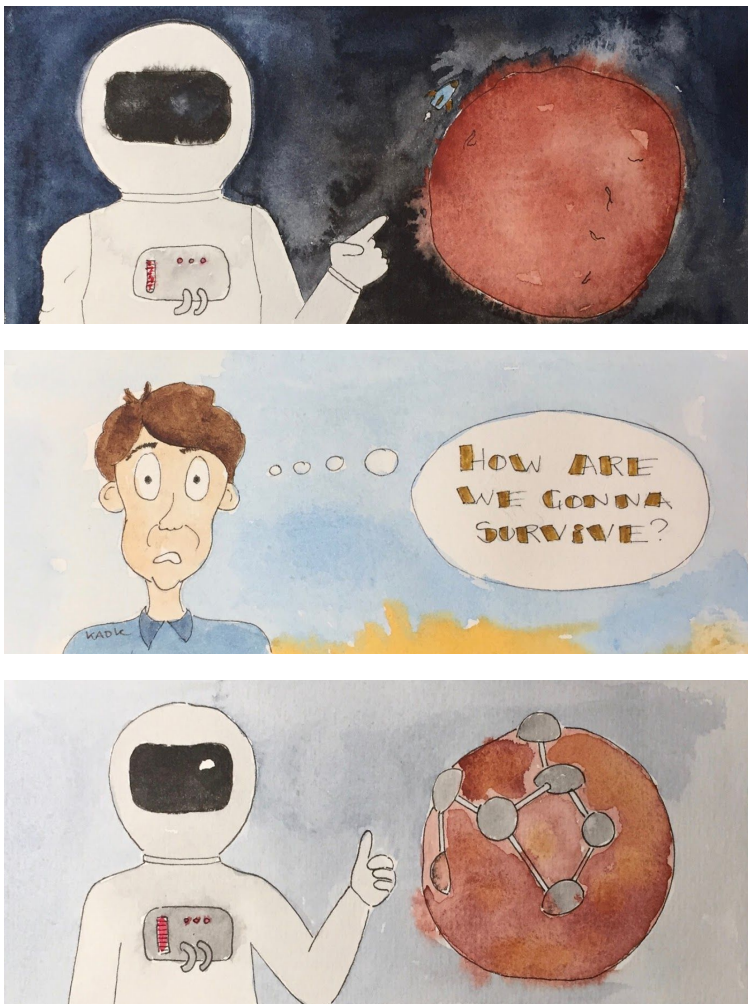
Koloniseringen af Mars

Roskilde Universitet

Eksamensgruppe nr.; V2024788623

Basis Projekt I



Laura Terp, Studie nr.: 71380

Elanor Brechtje Flach.: 71369

Jonas Toft Baran nr.: 72016

Andreas Lykke-Lynggaard.: 71330

Matti Ruders, Studie nr.: 71326

Sean Downes Studie nr.: 71395

Abstract

The focus of this paper is to study how a colony on Mars could be organised inside a lava tunnel. The paper will identify and try to solve the problems and challenges of constructing a colony in the hostile environment on Mars. The construction of a colony on Mars will help secure human survival as a species and help further our exploration into space.

We have through various methods and theories such as SDSM (Soft design science methodology), Pattern Language by Christopher Alexander and Trin-Modellen worked out a solution to our problem.

Our study of the theories and methodologies resulted in a hexagonal layout for the colony. Through many iterations with Christopher Alexander's book as the base anchor and with a focus on easy and approachable expansion of the colony we concluded this design to be the safest and most appealing design for the inhabitants of the colony.

Indholdsfortegnelse

Begrebsliste **4**

Indledning **5**

Problemfelt **6**

Problemformulering **7**

Problemstillinger 7

Afgrænsing **8**

Semesterbinding **9**

Design og Konstruktion I (D&K) 10

Teknologiske Systemer og Artefakter I (TSA) 10

Subjektivitet, Teknologi og Samfund I (STS) 10

Teori afsnit **11**

MVP 11

Byplanlægning 12

Geometriske byer 13

Organiske byer 13

Lineære byer 13

Pattern Language af Christopher Alexander 14

Metodeafsnit **15**

Brainstorm 15

Storyboard 16

Coloured Cognitive Mapping 16

Soft Design Science Methodology (SDSM) Design og konstruktion 17

Teknologi & Radikalt og Inkrementelt design i Netværk (TRIN-modellen) 20

Komparativ Analyse 22

Maslows Behovspyramide 22

Redegørende afsnit **23**
Hvordan Mars adskiller sig fra Jorden 24
Eksisterende Mars Habitat projekter 27
Relevante teknologier og systemer 31
Fødevareproduktion 31
Atomkraft som strømkilde 33
Byggeforhold og byggeformer 36
Analyse **40**
Behovspyramide for Mars aka. MARSlows behovspyramide 40
Komparativ Analyse - Koloniens placering på Mars 42
Designproces **48**
Analyse af færdige design 64
Første trin, Teknologiens indre mekanismer 64
Andet trin, Teknologiens artefakter 64
Tredje trin, Teknologiens utilsigtede effekter 66
Fjerde trin, Teknologiens teknologiske systemer 68
Femte trin, modeller af teknologien 70
Sjette trin, Drivkræfter og barrierer for udbredelsen af teknologien 71
Diskussion **73**
Konklusion **74**
Corona Afsnit **76**
Litteraturliste **77**

Begrebsliste

Kolonistruktur
Måden hvorpå kolonien er struktureret - her tænkes veje, bygninger, fællesarealer mv.

Koloniplanlægning
Byplanlægning og de elementer der er en del heraf

Kemosyntese
Organiske forbindelser der kan levere ilt og energi uden brug af fotosyntesen og dermed uden lys

Marsquake
Jordskælv på Mars

Nyttelast
Den egentlige last som et transportmiddel kan transportere

Semi-pressurised
At noget er delvist under tryk, her menes et tryk under en atmosfære.

Marsregolit
Små stykker af Marsklippe og meteorit der ligger på overfladen af Mars

Marsrovere
Mars køretøjer kendt fra missioner på Mars og månen

Marsbase
Eksempel vis en forpost for forskning

Overfladekoloni
Koloni der ligger på overfladen af Mars

Habitat
Det leveområde hvor kolonisterne bor

Indledning

Selvom vi mennesker er den dominerende art på Jorden betyder det faktum at vi kun findes på Jorden at vi er sårbar og eksponeret for udryddelse. Klimaændring, pandemier, overbefolkning, verdenskrig, uhensigtsmæssigt programmerede A.I., ukontrolleret nanoteknologi, meteoritnedslag, soludbrud eller en invasion af aliens er eksempler på de, indtil videre heldigvis fiktive, årsager der kunne betyde enden på mennesket i fremtiden. For at undgå at vores genetiske materiale går tabt for tid og evighed, er der mange store tænkere, herunder fx. Stephen Hawking, der advokerer for, at etablere kolonier på andre planeter f.eks. Mars.

Vi er i fremtiden, hvor bemandede missioner til Mars har fundet sted og rumforskningen har indsamlet tilstrækkelig viden om Mars´ forhold og geologi der understøtter muligheden for at bygge en koloni på Mars.
Den nødvendige teknologi der kræves for at transportere ressourcer og mennesker til Mars inden for en overskuelig tidsramme er udviklet. Rumforskere har gennem længere tid været bekendte med eksisterende lavatunneller på Mars, og disses naturlige evne til at beskytte mod den kosmiske stråling der truer menneskeliv på planeten. Dette har været udslagsgivende for vores placering af kolonien i en lavatunnel, under Mars´ overflade. Et team af rumforskere har i samarbejde med forskellige aktører inden for bl.a. byplanlægning, udarbejdet skitser og ideer til en koloni struktur på Mars. Fokuset for dette projekt er at komme med en konkret designløsning til en replikativ koloni på Mars som skal skabe grobund for en permanent bosættelse af planeten.

