

VÝZKUMNÁ STANICE

V EXTRÉMNÍCH PODMÍNKÁCH

JIŘÍ VELE

FA ČVUT 2018
DIPLOMNÍ PROJEKT
ATELIER KORDOVSKÝ/VRBATA

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji všem za cenné informace, které přispěly k tomuto návrhu. Touto cestou bych chtěl poděkovat především vedoucímu práce doc. Ing. arch. Petru Kordovskému a asistentovi Ing. arch. Ladislavu Vrbatovi za odborné vedení a energii vloženou do posouvání mého projektu. Dále bych chtěl poděkovat Ing. arch. Ondřeji Doulemu, Ph. D. M. Sc. za cenné rady. V neposlední řadě bych rád poděkoval rodině za nepřetržitou podporu.

OBSAH

Zadání a prohlášení autora

Úvod

Úvodní text
Člověk a vesmír
Proč Mars?

Analýzy

Historie vesmírné architektury
Cesta na Mars, Radiace
Vliv stavu beztlíže na lidské tělo
Atmosféra, prach, výměna tepla
Produkce energie, kyslíku a vody
Porovnání podmínek
Výběr místa

Koncept

Situace

Dokumentace stavby

Půdorysy
Řezy
Pohledy
Vizualizace

Dodatky

Zdroje

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE	
FAKULTA ARCHITEKTURY	
AUTOR, DIPLOMANT: Bc. Jiří Vele AR 2017/2018, LS	
NÁZEV DIPLOMOVÉ PRÁCE: (ČJ) Výzkumná stanice v extrémních podmínkách (AJ) Research station in an extreme environment	
JAZYK PRÁCE: ČESKÝ	
Vedoucí práce: ústav:	doc. Ing. arch. Petr Kordovský 15128 Ústav navrhování II
Oponent práce:	Ing. arch. Ondřej Doule, Ph. D. M. Sc.
Ústav:	
Klíčová slova (česká):	Výzkumná stanice, Mars, udržitelnost, 3d tisk, automatizace výstavby
Anotace (česká):	Předmětem diplomové práce je navrhnout výzkumnou stanici schopnou odolat extrémnímu prostředí Marsu. V práci je zahrnuta analýza, výběr místa a samotný návrh. Stavba je rozdělena na několik stavebních fází. Zpočátku využívá místní suroviny jen okrajově a spoléhá na dovezené technologie. Postupem času se prolíná s místním prostředím a naplno využívá jeho potenciálu.
Anotace (anglická):	Topic of my Diploma project is to design research station capable of withstanding extreme environment of Mars. Analysis, selection of landing site and design itself are included in this thesis. Building is separated into several phases. At first it doesn't use local resources much and relies on technologies brought from Earth. As time goes it starts to use resources more and it will blend with local environment.

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s „Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

(Celý text metodického pokynu je na www.FA.studium/ke-stazeni)

V Praze dne 21. 05. 2018

podpis autora-diplomanta

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta architektury

2/ ZADÁNÍ diplomové práce

Mgr. program navazující

jméno a příjmení: Jiří Vele

datum narození: 12. 10. 1992

akademický rok / semestr: 2017/2018

obor: Architektura a urbanismus

ústav: 15128 Ústav navrhování II

vedoucí diplomové práce: Ateliér Kordovský-Vrbata

doc. Ing. arch. Petr Kordovský

Ing. arch. Ladislav Vrbata

téma diplomové práce:

Výzkumná stanice v extrémních podmínkách.

zadání diplomové práce:

1/ popis zadání projektu a očekávaného cíle řešení

Zadání diplomního projektu vychází z předdiplomního semináře, ve kterém jsem se zaměřoval na návrhy staveb ve vesmíru. Jak takové extrémní prostředí (mikrogravitace, radiace, dopady mikrometeoritů, výkyvy teplot) ovlivní architekturu. Projekt se bude účastnit architektonické soutěže pořádané kanceláří NASA.

Zadáním soutěže je navrhnout výzkumnou stanici pro čtyři astronauty s minimální plochou 100 m², funkční minimálně po jeden rok. Při stavbě je kladen důraz na použití místních materiálů. Stavba má probíhat pomocí 3d tisku, bez nutné asistence člověka. Tímto postupem je možné umístit stavbu na různé lokality, jako například: jižní pól, saharská poušť, či jiná vesmírná tělesa jako Mars.

2/ Pro AU/ součástí zadání bude jasně a konkrétně specifikovaný stavební program

Stanice zaměřující se na výzkum geologie, klimatu a života.

Součástí programu budou plochy určené pro práci, odpočinek, sport, hydroponii, a ostatní systémy nutné pro udržení podpory života.

3/ popis závěrečného výsledku, výstupy a měřítko zpracování

-situace širších vztahů 1:10 000

-situace 1:1000/1:500

-půdorysy 1:200/1:100

-řezy 1:200/1:100

-pohledy 1:200/1:100

-vizualizace

Měřítko a výstupy se mohou vzhledem k vývoji DP změnit.

4/ seznam dalších dohodnutých částí projektu (model)

-poster

-portfolio

-model

-CD

Datum a podpis studenta

26.2.18 *J. Vele*

Datum a podpis vedoucího DP

26.2.18 *P. Kordovský*

Datum a podpis děkana FA ČVUT

26.2.18 *L. Vrbata*

registrováno studijním oddělením dne

26.2.2018 *L. Vrbata*

ÚVOD

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji všem za cenné informace, které přispěly k tomuto návrhu. Touto cestou bych chtěl poděkovat především vedoucímu práce doc. Ing. arch. Petru Kordovskému a asistentovi Ing. arch. Ladislavu Vrbatovi za odborné vedení a energii vloženou do posouvání mého projektu. Dále bych chtěl poděkovat Ing. arch. Ondřeji Doulemu, Ph. D. M. Sc. za ochotu při napsání posudku. V neposlední řadě bych rád poděkoval rodině za nepřetržitou podporu.

Úvodní slovo

Ve své práci jsem se inspiroval soutěží vypsanou vesmírnou agenturou NASA^[1]. Jedná se již o třetí kolo mezinárodní soutěže zabývající se návrhem základny na Marsu postavenou pomocí 3D tisku. V prvním kole se soutěž zaměřovala na vytvoření architektonické formy stanice, druhá fáze se převážně zaměřovala na vytvoření konstrukčních částí a třetí, současná, fáze se zaměřuje na vybudování návrhů ve středně velkém měřítku.

Ve fázi předdiplomního semináře jsem zkoumal místní podmínky, klima a způsob dopravy na místo.

Snahu vybudovat základnu na cizím tělese doprovází mnohá nebezpečí^[2], jako jsou radiace, změny teplot, dopady mikrometeoritů, následky nízké gravitace na lidské tělo, toxický prach, spolehlivost systémů udržující podporu života, dostatek zdrojů a nečekané události jako jsou prachové bouře, pohybující se pískové duny. Navíc z důvodu oběhu planet kolem Slunce je možné cestovat na Mars jen v určitých periodách, kdy jsou si planety Země a Mars nejbližší (cca jednou za 2 roky). To tedy znamená, že v případě nutnosti není možné misi ukončit dříve.

V současnosti navíc nejsou potřebné technologie dostatečně vyzkoušené, chybí dostatečně silné rakety schopné dopravit větší náklad mimo Zemi a nemáme dostatek informací o vlivu vesmírného prostředí na člověka.

Proto jsem se rozhodl navrhnout stavbu na Zemi, která by byla testovacím střediskem pro mise do vesmíru v blízké budoucnosti. Bude se zde testovat automatizovaný postup výstavby (robotický 3D tisk), fungování technologií (výroba a recyklace vody, výroba kyslíku, energie, úprava vnitřní atmosféry, úprava tepla, zajištění světla, nakládání s odpadem a testování komunikačních přístrojů), tak i dopady na lidskou psychiku (jedná se o velice náročnou misi, kde posádka stráví přibližně 6 měsíců cestou na Mars, rok na planetě a 6 měsíců cesty zpět s vědomím, že není možné se vrátit dříve).



Obr. 1: Soutěžní plakát. Převzato z [1]

Zájem o vesmír provází lidstvo již od počátků civilizace, v jejím vývoji sehrál důležitou roli. Ve starověku byly znalosti astronomie používány pro předpovídání čas záplav, setí a sklizně. Nejrozvinutější kultury starověku se také nejvíce orientovaly v astronomii. V této době vzniká první „vesmírná“ architektura (menhiry, dolmeny, kromlechy), které pracovaly se slunečním svitem. Národy si postupně vyvinuly své kalendáře s významnými dny, jako je jarní a podzimní rovnodennost, zimní a letní slunovrat. Tyto dny byly stěžejní pro přežití a prosperitu obce, často také spojeny se slavnostmi.

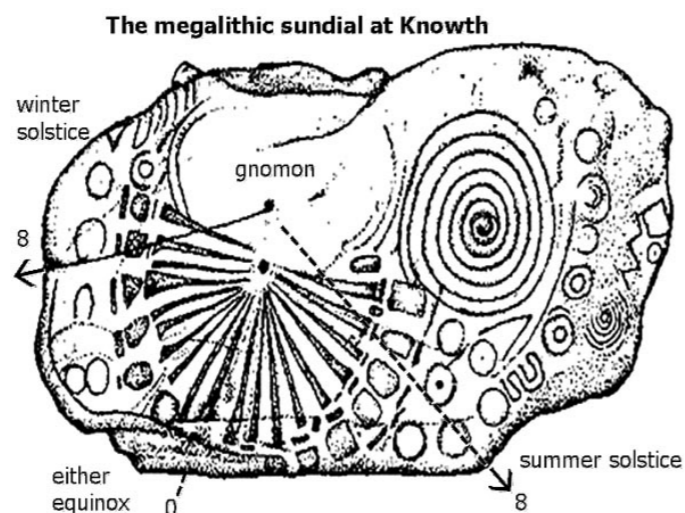
Víra je také inspirována pozorováním universa. Nejvýznamnější bůh egyptské kultury (Re) je personifikací Slunce, byl považován za universální božstvo. Když byly objevovány nové planety Sluneční soustavy, dostávaly jména podle bohů jako Merkur, Venuše, Mars, Jupiter, Saturn.

V Antice měla astrologie velký význam pro navigaci. Vzniká sférická astronomie sloužící k popisu poloh objektů na nebeské sféře. Zavádí souřadnice a popisuje významné křivky a body na nebeské sféře. Tyto pojmy se také používají při měření času.

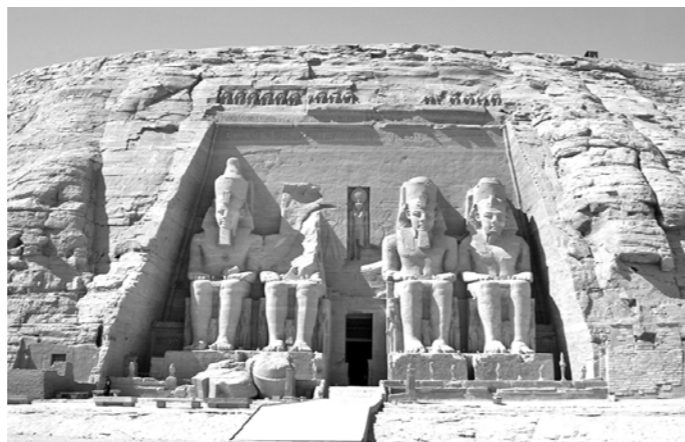
Novověk změnil nahlížení na vesmír, když Mikuláš Koperník roku 1514 navrhl nový model, ve kterém je středem soustavy Slunce, nikoliv Země. V roce 1687 vydal sir Isaac Newton knihu *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, podle níž jsou k sobě tělesa vázána gravitací, která závisí na hmotnosti těles a na jejich vzdálenosti.

V letech 1905–1915 napsal Albert Einstein teorii relativity – speciální, ve které zavedl konečnou rychlost světla a obecnou relativitu o gravitaci, čase a prostoru ve velkých rozměrech. Na začátku 20. století vznikla kvantová teorie o chování elementárních částic.

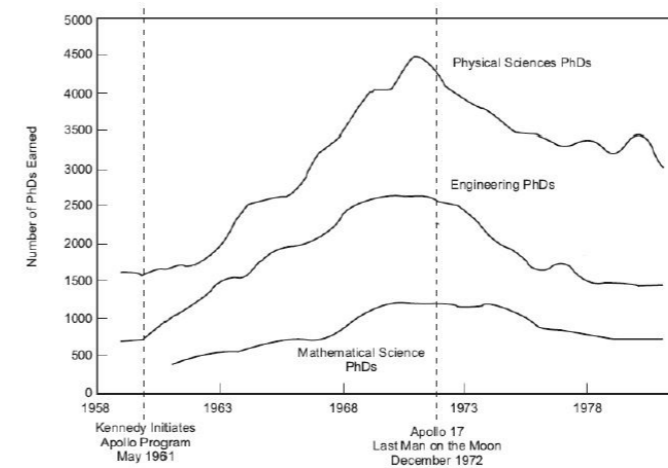
Zkoumání vesmíru tedy provází lidstvo celou historií. Člověk si ani neuvědomuje, v kolika možných ohledech nás vesmír ovlivnil. Vděčíme mu za lidovou tradici, vnímání času, kalendáře, svátky, víru i největší průlomy ve vědě. Vesmír není nic vzdáleného, nedotknutelného, je to jen další pevnina za horizontem oceánu, který jsme se zatím neodvážili přeplovat. O to více náš ovšem zajímá, co tam najdeme.



Obr. 2: Kamenné hodiny odměřující zimní a letní slunovrat. Pochází z irského Knowthu 3200 až 2000 př. nl. Převzato z [3]



Obr. 3: Průčelí Velkého chrámu v Abú Simbel. Chrám je orientován přesně k východu a byl postaven tak, že dvakrát do roka, o jarní a podzimní rovnodennosti, ozářilo vycházející slunce sochy tří božstev vytesané v západní stěně nejzazší kaple, ležící 65 metrů hluboko ve skalním masivu. Převzato z [4]



Obr. 4: Poměr studentů studujících PhD v technických oborech za doby vesmírného závodu. Převzato z [5]



Obr. 5: Ikonický snímek Země s povrchem Měsíce, pořázený roku 1968 posádkou Apolla 8. Pomohl si lidstvu uvědomit, jak je planeta Země jedinečná, podpořil první snahy o ekologii a udržitelný rozvoj. Převzato z [6]

Výzkum vesmíru má širokosáhlé důsledky na život na Zemi a mohou se rozdělit do tří kategorií: inovace, kultura, inspirace^[5]. Lidská mise na Mars by měla dopad na všechny na tato tři odvětví.

Z hlediska inovace bychom mohli mluvit o pokroku v zdravotních technologiích, prohloubení znalostí o vlivu malé gravitace a vysoké radiace na člověka. Bylo by možné sledovat dopady odloučení na psychiku člověka.

Vyslání lidské posádky na Mars je velice náročný úkol, při kterém musí dojít jak k mezinárodní spolupráci tak i ke spolupráci veřejného a soukromého sektoru. Podobné projekty mají velký dopad na civilizaci, neboť sjednocují národy s různou kulturou a vytyčují jednotný cíl.

Z hlediska inspirace bychom mohli uvažovat o případném zvýšení zájmu o studium technických oborů - jak bylo dokázáno v období vesmírného závodu .

Mars je po Zemi hned druhým nejsnadněji obyvatelným místem Sluneční soustavy [7]. Pod povrchem se nachází ložiska zmrzlé vody a jeho půda obsahuje minerály bohaté na vodu. Leží v cirkumstelární zóně (zóna určená vzdáleností planety od slunce, kde se za dostatečného tlaku může vyskytovat kapalná voda). Gravitace Marsu je 38% zemské, podle předpokladů je taková hodnota dostatečná pro adaptaci lidského těla. Má atmosféru, která poskytuje částečnou ochranu proti vesmírnému a slunečnímu záření. Denní a noční rytmus je velice podobný pozemskému - marsovský sol trvá 24 h 39 min 35 s. Osa Marsu je potočena podobně jako zemská, čímž se na Marsu projevují roční období.

Díky svým podmínkám se na Marsu mohl vyskytovat život [8]. Jeho objevení by bylo velkým krokem dopředu s dopadem na medicínu, biochemii a vývoj života.

Další důležitá otázka je co se stalo na Marsu. V historii měl Mars na povrchu tekutou vodu, jezera a moře. Díky studiu jeho proměny bychom se mohli dozvědět více o procesech na Zemi.

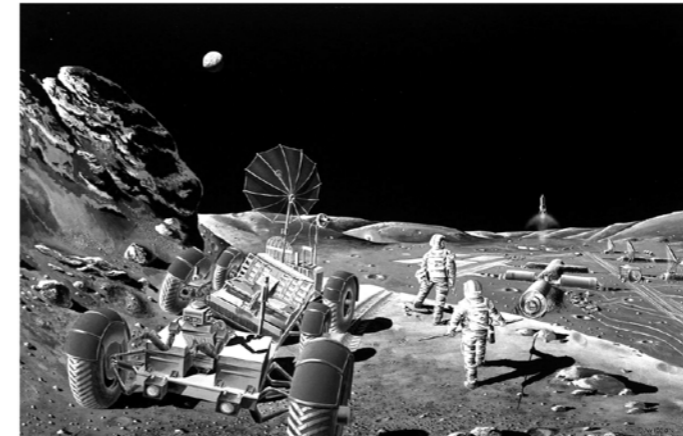
Lidská posádka se k takovému průzkumu hodí více než robotické mise, neboť výzkum probíhá rychleji, lidé umějí improvizovat a rychle se rozhodovat (komunikace s roverem trvá přibližně 20 minut).

ANALÝZY

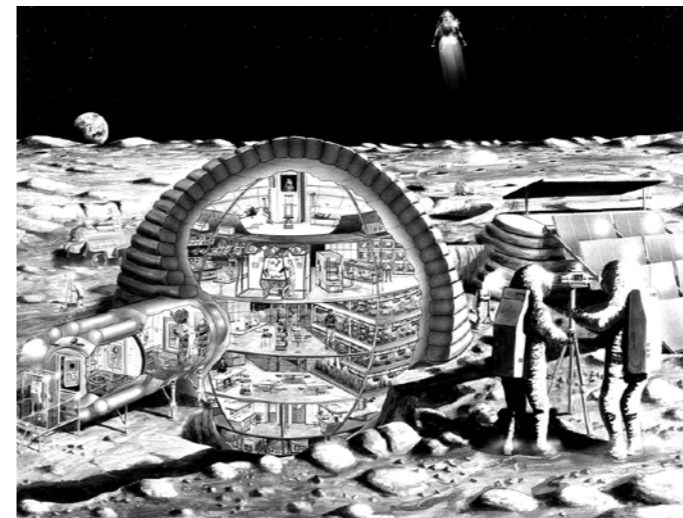
VÝŇATEK Z PŘEDDIPLOMNÍHO SEMINÁŘE



obr. 20 Umělecká představa kolonizace vesmíru
umělec: Arthur Radebaugh, 1959
Převzato z [32]



obr. 21 Umělecký koncept měsíční základny. Tento ikonický obrázek měsíční základny byl vytvořen v roce 1986 na letní škole NASA v California Space Institute (CalSpace)
umělec: Dennis M. Davidson
Převzato z [31]



obr. 22 Měsíční stanice pro šest až dvanáct lidí, postavena do nafukovacího kulovitého prostoru. Koncept z roku 1989
Převzato z [33]

Historie vesmírné architektury

První návrhy osídlení Měsíce pocházejí již z roku 1638. Anglikánský biskup John Wilkins v knize *A Discourse Concerning a New World and Another Planet* předpovídá lidskou kolonii na Měsíci. Od padesátých let dvacátého století vzniká množství návrhů měsíční stanice. V roce 1954 spisovatel sci-fi Arthur C. Clarke návrh Měsíční základny založenou na nafukovacím modulu, který bude zaizolován vrstvou měsíčního prachu.

První vážně míněné návrhy na vybudování stanice na Měsíci vznikaly při Vesmírném závodu. USA i SSSR již na počátku šedesátých let řešily proveditelnost a způsoby výstavby takové základny. Tyto objekty měly plnit hlavně vojenskou funkci. Po ukončení Vesmírného závodu ovšem takové plány postrádaly smysl.

Díky mezinárodní spolupráci ve výzkumu vesmíru se těžiště zájmu odvrátilo od vojenských stanic ke stanicím výzkumným.

V současnosti se o Měsíci mluví jako o mezikroku ke kolonizaci Marsu. Je to ideální místo pro testování technologie a v případě nouze se člověk dostane zpět na Zem poměrně rychle. Krom vědeckých účelů by stanice na Měsíci mohla mít komerční využití.

Od návrhů stanic v přistávacích modulech a prázdných palivových nádržích, přes nafukovací moduly ke stavbám zahrabaných v zemi se nově získávanými znalostmi stále mění forma, koncept i nároky na stavbu. Dalo by se říci, že vesmírná architektura je jedním z nejrychleji se vyvíjejících oborů, zatím bez jediné realizace na cizím tělese.

Koncept měsíční vesnice

Kancelář Foster + Partners byla v roce 2013 oslovena evropskou vesmírnou kanceláří ESA o návržení měsíční základny. Měsíční vesnicí se rozumí permanentní základna na povrchu Měsíce. Ke stavbě se užije 3d tisk. To zlevní náklady na pořízení a astronauti přijedou rovnou do „hotového“. Pojmenován byl vesnicí, jelikož by to mělo být místo, kde se lidé s různými myšlenkami sejdou a společně budou vytvářet větší hodnotu.



obr. 23 Foster + Partners Moon base
Převzato z [34]

Lunarbase 10

Základna umístěna na vrcholu hory v blízkosti měsíčního severního pólu. Po přistání modulu se jeho kryt otevře a budou nafouknuty obytné prostory, následně se celá konstrukce zakryje vrstvou regolitu. Základna je určena pro permanentní posádku 10 lidí, plnila by výzkumnou i komerční funkci.

Její tvar byl inspirován barokní architekturou. Bastiony chránící historické stavby proti dělostřeleckým koulím by nyní chránily stavbu před mikrometeority.



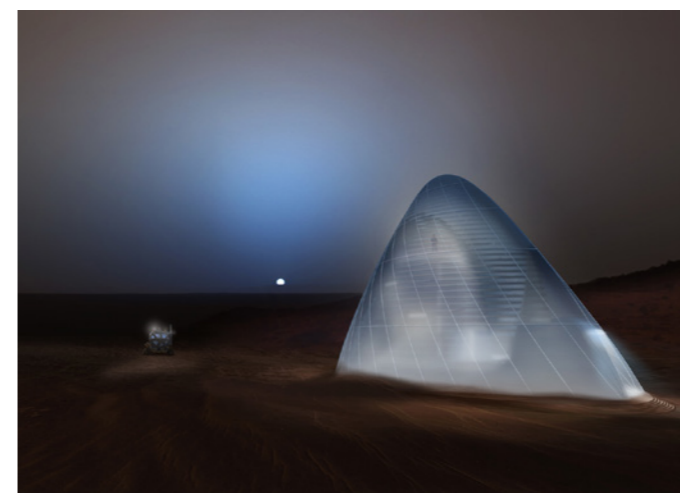
obr. 24 autoři: Ondřej Doule, Emmanouil Detsis, Aliakbar Ebrahimi, Vratislav Saleny, Petr Synovec
Převzato z [35]

TestLab

Výherní návrh soutěže Moontopia pořádané časopisem Eleven
Z popisu projektu: Testlab je budoucnost života na měsíci ve průzkumu vesmíru. Jeho koncept je jednoduchý- postupně osídlit Měsíc. To se stane v řádu několika let, začínaje jednoduchou budovou osídlenou několika astronauty. Jak se osídlení začne vyvíjet, více lidí bude mít šanci přijít. Technologie je založena na 3D a 4D tisku, který tiskne struktury, které se v čase mění.



obr. 25 TestLab
Převzato z [36]



obr. 26 Mars Ice House
Převzato z [16]

Mars Ice House

Díky přítomnosti velkého množství vody nacházející se na Marsu, byl vnější obal navržen z ledu, který by byl tisknut 3d tiskárnou. Koncept je takový, že po přiletu přistávacího modulu 3d tiskárny vytisknou vnitřní ledový obal, kolem samotného modulu. Dále následuje vzduchová mezera pro lepší izolaci a vnější ledová vrstva. Voda navíc slouží jako účinný izolant radiace. Stěny objektu by byly transparentní, což by lidem umožňovalo výhled na marťanskou planinu. Zároveň by neměli klaustrofobický pocit, který se může vyskytovat u návrhů podzemních staveb.



obr. 27 Mars Habitat
Převzato z [37]

Mars Habitat

V roce 2015 představila kancelář Foster+Partners plán tří jednotek, dohromady s 93 m² užitého prostoru. Ke stavbě by se využil místní regolit, který by jeden typ robotů spekal pomocí mikrovlnného záření. Další roboti by hloubili jámu a třetí typ by vrstvil regolit. Od každého typu je potřeba několik robotů, aby ho ostatní v případě poruchy nahradili. Z toho důvodu jsou také navrženy tři jednotky, v případě poruchy jedné by zbylé dvě byly schopny ubytovat astronauty.



obr. 28 Mars Habitat
Převzato z [15]

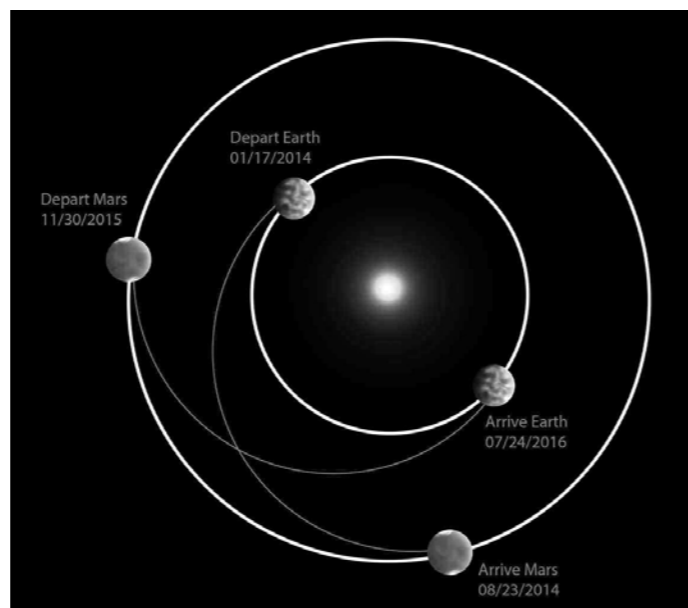
Marsovské vědecké centrum

Návrh dánského architekta Bjarke Ingelse na postavení Marsovského vědeckého centra, které bude fungovat jako vesmírný simulátor poblíž Dubaje. Zde budou vědci testovat nutné technologie.

