznych. Wskazane jest zatem zapobieganie negatywnemu oddziaływaniu dźwięków w habitacie na jego mieszkańców. Dotyczy to w szczególności miejsc odpoczynku i miejsc pracy wymagających skupienia.

Szczególną w swym rodzaju rozrywką, docenianą przede wszystkim na stacjach satelitalnych, jest patrzenie przez okno. Kanas (1998) przytacza cytaty z dziennika W. Lebediewa, w którym kosmonauta przyznaje, że w czasie stresującej dla niego sytuacji, znajdował ukojenie w wyglądaniu przez iluminator i działało to na niego rozluźniająco. Oglądanie dalekich widoków, patrzenie na przestrzeń rozległą, inną niż sztucznie ograniczone środowisko wewnętrzne habitatu działa odstresowująco. Suedfeld (1998) dowiódł eksperymentalnie, że nawet pokazywanie slajdów z rozległymi krajobrazami, będących namiastkami okien z widokiem na odległą przestrzeń, miało dobroczynny wpływ na mieszkańców stacji polarnej. Dodatkowo wtrąca spostrzeżenie, że zdjęcia czy fototapety tego typu mogłyby także pozytywnie wpływać na morale pracowników biur czy na chorych przebywających długo w szpitalach.

Długotrwałe przebywanie w izolowanym od świata habitacie wzmaga u jego mieszkańców poczucie przynależności do tego miejsca. Spędzają w nim większość czasu podczas misji i czują silną potrzebę personalizacji swej przestrzeni do życia, by móc się z nią właściwie utożsamiać. Na różne sposoby starają się przystosować ją do swoich potrzeb, stworzyć sobie bardziej komfortowe warunki do pracy i odpoczynku. Wszystko to sprowadza się do uzyskania nowej wartości przestrzeni życia i bardziej przytulnej, domowej atmosfery, w której człowiek łatwiej odzyskuje spokój ducha. Oczywiście dzieje się tak, o ile różne przekształcenia są dopuszczalne i możliwe fizycznie. Bardzo często habitaty w warunkach ekstremalnych trzymają się dość sztywno projektu. Zamontowane na stałe meble nie pozwalają się przedstawiać, jest też ich niewielka ilość i wszystkie są identyczne. Badania przeprowadzone na Stacji Palmer na Antarktydzie świadczą o tym, że przybywający tam pracownicy wybierali w pierwszej kolejności pokoje o fleksybilnej przestrzeni, w której przestawianie lub dostawianie mebli było możliwe (Evans i in. 1988). Członkowie załóg misji polarnych, kosmicznych czy biorący udział w eksperymentach sztucznych biosfer, starali się personalizować swoją przestrzeń do życia, jeśli tylko mieli po temu okazję. Dotyczyło to zarówno prywatnych pokoi, jak i pomieszczeń wspólnotowych. Ich zabiegi sprowadzały się zwykle do malowania ścian, zawieszania plakatów, fotografii, stawiania ekspozycji ulubionych rzeczy, tymczasowego dekorowania z okazji wspólnie świętowanych okazji czy robienia archiwum misji w formie gazetek ściennych (Suedfeld 1998).

Oprócz tego, jako sposób na poprawę samopoczucia, mieszkańcy izolowanych habitatów i członkowie ekspedycji w warunkach ekstremalnych wymieniali jedzenie i picie apetycznych rzeczy oraz noszenie ulubionych ubrań i przebierania się na specjalne okazje (Kanas 1998, Suedfeld 1998).

Wnioski dla architekta

Wynikiem wielu badań problemów socjopsychologicznych izolowanych habitatów w warunkach ekstremalnych jest wyszczególnienie wskazówek do projektowania takich obiektów mieszkalno-roboczych. Wiele cennych rad można uwzględnić w architekturze bazy marsjańskiej, by stała się ona miejscem bardziej przyjaznym, otwartym na potrzeby społeczne i psychologiczne swych mieszkańców. Tutaj autorka wymienia niektóre z tych wskazówek - podawane w publikacjach o problemach socjopsychologicznych. Zagadnienia dotyczące projektowania przyjaznych człowiekowi habitatów na Marsie opisane szczegółowo zostaną w dalszych rozdziałach, dotyczących architektury bazy. Dalsze analizy zachowania ludzi w izolacji w warunkach ekstremalnych pomogą w jeszcze lepszym zrozumieniu zagadnień dotyczących problemów socjopsychologicznych. Najlepszym źródłem informacji byłyby symulacje misji marsjańskich oraz długotrwałego przebywania ludzi w izolowanych środowiskach.

1. Problemy socjopsychologiczne u ludzi żyjących w środowiskach ekstremalnych w warunkach izolacji są zagadnieniem niezwykle ważnym w planowaniu misji na Marsa. Stres i związane z nim problemy socjopsychologiczne misji polarnych, kosmicznych i ich symulacji mają bezpośredni i znaczący wpływ na efektywność i powodzenie tych misji. Różne formy dewiacji i konflikty interpersonalne zostały wielokrotnie odnotowane. Przysparzały one wielu problemów, których wagi nie można bagatelizować w przypadku długotrwałej i wysoce autonomicznej wyprawy na Marsa, gdzie ludzie będą praktycznie zdani tylko na siebie i posiadany ze sobą sprzęt. Dlatego autorka wnioskuję, iż problemy socjopsychologiczne mają bezpośredni wpływ na planowanie misji marsjańskiej, przede wszystkim przez wyznaczenie liczby członków załogi oraz wskazanie źródeł stresu, które należy koniecznie wyeliminować.
2. Zagrożenie powodzenia wyprawy mającej na celu eksplorację Marsa - takiej jak planowana przez NASA - okazuje się z powodów socjopsychologicznych bardzo duże.
3. Ludzie biorący udział w misjach podobnych do wyprawy na Marsa poddani byli silnemu stresowi. Stres ten powodował u nich różne niepożądane zachowania, czasem nawet niebezpieczne dla zdrowia i życia. Mimo to wiele z tych misji zakończyło się sporym sukcesem i przyniosło wiele korzyści. Dzięki badaniom prowadzonym przez socjologów i psychologów udało się zgromadzić wskazówki mówiące o tym, jak zminimalizować podłoża stresu w takich misjach. Dalsze tego rodzaju analizy oraz symulacje misji marsjańskich pozwolą na zebranie kolejnych cennych danych na ten temat.
4. Im większa liczba członków załogi, tym większe szanse powodzenia misji marsjańskiej (Dudley-Rowley i in. 2004). Jak wynika z analiz różnych ICE, największe ryzyko fiaska misji wypada w przypadku trzyosobowej załogi, a minimalna zalecana liczba członków załogi to dziewięć. Specjalnie zaprojektowane symulacje misji marsjańskich pomogłyby ustalić lepiej optymalną liczbę członków załogi dla takiego przedsięwzięcia.
5. Wiele ze źródeł stresu będących podłożem problemów socjopsychologicznych jest do ominięcia albo też natężenie ich oddziaływania można zminimalizować. Służyć temu może m. in. dobrze zaprojektowany habitat.
6. Problemy socjopsychologiczne mają bezpośredni wpływ na sposób projektowania bazy marsjańskiej — głównie poprzez wyznaczenie minimalnej zalecanej liczby członków

załogi oraz poprzez określenie źródeł stresu pochodzących od ukształtowania wewnętrznego środowiska życia - habitatu. Z tego względu autorka wnioskuje, iż w procesie kształtowania się problematyki architektury na Marsie głównym czynnikiem są względy socjopsychologiczne.

7. Zdaniem autorki, ze względów socjopsychologicznych, załoga już pierwszej misji powinna być liczniejsza niż się aktualnie zakłada. Grupę liczącą paręnaście osób można by wysłać w dwóch rakietach. Liczniejsze załogi potrzebowałyby już kilku rakiet. Na planecie powinni oni otrzymać jeden wspólny wygodny habitat – optymalnie zaprojektowaną bazę.

4.3. Ergonomia i komfort

Definicja komfortu

Komfort, wg „Małego słownika języka polskiego”¹⁴, to ogół warunków zewnętrznych zapewniających wygodę życiową; połączenie dostatku i estetyki z celowością. W nieprzyjnym środowisku obcej planety, jaką jest Mars, definicję tą należy rozszerzyć, bowiem komfortem staje się tam już możliwość normalnego oddychania czy zwykłego mycia się. Dlatego komfort, dla przypadku bazy na Marsie, został przez autorkę określony jako ogół warunków umożliwiających przeżycie oraz zapewniających wygodę mieszkania i pracy w sztucznie stworzonym środowisku. Jakość zamieszkania, odnosząca się do angielskiego słowa *habitability* (Stuster 1986), wiąże się ze wszystkimi tymi elementami środowiska życia, które wpływają na sposób wykonywania przez ludzi różnych czynności i ich jakość. Im większa wygoda w wykonywaniu tych czynności i im więcej potrzeb człowieka jest uwzględnionych, tym wyższy standard zamieszkania. W zależności od rodzaju potrzeb, komfort podzielony został tu na: fizyczny niski, fizyczny wysoki i psychiczny.

Komfort fizyczny niski to zapewnienie podstawowych potrzeb człowieka, takich jak: oddychanie, picie i jedzenie, poruszanie się, korzystanie z toalety i oczyszczanie ciała, w najprostszy sposób. Pozwalają na to:

- atmosfera nadająca się do oddychania;
- ciśnienie i temperatura atmosfery tolerowane przez ludzi;
- woda nadająca się do picia;
- żywność zapewniająca przeżycie;
- urządzenia asenizacyjne;
- woda i przybory do oczyszczania ciała;
- minimalna przestrzeń do życia i pracy;
- oświetlenie zapewniające widoczność.

Komfort fizyczny niski oferuje najniższą jakość zamieszkania. Jest on zapewniony w bazie marsjańskiej, gdy stworzone są warunki pozwalające na przeżycie ludzi oraz gdy są oni w stanie poruszać się i wykonywać różne operacje w przeznaczonej dla nich przestrzeni (ergonomia minimalistyczna).

¹⁴ „Mały słownik języka polskiego” pod redakcją S. Skorupki, H. Auderskiej i Z. Łempickiej, PWN, Warszawa, 1968

Komfort fizyczny wysoki to optymalne zapewnienie podstawowych potrzeb człowieka. W ramach tych potrzeb wyróżnia się:

- atmosferę najlepiej tolerowaną przez człowieka (chodzi tu o optymalną temperaturę, ciśnienie, skład, wilgotność);
- dużą przestrzeń do życia;
- optymalną ergonomię oraz wygodę użytkowania;
- dobrą akustykę pomieszczeń;
- optymalne oświetlenie;
- powietrze oczyszczone z zanieczyszczeń i nieprzyjemnych zapachów;
- dobrą dbałość o higienę (np. możliwość wykąpania się).

Komfort fizyczny wysoki zapewnia dosyć dobrą jakość zamieszkania. Jest zapewniony w bazie marsjańskiej, gdy jest ona wygodna w użytkowaniu oraz optymalnie dopasowana do fizjologii, gabarytów i ruchowych możliwości człowieka. Komfort fizyczny wysoki możliwy jest tylko wtedy, gdy dysponujemy dużą przestrzenią lub inaczej - dużym metrażem przypadającym na jednego mieszkańca.

Komfort psychiczny to zapewnienie wyższych potrzeb człowieka. Z dbałością o komfort psychiczny mamy do czynienia, gdy jest:

- zapewniony komfort fizyczny wysoki;
- dobra kolorystyka i oświetlenie wnętrz, dobrana faktura powierzchni;
- dbałość o detal;
- domowa atmosfera w przestrzeni mieszkalnej;
- dbałość o funkcjonalność pomieszczeń i zapewniona przyjazność w ich użytkowaniu;
- rozdział funkcji, przede wszystkim roboczej i wypoczynkowej;
- różnorodność pomieszczeń;
- zieleń w otoczeniu ludzi;
- zapewnione poczucie przestronności, możliwość patrzenia na odległe krajobrazy;
- możliwość personalizacji przestrzeni.

Kiedy w bazie zapewniony jest komfort fizyczny, możemy mówić o bezpiecznym dla ludzi schronieniu, w którym uwzględniona jest dbałość o wygodę użytkowania przestrzeni. Jednak dopiero gdy zapewniony jest również komfort psychiczny, mamy do czynienia z przyjaznym człowiekowi habitatem – właściwym miejscem do życia, z którym mieszkańcy mogą się identyfikować, utożsamiać, w którym mogą czuć się jak u siebie.

Cel zapewnienia komfortu w bazie marsjańskiej

W bazie marsjańskiej bezwzględnie musi być zapewniony komfort fizyczny niski. Stworzenie warunków umożliwiających przeżycie jest priorytetem. Jest on niepomijalny w każdym habitacie pozaziemskim. Zwykle też ogranicza się do uwzględnienia tylko tego najniższego standardu życia w projektowaniu kosmicznych modułów mieszkalnych, pomijając potrzeby wyższe. W czasie krótkotrwałych misji okazało się to w miarę akceptowalne. Niedostatek wygody był silnie odczuwany, ale ludzie zwykle byli w stanie poradzić sobie z wynikiem z tego powodu stresem, oczekując rychłego powrotu na Ziemię. W przypadku misji na Marsa komfort wysoki staje się tak samo ważny jak komfort niski. Wynika to z dwóch głównych powodów:

1. Ludzie mogą tolerować ograniczone warunki życia tylko przez krótki okres czasu (maksymalnie kilka miesięcy).
2. Jakość przestrzeni do życia i pracy silnie wpływa na efektywność wykonywanych czynności – związanych zarówno z pracą, jak i odpoczynkiem.

Już w czasie krótkotrwałych misji kosmicznych dochodziło do konfliktów między członkami załogi, umieszczonymi razem w ciasnych, pozbawionych prywatności wielofunkcyjnych przestrzeniach. Ludzie cierpieli z powodu ciągłych hałasów, braku prywatnej przestrzeni do życia itd. Efektem tego były różne zaburzenia fizjologiczne i psychologiczne. Cierpliwość i odporność astronautów na stres była wystawiana na bardzo ciężką próbę. Nierzadko dochodziło do różnych incydentów. Im dłużej ludzie zmuszani byli do przebywania w środowisku izolowanym fizycznie i społecznie, tym silniej obciążona była ich psychika. Misja na Marsa trwać ma 2,5 roku. Aby przez cały jej czas ludzie zachowali zdrowie fizyczne i psychiczne, konieczne jest zapewnienie w ich habitacie zarówno wysokiego komfortu fizycznego, jak i psychicznego. Niski standard zamieszkania jest źródłem silnego stresu. Człowiek żyjący w stałym napięciu, w niezmiennym, monotonnym środowisku i cierpiący na ciągłą niewygodę, staje się rozdrażniony i trudno jest mu się skupić. Rzutuje to bezpośrednio na efektywność jego pracy. Cele załogowej misji marsjańskiej mogą zostać prawidłowo wypełnione tylko wtedy, gdy ludzie biorący w niej udział będą wydajnie pracować. Bez uwzględnienia aspektu ludzkiego w projektowaniu bazy jest to niemożliwe. Od jakości zamieszkania zależy efektywność pracy załogi. Od efektywności pracy załogi zależy powodzenie misji. Im większa szansa na powodzenie misji, tym bardziej jest ona opłacalna.

Zapewnienie komfortu wysokiego w bazie marsjańskiej ma na celu:

- utrzymywanie dobrych warunków życia mimo nieprzyjaznego środowiska zewnętrznego;
- utrzymanie zdrowia i dobrej kondycji mieszkańców;
- pozytywny wpływ na samopoczucie mieszkańców;
- zapewnienie poczucia bezpieczeństwa i wygody;
- utrzymywanie warunków do życia i pracy na odpowiednim poziomie;
- zapobieganie monotonii w środowisku życia oraz jego sztuczności;
- zwiększenie efektywności pracy i odpoczynku.

Podłoże komfortu i sposoby jego zapewnienia w bazie

Jak pisze Grupa z Puerto Rico (1989), „architektura to dyscyplina sztuki, która zajmuje się kreowaniem środowisk promujących komfort fizyczny i psychiczny”; dotyczy to zarówno ludzkich potrzeb, jak i czynności przez ludzi wykonywanych. Jedną z nadrzędnych powinności w projektowaniu architektonicznym jest niedopuszczenie do wystąpienia syndromu „chorego budynku” (*sick building syndrome*). Jak tłumaczy Dubbink (2001), mamy z nim do czynienia, kiedy źle zaprojektowany budynek powoduje u swoich użytkowników poczucie stresu i fizycznej choroby. Zwykle odnosi się to do faktu, że ludzie nie mogą znieść swego otoczenia w relacji z wystrojem wnętrz, światłem, atmosferą itp. Zagadnienie to dotyczy także budowli kosmicznych przeznaczonych do pobytu w nich ludzi.

Grupa z Puerto Rico (1989) zwraca uwagę na fakt, że misje kosmiczne często traktuje się jak eksperymenty naukowe z wykorzystaniem maszyn, a ludzie traktowani są jak jedne z tych maszyn – jak rzeczy do wykonywania zadań będących elementami misji, nie zaś

jak żywe istoty z własnymi potrzebami i preferencjami. Tymczasem w przypadku misji załogowych ludzie powinni być postrzegani jako kluczowe elementy misji i do nich powinna odnosić się architektura misji. Tak więc aspekt ludzki pełni nadrzędną rolę w projektowaniu misji załogowych.

Zdrowie oraz dobra kondycja fizyczna i psychiczna ludzi są podstawą powodzenia misji załogowej. Pieniądze opłaca się inwestować w takie przedsięwzięcie tylko wtedy, gdy jest duża szansa, że zadania będące celem misji zostaną wykonane w możliwie najlepszy sposób. Zatem opracowywanie misji załogowej powinno rozpocząć się od przeanalizowania aspektu ludzkiego. Jednym z jego głównych zagadnień jest kwestia habitatu. Wobec tego **najpierw należy włożyć starania i pieniądze m. in. w zaprojektowanie i wykonanie komfortowego domu i miejsca pracy dla załogi. Kiedy jest już pewność, że załoga będzie miała zapewnione optymalne warunki do pracy i wypoczynku, a więc, że efektywność ich pracy będzie wysoka, dopiero wtedy warto jest zająć się projektowaniem innych elementów misji. Aspekt ludzki należy potraktować jako punkt startowy rozważań w planowaniu misji załogowej na Marsa.**

To prawda, że NASA wymaga uwzględnienia czynnika ludzkiego przy projektowaniu jakiegokolwiek habitatu kosmicznego (Huebner-Moths i in. 1993). Jednak ogranicza się to tylko do egzekwowania niskiego komfortu fizycznego. Specjalne normy MSIS STD - 3000 zostały stworzone na potrzeby projektowania kosmicznych stacji orbitalnych. Akceptowana jest w nich ergonomia minimalistyczna, tzn. taka, która zapewnia tylko to, że człowiek wszędzie się zmieści, osiągnie czy dostanie (choćby z pewnym trudem). Nie dba się tu o prawdziwą wygodę w poruszaniu się po habitacie czy korzystaniu z różnych przedmiotów. Na Rys. 4.38 pokazana jest kabina mieszkalna na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Jak widać człowiek ledwie się tam mieści w pozycji pionowej. To prawda, że jest w stanie wsunąć się do swego śpiwora do spania i może pracować przy małym pulpicie. Jednak gabaryty pomieszczenia praktycznie nie pozwalają na nic więcej. Przypomina to bardziej pudełko niż pokój mieszkalny. Dbłość o komfort została potraktowana tu w minimalnym stopniu.



Rysunek 4.38: Kabina mieszkalna na ISS (JSC, NASA)

Jak zauważa autorka, aspekt ludzki jest nieodłącznym elementem wszystkiego, co tworzą ludzie. Z tego względu musi on być szczególnie traktowany tam, gdzie środowisko jest człowiekowi obce i nieprzyjazne, gdzie łatwo zagubić wątki humanistyczne. Tymczasem właśnie tam są one najbardziej potrzebne. Dotychczasowe przepisy dotyczące projektowania habitatów kosmicznych są niewystarczające dla przypadku bazy marsjańskiej, która będzie zamieszkiwana przez ludzi na tyle długo, że wymaga zadbania o wysoki komfort fizyczny oraz psychiczny.

W literaturze fachowej rozpoznaje się różne zagadnienia związane z jakością zamieszkania, w których architektura odgrywa mniejszą lub większą rolę. Autorka wykonała ich zestawienie, mając na uwadze ich powiązania z projektowaniem architektonicznym.

Bezpieczeństwo: Dubbink (2001) wymienia bezpieczeństwo środowiska pracy na pierwszym miejscu pośród różnych warunków, jakie powinien spełniać właściwie zaprojektowany habitat kosmiczny. Konstrukcja budowli powinna chronić środowisko wewnętrzne przed ne-

gatywnym wpływem środowiska zewnętrznego na Marsie. Przestrzeń mieszkalna powinna być zaplanowana tak, aby zminimalizować zagrożenie ogniowe oraz utrudniać rozprzestrzenianie się ognia. Należy tak dobrać elementy wyposażenia wnętrza, aby zminimalizować możliwość uszkodzenia fizycznego ciała w czasie poruszania się po habitacie. Poczucie bezpieczeństwa zapewniać będzie wiedza o zaprojektowanych zabezpieczeniach, a także odpowiednio dobrany wystrój wnętrza.

Klimatyzacja: Zalecenia dotyczące projektowania klimatyzacji w habitatach kosmicznych dość wyczerpująco zostały opisane przez Allena i in. (2003). Niektóre z tych informacji mogą zainteresować architekta. Urządzenia LSS będą pracować tak, by w całym habitacie wszędzie panowała ta sama temperatura - ok. 21°C i wilgotność powietrza - ok. 50%; niezależnie od stopnia aktywności fizycznej ludzi czy promieniowania cieplnego aparatury. Szczególne wymagania co do wentylacji obejmują:

- a) salę ćwiczeń: urządzenia nawiewu muszą być tak zlokalizowane, by powietrze z zabranym potem nie przedostawało się do innych części bazy, przede wszystkim do kuchni i sypialni; wskazane jest zaprojektowanie nadmuchów osobno na każde stanowisko w sali tak, by pot wywiewany był z całej powierzchni ciała i aby możliwe było samodzielne sterowanie siłą i kierunkiem nadmuchu;
- b) sypialnie: jako pomieszczenia prywatne o niedużych gabarytach i używane tylko przez określony czas w ciągu doby, powinny mieć nawiew dostosowywany indywidualnie;
- c) kuchnia i jadalnia: zapachy muszą być zabierane tak, by nie przechodziły do innych pomieszczeń w bazie i aby się tam nie kumulowały.

Oświetlenie: Ogólne zasady projektowania oświetlenia w habitatach kosmicznych są takie same jak w ziemskich: preferowane jest światło słoneczne oraz sztuczne białe, które naśladuje spektrum światła słonecznego (MSIS 1995). Otoczenie w naturalnych kolorach jest bowiem najlepiej odbierane. Zagadnienie szczegółowo opisane jest w Rozdz. 6.4.3.

Hałas: W habitacie 24 godziny na dobę pracować będą urządzenia LSS emitujące fale dźwiękowe. Oprócz tego dochodzi sprzęt badawczy, wytwarzający dźwięki przez określony skończony czas. Źródłem hałasu mogą być także głośne rozmowy, muzyka, dokonywanie napraw urządzeń, czynności wykonywane w kuchni, sali ćwiczeń lub gier.

Jeśli chodzi o wymagania akustyczne wobec urządzeń instalowanych w habitatach kosmicznych, normy NASA są bardzo restrykcyjne. Dlatego producenci prześcigają się w projektowaniu coraz cichszej aparatury na potrzeby misji pozaziemskich. Mimo to nagromadzenie takich urządzeń w małej kubaturze może wpływać negatywnie na środowisko akustyczne. W pierwszych stacjach kosmicznych i ich analogach sprzęt nie był cichy ani wygłuszany. Jak piszą Allen i in. (2003), hałas spowodował u wielu osób tymczasowe i trwałe uszkodzenia narządu słuchu. Setki marynarzy z U.S. Navy pływających na łodziach podwodnych dotknęła częściowa lub całkowita utrata słuchu. Rząd Stanów Zjednoczonych wydał miliony dolarów na odszkodowania dla weteranów. Odnotowano, że stosunkowo dużo kosmonautów, którzy pracowali na Mirze, doświadczyło tymczasowych problemów ze słuchem, a kilku – trwałego uszkodzenia narządu, co zdyskwalifikowało ich z dalszego udziału w misjach kosmicznych.

Każdy pojazd czy stacja kosmiczna wyposażone są w setki rzeczy emitujących fale dźwiękowe. Zamknięta przestrzeń jest dla nich pułapką akustyczną. Wynikiem tego jest kumulacja fal dźwiękowych i różne interferencje. W hermetycznym habitacie tworzy się środowisko akustyczne o dużym natężeniu hałasu. Ludzie zmuszeni są przebywać w takich



Rysunek 4.39: Prysznic na stacji kosmicznej Skylab (NASA)



Rysunek 4.40: Aneks z umywalką w module LMLSTP (JSC NASA)

warunkach niemal bezustannie przez cały czas trwania misji (opuszczają je tylko w czasie EVA). Jeśli przestrzeń bytowa nie jest właściwie zaprojektowana, dźwięki wielokrotnie odbite od gładkich powierzchni mogą powodować efekt echa, fali stojącej itp. Należy zatem zwrócić szczególną uwagę na sposób kształtowania kubatur oraz na materiały wykończeniowe we wnętrzach.

NASA opracowało dużo bardziej restrykcyjne normy dotyczące akustyki w habitacie kosmicznym niż w innych miejscach pracy, jako że astronauta przebywają tam 24 godziny na dobę, a nie tylko 8 godzin dziennie. Zaznaczyć tu należy, że wytyczne te określone zostały na potrzeby misji trwającej 4 miesiące, bo tyle czasu zwykle jedna załoga przebywa na ISS. Tymczasem sama podróż w jedną stronę na Marsa ma trwać 1,5 raza tyle (6 miesięcy), a cała misja w sumie 2,5 roku, czyli 30 miesięcy! Dlatego wymagania dotyczące akustyki w habitacie marsjańskim muszą być jeszcze surowsze. Dźwięki emitowane przez niektóre urządzenia sięgają już granic słyszalności (patrz Rozdz. 4.1.3). Wygłuszenie można osiągnąć jeszcze poprzez stosowanie różnorodnych barier izolacyjnych. W gestii architekta jest zaprojektowanie przegród akustycznych między pomieszczeniami tak, by nie następowała kumulacja hałasów. Także od niego zależy, jakie materiały wykończeniowe zostaną wykorzystane. Powierzchnie pochłaniające dźwięki są w tej sytuacji najbardziej pożądane.

Jak piszą Allen i in. (2003), komfort akustyczny jest szczególnie ważny tam, gdzie ludzie odpoczywają. Stuster (1986) podkreśla, że konieczne jest zminimalizowanie hałasów głównie w kabinach prywatnych w czasie snu, ponieważ drażniące dźwięki zmniejszają efektywność odpoczynku organizmu, utrudniają zasypianie lub nawet wywołują bezsenność (np. astronauta na Skylabie narzekali na hałasy dochodzące z toalety sąsiadującej z ich miejscem spania). Grandjean (1978) pisze, że u wszystkich istot żyjących daje się ustalić okresową zmianę między zużyciem energii i ponownym odtworzeniem tej energii lub, mówiąc krócej, między pracą i odpoczynkiem. Zmiana ta jest warunkiem niezbędnym do życia organizmu. Pozbawienie możliwości spokojnego odpoczynku wywołuje zaburzenia fizjologiczne i psychiczne. Do najważniejszych zadań mieszkania, pisze dalej Grandjean, należy zapewnienie snu i wypoczynku. Aby stworzyć ku temu odpowiednie warunki, należy w maksymalnym stopniu zredukować wszystkie bodźce, które mogą oddziaływać na układ pobudzający. Odpowiednim środkiem jest tu, obok ochrony przed nadmiernymi bodźcami świetlnymi, zabezpieczenie przed hałasem.

Higiena: Stuster (1986) podaje, że obniżony standard dbania o higienę osobistą obniża całkowitą jakość zamieszkania. Ludzie czują się dobrze, gdy są czysti i schludni. Astronau-

tom na Skylabie odpowiadał taki schemat czyszczenia ciała: obmywanie się gąbką każdego dnia, a raz na tydzień prysznic (Rys. 4.39). Branie prysznica na stacji kosmicznej nie było zbyt komfortową czynnością, ponieważ wilgoć z ciała zabierana była przez chłodny nawiew powietrza, który nieprzyjemnie oziębiał mokre ciało. Na Marsie kabina prysznicowa może być bardziej podobna do ziemskiej. W module używanym w ramach programu LMLSTP koło pokoi sypialnych zmieszczono niewielki aneks z umywalką. Był on niczym nieosłonięty – nie pozwalał na poczucie prywatności. Wciśnięty między ścianki stojące blisko siebie był niewygodny w użytkowaniu (Rys. 4.40).

Strefowanie: W wielu izolowanych habitatach pozytywnie odbierany był podział na strefy, który przebiegać może na różnych płaszczyznach. Dotyczy to podziału na przestrzenie: publiczne i prywatne; jasne i ciemne; głośne i ciche; robocze i mieszkalne. Jak pisze Dubbink (2001), strefowanie w bazie marsjańskiej pomagać będzie w rozdzielaniu konfliktowych względem siebie funkcji, miejsc o różnym sposobie użytkowania. Według niego środowisko życia powinno stymulować kontakty społeczne. Ale w dyskretny sposób – tak, by nie obarczać ludzi koniecznością natykania się na współmieszkańców; szczególnie wtedy, gdy chcą oni odpocząć lub potrzebują popracować w spokoju. Należy stworzyć odpowiedni stopień zapewnienia prywatności, przede wszystkim w strefie mieszkalnej: pierwszego, drugiego i trzeciego stopnia – tak jak mają się do siebie sypialnia, salon i ganek.

Jak opisuje Grandjean (1978), oko ludzkie w różny sposób reaguje na różne warunki oświetleniowe. Kiedy przechodzimy z pomieszczenia jasnego do ciemnego lub na odwrót, dochodzi do adaptacji oka. Cały proces adaptacji trwa nawet ponad pół godziny. Częste zmuszanie oka do przystosowywania się do zmiennych warunków oświetleniowych wywołuje jego zmęczenie i obniżenie jakości adaptacyjności. Podział na strefę jasną i ciemną polega na tym, że rozdziela się habitat na część, w której jest mocne oświetlenie i na część, w której dominuje słabe światło. Część pomieszczeń będzie wymagała niemal stałego oświetlenia o wysokim natężeniu, reszta zaś potrzebować będzie stłumionego, spokojnego światła. Uależnione jest to od sposobu użytkowania danych pomieszczeń. Na przykład na stacjach kosmicznych narzekano na silne oświetlenie, które przeszkadzało w zasypianiu. Cyklicznie przygasające i rozjaśniające się automatycznie oświetlenie w części mieszkalnej habitatu pożądane było w celu rozdzielania czasu nocnego odpoczynku od dziennej aktywności, mimo nieustannej pracy (system zmianowy) (Stuster 1986).

Hałas szczególnie nieprzyjazny jest takim aktywnościom jak: rozmawianie, spanie i odpoczywanie, psychiczne koncentrowanie się. Podział na strefy o różnym natężeniu akustycznym ma za zadanie nie dopuścić do konfliktów pomiędzy różnymi aktywnościami. Tak samo denerwujące jest słuchanie hałaśliwych rozmów, gdy chce się spać, jak i znoszenie uciszania, kiedy chce się spędzić wolny czas na zabawie.

Oddzielenie strefy pracy od strefy odpoczynku będzie dawać mieszkańcom bazy marsjańskiej poczucie, że „idą do pracy” lub „są w domu”, jak proponuje Dubbink (2001). Wielofunkcyjna przestrzeń bez przegród dzielących ją na mniejsze fragmenty o innej funkcji, jaka charakteryzowała stacje kosmiczne Salut, była źle odbierana przez członków załogi. Brak rozdzielania funkcji roboczej od mieszkalnej nie pozwala na komfortowy, wydajny odpoczynek. Także po eksperymentach w podwodnym habitacie Tektite zalecano, by w przyszłości unikać dużych wielofunkcyjnych wspólnotowych przestrzeni, które stają się sceną konfliktów (Stuster 1986).

Komunikacja: Trakty komunikacyjne w bazie służą do przemieszczania się między różnymi strefami i pomieszczeniami. Dobry układ komunikacyjny to taki, który pozwala

na szybkie poruszanie się po bazie, zapobiega tworzeniu się korków, optymalnie organizuje ruch. Sposób prowadzenia traktów powinien być jasny i przejrzysty – tak, by ludzie dobrze orientowali się w przestrzeni. Komunikacja powinna pozwalać na optymalną funkcjonalność habitatu – jednocześnie łączyć i rozdzielać różne strefy oraz pomieszczenia. Nadmiar komunikacji w habitacie jest niekorzystny. Jednocześnie większe bezpieczeństwo osiągnięte jest, gdy są przynajmniej dwie drogi ewakuacji z każdego miejsca w bazie. Trakty są przestrzenią niezbędną, ale im jej mniej, tym lepiej. Jak zauważa Dubbink (2001), 1 m² powierzchni bytowej na Marsie jest droższy niż cokolwiek na Ziemi, dlatego nie może być w bazie miejsca na nieużywaną przestrzeń. Najlepiej jak korytarze są wielofunkcyjne.

Ergonomia: Ergonomiczne zaprojektowanie przestrzeni w bazie na Marsie jest konieczne dla zapewnienia mieszkańcom wygody i komfortu w poruszaniu się. Niestety, jak zauważają Allen i in. (2003), większość badań dotyczących ergonomicznego projektowania przestrzeni bytowych dla ludzi została przeprowadzona w warunkach ziemskich. Wciąż niekompletny jest materiał na ten temat dotyczący warunków mikrogravitacji. Tymczasem w obniżonej sile ciężenia nie wykonano żadnych pomiarów dotyczących psychofizycznych możliwości człowieka. Ergonomia dla pierwszego habitatu marsjańskiego będzie zatem mogła być tylko intuicyjna, o ile nie zostaną przeprowadzone specjalne symulacje.

Pewnych zachowań w 1/3g możemy się spodziewać poprzez analizę różnic w poruszaniu się ludzi w mikrogravitacji na stacjach kosmicznych i w 1/6g na Księżycu a na Ziemi. Wielkość grawitacji wpływa na to, jak ludzie przemieszczają się z miejsca na miejsce. W warunkach 0g ludzie płyną w powietrzu i wszystkie kierunki są dozwolone w poruszaniu się; rozluźniony człowiek przyjmuje pozycję embrionalną. W 1/6g ciało jest pochylone do przodu i trudno jest chodzić, raczej przeskakuje się miękko z miejsca na miejsce. Łatwo przy tym o upadek (co można zaobserwować oglądając filmy z misji Apollo). Możliwe są kroki na wysokość 50 cm przy włożeniu takiego samego wysiłku, jak na Ziemi, by pokonać siedemnastocentymetrowy stopień. Na Marsie także można spodziewać się wydłużonego kroku i łatwości w pokonywaniu wysokich stopni. Lżejszy chód powoduje unoszenie się ciała na większą wysokość w czasie chodzenia. Łatwiej jest zrobić większy zamach ręką.

Niezależnie od tego, jak bardzo różna będzie siła ciężenia, zawsze są to warunki odmienne od ziemskich i człowiek nie jest do nich przystosowany. Konieczne są udogodnienia pomocne w utrzymaniu równowagi lub zatrzymaniu się. Sposób projektowania takich elementów ułatwiających poruszanie się został sprecyzowany tylko dla warunków mikrogravitacji w normach NASA MSIS STD-3000. Wskazówki tam zawarte można częściowo zaadoptować do projektowania bazy marsjańskiej.

Potrzeba prywatności: Potrzeba prywatności jest jedną z podstawowych psychicznych potrzeb człowieka. Bardzo zły wpływ na ludzi ma pozbawienie ich sposobności przebywania w samotności, szczególnie jeśli trwa to długi okres czasu. Negatywne skutki pominięcia tego problemu na pierwszych stacjach kosmicznych odczuto bardzo szybko. Dlatego Mir - stacja kosmiczna nowej generacji (wielomodułowa) została wyposażona w prywatne kabiny. Nie były one duże, ale kosmonauci przyjęli je z wdzięcznością. Stuster (1986) wspomina, że na okrętach wojennych i łodziach podwodnych marynarka amerykańska zapewniała przestrzeń prywatną okrojoną do osobnej koi. Czasami zdarzało się jednak, że nawet koje były dzielone przez dwóch marynarzy. Tymczasem fundamentalną potrzebą człowieka jest posiadanie własnego terytorium, przestrzeni prywatnej, która należy tylko do niego i do której nikt nie ma wstępu bez pytania. Jak dalej zauważa Stuster, wielkość tej przestrzeni nie może być zbyt mała, bo inaczej nie zaspokaja ona w wystarczający sposób tej potrzeby prywatności.

W marynarce i w habitatach podwodnych dochodziło do tego, że na człowieka przypadało zaledwie ok. $1,2 \text{ m}^2$! Stuster zaleca, by minimum zapewniane na stacjach orbitalnych wynosiło $2,4 \text{ m}^2$. W wielu źródłach przekonuje się, że człowiekowi wystarcza do osobistego użytku kubatura 10 m^3 , jak z naganą zauważa Grupa z Puerto Rico (1989). Allen i in. (2003) dodają, że wraz z wydłużeniem czasu trwania misji rośnie zapotrzebowanie na coraz większą przestrzeń własną.

Stuster (1986) przekonuje, że oprócz prywatnych kabin należy zapewnić przynajmniej jedno pomieszczenie do cichej refleksji, odpoczynku psychicznego czy na pracę własną, z którego jednak mogliby korzystać wszyscy członkowie załogi. Może to być np. biblioteka.

Miejsca zdarzeń: Potrzeba bycia z ludźmi, kontaktów społecznych, wymiany poglądów, zwykłych rozmów wynika z natury człowieka. W kosmosie, z daleka od rodzimej planety potrzeba ta staje się jeszcze silniejsza. Przebywanie z ludźmi, którzy przeżywają to samo, znajomość towarzyszy misji daje świadomość istnienia i znaczenia, a przede wszystkim bycia człowiekiem. Wzajemne zaufanie daje poczucie bezpieczeństwa, co ma niebagatelny wpływ na komfort psychiczny. Tak należy projektować wnętrza w bazie marsjańskiej, by promować pozytywne interakcje w grupie (Stuster 1986). Za miejsca zdarzeń może służyć np. mesa. Wspólne spożywanie posiłków scala grupę. Dbłość o „ludzkość” i estetyczny wygląd właśnie tych przestrzeni jest bardzo ważna. Na łodziach podwodnych w czasie wspólnych posiłków marynarze mogli poczuć się ludźmi, a nie tylko żołnierzami, mieli okazję do rozmowy nie tylko na temat zadań związanych z ich pracą. Z tego względu mesy na wielu łodziach podwodnych wyłożone były boazerią, stoły przykrywano obrusami, a do podawania posiłków używano ozdobne zastawy. Wysoko cenione były dobrze wyposażone, ładnie udekorowane jadalnie. Według Stustera do utrzymania jedności grupy zalecany jest przynajmniej jeden wspólny posiłek w ciągu dnia. Jedzenie razem jest doceniane tylko wtedy, gdy nikt przy stole nie jest wyróżniany. Zapewnia to swobodę prowadzenia rozmów i możliwość zajmowania różnych miejsc przy stole (Grupa z Puerto Rico 1989, Perino 1991).

Obchodzenie świąt, rocznic, spędzanie w nietypowy sposób wyjątkowych dni w roku, odgrywało dużą rolę we wszystkich badanych ICE. Także bardziej doceniane jest wspólne oglądanie filmów czy granie w gry wymagające więcej niż jednego gracza. Architektura musi wychodzić naprzeciw tym potrzebom.

Personalizacja: Bardzo ważna jest możliwość urządzenia się w swojej kabynie prywatnej według własnego uznania. Każdy powinien mieć szansę stworzenia własnego otoczenia – tak zaaranżować jego wygląd, by czuć się jak u siebie. Miejsce, które ma traktować się jak własne, musi być przystosowane tak, aby można tam było trzymać swoje osobiste rzeczy, powiesić zdjęcia rodziny, trzymać pamiątki itp. Grupa z Puerto Rico (1989) podkreśla, że własny porządek w swoim pokoju daje poczucie bezpieczeństwa, które w obcym środowisku jest niezwykle ważne. Im lepiej można przystosować swój pokój do własnych potrzeb, tym zapewniony jest większy komfort, przede wszystkim psychiczny. Kabiny prywatne w bazie powinny być tak projektowane, by pozwalać na maksimum personalizacji. Powinny być wyposażone w takie elementy, które dają sposobność uzewnętrznienia swojej indywidualności oraz ułożenia rzeczy na różne sposoby według własnego upodobania. Dubbink (2001) dodaje, że pozytywnie odbierana jest także możliwość personalizacji stanowisk pracy wszędzie tam, gdzie to tylko możliwe. Także w przestrzeni wspólnotowej można wprowadzać elementy dekoracyjne tworzone przez członków załogi. Takie dekorowanie czy zmiana aranżacji w przestrzeni publicznej nie powinna być jednak niekontrolowana. Najlepiej gdy koordynację powierza się liderowi grupy (Stuster 1986).

Różnorodność, możliwość wyboru i dokonywania zmian: Stosowanie podobnych elementów i powtarzalnych schematów w ICE odbierane jest jako nudne i irytujące (Grupa z Puerto Rico 1989). Monotonne, nieróżniące się zbyt od siebie przestrzenie w habitatach kosmicznych mają negatywny wpływ na morale załogi (Dubbink 2001). Wizualna odmienność różnych miejsc w habitacie jest odbierana pozytywnie. Jak pisze dalej Dubbink, podkreślana jest bowiem w ten sposób inność przeznaczenia tych przestrzeni przy jednoczesnym efekcie urozmaicenia. Na wzrost komfortu psychicznego wpływa też różnorodność elementów, kształtów, mebli, sposobu podziału przestrzeni, wprowadzanie dekoracji i używanie rozmaitych kolorów (Grupa z Puerto Rico 1989). Szczególnie doceniana jest możliwość wprowadzania własnych zmian. Jak piszą Evans i in. (1988), efekt zaskoczenia, niespodzianki w monotonnym środowisku ICE nastraja mieszkańców pozytywnie. Na stacjach polarnych chętnie poświęcano czas na wykonywanie dekoracji w związku z organizowanymi imprezami. Jak pisze Grupa z Puerto Rico (1989) w izolowanych habitatach potrzebna jest ucieczka od rutyny poprzez wspólne celebrowanie różnych okazji w przystrojonych na ten czas wnętrzach. Dlatego wysoko są cenione fleksybilne przestrzenie o niezdeterminowanej funkcji lub specjalne przestrzenie wielofunkcyjne z przestawialnymi elementami wystroju wnętrz, przenośnymi ściankami itp. (Evans i in. 1988, Dubbink 2001). Stuster (1986) i Evans i in. (1988) wymieniają różne formy spędzania czasu doceniane przez mieszkańców izolowanych habitatów. Wymagają one odmiennych pomieszczeń, np. czytanie książek – cichej biblioteki, gra w strzałki – klubowej sali gier. Dysponując ograniczoną przestrzenią, ale mając na uwadze aspekt ludzki, architekt musi odpowiednio podejść do problemu stref odpoczynku i rozrywki w habitacie marsjańskim. Im więcej przestrzeni o różnym wyglądzie i innym przeznaczeniu, tym większa różnorodność i możliwość wyboru spędzania czasu. Ma to ogromny wpływ na jakość zamieszkania, szczególnie dla długotrwałych misji, takich jak wyprawa na Marsa. Jak podkreślają Allen i in. (2003), gdy misja jest długa, konieczny jest wysoce efektywny odpoczynek, co zapewnia m. in. dostarczanie zróżnicowanych form rozrywki i relaksu.

Kontakt z otwartą przestrzenią i naturą: W literaturze fachowej wielokrotnie podkreśla się, jak ważna jest sposobność patrzenia przez okno w izolowanym habitacie. Stuster (1986) zauważa, że czynność ta absorbuje i jednocześnie uspokaja. Według niego w habitacie kosmicznym niezbędne jest przynajmniej jedno duże okno. Im więcej sposobności spoglądania na zewnątrz habitatu, tym większe poczucie komfortu. Potrzeba kontaktu z otwartą przestrzenią, którą w najprostszy sposób można zapewnić poprzez umożliwienie jej obserwacji, jest jedną z ważniejszych potrzeb u człowieka. Podkreśla się, jak ważnym elementem architektury jest okno, zarówno pod względem funkcjonalnym, jak i zapewnienia komfortu: okna dają widok na aparaturę zewnętrzną, na niebo, otoczenie habitatu, zmniejszają poczucie ciasnoty, są źródłem ciekawej rozrywki (w czasie wszystkich misji kosmicznych zanotowano, że astronauta i kosmonauta spędzali bardzo dużo czasu przy oknie). Okna także wpuszczają do wnętrza światło słoneczne. Zadaniem architekta jest dokładna analiza problemu rozmieszczenia okien lub innych elementów wizualnie łączących mieszkańców bazy ze światem zewnętrznym, tak aby komfort korzystania z nich był jak największy.

Jak się okazuje, podobnie dobroczynny wpływ na psychikę mają ekrany przekazujące obraz z kamer ustawionych na zewnątrz bazy, a także krajobrazy przedstawiane na wyświetlaczach, obrazach, plakatach, slajdach itp. (Stuster 1986, Evans i in. 1988, Dubbink 2001). Nie są one jednak aż tak wysoko cenione jak okna.

Z kolei kontakt z naturą w przypadku misji kosmicznych możliwy jest tylko poprzez

dogłądanie roślin uprawianych w sztucznym ekosystemie, bowiem na zewnątrz nic nie rośnie – nie ma życia. We wszelkich ICE możliwość przebywania w otoczeniu roślin oraz zajmowanie się nimi, było jedną z najbardziej docenianych form spędzania czasu (NASA ALS 2004, Stuster 1986). Jak podkreśla Grupa z Puerto Rico (1989), człowiek bardzo potrzebuje kontaktu z naturą, ponieważ sam jest jej częścią. Możliwość przebywania w otoczeniu zieleni, oglądanie zwierząt (np. ryb w akwariach) działają na człowieka łagodząco i uspokajająco, a jednocześnie inspirująco. Wszelkie sposoby zmniejszania sztuczności środowiska życia w izolowanym habitacie są potrzebne i sama możliwość patrzenia przez okno nie wystarczy do zaspokojenia tej potrzeby. Pozytywnie wpływać na człowieka mogą także, jak dalej pisze grupa z Puerto Rico, bodźce przywołujące skojarzenia miejsc znanych z Ziemi i pozytywnie zapamiętanych, np. zielony las z zapachem drzew. W opracowaniu zostały one nazwane „duchowymi krajobrazami”. Mogą być one wywoływane przy pomocy narzędzi dostępnych architekturze.

Wnioski dla architekta

Na podstawie powyższych rozważań autorka spisała ogólne wnioski dotyczące projektowania przyjaznego człowiekowi habitatu marsjańskiego.

1. Komfort niski zapewnia warunki przeżycia dla ludzi. Komfort wysoki zapewnia dbałość o dobrą kondycję i zdrowie psychiczne załogi. W przypadku długotrwałej misji na Marsa tak samo ważny jest komfort niski, jak i wysoki, ponieważ człowiek jest w stanie tolerować obniżony standard zamieszkania tylko przez krótki okres czasu.
2. Nie została precyzyjnie określona minimalna wielkość przestrzeni potrzebnej człowiekowi do życia. Zasada jednak jest taka, że im dłużej ma człowiek przebywać w pewnej ograniczonej przestrzeni, tym musi być ona większa. To samo dotyczy zarówno przestrzeni publicznej, jak i osobno wydzielonej – prywatnej. Ponieważ misja załogowa na Marsa ma być długotrwała, wymagana jest duża przestrzeń prywatna i wspólnotowa.
3. Ze względu na małą kubaturę w dotychczas użytkowanych habitatach kosmicznych zapewniano zwykle tylko niski standard zamieszkania. Jedynie w odpowiednio dużym obiekcie, takim jak baza, można prawidłowo zadbać o wysoki komfort fizyczny i psychiczny mieszkańców.
4. Ludzie to kluczowy element misji załogowych na Marsa, dlatego do nich powinna odnosić się cała architektura misji. Przyjazna człowiekowi architektura habitatu jest jednym z poważniejszych problemów misji załogowej.
5. Architektura ma bezpośredni wpływ na jakość zamieszkania. Od jakości zamieszkania zależy efektywność pracy załogi. Od efektywności pracy załogi zależy powodzenie misji. Architektura jest zatem jednym z priorytetowych zagadnień załogowych misji na Marsa.
6. Architektura odgrywa mniejszą lub większą rolę w bardzo wielu zagadnieniach dotyczących jakości zamieszkania. Przy pomocy jej narzędzi wpływać można m. in. na bezpieczeństwo, akustykę, oświetlenie i dostosowywalność habitatu do potrzeb jednostek.

7. Jedną z kardynalnych potrzeb psychologicznych człowieka jest potrzeba przestrzeni prywatnej, do której nikt bez pytania nie ma wstępu. Przestrzeń ta nie może być zbyt mała (w ekstremalnych warunkach min. 2,4 m²). Im dana osoba ma większy wpływ na jej wygląd, tym większe poczucie komfortu.
8. Potrzebne są badania oparte na symulacjach, które dostarczyłyby niezbędnych danych do zastosowania właściwej ergonomii dla habitatu marsjańskiego. Bez tego, ergonomia pierwszego habitatu będzie musiała być intuicyjna. Na podstawie różnic w poruszaniu się ludzi na Ziemi a na stacjach orbitalnych i Księżycu, można określić w przybliżeniu możliwości psychoruchowe człowieka.
9. W ICE preferowane są przestrzenie fleksybilne. Monotonne wnętrza irytują, natomiast wnętrza zróżnicowane, przystosowane do wprowadzania w nich zmian, są wysoko cenione.
10. Strefowanie w bazie pozwala na rozdzielenie konfliktowych funkcji. Należy w innych częściach habitatu rozmieścić strefy publiczne i prywatne, jasne i ciemne, głośne i ciche, robocze i mieszkalne.
11. Należy stosować przegrody akustyczne i materiały pochłaniające dźwięki, aby polepszać środowisko akustyczne w habitacie.
12. Komfort, niezależnie czy fizyczny, czy psychiczny, skojarzony jest z pewnymi konkretnymi efektami. Osiągnąć je można poprzez odpowiednie działania architektoniczne. Opracowana przez autorkę Tab. 4.3 przedstawia spis takich pożądaných efektów oraz przypisane im sposoby działań, odnoszące się do wykorzystywania różnych narzędzi dostępnych architekturze.

Tablica 4.3: Sposoby uzyskiwania pewnych zamierzonych efektów, będących podłożem komfortu w bazie marsjańskiej przy pomocy narzędzi architektury

zamierzony efekt (pod- łoże komfortu)	sposoby uzyskania danego efektu
sprawne LSS	prawidłowe rozmieszczenie urządzeń, np. klimatyzatorów
wygoda w poruszaniu się po habitacie, sięganiu po różne przedmioty, korzystaniu ze sprzętu i urządzeń	ergonomicznie zaprojektowane przestrzenie pracy, bytowe, komunikacyjne
rozdzielenie różnych funkcji	strefowanie; osobne pomieszczenia/moduły z przeznaczeniem na różne funkcje; wizualne i akustyczne przegrody między przestrzeniami o różnym przeznaczeniu
możliwość wyboru (jedzenia, towarzystwa, wyglądu miejsca zamieszkania, sposobu spędzania wolnego czasu)	kuchnia tak wyposażona, by mogła w niej gotować jedna osoba (kucharz), grupa osób lub każdy sobie z osobna; sprzęt umożliwiający różnorodne przygotowywanie dań; dużo pomieszczeń o różnym charakterze, umożliwiających odmienny sposób spędzania czasu w urozmaiconym otoczeniu; fleksybilne wnętrza, umożliwiające samodzielne działania mieszkańców bazy w celu dokonywania w nich zmian (sposoby podziału przestrzeni, zmiany oświetlenia, układu mebli, sprzętu, wprowadzanie dekoracji);
optymalne oświetlenie	odpowiednio zaprojektowane źródła światła, ich rozmieszczenie i ukierunkowanie; przemyślany rozkład okien i świetlików lub innych elementów wprowadzających światło naturalne do wnętrza; sterowanie natężeniem światła; automatyczne przygasanie światła w nocy; możliwość działania kolorem i natężeniem światła w celu zmiany wyglądu otoczenia; specjalne słabsze oświetlenie nocne; oświetlenie informacyjne (np. dla dróg ewakuacji)
oglądanie krajobrazów (przestrzeni odległych)	duża ilość okien lub przegród przezroczystych, dających widok na otoczenie bazy, zaprojektowana w miejscach wygodnych do obserwacji; krajobrazy wyświetlane, na plakatach, tapetach lub obrazach dopasowane do danego pomieszczenia; kreowanie przestrzeni tak, by dawała złudzenie przestronności
zmiennność otoczenia, niespodzianki	fleksybilne wnętrza, umożliwiające rekonfigurację przegród je tworzących, modularne, przestawialne elementy wnętrza, sterowalne oświetlenie
domowa atmosfera w części mieszkalnej i nierozpraszający wystrój wnętrz do pracy	odpowiednia kolorystyka, oświetlenie, dobór mebli, możliwość wieszania/układania osobistych drobiazgów itp.

Rozdział 5

Habitaty w warunkach ekstremalnych

5.1. Habitaty w warunkach ekstremalnych na Ziemi

Na Ziemi występują takie obszary, na których panują warunki szczególnie sprzyjające osiedleniu. Tam też gęstość zaludnienia jest największa. Na naszej planecie są jednak i takie obszary, w których ludziom trudno jest przeżyć, ponieważ panują tam warunki ekstremalne. Mimo to człowiek nauczył się tam żyć i pracować. Umożliwiają mu to specjalne habitaty. Mają one specyficzną konstrukcję, która jest w stanie znieść ekstremalne warunki i zapewnić swym mieszkańcom bezpieczeństwo, a także w pewnym stopniu komfort. Autorka przeanalizowała różne ekstremalne środowiska na Ziemi i wybrała te, które z różnych powodów przypominają Marsa. Następnie przebadane zostały różne habitaty w tych środowiskach w celu określenia dogodnych rozwiązań technologicznych i prohumanistycznych. We wnioskach dla architekta zanotowane zostały spostrzeżenia autorki, cenne dla projektanta bazy marsjańskiej.

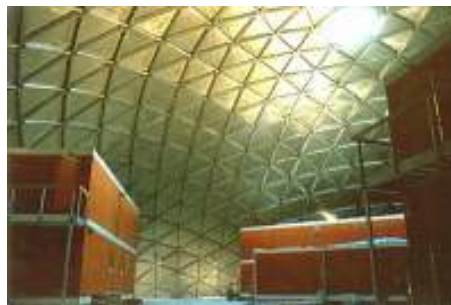
5.1.1. Habitaty polarne

Najzimniejsze regiony Ziemi to Arktyka i Antarktyda. Na większości ich obszarów panuje wieczna zima, spore fragmenty to lądolody. Flora jest tam niezwykle uboga, nie ma drzew. Teren w większości jest płaski i niczym nieosłonięty. Przez to wiatry osiągają bardzo duże prędkości, do 324 km/h. Antarktyda to najbardziej wietrzny obszar na Ziemi. Ze względu na słabe nasłonecznienie temperatury są tam bardzo niskie (minimalna temperatura tam odnotowana to $-89,2^{\circ}\text{C}$). Przez większość roku jest tam bardzo pochmurnie, tylko ok. 100 dni jest słonecznych. Paradoksalnie jest to bardzo suchy obszar, ponieważ roczne opady są tam bardzo niskie. Zamiecie śnieżne związane są z podrywaniem do góry zalegającego na powierzchni śniegu (*Wikipedia* 2007). Tak więc, analogicznie jak na Marsie, jest tu bardzo zimno, sucho, brak roślinności i występuje słabe nasłonecznienie.

Igloo: Habitaty polarne wykonywane przez rdzennych mieszkańców Arktyki wykorzystywały miejscowe zasoby, czyli po prostu śnieg i lód. Z tych materiałów budowano domy typu igloo. Były to tymczasowe konstrukcje, które mogły stopnieć, gdy zrobiło się cieplej, zostać zasypane w czasie zamieci śnieżnej lub po prostu były porzucane, kiedy ludzie przenosili się w nowe miejsce. Szerzej o tym w Rozdz. 6.1.5.



Rysunek 5.1: Widok ogólny na stację Amundsena Scotta (southpolestation.com)



Rysunek 5.2: Wnętrze pod kopułą (southpolestation.com)



Rysunek 5.3: Wnętrze pokoju mieszkalnego (southpolestation.com)

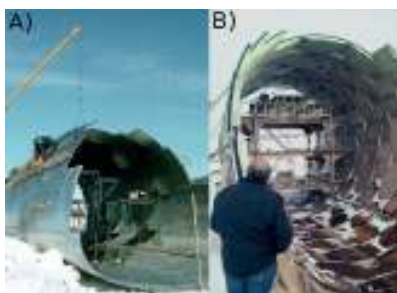


Rysunek 5.4: Konstrukcja kopuły w czasie budowy (southpolestation.com)

Stacja polarna Amundsena-Scotta (Rys. 5.1) znajduje się niemal na samym biegunie południowym, gdzie przez pół roku panuje ciemna i zimna noc polarna. Naukowcy pracują tu w ciągu całego roku. W okresie zimowym stacja pomieścić może 23 osoby. Przez ponad pół roku łączność ze światem ogranicza się do używania radia i poczty elektronicznej.

Założono tu stację składającą się z kopuły mieszkalnej i paru konstrukcji magazynowych w kształcie półwalca. Kopuła ma średnicę 50 m i wysokość 16 m. Jest to konstrukcja szkieletowa z elementów aluminiowych ustawionych na drewnianych platformach odpowiednio zdylatowanych oraz na podkładkach ze sklejki (Rys. 5.4). Na szkielet nakładano panele aluminiowe w kształcie trójkątów równobocznych (były one przyśrubowywane w 6 punktach i później – po ok. 15 latach, kiedy wymagały wymiany – okazało się to kłopotliwym rozwiązaniem). Do ustawienia struktury okazały się niezbędne rusztowania w formie szerokich kratownicowych wież oraz fachowa ekipa (The Pole Souls 1987b). Wewnątrz kopuły znajduje się habitat. Mimo braku okien jest tu jasno (dzięki podwieszonym elementom oświetleniowym) i przytulnie (nie wieje wiatr, nie sypie śnieg). Kopuła była budowana przez trzy sezony letnie w latach 1970-73 (w czasie trwania dni polarnych). Konstrukcja przekrycia jest na tyle szczelna, że ciepło od ludzi, budynków czy lamp nie wydostaje się na zewnątrz. Zaletą takiej konstrukcji jest też to, że śnieg leżący na powierzchni przekrycia nie topi się i nie zamienia w ciężki i trudny do usunięcia lód.

Pomieszczenia mieszkalne i laboratoryjne znajdują się w trzech dwukondygnacyjnych budynkach kontenerowych (Rys. 5.2). Były one w całości dowożone samolotami, dlatego nie są zbyt dużych rozmiarów. Kwatery są ciasne, dwuosobowe (Rys. 5.3). Na ich wyposażeniu jest łóżko piętrowe i skromny regał na rzeczy osobiste. Przestrzenie wspólnotowe są za to większe (The Pole Souls 1987a).



Rysunek 5.5: Struktura rury tunelu stacji: A) Halley III (metalowa), B) Halley IV (drewniana) (British Antarctic Survey)



Rysunek 5.6: Widok na stację Halley IV z metalowych rur przed zasypaniem śniegiem (British Antarctic Survey)



Rysunek 5.7: Tunel pod lodem (British Antarctic Survey)



Rysunek 5.8: Budynki kontenerowe na rusztowaniu z platformą (stacja Halley V) (British Antarctic Survey)

Przestrzeń magazynowa i na sprzęt została przekryta stalowymi łukami z blachy fałdowej ustawionymi w formie długiego sklepienia zakończonego drewnianymi ścianami czołowymi, w których wykonano duże, wygodne bramy wjazdowe. Zarówno pod kopułą, jak i pod tymi półwałcami nie zrobiono żadnej specjalnej posadzki – chodzi się po wyrównanej warstwie śniegu. Magazyny zostały połączone ze sobą i z kopułą rękawami też w formie połowy walca.

Stacja Halley: Pierwsza angielska Stacja Halley I wybudowana została w 1967 roku. Stanowiła ją grupa drewnianych chat, które szybko uległy zniszczeniu. W budynkach mieszkalno-laboratoryjnych następnej stacji – Halley II położono stalowe więźby dachowe, ale wzmocnienie okazało się niewystarczające. Stacja polarna Halley III została zbudowana ze stalowych rur z blachy fałdowej (Rys. 5.5 A). Opływowy kształt sprzyjał zsuwaniu się śniegu z powierzchni dachowej. Jednocześnie wygięta w formę walca blacha fałdowa była na



Rysunek 5.9: Stacja Halley VI (British Antarctic Survey)



Rysunek 5.10: Z podlodowej stacji Neumayer na powierzchni widać tylko wieżyczki włazowe (Alfred Weneger Institut)



Rysunek 5.11: Wnętrze stacji polarnej Neumayer (Alfred Weneger Institut)



Rysunek 5.12: Ruszt dla kontenerów mieszkalnych wewnątrz tunelu podlodowego na stacji Neumayer (Alfred Weneger Institut)



Rysunek 5.13: Wjazd do podlodowego garażu na stacji Neumayer (Alfred Weneger Institut)

tyle sztywna, że nie ugięła się tak łatwo pod ciężarem śniegu. Stacja Halley III znajdowała się na Szelfie Lodowym Brunt, na którym co roku spada warstwa 1,2 m śniegu. Walcowe konstrukcje szybko zostały więc zakryte (Rys. 5.7). Widoczne pozostały tylko wysoko położone wieżyczki włazowe. Stacja Halley III była użytkowana przez 12 lat aż stała się zbyt głęboka, by bezpiecznie do niej schodzić. Konstrukcja także zaczęła się w końcu ugiąć pod obciążeniem śniegiem. Stacja Halley IV (Rys. 5.6) miała podobną strukturę do swej poprzedniczki. Tym razem do wykonania rur posłużono się panelami drewnianymi (Rys. 5.5 B) ze specjalnymi szparami, które miały zabezpieczać przed zbyt szybką ucieczką ciepła z habitatu do pokrywy lodu nad nim. Konstrukcja drewniana okazała się jednak mniej sztywna od metalowej. Już w czasie budowy nawiewany śnieg spowodował wypaczenie się konstrukcji i znaczny spadek jej wytrzymałości na obciążenie śniegiem. Stacja zamieszkiwana była zaledwie 2 lata. Halley V stanowią budynki kontenerowe umieszczone na rusztowaniu stalowym (Rys. 5.8). Wynosi ono habitat na dużą wysokość ponad powierzchnię śniegu tak, by nie został zbyt szybko zasypany. Dziś powstaje najnowsza wersja stacji – Halley VI. Jej projektanci postarali się o połączenie użyteczności konstrukcji i atrakcyjnego wyglądu (Rys. 5.9). Tworzą ją nowoczesne metalowe moduły zamocowane na wysuwanych nogach, które umożliwiają odseparowywanie się od narastającej warstwy śniegu. Nogi dodatkowo wyposażone są w narty, które pozwalają na przesuwanie całości na wybrane miejsce. Nowoczesne budynki zapewniają również przyjazne ludziom wnętrza (BAS 2006).



Rysunek 5.14: Widok na sieć tuneli miasta Thule z lotu ptaka przed zasypaniem śniegiem (Bob Brewer)



Rysunek 5.15: Wejścia do podlodowego miasteczka Thule (Szolginia 1987)

Stacja Neumayer: Niemiecka stacja polarna Neumayer znajdująca się pod lodem składa się z dwóch rur stalowych o średnicy 8 m i długości ok. 90 m każda (Rys. 5.11). Wewnątrz na specjalnych rusztowaniach (Rys. 5.12), dających płaską podłogę, ustawione są prostopadłościennymi kontenery mieszkalno-robotnicze. Przechowuje się tu również sprzęt i pojazdy. Ludzie wydostają się przez metalowe wieżyczki (Rys. 5.10), a maszyny wyjeżdżają po rampie (Rys. 5.13) (AWI 2000).

Miasteczko Thule: W 1951r. w pobliżu eskimoskiego osiedla Thule wybudowano wielkie lotnisko, wokół którego zaczęły wyrastać wznoszone ze stali i aluminium zabudowania: hangary lotnicze, warsztaty, magazyny, pomieszczenia dla załogi lotniska, elektrownia, ciepłownia, zakłady przetwarzające wodę morską na wodę zdatną do picia, wreszcie liczne budynki mieszkalne. Zaczęło powstawać kilkutysięczne miasto. Surowy klimat zmusił Amerykanów do przeniesienia swoich domów pod powierzchnię śniegu. Podyktowane to też było względami bezpieczeństwa – w ten sposób można było bazę lepiej zamaskować. Pierwsze tunele powstały w 1955r. Były to wykopywane rowy o głębokości 3,5 m, przykrywane sklepieniem z bloków lodowych. Wykonano kilkanaście takich tuneli lodowych o długości 24 m każdy. Z czasem udoskonalono metody budowy, drążąc tunele głęboko w wiecznym lodzie. Jeden z nich leży na głębokości 350 m, dzieląc się na 3 ogromne pomieszczenia o długości 60-90 m, szerokości 6,5 m i wysokości ponad 2 m. Potem zastosowano metalowe rurowe konstrukcje. Początkowo stały na powierzchni (Rys. 5.14), z czasem zostały przysypane warstwą śniegu. Pozostały tylko wystające małe wieżyczki włazowe (Rys. 5.15). Z takich właśnie łączonych ze sobą rur powstało całe podlodowe miasto Thule. To jedyne w swoim rodzaju osiedle jest wielkim systemem rozmaicie ze sobą połączonych tuneli, zarówno tych wydrążonych w lodowym masywie, jak i tych rurowych, o stalowej konstrukcji. Jedne z nich pełnią funkcję arterii komunikacyjnych, którymi jeżdżą elektryczne kolejki transportowe, inne są pomieszczeniami różnorodnych urządzeń bazy lotniczej, jeszcze inne – to pomieszczenia mieszkalne, sportowe, rozrywkowe itd. Mieszkańcy tego miasta tygodniami nie wychodzą na powierzchnię, muszą więc mieć tutaj wszystko, co jest im potrzebne do mniej więcej normalnego życia (Szolginia 1987, s.150).

Wnioski dla architekta

Na podstawie analizy habitatów polarnych autorka wyróżniła cztery typy konstrukcji stosowane z powodzeniem w warunkach ekstremalnych podobnych do marsjańskich: igloo,

tunele podlodowe, budynki kontenerowe na rusztowaniach i moduły metalowe na nogach. Istnieje możliwość zaadaptowania tych rozwiązań na Marsie. Problemy napotkane z ich zastosowaniem w Arktyce i na Antarktydzie uczulić mogą architekta w pewnych kwestiach.

1. Konstrukcje z lodu (igloo) i w lodzie (tunele lodowe) były już wykorzystywane na Ziemi w warunkach ekstremalnych i dobrze spełniały swoją funkcję jako przestrzeń do mieszkania i pracy. Dlatego analogiczne struktury mogłyby być wykonywana na Marsie jako elementy bazy. Ograniczeniem dla tych konstrukcji może być wzrost temperatury powyżej 0°C powodujący topnienie śniegu albo nadmierne obciążenie nawiewanym materiałem zwietrzelinowym. Oznacza to, iż na Marsie konstrukcje lodowe mogą być stosowane z powodzeniem na tych szerokościach geograficznych, gdzie temperatury są stale ujemne lub jeśli lód zostanie zabezpieczony przed sublimacją. Jeśli chodzi o drugie zagrożenie, trzeba ustalić, jaki ciężar jest w stanie wytrzymać tunel podlodowy w warunkach 1/3 g i jakiego nawarstwienia pyłu marsjańskiego można się spodziewać na terenie wybranym pod założenie bazy.
2. Największym problemem dla budowli na terenach okołobiegunowych na Ziemi jest osadzanie się na nich śniegu, który z czasem zakrywa wszystko. Zwykłe drewniane domy z dobrą termoizolacją były w stanie zapewnić ludziom dobre warunki do życia na Antarktydzie i w Arktyce. Opuszczano je w zasadzie tylko z tego powodu, że zakrył je śnieg i odkopywanie drogi stawało się już niemożliwe lub zbyt męczące. Dlatego bardzo ważne jest, by przewidzieć, na jakie zasypanie pyłem marsjańskim narażone są lokalizacje rozpatrywane pod założenie bazy. Osadzanie się zwietrzliny może spowodować zakopanie budowli mieszkalnych. W habitatach polarnych walczono z tym problemem wiele lat, więc projektanci konstrukcji marsjańskich mogą się uczyć na cudzych błędach. Odkopywanie jest pracochłonne i w warunkach ekstremalnych wręcz niebezpieczne. Dlatego opracowano dwa rozwiązania tego problemu na stacjach polarnych. Pierwsze z nich nadaje się tam, gdzie nawarstwianie się nawiewanego materiału nie jest zbyt duże. Chodzi tu o tunele lodowe. Przed osadami chronić trzeba tylko wieżyczki wjazdowe i wjazdy pojazdów do garaży. Wieżyczki powinny być z góry zaprojektowane dość wysokie i ze schodami prowadzącymi na powierzchnię. Ewentualnie, jak sugeruje autorka, mogłyby mieć mechanizm pozwalający na ich wyciąganie się teleskopowe w górę. Drugim rozwiązaniem omawianego problemu jest wykonanie rusztowania z platformą do ustawiania kontenerów mieszkalnych lub zaopatrzenie takich budynków w wysokie nogi. Rusztowanie ma bardziej skomplikowaną budowę niż metalowe słupy pełniące funkcję nóg. Za to można na nim umieszczać różne moduły, dostawiać je lub podmieniać. Na nogi nasadzać można tylko odpowiednio przystosowane w tym celu obiekty architektoniczne. Nogi mają inne zalety: montaż jest prostszy, bo wymaga tylko ustabilizowania ich na podłożu w odpowiednim miejscu. Łatwiej zmieniać ich wysokość – poprzez wysuwanie teleskopowe. Nogi też prościej można wyposażyć w elementy pozwalające na przemieszczanie całości w terenie. W przypadku stacji Halley są to narty do jeżdżenia po śniegu. Niestety powierzchnia Marsa jest bardzo nierówna, pokryta głazami różnych wielkości, dlatego samo przesuwanie habitatu jest niemożliwe. Idea przemieszczania się jest wszakże bardzo inspirująca. Dzięki zmianie lokalizacji baza marsjańska mogłaby wybierać bardziej dogodne miejsca pod względem warunków pogodowych, dostępu do zasobów, rodzaju atrakcyjności miejsca itp. Dla bazy marsjańskiej można zaprojektować nogi

- na kołach lub nogi przegubowe poruszające się jak u owadów. Chodzące nogi są jednym z pomysłów rozważanych przez NASA.
3. W habitatach polarnych stosowano dwa sposoby do minimalizowania wpływu niskiej temperatury zewnętrznej na wnętrze habitatu. Po pierwsze była to ochrona przed mroźnymi wiatrami w postaci struktury osłaniającej (np. kopuła) lub umieszczenie całości pod powierzchnią, z dala od negatywnego wpływu warunków atmosferycznych (tunele lodowe). Umieszczenie habitatu pod powierzchnią zapewnia lepszą stabilizację temperaturową, czyli mniejsze wahania temperatury. Ochronę przed stykiem z zimnym podłożem zapewnić również mogą rusztowania pod właściwe konstrukcje bytowe. Na Marsie rzadka atmosfera słabiej pobierać będzie ciepło uciekające z habitatu niż bardzo zimny grunt. Umieszczenie całości w pewnej odległości od zamrożonego podłoża zapewnia bardziej równomierny rozkład temperatur dookoła budynku. Ujednolica to sposób projektowania termoizolacji. Jednak rusztowanie to dodatkowe podniesienie kosztów budowy.
 4. Ekstremalne warunki temperaturowe oraz zamiecie śnieżne utrudniały prowadzenie prac montażowych przy budowie stacji polarnych. Wymyślono dwa rozwiązania dla tego problemu. Po pierwsze na czas prac budowlanych wybierano okres najbardziej sprzyjający pogodowo – lato, kiedy świeci słońce i nie jest tak zimno. Ze względu na to, że sprzyjające warunki zdarzały się rzadko, prace nad bardziej skomplikowanymi konstrukcjami trwały dłużej i rozciągały się nawet na parę sezonów letnich (w przypadku kopuły stacji Amundsena Scotta były to aż trzy lata). Drugim rozwiązaniem było maksymalne uproszczenie procesu budowy na miejscu. Przystosowywano wielkość i gabaryty konstrukcji mieszkalnych do możliwości transportowych samolotów. Przez to powstawały prostopadłościennne kontenery, niestety ciasne i niewygodne. Za to w całości wykonywano je w fabryce w dogodnych warunkach. Można też było je przetestować i upewnić się, że wszystko zostało właściwie skonstruowane, przed wysłaniem ich na miejsce. Gotowy moduł wystarczyło wtedy ustawić na platformie rusztowania i na tym kończył się cały montaż *in situ*. Koszta transportu były jednak dość wysokie, co zdaniem autorki byłoby szczególnie niekorzystne w przypadku budowy bazy marsjańskiej.
 5. Budowle polarne zawsze miały pełnić funkcję schronienia dla ludzi przed nieprzyjawnym środowiskiem zewnętrznym tak, by mogli tam przetrwać, aby pracować. Aspekt humanitarności miejsca zamieszkania schodził przez to na dalszy plan. Jak opisano w Rozdz. 4.2 było to jedną z przyczyn problemów socjopsychologicznych. Próbą zapewnienia większego komfortu zamieszkania jest m. in. kopuła na stacji Amundsena Scotta, która zapewnia sporą przestrzeń rekreacyjną. Nie jest ogrzewana i nie ma okien, ale stwarza przyjazne warunki ludziom, którzy w czasie nocy polarnych szczególnie potrzebują bezpiecznej przestrzeni do aktywności fizycznej. Na Marsie można by wykorzystać analogiczne rozwiązanie. Przestrzeń z optymalnymi warunkami do życia zapewniona byłaby tylko w modułach mieszkalnych i roboczych. Utrzymywanie wszystkich urządzeń LSS jest niezwykle drogie, więc w części przestrzeni rekreacyjnej można by zrezygnować z całego lub fragmentu systemu podtrzymywania życia (Kozicka 2004a). Przestrzeń ta byłaby ograniczona np. jakąś konstrukcją osłaniającą przed wiatrami i pyłem, mogłaby mieć posadzkę, oświetlenie, ale trzeba by tam było chodzić albo w maskach tlenowych, albo np. ciepło ubranym – jak pod kopułą stacji



Rysunek 5.16: Nowoczesna sylwetka belgijskiej stacji polarnej Princess Elisabeth, projekt (International Polar Foundation)

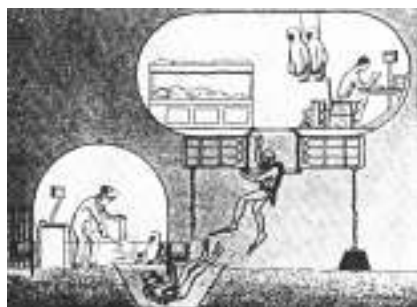
Amundsena Scotta. Mógłby to być teren upraw, hala sportowa lub sala widokowa. Strefa ta przeznaczona byłaby na tymczasowy i niewymuszony pobyt ludzi. Przez to mogłaby być pozbawiona bariery chroniącej przed szkodliwym promieniowaniem. Atmosfera Marsa zatrzymuje część tego promieniowania, dlatego krótkotrwałe wystawienie na jego działanie nie powinno w znacznym stopniu wpływać negatywnie na zdrowie mieszkańców bazy. Można by zaprojektować na tej zasadzie także basen! Tworzyłby on barierę chroniącą przed promieniowaniem kosmicznym i słonecznym wewnątrz habitatu i jednocześnie pozwalał na pływanie i nurkowanie. Kontakt z wodą wpływałby korzystnie na kondycję fizyczną, a także psychiczną człowieka. Rozwiązania dla takiej strefy mogą być rozmaite.

6. W ostatnich latach coraz większą uwagę zwraca się na estetykę stacji polarnych. Budynki mają ciekawsze kształty i kolory (Rys. 5.9, 5.16). Dbą się nie tylko o to, by były to bezpieczne schronienia, ale też przyjazne ludziom habitaty. Ma to wpływ na komfort psychiczny. Ludzie lepiej się czują, gdy się o nich dba i kiedy ich dom jest po prostu ładny. Warto zwrócić uwagę, że koszt zbudowania estetycznego budynku wcale nie musi być wyższy. Należy o tym pamiętać projektując bazę na Marsie.
7. Jaskrawe barwy, charakterystyczne bryły i napisy pomagają rozpoznawać habitat polarny na tle białego krajobrazu przez załogi powracające z wyprawy i przylatujące samoloty transportowe. Jest to zatem użyteczne rozwiązanie, które dodatkowo wpływa na estetykę stacji. Na Marsie dominuje czerwono-różowy pejzaż. Należałoby tak dobrać kolorystykę zewnętrzną budowli, by ułatwiać odnajdywanie wzrokowe bazy na takim tle.
8. Przyglądając się architekturze stacji polarnych można dostrzec dwa podejścia w lokalizowaniu różnych funkcji, z których każde może się okazać w przypadku bazy korzystne, w zależności od dobranych technologii budowlanych. W pierwszym przypadku różne funkcje lokowane są w innych konstrukcyjnie budynkach, drugie zaś polega na umieszczaniu wszystkich funkcji w konstrukcjach tego samego typu. Każde z rozwiązań ma swoje wady i zalety. Rozmieszczając różne funkcje w innych budynkach, można lepiej je dostosować (Kozicka 2007). Na stacji Amundsena Scotta habitat umieszczony jest pod kopułą, kontenery mieszkalne są ogrzewane i ocieplone, zaś garaże i magazyny znajdują się pod zadaszeniem w formie sklepienia z gołej blachy

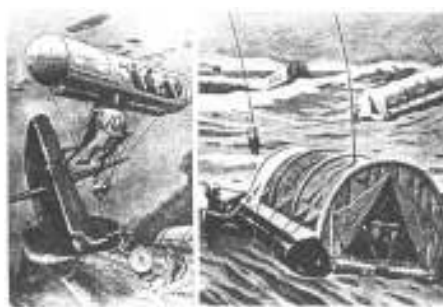
- tu ogrzewanie nie jest takie konieczne, więc z niego zrezygnowano, a w prostych ścianach czołowych łatwiej było wykonać duże bramy wjazdowe dla pojazdów. Dla mniej wymagających funkcji – prostsza, tańsza konstrukcja, dla bardziej wymagających – bardziej skomplikowana, dokładniejsza. W ten sposób wydatki przeznaczane są przede wszystkim na najbardziej wymagające funkcje, a oszczędza się na pozostałych. W drugim rozwiązaniu wykorzystuje się jeden typ konstrukcji, która może pomieścić dowolną funkcję. Modularność daje większe bezpieczeństwo korzystania z elementów mieszkalnych bazy oraz zapewnia fleksybilność dostępnej przestrzeni. Nie każda jednak konstrukcja będzie mogła być w ekonomiczny sposób tak wykorzystywana. Tunele lodowe z miasteczka Thule, a także ze stacji polarnych Halley III i VI oraz Neumayer wydają się być bardzo dobrymi kandydatami, godnymi naśladowania również na Marsie. Forma rury jest obła, a więc rozkład ciśnienia wewnętrznego będzie w niej korzystny. Ma też prostą konstrukcję, której montaż powinien przebiegać sprawnie. Ze względu na modularność uszkodzone elementy mogą być łatwo zastępowane innymi. W przypadku tuneli drążonych w lodzie, aby zwiększyć przestrzeń użytkową, wystarczy przedłużyć tunel lub wydrążyć nowy – nie są do tego potrzebne dodatkowe materiały budowlane. Oczywiście, aby wykonać tunel lodowy na Marsie, trzeba by dysponować dużą warstwą lodu. Należałoby taką odszukać lub ewentualnie można by spróbować ją stworzyć sztucznie. Jeśli chodzi o tunele z rur, wydaje się, że lepiej byłoby je wykonywać z metalu niż drewna. Specjalne lekkie drewniane panele z pustkami lepiej zabezpieczają termicznie. Na Marsie nie ma zamieci śnieżnych, więc drewno nie nasiąkłoby wilgocią i nie uległo wypaczeniu. Jednak drewniane panele są grubsze, a więc zajmowałyby większą przestrzeń bagażową niż metalowe elementy. Poza tym drewna na wykonywanie reperacji na Marsie nie ma i co najmniej bardzo długo nie będzie. Tymczasem stal można łatwo produkować. Architekt mógłby też zaproponować inny rodzaj materiału konstrukcyjnego.
9. Sposób montowania elementów konstrukcji bazy marsjańskiej powinien być jak najprostszy, by w razie konieczności wymiany któregoś z nich nie było to problemem, jak to miało miejsce w przypadku kopuły na stacji Amundsena Scotta. Trudny i niebezpieczny sposób montażu wymagać może sprowadzania fachowej ekipy (Kozicka 2004a). W przypadku habitatu marsjańskiego powinno się wykluczyć taką ewentualność, gdyż zbytnio komplikowałoby charakter misji marsjańskich.

5.1.2. Habitaty podwodne

Woda to zupełnie inny ośrodek niż powietrze. Jest to dość gęsta ciecz, w której ludzie nie mogą się poruszać tak jak na lądzie. W morzach i oceanach zdarzają się gwałtowne załamania pogody, które mogą spowodować drastyczną zmianę warunków w ciągu paru minut. Pod wodą jest też ciemniej, na duże głębokości dociera niewiele promieni słonecznych. Woda zawiera pewne ilości tlenu, ale nie nadaje się on do oddychania dla ludzi, gdyż jest rozpuszczony w wodzie. Udało się wykonać sztuczne skrzela z wodoszczelnej membrany, która w jedną stronę przepuszcza tlen, a w drugą – dwutlenek węgla (AD 1967a). Wraz z głębokością rośnie ciśnienie i spada temperatura. Ze względu na zdrowie człowieka i komfort oddychania zaleca się stosowanie sztucznych mieszanek gazów o ciśnieniu podobnym do ciśnienia otoczenia. Im głębiej, tym więcej potrzeba lekkich gazów (np. helu). Powodują one zmianę głosu, który robi się śmiesznie wysoki. Jest to denerwujące, ale co istotniejsze,



Rysunek 5.17: Pneumatyczny warsztat podwodny obok pneumatycznego habitatu E. Linka (Gussmann 1984)



Rysunek 5.18: Łódź ratunkowa dla okrętów podwodnych wg projektu E. Linka: A) marynarze w łodzi ratunkowej pod wodą, B) na powierzchni (Gussmann 1984)

może powodować nierozumienie się nawzajem w czasie rozmowy. Człowiek jest w stanie oddychać taką sztucznie zmienioną atmosferą, jednak kiedy chce wypłynąć znów na powierzchnię, konieczne jest powolne wynurzenie. Im głębiej i im dłużej przebywają akwanci pod wodą, tym więcej czasu zabiera dekompresja, nawet parę dni (Gussmann 1984).

Na Marsie, podobnie jak pod wodą, nie można normalnie oddychać i poruszać się. W obu środowiskach jest zimno. Lepiej jest też, gdy ciśnienie atmosfery służącej do oddychania ma wartość zbliżoną do ciśnienia otoczenia, choć wiązać się z tym mogą różne uciążliwości.

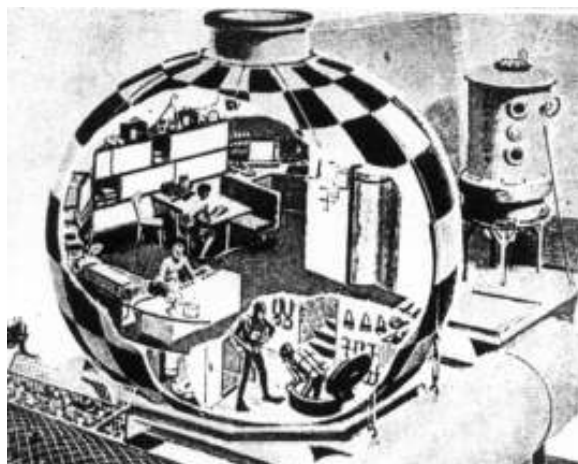
Spid to skrócona nazwa dla pneumatycznego habitatu Submersible portable inflatable dwelling, czyli Podwodnego przenośnego pneumatycznego schronienia. Jego projektantem był Edwin Link. Spid był to poziomo ustawiony podłużny nadmuchiwany walec z zaobleniami na końcach. Przywiązany był do stalowej ramy zaczepionej do dna morskiego za pomocą balastu. W środku znajdowało się tylko jedno bardzo ciasne pomieszczenie o wymiarach 2,5m x 1,3m. Wewnątrz najeżone było ono różnymi urządzeniami utrudniającymi poruszanie się. Do Spida wpływało się przez luk zamocowany w podłodze. W środku było miejsce do spania dla dwóch osób oraz stół i krzesła. Spid stanowił mieszkanie dla nurków. Pracowali zaś oni pod pneumatyczną kopułą mocowaną obwodowo do dna i umożliwiającą wygodną pracę bez kombinezonów (Rys. 5.17). Do modułu wpływało się poprzez podkop w podłodze (Gussmann 1984, s.62), (Link 1964).

Pneumatyczna łódź ratunkowa również została zaprojektowana przez Linka. Po nadmuchiowaniu uzyskiwała kształt cylindryczny. Pneumatyczny szkielet pozwalał na utrzymanie sztywnej konstrukcji mimo rozszczelnienia wnętrza walca, kiedy łódź znalazła się już na powierzchni wody i ludzie z niej wysiadali (Rys. 5.18).

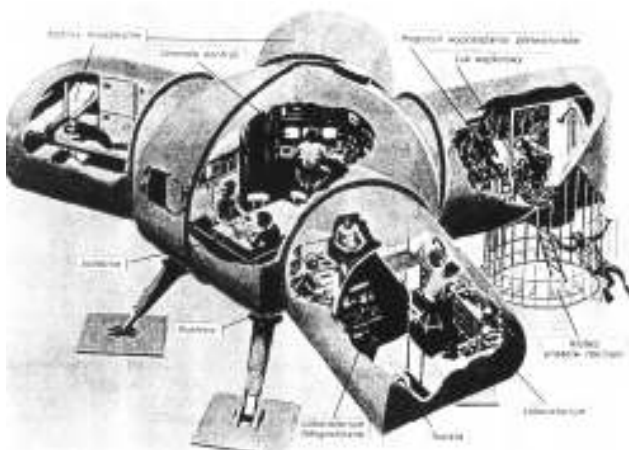
Tektite to nazwa podwodnego habitatu, który wykonany został przez NASA w celu badania zachowania zespołów ludzi w warunkach ścisłej izolacji. Do budowy habitatu wykorzystano gotowe elementy istniejącego symulatora lotów kosmicznych. Tektite składało się z dwu cylindrów o wysokości 5,5 m i średnicy 3 m. Jednorazowo mieszkano tu 5 osób. Habitat umieszczony został na prostokątnej podstawie na głębokości 16 m (Rys. 5.19). Sztuczna atmosfera składała się z 92% azotu i 8% tlenu. Cylindry w pobliżu swych szczytów były połączone przejściem o średnicy 1,5 m. Do Tektite prowadziły dwa wejścia poprzez klatkę zabezpieczającą przed rekinami. Do pomieszczenia mokrego można



Rysunek 5.19: Habitat podwodny Tektite – widok z pokazaniem wnętrza (Gussmann 1984)



Rysunek 5.20: Habitat Precontinent III (Gussmann 1984)



Rysunek 5.21: Habitat Rozgwiazda z osiedla podwodnego Precontinent II (Gussmann 1984)



Rysunek 5.22: Habitat Rakieta z osiedla podwodnego Precontinent II (Gussmann 1984)

było dostać się zawsze otwartym lukiem znajdującym się pod prawym cylindrem. Stąd po drabinie prowadziła droga do kabiny kontroli, w której składowano również dwumiesięczny zapas żywności. W górze pomieszczenia zamontowano wieżyczkę obserwacyjną. W drugim cylindrze na górze znajdowało się laboratorium, a na dole przestrzeń mieszkalna z meblami i kąpielnią (Gussmann 1984, s.68).

Precontinent to nazwa podwodnych habitatów, które zaprojektowali i później zamieszkiwali ludzie z zespołu słynnego oceanonauty Jacquesa Cousteau. Precontinent II to pierwsze w historii podwodne osiedle. W jego skład wchodziły trzy budynki: Rozgwiazda, Rakieta i Cebula. Ich powłoka wykonana była z nitowanych ze sobą arkuszy blachy. Rozgwiazda zakotwiczona była na głębokości 10 m. Był to dość wygodny habitat. Składał się z części centralnej o kształcie zbliżonym do kuli oraz czterech odchodzących od niego cylindrycznych ramion. W centrum znajdowała się główna przestrzeń wspólnotowa z meblami oraz centralą kontroli. Dwa z ramion przeznaczono na kabiny mieszkalne, jedno na laboratoria oraz to-



Rysunek 5.23: *Aquarius*: widok z zewnątrz (NOAA/UNCW)



Rysunek 5.24: Wnętrze habitatu *Aquarius*: rzut i zdjęcia z załogą (mesa, sypialnia) (NOAA/UNCW)

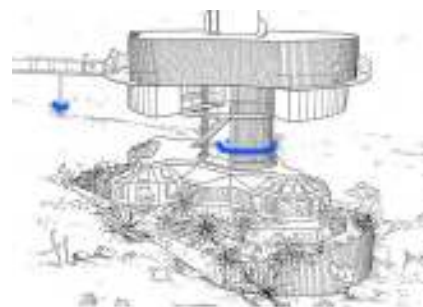
aleję. Ostatni walcowy człon stanowiło pomieszczenie mokre z odsłoniętym wejściem do wody i szatnią dla pływaków. W Rozgwieździe mieszkać mogło pięć osób. Temperatura wnętrza wynosiła 21°C, wilgotność 85%. Rakieta zakotwiczona była niżej – na głębokości 26 m. Miała ona kształt pionowego walca. Wewnątrz podzielona została na 3 poziomy. Na górnej kondygnacji mieściła się skromna kabina mieszkalna dla dwóch osób. Na poziomie środkowym był pokój mokry z lukiem prowadzącym do wody, a niżej pomieszczenie z klatką zabezpieczającą przed rekinami. Stąd ludzie wypływali na głębokość nawet 110 m przy pomocy stateczku nurkującego. Cebula był to nieduży moduł w kształcie wyciągniętej na czubku kopuły przypominający cebulę (stąd nazwa). Postawiony był on na dnie na czterech teleskopowych nogach. Pełnił funkcję magazynu i garażu dla małego nurkującego spodka Denise. Dzięki takiemu rozwiązaniu prace na głębokościach wykonywać można było dużo sprawniej niż z osobnymi nurkowaniem z powierzchni (Gussmann 1984, s.58).

Później powstał drugi habitat podwodny załogi Cousteau. Nazwano go Precontinent III. Miał kształt kuli o średnicy 5,7 m. Forma ta pozwalała na idealny rozkład ciśnienia gazów w obłej budowlu. Precontinent został podzielony do wewnątrz na dwie kondygnacje. Mieszkało na nim i pracowało 6 osób. W porównaniu z innym do tego czasu wykonanymi habitatami podwodnymi, ten był bardzo obszerny i wygodny. Niektóre zapasy trzymano z boku modułu, gdzie zimna woda dobrze je konserwowała (Gussmann 1984, s.65).

Aquarius to obecnie jedyne na świecie podwodne laboratorium przeznaczone do badań morza. Składają się na niego trzy elementy: habitat, boja z systemem podtrzymywania życia oraz platforma utrzymująca habitat pod wodą na żądanej głębokości. Habitat o powierzchni użytkowej 11 m² zawiera pomieszczenia bytowe i laboratoryjne. Moduł podwodny o masie 82 ton ma długość 14 m i średnicę równą 3 m (Rys. 5.23). Zbudowany jest on ze spawanych ze sobą grubych stalowych blach kształtowanych w formy obłe przy użyciu materiałów wybuchowych. Moduł składa się z dwu hermetycznych części: wejściowej i głównej. Przed główną częścią mieszkalno-roboczą znajduje się mokry przedsionek. Dalej jest pomieszczenie techniczne z urządzeniami systemu podtrzymywania życia, komputerami i sprzętem naukowym; tu również mieści się łazienka. Stąd przez hermetyczne drzwi wchodzi się na pokład główny. Tu znajduje się mesa i specjalne pulpity do badań. Na początku i na końcu ciągu są dwa iluminatory. Na końcu wewnętrznego korytarza za ścianką jest sześć koi do spania dla wszystkich członków załogi (Rys. 5.24). Habitat znajduje się na głębokości



Rysunek 5.25: Kapsuła szklana, pełniąca funkcję miejsca odpoczynku dla nurków lub kaplicy ślubnej (uwpress.com)



Rysunek 5.26: Podwodna restauracja Red Sea Star (redseastar.com)

14 m i zaczepiony jest do platformy dennej leżącej 5 m poniżej. Zapewnia ona stabilność konstrukcji. Atmosfera wewnątrz modułu jest prawie taka sama jak wody na zewnątrz. Dzięki temu niepotrzebna jest długotrwała dekompresja po nurkowaniu i praca jest wydajniejsza. Badania, które w normalnych warunkach trwałyby ok. 60 dni, tu zajmują 10. Po zakończeniu misji przez 17 godzin ciśnienie wewnątrz habitatu maleje do 1 atm i na koniec akwanci wypływają w kombinezonach na powierzchnię. Konstrukcja znosi takie zmiany ciśnienia dobrze. Habitat został wybudowany w 1986 r. i służy do dziś (NEEMO 2006).

Szklana kopuła podwodna to konstrukcja wykonana z dużych elementów z grubego szkła połączonych w jeden szczelny moduł zakotwiczony pod wodą. Grube szkło jest jednak bardzo wytrzymałe i można z niego łatwo wykonywać powierzchnie obłe. Szklane kopuły wykorzystuje się jako punkty przystankowe dla nurków, gdzie można chwilę odpocząć bez maski tlenowej. Rysunek 5.25 pokazuje taką właśnie kapsułę. Organizuje się też tam śluby podwodne na życzenie klientów zafascynowanych morzem. Szklane tunele i przegrody o dużych gabarytach znane są z wielu oceanariów na świecie. Duże powierzchnie szklane wykonuje się także w nowoczesnych hotelach podwodnych (Rys. 5.26).