Problemfelt

I det følgende afsnit vil vi komme ind på det vidensproblem der skaber forudsætningen for at at kolonisere Mars. Vi vil kort redegøre for de forhold Mars byder på, og med forbehold for disse miljømæssige udfordringer, vil vi udarbejde en mulig løsning til et kolonidesign, der tilgodeser menneskets basale behov som vil blive beskrevet senere.

Ifølge flere videnskabsfolk, som for eksempel Stephen Hawking og Robin Hanson, er menneskets overlevelse på jorden udsat, grundet flere trusler, de mest kendte er menneskeskabte klimaforandringer, atomkrig og pandemier. For at sikre menneskets overlevelse, er der flere organisationer der udforsker mulighederne for at kolonisere andre planeter.

Siden 1970'erne hvor den første Mars landing fandt sted, har videnskaben indhentet meget information og kendskab til Mars´eksistens. Mars er derfor, næst efter Jorden, nu den mest udforskede planet i vores solsystem. Derudover er der allerede organisationer, såsom SpaceX og NASA der arbejder på at kolonisere Mars. Derfor er det relevant at se på kolonisering af netop denne planet.

Grundet Mars' fjendtlige miljø, er der en del problemstillinger ved bosættelsen af Mars, som er nødvendige at tænke ind i det designforslag vi ønsker at komme frem til. Udfordringer tæller bl.a. kosmisk stråling, elektromagnetisk stråling, støvstorme og det faktum at Mars' atmosfære består af 96% carbondioxid(NASA) og dermed ikke udgør en åndbar atmosfære. Det er disse miljømæssige faktorer vi vil se nærmere på, og tage forbehold for i vores valg af designforslag.

Til vores gavn har forskere opsporet nogle naturligt skabte lavatunneller på Mars (M. Von Ehrenfried, 2019). Disse er oplagte til at danne rammerne for vores by, fordi den mængde af jord mellem tunnellerne og Mars´ overflade er så komprimeret, at den beskytter mennesket mod den kosmiske stråling, som især vil true vores overlevelse på Mars. Derfor er det med udgangspunkt i disse lava tunneler, at vi vil designe en koloni på Mars.

I forlængelse af ovenstående, er det relevant at se på Mars' topologi og den geografiske placering af lava tunnelerne. Endvidere er det vigtigt at se på disse lava tunnelers placering ift. de overflade områder, hvor der findes is da disse områder er aktuelle ift. forsyning af vand.

Problemformulering

Hvordan kan en Kolonistruktur i en lavatunnel på Mars organiseres?

Problemstillinger

1. Hvordan adskiller Mars´ klima og forhold sig fra jorden?
2. Hvilken betydning har Mars´ forhold for valget af koloniens placering, samt valg af fremtidige byggemetoder, byggeformer og bystrukturer?
3. Hvordan ser transportvejene ud, for mennesker og gods?
4. Hvordan antages det at Mars´ forhold vil påvirke menneskets fysiologiske tilstand og hvilke tiltag er derfor nødvendige at indtænke i vores design?

Afgrænsing

Projektets primære fokus, er planlægning af en koloni på Mars. Følgende afsnit beskriver i den forbindelse, hvilke afgrænsninger vi har sat, for at definere projektets omfang, samt en begrundelse for valget heraf.

Konkrete bygninger

Hvordan de forskellige beboelsesenheders ydre og indre udseende er, samt deres placering i forhold til hinanden, er ikke en del af projektets fokus og vil derfor ikke fremgå i opgaven.

Transport til Mars

Til en start vil vi gøre opmærksom på, at vi i dette projekt vil antage at transport af mennesker samt de teknologier der gør konstruktionen af kolonien mulig, ikke er en barrierer for koloniens dannelse og dermed heller ikke er en hindring for vores videre arbejdet med emnet.

Åndbar atmostfære

Et åbenlyst problem er åndbar luft da dette er essentielt for menneskeligt liv, hvad end det er på Jorden eller på Mars. Jordens atmosfære indeholder cirka 21% oxygen (NASA, MOXIE, 2020), hvilket menneskekroppen har tilvænnet sig. Mars' atmosfære har derimod et oxygen niveau på blot 0.13% og et carbondioxid niveau på cirka 96%, hvilket ikke er tilstrækkeligt for menneskeliv. En løsning til dette, kunne potentielt komme i form af NASA's MOXIE-teknologi – Mars Oxygen In-Situ resource utilization Eksperiment. MOXIE er designet til både udvinding af åndbar ilt og til udvinding af flydende oxygen til brug i brændstof. MOXIE er dog i dag stadig i dets eksperimentelle fase. NASA's forskere anslår at maskinen der i dag er på størrelse med et bilbatteri, skal være godt 100 gange større for at kunne understøtte missioner til Mars, og den nødvendige størrelse for effektivt at understøtte en koloni ville formentlig være endnu større end selv denne. Det er for vores projekt derfor antaget, at teknologien som MOXIE i dag er bygget på, er fuldt udviklet og transporterbar til Mars, hvormed der blandt andet er sikret en åndbar atmosfære i de lufttætte kupler?

Vand

Vand er så grundlæggende for menneskeliv, at vi ikke kan leve uden og det har derfor været et fokuspunkt for mange forskere, heriblandt forskere hos NASA , at finde vand på Mars som ville kunne realisere drømmen om at kolonisere Mars. I slut september 2015 udgav NASA en artikel, hvor det blev bekræftet at der i en eller anden form var flydende vand på Mars (NASA, Liquid Water, 2015), og I slutningen af 2019 offentliggjorde NASA et såkaldt 'skattekort' over "water ice" på Mars (NASA, Water Ice, 2019). Det vides altså at der findes vand på Mars.

Koloniseringen efter ankomst

Projektet fokuserer som tidligere nævnt primært på byplanlægnings strukturen, af en koloni på Mars. Altså dannelsen af permanent beboelse i en Mars-koloni. Det er derfor antaget at dette ikke er første bemandede ekskursion til Mars, og at den første forpost på Mars er bygget, hvormed mennesker allerede har været midlertidigt bosat på Mars.

Semesterbinding

På Roskilde Universitet arbejdes der i projektskrivningen med det der kaldes en semesterbinding. Dette er et afsnit i den endelige opgave, der beskriver tværfagligheden i projektet, dvs. valget af fagkombination, samt en kort beskrivelse af fagene, også kaldet dimensioner. Læseren får hermed en forståelse for gruppens udgangspunkt i projektskrivningen.

Gruppen vil i dette projektforløb hovedsageligt arbejde i dimensionerne *Design og Konstruktion I* (D&K), samt *Teknologiske Systemer og Artefakter I* (TSA), men der vil også blive inddraget elementer fra dimensionen *Subjektivitet, Teknologi og Samfund I* (STS), da denne dimension kan være behjælpelige i uddybelsen og afklaringen af nogle problemstillingerne som vil blive præsenteret i projektet.
Der vil her følge en kort beskrivelse af dimensionerne i en prioriteret rækkefølge for dimensionens størrelse i projektet.