Jednalo by se o největší vesmírný simulátor kdy postavený. Spolu s Ingelesem a jeho firmou BIG bude na projektu spolupracovat tým emirátských vědců a designérů. Spojené arabské emiráty se tímto snaží dostat do vedoucí pozice vesmírného výzkumu.

Cesta na Mars

Země oběhne Slunce jednou za 365 dní, Mars za 670. To znamená, že většinu času nejsou planety v ideální poloze pro cestování mezi sebou. K cestě na Mars se otevírá okno jednou za 26 měsíců, neboť to je doba, kdy jsou planety sobě nejbližší. Poté, co se takové okno zavře, musí se počkat na další. To činí misi na Mars velice nebezpečnou, neboť ji není možné v průběhu přerušit. Mars má navíc dostatek atmosféry, že při sestupu je nutné použití tepelného štítu, ale následné použití padáku nestačí pro brzdění. Proto je zapotřebí dosednutí zbrzdit zážehem motorů, což zvedne z povrchu vrstvu prachu a štěrku.

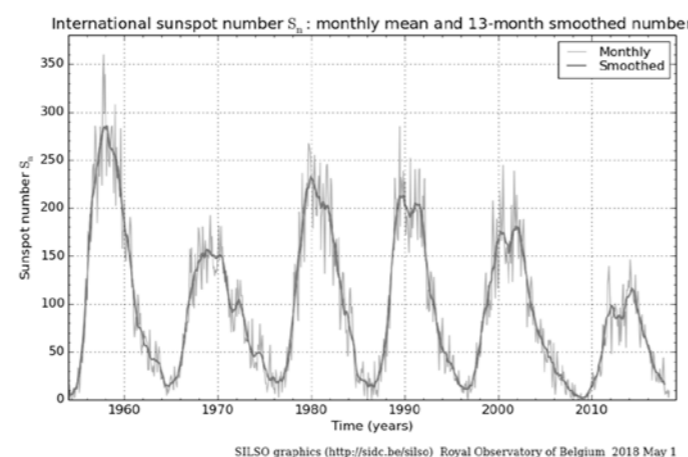


Obr. 6: Simulace mise na Mars v letech 2014 - 2016
Převzato z [10]

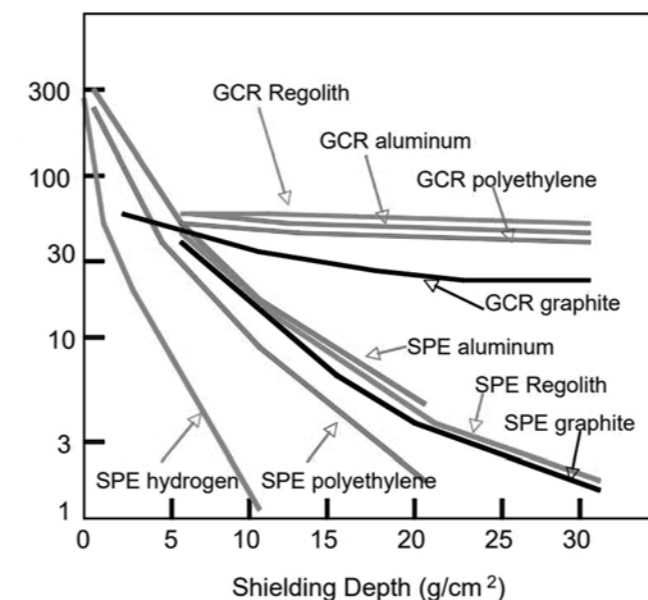
Radiace

Při cestách do vesmíru je důležité brát v potaz dva druhy záření- Sluneční a vesmírné. Proti slunečnímu záření je jednodušší se stínit, ovšem v případě slunečních erupcí (SPE), trvající nejčastěji 1-2 dny, je do vesmíru vyzářeno vysoké množství radiace. Posádka o těchto erupcích musí být informovaná a v jejich průběhu být schovaná v krytu. Vesmírné záření je způsobeno například výbuchy supernov v naší galaxii a obsahuje těžší, vysoce energetické prvky, které postrádají elektrony. Při průchodu materiálem mohou způsobit ionizaci - elektrony jsou z materiálu přeneseny na vyzářený prvek [11].

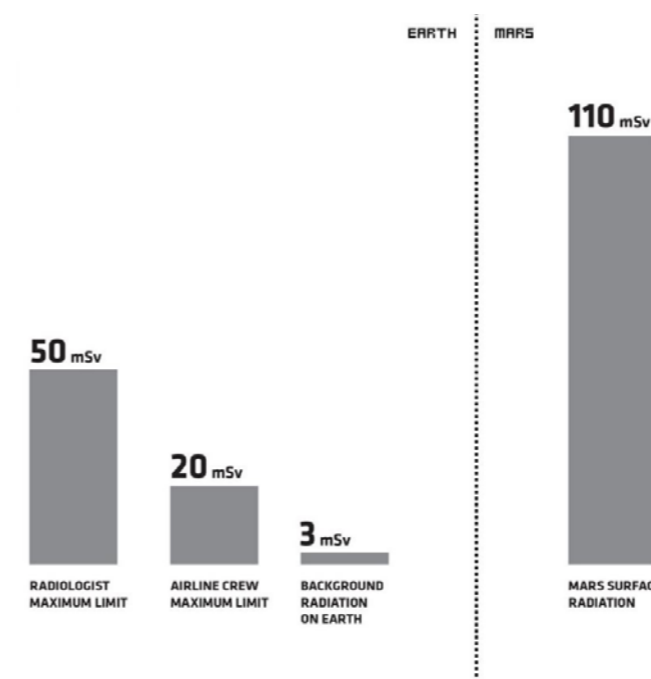
Čím je člověk vystaven vyšším dávkám radiace, tím se zvyšuje šance na vyvinutí rakoviny. Proto je potřeba při cestách do vesmíru věnovat zvýšenou pozornost jejímu stínění. Na Zemi se ke stínění radiace používá vrstva hmoty (beton, olovo), což je ve vesmíru těžce proveditelné. Nároky na vynesení takové ochrany by byly příliš velké. Za účelem prodloužení vesmírných misí NASA vyvíjí materiály, které jsou lehké a účinně stíní radiaci. Jonathan Pellish, inženýr zabývající se radiací se středisku Goddard, říká: „nejlepší způsob jak zastavit záření je nechat částice nalétnout do podobně velkých atomů“[11]. Z toho vyplývá, že nejlepším prvkem je vodík, nejrozšířenější element ve vesmíru. Je také součástí používaných látek, jako je voda a polyethylen. Slibně vyhlížejícím materiálem pro využití ve vesmíru jsou nanotrubičky obsahující bór, dusík a vodík[11]. Je možné ho použít jako textilní vlákno pro obleky astronautů, nebo jako konstrukční materiál trupu lodi.



Obr. 7: Cyklické kolísání sluneční aktivity
Převzato z [13]



Obr. 8: Stínící účinnost materiálů při různých druzích záření (GCR - vesmírné záření, SPE - záření při solárních erupcích). Z grafu vyplývá, že nejúčinnější proti SPE je vodík, proti GCR grafit.
Převzato z [14]



Obr. 9: Průměrná dávka radiace, které jsme ročně vystaveni na Zemi - 3mSv, posádka letadel - 20 mSv, radiologové - 50 mSv. Na povrchu Marsu by byl člověk vystaven radiaci 110 mSv.
Převzato z [15]

Astronaut cestou na Mars bude vystaven vysoké dávce radiace (cca 300 mSv) [12], aby nedošlo k překročení únosných dávek radiace je proto nutné marsovskou stanicí dostatečně chránit. Velikost radiace se v průběhu času mění podle vesmírného počasí a proto může krátkodobě převýšit odhadované hodnoty.

Směrnice

V současnosti neexistují normy pro vystavení lidí radiaci v hlubokém vesmíru. Obecně se tedy používají směrnice užívané pro LEO (nízkou orbitu Země). Standardy jsou určeny národní radou pro měření a ochranu před radiací (NCRP - National Council on Radiation Protection and Measurement). Jsou určeny podle maximálního předpokládaného zvýšení rizika výskytu smrtelné rakoviny o 3%. Z toho je odvozená maximální dávka radiace, po jejímž dosažení již astronaut nesmí létat do vesmíru. Nicméně pro přesnější určení normy je potřeba dlouhodobé sledování lidí kteří navštívili vesmír. Proto se podobné směrnice mohou v budoucnosti měnit. V současné době není možné přesně vypočítat, jak velkému množství radiace budou astronauti vystaveni. Na Marsu jako ochrana může sloužit místní voda, nebo regolith (marsovská půda). Podle studie provedené v roce 1997 vyplývá, že pro krátkodobé mise by postačovala ochrana tvořená marsovským regolithem tloušťky 0,5 - 1m[14]. S větší tloušťkou se zvyšuje stínění minimálně. 5-7 metrů tlusté zdi z regolithu by měly zajistit stejně nízké dávky radiace, jako jsou na Zemi [15]. Podle projektu Mars Ice House, oceněným první cenou v soutěži NASA 3D printed challenge, stačí 5cm tlustá vrstva vody pro snížení radiace na přijatelnou úroveň[16].

Vliv stavu beztlíže na lidské tělo.

Veškeré organismy jsou na zemi přizpůsobeny gravitaci. Ta pomáhá řídit výměnu tekutin, udržuje svalovou hmotu a zajišťuje odolnost kostí.

Při cestě na Mars je tělo vystaveno stavu beztlíže trvající kolem sedmi měsíců. To zapříčiňuje ztrátu svalové hmoty, odvápnění kostí, vápník se může hromadit ve žlučníku a způsobovat žlučkové kameny. Mikrogravitace také působí negativně na zrak, neboť nitrolebeční tekutiny se přelévají jinak [2]. Tyto jevy lze výrazně zmírnit denním posilováním, vyváženou stravou a užíváním vitamínů.

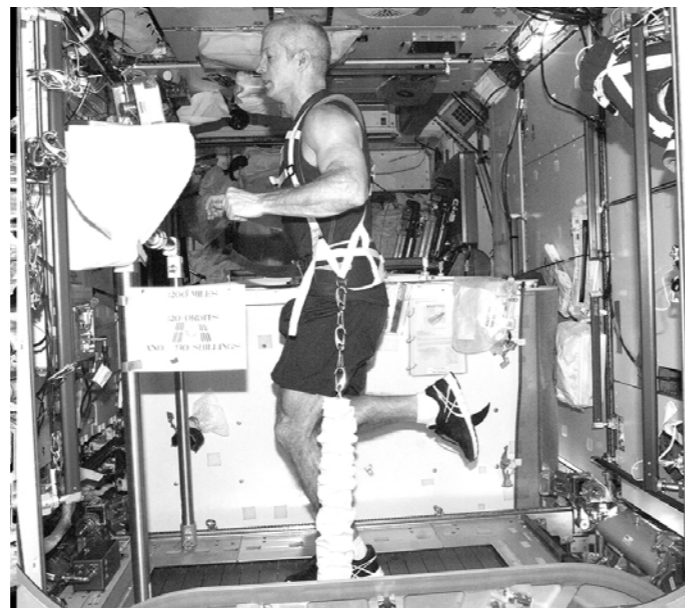
Stav beztlíže také negativně působí na psychiku člověka, kdy může docházet k nespavosti, depresím.

Jakákoliv operace v takovémto prostředí je velice náročná, neboť krev neodtéká z místa rány, ale hromadí se kolem něho.

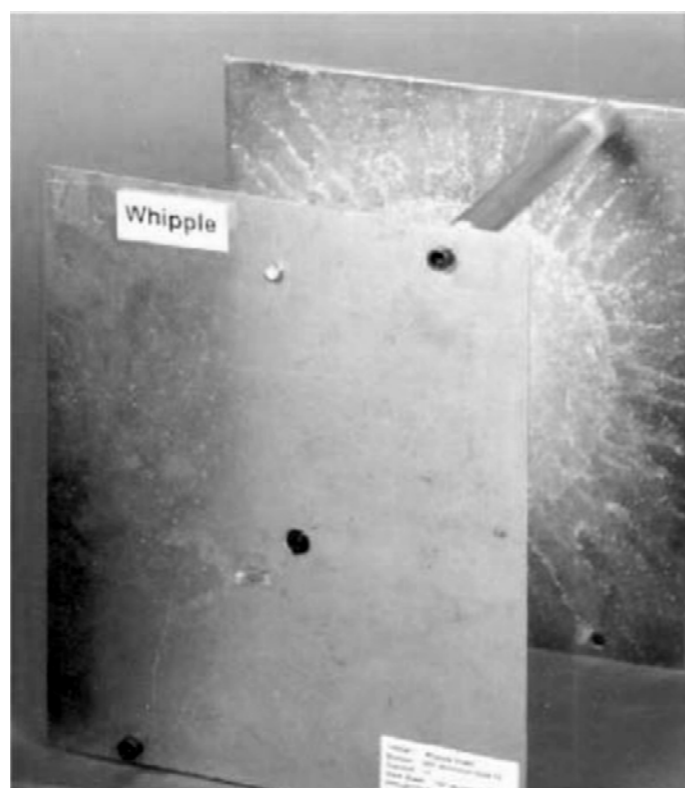
Dopady mikrometeoritů

Vesmírem létají různě velké objekty takovou rychlostí, že i centimetr velká částice může napáchat vážné škody. Pro vesmírné lodě jsou problémem částice, které jsou dostatečně velké, aby napáchaly škodu a zároveň tak malé, že je není možné vysledovat a vyhnout se jim. Stěny lodí jsou vyráběny ze sendviče, tzv. Whipple shielding, který je složen z vrchní tenké vrstvy hliníku, poté následuje vrstva materiálu z uhlíkových vláken a následná tlustá vrstva hliníkového trupu [18]. V teorii platí, že by horní tenká vrstva měla roztříštit mikrometeorit na menší části, jejichž kinetická energie se pohltí ve vrstvě z uhlíkových vláken.

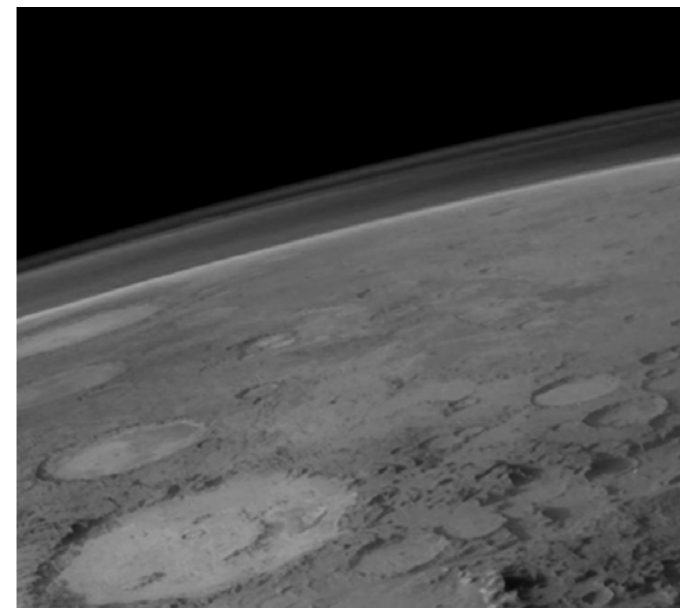
Země je proti takovým událostem chráněna hustou atmosférou, nicméně Mars se svou řídkou atmosférou je bombardován častěji. Dráha Marsu je navíc blíže k pásu asteroidů. Dle odhadů se ročně zformuje na Marsu 200 nových kráterů o průměru metru, až desítek metrů. Dopady větších těles jsou méně časté než dopady malých [19]. Proto je v návrhu stanice vhodné uvažovat o ochraně proti dopadům mikrometeoritů.



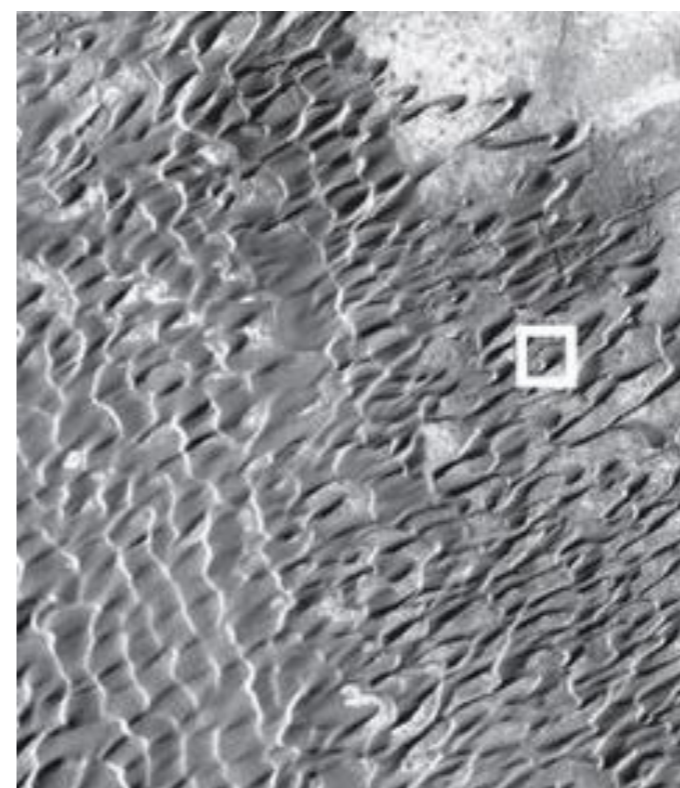
Obr. 10: běhací pás na palubě ISS, astronauté k němu musí být připásáni, celá konstrukce je na pístech, aby otřesy neovlivňovaly dráhu ISS. Převzato z [17]



Obr. 11: tzv. whipple shield sestává ze dvou tenkých vrstev kovu. Mikrometeorit se po průniku první vrstvou roztříští a druhá vrstva je již schopná zastavit úlomky. Převzato z [18]



Obr. 12: tenká marsovská atmosféra s rudým odstínem. Převzato z [22]



Obr. 13: sledování pohybu dun. Převzato z [21]

Atmosféra na Marsu

Na Marsu je tlak atmosféry 0,01 baru (1% tlaku na Zemi). Takto nízký tlak neumožňuje výskyt kapalné vody na povrchu. Většina atmosféry je tvořena CO_2 , s příměsí plynů jako Ar, N.

V návrhu je potřeba myslet na vysoké tlakové rozdíly mezi vnějškem a vnitřkem stanice (nepropustné folie udržující vnitřní tlak).

Marsovský prach

Jedná se o velice jemnou strukturu, která navíc může být pro člověka toxická [20]. Díky globálním prachovým bouřím se zde může hromadit vysoký elektrický náboj. Nedochází zde k tak častému vybíjení jako na Zemi (na Zemi putuje náboj atmosférou díky vlhkosti, na Marsu je atmosféra velice suchá). Jelikož je nabitý, snadno se přichytává k povrchům.

V návrhu je proto třeba rozmyslet oddělení venkovního a vnitřního prostředí s několika přechodovými zónami.

Pohyb dun

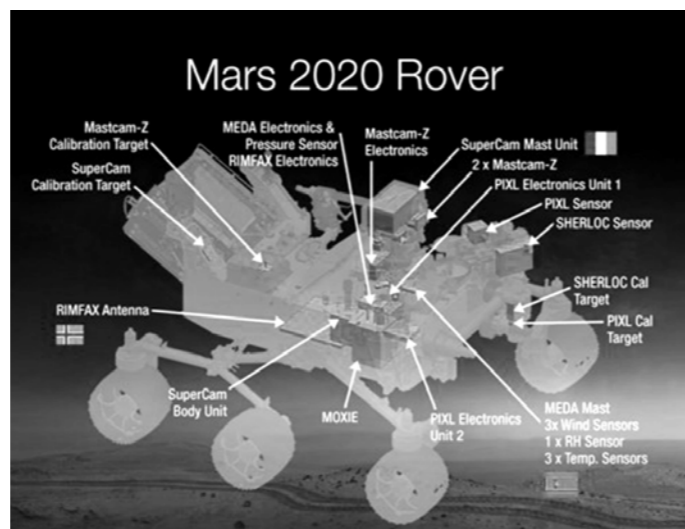
Pozorováním dun pomocí sondy Mars Reconnaissance Orbiter se prokázal pohyb písečných dun na povrchu Marsu [21]. Pohyb je sezónní, kdy v létě roztaje část polárního CO_2 , čímž se zvýší hustota atmosféry. Ta má následně větší sílu na přesun písku a prachu. Určitá území může pokrývat kolem 1 km hluboká vrstva nezpevněného písku.

Výměna tepla

Výměna tepla probíhá vedením (kondukcí), sáláním (radiací) nebo prouděním (konvekcí). Teplotní výměna prouděním je velice využívaná na Zemi pro chlazení nebo vyhřívání elektroniky, staveb a podobně. Nicméně na Marsu je tato metoda omezena. Kvůli slabé atmosféře není možné účinně odvádět teplo a problematice přehřívání systémů je potřeba věnovat důkladnou péči.

Produkce kyslíku

Pro Mars je speciálně vyvíjen přístroj Moxie, který je schopný z místního CO₂ vyrobit kyslík : $2\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO} + \text{O}_2$. Tento přístroj bude dovezen na Mars v roce 2020, jako součást nového roveru. Jelikož se jedná o životně důležitý přístroj, bude muset být trojitě redundantní - při výpadku prvního budou moci jeho práci zastat ještě dva jiné. Mimoto lze kyslík získávat rozpadem vody : $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$.



Obr. 14: technologie roveru 2020
Převzato z [24]

Produkce energie

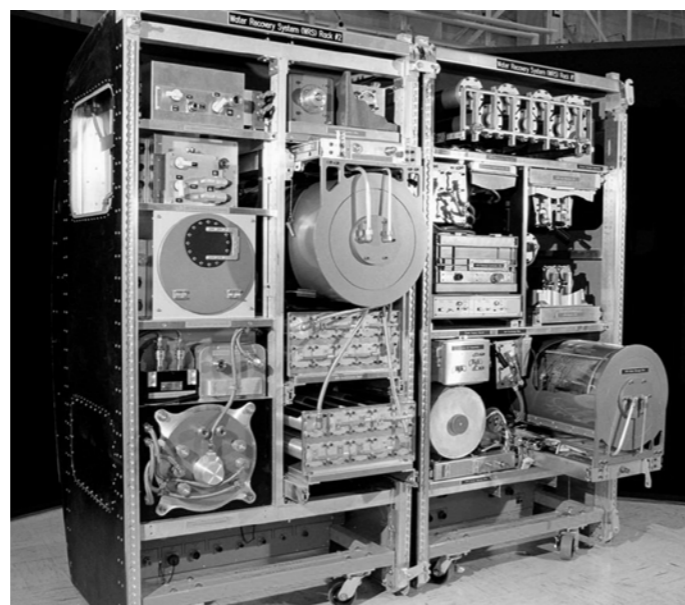
Na Marsu je možné využít solární panely. Ty ovšem nedosahují takové účinnosti jako na Zemi, neboť na Mars dopadá méně slunečního záření. Všudypřítomný prach ještě více snižuje jejich účinnost. Proto jsou ve vývoji nové jaderné reaktory Kilopower, speciálně určené pro výrobu energie na Marsu.



Obr. 15: vizualizace reaktoru Kilopower
Převzato z [25]

Získávání vody

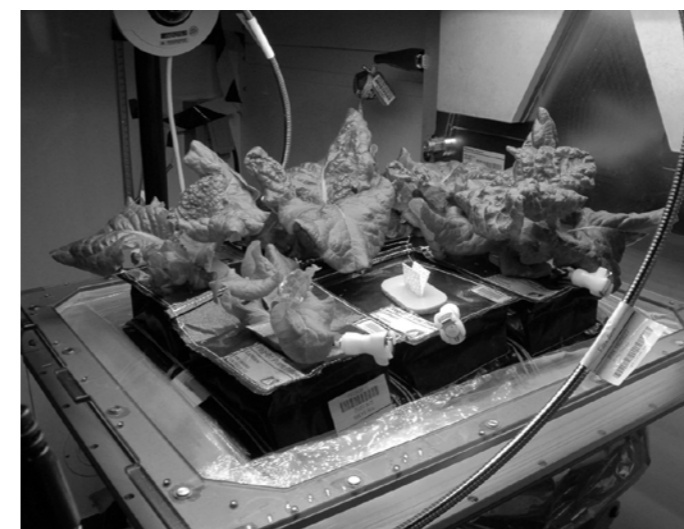
Pod povrchem Marsu jsou rozsáhlá ložiska zmrzlé vody, kterou lze využít. Navíc jsou marsovské minerály bohaté na vodu, takže je také možné získávat vodu jejich zahřátím. Další způsob je dovézt vodík ze Země, který cestou poslouží jako ochrana proti radiaci a následně je sloučen a kyslíkem vytvořeným na Marsu.