Hydropolis to rozbudowany, olbrzymi kompleks składający się z dwóch części: naziemnej wejściowej i podwodnej z głównymi atrakcjami. Łączyć je będzie tunel z dwutorowym traktem: osobowym i towarowym (Rys. 5.27). Hydropolis jest obecnie w trakcie budowy, której zakończenie planuje się na koniec 2007 roku. W kompleksie mieścić się będzie hotel z salą balową, uzdrowisko, różne restauracje, sklepy, galerie, muzeum, instytut badawczy. Część podwodna Hydropolis posiadać będzie kamienną konstrukcję szkieletową, na której rozpięta ma być przezroczysta cienka membrana. Ciśnienie wewnętrzne kształtować będzie formę habitatu oraz utrzymywać sztywność konstrukcji. Architektem Hydropolis jest Joachim Hauser. Wizualizacje z projektu pokazano na Rys. 5.27 (Hydropolis 2007).

Wnioski dla architekta

Istnieje wiele podobieństw między warunkami w głębinach ziemskich mórz i na Marsie. W obu przypadkach konstrukcja habitatu wystawiana jest na ciężką próbę i wymaga specjalnego projektowania. Wody, choć stanowią ponad 70% naszego globu, są niezamieszkałe. Dlatego każdy, kto zakładał tam całkowicie podwodny dom, był skazany na życie w izolacji od reszty świata. Dotychczas powstała mała ilość takich domostw. Wszystkie były



Rysunek 5.27: Hydropolis: sytuacja, perspektywa nad wodą, perspektywa pod wodą (Hydropolis Proposed Concept)

niewielkich rozmiarów. Większość z nich zamieszkiwana była krótkotrwale. Mimo to analiza sposobu ich projektowania i późniejszej eksploatacji pozwala na wyciągnięcie różnych cennych nauk, które pomóc mogą architektowi bazy marsjańskiej. Nowoczesny sposób kreowania przestrzeni bytowej pod wodą, wykorzystujący nowe rozwiązania technologiczne i inspirujący artystycznie również może wpłynąć na wizję architektury na Marsie.

1. Wszystkie habitaty podwodne z ubiegłego stulecia miały niewielkie rozmiary. Przez to większość z nich była ciasna i niewygodna. Często utrudnione było poruszanie się po nich, szczególnie kiedy na jednej przestrzeni żyli ludzie i przetrzymywano nieosłonięty sprzęt roboczy oraz LSS. Powstawała w ten sposób bardzo niekomfortowa przestrzeń do życia. W projektowaniu bazy marsjańskiej należy unikać takich niedogodności.
2. Część habitatów podwodnych była podłużna, parterowa, część – piętrowa, bardziej smukła. Nie odnotowano różnicy w odbiorze tych wnętrz. Tak więc ilość kondygnacji nie powinna mieć wpływu na jakość przestrzeni w bazie marsjańskiej.
3. Habitaty miały różne podziały przestrzeni wewnętrznej. Autorce najlepszy wydaje się układ funkcjonalny w Prekontinencie II. Tam habitat składał się z kilku części podporządkowanych układowi centralnemu. Układ taki sprzyja scalaniu grupy mieszkańców. Środkowy moduł był największy i mieścił główną przestrzeń wspólnotową oraz centrum kontroli. Najważniejsze wydarzenia mieszkańców działy się tutaj. Habitat był za mały, by każdy akwanauta dysponował prywatną kabiną. Ale przynajmniej były dwie sypialnie. W razie wystąpienia konfliktu między dwoma członkami załogi, nie musieli oni spać w tym samym pokoju. Forma bardziej rozbudowana umożliwiała też zapewnienie okna w każdym pomieszczeniu w różnych miejscach. Taki schemat

wydaje się godny polecenia do rozważań nad powiązaniem stref funkcjonalnych w habitacie marsjańskim.

4. Przy dużych różnicach ciśnienia między wnętrzem habitatu a otoczeniem stosować trzeba odpowiednio ukształtowane obłe konstrukcje i bardzo wytrzymałe materiały. Z tego powodu podwodne habitaty miały formy obłe i wykonywano je z grubych blach metalowych lub specjalnych membran. Zarówno konstrukcje metalowe, jak i pneumatyczne sprawdziły się w warunkach ekstremalnych podobnych w wielu aspektach do marsjańskich, tak więc można je próbować adaptować na Czerwonej Planecie (Kozicka 2004a). Są one wytrzymałe i godne zaufania. W przeszłości powstało znacznie więcej podwodnych konstrukcji metalowych niż pneumatycznych. Wynika to z tego, że nauczono się wtedy kształtować duże powierzchnie stalowe w formę spójnych szczelnych pierścieni. Konstrukcje pneumatyczne były wtedy nowością i optymalizację membran przyniósł dopiero późniejszy rozwój technologiczny. Dawniej nie wykonywano też przezroczystych błon, z których można by robić okna w habitatach podwodnych. Stal przede wszystkim lepiej chroni przed drapieżnikami morskimi. Na Marsie nie istnieje takie zagrożenie, więc membrany stają się równie atrakcyjne jak kadłuby metalowe. Walcowe habitaty podwodne wykonywane były z dużych blach giętych specjalną metodą. Takie pierścienie metalowe są wyjątkowo szczelne. W ten sposób uzyskiwano jednak bryły o ograniczonej wielkości, zwykle do kilku metrów średnicy. Do wykonania większej struktury dla bazy marsjańskiej nie można wykorzystać tej samej technologii. Projektując jednak większą bazę na Marsie zastosować trzeba by inną technologię kształtowania ścian. Wtedy konstrukcje metalowe nie miałyby takiej przewagi nad pneumatycznymi. Pierwsze habitaty podwodne miały zewnętrzną skorupę nitowaną. Praca związana z takim wykonawstwem była żmudna. Spawanie zapewnia lepszą szczelność i usprawnienie pracy. Na Marsie do tego zadania trzeba by zatrudnić fachowca lub wyspecjalizowanego robota, gdyż dla osób niewykwalifikowanych byłoby to zadanie niebezpieczne.
5. Przezroczyste przegrody w habitatach podwodnych są szczególnie istotne. Zapewniają możliwość kontaktu z zachwycającym i dziwnym światem na zewnątrz i polepszają samopoczucie. Szklany podwodny moduł chętnie odwiedzają turyści. Niektóre pary chcą brać ślub w takiej kapsule w otoczeniu podwodnego świata (Rys. 5.25). O oknach nie zapomniano także w najnowszym habitacie podwodnym – Aquariusie. Za najważniejsze miejsca dla okien uznano: przy stole w mesie i w sypialni (Rys. 5.24). Na przegrody przezroczyste zwykle wykorzystywano grube szkło. Stosowano je jako małe bulaje lub większe kapsuły. Dziś można w tym celu stosować w warunkach ekstremalnych także lekkie, cienkie, elastyczne i transparentne membrany (Hydropolis 2007). Użycie ich na Marsie zamiast ciężkiego szkła byłoby ekonomicznym rozwiązaniem.
6. Na podwodnych konstrukcjach metalowych zawsze po jakimś czasie osadzają się glony i rozrastają koralowce. Lepiej w tej sytuacji radzi sobie gładkie szkło. W razie czego łatwiej jest je też oczyścić. W przypadku bazy marsjańskiej lepiej jest stosować na okrywę zewnętrzną materiały odporne na osadzanie się brudu i pyłu. Głównie ze względu na to, że czyszczenie jest w warunkach ekstremalnych utrudnione oraz dlatego, że wolniej niszczyć będzie czysta budowla. Ma to też wpływ na komfort psychiczny mieszkańców.

7. Im głębiej pod wodą, tym zimniej. Na Ziemi jednak woda na różnych szerokościach geograficznych ma różną temperaturę. Dlatego nie zawsze stosowano w budowie habitatów podwodnych termoizolacje. Izolacji takich pozbawione również są szklane konstrukcje. Na Marsie, być może, nie wszędzie konieczne będzie stosowanie termoizolacji. Tam, gdzie jednak okaże się to niezbędne, dla transparentnych przegród, zamiast zwykłego szkła, stosować należy inne materiały przezroczyste i jednocześnie termoizolacyjne.
8. Łodzie ratunkowe Linka mają dwie struktury nośne, które przydają się w dwu różnych przypadkach: nadmuchiwana powłoka zewnętrzna usztywniająca budowlę pod wodą oraz pneumatyczny szkielet – utrzymujący kształt habitatu na powierzchni wody (Rys. 5.18). Zapewnia to domkowi większą fleksybilność zastosowania. Na Marsie taka technologia budowy modułów mieszkalnych byłaby bardzo cenna. Po pierwsze struktura nie traciłaby całkowicie kształtu po przedziurawieniu, a po drugie – mogłaby być zarówno wykorzystywana jako wolnostojący element bazy, jak i dom umieszczony wewnątrz większej izolowanej przestrzeni.
9. Habitaty podwodne przystosowane są do umożliwiania wychodzenia ludzi na zewnątrz. Posiadają dlatego specjalny luk. Zwykle znajduje się on w tzw. pomieszczeniu mokrym. Tam jest też przebieralnia. Podobny wygodny i funkcjonalny pokój przygotowań do wyjścia z habitatu powinien być w bazie marsjańskiej. Ciśnienie atmosferyczne w habitacie podwodnym tak się dobiera, by luk mógł być stale otwarty i aby ludzie mieli jak najmniej problemów z przystosowaniem się do nowych warunków po wejściu do wody lub wyjściu z niej wewnątrz habitatu. W podobny sposób powinno się dobierać ciśnienie dla bazy marsjańskiej. Jego wartość będzie miała wpływ na zakres gamy materiałów budowlanych do wykonania zewnętrznej skorupy habitatu.
10. Niektóre zapasy trzymane na zewnątrz domków podwodnych, gdzie niska temperatura wody dobrze konserwowała niektóre produkty. Było to tańsze rozwiązanie niż trzymanie wielu lodówek wewnątrz modułu mieszkalno-roboczego. Na Marsie, gdzie jest zimno, również taki sposób konserwacji mógłby być wykorzystywany.
11. Jak pokazuje przykład Hydropolis, będącego w tej chwili w trakcie budowy, nowoczesne technologie umożliwiają projektowanie i wykonywanie ciekawych, otwartych na potrzeby człowieka habitatów w warunkach ekstremalnych. Środowisko podwodne jest jeszcze bardziej obce dla człowieka niż powierzchnia Marsa. Skoro udało się zaprojektować tak wyrafinowany i jednocześnie bezpieczny habitat podwodny, to znalezienie godnych zaufania rozwiązań dla bazy marsjańskiej wydaje się bardzo prawdopodobne. Kwestią pozostaje możliwość sprowadzenia odpowiednich technologii na Czerwoną Planetę.

5.1.3. Habitaty podziemne

Ludzie zwykle budują swe domy na powierzchni ziemi, gdzie zapewniony jest dostęp światła dziennego. Wybierają na swoje domostwa podziemia tylko w wyjątkowych sytuacjach. Podziemne habitaty zapewniają wyjątkowo skuteczną ochronę przed: kapryśnymi warunkami pogodowymi, dzikimi zwierzętami i wrogami. Dlatego stanowiły one schronienie pierwotnych ludzi, ludów gniebionych najazdami nieprzyjaciół, a także ukrywających się zbiegów.

Podziemie daje cień i zapewnia stabilność temperaturową. Już na niewielkich głębokościach temperatura osiąga stałą, niemal nie ulegającą wahaniom wartość, która utrzymuje się przez cały rok (Krarti 1998, Unver i Agan 2003, Al-Mumin 2001). Na podziemia warunki klimatyczne nie mają prawie w ogóle wpływu. Dzięki temu latem panuje tam miły chłód, a zimą jest dużo cieplej niż na dworze. Na pustynnych terenach Sahary i Azji Mniejszej dni są bardzo gorące, a noce zimne. Miejscowa ludność odkryła, że lokując swe domostwa pod ziemią, może w prosty i tani sposób zapewnić sobie bardzo dobre warunki temperaturowe w mieszkaniu. Także nowoczesne, ekologiczne, energooszczędne domy buduje się pod ziemią, by obniżyć koszty ich ogrzewania. Podziemne domostwa dobrze chronią przed wiatrem, deszczem, gradem, śniegiem, piorunami, bardzo trudno jest je zniszczyć. Jednak ogólnie rzecz biorąc istnieje względem nich negatywne nastawienie. Ludzie źle się czują w przestrzeni pozbawionej okien i światła słonecznego. Ogarnia ich strach przed zamknięciem i brakiem drogi ucieczki. Może to być przyczyną problemów psychologicznych (Temeemi i Harris 2004). Podsumowując, w habitatach podziemnych są bardzo dogodne warunki mieszkaniowe. Można śmiało powiedzieć, że skały i ziemia chronią przed warunkami ekstremalnymi, a nie je stwarzają. Jedynym mankamentem takich habitatów jest ograniczony kontakt z powierzchnią – słońcem i krajobrazem. Ma to duże znaczenie dla odczuwania komfortu. Jednak porównując habitaty podziemne z opisanymi wyżej habitatami polarnymi i podwodnymi, nie wypadają one pod tym względem dużo gorzej. Idea mieszkania w głębi ziemi pojawiła się już bardzo dawno temu – u ludów pierwotnych. Najpierw wykorzystywali oni istniejące groty. Potem nauczyli się je przeobrażać i powiększać (Rewerski 1995). Wreszcie na niektórych terenach rozpoznano łatwo urabialne skały. Ludzie przy pomocy prymitywnych narzędzi i technik mogli drążyć w nich samodzielnie, bez pomocy fachowców, tanie i ekonomiczne w użytkowaniu domostwa. Teraźniejszość bogata w różne nowoczesne technologie budowlane pozwala na projektowanie wyrafinowanej architektury podziemnej, bliższej współczesnym wyobrażeniom zwykłego domu.

Jaskinie to tunele naturalnie ukształtowane przez siły przyrody. Na Ziemi najbardziej popularne są jaskinie krasowe ukształtowane w skałach podatnych na działanie wód podziemnych. Sieć jaskiń Lascaux jest przykładem pierwszych habitatów podziemnych w dziejach ludzkości (ponad 10 tysięcy lat p.n.e.) (Rewerski 1995). Tunele te zostały zamieszkałe w stanie nienaruszonym, bez wprowadzania istotnych zmian (konstrukcyjnych), prócz zdobień w postaci malowideł naskalnych. Trwałość naturalnych form skalnych jest bardzo duża. Niektóre groty pochodzą sprzed wielu tysięcy lat. Wytrzymują one znacznie dłużej w dobrej formie niż zwykłe budowle stawiane przez ludzi na powierzchni.

Istnieją dowody na zamieszkiwanie jaskiń lawowych w czasach historycznych. Frederick (1999) pisze, że tego typu tunel o nazwie Surshelliv, na Islandii, zajmowali uciekinierzy. Nie ma tam żadnych śladów jakichkolwiek działań budowlanych. Po prostu naturalna jaskinia została zamieszkała tymczasowo. Surshelliv ma wysokość maksymalną 11 m, a szerokość w przybliżeniu stałą od 15 do 16,5 m. Tunel jest obszerny. Na jego końcu znajdują się pokłady zamrożonej wody. Z tego bezpiecznego rezerwuaru ludzie czerpali czystą wodę do picia i mycia.

Grupa z Oregon LS Society zorganizowała symulację bazy księżycowej w jednym z tuneli lawowych w Oregonie, w USA. Przedsięwzięcie było dość amatorskie, ale zakończyło się sukcesem. Założenie habitatu pod ziemią udało się. Uczestnicy symulacji wykonali wewnątrz jaskini domki o lekkiej konstrukcji pneumatycznej szkieletowej (Frederick 1999). Sposób zagospodarowania przestrzeni był dość skromny, a dobór konstrukcji podyktowały



Rysunek 5.28: Wnętrza domu C. Cabrery (Ratajczyk 2004)



Rysunek 5.29: Pałac Klifowy (National Park Mesa Verde 2007)

wymagania dla misji pozaziemskej.

Rezydencja C. Cabrery: Ciekawym przykładem nowoczesnego habitatu podziemnego jest dom artysty i architekta Cesara Manrique Cabrery w Taro de Tahiche na hiszpańskiej wyspie Lanzarote. Zagospodarowane zostało pięć wulkanicznych jam, będących pozostałością wielkich bąbli powietrza uwieczonych w zastygającej lawie. Mają one niewielką ilość naturalnych świetlików typu hornitos. Każdą jamę podzielono na dwie kondygnacje użytkowe. Wszystkie pomieszczenia zaprojektowano wygodnie i nowocześnie. Komory połączono ze sobą wąskimi korytarzami. Większość powierzchni naturalnej skały została pozostawiona nienaruszona. Nadaje to wnętrzą swoisty klimat. Tylko dolna część ścian jest otynkowana i pomalowana na biało, by nie dochodziło do zabrudzeń ubrania oraz by rozjaśnić podziemne ciemne przestrzenie. Wystrój wnętrz pokazano na Rys. 5.28 (Ratajczyk 2004).

Puebla w Mesa Verde tworzą wnęki skalne z zabudową. Są to domostwa Anasazi, plemienia Indian zamieszkującego niegdyś mesa Verde w USA (Wikipedia 2007). Jamy w pionowych skarpach z piaskowca były ukształtowane naturalnie. Tylko podłogi częściowo przekształcono i wygładzono. Wnęki skalne były na tyle głębokie i obszerne, że ludziom udało się zbudować w nich dość rozległe osiedla, liczące wiele domów mieszkalnych, magazynów i obiektów sakralnych. Budynki były murowane z miejscowego piaskowca, łatwego w obróbce i jednocześnie wytrzymałego. Budowle zachowały się w bardzo dobrej formie, mimo że mają już ponad 800 lat. Największym z osiedli jest Pałac Klifowy (Rys. 5.29). Doliczono się w nim 150 pomieszczeń użytkowych i 75 placów. Szacuje się, że mieszkało tam ponad 100 ludzi. Osiedle zlokalizowano w głębokiej wnęcie trudnodostępnego zbocza, które dawało dobrą ochronę przed wrogami i dzikimi zwierzętami. Mieszkańcy dostawali



Rysunek 5.30: Wielka skała z podziemnymi habitacjami w Kapadocji (sakwiarz.pl)



Rysunek 5.31: Kościół wydrążony w skale, Kapadocja (Wikipedia 2007)

się tam po drabinach lub gałęziach wysokich drzew rosnących w pobliżu. Jama dawała zacienienie w najgorętszych porach dnia i schronienie przed wiatrem i deszczem. Mimo braku ściany osłonowej panowały tu niemal niezmiennie warunki temperaturowe przez cały rok (National Park Mesa Verde 2007).

Podziemne domostwa w Kapadocji (Turcja) budowano już ponad 6000 lat temu. Drążono je w skale tufowej. Jako że tuf jest łatwo urabialny, wystarczało użycie prymitywnych narzędzi i technik. Tuf jest również bardzo wytrzymały, dlatego domostwa do dziś w wielu miejscach stoją w nienaruszonej formie. Zwykłe domostwa mają nieregularne, opływowe kształty. Każdy taki habitat jest wyjątkowy i niepowtarzalny mimo swej prostoty (Rys. 5.30). Domostwa w Kapadocji składają się zwykle z kilku komór rozlokowanych parterowo lub na piętrach. Ich malownicza estetyka zachwyca do dziś. W Kapadocji występują również przykłady bardziej wyrafinowanej architektury podziemnej. Wysublimowane, skomplikowane i trudniejsze w wykonaniu budowle zwykle mają przeznaczenie sakralne. W Kapadocji wyrzeźbiono w skale wiele najróżniejszych świątyń o stylistyce odpowiadającej czasom ich tworzenia, czyli głównie charakterystycznej dla okresu Bizancjum (Rys. 5.31).

Największe podziemne habitaty w Kapadocji znajdują się w Kaymakli i Derinkuyu. Nazywane są podziemnymi miastami, ponieważ ich skomplikowany, wielofunkcyjny układ przypomina tkankę miejską. Są tu mieszkania, kuchnie, magazyny, warsztaty, zakłady pracy (np. młyn, winiarnia) oraz kaplice. Pomieszczenia rozlokowano na wielu piętrach (do dziś odkryto 8 kondygnacji sięgających na 85 m w głąb skały, ale spodziewa się, że jest ich więcej) (Wikipedia 2007). Poziomy łączyły ze sobą schody, również wyrzeźbione w skale. Mieszkało głównie na górnych kondygnacjach, skąd było najbliżej na powierzchnię. Cała masa magazynów pozwalała na przechowywanie znacznych ilości zapasów wody i pożywienia. Było tam bardzo ciemno; do oświetlenia używano pochodni. Z tego powodu naukowcy domyślają się, że podziemne miasta były raczej tymczasowymi schronieniami dla dużej społeczności na czas największego zagrożenia. Wejście do habitatu mogło być zamykane tylko od wewnątrz dużymi kamiennymi drzwiami. Każdy poziom również można było niezależnie zamykać. Rozbudowany system wentylacji zapewniał dopływ świeżego powietrza. Wodę pobierano ze zbiorników magazynowych oraz czerpano z podziemnych studni. Były tam



Rysunek 5.32: Wnętrza podziemnych miast w Kapadocji: Kaymakli i Derinkuyu (sakwiarz.pl)



Rysunek 5.33: Świątynia wydrążona w wapieniu, Petra, Jordania (Wikipedia 2007)



Rysunek 5.34: Widok na Guadix, Hiszpania (Wikipedia 2007)

nawet komory na odpadki, które opróżniano w dogodnym czasie. Miasto było praktycznie samowystarczalne przez długi okres czasu bez potrzeby wychodzenia na powierzchnię. Ludzie kontaktować się mogli z innymi miastami przechodząc ciągnącymi się kilometrami podziemnymi tunelami łącznikowymi (Wikipedia 2007). Architektonicznie miasta były bardzo ciekawie rozwiązane. Detale w postaci słupów, schodów, antresol itp. uświetniały i urozmaicały przestrzeń bytową (Rys. 5.32). Jedynym problemem był brak światła słonecznego i kontaktu wizualnego z otoczeniem.

Przykłady tego typu budowli podziemnych znaleźć można również w innych częściach świata. Na przykład w Petrze, w Jordanii znajduje się najpiękniejsza podziemna świątynia wykuta w wapiennej skale (Rys. 5.33). Wiele domostw w hiszpańskim mieście Guadix ma również samodzielną strukturę drążoną w skale (Rys. 5.34). Rzeźbiono tu w wapieniu. Za samodzielne struktury wydrążone w skale uznać można na Ziemi także pozostałości po kopalniach takich, jak kopalnia soli w Wieliczce, w Polsce, dziś zagospodarowanej nowoczesnie na przestrzenie muzealne, uzdrowiskowe i rekreacyjne.

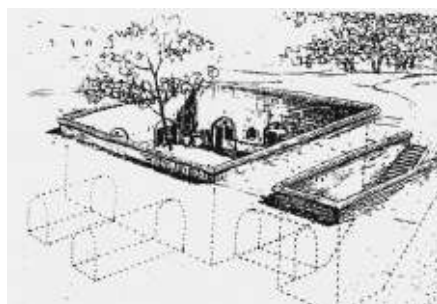
Europejskie domostwa podziemne: W Europie zachodniej na terenach obfitujących w wapienie spotkać można domostwa podziemne o podobnej konstrukcji. W skale drążono głębokie komory, które zasłanianio dobudowywaną ścianą fasadową. Miała ona otwory



Rysunek 5.35: Podziemne habitaty w Materze, Włochy (Wikipedia 2007)



Rysunek 5.36: Domostwo podziemne we Francji (peacham.com)



Rysunek 5.37: Schemat struktury dziedzińcowego habitatu podziemnego w Chinach (Al-Mumin 2001)



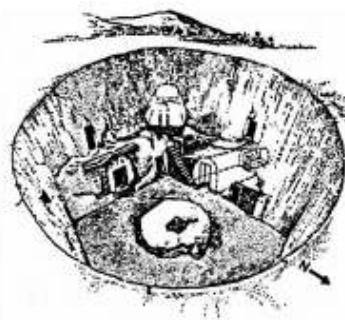
Rysunek 5.38: Wygląd chińskiego podziemnego habitatu (arch.mcgill.ca)

o regularnych kształtach umożliwiającym wstawianie standardowych okien i drzwi. Autorka nadała temu typowi konstrukcji nazwę „samodzielne struktury drążone w skale ze ścianą kurtynową”. Do fasady dobudowywano również nieraz przybudówki lub przedłużano habitat podziemny o dodatkowe budynki wolnostojące. Przestrzeń użytkową wykonano metodą ekonomiczną i są tanie w eksploatacji (ze względu na niskie koszty ogrzewania i konserwacji). Ściana kurtynowa tworzy estetyczną twarz domu na miarę swoich czasów i możliwości inwestora. Domostwa te znane są z miejscowości Matera we Włoszech (Rys. 5.35) oraz regionu Saumur we Francji, w okolicach rzeki Loary (Rys. 5.36) (Rewerski 1995).

Domostwa podziemne w Chinach składają się z dziedzińca i systemu podziemnych komór dookoła niego. Autorka określiła je jako dziedzińcowe struktury drążone w skale. Pierwsze takie konstrukcje powstały już w neolicie. Pozostałości dziedzińcowych struktur drążonych w piaskowcu odnaleziono w Banpo. Tradycja związana z tego typu habitatami podziemnymi utrzymywana była przez bardzo długi czas na tych terenach. Obecnie szacuje się, że w Chinach jest ponad 40 mln dziedzińcowych podziemnych domostw (Rewerski 1995). Zwykle posiadają one prostokątny dziedziniec o długości boków 9-13 m, rzadziej spotyka się okrągłe podwórza. Dziedziniec najczęściej ma głębokość 9 m. Wystarczy to, by woda gruntowa, nawet po dość ulewnych deszczach, nie zagrażała zawilgoceciem konstrukcji domu (Al-Mumin 2001). Typowy podziemny habitat chiński pokazano na Rys. 5.37 i 5.38. Jak widać, domostwo ma regularne kształty: prostokątny dziedziniec, po-



Rysunek 5.39: Widok z lotu ptaka na Matmatę, Tunezja, z licznymi dziedzińcowymi habitatami podziemnymi (Temeemi i Harris 2004)



Rysunek 5.40: Schemat domostwa z okrągłym dziedzińcem w Matmacie, Tunezja (Al-Mumin 2001)



Rysunek 5.41: Dziedzincowy habitat drążony w skale na zboczu, częściowo otoczony murem kamiennym z furtką (omniplan.hu)



Rysunek 5.42: Wielofunkcyjny dziedziniec: uprawy na tarasach, studnia do czerpania wody na środku (Matmata, Tunezja)

dłużne przesklepione komory mieszkalne. Pomieszczenia użytkowe mają zwykle 3m x 7m, a wysokość ok. 3 m. Osobne zagłębienie wykonywane jest na otwartą klatkę schodową. Jest ono ustawione równolegle do dziedzińca i połączone z nim tunelem u podnóża schodów.

Podziemne domostwa w Matmacie (Tunezja) to również dziedzińcowe struktury drążone w piaskowcu. Grupy sąsiadujących domostw tworzą całe wioski (Rys. 5.39). Dziedzince to zwykle wykopane w gruncie obszernie szyby o głębokości do 10 m i rzucie zbliżonym do koła o średnicy 5-12 m (Rys. 5.40). Stanowią one wtedy wewnętrzne atria. Mogą też być podwórzami na półce skalnej lub u podnóża wzgórza. Wtedy tylko na fragmencie obwodu jest on otoczony skarpą, reszta obudowana jest kamiennym płotem (Rys. 5.41) (Krarti 1998). Podwórza nie są pustymi przestrzeniami, lecz pełnią wiele przydatnych funkcji. Lokalizuje się tam np. przydomową studnię, prowadzi uprawy na tarasowych poletkach (Rys. 5.42) lub trzyma trzodę hodowlaną. Pomieszczenia użytkowe rozlokowane są dość swobodnie wewnątrz zboczy, a ich gabaryty dopasowane są do roli, jaką pełnią w gospodarstwie domowym. Dzięki temu habitaty te są architektonicznie zindywidualizowane i malownicze. Bardzo często domostwa są dwukondygnacyjne. Do pomieszczeń na piętrze wchodzi się po zewnętrznych schodach wyrzeźbionych w skale lub wspina się po wydrążonych w płaskiej ścianie wgłębieniach na stopy (Rys. 5.43). Komory użytkowe przeznaczone są na: sypialnie, pokoje rodzinne i magazyny. Gabaryty pokoi mają zwykle szerokość: 4-5 m, długość: 8-10 m i wysokość 3 m. Niektóre z podziemnych domostw przekształcono na hotele. Zmiana funkcji nie wymagała specjalnych zmian konstrukcyjnych. Pokoje mają



Rysunek 5.43: Wejście na piętro umożliwiające otwory wycięte w ścianie (A) lub schody wydłużone w skale (B) (Matmata, Tunezja)



Rysunek 5.44: Dom J. Barnarda (Temeemi i Harris 2004)



Rysunek 5.45: Dom pod gruntem na zboczu (Pawłowski 2004)

opływowe miękkie kształty, niepodobne do kanciastych form znanych nam z pomieszczeń w typowych budynkach europejskich. W ścianach rzeźbi się półki i meblścianki, a w podłogach – podesty na kanapy i siedziska. Za drzwi służą zwykłe tkaninowe kotary. Matmata znajduje się na terenie Sahary, gdzie jest sucho i gorąco, dlatego otwory w ścianach są nieosłonięte. Jedynym wejściem do domów z atryum jest długa drabina ustawiana przy ścianie zbocza. Wystarczy ją schować, by „zamknąć” dom przed obcymi. Habitaty na wzgórzu mają mur z furtką (Rys. 5.41).

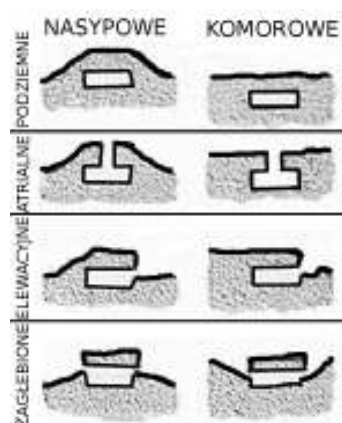
Na Saharze jest bardzo gorąco, ale podziemne habitaty zapewniają komfortową temperaturę we wnętrzach przez cały rok, bez potrzeby używania drogiej klimatyzacji i pożytkowania na nią energii. Aby dodatkowo przeciwdziałać nagrzewaniu się skał, maluje się czasem ściany zewnętrzne na biało, by odbijały jak najwięcej promieni słonecznych (Rys. 5.43).

Dom J. Barnarda: Jednym z najwcześniejszych przykładów nowoczesnych budowli podziemnych jest dom architekta Johna Barnarda w Osterville, w USA. Wybudowano go w 1973 r. (Pawłowski 2004). Jest to przestronny letniskowy dom atrialny. Wybudowany został on w wykopanym zagłębieniu terenu, po czym strop przesypano warstwą gruntu o grubości 25 cm. Autorka sklasyfikowała ten typ konstrukcji jako „budowlę pod gruntem”. Umieszczenie habitatu pod ziemią i niewielkie rozmiary atryum zapewniają dobrą stabilność temperaturową i dają zabezpieczenie przed wiatrem i hałasami (Temeemi i Harris 2004). Aby wejść do domu, trzeba najpierw zejść z poziomego terenu po schodach do położonego niżej atryum (Rys. 5.44). Wokół prostokątnego dziedzińca rozmieszczone są pokoje mieszkalne. Duże szklane powierzchnie wpuszczają światło dzienne do wnętrza.

Pawłowski (2004) prezentuje jeszcze podziemny dom wbudowany w zbocze (Rys. 5.45) i własny projekt nowoczesnego, malowniczo wpisanego w zielone otoczenie budynku pod



Rysunek 5.46: Projekt podziemnego domu pod gruntem Pawłowskiego (2004)



Rysunek 5.47: Rodzaje budowli pod gruntem wg Pawłowskiego (2004)

gruntem (Rys. 5.46). Załącza również klasyfikację współcześnie budowanych konstrukcji tego typu w zależności od sposobu i stopnia ukrycia ich pod ziemią. Wyróżnia on nasypowe i komorowe struktury, które mogą mieć formę: całkowicie podziemną, atrialną, elewacyjną lub zagłębioną (Rys. 5.47).

Dom B. Lishmana: Bardzo ciekawym przykładem budowli pod gruntem jest habitat architekta Billa Lishmana na Purpurowym Wzgórzu, w USA. Składa się on z kilku dużych budynków w kształcie cebul. Ich konstrukcja nośna jest żelbetowa. Najpierw z drutów wykonano kilka dużych struktur siatkowych. Potem zbrojenie zalano betonem. Po wyschnięciu całość zasypano gruntem. Odkryte pozostały tylko świetliki w szczytach kopuł. Wnętrza pomalowano na biało, dzięki czemu światło lepiej rozprasza się w pokojach, kreując jasne, pogodne przestrzenie. Opływowe formy architektonicznych elementów kształtujących wnętrza nadają domowi swoisty urok (Rys. 5.48) (Lishman 2007).

Wnioski dla architekta

Jak dowodzi powyższa przekrojowa prezentacja autorki, istnieje bardzo wiele różnych sposobów zagospodarowywania przestrzeni podziemnej na habitaty. Różne rozwiązania technologiczne zostały odkryte i rozwinięte przez różne kultury na całym świecie. Dziś doceniane są przede wszystkim za swoją stabilność temperaturową i energooszczędność. Nowoczesne budowle pod gruntem również mają te walory. Jednak tylko podziemne habitaty w skale są tak wytrzymałe, że są w stanie przetrwać całe wieki w nienaruszonej niemal formie. Na Marsie istnieje możliwość zasiedlenia naturalnych zagłębień w skorupie lub budowy konstrukcji mieszkalnych pod powierzchnią planety. Warunki w takich habitatach będą podobne do tych na Ziemi ze względu na niemal identyczność środowisk. Będą więc charakteryzowały je te same zalety. Podziemne habitaty na Ziemi uzależnione są od warunków geologicznych: albo zajmuje się wytworzone przez naturę formacje, albo drąży się tunele w skałach łatwo utwardzalnych i wytrzymałych, takich jak tufy, piaskowce lub wapienie, albo wznosi się budynki wewnątrz głębokich wykopów i zasypuje gruntem. Tak więc podziemną bazę marsjańską danego typu zlokalizować można tylko w wybranych miejscach: albo tam, gdzie są jaskinie, albo tam, gdzie występują łatwo urabialne skały, albo tam, gdzie jest gruba pokrywa sypkiego, lepkiego materiału podobnego do gruntu ziemskiego.

1. Autorka wyróżniła kilka typów konstrukcji podziemnych, które mogą być wykorzy-



Rysunek 5.48: Dom W. Lishmana: widok z lotu ptaka (widać same białe świetliki w trawie), siatkowe zbrojenie cebulastych kopuł, wnętrza habitatu (Lishman 2007)

- stane w projektowaniu bazy marsjańskiej: jaskinie, wnęki skalne z zabudową, budowle pod gruntem oraz struktury drążone w skale: samodzielne, ze ścianą kurtynową i dziedzińcowe.
2. Podziemne habitaty zapewniają trwałą stabilność temperaturową, co zapewnia znaczne oszczędności w zużywaniu energii na ogrzewanie. Budując na Marsie bazę podziemną liczyć można na znaczną energooszczędność, co wpłynęłoby na obniżenie kosztów eksploatacji, a co za tym idzie – kosztów całej misji.
 3. Na Marsie jest dwa razy słabsze nasłonecznienie, tak więc sztuczne sposoby doświetlania wnętrz będą konieczne, niezależnie od tego, czy habitaty zlokalizowane będą pod ziemią czy na ziemi. W tej sytuacji znaczenie naturalnego oświetlania wnętrz schodzi na dalszy plan dla Marsa niż w przypadku Ziemi.
 4. Podziemne budowle marsjańskie w najlepszy możliwy sposób będą chroniły swych mieszkańców przed wszelkimi ekstremalnymi warunkami panującymi na dworze: wahaniami temperatury, wiatrami, pyłem, burzami i wirami pyłowymi, przymrozkiem, promieniowaniem kosmicznym i słonecznym.
 5. Bardzo wcześnie ludzie opanowali metody drążenia tuneli w łatwo urabialnych skałach. Wykorzystywali do tego prymitywne narzędzia i techniki. Dlatego również na Marsie powinno być to zadanie stosunkowo proste i niewymagające skomplikowanych technologii oraz ciężkiego sprzętu do sprowadzenia z Ziemi.
 6. Przed milionami lat na Marsie występowała ciekła woda. Być może, znajduje się ona wciąż w takim stanie skupienia na większych głębokościach wewnątrz skorupy marsjańskiej. Są zatem podstawy do przypuszczania, że gdzieś na Marsie mogą występować jaskinie krasowe, które marsonauci mogliby zasiedlić podobnie jak pierwsi ludzie na Ziemi.
 7. Analizując warunki geologiczne i ukształtowanie terenu na Marsie wnioskować należy,

że najbardziej prawdopodobne do znalezienia tam zagłębienia to jaskinie lawowe. Szukać ich należy na stokach licznych wulkanów tarczowych. Tunele lawowe były zamieszkiwane na Ziemi. Zakończona sukcesem symulacja zakładania bazy pozaziemskiej w takim kanale skłaniają do uwzględnienia możliwości, że przyszli marsonauci mogą z powodzeniem zamieszkać w tego typu habitatach podziemnych. Odnalezienie takiej jaskini, która jednocześnie nadawałaby się na habitat i zapewniała zasobny rezerwuuar wody na Marsie byłoby dodatkowym sukcesem.

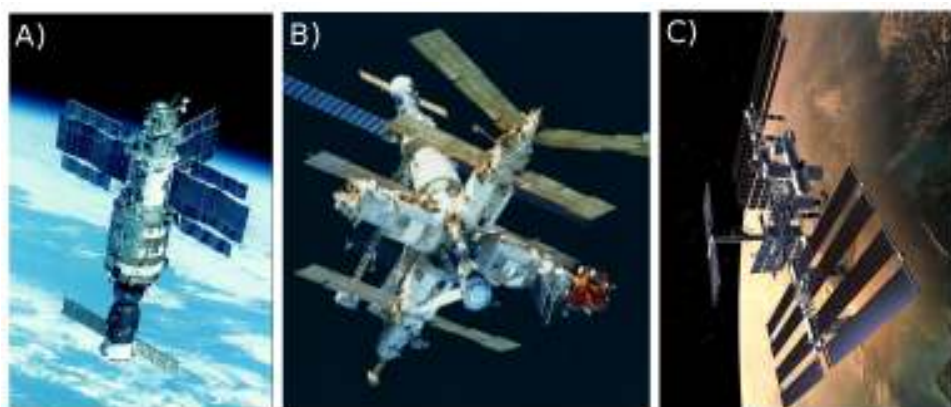
8. Naturalne tunele podziemne są bardzo trwałe. Również antropomorficzne konstrukcje drążone w skale mają dużą wytrzymałość w przeciągu długiego okresu czasu. Baza marsjańska założona w miejscowym górotworze, w naturalnym lub sztucznym otwarciu, ma szansę przetrwać w nienaruszonym stanie wiele lat.
9. Dostęp światła słonecznego i otwarcie na otoczenie mają duży wpływ na odczuwanie komfortu psychicznego. Zajmuje on w bazie marsjańskiej priorytetową rolę. Habitaty podziemne pozwalają na kontakt z otoczeniem w bardzo ograniczonym stopniu. Dlatego rozpatrując różne rozwiązania technologiczne takich konstrukcji, należy szukać sposobności rozwiązania tego problemu. Największe otwarcia mają wnęki skalne z zabudową. Na Marsie trzeba by je uszczelnić, ale można do tego użyć przezroczystych przegród. Struktury drążone można tak lokalizować w skale, by całość rozmieszczona była blisko powierzchni zbocza, w którym można by wykonać wtedy dużo otworów okiennych. Również drążąc stosunkowo płytkie wnęki w skarpie, można by je zakryć ścianą kurtynową o wielu oknach. Budowle pod gruntem mogą mieć atria, duże świetliki, transparentne dachy lub ściany. Największym problemem jest doświetlenie już ukształtowanych jaskiń, w przypadku których światło dociera do wnętrza tylko poprzez wejście do tunelu i, ewentualnie, nieliczne świetliki typu hornitos. Dla polepszenia komfortu psychicznego należałoby wykonać dodatkowo sztuczne otwarcia.
10. Założenie bazy marsjańskiej w istniejącej jaskini jest najbardziej ekonomicznym wyjściem. Jest to bowiem gotowa konstrukcja, którą od razu można zająć. Niepotrzebne jest stawianie struktury nośnej czy produkcja materiałów budowlanych. Ponadto jaskinie oferują od razu bardzo dużą fleksybilną przestrzeń, którą można zagospodarować na różne sposoby.
11. Na Marsie występuje dużo formacji terenu o stromych zboczach. Być może są w nich takie zagłębienia, które nadawałyby się na założenie w nich osiedla mieszkalnego na podobieństwo Pałacu Klifowego w Mesa Verde. Należałoby je tylko uszczelnić, by utrzymać w środku sztuczną atmosferę.
12. Mieszkanie pod ziemią nie oznacza pozbawienia wygody czy luksusu. Bardzo ciekawe rozwiązania wnętrzarskie pokazali m. in. C. Cabrera i B. Lishman.
13. Otwarcia drążone w skale mają zwykle nieregularne kształty. Wykonanie otworów o określonych ściśle gabarytach wymaga większego nakładu pracy i precyzyjniejszych narzędzi. Jest to możliwe, jak dowodzą pięknie rzeźbione kościoły w Kapadocji czy w Petrze. Alternatywnym rozwiązaniem jest wykonanie otwarć w górotworze prostszymi technikami, a następnie szczelne zainstalowanie ściany kurtynowej z odpowiednio przygotowanymi regularnymi oknami i drzwiami, jak w domostwach we Francji czy Materze.
14. Duże ziemskie habitaty podziemne wymagają złożonego systemu wentylacji, jak np. w mieście Derinkuyu. Na Marsie i tak LSS będzie musiał wytwarzać i kontrolować sztuczną atmosferę, niezależnie od umiejscowienia habitatu. Baza nie będzie zatem wymagać rozbudowanych ciągów wentylacyjnych drążonych w skale, co wpływa na

uproszczenie prac budowlanych.

15. Między miastami podziemnymi w Kapadocji tworzą korytarze łączące. Pokazuje to, że nie opuszczając bezpiecznej przestrzeni można dotrzeć także w odległe miejsca. Takie tunele prowadzić mogłyby w bazie marsjańskiej do różnych zewnętrznych punktów obsługi osiedla ludzkiego, np. lądowiska, garaży, magazynów, zakładów pracy itp. W dalszej przyszłości zaś, jeśli powstałyby w pobliżu nowe osiedla, mogłyby zyskać wygodne połączenia.
16. Dziedzińcowe struktury drążone w skale są najliczniej reprezentowanym przykładem habitatów podziemnych. Są niezależne od ukształtowania terenu – wykonuje się je zarówno na płaskim terenie, jak i na zboczach. Wewnętrzne podwórze bywa różnorodnie zagospodarowywane, np. na miejsce spotkań rodzinnych, na uprawy, miejsca poboru wody czy hodowlę zwierząt. Rozwiązanie to wspaniale nadaje się do zaadoptowania na Marsie. Komory mieszkalne chronione byłyby przed promieniowaniem grubą warstwą skały ponad nimi i po bokach, zaś plac zewnętrzny stwarzałby fleksybilną przestrzeń wspólnotową pod przezroczystym przekryciem uszczelniającym całość. Dziedziniec przeznaczyć by można na: agrokulturę, zbiornik wodny, teren sportowy czy miejsce spotkań.
17. Struktury, które drąży się w skale, mogą mieć najróżniejsze formy, co daje architektowi dużą swobodę projektowania. W kamieniu można wyrzeźbić i elementy obłe, i kanciaste, słupy, stropy, antresole, schody, podesty, meble. Rozwiązania takie zaobserwować można na przykładzie wnętrz istniejących habitatów podziemnych.
18. Budowle pod gruntem zapewniają najbliższy kontakt z otoczeniem, ponieważ lokowane są niezbyt głęboko lub oferują duże płaszczyzny przezroczyste. Pamiętać jednak należy, że jeśli na Marsie grunt miałby pełnić funkcję ochrony przed promieniowaniem, konieczne byłyby dużo grubsze jego warstwy, by zapewnić wystarczające zabezpieczenie. Formy nasypowe wymagałyby wzmocnienia, gdyż grunt marsjański składa się głównie z lekkiego pyłu, który zdmuchiwałby wiatr. Wreszcie budowle pod gruntem wymagają osobnej konstrukcji nośnej. Grunt pełni w nich tylko rolę zabezpieczenia przed zmiennymi warunkami pogodowymi i wahaniami temperatury.
19. W budynkach podziemnych, aby rozjaśnić ubogie w światło wewnętrzne, bardzo często maluje się ściany i stropy na biało, a meble utrzymuje się również w pogodnej, jasnej tonacji barw. Jest to rozwiązanie godne naśladowania w bazie marsjańskiej.
20. Zewnętrzne schody, jak w chińskich dziedzińcowych konstrukcjach drążonych w skale, pozwalają na bezpieczne i wygodne schodzenie do podziemi, bez ingerencji w strukturę habitatu. W przypadku bazy na Marsie korzystnie jest wykonać samodzielny element z zejściem do habitatu. Powinien on być tak wykonany, by pył marsjański go nie zasypywał. Schody prowadzące bezpośrednio do atrium, jak w domu architekta J. Barnarda, byłyby trudniejsze do wykonania, skoro wymagany jest dla tego rozwiązania na Marsie dach uszczelniający.

5.2. Habitaty w kosmosie

Tylko na Ziemi panują dogodne warunki do życia dla człowieka. Kosmos to obce ludzkom środowisko, do którego nie są oni przystosowani. Mimo to człowiek opuścił powierzchnię swojej planety i przeżył poza nią dzięki specjalnym habitatom. W rozwiązaniu tym omówione są kosmiczne habitaty orbitalne, księżycowe i prototypy habitatów marsjańskich.



Rysunek 5.49: Stacje orbitalne z rosyjskimi habitatmi: A) Salut, B) Mir, C) ISS (NASA)

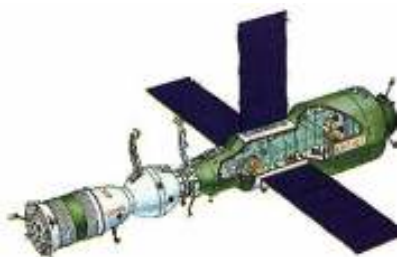
5.2.1. Habitaty orbitalne

Przestrzeń kosmiczna to niemal zupełna pustka – gęstość jej jest bardzo mała. Temperatura wynosi zaledwie ok. -270°C . Nie ma tu żadnej atmosfery, nie można zatem oddychać. Nie ma tu grawitacji, nie ma od czego się odpychać, by się przemieszczać. Nie ma tu nic. Za wyjątkiem promieniowania. Promienie słoneczne w okolicach Ziemi są na tyle silne, by nagrzać nasłonecznioną powierzchnię obiektu unoszącego się w przestrzeni kosmicznej do bardzo wysokiej temperatury, nawet 200°C . Promieniowanie kosmiczne przemierza przestrzeń kosmiczną we wszystkich kierunkach, pochodzi bowiem z różnych okolic galaktyki. Promieniowanie słoneczne towarzyszące burzom na Słońcu również przemierza pustkę niezatrzymywane. Przez przestrzeń kosmiczną przelatują czasem meteory i mikrometeory. Choć są one stosunkowo rzadkie, pędzą zwykle z dużą prędkością i łatwo mogą zniszczyć obiekt unoszący się w pustce.

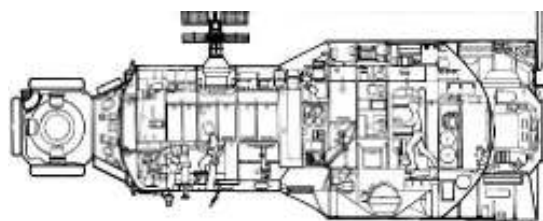
Jak pisze Ashcroft (1958, s.227): „gdybyśmy wkroczyli bez osłony w pustkę przestrzeni kosmicznej, zginęlibyśmy po krótkiej i bolesnej chwili. Powietrze wyleciałoby nam z płuc, gazy rozpuszczone we krwi i płynach ustrojowych przemieniłyby się w gazy, odpychając od siebie komórki i tworząc pęcherzyki w naczyniach włosowatych tak, że tlen nie dotarłby już do mózgu, powietrze uwięzione w narządach wewnętrznych uległoby rozprężeniu, rozrywając trzewia i bębienki uszne, a intensywne zimno spowodowałoby natychmiastowe zamarznięcie. Stracilibyśmy przytomność w niespełna 15 s”.

Istnieją dwa typy habitatów satelitarnych: stacje orbitalne i wahadłowce Space Shuttle. Są to konstrukcje sztywne metalowe. Stacje orbitalne to pojedyncze moduły stanowiące skończony obiekt jednorazowo wysyłany w kosmos lub grupy modułów wysyłanych osobno i łączonych ze sobą na orbicie. W takim kompleksie tylko jeden lub parę elementów tworzy habitat. Wahadłowiec to samolot kosmiczny startujący z Ziemi jako część rakiety, a lądujący jak zwykły samolot na lotnisku. Ma przez to formę podobną do samolotu pasażerskiego. Konstrukcyjnie jest bardziej zaawansowany i wykorzystuje materiały o wyjątkowej wytrzymałości. Ma też dużą średnicę, ponieważ wyposażony jest w pomieszczną ładownię. Wkłada się do niej sprzęt używany na orbicie oraz walcowate moduły laboratoryjne.

Salut: Rosjanie jako pierwsi (1971) wysłali w kosmos stacje orbitalne – Salut (Rys. 5.49). Było ich w sumie siedem, każda o podobnym wyglądzie, gabarytach i masie. Najbardziej udoskonalona wersja - Salut 7 ważyła 19,8 t. Każdą stację tworzyły trwale połączone ze sobą dwa cylindry: jeden mniejszy, drugi większy. Ich średnica mieściła się w przedziale od 2 do



Rysunek 5.50: Perspektywiczny przekrój przez stację orbitalną Salut i moduł łącznikowy Sojuz (NASA)



Rysunek 5.51: Przekrój przez habitat Mira (astronautix.com)



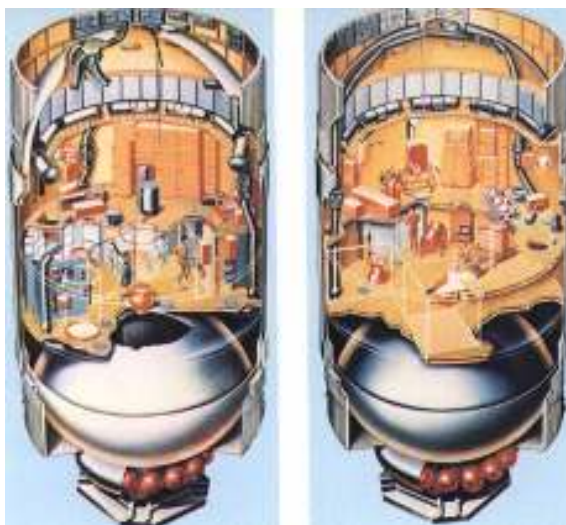
Rysunek 5.52: Zdjęcia z wnętrza habitatu na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (NASA)

4,15 m, a długość – od 13,6 do 16 m w zależności od modelu. Sztuczna atmosfera składem i ciśnieniem zbliżona była do ziemskiej. Można było sterować temperaturą we wnętrzu w granicach 15–25°C. Habitat dysponował jedną podłużną przestrzenią mieszkalno-robotyczną. Mieściły się tam: miejsca do spania, pracy, urządzenia laboratoryjne, toaleta, miejsce do ćwiczeń z przyrządami gimnastycznymi (ruchoma ścieżka i cykloenergometr) i prysznic z obudową. Było tam bardzo ciasno, wnętrze pełne było rozmaitej aparatury i przewodów. W ścianach znajdowało się 15 iluminatorów – specjalnych okien umożliwiających bezpośrednią obserwację otoczenia. W pojedynczej misji na Salucie brało udział do trzech kosmonautów. Przybywali oni statkiem kosmicznym Sojuz. Dowoził on również prowiant i przesuwiał stację na wyższą orbitę, jeśli ta znalazła się zbyt blisko Ziemi i była zagrożona spalaniem w atmosferze. Sojuz dokował do kulistego elementu łącznikowego przyłączonego do habitatu (Rys. 5.50). Pełnił on również funkcję służby wyjściowej do przestrzeni kosmicznej.

Mir: Podobną konstrukcję uzyskał habitat stacji kosmicznej Mir. Tu jednak przestrzeń została oczyszczona z wielu sprzętów, które uzyskały osobne moduły techniczne, doczepione do habitatu i wspólnie tworzące wieloczęściową strukturę kosmiczną (Rys. 5.49 B). Projektanci postarali się również o upiększenie wnętrza, co wywarło pozytywny wpływ na komfort psychiczny mieszkańców. Na podłodze położono ciemnozieloną wykładzinę, ściany pomalowano na jasnozielono, a sufity na biało z elementami fluorescencyjnymi. Na Mirze wydzielono dwie bardzo ciasne kabiny prywatne. Każda mieściła śpiwór do spania i stanowisko przy komputerze, było tam też okno (Rys. 5.51). Każda misja na stacji orbitalnej trwała do kilku miesięcy. W jednej z nich brał udział polski kosmonauta Mirosław Hermaszewski, na Salucie 6 (Marks 1997). Najdłużej jednorazowo w kosmosie przebywał W. Poljakow – 437 dni. Było to dla niego wyjątkowo trudnym przeżyciem psychicznym.



Rysunek 5.53: Skylab w kosmosie (NASA)



Rysunek 5.54: Perspektywiczne przekroje przez Skylaba z pokazaną skalą człowieka (NASA)



Rysunek 5.55: Zdjęcia z wnętrza stacji orbitalnej Skylab: A) astronauta w śpiworze do spania, B) w czasie ćwiczeń na cykloenergometrze i C) pod prysznicem (NASA)

ISS: Obecnie użytkowana jest tylko jedna stacja orbitalna – Międzynarodowa Stacja Kosmiczna (ang. *International Space Station* – ISS). Jest to skomplikowana wielomodułowa konstrukcja budowana od 1998 r. przez 16 współpracujących ze sobą krajów z całego świata (Rys. 5.49 C). Składa się na nią ponad 100 elementów. Jednym z nich jest habitat o nazwie Gwiazda (ros. *Zwiezda*). Wyprodukowany został przez Rosję. Powstał na tej samej taśmie produkcyjnej co wcześniejsze rosyjskie habitaty, dlatego jest do nich konstrukcyjnie podobny. Wnętrze jednak ma zupełnie inne. Nowoczesny habitat uwolniono z większości sprzętu badawczego, który umieszczono w osobnych członach stacji. Również większość przestrzeni laboratoryjnej przeniesiona została do osobnego modułu. Dzięki temu powstała znacznie wygodniejsza przestrzeń mieszkalna. Projektanci zadbali o pogodny wystrój wnętrza, nadając mu ciepłe pastelowe kolory (Rys. 5.52). Kabiny mieszkalne wciąż były dość ciasne, ale ogólnie dbałość o komfort psychiczny mieszkańców widocznie wzrosła.

Skylab to pierwsza amerykańska stacja satelitarna (Rys. 5.53). Trafiła ona na orbitę okołoziemską w 1973 r. Obiekt skonstruowany został z elementów pozostałych po załogowych wyprawach na Księżyc – członów rakiety Saturn V. Skylab ważył 35,4 t. Wnętrze metalowego walca o średnicy 6,6 m i długości 14,6 m podzielono na dwie części. W dolnej



Rysunek 5.56: Widok na Space Shuttle z wglądem we wnętrza (NASA)



Rysunek 5.57: Wnętrze Spacelabu na Space Shuttle (NASA)

znalazł się skład odpadków, w górnej – właściwy habitat (Rys. 5.54). Tam wyznaczono dwie użytkowe kondygnacje. Na dole znalazła się część mieszkalna z kąpielnią do spania (Rys. 5.55 A), do ćwiczeń (Rys. 5.55 B) i higieny osobistej (Rys. 5.55 C) oraz mesa. Na górze rozdysponowano część roboczą ze sprzętem laboratoryjnym. Było tu bardzo ciasno, część mieszkalna miała wysokość zaledwie 2 m. W hermetycznych pomieszczeniach wewnętrznych stacji utrzymywano atmosferę złożoną w 74% z tlenu i 26% azotu pod ciśnieniem równym 1/3 ciśnienia normalnego. Nie było problemów z oddychaniem taką mieszkanką gazową. Temperatura we wnętrzu wynosiła 21°C (Marks 1997).

Space Shuttle: Amerykanie uznali po jakimś czasie, że utrzymywanie stałej stacji kosmicznej jest bardzo drogie. Wymagana jest konserwacja, która wiąże się z dowożeniem wymiennych elementów i pracą w bardzo trudnych warunkach. Poza tym co jakiś czas trzeba korygować położenie sztucznego satelity, ponieważ jego orbita ma kształt spirali zsuwającej się ku Ziemi. Należało wtedy wzbijać stację wyżej, by nie dostała się do gęstszych warstw atmosfery, w których wskutek tarcia mogłaby spłonąć. Wyprodukowano zatem namiastkę stacji kosmicznej – samolot kosmiczny z kabiną pilotów, małym habitatem i ładownią, w której przewoziło się laboratorium oraz sprzęt dostosowany do potrzeb konkretnej misji. Nazwano go wahadłowcem Space Shuttle (Rys. 5.56). Startował on z kosmodromu na misje trwające zwykle 1-2 tygodni, a przylatywał z powrotem na lotnisko, ponieważ przystosowany był do lądowania jak samolot. Laboratorium – Spacelab tworzył jeden moduł w kształcie walca o średnicy 4,18 m i długości 2,68 m lub dwa takie moduły złączone w jedną całość. Po bokach stały szafy z wymiennymi szufladami ze sprzętem i konsolami (Rys. 5.57). Wyposażenie dostosowywano do wybranych na czas misji zadań. Habitat – Spacehab znajdował się w przedniej części wahadłowca (Rys. 5.56). Górna część przeznaczona była na pomieszczenie pilotów. Było tam duże okno, przez które wszyscy członkowie załogi chętnie wyglądali. Część mieszkalna znajdowała się poniżej, na dolnym pokładzie. Było tam bardzo ciasno. Na niewielkiej przestrzeni rozmieszczono sprzęt do ćwiczeń i śpiwory do spania. W tym samym pomieszczeniu odbywały się wspólne posiłki (Nowicki i Zięcina 1989). Zdjęcia z wnętrza pokazują ilustracje na Rys. 5.58.

5.2.2. Habitaty księżycowe

Na Księżycu istnieje atmosfera, ale jest jej tak mało, że stanowi tylko cieniutką warstwę tuż przy powierzchni. Nie ma tu zatem atmosfery zdatnej do oddychania i jest bardzo zimno – jak w przestrzeni kosmicznej. Nie ma też warstwy chroniącej przed promieniowaniem



Rysunek 5.58: Zdjęcia z wnętrza ze Space Shuttle: A) astronauta w czasie snu oraz B) wspólnego posiłku (NASA)

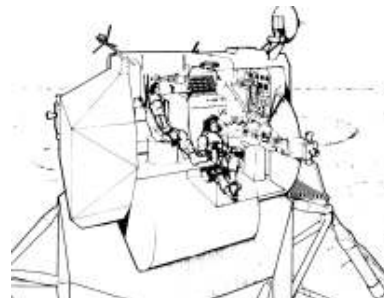
kosmicznym, słonecznym czy UV. Choć istnieje tu stały ląd, nie ma przyrody ani ciekłej wody. Jest to jałowa piaszczysta pustynia z pokrywą ostrego pyłu. Wzruszony pył łatwo unosi się do góry. Ponieważ jest drobny, łatwo wciska się nawet w wąskie szczeliny i zakamarki. Jeśli dostanie się do płuc, może je podrażnić i pokaleczyć. Grawitacja na Księżycu to zaledwie $1/6$ przyciągania ziemskiego, co wynika z małej masy naturalnego satelity Ziemi. Poruszanie się w takich warunkach jest utrudnione, łatwo o przewrócenie się i trudno jest potem wstać. Dni i noce na Księżycu są bardzo długie – doba trwa 29,5 dnia. Jest to obcy człowiekowi cykl dobowy.

Ludziom udało się dotrzeć na Księżyc i prowadzić tam badania. Pierwsze lądowanie misji załogowej miało miejsce w 1969 roku. Każda misja trwała zwykle ok. 10 dni, a sam pobyt na powierzchni zabierał parę dni. Dla astronautów zaprojektowano niewielkie habitaty umożliwiające im odpoczynek i pracę.

Moduł Księżycowy: Jak dotąd tylko na potrzeby amerykańskich misji Apollo powstał habitat księżycowy. Zyskał on nazwę Moduł Księżycowy (ang. Lunar Module – LM). Był to dwuelementowy moduł metalowy o nieregularnej sylwetce (Rys. 5.59). Całość ważyła 15,3 t (Brooks 1979). Moduł składał się z dwóch zasadniczych elementów: części do lądowania na Księżycu i części do startu z jego powierzchni. Dolną część stanowiło podium wyposażone w cztery nogi stabilizujące obiekt na terenie w miejscu lądowania. W górnej części znajdowała się część mieszkalno-robotyczna dla dwóch astronautów. Ponieważ na powierzchni księżyca astronauta przebywali krótko, nie zadbano szczególnie o wygodę habitatu. Starano się przede wszystkim maksymalnie obniżyć koszt przedsięwzięcia, więc habitat zmniejszono do możliwie najmniejszych rozmiarów. W lądowniku było jedno ciasne



Rysunek 5.59: Lądownik księżycowy misji Apollo (NASA)



Rysunek 5.60: Astronauści w czasie snu w lądowniku księżycowym Apollo LM (NASA)

pomieszczenie wspólnotowe z konsolą sterowniczą i przyrządami. Przy konsolach nie było foteli, obsługiwało się je na stojąco. Astronaucci spać musieli w pozycji półsiedzącej na małych niewygodnych siedziskach (Rys. 5.60). Część bytowa miała średnicę ok. 4 m i długość 3,5 m.

5.2.3. Habitaty marsjańskie

Dotychczas nie powstały żadne habitaty na Marsie. Zaprojektowano za to cztery analogi takich obiektów i wybudowano trzy z nich. Formą odpowiadają one wymaganiom stawianym w programie eksploracji Marsa opracowanym przez NASA (DRM). W dwóch z nich prowadzi się symulacje w ramach programu Mars na Ziemi (ang. *Mars on Earth*). Pokazują one, jak wyglądać może habitat, w którym mają zamieszkać pierwsi marsonauci.

Habitat DRM: Wg misji wzorcowej NASA dotyczącej załogowych misji na Marsa, ludzie polecą po raz pierwszy na Czerwoną Planetę w niedużych kilkusobowych metalowych modułach jednoelementowych. Najpierw wysłany zostanie moduł powrotny, który po przybyciu na planetę zacznie produkować paliwo z przywiezionego w zbiorniku wodoru oraz miejscowej atmosfery. Potem drugim identycznym modułem przylecą marsonauci. Moduły mają zostać połączone elastyczną szłą, by stworzyć wspólnie przestrzeń bytową dla członków załogi (Rys. 5.61). Moduły najprawdopodobniej będą miały kształt pionowo ustawionych cylindrów o średnicy i długości po ok. 8 m. Stać będą na specjalnych nogach (Hoffman i Kaplan 1997). Pomysłodawcami programu NASA są naukowcy amerykańscy, założyciele stowarzyszenia Mars Society. Zainicjowali oni również program MARS – Mars Analogue Research Station, w ramach którego powstały cztery koncepcje analogów modułów marsjańskich: dwa amerykańskie F-MARS i MDRS, europejski Euro-MARS i australijski MARS-Oz (Mars Society 2007). Każdy z nich proponuje nieco inną propozycję wyglądu modułu oraz podziału na pomieszczenia.

F-MARS (Rys. 5.62 A) został zaprojektowany przez architekta Kurta Micheelsa. Moduł ma kształt pionowo stojącego walca o średnicy 8,3 m i wysokości 8,45 m. Zbudowany jest z dwunastu paneli ściennych, każdy o długości 6,1 m i szerokości 2,17 m oraz dwunastu sekcji kopuły zbiegających się ku okrągłemu elementowi o średnicy 1 m. Panele mają grubość 15 cm. Wykonane są z włókien szklanych o strukturze plastra miodu – są dzięki temu wytrzymałe i stanowią bardzo dobrą barierę termoizolacyjną. Cylinder oparty jest na sześciu stalowych nogach i stabilizowany jest przez kolejne sześć ukośnych podpór. Wnętrze



Rysunek 5.61: Pierwszy habitat na Marsie wg programu DRM (NASA)



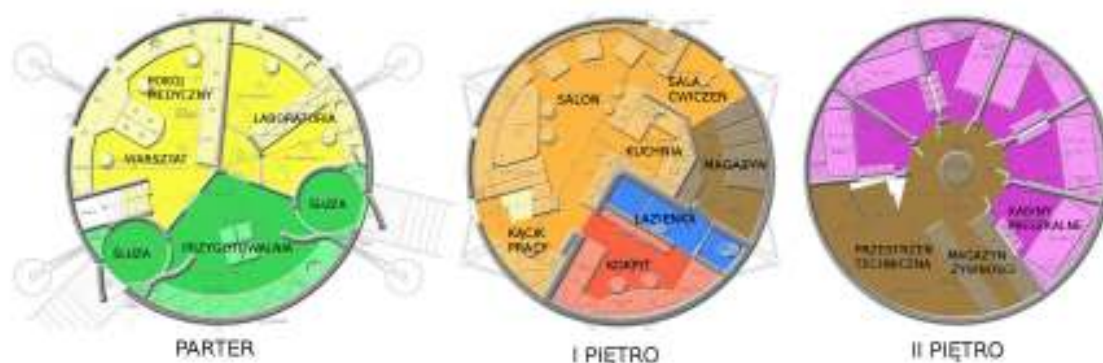
Rysunek 5.62: Analogi marsjańskie z programu MARS Mars Society: A) F-MARS, B) MDRS, C) Euro-MARS, D) MARS-Oz (Mars Society)



Rysunek 5.63: Wnętrza F-MARSA (damer.com)

podzielone zostało na dwie kondygnacje o wysokości 2,7 m. Na dole znajduje się laboratorium, warsztat, magazyny, przygotowalnia do wyjścia na powierzchnię oraz śluza. Górną kondygnację przeznaczono na kabiny członków załogi oraz mesę (Rys. 5.63). Do modułu prowadzą dwa wejścia, jedno główne, drugie – awaryjne. Oprócz tego jest specjalny właz. Na dolnym piętrze są dwa okna, na górnym – cztery. Drugi amerykański analog MDRS (Rys. 5.62 B) jest podobny do F-MARSA (Mars Society 2007). W obu przeprowadza się symulacje misji marsjańskich, w F-MARSie już od 2000 r. Wolontariusze z Mars Society spędzają jednorazowo parę tygodni w analogu, przeprowadzając zadania, jakie wypełniać będą przyszli marsonauci. M. in. udało się przy tym przeprowadzić badania nad sposobem wykorzystywania przestrzeni bytowej oraz wymagania co do niej u załogi. Okazało się, że ludzie chętniej spędzają czas razem i woleliby większą przestrzeń wspólnotową. W kabinach prywatnych przebywają rzadziej i ciasnota im tam nie przeszkadza tak bardzo. W przestrzeni wspólnotowej ludzie skupiają się przy stole, przy którym grają, rozmawiają, jedzą, oglądają mapy itp. Zapotrzebowanie jest zatem na duży stół, a najlepiej dostawiane stoliki, które pozwalają na różne konfiguracje (Clancey 2001).

Euro-MARS (Rys. 5.62 C) zaprojektowany został przez zespół architektów z Niemiec pod kierownictwem Gerharda Dirlicha. Europejski moduł ma trzy kondygnacje. Na parterze zlokalizowano przestrzeń roboczą. Znajduje się tu przygotowalnia do wyjścia na powierzchnię połączona z dwoma śluzami wyjściowymi, następnie dwa laboratoria, warsztat i pokój medyczny. Na pierwszym piętrze rozmieszczono pomieszczenia wspólnotowe i rekreacyjne: mesę, kuchnię, salę do ćwiczeń oraz łazienkę i kokpit. Na najwyższej kondygnacji jest strefa cicha z kabinami prywatnymi. Część magazynowa rozlokowana została w dwóch miejscach: na I piętrze i na II piętrze (Rys. 5.64). Zaplanowanie dwóch śluz użytkowych połączonych



Rysunek 5.64: Rzuty trzech kondygnacji Euro-MARSA z kolorystycznym określeniem rozkładu funkcji (Mars Society)

z tą samą przygotowalnią jest rozwiązaniem zapewniającym większe bezpieczeństwo użytkowania habitatu. Za to, co najmniej dziwne, jest zaprojektowanie łazienki z dala od kabin mieszkalnych i dodatkowo ukrycie jej za kokpitem. Analog jest dodatkowo przystosowany do przyłączania do niego pojazdu marsjańskiego mpv zaprojektowanego przez polski zespół inżynierów z Politechniki Wrocławskiej pod kierownictwem Krzysztofa Biernackiego¹. Dzięki takiemu przejściu możliwe jest zadokowanie pojazdu i wejście z niego bezpośrednio do habitatu bez konieczności zakładania kombinezonu.

Australijski **MARS-Oz** (Rys. 5.62 D) zaprojektowany został przez Davida Willsona. Ma on kształt podłużnego cylindra z wyciągniętym nosem. Długość habitatu wynosi 12 m, a nosa – 6 m; średnica maksymalna – 4,5 m. Moduł stoi na czterech nogach i dodatkowo uzyskał specjalne zamocowania stabilizujące konstrukcję na wypadek silnych wiatrów. Wewnątrz znajdują się dwie kondygnacje o wysokości 2,1 m. Na górze znajduje się część wspólnotowa oraz robocza, a na dole: prywatne kabiny oraz łazienka i toaleta. W każdym pokoju jest jedno okno (Mars Society Australia).

Wnioski dla architekta

Dotychczas powstałe habitaty kosmiczne były bardzo ciasne i niewygodne, oparte na minimalistycznej ergonomii i w niewielkim stopniu wychodzące naprzeciw potrzebom socjopsychologicznym ludzi. Dlatego żaden z nich nie może posłużyć jako wzór dla przyjaznej człowiekowi bazy marsjańskiej. Jednak omawiane w tym podrozdziale obiekty mieszkalno-robotyczne pomagają przede wszystkim w uczeniu się na błędach – wskazują, czego należy unikać w projekcie dobrej bazy. Skromne próby zapewnienia lepszych warunków życia i pracy są wskazówką, w jakich dziedzinach architekt może mieć pole manewru, by zamknięte ograniczone środowisko bytowe było jak najmniej stresogenne. Analiza dotychczas użytkowanych habitatów kosmicznych pozwala wysnuć wnioski, jakie konstrukcje są w stanie znieść ekstremalne warunki poza Ziemią (Kozicka 2004b). Dotyczy to jednak tylko pojedynczych małych habitatów lub szczeplanych w grupę.

1. Pojedyncze metalowe moduły jednoelementowe nie nadają się na bazę marsjańską. Są zbyt małe i ciasne, by zapewnić konieczny dla długotrwałej misji komfort fizyczny i psychiczny.

¹Strona internetowa pojazdu mpv: www.marssociety.h2.pl/old/mpv/index.html.

2. Metalowe moduły jednoelementowe posłużyły do budowy wszystkich dotychczas powstałych habitatów kosmicznych. Wielokrotnie sprawdziła się wytrzymałościowo tego typu konstrukcja. Metalowe moduły jednoelementowe są najbardziej godne zaufania spośród wszystkich przedstawianych tu typów rozwiązań konstrukcyjnych.
3. W dotychczas użytkowanych habitatach kosmicznych stosowano łączenie modułów mieszkalno-roboczych z innymi elementami poprzez kulisty element łącznikowy. Taki typ szepiania ze sobą elementów konstrukcyjnych zdał wielokrotnie egzamin w przestrzeni kosmicznej. Jest więc godny zaufania i można go stosować w projekcie bazy marsjańskiej.
4. Pomieszczenia uznane za niezbędne w habitacie pozaziemskim to oprócz przestrzeni mieszkalnej, roboczej i technicznej: mesa umożliwiające wspólne zjadanie posiłków przez całą załogę oraz spędzania czasu w grupie, przygotowalnia do wyjścia na zewnątrz (EVA) wraz z szatnią na kombinezony kosmiczne, śluza wyjściowa (przynajmniej jedna, a bezpieczniej co najmniej dwie) i miejsce do ćwiczeń umożliwiające utrzymywanie kondycji w warunkach obniżonej grawitacji.
5. Metalowe moduły jednoelementowe, jakie można wykorzystać do składania bazy na Marsie muszą mieścić się w ładowniach rakiet wynoszących, dlatego wielkością i wagą muszą odpowiadać dotychczas powstałym stacjom orbitalnym (o ile nie powstaną większe rakiety w najbliższym czasie). W przypadku rosyjskich rakiet jest to podłużny walec z częścią o maksymalnej średnicy nieco ponad 4 m i długością do ok. 16 m. W przypadku amerykańskiej rakiety, ładownia pozwala na przewożenie modułu cylindrycznego o średnicy niecałe 7 m i długości prawie 15 m. Wahadłowiec może zmieścić w swej ładowni element o średnicy nieco ponad 4 m.
6. Pierwsze habitaty kosmiczne były tylko schronieniem dla ludzi poza Ziemią. Z czasem coraz większą uwagę zwracano na problemy socjopsychologiczne i w kolejnych modelach pojawiały się starania o zapewnienie wyższego komfortu fizycznego oraz psychicznego kosmonautów poprzez: rozdzielanie funkcji mieszkalnej od roboczej, wprowadzenie kabin prywatnych z oknem, dbałość o kolorystykę i in. Waga jakości życia i pracy została dostrzeżona. Przy pomocy narzędzi architektury udawało się wpływać pozytywnie na samopoczucie mieszkańców habitatu pozaziemskiego. Również w projekcie bazy marsjańskiej architekt powinien ustosunkować się do tego zagadnienia, by kreowana przez niego przestrzeń była przyjazna użytkownikowi na jak największej sposobów.
7. ISS składa się z ponad 100 elementów. Udało się zebrać na świecie fundusze na tak ogromną strukturę kosmiczną i poskładać ją w jedną całość w warunkach mikrogravitacji na lecącej z dużą prędkością stacji orbitalnej. Skoro w tak wyjątkowo trudnych warunkach udało się to zrobić, to na Marsie na stałym lądzie, przy wyższej grawitacji powinno być to prostszym zadaniem. Jest więc spora szansa, że montaż dużej konstrukcji na Marsie się powiedzie. Zatem architekt nie powinien się obawiać zaprojektowania dużego habitatu. Przy czym im prostszy sposób budowy bazy, tym większa szansa na jego prawidłowe złożenie *in situ*.
8. W bazie marsjańskiej wszystko powinno podlegać recyklingowi. Nie da się jednak uniknąć gromadzenia się nieprzetwarzalnych odpadków. Mogą one zajmować dużą

objętość. Na Skylabie ok. 1/3 cylindra stacji przeznaczona została właśnie na zbiornik na śmieci. Należy uwzględnić magazyny na odpadki w bazie marsjańskiej, najlepiej pozwalające na segregację. Część z odpadków bowiem może podlegać recyklingowi, ale opłacalne będzie wykonanie przetworzenia tylko raz na jakiś czas.

9. Analizując projekty architektoniczne analogów marsjańskich widać, ile starań i pracy wkłada się, aby na małej powierzchni zapewnić ludziom godne warunki mieszkania, pracy i rekreacji. Jest to niezwykle trudne, dlatego pojawiają się tam różne niedociągnięcia i kwestie problemowe: ciasnota w kabinach mieszkalnych, trudny dostęp do łazienki, przestrzeń rekreacyjna wyjątkowo ograniczona do jednego wielofunkcyjnego wspólnotowego pokoju jak w F-MARSie czy dodatkowej klitki z jednym urządzeniem do ćwiczeń, jak w Euro-MARSie. W ciasnych pomieszczeniach wszystkie elementy wyposażenia są upakowane, więc praktycznie nieprzystawialne, prócz miejsc do siedzenia. Przez to nie ma możliwości wprowadzania zmian w monotonnym ograniczonym środowisku życia. Zdaniem autorki zmuszanie kilkorga ludzi do życia w takich warunkach przez 2,5 roku jest niedopuszczalne. Dobrze byłoby zaprojektować co najmniej dwie łazienki o wygodnym dostępie, przynajmniej dwa miejsca rekreacji dające różne możliwości spędzania wolnego czasu samotnie lub w grupie, w tym dobrze wyposażona sala ćwiczeń. Pokój medyczny powinien być zamykany i wyposażony w łóżko dla pacjenta. Kabiny prywatne powinny być większe. Wszystko to zapewnić może tylko duża baza.
10. Wartościowym rozwiązaniem jest zaprojektowanie co najmniej dwóch śluz wyjściowych, najlepiej gdy obydwie połączone są z przygotowalnią do wyjścia na dwór. Dobrze, jeśli przynajmniej jedna śluza pozwala na zadokowanie do niej pojazdu marsjańskiego, aby ludzie mogli z niego wysiadać bez konieczności zakładania kombinezonów.
11. Najbardziej godne zaufania są jednoelementowe moduły metalowe. Najwięcej razy zostały one przetestowane w warunkach pozaziemskich. Wiadomo również, że można je bezpiecznie ze sobą łączyć. Dużą i najbardziej bezpieczną bazę marsjańską zbudować można ze szczepianych ze sobą metalowych modułów jednoelementowych. Jest to jednak rozwiązanie bardzo drogie.
12. Ludzie potrzebują dużej, najlepiej fleksybilnej przestrzeni wspólnotowej, którą przy stosowywać można do różnych wspólnych zajęć, jak wykazują badania zachowania ludzi w F-MARSie.

Rozdział 6

Architektura bazy marsjańskiej

6.1. Konstrukcja

Ekstremalne warunki, jakie panują na Marsie ograniczają wybór rodzajów technik budowlanych, jakie mogłyby posłużyć do budowy bazy. Przeprowadzono analizę dostępnych obecnie technologii budowlanych w kolejnych podrozdziałach. Wymagania co do konstrukcji zostały sprecyzowane we wnioskach dla architekta w Rozdz. 3.1. Tu opisano szerzej te rozwiązania technologiczne, które spełniają te wytyczne oraz roszą nadzieje na zaadoptowanie ich na Marsie ze względów ekonomicznych i bezpieczeństwa.

W podrozdziale tym opisane zostaną kolejno konstrukcje: metalowe, rozszerzalne, drążone, z regolitu i kamieni oraz z lodu. Konstrukcje drewniane nie zostały szerzej omówione, jako że na Marsie nie rosną drzewa. W literaturze uwzględnia się je, ponieważ w sztucznych ekosystemach istnieje możliwość uprawy drzew. Większość gatunków drzew rośnie długo i powoli. Wyróżnić jednak można takie, których wzrost następuje w dość krótkim czasie. Mowa tu o bambusach. Proponuje się wykorzystywanie pni bambusowych m. in. do układania stropów (Petrov 2004).

6.1.1. Konstrukcje sztywne z metalu i tworzyw sztucznych

Dotychczas wszystkie habitaty kosmiczne były wykonywane wyłącznie jako konstrukcje metalowe. Zostały one wielokrotnie z powodzeniem wykorzystane w warunkach pozaziemskich, dlatego uważa się je za najbardziej godne zaufania. Największą wadą konstrukcji metalowych jest ich duża masa, a przede wszystkim stosunek masy do oferowanej kubatury. Najcięższe są konstrukcje stalowe, dlatego często w przypadku konstrukcji kosmicznych stal zastępuje się stopami aluminiowymi i aluminiowotytanowymi. Stopy na osnowie tytanu są najlżejsze i najbardziej wytrzymałe, ale też przy tym najdroższe, ponieważ technologia ich wytwarzania i obróbki jest bardzo trudna.

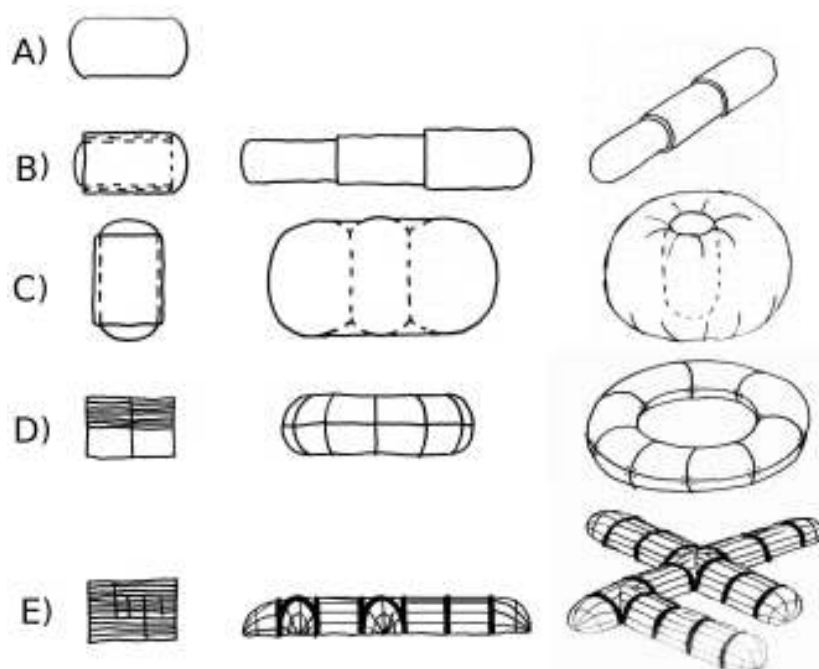
Na Marsie istnieje możliwość produkcji stali z miejscowego hematytu (Stefanescu i in. 1998), przy wykorzystaniu bardzo prostego procesu (Zubrin i Wagner 1997, s.268). Na Marsie rozpowszechnione są również wszystkie podstawowe pierwiastki stopowe do produkcji stali. Dobierając odpowiednie proporcje tych pierwiastków można otrzymać właściwie dowolny rodzaj stali węglowej bądź nierdzewnej. Produkcja stopów aluminium również mogłaby być prowadzona na Marsie, ponieważ występuje tam dużo glinu. Jest on jednak trudny w pozyskiwaniu. Dzięki temu, że na Marsie panuje niższa grawitacja, można uzyskać stopy o dużo lepszych właściwościach, bowiem w czasie wytwarzania ich składniki lepiej się

mieszają i powstały materiał jest bardziej jednorodny (Stefanescu i in. 1998). Do wytwarzania metalowych elementów konstrukcyjnych na Marsie konieczne byłoby sprowadzenie z Ziemi gotowej manufaktury. Produkcja byłaby energochłonna, ponieważ topiona ruda musiałaby być podgrzewana do wysokich temperatur. Stal mogłaby być walcowana na blachy, odlewana w formach na kształtowniki lub ciągnięta na pręty. Różnorodność metalowych materiałów budowlanych pozwalałaby na wykonywanie rozmaitych elementów lub całych konstrukcji architektonicznych. Ujednolicając rodzaj śrub dla całej konstrukcji, można by także przywieźć sprzęt do wytwarzania dokładnie takich śrub.

SMA to nazwa stopów metali z pamięcią kształtu (ang. *Shape Memory Alloys*). Tylko niektóre stopy mają tę właściwość – na bazie miedzi lub niklu, np. Ni-Ti, Cu-Zn-Al. Dzięki właściwościom pamięci kształtu mogłyby one być użyte na Marsie jako elementy konstrukcyjne, które na czas transportu byłyby przechowywane w formie złożonej, zajmując niewielką przestrzeń bagażową. Materiały te są ok. sto razy słabsze od stali, dlatego nie nadają się do konstrukcji budowlanych na Ziemi. Jednak mogłyby znaleźć zastosowanie na Marsie, gdzie siła grawitacji jest trzy razy mniejsza od ziemskiej, np. na wsporniki, stropy wewnątrz bazy itp. Należałoby wykonać obliczenia wytrzymałościowe dla każdego z zaproponowanych elementów. Włókna z SMA używane są do wykonywania kompozytów o wysoce cenionych właściwościach tłumienia drgań. Stosuje się je również ze stopami metali, by zwiększać ich sztywność i wytrzymałość (Yang 2000). Z tego względu mogłyby być wykorzystane w bazie marsjańskiej do wykonywania metalowych kompozytowych materiałów budowlanych o dobrych właściwościach akustycznych.

Obecnie uzyskuje się tworzywa sztuczne o coraz lepszej charakterystyce wytrzymałościowej. Produkowane z kompozytów elementy są dużo lżejsze, a często podobnie (albo i bardziej) wytrzymałe jak takie same elementy metalowe. Dlatego mogłyby one również z powodzeniem być wykorzystywane do wykonania sztywnej konstrukcji habitatu marsjańskiego. Najbardziej wytrzymałe tworzywa sztuczne otrzymuje się poprzez modyfikacje polimerów i wzmacnianie włóknami. Modyfikacje polimerów prowadzą zwykle do powstawania kopolimerów, które mają dużo lepsze właściwości niż polimery, które zostały użyte do ich wytworzenia. Szczególnie znaczący wpływ na wytrzymałość mechaniczną tworzyw sztucznych mają wzmocnienia w postaci włókien. Stosuje się zwykle włókna: szklane, aramidowe (całkowicie aromatyczne PA), poliestrowe (PS) i węglowe, a także krzemowe. Jak podaje Saechtling (2000), włókna krzemowe mają największą wytrzymałość na rozciąganie (9 GPa), ale są też najcięższe. Pozostałe typy włókien osiągają zbliżone do siebie wartości wytrzymałości na rozciąganie (do 4,6 GPa). Najkorzystniejszy stosunek masy do wytrzymałości mają włókna aramidowe. Są one także niepalne, dobrze tłumią drgania i są praktycznie nie do przebicia (dlatego stosuje się je do wyrobu kamizelek kuloodpornych i chroniących przed przebiciem narzędziami ostrymi). Można je stosować w bardzo niskich temperaturach. Głównym obszarem zastosowań tych włókien są strukturalne kompozyty o zmniejszonym ciężarze wykorzystywane w technice lotniczej i kosmicznej, do budowy łodzi i sprzętu sportowego. Nazwy handlowe aramidów to: Kevlar, Nomex i Twaron. Inne materiały, które wykorzystuje się w astronautyce jako włókna to: Vectran (aromatyczny PS) i PBZO.

Tam, gdzie potrzebne byłyby przezroczyste elementy lub przegrody, można by wstawiać tradycyjne iluminatory lub używać transparentnych elementów przekrycia z PC (Zubrin i Wagner 1997, s.241). Panele z PC mogą być wzmacniane włóknem szklanym, by zwiększyć ich odporność na pękanie. Aby nadać im większy poślizg i wytrzymałość na ścieranie, dodaje się np. PTFE, MoS₂ (dwusiarczek molibdenu) lub grafit. PC stosuje się w temperaturach do -150°C (Saechtling 2000).



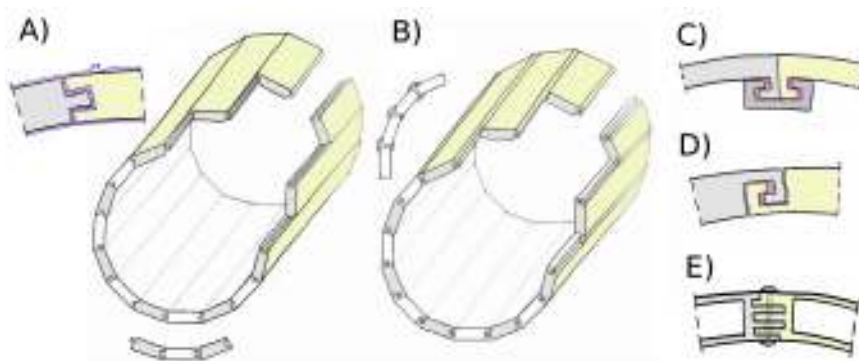
Rysunek 6.1: Schematy konstrukcji metalowych spakowanych i po montażu: A) moduł jednoelementowy, B) moduł rozkładany, C) moduł hybrydowy, D) konstrukcja wieloelementowa składana, E) konstrukcja szkieletowa

Produkcja kompozytów na Marsie teoretycznie jest możliwa. Jest to jednak dość skomplikowany proces i otrzymywanie materiałów wysokiej klasy wydaje się mało prawdopodobne. Zubrin i Wagner (1997, s.248) są przekonani, że z samego polietylenu i polipropylenu (które wytwarzać można z miejscowych zasobów) udałoby się wyprodukować na miejscu bardzo wiele rodzajów tworzyw sztucznych o różnych właściwościach, ponieważ nadają się do wyrobu folii, włókien i sztywnych elementów. Odpowiednio zaprojektowany materiał mógłby być wystarczająco wytrzymały, by wykonywać z niego elementy sztywne do wznoszenia budowli na Marsie.

Rozwiązania technologiczne

Autorka wyróżnia pięć typów konstrukcji sztywnych, które mogłyby zostać wybrane do wykonania bazy marsjańskiej: moduły jednoelementowe, moduły rozkładane, moduły hybrydowe, konstrukcje wieloelementowe składane oraz konstrukcje szkieletowe.

Moduły jednoelementowe (Rys. 6.1 A) to klasyczny przykład dotychczas budowanych habitatów kosmicznych. Moduł taki stanowi skończoną całość. Jest on całkowicie sztywny. Z tych powodów gabaryty modułów jednoelementowych ograniczone są do pojemności ładowni rakiet wynoszących. W przypadku NASA mają one zatem ok. 8 m średnicy i podobną długość, zaś w przypadku rosyjskiej agencji kosmicznej – ok. 4 m średnicy i długość kilkunastu metrów. Takie konstrukcje mieszkalne oferują bardzo małą przestrzeń bytową. Są za to bardzo bezpieczne: charakteryzują się wysoką wytrzymałością na zniszczenie oraz dobrze zapobiegają wyciekom gazów. Wykonując taką konstrukcję w całości od początku do końca na Ziemi, można mieć pewność, że wszystko zostało precyzyjnie zrobione. Przed wylotem można moduł przetestować i upewnić się, że konstrukcja zachowuje



Rysunek 6.2: Konstrukcja składana z paneli o brzegach przystosowanych do wsuwania ich w siebie: A) idea Brzezickiego, B), C), D), E) – inne sposoby wykonania brzegów paneli wg pomysłów autorki (szczegółowy opis w tekście)

się poprawnie.

Moduły rozkładane w formie złożonej mają gabaryty zwykłego modułu jednoelementowego. Po rozłożeniu konstrukcja przyjmuje formę docelową. Sposób rozkładania się może wykorzystywać rozmaite rozwiązania technologiczne. Rozłożeniu ulegać może cały moduł, jego fragment lub niektóre elementy, przy czym moduł stanowi skończoną całość – wszystkie jego części połączone są ze sobą tak, że cała struktura zachowuje szczelność po rozłożeniu bez dodatkowych zabiegów. Dzięki rozkładaniu się modułu powierzchnia użytkowa zostaje powiększona parukrotnie. Daje to pewien zysk przestrzeni bytowej, ale nie nazbyt duży. Na Rys. 6.1 B) pokazano przykładowe rozwiązanie z teleskopowo rozsuwanym modułem. Składa się on z trzech części o podobnej długości i coraz mniejszej średnicy – tak, by mogły się zmieścić w największym z elementów. Inne propozycje szerzej opisane są w Rozdz. 6.5.

Moduły hybrydowe to rodzaj modułów rozkładanych złożonych z części sztywnej metalowej lub z tworzywa sztucznego oraz z części wykorzystującej inną technologię. Na Rys. 6.1 C) pokazane jest przykładowe rozwiązanie połączenia rdzenia z pneumatyczną powłoką tworzącą rodzaj pierścienia¹. Konstrukcja przed rozłożeniem ma gabaryty standardowego modułu jednoelementowego. Zewnętrzna część rozkładana pozwala zwiększyć powierzchnię całkowitą struktury parukrotnie.

Pojedyncze moduły jednoelementowe są zbyt małe, nawet w formie struktury rozkładanej, by stały się obiektem godnym miana bazy. Jednak mogą być one ze sobą łączone w grupę lub kompleks, dając **łączone struktury wielomodułowe**. Grupa modułów zapewnia wielokrotnie powiększoną przestrzeń użytkową w stosunku do pojedynczego modułu. Każdy moduł transportowany jest osobno, co pochłania duże koszty. Moduły przysposobione są do odpowiedniego łączenia ich ze sobą. Montaż struktury odbywa się *in situ*. Moduły mogą być łączone dowolnie w ramach swoich możliwości lub wg ustalonego przez projektanta schematu.

Konstrukcje wieloelementowe składane (Rys. 6.1 D) wykonuje się ze szczepianych ze sobą paneli. Elementy transportuje się z Ziemi rozdzielone, ciasno upakowane w ładowni rakiety. Montaż przebiega *in situ*. Po złożeniu konstrukcja tworzy skończoną całość, której już się nie rozkłada, a usunięcie któregoś z elementów powoduje jej uszkodzenie. Idea

¹Rozwiązanie technologiczne zaproponowane w TransHabie (patrz Rozdz. 6.5).

konstrukcji wieloelementowych składanych sprowadza się do tego, aby przy użyciu prostych paneli zbudować duży przestronny habitat. Metoda łączenia paneli musi być prosta i w efektywny sposób zapewniać wytrzymałość i szczelność całości. Ujednolicenie metody łączenia dla wszystkich lub większości paneli usprawni i ułatwi pracę.

Marcin Brzezicki (2002) jest autorem jednego z takich rozwiązań. Elementy konstrukcji miałyby tak zakończone brzegi, by można było wsuwać je w siebie, np. na pióro i wpust (Rys. 6.2 A). Każdy panel znajdowałby się wewnątrz powłoki pneumatycznej. Po napompowaniu jej następowałoby uszczelnienie połączenia, kiedy od wewnątrz działałoby nadciśnienie sztucznej atmosfery habitatu. Rozwijając myśl Brzezickiego można zaproponować także inne sposoby samozaciskających się połączeń, jak pokazano na Rys. 6.2 B, C, D i E. W przykładzie C i D zaprojektowane zostały uszczelki (np. w postaci wtryskiwanej pianki izolacyjnej), zaś w E – zakleszczające się płytki spina dodatkowo śruba. Obwiązanie pierścieni linami z kewlaru przeciągniętymi przez przygotowane na powierzchni zewnętrznej paneli otwory pozwoliłoby na zmniejszenie nacisku uwięzionych wewnątrz habitatu gazów na panele. Podobną funkcję spełniać mogłyby obręcze, zasuw, siatki i in. Wykonanie konstrukcji wieloelementowej składanej w warunkach marsjańskich jest bardzo trudne i może wymagać specjalnych maszyn, np. dźwigu.