Design og Konstruktion I (D&K)

Dimensionen D&K har til formål at udruste den studerende med de nødvendige værktøjer til at tilrettelægge en designproces. Der er her særligt fokus på Soft Design Science Methodology (SDSM), hvilket har inkluderet teknikker og metoder der kan strømline arbejdet med en given problemstilling med det formål at kunne udvikle et design, for eksempel problemkort (CCM, Colored Cognitive Map) og Storyboard-metoden. Dertil lægges der vægt på evalueringen af designet, hvormed der kan laves nye forbedrede designs baseret på det lærte ved forrige designs, hvormed flere iterationer af den originale ide kommer til.
Vi gør i projektet brug af D&K igennem hele vores designproces, hvoraf vi har opnået mange forskellige iterationer for et design af en koloni på Mars, og har tidligt i forløbet benyttet os af både Storyboard Metoden og CCM (Roskilde Universitet. n.d.).

Teknologiske Systemer og Artefakter I (TSA)

Denne dimension omhandler kompetencer om hvordan man kan analysere og formulere teknologi. Kurset giver kendskab til TRIN-modellen som er en uofficiel metode udviklet af lektorer fra RUC, og er derfor ikke en anerkendt metode hvilket betyder at andre universiteter derfor ikke er bekendte med denne metode.

Ligeledes er programmerings programmet, processing, et 5 dages forløb i et kursus i januar. Processing giver gode muligheder at kunne bruge diverse opgaver og semesterprojekter senere hen i bacheloren eller kandidaten (Roskilde Universitet. n.d.-c).

Subjektivitet, Teknologi og Samfund I (STS)

Denne dimension omhandler individets opfattelse af dets omgivelser, både teknologiske og samfundsmæssige. Der er i kursets forløb blev introduceret teorier og metoder til undersøgelse, samt til at skabe forståelse for forholdet mellem mennesker, teknologi og

samfundet. Dimensionen søger her at inddrage den humanistiske tankegang i en designproces, hvormed et design ikke blot er menneskeskabt, men også tilegnet til mennesker.
Dertil har kurset budt på lektioner i bl.a. Aktør-Netværksteori, interview-teknikker og projektarbejdet på HumTek.
Projektet her vil inddrage elementer af STS for at afklare og tydeliggøre betydningen af basale menneskelige behov for kolonidannelse på en fremmed planet (Roskilde Universitet. n.d.-a).

Teori afsnit

MVP

Minimum viable population (MVP) er et tal der fortæller om det minimum antal mennesker der skal være tilbage for at kunne genetablere den menneskelige race. Tallet er oftest forbundet med rumrejser og menneske racens mulighed for at overleve "dommedagsscenarier". MVP skal findes for at sørge for en genetisk rask befolkning som skal undgå indavl og har en overlevelsesrate på over 90% i 100+ år (Minimum Viable Human Population, Roman V. Yampolskiy). Tallet kan variere fra 40.000 til 150 alt efter hvor mange restriktioner der er på populationen for at undgå bla. indavl.

Hvis tallet skal ligge under 5000 kræver det at forholdsvist strenge restriktioner om hvem der må formere sig med hvem og antallet af afkom et par mindst skal producere. (Minimum Viable Human Population, Roman V. Yampolskiy)

Vi har valgt 500 mennesker som vores MVP da dette er et tal, som med genetisk vejledning, ville over få generationer nå et punkt hvor ikke engang vejledning længere ville være nødvendigt for at sikre en genetisk rask population.

Byplanlægning

I følgende afsnit defineres begrebet byplanlægning. Ydermere vil vi introducere nogle udvalgte byplanlægnings strategier som gennem tiden har defineret forskellige byers overordnede struktur.

Dansk Arkitektur Center beskriver følgende om byplanlægning *"Man kan kalde sig byplanlægger, hvis man fx er arkitekt, ingeniør, landskabsarkitekt, geograf, sociolog, jordbrugskandidat og økonom og beskæftiger sig med byplanlægning. Der er således mange forskellige indfaldsvinkler til, hvordan, man kan arbejde med byplanlægning."* (*Byer Og Byplanlægning*, 2020). Grundet forskelligheden bag disse aktørers faglige kompetencer, vil der være stor forskel på den måde hvorpå, de vil beskrive byplanlægning. Så hvordan defineres byplanlægning, helt overordnet? Dansk Arkitektur Center beskriver byplanlægning på følgende måde.

"Når man taler om byplanlægning, handler det om udarbejdelsen af planer for byer og byområder, der skal opfylde en række behov for et område".
(*Byer Og Byplanlægning*, 2020)

"Byplan og byplanlægning, forskellige former for indgreb i byers og bygge struktur, indhold og form."
(Barnow & Lemberg, 2016)

Det er med dette fokus, vil vil udarbejde et designforslag til en by på Mars. Det er dog svært ikke at tale om menneskets behov og dets indflydelse på en bys struktur, da mennesker er hele årsagen til at byer skabes.

Geometriske byer

Menneskets måde at leve på har gennem tiderne ændret sig. I takt med den stigende urbanisering er der opstået et behov for at rekonstruere den måde hvorpå byerne organiseres. I flere tusinde år har det hippodamiske system (Rasmussen, 2017), også kendt som Grid cities, været en kendt struktur hvorefter man har konstrueret byer, i moderne tid ses denne struktur bl.a. i New York. Denne måde at strukturere byer på, som ordet beskriver, er i gitre. Gaderne ligger ortogonalt, altså vinkelret og udspringer som oftest fra et torv eller anden central plads. Disse geometriske strukturer skabte en ensartethed og symmetri i byen. Gaderne, som udgør et gitter, sætter rammerne for bygningernes placering (*Den Organiske Og Den Geometriske By*, 2020).

Organiske byer

Ligesom de geometriske byer, udsprang selve byen fra et torv, hvis funktion dengang var en plads for indbyrdes handel. Men modsat den geometriske struktur, udviklede disse byer sig på en mere naturlig, organisk måde. Handelsstederne trak flere mennesker til, og på den måde voksede byerne. Her tog gaderne form efter bygningerne, hvilket skabte tilfældige stier og veje, uden nogen fast struktur, et eksempel kunne være London eller Venedigs snørklede gader(*Den Organiske Og Den Geometriske By*, 2020). Denne organiske måde at strukturere byer på, har sine rødder tilbage i middelalderen.

Lineære byer

Denne type byer stammer tilbage fra det 19'ende århundrede. Som ordet antyder er det en måde at anordne en by på som ligger på en linje, disse byer kaldes også båndbyer. De lineære byer bestod af sektioner der lå parallelt med en flod eller kystlinje, disse sektioner var bl.a. en jernbane der strakte sig langs hele byen, en industriel zone hvor arbejdspladserne havde deres liv, en sektion til beboelse og sociale institutioner og en sektion til agerbrug. Byerne voksede langs kysten eller floderne, frem for at udvide sig ind i landet. (Antyufeev, A. V., & Antyufeeva, O. A. (2019). Linear cities: controversies, challenges and prospects.)

Det er vigtig at undersøge forhenværende løsninger og design således at man kan bruge de erfaringer man har gjort sig om fordele og ulemper ved de tidligere designs.

Pattern Language af Christopher Alexander

Christopher Alexander (4 oktober 1936 -) er en britisk-amerikansk arkitekt, design teoretiker og professor emeritus af University of California, Berkeley. Hans teorier om menneske-centreret design har haft indflydelse på andre felter inden for videnskab udover arkitektur, såsom byplanlægning, software, og sociologi.