Obr. 16: přístroj recyklující vodu na palubě ISS
Převzato z [26]

Recyklace vody

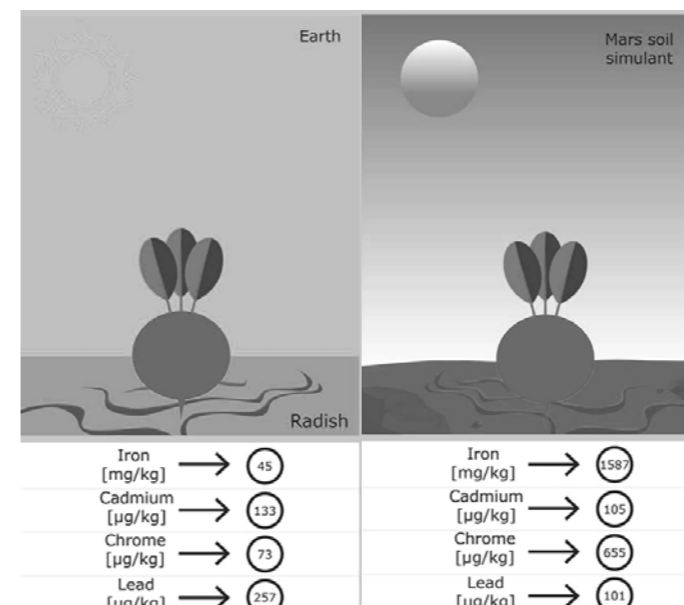
Systémy pro recyklaci vody se používají na ISS, se současnými technologiemi je možné recyklovat až 96% vody.



Obr. 17: přístroj Veggie pěstující rostliny na palubě ISS
Převzato z [29]



Obr. 18: pokusy s pěstováním rostlin v marsovském substrátu
Převzato z [28]



Obr. 19: porovnání těžkých kovů v rostlinách pěstovaných na zemském a marsovském simulantu
Převzato z [30]

Potraviny ve vesmíru

Na ISS je dováženo jídlo speciálně upravené na Zemi, zbavené vody a bakterií, zapečetěné v obalu s popiskou obsahu. Díky tomu jídlo vydrží dlouhé měsíce požitelné bez potřeby chladničky. Před požitím je otevřen obal a vstříknuta voda. Poté se půl hodiny počká, až se jídlo zavodní a je požitelné[27]. Pro snížení nákladu připadá možnost pěstovat potraviny. Takováto činnost je navíc velice prospěšná pro morálku posádky.

Hydroponie se v tomto ohledu jeví jako slibná metoda. Je možné pěstovat rostliny s minimálními plošnými nároky. Rostliny nejsou zasazeny v hlíně, kořeny jsou namočené do směsi vody a živin. To umožňuje rostlině dodávat potřebné živiny se sníženou dobou růstu. LED pásy umožňují nastavit ideální vlnové délky osvětlování pro každý druh rostliny. Pěstované rostliny jsou ovšem náchylnější na nákazy, plísň a proto je nutné je řádně kontrolovat.

Nejslibnějšími kandidáty pro hydroponické pěstování je salát, špenát, mrkve, rajčata, zelené cibule, ředkvičky, papriky, jahody, byliny a zelí.

Po přistání na Marsu je možné začít s pěstováním v místní půdě. Ta by podle dostupných informací měla obsahovat všechny látky potřebné k růstu. Iniciativa Mars One experimentuje s pěstováním v uměle namíchaném materiálu[28], složením stejným jako marsovská zemina. Nejvíce se dařilo rajčatům, ředkvičkám a hrachu, některé dokonce i kvetly (velice důležité pro udržování populace rostlin). Tato iniciativa zvažuje také přivezení včel na Mars, které by opylovaly rostliny. Jejich výhodou je, že po dobu cesty na Mars mohou být v hibernaci. Vypěstované plodiny na marsovském regolithu je nutné rostliny otestovat na těžké kovy, mohou obsahovat olovo, rtuť.

V pokročilých fázích stanice by bylo možné pěstování keřů a zakrslých stromů v centrální části půdorysu. Veškeré rostliny by plodily potraviny. Ideálně by se jednalo o rostliny plodící po celý rok, neopadavé (maliníky, jahodníky). Z menších stromů by bylo možné uvažovat zakrslé jabloně, meruňky, broskve. Zároveň by byl prostor osvětlen přirozeným světlem a pro člověka by plnil relaxační a odpočinkovou funkci.



Země

Pořadí planety ve Sluneční soustavě: 3

Vzdálenost od Slunce: 149 600 000 km (1 AU)

Měsíce: 1 (Měsíc)

Průměr planety: 12 742 km

Plocha souše: 148 939 063 km²

Tekuté jádro: ano, rotuje

Magnetosféra: ano

Průměrná dávka radiace za rok: 3mSv

Průměrné teploty: -50°C až +50°C

Počasí: proměnlivé

Gravitace: 9,8 m/s

Den: 23h 56 min

Rok: 365 dní

Naklonění osy: 23,5 stupně

Atmosféra: Dusík, Kyslík, Oxid uhličitý

Tlak: 1 bar

Voda: ano (plyn, kapalina, led)

Polární čepičky: ano, tvořeny vodou



Mars [9]

Pořadí planety ve Sluneční soustavě: 4

Vzdálenost od Slunce: 227 900 000 km (1,524 AU)

Měsíce: 2 (Phobos, Deimos)

Průměr planety: 6 779 km

Plocha souše: 144 798 500 km²

Tekuté jádro: ano, statické

Magnetosféra: ne (slabě lokálně)

Průměrná dávka radiace za rok: 110mSv

Průměrné teploty: -150°C až +20°C

Počasí: jasná obloha, globální prachové bouře

Gravitace: 3,7 m/s (38% zemské gravitace)

Den: 24h 37 min

Rok: 670 dní

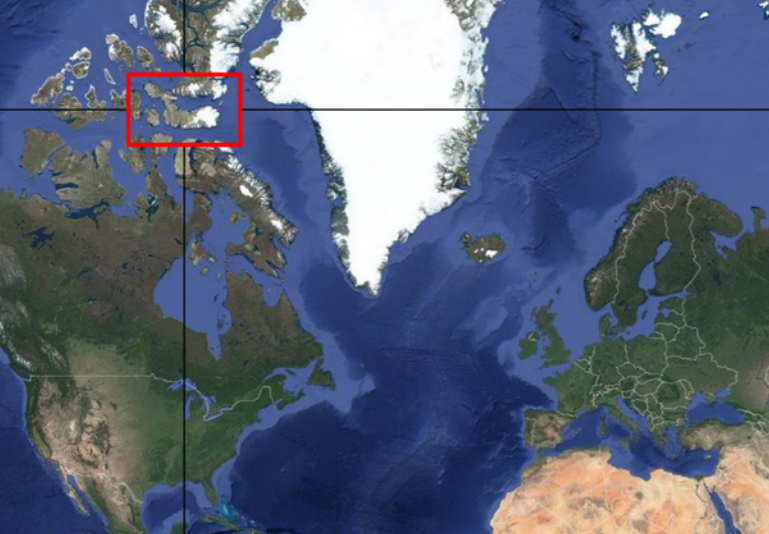
Naklonění osy: 25 stupně

Atmosféra: hlavně Oxid uhličitý

Tlak: 0,01 bar

Voda: ve formě ledu pod vrstvou prachu

Polární čepičky: ano, tvořeny oxidem uhličitým



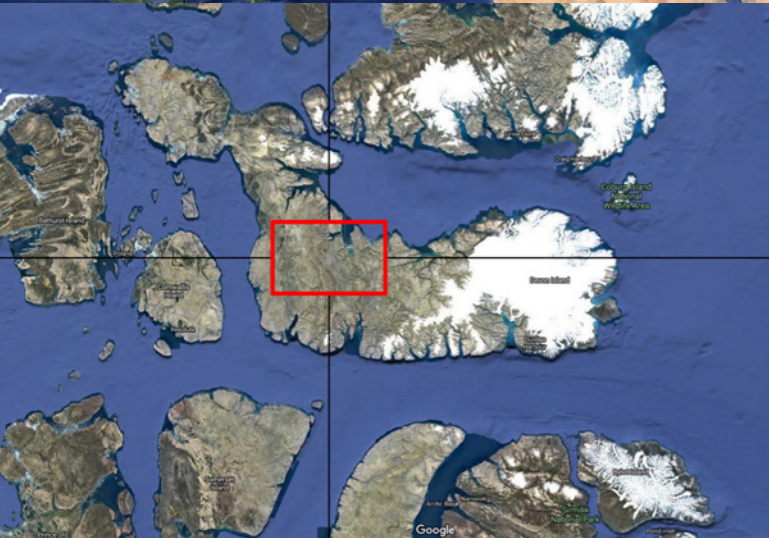
Ostrov Devon

Spadá pod Kanadu, největší neobydlený ostrov na Zemi. Východní část ostrova je převážně pokryta ledovcem (Devon Ice Cap). V této oblasti se také nachází nejvyšší bod ostrova (nadmořská výška 1920 metrů). Přibližně uprostřed ostrova se nachází impaktní kráter Haughton o průměru zhruba 23 km.

Samotný kráter se ze všech míst na Zemi podobá povrchu Marsu nejvíce. I přesto, že na Zemi můžeme nalézt několik míst podobně suchých a bez vegetace, toto místo je jedinečné svou geologií. Povrch Marsu je pokryt nespočtem kráterů, takže většina horniny je rozlámaná, volná. Terén v kráteru Haughton je podobný [38].

Jeho neúrodné prostředí, mrazivé teploty, izolace a odloučení poskytují vědcům z NASA unikátní možnost výzkumu. Ostatní faktory, jako jsou Arctický denní a noční cyklus, obtížný způsob dopravy a nesnadná komunikace se zbytek světa dělají z ostrova vhodné místo pro analogové studie misí.

Testují se zde nové technologie, způsoby komunikace, výbavy a pohyb ve skafandru, nebo v tlakovaném roveru.



Průměrné teploty: +8°C až -26°C



Zdroj obrazové dokumentace: google maps

Kráter Gale

Místo, kam v roce 2012 přistála sonda Curiosity, díky čemuž máme rozsáhlé informace o místě, zmapovanou lokalitu a vytipovaná místa vhodná pro podrobný průzkum.

Toto místo bylo navrženo na posuzování v rámci workshopu: First Landing Site/ Exploration Zone Workshop for Human Missions to the Surface of Mars, pořádané roku 2015 [39].

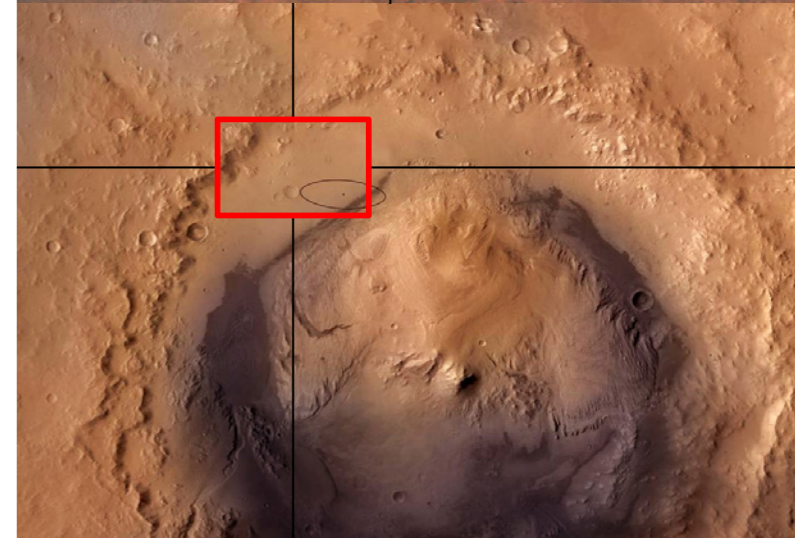
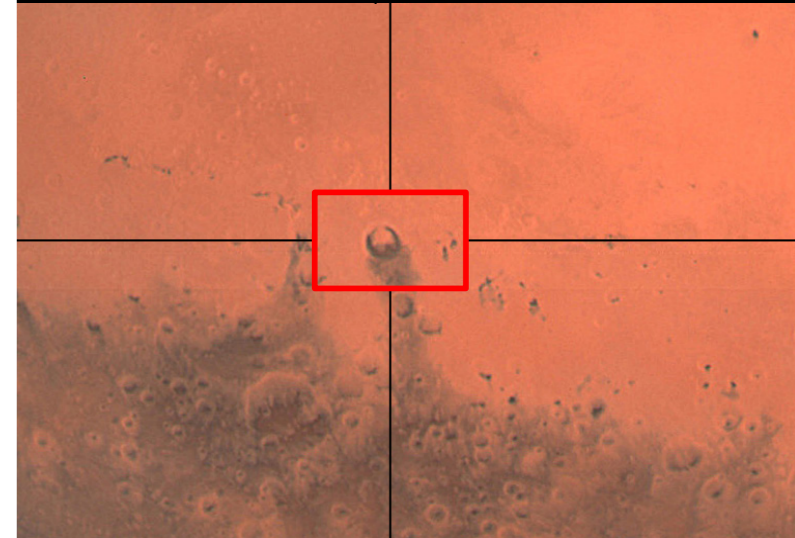
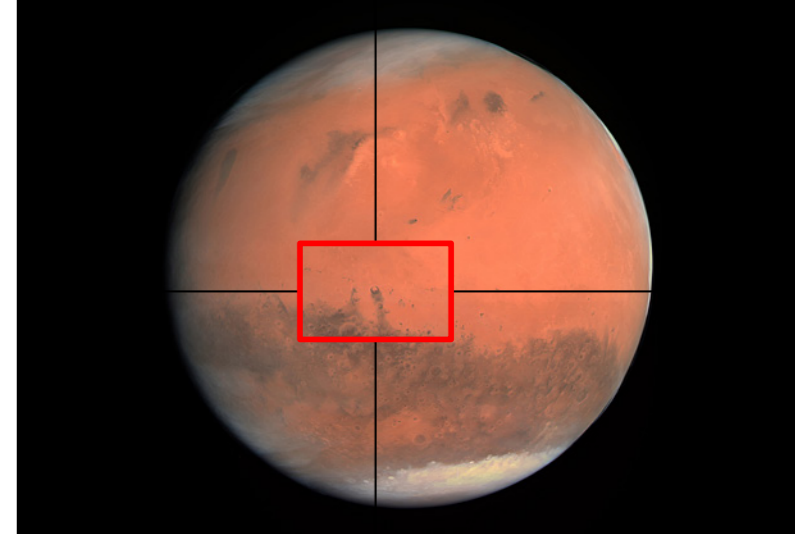
Přistávací zóna se nachází na 137,4019° zeměpisné délky a -4.5965° zeměpisné šířky. V rámci dosažitelné zóny (kruh o poloměru 50 km kolem stanice dostupný pomocí pojízdného roveru) se nachází velké množství surovin.

Toto území v historii mohlo být obyvatelné, s výskytem methanu (ten obvykle vzniká jako vedlejší produkt života) a důkazem bývalého jezera.

Zdroje vody: zde je pouze malá šance objevu zmrzlé vody pod povrchem, ale místní minerály jsou bohaté na vodu a mohou sloužit jako její zdroj (některé sedimenty obsahují až 6% vody). Z jednoho metru krychlového sedimentu bychom byli schopni získat 1L vody.

Díky geochemickým testům na sondě Curiosity se zde prokázal výskyt hliníku, železa a křemíku.

Průměrné teploty: +5°C až -80°C



Zdroj obrazové dokumentace: NASA

Ilustrativní fotografie terénu

KONCEPT

1. PŘIVÉZT BUDOVU

- + otestovaná technologie
- objem dopravy
- závislost na Zemi

2. PŘIVÉZT STAVEBNÍ STROJE

- + využití místních surovin
- + menší objem dopravovaných zdrojů
- závislost na Zemi

3. SOBĚSTAČNÁ KOLONIE

POŽADAVKY NA STAVBU

- odolná konstrukce
- ochrana proti radiaci
- využívá prostředí
- kvalitní vnitřní klima
- soběstačnost
- snadná orientace
- zajištění redundance

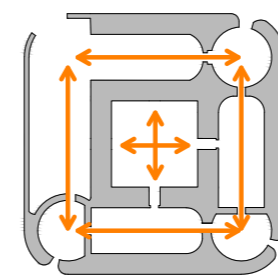
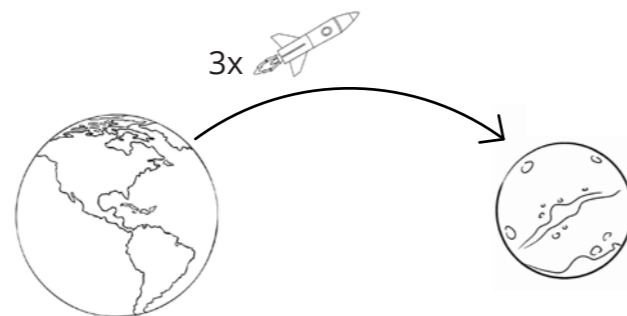
STAVBA JAKO ŽIVOČICH

- přizpůsobuje se a roste z místních zdrojů

Plán mise

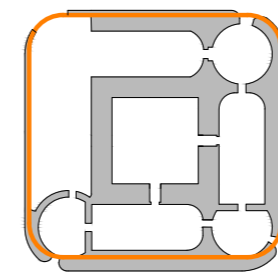
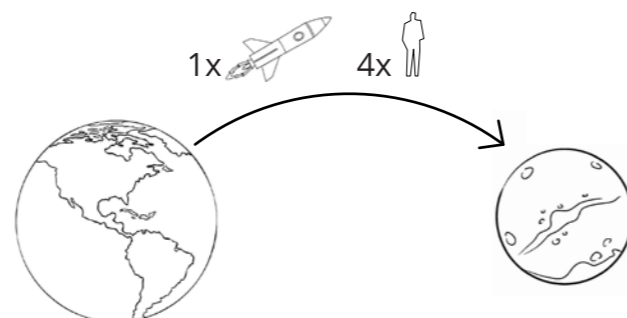
Vyslání nákladu:

První mise bez posádky, vyšlou se tři rakety, každá ponese jeden modul. Díky trojitě redundanci je možné i při selhání jedné rakety pokračovat v misi.



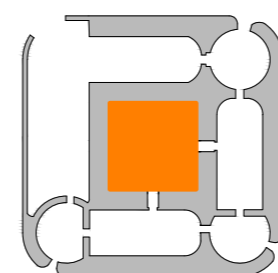
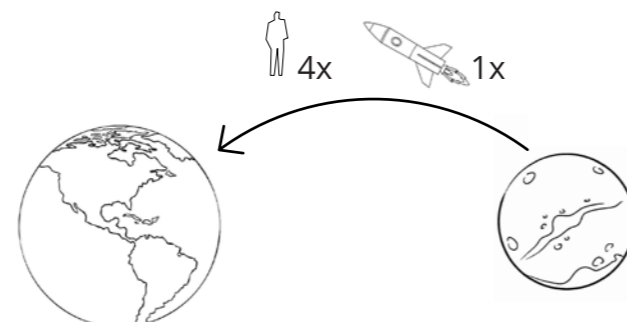
První posádka:

Po potvrzení úspěšného přistání a zapojení základny je vypravena čtyřčlenná posádka. Ta dorazí až po 2 letech od odeslání prvního nákladu. Jedná se o bezpečnostní opatření, aby lidé letěli již do připraveného prostředí. Pokud by byla snaha zkrátit čas mise, je možné vypravit posádku společně s prvním vysláním nákladu.



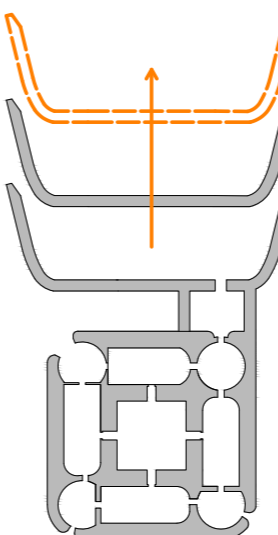
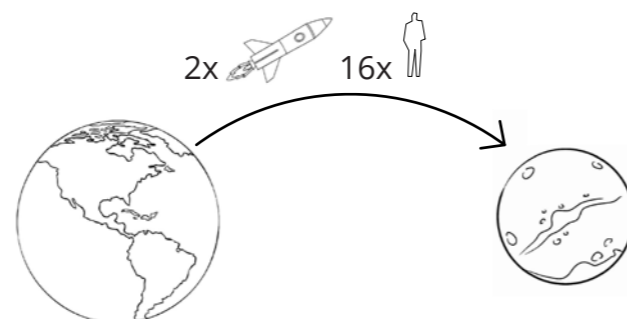
Návrat zpět:

Po cca ročním pobytu na Marsu se první astronauti mohou vrátit zpět. Pokud je mise úspěšná, může dojít k prodloužení a rozšíření mise - následující bod. V takovém případě by první posádka nemusela odléhat, pouze by se rozšířila o nově příchozí.



Rozšíření mise:

Pokud předchozí fáze proběhnou úspěšně, připadá v úvahu možnost rozšíření stanice a navýšení posádky.



Klásterní dispozice splňuje podobné požadavky. Z historického hlediska je to zajímavá paralela, neboť při kolonizaci nového území byl jako jedna z prvních staveb vybudován klášter a až kolem něj vznikalo město.

Křížová chodba umožňuje snadnou dostupnost. Navíc poskytuje možnost unikat dvěma směry v krizových situacích.

Hmotná konstrukce chrání proti vnějším podmínkám - radiaci, dopadu mikrometeoritů, změnám teplot a prachovým bouřím.

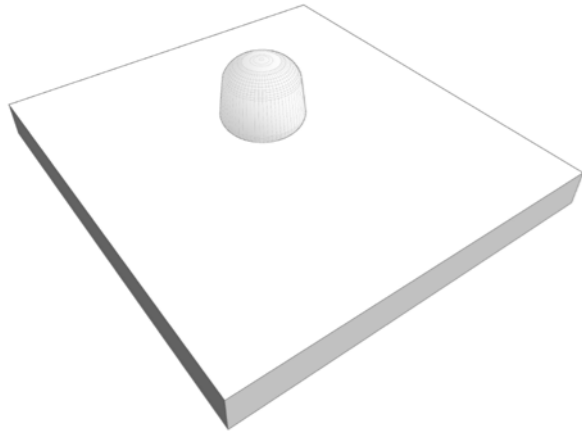
Rajský dvůr představuje menší, intimní prostor plný života, postaven do kontrastu s rozlehlým prázdným prostorem venku.

Místo relaxace, odpočinku a pěstování potravin

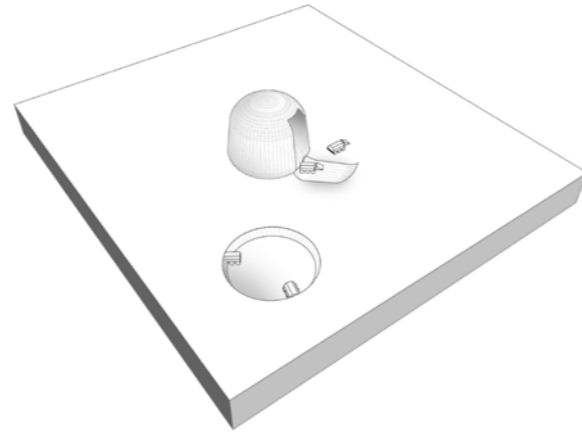
Postupný přechod z vnějšího do vnitřního prostředí. Do čistých provozů (kuchně, společenská místnost, pokoje) se dostává méně prachu a nečistot.

Stanici lze jednoduše rozšiřovat stavbou nových traktů. Takovou stavbu lze provádět za běžného provozu stanice pomocí dvou 3d tiskáren-jeřábů (viz obr. 30 v kapitole dodatky).