Konstrukcje szkieletowe (Rys. 6.1 E) odnoszą się do typowych konstrukcji ziemskich. Strukturę tworzy szkielet nośny i ochronne przekrycie uszczelniające. Szkielet może być składany lub rozkładany: szkielet składany tworzy wiele prostych modularnych elementów, które szepić trzeba ze sobą *in situ* we właściwy sposób; szkielet rozkładany tworzy wiele elementów połączonych ze sobą fabrycznie za pomocą ruchomych przegubów, dzięki którym konstrukcja w czasie złożenia zajmuje małą kubaturę, a po rozłożeniu – dużą, oferującą znaczną przestrzeń użytkową. Struktury szkieletowe rozkładane wyróżniają się łatwiejszym i szybszym montażem, ale wcześniej muszą być logicznie zaprojektowane i precyzyjnie wykonane. Szkielet musiałby wszakże tworzyć strukturę obłą, dlatego wykorzystać by trzeba np. kopułę fullerowską z elementów prętowych lub wycinki walca z żeber w kształcie łuków. Trudność montażu zależałaby od projektu budowli, np. budowa kopuły byłaby dość kłopotliwa, podczas gdy konstrukcje żebrów w formie fragmentu walca byłyby dużo prostsze w ustawieniu. Mocowanie przekrycia powinno zapewniać pełną szczelność.

Wnioski dla architekta

Konstrukcje metalowe są bardzo wytrzymałe i godne zaufania, ponieważ sprawdziły się wielokrotnie jako różne struktury kosmiczne, także habitaty. Z tego powodu warto wykorzystać je w projekcie bazy marsjańskiej albo do wykonania całej budowli, albo jej elementów.

1. Moduły jednoelementowe nadają się na pojemniki do transportu innych, składanych konstrukcji wysyłanych na Marsa. Po rozładowaniu mogłyby być one wykorzystywane jako śluzy z wyjściami na powierzchnię lub łączniki między większymi strukturami, schrony, pomieszczenia techniczne lub łazienki, windy. Moduły takie można również łączyć same ze sobą tworząc kompleksy.
2. W konstrukcjach metalowych stosuje się iluminatory jako okna. Sposób montowania drzwi również może naśladować dotychczasowe rozwiązania z habitatów kosmicznych.
3. Sztywne konstrukcje w kształcie leżącego pełnego walca lub kuli wymagają stabilizacji, np. w formie nóg bocznych, żeby się nie turlały.

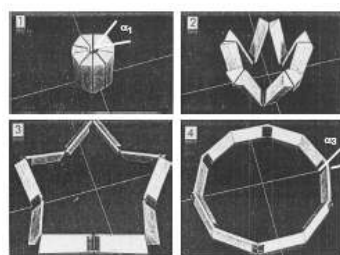
4. Montaż modułów rozkładanych powinien być zmechanizowany.
5. Konstrukcje wieloelementowe rozkładane wymagają jak najprostszego montażu. Elementy powinny zostać tak zaprojektowane, by w sposób łatwy można było połączyć je w szczelną strukturę. Części takiej konstrukcji muszą mieć gabaryty dostosowane do ładowni rakiety wynoszącej. Masa pojedynczego elementu może być znaczna, ponieważ grawitacja na Marsie jest aż 3 razy mniejsza niż na Ziemi i operowanie masywnymi obiektami nie jest tam tak trudne.
6. Struktury szkieletowe mogą naśladować swoje ziemskie odpowiedniki. Źródeł inspiracji jest bardzo wiele. Należy jednak pamiętać o wskazaniu co do formy obłęj.
7. Myśląc o wykorzystaniu materiałów budowlanych produkowanych z miejscowych surowców, należy wykorzystywać w projekcie elementy metalowe o jak najprostszej strukturze oraz uwzględnić modularność.
8. Konstrukcje metalowe mogą być dowolnie malowane. Również tworzywom sztucznym można nadawać różne kolory lub powlekać je kolorowymi foliami. Dobry projekt kolorystyki wpływałby znacząco na estetyczny odbiór habitatu.

6.1.2. Konstrukcje rozszerzalne

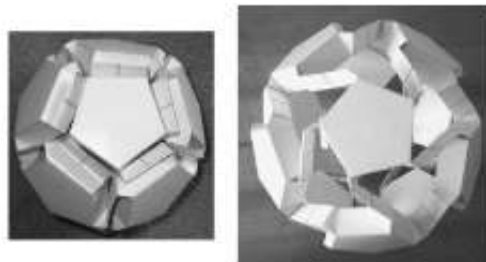
Konstrukcje rozszerzalne to grupa konstrukcji, które pod wpływem pewnych działań w znacznym stopniu zwiększają lub zmniejszają swoją objętość. Nazwa tej grupy odnosi się do angielskiego terminu *Expandable Structures*. Autorka zalicza tu: konstrukcje rozkładające się (ang. *folding structures*), konstrukcje pneumatyczne (ang. *inflatable structures*), konstrukcje pneumatyczne usztywniane (ang. *inflatable rigidizable structures*) oraz konstrukcje z pamięcią kształtu (ang. *shape memory structures*). Konstrukcje rozszerzalne różnią się od tradycyjnych tym, że tworzą całość – jedną gotową strukturę, którą wielokrotnie można składać i rozkładać przy niewielkim nakładzie pracy. Po rozszerzeniu uzyskuje się gotową formę przestrzenną. Natomiast po złożeniu struktura może być ciasno upakowana do bardzo małej i wygodnej w transporcie kubatury. Konstrukcje te są wyjątkowo lekkie i po rozszerzeniu mają niski stosunek objętości do masy. Z tego względu są one chętnie wykorzystywane w astronautyce.

Rozwiązania technologiczne

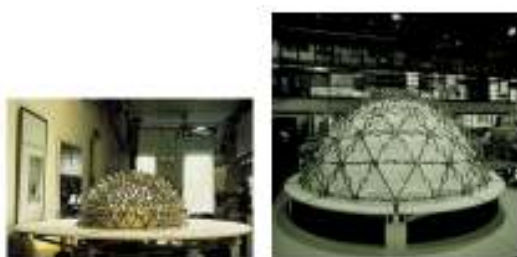
Konstrukcje rozkładające się: Konstrukcje rozkładające się to struktury wieloelementowe. Tworzą je sztywne elementy prętowe, a czasem także wieloboczne (Kovacs i in. 2004), wykonane z metalu lub plastiku. Szczepiane są one ze sobą łącznikami przegubowymi o bardzo prostej budowie. Umożliwia to płynne rozkładanie i składanie się całej konstrukcji (Rys. 6.7). Elementy mogą zbliżać się lub oddalać od siebie podobnie jak ostrza nożyczek. Niektóre łączniki, krytyczne dla całej struktury, mogą być sztywne. Dzięki nim konstrukcja może cały czas zachowywać ten sam kształt, np. kuli (Hoberman 1991a). Tworząc różne konfiguracje prętów i wieloboków oraz przegubowych i sztywnych łączników stworzyć można najrozmaitsze rozkładające się formy płaskie i przestrzenne: okręgi, kwadraty, sfery, kopuły, kurtyny, przesłony, namioty, zadaszenia i in. Przykłady pokazane są na Rys. 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.8 i 6.9. Po rozłożeniu struktury te są sztywne i wytrzymałe. Można na nich układać panele lub rozwieszać sieci, tkaniny czy folie. Na Marsie posłużyć by mogły do wykonania



Rysunek 6.3: Rozkładający się wielobok (Hedgepeth)



Rysunek 6.4: Kartonowy model sfery rozkładającej się zbudowanej z wieloboków i elementów prętowych (Hedgepeth)



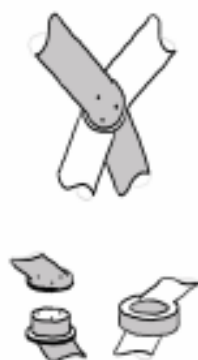
Rysunek 6.5: Rozszerzająca się kopuła Hobermana (Hoberman Associates)



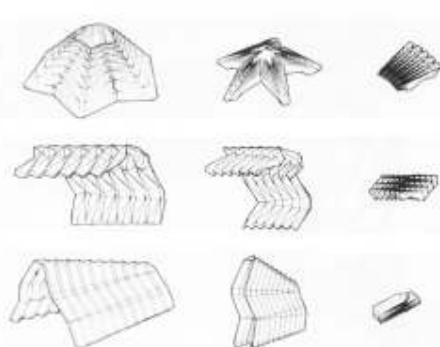
Rysunek 6.6: Hoberman Arch (Wikipedia)

całej jednej budowli bazy lub modułów na nią się składających. Wykorzystane mogłyby zostać także jako stropy, podciągi, słupy, ściany albo meble.

Konstrukcje wykonane wyłącznie z elementów prętowych tworzą rozkładające się struktury kratownicowe (ang. *folding truss structures*). Twórcą wielu ciekawych rozwiązań tego typu jest Chuck Hoberman. Najbardziej znaną kratownicową konstrukcją rozkładaną jest sfera Hobermana (produkowana także jako zabawka), pokazana na Rys. 6.9. Potrafi ona zwiększyć (lub zmniejszyć) swoje rozmiary nawet pięciokrotnie. Największą dotychczas realizacją jest 22-metrowa rozszerzalna kurtyna Hoberman Arch zbudowana na podium Olympic Medal Plaza na olimpiadę zimową w 2002 w Salt Lake City. Kurtyna ta posiada prześwitujące panele, które można efektownie podświetlać.



Rysunek 6.7: Łącznik przegubowy konstrukcji rozkładających się



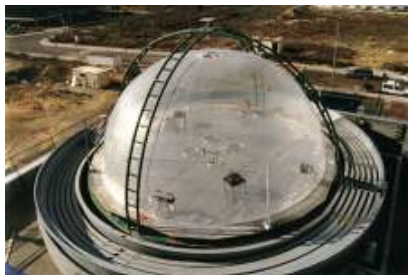
Rysunek 6.8: Rozkładające się struktury namiotowe (Hoberman 1991b)



Rysunek 6.9: Sfera Hobermana (1991b)



Rysunek 6.10: Rozkładający się moduł anteny słonecznej nadający się do montowania przez wysięgnik Space Shuttle (Hedgepeth i Miller 1987)



Rysunek 6.11: Laboratorium EU-PHORE w formie kopuły z przezroczystego teflonu, średnica kopuły: 9,2 m (Foiltec)



Rysunek 6.12: Pneumatyczny pawilon ZDF, Mediadrom, średnica dużej kopuły: 51 m (Schock 1997)

John Hedgepeth jest twórcą wielu rozwiązań wykorzystanych w astronautyce przez NASA. Jego struktury zwykle składają się do niewielkich form, co umożliwia niezwykle oszczędności w zapotrzebowaniu na przestrzeń bagażową. Rysunek 6.10 pokazuje etapy rozkładania się modułu anteny słonecznej zaprojektowany tak, by do jego montażu można było wykorzystać wysięgnik Space Shuttle. Antena ma wg projektu 400 m średnicy i buduje się ją z łączonych ze sobą małych elementów rozkładających się (Hedgepeth i Miller 1987).

Konstrukcje pneumatyczne: Można wyróżnić trzy typy konstrukcji pneumatycznych: o pneumatycznym wnętrzu użytkowym, przekrycia pneumatyczne i żebrowe konstrukcje pneumatyczne (Tarczewski 1965). Pierwszy typ wydaje się być najkorzystniejszym rozwiązaniem dla przypadku bazy marsjańskiej, ponieważ napompowywanie konstrukcji służy jednocześnie



Rysunek 6.13: Pneumatyczne miasteczko kongresowe: A) widok, B) rzut, Ibiza, ICSID Congress, (Muire 1971)



Rysunek 6.14: Wielokomorowe przekrycie pneumatyczne (typ II) (Tarczewski)



Rysunek 6.15: Magazyn o konstrukcji żebrowej (typ III) (Tarczewski)



Rysunek 6.16: Pneumatyczny pawilon wystawowy Festo z nadmuchiwanymi belkowymi i słupowymi elementami wsporczymi



Rysunek 6.17: Projekt Eden: metalowa konstrukcja z pneumatycznymi panelami (Eden Project Ltd.)

montażowi i wytworzeniu sztucznej atmosfery do oddychania. Pozostałe dwa typy można wykorzystać na Marsie na konstrukcje pomocnicze: wspierające właściwą strukturę nośną lub jako budynki magazynowe i garaże (bez sztucznej atmosfery). Przykłady konstrukcji I typu pokazują: Rys. 6.11, 6.12 i 6.13, II typu: Rys. 6.14, a III typu: Rys. 6.15 i 6.16.

W konstrukcjach pneumatycznych wykorzystuje się elastyczne powłoki z różnych materiałów. Zwykle są to tkaniny (naturalne lub sztuczne), tkaniny powleczone lub folie (Schock 1997, s. 11). Membrany mogą być przezroczyste, prześwitujące lub matowe. Same tkaniny zwykle są nieodporne na różne warunki środowiskowe, dlatego najczęściej wykorzystuje się tkaniny powleczone z włókien sztucznych i żywic nieorganicznych. Standardowo stosuje się tkaninę z włókien poliestrowych pokrytą obustronnie PCV. Warstwa ta chroni tkaninę przed promieniowaniem UV, wilgocią i ogniem. Aby zabezpieczyć powłokę przed zabrudzeniami, pokrywa się ją warstwą lakieru akrylowego lub PVDF. Innymi popularnie używanymi membranami są tkaniny z włókien szklanych powleczone PTFE lub PVC, które wykazują się większą trwałością. W konstrukcjach kosmicznych stosuje się wzmacniane włóknami membrany najwyższej jakości, dobrze znoszące ekstremalne warunki temperaturowe oraz o bardzo dużej wytrzymałości na rozciąganie i przebicie. Dla konkretnych zastosowań testuje się kompozyty z tkanin z włókien szklanych, węglowych, nylonowych, wektranowych, kewlarowych, nomeksowych i mylarowych² (Geoffrey 1998), które powleczone są żywicami z tworzyw sztucznych, np. PE, PI.

W ziemskiej architekturze pneumatycznej rzadko stosuje się folie, ponieważ są dość drogie i mniej wytrzymałe na zniszczenie niż tkaniny powleczone. Najczęściej wykorzystuje się poduszki powietrzne z ETFE (Rys. 6.17). Są one transparentne, mają dość dobrą

²Na przykład: wektran użyto w spadochronach łazików marsjańskich Opportunity i Spirit, a także posłużył on do budowy prototypu hotelu orbitalnego - Genesis. Mylar zastosowano w powłoce balonu kosmicznego Echol pełniącego funkcję radioodbiornika na orbicie okołoziemskiej. W module kosmicznym TransHab zaprojektowano powłokę na bazie włókien kewlarowych.



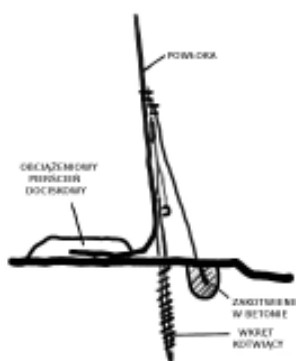
Rysunek 6.18: Kalibrator Lokacyjny Goodyear (Freeland i in. 1998)



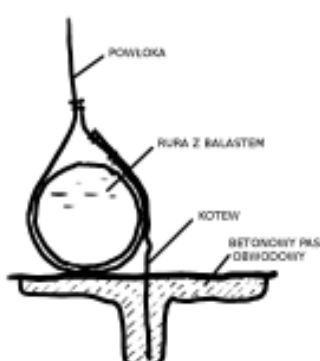
Rysunek 6.19: Soczewkowy Reflektor Paraboliczny Goodyear (Freeland i in. 1998)



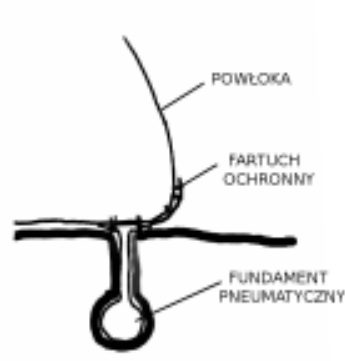
Rysunek 6.20: Kopuła Birdair z podłużnych pasów (birdair.com)



Rysunek 6.21: Zakotwienie liniowej powłoki za pomocą wkrętów stalowych i pierścienia dociskowego (Tarczewski 1965)



Rysunek 6.22: Balastowanie powłoki wiotką rurą na obwodzie (Tarczewski 1965)



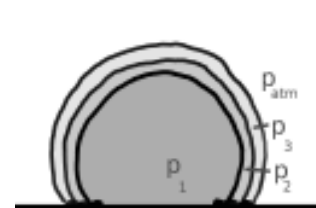
Rysunek 6.23: Fundament pneumatyczny

termoizolacyjność i charakteryzują się bardzo niską energią wbudowaną (Robinson-Gayle i in. 2001). Zastępują one najczęściej standardowe okna, choć można by z nich wykonywać całe samonośne budowle nadmuchiwane. Do konstrukcji pneumatycznych na Ziemi stosowano również z powodzeniem folie FEP (Rys. 6.11). W astronautyce obecnie największą popularnością cieszy się PI (Moore i McGee 2001).

Większe pneumatyczne formy przestrzenne nie mogą być wykonane z jednoelementowej powłoki, gdyż nie ma takich ogromnych maszyn produkcyjnych. Trzeba wtedy wykonać odpowiednią ilość płatów i połączyć je. Płaty muszą być precyzyjnie zaprojektowane, by gotowa struktura otrzymała właściwy kształt. Płatów może być różna ilość. Im jest ich więcej, tym łatwiej je wykroić i można stworzyć przy ich pomocy bardziej wyrafinowane formy budowli. Im jest ich mniej, tym mniej połączeń, które są wrażliwymi miejscami konstrukcji. Wadliwe połączenie może spowodować dehermetyzację konstrukcji i jej złożenie się. Z drugiej strony, jeśli powłoka zostanie przebita, najlepiej jest wymienić dziurawy element na nowy. Mając pewność co do jakości połączeń elementów membrany, lepiej jest zdecydować się na dużą liczbę płatów, by wymieniane fragmenty były jak najmniejsze. W zależności od rodzaju materiału wyróżnia się różne rodzaje łączenia: szycie (tkaniny), klejenie (tkaniny, folie), spawanie (folie) i nitowanie (materiały wielowarstwowe) (Tarczewski 1965). Miejsca łączenia zwykle są dobrze widoczne, dlatego kształty płatów mają wpływ na



Rysunek 6.24: Różne rodzaje elementów kotwiących dla konstrukcji pneumatycznych: A) zakotwienie balastowe w rowie, B) zakotwienie z blach skrzyconych, C) zakotwienie z pali śrubowych, D) zakotwienie z płytką nośną, E) pręt śrubowy (Gyula 1977)



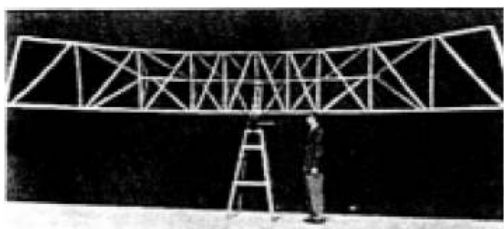
Rysunek 6.25: Wielowarstwowa kopuła z pustkami na atmosfery o coraz mniejszym ciśnieniu: $p_1 > p_2 > p_3 > p_{atm}$

estetykę konstrukcji. Kosmiczny Kalibrator Radiolokacyjny (ang. *Radar Calibration Sphere*) Goodyear został zrobiony z sześciokątów foremnych (Rys. 6.18), a kosmiczny Soczewkowy Reflektor Paraboliczny tej samej firmy – z szeregu klinów czaszy o podstawie prostokątnej (Rys. 6.19). Kopułę Birdair wykonano z podłużnych płatów (Rys. 6.20).

Posadowienie konstrukcji pneumatycznych wykonuje się poprzez kotwienie lub balastowanie w podłożu (Tarczewski 1965, s.65). Kotwienie polega na przymocowaniu budowli przy pomocy elementów kotwiących wprowadzanych w podłoże wokół struktury na całym jej obwodzie lub punktowo. W pierwszym przypadku zakotwień musi być więcej, za to mogą być mniejsze i wbite na mniejszą głębokość. W drugim przypadku kotwi może być mniej, za to muszą być duże i wprowadzone głęboko. Na Marsie kotwy wystarczyłoby wbić w twardą warstwę podłoża bazaltowego i ewentualnie uszczelnić żywicą. Powłoka może być bezpośrednio przyśrubowana do kotew lub nakłada się na nią siatkę, której końce przywiązują się do kotwi. Siatka powinna być wtedy wykonana z lin z wytrzymałych włókien, takich jak np. kewlarowe, które są nawet pięć razy wytrzymalsze od stali na rozciąganie i bardzo trudno je przeciąć (DuPont 2007). Aby konstrukcja nie unosiła się na obwodzie, stosuje się obciążeniowy pierścień dociskowy, jak to jest pokazane na Rys. 6.21. Wykonać można również specjalny pas obwodowy żelbetowy lub z elementów metalowych (Rys. 6.22). Jest on trwały, lecz trudniejszy do wykonania na Marsie. Balastowanie może zostać zrobione poprzez zawinięcie dolnego pasa powłoki wokół rury (np. z nienasiąkliwej tkaniny) wypełnionej ciężkim materiałem, np. wodą lub, jak sugeruje autorka, materiałem skalnym (na Marsie pozyskiwany by on był bezpośrednio z powierzchniowego regolitu marsjańskiego).

Konstrukcje pneumatyczne są wyjątkowo lekkie i pakowne. Do ich montażu potrzebne są jednak cięższe stacje nadmuchu. Aby zminimalizować masę sprzętu przewożonego na Marsa, można zdecydować się na posadowienie balastujące z rurą wypełnianą na miejscu regolitem marsjańskim. Zdaniem autorki można by także wykorzystać kotwienie pneumatyczne. W wydrążonych w twardej skale otworach napompowywane byłyby wtedy nieduże elementy membranowe, jak to ilustruje Rys. 6.23. Różne rodzaje elementów kotwiących opisuje Gyula (1977) (Rys. 6.24). Zubrin i Wagner (1997, s.243) przekonują, że można również przytrzymać konstrukcję pneumatyczną w podłożu poprzez wsypanie gruntu do dolnej części obłej struktury po uprzednim umieszczeniu jej w przygotowanym zagłębieniu terenu. Wymagałoby to dużych prac ziemnych, ale dzięki temu struktura pneumatyczna byłaby bardzo stabilna, a wsypany do środka grunt mógłby zostać wykorzystany np. na uprawę roślin.

W habitacie marsjańskim musi być utrzymywana atmosfera wewnętrzna o ciśnieniu wyż-



Rysunek 6.26: Pneumatyczny radar poszukiwawczy (Goodyear)



Rysunek 6.27: Pneumatyczna kratownica z łącznikami (L'Garde)

szym niż atmosfera na Marsie, żeby ludzie mogli swobodnie oddychać. Z tego powodu konstrukcje pneumatyczne na Czerwonej Planecie automatycznie uzyskiwałyby sztywność po napełnieniu ich właściwą atmosferą. Ponieważ jednak atmosfera marsjańska jest bardzo rzadka, a wewnątrz habitatu musiałaby mieć znacznie większą gęstość, powłoka konstrukcji musiałaby być wykonana z bardzo wytrzymałego materiału. Autorka zauważa, że można również wykonać strukturę wielowarstwową, w której między kolejne pary powłok wtłaczana byłaby atmosfera o coraz niższym ciśnieniu. Dzięki temu na kolejne warstwy membrany działałyby mniejsze naprężenia (Rys. 6.25).

Konstrukcje pneumatyczne usztywniane: to kratownice przestrzenne złożone ze smukłych elementów rurowych. Pręty pneumatycznej kratownicy przestrzennej może tworzyć odpowiednio przygotowany układ jednoelementowy, jak to pokazuje Rys. 6.26. Za konstrukcje bezpieczniejsze i osiągające lepszą sztywność uważa się kratownice złożone z wielu osobnych prętów rurowych połączonych ze sobą na stałe specjalnymi łącznikami (Rys. 6.27). Każdy pręt może mieć różną długość, średnicę i zakrzywienie. Geoffrey (1998) pisze, że im mniejsza średnica prętów, tym większa wytrzymałość konstrukcji na ściskanie i zginanie. Towarzyszy temu efektowi wzrost stosunku wytrzymałości do masy. Wytrzymałości na: ściskanie i zginanie rosną także, kiedy konstrukcja jest szersza (długość prętów tworzących podstawę kratownicy jest większa). Wykorzystać można w tym celu: piankę o otwartych komórkach, rozciągliwy laminat aluminiowo-kaptonowy lub żywice utwardzalne. Elementy prętowe mogą być w całości wykonane z pianki o otwartych komórkach, która pod wpływem ogrzania ulega rozszerzeniu. Ochłodzenie powiększonego elementu powoduje jego utwardzenie i usztywnienie (więcej na ten temat w części o konstrukcjach z pamięcią kształtu). Rozciągliwy laminat z folii aluminiowej i filmu kaptonowego³ przez długi czas cieszył się u badaczy szczególnym zainteresowaniem, jako że do efektu usztywnienia wystarcza bardzo cienka jego warstwa (ok. 130 mikrometrów). W ten sposób jego wkład w masę całej konstrukcji jest niewielki. Jednak jednocześnie tak cienka warstwa zapewnia strukturze niezbyt dużą wytrzymałość na ściskanie i zginanie (Lou i Feria 1998). Zatem, zdaniem autorki, pneumatyczne kratownice z laminatu aluminiowo-kaptonowego mogłyby znaleźć zastosowanie na Marsie tylko wtedy, jeśli poddawane byłyby niemal wyłącznie naprężeniom rozciągającym, np. jako obudowa ściskająca murowany (patrz. rozdz. 6.1.4) lub pneumatyczny (patrz wyżej) moduł bazy wypełniony sztuczną atmosferą. Do wykonania prętów rurowych kratownicy pneumatycznej użyć można również tkaniny uszytej z wytrzymałych włókien, np. szklanych, węglowych, nylonowych, kewlarowych itd. (Geoffrey 1998). Usztywnienie

³Kapton – cienki film z poliimidu produkowany przez firmę DuPont o wyjątkowych właściwościach wytrzymałościowych, izolacyjnych, mechanicznych, termicznych i in.



Rysunek 6.28: Produkty z SMP (CRG Inc.)



Rysunek 6.29: Antena kosmiczna z elementów optycznych SMP (CRG Inc.)

uzyskuje się wtedy poprzez zaimpregnowanie tkaniny odpowiednią żywicą. Freeland i in. (1998) wymieniają rodzaje żywic, które mogą zostać wykorzystane do tego typu konstrukcji w warunkach kosmicznych. Są to żywice twardniejące pod wpływem: odparowywania z nich wody, podgrzania lub schłodzenia, napromieniowania falami UV lub podczerwonymi. Na Marsie można użyć większość z nich. W laboratoriach L'Garde Inc. wykonano wiele badań w celu ustalenia najbardziej korzystnego w warunkach kosmicznych kompozytu z tkaniny i żywicy. Okazało się, że optymalnym rozwiązaniem jest użycie tkaniny z nici grafitowych oraz hydrożelu (Geoffrey 1998, Lou i Feria 1998). Konkretnie dla warunków marsjańskich mógłby zostać wyspecyfikowany inny materiał.

W laboratoriach L'Garde Inc. opracowano modułarną kratownicę pneumatyczną usztywnianą wykorzystującą takie właśnie łączniki (Geoffrey 1998). Tu długość prętów została sprecyzowana (150 cm). Możliwe jest wykonanie także prętów o innych gabarytach (przy wykorzystaniu podobnych łączników). Należy jednak pamiętać, że smukłość, a także inne parametry, mają wpływ na stateczność całej struktury.

Konstrukcje z pamięcią kształtu: SMP to polimery z pamięcią kształtu (ang. *Shape Memory Polymers*). Są to bardzo lekkie materiały o niezwykłych właściwościach. Występować mogą one w dwóch stanach: jako rozciągliwy, elastyczny, giętki materiał podobny do gumy lub jako sztywny, wytrzymały, twardy materiał (Sokolowski i Hayashi 2003). Przejście z jednego stanu w drugi następuje w pewnej konkretnej temperaturze, tzw. temperaturze przejścia (T_g). Można uzyskać materiały ulegające przemianie zarówno w bardzo wysokich temperaturach, jak i kriogenicznych warunkach (CRG 2007). SMP jest kształtowany w temperaturze wyższej niż T_g . Wtedy nadaje się mu zaprojektowaną (docelową) formę. Materiał jest łatwy w urabianiu i przycinaniu. Występuje jako plastik, pianka lub żywica. SMP produkować można w różnorodnej formie: jako arkusze, bloczki, elementy z perforacjami lub o strukturze plastra miodu, soczewki i zwierciadła (Rys. 6.28, 6.29). Raz ustalona forma zostaje przez materiał zapamiętana. W czasie kiedy element jest utrzymywany w temperaturze powyżej T_g , jest giętki i można go zginać, skręcać, rolować i zgniatać. Upakowany, ściśnięty element może nawet ponad czterokrotnie zmniejszyć swoją objętość. Jeśli materiał zostanie wtedy ochłodzony, utrzyma się jako taki złożony pakunek (mówimy wtedy o hibernacji). Czas magazynowania jest nieograniczony. W momencie, gdy zostanie ogrzany powyżej T_g , następuje jego szybkie samoistne rozłożenie się i element przyjmuje wcześniej nadany kształt. Taki rozłożony element można usztywnić poprzez ochłodzenie i

uzyskać w ten sposób twardy, wytrzymały mechanicznie element gotowy do użycia w przewidzianym dla niego celu. Procesy ochładzania i ogrzewania można przeprowadzać wielokrotnie bez efektu zmęczenia materiału. SMP cechują: wysoka wytrzymałość na uderzenie (efektywnie absorbuje energię uderzenia), bardzo dobra termoizolacyjność, niska przewodność elektryczna i niewrażliwość na promieniowanie. Materiał ten również dobrze znosi przeciążenia (jakie towarzyszą startom rakiet). SMP można również wzmacniać włóknami (np. węglowymi) w celu uzyskania większej wytrzymałości materiału (CRG 2007). Kompozyt można ciąć maszynowo lub laserem. Jako przykłady jego zastosowania podaje się m. in.: kadłuby rakietowe, konstrukcje kosmiczne, materiały architektoniczne, artykuły sportowe. Nad wykorzystaniem SMP w konstrukcjach kosmicznych pracowano w laboratoriach DARPA i NASA (Lin i in. 2006).

Bazę marsjańską można by wykonać z takich elementów z SMP, które na czas transportu byłyby składane i przetrzymywane w stanie hibernacji. Po przybyciu na miejsce, byłyby ogrzewane w celu rozłożenia, a następnie ochładzane, by uzyskać docelową formę usztywnioną. Wadą tego rozwiązania jako wznoszenia bazy na Marsie jest to, że montaż wymaga dostarczenia energii ciepłej. Ale można zaprojektować niezbyt wysoką temperaturę przejścia, a na Marsie do ogrzania użyć zwierciadeł skupiających promienie słoneczne, aby instalacja elementów z SMP nie była zbyt energochłonna i droga.

SMP mogą zostać wykorzystane na różne sposoby w projekcie architektonicznym bazy marsjańskiej: moduły mieszkalne, konstrukcje wsporcze, elementy konstrukcyjne, elementy okienne, elementy skupiające światło słoneczne do oświetlania wnętrza, śluzy, hangary, meble, sprzęty domowe, elementy dekoracyjne, warstwy termoizolacyjne, powłoki elektroizolacyjne, pojemniki, zbiorniki itp.

Wnioski dla architekta

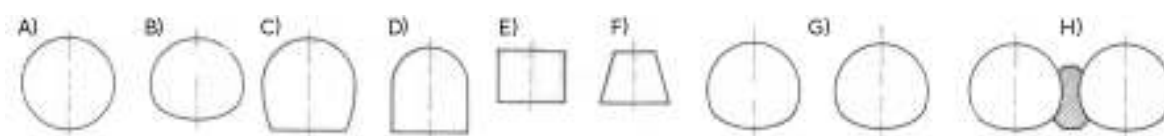
Konstrukcje rozszerzalne są bardzo lekkie i składać je można do pakunków niewielkich rozmiarów. Dlatego są najbardziej opłacalnymi strukturami budowlanymi, jakie można przetransportować z Ziemi na Marsa. Ich montaż jest bardzo prosty i praktycznie nie wymaga się przy nim wyspecjalizowanej kadry robotników. Może on być także w pełni zmechanizowany. Konstrukcje te zostały już wielokrotnie przetestowane w warunkach kosmicznych. Konstrukcje te dzięki swoim unikatowym właściwościom znaleźć mogą całą masę zastosowań na Marsie przy budowie bazy – jako struktura nośna lub jako elementy wnętrza.

1. Konstrukcje pneumatyczne (o wnętrzu nadmuchiwym) przyjmują tylko kształty obłe. Można je wygubić na rzecz tradycyjnych wnętrz prostopadłościennych poprzez podział przestrzeni na mniejsze moduły. Wprowadzać również można sztywne elementy, które będą profilować elastyczną strukturę.
2. Konstrukcje rozkładające się to przede wszystkim struktury kratownicowe, które wymagają przekrycia w postaci paneli lub powłok.
3. Używając transparentne lub prześwitujące powłoki i panele można wpłynąć znacznie na pozytywny odbiór i estetykę budynku bazy. Dzięki takiemu rozwiązaniu światło dzienne będzie mogło dostawać się do wnętrza habitatu, a nocą oświetlony budynek będzie łatwo dostrzegalny z daleka dla misji powracających z prac w terenie. Na membranach można uzyskiwać ciekawe efekty świetlne, które mogłyby zostać wykorzystane do urozmaicenia wnętrza habitatu.

4. Konstrukcje rozszerzalne są lekkie i można wielokrotnie je składać i rozkładać w prosty i szybki sposób. Dlatego nadają się znakomicie do kreowania wnętrz fleksybilnych, wychodzących naprzeciw zmieniającym się wymaganiom mieszkańców bazy.
5. Pneumatyczne struktury to najbardziej efektywny typ konstrukcji rozszerzalnej, jaki można sprowadzić z Ziemi. Lekkie i pakowne powłoki w czasie transportu zajmować będą stosunkowo niewielką przestrzeń bagażową w rakiecie, później zaś po rozłożeniu dawać będą sporą przestrzeń użytkową. W razie nieudanego lądowania transportu, trudniej jest je uszkodzić niż np. metalowe konstrukcje, ponieważ nie są kruche, ale elastyczne i częściowo rozciągliwe (Kozicka 2004c).
6. Konstrukcje rozszerzalne mogą osiągać po rozłożeniu bardzo duże rozmiary (duża kopuła Mediadrom'u ma średnicę ponad 50 m!).
7. Sposób projektowania elementów tworzących powłoki konstrukcji rozszerzalnych – płatów materiału – ma wpływ na estetykę budowli, przede wszystkim w przypadku gdy są one prześwitujące lub przezroczyste.
8. Bezpieczeństwo konstrukcji pneumatycznych można zwiększyć poprzez zabezpieczenie ich przed złożeniem się za pomocą dodatkowej struktury wzmacniającej: z siatki spinającej, zewnętrznej pneumatycznej czy pneumatycznej usztywnianej konstrukcji belkowej lub żebrowej.
9. Konstrukcje pneumatyczne wymagają zakotwienia w gruncie i balastowania ich, przede wszystkim na obrzeżu. Fundament z gruntu marsjańskiego ubitego do poziomu posadzki wewnątrz struktury obłej zapewnia optymalny rozkład naprężeń w powłoce i świetną stabilizację w podłożu.
10. Konstrukcje rozszerzalne nadają się świetnie na konstrukcje pomocnicze i tymczasowe bazy marsjańskiej, np. garaże, magazyny, osłony itp.
11. Konstrukcje rozszerzalne mogą znaleźć zastosowanie jako elementy podziału przestrzeni wewnątrz budowli bazy, np. w postaci ścianek działowych, stropów, antresol, ogrodzeń, balustrad itd.
12. Konstrukcje rozszerzalne są bardzo wytrzymałe. Należy jednak pamiętać, że różnica ciśnień, jaką będą musiały wytrzymywać takie budowle, będzie bardzo duża. Należy wtedy zaprojektować strukturę, która znieśie takie obciążenia. Przekrycia muszą być wykonane z bardzo wytrzymałych na rozciąganie materiałów. Zapewnić też trzeba bezpieczne miejsca połączeń. Można częściowo uniknąć tego problemu poprzez zastosowanie płaszcza złożonego z kilku powłok. Między kolejne powłoki (licząc od wewnątrz) wtłaczane byłyby gazy pod coraz mniejszym ciśnieniem (Rys. 6.25).

6.1.3. Konstrukcje drążone

Konstrukcje drążone w górnictwie nazywane są *wyrobiskami*. Wyrobisko to odśłonięcie, jakie uzyskuje się w trakcie prowadzenia prac górniczych w górotworze. W przypadku bazy marsjańskiej staje się ono formą architektoniczną, ponieważ ma pełnić funkcję habitatu. Rozróżniamy dwa podstawowe rodzaje wyrobiska: *odkrywkowe* i *podziemne*. Wyrobisko odkrywkowe (odkrywka) to powierzchniowe odśłonięcie górotworu. Wyrobisko podziemne



Rysunek 6.30: Typowe profile przekroju wyrobisk górniczych A-F, przykłady G i H pokazują wyrobiska równoległe (Müller-Salzburg 1978)

to pusta przestrzeń wydrążona w górotworze otoczona dookoła skałami (Teberia 2007). Wyrobisko podziemne może przybierać formę: tunelu, szybu lub komory.

Przekroje wyrobisk mogą być różne. Ich profil podyktowany jest warunkami geologiczno-górnictwymi oraz zapotrzebowaniem na konkretną funkcjonalną przestrzeń. Typowe kształty pokazane są na schematach na Rys. 6.30. Kołowy przekrój (A) jest najbardziej charakterystyczny dla szybów. Wyrobiska E i F bezwzględnie wymagają wzmocnień, nie są więc dobrym rozwiązaniem dla bazy marsjańskiej, dla której preferowane są kształty obłe. Przekroje sklepienne C i D wydają się być bardziej adekwatne w tym przypadku. Jeśli chodzi o wyrobiska równoległe, należy zachować między nimi bezpieczną odległość (G) albo konieczny jest element łączący (H), zwykle robiony z żelbetu.

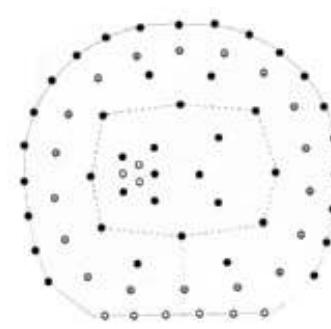
Budowę konstrukcji drążonych umożliwiają różne techniki górnicze. Ich dobór zależy od warunków geologicznych w danym miejscu. Zróżnicowane uwarstwienie podłoża wymagać może użycia kilku technik.

Na Marsie do usuwania regolitu oraz urobku zastosować należałoby **kopanie**. W tego typu pracach budowlanych wykorzystać można prosty sprzęt ręczny lub koparki. Kopanie ręczne jest pracochłonne. Pozwala za to na większą dokładność, dlatego korzystne jest szczególnie w pracach wykończeniowych. Koparki pozwalają na mechanizację pracy. W warunkach marsjańskich kopanie przy ich pomocy zwalniałoby ludzi od wyczerpującej i niebezpiecznej w ekstremalnych warunkach pracy. Gertsch i Gertsch (1995) analizują różne typy koparek pod kątem ich przydatności na Marsie. Koparka sprowadzana na Marsa nie musi być duża i ciężka. To właśnie małe koparki spalinowe najlepiej sprawdzają się w bardzo trudnych warunkach gruntowych. W zależności od długości ramienia koparki zmienia się głębokość, na jaką sięgnąć może maszyna. W przypadku najmniejszych koparek to ok. 2 m. Maszyny mogą wszakże zjeżdżać po rampach do wykopanego przez siebie niższego poziomu i tam znowu rozpoczynać pracę.

Na Marsie do urabiania skał średniej zwięzłości oraz wykonywania otworów wiertniczych w skałach zwięzłych i bardzo zwięzłych zastosować trzeba by **wiercenie**. Ręczne wiertarki są stosunkowo lekkie i pakowne, więc ich sprowadzenie na Marsa byłoby ekonomiczne. Jednak używanie ich jest bardzo wyczerpującą pracą i stosunkowo niebezpieczną. Dlatego nie zaleca się ich stosowania do budowy bazy na Marsie. Na Ziemi człowieka często zastępują maszyny wiertnicze. Do operowania nimi wystarczy jedna osoba. Zautomatyzowanie prac prowadzonych przez maszynę wiertniczą jest dużym wyzwaniem dla współczesnej techniki. Jednak maszyna zaopatrzona w kamery i czujniki mogłaby być sterowana na odległość. Górniczy wóz wiertniczy to maszyna na kołach zaopatrzona w kilka wiertel na zginających się ramionach pneumatycznych (Rys. 6.31). Często może on wykonywać odwierty zarówno w terenie płaskim, jak i w pochyłych zboczach czy pionowych skarpach. Jest to jednak maszyna dość ciężka, której transport na Marsa byłby kosztowny. Wymagałaby też części zamiennych, przede wszystkim wiertel. Za to raz sprowadzona posłużyć by mogła w szeregu prac.



Rysunek 6.31: Wóz wiertniczy (Deilmann-Haniel mining systems)



Rysunek 6.32: Przykładowy schemat rozmieszczenia otworów wiertniczych w przodku tunelu (Kuczyk 2002)

Gertsch i Gertsch (1995) wspominają także o TBM-ach (ang. *Tunnel Boring Machine*). Są to zintegrowane olbrzymie maszyny wiertnicze do budowania bardzo długich prostych tuneli w niemalże dowolnych warunkach geologicznych. Transport tradycyjnego ziemskiego TBM-a na Marsa byłby niezwykle drogi.

Do urabiania marsjańskich skał zwięzłych i bardzo zwięzłych konieczne byłoby wykorzystanie odpowiednich technik rozsadzania. **Rozsadzanie otworowe** jest obecnie najbardziej rozpowszechnioną techniką górnictwa drążenia w skałach twardych. Polega ono na wydrążeniu najpierw wąskich otworów, a później rozsadzanie skały dookoła nich. Im większy przekrój wyrobiska i im twardsza skała, tym więcej otworów wiertniczych należy wykonać i w większym zagęszczeniu. Aby zwiększyć sprawność wybuchu, otwory bliżej środka przekroju drążonego otworu są większe niż te na obrzeżach. Zwiększając liczbę małych otworów wiertniczych przy krawędzi zaprojektowanego przekroju, uzyskuje się otwór drążony o gładziej ścianach i o precyzyjniejszym kształcie. Mówimy wtedy o *rozsadzaniu konturowym*, inaczej obrysowym lub gładkościennym (Hobler 1972, s.207). Przykładowe rysunki metryki strzałowej pokazano na Rys. 6.32. Rozróżniamy rozsadzanie otworami krótkimi i długimi. W pierwszym przypadku otwory mają długość od kilkunastu cm do 6 m, w drugim – ich długość przekracza 6m. Im dłuższe otwory, tym szybciej powstaje kolejny odcinek wyrobiska; im krótsze – tym bardziej wyrafinowany kształt może mieć struktura podziemna. Rozsadzanie długimi otworami jest bardzo efektywne: w wyniku jednego wybuchu można uzyskać znaczną przestrzeń, zaledwie kilka wybuchów może wystarczyć do wykonania bardzo dużej kubatury. Jednak metoda ta wymaga maszyny o długich wiertłach, jak np. ciężki wóz wiertniczy, który dodatkowo pobiera dużo energii. Po każdym wybuchu następuje długi czas oczekiwania na opadnięcie pyłów i oczyszczenie otworu z urobku oraz gazów wytworzonych w czasie wybuchu, nim będzie można wykonywać dalsze prace. Rozsadzanie krótkimi otworami wymaga lekkiego sprzętu niewielkich rozmiarów. Jest on zwykle wielokrotnego użytku, niektóre maszyny nie wymagają także części zamiennych przy zachowaniu niezmienniej przydatności do użycia. W trakcie prac górniczych można dostosowywać się do napotykanym zmiennym warunków geologiczno-górnictwowych (np. sterować ciśnieniem wtryskiwanych gazów: większe dla skał bardziej zwięzłych i mniejsze dla skał słabszych; w ten sposób praca staje się bardziej efektywna i energooszczędna). Technika ta jest mniej inwazyjna dla środowiska: mniejsze naprężenia w górotworze, mniejszy hałas oraz bezpieczniejsza dla ludzi – człowiek może znajdować się w pobliżu miejsca drążenia bez obaw o swoje życie i zdrowie. Rozsadzanie krótkimi otworami jest za to bardziej czasochłonne. Może wynikać konieczność większego zagęszczenia otworów wiertniczych, jeśli stosuje się

sprzęt nie tak wydajny jak MW.

Otwory wiertnicze można wykonywać na różne sposoby: mechaniczne (wiertarkami), fizykochemiczne (termiczne, wybuchowe, plazmowe, ultradźwiękowe, laserowe i in.) lub kombinowane (Hobler 1972, s.268), (Hobler 1982, s.206). Każdy sposób wiercenia wymaga nieco innego sprzętu. W przypadku wiercenia mechanicznego na Marsie najlepiej sprawdziłyby się wiertarki obrotowo-udarowe, które polecane są do skał zwięzłych i bardzo zwięzłych. Wiercenie wybuchowe nadaje się do skał dowolnej zwięzłości i jest bardzo wydajne. Wiercenie plazmowe i laserowe jest niezwykle efektywne, jednak także bardzo energochłonne. Badania laboratoryjne wykazały, że mikrofały efektywnie rozsadzają skały, nawet te dość zwięzłe, jak granity czy bazalty. Nadają się tylko do skał suchych. Fale te emituje urządzenie zwane magnetronem. Jego zaletą jest mała masa i możliwość wielokrotnego użytku przy małych poborach prądu. Efektywne jest również wiercenie chemiczne. Dobór substancji chemicznych musiałby być przeanalizowany pod kątem wykorzystania w warunkach marsjańskich.

Skały dookoła otworów wiertniczych można rozsadzać na różne sposoby, stąd wyodrębniła się rozmaite metody rozsadzania otworowego: strzelanie otworowe materiałami wybuchowymi, metoda kardoks i erdoks, rozsadzanie statycznym łamaczem skał, rozsadzanie poprzez wtrysk piany i rozsadzanie plazmą. Tylko materiały wybuchowe pozwalają na rozsadzanie długimi otworami.

Strzelanie otworowe materiałami wybuchowymi to najbardziej rozpowszechniona i bardzo ekonomiczna metoda drążenia otworów w skałach zwięzłych i bardzo zwięzłych na Ziemi. Wykorzystuje się w niej MW różnego rodzaju⁴. Dobór MW zależy przede wszystkim od warunków geologiczno-górnictwowych. Także zwraca się uwagę na dostępność materiałów na lokalnym rynku w celu obniżenia kosztów transportu. Czasem MW przygotowuje się na miejscu. Do inicjacji wybuchu używa się najczęściej spłonek i elektrycznej sieci przewodów strzałowych (może być także sieć nieelektryczna z rurek Nonel⁵). Do zatkania otworu strzałowego potrzebna jest przybitka. Jak pisze Hobler (1972, s.175), przybitka odgrywa zasadniczą rolę dla pracy wybuchu. Może być ona wykonana z rozmaitych materiałów. Na Marsie miejscowy grunt może z powodzeniem posłużyć jako przybitka sypka. Przybitka z materiałów sypkich wykazuje wiele zalet, np. możliwość zmechanizowania ładowania otworów, dość niski koszt przygotowania i transportu oraz wysoki współczynnik tarcia. Ponadto część sypkiej przybitki zostaje roztopiona w czasie wybuchu, przekształcając się jakby w monolitowy korek o dużej wytrzymałości. Stosując rozszerzające się przybitki, np. z odpowiednio wiążącego betonu można znacząco zwiększyć objętość rozpadania się skały, a zużycie materiału wybuchowego spada nawet o 30-40% (Hobler 1972, s.186).

Stosowanie elektrycznej sieci strzałowej pozwala na odstrzelanie materiałów wybuchowych z precyzyjnie ustawianym opóźnieniem. Zwykle odcinek czasu dzielący wybuchy sąsiadujących otworów strzałowych jest bardzo krótki – tysięczne części sekundy. Mówimy wtedy o *strzelaniu milisekundowym*. Jak wyjaśnia Hobler (1972, s.187), milisekundowe strzelanie stosuje się w celu obniżenia sejsmicznego działania wybuchu oraz dla polepszenia

⁴Szczegółowy katalog MW, a także sprzętu strzałowego można znaleźć w książce Batko P., Ślęzak J., Lewicki J., Morawa R. „Technika strzelnicza 1: górnicze środki strzałowe i sprzęt strzałowy”, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 1998

⁵Rurki Nonel posiadają plastikową powłokę odporną na uszkodzenia mechaniczne i wysoką temperaturę. Wewnętrzna warstwa powłoki pokryta jest sproszkowanym, równomiernie rozmieszczonym, zmodyfikowanym wtórnym materiałem wybuchowym. Detonacja zachodzi wewnątrz rurki bez względu na jej długość, nie powodując rozerwania (Teberia 2007)



Rysunek 6.33: Wnętrze wyrobiska o gładkich ścianach, podziemne (laboratorium w Winnipeg) (Kuczyk 2002)



Rysunek 6.34: Warstwa urobku po rozsadzeniu długimi otworami (laboratorium w Winnipeg) (Kuczyk 2002)



Rysunek 6.35: Wygląd lica ściany tunelu po wykonaniu zwykłych i ciągłych otworów wiertniczych (Noma i Tsuchiya 2003)

rozdrabniania skały. Wpływa to na zwiększenie wydajności robót strzałowych. Strzelanie z opóźnieniem co najmniej 50 ms wyzwała na tyle małe wibracje w górotworze, że można wykonywać dwa równoległe tunele blisko siebie (Wu i in. 2004). Ruston (1998) tłumaczy, że jeśli na uwadze ma się przede wszystkim zmniejszenie wibracji towarzyszących wybuchom, należy stosować strzelanie mikrosekundowe. Natomiast jeśli ważniejsza jest dokładność obrysu, lepiej jednocześnie odpalać wszystkie ładunki w strzelaniu konturowym.

Strzelanie długimi otworami (do ponad 8,5 m) pozwala na szybkie i efektywne wykonywanie otworów drążonych w skałach o dużej twardości, np. granitach. Dzięki rzetelnemu opracowaniu metryki strzałowej można uzyskać wyrobisko o samopodtrzymującym się sklepieniu i bardzo gładkich ścianach. Wytworzony urobek zaś składa się ze skał o dobrym rozdrobnieniu i podobnych gabarytach, dzięki czemu jego usuwanie nie następuje trudności. Takie osiągnięcia zanotowano przy budowie laboratorium naukowego w Winnipeg, Kanada (Kuczyk 2002). Wygląd wyrobiska tuż po rozsadzeniu otworowym pokazano na Rys. 6.33. Widać, że urobek jest idealnie rozkruszony na bardzo małe fragmenty. Na Rys. 6.34 pokazano wyrobisko oczyszczone z urobku. Na ociosach i stropie widać tylko niewielkie nierówności. Zastosowano tu strzelanie konturowe. Największą wadą strzelania otworowego jest wysoki poziom zapylenia tuż po wybuchu. Aby można było prowadzić dalej prace, należy odczekać nawet kilka godzin na opadnięcie pyłu (Zabuski 2006) lub odsysać zanieczyszczoną atmosferę z wnętrza. Odsysanie przyspiesza prace, ale wymaga dodatkowego sprzętu pobierającego energię, co jest niekorzystne w przypadku wykonywania bazy na Marsie.

Rozsadzanie otworowe nie ogranicza się tylko do strzelania materiałami wybuchowymi. Istnieją także inne wysoce efektywne metody, stosowane nawet w przypadku skał zwięzłych i bardzo zwięzłych. Jedną z nich jest metoda PCF (ang. *Penetrating Cone Fracture* – rozkruszanie stożkowe). Polega ona na kontrolowanym kruszeniu skały poprzez wywołanie nadciśnienia w płytkich otworach o długości ok. kilkunastu cm. Naprężenia kruszące powodują, że po odpadnięciu urobku powstaje płytka stożkowata dziura. Metodę tą opisuje Singh (1998). Jest to jeden z najbardziej energooszczędnych sposobów rozłupywania skały. Jest także stosunkowo bezpieczny i stosując go wywiera się niewielki wpływ na środowisko skalne. Metoda PCF jest konkurencyjna dla strzelania MW pod względem niskiego pylenia.

Można wyróżnić kilka sposobów stosowania tej metody przy użyciu różnych urządzeń. Jednym z nich jest statyczny łamacz skał (ang. *Static Rock Breaker*). Jest on zbudowany z prętów ze stopu niklowotytanowego. Jest to stop z pamięcią kształtu. W pierwszej fazie rozsadzania pręty są ściśnięte do minimalnych rozmiarów. Podczas ogrzewania zwiększają

swoją objętość. Towarzyszy temu wywieranie nacisku na otaczającą skałę i kruszenie jej. Po spadku temperatury pręty z SMA kurczą się i następuje całkowity zwrot nakładu siły. Dzięki temu technika ta jest bardzo efektywna i energooszczędna, zaś urządzenie nie ulega zużyciu. Badania wykazują, że również działa on szybko – rozkruszanie betonu i granitu następuje w ciągu 2-5 minut.

Inna metoda PCF to rozsadzanie plazmą (ang. *plasma blasting*). Jest ona bardzo energochłonna, przy czym odznacza się dużą skutecznością także w przypadku bardzo twardych skał. Zaletą jej jest brak występowania niepożądanych efektów ubocznych, takich jak powstawanie pyłu czy nadmierny rozrzut urobku.

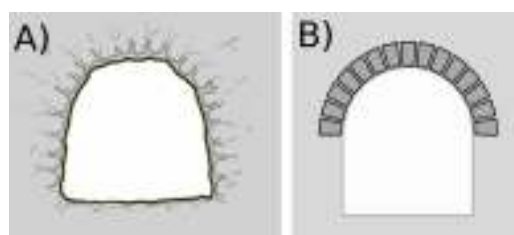
Skałę można rozsadzać także przy pomocy sprężonych gazów. Na Ziemi wykorzystuje się do tego celu powietrze atmosferyczne (metoda erdoks, ang. *airdiox*) lub dwutlenek węgla (metoda kardoks, ang. *cardox*). Rozsadzanie skał metodą kardoks polega na gwałtownej ekspansji sprężonego CO₂ wylatującego z nabojnicy umieszczonej w otworze wiertniczym (Hobler 1982, s.387). Na Ziemi stosuje się zwykle ciekły CO₂, ale racjonalizatorski pomysł (autorstwa polskich naukowców) pozwala na wykorzystanie suchego lodu, który ładowany może być ręcznie, co znacznie usprawnia prace. Jest to szczególnie korzystna metoda w warunkach marsjańskich, gdzie występują duże zasoby dwutlenku węgla. Singh (1998) objaśnia, że nabojnica to stalowa rura o długości ok. 125 cm, która może być wielokrotnie używana, praktycznie nie ulegając zużyciu.

Noma i Tsuchiya (2003) przedstawiają alternatywną metodę wykorzystującą ciągłe otwory wiertnicze do wykonywania gładkościennych otworów drążonych. Zapewnia ona zminimalizowanie wibracji w środowisku skalnym w czasie rozsadzania. Metoda ta z powodzeniem została zastosowana w budowie dwupasmowego tunelu drogowego, w którego pobliżu znajdowało się wiele domów. Metoda polega na zwiększaniu powierzchni odsłoniętej poprzez wykonywanie podłużnych otworów wiertniczych oraz zwykłych, w dużym zagęszczeniu, jak to pokazano na Rys. 6.35. Do rozkruszania skały używa się specjalnego łamacza skał. Metoda ta nadaje się nawet dla bardzo twardych skał. Jest efektywna i bezpieczna dla środowiska. Można przy jej użyciu wykonywać wyrobiska w niedużej odległości od siebie bez potrzeby wykonywania wzmocnień w uzyskanych wyrobiskach, co byłoby szczególnie korzystne w przypadku budowy bazy na Marsie.

Obudowy wyrobisk górniczych

Wydrążenie otworu w górotworze powoduje zmiany naprężeń w środowisku skalnym. Kiedy fragment górotworu zostanie usunięty, pozostała jego część dopasowuje się do nowych warunków. Chudek (1986) pisze, że skały odsłonięte wyrobiskami mogą mieć różną stateczność: stateczność trwałą, stateczność chwiejną lub niestateczność całkowitą. Statecznością trwałą odznaczają się skały lite i częściowo spoiste, m. in. bazalty. Jak przekonuje Chudek (1986), wyrobiska w skałach o dużej wytrzymałości na ściskanie zachowują stateczność przez długi czas i nie wymagają żadnego specjalnego wzmocnienia górotworu.

Zakładając, że na Marsie baza drążona będzie w wytrzymałych bazaltach, powinno się uzyskać samopodtrzymujące się sklepienie, nie wymagające żadnych zabezpieczeń (Rys. 6.36 A). Jak tłumaczy Zabuski (2006), skały w takim wyrobisku zaciskają się na zasadzie łuku z kłinców (Rys. 6.36 B). Tam, gdzie skały są słabsze lub uwarstwienie ich jest niekorzystne, konieczne są obudowy. Na obudowę składa się podpora, tzw. *support* i okładzina, tzw. *lining*. **Podpora** to element obudowy najbliższy skale, odpowiedzialny przede wszystkim za wzmocnienie jej stateczności. **Okładzina** to zwykle osobna konstrukcja budowlana we-



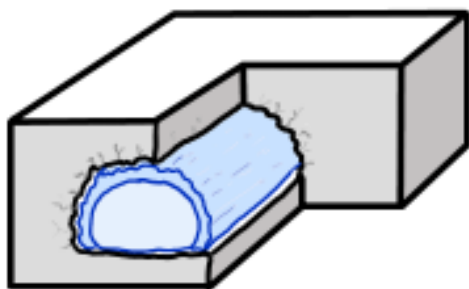
Rysunek 6.36: A) samopodtrzymujące się sklepienie, B) łuk z klinów

wnątrz wyrobiska, która stanowi estetyczną oprawę dla funkcji, jaka będzie się tam mieścić. Podporę zawsze oddziela się od okładziny pustką powietrzną, styropianem, filcem itp. (Zabuski 2006).

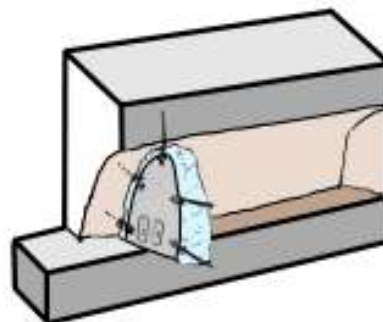
Wykonywanie obudowy wiąże się ze znacznym wzrostem kosztów, szczególnie jeśli chodzi o okładzinę. W przypadku Marsa mógłby się to okazać czynnik zaważający na opłacalności całego przedsięwzięcia. Należy jednak pamiętać, że na Ziemi zwykle projektuje się konstrukcje podziemne dopasowując się do warunków miejsca wybranego na budowę. Na Marsie można poszukać takiej lokalizacji bazy, gdzie spodziewana jest największa stateczność wyrobisk. Dodatkowo, wybierając mniej inwazyjną dla środowiska skalnego metodę drążenia, mamy większą szansę na wyeliminowanie zapotrzebowania na obudowę. W przypadku rozsadzania materiałami wybuchowymi strzelanie gładkościenne zapewnia większą stateczność wyrobiska. Na Marsie można zrezygnować z ciężkiej okładziny, która na Ziemi zwykle wykonywana jest z żelbetu.

Autorka wyszczególniła cztery metody zabezpieczania wyrobisk, które mogłyby zostać wykorzystane na Marsie stosunkowo niskim kosztem, a jednocześnie dobrze spełniałyby swoją funkcję. Opisano kolejno obudowy: pneumatyczną, natryskową, kotwiovą i plazmową.

Obudowa pneumatyczna: Ciśnieniu górotworu ponad wyrobiskiem można przeciwstawić się takim samym ciśnieniem, ale np. sprężonych gazów. Można by wykonać poduszkę pneumatyczną zaprojektowaną tak, by podtrzymywać strop. Rozpięta byłaby nad sufitem przestrzeni bytowej, jak pokazuje to Rys. 6.37. Powstałaby w ten sposób pneumatyczna obudowa, w której należałoby tak dobrać ciśnienie sprężonych gazów, aby jak najlepiej podparła ona strop (ciśnienie musiałoby też być nieco niższe niż w części mieszkalnej). Poduszka pneumatyczna musiałaby jednocześnie nie wywierać na niego zbyt dużego nacisku, które mogłoby spowodować nadmierne naprężenia rozciągające w górotworze. Poduszka



Rysunek 6.37: Podpora pneumatyczna wyrobiska



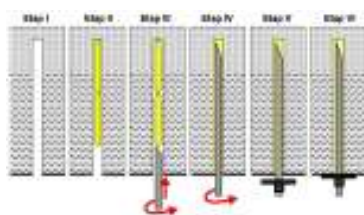
Rysunek 6.38: Ścianka wejściowa uszczelniająca wyrobisko

powietrzna musi być wykonana z materiału trudnościeralnego i bardzo wytrzymałego na przebicie.

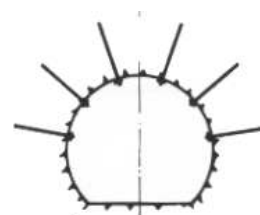
Obudowa natryskowa: Przez obudowę natryskową, jak objaśnia Chudek (1986), rozumie się obudowę wykonaną z betonu natryskowego (torkretu) układaną na obnażone powierzchnie wyrobiska za pomocą specjalnego urządzenia, np. torkretnicy. Torkret przyczepia się do powierzchni skalnych, uszczelniając otwarte szczeliny i zasklepiając luźne partie skalne, przeciwdziałając ich poluzowaniu. W górotworze mało zwężonym konieczne jest zbrojenie betonu siatką lub kotwiami. Warstwa torkretu chroni wyrobisko także przed ogniem i wilgocią. Cienka warstwa torkretu nie tworzy estetycznej obudowy wyrobiska, ponieważ widoczne są nierówności. Dopiero grubsza warstwa zapewnić może gładkość ociosów i stropu. Osprzęt który należałoby sprowadzić na Marsa w celu wykonania obudowy natryskowej to: mieszalnik, torkretnica, wentylator powietrza sprężonego i dysza do natryskiwania. Torkret to bardzo szybko wiążący beton. Czas jego wysychania zależy od zastosowanych dodatków. W warunkach marsjańskich nie występuje woda w stanie ciekłym i mimo krótkiego czasu zastygania betonu mogłoby dojść do niewłaściwego odparowywania wody czy – w gorszym przypadku – jej zamarzania. Dlatego proponuje się hermetyzację wyrobiska w celu wytworzenia tam warunków pozwalających na torkretowanie. Uszczelnienie mógłby zapewnić korek z poduszki powietrznej wypełnionej sprężonymi gazami umieszczony u wejścia do korytarza podziemnego. Ewentualnie można by użyć do tego sztywnej ściany, z uszczelnieniem na obrzeżu poduszką powietrzną, wtryskiwaną pianką czy inną izolacją (Rys. 6.38). Gotowa ściana mogłaby mieć okna, drzwi i służyć i stanowić ostateczną bramę wejściową do bazy. Ścianka musiałaby być dodatkowo zakotwiona w skale.

Obudowa kotwiowa: Na Ziemi za jedną z ekonomiczniejszych i jednocześnie bardzo efektywnych obudów uważa się obudowę kotwiową. Metodę wykonywania tego typu obudowy opisują Stopyra i in. (2004). Polega ona na wbijaniu kotwi w wywiercone wcześniej szczeliny w stropie i ociosach wyrobiska. Aby kotwie dobrze trzymały się w otworach wiertniczych, należy użyć nabojów klejowych (najprawdopodobniej musiałyby one być sprowadzane z Ziemi). Etapy zabudowy obudowy kotwiowej pokazano na Rys. 6.39. Obudowa ta jest cenowo konkurencyjna dla skomplikowanych obudów podporowych. Jednocześnie jest najdroższą z tu opisywanych. Jak wyjaśniają Huang i in. (2002), obudowa kotwiowa montowana jest w sklepieniu po łuku. Przekrój wyrobiska z kotwiami ma naśladować arkadę z kłińców. Kotwie stabilizują skały poprzez sztuczne rozdzielanie ich i ściskanie właśnie na wzór kłińców. Schemat obudowy kotwiowej pokazano na Rys. 6.40. Kotwie to długie stalowe śruby, do których umieszczania w szczelinie potrzebny jest odpowiedni sprzęt. Jeśli produkcja kotwi z miejscowych zasobów na Marsie okazałaby się możliwa, cena obudowy zmniejszyłaby się. Do wykonywania otworów wiertniczych na kotwy można wykorzystać wiertnice lub wozy wiertnicze.

Obudowa plazmowa: Stapianie skał pochodnią plazmową to nowoczesna technologia możliwa do zastosowania na Ziemi do stabilizacji słabych gruntów pod konstrukcje budowlane, mosty, drogi itp. Mayne i Beaver (2002) opisują sposób wykorzystywania jej w praktyce. Pochodnię plazmową umieszcza się na dnie wcześniej wykonanego otworu. Włączona pochodnia rozgrzewa gazy do postaci plazmy, która stapia otaczające ją skały pod wpływem wysokiej temperatury. Użyć do tego można dowolną mieszankę gazów. Na tej zasadzie można by stabilizować wyrobisko na Marsie (zamiast kotwi stalowych). Najkorzystniejsze byłoby spiecenie skały na całej powierzchni otworu drążonego. Przetopiony bazalt jest niezwykle wytrzymały i trudno ścieralny. Skała bazaltowa sklejona przy pomocy pochodni plazmowej na całej powierzchni byłaby bardzo wytrzymała. Pochodnia plazmowa



Rysunek 6.39: Etapy instalowania kotwy zabezpieczającej wyrobisko (Stopyra i in., 2004)



Rysunek 6.40: Schemat przekroju wyrobiska z obudową kotwioną

została zaprojektowana do wzmacniania bardzo słabych skał, przede wszystkim sypkich, takich jak piasek (Mayne i Beaver 2002). Jej przydatność do wzmacniania ścian podziemnej bazy marsjańskiej musiałaby być dokładniej przeanalizowana. Istotną przeszkodą w wykorzystaniu jej na Marsie jest bardzo duża energochłonność.

Wnioski dla architekta

Analiza technik górniczych pod kątem ich przydatności do wykonania bazy marsjańskiej pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Przekroje wyrobisk mogą być różne. Ich profil podyktowany jest warunkami geologiczno-górnictwymi oraz zapotrzebowaniem na konkretną funkcjonalną przestrzeń. Zalecane są kształty obłe, które zapewnią bardziej równomierny rozkład ciśnienia sztucznej atmosfery w bazie. Zaokrąglone ociosy (ściany) i stropy zapewniają większą stabilność odsłoniętego górotworu.
2. Wybór metody górniczej do wykonywania podziemnej bazy marsjańskiej rzutuje na sposób projektowania architektonicznego. Rozsadzanie krótkimi otworami to bardziej fleksybilna technika drążenia. Pozwala ona na dużą swobodę w kreowaniu przestrzeni bytowej. Dozwolone są linie krzywe i zaokrąglenia. Korytarze i komory mogą mieć niemal dowolne kształty. Wykonanie aneksów i wnęk nie stwarza większych problemów. Ponieważ rozsadzanie krótkimi otworami nie powoduje dużych naprężeń w górotworze i jest mniej inwazyjne dla środowiska skalnego, wykonywanie korytarzy blisko siebie nie powinno być problemem. Możliwe jest także zaprojektowanie dużej liczby małych otworów, takich jak: okna, drzwi czy szyby wentylacyjne, również w niedużych odległościach między nimi. Strzelanie długimi otworami nie daje tak bogatych możliwości w kreowaniu zróżnicowanej przestrzeni bytowej. Przy pomocy tej metody można za to szybko wykonywać długie kilkumetrowe (nawet do ponad 8 m) korytarze i komory. Mają one wtedy stałą szerokość. Nie można wykonać w ten sposób wnęk. Możliwe jest wykonywanie równoległych wyrobisk w niedużej odległości od siebie. Strzelanie długimi otworami jest szczególnie wydajne przy drążeniu otworów o dużym przekroju. Łatwiej wykonać jest także większe otwory wpuszczające światło do wnętrza za to w mniejszej ilości.
3. Można wyróżnić wiele metod górniczych rozsadzania otworowego, które mają szansę być wykorzystane na Marsie do wykonania bazy: strzelanie MW, metoda kardoks, metoda PCF (statyczny łamacz skał, rozsadzanie plazmą). Na szczególną uwagę zasługuje metoda kardoks, która w warunkach marsjańskich byłaby bardzo ekonomiczna.

Przy pomocy dwutlenku węgla pozyskiwanego z miejscowych zasobów (najlepiej w postaci powierzchniowego suchego lodu), można by tanio i efektywnie rozsadzać skały.

4. Większość sprzętu wymaganego przy strzelaniu otworowym nadaje się do wielokrotnego użytku. Raz sprowadzone na Marsa maszyny i urządzenia mogłyby posłużyć do wykonania pierwszej bazy oraz do późniejszego jej powiększania, budowy innych baz, a także w pracach *stricte* górniczych do wydobywania złóż. Wpłynęłoby to na samowystarczalność bazy i jej nieskrępowany dostawami z Ziemi rozwój przestrzenny.
5. Na lokalizację bazy marsjańskiej powinno się wybrać miejsce o optymalnych warunkach geologicznych, by wyeliminować konieczność wykonywania obudowy wyrobisk. Obudowy zwiększają koszty budowy podziemnej bazy. Jeśli obudowa będzie konieczna, należy szukać jak najekonomiczniejszych rozwiązań. Dostępne są np.: obudowa pneumatyczna, natryskowa, kotwiona i plazmowa.
6. Zastosowanie technik górniczych w wykonywaniu podziemnej bazy marsjańskiej wydaje się bardzo obiecujące. Gertsch i Gertsch (1997) przeprowadzili wstępną analizę na ten temat z pozytywną prognozą. Pozostaje jednak wiele problemów do rozwiązania. Autorka wymienia najważniejsze z nich:
 - (a) Należy dobrać odpowiednie wiertła w przypadku wiercenia mechanicznego. Obecnie trwają prace nad zaprojektowaniem jak najlepszego wiertła do mikrowierceń na potrzeby najbliższych bezzałogowych misji na Marsa (Harpole 2006, Schrope 2000, Blacic i in. 2000). Technologia ich produkcji została rozpoznana i po testach *in situ* będzie mogła być jeszcze udoskonalona pod kątem planowanej budowy bazy.
 - (b) Konieczne jest szczegółowe oszacowanie energochłonności każdej z metod pretendujących do zaadoptowania na Marsie. Na przykład zastosowanie strzelania materiałami wybuchowymi produkowanymi z miejscowych surowców wydaje się bardzo obiecujące pod względem oszczędności. Jednak produkcja miejscowa może okazać się trudna i niebezpieczna, zaś do pozyskiwania surowców potrzebny może okazać się ciężki sprzęt.
 - (c) W dysertacji nie został głębiej poruszony problem usuwania urobku oraz jego transportu. Nad wykorzystaniem odpowiednich do tego celu maszyn wypowiadają się w swej publikacji Gertsch i Gertsch (1995). Cenne byłoby opracowanie alternatywnych rozwiązań dla ziemskich technik przenoszenia skruszonego materiału skalnego, przy wykorzystaniu lżejszego sprzętu niż na naszej planecie. Na Marsie wszystko jest lżejsze dzięki obniżonej grawitacji, dlatego czerpaki koparek mogłyby mieć nieproporcjonalnie większą pojemność niż jest to konieczne w warunkach ziemskich. Sama konstrukcja maszyny przewożonej na Marsa także mogłaby zostać tak zaprojektowana, by zminimalizować jej masę. Dociążenie w celu zapewnienia stabilności mogłoby być wykonane na miejscu poprzez wysypanie gruntu do specjalnie w tym celu przewidzianego zbiornika.
 - (d) Materiały wybuchowe należy dobrać pod kątem ich przydatności w warunkach marsjańskich. Przede wszystkim muszą być one odporne na ekstremalnie niskie temperatury, a także niezależne od występowania i stężenia gazów w atmosferze marsjańskiej. Muszą również zawierać środek zapalający jakim jest tlen. Lonty

wymagające obecności tlenu w atmosferze nie mogą być wykorzystane na Marsie, dlatego najprawdopodobniej w strzelaniu potrzebna będzie sieć strzałowa: elektryczna z przewodów elektrycznych lub nieelektryczna – z rurek Nonel. Korzystne jest produkowanie materiałów wybuchowych *in situ*. Konieczny dlatego jest przegląd tamtejszych zasobów w celu ustalenia pozyskiwalnych w możliwie najprostszy sposób MW. Im mniej składników należałoby sprowadzać z Ziemi, tym lepiej – zarówno ze względów oszczędnościowych, jak i bezpieczeństwa. Należy uwzględnić fakt, że wiele z materiałów wybuchowych ma krótki okres przydatności do użytku lub ich transport jest niebezpieczny.

6.1.4. Konstrukcje z regolitu i kamieni

Do wykonania konstrukcji z regolitu i skał na Marsie posłużyć się można: bloczkami kamiennymi, kamieniami i gruntem. Bloczki kamienne mogą być wycinane z większych skał powierzchniowych lub z bloków skalnych wydobywanych w odkrywkach⁶. Kamienie mogą być zbierane bezpośrednio z powierzchni terenu lub stanowić odrzucany w pracach górniczych urobek. Grunt wystarczy zbierać z powierzchni planety przy pomocy łopat, koparek lub urządzeń zasysających. Wszystkie te materiały budowlane są łatwo dostępne w praktycznie nieograniczonych ilościach na całej planecie. Dzięki temu techniki wznoszenia wykorzystujące takie materiały budowlane będą przystawały do każdego miejsca lokalizacji bazy, co znacznie obniża koszt przedsięwzięcia. Jednocześnie nie trzeba będzie dowozić materiałów budowlanych z Ziemi na wypadek napraw czy rozbudowy habitatu. Wybierając miejsce na kolejną bazę wystarczy przetransportować sprzęt z pierwszej bazy.

Budowle ziemne i kamienne wznoszone są przez ludzi od wieków. Powstało wiele technik umożliwiających ich budowę. Autorka wymienia te, które roją największe nadzieje na pomyślne ich zaadoptowanie na Marsie. Jako materiał budowlany posłużyć mogą: gabiony, bloczki kamienne, bloczki z gruntu i żywicy, cegły, bloczki z ubitego gruntu, Superadobe i wielokomorowe worki z gruntem.

Gabiony: Kaszyce są to skrzynie wypełnione kamieniami. Kaszyce w formie prostopadłościanu wykonanego ze specjalnie splecionej siatki metalowej to gabiony (Rys. 6.41). Są one trwałe i trudne do zniszczenia, jeśli wykonana są z dobrej nierdzewnej stali. Ich wytrzymałość rośnie wraz z upływem czasu, kiedy między kamieniami gromadzi się zwietrzelina (Jarominiak 2000). Kaszyce transportowane są na miejsce budowy jako elementy spakowane w wiązki. W tej postaci zajmują mało miejsca, przez co ich przewóz jest tani i

⁶Onderka (1992, s.113) opisuje sposób oddzielania bloków skalnych od calizny górotworu przy pomocy materiałów wybuchowych.



Rysunek 6.41: Robotnik montujący gabion (BMTG)



Rysunek 6.42: Koparka ładująca gabiony (BMTG)

łatwy. Montaż na budowie polega na złożeniu kosza z płaskich elementów i połączeniu ich wzdłuż narożników. Łączenie to można wykonać poprzez ręczne obwiązywanie krawędzi drutem lub przy pomocy stalowych spinaczy nakładanych zszywarką. Dodatkowo można instalować przepony usztywniające. Składanie i ładowanie kosza nie jest trudne, dlatego robotnicy nie muszą być fachowcami. Gabiony wypełnia się materiałem skalnym o wymiarach nieco większych niż oczka siatki. Można także wyłożyć kosz geotekstyliami i zasypać wnętrze regolitem. Wypełnianie koszy zwykle wykonuje się koparką (Rys. 6.42). Kosz z siatki utrzymuje kształt gabionu, jednocześnie nie usztywnia go na tyle, by nie mógł ulegać nieznacznym deformacjom dopasowując się do nierówności terenu. Materiał do wypełniania najczęściej pobiera się z miejscowych zasobów. Konstrukcje z gabionów nie wymagają kosztownego utrzymania i łatwo je naprawić. Maksymalna wysokość, do jakiej dochodzą takie konstrukcje na Ziemi, to 8 m. Z gabionów można by budować ściany oporowe, ściany konstrukcyjne, ścianki działowe czy murki. Niestety nie nadają się one do wykonywania stropów.

Bloczki kamienne: Kamień można używać do konstrukcji murowych w różnej postaci. Im lepiej obrobiony kamień, tym łatwiej wykonać z niego regularny mur i mniejsze jest zużycie spoiwa. Jednak jednocześnie trzeba włożyć więcej pracy w przygotowanie materiału budowlanego. Do obróbki kamienia używa się pił z tarczami diamentowymi, np. takimi, jakie oferuje firma BMTG (www.bmtg.eu). Producent sugeruje, że sterując prędkością obwodową tarczy można dostosować piłę do różnego rodzaju materiałów, tak więc można by ją dopasowywać do ciętych *in situ* skał. Tarcze diamentowe są w stanie przeciąć każdy materiał, także twarde bazalty. Mogłyby one nawet być dodatkowo szlifowane tak, by do wykonania muru potrzebna była co najwyżej minimalna ilość spoiwa. Posługując się takim sprzętem można by wykonywać na Marsie bloczki murowe wysokiej jakości. Ale także mniej regularne bloczki kamienne nadawałyby się do budowy bazy, potrzebna byłaby jednak znacznie większa ilość spoiwa, a próby dopasowywania kamieni wydłużałyby czas pracy.

Bloczki z gruntu i żywicy: Z regolitu zalewanego odpowiednim spoiwem można by wykonywać bloczki do murowania ścian habitatu. Sypki grunt marsjański mógłby być sklepany przy pomocy żywicy. Kim i in. (1998) przeprowadzili analizę różnych żywic i wybrali ICI Fiberite 934 jako szczególnie polecaną na Marsie, ponieważ dzięki dużej zawartości lekkich pierwiastków zwiększałyby promieniochronność bloczków. Jest to substancja dobrze znana w przemyśle lotniczym i kosmicznym.

Cegły: Produkcja cegieł na Ziemi zwykle polega na wykonaniu gliniastej masy z odpowiednich składników. Masę tnie się na bloczki o zadanym kształcie, a następnie suszy i wypieka w specjalnych piecach. Na Marsie taka produkcja wymagałaby wysłania z Ziemi manufaktury umożliwiającej wykonywanie wszystkich tych zadań. MacKenzie (1989) proponuje, by do robienia cegieł użyć miejscowy grunt. Jest szansa, że z miejscowych zasobów można by było także uzyskiwać dodatki polepszające jakość cegieł, np. wapno. Produkcja cegieł musiałaby przebiegać w warunkach pozwalających na utrzymanie wody jako cieczy, czyli wymagane byłyby hermetyczne pomieszczenia ze sztuczną atmosferą. Produkcja cegieł byłaby dość energochłonna ze względu na konieczność ogrzewania pieców do wysokich temperatur. Im wyższa temperatura, tym lepsza jakość cegieł, ale też wyższe koszty produkcji. Jak jednak przekonuje MacKenzie (1989), cegły o zadowalających właściwościach powstają już przy 300°C, zwłaszcza jeśli do masy doda się materiał poprawiający spoiwość mieszaniny. Dalej pisze on, że na Marsie bez trudu można rozgrzać piec do 900°C (temperatury współcześnie stosowanej do produkcji cegieł najwyższej jakości), wykorzystując palenisko



Rysunek 6.43: Maszyna do produkcji bloczków ziemnych (AECT)



Rysunek 6.44: Przecinak do bloczków ziemnych (AECT)



Rysunek 6.45: Dom z CEB-ów (E. Hunting)



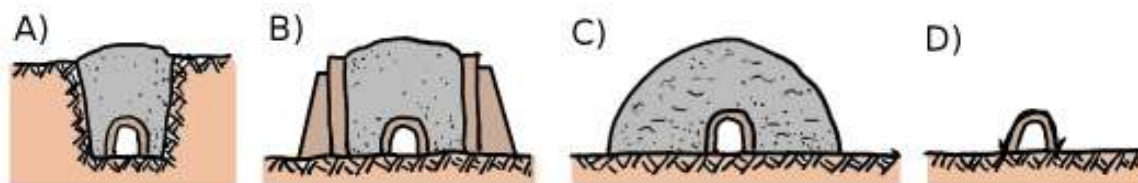
Rysunek 6.46: Wnętrze domu z CEB-ów (E. Hunting)

ze zwierciadłem słonecznym lub ciepło odpadowe z reaktora jądrowego bazy. Zauważa on, iż proces produkcyjny wymaga obecności wody, lecz w poprawnie skonstruowanym piecu prawie całą potrzebną wodę będzie można odzyskać z pary wodnej, która powstanie podczas osuszania cegieł w temperaturze 200°C przed rozpoczęciem wypalania. Przekonuje on również, że po zmieszaniu ilastego pyłu powierzchniowego otrzymuje się bardzo dobrą zaprawę murarską zdolną do zlepienia cegieł.

Bloczki z ubitego gruntu (CEB): Na Ziemi, w krajach o ciepłym i przede wszystkim suchym klimacie wykorzystuje się w budownictwie bloczki z ubitego gruntu (ang. *CEB – compressed earth blocks*). Produkcja takich materiałów budowlanych jest niezwykle prosta, a sprzęt do tego potrzebny – łatwy w obsłudze i stosunkowo lekki, więc mógłby bez problemów zostać sprowadzony na Marsa i być obsługiwany przez załogę misji. Maszynę do wykonywania bloczków pokazano na Rys. 6.43, a przecinak umożliwiający obcinanie CEB-ów do pożądanej wielkości – na Rys. 6.44. Bloczki z ubitego gruntu dają się łatwo formować i można wytwarzać je w różnych kształtach, co pozwala na projektowanie bardziej wymyślnych form architektonicznych. Na Rys. 6.45 i 6.46⁷ pokazano dom wykonany w tej technologii. Jednak CEB-y wytwarzać można tylko z określonego rodzaju gruntów, zwykle dobrze nasiąkliwych (Delgado i Guerrero 2007). Ilasty grunt marsjański odpowiada tym kryteriom, przy czym musiałby być najpierw nawilżony. Zaletą tego typu bloczków jest ich niska energia wbudowana oraz łatwość wykonawstwa⁸. Na Ziemi głównym problemem w wykonaniu wytrzymałych bloczków jest ich niska odporność na wodę – deszcz łatwo niszczy materiał. Jednak na Marsie atmosfera nie jest wilgotna i nie ma opadów, więc problem ten nie występowałby. CEB-y przenoszą nieco mniejsze obciążenia niż cegły spiekane i nadają się do budowy niskich budowli. Bloczki z ubitej ziemi są mało wytrzymałe, ale można polepszać ich właściwości. Jak pisze Ngowi (1997), za najbardziej efektywne sposoby modyfikacji gruntu do produkcji bloczków ziemnych uważa się: ubijanie go albo domieszkowanie (najlepiej wapnem lub cementem). Już w starożytności odkryto sposób na wzmacnianie cegieł poprzez mieszanie masy ze słomą. W ten sposób powstał jeden z pierwszych w dziejach ludzkości kompozyt. Budowniczowie bazy mogliby dodawać do cegieł niejadalną biomasę np. w formie włókien z łądyg czy samej słomy. Źródłem tych materiałów byłyby odpadki z roślin uprawianych w sztucznych ekosystemach. Także, jak sugeruje MacKenzie (1989),

⁷Zdjęcia pochodzą z: Hunting E. „The Myth and Promise of Dirt Cheap Housing”, <http://radio.weblogs.com>, 2003

⁸Przekonuje do tego firma specjalizująca się w technologii budowy domów z bloczków z ubitego gruntu, AECT – The Advanced Earthen Construction Technologies, Inc., <http://pages.sbcglobal.net/fwehman/index.html>



Rysunek 6.47: Różne sposoby ściskania konstrukcji murowanej (opis w tekście)

świetnie do tego celu nadawałyby się skrawki tkaniny ze spadochronów, które posłużyły do wyhamowywania lądowników transportowych.

Murowanie wiąże się z wykorzystaniem wilgotnego spoiwa. Spoiwo takie jest bardzo potrzebne na Marsie: łączy bloczki ze sobą w monolityczną ścianę, zwiększając jej wytrzymałość oraz zamyka między cegłami otwory, przez które uciekać mogłyby gazy z atmosfery wewnątrz habitatu. Dużym wyzwaniem byłoby wyprodukowanie spoiwa, które zachowuje swe właściwości zlepiające na Marsie przez wystarczająco długi czas. Bloczki kamienne można sklejać za pomocą odpowiedniej szybko schnącej żywicy wtryskiwanej w szczeliny. Musiałaby ona być wytrzymała na niskie temperatury, żeby się nie wykruszać. Żywicę należałoby sprowadzać z Ziemi. Aby używać tradycyjnego spoiwa w postaci zaprawy lub żywicy, prace musiałyby być przeprowadzone w hermetycznych warunkach. Miejsce budowy należałoby w tym celu przekryć i uszczelnić. Wnętrze musiałyby zostać wypełnione sztuczną atmosferą. Warunki powinny pozwalać na odpowiednie odparowywanie wody. Ngowi (1997) tłumaczy, że zbyt szybkie odparowywanie powoduje zwykle powstawanie pęknięć, zaś zbyt wolne – opóźnia prace przy budowie. Przekrycie mogłoby być tymczasowe lub stałe – jako element bazy. W pierwszym przypadku na osłonę można by użyć mniej wytrzymały materiał niż w drugim. Jeśli przekrycie miałoby stanowić element na stałe uszczelniającym bazę, budowle ceglane mogłyby przybierać formy bardziej podobne do ziemskich budynków mieszkalnych, można by je otynkować czy pomalować.

Zamiast stosowania spoiwa można by produkować cegły o takim kształcie, by można je było w odpowiedni sposób ze sobą szczepiać – np. na pióro i wpust. Aby jednak cegły mogły mieć bardziej wyrafinowany kształt, musiałyby być wysokiej klasy, co w warunkach marsjańskich nie jest takie proste, choć nie jest też niemożliwe. Bloczki kamienne z kolei można ciąć precyzyjnie na bloczki o odpowiednim kształcie. Ewentualnie dodatkowo mogłyby być one polerowane w celu uzyskania powierzchni na tyle gładkiej, że przylegałyby ciasno do siebie.

Bloczki kamienne, jak zauważa autorka, można by spawać ze sobą, stapiając je w miejscu styku urządzeniem grzewczym, np. laserem lub pochodnią plazmową. W przypadku bloczków bazaltowych należałoby wytwarzać bardzo dużo ciepła. Na mniejsze zużycie energii pozwoliłaby inna metoda: między bloczki kładziony byłby piasek i to on byłby stapiany tak, by skleić elementy kamienne. W tym rozwiązaniu wymagane jest bardzo energochłonne urządzenie zdadne do wytwarzania wysokich temperatur. Za to nie trzeba wytwarzać specjalnego spoiwa. Piasek mógłby być pozyskiwany na miejscu z powierzchniowego regolitu.

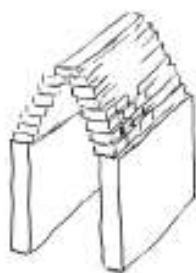
Konstrukcje murowane mają wysoką wytrzymałość na ściskanie, a małą na rozciąganie. Dlatego, jak tłumaczy MacKenzie (1989), na Marsie ceglane konstrukcje musiałyby być ściskane od zewnątrz. Tylko wtedy mogłyby przeciwstawić się siłom rozciągającym, związanym z nadciśnieniem panującym we wnętrzu bazy. MacKenzie proponuje, by konstrukcje obciążyć warstwą gruntu marsjańskiego. Jak obliczył Petrov (2004) przy wewnętrznym ciśnieniu zbliżonym do tego, jakie miała atmosfera na Skylabie (ok. 1/3 ziemskiego ciśnienia

atmosferycznego), potrzebna byłaby jedenastometrowa pokrywa z gruntu. Jest to dość gruba warstwa, a wyższe ciśnienie wewnątrz wymagałoby jeszcze grubszej pokrywy. Aby grunt nie zsypywał się, można wykorzystać różne rozwiązania. Jak proponuje MacKenzie (1989), można najpierw wykopać głęboki dół i w nim prowadzić prace budowlane, a na koniec go zakopać (tzw. metoda *cut and cover* (Gertsch i Gertsch 1995)). W tej sytuacji na lokalizację bazy należałoby wybrać takie miejsce, gdzie pokrywa luźnego regolitu jest wystarczająco głęboka (Rys. 6.47 A). W innym przypadku konieczne byłoby użycie specjalnych technik do wydrążenia w twardej skale głębokiego rowu. Można także wznieść wysokie ściany oporowe, między którymi znalazłby się habitat (Rys. 6.47 B). Aby wyeliminować konieczność budowy specjalnych murów, można wykorzystać *texsol*. Jak opisuje Jarominiak (2000), jest to mieszanina piasku i nieprzerwanej nici polimerowej, uzyskiwana przez wydmuchiwanie lub wyrzucanie tych składników na umacnianą powierzchnię. Piasek i splątana nić tworzą gęsty materiał charakteryzujący się korzystnymi cechami wytrzymałościowymi. Istotne znaczenie dla dobrego rozkładu składników w mieszaninie mają prędkości, z jakimi wyrzucane są nici i ziarna piasku. Jak dalej pisze Jarominiak, *texsol* jest odporny na erozję powodowaną np. przez wiatr. Jest on formą kompozytu, ponieważ zachowuje się jak materiał jednorodny. Jego cechy wytrzymałościowe wystarczają do uzyskania prawie pionowej powierzchni zbocza ($60-70^\circ$) o wysokości nawet 10 m z dużym współczynnikiem bezpieczeństwa. Wykonanie *texsolu* wymaga maszyn wyrzucających jego składniki, które należałoby sprowadzić na Marsa z Ziemi. Być może nić mogłaby być wytwarzana na Marsie

Gruba warstwa gruntu nie tylko dociska naprężoną konstrukcję murowaną, ale także stanowi równocześnie osłonę przed promieniowaniem kosmicznym i słonecznym. Trzeba się tu jednak liczyć z koniecznością sprowadzenia ciężkiego sprzętu do wykonywania wykopów, narzucania gruntu itp. Alternatywnym rozwiązaniem jest ściśnięcie konstrukcji murowanej mocno zakotwioną w gruncie siecią z mocnych sznurów lub tkaniną, np. z włókien kevlarowych (Rys. 6.47 D). Zaletą tego rozwiązania jest to, że konstrukcja jest zgrabniejsza i łatwiej w niej wykonać okna.

Ze względu na konieczność napełnienia wnętrza habitatu atmosferą o ciśnieniu wyższym niż atmosferyczne na Marsie, baza powinna mieć kształty obłe. W przypadku konstrukcji murowanych uzyskanie takich kształtów jest możliwe poprzez wykonywanie sklepień i kopuł.

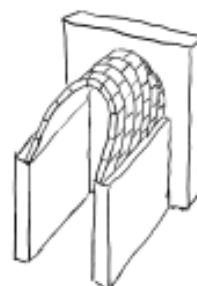
Sklepienie pozorne: Najwcześniej wynalezionym przez ludzi sklepieniem jest sklepienie pozorne (Rys. 6.48). Tworzą je kolejno układane schodkowo warstwy bloczków na dwóch przeciwległych ścianach aż do momentu zetknięcia się w szczycie. W ten sposób przekrywano najczęściej pomieszczenia na rzucie prostokąta lub koła. Stożkowe kopuły tego typu



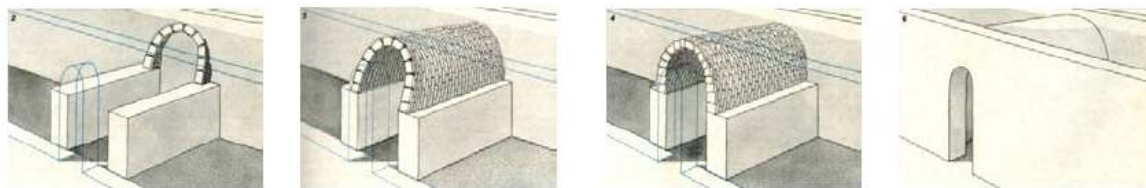
Rysunek 6.48: Sklepienie pozorne



Rysunek 6.49: Sklepienie kolebkowe



Rysunek 6.50: Sklepienie pochylone



Rysunek 6.51: Kolejne etapy wykonywania sklepienia pochylonego (Petrov 2004)



Rysunek 6.52: Wyznaczanie foremnej kopuły przy pomocy kija (Petrov 2004)



Rysunek 6.53: Murowanie kopuły bez rusztowania (Petrov 2004)



Rysunek 6.54: Wnętrze kopuły z oknami (Petrov 2004)

znane są m. in. z okolic Aleppo (Syria) i miejscowości Apulia (Włochy) (Basista 1995, s.39). Zaletą tego typu sklepienia jest wyjątkowa łatwość wykonania. Na materiały budowlane nadają się zwykłe bloczki ceramiczne i kamienne. Niestety przekrój sklepienia pozornego jest trójkątny (a nie obły) i ma rysunek schodkowy – niegładki. Takie przekrycie murowe nie jest korzystne dla równomiernego rozkładu ciśnienia atmosferycznego w habitacie marsjańskim.