Alexander udviklede og validerede (i samarbejde med sine studenter Sara Ishikawa, Murray Silverstein, Max Jacobson, Ingrid King, og Shlomo Angel) *A Pattern Language* (1977), der giver hver enkelt person der bruger sproget, muligheden for at kreere uendelige variationer af nye og unikke bygninger, på samme måde som ens normale sprog giver en muligheden for at forme uendelige variationer af sætninger (timeless way, s. xi). Unikt for det arkitektoniske system er, at det kun består af klassiske mønstre, der er testet i den virkelige verden og gennemgået af flere arkitekter på æstetik og funktionalitet.

Alexanders *pattern language* giver os forslag til generelle designløsninger for planlægning af en koloni, som beskrevet i metodeafsnit om SDSM. For eksempel, hvilke elementer der skal indgå i en by, og hvordan vi kan placere de enkelte elementer i forhold til hinanden, for at skabe en designløsning til en koloni, der er praktisk, sikker og attraktiv. Hvordan den specifikke designløsning vil se ud, er afhængig af projektets præcise omgivelser; de tilgængelige byggematerialer, vejr-og klimaforhold og beboernes kultur har hver deres indflydelse på slutresultatet.

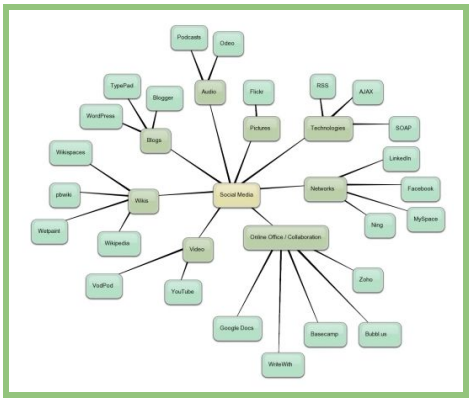
Metodeafsnit

I dette afsnit gør vi rede for gruppens valg af anvendte metoder. Kapitlet indeholder refleksioner og argumenter for til- og fravalg, samt hvorledes metoderne indgår i projektarbejdet.

Brainstorm

Brainstorm er en metode der bruges til idegenerering. Metoden er særlig relevant i starten af en udviklingsproces, hvor det er vigtigt for gruppen at få defineret rammerne for den valgte problemformulering og problemstillingerne. Metodens formål er at opfordre den enkelte studerende til at udfolde sine ideer om projektet. Metoden appellerer til kvantitet fremfor kvalitet, en åbenhed overfor egne og andres ideer og dermed et fravær af kritisk tænkning.
Senere i processen opstår der dog et behov for at indsnævre de generede ideer og tanker gruppemedlemmerne tilsammen har fået skabt, denne udvælgelse foregår via dialog omkring hvilke ideer der har størst relevans for projektets videre forløb.
(*Klassisk Brainstorm – Værktøjskassen Til Innovation Og Entreprenørskab i Undervisningen*, n.d.)

Brainstorm metoden kan både udføres digitalt og analogt, på papir, en væg m. post-it notes eller en tavle, her er det kun fantasien der sætter grænserne.



Billede: wordpress.com

Billede: innovation.sites.ku.dk

Storyboard

Storyboard er en metode der kan bruges til visuelt at fortælle et projekts historie eller funktionen af et bestemt design. Metoden hjælper de studerende til at få tydeliggjort den historie de ønsker at fortælle og dermed hvilke detaljer der er vigtige at fokusere på i deres fortælling, for at skabe en bedre forståelse hos modtageren.
("DIY_Metodekort," 2014, p. 10)

Coloured Cognitive Mapping

Coloured Cognitive Mapping (CCM) er udviklet af John R. Venable, som en metode til at analysere et problem, og derved finde forståelsen af problemerne og konsekvenserne. CCM bruges til at få skabt et overblik og klarhed over formål og kommunikation.

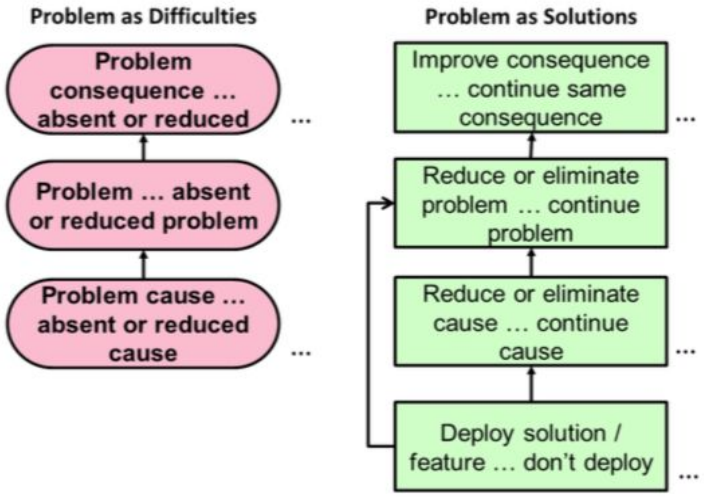


Fig. 1. Notation and patterns for two forms of Coloured Cognitive Maps [2]

Hentet fra Venable, 2014

1) CCM skaber forståelse af problemet og hvad der forårsager problemet, og selve forholdene der tillader at problemet der forhindrer en løsning og som fortsat tillader forhindringen at eksistere

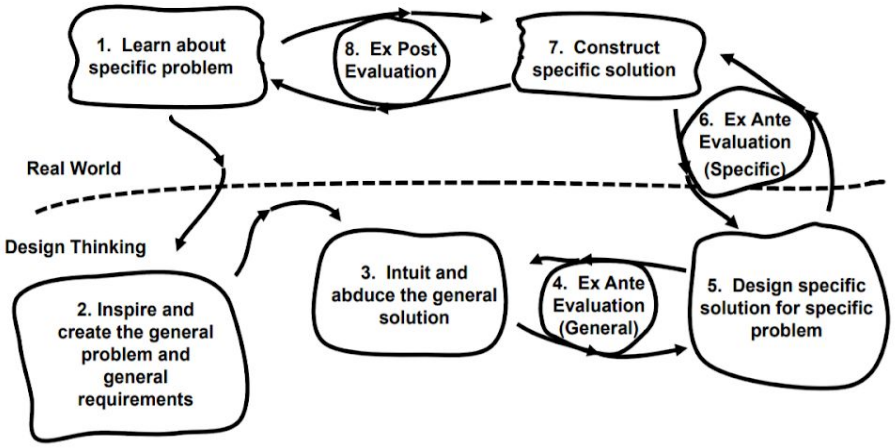
2) CCM stimulerer kreative tanker om løsninger af problemet, og tanker om alternativer

Gennem CCM metoden anskuer man "problemet som vanskeligheder og "problemet som løsninger".

Metoden lægger op til at tydeliggøre de problematikker og vanskeligheder, der er ved et projekt (farvet med rødt) og efterfølgende "vender" problemet og dermed skabe reelle løsninger og muligheder (farvet med grønt) til problemet. (Venable, 2014).

Soft Design Science Methodology (SDSM) **Design og konstruktion**

SDSM er en designvidenskabelig metode, udviklet af Jan Pries-Heje, John Venable og Richard Baskerville der alle arbejder inden for Informatik og Datalogi (Pries-Heje et al., 2014). SDSM kan bruges i designvidenskabelige processer hvor der udvikles nye socio-teknologiske artefakter, som en del af design- og konstruktionsprocessen. SDSM bygger på Soft Systems Methodology (SSM), formuleret af Checkland (Checklands and Scholes, 1990), en vigtig tilgang til socio-tekniske problemer.