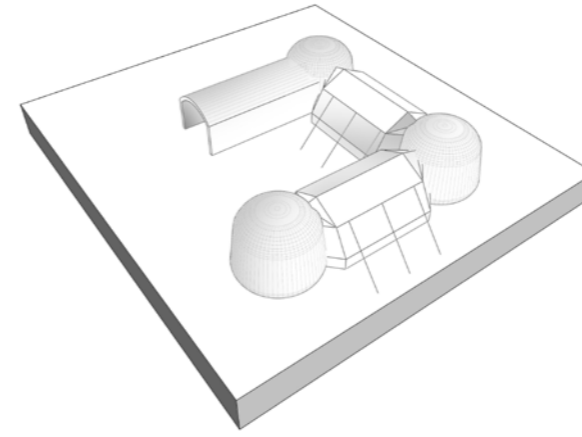
Postup výstavby:



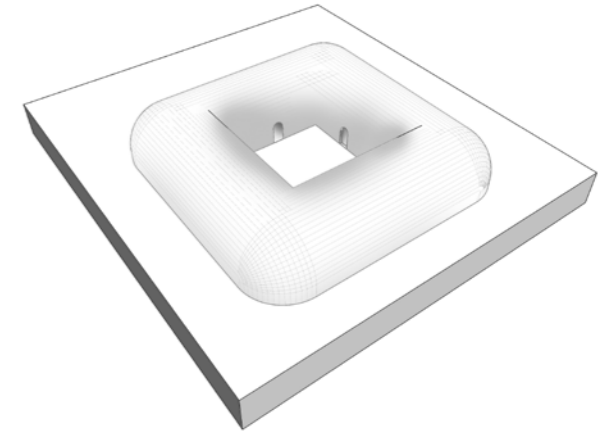
1. Přistání



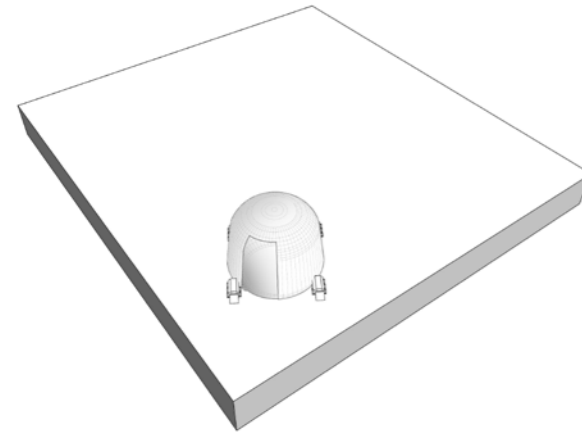
2. Roboti odstraní vrchní vrstvy nezpevněného kameniva, ideálně do hloubky, kde je již zpevněná hornina.



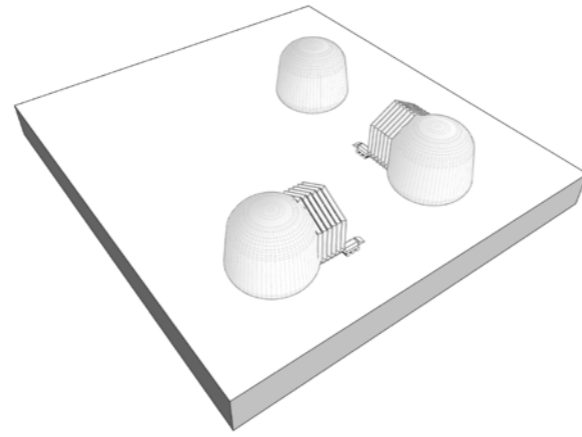
7. Experimentální 3d tisk konstrukce



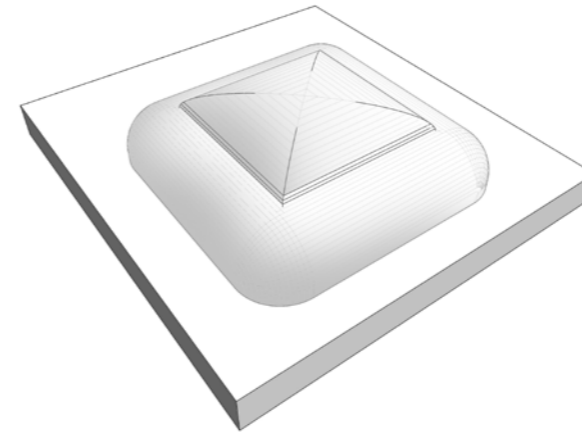
8. Po předchozím kroku dojde k obalení celé stavby další ochrannou vrstvou.



3. Roboti dopraví modul na připravené místo



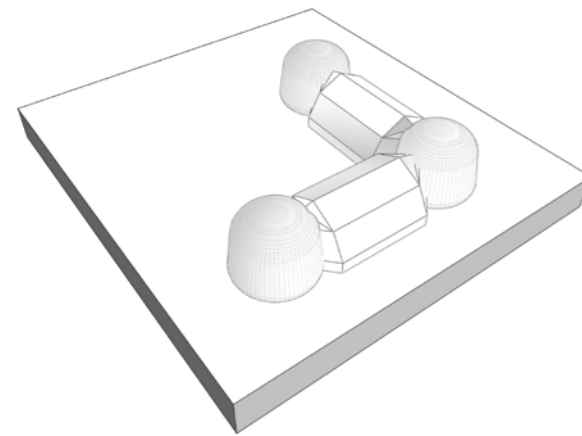
4. Vysunutí konstrukce koridorů



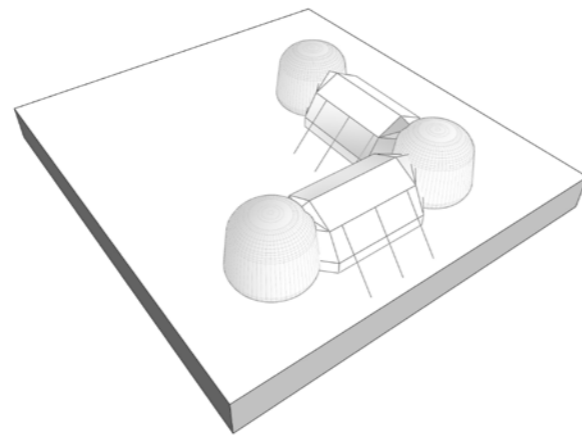
9. Dojde k zastřešení vnitřního dvora pomocí dvojité folie



10. Případné rozšíření stanice pro 16-ti členou posádku.



5. Rozbalení a natlakování koridorů



6. Zajištění konstrukce

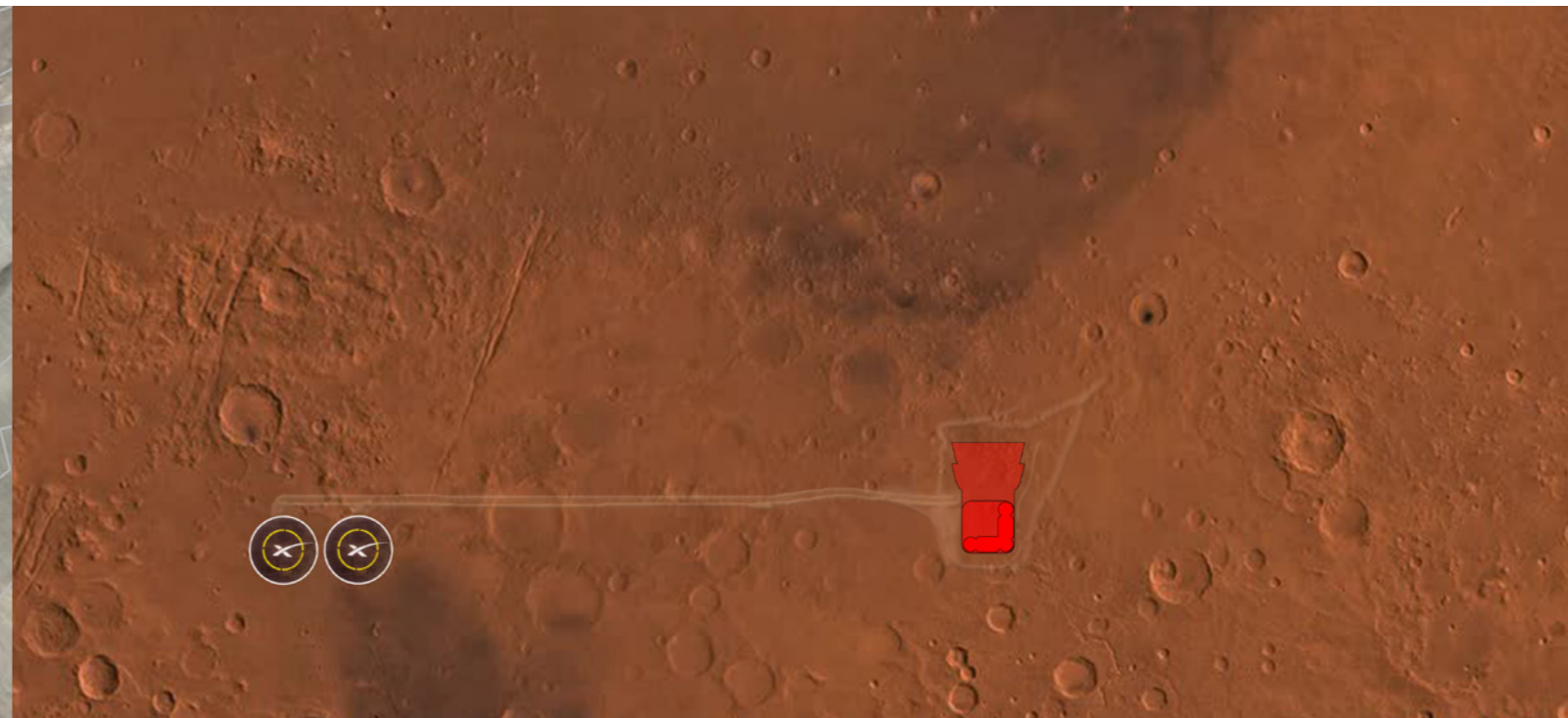
SITUACE

Situace - Devon Island
M 1:5000

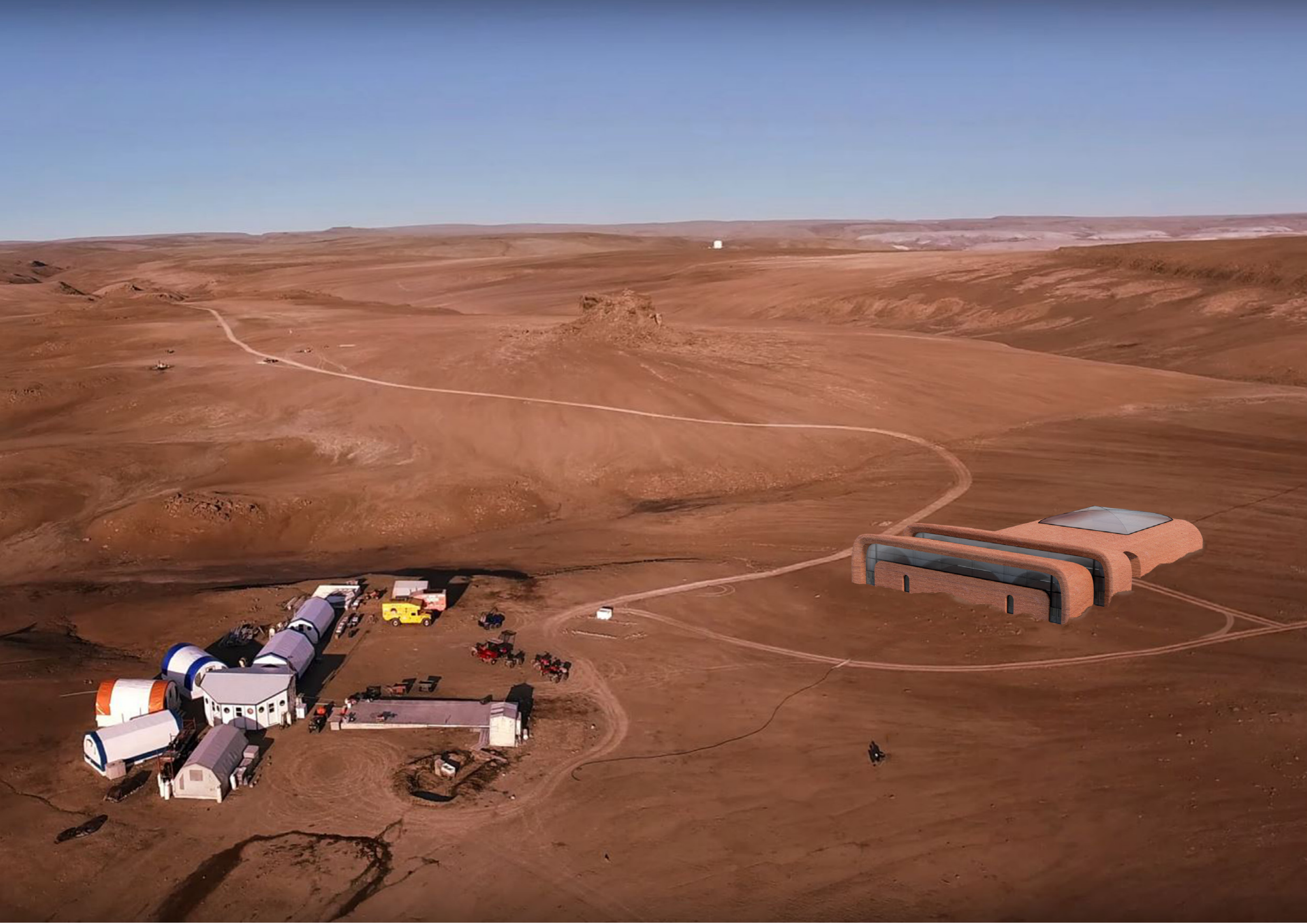


Stanice umístěna v blízkosti současného základového tábora. Směrem na jih se nachází kráter Haughton. Východně od základny je přistávací dráha pro letadla a helikoptéry.

Situace - Gale crater
M 1:5000



Přistávací plochy pro rakety musí být v dostatečné vzdálenosti, aby při startech a odletech vzedmutý štěrk nepoškodil stanici.

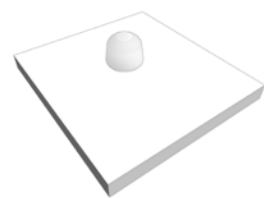




Obrazová dokumentace použitá při vytváření nahlledů převzatá z [47]

DOKUMENTACE STAVBY

Přistání

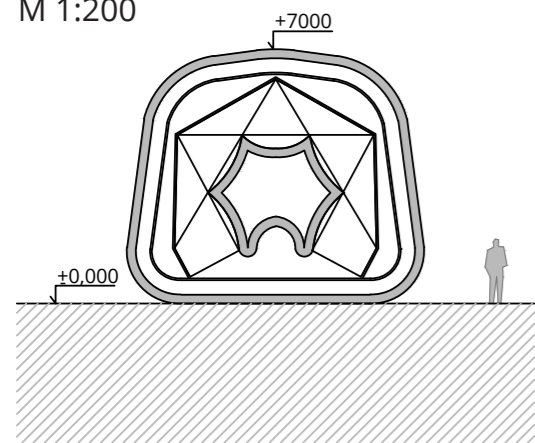


Se současnou technologií není možné přistát v přesně vymezených plochách, musíme počítat s tím, že moduly bude nutné přesunout na požadované místo.

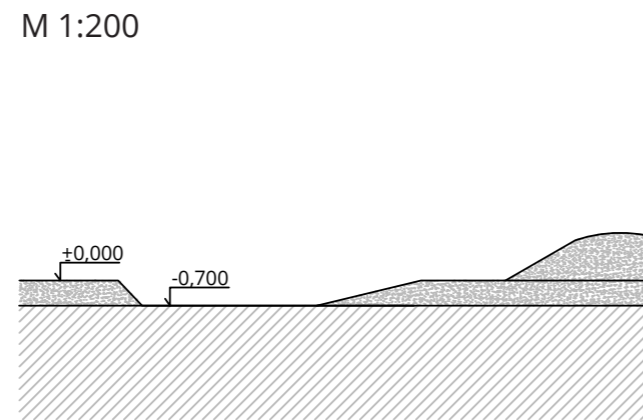
Po přistání se otevřou dveře modulu, aktivují se roboti a zmapují ideální místo pro založení stanice. Z vybraného místa by bylo ideální odstranit vrchní vrstvu volného kameniva, aby bylo možné usadit modul do stabilnější zeminy, nejlépe přímo na rostlou horninu. Rozevírací koridory mají gumové spojky, které jsou schopny se přizpůsobit případným nerovnostem (viz dodatky str. 71).

Přesun modulů na požadovaná místa zajistí roboti (teoreticky by bylo možné uvažovat i technologii skycrane, ale ta se nikdy k takovému úkolu nepoužila a je potřeba zvážit prašnost takové operace).

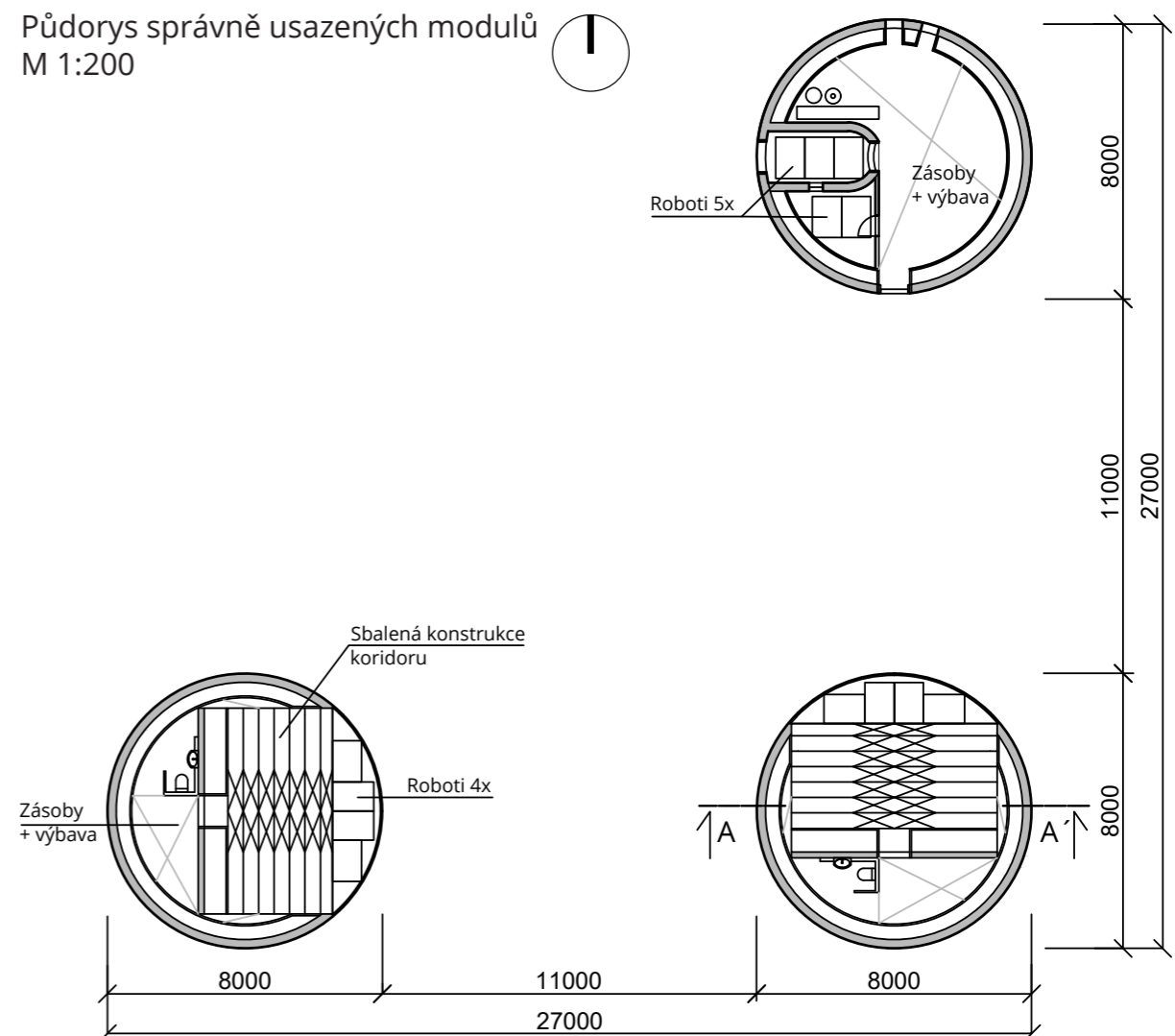
Řez A-A'
M 1:200



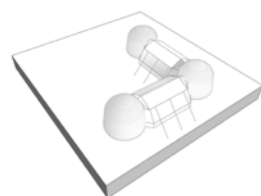
Roboti ideálně odstraní vrchní nebezpečnou vrstvu materiálu
M 1:200



Půdorys správně usazených modulů
M 1:200



Příprava stavby na příjezd posádky



Z modulů se vysunou složené koridory. Ty sestávají z nosné konstrukce inspirované origami. Karbonové tyče průměru 100 mm jsou spojeny gumovými spojkami vytištěnými na 3d tiskárně. Všechny spojky jsou stejné, to zjednodušuje případné opravy. Na této konstrukci jsou zavěšeny dvě folie. Vnější, perforovaná a vnitřní, udržující obyvatelné prostředí. Ta bude mít tloušťku 250 mm a podobnou strukturu jako expanzní modul

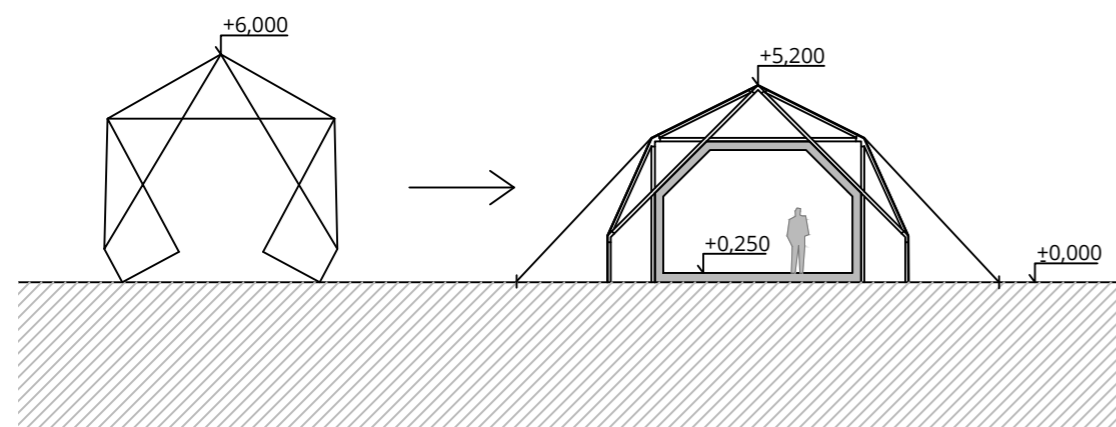
BEAM [41]. Do mezery mezi foliemi se bude ukládat nasbíraný štěrk, který posloužil k extrakci vody. Tato mezera bude chytat i prach z prachových bouří. Skladba konstrukce a její detaily na konci práce v kapitole dodatky.

Voda se ukládá do dutiny v konstrukci modulů, která funguje jako ochrana proti radiaci a teplotní stabilizátor. Štěrk v kapsách koridorů slouží stejnému účelu.

Po nasbírání dostatku vody a kyslíku může přijet první posádka.

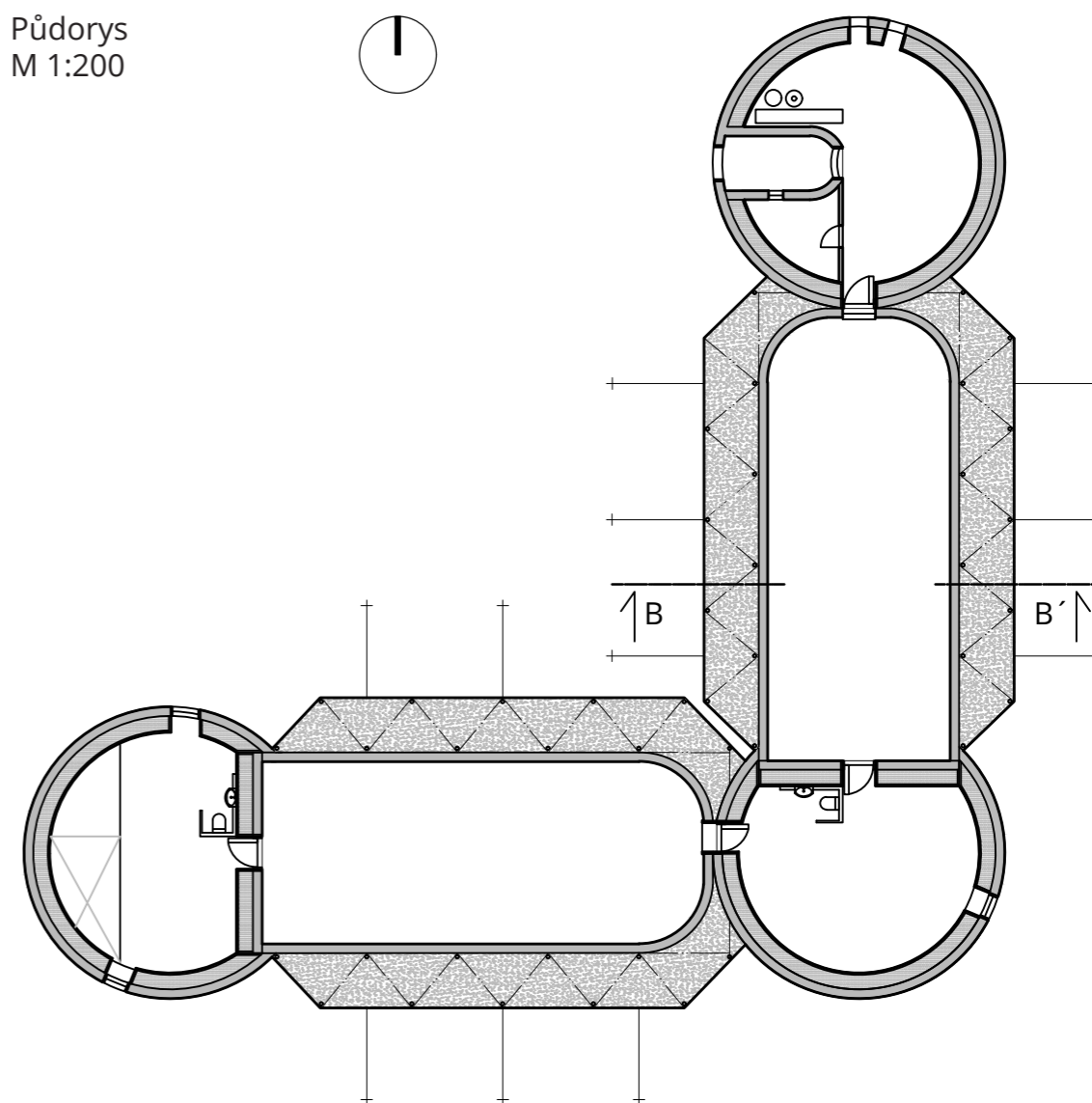
Pokud by panoval požadavek na cestování posádky spolu s moduly, tak bude mise lehce pozměněná. V dutinách modulů bude vodík (stínění proti radiaci) a po přistání se začne míchat s vyráběným kyslíkem za zisku vody a energie. To je rychlejší způsob získání vody.