Sklepienie kolebkowe: Z czasów antycznych pochodzą pierwsze sklepienia kolebkowe (Rys. 6.49). Ich konstrukcje tworzą łuki z ciosów w kształcie klina (tzw. kłińców) układane na pionowych ścianach wsporczych. Sklepienia te są bardzo wytrzymałe dzięki samoistnemu zaciskaniu się kłińców pod wpływem siły ciężenia. Stosowanie spoiwa nie jest konieczne. Jednak prawidłowe ułożenie kłińców możliwe jest tylko na pomocniczym rusztowaniu. Elementy takiego rusztowania musiałyby być przygotowane wcześniej na Ziemi i wysłane na Marsa. Montaż powinien być prosty i zabierać mało czasu. Masa rusztowania powinna być jak najmniejsza, by zminimalizować koszt transportu. Jak zauważa autorka, przesuwne rusztowanie o niezbyt dużej długości byłoby lekkie i pozwalało na sprawne przestawianie go do następnego odcinka wznoszonej budowli. Czasami do wykonywania kopuł na Ziemi używa się tymczasowych konstrukcji pneumatycznych (Tarczewski 1965). Na Marsie mogłyby one być wykorzystywane z powodzeniem zarówno do budowy kopuł, jak i sklepień kolebkowych. Potrzebna do tego byłaby jedna konstrukcja nadmuchiwana w kształcie półkuli i druga – w kształcie półwalca. Takie pomocnicze struktury pneumatyczne są łatwe w montażu i szybko można je przenosić z miejsca na miejsce, a w czasie transportu na Marsa, upakowane, zajmowałyby niewiele miejsca.

Sklepienie pochylone: Sklepienie pochylone (Rys. 6.50) układa się z opierających się na sobie kolejno pochylonych łuków ceglanych. Cegły mają standardowy kształt. Muszą być sklepane zaprawą. Kąt nachylenia łuków jest nieduży, ale wystarcza, by kolejno kładzione warstwy cegieł nie zsuwały się w dół. Technikę wykonywania sklepienia pochylonego opisuje Petrov (2004). Kolejne etapy budowy pokazano na Rys. 6.51. Dzięki temu, że każdy kolejny łuk opiera się na poprzedzającym go, nie jest konieczne wykorzystywanie rusztowań.



Rysunek 6.55: Konstrukcja z Super Adobe w czasie wznoszenia (Cal-Earth)



Rysunek 6.56: Gotowa konstrukcja z Super Adobe (Cal-Earth)

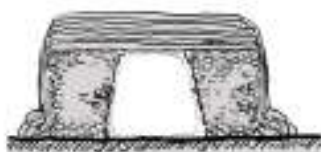
Jak dalej pisze Petrov, na podobnej zasadzie można także wykonać kopułę. W przypadku kopuły, nie jest konieczna budowa specjalnej ściany wsporczej – wystarczą cztery słupy i łączące je arkady. Do wykonania foremnej bryły wystarcza sznur albo prosty kij o zadanej długości (odpowiadającej promieniowi kuli, której wycinkiem jest kopuła) (Rys. 6.52). Kolejne zwężające się okręgi ceglane opierają się jedne na drugich. W szczycie pozostaje zwykle mały świetlik, który można zamknąć klapą lub pozostawić otwarty, by wpuszczał światło do wnętrza (Rys. 6.53). W takiej kopule można również pozostawiać otwory na nieduże okna, jak to widać na Rys. 6.54.

Superadobe: Jedną z technologii Low-Tech proponowanych do zaadoptowania na Marsie jest Superadobe, której wynalazcą jest Nader Khalili (1999). Wykorzystuje się w niej długie worki, które pakowane są gruntem lub piaskiem z dodatkiem cementu albo wapna. Worki te układa się warstwowo (Rys. 6.55) i przekłada drutem kolczastym, który pełni funkcję taniego zbrojenia. Worki mogą być wykonane ze specjalnie produkowanego materiału *Adobe fabric tubing* (opracowane w Cal-Earth), tkaniny (np. jutowej), polipropylenu lub jakiegoś innego podobnego materiału (*Wikipedia* 2007). Fundament tworzą zwykle 2-3 warstwy kładzione poniżej poziomu terenu. Wznoszenie konstrukcji Superadobe jest proste i nie ma specjalnych wymagań co do kwalifikacji robotników (Aga Khan Development Network 2004). Konstrukcja jest niezwykle mocna i wytrzymała; znosi nawet silne trzęsienia ziemi. Proponowane przez Khaliliego konstrukcje mają kształt kopuł (Rys. 6.56), chociaż elastyczne elementy konstrukcyjne mogą kształtować także bardziej skomplikowane formy przestrzenne. Wtedy jednak trzeba przeanalizować sposób poprowadzenia sklepień. Worki ładuje się uprzednio przygotowaną masą i układa jedne na drugich tworząc coraz węższe pierścienie aż powstanie małe światło na szczycie. Można również w prosty sposób wykonać otwory okienne. Konstrukcja taka nie wymaga żadnych specjalnych drogich materiałów, a nakłady cementu i wody są niewielkie (Husain 2000). Budowle Superadobe są szczelne, mimo że nie wymagają spoiwa. Są też bardziej wytrzymałe na rozerwanie niż tradycyjne konstrukcje murowane. Wadą tej technologii jest konieczność wykorzystywania wody w stanie ciekłym.

MacKenzie (1989) pisze, że badania przeprowadzone w laboratoriach Martin Marietta dowodzą, iż można z gruntu marsjańskiego produkować materiał o nazwie *durikret*, imitujący swoimi właściwościami ziemski beton. Materiał ten mógłby zostać użyty w konstrukcji Superadobe. Inżynier Robert Boyd stwierdził, że *durikret* można otrzymać w wyniku bardzo prostego procesu, wymagającego jedynie zmoczenia i osuszenia marsjańskiego gruntu. Materiał taki ma wytrzymałość wynoszącą ponad 50% wytrzymałości ziemskiego betonu. MacKenzie przekonuje też, że jest szansa otrzymywania z miejscowych zasobów na Marsie



Rysunek 6.57: Konstrukcja z wielokomorowych worków oparta na łukach wsporczych



Rysunek 6.58: Konstrukcja z wielokomorowych worków z zadaniem z elementów z balastem



Rysunek 6.59: Wielokomorowe worki z usztywnieniem: u góry – rozłożone, na dole – złożone

wapna, dzięki któremu można by produkować standardowy cement portlandzki o wysokiej wytrzymałości (Zubrin i Wagner 1997, s.237).

Wielokomorowe worki z gruntem: Wszystkie wyżej wymienione technologie wymagają wykorzystywania wody w stanie ciekłym, w mniejszym lub większym stopniu. Jest to niekorzystne ograniczenie w warunkach marsjańskich. Autorka proponuje pozyskiwanie suchego gruntu marsjańskiego do wykonywania konstrukcji mieszkalnych. Potrzebne byłyby wtedy specjalnie uformowane wielokomorowe worki pakowane gruntem. Kładzione warstwami jedna na drugiej dawałyby stabilną, mocną konstrukcję (Rys. 6.57). Do wykonania sklepienia wszakże najprawdopodobniej byłyby potrzebne łuki wsporcze, np. stalowe w zadanym rozstawie. Takie żebra mogłyby być w formie złożonej sprowadzane z Ziemi. Alternatywą jest wykonanie przekryć z poprzecznie kładzionych worków z balastem na ich zakończeniach (Rys. 6.58). Autorka proponuje, by worki składały się z kilku komór w formie szczepionych ze sobą rurek. Pakowane byłyby one mechanicznie. Urządzenie do tego potrzebne nie musiałoby być duże, a jego sposób działania przypominałby odkurzacz. Urządzenie zasysałoby grunt z powierzchni i wtłaczało go do wielokomorowych worków. Aby przyspieszyć ładowanie, można by wykorzystywać końcówkę nakładaną równocześnie na wszystkie rurki w jednym worku. Usztywnienie ściany można by uzyskać poprzez dodanie sztywnych wzmocnień do każdej rurki, jak widać na schemacie na Rys. 6.59. Wzmocnienia te byłyby dodawane tylko we fragmentach worka, dlatego w czasie transportu worki byłyby płaskimi płachtami, a dopiero po rozłożeniu i załadunku tworzyłyby formę przestrzenną. Jako wzmocnienie można użyć płaskowników metalowych lub z lekkiego tworzywa sztucznego. Odpowiednio dobrany plastik giętki wzdłużnie, a sztywny poprzecznie pozwalałby na tworzenie ścian o płynnej linii, np. zaokrąglone, zakręcające itp. Im mniejsze komory w workach, tym mniejsze osiadanie konstrukcji, ale jednocześnie większe zużycie worków.

Wnioski dla architekta

1. Z marsjańskiego regolitu i kamieni dostępnych na całej planecie w olbrzymich ilościach można wyprodukować materiały budowlane najróżniejszych rodzajów, jak przedstawiono w tym rozdziale. Można zdecydować się na użycie jednego z nich lub kilku. Wykorzystując różne materiały budowlane wpływa się na urozmaicenie projektu bazy. Aby ograniczyć ilość potrzebnego sprzętu można sprowadzić maszyny wielofunkcyjne i przydzielić im różne zadania, np. koparka może zbierać luźny grunt marsjański do produkcji cegieł oraz ładować kamienie do gabionów.
2. Największą wadą konstrukcji z marsjańskiego regolitu i kamieni jest ich słaba wytrzy-

małość na rozciąganie, a elementy konstrukcyjne zwykle są krótkie. W konsekwencji konieczne jest korzystanie ze specjalnych sposobów wykonywania stropów. Sklepienia i kopuły są tu najlepszym rozwiązaniem. Dodatkowo ich kształt korzystnie wpływa na rozkład ciśnienia w atmosferze wewnętrznej habitatu.

3. Jako stropy międzykondygnacyjne posłużyć mogą sklepienia, stropy Kleina lub długie płyty kamienne. Stropy Kleina wymagają jednak zbrojenia, które należałoby sprowadzać z Ziemi lub dodatkowo produkować z miejscowych surowców. Duże bloki skalne mogłyby być cięte specjalnymi piłami na płyty stropowe. Ich przenoszenie i układanie byłoby łatwiejsze niż na Ziemi, ponieważ na Marsie byłyby one trzy razy lżejsze.
4. Współcześnie do wykonywania przekryć dużych przestrzeni wykorzystuje się konstrukcje żelbetowe, stalowe czy z drewna klejonego. Ale i konstrukcje ceglane pozwalają na przekrywanie dość sporych przestrzeni bez dodatkowych podpór. Jak podaje Petrov (2004), największe sklepienie ceglane ma rozpiętość 25,5 m⁹.
5. Wykorzystując miejscowe materiały skalne, można zaprojektować budowle o bardzo różnorodnej kolorystyce, co wpływałoby na jej walory estetyczne. Cegła jest wdzięcznym materiałem budowlanym, ponieważ może mieć różne barwy. Szeroką gamę kolorystyczną materiały ceramiczne zawdzięczają domieszkowaniu oraz długości wypiekania. Dominujące skały na Marsie to bazalty, ale wśród nich także występuje pewne zróżnicowanie barwne, które daje pewne pole manewru w dobieraniu kolorystyki habitatu murowanego z kamieni.
6. Wykorzystywanie gruntu i kamieni do wznoszenia budowli sięga czasów starożytnych. Źródeł inspiracji architektonicznej jest zatem wiele.
7. Większość przedstawionych tu technologii wykorzystuje małe elementy budowlane, z których układa się większe elementy konstrukcyjne. Dzięki temu elementy te mogą być bardzo różnie kształtowane, wzbogacając proponowane rozwiązania architektoniczne. Z cegieł można wybudować ścianki działowe różnej wysokości, słupy o rozmaitych kształtach, balustrady, kładki, antresole na sklepieniach lub kopułach, wprowadzać perforacje. Z Superadobe i wielokomorowych worków z gruntem można wykonywać pomieszczenia okrągłe, pofalowane ścianki itp. Wykorzystywanie tych technologii budowlanych pozwala nie tylko na zaprojektowanie stabilnej konstrukcji, ale także – interesujących wnętrz.

6.1.5. Konstrukcje z lodu

Na Ziemi lód nie jest typowym materiałem konstrukcyjnym, ponieważ temperatury panujące na naszej planecie na terenach zamieszkałych są zazwyczaj na tyle wysokie, że lód topi się. Na Marsie występują pokłady lodu wodnego i suchego utrzymujące się przez cały rok (głównie na biegunie północnym i w zacienionych zagłębieniach terenu). Tam, gdzie występują zawsze ujemne temperatury, możliwe jest budowanie habitatów lub ich części z lodu. Tam zaś, gdzie bywa cieplej, elementy takie byłyby nietrwałe i trzeba by je zabezpieczać przed sublimacją.

⁹Znajduje się ono w pałacu w starożytnym mieście Ctesiphon (obecnie na terenie Iraku). Powstało między III a VI w. n.e.



Rysunek 6.60: Igloo



Rysunek 6.61: Konstrukcja drążona w bryle śniegu



Rysunek 6.62: Hotel lodowy w Quebec, widok z zewnątrz (IceHotel 2007)

Kiedy woda wolno zamarza, tworzy monolityczne mocno prześwitujące elementy, zaś kiedy szybko – drobny śnieg. Bryły lodu są mocno prześwitujące i szczelne, ale łatwo mogą ulec pęknięciu przy dużych naprężeniach. Dlatego nadawałyby się bardziej na błočky lodowe do wykonywania paneli ściennych niż jako zewnętrzna konstrukcja nośna, która miałaby stawiać opór ciśnieniu sztucznej atmosfery habitatu. Ścianki z brył lodu byłyby dość wytrzymałe mechanicznie. Poza tym stanowiłyby wysmienitą barierę dla promieniowania kosmicznego i słonecznego. Dzięki temu, że są one prześwitujące, przepuszczałyby do wnętrza habitatu światło dzienne, wpływając na zwiększenie komfortu mieszkańców. Mogłyby zatem służyć do wykonywania ścianek osłonowych lub uszczelnień otworów okiennych bazy. Tradycyjną konstrukcją lodową znaną na Ziemi od wieków jest igloo (Rys. 6.60). Błočky lodowe układa się tu po spirali pod niewielkim nachyleniem tak, aż powstaje kubatura w formie kopuły. Śnieg ma inną strukturę niż bryły lodu. Składa się on z drobin zamrożonej wody, które mogą tworzyć luźną warstwę lub być ubite na twarde elementy. Śnieg można uzyskać o wiele łatwiej i szybciej niż bryły lodu. Mocno ubity śnieg stać się może monolitycznym blokiem o stosunkowo dużej wytrzymałości mechanicznej. W ubitym śniegu drążyć można tunele i komory mieszkalne (Rys. 6.61). Igloo jest konstrukcją dość wytrzymałą. Dzięki opływowym kształtom dobrze opiera się wiatrom. Jego ściany dość dobrze izolują termicznie i świetnie chronią przed wiatrem. Na Marsie taką konstrukcję można wykonać w istniejącym bloku śniegu lub w specjalnie wykonanym nasypie. Ponieważ śnieg jest materiałem łatwo urabialnym, w bardzo prosty sposób można w nim kopać. Do wybierania śniegu nie jest potrzebny ciężki sprzęt. Wszelkie uszkodzenia konstrukcji ze śniegu bardzo łatwo jest naprawić poprzez uszczelnienie dodatkową ilością materiału. W czasie pracy można kształtować ściany od środka tak, by powstały użyteczne wypukłości lub wgłębienia: legowiska, półki, stoły, siedziska. Śnieg również z powodzeniem chroni przed promieniowaniem z kosmosu, nie jest jednak tak prześwitujący jak bryły lodowe.

Warto także zauważyć, że wykorzystanie lodu jako materiału budowlanego może mieć



Rysunek 6.63: Hotel lodowy w Quebec, wewnątrz (IceHotel 2007)



Rysunek 6.64: Hotel lodowy w Jukkasjärvi, korytarz (Gadomska 1999)

duży wpływ na estetykę bazy. Lód jako materiał łatwo urabialny pozwala na rzeźbienie go. Elementy z lodu mogłyby mieć różne kształty, mieszkańcy bazy mogliby też sami je zmieniać i upiększać swój dom na Marsie. Przykładem takiego sposobu konstruowania przestrzeni bytowej są hotele z lodu: w Quebec, Kanada (Rys. 6.62, 6.63) i w Jukkasjärvi, Szwecja (Rys. 6.64).

Wnioski dla architekta

Lód jest wyjątkowo interesującym materiałem budowlanym, który na Ziemi jest wykorzystywany tylko w rzadkich przypadkach. Powstały dwa typy konstrukcji lodowych: igloo i konstrukcje drążone. Oba można wykorzystać na Marsie. Konstrukcje lodowe nie są wytrzymałe na rozciąganie, dlatego nadają się tylko na okrywy zewnętrzne, chroniące głównie przed uszkodzeniami mechanicznymi i promieniowaniem albo też musiałyby być dociskane do podłoża na tej samej zasadzie, co konstrukcje murowane.

1. Lód to bardzo wdzięczny materiał budowlany. Jest on łatwo urabialny i pozwala uzyskiwać niezwykle efekty zdobnicze. Można z niego wykonywać najrozmaitsze formy, ciąć na bloki lub ugniatać, rzeźbić. Błoczki lodowe można rzeźbić, barwić i malować w bardzo prosty sposób. Można uzyskać bardzo piękne efekty świetlne, kiedy baza jest oświetlona nocą (Rys. 6.62).
2. Konstrukcje z lodu można łatwo i szybko wznosić.
3. Tam, gdzie temperatury nie przekraczają 0°C , śnieg można używać bezpośrednio jako materiał konstrukcyjny. Jeżeli temperatury są wyższe, musi on być specjalnie izolowany. Konstrukcje lodowe muszą być chronione przed roztopieniem się od wewnątrz habitatu, jeśli mają styczność z ciepłą atmosferą wewnętrzną.
4. Bryły lodu są dość prześwitujące, dlatego można je wykorzystać jako okna, świetliki czy ściany osłonowe wpuszczające światło słoneczne do wnętrza.
5. Osłony okien i przezroczystych ścian zewnętrznych wykonane z bloczków lodowych mogłyby jednocześnie spełniać kilka ważnych funkcji: przepuszczałyby do wnętrza dużo światła dziennego, chroniłyby przed promieniowaniem kosmicznym i słonecznym oraz uszkodzeniami mechanicznymi.

6.1.6. Materiały izolacyjne

Ekstremalne warunki na Marsie zmuszają do poszukiwania materiałów barierowych, które zabezpiecząby konstrukcję i mieszkańców bazy przed różnymi szkodliwymi czynnikami: szkodliwe promieniowanie, odmienna atmosfera o niskim ciśnieniu, niskie temperatury i ich duże wahania.

Izolacje antyradiacyjne

Jak podaje ASEB (2002), długotrwały pobyt ludzi na Marsie wiąże się z otrzymywaniem przez nich bardzo dużej dawki promieniowania kosmicznego i słonecznego. Aby zminimalizować ilość szkodliwego promieniowania, jakie działać będzie na marsonautów, należy zapewnić im jak najlepszą ochronę. Baza marsjańska musiałaby w tym celu otrzymać zewnętrzną osłonę przeciwradiacyjną. Można ją wykonać z różnych materiałów. Ogólna zasada mówi, że im lżejsze pierwiastki budują dany materiał, tym jest on lepszym izolatorem. Tak więc najlepszą barierą dla promieniowania stanowiłaby warstwa wodoru. Użycie samego wodoru byłoby jednak bardzo niebezpieczne, ponieważ chętnie reaguje z innymi pierwiastkami i łatwo mogłoby dojść do wybuchu. Najbezpieczniejszym i jednocześnie łatwo dostępnym materiałem byłaby woda – H_2O (Hoffman i Kaplan 1997). Znana nam na co dzień woda to ciecz i w takiej postaci byłaby używana przez mieszkańców bazy do celów konsumpcyjnych oraz mycia. Woda ma szerokie zastosowanie w domach i miejscach pracy. Również w habitacie marsjańskim potrzebne byłyby duże jej zasoby. Sugeruje się, że zbiorniki z wodą otaczać mogłyby wnętrza habitatu (Mars or Bust 2003). Im większa powierzchnia zewnętrzna konstrukcji bazy, tym więcej wody byłoby wymagane. Na Marsie występują spore zasoby wody, więc można by ją było pozyskiwać na miejscu. Kłopotliwe byłoby jednak bardzo duże na nią zapotrzebowanie, ponieważ nie jest o nią tak łatwo jak na Ziemi. Dlatego w przypadku większej bazy osłony z wody najprawdopodobniej musiałaby być wspomagane także innymi materiałami o właściwościach antyradiacyjnych. Zbiorniki na wodę mogłyby być składane z płaskich elementów przywiezionych z Ziemi i łączonych *in situ*. Sztywny pojemnik nadawałby kształt zbiornikowi na wodę, zaś uszczelnienie zapewnić mógłby gumowy lub plastikowy worek. Zbiorniki mogłyby zostać tak ukształtowane, by pozytywnie wpływać na estetykę habitatu. Ponieważ na Marsie panują zwykle ujemne temperatury, na osłonę przeciwradiacyjną można by również wykorzystać lód. Gruba pokrywa z narzuconego śniegu lub konstrukcja z blozków lodowych mogłaby stanowić zewnętrzną warstwę konstrukcji habitatu. Zarówno zbiorniki z ciekłą wodą, jak i osłony lodowe mogłyby stanowić prześwitujące przegrody. Wystarczyłoby do budowy pojemników na wodę użyć przezroczyste elementy (np. plastikowe lub szklane¹⁰) lub wykonać prześwitujące bloczki z lodu. Byłyby one polecane wszędzie tam, gdzie pozostałe warstwy konstrukcji też byłyby transparentne. Wreszcie cały habitat mógłby być wykonany z lodu. Ze względu na szczególne właściwości ochronne wody, warto byłoby uwzględnić ją jako materiał antyradiacyjny przynajmniej do stworzenia warstwy ochronnej schronu na czas wybuchów na Słońcu.

Innym materiałem antyradiacyjnym, który mógłby być pozyskiwany na miejscu, jest regolit marsjański. Nie ma on aż tak dobrej charakterystyki barierowej jak woda, nie jest jednak pozbawiony wielu zalet w tym względzie. Regolit marsjański składa się głównie z lekkich pierwiastków (Kim i in. 1998). Dlatego uważa się go za dobry izolator promieniowania kosmicznego i słonecznego. Przy tym dodając do niego substancje bardziej

¹⁰Szkło wtedy wykonane mogłoby być na miejscu z surowców marsjańskich (Zubrin i Wagner 1997, 249).

bogate w wodór, takie jak żywica ICI Fiberite 934, można jeszcze zwiększyć jego walory promieniochronne. Istnieją różne sposoby wykorzystania skał marsjańskich jako materiału antyradiacyjnego. Po pierwsze habitat można wydrążyć w miejscowym górotworze lub zlokalizować go wewnątrz istniejącego tunelu podziemnego. W ten sposób warstwa ochronna byłaby uzyskana automatycznie. Powierzchniowe konstrukcje mogłyby być zabezpieczane gruntem narzucanym (Gertsch i Gertsch 1995) lub pakowanym w poręczne worki. Pewną barierę dla promieniowania stanowiłyby również konstrukcje murowane i Superadobe. Mają one jednak zbyt małą grubość ścian, dlatego nie stanowiłyby samodzielnie wystarczającego zabezpieczenia.

Materiałem barierowym dotychczas proponowanym dla habitatów kosmicznych jest *demron*. Jest to cienka tkanina (0,38 mm), z której na Ziemi wykonuje się stroje i warstwy chroniące przed promieniowaniem. Jest ona bardzo lekka i elastyczna (radshield.com). Ma ona najniższą przepuszczalność promieniowania ze wszystkich materiałów tego rodzaju. Demron jest też jednak bardzo drogi. Jeśli nie zostałby użyty do zabezpieczenia całego habitatu, warto by go wykorzystać przynajmniej jako zastony do okien i szklarni, jak proponuje autorka. W czasie, kiedy dane pomieszczenia byłyby używane za dnia i wskazane byłoby wpuszczanie do nich światła słonecznego, zastony byłyby nieużywane. Natomiast zasłaniałoby się je w czasie, kiedy pomieszczenie byłoby opuszczone w ciągu dnia, także nocą oraz przede wszystkim w czasie burz na Słońcu. W ten sposób minimalizowana byłaby dawka docierająca do ludzi w habitacie przez okna i inne powierzchnie przeznaczone do wpuszczania światła dziennego.

Dobrą barierą dla cząstek alfa i protonów, głównych składników promieniowania słonecznego, są również tworzywa sztuczne zbudowane z atomów lekkich pierwiastków. W projekcie TransHabu zaproponowano do tego celu folie polietylenowe.

Izolacje termiczne

Jak dotychczas kwestia ocieplania i izolowania termicznego marsjańskich habitatów jest nierozstrzygnięta doświadczalnie. Przypuszcza się, że takie zabezpieczenie budowli marsjańskich, być może, okaże się niepotrzebne. Takie domniemanie wynika z tego, że atmosfera na Marsie jest niezwykle rzadka i pobieranie przez nią ciepła przez ściany zewnętrzne habitatu będzie znikome. Dodatkowo różne urządzenia w habitacie wytwarzają ciepło uboczne, kiedy są uruchomione. Z tego względu w projekcie metalowych modułów mieszkalnych dla Marsjańskiej Misji Wzorcowej NASA termoizolacji nie uwzględnia się. Odwrotnie - wskazuje się, że, być może, problemem będzie pozbywanie się nadmiaru ciepła wytwarzanego przez sprzęt i ludzi (Mars or Bust 2003).

Moduły mieszkalne projektowane dotychczas na misje załogowe są bardzo małe. W ciasnej, zabudowanej przestrzeni wypełnionej różnymi urządzeniami laboratoryjnymi oraz systemem podtrzymywania życia, ciepło może w dużej mierze kumulować się w środku i z trudem uciekać do bardzo rzadkiej atmosfery zewnętrznej. Baza jest jednak strukturą dużo większą i bardziej złożoną: będą pomieszczenia o różnym przeznaczeniu i o innym wyposażeniu; jedne będą częściej zajmowane przez ludzi, inne rzadziej. Stała i mniej więcej jednorodna temperatura powinna panować w całym habitacie. Inaczej ludzie odczuwaliby dyskomfort fizyczny w czasie poruszania się po bazie. Moduły projektowane dla pierwszych marsonautów np. przez NASA mają stać na metalowych nogach. W ten sposób będą one fizycznie odseparowane od regolitu marsjańskiego. Większa konstrukcja mieszkalna raczej będzie osadzona na powierzchni planety, która jest bardzo zimna. Właśnie przez podłogę z habitatu uciekałoby najwięcej ciepła. Jeśli baza znajdowałaby się pod gruntem w całości,



Rysunek 6.65: Aerożel jest doskonałym termoizolatorem (JPL/NASA)



Rysunek 6.66: Aerożel ma bardzo dużą wytrzymałość na ściskanie (JPL/NASA)



Rysunek 6.67: Nanożel: 4 rodzaje granulek (www.nanogel.com)



Rysunek 6.68: Tkanina z aerożelu, Cryogel (Aspen Systems Inc.)



Rysunek 6.69: Microtherm, quilted panel (Microtherm)



Rysunek 6.70: Panele Nanopore VIP (Nanopore)

ciepło przenikałoby przez całą konstrukcję i to bardzo szybko. Dlatego, zdaniem autorki, baza marsjańska potrzebuje izolacji termicznej, która zatrzymywałaby ciepło wewnątrz budowli. W konstrukcjach kosmicznych – orbitalnych i księżycowych – stosowano zwykle aluminiowe radiatory światła słonecznego, które zabezpieczały habitat przed przegrzaniem. Na Marsie raczej nie będzie to potrzebne, ponieważ dociera tam o ponad połowę mniej światła słonecznego niż do orbity Ziemi.

Dzisiejsze rozwiązania technologiczne umożliwiają wykorzystanie rozmaitych materiałów na termoizolacje. Zakładając, że mają być one sprowadzane z Ziemi, wybrać należy te, które są najlżejsze i bardzo pakowne oraz wyjątkowo wydajne (stosunek mas i grubości warstwy do jego izolacyjności jest bardzo niski). Istnieje również możliwość produkowania takich materiałów z miejscowych zasobów. Tablica 6.1 przedstawia zestawienie właściwości materiałów termoizolacyjnych proponowanych przez autorkę do zastosowania w bazie marsjańskiej.

Aerożel to obecnie najlżejszy termoizolator na świecie (Rys. 6.65). Swoje właściwości zawdzięcza malutkim nanoporom otoczonym równie cienkimi ściankami. Nawet w przypadku elementu o grubości rzędu milimetra, z jednej strony może palić się płomień, a drugą stronę można dotykać ręką i nie oparzyć się. Jest niemal tak lekki jak powietrze. Mimo to ma bardzo dużą wytrzymałość na ściskanie (Rys. 6.66). Ma również szereg innych zalet: jest bardzo trwały, niewrażliwy na płomień, nie nasiąka wodą, dobrze pochłania dźwięki. Odkryty ponad 70 lat temu aerożel był kłopotliwy w produkcji i bardzo kruchy. Firma Aspen System Inc. w kontrakcie z NASA opracowała tanie sposoby otrzymywania i wdrażania aerożelu. Obecnie na rynku jest kilka produktów o nieco innych właściwościach. Z aerożelu można wytwarzać sztywne elementy, np. szyby oraz elastyczne materiały. Aerożel dostępny jest w formie: granulek (Rys. 6.67), materiałów (Rys. 6.68), arkuszy i odlewanych form. Może być matowy, prześwitujący lub przezroczysty. Używać go można w szerokim

Tablica 6.1: Porównanie właściwości materiałów termoizolacyjnych

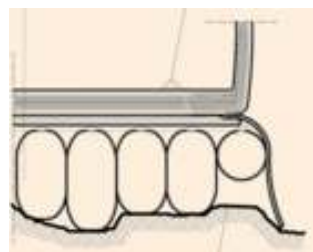
termoizolacje	NanoPore	Microtherm (Quilted Panel)	Aerożel (Aerogel)	Aerożel elastyczny (Criogel, Pyrogel)	Nanożel (Nanogel)
termoizolacyjność [W/mK]	0,004 (obliczone do warunków marsjańskich) 0,031	0,017 (min. 0,008)	0,012	0,020	
gęstość [g/cm ³]	1,7	0,17–0,29	0,1 (0,003–0,35)	0,1	0,1
grubość warstwy [mm]	2–40	3–13	20	3,2 lub 6,4	25
transparentność, kolory	srebrny	kremowy	od prześwitującego (zwykle biały lub żółtawy) po przezroczysty	biały, czarny	prześwitujący, kolory jak na Rys. 6.67
sposób układania	naprzemienne warstwy	kładzione jak mata	układane jak szyby	kładzione jak tkanina	wsypywany między sztywne przegrody
sposób pakowania	pakowany w pudła	rolowany lub układane w stosy	pakowany w pudła	rolowany lub składany (bardzo elastyczne)	wsypywany w worki

zakresie temperatur, także w warunkach kriogenicznych. Ze względu na swe zaskakujące możliwości, stosuje się go często w astronautyce. Nanożel to drobne kuleczki o średnicy podawanej w nanometrach (Rys. 6.67). Są one lekkie, pakowne - łatwe i tanie w transporcie. Dają również dobrą ochronę termiczną. Nie będą jednak działały jak szyba, ale bardziej jak ścianka z luksferów. Taki proszek musiałby być wsypywany w odpowiednie formy lub między dwie sztywne przegrody. Również taki granulat mógłby być rozsypywany na powierzchni i zalewany np. żywicą. W ten sposób powstawałaby twarda, wytrzymała i termoizolacyjna posadzka dla habitatów marsjańskich. Ze względu na bardzo małe średnice kuleczek taki ubity proszek przykryty matą, dawałby też w miarę dobrą posadzkę. Nanożel mógłby być również zalewany wodą przy produkcji okien lodowych.

Firma Aspen Aerogels Inc. oferuje kilka elastycznych aerożeli w formie tkanin przypominających koce. Są to: Pyrogel, Cryogel i Polar Bear. Kriożel (Cryogel) (Rys. 6.68) dotychczas wykorzystywany był w astronautyce do izolowania termicznego zbiorników z paliwem wodorowym utrzymywanym w temperaturze bliskiej zeru bezwzględemu. Wyprodukowano również wstępną wersję rękawic dla marsonautów z tego materiału. Ponieważ kriożel jest szczególnie polecany w warunkach bardzo niskich temperatur, dlatego nadawałby się świetnie do ocieplenia bazy marsjańskiej. Jest on produkowany w formie elastycznych mat w białym kolorze. Łatwo układałoby się go przez to na obłych konstrukcjach, jakie preferowane są dla bazy marsjańskiej. Do ocieplenia okien należałoby jednak użyć przezroczystego aerożelu.

Inne materiały termoizolacyjne o bardzo niskim współczynniku przenikania ciepła to produkty Microtherm i NanoPore. Microtherm musi być grubszy niż NanoPore, by izolować z tą samą wydajnością, za to dostępny jest m.in. jako „quilted panels”, które są elastyczne (Rys. 6.69). NanoPore produkuje się zwykle jako próżniowe panele zwane VIP-ami (Rys. 6.70). Jest jednak możliwość zrezygnowania z takiego przetwórstwa i wykorzystywanie go w formie surowej. W ten sposób jest on częściowo elastyczny, jak zapewnia informator firmy. W warunkach marsjańskich, gdy z jednej strony jest ciśnienie 6 hPa, a z drugiej ciśnienie zbliżone do ziemskiego – do ok. 1013 hPa, uzyskujemy współczynnik przenikania ciepła 0,004 W/mK dla parucentymetrowej warstwy. Oba opisywane w tym akapicie materiały są nieprzezroczyste: Microtherm jest jasnobezowy, a NanoPore srebrny, jako że wykonuje się go na bazie aluminium, dlatego nie nadają się do ocieplania okien. Oba są za to lekkie i poręczne, więc wykonanie z nich izolacji nie byłoby kłopotliwe na Marsie. Do uszczelniania szczelin można by wykorzystywać piankę poliuretanową wtryskiwaną, podobnie jak na Ziemi.

Jako bariery dla uciekania ciepła stosuje się również elementy wypełnione pustką powietrzną. Kształtki ceramiczne, żywiczne czy inne puste w środku elementy mogłyby być kładzione na podłogi lub wznosić można by z nich ściany. W miejscach złączenia występowałyby jednak niekorzystne mostki termiczne, dlatego trzeba by wykonywać co najmniej dwie warstwy odpowiednio kładzionych elementów tak, by każda spoina była osłonięta. Także przy pomocy pneumatycznych poduszek można by izolować wnętrze habitatu od zimnych skał i regolitu. Dodatkowo, odpowiednio napompowywane elementy mogłyby modelować podłogę, i ewentualnie ściany, bazy tak, by była wy poziomowana, jak to pokazane jest na Rys. 6.71.



Rysunek 6.71: Izolacja powietrzna poziomująca podłogę habitatu naziemnego (Kozicki 2004)

Izolacje akustyczne

Najprostszym sposobem izolowania akustycznego w bazie marsjańskiej jest lokalizowanie stref cichych i głośnych w różnych częściach budowli, najlepiej w innych modułach. Ponieważ jednak izolować akustycznie trzeba także pomieszczenia w ramach tych stref, użyć trzeba jakichś technik zapewniających nieprzepuszczanie hałasów. Najprościej jest znowu izolować takie pokoje pustą przestrzenią buforową. Ponieważ jednak związane jest to z utratą przestrzeni użytkowej, należy zaproponować warstwy izolacyjne przegród grodzących pomieszczenia. Ściany pneumatyczne, wypełnione pustką powietrzną będą w pewnym stopniu izolować akustycznie. Ich efektywność należałoby lepiej zbadać. Zwrócić należy uwagę, że na izolacje akustyczne najlepiej wybierać te materiały, które jednocześnie są dobrymi termoizolatorami, np. aerożel, wełna szklana. Oba materiały można produkować *in situ* (są bowiem na bazie szkła). Można z nich produkować lekkie elastyczne maty, których przywiezienie jest także stosunkowo ekonomiczne. Sprowadzenie lub produkowanie materiału o wszechstronnym zastosowaniu jest korzystniejsze niż wykorzystywanie dwóch różnych. Na izolacje akustyczne w bazie marsjańskiej wybrać można także różne materiały specjalnie opracowane do wygłuszania niepożądanych dźwięków. NASA rekomenduje m. in. takie materiały, jak: Durette (absorber dźwięków w formie koca z włókien Nomexu produkowany przez Filtrations Systems), Cohrlastic (elastyczny silikon o strukturze gąbki, dobrze tłumiący wibracje, produkowany przez Saint Gobain), Willtec Sonex (pianka z melaminy dobrze tłumiąca dźwięki, sprzedawana przez Pinta Acoustic), Solimide (pianka tłumiąca dźwięki, produkowana przez American Micro Industries), Bisco HT-200 (cienkie okładziny z impregnowanego silikonu świetnie blokujące dźwięki, produkowane przez Rogers Corporation)¹¹.

Membrany

W habitacie marsjańskim musi być utrzymywana sztuczna atmosfera zbliżona właściwościami do ziemskiej, aby ludzie mogli swobodnie oddychać i naturalnie funkcjonować. Atmosfera ta jest zupełnie odmienna od marsjańskiej i musi być od niej izolowana. Należy minimalizować ucieczkę gazów takich jak: tlen i azot, które stanowią główne składniki atmosfery odpowiedniej do oddychania dla ludzi. Nie można także dopuszczać do przenikania wilgoci przez ściany zewnętrzne bazy.

Każdy materiał stanowi pewną barierę dla gazów i wody. W habitacie marsjańskim należy użyć te z nich, które przepuszczają jak najmniejsze ich ilości. Dzięki nim atmosfera wewnętrzna będzie stabilna i uzupełnianie jej składników będzie minimalne, co znacząco wpłynie na obniżenie kosztów eksploatacji bazy. Najlepszą barierą dla gazów będą przede wszystkim grube warstwy materiałów o dużej gęstości i spójności, np. z metalu. Przywiezienie takich grubych i ciężkich materiałów z Ziemi byłoby bardzo kosztowne, także wykonanie ich na miejscu byłoby pracochłonne i drogie. Dlatego preferowane jest wykorzystanie w tym celu materiałów jak najlżejszych. Odpowiedzią na te wymagania są membrany. Zwykle są to bardzo cienkie folie z tworzyw sztucznych o małej gęstości. Są one elastyczne i można je rolować na czas transportu. Ich właściwości barierowe są znakomite. Na rynku dostępnych jest bardzo wiele takich materiałów (Saechtling 2000). Ich analiza przeprowadzona przez autorkę pozwoliła na wyłonienie tych, które najlepiej powinny nadawać się do uszczelnia-

¹¹Informacje ze strony <http://hefd.jsc.nasa.gov/acousticmaterials.htm>.

Tablica 6.2: Porównanie właściwości membran

Nazwa	Przepuszczalność gazów - ocena	Przepuszczalność gazów - dane [$\times 10^{-13} \text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$]	Reakcja na wodę - ocena	Reakcja na wodę: p - przepuszczalność [$\times 10^{-13} \text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$], a - nasiąkliwość [%]	Najniższa temperatura pracy [$^{\circ}\text{C}$]
ETFE	+/-	0,2 N ₂ 0,6 O ₂ 3 CO ₂	+	p=170 a<0,03	-200
ECTFE	+	0,04 N ₂ 0,1 O ₂ 0,4 CO ₂	+	p=150 a<0,02	-200
FEP, (PFA)	+/-	1 N ₂ 3 O ₂ 10 CO ₂	++	p=13 a=0,01, (a<0,03)	-250
PA (MXD6)	++	0,07 N ₂ 0,002 O ₂ 0,06 CO ₂	+	p=300 a=0,31	-
PCTFE	++	0,004 N ₂ 0,03 O ₂ 0,1 CO ₂	+++	p=0,2 a<0,01	-240
PET	++	0,004 N ₂ 0,03 O ₂ 0,2 CO ₂	+	p=100 a=0,1	-60
PI	++	0,03 N ₂ 0,1 O ₂ 0,5 CO ₂	+/-	p=400 a=0,2	-270
PP	+/-	0,3 N ₂ 1,7 O ₂ 6 CO ₂	++	p=16 a=0,03	-60
PVDC	++	0,001 N ₂ 0,004 O ₂ 0,02 CO ₂	++	p=7 a=0,1	-
PVDF	++	0,03 N ₂ 0,03 O ₂ 0,2 CO ₂	+	p=250 a=0,04	-60



Rysunek 6.72: Folie z tworzyw sztucznych: A) ECTFE, B) PVDF, C) ETFE, D) PFA (DuPont)

nia bazy marsjańskiej. Tablica 6.2 przedstawia porównanie ich właściwości barierowych¹². Wiele z tych folii odpornych jest na niskie temperatury, jakie panują na Marsie. Dzięki temu nie byłoby utrudnień przy montażu. W tabeli uwzględniono również przepuszczalność dwutlenku węgla. Zauważyć jednak należy, że stężenie tego gazu w habitacie będzie prawdopodobnie bardzo podobne do tego na zewnątrz, dlatego przepuszczalność CO₂ nie jest znaczącym czynnikiem przy doborze membrany.

Membrany, które produkowane są jako kompozyty z nanomerami mają znacznie poprawione właściwości. Nawet trzykrotnie może wzrosnąć ich nieprzepuszczalność tlenu. Mają też strukturę bardziej klarowną, dzięki czemu mogą być cieńsze, a przez to również bardziej elastyczne. Nanomery wpływać też mogą na zwiększenie wytrzymałości polimerów i kopolimerów. Przykładem takiej membrany z nanomerami jest PA MXD6. Większość jej właściwości jest podobna do innych nylonów, ale dzięki technologii nano ma on wybitnie małą przepuszczalność gazów (Lan i in. 2001). Jeżeli najważniejsza jest niska masa materiału, wybrać należy jedną folię o jednocześnie dobrych właściwościach barierowych dla gazów oraz wody. Na przykład może to być folia PCTFE. Kiedy przede wszystkim wymagany jest wyjątkowo szczelny materiał, najlepszym rozwiązaniem może okazać się użycie paru membran, które stworzyłyby folię dwu- lub kilkuwarstwową. Do jej wykonania posłużyć mogłyby np.: PA MXD6, która ma wyjątkowo niską przepuszczalność tlenu, PVDC, który stanowi najlepszą barierę dla azotu i PCTFE, który najlepiej chroni przed ucieczką wody. Nie wszystkie folie daje się powlekać i łączyć ze sobą. Projektem takiego wielowarstwowego materiału musiałby zająć się fachowiec.

Wszystkie przedstawione w tabeli folie są transparentne, ich przepuszczalność światła widzialnego sięga do 96% (PFA, FEP¹³). Można zatem uszczelniać nimi przegrody przezroczyste. Na Rys. 6.72 pokazano niektóre z opisywanych tu membran. Większość z wymienionych w tabeli membran jest niepalna lub trudnopalna (V0). Takich właściwości nie mają tylko: PET, PA i PP (HB). Folie te są także często antystatyczne i trudno brudzące, dlatego nie będzie się na nich osadzał brud, pył marsjański czy grzyby i bakterie. Cienkie folie z tworzyw o małej gęstości nie mają zbyt imponujących właściwości mechanicznych. Niektóre z nich jednak mają dość dużą wytrzymałość na rozciąganie (PI¹⁴, PVDC, PET), a inne są rozciągliwe i bardzo trudne do przebicia (FEP, ECTFE, ETFE). Wytrzymałość jest wiążąca praktycznie tylko w przypadku konstrukcji pneumatycznych, kiedy folie stanowią również element konstrukcyjny. Jeżeli dla membrany wymagana jest duża wytrzymałość na rozerwanie, stosuje się wzmocnienia w postaci włókien. Najmocniejsze włókna to m. in.:

¹²Dane pochodzą z informatorów Goodfellow Corp. (goodfellow.com) oraz Saint-Gobain (ffna.saint-gobain.com) – firmy światowej sławy specjalizujących się w produkcji tworzyw sztucznych.

¹³Konstrukcja pneumatyczna z folii FEP pokazana jest na Rys. 6.11

¹⁴Z poliimidu projektuje się m. in. koncentratory słoneczne na kosmiczne napędy termiczne (Moore i McGee 2001).

kewlarowe, nomexowe, mylarowe, wektranowe, szklane, węglowe. Odpowiednio utkana sieć z takich włókien zalana żywicą z danego polimeru lub kopolimeru tworzy bardzo wytrzymały kompozyt. Włókna nie zmniejszają znacząco elastyczności folii, powodują jednak zmniejszenie przepuszczalności dla światła widzialnego.

Między warstwami folii o dużej transparentności można umieszczać fleksybilne ogniwa fotowoltaniczne, które gromadziłyby energię na potrzeby bazy marsjańskiej w słoneczne dni (DuPont 2007) (Rys. 6.73).

Specjalistyczne membrany wykonywać można tylko na Ziemi. Na Marsie możliwe jest za to produkowanie polietylenu z miejscowych surowców (Zubrin i Wagner 1997, 245). Nie jest to materiał o wyjątkowych właściwościach barierowych, ale z powodzeniem mógłby służyć do uszczelniania bazy. Polietylen może być modyfikowany lub



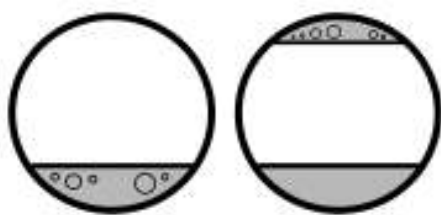
Rysunek 6.73: Solar Pavilion wg projektu Nicholas'a Goldsmith'a (Ron Dabick)

domieszkowany, by polepszyć jego właściwości ochronne i mechaniczne, można też produkować kopolimery z jego dominującym udziałem. Kopolimer E/VAL ma niemal minimalną przepuszczalność gazów, usieciowany polietylen PEX, kopolimer PE-VLD jest trudnorozdzielalny, ma wydłużenie ponad 900% (Saechtling 2000).

Wnioski dla architekta

Habitat marsjański musi posiadać trzy rodzaje izolacji: przeciwradiacyjną, termiczną i zapobiegającą przeciekom gazów i wilgoci ze sztucznej atmosfery wewnętrznej. Istnieją różne rodzaje materiałów izolacyjnych, jakie można zaprojektować dla bazy. Mają one różną naturę i inaczej należy je stosować. Mogą mieć znaczny wpływ na wygląd habitatu – jego formę, kolorystykę i strukturę zewnętrzną. Dlatego architekt powinien zastanowić się, jakie izolacje chce użyć w swoim projekcie. Można tak dobrać materiały izolacyjne każdego typu, by uszczelnić także przegrody przezroczyste i okna.

1. Habitat marsjański musi chronić swych mieszkańców przed szkodliwym wpływem promieniowania. Zatem zadaniem architekta jest zaprojektowanie osłon tworzących barierę dla promieniowania kosmicznego i słonecznego. Przed promieniowaniem kosmicznym powinny być chronione wszystkie pomieszczenia bytowe, zaś przed słonecznym przynajmniej schron, specjalnie wtedy zaprojektowany jako tymczasowe miejsce przebywania w czasie wybuchów na Słońcu. Promieniowanie kosmiczne jest słabsze, dlatego do ochrony przed nim wystarczają mniej efektywne bariery niż w przypadku promieniowania słonecznego.
2. Jako barierę przeciwradiacyjną dla bazy marsjańskiej wykorzystać można: zbiorniki z wodą, przegrody lodowe, warstwę regolitu, bloczki z regolitu i żywicy bogatej w wodór (np. ICI Fiberite 934) lub płachty demronu.
3. Płachty demronu mogą być używane jako tymczasowe zastony okienne oraz dla szklarni.
4. Woda w postaci ciekłej lub bloczków lodowych dość dobrze przepuszcza promienie słoneczne. Z tego względu zalecana jest tam, gdzie chce się zapewnić dobrą barierę



Rysunek 6.74: Przykłady umiejscowienia przewodów instalacyjnych ukrytych dla konstrukcji w kształcie leżącego walca



Rysunek 6.75: Pneumatyczny dukt instalacyjny AirDuct (AirDD)

dla promieniowania i jednocześnie pozwalać na przenikanie światła dziennego, np. w przypadku okien i transparentnych ścian. Mniejsze elementy przezroczyste, np. małe okna, mogą zostać zaopatrzone w specjalnie sprowadzane izolatory, np. w postaci kształtek z żywic bogatych w wodór. Także odpowiedniej grubości przezroczyste folie z lekkich pierwiastków (np. PE) nadają się do tego.

5. Aby w bazie panowała względnie jednakowa temperatura we wszystkich pomieszczeniach bytowych, należy zaproponować użycie jakiegoś materiału termoizolacyjnego, który zabezpieczałby wnętrza przed uciekaniem ciepła do otoczenia na zewnątrz.
6. Na izolacje termiczne bazy marsjańskiej poleca się: aerożel (twardy, elastyczny lub granulowany) oraz quilted panels Microtherm lub Nanopore. Aerożel to najlżejszy i najlepszy na świecie termoizolator. Użyty może być w formie elastycznej tkaniny, granulki luzem lub zalewanych żywicą oraz w formie sztywnych przezroczystych paneli. Panele nadają się świetnie na okna. Nanożel (granulki) może być wsypywany między dwie sztywne przegrody. Jest on dużo poręczniejszy. Kriożel (tkanina) może tworzyć bardzo cienką i lekką warstwę izolacyjną ścian budowli.
7. Ze względu na konieczność uszczelnienia habitatu należy zaprojektować dla niego warstwę nieprzepuszczającą gazów i wilgoci. Najlepiej służą do tego lekkie, bardzo cienkie i elastyczne membrany z tworzyw sztucznych. Folie te mogą być kolorowe lub przezroczyste. Nadają się wtedy do uszczelniania transparentnych przegród budowlanych i okien.
8. W konstrukcjach pneumatycznych należy użyć membran wzmacnianych włóknami, by zwiększyć wytrzymałość mechaniczną materiału.

6.1.7. Instalacje

Instalacje a architektura bazy

Instalacje, w jakie należy zaopatrzyć bazę, mogą mieć mniejszy lub większy wpływ na architekturę. W projekcie powinny być uwzględnione konfiguracje ciągów instalacyjnych oraz przestrzeni technicznych. Naturalnie architekt musiałby dostosować się do zaleceń specjalistów, jednak sposób wprowadzenia duktów instalacyjnych może zostać zaproponowany w nawiązaniu do wizji architektury bazy. Autorka wyróżniła tu dwa podejścia: ukrycie instalacji za przegrodami lub estetyczne wyeksponowanie systemu. Każde z rozwiązań ma

swoje zalety i wady. W pierwszym przypadku konieczne jest uwzględnienie przestrzennej obudowy, która w sumie zajmować będzie więcej miejsca niż same instalacje. Ponadto takie rozwiązanie może niekorzystnie wpływać na dostępność instalacji we fleksybilnej przestrzeni habitatu, np. kiedy ciągi przeprowadzone będą tylko w konkretnych ścianach. Ograniczenia dotyczyć wtedy będą funkcjonalnego rozmieszczenia miejsc podłączenia. Jednak schowanie instalacji będzie zapewniało ich bezpieczeństwo, trudniej będzie o przypadkowe ich uszkodzenie. Poza tym można wykorzystać tu przestrzenie trudnodostępne ergonomiczne dla ludzi, np. pod podłogą w module w kształcie walca (Rys. 6.74).

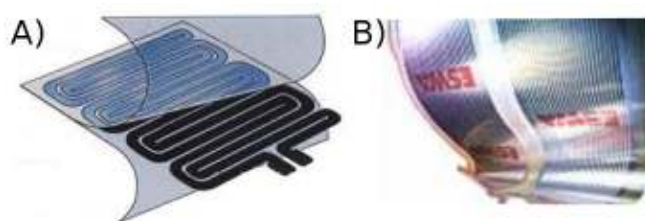
Drugi wariant to wyeksponowanie instalacji. W tym przypadku łatwiej jest funkcjonalnie i optymalnie doprowadzić w odpowiednie miejsca przewody. Wtedy też instalacje sumarycznie zajmują mniej miejsca. Ciągi instalacyjne mogą stać się dekoracyjnymi elementami bazy. Ciekawe przykłady pneumatycznych przewodów powietrznych proponuje m. in. firma AirDD (Rys. 6.75). Ich produkty są lekkie, pakowne i fleksybilne, a montaż jest prosty i szybki. Dlatego dobrze nadają się do wykorzystania w bazie marsjańskiej, np. dla prowadzenia okablowania elektrycznego oraz posłużyć one mogą jako przewody wentylacyjne.

Wodociągi również nie muszą być ukryte. Zbiorniki z wodą mogą wręcz zostać potraktowane jako elementy małej architektury. Mogą tworzyć zamknięte ministawy lub podświetlane pojemniki czy ścianki. Przewody je łączące mogą zostać wykonane z przezroczystych kształtek plastikowych.

Niezależnie od tego, czy ciągi instalacyjne będą ukryte za przegrodami, czy wyeksponowane, należy zabezpieczyć je przed przypadkowym uszkodzeniem i jednocześnie muszą być łatwo dostępne w razie awarii. Powinny też być łatwe do odszukania, dlatego np. można by dukty dla konkretnych przewodów oznaczać różnymi charakterystycznymi kolorami. Osłony instalacji winny być lekkie, łatwe w montażu i nadające się do prowadzenia w wybranym typie konstrukcji bazy (np. masywniejsze ciągi nie mogą być podwieszane w konstrukcjach pneumatycznych itp.). Im mniejsza masa całości, tym niższe koszty sprowadzania instalacji z Ziemi.

Instalacje grzewcze mogą być trojakiego typu: płyty grzewcze, ogrzewanie powietrza nadmuchiwane przez system klimatyzacji, folie grzewcze. Płyty grzewcze proponuje się dla metalowego modułu jednoelementowego misji wzorcowej NASA DRM (Mars or Bust 2003). Jest to tradycyjny sposób ogrzewania. Z wielu powodów nie wydaje się on jednak najlepszym rozwiązaniem dla bazy marsjańskiej. Rozkład płyt musiałby być szczegółowo zaprojektowany. Powinien on być kompatybilny z punktami nadmuchu wentylacji, ponieważ powietrze w habitacie będzie prawie nieruchome ze względu na brak naturalnego wietrzenia. Im bliżej punktów nadmuchu, tym szybciej i efektywniej ciepło będzie się rozchodzić po całych pomieszczeniach. Rozmieszczenie płyt musi korespondować z układem sprzętu (szczególnie tego, który sam wytwarza ciepło) oraz mebli w bazie. Wymaga zasadniczo ustalonego umeblowania. Nie nadaje się zatem do fleksybilnych przestrzeni bytowych. Wreszcie płyty grzewcze są stosunkowo ciężkie i wymagają całego systemu rozprowadzania gorącej wody. Przecieki będą bardzo niebezpieczne. Jest to system dość drogi i kłopotliwy.

Nagrzewanie sztucznej atmosfery przez układ klimatyzacyjny wydaje się znacznie korzystniejszym rozwiązaniem. Cały układ grzewczy byłby wtedy ukryty i nie ograniczałby swobody rekonfiguracji umeblowania we fleksybilnych przestrzeniach. Taki system pozwalałby na dostosowywanie poziomu ogrzewania w różnych pomieszczeniach – np. słabsze ogrzewanie tam, gdzie stale jest włączony sprzęt wydzielający dużo ciepła lub indywidualne sterowanie nagrzewaniem w prywatnych kabinach. Mankamentem tego rozwiązania jest to, że nadmuch systemu wentylacyjnego jest raczej słaby, przez co nawiewanie ciepła byłoby



Rysunek 6.76: Folia grzewcza: A) schemat układu warstw, B) zdjęcie produktu (Backer Elektro)

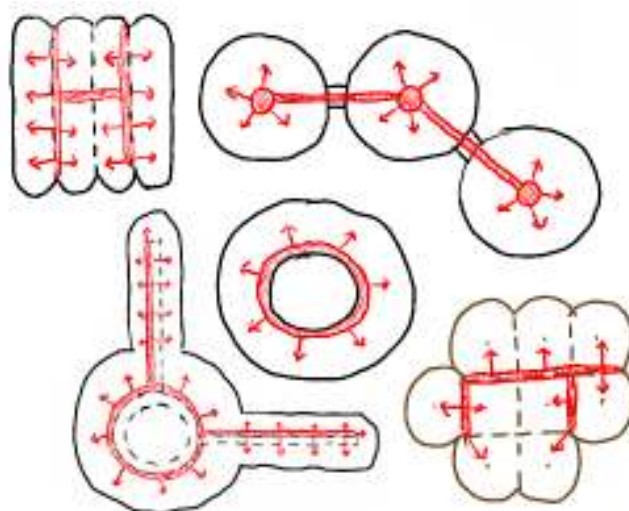
powolne. Jeśli zaś systemy natleniania atmosfery i ogrzewania byłyby odrębne, nadmuch ciepła wymagałby dodatkowego systemu, w tym przede wszystkim własnych pomp.

Innym sposobem ogrzewania, jaki autorka analizuje dla bazy marsjańskiej, jest wykorzystanie folii grzewczych. Na Ziemi stosuje się je do ogrzewania ściennego, podłogowego i sufitowego, a także do rozmrażania oblodzonych dróg. Zapewniają one dość równomierne ogrzewanie dzięki ciągłości instalacji. Z tego powodu świetnie nadają się do ogrzewania szczelnie zamkniętych kubatur z prawie nieruchomym powietrzem. Zasadniczym atutem tego typu ogrzewania jest lekkość instalacji. Foleie grzewcze są elastyczne, łatwe w pakowaniu – dają się rolować i składać. Nadają się więc na okładziny ścian obłych, jakie dominować będą w habitacie marsjańskim. Foleie grzewcze wymagają umieszczenia przewodów elektrycznych między warstwami folii izolacyjnych. Przewody te są bardzo cienkie – o grubości od ok. 10 do 100 mikronów – mają więc formę wycinków metalowych folii (aluminiowych, miedzianych, z mosiądzu) (BackerElektro 2004). Zwykle tworzą gęstą sieć (Rys. 6.76). Mogą jednak być także ułożone w większych odstępach. Ma to duże znaczenie w przypadku przegród, które mają przepuszczać światło dzienne do wnętrza. Okna, świetliki i ściany (np. szklarni) nie będą stykać się z zimnym gruntem marsjańskim, ale rzadką atmosferą, która nie będzie tak szybko odbierać ciepła jak wewnętrzna gęsta atmosfera. Dlatego przewody elektryczne właśnie tu nie muszą być kładzione tak blisko siebie. W ten sposób procent zacienienia nie będzie zbyt duży. Foleie, które zazwyczaj stosuje się w tego typu instalacjach na Ziemi, mogłyby być zastąpione foliami o bardzo wysokim współczynniku przenikania światła i jednocześnie pełniącymi funkcję konstrukcyjną (przenoszenie obciążeń) lub uszczelniającą wnętrze – głównie w przypadku struktur pneumatycznych. Foleie grzewcze wydają się bezpieczne w zastosowaniu na Marsie. Nie wymagają one specjalnych pomp czy innego dodatkowego sprzętu. Pobór prądu jest stosunkowo niski.

Wnioski dla architekta

Sposób prowadzenia ciągów instalacyjnych oraz dobór systemów wpływa na architekturę bazy. W projekcie trzeba by zaproponować albo przemyślane ukrycie instalacji, albo ich estetyczne wyeksponowanie.

1. Układ pomieszczeń technicznych i system ciągów przewodów powinien zostać wprowadzony w układzie funkcjonalnym bazy tak, by maksymalnie skrócić długość przewodów oraz długość poszczególnych odcinków sieci odchodzących od głównych pomieszczeń technicznych. Autorka zaproponowała kilka przykładów takich układów (Rys. 6.77). Rozwiązania te mają na celu zmniejszenie kosztów i masy sprzętu instalacyjnego. W razie awarii jakiegoś przewodu tylko mały fragment bazy będzie odcięty od danego rodzaju medium, co wpływa korzystnie na poziom bezpieczeństwa eksploatacji sieci.

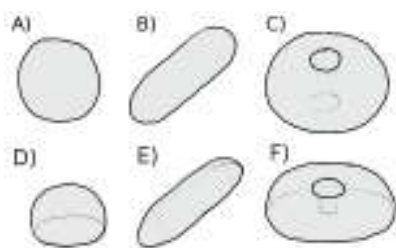


Rysunek 6.77: Propozycje ergonomicznie poprowadzonych ciągów instalacyjnych na rzutach schematów baz o różnej strukturze przestrzennej

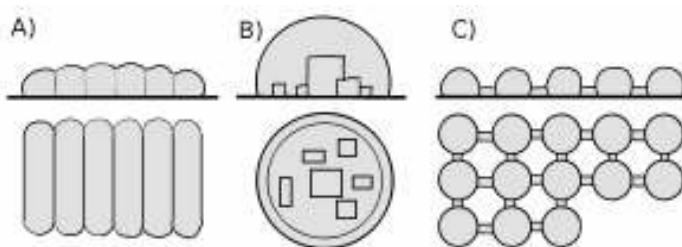
2. W przypadku odsłoniętych przewodów instalacyjnych należy w estetyczny sposób zaprojektować sposób ich prowadzenia. Elementy systemów instalacyjnych mogą stać się formami małej architektury (np. wodociągi) lub tworzyć kolorowe dekoracje (dukty powietrzne).
3. Przewody różnych instalacji mogą zostać kolorystycznie oznakowane w celu lepszej rozpoznawalności systemów.
4. Rodzaj systemu ogrzewania ma wpływ na projektowaną przestrzeń bytową, np. ograniczać może sposób rozmieszczenia sprzętu i mebli. Najmniej inwazyjne we fleksybilnych przestrzeniach wydają się być folie grzewcze. Folia grzewcze są rekomendowane przez autorkę dla bazy marsjańskiej ze względu na małą masę, łatwość montażu (układania, przycinania) oraz walory ekonomiczne.

6.2. Forma

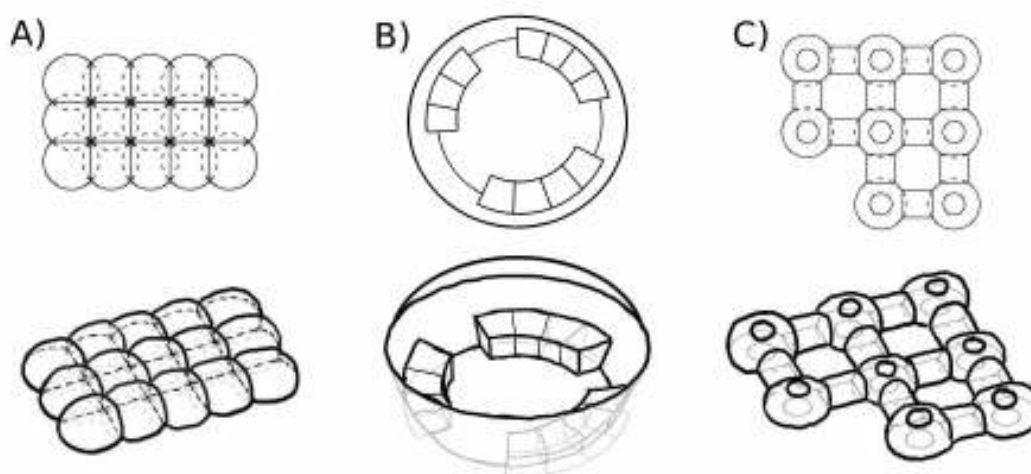
Forma zewnętrzna bazy marsjańskiej podyktowana jest różnicą ciśnień między gęstą sztuczną atmosferą habitatu a bardzo rzadką atmosferą marsjańską. Gazy uwięzione wewnątrz bryły będą wywierały znaczne ciśnienie na ściany zewnętrzne budowli. Gdy do elastycznego pojemnika pompuje się gazy, w naturalny sposób dąży on do uzyskania kształtu sfery. Dlatego w przypadku bazy marsjańskiej optymalny rozkład ciśnienia zapewnić mogą tylko formy obłe. Wewnątrz struktur o innym kształcie powstawać będą nierównomierne naprężenia, które wywołają szybkie zmęczenie materiału konstrukcyjnego, pęknięcia itp. Z tego względu na formę dla habitatu marsjańskiego zaleca się: kulę, walec i torus lub, ewentualnie, ich wycinki: kopułę, sklepienie, fragment torusa (Rys. 6.78). Konstrukcja musi mieć obłóci tam, gdzie przebiega granica między sztuczną a zewnętrzną atmosferą, czyli po powierzchni zewnętrznej konstrukcji. Autorka określiła trzy typy rozwiązań, które dostosowują się do tego wymogu: formy zlepione, zespół budynków pod przekryciem, kompleks wielomodułowy (Rys. 6.79, 6.80).



Rysunek 6.78: Podstawowe formy obłe: A) kula, B) walec, C) torus; D) kopuła, E) sklepienie, F) fragment torusa



Rysunek 6.79: Schematy różnych rozwiązań wykorzystujących formy obłe do zaprojektowania bazy marsjańskiej: A) formy zlepione, B) zespół budynków pod przekryciem, C) kompleks wielomodułowy



Rysunek 6.80: Schematyczne koncepcje bazy marsjańskiej wykorzystujące różne kombinacje form obłych

Formy zlepione tworzą się poprzez przystawianie do siebie podstawowych form obłych i łączenie ich w spójną strukturę. Główną zaletą tego rozwiązania jest to, że wykorzystując jeden rodzaj modułu można tworzyć różne złożone struktury, których konfiguracja podyktowana będzie optymalnym rozwiązaniem funkcjonalnym. Zmiany w zapotrzebowaniu na określoną przestrzeń łatwo będą mogły być korygowane dzięki prostemu sposobowi ścisłego łączenia modułów. Formy zlepione dają strukturę żywą, otwartą na zmieniające się wymagania użytkowników. Płaszczyzna zlepiania dwóch form obłych jest płaska. Łącząc ze sobą wiele takich modułów budowlanych uzyskać można nawet prostopadłościenne kubatury. Taki kształt wewnątrz znany jest człowiekowi z domów na Ziemi. Będzie zatem mógł korzystnie wpływać na samopoczucie mieszkańców bazy. Formy zlepione tworzą dużą przestrzeń całkowitą struktury, którą ludzie przemierzać będą mogli w prosty i szybki sposób, ponieważ moduły oddzielone będą od siebie tylko płaską ścianą z drzwiami. Należy jednak zwrócić uwagę na to, że rozkład ciśnienia wewnątrz całej budowli nie będzie optymalny, jeśli między modułami pozostawi się otwarcia.

Jest to rozwiązanie szczególnie korzystne dla konstrukcji stawianych na otwartym terenie, ponieważ powierzchnia ścian, które muszą izolować wnętrze od środowiska marsjańskiego, może tu być najmniejsza. Najmniej kłopotliwe wprowadzanie zmian w ukształtowaniu form zlepionych będą w przypadku konstrukcji pneumatycznych, gdyż moduły w naturalny sposób będą uzyskiwać właściwy kształt po przestawieniu. Konstrukcje sztywne

miałyby pewne ograniczenia co do ustawiania ich w różnych konfiguracjach, ponieważ z góry określone musiałyby mieć płaszczyzny obłe i płaskie. Zmiany też naturalnie wprowadzać można swobodnie tylko wtedy, jeśli również fleksybilna jest izolacja przeciwradiacyjna.

Zespół budynków pod przekryciem tworzy grupa dowolnie kształtowanych obiektów budowlanych, które stawiane są pod obłym przekryciem. Baza musi mieć wtedy kształt pojedynczej formy obłej. Powstaje w ten sposób zewnętrzna okrywa dla osiedla schowanego pod nią. Przekrycie tworzy barierę między środowiskiem wewnętrznym a zewnętrznym i musi spełniać wszystkie wymagania konstrukcji bazy na Marsie. Natomiast obiekty w środku mogą zostać postawione przy wykorzystaniu niemal dowolnej technologii. Korzyścią tego rozwiązania jest to, że pod okrywą zyskuje się bardzo dużą zupełnie fleksybilną przestrzeń bytową, którą można dowolnie zagospodarować. W sztucznej atmosferze pod przekryciem nie ma problemu z wykorzystywaniem technologii budowlanych wymagających obecności wody w stanie ciekłym. Budynki mogą mieć dowolne kształty, w tym prostopadłościennne – łatwe w montażu i bliskie ziemskim wyobrażeniom domów. Jednak wykonanie bardzo dużej struktury przekrywającej całe osiedle domów jest niezwykle trudne. Przywiezienie jej i montaż również nastroczałby wielu problemów. Zubrin i Wagner (1997) uważają, iż możliwe jest wykonanie kopuły nawet o średnicy 50 m wykorzystując dostępne dziś technologie budowlane. W przypadku dehermetyzacji takiego przekrycia zagrożenie groziłoby całej bazie (lub dużej jej części). Naprawa byłaby mniej lub bardziej trudna, w zależności od typu konstrukcji. Jak jednak przekonują Zubrin i Wagner (1997), ucieczka gazów z wielkiej kubatury o niewielkiej perforacji następowałaby na tyle długo, że byłoby dużo czasu na dokonanie napraw i ponownego uszczelnienia konstrukcji. Im większa struktura przekrycia, tym trudniej ją precyzyjnie wykonać i zmontować na miejscu. Koszt wykonania dużej konstrukcji jest też przez to wyższy. Jednak autorka zwraca uwagę na fakt, że pod takim przekryciem można później wznosić budowle bardzo tanie, z miejscowych materiałów. Ich niedoskonałość, czy po prostu gorsza od ziemskiej jakość, nie będzie taka niepokojąca. Zniszczenie takiej budowli nie będzie też tak dotkliwą stratą, gdyż wykonanie napraw czy nowej konstrukcji nie będzie wiązało się z koniecznością sprowadzania z Ziemi nowych drogich elementów czy modułów. Zespół budynków pod przekryciem to rozwiązanie szczególnie zalecane do zagospodarowywania naturalnych (kratery) lub sztucznych zagłębień na powierzchni planety, ponieważ przekrycie ma wtedy najmniejszą powierzchnię (musi osłaniać osiedle tylko od góry, bo po bokach jest skała).

Kompleks wielomodułowy to rozwiązanie wykorzystujące pewną ilość konstrukcji o stosunkowo niewielkich rozmiarach. Poprzez łączenie ich ze sobą śluzami otrzymywałoby się złożoną strukturę wielomodułową. Jest to rozwiązanie oferujące najwyższy stopień bezpieczeństwa. Nieduże moduły stosunkowo niewielkim kosztem można by wymieniać na nowe w razie poważniejszych awarii. Na czas usuwania szkód moduły mogłyby być tymczasowo zamykane, nie wpływając znacząco na życie w bazie. Moduły mogłyby być ze sobą różnorako łączone, a ich przestawianie byłoby stosunkowo mało kłopotliwe. Rozrastanie się bazy następowałoby w prosty sposób poprzez dołączanie nowych modułów. Największą niedogodnością jest w tym rozwiązaniu konieczność stosowania wielu śluz. Są to elementy dodatkowe, które należałoby sprowadzać z Ziemi. Poza tym poruszanie się po bazie nie byłoby płynne, ponieważ polegałoby na pokonywaniu śluz. Śluzy elastyczne są lżejsze, więc ich transport byłby tańszy. Z kolei śluzy sztywne są wygodniejsze dla osób przechodzących

nimi. Jest to rozwiązanie korzystne w przypadku konstrukcji drążonych, gdzie funkcję śluzy pełniłby po prostu uszczelniony krótki korytarz.

Wnioski dla architekta

Każdy opisany powyżej typ formy ma swoje wady i zalety. Dopiero kiedy zostaną określone dla bazy marsjańskiej: metraż przestrzeni bytowej, funkcja wiodąca i rodzaj konstrukcji, będzie można osądzić, który z tych typów jest najtrafniejszy. Każdy z nich oferuje pewną swobodę projektowania architektonicznego i pozwala na stworzenie najrozmaitszych rozwiązań przestrzennych w zależności od kreatywności architekta.

6.3. Funkcja

Czynniki wpływające na rozwiązanie funkcjonalne bazy

Można wyróżnić trzy zasadnicze czynniki wpływające na rozwiązanie funkcjonalne bazy marsjańskiej: program osiedleńczy, rozwiązanie konstrukcyjne i aspekt ludzki.

Program osiedleńczy będzie zawierał kluczowe informacje, określające:

- funkcję nadrzędną bazy (np. przemysłowa, mieszkaniowa, naukowa);
- liczbę i rodzaj mieszkańców (np. robotnicy, naukowcy, rodziny);
- typ jednostki osiedleńczej oraz przewidywaną wielkość bazy.

Zakładać on także może z góry zmiany w prosperowaniu bazy (np. na początku będą tam prowadzone przede wszystkim badania naukowe, później zaś rozpocznie się produkcja przemysłowa). Na temat założeń takiego programu można dziś tylko spekulować. Obecnie kilka agencji kosmicznych pracuje nad wysłaniem ludzi na Marsa w celu jego lepszego poznania, zdobywania wiedzy naukowej. Dlatego wydaje się, że największe szanse ma scenariusz przewidujący założenie bazy badawczej na Czerwonej Planecie. Taka forma eksploracji pozwalałaby tylko poszerzać wiedzę, a nie przynosiłaby bezpośrednio żadnych profitów finansowych. Na Marsie i jego satelitach występują różne złoża, których eksploatacja mogłaby być intratna. Niska grawitacja pozwalałaby na stosunkowo tani eksport pozyskiwanych surowców. Wtedy konieczne byłoby założenie baz przemysłowych. Korporacja 4 Frontiers (patrz Tab. 1.1) z kolei stawia sobie na celu kolonizację Marsa. Wiązałoby się to z założeniem bazy o dominującej funkcji mieszkalnej. Funkcje robocze byłyby tam zróżnicowane. Miejsca pracy byłyby dobierane tak, by utrzymać prosperowanie bazy.

Rodzaj funkcji nadrzędnej wpływa na typ ludzi, jacy zamieszkiwać będą bazę – czy będą to robotnicy, naukowcy czy rodziny. Szczegółowe rozważania wskażą dopiero liczbę mieszkańców. Może mieć ona dużą rozpiętość i trudno ją dziś oszacować. Założyć można, że baza to jednostka osiedleńcza licząca od kilkunastu do stu, ewentualnie do stu kilkudziesięciu mieszkańców. Przy większej ilości ludzi, można by już mówić o kolonii, która wymagałaby bardziej złożonej struktury funkcjonalnej, bardziej odnoszącej się do wzorca miasta. Natomiast przy mniejszej – będzie to raczej stacja (podlegająca schematowi funkcjonalnemu domu z przydomowym miejscem pracy, np. typu gabinet). Chyba że ta mniejsza liczba mieszkańców będzie chwilowa, np. w początkowej fazie zakładania bazy.

Obok problemów funkcji nadrzędnej oraz liczby i rodzaju mieszkańców dochodzi zagadnienie typu jednostki osiedleńczej i przewidywanej wielkości bazy. Inaczej można zaprojektować bazę w zależności od tego, czy baza będzie tylko jedna czy stanowić będzie jeden z

co najmniej kilku przyczółków (co by wynikało np. z rozrzucenia przemysłu wydobywczego na lokalizacje najbardziej bogate w różne surowce). Im mniejsza wielkość bazy i im większa liczba mieszkańców, których trzeba tam pomieścić, tym trudniejszy problem optymalnego rozwiązania funkcjonalnego. Baza to nietypowa dla Ziemi jednostka osiedleńcza, nie ma tu bowiem swojego odpowiednika. W zależności od liczby i rodzaju mieszkańców oraz od wielkości baza będzie lawirowała między schematem funkcjonalnym domu mieszkalnego a miasta. Są to pojęcia niezwykle sobie odległe. Baza marsjańska swojego wzorca może doszukiwać się np. na stacjach polarnych. Są to twory pełniące funkcje tymczasowego miejsca zamieszkania i pracy ludzi w liczbie od kilku/kilkunastu do kilkudziesięciu osób w warunkach ekstremalnych. Jednak jeden zespół przebywa tam zwykle nie dłużej niż kilka miesięcy, nie mieszkają tam też rodziny i na stację składają się budynki, które nie są ze sobą hermetycznie połączone. Także rodzaj funkcji, jakie mieścić ma dana stacja polarna, jest na stałe określony – zwykle jest to naukowa stacja badawcza, czasem połączona z jednostką wojskową, a rzadziej zapewnia też miejsca noclegowe dla turystów. Baza będzie stanowiła uniwersalną jednostkę urbanistyczną na Marsie. Liczba mieszkańców wskazywać by mogła, że jest to wieś. Jednak złożona, wyspecjalizowana infrastruktura techniczna zbliżać będzie bazę obrazowi miasta. Koegzystować koło siebie będą domy, laboratoria, miejsca rozrywki i tereny upraw.

Rozwiązanie konstrukcyjne określa:

- w jaki sposób baza zlokalizowana zostanie na Marsie (np. na powierzchni, pod ziemią);
- jakie jednostki budowlane będą ją tworzyć (moduły jednego lub pary typów, pojedyncze duże obiekty);
- jakie są dopuszczalne kształty i wielkości jednostek budowlanych;
- system połączeń między jednostkami budowlanymi (zwykle hermetyczne drzwi, śluzy, korytarze doprowadzające);
- kształt wnętrza (rzut koła, prostokąta, obręczy, nieregularny);
- przestronność dyspozycyjnych wnętrza (np. jedno bardzo duże wnętrze, dużo małych podłużnych wnętrza);
- ilość kondygnacji oraz sposób ich konstrukcyjnego rozwiązania i formy (np. układ piramidy, antresole, piętra zamknięte, układ dziedzińcowy);
- miejsca możliwych wyjść na powierzchnię (np. przy windach prowadzących pod powierzchnię, na obwodzie struktury);
- możliwy sposób doświetlania wnętrza światłem dziennym (dostępny układ okien, świetlików, pionowych lub dachowych przegród prześwitujących i transparentnych).

Wszystkie te czynniki znacząco wpływać będą na projekt układu funkcjonalnego bazy. Przy czym zastrzega się, że sposób rozmieszczania funkcji może wywrzeć nacisk na wprowadzenie zmian w rozwiązaniu konstrukcyjnym, np. zmniejszenie lub zwiększenie modułów, inny rozstaw okien itp.

Aspekt ludzki jest niezwykle ważny w przypadku bazy marsjańskiej, która nastawiona jest na długotrwały pobyt w niej ludzi. Zapewnianie komfortu fizycznego i psychicznego może przebiegać m. in. na płaszczyźnie dobrego rozwiązania funkcjonalnego.

Wyróżnić można cztery podstawowe funkcje w habitacie marsjańskim: mieszkalna, robocza, rekreacyjna i uprawy. Do każdej funkcji przynależać będzie pewna grupa pomieszczeń. Trudno jest dziś przewidzieć kompletny skład każdej z nich.

W ramach funkcji mieszkalnej na pewno liczyć się trzeba z pomieszczeniami mieszkalnymi. Dla habitatów w warunkach ekstremalnych zaleca się, by każdy członek załogi miał swój własny pokój (Stuster 1986). Tak więc liczba prywatnych pomieszczeń powinna wynosić co najmniej tyle, ile jest mieszkańców bazy. Warto dysponować dodatkowymi awaryjnymi pokojami. Pozwalałyby one na przeprowadzkę w sytuacji, gdy jakaś zajmowana kabina wymagałaby dłuższej naprawy lub gdyby komuś zależało na zmianie mieszkania z powodu konfliktu z dotychczasowymi sąsiadami. Ze względu na możliwość wystąpienia poróżnień między niektórymi członkami załogi, warto przewidzieć co najmniej dwie strefy mieszkalne. W ten sposób osoby skłócone mogłyby mieszkać w oddaleniu od siebie (Stuster 1986). Na przestrzeń mieszkalną powinno się przeznaczyć wystarczająco dużą powierzchnię użytkową wg zasady, że im dłuższa misja kosmiczna, tym większy metraż przestrzeni prywatnej musi mieć zapewniony każdy członek załogi (Stuster 1986). Dobrze jest, jeśli kabiny mają zróżnicowany kształt, a wielkość taką samą. Nie jest dobrze widziane wyróżnianie którychś osób w grupie (Stuster 1986), a ucieczka przed modularnością pozwoli na personalizację własnego miejsca i odczuwanie silniejszej więzi z osobistą przestrzenią prywatną. Raczej dla każdego powinno się przewidywać jeden pokój. Jednak przy użyciu różnego typu elementów podziału wnętrza można by stwarzać wrażenie mieszkania z paroma pokojami. W przypadku większej liczby mieszkańców można zastosować odpowiednik zabudowy gniazdowej znanej z urbanistyki i uznawanej za najlepszy sposób organizowania kontaktów sąsiedzkich i powstawania więzi grupowych (Schneider-Skalska 2004, s.107). Poza tym ze względów ekonomicznych i tak każda łazienka i toaleta będzie zapewne musiała przypadać na co najmniej dwóch członków załogi. Podobne zgrupowania dotyczyć będą być może małych mes. Integrację zatem wymuszać będą niezależnie względy współużytkowania.

Trudno dziś przewidzieć, jakie miejsca pracy będą w bazie marsjańskiej. Domyślać się można, że bez względu na funkcję dominującą bazy, pojawią się w niej laboratoria badawcze. Mogłyby one być skupione w jednej strefie. Na stacjach orbitalnych wszystkie badania przeprowadzane były w jednym pomieszczeniu. W źródłach autorka nie doszukała się żadnych wzmianek o konfliktach wynikających z tego powodu (poza kwestią hałasu, jaki towarzyszy używaniu wielu urządzeń jednocześnie). W habitacie marsjańskim dobrze byłoby rozdzielić specjalizacje przynajmniej na wydzielone przestrzenie półotwarte z rozsuwanymi ściankami, które można byłoby zamykać, kiedy praca wymagałaby większego skupienia, lub otwierać, by móc w czasie pracy utrzymywać kontakty społeczne, rozmawiać, wymieniać myśli. W pomieszczeniach roboczych zaleca się, by umożliwiać personalizację miejsc pracy, kiedy to tylko możliwe (Stuster 1986). Z tego powodu warto przewidzieć stanowiska robocze dla każdej osoby, która przydzielona jest do wykonywania zadań w danym miejscu pracy. Wygoda z tym związana będzie pozytywnie wpływać na samopoczucie głównie dlatego, że ludzie polecą na Marsa przede wszystkim po to, by pracować. Praca będzie bardzo ważną częścią ich dnia. Drugi typ pomieszczeń roboczych, które na pewno znajdą się na terenie bazy, dotyczy prac związanych z uprawami – zarówno w zakresie zajmowania się roślinami, jak i segregacją i przetwórstwem zbiorów (np. mielenie zboża, robienie konfitur, kiszenie itp.). Najlepiej kiedy będą się one znajdowały blisko pól uprawnych, przyłączy technicznych, kuchni oraz magazynów żywności.

Różne przestrzenie rekreacyjne powinny być rozlokowane w bazie w różnych miejscach, najlepiej przy głównych szlakach komunikacyjnych. Ograniczanie ich do jednego modułu czy strefy nie jest najlepszym rozwiązaniem, ponieważ rekreację można rozróżnić na wypoczynkową i aktywną. Ta pierwsza wymagać będzie raczej spokoju i ciszy, drugiej może towarzyszyć hałas. Poza tym niektóre typy rekreacji będzie lepiej lokalizować bliżej stref

mieszkalnych (np. sale do ćwiczeń, po skorzystaniu z których będzie trzeba wziąć prysznic), inne – dalej (hałaśliwe miejsca imprez, filmoteka).

Jeśli chodzi o tereny agrokultury, rozpatrywać można wiele rozwiązań. Na główne uprawy przeznaczyć będzie trzeba spory areał, aby zapewnić żywność dla wszystkich mieszkańców. Można zorganizować dla niego jedną dużą przestrzeń, np. w centrum bazy lub na jej obrzeżach – tam gdzie jest najlepsza dostępność promieni słonecznych. Dobrze, gdy agrokultura sąsiaduje z pomieszczeniami mieszkalnymi, które mogą mieć wtedy okna wychodzące na ogród. Kontakt z przyrodą jest niezwykle ważny w życiu człowieka, przynosi ukojenie i radość. Dlatego im więcej przestrzeni użytkowych sąsiaduje z ogrodem i utrzymuje z nim kontakt wizualny, tym większy komfort psychiczny mieszkańców bazy. Niektóre szlaki komunikacyjne mogą nawet przecinać ogród. Pomieszczenia rekreacyjne wypoczynkowe (np. biblioteka) mogą bezpośrednio przylegać do terenów zielonych i być od nich oddzielone dużą przegrodą przezroczystą. Autorka zakłada, że ze względów bezpieczeństwa ograniczony będzie kontakt z roślinami, aby nie dopuszczać do przenoszenia do przestrzeni mieszkalnej rodników grzybów i pleśni. Dlatego uwzględnia się tylko wydzielone, zamknięte przestrzenie upraw. Mimo to możliwe będzie posiadanie w domach roślin. Musiałyby one być wtedy trzymane w szczelnych akwariach. Większe akwaria z zielenią mogłyby też być elementami wewnątrz w przestrzeniach publicznych, głównie rekreacyjnych. Stanowiłyby wtedy małe biosy filtrujące dwutlenek węgla z pomieszczenia i dostarczające tlen. Aby system był tani i sprawny, powinno się użyć na ścianki akwariów odpowiednie membrany. Aby można było zajmować się roślinami z takich dużych akwariów, trzeba by połączyć je korytarzem z głównymi terenami upraw, zapewniając dojście osobom w ubraniach ochronnych opiekującym się zielenią.

Fleksybilna przestrzeń bytowa

Układ funkcjonalny jest niezwykle ważny w przypadku małych modułów mieszkalnych, jakie charakterystyczne są dla dotychczas powstałych habitatów kosmicznych. Ze względu na małe gabaryty, chęć pomieszczenia członków załogi oraz zapewnienia możliwości prowadzenia szeregu badań, wszystko wewnątrz takiej konstrukcji musi być ciasno upakowane. Ściśle określa się granice między pomieszczeniami, meble dopasowuje na wymiar. Nie ma tu praktycznie możliwości zmieniania wyglądu wnętrza, wprowadzania poprawek, na jakie liczyliby w czasie misji mieszkańcy w celu polepszenia komfortu fizycznego oraz psychicznego. Projektant musi przewidzieć wszelkie możliwe niedogodności, bo później nie będzie już można nic zrobić. Mimo starań architektów, wszystkie te kosmiczne habitaty są niezwykle ciasne i niewygodne. Obowiązują tam normy, które zapewniają tylko minimalny komfort swoim użytkownikom. W przypadku większych habitatów oferowana przestrzeń jest znacznie większa. Istnieje zatem możliwość wykorzystania jej w jak najlepszy sposób, a więc tak, by nie tylko zadbać o domyślny optymalny układ funkcjonalny, ale także, by zapewnić ludziom możliwość wprowadzania zmian, których potrzeba zwykle przychodzi z czasem. Baza marsjańska to duży habitat w warunkach ekstremalnych, przeznaczony na długotrwały pobyt ludzi, w którym komfort fizyczny i psychiczny mieszkańców jest traktowany priorytetowo. Z tego powodu, zdaniem autorki, potrzebna jest tu przede wszystkim **fleksybilna przestrzeń**. Pozwala ona na zlokalizowanie w niej różnych funkcji w rozmaitych konfiguracjach i zależnościach. Zapewnia wygodę i prostotę dokonywania przekształceń funkcjonalnych. Pozwala na dokonywanie zmian i wprowadzania urozmaiceń w otoczeniu życia codziennego i łatwo ją przystosować na specjalne okazje.

Zaprojektowanie takiej fleksybilnej przestrzeni możliwe jest już dziś. Gdy skonkretyzowany zostanie program osiedleńczy, można będzie zaprojektować początkowy domyślny układ funkcjonalny. Choć będzie musiał być dobrze przemyślany, trzeba go będzie traktować z rezerwą. Warto gdyby jednocześnie można było zaproponować kilka alternatywnych rozwiązań przestrzennych dla tej samej kubatury. Należy bowiem zakładać, że nawet najbardziej przemyślany wariant może nie zdać egzaminu w bazie marsjańskiej. Wynika to z faktu, iż bardzo trudno jest przewidzieć zachowanie i potrzeby ludzi, którzy zamieszkają na Marsie. Chodzi tu zarówno o komfort poruszania się w warunkach obniżonej grawitacji, jak i kształtowania się zachowań społecznych, które ulegać mogą dużym zmianom szczególnie wtedy, jeśli załoga będzie się zmieniać (np. okresowo co misję). Optymalny układ funkcjonalny będzie ewoluował wraz z upływem czasu, któremu towarzyszyć może zmiana w głównym programie bazy, rozwój lub rozrost bazy, nowe rozwiązania technologiczne (np. dotyczące transportu wewnątrz bazy). Każdy metr kwadratowy przestrzeni bytowej na Marsie jest dużo droższy niż gdziekolwiek indziej na Ziemi, nawet jeśli do wielu zadań zaprzęgnię się technologie ISRU. Dlatego nie można pozwolić, by został zmarnowany. Opuszczenie starej bazy i budowa zupełnie nowej (np. z powodu złego układu funkcjonalnego) będzie bardzo niekorzystna ze względów finansowych i przestrzennych. Dlatego nie można projektować bazy marsjańskiej ze sztywnym układem funkcjonalnym. **Habitat musi posiadać przestrzeń fleksybilną.** Tylko wtedy ma on szansę na przetrwanie próby czasu. Jest to jedyne ekonomiczne rozwiązanie dla bazy, która pretenduje do miana przyjaznego człowiekowi habitatu. Nie możemy przewidzieć przyszłości, ale możemy się na nią przygotować. W przekonaniu autorki koniecznością jest zaprojektowanie na Marsie architektury dostosowywalnej do różnych wymagań funkcjonalnych. Wykorzystanie małych ciasnych metalowych modułów ze sztywnymi ścianami przymocowanymi na stałe, jakie proponuje się dla pierwszych misji załogowych na Marsa (w ramach programu Mars Direct i wzorowanego na nim DRM) raczej nie nadaje się do tego. Stworzenie sieci takich modułów w formę bazy wydaje się być bardzo niekorzystne pod względem procentowego udziału funkcji komunikacyjnej, uciążliwości pokonywania wielu śluz oraz niewygody w poruszaniu się po takich habitacie. Trudno byłoby tu o poczucie komfortu zarówno fizycznego, jak i psychicznego.

Aby stworzyć fleksybilną przestrzeń, należy odpowiednio zaprojektować konstrukcję. Niektóre funkcje w bazie mogą wymagać konkretnych rozwiązań. Autorka wymienia poniżej wpływ funkcji na konstrukcję, formę oraz wnętrza w bazie marsjańskiej.

- Fleksybilna przestrzeń wymaga jak najmniejszej ilości na stałe postawionych elementów konstrukcyjnych, głównie ścian, a także słupów.
- Najprostsze rozdzielenie funkcji konfliktowych to zlokalizowanie ich w odrębnych jednostkach budowlanych – np. połączonych ze sobą śluzą modułach lub też umieszczenie ich w oddległych od siebie częściach habitatu.
- Chęć wykonania okien w większości pomieszczeń bytowych wymagać będzie rozwiązań konstrukcyjnych to umożliwiających. Ograniczony też przez to będzie sposób kształtowania formy habitatu.
- Rodzaj komunikacji może wpłynąć na formę bazy, jej układ modułarny itp. Szczególnie dotyczy to komunikacji o ruchu przyspieszonym, która będzie wymagać specjalnego rozwiązania konstrukcyjnego.
- Niektóre funkcje wymagają specjalnego rozwiązania, np. szklarnia, która powinna być dobrze oświetlona lub schron, który musi mieć wyjątkowo dobrą warstwę antyradiacyjną.

Komunikacja

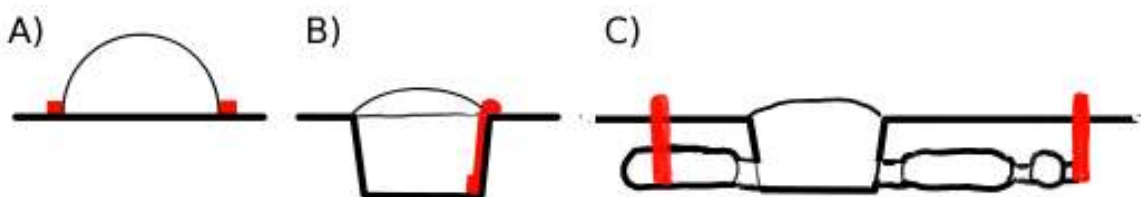
Podstawowym elementem rozwijającej się jednostki osadniczej jest układ komunikacyjny, który umożliwia jej rozwój, sprzyja mu i wspiera go. Na Ziemi w jednostkach osiedleńczych układ komunikacyjny stanowi sieć otwartych dróg. Na Marsie cała komunikacja bazy powinna być ukryta w hermetycznych przestrzeniach – jak w budynkach. Zmuszanie ludzi do przechodzenia między fragmentami bazy w kombinezonach kosmicznych jest niedopuszczalnym utrudnieniem. Ludzie musieliby się specjalnie przebierać i poświęcać czas na przystosowywanie się do środowisk o różnym ciśnieniu. Bazę marsjańską porównać można do miasta wciśniętego do budynku. Układ komunikacyjny bazy będzie stanowił kompromis między siecią dróg znaną z miast ziemskich a korytarzami wielofunkcyjnego budynku. Nie można dziś przewidzieć optymalnego sposobu przemieszczania się i układu komunikacji dla jednostki osiedleńczej na Marsie w przyszłości. Jednak wstępna analiza tego problemu może ukierunkować dalsze badania.

Jedyna funkcja, która musi być dość sztywno określona w bazie to komunikacja. Wprowadzać będzie ona ład i porządek. Stały układ zasadniczych ciągów drogowych powinien być prosty i przejrzysty, by ułatwiać orientację w bazie. Taki narzucony układ dróg powinien być łatwy do zapamiętania, by usprawniać przemieszczanie się ludzi po habitacie. Jest to szczególnie ważne we fleksybilnej, zmiennej przestrzeni zarezerwowanej dla pozostałych funkcji oraz dla krótszych dróg o mniejszym znaczeniu. Główne ciągi komunikacyjne mają za zadanie zbierać ruch z mniejszych dróg i prowadzić do wyjść ewakuacyjnych. Dlatego powinny być odpowiednio szerokie i stosunkowo krótkie, by zabierać jak najmniej przestrzeni bytowej i zapewniać jak najszybszą ewakuację. Optymalne rozwiązanie jest wtedy, gdy z każdego punktu w bazie prowadzą co najmniej dwie drogi ucieczki (Grupa z Puerto Rico 1989). W podłużnej budowlі zapewni to zwykła prosta droga, w pozostałych przypadkach (np. budowla na planie koła lub struktura wielomodułowa) wskazany jest ruch okrężny: prowadzony po obwodzie okręgu, trójkąta, kwadratu itp. Drogi o mniejszym znaczeniu powinny mieć raczej formę nieco urozmaiconą, by zakłócać monotonię zamkniętego środowiska życia.