SDSM er valgt, fordi metodens syv aktiviteter, fra undersøgelsen af et specifikt problem til den konstruerede (generaliserede) designløsning, byder på en tydelig struktur der kan understøtte og organisere gruppens designproces.

1. Lær om det specifikke problem

Designeren finder et specifikt problem og fordyber sig i problemet. Typisk består undersøgelsen af en dybdegående udforskning af synspunkterne af dem, problemet berører. Læringsprocessen foregår i den virkelige verden og er præget af analytisk tænkning, hvor designeren følger klart definerede trin eller aktiviteter, for eksempel ved hjælp af et værktøj som problemkort (Colored Cognitive Map, CCM).

2. Find inspiration, kreer problemet og generelle betingelser

Gennem læring om det specifikke problem, begynder designeren at få en bredere forståelse af den generelle klasse af problemer, den oprindelige problemstilling tilhører; generelle betingelser. Dertil undersøger designeren forskelle og ligheder med bestående situationer og forsøger at generalisere den specifikke situation væk fra problemfeltet. Processen er typisk kreativ og imaginær, og foregår i det abstrakte felt af designtænkning. Ved at fokusere på kreativ tænkning, fører søgningen efter en problem-klasse til søgen efter en løsnings-klasse.

3. Brug forestillingsevnen til at abducere den generelle løsning

I foregående aktivitet begynder designeren at få ideer om mulige løsninger for det generelle problem. Når tænkningen bevæger sig i retningen af en generel løsning, karakteriseres det af to vigtige kendetegn: designeren forsøger at komme frem til ny viden ved at bruge læringsmetoder der bygger på opfindelse og innovation, og viljen til at validere viden i fremtiden, da validiteten af den nye designs viden, ikke er kendt på dette tidspunkt.

4. Ex ante evaluering (generel)

Når den generelle løsning bliver mere tydelig, vil det føre til en ny forståelse for det generelle problem. Det generelle design udvikles løbende, når ny information kommer frem. Da denne proces sker inden designet bliver realiseret i den virkelige verden, kaldes det for ex ante (fra før).

5. Design en specifik løsning til det specifikke problem

Når designeren har fastsat de generelle betingelser (aktivitet 2) og den generelle løsning (aktivitet 3), og muligvis efter iterationer baseret på ex ante evalueringen af det generelle design (aktivitet 4), flytter processen sig igen ud i den virkelig verden, hvor den specifikke designløsning til det aktuelle problem findes. Designeren søger analytisk efter et sæt mulige delelementer der kan bruges til at konstruere den specifikke designløsning.

6. Ex Ante (Specifik)

Designeren sammenligner den specifikke designløsning med problemet i den virkelige verden og evaluerer hvordan løsningen passer til problemet.

7. Konstruér den specifikke løsning

Designeren fremstiller prototypen af den specifikke løsning, og evaluerer hvordan det specifikke problem og den specifikke løsning passer sammen. Konstruktionen af selve løsning fører til, en endnu bedre forståelse for det specifikke problem i den virkelige verden.

8. Ex Post Evaluation

Den konstruerede løsning er oftest kun en foreløbig løsning. Evalueringen af løsningsdesignet fører til en nyformulering af det specifikke problem, hvilket vil føre til en ny og forbedret konstrueret løsning. Hvis resultatet af SDSM-evalueringen er tilfredsstillende, kan undersøgelsen afsluttes. Hvis resultatet vurderes mangelfuld, kan der startes en ny SDSM-cyklus. Processen kan fortsættes indtil der er fundet en tilfredsstillende løsning. Når problemet er løst, vil designtænkningen som regel være valideret gennem løsningen.

Teknologi & Radikalt og Inkrementelt design i Netværk (TRIN-modellen)

TRIN-modellen er en metode der endnu ikke er akademisk anerkendt, men som er brugt på Roskilde Universitet. Metoden er udviklet af Niels Jørgensen, Thomas Budde Christensen og Erling Jelsøe (Jørgensen, 2020). Modellen bygger på den objekt-fokuserede definition af teknologi beskrevet af Carl Mitcham i Thinking through Technology (Mitcham, 1994) og en mere konkret og analyseorienteret definition af teknologi udviklet af Müller et.al. i Hvad er teknologi? (Müller et al.,1984). Heri fokuserer Müller et al. overvejende på arbejds- og produktionsprocesser. TRIN-modellen er udviklet til at inspirere til analyse af teorier, med hovedvægt på teknisk-videnskabelige aspekter af teknologiens produktion, design og brug. Modellen indeholder seks vinkler der kan bruges til at analysere en teknologi.

Trin 1: Teknologiens indre mekanismer og processer

De centrale tekniske mekanismer og processer, som bidrager til at opfylde teknologiens formål.

Trin 2: Teknologiens artefakter

Artefakter er genstande skabt af mennesker og adskiller sig som sådan fra genstande skabt gennem processer i naturen. Et teknologisk artefakt er et artefakt, som har en teknologisk funktion. Teknologi er omformning af natur (stof og energi) under anvendelse af naturlige og sociale ressourcer samt information, viden og praktisk erfaring med henblik på at opfylde menneskelige behov.

Trin 3: Teknologiens utilsigtede effekter

Utilsigtede effekter er effekter, som vurderes at være negative. Man kan skelne mellem utilsigtede effekter, som har karakter af risici, nogle som skyldes designfejl og endelig nogle som skyldes økonomiske hensyn.

Trin 4: Teknologiske systemer

Teknologiske systemer er sammenhængende systemer af teknologiske artefakter, som samlet besidder en bestemt funktionalitet, der muliggør omformning af natur med henblik på opfyldelse af menneskelige behov.

Trin 5: Modeller af teknologier

Modeller af teknologier kan være numeriske (abstrakte), visuelle eller fysiske og er repræsentationer, hvor særlige udvalgte egenskaber ved en teknologi søges gengivet og/eller undersøgt. En model kan samtidig være et værktøj til at skabe eller udvikle konkrete artefakter.

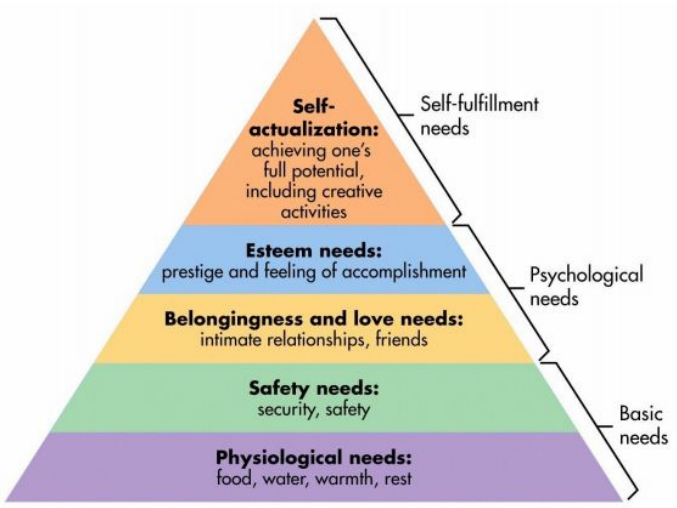
Trin 6: Teknologier som innovation.

Innovation er implementering af nye eller væsentligt forbedrede produkter, produktionsprocesser eller organisationsformer. Innovationsteorier handler ofte om hvilke forhold, der driver en ny teknologi frem, og om barriererne for at teknologien bliver udbredt.