Složená konstrukce
M 1:200









Řez B-B'
M 1:200

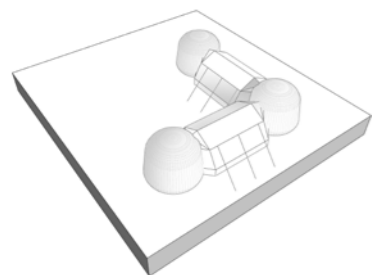
Půdorys
M 1:200



Legenda materiálů

-  Konstrukce dovezené ze Země (S1 a S2)
-  Štěrk
-  Rostlá zemina
-  Voda
-  Betonové stěny
-  Suitport

Příjezd posádky



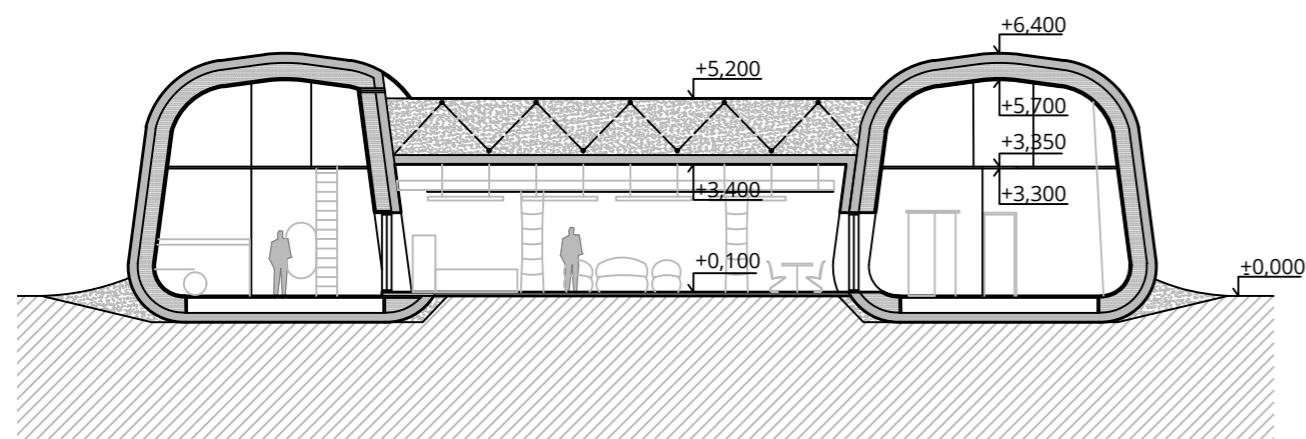
Ubytování astronautů se nachází v nejbezpečnějším bodě stavby - přistávacích modulech. Posádka je rozdělena do dvou modulů aby v případě poruchy jednoho modulu zbylí členové posádky byli schopni poskytnout pomoc.

Dispozice je rozdělena na dvě části - jižní úsek je odpočinkový a relaxační. V modulech se nachází s pokoje astronautů, sklady jídla a technologie nutné pro přežití. V jižním křídle je umístěna posilovna, zdravotní lůžko, knihovna a kuchyně.







Severní křídlo je vymezené práci, nachází se zde hydroponie, pracovny a dílny pro drobné opravy. Severní modul se stará o komunikaci s exteriérem, skrz přetlakovou komoru, nebo dva suitporty.

Toto uspořádání pomáhá rozdělit stavbu na čistou, přechodné a špinavou zónu, kde cílem je, aby se do stavby dostávalo co nejméně toxického prachu.

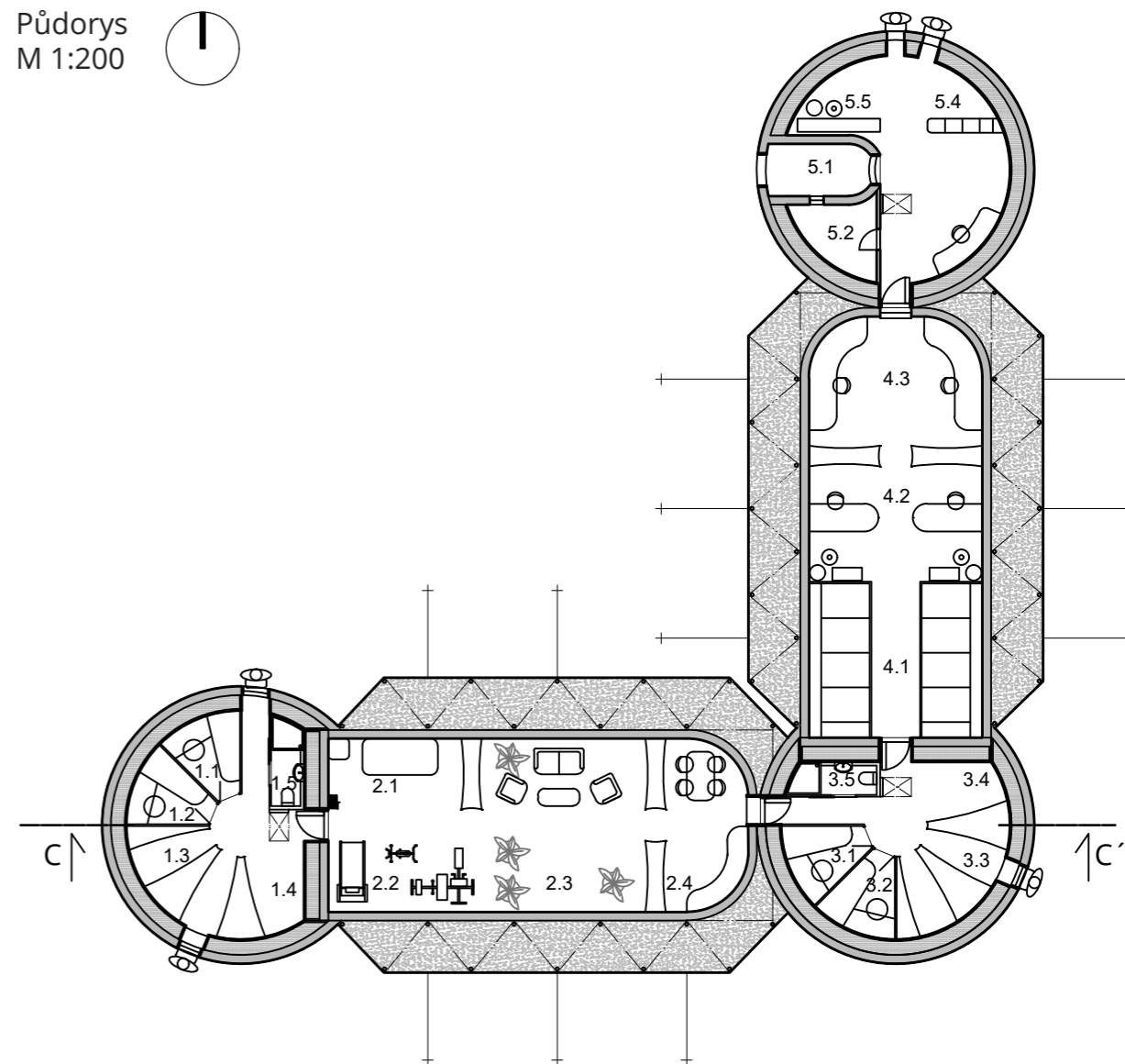
Řez C-C'
M 1:200



Legenda materiálů

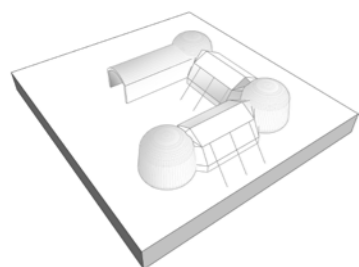
-  Konstrukce dovezené ze Země (S1 a S2)
-  Štěrka
-  Rostlá zemina
-  Voda
-  Betonové stěny
-  Suitport

Půdorys
M 1:200



Č.	Název místnosti	Celková plocha [m ²]	Č.	Název místnosti	Celková plocha [m ²]
1	Zázemí pro 2 vědce	22,5	4	Pracovní křídlo	61,8
1.1, 1.2	Pokoje	2 x 3,8	4.1	Hydroponie	26
1.3	Skladovací plocha	9,1	4.2	Pracovna	13
1.4	Technologie	3,8	4.3	Dílna	22,8
1.5	Toaleta	2			
2	Relaxační křídlo	61,8	5	Vstupní modul	27
2.1	Zdravotní lůžko	8,8	5.1	Přetlaková komora	4,5
2.2	Posilovna	12	5.2	Karanténa	4,2
2.3	Spol. místnost	27	5.3	Zpracování místních surovin	9
2.4	Kuchyně	14	5.4	Šatna	4,3
			5.5	Technologie	5
3	Zázemí pro 2 vědce	22,5			
3.1, 3.2	Pokoje	2 x 3,8			
3.3	Skladovací plocha	9,1			
3.4	Technologie	3,8			
3.5	Toaleta	2			

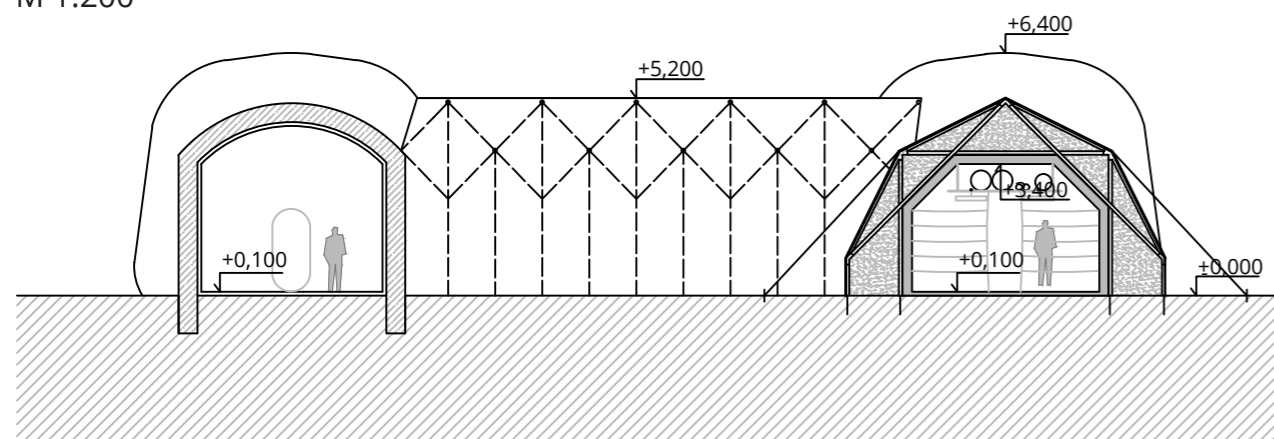
Experimentální 3D tisk konstrukce









Po analýze místních zdrojů se začne experimentovat s 3D tiskem. Tisk budou provádět roboti s nádrží betonu a tryskou. Směs na tisk nemůže obsahovat vodu, neboť v místních podmínkách by se rychle vypařila, nebo zmrzla. Proto nebude pojivem cement, ale síra, která se při zahřátí na 230 °C [40] chová podobně. Další variantou je ze Země přivést pojivo, které se bude míchat s místním regolithem. Toto řešení ovšem nedoporučuji, neboť by panovala velká závislost na Zemi. Další variantou je mikrovlnné spékání prachu.

Vytištěná struktura by fungovala jako prostor pro opravy venkovních strojů a sklad. Celý prostor je možné natlakovat, nicméně se bude tlakovat jen marsovskou atmosférou, aby se v procesu tlakování tak velkého prostoru neztrácel kyslík. To umožní posádce pohyb v prostoru jen s dýchacím přístrojem, bez natlakovaného obleku, jemná motorika nutná pro opravy bude tedy zachována.

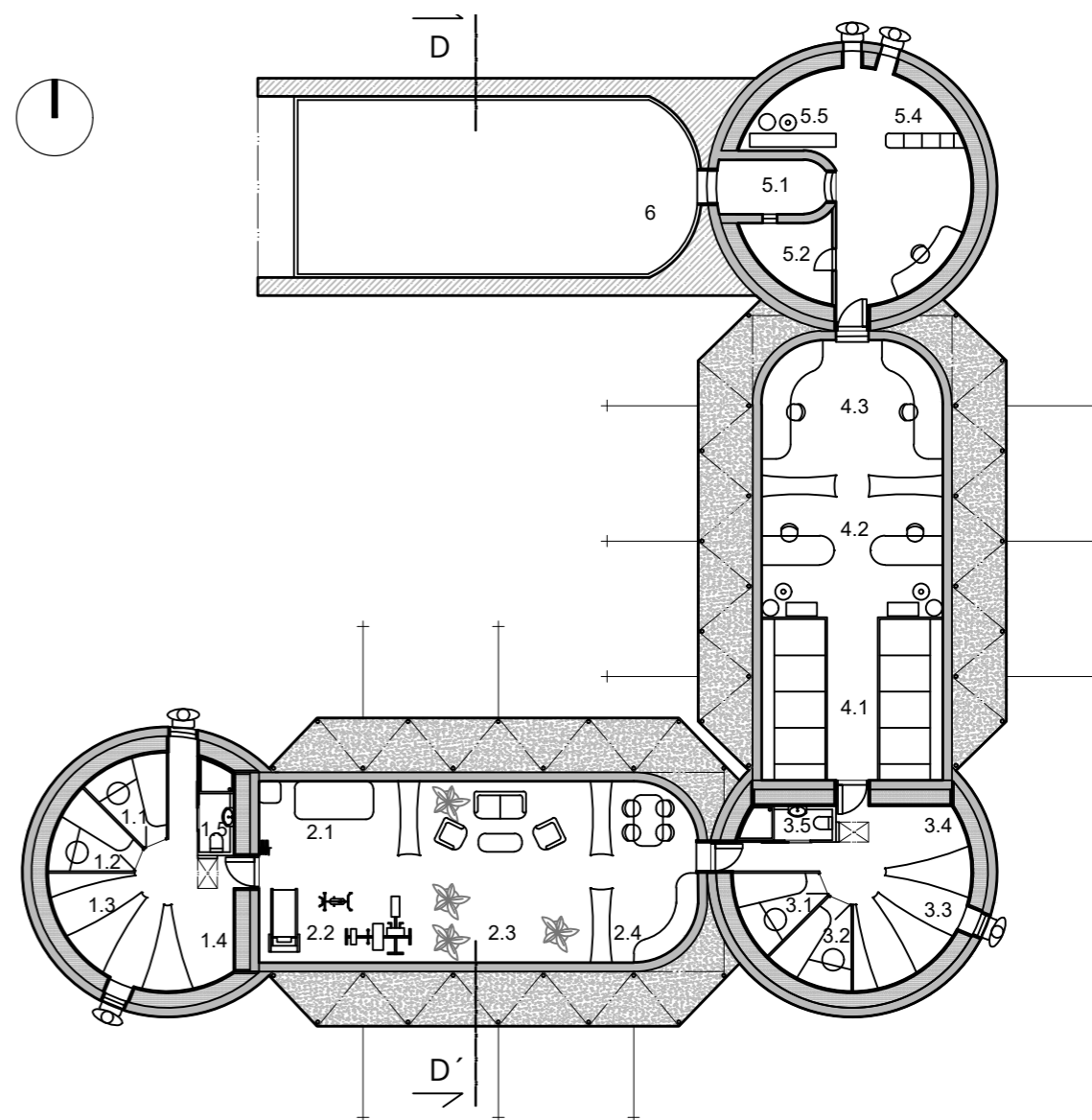
Řez D-D'
M 1:200



Legenda materiálů

-  Konstrukce dovezené ze Země (S1 a S2)
-  Štěrka
-  Rostlá zemina
-  Voda
-  Betonové stěny
-  Suitport

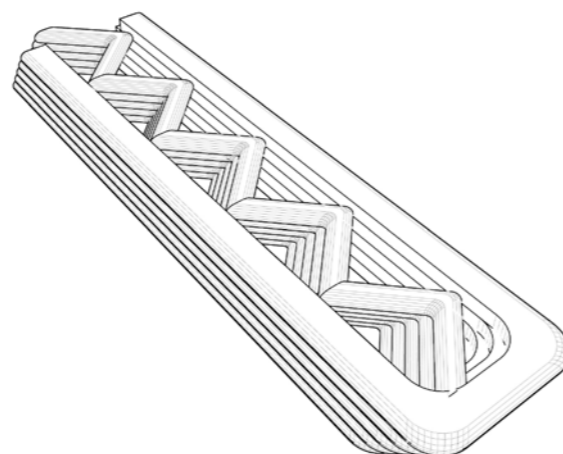
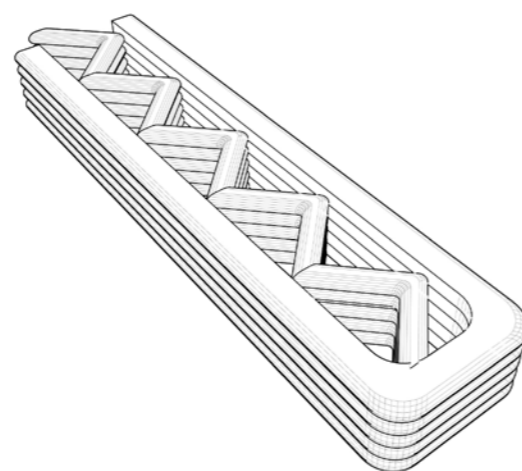
Půdorys
M 1:200



Č.	Název místnosti	Celková plocha [m ²]	Č.	Název místnosti	Celková plocha [m ²]
1	Zázemí pro 2 vědce	22,5	4	Pracovní křídlo	61,8
1.1, 1.2	Pokoje	2 x 3,8	4.1	Hydroponie	26
1.3	Skladovací plocha	9,1	4.2	Pracovna	13
1.4	Technologie	3,8	4.3	Dílna	22,8
1.5	Toaleta	2	5	Vstupní modul	27
2	Relaxační křídlo	61,8	5.1	Přetlaková komora	4,5
2.1	Zdravotní lůžko	8,8	5.2	Karanténa	4,2
2.2	Posilovna	12	5.3	Zpracování místních surovin	9
2.3	Spol. místnost	27	5.4	Šatna	4,3
2.4	Kuchyně	14	5.5	Technologie	5
3	Zázemí pro 2 vědce	22,5	6	Opravná/Sklad	51
3.1, 3.2	Pokoje	2 x 3,8			
3.3	Skladovací plocha	9,1			
3.4	Technologie	3,8			
3.5	Toaleta	2			

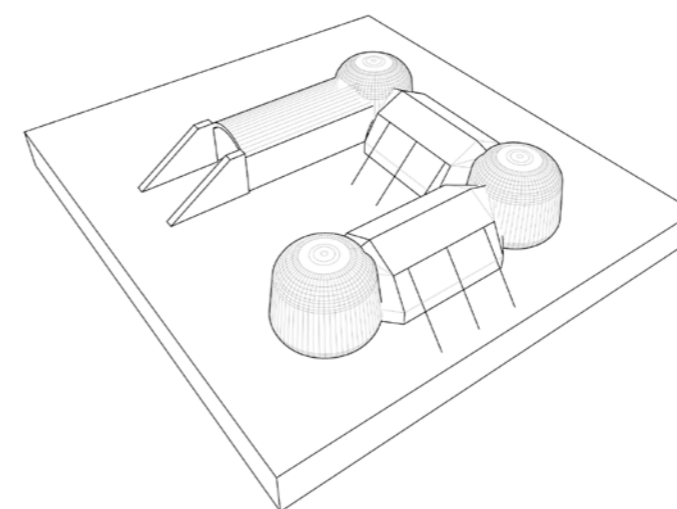
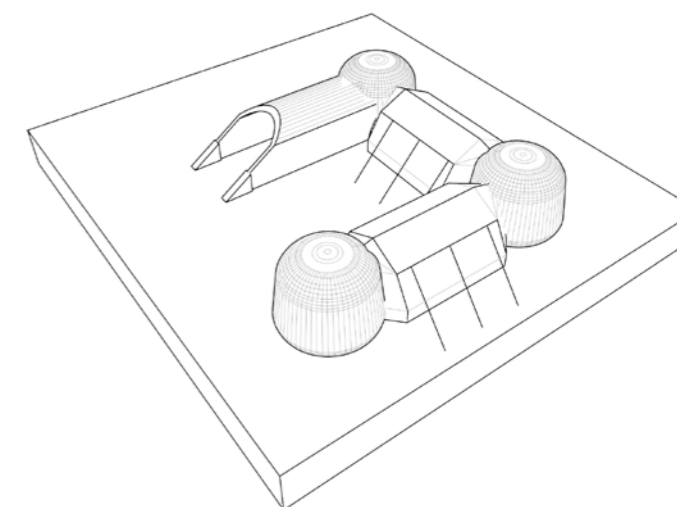
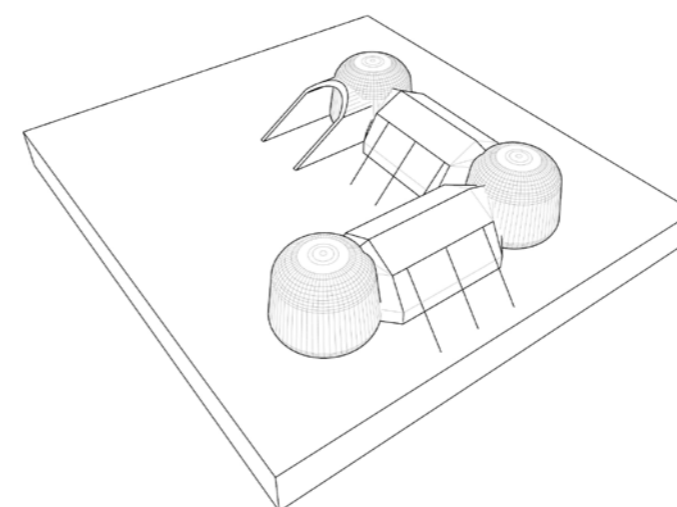
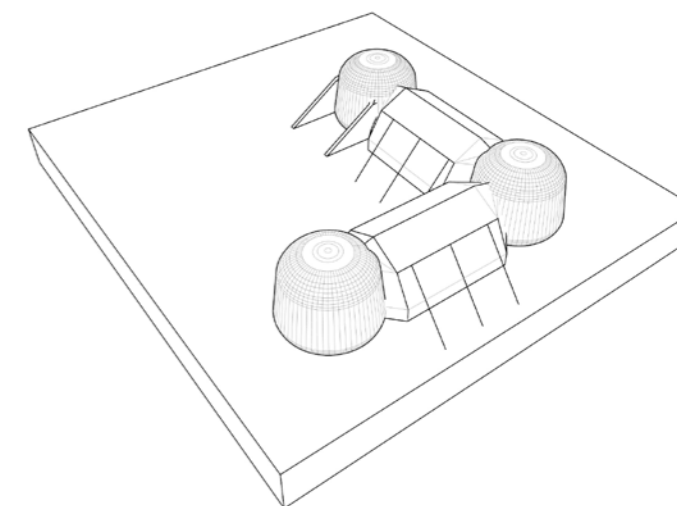
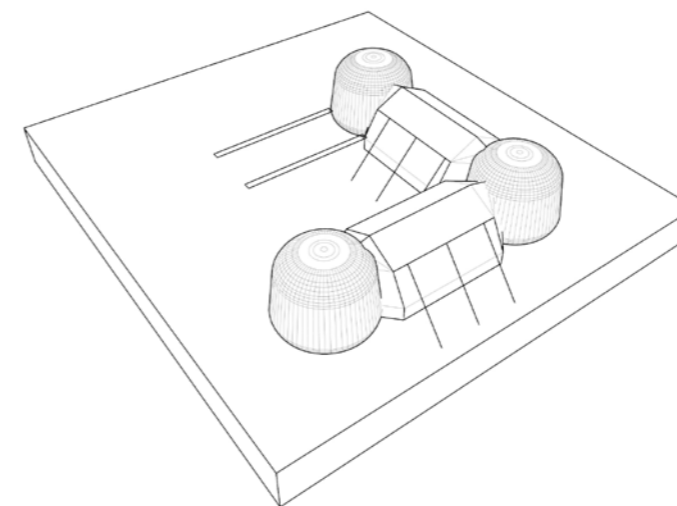
Skladba stěn

Plně vytištěna jen obálka a zpevňovací struktura. Vnitřek je vyplněn volným štěrkem. Tím se docílí zkrácení času výstavby a snížení energetické náročnosti.