Projektowanie szlaków komunikacyjnych zależy od formy bazy. Jeżeli baza to jeden duży budynek, posiada ona plan otwarty. Pozwala to na dowolny sposób wykreślenia schematu drogowego, a śluzy wyjściowe można zlokalizować wg projektu funkcji. W przypadku modułów zlepionych układ komunikacyjny jest częściowo ograniczony – miejsca przejść mogą zostać zaprojektowane tylko tam, gdzie występują ściany wspólne. Wciąż zapewnia to jednak bardzo dużą swobodę w planowaniu komunikacji w habitacie. Kiedy zaś moduły stanowią odrębne elementy bazy i posiadają konkretnie umiejscowione śluzy, mamy do czynienia z układem sztywnym. Punkty dostępu do każdego modułu są ustalone i należy się im podporządkować.

Elementy komunikacji, jakie można zaprojektować wewnątrz bazy marsjańskiej to: śluzy (wejścia, przejścia), drogi (różnego typu), skrzyżowania, place, schody, drabiny, rampy, mosty, kładki itp.

Śluzy: Wymienia się śluzy dwojakiego typu: wejściowe (do całego obiektu) i przejściowe (między modułami). Ilość wejść do bazy zależy od: liczby mieszkańców, względów bezpieczeństwa i struktury przestrzennej habitatu (Rys. 6.81). Niektóre z tych śluz mogą być tak zaprojektowane, by umożliwiać wyjście na powierzchnię i przejście do podłączanego specjalnie pojazdu marsjańskiego. Im więcej takich śluz, tym większe bezpieczeństwo: większa liczba ludzi naraz może opuścić budowlę lub do niej wejść, a utrata któregoś z wejść z po-



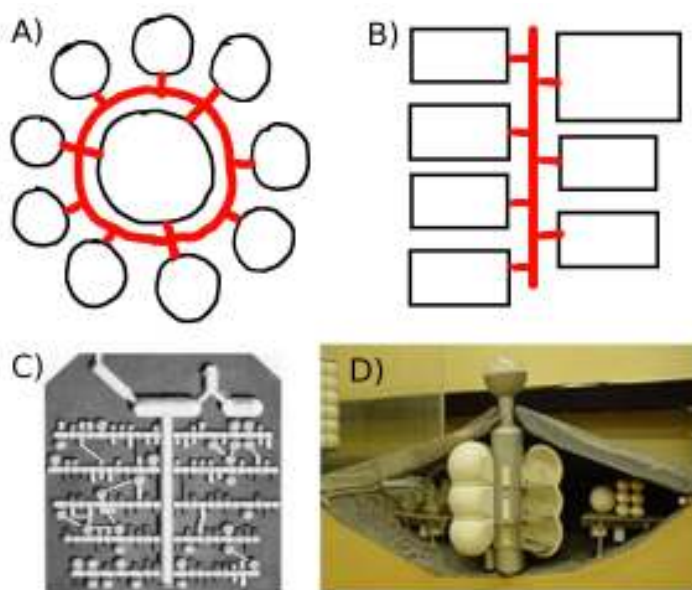
Rysunek 6.81: Różne rodzaje wyjść na powierzchnię z hermetycznej bazy marsjańskiej: A) naziemnej (zwykłe śluzy) i B,C) podziemnej (pion komunikacyjny wewnątrz przestrzeni bytowej lub niezależny)

wodu awarii jest mniej dotkliwa. Jednak zainstalowanie wielu śluz jest kosztowne, również ze względu na konieczność pomieszczenia całego ich zaplecza z przebieralniami i pomieszczeniami do przygotowań do wyjścia na powierzchnię. Zatem liczba śluz wyjściowych powinna być przeanalizowana dla konkretnego rozwiązania architektonicznego i zoptymalizowana. Liczba śluz przejściowych podyktowana będzie przede wszystkim ilością modułów tworzących bazę i ich układem w przestrzeni. Każdy moduł winien mieć co najmniej dwie śluzy ze względów bezpieczeństwa.

Komunikacja drogowa: W bazie mogą wystąpić różne typy komunikacji. Najbardziej oczywista jest komunikacja piesza. Ruch pieszy powinien przebiegać na Marsie sprawniej, jako że w obniżonej grawitacji mniej wysiłku kosztuje poderwanie ciała do ruchu. Im rozleglejsza jednak baza, tym ruch przyspieszony staje się bardziej potrzebny. Ruch kołowy pomaga też w transporcie większych ciężarów. Jakikolwiek ruch zmechanizowany wymaga pobierania energii. Ponieważ będzie ona bardzo cenna w bazie, tylko w wyjątkowych przypadkach taki ruch przyspieszony będzie miał rację bytu. Wymienić tu można: ruch jezdny (kołowy), wodny, podwieszony (wyciągi, kolejki linowe). Pierwsza baza marsjańska nie będzie raczej tak duża, by ruch np. kołowy był bardzo potrzebny. Przewidując jednak jej rozwój i rozrost można zaprojektować ciągi komunikacyjne tak, by później można było je przekształcać lub powiększać, by wprowadzić dodatkowe pasy ruchu. Ruch przyspieszony ma sens tylko wtedy, kiedy nie trzeba pokonywać śluz. Zatem trakty komunikacyjne dla takiego typu ruchu nadają się tylko dla dużych budowli, ewentualnie stanowić mogą osobne zamknięte konstrukcje przechodzące przez wiele modułów. Sieć głównych dróg w bazie będzie stanowić zasadniczy szkielet dróg ewakuacji. Prowadzić one powinny do: następnego modułu, na zewnątrz i, ewentualnie, do schronu. Drogi powinny być dobrze oświetlone.

Komunikacja pionowa: W ziemskich miastach nie odgrywa ona roli. Bazy podziemne i wielokondygnacyjne będą musiały być odpowiednio skomunikowane ciągami pionowymi o charakterze ogólnodostępnym i spełniającym tak samo ważną funkcję, co ruch poziomy, dominujący na Ziemi. Najwygodniejszym elementem komunikacji pionowej jest winda. Pozwala ona szybko i bez wysiłku pokonać różnicę wysokości między kondygnacjami. Dźwig wymaga jednak nakładu energii, która w habitacie marsjańskim będzie bardzo cenna. Alternatywne rozwiązania techniczne pomogłyby zmniejszyć nakłady pracy na wciągnięcie windy do góry, a system opóźniający ześlizgiwanie – w dół. Windy zajmują też mniej miejsca niż schody czy rampy. Należy zauważyć, że dzięki obniżonej grawitacji podciąganie windy nie będzie aż tak energochłonne jak na Ziemi. Także ten efekt odnosi się do chodzenia – chód będzie lżejszy, krok dłuższy, łatwiej będzie wspinać się na wysokości. To pozwala na wykonywanie np. bardziej stromych schodów, które będą zajmowały mniej miejsca.

Poszerzenia dróg: Mogą być one potrzebne z różnych względów: społecznych – w celu stworzenia miejsc spotkań lub funkcjonalnych – tam, gdzie ruch jest silnie natężony, w



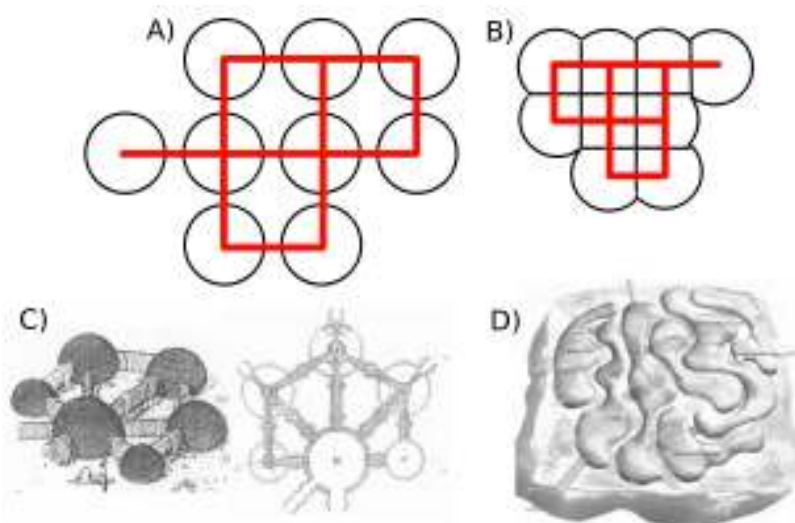
Rysunek 6.82: Komunikacja (kolor czerwony) zewnętrzna: A,B) schematy oraz przykłady: C) pneumatyczne miasteczko Ibiza City (Muire 1971), podziemna baza z projektu KBOM (Anatoly Zak, www.russianspaceweb.com)

węzłach komunikacyjnych itp. Poszerzenia dróg o największym znaczeniu utworzą niewielkie place. Pełnić one będą funkcję nie tylko komunikacyjną, ale również rekreacyjną.

Cała sieć komunikacyjna w bazie marsjańskiej musi być poprowadzona wewnątrz szczelnie zamkniętej konstrukcji. Autorka wyróżniła trzy rozwiązania przestrzenne dla komunikacji w bazie marsjańskiej: komunikacja zewnętrzna, przecinająca moduły i obwodowa. Każda z nich ma swoje wady i zalety. Wybranie jednego z nich będzie zależało od możliwości technologicznych i ekonomicznych fundatorów bazy.

Komunikacja zewnętrzna (Rys. 6.82) – sieć komunikacyjna poprowadzona jest wewnątrz niezależnych konstrukcji, w których mieści się wyłącznie funkcja komunikacyjna. Przestrzenie mieszkalne i robocze są do niej podłączane śluzami, zwykłymi wejściami lub korytarzami doprowadzającymi. Niezależne ciągi komunikacyjne pozwalają na: wydzielenie traktów kołowych, pieszych, ruchomych chodników, kolejek itp. od pozostałych funkcji, nie ingerując w nie. Dzięki temu szybki ruch (przede wszystkim kołowy) nie jest wpuszczany do modułów mieszkalnych i roboczych, co wpływa na bezpieczeństwo. Drogi w ten sposób są uporządkowane, ich schemat jest przejrzysty. Przechodzenie między odleglejszymi modułami jest przyspieszone. Przebudowa dróg wiąże się tylko ze zmianami w konstrukcjach korytarzowych, więc nie wpływa na pozostałe funkcje w bazie. Jest to bardzo korzystne rozwiązanie dla habitatu, u którego przewiduje się szybki rozwój i rozrost. Monitoring ciągów komunikacyjnych jest ułatwiony. Do wad tego rozwiązania należy konieczność budowy specjalnych konstrukcji tylko na potrzeby transportu. Awaria takiego korytarza spowodowałaby odcięcie od siebie wszystkich modułów. Aby zmniejszyć ryzyko wystąpienia takiego scenariusza, należałoby skracać tunele komunikacyjne do niezbędnego minimum i dzielić je na odcinki. Najlepiej gdyby każda trasa się dublowała. Przeznaczenie na samą komunikację odrębnych konstrukcji jest rozwiązaniem bardzo droгим.

Komunikacja przecinająca moduły (Rys. 6.83) – ciągi komunikacyjne prowadzą przez środek jednostek budowlanych. To rozwiązanie umożliwia uzyskanie otwartych, ogólnych



Rysunek 6.83: Komunikacja (kolor czerwony) przecinająca moduły: A,B) schematy oraz przykłady: C) wielomodułowa baza (Sabouni i in. 1991), D) baza w bryle lodu (R&Sie 2002)

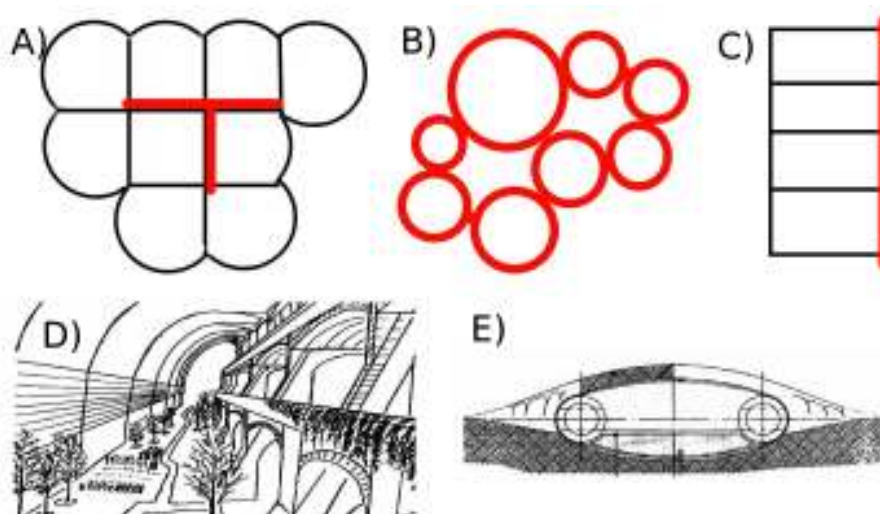
nodostępnych dróg, które zbierają ruch z całego modułu w najprostszy sposób. Ożywione zostają wtedy kontakty społeczne. Także ludzie mieszkający w różnych modułach mają więcej okazji, by się spotkać. Każdy lepiej wtedy zna swój habitat, ponieważ przechodzi przez różne jego części. W razie awarii któregoś z modułów możliwa jest szybka ewakuacja w bezpieczną część habitatu. Podstawową wadą tego rozwiązania jest znaczne wydłużenie drogi z punktu A do punktu B, a wprowadzenie do środka modułów ruchu przyspieszonego mogłoby grozić wypadkami. Rozwiązanie to wiąże się z utrudnioną kontrolą i konserwacją dróg. Komunikacja też zabiera wtedy dużą powierzchnię habitatu.

Komunikacja obwodowa (Rys. 6.84) – drogi poprowadzone są na obrzeżach modułów. Wtedy główne ciągi komunikacyjne nie są wprowadzane do środka modułów, mniej ingerują w ich przestrzeń. Mogą stanowić fragment wnętrza lub być osobnym podłużnym pomieszczeniem. Długość najszerszych dróg zbiorczych jest w ten sposób znacznie zmniejszona, a ruch przyspieszony nie stanowi poważnego zagrożenia. Jeśli chodzi o sferę społeczną, ludzie przechodzą przez różne moduły, dzięki czemu je poznają, ale nie jest wymuszane wciąganie do środka tych, którzy się po prostu spieszą lub z jakichś powodów nie mają ochoty tam wchodzić. Komunikacja obwodowa musiałaby być dobrze przemyślana tak, by można było wygodnie pokonywać jej odcinki (szczególnie kłopotliwe, gdy moduły mają rzut koła) i aby awaria jednego modułu nie spowodowała zaburzeń w ruchu po całej bazie. Znowu system zdublowany byłby najlepszym rozwiązaniem. Ewentualnie tymczasowy awaryjny korytarz mógłby być np. nadmuchiwany.

Wnioski dla architekta

Obecnie nie można wymienić dokładnie wszystkich pomieszczeń, jakie będą kiedyś potrzebne w bazie marsjańskiej. Na pewno jednak znaleźć się tam będzie musiała funkcja: mieszkaniowa, robocza, rekreacyjna i techniczna.

1. W ramach funkcji mieszkalnej uwzględnia się kwatery prywatne, łazienki oraz kuchnie i jadalnie. W zależności od rodzaju mieszkańców bazy, ich potrzeb i długości okresu, jaki mają spędzić na Marsie, mieszkania mogą być mniej lub bardziej rozbudowane. W



Rysunek 6.84: Komunikacja (kolor czerwony) obwodowa: A,B,C) schematy oraz przykłady: D) ceglana baza (MacKenzie), E) nadmuchiwana baza (Chow i Lee)

przypadku małej liczby mieszkańców powinny wystarczyć kuchnie z mesami, zaś gdy liczba ta okaże się duża, rozsądne może okazać się wprowadzenie zbiorowych jadłodajni. Liczba łazienek i ich dostępność podyktowane będą liczbą mieszkańców oraz oszczędnością w gospodarowaniu przestrzenią bytową. Względy ekonomiczne spowodują najprawdopodobniej, że łazienki będą musiały być dzielone przez co najmniej kilka osób (np. na zasadzie domów studenckich).

2. W układzie funkcjonalnym bazy powinny zostać uwzględnione różne pomieszczenia rekreacyjne, ponieważ im więcej form rozrywki, tym większy komfort psychiczny mieszkańców (Evans i in. 1988). Sala gimnastyczna z siłownią jest koniecznym elementem bazy w ramach funkcji rekreacyjnej.
3. Funkcja rekreacyjna powinna być maksymalnie rozwinięta. Nie należy zamykać jej wyłącznie wewnątrz ściśle określonych ram przestrzennych, ale także wygospodarować miejsca wspólnotowe w innych częściach bazy. Będą one sprzyjały niewymuszonym interakcjom społecznym, pełnić będą funkcję miejsc nieumówionych spotkań lub pozwalając będą na chwilowe zatrzymanie się np. w czasie drogi do pracy, by popatrzeć przez okno czy zaczekać na kogoś.
4. Do wykonania bazy powinien posłużyć optymalny układ funkcjonalny. Jednak potrzebna jest przestrzeń fleksybilna. Im więcej w tym względzie swobody, tym przestrzeń bardziej otwarta na potrzeby i pomysły mieszkańców.
5. Należy uwzględnić, że niektóre przestrzenie spełniać mogą dwie czy parę funkcji, np. szklarnia jest zarówno pomieszczeniem technicznym – BIO LSS, miejscem pracy, a także wypoczynku w otoczeniu zieleni; kwatera prywatna pełni funkcję mieszkaniową, rekreacyjną (można się tu spotkać z przyjaciółmi, grać, czytać książki itp.), a w niektórych przypadkach roboczą¹⁵.

¹⁵Na stacjach polarnych naukowcy chętnie zabierali pracę do swoich pokojów i pracowali tam w czasie wolnym (Evans i in. 1988)

6. Niektóre funkcje będą wymagać bezwzględnej ochrony przed szkodliwym promieniowaniem (np. schron, pomieszczenia techniczne z wrażliwym sprzętem), inne – bardziej będą potrzebować dobrego nasłonecznienia (np. szklarnia). Każda z takich funkcji musi być rozmieszczona w innych częściach bazy – o innej formie przekrycia, np. schron głęboko pod ziemią, a szklarnia pod przezroczystym dachem.
7. Konieczne jest rozdzielanie przestrzeni o diametralnie różnych cechach, np.: głośnej od cichej, jasnej od ciemnej, roboczej od wypoczynkowej, publicznej od prywatnej.
8. Układ funkcjonalny powinien wspierać i regulować dzienny cykl zajęć.
9. Zasadniczy układ komunikacyjny musi zostać ustalony. Powinien być prosty i przejrzysty, aby dotarcie z punktu A do punktu B nie nastroczało trudności. Główne ciągi stanowić będą też drogi ewakuacji, muszą zatem być krótkie, szersze i odpowiednio zbierać ruch z mniejszych dróg.
10. Należy określić miejsca wyjścia na powierzchnię. Przy nich oprócz śluzy musi zostać zaprojektowana przebieralnia, miejsce przygotowania do wyjścia na powierzchnię, odłożenia bagażu (np. próbek gruntu) i jego tymczasowe przechowanie, miejsce na wózek transportowy itp.
11. Sieć drogowa zależy w dużym stopniu od wielkości i kształtu jednostek budowlanych bazy oraz rodzaju połączeń między nimi. W dużej rozległej jednostce ciągi komunikacyjne mogą być prowadzone w sposób bardziej dowolny niż w sytuacji, gdy baza składa się z wielu mniejszych modułów, szczególnie jeśli punkty przejścia między nimi są sztywno określone.
12. Funkcje powinny być tak rozmieszczone w bazie, by zapewnić odpowiednie ich doświetlenie oraz kontakt wizualny z biosem lub otoczeniem w celu zapewnienia komfortu psychicznego.

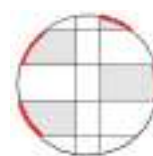
6.4. Wnętrza

6.4.1. Wnętrza a konstrukcja bazy

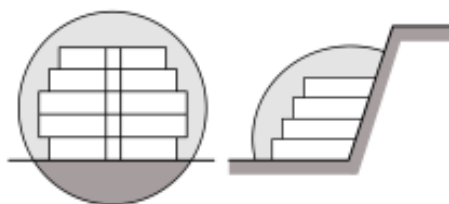
Tradycyjne pomieszczenie użytkowe na Ziemi ma kształt prostopadłościanu. Forma ta wynika z prostoty i niskich kosztów wykonania takiej bryły (w technologiach budowlanych zazwyczaj wybieranych). Wnętrze o takim kształcie jest najłatwiej zaaranżować dostępnymi w sklepach meblami. Forma prostopadłościanu jest najprostszym typem pomieszczenia,



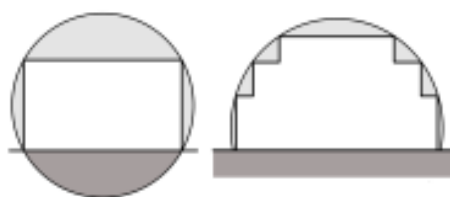
Rysunek 6.85: Obłóci na: A) kuli, B) toru-
sie i C) walcu



Rysunek 6.86: Obłóci na kolej-
nych komdygnacjach



Rysunek 6.87: Wariant A – separacja od obłości



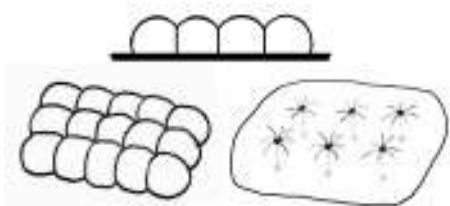
Rysunek 6.88: Wariant B – „wyprostowanie” obłości

jakie wykonuje się na Ziemi. Próbując wyobrazić sobie pomieszczenie, wizualizujemy sobie przed oczami właśnie prostopadłościan.

Bryła bazy marsjańskiej będzie obła. **Obłości mają silny wpływ na sposób zagospodarowania wnętrza.** Zaokrąglenia ścian zewnętrznych bazy wydają się być kłopotliwe, gdyż trudno do nich dopasować tradycyjne elementy wnętrza. Forma budowli na Marsie bazować będzie na bryle kuli, torusa lub walca. Każda z tych brył ma inny typ obłości, do którego należałoby się odnieść przy aranżacji przestrzeni bytowej (Rys. 6.85). Najprostszy z nich ma walec, ponieważ obłość jest stała liniowo. W przypadku kuli i torusa zakrzywienia przebiegają dwukierunkowo. Jeśli baza będzie miała wiele kondygnacji, na każdej z nich obłości będą inne (Rys. 6.86). Zaprojektowanie elementów wnętrza, które pasowałyby do każdego miejsca w przestrzeni habitatu jest bardzo trudne właśnie przez obłości. Dlatego **obłości stanowią główny problem w projektowaniu wnętrza na Marsie.** Zdaniem autorki problem ten rozwiązać można na cztery sposoby. Po pierwsze można całkowicie odseparować się od obłości, wznosząc odrębną konstrukcję pod skorupą zewnętrzną bazy – wariant A (Rys. 6.87). Po drugie obłości można „wyprostować” poprzez wprowadzenie elementów lub całych płaszczyzn tworzących wewnętrzne ramy dla przestrzeni użytkowej – wariant B (Rys. 6.88). Po trzecie obłości można wygubić, zmniejszyć do minimum obejmowaną przez nie powierzchnię przegród, tworząc zestawienia ściśle do siebie przylegających form obłych lub wprowadzając elementy stężające i spłaszczające kubaturę – wariant C (Rys. 6.89). Wreszcie, po czwarte można wyzyskać obłości dla efektu oryginalnych i ciekawych przestrzeni bytowych przy wykorzystaniu niestandardowych elementów kształtujących wnętrza – wariant D (Rys. 6.90). Każdy z wariantów ma swoje wady i zalety.

W **wariancie A** (Rys. 6.87) dzięki całkowitej separacji od obłości można wykonać bardziej tradycyjne podziały na pomieszczenia. Pozwoli to na standaryzację elementów wyposażenia wnętrza, których ustawienie nie będzie tak kłopotliwe jak przy obłych przegrodach. Jednak im więcej kondygnacji, tym większa powierzchnia użytkowa zostaje tracona przez separację od obłości. Jest to niekorzystne rozwiązanie także z tego powodu, że dodatkowe nakłady pieniężne muszą być włożone w wykonanie osobnej konstrukcji nośnej dla pomieszczeń bytowych. Można uzasadnić takie działanie praktycznie wykorzystując przestrzeń między konstrukcją zewnętrzną a wewnętrzną, np. na balkony lub trakty komunikacyjne. Także tą wolną przestrzeń przeznaczyć można na tereny upraw lub wypełnić ją materiałem chroniącym przed promieniowaniem kosmicznym i słonecznym.

W **wariancie B** (Rys. 6.88) pojawia się podobny jak w przypadku A problem utraty pewnej przestrzeni użytkowej. Dochodzi do tego niekorzystny ekonomicznie czynnik zastosowania dodatkowych elementów ściennych i sufitowych tylko w celu „wyprostowania” obłych powierzchni. Tu za to przegrody płaskie nie muszą przenosić obciążeń, lecz mogą być tylko podczipione do struktury zewnętrznej bazy. Dzięki temu mogą być tańsze i łatwiejsze w montażu. W rozwiązaniu tym można uwzględnić struktury „spłaszczające” obłości jako



Rysunek 6.89: Wariant C – wygubienie obłości



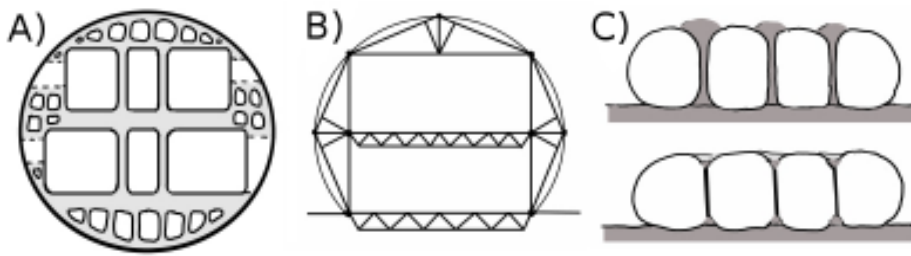
Rysunek 6.90: Wariant D – wpisanie się w obłości

części połączone konstrukcyjnie z okrywą zewnętrzną bazy np. w formie elementów rozszerzalnych. Przestrzeń „odrzucona” może zostać praktycznie wykorzystana, dając większe uzasadnienie takiemu sposobowi odgradzania się od ścian zewnętrznych bazy. Można np. umieścić tam infrastrukturę techniczną i w ten sposób estetycznie ukryć rury i okablowania. Także przestrzeń ta może być wypełniona materiałem izolacyjnym. W wariantcie B mamy do czynienia z podwójną ścianą, która wpływa na komplikację konstrukcji okien i drzwi zewnętrznych.

W **wariacie C** (Rys. 6.89) nie pozbywamy się całkowicie obłości – problem więc pozostaje, ale jego ranga zostaje znacznie zmniejszona. Tak więc przy nielicznych obłościach można pozostawić przestrzeń wolną od elementów wyposażenia lub umieścić tam trwałe przegrody. Jeśli moduły w kształcie kopuł zostaną do siebie ściśle przysunięte, ściany między nimi spłaszczą się. Choć powierzchnia użytkowa zostaje wtedy zmniejszona, to nie jest to okupione koniecznością zastosowania dodatkowych elementów uzupełniających czy konstrukcyjnych. Nowe powierzchnie gromadzące są mniejsze i płaskie, więc wydaje się, iż ich wykonanie będzie nie tylko tańsze, ale i prostsze. Podobny efekt uzyskamy gdy we wnętrzu większej bryły obłej wstawi się słupy stężające. Trzeba jednak pamiętać, że wariant C wiąże się z utratą powierzchni, która mogłaby posiadać okna. Korzystne jest za to zmniejszenie powierzchni struktury, która musi być chroniona przed środowiskiem zewnętrznym. Wariant C zalecany jest dla przypadków dużych struktur obłych, w których nie przewiduje się kondygnacji wyższych oraz dla baz wielomodułowych.

W **wariacie D** (Rys. 6.90) konieczne jest opracowanie takich elementów wewnątrz, które będzie można swobodnie wpasowywać w nietradycyjną obłą kubaturę. Ich montowanie i dobieranie wymagać będzie najprawdopodobniej nowej procedury. Powstaną w ten sposób nietypowe wnętrza, w których trudniej będzie wytworzyć domową atmosferę ziemskich mieszkań. Taka oryginalna stylistyka może za to budować tożsamość nowego wyjątkowego miejsca – bazy marsjańskiej. Jest to jedyne rozwiązanie, w którym w pełni wykorzystuje się całą przestrzeń użytkową pod zewnętrzną skorupą bazy. Uzyskiwać będzie można w ten sposób przestronniejsze wnętrza, a otwory, np. okienne, nie będą musiały być rozbudowywane.

Konstrukcja bazy musi być obła. Pociąga to za sobą pewne konsekwencje, szczególnie znamienne właśnie w skali wewnątrz. Architekt musi zdecydować się na jakieś podejście do problemu obłości, by nie okazało się, że fleksybilność wewnątrz zostanie ograniczona przez podział na elementy wewnątrzarskie, które nadają się tylko do wpasowania przy wewnętrznych przegrodach płaskich lub tylko przy obłościach i to innych w zależności np. od kondygnacji (Rys. 6.86). Takie prowizoryczne rozwiązanie wskazywałoby na niefachowość podejścia do tematu architektury bazy marsjańskiej. Obłości stanowią problem, który pociągać za sobą może np. konieczność dostawiania dodatkowych przegród, jak w wariacie B, lub



Rysunek 6.91: Przykłady baz z zespoloną konstrukcją zewnętrzną i wewnętrzną z eliminacją obłości we wnętrzach: A) konstrukcja z tworzywa sztucznego z pamięcią kształtu, B) konstrukcja rozkładająca się, C) konstrukcja pneumatyczna z wewnętrznymi słupami lub ścianami

wykonywanie wewnętrznej konstrukcji nośnej, jak w wariancie A. Ze względów ekonomicznych i funkcjonalnych należy szukać uproszczeń w rozwiązaniu tego problemu już przy rozważaniach nad konstrukcją i formą bazy. **Projekt wnętrz może zatem wywierać znamieny wpływ na projekt konstrukcji bazy.** W zależności od wybranej technologii struktura zewnętrzna może być w różny sposób powiązana ze strukturą wewnętrzną, jeśli takową się przewiduje (wariant B i C). W przypadku habitatu z tworzywa sztucznego z pamięcią kształtu warto uformować tak moduły bazy, by ściany zewnętrzne i wewnętrzne tworzyły jedną całość, a przestrzeń między nimi zaprojektowana była tak, by usztywniać konstrukcję (Rys. 6.91 A). Takie rozwiązanie pozwala na wzmocnienie struktury nośnej oraz przyspieszenie prac, bo montaż zewnętrznej i wewnętrznej konstrukcji przebiega równocześnie. Także konstrukcja rozkładająca się mogłaby zostać tak opracowana, by część wewnętrzna stanowiąca ruszt dla płaskich ścian była powiązana z kratownicą dla powłoki zewnętrznej (Rys. 6.91 B). Spójna całość mogłaby mieć wtedy większą sztywność. Podobne rozważania można by poświęcić innym typom konstrukcji rozszerzalnych. Pozostałe rodzaje konstrukcji wymagałyby osobnych dostawianych przegród. Ważne jest wtedy, by w konstrukcji skorupy zewnętrznej przewidzieć miejsca zamocowań owych elementów. W wariancie C pojawić się może konieczność wprowadzenia wewnętrznych elementów nośnych konstrukcji bazy: słupów lub lin (Rys. 6.91 C).

6.4.2. Elementy wnętrz

Specyfikacja elementów wnętrz w bazie marsjańskiej

Różne elementy mogą kształtować wnętrza w bazie marsjańskiej. Większość z nich to te same elementy, jakie znamy z przestrzeni w ziemskim budownictwie. Może jednak być mniejszy lub większy stopień zapotrzebowania na konkretne z nich ze względu na specyfikę misji kosmicznych. Także sposób modelowania elementów wnętrz różnić się może znacznie od ziemskich odpowiedników. Ma na to wpływ przede wszystkim ograniczenie masy i objętości wywożonych z Ziemi rzeczy. Członkowie wyprawy na Marsa nie będą mogli wziąć ze sobą wszystkich swoich ubrań, pamiątek czy książek. Pozwoli im się zabrać parę zestawów ubrań, zdjęcia rodziny i przyjaciół, e-inki z zapisanymi cyfrowo książkami, trochę rzeczy osobistych jak szczoteczka do zębów czy okulary. Wszystkie te rzeczy nie będą zajmowały wiele miejsca, dlatego w prywatnych pokojach nie będzie dużego zapotrzebowania na meble do przechowywania. Na pamiątki wystarczy miejsce do przyczepiania zdjęć. Jak więc widać, ograniczenie masy i objętości rzeczy transportowanych z Ziemi wpływa na wiele sposobów na architekturę bazy marsjańskiej. Aby właściwie ją zaprojektować, należy starać się nie

pominąć żadnego czynnika, który może się do niej odnosić bezpośrednio lub pośrednio.

Oprócz elementów wewnątrz znanych nam z codziennego życia i pracy, przestrzeń bytowa bazy marsjańskiej będzie musiała być wyposażona jeszcze w inne obiekty. Wymienić tu należy na pierwszym miejscu wszelkie pomoce ułatwiające poruszanie się i utrzymywanie równowagi w warunkach obniżonej siły ciężenia. Zaliczają się do nich różnego rodzaju uchwyty, poręcze, zaczepy i in. Na pierwszych stacjach kosmicznych nie było takich udogodnień i bardzo szybko zorientowano się, że są one niezbędne w warunkach mikrogravitacji. W dzisiejszej architekturze kosmicznej projektuje się je standardowo. Wygląd i sposób ich mocowania na stacjach orbitalnych określają dokładnie normy NASA MSIS-3000. Nie wiadomo dziś, jak człowiek będzie sobie radzić w warunkach $1/3 g$, ale przewidywać można, że przynajmniej na początku misji ludzie będą mieli problemy w poruszaniu się przy takiej sile ciężenia. Świadczy o tym nieporadność, jaka cechowała astronautów, którzy wylądowali na Księżycu. Choć na Marsie grawitacja jest dwa razy większa od księżycowej, to jest też trzy razy mniejsza od ziemskiej. W czasie długiego pobytu na Marsie ludzie najprawdopodobniej przystosują się do poruszania w odmiennej grawitacji, pomoce w poruszaniu się będą jednak przydatne dla nowych załóg przybywających na Czerwoną Planetę. Z powodu obniżonej grawitacji ergonomiczne gabaryty i kształty elementów wewnątrz, być może, będą nieco inne niż na Ziemi. Dokładne specyfikacje można będzie uzyskać dopiero na podstawie symulacji.

W warunkach marsjańskich wiele elementów wnętrzarskich na pewno będzie wyglądać specyficznie. Różnić się będą one od swoich ziemskich odpowiedników z powodu technologii, w jakich zostaną wykonane. Drewniane meble i drzwi charakterystyczne dla ziemskich domów, nie są ekonomicznym rozwiązaniem dla wyposażenia wewnątrz na Marsie. Ich ciężar jest zbyt duży, a miejscowa produkcja nie wchodzi w grę, bo na Czerwonej Planecie nie ma drzew. Drzwi zewnętrzne prowadzące do szluz będą szczególnie specyficzne, gdyż muszą być bardzo szczelne i wytrzymałe na działanie dużych różnic ciśnienia. Aby zapewnić wystarczająco dużą ilość drzwi do pomieszczeń w bazie, trzeba będzie do ich produkcji wykorzystać innowacyjne rozwiązania bazujące na lekkich konstrukcjach rozszerzalnych. Detal zamocowania takich drzwi oraz sposobu zamykania będzie wymagać specjalnego projektu. **Tradycyjne ziemskie elementy wnętrzarskie nie nadają się do aranżacji pomieszczeń na Marsie.** Domową atmosferę i klimat ziemskich wewnątrz będzie można próbować uzyskać pośrednio poprzez stosowanie okładzin o różnej kolorystyce, wzorach, przejrzystości, fakturze, z obrazami, fotografiami krajobrazów czy przyrody. Pomocna w projektowaniu elementów wnętrzarskich dla bazy marsjańskiej jest ich analiza pod różnymi kątami.

Klasyfikacja elementów wewnątrz

Elementy wewnątrz w bazie marsjańskiej podzielić można wg różnych kryteriów. Autorka wyróżniła cztery rodzaje klasyfikacji.

Ze względu na trwałość przyporządkowania elementów wewnątrz w danym miejscu w bazie można je podzielić na:

a) **trwałe**: Są to elementy wewnątrz na stałe zamontowane w danym miejscu. Są one nieprzestawialne. Określają przez to pewne niezmiennie ramy dla scen kreowanych w różnych przestrzeniach w bazie. Z jednej strony ograniczają fleksybilność danego pomieszczenia. Z drugiej zaś strony nadają mu pewną niezmienną charakterystyczną strukturę, która budować będzie tożsamość danego miejsca; co uznać należy za zjawisko pozytywne. Ten wątek przewodni będzie subtelnie rozpoznawalny mimo wprowadzanych rearanżacji. Oczywiście

wtedy trzeba elementy trwale zaplanować tak, by ich układ nie powtarzał się we wszystkich pomieszczeniach. Poza tym elementy trwale wewnątrz należy zaprojektować również tam, gdzie na stałe mają powstać pomieszczenia o ustalonej raz na zawsze lokalizacji ze względu na swoją specyfikę – np. pomieszczenia kontrolne, laboratoryjne, łazienki itp. Trwale przegrody łatwiej jest izolować akustycznie.

b) **fleksybilne**: Są to elementy wewnątrz, których aranżacje można dowolnie zmieniać. Obiekty takie mogą być tymczasowo montowane w danym położeniu (np. ścianka przesuwna) lub ich pozycja nie jest określana precyzyjnie (np. krzesło). Ich funkcja jest bardzo ważna w ograniczonym sztucznym środowisku życia. Dzięki nim wewnątrz stają się żywe, zmienne. Umożliwiają one przeciwstawianie się monotonii przebywania stale w tej samej przestrzeni. Elementy takie powinny być niezbyt ciężkie, łatwe w montażu, demontażu, przestawianiu, łączeniu itp.

Elementy wewnątrz podzielić można ze względu na pochodzenie na:

a) **z materiałów miejscowych**: Mogą to być elementy bardzo różne w zależności od zaawansowania technologii wdrażanych na Marsie. Najwcześniej z pewnością będzie można wykorzystać w tym celu surowce najszerzej dostępne i wymagające najmniejszego nakładu pracy w przetwórstwie, a zatem grunt i skały. Z zasobów tych wykonywać można elementy murowane: ścianki, słupy, arkady, balustrady, murki, schodki, podesty itp. Ponieważ wewnątrz konstrukcji bazy będzie już właściwa atmosfera, używanie wilgotnego spoiwa nie będzie problemem. Jak przekonują naukowcy, na Marsie można wytwarzać również wiele innych materiałów, takich jak np.: plastik, szkło i aerożel, metale i stal (Noever i in. 1998), gips, beton (Zubrin i Wagner 1997), a z upraw pozyskiwać można bambus, słomę wiklinę i włókna na tkaniny. Przetwórstwo w przypadku tych materiałów jest bardziej zaawansowane, ale, być może, któraś z tych technologii z uzasadnionych powodów zostanie wdrożona dość wcześnie. Szczególnie obiecujące wydaje się produkowanie tworzyw sztucznych. Z polietylenu (najprostszego w produkcji plastiku) można wytwarzać szereg różnych materiałów: folie, prosty sprzęt AGD, lekkie meble itp. Bogactwo produkowanych form mogłoby być niemal nieograniczone, jeśli sprowadzono by na Marsa drukarkę 3D (ang. *3D printer*) o nazwie RepRap (2007). Jest to proste urządzenie, które można zaprogramować do wytwarzania najróżniejszych rzeczy, nawet siebie samego. RepRap potrafi wykonywać przedmioty z plastiku, ceramiki i metalu. Plastik pozwala przede wszystkim na różnorodność. Tymczasem metal posłużyć może do produkcji elementów o większej wytrzymałości.

b) **sprowadzane z Ziemi**: Można wykonać je z dowolnych materiałów i zapewnić im wysoką jakość. Powinny być jednak lekkie i pakowne, by jak najwięcej można było ich przetransportować w rakiecie.

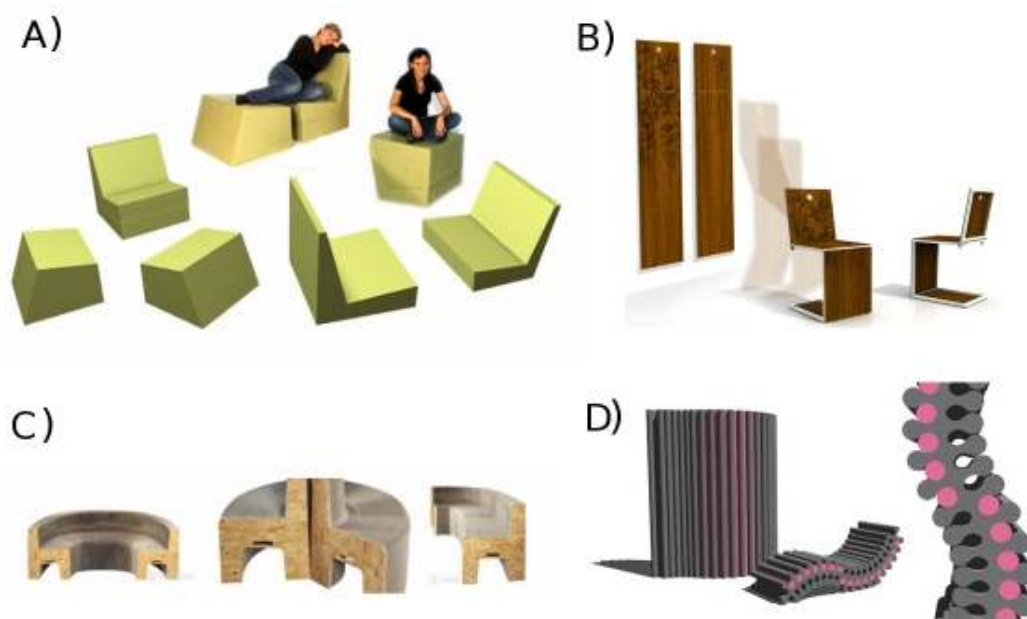
Elementy wewnątrz podzielić można ze względu na funkcjonalność na:

a) **precyzyjne**: Są to elementy opracowane do spełniania pewnej konkretnej funkcji tak, by zoptymalizować ich wydajność w wypełnianiu zadania, do którego zostały przeznaczone, np.: meble laboratoryjne, łazienkowe itp. Spełniają one tylko jedną funkcję, ale za to ich jakość jest bardzo wysoka.

b) **uniwersalne**: Elementy wielofunkcyjne, które cechuje wszechstronność zastosowania. Spełniać mogą wiele różnych funkcji. Ponieważ nie są wyspecjalizowane, ich jakość może nie być tak wysoka we wszystkich zadaniach, jakie mogą spełniać.

Elementy wewnątrz podzielić można ze względu na ilość składników je tworzących na:

a) **jednoelementowe**: Zaliczać się do nich będą głównie elementy skomplikowane, precyzyjne, które, aby właściwie funkcjonować, muszą tworzyć pewną skończoną całość, np.



Rysunek 6.92: *Fleksybilne meble: A) meble 68cubic Nadine Milz, B) Pick Chair Dror'a Ben-shetrit'a, C) FlexibleLove Chishen'a Chiu, D) piankowe meble Carl'a Fredrik'a Svenstedt'a*

wygodny fotel do biurka, prysznic itp. Uszkodzony sprzęt najprawdopodobniej będzie wymagać wymiany na cały nowy skomplikowany element, nawet jeśli usterce uległ tylko jego fragment, ponieważ sprowadzanie zapasowych elementów do każdego takiego obiektu byłoby nieekonomiczne.

b) **wieloelementowe**: Chodzi tu o obiekty złożone z wielu elementów jednakowych lub co najwyżej paru typów. Powstają z elementów modularnych łączonych na rozmaite sposoby. Różne konfiguracje pozwalają na wykonanie elementów tego samego typu, ale o odmiennym wyglądzie, albo elementów spełniających różne funkcje dzięki innym kombinacjom połączeń.

Baza marsjańska będzie musiała być wyposażona w pewne elementy precyzyjne. Głównie chodzi tu o elementy specjalistyczne – laboratoryjne, do obsługi bazy, sprzęty łazienkowe i kuchenne. Pozostałe elementy wnętrz, których optymalizacja nie jest krytycznym czynnikiem, mogą być uniwersalne. Obiekty te, odpowiednio zaprojektowane, mogą być funkcjonalne i wielofunkcyjne. Wszechstronność elementów uniwersalnych zapewnia nieskończoność sposobów ich wykorzystania i komponowania. Jest to ważne ze względu na to, by każdy mógł dopasowywać swoje otoczenie do własnych, także zmieniających się w czasie, wymogów oraz by można było stworzyć takie rzeczy, których przydatność dzisiaj nie została odkryta, a które mogą okazać się potrzebne w czasie eksploatacji bazy. Konieczność wprowadzania zmian dotyczyć może również korygowania ustawienia elementów wnętrz tak, by lepiej je dopasować do sposobu poruszania się ludzi w warunkach 1/3 g. Ważne jest również to, że elementami uniwersalnymi posługiwać może się bezpiecznie każdy. Korzystanie z bogactwa sposobów komponowania elementów uniwersalnych w formy przestrzenne pomaga w walce z monotonią ograniczonego przestrzennego środowiska życia mieszkańców Marsa. Jest to też rozwiązanie ekonomiczne. Łatwiej wykonać prosty uniwersalny element, który można szybko wymienić na nowy w razie wystąpienia usterki. Z tych powodów autorka zaleca wykorzystywanie elementów uniwersalnych do komponowania elementów wnętrz w bazie marsjańskiej.

Aby wnętrza w bazie marsjańskiej były otwarte na potrzeby swoich użytkowników i aby nie były monotonne, muszą być fleksybilne. Architekt może osiągnąć ten efekt poprzez wprowadzanie elementów uniwersalnych. Najlepiej, kiedy elementy te same są fleksybilne. Mogą być one dwojakiego rodzaju: składające się z modułów łączonych ze sobą na różne sposoby – wieloelementowe (Rys. 6.92 A) lub o zmiennych wymiarach – rozszerzalne (rozkładalne, rozciągalne: Rys. 6.92 B, C, D). Obiekty fleksybilne składające się z elementów modularnych są preferowane, ponieważ dają najszerszą gamę możliwości. Moduły – elementy powtarzalne – mają prostą budowę, ale komponując je ze sobą na różne sposoby uzyskuje się formy oryginalne i неповtarzalne. Zastosowanie jednego czy paru elementów modularnych do tworzenia obiektów wieloelementowych pozwala na uzyskiwanie mnóstwa odmiennych kombinacji. Tak więc użycie elementów powtarzalnych pozwala na uzyskiwanie elementów неповtarzalnych na tej samej zasadzie, co budowanie z dziecięcych klocków. W razie uszkodzenia można zastąpić je innym modułem i strata nie jest tak dotkliwa, jak w przypadku elementu precyzyjnego. Elementy modularne powinny mieć dodatkowo wymienne okładziny, by zmieniać ich kolor, fakturę i przejrzystość. Łączenie modułów powinno być proste i szybkie. Miejsca połączeń powinny być tak wybrane, by pozwalać na zestawianie modułów z różnych stron. Sposób montowania powinien być tak zaprojektowany, by elementy wnętrz były stabilne i godne zaufania. Opracowany musi być taki sposób mocowania, by elementy mogły być ustawiane w dowolnym miejscu w pomieszczeniu. Może okazać się, że konieczne będzie ich dociążanie lub przymocowywanie do powierzchni trwałych (ścian, sufitów, podłóg). W pierwszym przypadku dociążanie trzeba uwzględnić jako dodatkowy etap montowania. Najprostszym sposobem dociążania jest balastowanie workami z gruntem marsjańskim. W drugim przypadku przegrody stałe muszą być przystosowane do mocowania do nich elementów fleksybilnych.

Kształt i wielkość elementów modularnych muszą być wnikliwie przeanalizowane, aby elementy wnętrz z nich wykonane były funkcjonalne i wielofunkcyjne. Żeby z danego modułu można było wykonać zarówno ściankę działową, jak i krzesło, musi mieć on gabaryty odpowiednie do wykonania wygodnego siedziska, jak i ścianki, która prawidłowo zmieści się między podłogą a sufitem. Dlatego moduł musi być ergonomiczny i gabarytowo odpowiadać wielkości pomieszczeń w bazie; lub w drugą stronę: wysokość pomieszczeń trzeba dopasowywać do wielokrotności modułu. Im prostszy ma on kształt, tym łatwiej zastosować go w różnych przypadkach. Chociaż bardziej wyrafinowana forma może otwierać ciekawe możliwości. Przykłady fleksybilnych elementów wnętrz pokazano na Rys. 6.92.

Modularność grozi monotonią tylko wtedy, gdy elementy powtarzalne są dość duże i łatwo rozpoznawalne. Lepsze zatem są mniejsze moduły. Pozwalają one na wykonywanie bardziej złożonych i oryginalnych elementów wnętrz. Jednak zbyt małe elementy mogą być uciążliwe w łączeniu.

Mimo że fleksybilność wnętrz jest bardzo potrzebna, warto jest zaprojektować w niektórych miejscach elementy trwałe. Będą one nakładać pewne ogólne ramy pomieszczeniom. Zmienność, jaką zapewnia fleksybilne wnętrza, jest potrzebna, by zaburzać monotonię; trwałość zaś pozwala wnętrzom zachować swoją tożsamość, rozpoznawalność. Powstaje w ten sposób miejsce, które zna się, bo jest w okolicy, choć zmienia się i ewoluuje. Dzięki temu nie traci się orientacji i poczucia bezpieczeństwa w bazie mimo wprowadzania zmian w wyglądzie pomieszczeń. Projektowanie elementów trwałych ma uzasadnienie tylko wtedy, gdy ich wygląd i układ w przestrzeni są wyjątkowe dla różnych pomieszczeń.

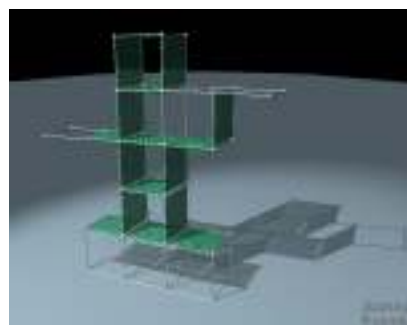
Ze względów ekonomicznych nie powinno się przewidywać we wnętrzach elementów spełniających wyłącznie funkcję dekoracyjną. Choć uwzględniając problemy socjopsycho-



Rysunek 6.93: Przykład I: elementy modułowe



Rysunek 6.94: Przykład I: regały proste



Rysunek 6.95: Przykład I: oryginalny regał

logiczne nie można zupełnie zignorować takiej możliwości. Aby wnętrza wyglądały atrakcyjnie, należy jednak przede wszystkim zadbać o walory estetyczne u elementów wewnątrz o praktycznym zastosowaniu. Elementy modułowe, które w danej chwili nie są wykorzystywane do budowy użytkowych elementów wewnątrz, mogą posłużyć do wykonywania dekoracji.

Przykłady

Autorka przedstawia cztery własne propozycje wykorzystujące różne elementy modułowe opracowane na podstawie powyżej opisywanych zaleceń. Wizualizacje pokazują różnorodność możliwości ich wykorzystywania do projektowania funkcjonalnych i ciekawych przestrzeni bytowych.

PRZYKŁAD I:

Zaprojektowano 3 małe elementy modułowe do wykonywania z nich figur i brył prostokątnych i prostopadłościennych. Są to: metalowa lub plastikowa rurka (o długości np. 14 cm) ze zwężeniem na jednym końcu w formie bolca; kulka z sześcioma symetrycznie rozmieszczonymi otworami nadającymi się do wprowadzania w nie rurek oraz mały bolec, który umożliwia połączenie kulki z rurką od jej szerszej strony (Rys. 6.93). Bazowym elementem uniwersalnym jest sześciian. Bryła ta o boku zbudowanym z trzech rurek daje ergonomiczny taboret (wysokość ok. czterdzieści parę cm) – gdy na górnej ścianie da się okładzinę, lub kosz – gdy okładziny da się na 5 ściankach na dole i po bokach. Po doczepieniu do taboretu oparcia w formie prostokąta otrzymamy krzesło. Jako okładziny posłużyć mogą nawlekane na rurki wymienne siatki lub tkaniny w różnych wzorach i kolorach. Kiedy są one dwustronne z zapięciem (na suwak lub guziki), tworzą kieszeń na poduszkę, która da wygodne siedzenie i oparcie.

Kolejno ustawiane na sobie sześciany utworzą słup. Może on być goły – w formie kratownicy. Przydatny jest wtedy do przewieszania na nim różnych rzeczy (np. ręcznika, fartucha) oraz stanowi dobrą pomoc w poruszaniu się w warunkach obniżonego ciśnienia, bo można się go chwycić na różnej wysokości. Na słupie można też wygodnie montować lampy. Bardziej dekoracyjny słup uzyskamy nakładając na niego kolorowe okładziny. Łatwo także można zrobić z niego regał o półkach z okładzin zaczepianych poprzecznie. Gdy boki słupa będą gołe, półki będą dostępne ze wszystkich stron. Półki mogą też zostać osłonięte okładzinami z 1, 2 lub 3 stron. Dzięki modularnej rurce i bolcom pośredniczącym regał może mieć różną (a także zmienną) głębokość, może też być dwu-, trzy- lub czterostronny. Może mieć kształt regularny (Rys. 6.94) lub skomplikowany, oryginalny (Rys. 6.95). Takie



Rysunek 6.96: Przykład I: arkady



Rysunek 6.97: Przykład I: regaliki



Rysunek 6.98: Przykład I: stół dla dwóch osób



Rysunek 6.99: Przykład I: fragment jadalni

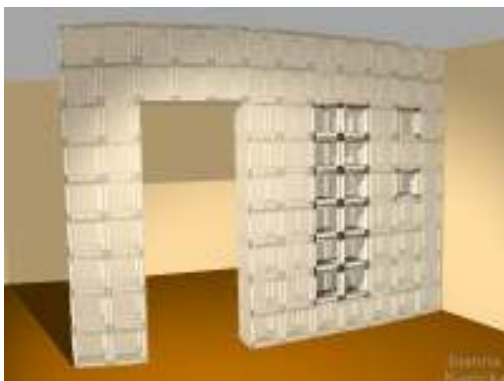
sześciany nadają się do budowania całych ścian: pełnych, ażurowych, meblościanek czy o wykwintnych formach (np. arkad – Rys. 6.96). Wnętrza ścianek można wypełniać w celu polepszenia izolacyjności akustycznej lub dociężenia i usztywnienia. Jeśli przewidziana zostanie możliwość mocowania rurek w podłogach i sufitach, można wykonać z nich pręty na wysokość pomieszczenia. Podczepiając do nich same okładziny uzyskuje się parawan, balustradę lub ciekawą ściankę działową. Zawiesić również na nich można na sznurkach półeczki z rurek i okładzin (Rys. 6.97).

Z zaproponowanych elementów modularnych można wykonywać wszystkie proste użytkowe elementy wyposażenia wnętrza: przegrody działowe, meble do siedzenia, stoły, meble do przechowywania oraz dekoracje. Rysunki 6.98 i 6.99 pokazują wnętrze jadalni ukształtowane wyłącznie z opisanych tu elementów modularnych.

Większość tak ukształtowanych elementów wnętrza, aby była sztywna, wymaga struktury przestrzennej (płaskie są mniej stabilne). Dlatego zamiast sześciątów składanych z rurek, kulek i bolców można zastosować jednoelementowe sześciany w konstrukcji rozkładającej się lub pneumatycznej usztywnianej. Takie moduły należałoby inaczej łączyć ze sobą (np. na zatrzaski, zaciski, magnesy lub inne). Przykład ścianki z takich elementów pokazuje Rys. 6.101. Ma ona otwór drzwiowy oraz półki. Reszta obłożona jest ciekawą okładziną.



Rysunek 6.100: Przykład II: rynienkowe kształtki z SMP



Rysunek 6.101: Meblościanka z sześciątów pneumatycznych usztywnianych



Rysunek 6.102: Przykład II: pokój medyczny



Rysunek 6.103: Przykład II: pomieszczenie medyczne: poczekalnia i gabinet w głębi

PRZYKŁAD II:

Zaprojektowano 2 elementy modularne z możliwością łączenia ich w trzeci element podstawowy. Jest to kształtka o grubych na kilka cm ściankach o rzucie kwadratu z zaokrąglonymi narożami. Podzielona została na dwie nierówne części w formie rynienek – jedna płytsza, druga głębsza (Rys. 6.100). Zaproponowano wymiary dla takiej dwuelementowej kształtki: ok. 50cm x 50cm x 50cm. Jedna kształtka ma wysokość np. 30 cm, druga – 20 cm. Elementy wykonane są z tworzywa sztucznego z pamięcią kształtu, by w czasie transportu nie zajmowały dużo miejsca. Uwzględnia się kształtki piankowe, przezroczyste oraz kompozytowe (wzmacniane włóknami). Istnieje możliwość ich malowania, wkładania w okładziny w formie kieszeni, przyklejania lub przypinania obić. Gdyby miały być produkowane *in situ*, mogłyby to być materiały ceramiczne.

Z elementów o zaproponowanych wymiarach można wykonać wygodny taboret lub fotel. Uwzględnić można także moduł połówkowy o długości 25 cm, by wykonać ergonomiczny stół (3x25 cm = 75 cm – wysokość nóg stołu). Kształtki można ze sobą łączyć w różnych konfiguracjach tak, by uzyskiwać siedziska, podpórki dla blatów roboczych i łóżek, półki, regały, przegrody działowe. Ścianki z piankowych elementów będą miały szczególnie dobrą izolacyjność akustyczną. Zakładać można różne sposoby łączenia: na bolce, wkręty, sklejanie. Na ścianki kształtek można by również nakładać kółka, by budować jeżdżące fotele, stoliki, wózki czy inne sprzęty domowe.

Rysunki 6.102 i 6.103 pokazują propozycję autorki dla pokoju medycznego. Ścianki dzielą przestrzeń na poczekalnię i gabinet. Ścianki wykonane są z płytek rynienek składa-



Rysunek 6.104: Przykład III: bryły modułowe



Rysunek 6.105: Przykład III: wnętrze robocze z elementów krzyżykowych, widok I



Rysunek 6.106: Przykład III: wnętrze robocze z elementów krzyżykowych, widok II

nych ze sobą. Na fragmentach użyto kształtki przezroczyste. Ułożone w formie okna mogą dawać wgląd do gabinetu z przedpokoju, gdy wejście do niego jest zamknięte np. zasłonięte kotarą. W poczekalni są dwa fotele, taboret i stolik. W gabinecie wciąż z tych samych elementów modułarnych zbudowano podobne fotele, nogi od łóżka i biurka, regały na leki i przybory lekarskie, półki wiszące. Z kształtek można wykonać prawie wszystko. Meble uzupełnione zostały tylko blatami (stół, biurko), materacem (łóżko), oparciami (fotele) i siedzeniem z poduszką (taboret).

PRZYKŁAD III:

W tej propozycji wnętrza zostały ukształtowane przy pomocy elementów pneumatycznych w kształcie: kuli, torusa i krzyżyka (Rys. 6.104). Można je ze sobą sklejać lub szczepiać. W drugim przypadku przewidzieć należy wiele guzików – dla kuli np. w 6 miejscach; dla torusa po 4 punkty: z boku, na górze i na spodzie; dla krzyżyka na 4 zakończeniach (gdy element czteroramienny) lub 6 (gdy element jest sześcioramienny). Warto przewidzieć co najmniej dwa rozmiary dla torusa, a także kuli, by polepszyć funkcjonalność budowanych z tych elementów obiektów i zwiększyć ich różnorodność. Największą sztywność będą miały obiekty z torusów. W przypadku ścianek i słupów z kul i elementów krzyżykowych należy uwzględnić ich przyczepianie do sufitów, podłóg i ścian. Podłużne panele z guzikami mogą być np. przykręcane do przegród sztywnych w odpowiednich miejscach. Takie ściany będą miękkie, nieco elastyczne. Na Marsie nie powinno to być przeszkodą, a stać się wręcz może czynnikiem korzystnym. Przy trudnościach w poruszaniu się w 1/3 g takie elementy nie będą przyczyną urazów w razie uderzenia o nie. Aby przegrody z takich elementów modułarnych były dobre akustycznie, należałoby do nich przyczepiać z dwóch stron okładziny (najlepiej dźwiękochłonne) i pomiędzy nie wkładać materiał izolacyjny (np. granulki nanożelu). W celach dekoracyjnych można by używać okładzin przezrzystych i barwionych na różne kolory granulek.

Rysunki 6.105 i 6.106 pokazują przestrzeń roboczą ukształtowaną z krzyżykowych ele-



Rysunek 6.107: Przykład III: wnętrze jadalni lub przestrzeni rekreacyjnej



Rysunek 6.108: Przykład III: pokój prywatny



Rysunek 6.109: Przykład IV: wnętrze modułu mieszkalnego za dnia



Rysunek 6.110: Przykład IV: wnętrze modułu mieszkalnego nocą

mentów pneumatycznych. Czteroramienne krzyżyki posłużyły do tworzenia płaszczyzn, zaś w miejscach styku ich pod kątem prostym użyto łącznikowych elementów sześcioramiennych. Jako dodatkowe elementy wyposażenia posłużyły sztywne blaty na biurka i półki oraz jednoelementowe fotele.

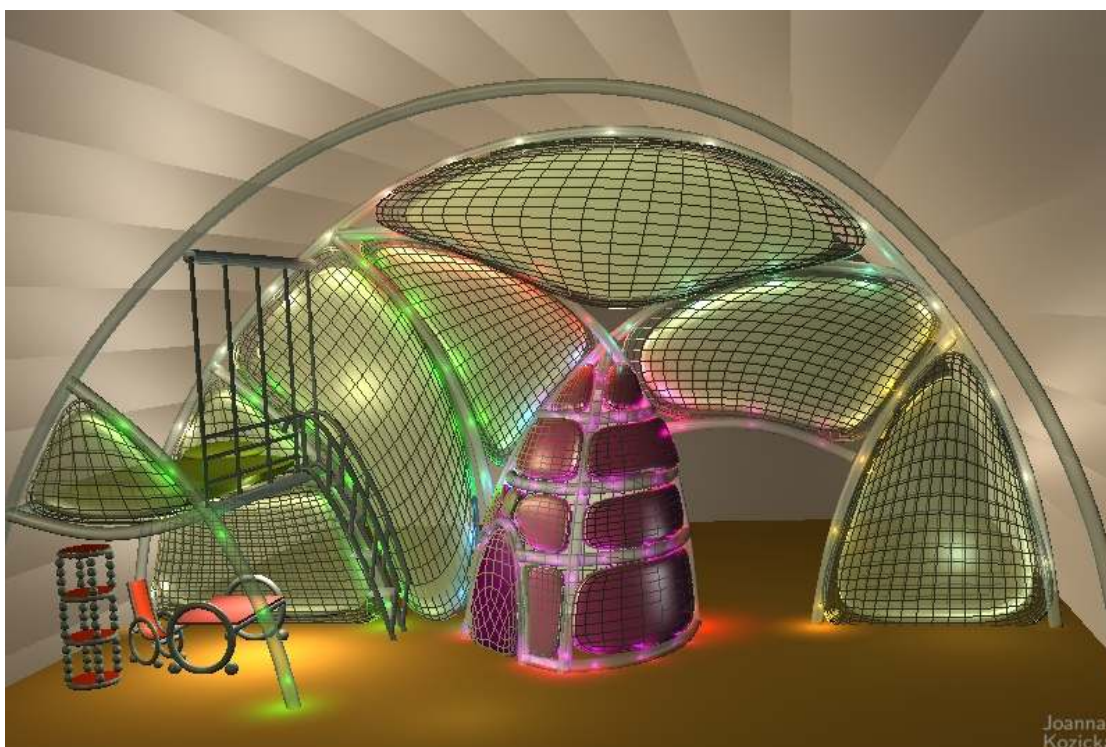
Na Rys. 6.107 pokazano propozycję na wyposażenie jadalni lub pomieszczenia rekreacyjnego (np. do gier). Stoliki, taborety, słupy, półki, kosze – wszystko to wykonane jest z pneumatycznych kul (jeden rozmiar) i torusów (trzy rozmiary). Jako półki, blaty i siedzenia posłużyć mogą okładziny materiałowe, poduszki i twarde panele. Rysunek 6.108 prezentuje przykładowy sposób aranżacji kabiny prywatnej. Jak widać z elementów kulistych i torusowych wykonać można prawie wszystkie elementy wyposażenia i to na różne dekoracyjne sposoby: ścianki działowe, stoły, regały, półki, wieszaki, szafki, nogi do materaca.

PRZYKŁAD IV:

Za elementy modułowe służą w tej koncepcji giętkie elementy rurowe o kilku długościach oraz rozciągliwe elementy wypełnienia. Moduły rurowe są pneumatyczne, najlepiej usztywniane po zamontowaniu ich w danej konfiguracji. Moduły wypełnienia mogą być pneumatyczne, wkładane w siatkę (również rozciągliwą) mocowaną do elementów rurowych lub z SMP. Do zamykania otworów w szkielecie z rur posłużyć także mogą elastyczne okładziny przyczepiane z dwóch stron. Elementy rurowe podświetlane są sznurami lampek LED-owych. Subtelne podświetlenie może nadawać nastrój pomieszczeniu i wpływać na jego kolorystykę. Wieczorem lub przy zgaszonych światłach nie jest w pomieszczeniu zupełnie ciemno, co daje poczucie bezpieczeństwa, a światło nie razi. Jest to przydatne szczególnie w pomieszczeniach zupełnie pozbawionych okien.

Elastyczne elementy modułowe pozwalają na kształtowanie przestrzeni zarówno o ścianach prostych, jak i obłych. Przegrody mogą być kreślone miękką linią. Zaułki tworzyć będą aneksy w pomieszczeniach użytkowych lub miejsca do rozmów towarzyskich wzdłuż ciągów komunikacyjnych. Wykorzystując we wnętrzach pneumatyczne elementy modułowe do wykonywania mebli (np. fotel, materac, szafka) nie powinno być problemem to, że zamiast prostopadłościennych, mamy wnętrza o liniach płynnych, zakrzywionych. Są one dzięki temu mniej monotonne, zaułki zaś percepcyjnie powiększają przestrzeń (patrz następny podrozdział).

Na Rys. 6.109 i 6.110 pokazano przestrzeń bytową modułu bazy podzieloną na sektory pneumatycznymi ścianami w oświetleniu dziennym i wieczornym. Rysunek 6.111 przedstawia sposób wpisania pokoju mieszkalnego w sektor między ścianami głównymi. W dolnej



Rysunek 6.111: Przykład IV: pokój mieszkalny z łazienką wpisany w sektor



Rysunek 6.112: Przykład IV: korytarz z wejściem do pokoju mieszkalnego



Rysunek 6.113: Przykład IV: wnętrze pokoju mieszkalnego za dnia



Rysunek 6.114: Przykład IV: wnętrze pokoju mieszkalnego nocą

części jest mała przestrzeń do pracy własnej, po schodkach można wejść na podwieszane łóżko. Różowe pomieszczenie to łazienka. Pokój oddzielony jest od korytarza pofalowaną ścianką. Widok od strony korytarza pokazano na Rys. 6.112. Pokój inaczej wygląda za dnia (Rys. 6.113), a inaczej wieczorem (Rys. 6.114).

6.4.3. Percepcja przestrzeni

Percepcja to postrzeganie, sposób odbierania i interpretacji wrażeń zmysłowych. W percepcji nakładają się na siebie realny, obiektywny obraz przestrzeni oraz warstwa skojarzeń i odczuć subiektywnych obserwatora. Mając zadaną tylko pewną powierzchnię użytkową, architekt może na rozmaite sposoby ją rozdysponować projektując pomieszczenie. Zaproponować może prostą prostopadłościenną kubaturę o dowolnej, także zmiennej wysokości, wewnątrz z aneksami, obłóci, wewnętrzne antresole itd. Mimo że we wszystkich wariantach pomieszczenia są tak samo duże powierzchniowo, wyglądać mogą bardzo rozmaicie. W

różny sposób każde z nich będzie też postrzegane. A zatem **na percepcję przestrzeni wpływa wielkość i forma pomieszczeń.**

Dalej, mając pokoje o identycznym rozkładzie przegród je ograniczających, można zaproponować różne sposoby zaaranżowania ich przy pomocy elementów wnętrzarskich. Obiektów użytkowych i dekoracji może być różna ilość i rodzaj. Mogą mieć one różne kształty i wielkości. Wpływa to na stopień zagęszczenia przestrzeni przy pomocy różnych elementów wyposażenia. Również mając do dyspozycji ten sam zestaw elementów wnętrzarskich można różnorako je porozstawiać. A zatem **na percepcję przestrzeni wpływa sposób aranżacji pomieszczeń.**

Do tego można jeszcze wybrać odmienne materiały wykończeniowe: obicia, okładziny, posadzki, sufity podwieszane itd. Wreszcie w pomieszczeniach tych zaproponować można różnorakie sposoby oświetlenia: naturalne i sztuczne. Zaprojektować można okna w różnej ilości, wielkości i kształcie, a także całe przegrody przezroczyste lub przejrzyste. Lampy mogą być różnego typu, mocy, ukierunkowania i koloru. A zatem **na percepcję przestrzeni wpływają: faktura, kolorystyka i oświetlenie.**

Zasady te odnoszą się tak samo do pomieszczeń bytowych na Ziemi i na Marsie. Posługując się tymi właśnie narzędziami architektury projektant może osiągać różne efekty w kreowanej przez siebie przestrzeni. **W przypadku bazy marsjańskiej najważniejszym zadaniem architekta jest stworzenie wewnątrz postrzeganych jako przestronne i ciekawe.** Nawet jeśli wybudowana zostanie stosunkowo duża baza z dość sporym metrażem przypadającym na jednego mieszkańca, wciąż warto jest percepcyjnie powiększać przestrzeń bytową. Zalecenie to wynika z faktu, że mieszkając na Ziemi, mamy całe bogactwo doświadczeń z najróżniejszych miejsc w naszym najbliższym otoczeniu na co dzień oraz na świecie w czasie podróży. Nawet duża baza na Marsie nie jest w stanie zastąpić takiej różnorodnej i olbrzymiej przestrzeni. Będzie jednak jedynym miejscem na Marsie, gdzie ludzie będą mogli swobodnie chodzić jak po Ziemi, bez skafandrów. Dlatego im większa ta przestrzeń będzie się wydawać, tym lepiej. O ile, naturalnie, nie będzie to tylko nudna, pusta przestrzeń, ale urozmaicona i zmienna. Trzeba przy tym pamiętać, żeby rozsądnie dozować wrażenia i zachowywać skalę człowieka (na przykład percepcyjne powiększanie wysokości małego pomieszczenia będzie efektem negatywnym). Ludzie do dobrego samopoczucia potrzebują odbierania nowych wrażeń, niespodzianek, efektu pozytywnego zaskoczenia. Wszystko to może architekt zapewnić projektując fleksybilne i niepowtarzające się przestrzenie w habitacie.

W bazie marsjańskiej wskazana jest różnorodność pomieszczeń. Służyć to ma następującym celom: rozróżnianie pomieszczeń o różnej funkcji; burzenie monotonii ograniczonego środowiska życia, która jest niebezpieczna ze względów socjopsychologicznych; nadawaniu tożsamości konkretnym miejscom publicznym oraz umożliwiania personalizacji przestrzeni prywatnych.

Największym problemem dotyczącym projektowania bazy pozaziemskiej jest kwestia poczucia „ziemskości”. Duża odległość od ojczystej planety i niemożność powrotu tam, kiedy się chce, będzie przyczyną poczucia silnej tęsknoty za domem, za znajomym bliskim światem. Nasuwa to wniosek, że zmniejszyć można poczucie tęsknoty tworząc wnętrza podobne do ziemskich, w których człowiek czułby się bardziej swojsko i przytulnie. Z drugiej strony sztuczne starania związane ze stworzeniem takich wewnątrz mogą wzbudzać negatywne odczucia. Człowiek żyć będzie otoczony imitacjami czegoś, co wie, że i tak inaczej wygląda. Technologie stosowane do kształtowania i wyposażania wewnątrz na Marsie będą inne niż na Ziemi. Sztuczne kwiaty nigdy nie będą tak samo postrzegane jak żywe. Może więc nie ma

sensu silić się na tworzenie takiej rozpoznawalnej i, być może, drażniącej imitacji i pozwolić ludziom przypominać sobie Ziemię przede wszystkim ze zdjęć, filmów i obrazów. Wnętrza zaś warto zaprojektować po prostu rozsądnie, ergonomicznie i estetycznie. Nowa stylistyka nie musi być odbierana negatywnie. Ludzie mogą się z nią zżyć jako z wyglądem nowego konkretnego miejsca – bazy marsjańskiej. Kwestia ta jednak, jak zauważa autorka, trudna jest do rozstrzygnięcia w rozważaniach czysto teoretycznych.

Do tego dochodzi jeszcze problem określenia „ziemskości”. W różnych kulturach istnieją bowiem różne stereotypy wyglądu i wyposażenia wnętrz. Globalizm odpowiedzialny jest za ujednolicenie wyobrażeń o typowym ziemskim wnętrzu bytowym. Przyzwyczajeni jesteśmy do tego, że zwykły pokój ma kształt prostopadłościanu. Zatem, wydaje się, że najprawdopodobniej w takich wnętrzach ludzie na Marsie czuliby się najbardziej swojsko. W ostatnich czasach dużą popularność zyskują (np. w Polsce) poddasza, które lubiane są właśnie za ich nietypowy wygląd, przegrody o różnym kształcie, innym nachyleniu. Wysnuć można by na tej podstawie wniosek, iż niekoniecznie typowy ziemski pokój jest tą przestrzenią, w której ludzie czują się najlepiej. Sprowadzanie zatem do habitatu marsjańskiego stereotypu prostopadłościanu jako kształtu pomieszczenia, które ma zapewniać najwyższy komfort psychiczny, nie wydaje się szczególnie uzasadnione.

Wielkość i forma pomieszczeń

W habitatach kosmicznych kwestia wielkości pomieszczeń bytowych jest bardzo ważna. Dotychczas były one za małe, dlatego nie mogą służyć jako przykład do naśladowania w bazie marsjańskiej, która właśnie ma na celu zerwanie ze stereotypem ciasnej niewygodnej przestrzeni bytowej habitatów pozaziemskich. Im pomieszczenia w budowli o tym charakterze są większe, bliższe ziemskim standardom, tym lepsze jest w nich samopoczucie i mniejsze odczuwanie tęsknoty za Ziemią (Sabouni i in. 1991). W przypadku bazy marsjańskiej komfort psychiczny ma bardzo wysoki priorytet, dlatego należy wpływać na polepszenie jakości przestrzeni bytowej na wszelkie możliwe sposoby.

Jak pisze Grandjean (1978, s.85) , w praktyce nie ma naukowo uzasadnionych podstaw do określenia wielkości całych pomieszczeń i ich proporcji. Każdy człowiek może mieć tu odmienne wymagania w zależności od kultury, z jakiej się wywodzi, czy własnego charakteru. Trudno stwierdzić jednoznacznie, jakie są optymalne gabaryty pomieszczenia bytowego. Nie ma co do tego pewności w warunkach ziemskich. Zatem byłoby jeszcze bardziej kłopotliwe do określenia w przypadku habitatu marsjańskiego.

Wielkość pomieszczeń należy dostosować do użytkowników przestrzeni, w tym przypadku – mieszkańców bazy marsjańskiej. A zatem musi ona:

- być dopasowana do ergonomii w warunkach 1/3 g;
- zapewniać poczucie bezpieczeństwa i swobody;
- być dostosowana do ilości osób i sprzętu, jaki ma pomieszczenie pomieścić oraz odnosić się do funkcjonalnego użytkowania w nim przestrzeni.

Pomieszczenie nie może być ani za małe, ani za duże. Pomieszczenie mniejsze daje większe poczucie bezpieczeństwa (Grandjean 1978, s.85), ale zbyt małe wywołuje poczucie ciasnoty i klaustrofobii. Pomieszczenie większe daje większą swobodę poruszania się po nim, ale zbyt duże jest puste i przytłaczające – człowiek czuje się w nim zagubiony i samotny. Jeśli trudno jest jednoznacznie określić właściwą wielkość danego pomieszczenia, lepiej jest zaprojektować je większe niż mniejsze. Gdy w praktyce okaże się, że nadmiar przestrzeni

wpływa negatywnie na jego postrzeganie, można przy pomocy różnych narzędzi architektury fizycznie lub percepcyjnie go pomniejszyć. Sterowanie wielkością pokoju ułatwią m. in. przestawialne przegrody, np. przenośne ścianki, parawany, kurtyny. Mogą być one ustawiane wzdłuż ścian odgradzających wewnątrz lub mogą dzielić je na części. Przynajmniej jedno pomieszczenie w bazie musi być na tyle duże, by pomieścić wszystkich mieszkańców na czas zebrań, wspólnych posiłków lub imprez okolicznościowych (Stuster 1986). Wielkość i forma pomieszczeń roboczych (głównie chodzi tu o specjalistyczne laboratoria i gabinety medyczne) powinna być podporządkowana przede wszystkim dobrej funkcjonalności.

W warunkach 1/3 g człowiek poruszać się będzie inaczej niż na Ziemi. Lekkość pozwoli mu na wzbijanie się wyżej w powietrze w czasie chodzenia i skakania. Dlatego, aby zapobiec uderzeniom w głowę, wysokość sufitu nie może być zbyt mała. Przy czym zbyt wysokie pomieszczenie, szczególnie gdy jest raczej małe, dawać będzie nieprzyjemne poczucie przebywania w studni. Przede wszystkim w obłych konstrukcjach parterowych należy zwrócić uwagę na ten problem. Pośrednim rozwiązaniem dla niskich pomieszczeń jest wykonanie sufitów z miękkich, elastycznych materiałów. W obniżonej grawitacji człowiek może mieć problemy w utrzymywaniu równowagi i chodzeniu. Dlatego przestronne, pozbawione elementów wewnętrznych pokoje mogą wzbudzać niepokój. W razie potknięcia się, człowiek nie znajdzie tam elementów, na których mógłby się oprzeć, by uniknąć upadku.

Jeśli chodzi o wielkość pomieszczeń, na percepcję ich przestronności wpływają trzy zasadnicze czynniki: proporcje wnętrza (Grandjean 1978, s.86), maksymalna odległość obserwatora od ścian oraz liczba okien i przegród transparentnych (MSIS 1995). Pomieszczenie jest tym większe, im większa jest odległość maksymalna między naprzeciwległymi ścianami. Podłużne pokoje postrzegane są jako mniejsze od kwadratowych i okrągłych. Okna wizualnie powiększają wnętrze. Tyczy się to wszelkich otwarć dających wgląd w dalszą przestrzeń, czyli np. świetlików, przegród przezroczystych i ażurowych. Wielkość pomieszczeń można także percepcyjnie zwiększać poprzez strukturalne łączenie ich z tarasami i balkonami.

Wskazane jest zróżnicowanie w formie pomieszczeń, gdyż modularność i powtarzalność wpływa negatywnie na komfort psychiczny. Aby pomieszczenia w bazie były postrzegane jako interesujące, muszą być niepowtarzalne. Im większe zróżnicowanie, tym większa różnorodność wrażeń. Efekt ten architekt uzyskać może np. poprzez: prowadzenie na rozmaite sposoby linii przegród dzielących przestrzeń bytową na pomieszczenia, kondygnacje i strefy, wprowadzanie zmian w poziomie posadzek i sufitów podwieszanych, komponowanie podestów wysuwanych z podłogi na różną wysokość, ścian przesuwanych lub przestawnych itd. Pozytywnie odbierane są wszelkie możliwości wprowadzania zmian w ograniczonej przestrzeni bytowej (Evans i in. 1988). Forma pomieszczenia powinna umożliwiać funkcjonalne ich umeblowanie na różne sposoby. Duże pokoje mają większy potencjał do rozmaitego ich wyposażania. Choć mieszkańcy bazy marsjańskiej niewiele osobistych rzeczy ze sobą przywiozą, warto zapewnić im przestronne i wygodne kabiny prywatne. Jak podają Evans i in., większość czasu wolnego ludzie mieszkający w ograniczonych izolowanych środowiskach życia (ICE) spędzają samotnie w swoich pokojach. Aby pomieszczenia nie przytłaczały pustką, autorka sugeruje, by dzielić je kolorowymi przegrodami na strefę ubierania się, odpoczynku, pracy własnej oraz spania.

Na percepcję przestrzeni w pomieszczeniu wpływa jego kształt. Wnętrza o ścianach biegnących po liniach krzywych zakrywają pewne swoje fragmenty, przez co wydają się większe (Dubbink 2001). Proste prostopadłościennymi pomieszczenia mają pewną skończoną formę, bez tajemnic i ciekawych zakamarków. Wszystko w nich widać na pierwszy rzut oka. Przez to pokoje takie wydają się nudniejsze. Kiedy dwie przestrzenie częściowo się rozdzieli,

ale pozostają połączone wizualnie, percepcyjnie odbieramy je jako przestronniejsze. Podział wtedy musi mieć wymiar subtelny – np. zmiana wysokości posadzki, ażurowa ścianka itp.

Forma pomieszczeń zależy w pierwszym rzędzie od kształtu budowli bazy. Kwestia obłości została opisana we wcześniejszym podrozdziale. Na formę pomieszczeń wpływa również technologia wybrana do wykonywania przegród. Jedne typy konstrukcji są bardziej sztywne, inne pozwalają na większą swobodę kształtowania z nich elementów strukturalnych. Na przykład budowle z Superadobe dają w zasadzie tylko formę wydłużonych kopuł; z metalu za najbardziej praktyczne uważane są walce o niezbyt dużej średnicy. Większe różnicowanie form dają konstrukcje murowane i podziemne. Największą kreatywność można wykazać projektując wnętrza drążone w bryle lodu, kształtowane z tworzywa sztucznego z pamięcią kształtu i wykorzystujące elementy pneumatyczne. Pomieszczenia wtedy mogą mieć zupełnie nieregularne kształty, prowadzone mogą być krzywoliniowo, także w trzech wymiarach. Daje to architektowi duże możliwości. Z drugiej strony jednak nadmiar komplikacji może utrudniać wykonawstwo struktury i spowodować, że wnętrza staną się zbyt charakterystyczne, a wprowadzanie widocznych zmian nie będzie proste. Umeblowanie takich przestrzeni może narażać wielu trudności i ograniczać fleksybilność wewnątrz.

Oprócz przegród zewnętrznych pomieszczenia jego percepcję kształtują również obiekty znajdujące się w środku. Są to różne elementy wewnątrz: słupy, balustrady, meble itd. Kiedy pomieszczenie jest nimi nasycone, stwarza wrażenie ciasnego. Duża ilość sprzętów wypełniających pomieszczenie pomniejsza je wizualnie (Grandjean 1978, s.86). Jeśli pokój wymaga wielu podpór wewnętrznych czy elementów wyposażenia, warto używać te z nich, które mają konstrukcję prześwitującą lub szkieletową, aby nie ciążyły z nadmierną obecnością w pomieszczeniu. Percepcyjnie powiększać można pokój odpowiednio komponując elementy wewnątrz. Znane są z architektury ziemskiej różne przykłady iluzji perspektywicznej. Wybierając miejsca, z których użytkownik najczęściej spogląda na wewnątrz, można wprowadzić elementy wyposażenia w taki sposób, by patrzący miał wrażenie, że odległości między nimi są większe niż w rzeczywistości, np. przy pomocy zbliżających się do siebie szeregów kolumn. Iluzje dalszej przestrzeni uzyskać można również stosując dekoracje ścienne, na przykład sztuczne okna i pasaż, iluzjonistyczne obrazy. Także kształt pomieszczenia może dawać złudzenie, że jest ono większe niż w rzeczywistości – np. gdy ma on sufit nachylony albo rzut wydłużonej elipsy zamiast koła czy trapezu zamiast prostokąta¹⁶.

Faktura

Faktura to charakterystyczna cecha powierzchni przedmiotu, zależna od tworzywa i techniki jego obróbki. Faktura wpływa na odbiór emocjonalny elementów wewnątrz – mogą się one wydawać miłe w dotyku, obojętne lub odpychające. Zwykle percepcja ta wiąże się z użytym materiałem, choć imitacje mogą oszukiwać nasze odczucia. Za najbardziej odpychające uznaje się tworzywa, które wydają się zimne. Są to materiały o dużej przewodności cieplnej, np. metal, kamień, beton, szkło. Za szczególnie niemiłe w dotyku uważa się tworzywa dodatkowo bardzo gładkie, śliskie i połyskliwe, np. blachy, kamienne płyty, kryształ. Pozytywnie odbierane są materiały, które wydają się ciepłe. Są to tworzywa o małej przewodności cieplnej, np. drewno, materiały drewnopochodne, papier, tkaniny, wełna, futro, skóra, plastik, gąbka. Za najbardziej przyjemne w dotyku uważa się materiały dodatkowo miękkie i matowe, głównie tkaniny, wełnę, futra. Odczuwanie miękkości powierzchni

¹⁶Iluzje architektoniczne wzorowane np. na projekcie placu na Kapitolu w Rzymie autorstwa Michała Anioła albo placu św. Piotra w Rzymie – Berniniego.



Rysunek 6.115: A,B,C – przykłady rozmaitych paneli z żywicy, D – detal zamocowania (www.3-form.com)

na elementach wnętrza zapewnia nas, że przy przy uderzeniu nie odczujemy silnego bólu. Postrzeganie to ma bardzo ważne znaczenie w habitacie marsjańskim, gdzie w obniżonej grawitacji ludzie będą bardziej nieporadni w poruszaniu się. W otoczeniu miękkich, elastycznych i sprężystych materiałów człowiek będzie czuł się bezpieczniej i pewniej. Tworzywa takie mają również zwykle dobrą izolacyjność akustyczną, co jest ich dodatkową zaletą, wyjątkowo docenianą w ICE. Ich częstym mankamentem jest jednak trudność utrzymywania ich w czystości. Tymczasem w bazie marsjańskiej bardzo ważne jest, by było jak najmniej problemów z brudem. Przede wszystkim: ze względów higienicznych, niemożności wymiany elementów trwale zabrudzonych na nowe, konieczności zachowywania wrażenia czystości, która ma ważny wpływ na komfort psychiczny, pracowitości, zużywania energii, wody i środków czyszczących. Zatem wskazane jest, by powierzchnie elementów wnętrza nastroczały możliwie jak najmniej problemów z czyszczeniem. Do tego dochodzi kwestia estetyki. Faktura wpływa również na akustykę i oświetlenie wnętrza (MSIS 1995). Drobne nierówności w najlepszy sposób wygłuszają dźwięki. Dzięki takiej fakturze można polepszyć akustykę wnętrza, wyciszyć hałasy i zapobiegać niemiłemu powstawaniu pogłosu. Pomagają też w redukcji odbłasków na powierzchni materiału, zapobiegając powstawaniu zjawiska olśnienia.

Obecnie dostępnych jest bardzo wiele rozmaitych materiałów, z których można wykonywać elementy wnętrza. Technologie ich wytwarzania stale są doskonalone tak, że powstają tworzywa coraz bardziej wytrzymałe i w coraz większej gamie faktur. Ponieważ tkaniny to materiały o fakturze szczególnie pozytywnie odbieranej, warto wprowadzić je we wnętrza habitatu marsjańskiego. Łatwo je też ciasno spakować, są lekkie i cienkie. Zastrzec jednak trzeba, by używane były one w ograniczonym stopniu i jako nieduże elementy, ponieważ tkaniny łatwo się brudzą i trzeba je prać przy użyciu środków czyszczących. Najlepiej nadawałyby się na łatwo zdejmowalne pokrowce mebli do siedzenia, zasłony, okładziny dla konstrukcji szkieletowych itp. Powinno wybierać się materiały, z których łatwo usuwa się plamy. Pozostałe powierzchnie we wnętrzach powinny być wykonane przede wszystkim z tworzyw trudno brudzących się i łatwych w oczyszczaniu. Do takich materiałów zaliczyć można np. tworzywa sztuczne, które są ciepłe i raczej miękkie. Choć mają gładką powierzchnię, nie ma ona tak dużego połysku. Mogą za to być łatwo kształtowane tak, by tworzyć na nich wypukłości i wklęsłości, które nie utrudniałyby znacznie czyszczenia, a dawałyby pewien substytut faktury. Ponadto plastiki są lekkie, tworzyć z nich można panele cienkościenne lub zupełnie cienkie folie. Elementy z nich wykonane są dość pakowne. Tworzywa sztuczne to również żywice. Niektóre z nich są przezroczyste. Wykorzystuje się je do zatapiania w nich różnych materiałów (m. in. pochodzenia roślinnego – drewno, włókna, żdźbła) tak, by tworzyć strukturalne panele ścienne lub skrzydła drzwi (Rys. 6.115). Wy-



Rysunek 6.116: Przykładowe elementy wnętrz z bambusa o przyjemnej dla oka fakturze (Natural Bamboo Products Ltd.)

tworzą się z nich również panele o niezwykle dobrej izolacji akustycznej (np. Soundwave Offecct AB).

Najprostszym sposobem uzyskiwania wrażenia miękkości powierzchni elementów wnętrz jest malowanie ich w taki sposób, by dawać złudzenie drobnych światłocieni, np. natrysując na ścianę dwie farby o tym samym kolorze, ale różnej jasności. Wykorzystanie kilku farb może dać bardziej naturalny efekt. Naklejanie tapet jest bardziej pracochłonne i wymaga zastosowania dodatkowo sprowadzanego materiału, trudniej też pokrywać nim ewentualne nierówności powierzchni. Można również użyć dwuwarstwowe arkusze: warstwa spodnia będzie miała nierówną powierzchnię (może być utkana z włókien naturalnych lub sztucznych), wierzchnia będzie zaś – przezroczysta (np. z folii) tak, by odsłaniać spód o ciekawej fakturze. Widoczność faktury wzmacniać można odpowiednim oświetleniem bocznym lub poprzez podświetlanie.

Wiele elementów w bazie można wykonać z bambusa. Jest to szybko rosnąca trawa o drewniejących łodygach. Wytwarzać można z niej także włókna i papier. Bambus to jedyne źródło drewna, jakie ekonomicznie można pozyskiwać na Marsie w BIO LSS. Jego przyjemna dla oka faktura mogłaby stanowić miłe akcenty we wnętrzach habitatu. Z bambusa można wyprodukować panele podłogowe i ścienne, maty, drzwi, słupy, balustrady, płoty, antresole, meble, ramki i in. (Rys. 6.116).

Kolorystyka i oświetlenie

Kolorystyka i oświetlenie to bardzo potężne narzędzia architektury, które silnie wpływać będą na komfort fizyczny i psychiczny mieszkańców habitatu marsjańskiego, od którego zależy powodzenie misji. Światło i kolor odgrywają bardzo ważną rolę w naszym życiu. Najbardziej wyspecjalizowany u człowieka narząd zmysłu to wzrok. Świat widziany dlatego ma tak silny wpływ na nasze odczucia i emocje. Jasne oświetlenie w pomieszczeniu daje nam pewność siebie, ponieważ wszystko dobrze widać. Ciemność odbiera odwagę i spokój. Kolory pomagają nam rozpoznawać otoczenie oraz cieszą oczy. Ciepłe barwy dają poczucie przytulności, zieleń – spokoju łona natury, niebieski – dali nieba, ukwiecona łąka zachwyca itd. Prawidłowy dobór kolorystyki i oświetlenia jest z tego powodu niezwykle ważny.

Analiza badań nad percepcją barw u ludzi przeprowadzona przez Wise i Wise (1988) pozwoliła określić ogólne zasady prawidłowego projektowania pozytywnie odbieranych pomieszczeń pod względem kolorystyki, a także oświetlenia w habitatach kosmicznych. Synteza wysnutych wniosków doprowadziła do stworzenia wielu punktów w normach MSIS (1995) dla stacji orbitalnych. Stacje te różnią się pod wieloma względami od bazy marsjańskiej, dlatego autorka skupiła się na sprecyzowaniu wytycznych projektowych odpowiednich

dla przypadku bazy na Marsie. Zaproponowano również sposoby tworzenia wnętrz o fleksybilnej kolorystyce, szukając jak najbardziej ekonomicznych i efektywnych rozwiązań. Projekt architektoniczny bazy marsjańskiej powinien zawierać propozycję kolorystyki pomieszczeń. Uwzględniać musi przy tym wprowadzanie zmian w tej kolorystyce. Na sposób zmian kolorów w pomieszczeniach bezpośredni wpływ ma rodzaj materiału tworzącego powierzchnie elementów. Jeśli na jego powierzchni występują drobne nierówności, zwykle nadaje się on do malowania i przyklejania do niego okładzin. Tkaniny mogą same stanowić wymienne różnokolorowe okładziny nakładane na elementy wnętrz np. w formie poszwy, pokrowca lub zasłony. Powierzchnie gładkie trudniej chwytają masę barwiącą. Zwykle lakieruje się je. Można również przyczepiać do nich okładziny przylegające elektrostatycznie. Wykonuje się je z bardzo lekkich cienkich folii. Mogą być dowolnie barwione oraz zachowywać częściowo przezroczystość. Jak podaje Evans i in. (1988), na stacjach polarnych możliwość przemalowywania swojego pokoju była wysoce ceniona. Jednak przywożenie w tym celu farb na Marsa wydaje się nieekonomiczne. W grę wchodzić może miejscowa produkcja barwników. Dochodzi jednak problem chemikaliów unoszących się w powietrzu w czasie schnięcia farb i nieodzyskiwalność warstwy spodniej. Dlatego najbezpieczniejszym i najbardziej ekonomicznym rozwiązaniem wydaje się stosowanie wymiennych okładzin z folii łatwych w nakładaniu i czyszczeniu lub tkanin nadających się do prania w pralce. Takie okładziny można używać wielokrotnie w różnych miejscach w bazie i w odmiennych aranżacjach, dzięki czemu zapewniają prosty sposób wprowadzania zmian, utrzymywania czystości w bazie oraz wysoki stopień fleksybilności kolorystyki.