Komparativ Analyse

Den komparative analyse bygger på opstilling og sammenligningen af to eller flere objekter eller emner, hvor formålet kan være at finde fællestræk/forskelle, fordele/ulemper mm.
I dette projekt vil vi benytte den komparative metode til at vægte særlige karaktertræk for det givne emne i form af fordele og ulemper ved forskellige designløsninger, og heraf begrunde den valgte løsning.

Maslows Behovspyramide



Model fra McLeod, S. A. 2018

Abraham Maslow (1. april 1908 – 8. juni 1970) var en amerikansk professor i psykologi. Maslows første behovspyramide ses i 1943 og bliver oftest brugt indenfor det psykologiske felt. Det er en teori, der bygger på ideen om at der for alle individer er et behovshierarki med visse trin som skal opfyldes, og at man med disse trin kan forme en pyramide, alt efter hvor man er i livet, og hvad man føler er mest vigtigt.

Pyramiden består af fem trin: Fysiologiske behov, behovet for sikkerhed, behovet for kærlighed og tilhørsforhold, behovet for selvtillid og selvrealiseringsbehovet. Maslow teoretiserer at mennesket begynder at opfylde sine behov ved at starte fra bunden af pyramiden, med

individets fysiologiske behov såsom ilt, næring, vand, søvn, sex og udskillelse af affaldsstoffer etc. og ikke vil være motiveret til at opfylde behovet på den næste trin i behovspyramiden, med mindre behovene på foregående trin er tilgodeset.

Andet trin er behovet for sikkerhed, sikkerhed af krop, arbejde, stabilitet, fravær af frygt etc. Når individet er sikret overlevelse, kan individet begynde at tænke i permanente sikre omgivelser, hvor man lever et liv og skaber sociale kontakter og forbindelser eksempelvis venskaber og familie, som er tredje trin i modellen. Det fjerde trin handler om behov i forbindelse med ego og status: at blive respekteret af andre, have selvtillid og selvrespekt. Det femte og sidste trin i pyramiden er behovet for selvrealisering. Individet fokuserer her på personlig udvikling og på at blive sit bedste jeg.

Maslows teori er opdateret gennem årene, og teorien er ikke så rigid som den har været. Ifølge Maslows teori har alle individer mulighed for at gennemgå alle trinene. Mennesker har dog forskellige forudsætninger i livet, og derfor kræver det mere af nogle at *opnå* opfyldelse af de øvre behov. Det er derfor ikke alle der starter fra bunden og ikke alle individer der følger pyramiden slavisk, men rykker frem og tilbage mellem trinene alt efter hvor de er i deres liv og hvilke behov de finder mest nødvendige at prioritere (McLeod, S. A. 2018).

Redegørende afsnit

I følgende afsnit vil vi anskueliggøre hvordan Mars´ fysiske forhold fx. atmosfære, kosmisk stråling, støvstorme, temperatur, adskiller sig fra jordens, og hvilken indflydelse disse har på menneskets fysiologi og overlevelse, hvis ikke der tages forbehold for dette. Vi vil redegøre hvorfor lavatunneller er mest optimale som rammer for Mars kolonien. Endvidere vil vi klarlægge nogle eksisterende byplanlægnings strategier der gennem tiden har dannet grundlaget for byers struktur på jorden, og derigennem forsøge at inddrage læringspunkter fra disse strategier, i vores projekt. Til sidst vil vi beskrive hvilke igangværende Mars habitats-projekter der er, og hvordan de adskiller sig fra vores eget projekt.

Hvordan Mars adskiller sig fra Jorden

Temperatur

Med en gennemsnitstemperaturen på ca. -60 grader Celsius, og en tynd atmosfære der gør at planeten ikke fastholder den naturlige varme den modtager fra solen, hvilket medføre en øget nødvendighed for indkapsling, hvor varme nemmere kan ophobes (Smithsonian National Air And Space Museum. 2019).

Ilt

Ilt er essentielt for overlevelse på Mars. På Mars er der 96 procent CO2 og kun 0,13 procent Oxygen sammenlignet med 21 procent oxygen på jorden (NASA Science Mars, u.d.), vi kan derfor ikke leve på Mars uden brug af et teknologisk hjælpemiddel. Forskere og rum-agenturers bedste bud på en løsning er indtil videre "The Mars Oxygen In-Situ Resource Utilization Experiment" bedre kendt som MOXIE. MOXIE er et apparat designet til at producere ilt på Mars, ved at spalte til atomer, og dermed er selvforsynende. MOXIE er på nuværende tidspunkt designet til at kunne være i en Marsbil (rover) og fylder ikke mere end et bilbatteri, og den kan indtil videre ikke producere mere end 6 til 10 gram oxygen i timen, hvilket svarer til en lille hunds forbrug (NASA, 2020). Grundet omfanget og retningen af vores projekt, antager vi dog, at MOXIE fungerer optimalt og har en størrelse der ville kunne understøtte en hel kolonis forbrug.

Vand

Det menes, at den fremtidige forsyning af vand til Mars´ beboere på Mars vil bestå af vand indvundet fra den eksisterende is der findes på Mars. Det anslås at i bestemte regioner på Mars, over halvdelen af undergrunds lagene består af vand-is. I samtlige regioner på Mars har iset skabt områder med store gletsjere. Disse områder ville være svært tilgængelige, men man mener at der er findes flade områder på Mars hvor vand-isen ligger tættere på overfladen, og som i fremtiden vil kunne bruges som en ressource for Mars beboere (NASA Jet propulsion Laboratory, 2016).

Tyngdekraften

Mars' tyngdekraft er kun en tredjedel af Jordens. Siden de første missioner i rummet har det vist sig, at den lave tyngdekraft påvirker astronauternes krop og helbred. Efter at have opholdt sig længere tid i rummet, kan vægtløsheden medføre svimmelhed, kvalme og synsproblemer og på længere sigt gøre skade på vitale organer i kroppen. Udover disse, har man også konstateret, at den lavere tyngdekraft påvirker det muskulære system i kroppen. Musklerne i menneskekroppen er evolueret i sammenspil med tyngdekraften på jorden. Trykket fra tyngdekraften på jorden udfordrer musklerne i menneskekroppen. Den manglende tyngdekraft i rummet gør, at muskler ikke bliver udfordret nok og over tid svinder ind. Også knoglerne bliver påvirket af mangel på udfordring: i knoglerne af hjemvendte astronauter fandt man lavere koncentration af mineraler. Tidligere missioner har påvist, at astronauternes motions- og muskeltræning i rumskibet har haft en positiv effekt. Hvis mennesket skal kunne overleve i en årrække på andre planeter, såsom Mars, er man nødt til at tænke i nogle mere permanente alternativer (Paris, 2014).

Radioaktiv stråling

Én af de helt store udfordringer ved permanent tilstedeværelse på Mars, er radioaktiv stråling. Jordens magnetfelt beskytter mod kosmisk stråling. Dette magnetfelt eksisterer ikke på Mars, og mennesket vil derfor være udsat for stråling der er 700 gange kraftigere end den vi udsættes for på jorden. At opholde sig på Mars i blot 6 måneder, kan medføre 60 procent mere radioaktiv stråling end hvad et menneske udsættes for gennem et arbejdsliv.