Přesah stěn

3d tisk umožňuje tisk mírně převislých stěn. Díky tomu by bylo možné tisknout speciálně tvarované obloukové konstrukce bez lešení (viz referenční obr. 33, str. 68).



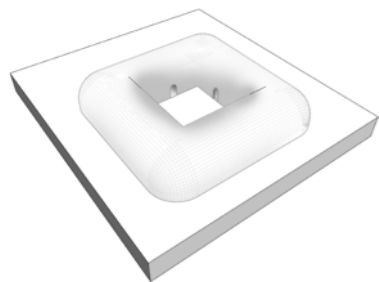
Postup tisku

-Vyhlobení základových pasů do úrovně, kde se nachází dostatečně únosná zemina.

-Sklon tištěné konstrukce umožňuje nájezd robotů.

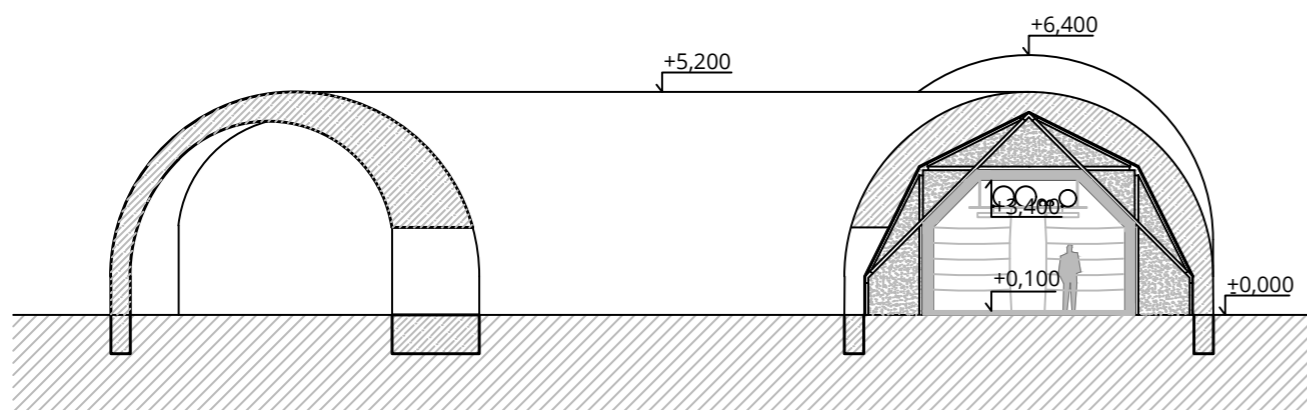
- Z místního štěrku je vytvořena dočasná nájezdová plošina v místech, které nejsou pro roboty jinak dosažitelné.

Zesílení konstrukce stanice









Po otestování tištěné struktury stavba pokročí do další fáze. Celý povrch stanice se potiskne vrstvou betonu, který zvýší ochranu proti radiaci. Součástí stavebních úprav bude také dostavba čtvrtého křídla dispozice. To bude sloužit jako sklad surovin a materiálů pro bližší prozkoumání. Valená klenba stíní sklad proti UV záření a ochraňuje materiál před prachovými bouřemi.

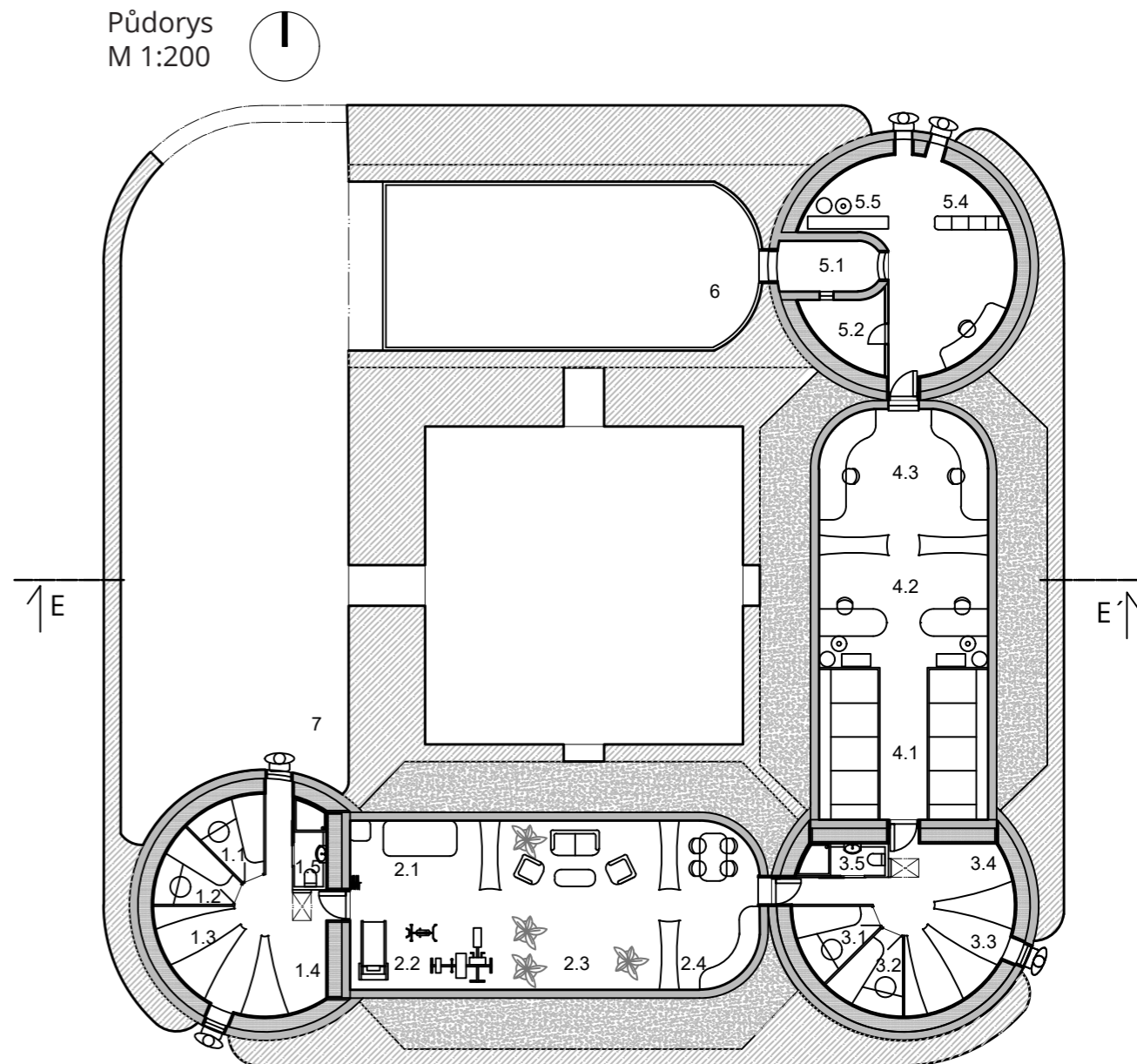
Řez E-E'
M 1:200



Legenda materiálů

-  Konstrukce dovezené ze Země (S1 a S2)
-  Štěrka
-  Rostlá zemina
-  Voda
-  Betonové stěny
-  Suitport

Půdorys
M 1:200



Č.	Název místnosti	Celková plocha [m ²]	Č.	Název místnosti	Celková plocha [m ²]
1	Zázemí pro 2 vědce	22,5	4	Pracovní křídlo	61,8
1.1, 1.2	Pokoje	2 x 3,8	4.1	Hydroponie	26
1.3	Skladovací plocha	9,1	4.2	Pracovna	13
1.4	Technologie	3,8	4.3	Dílna	22,8
1.5	Toaleta	2	5	Vstupní modul	27
2	Relaxační křídlo	61,8	5.1	Přetlaková komora	4,5
2.1	Zdravotní lůžko	8,8	5.2	Karanténa	4,2
2.2	Posilovna	12	5.3	Zpracování místních surovin	9
2.3	Spol. místnost	27	5.4	Šatna	4,3
2.4	Kuchyně	14	5.5	Technologie	5
3	Zázemí pro 2 vědce	22,5	6	Opravná/Sklad	51
3.1, 3.2	Pokoje	2 x 3,8	7	Sklad	122
3.3	Skladovací plocha	9,1			
3.4	Technologie	3,8			
3.5	Toaleta	2			

Vytvoření zimní zahrady ve středu dispozice



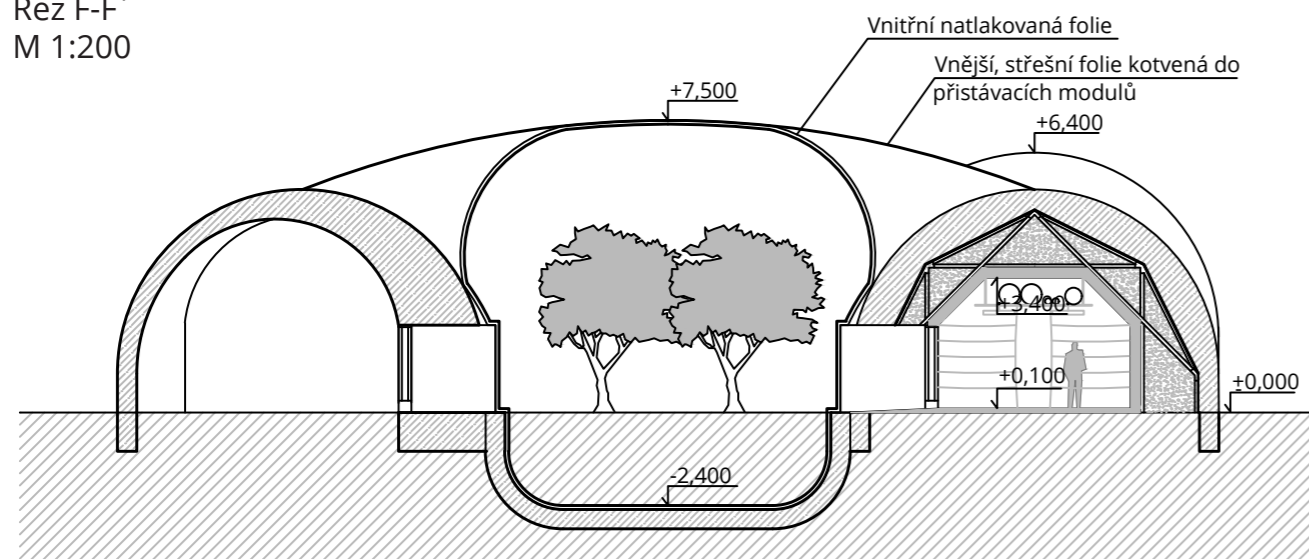
Nad půdorysem je napnuta střešní folie, kotvena může být do přistávacích modulů. V betonové obálce by popřípadě bylo možné vyfrézovat drážku, do které by se zalepily kotvící prvky. Tato obálka ochraňuje vnitřní, natlakovanou, folii.

Jako substrát pro pěstování rostlin je použita místní půda, podle studií [28] by měla být dostatečně úrodná. Může ovšem obsahovat těžké kovy a proto je nutné před požitím plodiny otestovat.

Kvůli zajištění dostatku slunečního světla není prostor stíněn proti radiaci. Rostlinám by takové hodnoty radiace neměly vadit a krátkodobé vystavení člověka těmto podmínkám také není škodlivé.

Při výběru zeleně jsem vybíral celoročně plodící rostliny, jako jsou byliny, jahody, saláty. Dva stromy s malou korunou symbolizují propojení dvou světů.

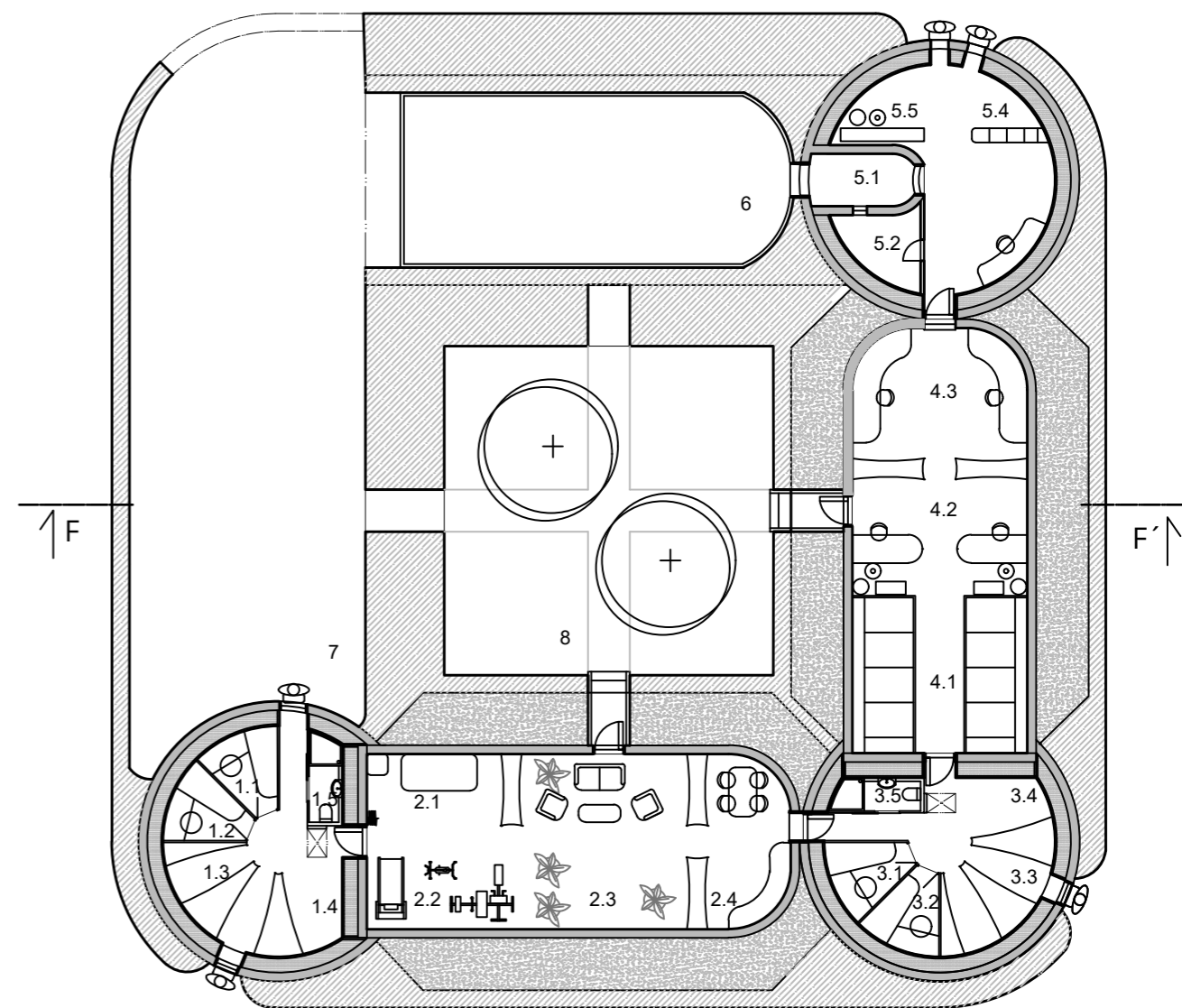
Řez F-F'
M 1:200



Legenda materiálů

- Konstrukce dovezené ze Země (S1 a S2)
- Štěrka
- Rostlá zemina
- Voda
- Betonové stěny
- Suitport

Půdorys
M 1:200



Č.	Název místnosti	Celková plocha [m ²]	Č.	Název místnosti	Celková plocha [m ²]
1	Zázemí pro 2 vědce	22,5	4	Pracovní křídlo	61,8
1.1, 1.2	Pokoje	2 x 3,8	4.1	Hydroponie	26
1.3	Skladovací plocha	9,1	4.2	Pracovna	13
1.4	Technologie	3,8	4.3	Dílna	22,8
1.5	Toaleta	2	5	Vstupní modul	27
2	Relaxační křídlo	61,8	5.1	Přetlaková komora	4,5
2.1	Zdravotní lůžko	8,8	5.2	Karanténa	4,2
2.2	Posilovna	12	5.3	Zpracování místních surovin	9
2.3	Spol. místnost	27	5.4	Šatna	4,3
2.4	Kuchyně	14	5.5	Technologie	5
3	Zázemí pro 2 vědce	22,5	6	Opravná/Sklad	51
3.1, 3.2	Pokoje	2 x 3,8	7	Sklad	122
3.3	Skladovací plocha	9,1	8	Rajský dvůr	88
3.4	Technologie	3,8			
3.5	Toaleta	2			

Rozšíření stanice



Fáze reprezentuje ideu postupného rozšiřování stanice. Při vývoji hmoty jsem kladl důraz na návaznost konstrukce a její prolínání. Stanice bude, podobně jako organismus, růst přistavováním jednotlivých traktů. Ty také budou tištěné z místního materiálu.

Původní stanice se přetvoří na ubytovací zónu s pokoji, společenskou místností, jídelnou, posilovnou, zdravotním centrem, šatnami. Vnitřní dvůr slouží jako spojovací prvek.

Pracovní zóna vznikne v nově budovaných traktech, kde se v přízemí nachází open space, hydroponie, technická místnost a WC. V horním patře jsou laboratoře.

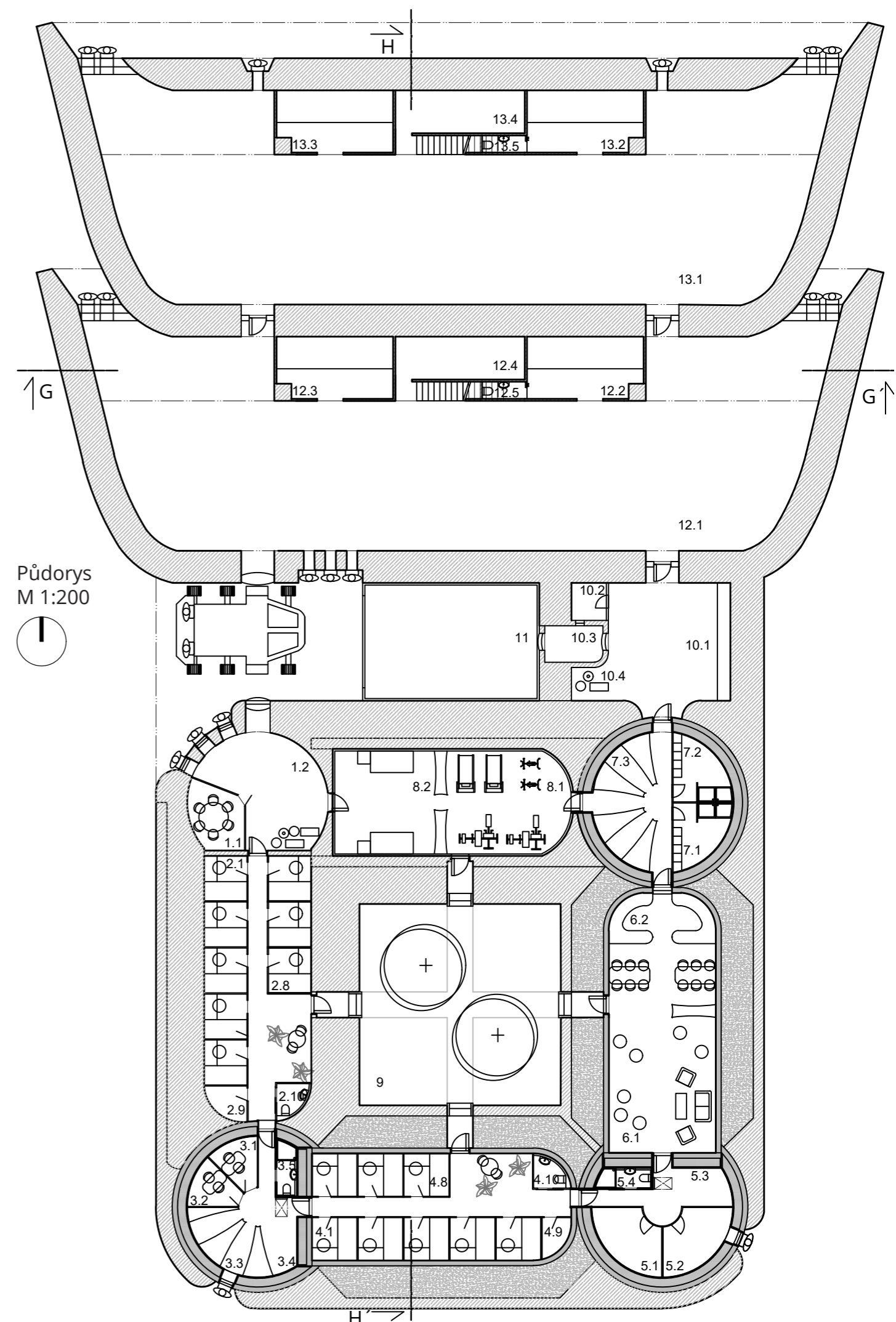
Samotný trakt je odvozen z obdélného půdorysu. Hmotu se na severní straně rozšiřuje a zvyšuje, což umožňuje do interiéru přivést přirozené světlo pomocí pásového okna. To je tvořeno vnější folií na bázi polyethylenu. Následuje dutina o tloušťce 50 cm, vyplněná vodou. V tomto prostoru je možné pěstovat rostliny, nebo experimentovat s chovem ryb. Z rostlin připadají v úvahu druhy řas, které jednak produkují kyslík, spotřebovávají CO₂, tak také mohou čistit vodu a sloužit jako potrava (řasa chlorella vulgaris je běžně užívaným doplňkem stravy). Technologie pěstování řas v tzv. bioreaktorech je vyzkoušena, můžeme například zmínit řasami poháněnou budovu v Hamburku [42].

Betonový přesah konstrukce brání vniku přímého slunečního záření do interiéru, jelikož v případě slunečních erupcí by do interiéru mohly pronikat nebezpečné dávky radiace. Navíc poskytuje ochranu v případě nárazu mikrometeoritu.

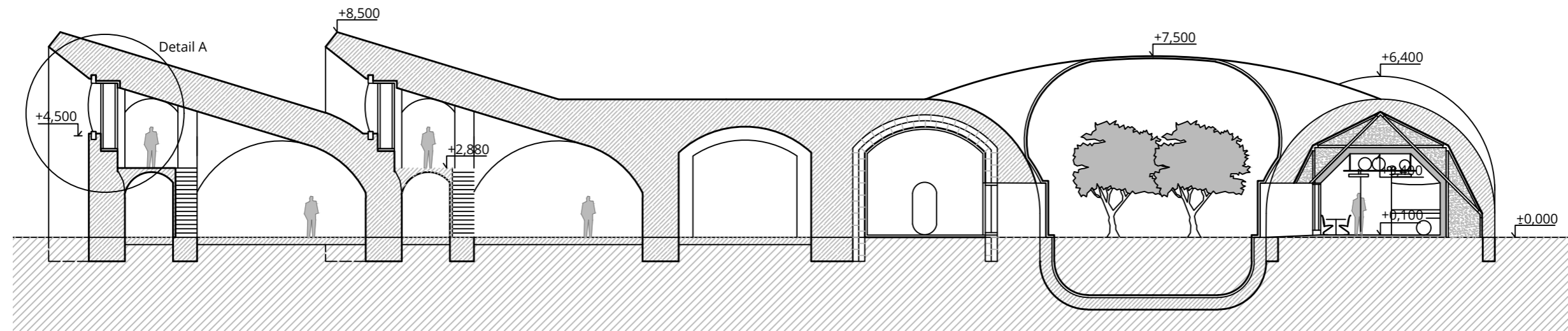
Nosná konstrukce je odvozena z křížové klenby, založena na dvou sloupech a stěnách.