Pozytywnie odbieramy przede wszystkim przestrzeń, w której wszystko wyraźnie widać. Umożliwia to zastosowanie odpowiednich zestawień barwnych we wnętrzach. Wyróżniono podział na trzy zasadnicze grupy w zależności od ich wielkości i ważności we wnętrzu: tło, większe elementy wyposażenia i mniejsze elementy wyposażenia. Dla każdej z grup wyznacza się inne zalecenia co do ich kolorów. Im coś jest jaskrawsze, tym bardziej rzuca się w oczy. Duże elementy wnętrza są łatwo dostrzegalne ze względu na swe gabaryty, dlatego nie potrzebujemy, by wychodziły na pierwszy plan obserwowanej przestrzeni kolorem. Preferujemy zatem, by były bledsze niż małe przedmioty. Im coś jest mniejsze, tym trudniej to zobaczyć, odnaleźć we wnętrzu. Dlatego małe elementy wnętrza, aby się wyróżniały, zwracały na siebie uwagę, muszą być jaskrawsze, kontrastowe. Najsilniejsze, najbardziej jaskrawe zestawienia tworzą biel i czerń. Dobrej widoczności we wnętrzu sprzyja zatem bardzo jasne lub bardzo ciemne tło. Ludzie lepiej czują się w pokojach o jasnych elementach tła niż ciemnych. Wynika to z tego, że jasne przedmioty na ciemnym tle wydają się większe, bliższe, a ciemne na jasnym – mniejsze, odleglejsze. Jasne tło wpływa na percepcję przestronności pomieszczenia. Łatwiej też uzyskać w nim efekt miłego, pogodnego wnętrza. Na ciemnym tle nie widać cieni, które również odpowiadają za odczuwanie głębi i przestronności. Jasne tło wpływa na percepcyjne powiększanie przestrzeni pod warunkiem, że elementy wyposażenia nie są jeszcze jaśniejsze. Człowiek źle się czuje w ciasnym pokoju, dlatego wizualne powiększanie pomieszczenia jest ogólnie dobrze przez niego odbierane.

Tło: jest zasadniczym elementem mającym wpływ na pozytywny odbiór wnętrza. Powinno mieć dużą jasność i małą saturację. Kolory o dużym nasyceniu zaburzałyby percepcję mniejszych elementów wnętrza, co byłoby stresujące. Jedynym wyjątkiem jest niebieski, który jest postrzegany w szczególny sposób – im większa saturacja błękitu, tym wrażenie większej przestronności (złudzenie pogodnego nieba). Tło powinno być jednolite. Szczególnie zestawianie dużych kontrastowych plam barwnych jest nieodpowiednie, zaburza bowiem percepcję całego wnętrza oraz może wywoływać efekt olśnienia pośredniego. Jak zauważa

autorka, nie oznacza to jednak, że użyć w nim można tylko jeden kolor, np. miękkie światłocienie jak pod koronami drzew w lesie mogą być bardzo dobrze odbierane. Tło może zmieniać się w ciągu doby, przede wszystkim przy pomocy głównych źródeł światła wytwarzających inne światłocienie lub pobocznych źródeł światła zmieniających kolor tła – zmiany w czasie wpływają na dynamikę, wewnątrz wydaje się żywe, zmienne, jak to jest na Ziemi.

Większe elementy wnętrza: powinny być ciemniejsze niż tło i mieć większe nasycenie, by ich bryła była dobrze rozpoznawalna na elementach tła. Będą najbardziej pozytywnie postrzegane, kiedy będą miały odcienie brązu – podobnego do drewna oraz zieleni – naśladującej listowie. Zestawienie tych odcieni jest najlepiej odbierane ze wszystkich zestawień kolorystycznych w pomieszczeniach bez względu na ich funkcję. Są to barwy szczególnie dobrze wpływające na samopoczucie, ale stosowanie ich wszędzie byłoby zbyt monotonne; ograniczyć je zatem można do przestrzeni, w których najbardziej zależy projektantowi na odczuwaniu atmosfery przytulności. Większe elementy wnętrza wykorzystywać powinny co najwyżej parę odcieni, by nie powstał bałagan kolorystyczny odbierany negatywnie.

Mniejsze elementy wnętrza: powinny mieć kontrastowe, jaskrawe kolory, by wybijać się w bledszym tle; ich barwa powinna mieć duże nasycenie, a jasność albo bardzo dużą, albo bardzo małą. Powinny też być utrzymywane w pewnych tonacjach, by nie stwarzać chaosu kolorystycznego i wrażenia przytłaczającego bałaganu w pomieszczeniu, szczególnie kiedy tych małych elementów jest bardzo dużo. Mniejsze elementy wnętrza mogą odcieniem określać swoją funkcję tak, by elementy spełniające wspólnie tę samą rolę były łatwiej rozpoznawalne w pomieszczeniu, np. jeden kolor dla wszystkich pomocy w poruszaniu się (uchwyty, poręcze), jeden kolor dla sprzętów kuchennych (mikrofalówka, czajnik, uchwyty sztućców) itd. W ten sposób przestrzeń byłaby uporządkowana, przy czym elementy nie muszą być całe jednokolorowe, tylko jedna barwa może dominować, by podkreślać przynależność do wybranej grupy.

Powyższe zasady należy przeanalizować przy projektowaniu konkretnych pomieszczeń w habitacie marsjańskim, uwzględniając ich funkcję, wielkość oraz ilość i powierzchnię zajmowaną przez elementy wyposażenia wnętrza większe i mniejsze. Jeśli pokój prywatny zaplanowany będzie jako dość duży, a (ze względu na różne ograniczenia) sprzętów w nim będzie niewiele, wzbogacanie kolorystyczne przestrzeni będzie dobrym zabiegiem. Zapobieganie poczuciu pustki i pozbawienia wielu rzeczy codziennego użytku, za którymi się tęskni. Jednym ze sposobów skomponowania kolorystyki dla takiego pomieszczenia może być wypełnienie jednej ze ścian fototapetą lub dużym plakatem, najlepiej przedstawiającym krajobraz ziemski. Takie pejzaże mogą pozytywnie wpływać na ludzi w kosmicznym habitacie, ponieważ jednocześnie dają głębię obrazu powiększającą przestrzeń oraz dają złudzenie bliskości z naturą, znaną dobrze, otwartą przestrzenią. Jednak krajobraz na fotografii utrudniać może zaprojektowanie odpowiedniej kolorystyki dla elementów wyposażenia wnętrza. W zależności od barw na pejzażu inne wskazówki co do doboru kolorystyki sprzętów byłyby potrzebne. Z drugiej strony krajobraz może się szybko znudzić, więc meble powinny pasować do różnych obrazów przewidywanych w wystroju wnętrza lub składać się z części wymieniających pozwalających na zmianę ich barwy. Najlepiej jest wybrać wtedy dla mebli kolor: drewna – ogólnie lubiany, biel albo czerń – dobrze kontrastujące na dowolnym tle albo błyszczące powierzchnie, np. metalowe. Przedstawione powyżej zasady stosowania barw wykorzystywane były do tworzenia wzorców kolorystycznych optymalnie zaprojektowanych wnętrz. Przykłady takich zestawów barwnych przytacza Zausznica (1959, s.474).

Ponieważ stwierdzono, że nie ma żadnych przesłanek co do wpływu odcienia na zacho-

wanie człowieka, wprowadzanie zmian we fleksybilnych wnętrzach nie będzie powodować pogorszenia jakości przestrzeni. Podobnie będą odbierane pokrowce na fotele zielone i czerwone, jeśli będą miały podobne nasycenie i jasność. Dzięki temu wymienne okładziny będą przede wszystkim urozmaicać wnętrze habitatu, a nie powodować pogorszenie jego percepcji emocjonalnej. Jeżeli praca w pomieszczeniu wymaga znacznej koncentracji, to kolory należy stosować z dużym umiarem, ażeby uniknąć efektu rozpraszania uwagi i wrażenia niepokoju. Intensywne barwy można z powodzeniem stosować w pomieszczeniach przechodnich, jak np. wejścia, korytarze, w ustępach, pomieszczeniach pomocniczych. Tu intensywne kolory mogą służyć ożywieniu architektury (Grandjean 1978, s.253).

Wise i Wise (1988) sprecyzowali pewne ogólne normy dla projektowania wnętrz. Trzymając się tych zasad architekt ma największą szansę na stworzenie lubianego miejsca. Nie oznacza to, że inne zestawienia barwne są zawsze negatywnie postrzegane. Normy NASA MSIS (1995) odnoszą się przede wszystkim do tradycyjnych ciasnych habitatów kosmicznych. Sprzeciwianie się ich regułom np. w przestronnych kabinach prywatnych w bazie marsjańskiej nie powinno wzbudzać konsternacji, szczególnie jeśli taka kolorystyka została wybrana przez osobę zajmującą ten pokój. Priorytetem jest bowiem dostosowywanie projektowanej przestrzeni do jej użytkownika. Często ludzie potrzebują, by ich własny pokój był przede wszystkim ciepły i przytulny, a nie przestronny, żeby dominował w nim ulubiony kolor itd. Personalizacja przestrzeni prywatnej powinna być szczególnie respektowana. Dlatego wymienne okładziny powinny dawać różne możliwości dekorowania wnętrz kolorem. Warto jest jednak przestrzegać zaleceń wyszczególnionych przez Wise i Wise (1988) w przestrzeniach publicznych, ogólnodostępnych. Tam należy stosować zasady najbliższe oczekiwaniom większości ludzi. Poza tym duże elementy wnętrza w barwach jasnych, mniej nasyconych łatwiej jest „kolorować” zmiennym oświetleniem.

Projekt architektoniczny bazy marsjańskiej powinien zawierać również propozycję optymalnego oświetlenia bazy dla jej domyślnej konfiguracji oraz uwzględniać rodzaj zmian, jakie można uzyskać, wykorzystując te same elementy oświetlenia. Wybrać należy rodzaje źródła światła i rodzaje oświetlenia w habitacie.

Rodzaje źródeł światła: Podstawowe typy oświetlenia to: naturalne i sztuczne. Naturalne to zwykle światło dzienne pochodzące od Słońca. Światło księżyca jest na tyle słabe, że człowiek w jego blasku nie rozróżnia kolorów, a tylko intensywność bieli i czerni. Marsa okrążają dwa księżyce. Są one jednak dużo mniejsze niż nasz naturalny satelita i mimo małych orbit są znacznie mniejszymi obiektami na niebie marsjańskim niż Księżyc na ziemskim: Phobos ma 1/3 wielkości Księżycy w pełni, a Deimos widziany jest jak jaśniejsza gwiazda. Tak więc noce na Marsie będą jeszcze ciemniejsze niż na Ziemi.

Ziemia ma gęstszą atmosferę i występuje w niej dużo chmur. Niebo marsjańskie jest jednak ciemniejsze od ziemskiego, ponieważ Mars jest dalej od Słońca niż Ziemia. Słońce na niebie marsjańskim ma mniejszą średnicę i nie będzie tak dobrze poprawiać samopoczucia ludziom jak na Ziemi. Kolor nieba będzie wydawał się nienaturalny, bo jest różowy a nie niebieski. Aby we wnętrzach habitatu marsjańskiego w ciągu dnia było pogodnie i jasno jak na naszej planecie, trzeba by użyć pewnych środków do uzyskania tego efektu.

Można np. zwiększać natężenie promieniowania widzialnego przy użyciu zwierciadeł. Zwierciadła skupiałyby promienie słoneczne i kierowały do wnętrza habitatu, następnie światło mogłoby tam być rozpraszane, by rozświetlić przestrzeń. Można również w tym celu użyć system światłowodowej transmisji światła słonecznego (Rys. 6.117) (Brownell 2006, s.210). Każde z rozwiązań wymaga odpowiedniego sprzętu, który musiałby być sprowadzany na Marsa. Istnieje możliwość wykonania powierzchni zwierciadlanych na Marsie z miejscowych



Rysunek 6.117: Parans Daylighting System umożliwiający transport skupionego światła słonecznego poprzez światłowody do emiterów w pomieszczeniach (Parans Daylight AB)

zasobów, choć precyzja byłaby trudna w uzyskaniu. Typowe lustrzane zwierciadła są ciężkie i mogą się stłuc. Ale nowoczesne rozszerzalne konstrukcje wykorzystujące optyczne elementy z SMP są całkiem realną alternatywą (patrz Rys. 6.29). Jeśli system takiego wzmacniania światła słonecznego nie byłby wdrożony, w bazie marsjańskiej nawet za dnia byłoby zbyt ciemno, by prowadzić intensywną uprawę roślin czy uzyskać klimat pogodnego dnia. Zainstalowanie zwierciadeł, choć kosztowne, okazać by się mogło znacznie bardziej opłacalne niż zużywanie energii i przywożenie lamp z Ziemi, gdyż naturalne światło jest za darmo. Pamiętać należy o osłonach chroniących zwierciadła przed niszczącym działaniem pyłu. Wykonanie wielu okien czy przegród transparentnych w celu lepszego doświetlenia wnętrza bez pomocy dodatkowego sprzętu nie jest najlepszym rozwiązaniem, ponieważ wpływałoby to na powiększenie powierzchni skorupy zewnętrznej bazy pozbawionej osłony przeciwpromiennej.

Naturalne oświetlenie (dzienne ziemskie) jest najzdrowsze dla ludzkich oczu i najlepiej wpływa na samopoczucie (Mieszkowski 1975, s.25). Jednak zupełne zdanie się na naturalne oświetlenie w habitacie marsjańskim jest niemożliwe, przede wszystkim ze względu na burze pyłowe. W czasie tych zdarzeń pogodowych zwierciadła i systemy światłowodów nie wystarczą do właściwego oświetlenia wnętrza. Trzeba wtedy skorzystać ze sztucznych źródeł światła. Potrzebne są one także do rozjaśniania wnętrza po zmroku.

Istnieją różne sztuczne źródła światła. Wymienić można ich trzy podstawowe typy: żarówki, lampy wyładowcze i diody elektroluminescencyjne. W ramach tych trzech typów wymienić można wiele rodzajów lamp o różnej charakterystyce oświetleniowej. Różnią się one od siebie m. in. natężeniem światła, efektywnością i barwą. Na potrzeby bazy marsjańskiej należy wybrać takie źródła światła sztucznego, które najlepiej spełniają następujące kryteria: są wydajne, tanie w transporcie (lekkie i małe), charakteryzują się długą żywotnością. Dodatkowym ich atutem będzie możliwość sterowania ich intensywnością i barwą w celu uzyskiwania zmiennych efektów świetlnych bez potrzeby używania większej ilości lamp. Lampy przeznaczone na zapewnienie dobrej widoczności we wnętrzach powinny jak najlepiej oddawać kolory, czyli posiadać widmo jak najbardziej zbliżone do widma słońca (współczynnik oddawania barw powinien być jak najbliższy wartości maksymalnej – 100). Jak zaleca MSIS (1995), w habitacie kosmicznym powinno być używane przede wszystkim



Rysunek 6.118: Sposoby wykorzystywania światłowodów do oświetlania wnętrz lodowych w Ice Hotel'u (icehotel.com)

białe światło, ponieważ przy nim ludzie i rzeczy wyglądają naturalnie oraz kody kolorystyczne są odczytywane prawidłowo.

Najbardziej wydajne źródła światła to lampy sodowe. Zwykłe sodówki emitują jednak światło monochromatyczne, żółtawopomarańczowe. Udało się wykonać sodówki świecące białym światłem, jednak ich konstrukcja jest bardziej skomplikowana i bardzo droga, dlatego nie wprowadzono ich do produkcji (Gabryelczyk 2005). W czasie badań w radzieckim Biosie-3 ustalono, że człowiek nie może przebywać na co dzień w świetle emitowanym przez zwykłą lampę sodową, ponieważ wiąże się to z dużym dyskomfortem zarówno fizycznym, jak i psychicznym (Lewandowski 2000). Normy NASA (MSIS 1995) zabraniają stosowania w habitatach kosmicznych światła monochromatycznego.

Obecnie dużą popularność zyskała świetlówka kompaktowa, potocznie zwana żarówką energooszczędną. Jest ona około pięć razy wydajniejsza od zwykłej żarówki i ma dłuższy czas pracy. Świetlówki nie oddają zbyt dobrze barw. Tylko świetlówki nowej generacji wytwarzają światło o dość wysokiej bieli (wartość współczynnika 80-95). Głównym mankamentem świetlówki kompaktowej są jej gabaryty. Jest po prostu dość duża i zajmowałaby znacznie większą objętość bagażową w rakiecie transportowej na Marsa niż np. lampa halogenowa czy metalohalogenowa. Halogeny są wydajniejsze niż zwykłe żarówki. Ich budowa jest prostsza niż świetlówki, ale mają od nich ponad dwa razy mniejszą skuteczność świetlną. Za to nie zużywają się od częstego włączania i wyłączania. Halogeny można łatwo i płynnie ściemniać. Mają krótki czas włączania i wyłączania. Metalohalogeny to lampy wyładowcze wysokoprężne o bardzo dużej skuteczności świetlnej. Charakteryzują się wyjątkową trwałością. Zarówno halogeny, jak i metalohalogeny dają światło białe (ciepłe lub zimne) i właściwie oddają barwy (nawet maksymalna wartość współczynnika – 100) (Gabryelczyk 2005). Z tych powodów wydają się one najlepszymi kandydatami na źródła światła sztucznego w bazie marsjańskiej.

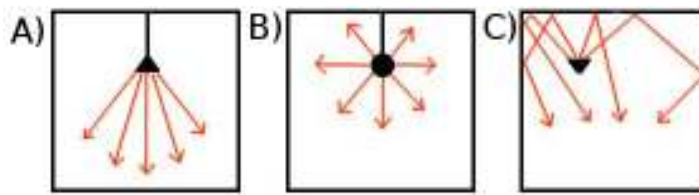
Oprócz silnych i wydajnych źródeł światła, które mają zapewniać dobrą widoczność w bazie, uwzględnić również można lampy o mniejszej intensywności, wykorzystywane bardziej w celach pomocniczych czy dekoracyjnych. Można w tym celu wykorzystywać źródła światła tego samego rodzaju, ale o niższej mocy. W ten sposób w te same oprawy można by wkładać lampy o różnej mocy – rozwiązanie to zapewnia większą fleksybilność. Jednak ze względów ekonomicznych na źródła światła o funkcji pobocznej lepiej jest wybrać lampy o jak najmniejszym poborze energii. Są to diody elektroluminescencyjne, tzw. LED-y. Mają one małe wymiary i nieporównywalnie większą żywotność niż wszystkie inne sztuczne źródła światła (po 100 tysiącach godzin pracy ich światłość spada do połowy swej początkowej wartości, przestają w ogóle świecić po bardzo długim czasie) (Raczyński 2005). Mimo małych mocy wytwarzają relatywnie duży strumień świetlny. Są niezwykle energooszczędne, mają bardzo krótki czas włączania i wyłączania, dają się płynnie ściemniać i można sterować ich odcieniem. Dzięki temu nadają się również do wyświetlania ruchomych obrazów.



Rysunek 6.119: Przykłady oświetlenia: A,B) światłowodami (swiatlowody.com) i C,D) lampami LED (vossolutions.com)

LED-y i halogeny wykorzystywane są również w technice świetlnej jako generatory światła dla światłowodów. Przy pomocy przewodów światłowodowych można rozprowadzać światło w różne miejsca w pomieszczeniu wykorzystując tylko jedno źródło światła. Światłowody to cienkie, lekkie i fleksybilne przewody. Zajmowałyby niewielką przestrzeń bagażową w rakiecie, a w przestrzeni bytowej można by je prowadzić w różnych konfiguracjach. Różne kolory światła w światłowodzie uzyskuje się przez zastosowanie obrotowych filtrów kolorowych (Światłowody 2006). W podobny sposób atmosferę we wnętrzach kreować można przy pomocy światłowodów i LED-ów. Produkowane są one jako punktowe, liniowe i powierzchniowe źródła światła. Potrafią symulować trójwymiarowość. Ponieważ punkt świetlny, jaki dają, jest bardzo mały, można wykorzystywać je do tworzenia znaków i napisów. Wyróżnia się światłowody świecące końcówką i powierzchnią boczną (Światłowody 2006). Końcówkowe mogą tworzyć punktowe źródła światła lub być układane w zagęszczeniu tworząc efekt gwieździstego nieba lub powierzchni świecącej. Światłowody z boczną powierzchnią świecącą dają linie. Ponieważ są to giętkie przewody, tworzyć z nich można zarówno proste kreski, jak i odcinki krzywoliniowe. Światłowody przewodzą tylko promienie świetlne, dlatego nie nagrzewają się jak żarówki i można je stosować do oświetlania np. powierzchni lodowych (Rys. 6.118), a także innych (Rys. 6.119 A,B). Generator światła, od którego rozchodzą się światłowody, może wytwarzać promieniowanie o różnych barwach. LED-y dają podobne efekty świetlne jak światłowody, przy czym do mocniejszego oświetlenia potrzebne są albo LED-y o większej mocy (ale mogą być tej samej wielkości), albo grubsze wiązki światłowodów (są wtedy cięższe). Lampy LED wyposażone są w żarówki o małej mocy, dlatego wymagają niewielkich baterii i można je przestawiać. W przypadku światłowodów, trzeba je inaczej podłączać, więc zmiana ich konfiguracji będzie bardziej pracochłonna. LED-y wykorzystuje się jako lampy punktowe, kable świecące lub ekrany (halolamp 2005). Różne rozwiązania wnętrzarskie z użyciem lamp LED pokazano na Rys. 6.119 C) i D). Powierzchnie świecące LED mogą służyć w bazie marsjańskiej np. do projekcji ściennych obrazów z przyrodą, które poprawiać mogą samopoczucie. Jasność pomieszczenia można również zwiększyć (bez użycia dodatkowych źródeł światła) przy pomocy powierzchni odbijających promienie – w jasnych kolorach lub połyskliwych, lustrzanych.

Rodzaje oświetlenia w bazie marsjańskiej: Wyróżnić można trzy typy oświetlenia: ogólne, miejscowe i punktowe. Spełniają one różną funkcję w pomieszczeniu: ogólne służy do zapewnienia dobrej widoczności, rozjaśniania przestrzeni, miejscowe – do oświetlania najważniejszego miejsca (zwykle płaszczyzny roboczej lub eksponowanego elementu wnętrza), zaś punktowe wykorzystuje się głównie do stwarzania nastroju we wnętrzu.



Rysunek 6.120: Schemat podstawowych rodzajów oświetlenia ogólnego wewnątrz: A) bezpośrednie, B) rozproszone, C) pośrednie

Rozróżnia się trzy podstawowe rodzaje oświetlenia ogólnego: bezpośrednie, rozproszone i pośrednie (Rys. 6.120). Oprócz tego stosuje się rozwiązania mieszane (Grandjean 1978, Mieszkowski 1975)). **Oświetlenie bezpośrednie** najlepiej oświetla miejsce zdarzenia, w którym wykonuje się czynności. Dzięki temu jest efektywne i ekonomiczne. Z tego powodu wydawać by się mogło, iż jest to najkorzystniejszy rodzaj oświetlenia ogólnego w bazie marsjańskiej. Należy jednak rozważyć stopień pośredniego oświetlenia sufitu i ścian – jeśli jest on zbyt niski, ocienione tło będzie wpływać na percepcyjne pomniejszanie przestrzeni, a pomieszczenie będzie się wydawać ponure. Jest to bardzo niekorzystne zjawisko ze względów socjopsychologicznych. **Oświetlenie rozproszone** rozjaśnia pokój we wszystkich kierunkach, dając równomierne oświetlenie wszystkich powierzchni. Wpływa ono na percepcyjne odbieranie pomieszczenia jako duże, jasne, pogodne i przestronne. Z tego powodu wydaje się najodpowiedniejsze dla habitatu marsjańskiego, szczególnie pomieszczeń wspólnotowych, rekreacyjnych. Zwykle stosuje się w tym rozwiązaniu oprawy mleczne, chroniące oczy przed olśnieniem bezpośrednim. **Oświetlenie pośrednie** charakteryzuje się tym, że źródło światła skierowane jest ku sufitowi, promienie z lampy docierają najpierw od sufitu i ścian. W ten sposób tylko część światła dociera do miejsca zdarzenia, w którym wykonuje się czynności. Jest przez to ono dość słabo oświetlone. Taki sposób oświetlania miejsc zdarzeń jest nieefektywny. Większość promieniowania źródła światła jest tracona na rozjaśnianie tła. Na Marsie można je zastosować tylko wtedy, jeśli źródła światła pozwalają na zmiany ich ukierunkowania, a skierowanie ich ku górze to jedna z konfiguracji. Takie oświetlenie za to najlepiej chroni przed efektem olśnienia i nadaje pomieszczeniu ciepły nastrój. Dodatkowo przez mocne oświetlenie tła percepcyjnie powiększa się pokój. Oświetlenie pośrednie nadaje się do pomieszczeń o funkcji wypoczynkowej oraz takich, w których posługuje się ekranami (przede wszystkim komputerowymi) i nadmiar oświetlenia ogólnego jest niewskazany.

Rodzaj oświetlenia ogólnego, ilość oświetleń miejscowych oraz sposób rozplanowania oświetlenia punktowego dobiera się w pomieszczeniach w zależności od ich funkcji oraz czynności, jakie są w nich wykonywane. Na przykład: oświetlenie rozproszone, jasne szczególnie polecane jest do przestrzeni wspólnotowych, rekreacyjnych, sportowych i jadalni (MSIS 1995). Pomieszczenia robocze ze stanowiskami komputerowymi powinny mieć oświetlenie pośrednie oraz odpowiednią ilość lamp miejscowych. Ewentualnie lampy oświetlenia ogólnego mogą być sterowane tak, by zastępować lampy miejscowe i oświetlać konkretne miejsca pracownicze pod właściwym kątem.

Rola oświetlenia: Można wymienić różne funkcje, jakie oświetlenie spełniać będzie w bazie marsjańskiej:

- oświetlanie bazy z zewnątrz,
- zapewnianie warunków dobrej widoczności we wnętrzach,
- oświetlanie wnętrz nocą,

- wspieranie cyklu dobowego pracy i odpoczynku,
- percepcyjne powiększanie przestrzeni,
- różnicowanie przestrzeni bytowej ograniczonego środowiska życia, urozmaicanie, zaburzenie monotonii,
- stwarzanie nastroju we wnętrzach, wpływanie na samopoczucie mieszkańców,
- wspieranie personalizacji przestrzeni,
- przysposabianie wnętrz na różne okazje,
- niesienie informacji.

Warto, by budowla bazy była oświetlona z zewnątrz. Dzięki temu byłaby lepiej dostrzegalna z orbity przez satelity marsjańskie. Wtedy też byłaby dobrze widoczna dla powracających z wypraw załóg. W zależności od konstrukcji bazy w różny sposób można by podkreślać sylwetkę habitatu. Gdy posiadałby on wiele okien i przegród przezroczystych, powinien być dobrze widoczny nocą dzięki oświetleniu wewnętrznemu. Jeśli byłby to habitat podziemny lub pokryty grubą ochronną warstwą gruntu, oświetlanie go nie miałoby większego sensu; lampy rozjaśniające teren w otoczeniu bazy musiałyby wystarczyć. Konstrukcje o widocznej zewnętrznej skorupie mogą być podświetlane lub posiadać odbłaskowe elementy, by zwiększyć rozpoznawalność budowli z daleka. Ze względów ekonomicznych najlepsze wydają się do zastosowania zewnętrzne lampy sodowe. Światło przez nie rzucane nie byłoby aż tak źle odbierane przez mieszkańców Marsa mimo zniekształceń w oddawaniu barw, ponieważ sama planeta ma pomarańczowawy kolor.

Najważniejszą rolę, jaką oświetlenie spełniać musi w bazie marsjańskiej, jest zapewnianie warunków dobrej widoczności we wnętrzach. W bazie za dnia powinno być jasno. Najlepiej gdy oświetlenie zbliżone byłoby do takiego, jakie jest w pomieszczeniach ziemskich, by zwiększać komfort zarówno fizyczny – do takiej jasności przyzwyczajone są oczy i taka jest dla nich najzdrowsza – jak i psychiczny – człowiek dobrze się czuje w świetle podobnym do ziemskiego. Najlepiej kiedy źródłem światła jest słońce zza okna. Jak podaje Mieszkowski (1975, s.31), człowiek pracujący przy świetle dziennym uzyskuje 10-20% większą wydajność niż przy najlepszym oświetleniu sztucznym. Jasność słońca zza okna na Marsie może nie być wystarczająca do optymalnego oświetlenia wnętrz. Wtedy można użyć lamp jako sztucznego oświetlenia wspomagającego. Priorytetem jest zapewnienie dobrych warunków wizualnych w pomieszczeniach. W zależności od funkcji, jakie spełnia dana przestrzeń, ustala się inne zalecane natężenie oświetlenia. Ze względu na higienę wzroku dla różnych czynności wyznacza się odpowiednie natężenie światła dla różnych pomieszczeń (Mieszkowski 1975, s.34). W MSIS (1995) podaje się podobne wyznaczniki dla habitatu kosmicznego. Normowe wartości mogłyby zostać zrewidowane na potrzeby konkretnego przykładu bazy marsjańskiej. Wysoka jasność w pomieszczeniach zapewnia dobry odbiór wizualny i ma potencjał stwarzania pogodnego nastroju. Ze względu na konieczność oszczędzania energii nie będzie można zbyt często używać mocnych świateł w bazie. Jak zaleca jednak MSIS (1995), ze względu na morale przynajmniej w niektórych pomieszczeniach powinno być zastosowane mocne jasne oświetlenie. Dotyczyć to powinno czynności takich jak: przygotowywanie jedzenia, rekreacja i higiena osobista. Specjalnego sposobu oświetlenia wymaga środowisko pracy. Normowo określa się jasność wymaganą dla rodzaju pracy w zależności od jej dokładności. Najczęściej mamy do czynienia z blatem roboczym, który wymaga specjalnie mocnego oświetlenia. W bazie marsjańskiej tylko niektóre miejsca pracy będą podlegały temu standardowi, m. in. będzie to gabinet lekarski, warsztat naprawczy, blat kuchenny. W skomputerowanej bazie, w której papier będzie luksusem,



Rysunek 6.121: System lamp w kolorach oddziałujących uspokajająco Therapie (snowlabdesign.com)

niepotrzebne będzie ostre oświetlanie miejsc roboczych, a wręcz przeciwnie – nadmierne oświetlenie może utrudniać pracę przed monitorami i ekranami. Należy przy tym pamiętać, że jeden blat roboczy może być wykorzystywany do wykonywania różnych czynności. Wtedy warto używać źródeł światła o łatwo sterowalnym natężeniu, takich jak lampy halogenowe. W pokojach prywatnych MSIS (1995) zaleca stosowanie takich źródeł światła, które umożliwiają dostosowywanie oświetlenia przez użytkownika. Dobre warunki widoczności we wnętrzach zapewnia również odpowiednia równomierność oświetlenia, czyli stosunek oświetlenia najmniejszego do największego dla danej przestrzeni (Mieszkowski 1975, s.36). Jak pisze Grandjean (1978, s.229), badania fizjologiczne wykazały, że optymalne warunki widzenia i uczucie komfortu wzrokowego zależą w głównej mierze od rozkładu i kontrastu jasności dużych powierzchni w polu widzenia.

Pokrewnym zagadnieniem jest oświetlenie wnętrz nocą. Względy socjopsychologiczne skłaniają ku wspieraniu dobowego cyklu wykonywania czynności w habitacie pozaziemskim, a więc przede wszystkim rozróżnieniem na pracę w ciągu dnia i odpoczynek nocą. Jednym ze sposobów wspomagania takiego trybu życia w bazie marsjańskiej jest zróżnicowanie na oświetlenie dzienne i nocne wnętrz. Za dnia powinno być jasno, podobnie jak na Ziemi. W nocy zaś światło powinno być przyćmione. Zupełny brak oświetlenia w tym czasie nie jest wskazany ze względów bezpieczeństwa, socjopsychologicznych oraz z powodu pracowania niektórych osób na nocnej zmianie. W prywatnych kabinach każdy mieszkaniec powinien móc sterować światłem według własnych zachcianek. W przestrzeniach wspólnotowych, a przede wszystkim w korytarzach, światło powinno wieczorami przygasać. Najlepiej nocą używać źródeł światła o małym poborze mocy i niedużym natężeniu takich, jak np. LED-y. W ten sposób zróżnicowanie na oświetlenie dzienne i nocne jest energooszczędne. Światło takie może być wspomagane przez powierzchnie fosforyzujące w półmroku. Ich przyćmiony blask pozwalałby rozjaśniać ciemności, a jednocześnie nie raziłby w oczy. Mogą tworzyć ciekawe efekty świetlne (np. rozgwieżdżonego nieba) lub informować (np. oznaczać brzegi mebli czy innych przeszkód na drodze). Fosforyzujące elementy mogą być przyczepiane w różnych miejscach, dlatego są bardziej fleksybilne niż raz pomalowane miejsca. Tam, gdzie jest dużo okien i przegród transparentnych wystarczą będą specjalne lampy nocne. Tam, gdzie jest ich bardzo mało lub w ogóle ich nie ma, oświetlenie musi być zaprogramowane tak, by silniej rozjaśniać wnętrza w ciągu dnia, przygasać wieczorem i słabiej świecić nocą.

Warto jest projektować we wnętrzach takie oświetlenie, którym można sterować i które można zmieniać – fleksybilne. W ten sposób uzyskiwać można różne nastroje w tym samym miejscu poprzez zmianę: położenia lampy, kierunku padania promieni lub ich barwy. Fleksybilne systemy oświetlenia umożliwiać będą łatwe wprowadzanie zmian w przestrze-

niach ICE, co wpłynie korzystnie na komfort psychiczny mieszkańców bazy marsjańskiej. Fleksybilne oświetlenie we wnętrzach pozwala na rozmaite ich przedstawianie. Zmieniając oświetlenie, zmieniamy sposób postrzegania przestrzeni, np. przybiera ona inne barwy, pogłębiają się cienie lub przestrzeń podzielona jest na fragmenty o innym nasyceniu itd. Za pomocą różnych źródeł światła można w pomieszczeniach bazy stwarzać rozmaite nastroje. Ciepłe światło nadaje pokojowi wrażenie przytulności, silne światło powoduje mocne świątłocenie przez co wnętrze wydaje się żywe, pobudzające; przyćmione, rozmywające cienie oświetlenie będzie uspokajać, zachęcać do odpoczynku itd. Światło na różny sposób może kształtować klimat wnętrza: stopniem jasności, zasięgiem, umiejscowieniem i ukierunkowaniem źródeł światła, szerokością wiązki promieniowania i stopniem jego rozproszenia, kolorem. Większość zasad wpływu oświetlenia na usposobienie człowieka można określić intuicyjnie, z własnego doświadczenia. Skorzystać również można z rozwiązań uzyskanych na podstawie doświadczeń laboratoryjnych. Przykładem jest system oświetlenia Therapie zaprojektowany przez Andre Keilani na podstawie studiów nad terapią światłem i kolorem (Rys. 6.121) (Brownell 2006, s.214).

Światło używać można w bazie marsjańskiej także w celach informacyjnych. Świetlne tablice, kierunkowskazy, światła ostrzegawcze itp. mogą być bardzo pomocne. Ich zadaniem może być ostrzeżenie o wybuchu na Słońcu, kierowanie do wyjścia w czasie ewakuacji, informowanie, gdzie ktoś się znajduje, podawanie menu w stołówce, sygnalizowanie zakazu wstępu lub pozwolenia na wejście itd. Do sygnalizacji świetlnej nie są potrzebne silne źródła światła, ale przede wszystkim kolorowe, kontrastowe. Ich pobór mocy byłby niewielki, szczególnie wtedy, gdy zapalałyby się tylko w wyjątkowych sytuacjach. Ponieważ lampy tego typu są raczej małe i świecą się zwykle sporadycznie, nie wpływają znacząco na wygląd wnętrza w habitacie marsjańskim. Jednak w projekcie bazy architekt może przewidzieć ich umiejscowienie. Rolę informacyjną spełniać może także zwykły system oświetlenia w pomieszczeniach, np. odcienie konkretnej dominującej barwy można stosować dla przestrzeni o różnych funkcjach, np. inną w korytarzach, inną w części roboczej itp. albo odpowiednie oświetlenie może oznaczać same wejścia pomieszczeń o danej roli, np. w postaci obramowania drzwi, obrazu świetlnego nad drzwiami itd. Dobór rodzajów lamp powinien być przemyślany, szczególnie jeśli chodzi o ich odcień i nasycenie. Światła, które palą się cały czas i sygnalizowana przez nie informacja nie jest dużej wagi (np. określanie funkcji pomieszczenia), nie powinny być intensywne. Dodatkowo warto, by światła podlegały kodowaniu – pewne barwy są zwyczajowo przypisane pewnym rolom, np. czerwony ostrzega, zielony daje zezwolenie, niebieski informuje, żółty przestrzega itp. Czerwone lampy mogłyby ostrzegać przed burzą słoneczną, a zielone strzałki kierować do schronu lub bezpiecznego miejsca. Dobrze systematyzowałoby to dobór kolorystyki systemów oświetlenia informacyjnego. Jak podaje Zausznica (1959, s.258), rodzaj i natężenie dźwięku wpływa na rozróżnianie przez człowieka konkretnych barw. Zjawisko to mogłoby być wykorzystywane w systemie ostrzegania. W ten sposób sygnał dźwiękowy wzmacniałby bodźce wzrokowe nastawione na odpowiednie barwne kody informacyjne. Dzięki temu efektowi oznaczenia kolorystyczne nie musiałyby być tak intensywne w czasie kiedy nie są potrzebne.

Ze względu na rolę, jakie kolorystyka i oświetlenie mają spełniać w bazie marsjańskiej, należy zapewnić maksymalną fleksybilność ich stosowania. Osiągnąć można ten efekt przestrzegając kolejnych określonych przez autorkę wytycznych:

- Zaprojektować należy kolorystykę i oświetlenie domyślne dla pomieszczeń w bazie zgodnie z zaleceniami dotyczącymi oddziaływania barw i światła na percepcję i sa-



Rysunek 6.122: Lampa ze zintegrowanymi źródłami światła o zmiennym ukierunkowaniu



Rysunek 6.123: System BLUEmotion ze sterowalnym źródłem światła, dającym różne efekty świetlne (Tri-lux)

mopoczucie ludzi. Powinny dominować jasne barwy, szczególnie w przypadku tła, ze względu na:

- możliwość łatwego zmieniania ich odcienia i jasności za pomocą oświetlenia,
- zdolność percepcyjnego powiększania wnętrza,
- rozjaśnianie wnętrza przy użyciu światła o mniejszym natężeniu niż w przypadku barw ciemnych,
- silne rozpraszanie promieni świetlnych, które dodatkowo rozjaśniają elementy wnętrza,
- tworzenie atmosfery pogodnego, jasnego i czystego wnętrza.

• Zmianę kolorystyki wnętrza można przeprowadzić przy pomocy:

- zmiennego oświetlenia,
- wymiennych okładzin lekkich, cienkich, tanich w transporcie i łatwych w montażu, np. folii przyklejanych elektrostatycznie lub tkanin w formie zasłon i powłok,
- stosowanie różnych dostawialnych elementów wnętrza, np. paneli ściennych czy elementów dekoracyjnych zajmujących duże powierzchnie.

Malowanie wydaje się zbyt nieekonomiczne w warunkach marsjańskich i niezdrowe w zamkniętym habitacie.

• Fleksybilność oświetlenia zapewnić można przy pomocy:

- źródeł światła przestawialnych,
- źródeł światła o zmiennym ukierunkowaniu,
- źródeł światła o zmiennym kolorze,
- płaszczyzn świecących,
- płaszczyzn odbijających światło,
- płaszczyzn rozpraszających światło.

Przykłady fleksybilnego oświetlenia:

- (a) Źródła światła w obrotowych obudowach (Rys. 6.122). Zmieniając kierunek oświetlenia, zmienia się pole, które jest silniej oświetlane niż tło – inne miejsce jest wyróżnione, np. obraz na ścianie, blat roboczy, lub pokój spowity zostaje światłem pośrednim.

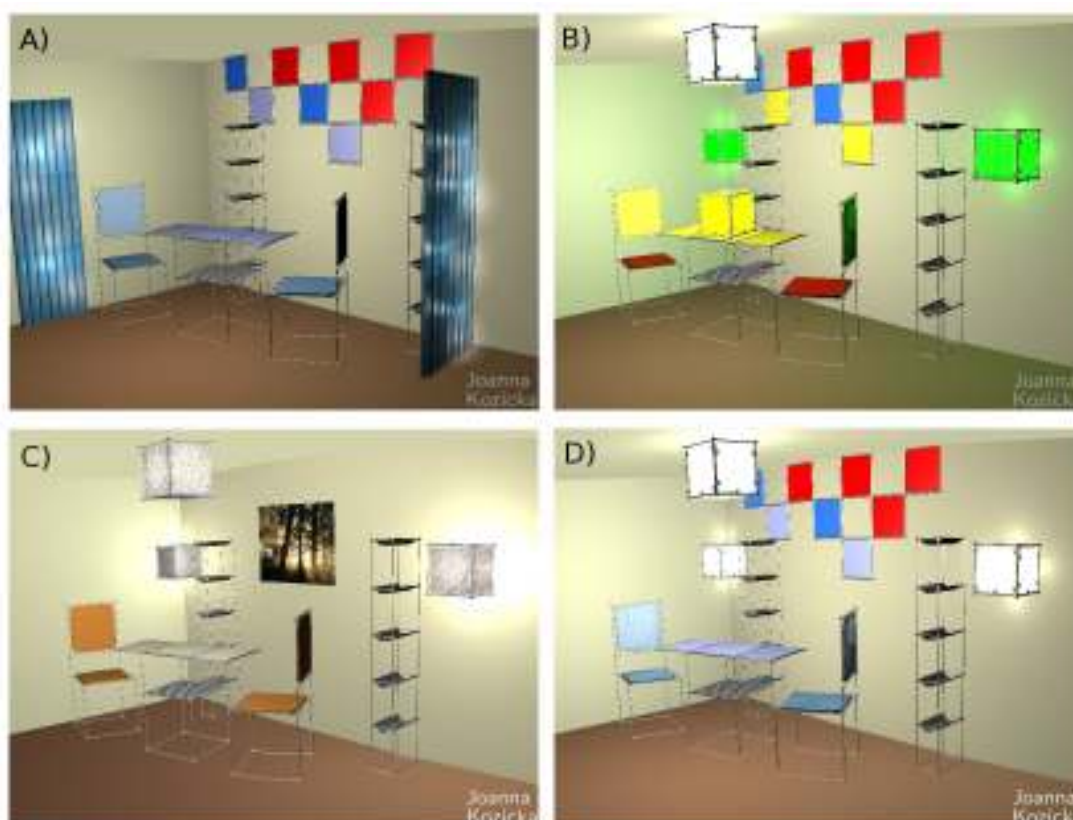


Rysunek 6.124: *Split Block* – rzeźba świetlna (korbanflaubert.com)



Rysunek 6.125: Efekty świetlne w lodzie (icehotel.com)

- (b) Programowalna lampa wyposażona w pewną ilość: źródeł światła, których sposób świecenia może być programowany na różne sposoby, lub powierzchni odbijających światło pod różnym kątem. Przykładem takiej inteligentnej lampy jest produkt firmy Trilux o nazwie BLUEmotions (Turlej 2007). Efekty, jakie wytwarza pokazane są na Rys. 6.123.
- (c) Stosowanie wielu źródeł światła o małym natężeniu, które można włączać i wyłączać w różnych konfiguracjach. Nadają się do tego idealnie LED-y i światłowody. Dodatkowo w łatwy sposób można zmieniać ich kolory, kreując wnętrza o zmiennych nastrojach wywołujących wciąż nowe wrażenia.
- (d) Powierzchnie odbijające światło mogą powiększać pole rozjaśniające wnętrze oraz tworzyć różne efekty świetlne. Stosować tu można elementy metalowe i lustrzane w formie: paneli, arkuszy, brył (Rys. 6.124) (Brownell 2006, s.211), zwierciadeł wklęsłych lub wypukłych, kuli lustrzanych itd. Małe blaszki lub lusterka przyczepiać można do siebie lub podkładowych tkanin, tworząc złożone elementy dekoracyjne, lekkie i elastyczne. Stosować je można jako okładziny ścienne lub pokrowce dla elementów wnętrzarskich. Należy stosować je ostrożnie, gdyż mogą powodować oślnienie.
- (e) Woda zarówno w postaci ciekłej, jak i zmrożonej w różnoraki sposób współgra ze światłem, m. in. odbija je i rozprasza, dając ciekawe efekty świetlne. Pojemniki z wodą trzymane w bazie jako rezerwuary wody użytkowej lub system wodociągowy może wykorzystywać pokrywy przezroczyste. Woda w wodociągach prowadzona mogłaby być po kaskadach lub nawet tworzyć małe wodospady. Wtedy woda mogłaby być podświetlana, a elementy użytkowe stawałyby się częścią oświetlenia i dekoracji wnętrza. Świetlnymi elementami z wodą mogą również być akwaria. Do wody dozować można krople barwnika, które w fantazyjny sposób rozpuszczałyby się w nim (tworząc dynamiczną kolorystykę we wnętrzu), aż w końcu nadawałyby wodzie pewien kolor. Woda mogłaby też być napowietrzana bąbelkami lub zbiorniki z nią służyłyby do hodowli roślin i zwierząt (ryby, koralowce). Efekty świetlne z wodą pokazują Rys. 6.125 i Rys. 6.126 A).
- (f) Jednym z najprostszych sposobów wprowadzania zmian w kolorystyce oświetlenia wnętrza, jest używanie elementów przejrzystych o różnych barwach, za którymi chowa się źródło światła. Lampa przesłonięta może być dużym panelem ściennym lub mieć klosz z wymiennymi małymi panelami, np. z żywicy, tkaniny, folii. Panele mogą mieć różne kolory, wzory i obrazy. Na Rys. 6.126 B,C,D pokazana jest taka przykładowa lampa. Panele zaczepiane mogą być np. na klipsy. Dodatkowo dzięki prostej bryle



Rysunek 6.126: Różne sposoby oświetlania tego samego wnętrza: A) przy pomocy paneli ze zbiorników z wodą, B,C,D) przy pomocy prostych lamp o wymiennych panelach

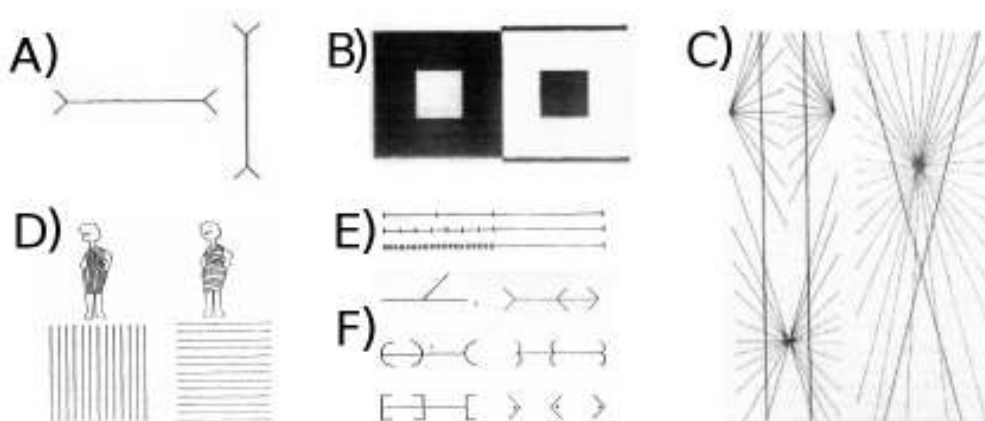
lampę można umieszczać w różnych miejscach pomieszczenia: wieszać na suficie i ścianach lub ustawiać na meblach czy podłodze. Panele dodatkowo chronią przed oślnieniem, szczególnie jeśli wykonane są z matowego materiału, np. szkło mleczne, tkanina przezroczysta. Mają one zdolność rozpraszania światła, tworząc wrażenie płaszczyzny świecącej jako źródła światła zamiast punktowej lampy. Rozprowadzają one światło we wnętrzu. Niektóre materiały używane na panele mogą nadawać się do kolorowania, np. pisanie po nich zmywalnymi flamastrami. Mieszkańcy bazy marsjańskiej mieliby w ten sposób okazję do własnej ekspresji. Możliwość tworzenia własnych świecących obrazów oraz przebywania w jeszcze inaczej ukształtowanej przestrzeni wpływałyby bardzo korzystnie na komfort psychiczny. Takie podświetlane panele stanowiłyby nie tylko bezpieczne dla oczu źródła światła i dekoracji, ale także mogłyby pełnić funkcję tablic informacyjnych, na notatki czy ustalenia grupowe (typu przydział dyżurów do różnych prac, rozkład planowanych imprez).

Dzisiejsze technologie oświetleniowe dają całą masę możliwości kształtowania przestrzeni światłem, także w sposób ekonomiczny i wydajny. Światło daje niezwykle możliwości sterowania nastrojem we wnętrzach, tworzeniem dekoracji wyjątkowo fleksybilnych i silnie wpływających na percepcję użytkownika – jego samopoczucie, wrażenia, uczucia (Rys. 6.127).

W zależności od percepcji danych sposobów oświetlenia wnętrz w bazie marsjańskiej wyróżnić można pozytywne i negatywne efekty świetlne. Do negatywnych efektów świetlnych zaliczamy: oślnienie pośrednie (silny kontrast w jasności) i oślnienie bezpośrednie



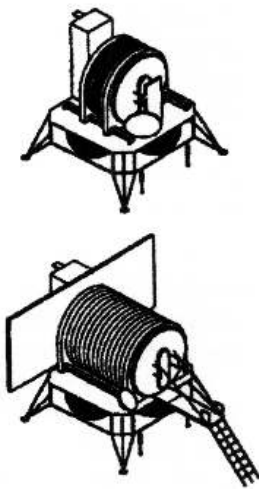
Rysunek 6.127: Oświetlenie tego samego wnętrza na różne sposoby przy pomocy LED-ów (vossolutions.com)



Rysunek 6.128: Przykłady rozmaitych iluzji optycznych, które można wykorzystać do kształtowania percepcji architektury: A) linie pionowe wydają się dłuższe niż poziome, B) elementy ciemne wydają się mniejsze niż jasne (zjawisko iradiacji), C) linie proste przecięte wiązką promieni dają wrażenie wygiętych (złudzenie Heringa), D) linie poziome poszerzają, a pionowe – wydłużają, E) z dwóch odcinków jednakowej długości ten wydaje się dłuższy, który ma podziały, F) z dwóch odcinków jednakowej długości ten wydaje się dłuższy, który ma końce rozszczerzone na boki a nie do środka (złudzenie Muller-Lyera) (Mieszkowski 1975)

(oślepiające światło). Dla szczególnego przykładu bazy marsjańskiej dochodzi jeszcze efekt pomniejszania wnętrza oraz wszelkie efekty świetlne, które wywoływać mogą negatywne uczucia: niechęć, niepokój, strach, niepewność, osamotnienie, wrogość itd.

Przy pomocy odpowiedniego wprowadzania elementów wewnątrz oraz kolorystyki i oświetlenia można tworzyć różne iluzje. Wpływać one będą na percepcję przestrzeni. Złudzenia optyczne, które pozwalają wpływać na postrzeganie architektury przedstawia m. in. Mieszkowski (1975, s.38), (Rys. 6.128). Oko ludzkie dokładniej ocenia szerokość niż wysokość, dlatego elementy o tej samej długości ustawione pionowo wydają się dłuższe niż położone poziomo. Stosując przedmioty wertykalne w pomieszczeniu łatwiej wzbudzić odczucie wysokiego sufitu. Przedmioty ciemne zdają się być mniejsze niż przedmioty jasne, dlatego ciemne słupy we wnętrzu będą mniej ciężkie niż jasne. Złudzenie Heringa malowane na ścianach może pomagać w wyprostowywaniu wizualnym obłóci. Poszerzanie percepcyjne wewnątrz można osiągnąć poprzez stosowaniu horyzontalnych podziałów na ścianach zamiast wertykalnych, np. poziome wiszące półki zamiast smukłych regałów. Dodatkowo dzieląc przegrodami półki na odcinki także wpływa się na ich percepcyjne wydłużenie. Wydłużanie wizualne takiej półki, któremu towarzyszyć będzie poszerzanie pomieszczenia, można również otrzymać wprowadzając na jej zakończeniach elementy rozchodzące się na zewnątrz (złudzenie Muller-Lyera).



Rysunek 6.129: Harmonijkowo rozkładany moduł lądownika księżycowego (JSC NASA)



Rysunek 6.130: Koncepcja rozkładanego habitatu marsjańskiego wg pomysłu Soullarda (planete-mars 2001)

6.5. Przykłady propozycji baz pozaziemskich

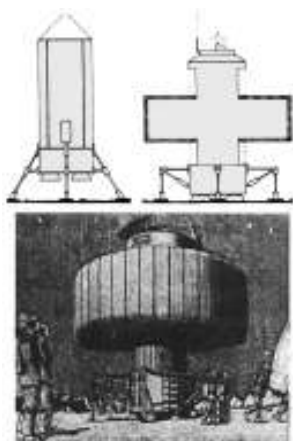
Jako że eksploracja i zasiedlanie kosmosu jest jedną z największych fascynacji ludzkości, powstało wiele futurystycznych wizji większych habitatów kosmicznych. Część z nich zaprojektowana została przez inżynierów i architektów, a także studentów architektury – ludzi, którzy posiadli mniejszą lub większą wiedzę fachową na ten temat. Koncepcje te zawierają wartościowe wskazówki, z których skorzystać może architekt bazy marsjańskiej. Ponieważ wszystkie dotychczas powstałe habitaty kosmiczne były bardzo małe i ciasne, od lat szukano sposobu na ich powiększanie przy minimalnych nakładach pieniężnych. Dzięki temu powstało wiele najróżniejszych koncepcji architektonicznych. Autorka przytacza niektóre z nich, by pokazać szerokie spektrum inspirujących rozwiązań. Przegląd architektury kosmicznej uzmysławia, że na bardzo wiele różnych sposobów można wykonać dom w kosmosie. Przy czym każde z rozwiązań ma swoje zalety i wady, a często też sporo niedomówień. Tylko niektóre koncepcje potraktowane zostały z dużą precyzją.

Małe rozkładane moduły

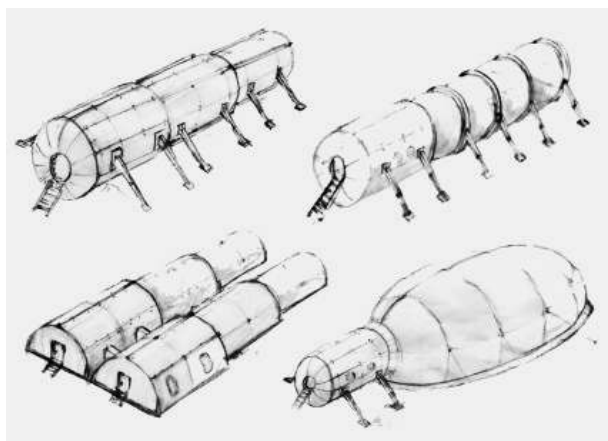
W laboratoriach NASA w Johnson Space Center w 1996 r. powstała koncepcja rozkładanego harmonijkowo modułu księżycowego (Rys. 6.129). Konstrukcja miała 2,3 m średnicy i 3,7 m długości (Cadogan i in. 1999). Początek i koniec modułu były wykonane ze sztywnych metalowych elementów. Pomiędzy nimi ściśnięta lub rozciągnięta była powłoka. W takim rozwiązaniu znowu uzyskuje się choć powiększoną, to jednak monotonnie podłużną przestrzeń, w której dużo miejsca zajmuje komunikacja i trudno o podział na wygodne pomieszczenia.

Inne pomysły na małe rozkładane moduły mieszkalno-robocze na potrzeby misji kosmicznych przedstawili studenci architektury z różnych krajów: Francji, Anglii, Polski.

Saullard (student architektury z Francji) zaproponował, by standardowy moduł metalowy mieszczący się w ładowni rakiety wynoszącej (amerykańskiej), skonstruować z czterech identycznych elementów – ćwiartek walca. W czasie transportu byłyby one złożone tak, by



Rysunek 6.131: Koncepcja rozkładanego habitatu księżycowego wg projektu Ansella i in. (AD 1967b)



Rysunek 6.132: Pomysły na rozkładany habitat marsjański Kozickiego (2004)

zajmować minimalną objętość. Na powierzchni planety dochodziłoby do rozłożenia ich aż do uzyskania formy na planie kwadratu, jak widać na Rys. 6.130. Na koniec powstałe atrium i cztery naroża uszczelnione byłyby pneumatycznymi powłokami (planete-mars 2001). Autorce wydaje się, że montaż takiego habitatu jest wyjątkowo trudny do wykonania na Marsie. Wymagany byłby wtedy co najmniej wygładzony dobrze teren. Pozostaje też kwestia nierównomiernego rozkładu ciśnienia przy brzegach dolnych i podłodze habitatu.

Grupa studentów z **Northern Polytechnic School of Architecture** w Londynie¹⁷, w Anglii, wymyśliła, by podłużny walcowaty moduł wyposażić w podwójną powłokę. Wewnętrzna powłoka stanowiłaby sztywny rdzeń, zewnętrzna zaś rozkładałaby się w formę talerzową dookoła rdzenia w środku jego wysokości (Rys. 6.131). Zewnętrzna powłoka, aby przybrać docelowy kształt, musiała się rozciągać. Dlatego zaprojektowano ją z łatwo rozszerzalnej pianki. Utwardzać się miała ona samoistnie po rozłożeniu, dając sztywną strukturę (AD 1967b).

Kozicki (2004) podsuwa kilka pomysłów. Po pierwsze moduł marsjański może tworzyć wielowarstwowa rozsuwana teleskopowo skorupa. Taki moduł rozkładać się też może wcześniej na dwie połówki walca i one niezależnie się rozsuwają. Taka konstrukcja jest bardziej stabilna i nie wymaga specjalnych nóg, ale jest w niej mniej równomierny rozkład ciśnienia. Walec może też być wykonany z obręczy połączonych elastycznymi powłokami. Im więcej obręczy, tym dłuższy moduł po rozłożeniu i większa przestrzeń użytkowa. Jest ona jednak jednostajnie podłużna. Wreszcie moduł może mieć zakończenie w postaci pneumatycznego namiotu, który zapewnia znaczne powiększenie przestrzeni użytkowej i umożliwia jej zróżnicowanie Rys. 6.132.

Hotel Nautilus

Hotel Nautilus to pierwsza komercyjna stacja satelitarna, która ma w ciągu najbliższych paru lat pojawić się na orbicie naszej planety. Zagospodarowana zostanie ona na hotel kosmiczny. Konstrukcja Nautilusa została opracowana przez NASA. Składa się on z rdzenia

¹⁷Członkowie zespołu studentów architektury: P. Ansell, J. Edwards, K. Hinshelwood, K. Lim, J. Smith i P. Wilson



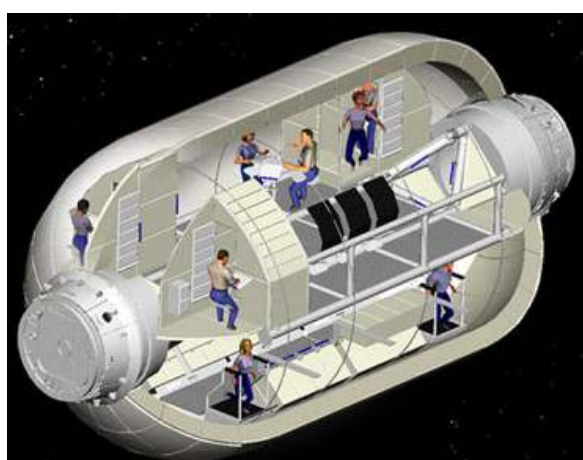
Rysunek 6.133: Wygląd Nautilusa z zewnątrz (Bigelow Aerospace)



Rysunek 6.134: Rozbudowany hotel z kilku modułów Nautilus (Bigelow Aerospace)



Rysunek 6.135: Propozycja rozkładu pomieszczeń w TransHabie (NASA)



Rysunek 6.136: Propozycja rozkładu pomieszczeń w Nautilusie (Bigelow Aerospace)

metalowego, wokół którego na orbicie rozkłada się pneumatyczny płaszcz. Powstaje w ten sposób habitat znacznie większy niż dotychczas wyniesione poza Ziemię. Najpierw hotel będzie składał się z pojedynczego modułu (Rys. 6.133), później planuje się powiększanie obiektu o kolejne identyczne człony (Rys. 6.134). Jako łączniki posłużyć mają metalowe sferyczne moduły takie same, jak używane na ISS. Nautilus posiada powłokę z wielu warstw tworzyw spełniających różną funkcję: ochrona przed wyciekami gazów (polietylen, nylon i EVOH), ochrona przed zderzeniem z mikrometeoritami (nextel AF-10 poprzedzielany piankowym wypełnieniem), wytrzymałość mechaniczna (kewlar), odpowiednia termoizolacja (metaliczna okrywa odbijająca promienie słoneczne), zabezpieczenie przed promieniowaniem z kosmosu (polietylen) (Cadogan i in. 1999). Nautilus powstał na bazie projektu modułu laboratoryjno-mieszkalnego TransHab autorstwa Constance Adams. TransHab miał mieć trzy kondygnacje rozmieszczone w pionowo ustawionym walcu o długości 11 m i średnicy 8,2 m (Rys. 6.135). Na dolnym poziomie zaprojektowano mesę, galerię i magazyny. Tu zlokalizowano główną przestrzeń wspólnotową, w której członkowie załogi mieli razem jeść, spędzać wolny czas, spotykać się poza pracą. Na środkowym poziomie zaprojektowano cztery kabiny członków załogi. Są bardzo małe i ciasne, ale w każdej udało się zmieścić śpiwór do spania zaczepiony na ścianie i biurko z komputerem. Pod biurkiem są specjalne zaczepy na nogi umożliwiające utrzymanie stałej pozycji mimo stanu nieważkości. Kabiny



Rysunek 6.137: Koncepcja orbitalnej bazy Grupy Space Island (Space Island Group 2006)

rozmieszczono w rdzeniu, toteż nie było tam okien. Na górnej kondygnacji miało być pomieszczenie socjalne z urządzeniami do ćwiczeń oraz wyposażeniem medycznym. Podłogi dzielące poszczególne poziomy zaprojektowano z materiałów dźwiękoszczelnych i niepalnych (NASA 2003b). Nautilus ma być 2,75 raz większy od TransHabu. Pomieszczenia rozmieszczone będą w poziomo ustawionym walcu, jak pokazano na Rys. 6.136.

Space Island

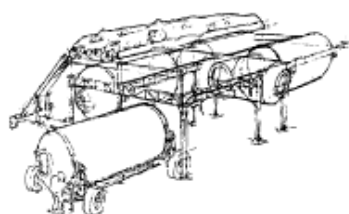
Grupa Space Island (2006) zaprojektowała dużą wielomodułową bazę orbitalną. Moduły miały być szczipiane na orbicie w strukturę przestrzenną składającą się z podłużnego rdzenia i pierścienia dookoła niego (Rys. 6.137). W rdzeniu panowałyby warunki mikrogravitacji. Baza wirowałaby wokół własnej osi tak, by w pierścieniu wytwarzała się siła odśrodkowa pełniąca funkcję sztucznej grawitacji pozwalającej ludziom normalnie chodzić¹⁸. Bazę zaprojektowano jako centrum turystyczno-rozrywkowe. W pierścieniu mieściłaby się główna przestrzeń hotelowa, zaś w rdzeniu zaproponowano różne atrakcje. Jedną z nich jest galeria. Dzięki brakowi grawitacji wszystkie kierunki byłyby tu dozwolone do podziwiania ekspozycji – w ten sposób można by wykonywać zupełnie nowe dzieła sztuki (Space Island Group 2006). Na człony bazy postanowiono wykorzystać zużyte puste zbiorniki po paliwie rakietowym, jakie wykorzystuje się w lotach Space Shuttle¹⁹. Każdy zbiornik paliwowy jest dość duży: ma długość 47 m i średnicę 22,5 m. Oferuje zatem sporą przestrzeń do zagospodarowania i wynoszenie go na orbitę prawie nic nie kosztuje, gdyż jest odpadem ubocznym. Jednak nie ma on okien, drzwi ani przegród wewnętrznych. Zagospodarowanie jego wnętrza jest zatem dość kłopotliwe. Elementy wewnątrz musiałyby być dostarczane osobno i montowane na orbicie. Zamiast zbiorników po paliwie można do budowy bazy użyć gotowe moduły mieszkalno-robotyczne, podobne do habitatów stacji kosmicznych. Ich transport poza Ziemię byłby znacznie droższy, ale wykonywane mogłyby być one precyzyjnie na Ziemi wraz z całym wyposażeniem. Jedną z koncepcji takiej bazy orbitalnej jest Hotel Berlin (Reichert 1999).

¹⁸Pomysł Konstantego Ciołkowskiego z początku XX w.

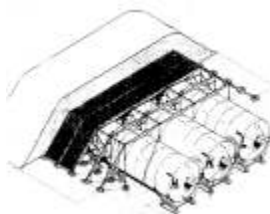
¹⁹Pomysł ten został zaczerpnięty z rozwiązania zaproponowanego przez Krafta Ericke. U niego jednak zbierane były one w pęczki (Wołczek i Thor 1958).



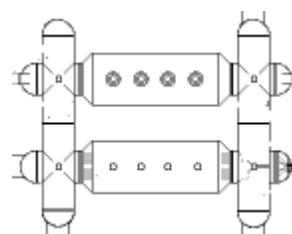
Rysunek 6.138: Konceptcja Oberg (Dubink 2001)



Rysunek 6.139: Konceptcja wielomodułowego habitatu księżycowego wg pomysłu Griffina (Benaroya i in. 2002)



Rysunek 6.140: Konceptcja Kaplickiego (Ganapathi i in. 1993)



Rysunek 6.141: Wielomodułowa baza pozaziemska wg pomysłu Kokha (Kokh 2002)

Baza Oberg

Baza zaprojektowana przez Jamesa Oberg składa się z grupy podłużnych walcowatych modułów połączonych ze sobą w kompleks, jak pokazuje Rys. 6.138. Całość ma być przesypana warstwą miejscowego regolitu tak, by uzyskać ochronę przed uszkodzeniem mechanicznym z zewnątrz oraz promieniowaniem kosmicznym i słonecznym. Tylko otwory wejściowe do bazy, zlokalizowane na zakończeniach niektórych modułów, mają być odsłonięte (Dubink 2001). Dzięki prostej konstrukcji baza może się swobodnie rozrastać o nowe identyczne człony przyczepiane wciąż na tej samej zasadzie. Metalowa konstrukcja modułów byłaby godna zaufania jako najczęściej testowana w warunkach pozaziemskich. Jednak masa wszystkich elementów byłaby duża i wykonanie takiej struktury byłoby niezwykle kosztowne. Podobne rozwiązania wielokrotnie pojawiają się w literaturze w nieco odmiennej formie architektonicznej: moduły ustawiane na rusztowaniach (Rys. 6.139), moduły kładzione w zagłębieniu terenu i ochraniane przekryciem na rusztowaniu (Rys. 6.140), moduły walcowe o dwóch rozmiarach z zamknięciami w formie półkul (Rys. 6.141).

Baza Kennedygo i Cerimele

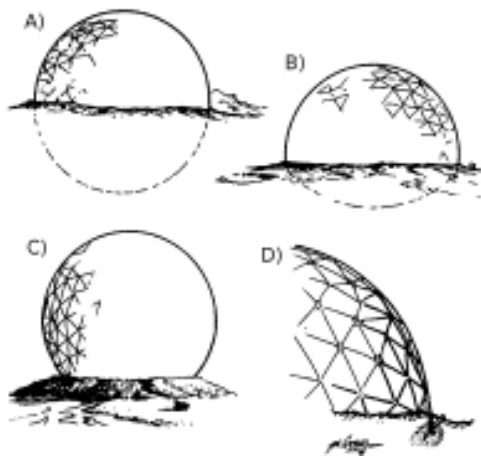
K. Kennedy i M. Cerimele zaprojektowali w 1990 r. bazę księżycową w kształcie kuli (Rys. 6.142) (Ganapathi i in. 1993, s.39). Kula jest duża i przestronna tak, by pomie-



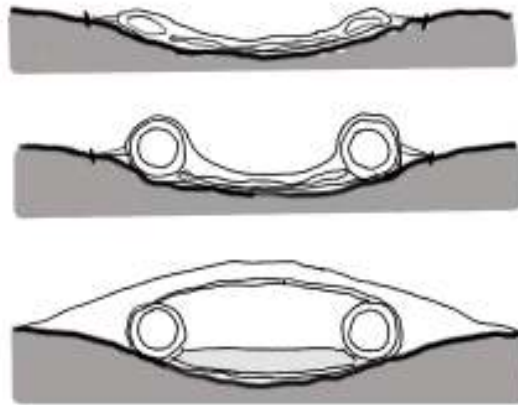
Rysunek 6.142: Koncepcja bazy na Księżycu autorstwa Kennedyego i Cerimele (JSC NASA)

ścić kilka kondygnacji użytkowych. Osadzona jest częściowo w przygotowanym zagłębieniu terenu w celu ustabilizowania konstrukcji. Część naziemna obłożona jest workami z gruntem zabezpieczającymi strukturę przed uszkodzeniem mechanicznym oraz szkodliwym promieniowaniem. Kula jest podłączona do walcowatego modułu ze służą wyjściową. Ma ona konstrukcję szkieletowo-powłokową. Cameron i in. (1990) przeprowadzili badania nad strukturą szkieletową dla pneumatycznego habitatu księżycowego. Testowano aluminium, tytan i wzmacniane polimery. Według ich analiz najlepszym materiałem okazało się aluminium 7075 T73. Osobno rozpatrywano pionowe i poziome rodzaje podpór konstrukcyjnych. Wśród kandydatów na pionowe podpory znalazły się: kolumny, systemy kratownicowe, systemy podwieszane i podstawa lądownika księżycowego. Do wykorzystania na poziome podpory rozpatrywano: belki, kratownice, płaskie systemy kratowe i kratownice rozkładające się. Analiza pozwoliła wyłonić systemy kratownicowe i rozkładające się kratownice jako najlepsze rozwiązania dla habitatu pozaziemskiego. Struktura miała być montowana wewnątrz pneumatycznej powłoki, co skracać miało czas pracy i pozwalać załodze uczestniczyć we wznoszeniu konstrukcji bez potrzeby zakładania kombinezonów kosmicznych. Układ kratownicowy ma najmniejszą masę spośród wszystkich analizowanych typów podpór. Wybrany zaś do jej wykonania stop aluminium jest jednocześnie bardzo lekki i wytrzymały. Zalecane rozwiązanie pozwala na wykonanie maksymalnie dużej przestrzeni użytkowej przy zadanej masie. Autorzy uważają, że taki typ konstrukcji nadawać się będzie zarówno do formy kuli, jak i stojących czy leżących walców. Według ich zaleceń kulisty habitat powinien być częściowo zagłębiony w gruncie i podparty na podziemnym fundamencie. Szkielet metalowy tworzy tu konstrukcję wsporczą dla kondygnacji habitatu i pionowego ciągu komunikacyjnego łączącego je ze sobą. Dodatkowo zapewnia on stabilność i stałość wymiarów całej budowli.

Inne rozwiązanie konstrukcyjne dla kuli mieszkalnej opisali Zubrin i Wagner (1997, s.240). W ich propozycji pneumatyczna kula jest samodzielną konstrukcją nośną habitatu, która usztywnia się poprzez napełnienie jej sztuczną atmosferą. Dzięki temu, że ma ona ciśnienie znacznie wyższe od otoczenia nic więcej nie jest potrzebne do montażu pneumatycznej konstrukcji. Obliczono, że na Marsa można przetransportować pneuma-



Rysunek 6.143: Różne sposoby stabilizacji pneumatycznej kuli w podłożu (Zubrin i Wagner 1997), opis w tekście



Rysunek 6.144: Sposób rozkładania pneumatycznej konstrukcji powłokowej wg pomysłu Chow i Lee (Benaroya i in. 2002)

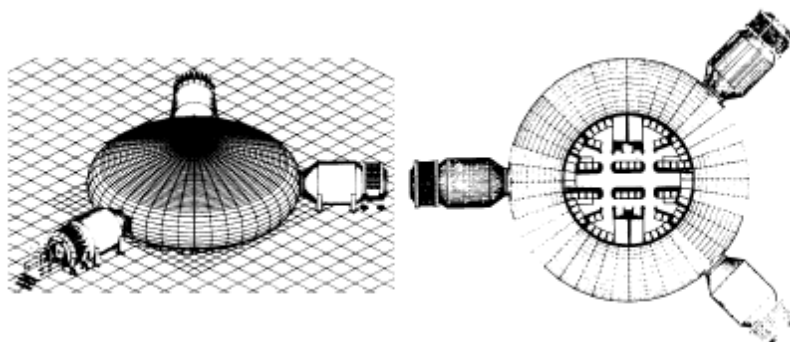
tyczną kopułę o średnicy aż 50 m, która zmieści się w ładowni rakiety, nie przekraczając jej udźwigu. Ochronę przed uszkodzeniem mechanicznym membrany od zewnątrz zapewniać ma metalowa konstrukcja szkieletowa podtrzymująca przekrycie z paneli z tworzywa sztucznego. Proponuje się użycie poliwęglanu jako materiału bardzo wytrzymałego i jednocześnie przezroczystego, co pozwalać ma na przepuszczanie światła słonecznego do wnętrza kuli. Niestety wykonanie takiej struktury na powierzchni innej planety jest bardzo trudne, szczególnie przy dużych średnicach. Nawet na Ziemi wymaga ono specjalnej wyszkolonej ekipy budowlanej (jak w przypadku stacji polarnej Amundsena-Scotta, patrz Rozdz. 5.1.1).

Przewiduje się cztery możliwe sposoby posadowienia kuli (Rys. 6.143). Można wykopać głęboki dół, umieścić tam kulę, a następnie wypełnić jej dolną połowę ubitym regolitem do uzyskania twardej podłogi (A). Powłokę można uszyć z dwóch kawałków: dolny byłby fragmentem kuli o znacznie większym promieniu tak, by spód był bardziej płaski i wymagał wykonania dla niego mniejszego zagłębienia (B). Kulę ustabilizować by można nasypem w formie pierścienia dookoła budowli (C). Wreszcie kulę można by przycisnąć do podłoża za pomocą wytrzymałej sieci mocno zakotwionej w podłożu na obwodzie konstrukcji (D).

Baza Chow i Lee

Powstało co najmniej parę koncepcji baz pozaziemskich wykorzystujących strukturę pneumatyczną w postaci torusa z uszczelnionym środkiem koła, które zamyka. Struktura składa się zwykle z obręczy o przekroju koła, której środek uszczelniony jest powłoką denną i dachową. P. Chow i T. Lee opracowali sposób montażu takiej konstrukcji. Najpierw cała powłoka jest rozkładana i na obwodzie zakotwia się ją w podłożu. Następnie nadmuchuje się pierścień torusa, mieszczący cyrkulacyjny ciąg komunikacyjny, śluzy i obsługę habitatu. Potem napompowuje się środek torusa i część denną przysypuje ubitym gruntem na płaską podłogę (Rys. 6.144). Dodatkowo na koniec całość można zasypać warstwą gruntu dociskającą naprężoną strukturę pneumatyczną oraz dającą ochronę przed promieniowaniem (Benaroya i in. 2002).

Podobną koncepcję, rozbudowaną o projekt funkcjonalnego zagospodarowania wnętrza prezentują Huebner-Moths i in. (1993). Tutaj zaprojektowano trzy metalowe śluzy wyjściowe doczepione do torusa z zewnątrz. Pierścień pneumatyczny zajmują laboratoria,



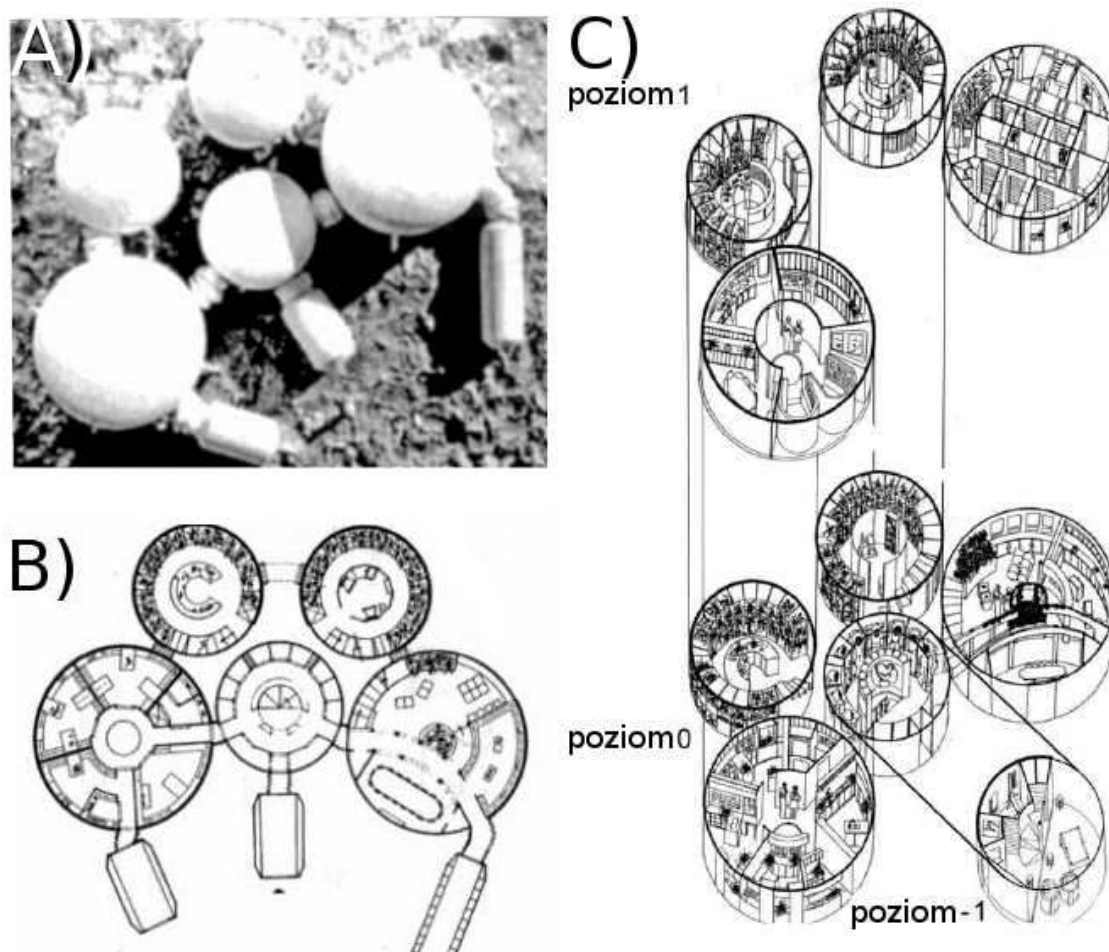
Rysunek 6.145: Koncepcja pneumatycznej bazy wg pomysłu Huebner-Moths i in. (1993)

pomieszczenia kontrolne i techniczne. Środek torusa podzielony został na dwie kondygnacje. Dolne piętro przeznaczono na strefę mieszkalną. Mieszczą się tam kabiny prywatne i łazienki. Na górnym poziomie znalazła się przestrzeń rekreacyjna z salą ćwiczeń, mesą, biblioteką i częścią wypoczynkową. Koncepcję pokazano na Rys. 6.145.

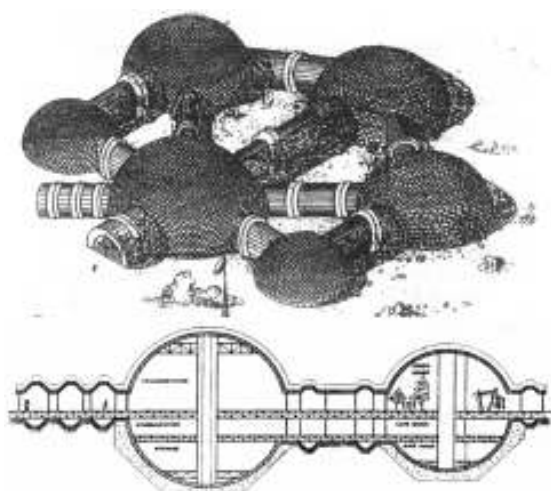
Projekt PAX

Projekt PAX, czyli Stała Baza Marsjańska (ang. *Permanent Martian Base*), opracowany został przez Gariego Moore'a w 1992 r. (Dubbink 2001, s.89). Jest to kompleks pięciu kopuł. Trzy z nich są mniejsze (9 m średnicy), 2 – większe (12 m średnicy). Z nieuzasadnionych w źródle literaturowym powodów trzy mniejsze człony bazy są prefabrykowanymi sztywnymi modułami, a dwa większe stanowią struktury pneumatyczne. Nad sztywnymi modułami ma być rozpięta stalowa rama podtrzymująca ochronną warstwę regolitu. Tak więc wszystkie człony bazy nie muszą przenosić żadnych dodatkowych obciążeń. Równie dobrze zatem wszystkie moduły mogłyby być pneumatyczne (a zatem tańsze w transporcie).

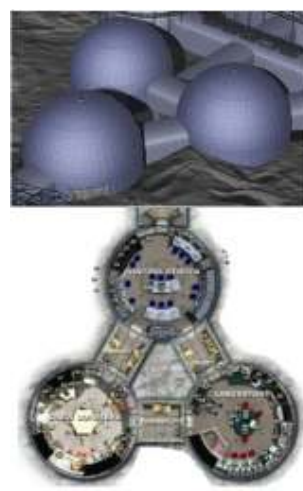
Wszystkie człony bazy mają po dwie kondygnacje. Centralny moduł kompleksu pełni rolę głównego holu wejściowego do habitatu i mieści szatnię z kombinezonami i przygotowalnię do wyjścia na powierzchnię. Autorka zauważa, iż szatnia jest przesadnie przestronna, jako że pokazane są tam duże kombinezony dla astronautów, a nie wygodniejsze kombinezony marsjańskie, jak proponuje się u Marcy i in. (2004). Wydaje się też co najmniej dziwne, jak nie nieostrożne, zaprojektowanie miejsca na kombinezony tylko dla połowy członków załogi. W sumie w bazie są jednak trzy śluzy prowadzące na dwór. Dwa małe człony zlokalizowane na tyłach kompleksu mieszczą pomieszczenia z uprawami. W jednej z dużych kopuł znajduje się strefa mieszkalna z prywatnymi kabinami na piętrze i przestrzenią rekreacyjną na parterze. Druga duża kopuła mieści laboratoria (Rys. 6.146). W projekcie pominięto problem obłości i zarówno dla niższej, jak i wyższej kondygnacji rozpatrywano taką samą powierzchnię użytkową. Jeden duży moduł mieści część mieszkalną. Dolną kondygnację przeznaczono na wspólną strefę rekreacyjną. Schody na górę prowadzą do poziomu z kwaterami prywatnymi. Do drugiego dużego modułu roboczego z laboratoriami przechodzi się przez mały moduł z pomieszczeniem przygotowań do EVA. Teoretycznie dwa pozostałe małe moduły połączone są śluzami z resztą kompleksu. Na rzutach trudno jednak się doszukać korytarzy komunikacyjnych to umożliwiających. Nie przedstawiono również dokumentacji dotyczącej sposobu dzielenia przestrzeni przegrodami poziomymi – stropami i pionowymi – ściankami działowymi.



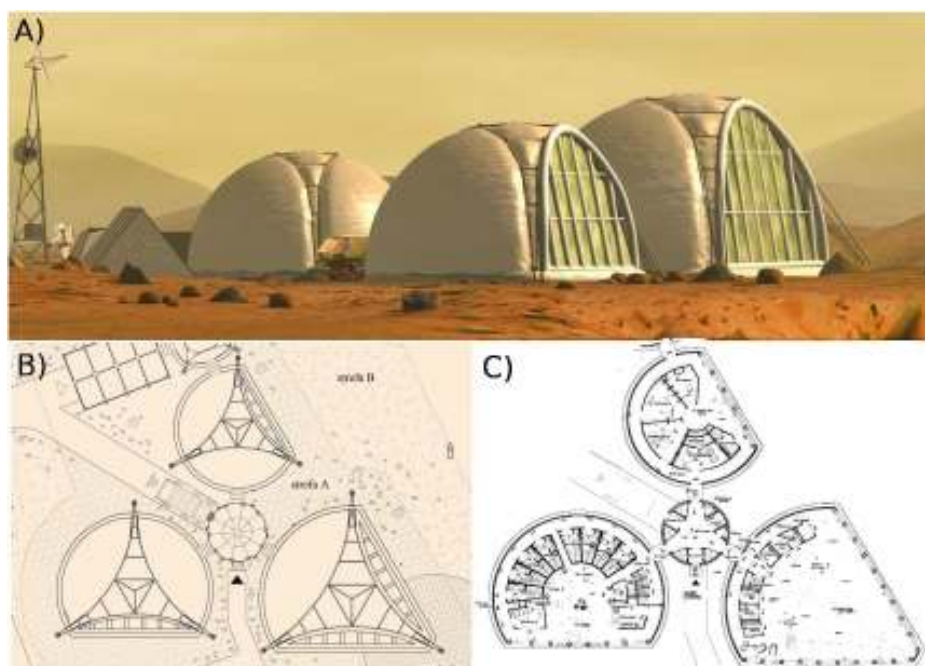
Rysunek 6.146: Koncepcja bazy marsjańskiej Pax autorstwa Moora: A) model, B) rzut, C) układ funkcjonalny w aksonometrii (Dubbink 2001)



Rysunek 6.147: Projekt bazy marsjańskiej Hexa-mars: aksonometria całości, przekrój (Sabouni i in. 1991)



Rysunek 6.148: Koncepcja bazy pod kopułami autorstwa grupy Bio-BLAST (www.cet.edu/products/bioblast/preview.html)



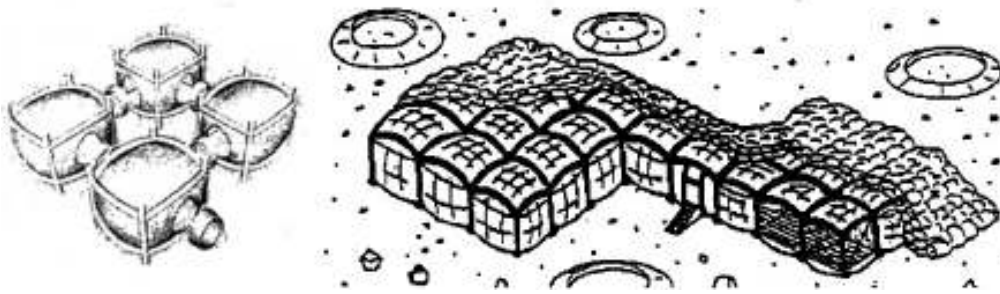
Rysunek 6.149: Koncepcja habitatu marsjańskiego: A) elewacja, B) sytuacja, C) rzut (Kozicki 2004)

Za to bardzo profesjonalnie projektant podszedł do problemu komfortu psychicznego załogi. Podział na strefy uzyskano w bazie poprzez rozdzielenie funkcji na oddzielne moduły. Zapobiega to konfliktowym sąsiedztwom np. pomieszczeń roboczych i wypoczynkowych, głośnych i cichych, jasnych i ciemniejszych. Każdy moduł ma specyficzny wystrój wnętrza i podział na pokoje, co zakłóca monotonię zamkniętego środowiska życia oraz wspomaga orientację w terenie. Układ komunikacyjny pozwala na sprawne przemieszczanie się po bazie i zapewnia bezpieczną drogę ewakuacji z każdego miejsca. Architekt dużo uwagi poświęcił również projektowi kolorystyki, oświetlenia i wyposażenia wnętrza, by zmaksymalizować poczucie komfortu psychicznego. W pięcioelementowym kompleksie ma mieszkać i pracować w komfortowych warunkach osiemnastu marsonautów. Szczegółowo rozrysowano podział na strefy funkcjonalne i sposób aranżacji przestrzeni użytkowej w habitacie na ilustracjach umieszczonych na Rys. 6.146.

Powstały również inne koncepcje kompleksów kopuł, np.: Hexamars (Rys. 6.147), Bio-BLAST (Rys. 6.148). Zamiast śluz kopuły łączą tu zagospodarowane funkcjonalnie szersze tunele. Niestety i w tych projektach pojawia się wiele kwestii spornych.

Stacja badawcza na Marsie Kozickiego

Ciekawą koncepcję grupy trzech pneumatycznych kopuł z okiennymi elementami o szkieletie pneumatycznym przedstawił Kozicki (2004). Kopuły połączone są ze sobą poprzez centralny metalowy moduł ze śluzami wyjściowymi, schronem na czas burzy słonecznych, otoczony zbiornikami z wodą. Każda kopuła ma inną wielkość, co dopasowane jest do różnego ich przeznaczenia: w jednej mieści się funkcja mieszkalna, w drugiej – laboratorium, a w trzeciej – agrokultura. Większa część powłoki każdego z trzech modułów wykonana jest z wyjątkowo wytrzymałego tkanego kewlaru oraz uszczelniającej membrany z poliimidu. Okna zostały wczepione we fragmenty kopuł tak, by uzyskać przezroczyste duże powierzchnie,



Rysunek 6.150: Koncepcja pneumatycznych modułów szkieletowych (Sadeh i Criswell 1996), (Sadeh i Criswell 2000)

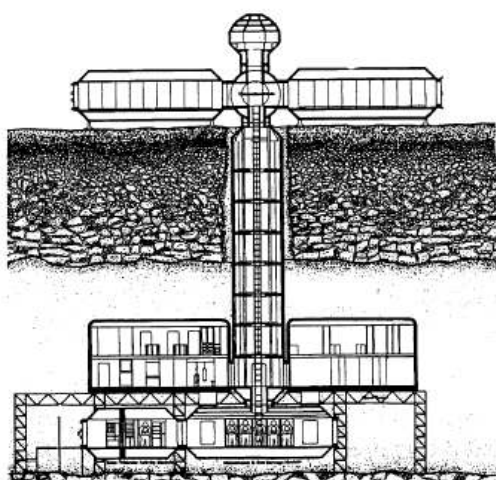
dające dobre oświetlenie wnętrza (Rys. 6.149). Ponieważ nie można tu było zastosować aż tak wytrzymałej powłoki, szkieletowa konstrukcja zapewnia większe bezpieczeństwo dla elementu okiennego. Pomieszczenia laboratoryjne i mieszkaniowe mają pneumatyczne ścianki z wzmocnieniem z belek nadmuchiwanym atmosferą o nieco wyższym ciśnieniu. Łączone są one ze sobą, podłogą i sufitem podwieszonym suwakami. Uszczelnienie naśladuje sposób hermetyzacji radzieckich kombinezonów kosmicznych.

Baza w pneumatycznych sześciach Sadeha i Criswella

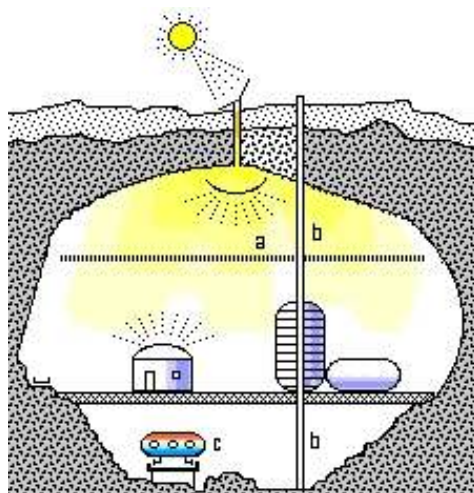
Formy obłe pozwalają na najlepszy rozkład ciśnienia sztucznej atmosfery w habitacie pozaziemskim. Stwarzają jednak utrudnienia w standaryzacji sposobu zagospodarowania wnętrza i są bardziej odległe wyobrażeniu zwykłego domu o prostokątnym rzucie. Willy Sadeh i Marvin Criswell są autorami koncepcji, która wychodzi naprzeciw tym problemom. Zaproponowali oni wykonanie dodatkowego usztywnienia dla kulistej struktury nadmuchiwanej. Usztywnienie to tworzy rama z pneumatycznych pionowych i poziomych belek. Usztywnienie to powoduje, że moduł uzyskuje kształt zbliżony do sześcianu. Element taki jest lekki, łatwy w montażu i pozwala na łączenie go z identycznymi modułami w grupę lub większy kompleks. Taki system z członów o powtarzalnej konstrukcji umożliwia wykonanie bazy o dowolnej konfiguracji przestrzeni oraz nieskrępowany rozrost habitatu. Moduły te oraz sposoby ich łączenia prezentuje Rys. 6.150. Zaproponowano, by całość przekryć workami z gruntem w celu lepszego zaizolowania przed warunkami zewnętrznymi (Sadeh i Criswell 1996, Sadeh i Criswell 2000).

Baza Moore'a w tunelu lawowym

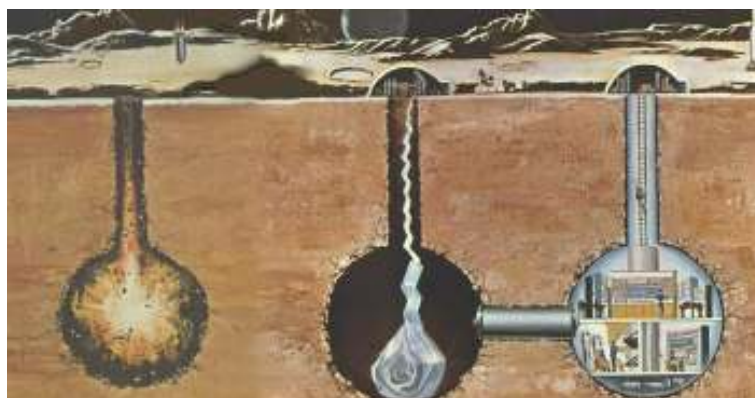
G. Moore zaprojektował bazę w tunelu lawowym. Proponuje on umieszczenie zespołu metalowych modułów na rusztowaniu wewnątrz jaskini lawowej (Rys. 6.151). Moduły wykonane byłyby z podwójnej warstwy tkanego kewlaru i włożonej pomiędzy nie membrany uszczelniającej. Konstrukcja stałaby blisko wejścia do tunelu tak, by z okien habitatu był widok na otoczenie i częściowo dochodziło tamtędy światło słoneczne do wnętrza. Do głównej części bazy wchodziłoby się pionowym tunelem wydrążonym w skale. Na jego szczycie znajdowałyby się pomieszczenia do przygotowań do wyjścia na powierzchnię oraz śluzy. Ta część miałaby specjalną okrywą chroniącą przed promieniowaniem. Jej skuteczność byłaby jednak znacznie mniejsza niż dla habitatu umieszczonego głęboko pod ziemią (Ganapathi i in. 1993, s.43). W koncepcji tej umieszczenie bazy pod ziemią daje jedynie korzyść w



Rysunek 6.151: Koncepcja bazy z habitatem wzniesionym wewnątrz jaskini lawowej na Księżycu wg pomysłu Moore'a (Ganapathi i in. 1993)



Rysunek 6.152: Koncepcja habitatu wewnątrz pozaziemskiego kanału lawowego wg pomysłu Kokh (2002)



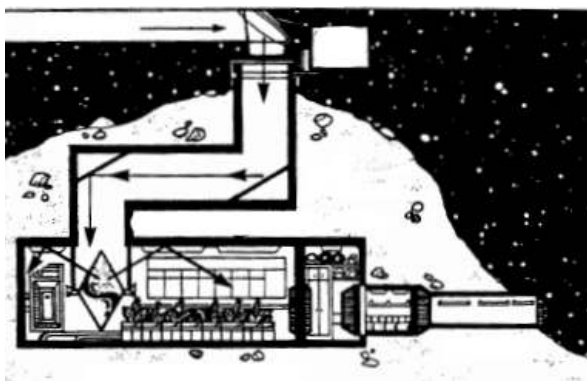
Rysunek 6.153: Koncepcja podziemnej bazy przedstawiona u Cole i Scarfo (1965)

uzyskaniu ochrony przed promieniowaniem oraz uszkodzeniem mechanicznym i zmienną pogodą. Wytrzymała konstrukcja musi być jednak wykonana i sprowadzona niezależnie od tego. Nie daje to zatem prawie żadnych korzyści ekonomicznych.