Man skelner mellem strålingen der konstant er til stede, og mere intens stråling der kommer i kortere tidsintervaller som medfører strålesyge, og noget man dør af inden for kort tid.
Strålingen vil, ved menneskets udsættelse på længere sigt, øge risikoen for cancer og andre følgesygdomme markant.

Den kosmiske stråling er stadig et uklart område, da strålingerne kommer i nogle meget uforudsigelige tidsintervaller. Det som rumforskere arbejder på, hos blandt andre ESA, er en risikomodel, der, i realtid, kan informere om doseringen af strålingerne, og dermed også,

risikoniveauet for cancer. Forskere fra ESA og forskere tilknyttet ESA, har efter gennemgribende forskning, konkluderet en positiv effekt af metallet Lithium, som der overvejende ville kunne bruges som beskyttelse mod strålingerne (The European Space Agency, 2019).

Støvstorme

Et andet stort problem er de enorme støvstorme på Mars. Man mener, at der er to typer storme, én mindre, årlig storm, og en stor storm, som kun opstår omkring en gang hvert femte år. De mest kraftfulde storme kan, i værste tilfælde, dække et område på Mars, der svarer til et helt kontinent på Jorden (Mersmann, 2015). Grundet det lave atmosfæriske tryk, møder man ikke den store vindstyrke på Mars. Man frygter ikke, at stormene vil vælte eller direkte ødelægge bygninger eller materialer, men et af problemerne er, at de store mængder støv kan sætte sig i mekaniske dele og reducere funktionsniveauet. Et andet problem er, at støvet sætter sig på eventuelle solpaneler, hvilket gør det svært for solpaneler at optage og udnytte energien fra solen. Et tredje problem er mængden af støv fra stormene, der kan hobe sig op i atmosfæren, og dermed danne et lag der direkte blokerer for sollyset. Dog modarbejdes dette naturligt, da de store storme opstår af de varme solstråler der rammer den kolde temperatur på Mars´ overflade, og dermed udligner de hinanden. Dette vil betyde at det kun er i perioder, at stormene ville være et større problem (Mersmann, 2015).

Sammenfatning af Mars VS Jorden

Da vores projekt omhandler selve kolonien, der skal bygges på Mars, antager vi, at den første bemandede mission til Mars har fundet sted, og at man har fundet fast grund. Da vand og ilt, samt tyngdekraftens indvirkning hos mennesket er helt essentielle for overlevelse på Mars, har vi beskrevet forskernes bedste bud indtil videre, og det som forskere og rumagenturer finder lovende, og fortsat arbejder på at udvikle, heriblandt MOXIE. Radioaktiv stråling er en af de største udfordringer for astronauterne og største sikkerhedsrisiko. Som det ser ud nu, er fokus primært på astronauternes velbefindende ved længerevarende missioner og altså ikke på permanent beboelse. Det er et af de problemer som forskere ikke har fundet en lovende løsning på endnu, men grundet omfanget og retning af vores projekt må vi antage at der er

fundet længerevarende løsning på, da man som det ser ud nu, godt ville kunne overleve et vist tidsrum, dog ikke ud uden permanente følgere. Derfor ville det, ved længerevarende bosættelse, være relevant at få indtænkt et bud på en løsning i vores designforslag til et habitat.

Det samme gælder ved støvstormene. Der er endnu ikke fundet nogle konkrete løsninger på problemet, dog er det kun i perioder disse støvstorme opstår, og man kan derfor forestille sig, at man på nogle tidspunkter af døgnet bør være afskærmet fra eksponering og på andre tidspunkter ikke har behov for at være det.

Et andet fysiologisk og livsnødvendigt behov hos mennesket er føde. Grunden til at det ikke er beskrevet i ovenstående afsnit er, at forskningen har flere forskellige bud på en løsning, der findes derfor en bredere beskrivelse af dette, som vil blive beskrevet og diskuteret i et afsnit for sig selv.

Eksisterende Mars Habitat projekter

Det er mange bud på hvordan beboelse på Mars skal se ud, blandt disse bud er særligt interessant at kigge på de projekter som NASA, SpaceX og BIG opererer med, da disse umiddelbart er de organisationer med de mest velillustrerede og uddybende koncepter for emnet.

NASA udsteder 'Centennial Challenges', hvor organisationen deler en udfordring med offentligheden i det håb om, at nye ideer vil udspringe af dem. Dette er for NASA efterhånden blevet lidt af en tradition, og det har givet mennesker fra vidt forskellige baggrunde muligheden for at bidrage til udviklingen af ny teknologi der potentielt vil blive brugt til rumfart. Dette kan være alt lige fra handskerne i en EVA-dragt, til udviklingen af beboelse for mennesker på fremmede planeter.
NASA stillede op med netop denne type udfordring; at designe fremtidens bolig på Mars, og lokkede med en pengepræmie til de bedste designforslag.

Med udsigten til at kunne udvikle fremtidens beboelse på Mars, og muligheden for at vinde en betydelig sum penge, stillede flere teams op for at løse opgaven.

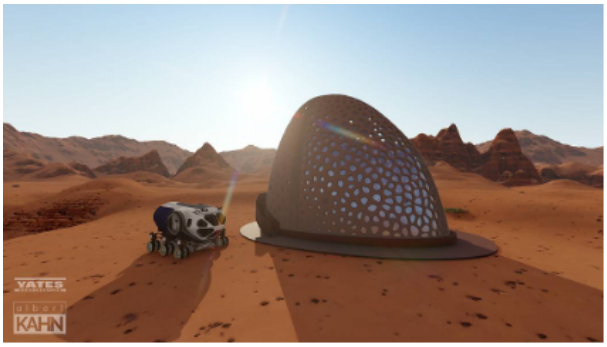
Følgende teams; Team Zopherus, AI-spacefactory, Team Khan-Yates, Team SEArch+/Apis Cor, Northwestern University; er i dag featured på NASA's hjemmeside, hvor deres konceptbilleder kan ses af de forskellige løsninger. HASSELL, var endnu et team der fremlagde et design i NASA's 'Centennial Challenge', men denne kan ikke findes på NASA's hjemmeside, men kan i stedet findes på HASSELL's YouTube side (HASSELL, 2019).

Herunder følger konceptbilleder fra de forskellige teams.