Č.	Název místnosti	Celková plocha [m ²]
1	Plánovací modul	30
1.1	Konferenční místnost	7,1
1.2	Technické zázemí	12,6
2	Pokojevé křídlo	59,6
2.1 - 2.8	Pokoje	8 x 4,2
2.9	Úklid	2,6
2.10	WC	1,4
3	Modul 1	22,5
3.1	Vedoucí mise	3,8
3.2	Psycholog	3,8
4	Pokojevé křídlo	59,6
4.1 - 4.8	Pokoje	8 x 4,2
4.9	Úklid	2,6
4.10	WC	1,4
5	Modul 2	22,5
5.1	Umělecká dílna	7,7
5.2	Hudebna	7,7
5.3	Technologie	4,2
5.4	Toaleta	2,3
6	Společenské prostory	58,4
6.1	Společenská plocha	31,9
6.2	Kuchyně	26,5
7	Spojovací modul	27,7
7.1	Šatny	6,8
7.2	Šatny	6,8
7.3	Skлады	14,1

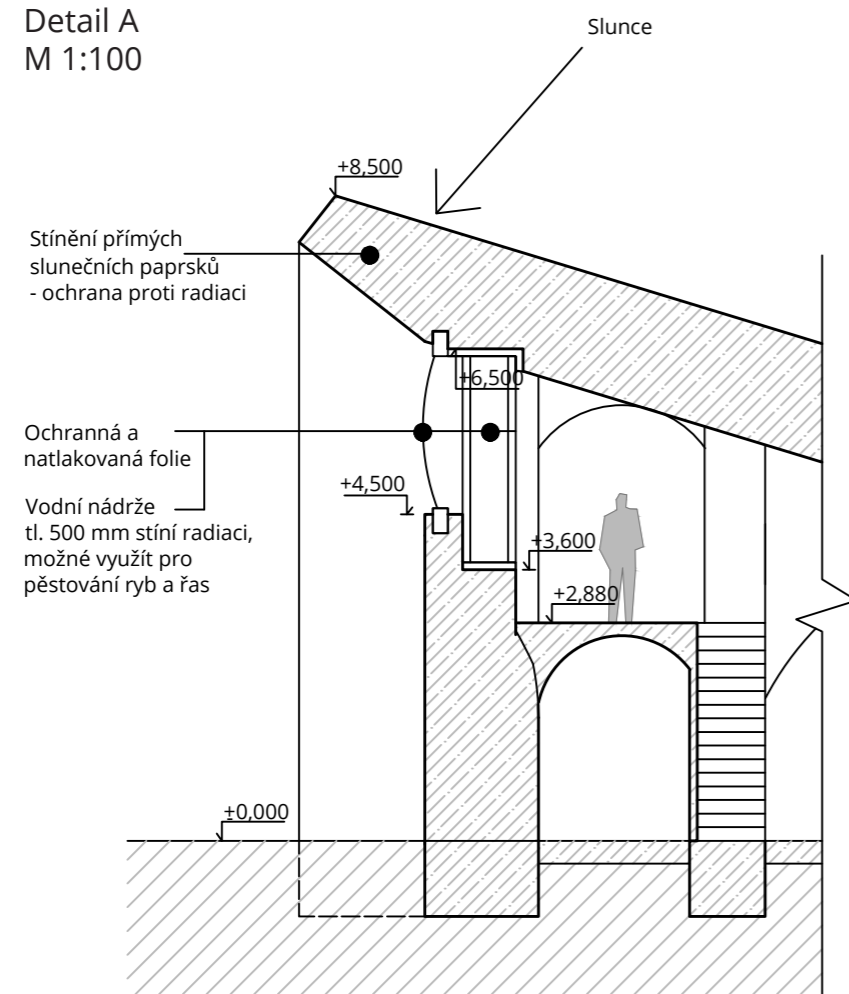
Č.	Název místnosti	Celková plocha [m ²]
8	Zdravotnické křídlo	51
8.1	Posilovna	27,8
8.2	Lůžka	23,2
9	Rajský dvůr	88,3
10	Spojovací koridor	25,6
10.1	Dílna	13,2
10.2	Karanténa	2,8
10.3	Přetlaková komora	4,6
10.4	Technologie	4,9
11	Oprava vnějších technologií	42,6
12	Pracovní zóna 1	445
12.1	Open space	274
12.2, 12.3	Hydroponie	2 x 15,8
12.4	Technická místnost	12,1
12.5	WC	1,6
12.6	Galerie	126
13	Pracovní zóna 2	445
13.1, 13.3	Open space	274
13.2, 13.3	Hydroponie	2 x 15,8
13.4	Technická místnost	12,1
13.5	WC	1,6
13.6	Galerie	126



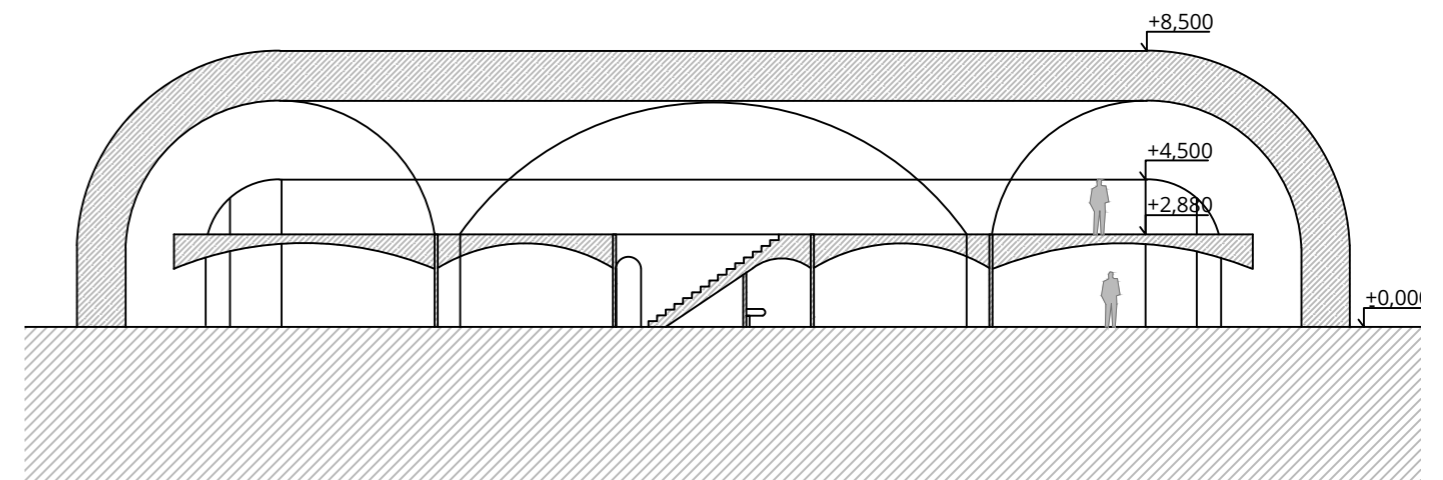
Řez H-H'
M 1:200








Detail A
M 1:100

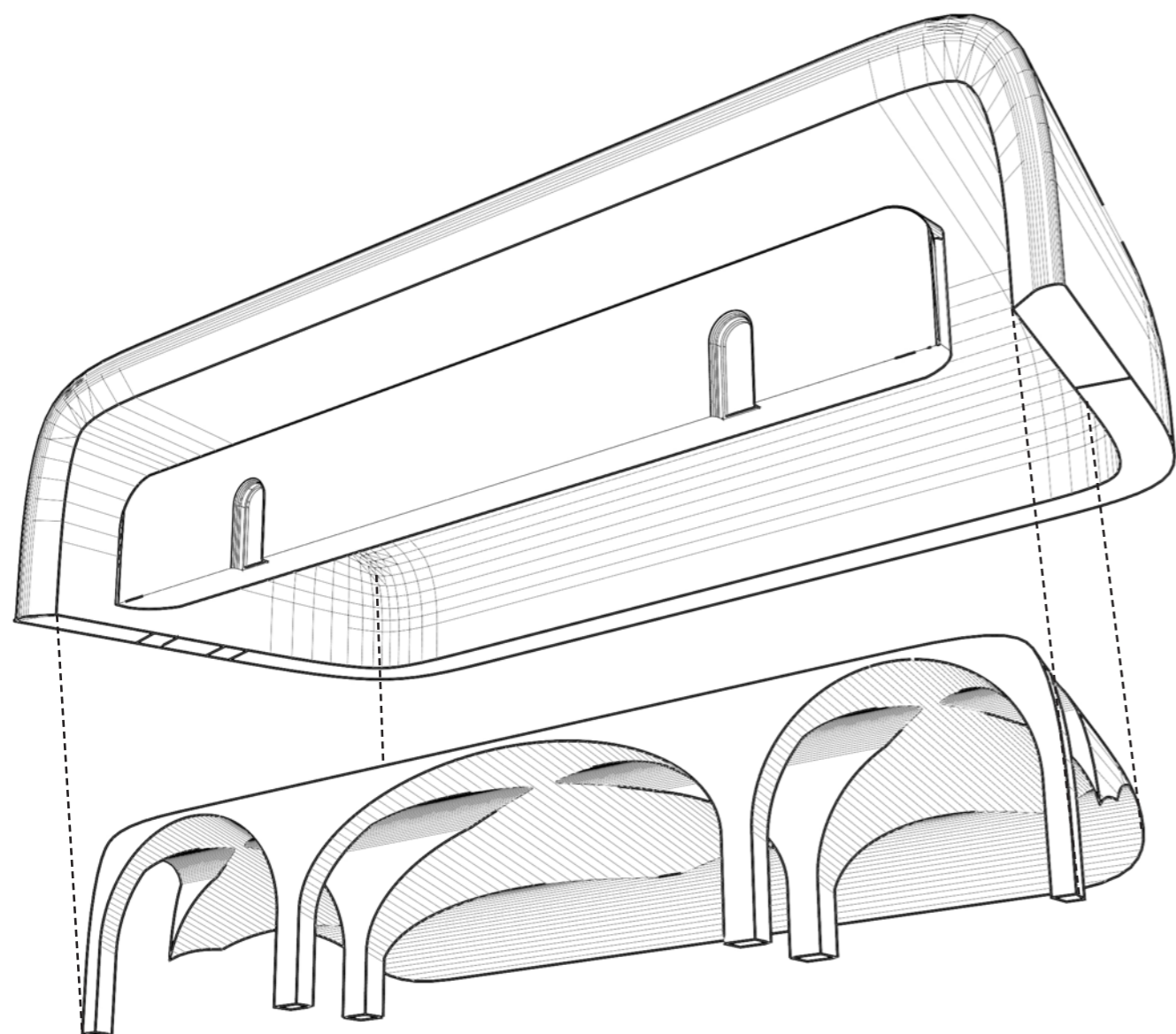


Řez G-G'
M 1:200



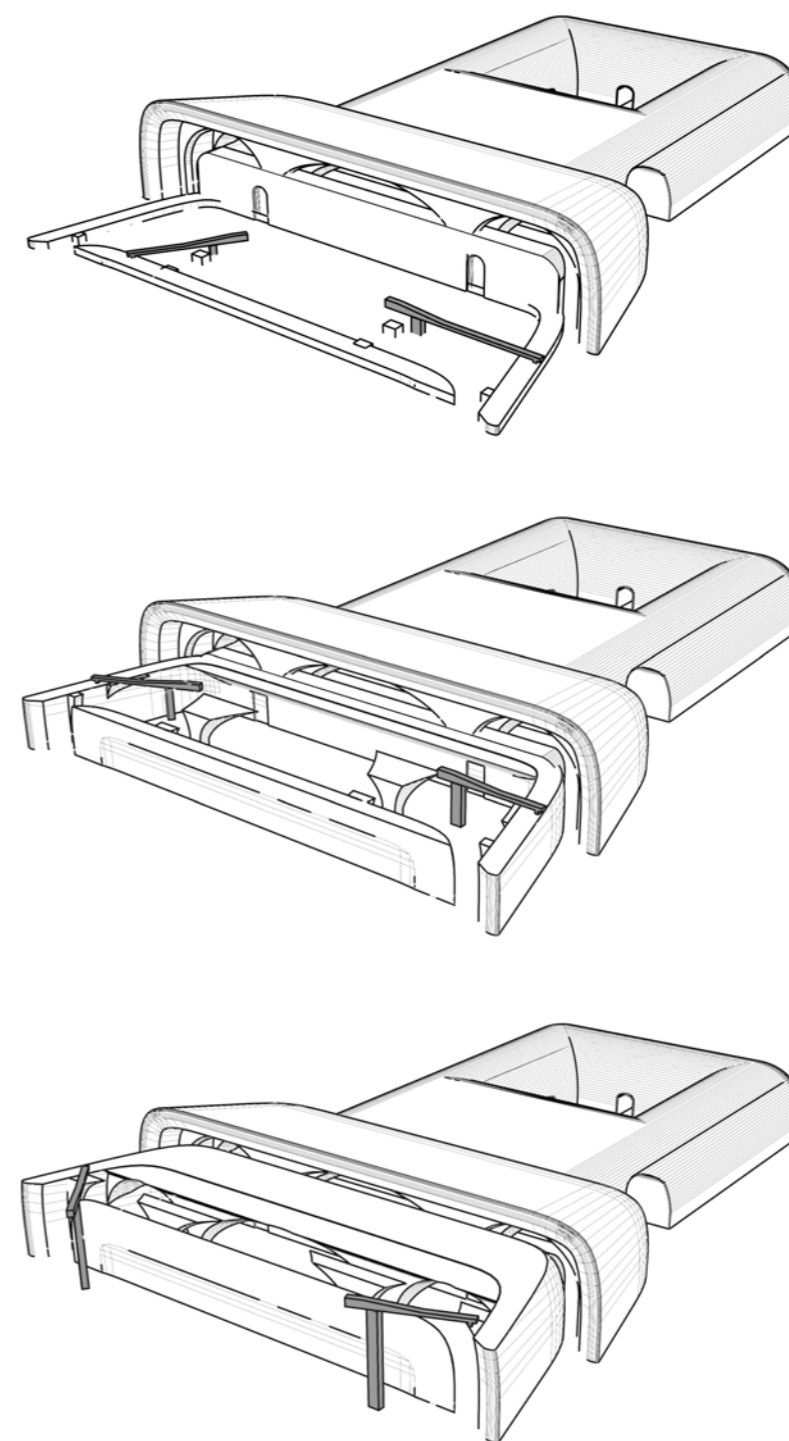
Legenda materiálů

-  Konstrukce dovezené ze Země (S1 a S2)
-  Štěrk
-  Rostlá zemina
-  Voda
-  Betonové stěny



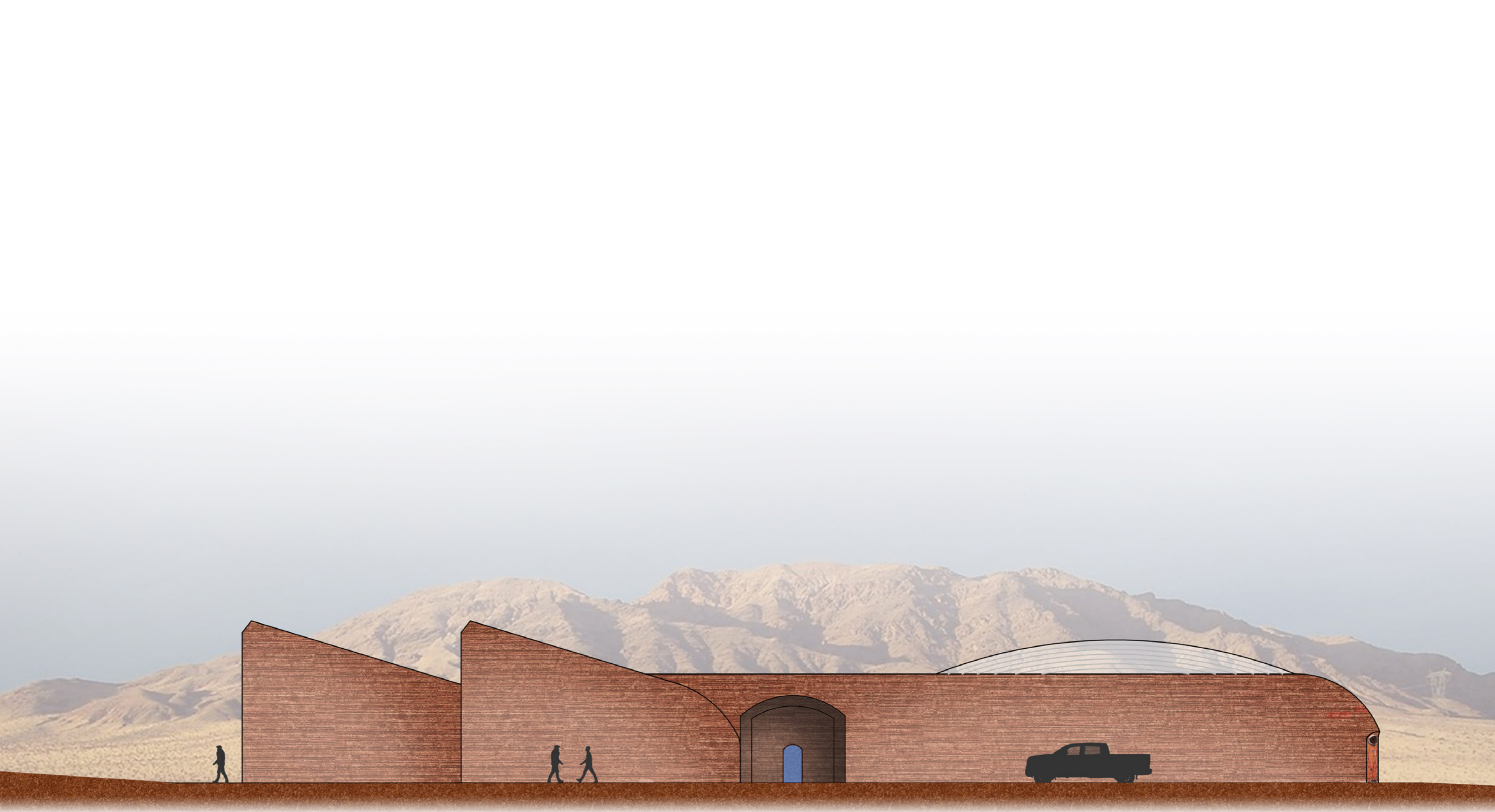
Konstrukce traktu

Konstrukční systém umožňuje tisk struktury bez bednění.

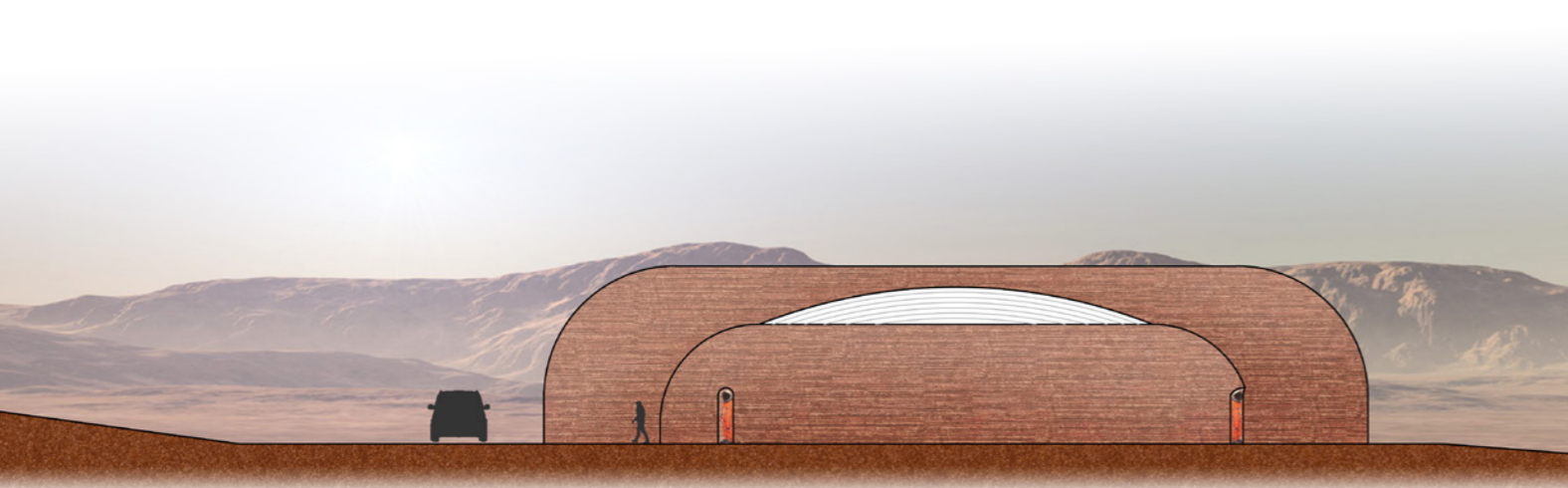


Postup výstavby

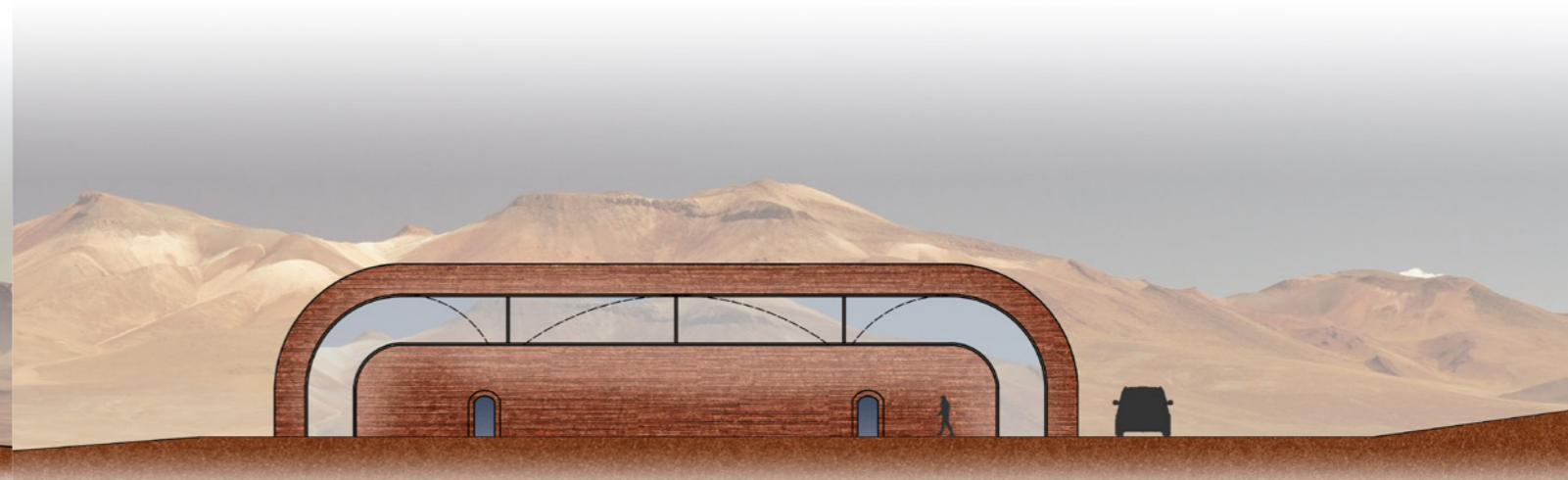
Ke 3d tisku budu použity 2 jeřábové konstrukce - viz referenční obr. 32 str. 73.