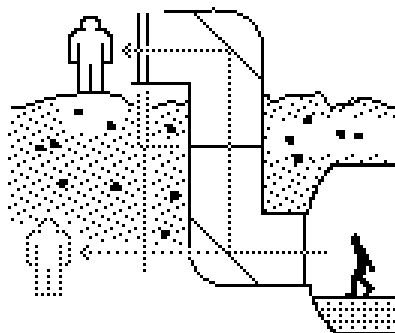
Peter Kokh (2002) poddał propozycję zagospodarowania fragmentu wnętrza jaskini lawowej w całości. Jej ściany miałyby być jednocześnie ścianami zewnętrznymi habitatu. Zyskiwana by była ogromna przestrzeń użytkowa, którą trzeba by było tylko uszczelnić na końcach. Oświetlenie wnętrza byłoby uzyskiwane poprzez układ współpracujących zwierciadeł: jedno na powierzchni skierowane by było ku słońcu, by skupiać jego promienie, a następnie kierować do niewielkiego szybu. Tędy światło wędrowałoby do zwierciadła, które rozpraszałoby je w tunelu lawowym (Rys. 6.152).

Podziemna baza Cole'a i Scarfo

Cole i Scarfo (1965, s.71) przedstawiają koncepcję kulistego habitatu podziemnego (Rys. 6.153). Otwarcie wewnątrz górotworu uzyskuje się poprzez detonację ładunku wybuchowego umieszczonego na dnie wydrążonego wcześniej szybu. Kulistą komorę uszczelnia się powłoką



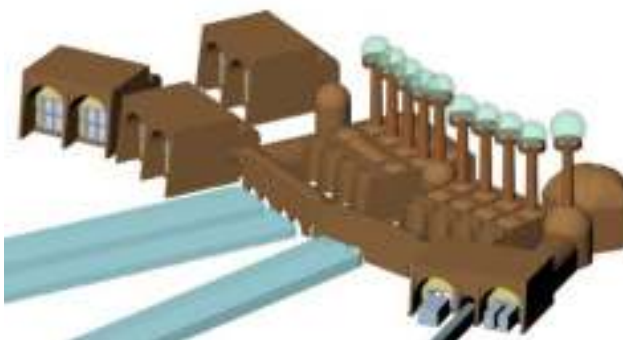
Rysunek 6.154: Drążona baza księżycowa z doświetleniem przez układ zwierciadeł działających na zasadzie peryskopu wg pomysłu Burke'a (Ganapathi i in. 1993)



Rysunek 6.155: Okno peryskopowe proponowane dla podziemnego habitatu pozaziemskiego u (Kokh 2002)



Rysunek 6.156: Koncepcja bazy marsjańskiej drążonej w bryle lodu (R&Sie 2002)



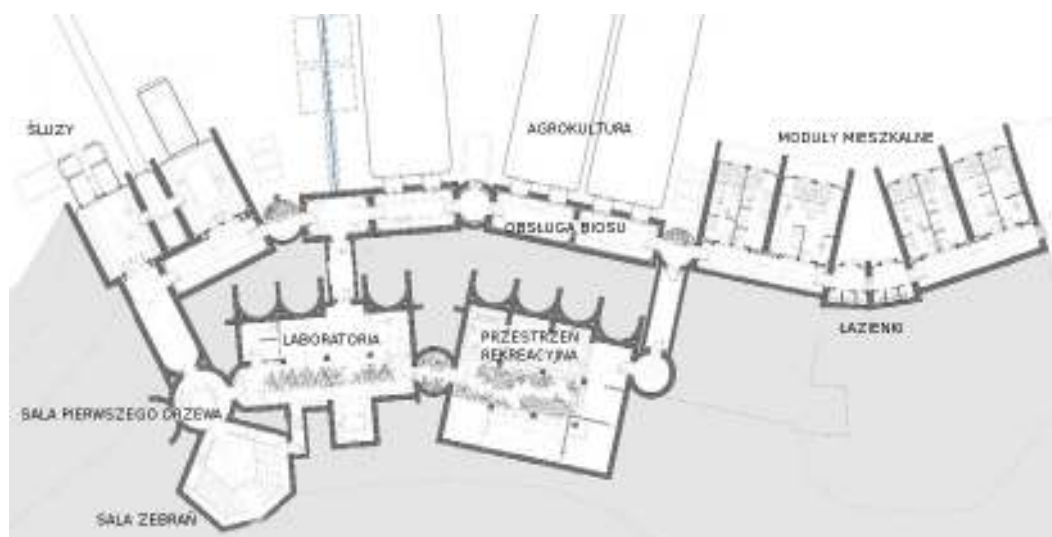
Rysunek 6.157: Koncepcja murowanej bazy marsjańskiej Petrova, aksonometria (Petrov 2004)

pneumatyczną i wyposaża w środku. Pionowy szyb prowadzi do części naziemnej z kopułą obserwacyjną. Na podobnej zasadzie można wykonywać kolejne podobne kubatury użytkowe, łączone ze sobą podziemnym korytarzem.

Baza ta byłaby pozbawiona okien i światła słonecznego. Istnieją jednak rozwiązania, które umożliwiają rozwiązanie tego problemu. Habitat J. Burka w całości wydrążony jest w skale. Zlokalizowany jest on we wzgórzu dookoła księżycowego krateru w pobliżu bieguny. Jest tam największa szansa na znalezienie większych zasobów wody i przez cały czas można tam liczyć na dostęp światła słonecznego skierowywanego do habitatu od zwierciadła orbitalnego. Światło skupione wchodziłoby do tunelu z systemem luster działającym na zasadzie peryskopu (Rys. 6.154). Do podobnego sposobu oświetlenia wnętrza oraz stworzenia sztucznych okien zachęca Kokh (2002) (Rys. 6.155).

Baza lodowa R&Sie

Grupa R&Sie (2002) proponuje wykonanie struktury drążonej wewnątrz wielkiego bloku lodowego. Autorzy wykorzystali tę właściwość konstrukcji drążonej, że dozwolone są linie miękkie, obłe w projektowaniu kształtu wnętrza. Tunele i komory mają nieregularne gabaryty i formy (Rys. 6.156).



Rysunek 6.158: Rzut habitatu (Petrov 2004)

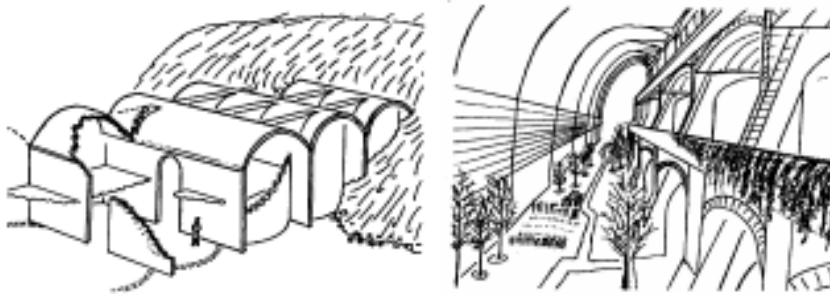
Ceglana baza marsjańska Petrova

Baza wg projektu Georgija Petrova na Marsie jest murowana (Petrov 2004). Podłużne pomieszczenia są przesklepione, a w przestronniejszych salach są kopuły na słupach (Rys. 6.157). Ceglane budynki połączone są w jeden duży kompleks u podnóża wzgórza. Częściowo baza jest w nim ukryta. Pomieszczenia na zewnętrznym obwodzie bazy mają otwarcia na otaczający krajobraz. Sale głębiej wciśnięte we wzgórze mają świetliki dachowe o specjalnej konstrukcji. Pionowe ceglane kanały murowane są aż do płaszczyzny zbocza. Tam pod przezroczystymi kopułami znajdują się zwierciadła skupiające promienie słoneczne i kierujące je do wnętrza habitatu. Baza jest obszerna, posiada podział na strefy, z których każda ma swój specyficzny charakter. Osobna budowla mieści laboratoria. Ma ona najbardziej skomplikowany rzut. Część rekreacyjna to przestronna sala kolumnowa. Część mieszkalna jest na uboczu i tworzy strefę cichą. Zatem, jeśli chodzi o aspekt ludzki, zadbano o urozmaicenie przestrzeni bytowej, rozdzielenie konfliktowych funkcji, o oświetlenie naturalne i widok na otoczenie z pokoi prywatnych. Zaprojektowano dodatkowo dwa specyficzne pomieszczenia o silnej tożsamości miejsca: salę zebrań i plac pierwszego drzewa zasadzonego na Marsie. W habitacie jest też dużo zieleni, zarówno w przestrzeni roboczej, jak i rekreacyjnej. W kabinach prywatnych jest miejsce na własny ogródek. Wadą projektu jest skomplikowany układ komunikacyjny z utrudnioną drogą ewakuacji, szczególnie z pomieszczeń prywatnych. Plan rozmieszczenia budynków jest nieregularny (Rys. 6.158). Podyktowane jest to ukształtowaniem wzgórza, u podnóża którego wznoszona jest baza. Mimo wszystko wybudowanie precyzyjnie tak skomplikowanego kompleksu może w warunkach marsjańskich być wyjątkowo trudne. Choć z kolei dzięki temu, że konstrukcje muruje się z małych bloczków ceglanych, zapewniona jest pewna elastyczność w dopasowywaniu do siebie kolejnych brył budowlanych. Dodatkowo Petrov zakłada, że baza ceglana będzie połączona korytarzem z modułami mieszkalnymi z pierwszych misji załogowych z programu NASA DRM. Nieznany jest typ konstrukcji, który ma tworzyć korytarz. Wydaje się, że wydatkowanie materiałów budowlanych na taki tunel jest mało uzasadnione, szczególnie jeśli też mają w nim pracować urządzenia LSS.

Teren agrokultury zlokalizowano w podłużnych modułach poprowadzonych prostopadłe do zbocza. Łączą się one ze specjalnymi pomieszczeniami pomocniczymi i magazynowymi.



Rysunek 6.159: Projekt modułu mieszkalnego Petrov (2004)

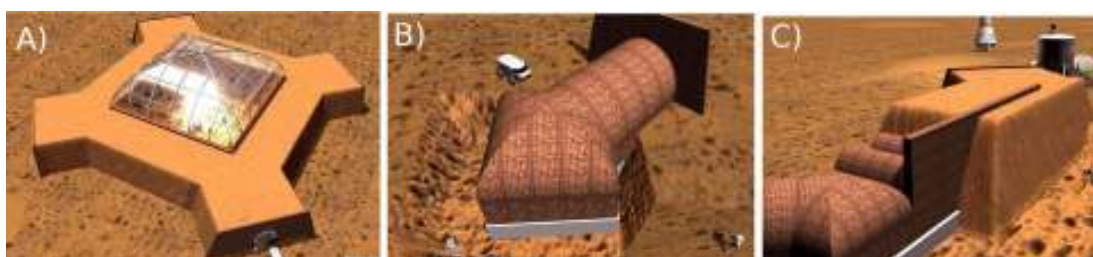


Rysunek 6.160: Koncepcja podziemnych murowanych krypt autorstwa MacKenziego (Zubrin i Wagner 1997)

Część pomieszczeń w bazie ma wyłącznie konstrukcję murowaną, a część jest dodatkowo uszczelniona membraną. Jak zauważa autorka nieuszczelnione są pomieszczenia o skomplikowanej formie, z wewnętrznymi słupami. Jednocześnie są to również kubatury głębiej ukryte we wzgórzu, gdzie łatwiej o uzyskanie szczelności dzięki warstwie gruntu. Należy zauważyć, że części uszczelniane mają nieco inny przekrój i konstrukcja pracuje tam inaczej. Przykładem pomieszczeń uszczelnianych są moduły mieszkalne. Pojedynczy moduł umieszcza się w murowanym korytarzu na ceglanej platformie. Po bokach i przy suficie moduł nie przylega do konstrukcji murowanej. Segment taki stanowi prosta metalowa rama, wewnątrz której nadmuchuje się membranę uszczelniającą (Rys. 6.159). Szkielet składa się z naprzeciwległych dwóch tarcz z otworami ułatwiającymi montaż drzwi i okien. Między nimi rozpięta jest konstrukcja wsporcza dla stropów i ścianek działowych, które układać się ma z paneli o wyznaczonych wymiarach. Elementy dzielące przestrzeń można układać rozmaicie. Dzięki temu w dwukondygnacyjnym module można stworzyć zarówno pojedyncze pokoje jednoosobowe, jak i dwuosobowe, dla par, z połączeniem w poziomie lub schodami w pionie w formę pokoju z antresolą. Pokój jednoosobowy jest prostokątny, podłużny i dość wąski. W niesprecyzowany dokładnie sposób na szkielecie metalowym rozpięta jest pneumatyczna powłoka. Nadaje ona kształt ścianom i uszczelnia moduł. Część najbliższej okna można przeznaczyć na własny ogródek. Zieleń w domu na pewno wpływałaby pozytywnie na samopoczucie i pozwalałaby na lepsze dotlenianie atmosfery.

Pierwszym pomysłodawcą zastosowania murarstwa na Marsie był MacKenzie (1989). W swojej koncepcji architektonicznej zaproponował wykonywanie łączących się bokami przeklepionych tuneli ceglanych. Jako że musiałyby być one umieszczone w głębokich dołach i przekryte grubą warstwą gruntu dociskowego, przypominałyby ziemskie krypty (Rys. 6.160) (Zubrin i Wagner 1997).

Grupa MarsHome prezentuje koncepcję naziemnego habitatu ceglanoego z wewnętrznym atrium o przezroczystym zadaszeniu. Konstrukcje murowane zakrywane są nasypem ziem-



Rysunek 6.161: Koncepcja murowanej bazy marsjańskiej grupy MarsHome: A) widok, B) i C) fazy budowy (marshome.org)



Rysunek 6.162: Pneumatyczne moduły z terrariami wg projektu Mars Habitation 2057 (Dubbink 2001)

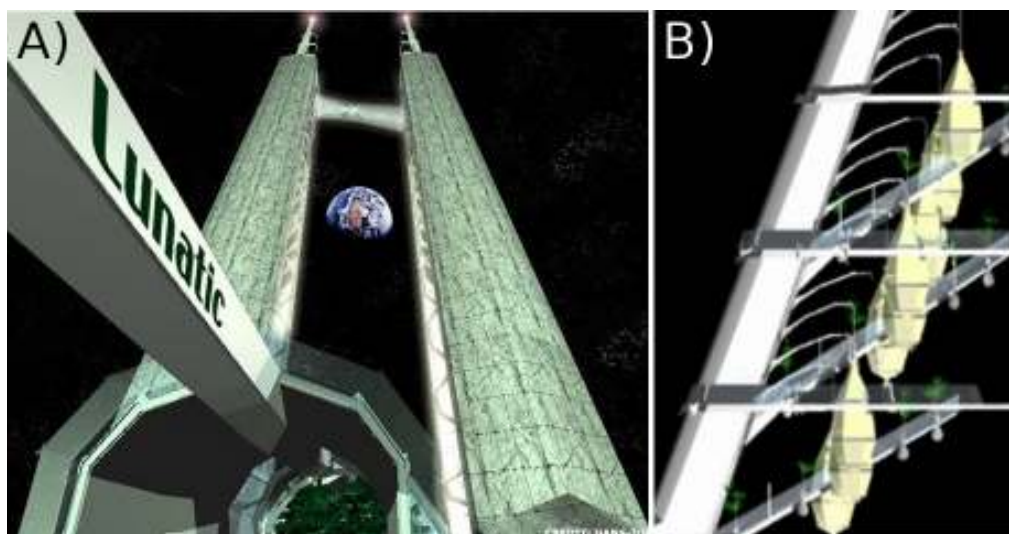


Rysunek 6.163: Wejście do podziemnej części mieszkalnej bazy Mars Habitation 2057 (Dubbink 2001)

nym. Rys. 6.161 pokazuje etapy budowy, skończoną konstrukcję oraz widok z poziomu atrium na wejścia do przesklepionych korytarzy ceglanych (marshome.org).

Mars Habitation 2057

Mars Habitation 2057 to program stworzenia bazy na Marsie. Opracowany został on przez prywatne przedsiębiorstwo Obayashi Corporation z Japonii w 1990 r. Baza marsjańska wg ich projektu ma być samowystarczalną jednostką osiedleńczą. Zakładano, że na stałe będzie tu mieszkać 150 osób, w tym: piloci, inżynierowie, naukowcy, lekarze, psycholodzy, dziennikarze, artyści i kucharze oraz kapitan. Oprócz tego baza ma pomieścić dodatkowo 150 turystów. Na lokalizację kompleksu wybrano dolinę otoczoną z trzech stron wzgórzami, które dawałyby ochronę przed wiatrami i zmianami ciśnienia. Ze zboczy ma być zbierany szron do pozyskiwania wody. Kompleks składa się z trzech stref budynków: mieszkalnej, agrokultury i terrariów. Zakładano, że habitaty będą drążone wewnątrz wzgórz, gdzie zapewnioną będą miały ochronę przed szkodliwym promieniowaniem (Rys. 6.162). Agrokulturę tworzyć ma sieć ogródków lokowanych w modułach plastikowych w kształcie walca o długości 15 m i średnicy 5 m. W połowie mają być wypełnione gruntem stabilizującym element w podłożu i zapewniającym ziemię uprawną. Cała strefa szklarni obejmuje powierzchnię 15.400 m². Obok zlokalizowane są być terraria, czyli wielkie nadmuchiwane kopuły mieszczące sztuczne ekosystemy (Rys. 6.163). Rośliny tam rosnące mają pobierać dwutlenek węgla z marsjańskiej atmosfery i produkować tlen. W momencie, gdy atmosfera zostałaby odpowiednio natleniona, kopuła miała być dodatkowo uszczelniona i przesłonięta okrywą z gruntu dającą zabezpieczenie przed promieniowaniem. Od tej pory system luster zapewniałby oświetlenie. W terrariach zaś rozpoczęto by hodowlę zwierząt, w tym owadów. Kopuła pneumatyczna rozpięta ma być na pierścieniowej strukturze przekrytej gruntem ochronnym. Odkąd eko-



Rysunek 6.164: Księżycowy hotel Hilton: A) widok z zewnątrz, B) pokoje hotelowe w kształcie łyży (Jurgen Rombaut)

system zacząłby docelowo prosperować, część obwodowa przeznaczona zostałaby na pomieszczenia mieszkalne z widokiem na zielony krajobraz (Dubbink 2001, s.85). Komplex jest olbrzymi i budowa jego pochłonięłaby znaczne fundusze.

Księżycowy hotel Hilton

Księżycowy Hotel Hilton zaprojektowany został przez holenderskiego architekta Hansa Rombaut na zlecenie koncernu Hilton. Habitat ma postać dwóch wież wysokich na 160 m (Rys. 6.164). Połączone są ze sobą dużym holem wejściowym na poziomie parteru oraz małym mostkiem w połowie swej wysokości. W wieżach tych mieściłyby się pokoje dla gości oraz pionowe ciągi komunikacyjne. Pokoje hotelowe mają po dwie kondygnacje użytkowe umieszczone w podwieszonych modułach w kształcie łyży (Rys. 6.164). Hotel mógłby przyjąć ok. 200 turystów. Obsługa to kolejne 200 osób. Pracownicy hotelu mieszkaliby w części podziemnej habitatu, gdzie lepiej byłiby chronieni przed promieniowaniem kosmicznym i słonecznym. Przy holu wejściowym zaprojektowano bar księżycowy, trzy restauracje, salony gier i sale ćwiczeń. Ściany wież mają strukturę dwuwarstwową. Od strony zewnętrznej jest dająca dużą wytrzymałość skorupa wykonana z miejscowych skał. Ma ona grubość 18 cm. Od wewnątrz gruba na 35 cm wodna warstwa zapewniałaby bardzo dobrą ochronę przed promieniowaniem. Masywne ściany habitatu w warunkach księżycowej grawitacji będą bardzo lekkie. Wieże nie stoją pionowo, lecz są pochylone. Stanowi to utrudnienie wznoszenia konstrukcji oraz utrzymywanie przez nią stabilności. Warstwę wody wg projektu mają ograniczać płaszczyzny szklane. Sposób wykonania takiej warstwy wydaje się wyjątkowo kłopotliwy. 35 cm wody dla dwóch bardzo wysokich wież pochłonięłoby duże ilości tego rzadkiego na Księżycu surowca. Pozyskiwanie go zajęłoby wiele czasu. Nie podano, w jaki sposób zapewniona byłaby termoizolacja i w jakim stanie skupienia utrzymywana byłaby woda w ścianach. Ośłonięcie wież na całej długości warstwą kamieni zapewnia dobrą wytrzymałość, także na uderzenia mikrometeorów, ale jednocześnie zamyka dopływ światła słonecznego do wnętrza, które całkowicie oświetlane będą sztucznie. Niebo i Ziemię obserwować będzie można tylko z dolnego poziomu, przestrzeni skupionej wokół holu.

Wnioski dla architekta

Powstało bardzo wiele różnych koncepcji architektonicznych baz pozaziemskich. Mogą być one inspiracją dla architekta bazy marsjańskiej. Nie są to *stricte* projekty, ale sugestie, jakie zawierają, dają do myślenia. Wiele rozwiązań konstrukcyjnych, funkcjonalnych i dla formy jest bardzo ciekawych. Analiza różnych propozycji doprowadziła autorkę do wysnucia listy konstruktywnych wniosków.

1. Znane są obecnie technologie nadające się do zaadoptowania na Marsie. Koncepcje architektury pozaziemskiej świadczą o tym, że na różne sposoby można te technologie wykorzystać i stworzyć habitaty o najrozmaitszych formach. Dotychczasowy dorobek działu nauki dotyczącego architektury kosmicznej jest kopalnią inspiracji dla współczesnego architekta bazy marsjańskiej.
2. Ze względu na niską grawitację, konstrukcje na Marsie nie będą musiały mieć dużej nośności. Można tam zatem projektować wysokie i masywne budowle (jak u Rombauta). Za to konstrukcje trzeba będzie dobrze stabilizować w gruncie. Jest to możliwe poprzez dociśnięcie balastem (jak u Petrova), dobre zakotwienie (jak szkielety kopuł u Zubrina) (Kozicka 2004b) albo przez częściowe posadowienie w zagłębieniu (jak zaproponowali Cameron i in.).
3. Jako zabezpieczenie przed promieniowaniem kosmicznym i słonecznym w konstrukcjach habitatów planetarnych proponuje się najczęściej miejscowy regolit, którym habitat bezpośrednio się zasypuje lub jest on pakowany w worki i układany warstwowo. Pierwsze rozwiązanie jest polecane szczególnie dla konstrukcji murowanych, które wymagają balastowania w celu ściśnięcia struktury. Drugie rozwiązanie efektywniejsze jest dla cylindrycznych modułów na nogach. Najprostszym sposobem przekrycia habitatu warstwą regolitu jest ukrycie go wewnątrz tunelu podziemnego, np. jaskini lawowej. Woda również może posłużyć jako bariera antyradiacyjna, jak pokazane jest w projekcie hotelu Hilton Rombauta. Należy jednak przemyśleć sposób wykonania z niej stabilnych przegród.
4. Dużą i godną zaufania bazę marsjańską zbudować można ze szczepianych ze sobą metalowych modułów jednoelementowych. Przy czym jest to jednak rozwiązanie bardzo drogie. Aby obniżyć koszt takiej inwestycji, warto zastosować łączone moduły rozkładane.
5. Dużą powierzchnię użytkową można ekonomicznie zapewnić w bazie marsjańskiej za pomocą: struktur rozkładanych lub rozkładających się, konstrukcji składanych lub pozyskując naturalne surowce i ukształtowanie skorupy marsjańskiej.
6. Wartościowym pomysłem jest propozycja stworzenia w bazie marsjańskiej przynajmniej jednego pomieszczenia o specyficznym znaczeniu, jak sala pierwszego drzewa w koncepcji Petrova (2004) lub wyjątkowej formie, jak sala zebrań w tymże projekcie. Pozwoli to mieszkańcom utożsamiać się z nowym miejscem życia – nie będzie to tylko schron i miejsce pracy, ale habitat, specjalne środowisko życia o swoich charakterystycznych cechach, o potencjale integrowania zamieszkującej go społeczności.

7. Okna i oświetlenie naturalne wpływa pozytywnie na samopoczucie mieszkańców habitatów kosmicznych. Bardzo wcześnie zwrócono na to uwagę. Dodatkowo dzięki naturalnemu oświetlaniu pomieszczeń oszczędza się energię (Kozicka 2004b). Dlatego zaleca się zaprojektowanie okien co najmniej w prywatnych kabinach, w przestrzeni wspólnotowej, np. mesie. Habitaty podziemne mogą mieć specjalne otwarcia (np. wejście do jaskini lawowej jak w projekcie Moore'a), świetliki dachowe (jak w projekcie Petrova) lub okna peryskopowe (jak u Burle'a i Kokha).
8. Jaskinie lawowe na Marsie są najprawdopodobniej bardzo duże. Zapewnić zatem mogą przestronną, fleksybilną przestrzeń do zagospodarowania. Należy jednak roz wiązać dla nich problem uszczelnienia i doświetlenia.
9. Habitaty drążyć można w miejscowej skale (jak u Cole'a i Scarfo czy Burle'a) lub w gładzie lodowym (jak w pomysle R&Sie).
10. Pneumatyczne konstrukcje przyjmują najchętniej kształt kuli, walca i torusa. Aby uzyskać jak największą przestrzeń użytkową wewnątrz struktury pneumatycznej można wykorzystać różne rozwiązania:
 - wykonanie wielokondygnacyjnej konstrukcji wewnątrz np. dużej kuli (jak u Kennedygo i Carimele);
 - zaprojektowanie wielu modularnych struktur pneumatycznych łączonych w kompleks (np. jak u Sabouniego i in.);
 - zaprojektowanie dużego torusa i uszczelnienie jego środka (jak np. u Chow i Lee);
 - ściskanie powłokowych elementów pneumatycznych szkieletem pneumatycznym w moduły o bardziej funkcjonalnym kształcie (jak u Sadeha i in.).
11. Rośliny mogą być uprawiane w celu przetwarzania atmosfery marsjańskiej w tlenową tak, by bez używania energochłonnych urządzeń stwarzać coraz większą przestrzeń bytową dla organizmów żywych (jak proponuje Obayashi). Małe ogródki zielone mogą utrzymywać dobre natlenienie w pokojach prywatnych (jak u Petrova). Autorka uważa, że rośliny mogą jednak zanieczyszczać atmosferę w drobnoustroje oraz rodniki pleśni i grzybów, więc ich bezpośrednie wprowadzenie do wnętrza należy przeanalizować pod względem bezpieczeństwa.

Rozdział 7

Modele architektoniczne bazy marsjańskiej

Na podstawie wniosków wyciągniętych we wszystkich wcześniejszych rozdziałach niniejszej dysertacji autorka stworzyła różne modele bazy marsjańskiej. Przedstawiono kilka koncepcji w celu wykazania, iż na podstawie obecnej wiedzy na temat Marsa oraz przy wykorzystaniu współczesnych technologii budowlanych można zaproponować wiele ciekawych rozwiązań dla przyjaznej człowiekowi architektury na Czerwonej Planecie.

Sklasyfikowanie i kolejność prezentacji opracowywanych koncepcji nastrocza wielu trudności. Wynika to z tego powodu, że systematyka opierać się może na różnych metodach podziału, które są paralelne. Autorka zaproponowała podział koncepcji ze względu na:

1. TYP PLANU

- (a) sieć
- (b) plan otwarty
- (c) rozwiązania pośrednie

2. POŁOŻENIE WZGLĘDEM POWIERZCHNI TERENU

- (a) bazy naziemne
- (b) bazy podziemne
- (c) bazy częściowo zakopane

3. ODNIESIENIE DO UKSZTAŁTOWANIA TERENU

- (a) baza w tunelu lawowym
- (b) baza w zboczu
- (c) baza w kraterze
- (d) baza w *chaosie*
- (e) baza niezależna od ukształtowania terenu (np. podziemna lub na terenie względnie płaskim)

4. WYKORZYSTYWANE TECHNOLOGIE

- (a) konstrukcje metalowe
- (b) konstrukcje z gruntu
- (c) konstrukcje murowane (np. ceglane, z bloczków kamiennych lub betonowych)

- (d) konstrukcje pneumatyczne
- (e) konstrukcje z polimerów o pamięci kształtu
- (f) konstrukcje lodowe
- (g) konstrukcje drążone

5. TYP PRZEKRYCIA

- (a) z gruntu
- (b) ze skał
- (c) z wody
- (d) pneumatyczne z zadaszeniem z paneli
- (e) pneumatyczne z siecią spinającą

Poniżej przedstawiono dziewięć modeli bazy marsjańskiej. Krótki opis wyjaśnia, jakie technologie są wykorzystywane w proponowanym rozwiązaniu, jak kształtowana jest bryła bazy oraz funkcjonalne przestrzenie wewnątrz. Dołączone są także ilustracje pełniące funkcję wizualnego objaśnienia koncepcji. Dodatkowo w każdej prezentacji przedstawione zostało odniesienie koncepcji do pięciu kryteriów podziału opisanych powyżej. Ułatwić to ma orientację przy przeszukiwaniu koncepcji pod różnym kątem. Np. jeśli w przyszłości wyjątkowo opłacalna okaże się produkcja cegieł na Czerwonej Planecie, będzie można łatwo wyszukać wszystkie proponowane rozwiązania wykorzystujące tę technologię.

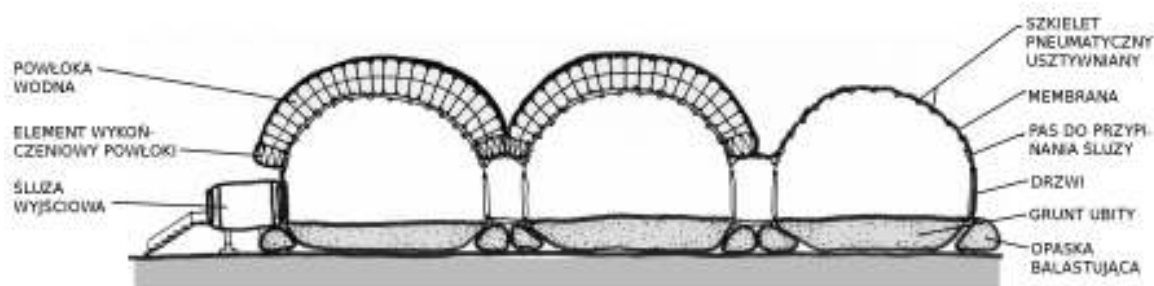
Koncepcja 1

- 1a – sieć
- 2a – baza naziemna
- 3e – baza na terenie płaskim
- 4d – konstrukcja pneumatyczna
- 5c,e – przekrycie z wody w części mieszkalno-roboczej, pneumatyczne przekrycie z pneumatyczną siecią spinającą nad agrokulturą

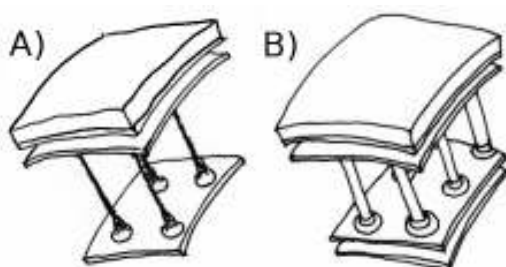
W koncepcji 1 (Rys. 7.1, 7.2) do budowy bazy proponuje się użycie modułu w formie pneumatycznej kopuły ze wzmocnieniem w postaci szkieletu pneumatycznego usztywnianego tworzącego sieć na sferze budowli. Szkielet pozwala na utrzymywanie kształtu przez moduł nawet w razie wycieków atmosfery czy zwiększonego obciążenia. Usztywnia też powłokę, która staje się w ten sposób mniej podatna na podmuchy silnych wiatrów. Część denna kopuły wykładana jest termoizolacją z elastycznego aerożelu i zasypywana ubitym gruntem marsjańskim, który pozwala na wypoziomowanie podłogi w części bytowej załogi oraz na prowadzenie upraw w agrokulturze. Warstwa gruntu dociska nadmuchiwany element do podłoża i stabilizuje jego pozycję w terenie. Dodatkowo każdy moduł posiada opaskę obwodową w postaci balastu z gruntem. Worek z gruntem ułożony w pierścień wspomaga system posadowienia bazy oraz stanowi podporę dla słuz elastycznych, które służą do łączenia modułów w sieć. Każdy element budowlany wyposażony jest z czterech stron w drzwi oraz pas dookoła nich przysposobiony do przyczepiania do niego słuzu. Zaprojektowanie otworów wyjściowych z czterech stron każdego modułu pozwala na wykonanie bazy o fleksybilnej formie. Moduły w prosty sposób mogą być ze sobą łączone i rozłączane w celu wprowadzania zmian w ich konfiguracji. Moduł można również zamocować do metalowej konstrukcji ze słuzą wyjściową. Wybrane elementy budowlane przekrywać można powłoką ochronną. Na detalach na Rys. 7.3 pokazano dwa warianty wykonania



Rysunek 7.1: Koncepcja 1 – perspektywa



Rysunek 7.2: Koncepcja 1 – przekrój z opisem



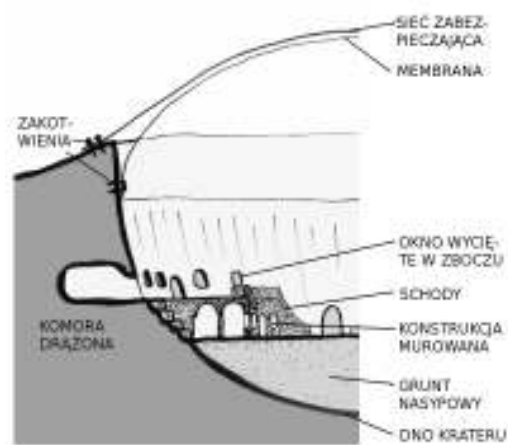
Rysunek 7.3: Koncepcja 1 – dwa warianty wykonania warstwy wodnej (opis w tekście)



Rysunek 7.4: Kula zorbingowa (zorb.com)

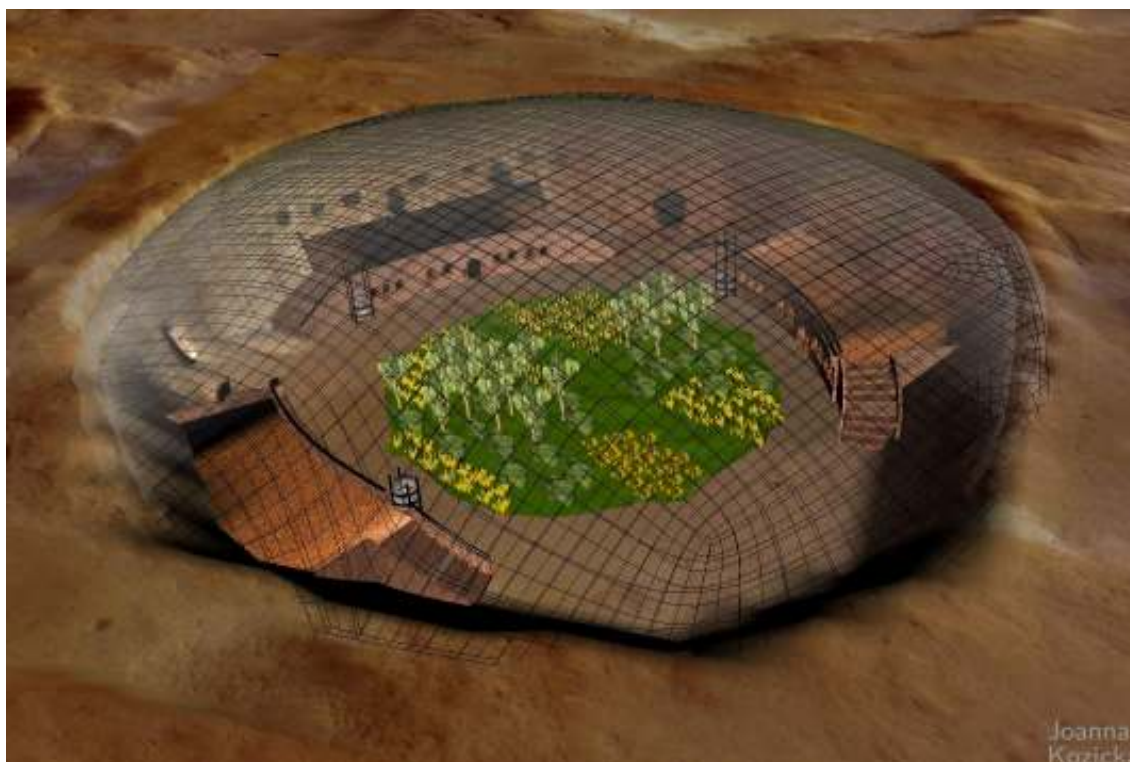
takiej okrywy. Przykład A) odnosi się do pomysłu kuli zorbingowej (Rys. 7.4), gdzie dwie szczelne błony połączone są ze sobą mnóstwem linek o tej samej długości tak, by zachować stałą odległość między błonami po napełnieniu przestrzeni wewnętrznej sprężonym powietrzem. Dla przypadku bazy marsjańskiej zaprojektowano górną wąską pneumatyczną warstwę z atmosferą pod ciśnieniem, która połączona jest z dolną membraną linkami z kewlaru. Przestrzeń między sznurami wypełnia się wodą jako materiałem najlepiej chroniącym przed promieniowaniem kosmicznym i słonecznym oraz jednocześnie bezpiecznym i stosunkowo łatwo dostępnym. W drugim wariantcie proponuje się wykonanie membranowych rurek, które łączyłyby przestrzeń dwóch pneumatycznych warstw: górnej i dolnej, dając sztywny szkielet. W ten sposób całość nadmuchiwana byłaby jednocześnie, a wszelkie wycieki łatwo byłoby uzupełniać. W powłoce powinny być zamontowane dwa wentyle: jeden do napompowywania szkieletu sprężonymi gazami i drugi do wprowadzania wody do przestrzeni ograniczanej przez szkielet. Grubość powłoki wodnej i liczba jej warstw uzależniona byłaby od zapotrzebowania na ochronę przeciwradiacyjną oraz od nośności konstrukcji pneumatycznej. Płaszcz musiałby być od strony zewnętrznej zabezpieczany termoizolacją, by woda nie zamarzała. Dodatkowo powłoka mogłaby być wyposażona w folię grzewczą. Płaszcz miałby kształt wycinka kopuły tak, by pozostawić odsłonięte miejsce dookoła drzwi z każdej z czterech stron modułu. Tędy mogłoby wchodzić do wnętrza światło dzienne oraz byłby widok na okolicę. Zasłony wewnętrzne z demronu chroniłyby mieszkańców głównie w czasie burz słonecznych.

Struktura całej bazy opiera się na wykorzystaniu trzech głównych elementów: kopuły, powłoka i śluza przejściowa. Kopuły łączyć ze sobą można w różnych konfiguracjach przy pomocy elastycznych śluz. Część modułów przekryć można powłoką chroniącą przed promieniowaniem. Model autorki tworzy sieć nanizana na główny liniowy trakt komunikacyjny. Baza podzielona została na dwie strefy: mieszkalno-roboczą – główny habitat oraz z uprawami – agrokulturę. Dla upraw najważniejszy jest dostęp do światła. Najtańsze na Marsie jest światło słoneczne. Dlatego moduły z uprawami są w koncepcji niezastłonięte. Uwzględnić można lekkie demronowe płaszcze ochronne narzucane na moduły w czasie wybuchów na słońcu. Moduły mieszkalno-robocze powinny mieć dobrą warstwę barierową dla szkodliwego promieniowania kosztem dobrego oświetlenia dziennego. Wodne płaszcze ochronne zostały przewidziane właśnie dla głównego habitatu.



Rysunek 7.5: Koncepcja 2 – przekrój

Baza wymaga terenu płaskiego. Nie musi być on jednak dokładnie wyrównany, ponieważ denne części modułów wypełniane są gruntem i mogą dopasować się do niedużych nierówności, a podłoga będzie mogła być wyrównana na odpowiednim poziomie. Lekkie elastyczne moduły i powłoki w formie spakowanej transportowane byłyby z Ziemi. Montaż polegający głównie na napompowaniu struktury przebiegałby *in situ*. Grunt ubity i woda pochodziłyby z zasobów zebranych na miejscu.

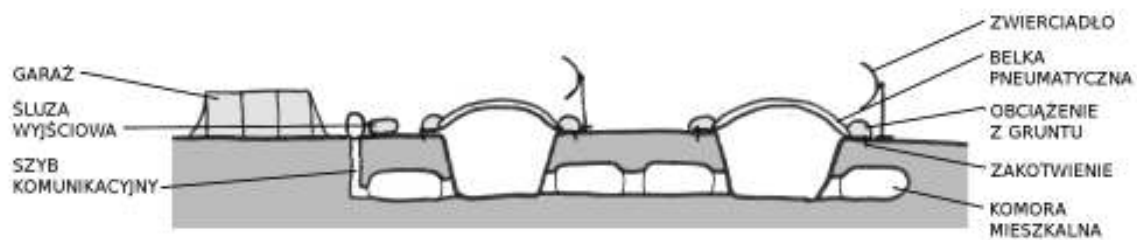


Rysunek 7.6: Koncepcja 2 – perspektywa

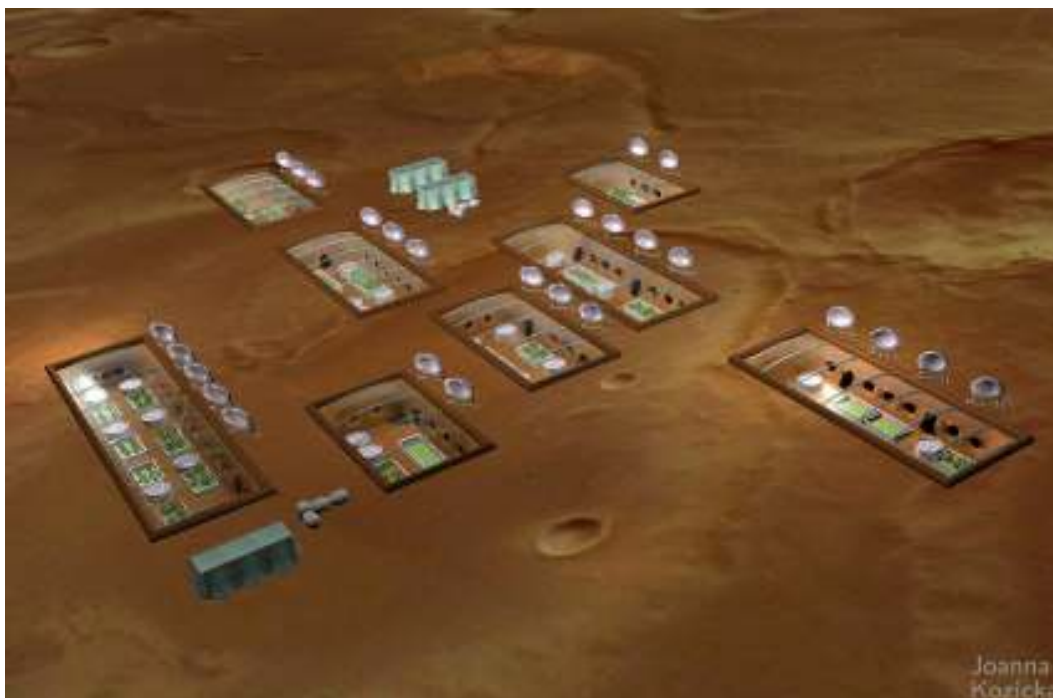
Koncepcja 2

- 1b – plan otwarty, silnie scentralizowany
- 2b – baza w zagłębieniu terenu, w niektórych strefach całkowicie podziemna
- 3c – baza w kraterze
- 4cg – konstrukcje murowane i drążone
- 5be – przekrycie głównej części bazy pneumatyczne z siecią usztywniającą, konstrukcje drążone zakryte skałami

W koncepcji 2 (Rys. 7.5, 7.6) na lokalizację bazy wybrany został w tym modelu mały krater marsjański. Ponieważ ma on wycięcie kuliste, wymaga częściowego zasypania gruntem, by wypoziomować podłogę. Poza tym grunt nasypowy posłużyłby jako podłoże do rozwoju roślin uprawnych. Mały krater można w całości przekryć membraną uszczelniającą zabezpieczaną usztywnianą siecią np. z lin z kewlaru, która zakotwiona byłaby na obwodzie krateru. W uszczelnionym kraterze z wytworzoną sztuczną atmosferą możliwe jest zastosowanie rozmaitych technik budowlanych. W modelu zaproponowano konstrukcje drążone i murowane. Komory ukryte w zboczach krateru byłyby lepiej chronione przed promieniowaniem kosmicznym i słonecznym. Murowane domy byłyby bliższe ziemskiemu budownictwu, przez co pozytywnie wpływałyby na poczucie komfortu psychicznego. W modelu zaproponowano wykonanie dwukondygnacyjnego habitatu tak, by strop konstrukcji murowanej stanowił duży użytkowy taras. Podziemna przestrzeń mieszkalno-robotyczna z oknami znajduje się na piętrze. W przyziemiu przewiduje się nieoświetlane naturalnie tunele. Można zlokalizować tam funkcje takie jak: magazynowa, techniczna i robotyczna. Komunikację między kondygnacjami zapewniają reprezentacyjne schody murowane oraz wygodne małe windy panoramiczne o konstrukcji pneumatycznej na szynach metalowych. Im mniejszy krater, tym trudniej zmieścić w nim stawiane budowle i jednocześnie znaleźć przestrzeń pod uprawy.



Rysunek 7.7: Koncepcja 3 – przekrój



Rysunek 7.8: Koncepcja 3 – perspektywa

Łatwiej jest za to wykonać dla nich mniejszą powłokę uszczelniającą. Aby baza tego typu mogła się rozrastać, warto na jej lokalizację wybrać teren obfitujący w małe, blisko ze sobą sąsiadujące kratery.

Zaletą tego habitatu jest dobre naturalne oświetlenie, przestronna przestrzeń wspólna dookoła zielonego ogrodu, dająca poczucie wspólnoty, bezpieczeństwa i bliskości z naturą.

Koncepcja 3

- 1a – sieć korytarzy wokół terenów z uprawami swobodnie rozmieszczonymi w terenie
- 2b – baza podziemna
- 3e – baza w terenie płaskim, w którym wykonuje się przekształcenia
- 4g – konstrukcja drążona
- 5bd – zadaszenie w postaci skał ponad konstrukcjami drążonymi oraz w postaci podłużnych świetlików z paneli nad otwartymi zagłębieniami

Konstrukcję proponowanej w tym modelu bazy (Rys. 7.7, 7.8) wykonuje się w paru etapach. Najpierw należy wykonać głęboki wykop o rzucie prostokąta. Jego głębokość uza-

leżniona jest od wytrzymałości i promieniochronności miejscowego górotworu. Z poziomu jego dna drąży się w skale otwory okienne i drzwiowe, a następnie za pozostawioną warstwą skały pełniącą od tej pory funkcję ściany, drąży się komory mieszkalne i tunele. Najlepiej jest zlokalizować tego typu bazę na terenie zbudowanym z tufów, gdzie pokrywa powierzchniowego pyłu jest mała. Umożliwi to najbardziej sprawne posuwanie się prac górniczych. Wykopy należy uszczelnić przy pomocy membran, które w miejscu wzmocnienia specjalnym pasem ochronnym przytrzymywane są za pomocą zakotwienia oraz obwodowego balastu w formie worków z regolitem. Zadaszenie z paneli ochrania membranę przed uszkodzeniami mechanicznymi. Na czas wybuchów na Słońcu świetliki mogą być przekrywane zasłoną z demronu. Przez resztę czasu można je pozostawiać odkryte tak, by światło słoneczne dochodziło do środka i dosięgało do uprawianych na dnie roślin. Szczególnie w przypadku głębszych rowów zaleca się szpalery zwierciadeł nakierowujących skupione wiązki światła słonecznego tak, by zintensyfikować oświetlenie naturalne. Pozwoliłoby to na większą niezależność od sztucznych energochłonnych źródeł światła.

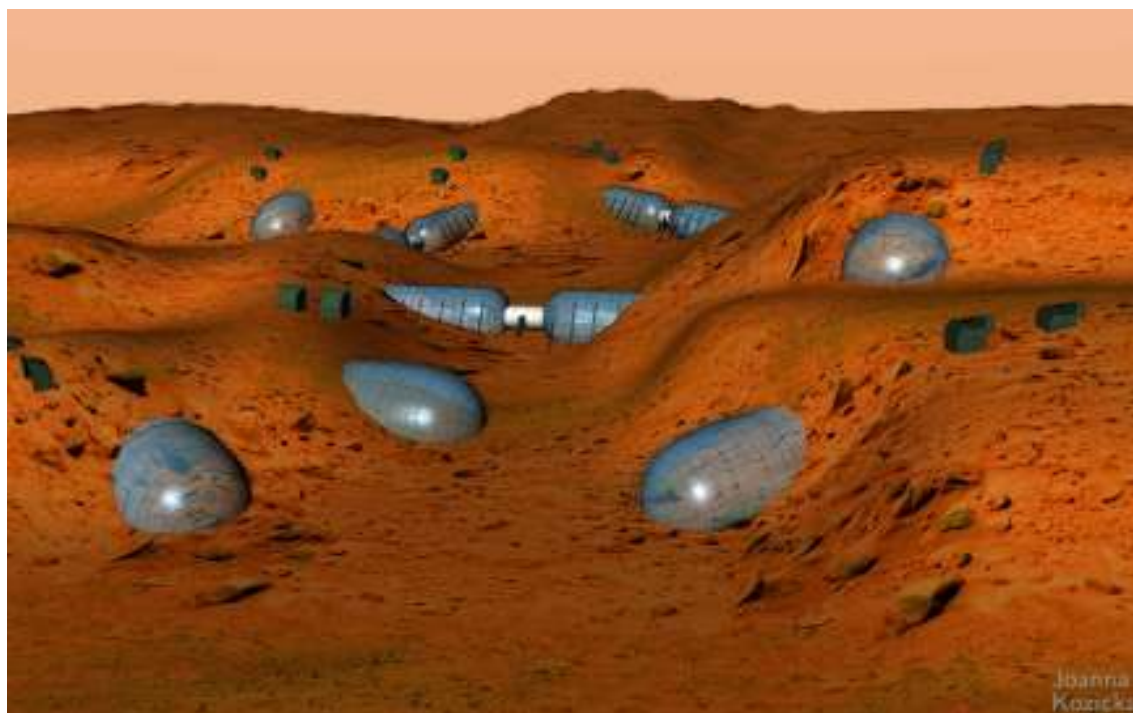
Przestrzeń mieszkalno-roboczą osłonięte byłyby przed promieniowaniem kosmicznym i słonecznym warstwą skał ponad nimi. Przez okna dochodziłoby jednak światło dzienne oraz pokoje posiadałyby widok na zieloną agrokulturę. Wyjścia na powierzchnię prowadziłyby przez szyby. Powinny się w nich znaleźć windy i drabiny lub ewentualnie schody. Pionowy tunel dochodziłby do ustawionego na powierzchni metalowego modułu lub grupy takich modułów z pomieszczeniem do przygotowań do EVA i śluzami wyjściowymi. W pobliżu zaprojektowano garaże dla pojazdów marsjańskich. Nie byłyby one napełniane sztuczną atmosferą, przez co ich konstrukcja nie musiałaby być bardzo wytrzymała. Zaproponowano, by garaże wykonać z lekkiego pneumatycznego szkieletu usztywnianego z zawieszonymi na nim powłokami chroniącymi pojazdy przed pyłem.

Przedstawiona na modelu baza ma plan dość swobodny. Przestrzeń z agrokulturą mają różną długość. Mieszczą się ram również zbiorniki magazynowe z wodą. Niektóre z nich można przeznaczyć do hodowli ryb lub na małe rekreacyjne baseny kąpielowe, które zwiększałyby komfort w bazie. Rzut pomieszczeń może być bardziej regularny, rygorystyczny albo zróżnicowany ze względu na funkcjonalność lub odniesienie się do ukształtowania miejscowych formacji terenu. Mogą tam bowiem występować naturalne rowy nadające się do zagospodarowania albo też przeszkody, które należy ominąć.

Koncepcja 4

- 1a – plan sieciowy nieregularny, wpisany w teren
- 2c – baza częściowo zakopana
- 3d – baza w *chaosie*
- 4dg – konstrukcje pneumatyczne i drążone
- 5be – przekrycie ze skał nad podziemnymi fragmentami bazy, konstrukcje pneumatyczne usztywniane dookoła siecią kewlarową

W koncepcji 4 (Rys. 7.9, 7.10, 7.11) baza zaprojektowana została w *chaosie*. Wyższy skany został teren obfitujący w sąsiadujące blisko ze sobą wzniesienia o wąskich dolinach je rozdzielających. W zboczach zaproponowano wykonanie tuneli, w które częściowo wsuwane byłyby walcowe podłużne moduły pneumatyczne. W ten sposób fragment każdego modułu umieszczony byłby w chroniącej przed promieniowaniem skale. W tej strefie modułu zlokalizować należałoby przede wszystkim pomieszczenia mieszkalne, laboratoryjne i techniczne. Jednocześnie pozostała część modułu byłaby dobrze nasłoneczniona. Tędy przechodziłaby



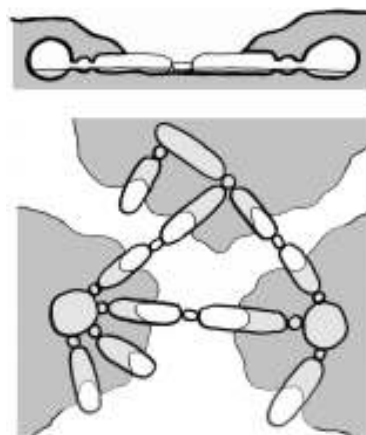
Rysunek 7.9: Koncepcja 4 – perspektywa 1

też część światła do podziemnej strefy. Dobrze naturalnie oświetlona część przeznaczona powinna zostać na tereny upraw i niektóre formy rekreacji, gdzie ludzie nie byłoby zmuszeni długo przebywać.

Moduły połączone są w sieć wpisaną w lokalne ukształtowanie terenu, dlatego ich układ jest bardzo nieregularny. Na powierzchni łączą się one ze sobą metalowymi śluzami. Pod ziemią zaproponowano okrągłe komory stanowiące węzły komunikacyjne. Stąd najlepiej jest rozprowadzać media. Tu zatem należałoby rozmieścić główne urządzenia PC LSS. Podziemne części modułów pneumatycznych oraz kopuły podziemne są w modelu oświetlone naturalnie poprzez okna peryskopowe, których zakończenia wystają ponad teren jak małe kominy.



Rysunek 7.10: Koncepcja 4 – perspektywa 2

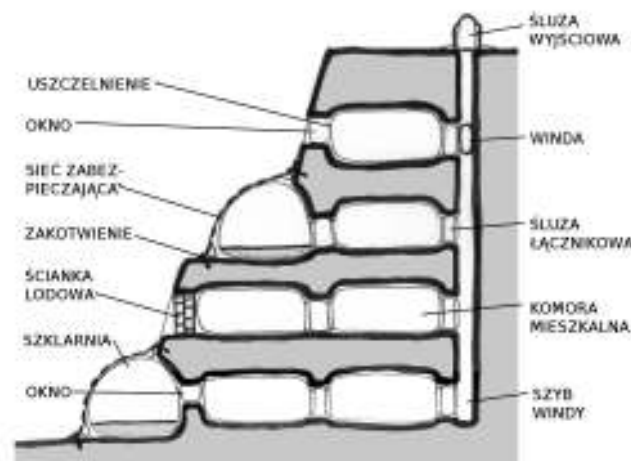


Rysunek 7.11: Koncepcja 4 – przekrój i plan

Aby w pneumatycznych modułach o okrągłym przekroju uzyskać płaską podłogę, wysypuje się do nich warstwę gruntu. Na terenach uprawnych byłby on wykorzystywany jako podłoże dla roślin.

Do zalet tego rozwiązania należy zapewnienie zróżnicowanej wielofunkcyjnej przestrzeni w każdym z modułów bazy. Niezależnie gdzie ktoś mieszka, ma blisko teren zielony i widok na krajobraz otaczający habitat. Każdy moduł jest też przez to częściowo samowystarczalny. Awaria jednego z elementów powtarzalnych nie zagraża w znacznym stopniu przetrwalności całej bazy. Do wad tego modelu zaliczyć można skomplikowany plan bazy, po której poruszanie się jest przez to trudne, uciążliwe i zabierające dużo czasu. Podczas wzmożonej aktywności Słońca mogłoby dojść do komunikacyjnego odcięcia od siebie fragmentów bazy, o ile miejsca połączeń naziemnych nie zostałyby na ten czas przekryte np. płaszczem z demronu. Używany byłby on na zasadzie zasłon lub rolet. Każdy tunel czy komora powinny być wyłożone termoizolacją, by ciepło z przestrzeni bytowej nie uciekało zbyt szybko do łatwo oziębiających się na Marsie skał. Miękki kriożel mógłby być w ten sposób przypinany do ścian, by dodatkowo zakrywać ostre nierówności i zapewnić ochronę przed pęknięciem błony uszczelniającej.

Baza powinna być zlokalizowana w pobliżu skraju *chaosu* tak, aby można było szybko przedostać się na otwarty teren i dalej – do miejsc przewidzianych na eksplorację. Jednocześnie umieszczenie jej nieco bardziej w głębi będzie dawać dobre zabezpieczenie przed wiatrami, a co za tym idzie – nanoszonym pyłem oraz drastycznymi zmianami temperatury. W głębi wzgórza *chaosu* mają bardziej regularny kształt, są widocznie mniej zniekształcone przez procesy eoliczne.

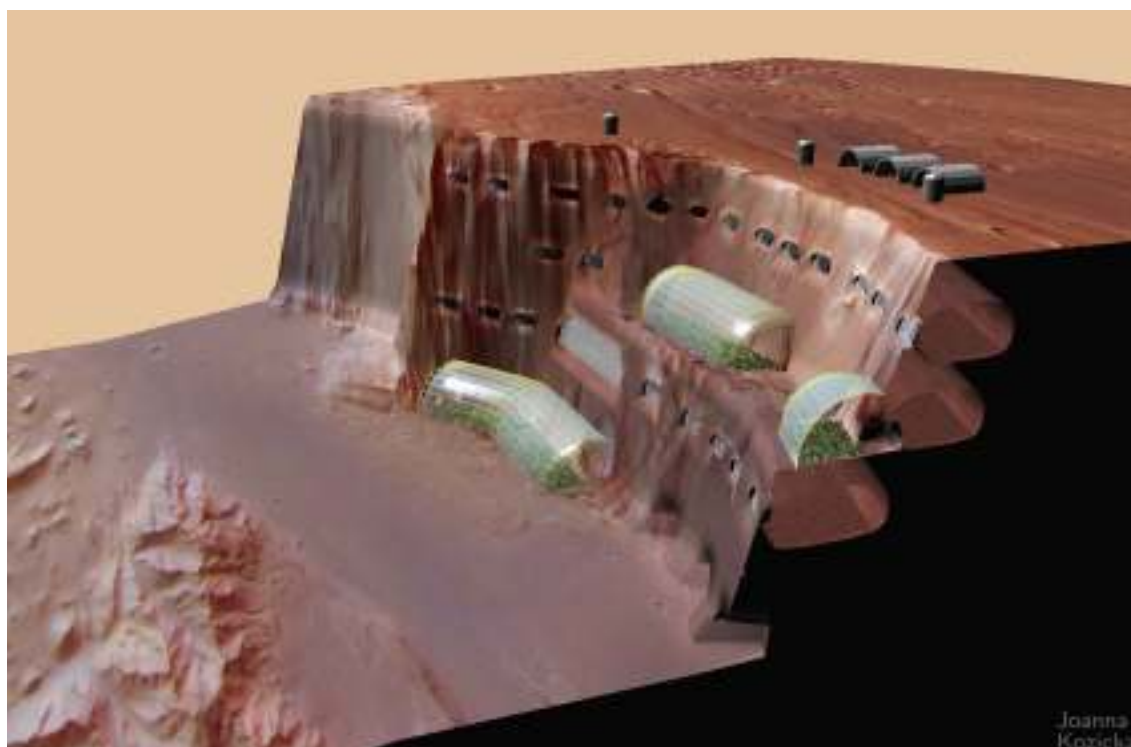


Rysunek 7.12: Koncepcja 5 – przekrój i opis

Koncepcja 5

- 1a – plan sieciowy, baza wielokondygnacyjna
- 2b – baza podziemna
- 3b – baza w skarpie
- 4dg – konstrukcje drążone i pneumatyczne
- 5be – przekrycie ze skał nad konstrukcjami drążonymi i usztywniane siecią spinającą dla konstrukcji pneumatycznych

W koncepcji 5 (Rys. 7.12, 7.13) baza zaprojektowana jest w stromym zboczu – skarpie. Uwzględnia się możliwość wyzyskania półek skalnych do zagospodarowania. Habitat wydrążony jest w skale blisko powierzchni skarpy, w której wycina się otwory okienne. Dzięki temu, że zbocze jest strome, można w nim wykonać wiele kondygnacji, które łączyć będą wspólne szyby komunikacyjne prowadzące do słuz wyjściowych. Aby umożliwić eksplorację zarówno terenu na szczycie skarpy, jak i u jej podnóża, proponuje się wyjścia na górze i na dole. Na górze wykorzystuje się do tego metalowe moduły, na dole zaś są to wycięcia w skale odpowiednio przystosowane do wykorzystywania na słuz. Wychodzi się z nich do jam wydrążonych w zboczu, w których trzymać można pojazdy marsjańskie. Także wykorzystywane mogą być na tymczasowe magazyny. U góry należy wykonać specjalne konstrukcje



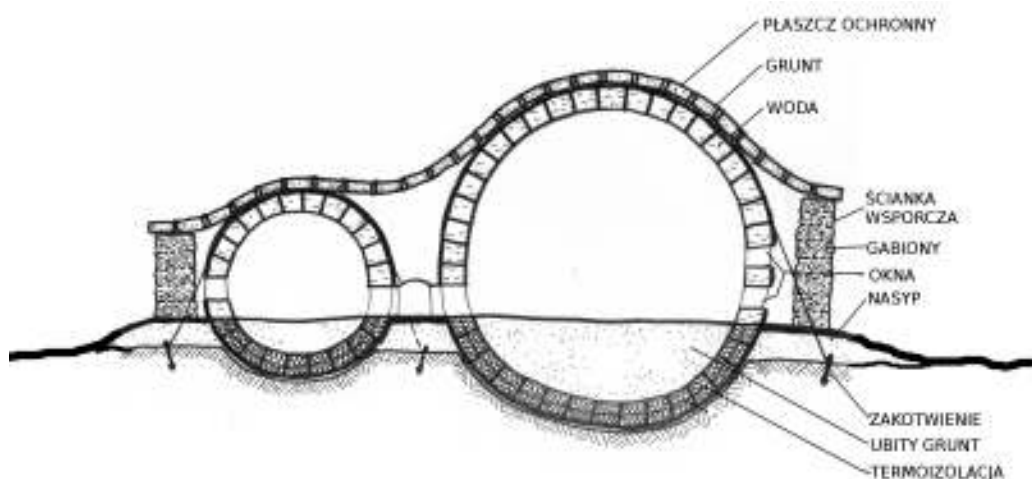
Rysunek 7.13: Koncepcja 5 – perspektywa

na garaże. Mogą to być np. hangary w formie sklepień o konstrukcji namiotowej, dające osłonę przed wiatrami i pyłem.

Baza chroniona jest przed szkodliwym promieniowaniem otaczającym górotworem. Jednocześnie nie jest pozbawiona naturalnego oświetlenia. Okna wycięte w skarpie wpuszczają słońce i dają widok na otaczający krajobraz. Okna uszczelniane są poduszkami powietrznymi, a większe otwory – ściankami lodowymi. U podnóża zbocza oraz na ewentualnych półkach skalnych proponuje się pneumatyczne szklarnie. Pomieszczenia mieszkalne wydrążone za nimi w skarpie mają wtedy okna wychodzące na ogród. Ponieważ konstrukcja habitatu drążona jest na wielu poziomach, lepiej jest wykorzystywać technologie górnicze nie wymagające ciężkiego sprzętu, który trudno byłoby przemieszczać między poziomami. Zaleca się zatem zastosowanie jednej z metod PCF. Warto jest wybrać taką lokalizację dla bazy, gdzie występują skały wytrzymałe, ale łatwo urabialne, najlepiej tufy. Do kruszenia bazaltów potrzebne byłyby materiały wybuchowe. Aby zapewnić stabilność drążonego górotworu, należałoby zachowywać bezpieczne odległości między kondygnacjami. Powoduje to, że byłyby one od siebie znacznie oddalone. Pokonywanie masy schodów między nimi byłoby dość wyczerpujące i zniechęcające do przemieszczania się między piętrami. Dlatego taka baza wymaga co najmniej kilku sprawnie działających wind.

Koncepcja 6

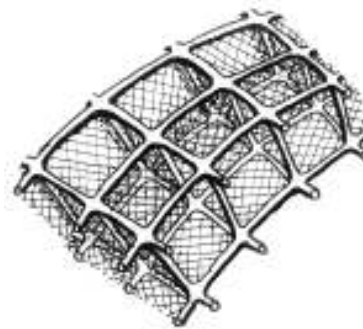
- 1c – duże moduły o planie otwartym połączone w silnie skupioną sieć
- 2a – baza naziemna
- 3e – baza w terenie płaskim
- 4d – konstrukcja pneumatyczna
- 5ac – przekrycie z gruntu i wody



Rysunek 7.14: Koncepcja 6 – przekrój z opisem



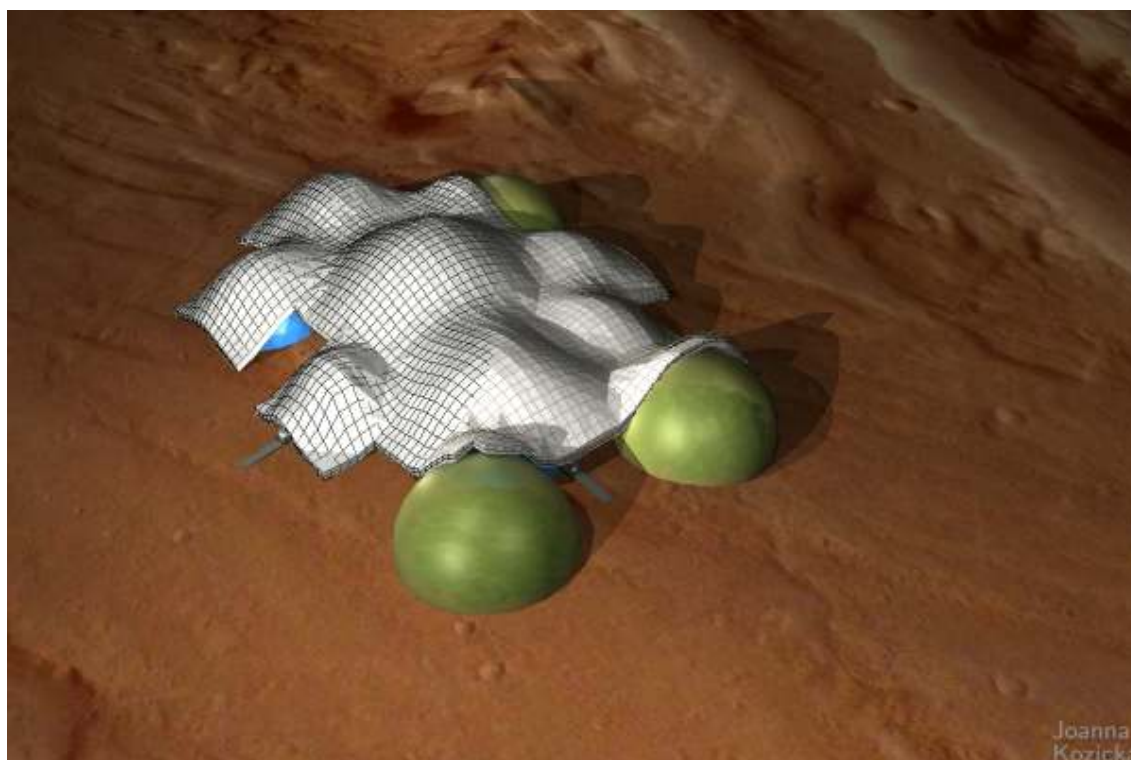
Rysunek 7.15: Koncepcja 6 – perspektywa 1



Rysunek 7.16: Koncepcja 6 – detal powłoki wodnej

W koncepcji 6 (Rys. 7.14, 7.15, 7.17) baza składa się z pneumatycznych kul różnych wielkości. Osadza się je w niedużych wykopach, następnie kotwi za pośrednictwem wytrzymałych lin, np. z kewlaru lub wektranu. Potem kule wypełnia się w środku gruntem do ustalonego poziomu podłogi. Podobnie dookoła usypuje się nasyp tak, by wyjście z bazy było na podobnym poziomie co podłoże na zewnątrz. Dopiero dalej byłaby rampa lub specjalnie przygotowana droga o niedużym nachyleniu. Na łączniki między kulistymi modułami proponuje się słuzy elastyczne.

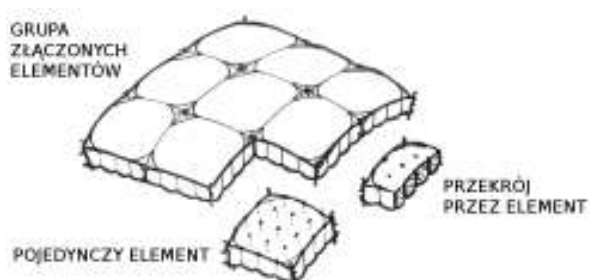
Każda kopuła ma konstrukcyjnie połączony z nią płaszcz sferyczny. Podziemna część tej okrywy wypełniana byłaby termoizolacją i ewentualnie uzupełniana gruntem. Jako termoizolacja dla grubej warstwy posłużyć mogłoby tworzywo sztuczne z pamięcią kształtu o strukturze porowatej, gąbczastej lub piankowej. Część naziemna wypełniana byłaby wodą, która pełniłaby funkcję ochrony przed szkodliwym promieniowaniem. Jednocześnie służyłaby jako awaryjny rezerwuuar wody użytkowej. Rys. 7.16 pokazuje detal objaśniający proponowaną strukturę. Jest to pneumatyczny szkielet z przegrodami z siatki. Do każdej tak ukształtowanej komory wkładałoby się kubiczny zbiornik z wodą izolowany termicznie lub zapakowaną bryłą lodu. Im większa kopuła, tym wypełnianie jej takimi pojemnikami byłoby bardziej żmudną pracą. Za to można niektóre komory pozostawiać puste tak, by przepuszczać światło słoneczne do wnętrza habitatu. Byłoby to szczególnie użyteczne dla kopuł mieszczących agrokulturę. Puste komory służyłyby również jako okna. Wcześniej na-



Rysunek 7.17: Koncepcja 6 – perspektywa 2

leży też przewidzieć miejsca lokalizacji drzwi, gdzie komorowa struktura byłaby przerwana na większy otwór przejściowy. Grubość wodnego płaszcza dopasowana musiałaby być do nośności konstrukcji oraz do zapotrzebowania na ochronę przeciwpromienną. Mimo że woda jest dostępna na Marsie, liczyć się trzeba z ograniczeniami związanymi z pozyskiwaniem jej w dużych ilościach. Z tego względu grubość omawianej tu powłoki również nie mogłaby być przesadzona w projekcie. Aby jeszcze polepszyć promieniochronność konstrukcji bazy, autorka proponuje dodatkową okrywą w postaci płaszcza ochronnego z gruntu. Detal na Rys. 7.18 pokazuje jego strukturę. Składa się on z kwadratowych poduszek wypełnianych gruntem. Stabilność wymiarów zapewniają wewnętrzne stężenia ze sznurków łączących górną i dolną powierzchnię worka w wielu punktach. Każdy element modularny posiada w narożach spinacze (Rys. 7.19) umożliwiające proste łączenie poduszek ze sobą. Modularność pozwala na przekrycie różnorako skonfigurowanych kul oraz na wykonanie luk na świetliki. Detal na Rys. 7.19 pokazuje szczegółowy przekrój przez poduszkę ziemną. Śliska folia zewnętrzna, np. z ETFE, zapewnia słabą przyczepność brudu, a przede wszystkim pyłu marsjańskiego. Można również przewidzieć dodatkową warstwę z demronu, który jeszcze bardziej wpływałby na promieniochronność płaszcza. Przekrycie urywać można by w dowolnym momencie, np. przy module z uprawami lub tuż nad powierzchnią terenu. Poduszki brzegowe mogą być wtedy podczepiane spinaczami do lin kotwiących daną kulę. Proponuje się, by był on przedłużany nad wejścia do bazy prowadzące przez śluzy zewnętrzne w postaci metalowych modułów. Płaszcz podpierany byłby na tym odcinku przez słupy z gabionów lub bloków skalnych. Dawałby też zadaszenie w pobliżu okien, by zmniejszyć ilość szkodliwych promieni docierających do otworu.

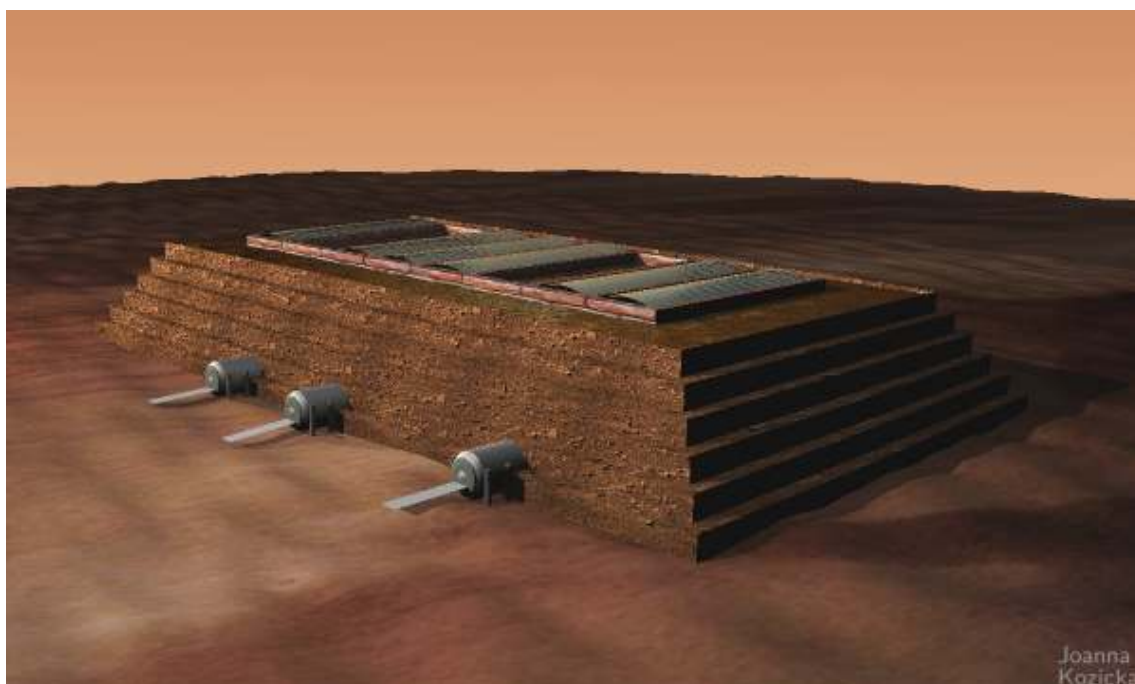
Jest to model bazy wyróżniający się bardzo dobrym rodzajem zabezpieczenia przed promieniowaniem kosmicznym i słonecznym. Kopuły o różnym rozmiarze pozwalają łatwo



Rysunek 7.18: Konceptcja 6 – detale płaszcza ochronnego



Rysunek 7.19: Konceptcja 6 – przekrój przez element płaszcza ochronnego z opisem



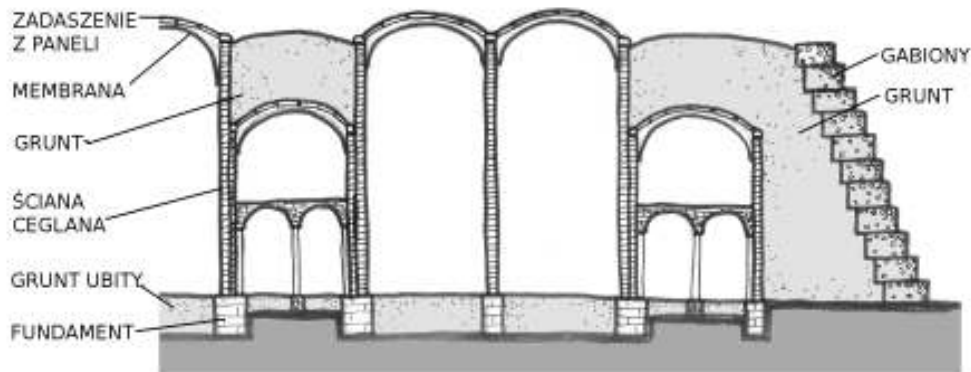
Rysunek 7.20: Konceptcja 7 – perspektywa

kojarzyć miejsce w bazie, w którym się w danym momencie znajduje. Jednocześnie z zewnątrz baza ma bardziej atrakcyjny kształt. W modelu wykorzystano kule w trzech rozmiarach. Prace ziemne są ograniczone poprzez wydobywanie mniej więcej takiej ilości gruntu, która wykorzystana jest później do zasypiania dna kul, wykonania nasypu wokół nich oraz do napełniania poduszek płaszcza ochronnego.

Konceptcja 7

- 1c – przestrzeń bytowa tworzy siatkę dookoła dużych przestrzeni z uprawami
- 2a – baza naziemna
- 3e – baza w terenie płaskim
- 4c – konstrukcje murowane
- 5ad – tereny upraw przekryte pneumatyczną powłoką z zadaszeniem z paneli, reszta przekryta gruntem

W koncepcji 7 (Rys. 7.20, 7.21) konstrukcja habitatu jest murowana. Użyć do jej



Rysunek 7.21: Koncepcja 7 – przekrój z opisem

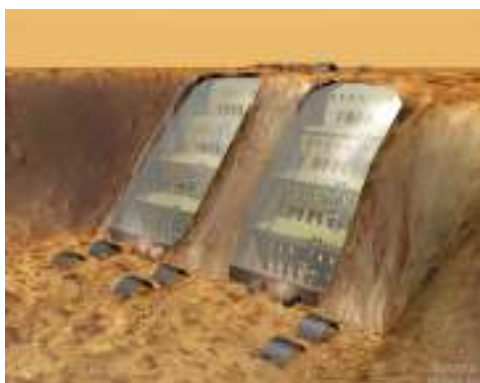
budowy można pocięte głązy, bloczki kamienne lub ceglane. Muruje się głównie proste pionowe ściany. Tylko do wykonania stropu w niektórych korytarzach stosuje się sklepienia kolebkowe (lub kopuły) o stosunkowo małej rozpiętości. Przekrycia dachowe przewidziano w postaci pneumatycznej uszczelniającej membrany chronionej przed uszkodzeniem mechanicznym za pomocą sklepień z paneli na brzegach przytwierdzonych do szczytów ścian murowanych. Błona jest przezroczysta, a panele wykonane również z transparentnego poliwęglanu. Zadaszenia nad terenami rolniczymi umieszczone są wysoko, zaś nad częścią mieszkalno-roboczą na tyle nisko, by kładzioną na nim warstwę gruntu wyrównała się z poziomem górnych świetlików. Grunt pełniłby tu rolę bariery dla promieniowania kosmicznego i słonecznego. Doświetlenie naturalne dla terenów upraw uzyskiwane byłoby poprzez górne świetliki, zaś dla części mieszkalno-roboczej poprzez okna wychodzące na ogród. Zewnętrzne ściany murowane ściśnięte są od zewnątrz warstwą regolitu w formie nasypu. Jego zbocze stabilizowane jest gabionami.

W modelu koncepcyjnym zaproponowano trzy przestrzenie z uprawami o różnym areale. Dookoła nich skupione są podłużne korytarze dwukondygnacyjne z pomieszczeniami mieszkalno-roboczymi. W ścianach wykonane są otwory okienne różnych wielkości pozwalające na obserwację terenów zielonych z pomieszczeń bytowych oraz wpuszczające nieco światła dziennego. Bazę wykonuje się na terenie płaskim. Oprócz zadaszeń i metalowych słuz wyjściowych oraz drucianych pojemników kaszycowych konstrukcja całkowicie wykonana jest z materiałów dostępnych na miejscu.

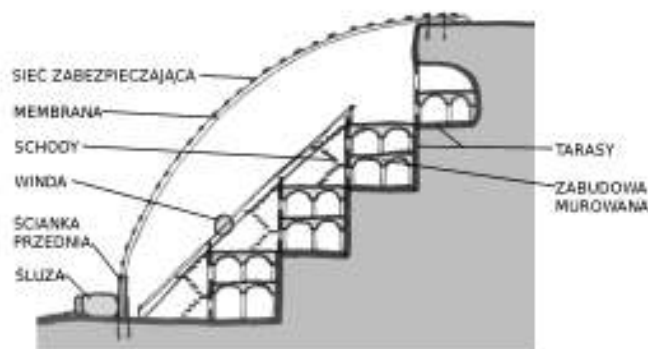
Koncepcja 8

- 1c – wielokondygnacyjny otwarty habitat tarasowy
- 2c – baza częściowo zakopana – wciśnięta w zbocze
- 3b – baza na zboczu
- 4cg – konstrukcje murowane stawiane w wydrążonym tarasowo zboczu
- 5e – zadaszenie pneumatyczne usztywnione siecią spinającą

W koncepcji 8 (Rys. 7.22, 7.23, 7.24) baza wykonana jest w zboczu. Na wybranym fragmencie wydrążone zostają skalne tarasy. Odślonięcie przekrywane jest szczelną transparentną powłoką. Jest ona przypięta na obwodzie poprzez zakotwienia, a przy podnóżu zbocza łączy się z metalową ścianą, do której przymocowane są metalowe słuz wyjściowe. Stabilność wymiarów napiętej pod wpływem wewnętrznego ciśnienia powłoki zapewnia sieć z mocnych lin kevlarowych również zakotwiona w zboczu. Podpięcie błony do siatki pozwa-



Rysunek 7.22: Koncepcja 8 – perspektywa 1



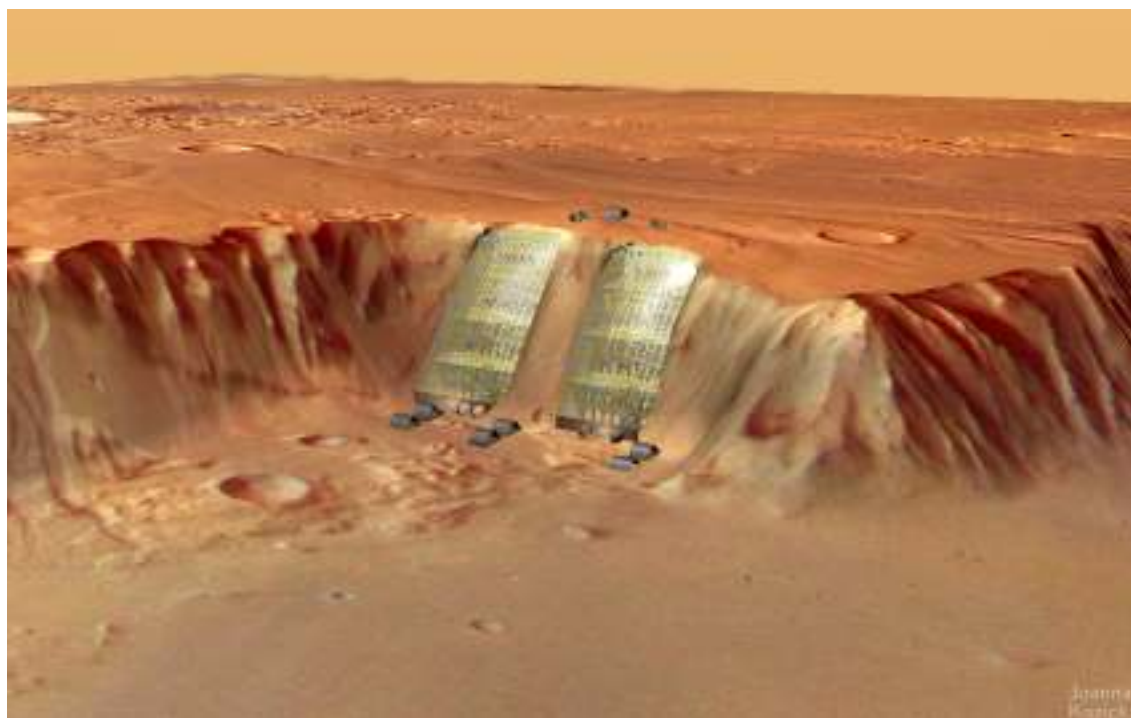
Rysunek 7.23: Koncepcja 8 – przekrój z opisem

łałoby na utrzymywanie się powłoki nawet w czasie większych wycieków gazów. Powłoka uszczelniająca wewnątrz bazy jest bardzo duża. Jednak ze względu na prosty, prostokątny kształt uszyć ją można dosyć prosto – w porównaniu np. z kopułą czy torusem. Łatwiej też jest ją rozpiąć w tym przypadku. Sieć z lin kewlarowych pozwala dobrze ją ścisnąć i usztywnić mimo dużej różnicy ciśnień.

Obok metalowej ściany znajdują się garaże w postaci wolnostojących sklepień na lekkim rozkładanym stelażu lub z pneumatycznymi żebrami. Przekrycie jest lekkie, powłokowe. Wyjście z bazy znajdować się może również na szczycie zbocza. Pozwala to na eksplorację otaczającego obszaru w różnych kierunkach. Wymaga jednak połączenia habitatu z podziemnymi tunelami prowadzącymi do śluz na szczycie zbocza. Najprawdopodobniej sprzęt pomocny przy rzeźbieniu tarasów nadawałby się również do wykonania tych korytarzy.

Na tarasach wznoszone są tradycyjne konstrukcje murowane. W zależności od kąta nachylenia zbocza tarasy będą mniej lub bardziej rozległe i wyższe lub niższe. Wpływać to będzie na optymalną ilość kondygnacji i szerokość budowli. W modelu zaprojektowano konstrukcje jednopiętrowe wzniesione na czterech poziomach (Rys. 7.23). Komunikację między tarasami zapewniają schody i windy. Schody zrobione są z konstrukcji rozkładającej się, wykonanej ze stopów z metali lekkich lub z wytrzymałego tworzywa sztucznego. Windy przesuwają się po pochylonych szynach opartych na krawędziach tarasów. Dźwig może mieć np. strukturę podobną do kuli zorbingowej lub być prostopadłościenną konstrukcją rozkładającą się z wstawianym panelem podłogowym i siatką zabezpieczającą po bokach i na suficie.

Stropodachy konstrukcji ceglanych stanowiłyby tarasową przestrzeń użytkową, wspólnotową oraz rozmieszczać by tam można szklarnie. Zbiorniki z wodą układane na powierzchni takiego tarasu tworzyłyby warstwę chroniącą przed promieniowaniem kosmicznym i słonecznym wnętrza domów. W razie braku takiego zabezpieczenia lub niewystarczającego stopnia jego promieniochronności, konieczne byłoby zaprojektowanie dodatkowego schronu, najlepiej głęboko wewnątrz zbocza lub w specjalnie przygotowanym osobnym budynku na czas wybuchów na Słońcu. Ze względu na uszczelnienie całej przestrzeni pod powłoką, tradycyjne wznoszenie konstrukcji murowanych przy użyciu mokrej zaprawy nie byłoby problemem. Konstrukcje murowane, jako bardziej tradycyjne ziemskie budowle, zmniejszałyby poczucie tęsknoty za domem i znajomą codziennością. Jednak wydrążenie komór mieszkalnych w tarasach skalnych mogłoby zapewnić lepszą ochronę przed promieniowaniem. Wtedy też każdy taras mógłby być uszczelniony osobną powłoką. W takim przypadku roz-



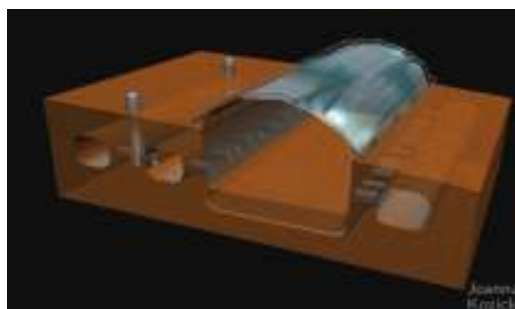
Rysunek 7.24: Konceptja 8 – perspektywa 2

szczelnienie wiązałoby się z ewakuacją ludzi tylko z fragmentu bazy a nie z całości. Choć wtedy większa byłaby separacja na strefy w habitacie. Jedna duża przestrzeń zapewnia lepsze kontakty społeczne.

Konceptja 9

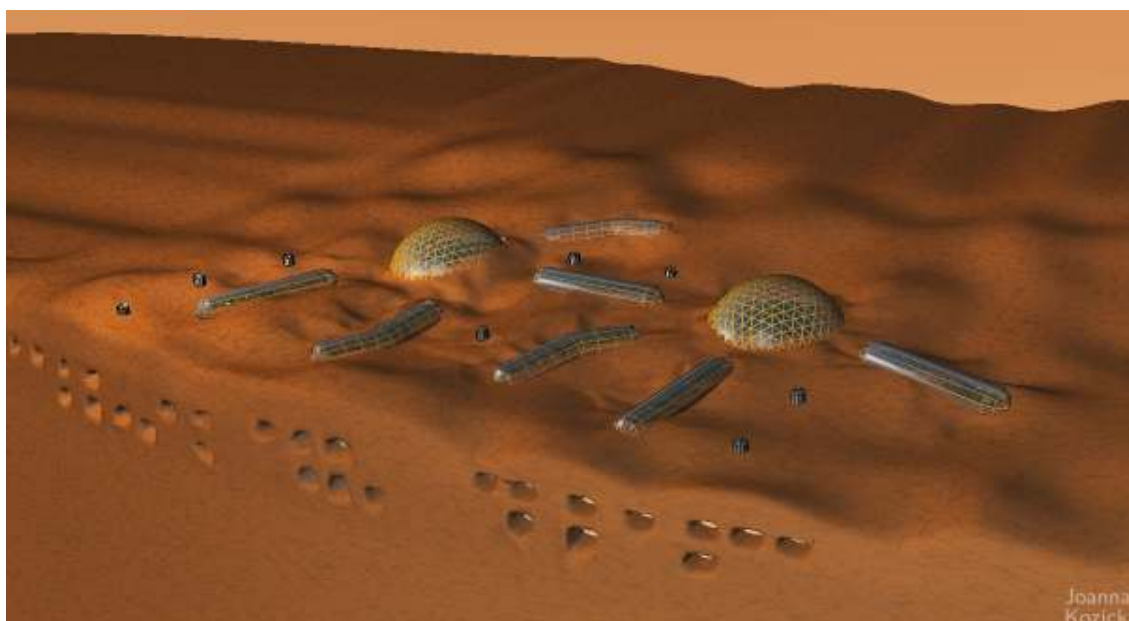
- 1a – plan tworzący złożoną sieć
- 2b – baza podziemna
- 3bce – baza zlokalizowana częściowo w zboczu, częściowo w małych kraterach i częściowo na terenie płaskim
- 4dg – konstrukcje drążone i rozszerzalne
- 5bd – zadaszenie ze skał ponad konstrukcjami drążonymi oraz pneumatyczne podczepiane do konstrukcji rozkładającej się z ułożonymi na niej panelami

W koncepcji 9 (Rys. 7.25, 7.26) baza ma skomplikowaną konstrukcję. Do jej budowy wykorzystuje się różne rozwiązania architektoniczne, co ma służyć wyzyskaniu terenu i stworzeniu przestrzeni o różnym charakterze. W małym kraterze lub specjalnie wykonanym okrągłym wykopie lokalizowana jest duża, otwarta, dobrze oświetlona słońcem przestrzeń. Przekrywana jest ona samorozkładającą się kopułą Hobermana z podwieszoną powłoką uszczelniającą. Na szkieletcie układane mogą

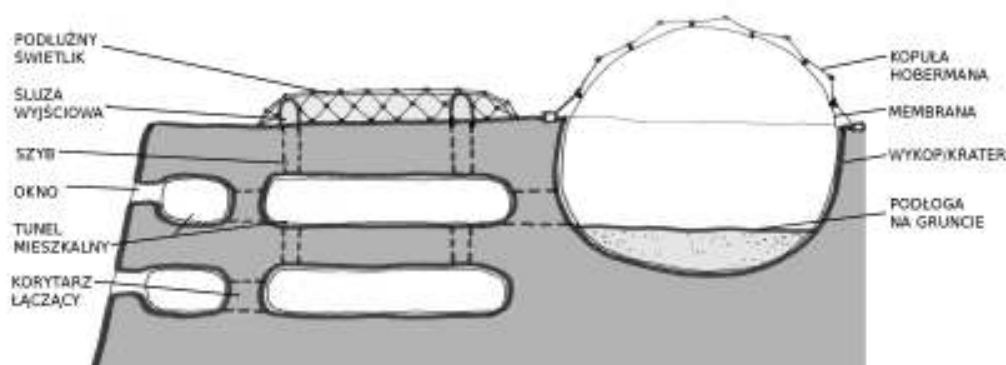


Rysunek 7.27: Konceptja 9 – wewnątrz podziemnej konstrukcji

być przezroczyste panele chroniące błonę przed uszkodzeniami mechanicznymi, o ile to ko-



Rysunek 7.25: Konceptcja 9 – perspektywa



Rysunek 7.26: Konceptcja 9 – przekrój z opisem

nieczne. Dno zagłębienia terenu zasypywane ma być gruntem poziomującym. Ze względu na bardzo dobre oświetlenie i dużą wysokość przestrzeni pod kopułą zalecane jest, by teren ten zarezerwować na uprawy, przede wszystkim wysokich roślin, np. palm bananowych, które szczególnie dobrze się przyjęły w Biosphere 2 i dawały tam obfity plon w postaci bardzo lubianych, wysoko kalorycznych i zdrowych owoców. Tutaj również zaprojektować można teren sportowy czy pod inną formę rekreacji. Podłużne zagłębienia terenu, naturalne lub wykopane, również mogą mieścić tereny zielone. Pod ziemią po ich bokach proponuje się wydrążenie podłużnych tuneli użytkowych z oknami wycinanymi w zboczach rowów. Okna dawałyby widok na ogród i wpuszczałyby światło słoneczne do podziemnych pokoi. Ponad rowami rozpinana byłaby membrana i podłużna konstrukcja rozkładająca się jako ruszt dla paneli z poliwęglanu (Rys. 7.27). Podziemne korytarze łączyłyby ze sobą tunele w rozbudowany system sieciowy. Pionowe szyby prowadziłyby do powierzchniowych śluz wyjściowych oraz w dół – do niższych poziomów użytkowych, które ze względu na brak oświetlenia naturalnego przeznaczone byłyby przede wszystkim na magazyny, pomieszczenia techniczne, warsztaty, manufaktury itp. Część tuneli poprowadzona mogłaby być wzdłuż zbocza kanionu tak, by wycięcia w nim wykonane pełniły rolę okien. Ze względu

na małą głębokość umiejscowienia komór mieszkalnych pod powierzchnią, musiałyby one być izolowane termicznie. Wykonanie perforacji w zboczu, pełniącego rolę ściany zewnętrznej habitatu, wymusza uszczelnienie całych korytarzy lub przynajmniej otworów okiennych. Okna zatkałe mogłyby być poduszkami pneumatycznymi dociskającymi się ściankami do nierówności w wyciętej skale oraz zakotwionymi w niej za pośrednictwem sieci spinających. Używając przezroczystej membrany zapewnić można dobrą widoczność. Natomiast starając się zapewnić lepszą ochronę przed promieniowaniem, otwory można wypełnić bryłami lodu. Niestety przepuszczałyby one wtedy tylko część światła słonecznego i zniekształcałyby obraz otoczenia.