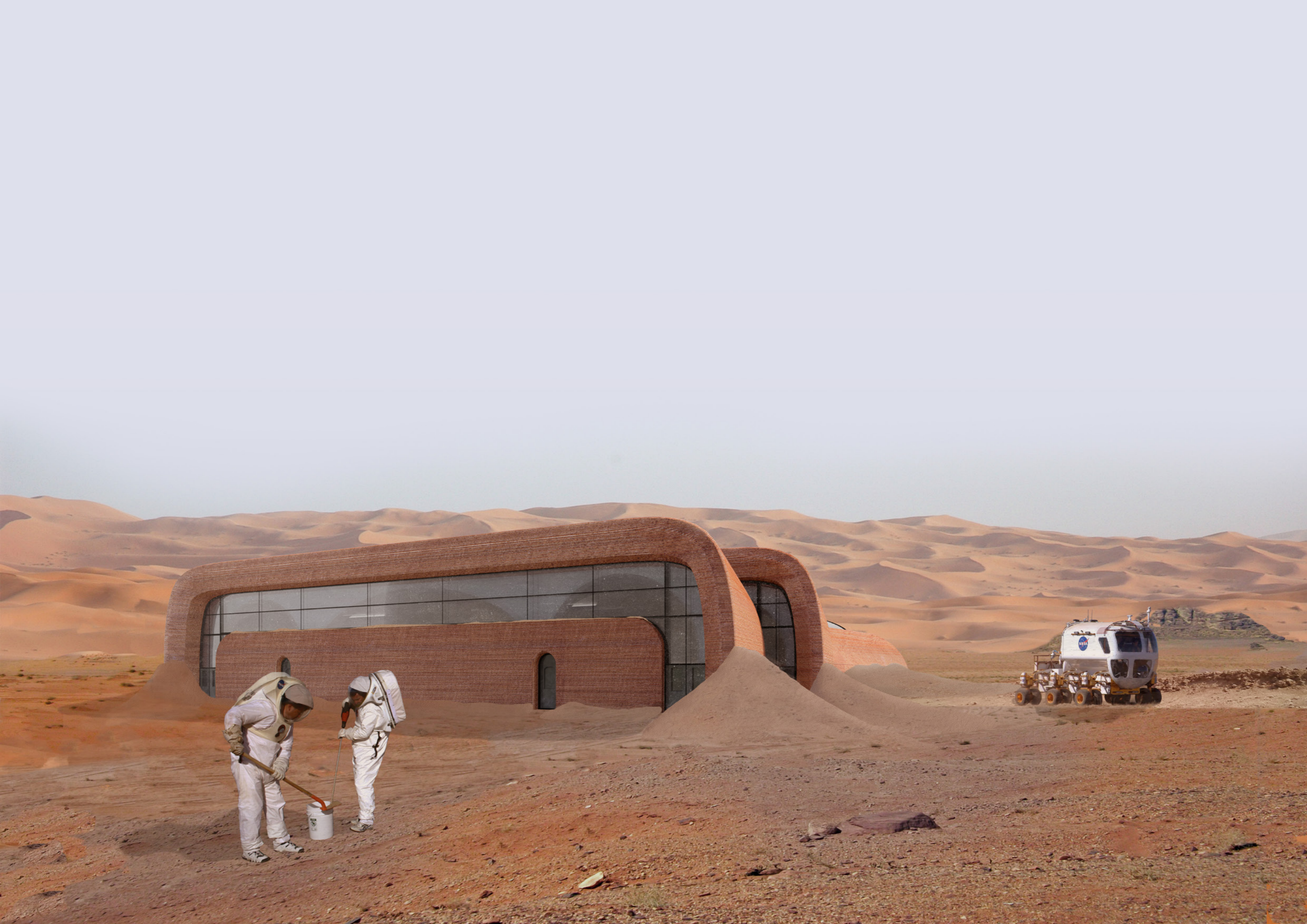
Západní pohled
M 1:200

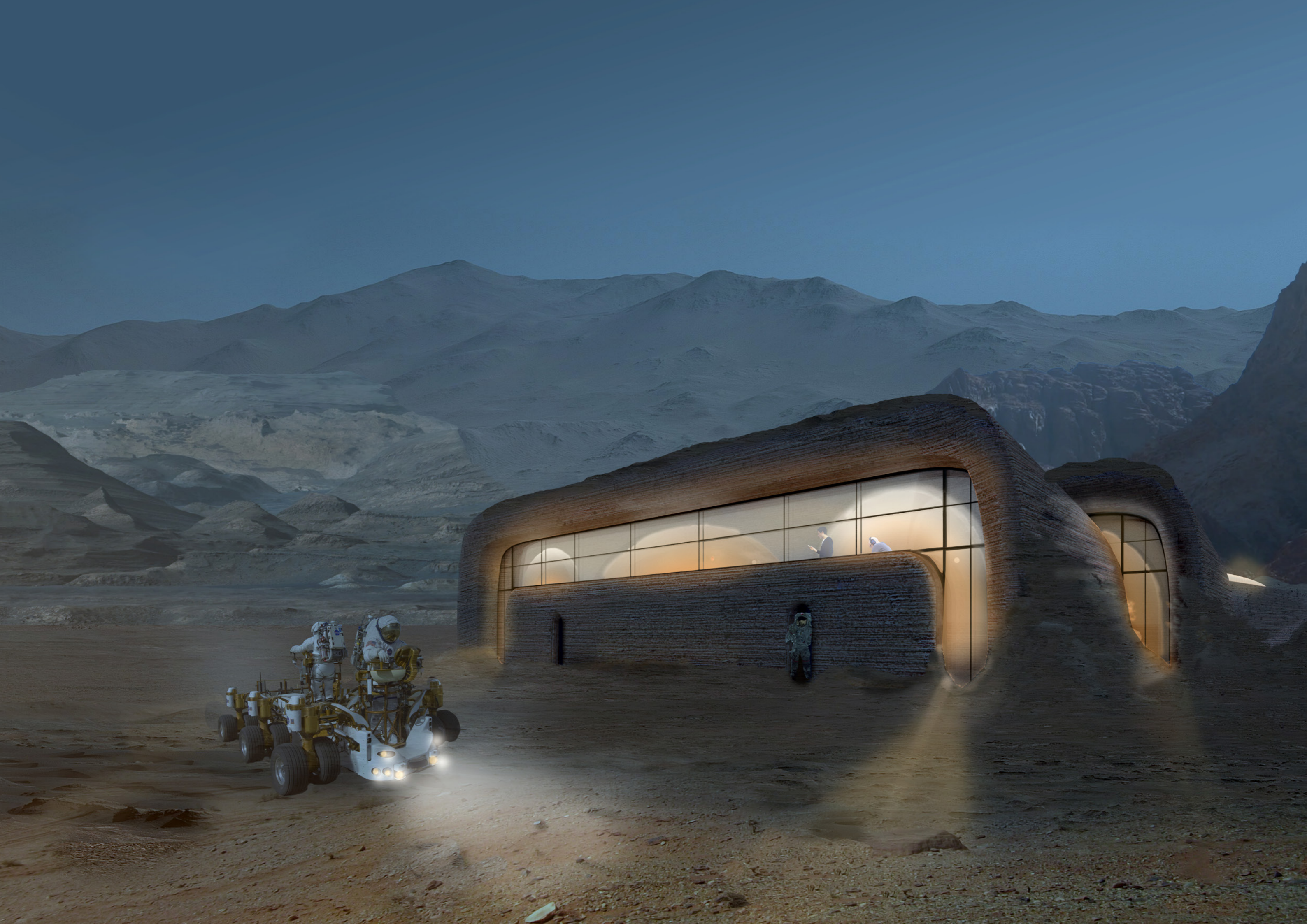


Jižní pohled
M 1:200



Severní pohled
M 1:200







Pohled do živého atria, které kontrastuje s pustou krajinou vnějšku.

DODATKY



Ukázka rozkládací konstrukce

Koncept rozkládací konstrukce pochází z origami skládačky, které mě inspirovaly svou jednoduchostí a malých rozměrech ve složené podobě.

Z linek ohybu na prvním modelu je odvozena nosná konstrukce tvořená karbonovými tyčemi. V této konstrukci jsou zavěšeny dvě folie. Vnitřní udržuje atmosféru, vnější je perforovaná a zachytává nahromaděný prach a štěrky.

Spojky tyčí jsou navrženy gumové, takže v zabaleném stavu budou napnuté a po odpoutání se konstrukce vysune sama. Stačí jedna univerzální spojka pro celou konstrukci. Na modelu je vytištěna z flexibilního materiálu a pokusy s rozevíráním byly úspěšné.

Další obrázky znázorňují reálný tvar spojky a její testování s metrovými tyčemi. Testování prokázalo možnost složení a automatického rozložení konstrukce bez dodatečných motorů. Tato konstrukce je díky spojkám ohebná a lépe se přizpůsobí nerovnému terénu a nepřesnostem.

Skladba vnitřních konstrukcí

S1: Konstrukční složení přistávacího modulu je odvozeno ze skladby stěn ISS [43]. Navíc je doplněno o dutinu vyplněnou vodou, kterou bude posádka využívat. Tato vrstva také účinně stíní radiaci.

S2: Obalová konstrukce koridorů je tvořena z textílie, aby bylo možné její složení a rozložení, na bázi konstrukce BEAM.

Interiér

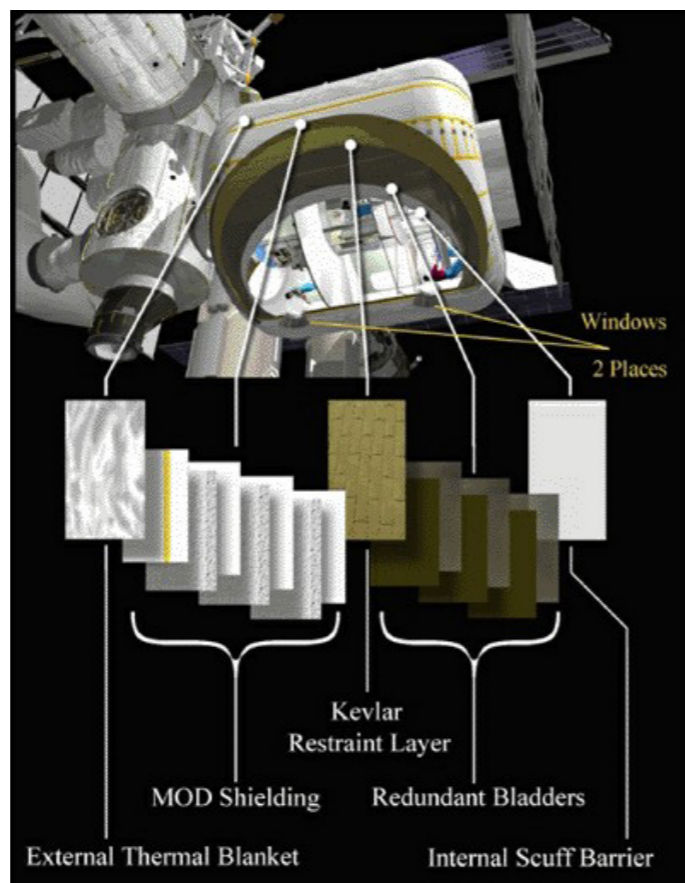
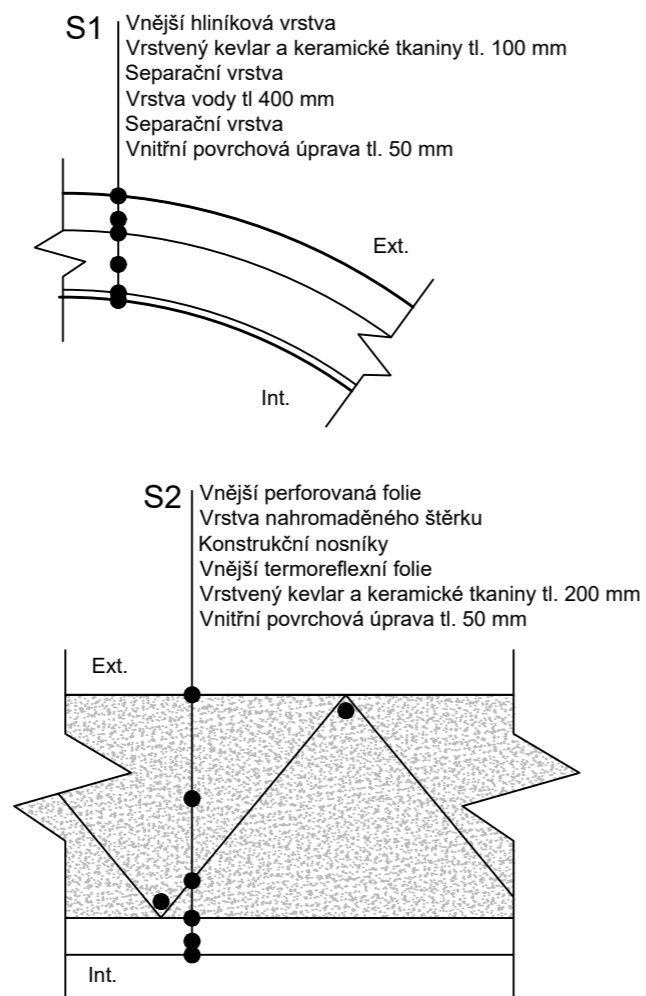
Interiér je navržen minimalisticky, s co nejmenším počtem neformných konstrukcí. Sedací nábytek bude převážně nafukovací, vyjímaje pracovní židle. Skříňe a regály budou látkové. Tím jsou jednak skladné a lehké, navíc jsou v případě poškození snadno opravitelné. U stropu se tyto skříňe kotví na vodící lanka, u země se můžou zatížit pytlíkem s místním prachem. Přepážky mezi pokoji jsou navrženy z nehořlavého textilu.

Technologie a jejich rozměrové nároky

Jako referenční představu o rozměrových požadavcích na technologie používám studii proveditelnosti vypracovanou organizací Mars One [44]. Ta uvádí rozměrové požadavky na zpracovávání místních surovin, výrobu atmosféry, vody a její recyklaci spolu s energetickými nároky.

V mém návrhu beru v úvahu trojitou redundanci, což znamená, že každý důležitý systém je zastoupen třikrát. Všechny tři přistávací moduly jsou schopné samostatného fungování. Po přistání dojde k jejich spojení a propojení sítí. Díky tomu se moduly obývané astronauty mohou specializovat na recyklaci vody a výstupní modul bude určen pro výrobu kyslíku a zpracovávání místních surovin.

Energie bude získávána pomocí solárních panelů a jaderných reaktorů, skladována v bateriích pod nášlapnou vrstvou modulu. Voda bude získávána z místních hornin jejich ohřevem. Následně bude uložena do dutiny v přistávacích modulech, odkud bude podle potřeby čerpána do spotřebičů. Z nich odteče do recyklačních jednotek, pod podlahou je dostatek místa pro takové vedení. Z místní atmosféry je získáván Ar, N a vytvářen O₂, následně dochází k namixování těchto plynů a vytvoření dýchatelné atmosféry. K osvětlení jsou použita LED světla.

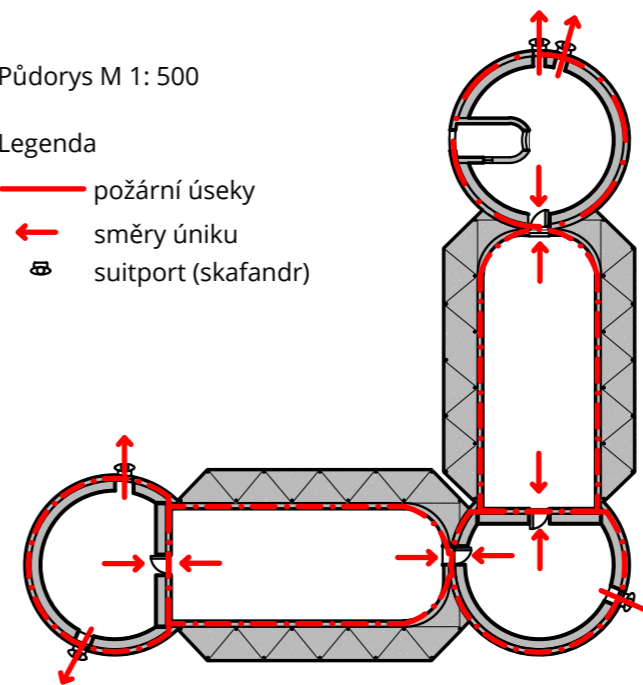


obr. 29 Struktura modulu BEAM
Převzato z [43]

Půdorys M 1: 500

Legenda

- požární úseky
- ← směry úniku
- ☒ suitport (skafandr)



Evakuace

Z každého místa stanice je možné unikat nejméně dvěma směry. Buďto do přilehlých místností, nebo přímo ven skrz suitport. Tím se rozumí skafandr připnutý ke stěně stanice.

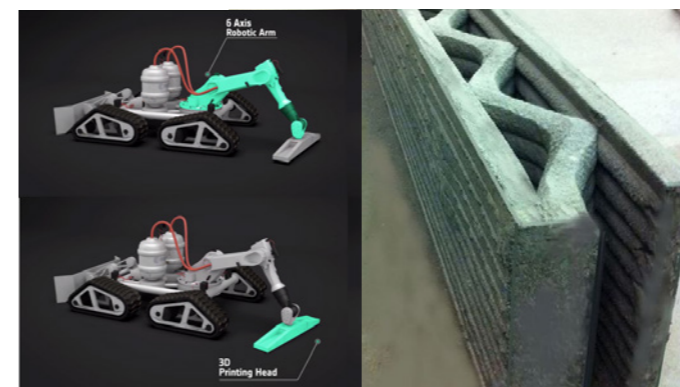
Každý prostor tvoří vlastní požární úsek. Je vybaven požárními čidly a hasícími přístroji. Použitým hasícím médiem je CO₂, neboť takový způsob nepoškodí elektroniku, neplývá vodou a je snadno doplňitelný. V případě požáru dojde k evakuaci a odčerpání kyslíku. Následně je vzduch přefiltrován a zbaven škodlivin.

3D tisk betonové konstrukce

První experimenty s 3d tiskem by byly prováděny pomocí robotů, kteří se využívají ke sběru surovin. Nádrže na betonovou směs by byly osazeny na jejich rámu (viz referenční obr. 30).

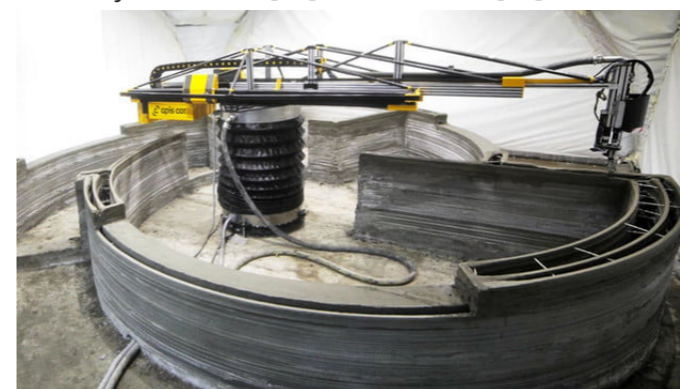
Po otestování technologie je možné ze Země přivést specializovanější technologii na 3d tisk (viz. obr. 32).

V návrhu se většinou jedná o stěny široké 1,5 metru a plně tisknout takovou hmotu by bylo plýtvání zdrojů. Proto navrhuji vytisknout vnitřní a vnější slupku, po určitých délkách propojených. Vnitřek takovéto sendvičové konstrukce by se plnil volným kamenivem. Poměr betonu a volného kameniva by se měnil podle zatížení konstrukce. Gravitace Marsu by měla umožnit relativně tenké plně stěny.



obr. 30 robot navržený pro 3d tisk měsíční základny Převzato z [34]

obr. 31 detail vytištěné stěny
Převzato z [46]



obr. 32 robotický 3D tiskař
Převzato z [45]



obr. 33 Referenční obrázek znázorňující 3d tisk betonu s přesahme konstrukce bez použití lešení.
Převzato z [48]

ZDROJE

[1] Porter M. (2017, 7. listopad) NASA Opens \$2 Million Third Phase of 3D-Printed Habitat Competition. Dostupné z: https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/nasa-opens-2M-third-phase-of-3d-printed-habitat-competition

[2] Charles J. B., Ph.D., Jancy C. McPhee, Ph.D (Eds.) (2009) Human Health and Performance Risks of Space Exploration Missions. Dostupné z: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/evidence/reports/EvidenceBook.pdf>

[3] Fussell M., Dike S. Four megalithic sundials: geometrical and astronomical analyses Dostupné z: <http://www.cropcircleconnector.com/anasazi/sundials2007b.html>

[4] (srpen 22, 2017) Abú Simbel: Chrám v Egyptě byly postaveny dvakrát dostupné z: <https://magazin.travelportal.cz/2017/08/22/abu-simbel-chramy-egypt/>

[5] International Space Exploration Coordination Group (září 2013) Benefits Stemming from Space Exploration Dostupné z: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/Benefits-Stemming-from-Space-Exploration-2013-TAGGED.pdf>

[6] (prosinec 22, 1968) View of rising Earth about five degrees above the Lunar horizon Dostupné z: <https://saturn.jpl.nasa.gov/resources/5839/view-of-rising-earth-about-five-degrees-above-the-lunar-horizon/>

[7] Why Mars, and not another planet? Dostupné z: <https://www.mars-one.com/faq/mission-to-mars/why-mars-and-not-another-planet>

[8] Dr. Levine J. (červen 31, 2015) The Exploration and Colonization of Mars: Why Mars? Why Humans? Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=YzhSmnGcSkE>

[9] Earth/Mars Comparison of Geological Features Dostupné z: http://crism.jhuapl.edu/common/content/docs/GUIDE_Lesson1.pdf

[10] Khoury Y. (ed.) (duben 2, 2016) Take A Vacation to Mars (Or an Intro to Rocket Science) Dostupné z: <https://www.occupiedmars.com/science/2016/04/02/take-a-vacation-to-mars.html>

[11] Frazier S. (srpen 7, 2017) Real Martians: How to Protect Astronauts from Space Radiation on Mars Dostupné z: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/real-martians-how-to-protect-astronauts-from-space-radiation-on-mars>

[12] Rask J., Vercoutere W., Navarro B. J., Krause A. (červenec 2008) Space Faring the Radiation Challenge Dostupné z: https://www.nasa.gov/pdf/284277main_Radiation_MS.pdf

[13] Sunspot Number graphics Dostupné z: <http://www.sidc.be/silso/ssngraphics>

[14] Rapp D. (srpen 2006) Radiation Effects and Shielding Requirements in Human Missions to the Moon and Mars Dostupné z: http://www.marsjournal.org/contents/2006/0004/files/rapp_mars_2006_0004.pdf

[15] Ingels B. (2017) Mars Science City Dostupné z: <http://www.big.dk/#projects-mars>

[16] The SEArch / Clouds AO team (2015) Mars Ice House Dostupné z: <http://www.marsicehouse.com/>

[17] Jordan G. (únor 23, 2018) The Zero-G Workout Dostupné z: <https://www.nasa.gov/johnson/HWHAP/the-zero-g-workout>

[18] Christiansen E. L., Lear D.M. (únor 2012) Micrometeoroid and Orbital Debris Environment & Hypervelocity Shields Dostupné z: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20120002584.pdf>

[19] Walker R. (prosinec 27, 20016) How frequent does the Mars' surface gets bombarded by asteroids, comets or meteoroids? How severe are these impacts?
Dostupné z: <https://www.quora.com/How-frequent-does-the-Mars-surface-gets-bombarded-by-asteroids-comets-or-meteoroids-How-severe-are-these-impacts>

[20] Mars exploration program analysis group (2010) 5. Toxic Effects of Martian Dust on Humans
Dostupné z: <https://mepag.jpl.nasa.gov/goal.cfm?goal=5>

[21] Ayoub F., Avouac J.-P., Newman C.E., Richardson M.I., Lucas A., Leprince S. (leden, 29,2014) Threshold for sand mobility on Mars calibrated from seasonal variations of sand flux
Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/ncomms6096>

[22] NASA (1976)
Dostupné z: http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/gallery/Mars__atmosphere.jpg

[23] von Arx A., Delgado Jr. A. (1991) Convective heat transfer on Mars
Dostupné z: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.40133?journalCode=apc>

[24] NASA Moxie
Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/mars2020/mission/instruments/moxie/>

[25] Anderson G. (2018) Kilopower
Dostupné z: <https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/kilopower>

[26] Joshi A. (srpen 7., 2017) Advanced NASA Technology Supports Water Purification Efforts Worldwide
Dostupné z: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/benefits/water_purification.html

[27] (únor 26, 2004) Food for Space Flight
Dostupné z: https://www.nasa.gov/audience/forstudents/postsecondary/features/F_Food_for_Space_Flight.html

[28] Wamelink G. W. W. , Joep Y. Frissel, Wilfred H. J. Krijnen, M. Rinie Verwoert, Paul W. Goedhart (srpen 27, 2014) Can Plants Grow on Mars and the Moon: A Growth Experiment on Mars and Moon Soil Simulants
Dostupné z: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0103138>

[29] Herridge L. (květen 16, 2014) Veggie Plant Growth System Activated on International Space Station
Dostupné z: <https://www.nasa.gov/content/veggie-plant-growth-system-activated-on-international-space-station>

[30] Wageningen University and Research Centre (červen 27, 2016) The Martian becomes reality: At least four crops grown on simulated Mars soil are edible
Dostupné z: <https://www.sciencedaily.com/releases/2016/06/160627095316.htm>

[31] Davidson D. M. (červen 1986)
Dostupné z: http://spaceflight1.nasa.gov/gallery/images/exploration/lunarexploration/html/s86_27256.html

[32] Novak M. (únor 4.,2015) 42 Visions For Tomorrow From The Golden Age of Futurism
Dostupné z: <https://gizmodo.com/42-visions-for-tomorrow-from-the-golden-age-of-futurism-1683553063>

[33] NASA (červenec 1989)
Dostupné z: https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/mars/lunarbases/html/s89_20084.html

[34] Foster + Partners (2013) Lunar habitat
Dostupné z: <https://www.fosterandpartners.com/projects/lunar-habitation/>

[35] Doule O., Detsis E., Ebrahimi A., Saleny V., Synovec P. (prosinec 2010) LUNARBASE 10
Dostupné z: <http://spacearchitect.org/portfolios/lb-10-lunarbase-10/>

[36] Lipinska M., Olivier L.N., Ogun I.L. (2017) TestLab
Dostupné z: <https://www.eleven-magazine.com/?competition=moontopia>

[37] Foster+Partners (2015) Mars Habitat
Dostupné z: <https://www.fosterandpartners.com/projects/mars-habitat/>

[38] Haughton Mars Project (HMP)
Dostupné z: <https://www.marsinstitute.no/hmp>

[39] First Landing Site/Exploration Zone Workshop for Human Missions to the Surface of Mars (2015)
Dostupné z: <https://www.hou.usra.edu/meetings/explorationzone2015/>

[40] MIT Technology Review (leden 5, 2016) Materials Scientists Make Martian Concrete
<https://www.technologyreview.com/s/545216/materials-scientists-make-martian-concrete/>

[41] NASA (2016) Demonstrating Technologies For Deep Space Habitation
Dostupné z: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/2016-march-beam-factsheet-508.pdf>

[42] Loomans, T. (duben 14, 2013) The World's First Algae-Powered Building in Hamburg
Dostupné z: <https://inhabitat.com/the-worlds-first-algae-powered-building-opens-in-hamburg/>

[43] NASA Home, Space Home
Dostupné z: https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast14mar_1

[44] Paragon (červen 26, 2015) Mars One Habitat ECLSS (ECLSS) Conceptual Design Assessment
Dostupné z: https://www.mars-one.com/images/uploads/Mars_One_Habitat_ECLSS_Conceptual_Design_Assessment.pdf

[45] Hulfish G. (duben 2, 2017) This company will 3D print you a house anywhere you want it
Dostupné z: <https://www.digitaltrends.com/home/apis-cor-3d-printed-house/>

[46] Paech V. (leden 15, 2014) 3D printer will build your house in a day
Dostupné z: <https://www.realestate.com.au/news/3d-printer-will-build-house-day/>

[47] Fybr (říjen 31, 2017) Mars on Earth: FYBR & NASA Haughton-Mars Project
Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=wcstcW0ZBeY>

[48] Mathews L. (únor 8, 2014) Minnesota man 3D-prints a castle big enough to walk in
Dostupné z: <https://www.geek.com/geek-cetera/minnesota-man-3d-prints-a-castle-big-enough-to-walk-in-1600838/>