Zasadniczo w budowie tego typu bazy wykorzystywane są głównie konstrukcje drążone, które, choć odmienne w formie, wymagają tego samego sprzętu górniczego. Zadaszenia są dwojakiego typu: kopuły i walce. Ich montaż jest bardzo prosty i szybki, gdyż wykorzystuje się tu przegubowe konstrukcje rozkładające się. Odmienność wrażeń w różnorodnie ukształtowanych przestrzeniach wpływać będzie na atrakcyjność bazy i zaburzać będzie monotonię zamkniętego ograniczonego środowiska życia w warunkach ekstremalnych. Mieszkańcy będą mogli wybrać, czy chcą mieć pokój z widokiem na zielony ogród, czy na krajobraz marsjańskiego kanionu. Czas wolny spędzać będą mogli na dość dużej otwartej przestrzeni pod kopułą, gdzie nie ma uczucia klaustrofobii. Model prezentuje dość dużą bazę, ale można też zaprojektować habitat z jedną kopułą i np. z dwoma tylko ciągami tuneli z przezroczystym zadaszeniem oraz krótki odcinek tuneli wzdłuż skarpy na jednej kondygnacji.

Rozdział 8

Koncepcyjny projekt bazy na Marsie jako habitatu w warunkach ekstremalnych

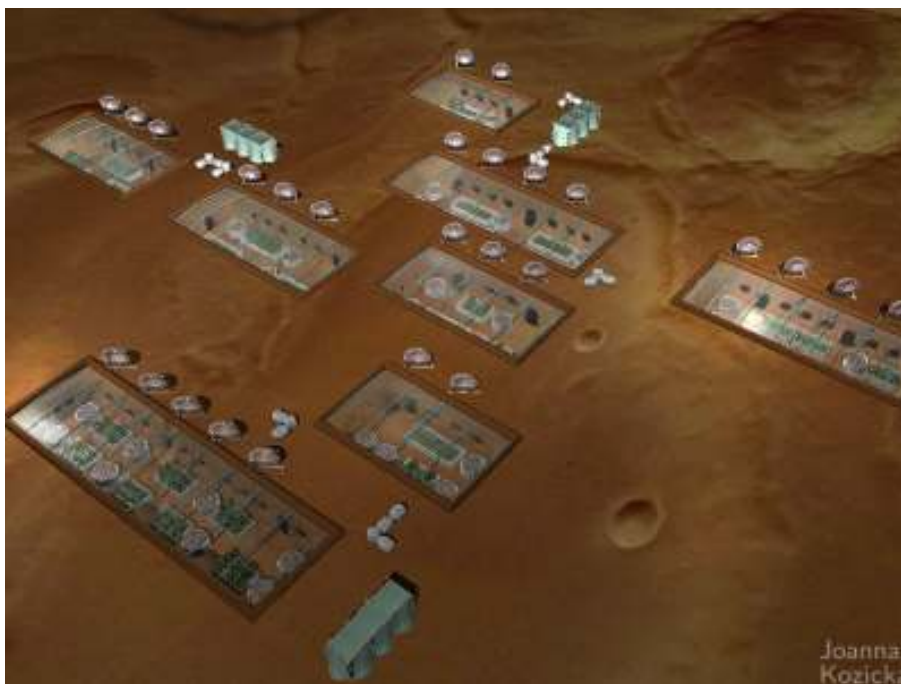
Spośród modeli zaprezentowanych w rozdziale 7 na bardziej szczegółowy projekt bazy marsjańskiej została wybrana koncepcja 3. W tym założeniu architektonicznym baza składa się z grupy oranżerii powiązanych ze sobą w układ sieciowy. Dookoła każdej oranżerii są podziemne konstrukcje mieszkalno-robocze. Prowadzą do nich pionowe szyby. Na powierzchni kończą się one w małych modułach z pomieszczeniami przygotowań do wyjścia na zewnątrz oraz śluzami. Tuż obok zlokalizowane są garaże (Rys. 8.1).

Koncepcję 3 wybrano z różnych powodów. Proponowana baza jest niezależna od ukształtowania terenu. Domyślnie zlokalizowano ją w terenie płaskim, ale wykorzystywać można również istniejące naturalne zagłębienia terenu (choć baza miałaby wtedy strukturę mniej regularną). Konstrukcje drążone proponowane są także w innych modelach autorki, tak więc wybrano koncepcję reprezentatywną. Ukształtowanie terenu i warunki geologiczne w miejscu lokalizacji bazy wpływać mogą na ustawienie oranżerii względem siebie oraz sposób połączeń podziemnych tuneli. W wyniku tego powstaje nieregularny, bardziej malowniczy obraz całego założenia architektonicznego (choć oczywiście wchodzi w grę regularny, bardziej uporządkowany układ sieciowy w dogodnych warunkach).

Wydaje się, że rozwiązanie technologiczne propagowane w tej koncepcji jest stosunkowo ekonomiczne. Autorka dochodzi do takiego wniosku, ponieważ wykorzystuje się tu miejscowy górotwór jako konstrukcję bazy zamiast sprowadzania dużej ilości materiałów budowlanych czy gotowych modułów z Ziemi. Następnie, wybrano technologię wielokrotnego użytku, która pozwoli bazie rozrastać się bez konieczności uzyskiwania znacznej pomocy z Ziemi. Raz sprowadzony sprzęt może być wykorzystywany wiele razy (Kozicka 2007).

Baza tworzy spójny kompleks równoprawnych jednostek architektonicznych w postaci zagłębienia terenu z agrokulturą i podziemnego pierścienia tuneli mieszkalno-roboczych. Taki pojedynczy twór może być samowystarczalny i niezależny oraz samodzielnie tworzyć habitat, jeśli mieści wszystkie potrzebne funkcje. Kompleks takich jednostek pozwala jednak na zapewnienie lepszej komunikacji, podziału na funkcje i zróżnicowania przestrzeni w bazie, a awaria w jednym tworze nie zagraża egzystencji całego habitatu.

Ukrycie habitatu pod ziemią zapewnia bardzo dobrą ochronę przed szkodliwym promieniowaniem, zewnętrznymi warunkami pogodowymi oraz uszkodzeniem mechanicznym konstrukcji. Jednocześnie zapewnione jest dobre oświetlenie naturalne dzięki oranżeriom



Rysunek 8.1: Perspektywa całości założenia architektonicznego projektowanej bazy marsjańskiej

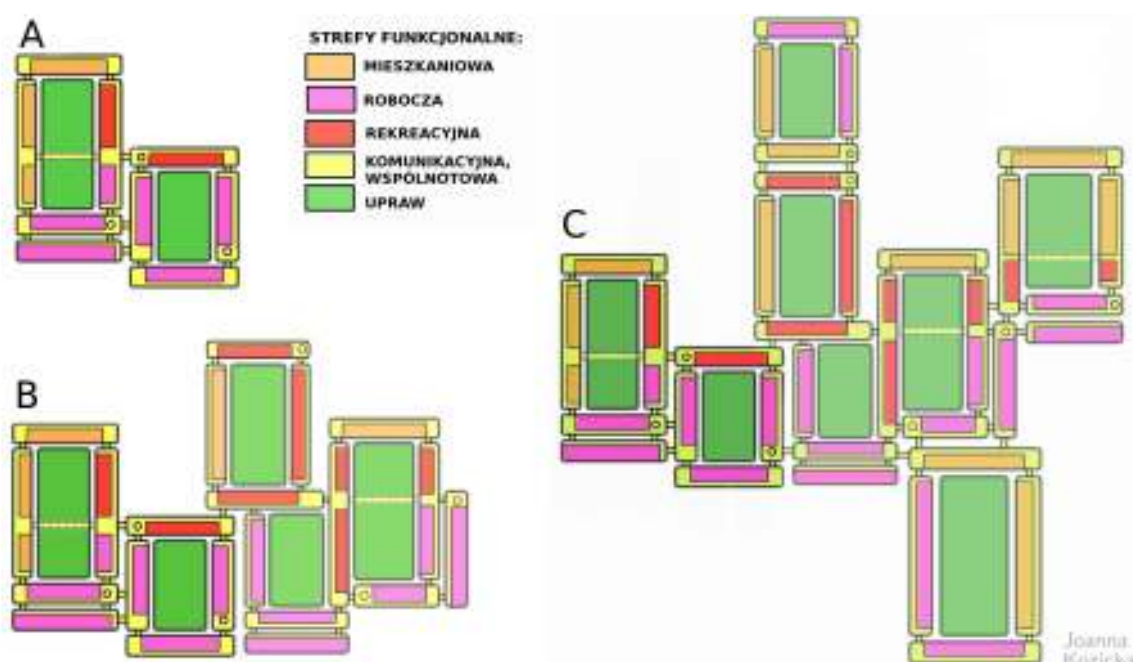
pod przezroczystym dachem i systemowi zwierciadeł zwiększających natężenie promieni słonecznych docierających do wnętrza habitatu.

Koncepcja ta ma wiele zalet. Podkreślić jednak należy, że wykonanie jej będzie możliwe pod warunkiem lepszego poznania geologii Marsa (np. dzięki badaniom gruntu na większych głębokościach w ramach przyszłych misji bezzałogowych planowanych przez NASA i ESA) oraz symulacji prowadzenia prac górniczych w górotworze marsjańskim.

Funkcja

W koncepcji 3 prezentowanej jako przykładowy model bazy marsjańskiej pokazano dość duże założenie architektoniczne. Jest to rozbudowana jednostka osiedleńcza o dużej przestrzeni użytkowej, w której mieszkać i pracować może co najmniej kilkadziesiąt osób. Na Rys. 8.2 pokazane są rzuty takiej bazy podziemnej w kolejnych etapach rozrostu. W pierwszej fazie zaproponowano dwie oranżerie z otaczającymi je dookoła tunelami podziemnymi. W drugim etapie przewiduje się wydrążenie kolejnych trzech takich elementów architektonicznych, zaś w trzecim – jeszcze trzech następnych. Odpowiednimi kolorami zaznaczone są różne strefy funkcjonalne. Jest to przykładowa propozycja, która pokazuje, jak w przemyślany sposób można tak prowadzić podział na funkcje, by mimo rozrostu bazy nie dochodziło do konfliktowych połączeń. Główne szlaki komunikacyjne prowadzące do tuneli mieszkalnych oraz roboczych prowadzą przez strefy rekreacyjne. Nigdy w jednym tunelu nie lokalizuje się jednocześnie mieszkańców i miejsc pracy. Przestrzenie przeznaczone na stały pobyt ludzi mają okna dzięki temu, że zlokalizowane są dookoła oranżerii. Tylko tunele zaprojektowane na magazyny, pomieszczenia techniczne i pomocnicze przy miejscach pracy są pozbawione dziennego oświetlenia.

Rzuty przedstawiają schematyczny zarys układu funkcjonalnego. Tylko szczegółowe obliczenia pozwolą określić proporcje udziału każdej funkcji w habitacie. Dotyczyć one



Rysunek 8.2: Rzuty z zaznaczonym kolorem układem funkcjonalnym ilustrujące sposób powiększania się bazy: A – pierwszy etap, B – drugi etap, C – trzeci etap



Rysunek 8.3: Forma bazy na powierzchni terenu

będą m. in.: ilości i rodzaju miejsc pracy (np. laboratoria, manufaktury) oraz wielkości zlokalizowanego w oranżeriach areału BIO LSS zapewniającego tlen, czystą wodę i żywność dla danej liczby mieszkańców. W projekcie koncepcyjnym autorki oranżerie mają różną wielkość, co ma wpływać na lepszą orientację w przestrzeni habitatu oraz zapewnia większe urozmaicenie sztucznego środowiska życia.

Forma

Baza to struktura podziemna. Oranżeria to sztuczne regularne zagłębienie terenu o rzucie prostokątnym. Dookoła niej tunele podziemne tworzą podłużne sklepienia z otworami na okna i drzwi. Na powierzchni terenu widać tylko łukowato wybrzuszone zadaszenia nad oranżeriami (Rys. 8.3) oraz słupy wyjściowe i hangary z garażami.

Konstrukcja

Baza zlokalizowana jest na terenie względnie płaskim. Nie wymaga wyrównywania podłoża czy oczyszczania go z kamieni, ponieważ konstrukcja wykonywana jest pod ziemią. Wygła-

dzenie terenu konieczne będzie wyłącznie na potrzeby pojazdów marsjańskich do obsługi bazy.

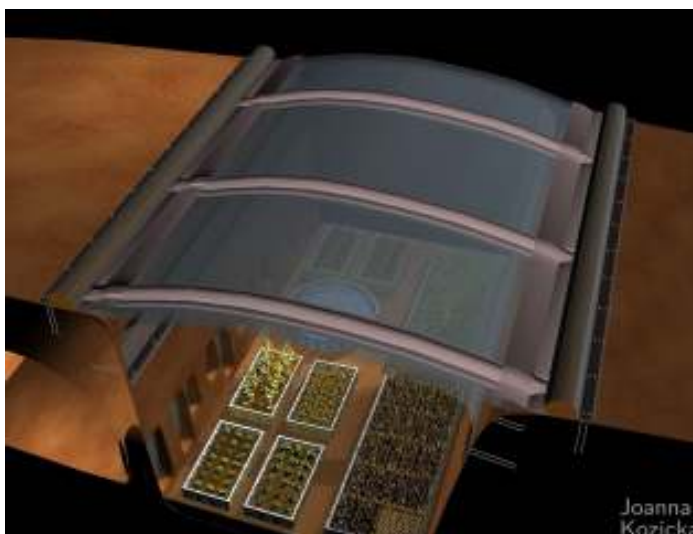
Główną technologią budowlaną stosowaną do wykonania bazy są górnicze techniki drążenia. Zakłada się, że na miejscu występują wytrzymałe zwarte skały pochodzenia wulkanicznego, takie jak bazalty, andezyty lub tufy. Jako że powierzchnia Marsa ukształtowana jest w znacznej mierze przez procesy wulkaniczne, szansa na znalezienie stanowiska z tego typu skałami jest bardzo duża. Bazalty i andezyty to skały trudno urabialne i do ich drążenia najlepiej byłoby użyć materiały wybuchowe. Tufy można byłoby urabiać przy pomocy mniej inwazyjnych dla środowiska skalnego metod. Jednak występowanie tych skał na Marsie, choć pośrednio potwierdzone, dotyczy tylko niewielkich obszarów planety. Jako że są to skały bardzo zwarte, zakłada się, że precyzyjnie wykonany tunel będzie miał sklepienie samonośne, nie wymagające obudowy. Specjalnie w tym celu wybrano przekrój zaoblony, a nie prostokątny, który bezwzględnie wymaga podpór.

Im mniejsza warstwa pyłu powierzchniowego, tym płycej może być osadzona baza. Daje to różne korzyści: mniej prac przy wyrobisku będzie należało wykonać, mniej urobku będzie trzeba przetransportować z wyrobiska, dno oranżerii będzie mniej zacienione, droga do wyjścia na powierzchnię będzie krótsza i mniej męcząca.

Baza składa się z wyrobisk dwojakiego typu: odkrywek o stosunkowo dużej powierzchni na rzucie prostokąta oraz podziemnych sklepiennych tuneli. Odkrywkę, jako sztuczne zagłębienie terenu, najłatwiej jest wykonać poprzez rozsadzanie konturowe. Zapewni ono szybkie wykonanie elementu drążonego o gładkich ścianach, przy najmniejszym nakładzie pracy. Wąskie szyby poprowadzone zostaną w sąsiedztwie odkrywek jako wejścia do tuneli podziemnych, wykonywanych jako następne w kolejności. Tunele w projekcie mają przekrój w kształcie sklepienia o wymiarach ok. 5,5m x 8m i różnej długości, dopasowanej do rzutu odkrywki. Tunele schowane są za zboczami zagłębienia odkrytego. Muszą być one drążone w bezpiecznej odległości od ścian zboczy, by nie nastąpiły popęknięcia. Jednocześnie powinno się starać wykonać je jak najbliżej otwartej przestrzeni, skąd ma dochodzić do podziemnych wewnątrz światło słoneczne przez otwory okienne. Z tych powodów do drążenia tuneli powinno się użyć mało inwazyjnych dla środowiska geologicznego metod górniczych, a jednocześnie również skutecznych. Proponuje się zatem wykorzystanie metody PCF, np. kardoks. W metodzie tej potrzebne są nabojnice wielokrotnego użytku (sprowadzane z Ziemi jednorazowo) oraz dwutlenek węgla, którego na Marsie jest pod dostatkiem. Mógłby być on pobierany z atmosfery i sprężany lub ładowany jako śnieg (jeśli jego pokłady byłyby dostępne w pobliżu bazy). Wreszcie wywiercane byłyby w zboczu otwory okienne i drzwiowe wg projektu w odpowiednio wyznaczonym rozstawie.

Na tym kończyłyby się prace drążone. W tym momencie należałoby uszczelnić wykonaną przestrzeń otwartą w górotworze. W zależności od zwarteści miejscowych skał konieczne byłoby uszczelnienie albo samego wyrobiska odkrywkowego od góry, albo wszystkich tuneli dookoła. Na Marsie spodziewana jest duża zwarteść skał, więc wycieki gazów powinny być niewielkie. Zakłada się zatem ze względów ekonomicznych wykonanie tylko szczelnego zadaszenia w postaci przezroczystej powłoki. Wydrążone i uszczelnione przestrzenie podziemne można wtedy napełnić sztuczną atmosferą i rozpocząć zagospodarowywanie.

Rysunek 8.4 przedstawia zbliżenie fragmentu przekrycia oranżerii. Na Rys. 8.5 i Rys. 8.6 pokazane są detale przekrycia agrokultury. Jest to zadaszenie pneumatyczne składające się z dwóch płaszczy. Pierwszy z nich, dolny, stanowi samodzielna membrana uszczelniająca, której głównym zadaniem jest nieprzepuszczanie gazów i wilgoci ze sztucznej atmosfery. Może to być np. folia z PCTFE. Jej dodatkowa zaleta to bardzo wysoka wytrzymałość na

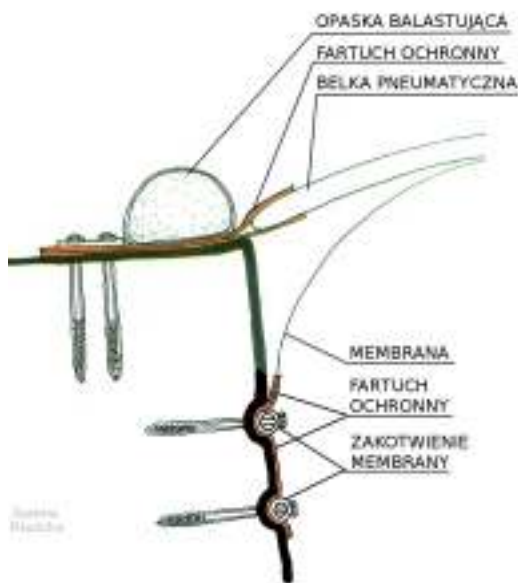


Rysunek 8.4: Fragment zadaszenia oranżerii w zbliżeniu

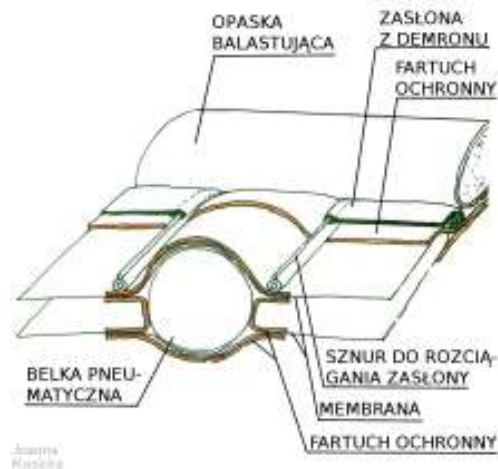
przebicie. Wzmocnienie włóknem szklanym dawałoby jej lepszą wytrzymałość na rozciąganie, rozerwanie i ścieranie, choć ograniczyłoby częściowo przenikanie promieni słonecznych do wnętrza. Szczegółowe obliczenia wytrzymałościowe przy uwzględnieniu wybranego dla agrokultury ciśnienia atmosfery, dałyby odpowiedź na pytanie, czy wystarczy grubsza membrana z PCTFE lub paruwarstwowa błona (też np. z inną folią o większej wytrzymałości na rozciąganie, np. PI), czy też konieczne byłoby zastosowanie kompozytu.

Drugi płaszcz przekrycia agrokultury stanowi płaszcz górny składający się z pneumatycznych żeber i paneli między nimi rozciągniętych. Żebra rozmieszczone są w regularnym rozstawie. Napełnia się je mieszkanką gazów usztywniających je. Panele tworzą dwie membrany rozdzielone pustką. Pustkę napełnia się atmosferą o wartości pośredniej między wielkością ciśnienia marsjańskiego a wewnętrznego habitatu. W ten sposób folia płaszcza dolnego będzie mniej nadwyrężona. Żebra i panele są ze sobą na stałe połączone. Płaszcz stanowi wtedy jedną całość, długością dopasowaną do konkretnej oranżerii w bazie. Dzięki zintegrowanej strukturze jest on łatwiejszy w montażu na miejscu i istnieje mniejsza szansa jego rozszczelnienia w miejscach połączeń. Folie paneli zgrzewane są ze sobą i z żebrzem, osobno górna i osobno dolna warstwa, jak widać na detalu na Rys. 8.6. Miejsca połączeń zabezpieczone są przez fartuchy ochronne z bardziej wytrzymałego, ale za to nieprzezroczystego, materiału. Błony paneli powinny być wykonane z materiału jednocześnie spełniającego wiele wymagań: przezroczystego, wytrzymałego na przebicie, rozciąganie, ścieranie, trudno brudzącego się i antystatycznego. Musi on bowiem wytrzymywać naprężenia spowodowane sztuczną atmosferą oraz w jak najmniejszym stopniu oddziaływać z pyłem marsjańskim. Dodatkowo materiał ten powinien być odporny na działanie promieniowania UV. Najlepszym kandydatem wydaje się tu być ETFE.

Oba płaszcze byłyby zakotwiane w podłożu. Membrana uszczelniająca na odpowiednim fragmencie byłaby wzmacniana fartuchem ochronnym na całym obwodzie oranżerii. W tym właśnie pasie przykładany byłby płaskownik z parami otworów o regularnym rozstawie. Przez otwory przetykane byłyby śruby kotwiące. Wkręcane byłyby one głęboko w ścianę zbocza we wcześniej wykonany otwór wiertniczy. Kotwy byłyby prętami w środku pustymi i z szeregiem otworków. Struktura ta miałaby za zadanie pozwalać na wtryskiwanie żywicy. Żywica wypełniałaby niewielkie przerwy między ściankami otworu wiertniczego a śrubą.



Rysunek 8.5: Detal zakotwienia przekrycia oranżerii



Rysunek 8.6: Detal ukształtowania płaszcza górnego przekrycia oranżerii

Odpowiedzialna byłaby ona za zespojenie śrub ze skałą i wzmocnienie zakotwienia. W podobny sposób zakotwiony byłby płaszcz górny, ale na płaskiej powierzchni terenu dookoła odkrywki. Dodatkowo byłby on na obwodzie zbalastowany opaską w postaci długich worków z regolitem. Detal zilustrowany jest na Rys. 8.5.

Folie obu płaszczy byłyby wykonane z folii, w których składzie chemicznym występują dość lekkie pierwiastki. Dawałyby one pewne zabezpieczenie przed szkodliwym promieniowaniem. W celu lepszej ochrony terenów agrokultury można rozciągać na płaszczu górnym zasłony z demronu. Ponieważ demron jest nieprzezroczysty, zasłony używane byłyby tylko tymczasowo, w czasie największego zagrożenia.

Wejście do bazy prowadziłoby przez metalowe moduły ze śluzami. Byłyby to puste statki transportowe, w których wcześniej przywiezione zostały z Ziemi elementy i sprzęt potrzebne do wznoszenia bazy. W pobliżu śluz ustawiane byłyby garaże. Stanowiłyby je hangary o konstrukcji pneumatycznej usztywnianej przekrywane powłoką chroniącą przed pyłem marsjańskim.

Wnętrza

Baza składa się z przestrzeni dwojakiego typu: dobrze oświetlonych rozległych odkrytych zagłębień terenu oraz dobrze chronionych przed promieniowaniem tuneli podziemnych. Pierwszy rodzaj przestrzeni polecany jest do zagospodarowania na oranżerię dla roślin uprawnych, drugi – na przestrzeń użytkową dla ludzi przeznaczoną na stały ich pobyt (Rys. 8.7).

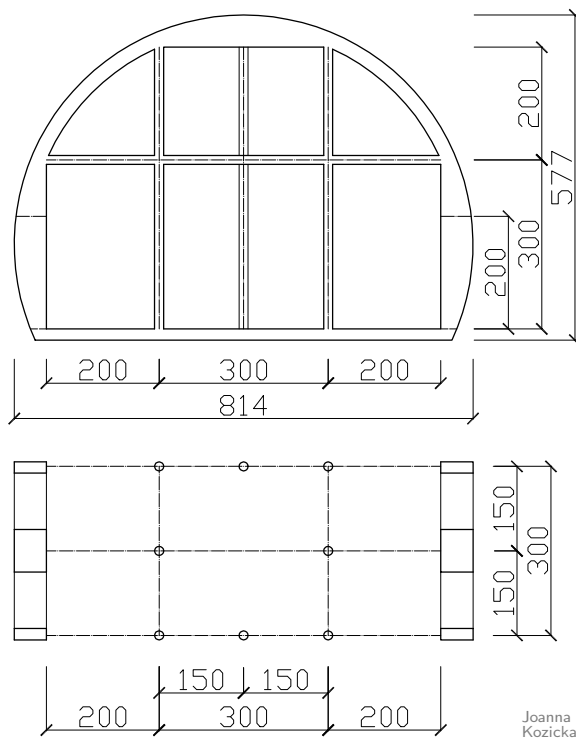
W oranżeriach rozkłada się kultywatory w postaci podłużnych, niezbyt głębokich pojemników, które wypełniać się będzie gruntem uprawnym. Pojemniki kultywatorów miałyby szkielet pneumatyczny, ewentualnie dodatkowo usztywniane: żywicą, nadmuchiwanymi przeponami lub sznurami. Przestrzenie między belkami szkieletu zamykane są błonami i siatką. Mniejsze kultywatory przeznaczone są pod uprawę warzyw i krzewów owocowych, większe zaś – dla zbóż. Cylindryczne pojemniki służyć by mogły jako magazyny wody, stawy hodowlane dla ryb czy nawet baseny kąpielowe. Możliwość kąpieli, pływania znacz-



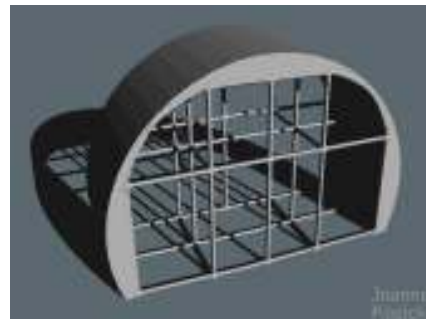
Rysunek 8.7: Zbliżenie na fragment jednego z ogrodów bazy z widocznymi kultywatorami roślin uprawnych i zbóż oraz zbiornikiem wodnym



Rysunek 8.8: Widok z ogrodu na okna pomieszczeń habitatu z wglądem do środka



Rysunek 8.9: Przekrój i rzut modułu z SMP z przybliżonymi przykładowymi wymiarami



Rysunek 8.10: Pojedynczy moduł z SMP

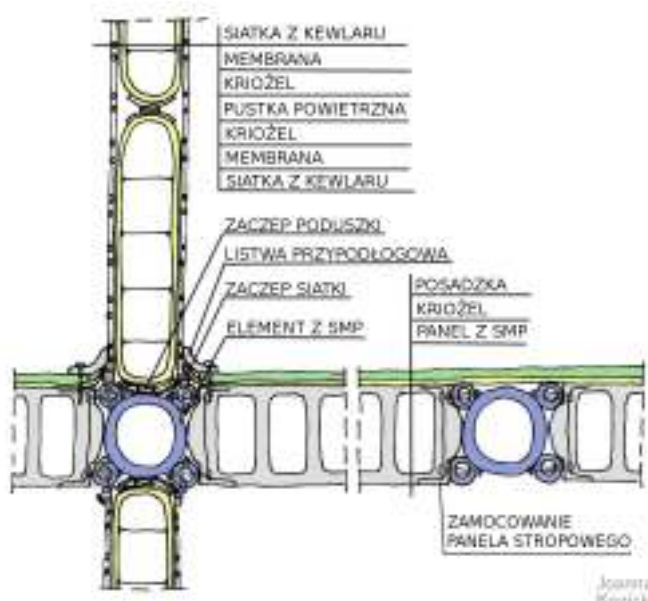


Rysunek 8.11: Szereg ustawionych w tunelu modułów z SMP

nie podniosłaby komfort bazy. Otwory okienne i drzwiowe wydrążone w zboczu dawałyby widok na zielony ogród z pomieszczeń użytkowych habitatu (Rys. 8.8).

W części użytkowej dla ludzi ustawiane byłyby moduły z SMP (Rys. 8.10, Rys. 8.11). Moduł taki pełniłby dwie podstawowe funkcje: „wyprostowywałby” zaoblenia sklepienia drążonego tunelu, umożliwiając prostsze zagospodarowywanie wnętrza przy wykorzystaniu elementów powtarzalnych oraz tworzyłby szkielet do zamocowywania fleksybilnych przegród. Zakłada się, że moduł ma ok. 814cm x 577cm x 315cm i kształt dopasowany do przekroju tunelu podziemnego, jak pokazane jest na Rys. 8.9. Słupki i belki poziome dzielą moduł na sześć części: trzy dolne i trzy górne. Dolne mają wysokość ok. 3m, górne – maksymalnie ok. 2m. Na dole są zasadnicze części użytkowe. Dwie boczne części górne domyślnie przeznaczone są na ciągi instalacyjne. Środkowa górna kubatura przeznaczona być może na niskie piętro, antresolę lub stanowić podwyższony sufit parterowej kondygnacji środkowej. W projekcie przewiduje się, że jedna z bocznych dolnych części pełnić będzie funkcję korytarza komunikacyjnego, zaś druga boczna oraz środkowa część zagospodarowane będą na pomieszczenia mieszkalne, robocze i rekreacyjne. Długość modułu z SMP wynosi w osiach ok. 3m. Wielkości zostały dobrane tak: by zapewnić właściwą wysokość pomieszczeń przeznaczonych na pobyt ludzi, by trakt komunikacyjny umożliwiał wygodne przemieszczanie się nim i aby pokoje miały takie gabaryty, które pozwalają na funkcjonalne, i jednocześnie zróżnicowane, ich wykorzystanie. W bocznych ścianach modułu wykonane są po dwa otwory z każdej strony, które mogą stać się otworami drzwiowymi, okiennymi lub zostać zagospodarowane na meblościankę lub wnękę z siedziskiem. Otwór ma domyślnie ok. 1m x 2m.

Na obrzeżach, w miejscach styku modułu ze ścianami tunelu, element z SMP jest



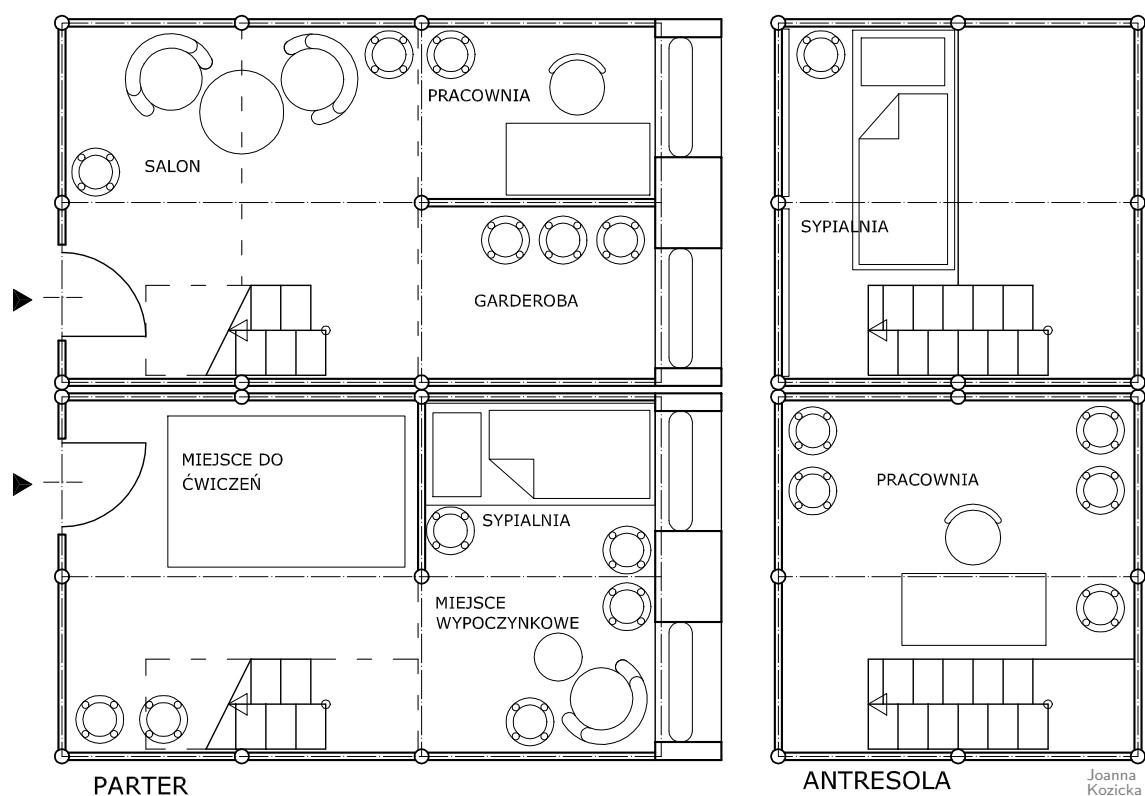
Rysunek 8.12: Detal zamocowania pneumatycznych ścianek działowych i paneli stropowych z SMP

grubszy w celu dobrego usztywnienia całości. Wewnętrzną strukturę stanowi szkielet z elementów rurowych przecinających się jako słupki i belki poziome. Jest to ruszt stabilizujący kształt modułu. Z czterech stron symetrycznie rozmieszczone są mniejsze elementy rurowe zespolone na stałe z konstrukcją modułu. Są w nich specjalne otwory, które umożliwiają mocowanie w nich śrub. Rurki te również znajdują się w grubych ścianach modułu w analogicznych miejscach. Umożliwiają one zaczepianie do nich elementów ściennych i podłogowych, jak pokazuje Rys. 8.12.

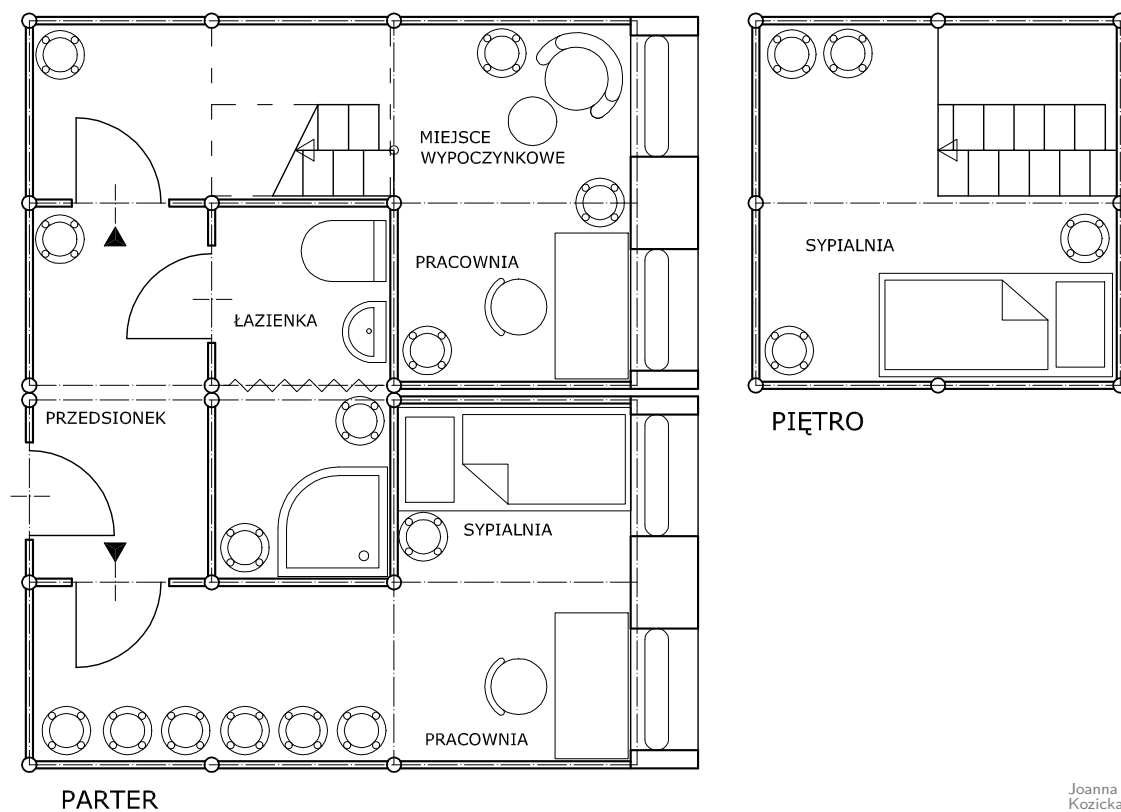
Wszystkie elementy rurowe tkane są najpierw z włókien kewlarowych. Duże rury zszywa się z mniejszymi w jedną strukturę, a następnie zalewa się ją żywicą z pamięcią kształtu, dając w rezultacie bardzo wytrzymały kompozyt. W ten sposób powstaje też spójna struktura nadająca się do ciasnego upakowania na czas transportu z Ziemi na Marsa i łatwo rozkładalna *in situ*.

Zaprojektowano przegrody wewnętrzne w bazie dwojakiego rodzaju: z SMP i pneumatyczne. Przegrody z SMP tworzą duże gabarytowo panele wypełniające zwykle całą przestrzeń między słupkami szkieletu modułu z SMP (po rozszerzeniu). Używa się je tam, gdzie wymagana jest od przegrody większa wytrzymałość lub tam, gdzie trzeba zamontować pewien element (drzwi, element specjalny). Tak więc część z nich stanowi element ciągły, a część posiada otwory o modularnych wymiarach. Elementy ciągłe wykorzystywane byłyby przede wszystkim jako panele stropowe. Panel z drzwiami można zobaczyć na Rys. 8.19. Najlepiej gdyby omawiane tu elementy miały wypełnienie z piankowego SMP o małej gęstości i dobrej charakterystyce akustycznej, zaś z zewnątrz posiadałyby warstwę ze sztywnego SMP (być może dodatkowo wzmacnianego). Należałoby wtedy tak dobrać tworzywa sztuczne, by miały podobną temperaturę przejścia.

Drugi rodzaj przegrody stosowany w bazie to przegrody pneumatyczne. Buduje się je z nadmuchiwanymi poduszkami kwadratowych o boku np. ok. 24cm x 24cm. Każda poduszka powinna mieć wewnętrzne stężenia, by zachowywać względnie stałą grubość. Warstwa z elastycznego aerożelu (np. kriożelu) pełniłaby funkcję bariery akustycznej. Na



Rysunek 8.13: Aranżacja wnętrz pokoi prywatnych w bazie, rzuty dwóch sąsiadujących pokoi



Rysunek 8.14: Aranżacja wnętrz pokoi prywatnych w bazie, rzuty dwóch sąsiadujących pokoi ze wspólną łazienką



Rysunek 8.15: Wizualizacja pokoju prywatnego z antresolą



Rysunek 8.16: Salonik w pokoju prywatnym



Rysunek 8.17: Sypialnia w pokoju prywatnym na antresoli

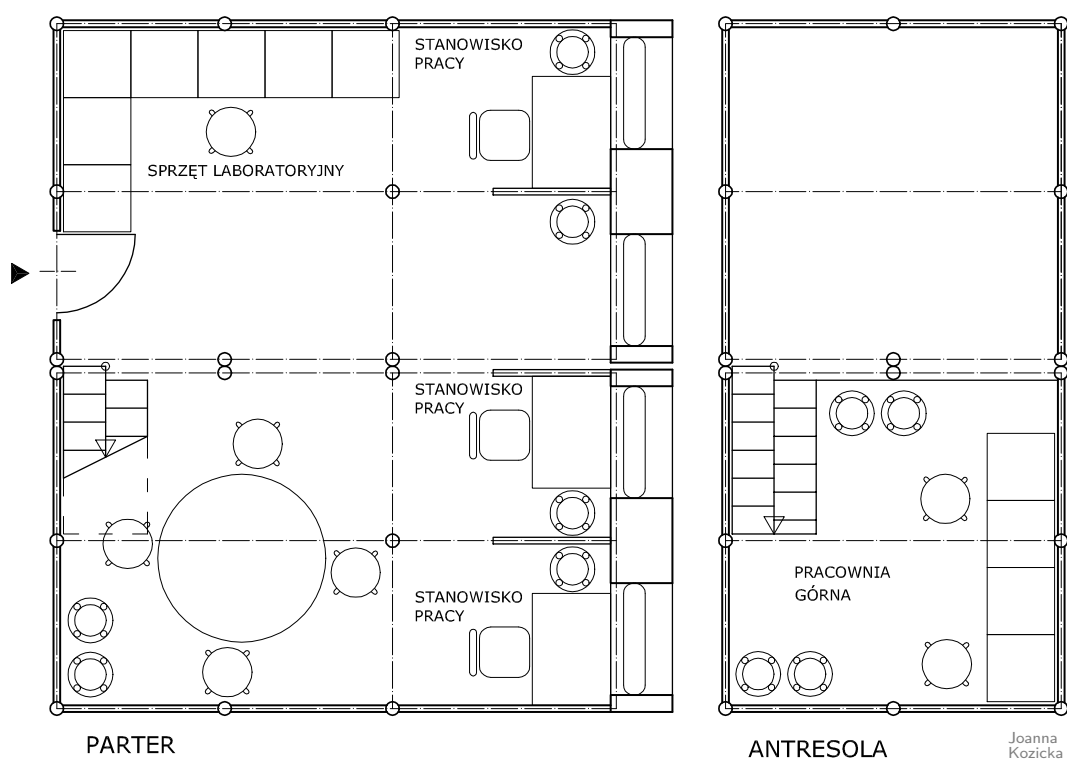
brzegach każdej poduszki byłyby guziki zaciskowe umożliwiające szepianie elementów ze sobą w większą płaszczyznę. Zaproponowano, by poduszki pneumatyczne były różnako barwione, by pomieszczenia mogły mieć odmienną kolorystykę oraz wzory naścienne. Do usztywnienia ścianki służyłyby siatki kewlarowe zahaczane do śrub przykręconych do małych rurek modułu z SMP (Rys. 8.12). W przypadku gdy przegroda nie ma zapełniać całej przestrzeni między słupkami, usztywnić ją można samodzielnie prowadzonym między haczykami sznurkiem. Pozwalałby on także na wykonywanie ażurowych przegród lub wieszaków na przerzucane przez nie ubrania, ręczniki albo do przyczepiania zdjęć, kartek z notatkami. Sznurek pozwalałby na większą kreatywność, na wykonywanie architektonicznych elementów dekoracyjnych lub o kilku funkcjach. Natomiast siatki umożliwiałyby sprawny montaż.

Podłogi stanowiłyby dolne powierzchnie modułu z SMP w parterze oraz panele z SMP montowane jako stropy pięter i antresol. Boczne części górne mieszczące tylko instalacje mogłyby również od spodu być wyłożone kolorowymi przegrodami pneumatycznymi jako że obciążenia nie byłyby tu zbyt duże i można uzyskać sufit w wybranym kolorze. Efekt dobrze wygłuszonej podłogi pływającej mógłby być uzyskiwany przez wyłożenie powierzchni podłogi kriozelem. Jest to bardzo drogi materiał, ale też bardzo lekki i elastyczny, dlatego zalecany jest w tym projekcie bazy marsjańskiej, by obniżyć kosztu transportu. Zabezpieczałby on również efektywnie pomieszczenia przed uciekaniem ciepła do otaczającego górotworu. Jako posadzki poleca się kolorowe wykładziny z tworzyw sztucznych, np. popularnego na Ziemi PCV, głównie do przestrzeni roboczych i komunikacyjnych. W kabinach prywatnych można by chociaż na fragmentach kłaść miękkie, miłsze w dotyku wykładziny materiałowe, by podwyższyć komfort zamieszkania.

Zaprojektowana przestrzeń habitatu jest fleksybilna. Dzięki wykorzystaniu elementów powtarzalnych, które można w różnoraki sposób zestawiać i łączyć, wnętrza nadają się do zaaranżowania ich na wiele rozmaitych sposobów. Na rzutach na Rys. 8.13, 8.14, 8.18 i 8.21 pokazano różne sposoby aranżacji przestrzeni w habitacie w ramach 2-3 modułów z SMP na przykładzie pokoi prywatnych, laboratorium i stołówki. Pomieszczenia mogą być parterowe, z antresolą lub piętrowe; mogą stanowić jedną dużą przestrzeń otwartą lub być podzielone przegrodami na aneksy. Możliwości jest bardzo wiele, na rysunkach pokazane jest tylko parę z nich.

Poduszki pneumatyczne ścianek działowych, pneumatyczne meble oraz obicia mebli rozkładanych przewidziane są w wielu kolorach. Dzięki zastosowaniu elementów wyposażenia o różnych barwach, można stwarzać wnętrza o rozmaitych nastrojach kolorystycznych. Przykład zagospodarowania pokoju prywatnego z rzutu na Rys. 8.13 ilustruje wizualizacja na Rys. 8.15. Na parterze przy wejściu jest mały salonik, gdzie można przyjąć gościa lub odpocząć w fotelu czy poczytać książkę (Rys. 8.16). Potem są dwa niewielkie aneksy: jeden to miejsce do pracy własnej, drugi to garderoba. Schody prowadzą na małą antresolę. Jest tam sypialnia z nadmuchiwanym materacem, szafka nocna oraz miejsce na zdjęcia rodziny i plakat z krajobrazem (Rys. 8.17).

Na Rys. 8.19 i 8.20 pokazane są wizualizacje miejsca pracy w bazie, np. laboratorium. Są tu osobne stanowiska pracy oraz stół do prowadzenia narad i wspólnego wykonywania niektórych zadań. Indywidualne stanowiska pracy są przy oknach wychodzących na ogród, co pozytywnie wpływać będzie na samopoczucie ludzi w czasie pracy. Na rzucie tegoż laboratorium na Rys. 8.18 można zobaczyć osobną przestrzeń na sprzęt specjalistyczny. Na antresoli może być mały magazyn i dodatkowe tymczasowe stanowiska pracy.



Rysunek 8.18: Aranżacja wnętrza laboratorium w bazie, rzut



Rysunek 8.19: Laboratorium w bazie, miejsce do pracy wspólnej



Rysunek 8.20: Laboratorium w bazie, indywidualne stanowiska pracy z widokiem na ogród

Sposoby zapewnienia komfortu w bazie przy pomocy narzędzi architektury

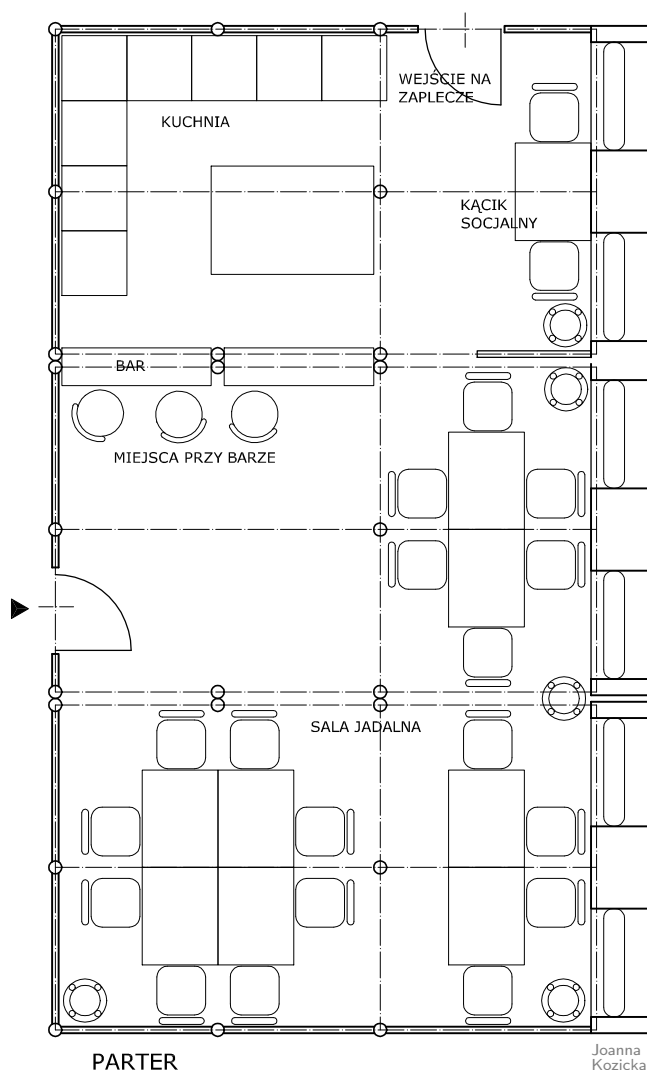
Problemy socjopsychologiczne mogą zaważyć na powodzeniu misji marsjańskich. Dlatego w projekcie koncepcyjnym bazy na Marsie zadbane o zapewnienie jak największego komfortu fizycznego i psychicznego w celu uzyskania przyjaznego człowiekowi habitatu. Kolejno opisane zostało, jakie zalety oferuje projektowany habitat i jakie narzędzia architektury użyto, by zapewnić wysoką jakość pracy, zamieszkania i odpoczynku w bazie.

1. Poczucie bezpieczeństwa:

- (a) wytrzymała, szczelna konstrukcja;
- (b) dobra ochrona przed promieniowaniem kosmicznym i słonecznym;
- (c) bardzo dobra ochrona przed warunkami pogodowymi, uderzeniem meteorytów czy innym uszkodzeniem mechanicznym;
- (d) z każdego miejsca w bazie prowadzą co najmniej dwie drogi ewakuacji;
- (e) awaria jednego elementu budowlanego nie zagraża egzystencji całej bazy;
- (f) dużo wyjść na powierzchnię/wejść do habitatu;
- (g) materiały budowlane ograniczające ryzyko pożaru: skały, SMP, folie z niepalnych tworzyw sztucznych, aerożel;
- (h) BIO LSS w oranżeriach daje bazie niezależność od dostaw zapasów żywności z Ziemi.

2. Duża przestrzeń użytkowa:

- (a) duży przestronny habitat zapobiegający uczuciu klaustrofobii, ciasnoty i niewygody;



Rysunek 8.21: Aranżacja wnętrza stołówki dla ok. 20 osób z otwartą kuchnią, rzut; stoliki o modularnych wymiarach można zestawiać ze sobą na różne sposoby

- (b) duża przestrzeń może być rozmaicie dzielona, pozwalając na wyraźne podziały na strefy;
 - (c) możliwość posiadania prywatnej, komfortowej kabiny mieszkalnej.
3. Osobista przestrzeń prywatna:
- (a) własna wygodna kabina;
 - (b) każdy mieszkaniec dysponuje prywatną odgrodzoną przestrzenią;
 - (c) w dużej bazie przestrzeń ta może być spora (tu w projekcie od ok. 15 m² do ponad 20 m², gdy dodatkowo antresola).
4. Przemysłany podział na strefy:
- (a) rozdzielenie części mieszkalnych od roboczych;
 - (b) strefy ciche w osobnych tunelach podziemnych niż głośnie;
 - (c) podział na strefy publiczne i prywatne;
 - (d) co najmniej parę tuneli mieszkaniowych, pozwalających osobom nie lubiącym się na mieszkanie z dala od siebie;

- (e) głównym szlakiem łączącym strefy mieszkaniowe z roboczymi towarzyszy funkcja rekreacyjna urozmaicająca drogę z pracy do domu i dająca niewymuszone okazje do spotkań.
5. Dobra akustyka:
- (a) funkcje bardziej hałaśliwe oddzielone od cichszych: w osobnych tunelach zlokalizowano funkcję mieszkalną, roboczą i rekreacyjną;
 - (b) dukty instalacyjne prowadzone są w zamkniętych komorach w narożach tuneli podziemnych, tworząc osobną strefę techniczną, akustycznie odgradzoną od przestrzeni bytowych ludzi ściankami z poduszek pneumatycznych izolowanych kriozelem;
 - (c) wydzielona przestrzeń techniczna w postaci osobnych pomieszczeń, na które pozwolić sobie może duża baza;
 - (d) „wyprostowanie” zaobłąleń pozwala uniknąć sklepiennych stropów, które w specyficzny sposób odbijają dźwięki;
 - (e) przegrody z SMP i pneumatyczne zaprojektowane zostały tak, by zapewniać dobrą izolacyjność akustyczną;
 - (f) panele z SMP mogą mieć lekko chropowatą powierzchnię, by tłumić hałasy;
 - (g) siatki usztywniające ścianki działowe nadają im nierówną fakturę, która zapewnia lepszą akustykę pomieszczeń.
6. Dobre oświetlenie:
- (a) naturalne oświetlenie wewnątrz zapewnione w oranżerii poprzez przezroczyste zadaszenie i w pomieszczeniach bytowych pośrednio przez światło z oranżerii wpadające przez okna i drzwi;
 - (b) dzięki zwierciadłom skupiającym promienie słoneczne i kierujące do oranżerii znacznie wzmocnione jest naturalne oświetlenie wewnątrz;
 - (c) wszystkie pomieszczenia przeznaczone na stały pobyt ludzi mogą być naturalnie oświetlone dzięki oknom w zboczach oranżerii; tylko przestrzeń komunikacyjna w większości nie ma dostępu do okien jako funkcja, która, wydaje się, w mniejszym stopniu tego wymaga;
 - (d) sztuczne źródła światła wprowadzane mogą być praktycznie w dowolnym miejscu w pomieszczeniu dzięki temu, że przewody prowadzone są w narożu tunelu i łatwo je precyzyjnie przycisnąć między poduszkami pneumatycznymi przegrody.
7. Ergonomiczna przestrzeń użytkowa:
- (a) odległości między słupkami, belkami i ściankami modułów z SMP pozwalają tworzyć pomieszczenia o gabarytach podobnych do swych typowych ziemskich odpowiedników, odnoszących się do ergonomicznych potrzeb człowieka;
 - (b) większe pomieszczenia posiadają wewnątrz słupki modułów z SMP, które są podporą dla osób mających problemy z poruszaniem się w obniżonej grawitacji; dodatkowe pomoce można wykonać z innych elementów wyposażenia wewnątrz;
 - (c) przewidziane są schody nieco bardziej strome niż na Ziemi ze względu na inny sposób poruszania nogami w obniżonej grawitacji i mniejszy wysiłek wkładany w pokonywanie wysokości.
8. Kontakt z przyrodą:
- (a) kontakt wizualny przez okna w pomieszczeniach bytowych;

- (b) możliwość przechadzania się po ogrodzie ścieżkami między kultywatorami;
- (c) możliwość doglądania roślin, zbierania plonów itd. jako forma pracy lub sposób spędzania wolnego czasu;
- (d) ciągi komunikacyjne, w pneumatycznych przezroczystych tunelach, przecinające niektóre oranżerie pozwalają na przechadzanie się wśród zieleni bez konieczności zachowywania szczególnej ostrożności ze względu na mikroby; stanowią miły fragment drogi z domu do pracy;
- (e) woda jest elementem natury; zbiorniki z wodą, ewentualnie obserwacja pływających w nich ryb, również są formą zbliżenia z przyrodą.

9. Fleksybilna przestrzeń użytkowa:

- (a) każdy tunel wypełniony jest modułarnymi strukturami z SMP tworzącymi ramy pozwalające na różne sposoby dzielenia przestrzeni użytkowej na pomieszczenia i wnęki;
- (b) przestrzeń w tunelach można pozostawić wolną od przegród (tylko ze słupkami) lub dzielić ją na pomieszczenia;
- (c) można projektować wysokie pomieszczenia (przede wszystkim wspólnotowe) lub niższe, bardziej kameralne (głównie pokoje prywatne); można wykonywać też piętra i antresole;
- (d) otwory w bocznych częściach modułów albo mogą być przedłużone jako otwory okienne lub drzwiowe, albo też pozostać mogą ślepe i wykorzystane na meblościanki lub wnęki do siedzenia itp.;
- (e) moduły z SMP przystosowane są do montowania w nich paneli z SMP oraz przegród z pneumatycznych poduszek i siatek z kewlaru; elementy te mają różne kolory i tworzyć z nich można rozmaite ciekawe aranżacje wewnątrz;
- (f) dzięki technologii drążenia można wykonywać dodatkowe wnęki np. na podręczny magazyn lub łazienkę;
- (g) ścianki działowe są bardzo lekkie i łatwe w montażu, zatem w prosty i szybki sposób każdy mieszkaniec może budować elementy wewnątrz lub je przekształcać, przystosowując przestrzeń użytkową do zmieniających się potrzeb; w ten sposób również można zmieniać samą kolorystykę pokoju;
- (h) meble rozkładane i pneumatyczne (jak te prezentowane m. in. na Rys. 8.15 i Rys. 8.19) są łatwe w ustawianiu i przestawianiu;
- (i) moduł ścianki z drzwiami z SMP można montować w różnych miejscach.

10. Możliwość personalizacji przestrzeni:

- (a) kolorowe poduszki do ścianek działowych i wymienne obicia do mebli pozwalają na wybranie barw dla każdej przestrzeni prywatnej i publicznej wg upodobania;
- (b) przenośne lekkie elementy wyposażenia wewnątrz można samodzielnie ustawiać po swojemu;
- (c) układ funkcjonalny w pokojach prywatnych może być dostosowywany dzięki różnorodnemu montowaniu ścianek działowych, antresol oraz dowolnej aranżacji mebli;
- (d) listwy przyczepiane w poziomie do szkieletu z SMP umożliwiają mocowanie ich na różnych wysokościach oraz przypinanie do nich zdjęć rodziny, plakatów czy tablic ogłoszeń, pamiątkowych itp.

11. Urozmaicone środowisko życia:

- (a) fleksybilne, zmienne wnętrza;
- (b) zróżnicowana kolorystyka wnętrz;
- (c) rozmaite rodzaje elementów wnętrz dzięki zastosowaniu elementów modularnych, np. poduszki pneumatyczne do budowy ścianek, sufitów, murków, elementów dekoracyjnych oraz pneumatyczne kule i torusy do wykonywania foteli, stołów, regałów (jak opisano w Rozdz. 6.4.2);
- (d) zróżnicowane oświetlenie: naturalne zmieniające się wraz z porą dnia, sztuczne nadające się do rozmieszczania w różnych konfiguracjach;
- (e) oranżerie i tunele użytkowe różnych długości, inaczej zagospodarowywane;
- (f) dzięki oranżeriom obserwować można zmieniającą się w fazach rozwoju przyrodę.

Zakończenie

Misje załogowe na Marsa to szczególnie przypadek misji kosmicznych ze względu na swój długi czas trwania. Aspekt ludzki staje się tu tak samo ważny jak problemy technologiczne. Zdaniem autorki ludzie nie mogą przebywać przez ponad 2,5 roku w ciasnej, niewygodnej kapsule. Potrzebny jest przyjazny człowiekowi habitat. Jak wynika z badań zachowania ludzi w ICE, w liczniejszych grupach występuje mniejsza konfliktowość. Dla większej załogi należy zaprojektować duży habitat – bazę. **Ekstremalne warunki panujące na Marsie wymagają specyficznego sposobu projektowania architektonicznego.** Z tego względu autorka podjęła się przeprowadzenia szeregu analiz w celu rozpoznania w wyczerpującym zakresie zagadnień odnoszących się do problematyki architektury marsjańskiej. W rozważaniach swych doszła ona do wniosku, że **obecna wiedza o Marsie oraz dostępne dziś technologie budowlane umożliwiają zaprojektowanie bazy na Czerwonej Planecie** na wiele różnych sposobów. Modele architektoniczne autorki są tego dowodem. **Przy pomocy narzędzi dostępnych architekturze można wpłynąć na wzrost komfortu fizycznego i psychicznego mieszkańców bazy pozaziemskiej.** Wykonany przez autorkę projekt koncepcyjny bazy pokazuje, że przy stosunkowo niskich nakładach finansowych można stworzyć bezpieczny konstrukcyjnie, estetyczny i przyjazny człowiekowi habitat, który może się zmieniać i rozrastać w zależności od potrzeb.

Bibliografia

- ¹ 4Frontiers: 2007, Mars settlement design. <http://www.4frontiers.com/>
- ² AD: 1967a, Inner space, *Architectural Design* (February 1967), 78–81
- ³ AD: 1967b, Moon shelter ideas, *Architectural Design* p. 59. February 1967
- ⁴ Aga Khan Development Network: 2004, Sandbag shelter prototypes, various locations, *The Aga Khan Award for Architecture 2004, The Ninth Award Cycle, 2002-2004* . http://akdn.org/agency/akaa/ninthcycle/page_03txt.htm
- ⁵ Al-Mumin, A.: 2001, Suitability of sunken courtyards in the desert climate of kuwait, *Energy and Buildings* **33**, 103–111
- ⁶ Allen, C., Burnett, R., Charles, J., Cucinotta, F., Fullerton, R., Goodman, J., Griffith, A., Kosmo, J., Perchonok, M. i Railsback, J.: 2003, *Guidelines and capabilities for designing Human Missions*, JSC NASA. Raport NASA nr NAS 1.15210785; NASA TM-2003-210785; S-895
- ⁷ Ambrosiano, N. i Danneskiold, J.: 2005, Los Alamos releases new maps of Mars water. <http://www.lanl.gov/news/releases/archive/03-101.shtml>
- ⁸ ASEB: 2002, *Safe on Mars: Precursor Measurements Necessary to Support Human Operations on the Martian Surface*, National Academy Press, Washington D.C. Aeronautics and Space Engineering Board. <http://www.nap.edu/books/0309084261/html/>
- ⁹ Ashcroft, F.: 1958, *Życie w warunkach ekstremalnych*, MUZA SA, Warszawa
- ¹⁰ AWI: 2000, Hidden in ice and snow - the Neumayer Station in the Antarctic, *Alfred Wegener Institute* . www.awi.de
- ¹¹ BackerElektro: 2004. Informator firmy; www.backer-elektro.cz
- ¹² Badhwar, G.: 2003, Martian Radiation Environment Experiment, *MARIE* . <http://web.archive.org/web/20060110203707/http://marie.jsc.nasa.gov/Overview/Index.html>
- ¹³ BAS: 2006, Previous bases at halley, *British Antarctic Survey* . www.antarctica.ac.uk
- ¹⁴ Basista, A.: 1995, *Opowieści budynków. architektura czterech kultur*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Kraków
- ¹⁵ Benaroya, H., Bernold, L. i K., C.: 2002, Engineering, design and construction of lunar bases, *American Society of Civil Engineers 150th Anniversary Paper*
- ¹⁶ Blacic, J., Dreesen, D. i Mockler, T.: 2000, Report on conceptual systems analysis of drilling systems of the martian subsurface, *GeoEngineering Group Los Alamos National Laboratory* pp. LAUR00-4742
- ¹⁷ Brooks, C.: 1979, *Chariots for Apollo: A History of Manned Lunar Spacecraft*, NASA Special Publication-4205, NASA History Series
- ¹⁸ Brownell, B.: 2006, *Transmaterial, a catalog of materials that redefine our physical environment*, Princeton Architectural Press, New York
- ¹⁹ Brzezicki, M.: 2002, rozmowa
- ²⁰ Cadogan, D., Stein, J. i Grahne, M.: 1999, Inflatable composite habitat structures for lunar and mars exploration, *Acta Astronautica* **44**(7-12), 399–406
- ²¹ Cameron, E., Duston, J. i Lee, D.: 1990, *Design of internal support structures for an inflatable*

- lunar habitat*, NASA. NASA-CR-189996
- ²² Caplinger, M.: 1994a, *Marslink Essays: Martian Craters*, CMEX. <http://cmex.ihmc.us/MarsEssy/crater.htm>
- ²³ Caplinger, M.: 1994b, *Marslink Essays: Martian Volcanoes*, CMEX. <http://cmex.ihmc.us/MarsEssy/VLCANOES.HTM>
- ²⁴ Chudek, M.: 1986, Obudowa wyrobisk górniczych, część 1, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice
- ²⁵ Clancey, W.: 2001, Simulating „mars on earth” - a report from fmars phase 2, *On to Mars, Colonizing a New World*. edytorzy: R. Zubrin, F. Crossman, Apogee Books
- ²⁶ CNSA: 2003, China plans manned Moon mission by 2020, *RedNova news*. www.rednova.com/news/space/20610/china_plans_manned_moon_mission_by_2020/
- ²⁷ Cole, D. i Scarfo, R.: 1965, *Beyond Tomorrow*, Amherst Press, Amherst, Wis.
- ²⁸ CRG: 2007, Crg inc. technology. www.crggrp.net
- ²⁹ David, L.: 2005, *High-Tech Spacesuits Eyed for extreme Exploration*, space.com. 26.01.2005
- ³⁰ Delgado, M. i Guerrero, I.: 2007, The selection of soils for unstabilised earth building: A normative review, *Construction and Building Materials* (21), 237–251
- ³¹ Drysdale, A., Ewert, M. i Hanford, A.: 2003, Life support approaches for mars missions, *Advances in Space Research* **31**(1), 51–61
- ³² Dubbink, T.: 2001, Designing for har decher, ideas for martian bases in the 20th century
- ³³ Dudley-Rowley, M.: 1997, Deviance among expeditioners: Defining the off-nominal act through space and polar field analogs, *Journal of Human Performance in Extreme Environments* **2**(1). 01.06.1997
- ³⁴ Dudley-Rowley, M., Whitney, S., Bishop, S., Caldwell, B. i Nolan, P.: 2004, Crew size, composition, and time: Implications for habitat and workplace design in extreme environments, *Journal of Aerospace*. 19.07.2004
- ³⁵ DuPont: 2007. www.dupont.com
- ³⁶ Dursap, C. i Poughon, L.: 2001, Study on the survivability and adaptation of humans to long-duration interplanetary and planetary environments, *WP 4200 Adanced LSS: Bioregenerative Life Support Developments*. ESTEC, 30.V.2001
- ³⁷ ESA: 2004, The Aurora programme brochure, *European Space Agency*. http://esamultimedia.esa.int/docs/Aurora/Aurora625_2.pdf
- ³⁸ ESA: 2007. ESA – European Space Agency – Europejska Agencja Kosmiczna, strona domowa: esa.int
- ³⁹ Evans, G., Stokols, D. i Carrere, S.: 1988, Human adaptation to isolated and confined environments. NASA Contractor Report 177499
- ⁴⁰ Fagents, S., Pace, K. i Greeley, R.: 2002, Origins of small volcanic cones on Mars, *Lunar and Planetary Science XXXIII*
- ⁴¹ Frederick, R.: 1999, Martian lava tubes, *Second Annual Mars Society Convention*. Boulder, Colorado, August 12–15
- ⁴² Freeland, R., Bilyeu, G. i Mikulas, M.: 1998, Inflatable deployable space structures technology summary, *L’Garde Inc. Technical Report*
- ⁴³ Gabryelczyk, F.: 2005, Niech stanie się światłość, *Świat Techniki* **16**(10), 20–22
- ⁴⁴ Gadomska, B.: 1999, Największe igloo na świecie, *Architektura* **63**(12), 42–46
- ⁴⁵ Ganapathi, G., Ferrall, J. i Seshan, P.: 1993, *Lunar Base Habitat Designs: Characterizing the Environment, and Selecting Habitat Designs for Future Trade-offs*, JPL NASA. NASA-CR-195687
- ⁴⁶ Geoffrey, T.: 1998, An inflatable rigidizable truss structure with complex joints, *L’Garde Inc. Technical Report*
- ⁴⁷ Gertsch, L. i Gertsch, R.: 1995, Excavating on the Moon and Mars, *Proc JSC Workshop on Radiation Shielding*, ed. Wilson J., *Lunar & Planetary Institute, Houston*
- ⁴⁸ Grandjean, E.: 1978, Ergonomia mieszkania, aspekty fizjologiczne i psychologiczne w projek-

- towaniu, *Wydawnictwo Arkady, Warszawa*
- ⁴⁹ Grover, M., Hilstad, M., Elias, L., Carpenter, K., Schneider, M., Hoffman, C., Adan-Plaza, S. i Bruckner, A.: 1998, *Extraction of Atmospheric Water on Mars in Support of the Mars Reference Mission*, Mars Society Founding Convention, Boulder, CO. 13-16.08.1998
- ⁵⁰ Grupa z Puerto Rico: 1989, *Camelot III: Habitability Criteria Space Research and Design Studio*, School of Architecture, University of Puerto Rico
- ⁵¹ GSC NASA: 2004, The case of electric martian dust devils, *Goddard Space Center NASA* . <http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2004/0420marsdust.html>
- ⁵² Guena, S. i Brunelli, F.: 1996, Stressors, stress and stress consequences during long-duration manned space missions: a descriptive model, *Acta Astronautica* **36**(6), 347–356
- ⁵³ Gussmann, J.: 1984, *Człowiek zdobywa głębiny*, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk
- ⁵⁴ Gyula, S.: 1977, *Lightweight building construction*, Akademiai Kiado, Budapest
- ⁵⁵ Haberle, R.: 2000, Viking mission, *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*. edytor: P. Murdin, article 2206. Bristol: Institute of Physics Publishing
- ⁵⁶ halolamp: 2005. LED Digital Lighting, www.halolamp.com
- ⁵⁷ Harpole, T.: 2006, The not-so-big dig, *Air & Space*
- ⁵⁸ Hedgepeth, J. i Miller, R.: 1987, Structural concepts for large solar concentrators, *NASA Contractor Report 4075*
- ⁵⁹ Henninger, D., Tri, T. i Packham, N.: 1996, Nasa's advanced life support systems human-rated test facility, *Advances in Space Research* **18**(1/2), 223–232
- ⁶⁰ Hoberman, C.: 1991a, Radial expansion/retraction truss structures, *US Patent No. 505804*
- ⁶¹ Hoberman, C.: 1991b, Reversibly expandable structures, *US Patent No. 4981732*
- ⁶² Hobler, M.: 1972, Projektowanie i wykonywanie robót strzelniczych w górnictwie podziemnym, *Skrypty uczelniane AGH Nr 254, Kraków*
- ⁶³ Hobler, M.: 1982, Projektowanie i wykonywanie robót strzelniczych w górnictwie podziemnym, *Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice*
- ⁶⁴ Hoffman, S. i Kaplan, D.: 1997, *Human Exploration of Mars: The Reference Mission of the NASA Mars Exploration Study Team*, NASA Special Publication 6107
- ⁶⁵ Huang, Z., Broch, E. i M., L.: 2002, Cavern roof stability - mechanism of arching and stabilization by rockbolting, *Tunneling and Underground Space Technology* **17**, 249–261
- ⁶⁶ Huebner-Moths, J., Endmann, D. i Moore, G.: 1993, *Domus I and Dymaxion: two concept designs for lunar habitats*, Publication of University of Wisconsin Wilwaukee
- ⁶⁷ Husain, Y.: 2000, Space-friendly architecture: Meet nader khalili, *space.com* . 17 November
- ⁶⁸ Hydropolis: 2007. www.hydropolis.com
- ⁶⁹ IceHotel: 2007. <http://www.icehotel-canada.com>
- ⁷⁰ Jarominiak, A.: 2000, Lekkie konstrukcje oporowe, *Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa*
- ⁷¹ JAXA: 2005, Jaxa vision summary, *Japan Aerospace Exploration Agency* . http://www.jaxa.jp/about/vision_missions/long_term/summary_e.pdf
- ⁷² Johnson, J., Boster, J. i Palinkas, L.: 1997, The evolution of networks in extreme and isolated environments, *The Journal of mathematical sociology* **27**(2-3), 89–121
- ⁷³ JPL NASA: 2005, Mars pathfinder science results directory. <http://mpfwww.jpl.nasa.gov/MPF/science/science-index.html>
- ⁷⁴ Kanas, N.: 1998, Psychosocial issues affecting crews during long-duration international space missions, *Acta Astronautica* **42**(1-8), 339–361
- ⁷⁵ Kass, J., Kass, R. i Samaltdinov, I.: 1995, Psychological considerations of man in space: problems & solutions, *Acta Astronautica* **36**(8-12), 657–660
- ⁷⁶ Khalili, N.: 1999, Earthquake resistant building structure employing sandbags. U.S.Patent 5934027
- ⁷⁷ Kim, M., Thibeault, S., Simonsen, L. i Wilson, J.: 1998, Comparison of martian meteorites

- and martian regolith as shield materials for galactic cosmic rays, *Langley Research Center, Hampton, Virginia, NASA/TP-1998-208724*
- ⁷⁸ Kokh, P.: 2002, Habitat structure on moon & mars, *Lunar reclamation Society*
- ⁷⁹ Kovacs, F., Tarnai, T., Fowler, P. i Guest, S.: 2004, A class of expandable polyhedral structures, *International Journal of Solids and Structures* **41**, 1119–1137
- ⁸⁰ Kozicka, J.: 2004a, Habitaty w warunkach ekstremalnych jako symulacje rozwiązań dla baz pozaziemskich, *CURE International Workshop on Simulations in Urban Engineering* pp. 157–160. editors: E. Bielewicz i I. Lubowiecka, Gdańsk University of Technology, Gdańsk, September 20-22
- ⁸¹ Kozicka, J.: 2004b, Symulacje architektoniczne baz pozaziemskich, *CURE International Workshop on Simulations in Urban Engineering* pp. 153–156. editors: E. Bielewicz i I. Lubowiecka, Gdańsk University of Technology, Gdańsk, September 20-22
- ⁸² Kozicka, J.: 2004c, Symulacje habitatów marsjańskich, *CURE International Workshop on Simulations in Urban Engineering* pp. 149–152. editors: E. Bielewicz i I. Lubowiecka, Gdańsk University of Technology, Gdańsk, September 20-22
- ⁸³ Kozicka, J.: 2007, Low-cost solutions for martian base, *Advances in Space Research* **41**(1), 129–137
- ⁸⁴ Kozicki, J.: 2004, *Portable architecture (architektura przenośna), Stacja badawcza na Marsie, Etap II*, Politechnika Gdańska, Gdańsk. praca magisterska, promotor: A. Leszkiewicz
- ⁸⁵ Kraft, M., Michalski, J. i Sharp, T.: 2002, Silica-Coated Basalt on Mars: A New Interpretation of Dark-Region Thermal-Emission Spectra, *American Geophysical Union, Fall Meeting*
- ⁸⁶ Krarti, M.: 1998, Thermal performance of ancient underground dwellings in tunisia, *ASME Solar Energy Engineering Conference* pp. 65–72
- ⁸⁷ Kuczyk, G.: 2002, Long blast round technology at the underground research laboratory, *World Tunneling* **15**(9), 432–434
- ⁸⁸ Lan, T., Cho, J., Liang, Y., Qian, J. i Maul, P.: 2001, Applications of nanomer in nanocomposites from concept to reality, *Nanocomposites 2001, June 25-27*
- ⁸⁹ Landis, G. i Jenkins, P.: 1997, Dust on mars: Materials adherence experiment results from marspathfinder, *Photovoltaic Specialists Conference, Conference Record of the Twenty-Sixth IEEE Volume*, pp. 865–869
- ⁹⁰ Lei, F., Truscott, P., Dyer, C. i Clucas, S.: 2004, Geant4 software development and application at qinetiq, *Space Department QinetiQ*. http://geant4.esa.int/events/g4suw04/presentations/Lei_g4_suw_qinetiq.pdf
- ⁹¹ Lewandowski, K.: 2000, Biosfery. www.old.marssociety.pl/biosfery.html
- ⁹² Lin, J., Knoll, C. i Willey, C.: 2006, Shape memory rigidizable inflatable structures for large space systems applications, *47th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, 1-4 May 2006, Newport, Rhode Island*. AIAA 2006-1896
- ⁹³ Link, E.: 1964, *Underwater dwellings for greater depths*, Evan's Library - Edwin Link's Special Collection. Edwin A Link Foundation, <http://edwin.lib.fit.edu/u/?man,380>
- ⁹⁴ Lishman, W.: 2007, Underground architecture. www.williamlishman.com
- ⁹⁵ Lou, M. i Feria, V.: 1998, Development of space inflatable/rigidizable structures technology, *JPL NASA Technical Report*
- ⁹⁶ MacKenzie, B.: 1989, Building mars habitats using local materials, *The Case for Mars III* **74**. Science and Technology Series of the American Astronautical Society, Univelt, San Diego, Kalifornia, red. C. Stoker
- ⁹⁷ Marcy, J., Shalanski, A., Yarmuch, M. i Patchett, B.: 2004, Material choices for mars, *Journal of Materials Engineering and Performance* **13**(2). April 2004
- ⁹⁸ Markiewicz, W., Sablotny, R., Keller, H., Thomas, N., Titov, D. i Smith, P.: 1999, Optical properties of the martian aerosols as derived from Imager for Mars Pathfinder midday sky brightness data, *Journal of Geophysical Research* **104**(E4), 9009–9018

- ⁹⁹ Marks, A.: 1997, *Stacja Alfa*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa
- ¹⁰⁰ Mars Climate NASA: 2006, What's the martian climate like today?, *JPL NASA* . <http://mars.jpl.nasa.gov/science/climate>
- ¹⁰¹ Mars or Bust: 2003, *Martian Habitat Design*, University of Colorado, Boulder Aerospace Engineering Sciences ASEN 4158/5158. December 17, 2003
- ¹⁰² Mars Society: 2003, Ap falsely reports Mars radiation data, *Mars Society* . <http://www.marssociety.org/news/2003/0316.asp>
- ¹⁰³ Mars Society: 2007. marssociety.org
- ¹⁰⁴ Marti, J. i Ernst, G.: 2005, *Volcanoes and the Environment*, Cambridge University Press
- ¹⁰⁵ Mayne, P. i Beaver, J.: 2002, High-temperature plasma vitrification of geomaterials, *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*
- ¹⁰⁶ MGCMG: 2006, Mars' low surface pressure, *Mars General Circulation Modeling Group* . <http://www-mgcm.arc.nasa.gov/mgcm/HTML/WEATHER/pressure.html>
- ¹⁰⁷ Mieszkowski, Z.: 1975, *Elementy projektowania architektonicznego*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa
- ¹⁰⁸ Moore, J. i McGee, J.: 2001, Optimization of thin film solar concentrators using non-linear deflection modeling, *AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference and Exhibit, 42nd*
- ¹⁰⁹ Moroz, V.: 1998, Chemical composition of the atmosphere of Mars, *Advances in Space Research* **22**(3), 449–457
- ¹¹⁰ Morris, R.: 1999, Elemental compositions of local rocks and global soil at pathfinder and viking landing sites: Evidence for ongoing comminution of martian rocks, *30th Annual Lunar and Planetary Science Conference*. 15-29.03.1999, Houston, TX, USA
- ¹¹¹ MRO NASA: 2006, Clay at Nili Fossae. Mars Reconnaissance Orbiter Mission, http://www.nasa.gov/mission_pages/MRO/multimedia/pia09093-a.html
- ¹¹² MSIS: 1995, normy man-systems integration standards nasa-std-3000. msis.jsc.nasa.gov
- ¹¹³ Muire, T.: 1971, Instant City Ibiza, *Architectural Design* (12). www.arch.nus.edu.sg/SOA/design_studio/rda/group5/precedent-inflatable_instant%20city.html
- ¹¹⁴ Musser, G. i Alpert, M.: 2000, Jak dotrzeć na Marsa: Lot międzyplanetarny, *Świat Nauki* **6**(106), 33
- ¹¹⁵ Müller-Salzburg, L.: 1978, *Der Felsbau*, Stuttgart, F. Enke
- ¹¹⁶ Naghshineh-pour, R., Williams, N. i Ram, B.: 1999, Logistics issues in autonomous food production systems for extended duration space exploration, *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*. edytorzy: P. Farrington, H. Nembhard, D. Sturrock, G. Evans
- ¹¹⁷ NASA: 2002, Cosmic ray environment, *National Aeronautics and Space Administration* . http://www.jpl.nasa.gov/images/mars/Fig.4_marie_browse.jpg
- ¹¹⁸ NASA: 2003a, Snow gullies on mars. 19.02.2003 http://science.nasa.gov/headlines/y2003/19feb_snow.htm
- ¹¹⁹ NASA: 2003b, Transhab concept, *International Space Station History*. <http://spaceflight.nasa.gov/history>
- ¹²⁰ NASA: 2004a, Mineral in mars 'berries' adds to water story. Mars Exploration Rover Mission NASA JPL, 18.03.2004
- ¹²¹ NASA: 2004b, The vision for space exploration, *National Aeronautics and Space Administration* . http://www.whitehouse.gov/space/renewed_spirit.html
- ¹²² NASA ALS: 2004, Advanced life support system. <http://advlifesupport.jsc.nasa.gov>
- ¹²³ National Park Mesa Verde: 2007, Cliff dwellings. nps.gov
- ¹²⁴ Nawara, K.: 1980, O aerologii czyli geologii Marsa, *Nauka dla wszystkich*, PAN (326)
- ¹²⁵ NEEMO: 2006, Behind the scenes: Training, about aquarius, *NASA Human Space Flight, Extreme Environment Mission Operations* . <http://spaceflight.nasa.gov>
- ¹²⁶ Ngowi, A.: 1997, Improving the traditional earth construction: a case study of Botswana,

- Construction and Building Materials* **11**(1), 1–7
- ¹²⁷ Noever, D., Smith, D., Sibille, L., Brown, S., Cronise, R. i Lehoczy, S.: 1998, High performance materials applications to moon/mars missions and bases, *Proceedings of the Sixth International Conference and Exposition on Engineering, Construction, and Operations in Space, 26-30.04.1998 Albuquerque* . editors: Galloway R. i Loko S.
- ¹²⁸ Noma, T. i Tsuchiya, T.: 2003, Development of low noise and vibration tunneling methods slots by single hole continuous drilling, *Tunneling and Underground Space Technology* (18), 263–270
- ¹²⁹ Nowicki, J. i Zięcina, K.: 1989, *Samoloty kosmiczne*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa
- ¹³⁰ Onderka, Z.: 1992, Technika strzelnicza w górnictwie odkrywkowym, *Skrypty uczelniane AGH Nr 1241, Kraków*
- ¹³¹ Palinkas, L.: 1989, Antarctica as a model for human exploration of Mars, *The Case for Mars III: Strategies for exploration - General Interest and Overview*, Vol. 74. edytor: C. Stoker
- ¹³² Pathfinder Weather Data: 1997, Mars pathfinder historical weather data, *JPL NASA* . <http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/ops/asimet.html>
- ¹³³ Pawłowski, A.: 2004, Dłaczego (nie) pod ziemią?, *Architektura & Biznes* **143**(6), 58–61
- ¹³⁴ Perino, M.: 1991, Moon base habitability aspects, *Proceedings of the 4th European Symposium on Space Environmental and Control Systems*. Florencja, Włochy, 21-24.10.1991
- ¹³⁵ Petrov, G.: 2004, A permanent settlement on Mars: The first cut in the land of a new frontier, *Master of Architecture Thesis*
- ¹³⁶ planete-mars: 2001, Remise des prix du concours d'architecture martienne 2001. publikacja wyników konkursu na architekturę marsjańską we Francji, I nagroda: Jeremy Soullard, www.planete-mars.com
- ¹³⁷ PWN: 2006, *Encyklopedia PWN, Praca Zbiorowa*, Wydawnictwo naukowe PWN
- ¹³⁸ Raczyński, A.: 2005, Magiczny świat led-ów, *Świat Techniki* **16**(10), 24–26
- ¹³⁹ Ratajczyk, S.: 2004, Lanzarote, Wyspa obiecana Cesara Manrique, *Architektura & Biznes* **143**(6), 62–65
- ¹⁴⁰ Reichert, M.: 1999, The future of space tourism. 50th International Astronautical Congress, 4-8 October 1999, Amsterdam, Holandia, www.spacefuture.com/archive/the_future_of_space_tourism.shtml
- ¹⁴¹ RepRap: 2007. <http://reprap.org>
- ¹⁴² Rewerski, J.: 1995, Life below ground – troglodyte communities, *UNESCO Courier*
- ¹⁴³ Robinson-Gayle, S., Kolokotroni, M., Cripps, A. i Tanno, S.: 2001, Ete foil cushions in roof and atria, *Construction and Building Materials* **15**, 323–327
- ¹⁴⁴ R&Sie: 2002, Unflatable ice mars planet, 2010, *L'Arca* (170), 38–41. May
- ¹⁴⁵ Ruston, A.: 1998, Micro-sequential contour blasting – how it influences the surrounding rock mass?, *Engineering Geology* (49), 303–313
- ¹⁴⁶ Sabouni, I. i in.: 1991, Mars habitat, nasa/usra advanced design program, *Department of Architecture, College of Engineering & Architecture, Prairie View A&M University* . NASA-CR-189985
- ¹⁴⁷ Sadeh, W. i Criswell, M.: 1996, Infrastructure for a lunar base, *Advances in Space Research* **18**(11), 139–148
- ¹⁴⁸ Sadeh, W. i Criswell, M.: 2000, Inflatable habitats for lunar base development, *ICEUM-4 Proceedings Fourth International Conference on the Exploration and Utilization of the Moon* . 10–14 July
- ¹⁴⁹ Saechtling: 2000, *Tworzywa sztuczne*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa
- ¹⁵⁰ Salisbury, F., Gitelson, J. i Lisovsky, G.: 1997, Bios-3: Siberian experiments in bioregenerative life support, *BioScience* **47**(9)
- ¹⁵¹ Sanders, J.: 2005, *In-Situ Resource Utilization (ISRU) for Human Mars Exploration*, Presen-

- tation to Mars Robotic & Human Exploration Strategic Roadmap Team, NASA. 08.02.2005
- ¹⁵² Sauer, J., Wastell, D. i Hockey, G.: 1997, Skill maintenance in extended spaceflight: a human factors analysis of space and analogue work environments, *Acta Astronautica* **39**(8), 579–587
- ¹⁵³ Schneider-Skalska, G.: 2004, *Kształtowanie zdrowego środowiska mieszkaniowego, wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków. monografia 307
- ¹⁵⁴ Schock, H.: 1997, *Soft Shells. Design and Technology of Tensile Architecture*, Birkhauser, Boston
- ¹⁵⁵ Schofield, J., Barnes, J., Crisp, D., Haberle, R., Larsen, S., Magalhaes, J., Murphy, J., Seiff, A. i Wilson, G.: 1997, The Mars Pathfinder atmospheric structure investigation/meteorology (asi/met) experiment, *Science* **278**(5344), 1752–1758
- ¹⁵⁶ Schrope, M.: 2000, Digging for life on mars, *New Scientist*
- ¹⁵⁷ Science NASA: 2005, En route to mars, the moon. http://science.nasa.gov/headlines/y2005/18mar_moonfirst.htm
- ¹⁵⁸ Silverstone, S. i Nelson, M.: 1996, Food production and nutrition in biosphere 2: Results from the first mission september 1991 to september 1993, *Advances in Space Research* **18**(4/5), 49–61
- ¹⁵⁹ Silverstone, S., Nelson, M., Alling, A. i Allen, J.: 2003, Development and research program for a soil-based bioregenerative agriculture system to feed a four person crew at a mars base, *Advances in Space Research* **31**(1), 69–75
- ¹⁶⁰ Singh, S.: 1998, Non-explosive applications of the PCF concept for underground excavation, *Tunneling and Underground Space Technology* **13**(3), 305–311
- ¹⁶¹ Sokolowski, W. i Hayashi, S.: 2003, Applications of cold hibernated elastic memory (chem) structures, *Proceedings of the SPIE* **5056**, 534–544
- ¹⁶² Space Island Group: 2006, Project: Mars. www.spaceislandgroup.com/mars.html
- ¹⁶³ Stefanescu, D., Grugel, R. i Curreri, P.: 1998, In situ resource utilization for processing of metal alloys on lunar and mars bases. <http://science.nasa.gov/newhome/headlines/space98pdf/insitu.pdf>
- ¹⁶⁴ Stopyra, M., Stasica, J. i Rak, Z.: 2004, Rozwój obudowy kotwicznej jako istotny element obniżenia kosztów w kopalniach węgla kamiennego, *II Ukraińsko-Polskiej Forum Górnicze, konferencja naukowa, Jałta, 13-21 września*
- ¹⁶⁵ Stuster, J.: 1986, Space station habitability recommendations based on a systematic comparative analysis of analogous conditions. NASA Contractor Report 3943
- ¹⁶⁶ Suedfeld, P.: 1998, What can abnormal environments tell us about normal people? polar stations as natural psychology laboratories, *Journal of Environmental Psychology* **18**(1), 95–102
- ¹⁶⁷ Szolginia, W.: 1987, *Cuda inżynierii*, Wydawnictwa ALFA, Warszawa
- ¹⁶⁸ Tarczewski, A.: 1965, *Konstrukcje pneumatyczne. Projektowanie i realizacja*.
- ¹⁶⁹ Taylor, G.: 2002, The tricky business of identifying rocks on Mars, *Planetary Science Research Discoveries*. 22 maj, <http://www.psr.d.hawaii.edu/May02/MarsTES.html>
- ¹⁷⁰ Teberia: 2007, Internetowy leksykon górniczy. www.teberia.pl/leksykon.php
- ¹⁷¹ Temeemi, A. i Harris, D.: 2004, A guideline for assessing the suitability of earth-sheltered mass-housing in hot-arid climates, *Energy of Buildings* **36**, 251–260
- ¹⁷² The Pole Souls: 1987a, Around the dome on the inside, *Amundsen-Scott South Pole Station webpage*. www.southpolestation.com
- ¹⁷³ The Pole Souls: 1987b, Building the dome, *Amundsen-Scott South Pole Station webpage*. www.southpolestation.com
- ¹⁷⁴ Tillman, J.: 1998a, Mars atmospheric pressure. Overview. www-k12.atmos.washington.edu/k12/resources/mars_data-information/pressure_overview.html
- ¹⁷⁵ Tillman, J.: 1998b, Mars, temperature overview. www-k12.atmos.washington.edu/k12/resources/mars_data-information/temperature_overview.html

- ¹⁷⁶ Titov, D.: 2002, Water vapour in the atmosphere of Mars, *Advances in Space Research* **2**(29), 183–191
- ¹⁷⁷ Turlej, Z.: 2007, Oświetlenie prozdrowotne w biurze, *Wnętrza komercyjne* **3**(1), 19–23
- ¹⁷⁸ Unver, B. i Agan, C.: 2003, Application of heat transfer analysis for frozen food storage caverns, *Tunneling and Underground Technology* **18**, 7–17
- ¹⁷⁹ URANOS: 2005, Mars: Czerwona Planeta. Atmosfera i klimat Marsa. www.uranos.eu.org/mars/mdata.html
- ¹⁸⁰ Wikipedia: 2007. Wolna encyklopedia, www.wikipedia.org
- ¹⁸¹ Williams, D. R.: 2006, *Viking Mission to Mars*. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/viking.html>
- ¹⁸² Wise, B. i Wise, J.: 1988, Human factors of color in environmental design: a critical review. NASA Contractor Report 177498
- ¹⁸³ Wołczek, O. i Thor, J.: 1958, *Od sztucznego satelity do stacji kosmicznej*, PWT, Warszawa. wydanie 1, rozdz. VIII „Stacje w pustce”
- ¹⁸⁴ Wu, C., Li, J., Chen, X. i Xu, Z.: 2004, Blasting in twin tunnels with small spacing and its vibration control, *Tunneling and Underground Space Technology*, **WTC 518**(19)
- ¹⁸⁵ Yang, D.: 2000, Shape memory alloys and smart hybrydne composites – adavnced materials for 21st century, *Materials and Design* **21**, 503–505
- ¹⁸⁶ Zabuski, L.: 2006, rozmowa
- ¹⁸⁷ Zausznica, A.: 1959, *Nauka o barwie*, PWN, Warszawa
- ¹⁸⁸ Zubrin, R. i Wagner, R.: 1997, *Czas Marsa*, Prószyński i S-ka, Warszawa
- ¹⁸⁹ Światłowody: 2006. www.swiatlowody.com