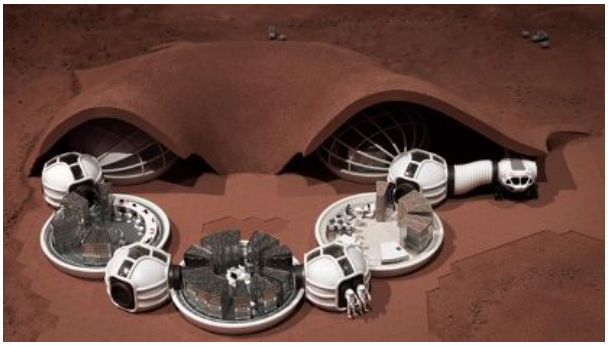
Team Zopherus

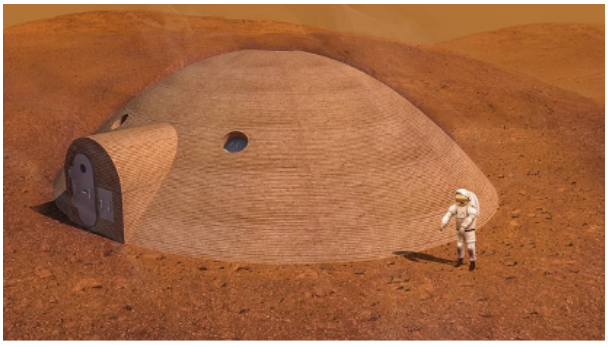
Team SEArch+/Apis Cor

AI-spacefactory



Team Khan-Yates



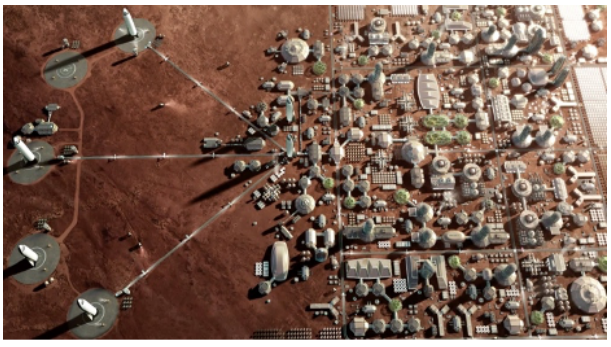


Fælles for disse løsninger er deres overjordiske design, hvilket betyder at disse habitater ville være udsat for det hårde miljø som Mars byder på. Det betyder dog også en øget lethed i etablering med solcelledrevne droner og robotter, samt øget tilgængelighed for Marsrovere og rumfærger.

Det er dog også helt tydeligt at NASA's mission ikke er at bygge en koloni på Mars, men nærmere at bygge en Marsbase, hvor rumfarende forskere kan studere den røde planet, på et ikke-permanent basis. Dette kan både ses på størrelsen og udformningen af habitaterne, samt på deres beskrivelse af deres faciliteter.

Med et fokus på at have laboratorieplads, fødevareproduktion, sove-/leveareal og diverse rekreative aktiviteter samlet under ét tag, er det helt tydeligt at disse habitater er designet til at være enkeltstående baser, frem for beboelse i et større kolonifællesskab.

I modsætning til de ovenstående designs, så er både BIG og SpaceX's visioner for fremtidens beboelse på Mars, fokuseret på dannelsen af en koloni, med tilhørende afhængighed af et kolonifællesskab.



SpaceX, Elon Musk, Martian colony

BIG, Mars Science City

Disse designforslag bygger på ideen om en større koloni, hvor hver bygning eller område i kolonien har dets eget helt særlige formål, for eksempel fødevareproduktion. Der lægges altså

ikke op til at de enkelte bygninger er komplet selvforsynende, ligesom det er tilfældet med NASA's designforslag.

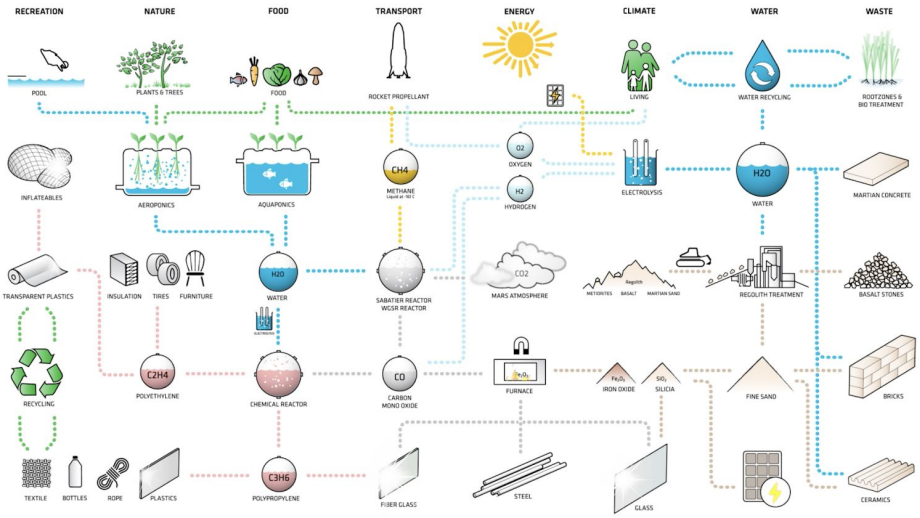
SpaceX og BIG har valgt, ligesom forslagene fra NASA, at bygge over jorden, hvilke byder på de samme problemer som tidligere nævnt. Læser man lidt nærmere om BIGs designforslag, så beskrives det, hvordan glasset der kan ses på billedet, vil være en særlig type flerlagsglas der kan beskytte kolonien og dens indbyggere mod den indgående radioaktive stråling, som kolonien vil være udsat for på Mars. Ser man på billede fra SpaceX er mange af de store kupler gennemsigtige, og det kunne derfor antages at disse vil bruge en lignende teknologi som BIG. Et specifikt eksempel på en glastype som BIG ønsker at benytte, er ikke gjort klart, men en mulighed kunne være såkaldt blyglas, der kan blokere radioaktiv stråling. Det er dog for os uvist om denne type glas er tilstrækkelig til et sådant formål, og om det er realistisk at benytte i et byggeprojekt i den størrelsesorden.

Designforslagene præsenteret i dette afsnit er så tilstrækkeligt anderledes fra vores eget, at man kan undre sig over hvorfor flere eksperter, peger på lavatunneller som værende den bedste løsning for langvarig beboelse, når agenturer med reelle og udførlige planer om at kolonisere Mars lader til at være uenige.

Det kan derfor spekuleres om hvorvidt disse designforslag er designet for at illustrere det *ønskede* hjem på Mars, fremfor det *nødvendige* hjem, hvor den helt store forskel er at det første er langt mere kommercielt attraktivt end det andet.

Relevante teknologier og systemer

I følgende afsnit vil vi komme ind på den eksisterende viden og de teknologier der er relevante at benævne, i forbindelse med en oprettelsen af en koloni på Mars. Her er tale om teknologier til fødevareproduktion, strømforsyning, ilt og viden om hvilke byggematerialer og metoder der er interessante at nævne i den sammenhæng.



(B.I.G, 2017)

Fødevareproduktion

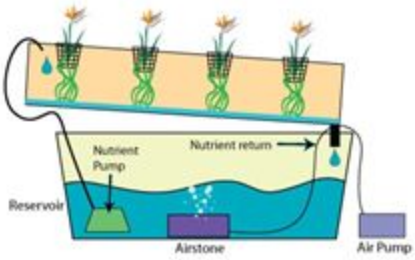
Vertical farming

Ved at bruge vertical farming som den primære kilde til fødevareproduktion på Mars, vil vi optimere pladsen, da man planter indenfor, i et system som ligger lag på lag. Systemet kan bygges i noget der svarer til en lagerhal eller container hvilket gør at man har optimal kontrol over vækstomstandighederne som temperatur, lys, tilførsel af vand, udsættelse for blæst, mfl., ved at gøre dette bliver det nemt at holde styr på afgrøderne og bestemme hvilke afgrøder der skal produceres. Dette hjælper også til at optimere og fremme væksten af afgrøderne, og da det ikke er udenfor, behøver man ikke at tage hensyn til miljømæssige forhindringer på Mars. Ved at kunne styre måden planterne gror på har man også kontrollen over hvordan det gror og hvor hurtigt. Da vi er på Mars og ikke kan få solens lys ude fra grundet diverse komplikationer

såsom kosmisk stråling, må vi anvende kunstigt lys i stedet for og dette passer supergodt til vertical farming ideen. Ikke kun lys men også varme kan hjælpe på at få afgrøderne til at vokse hurtigere og uden komplikationer ss, forskellige ondartede ukrudt, bakterier og skadedyr. Hele denne metode at producere afgrøder på er meget miljøvenlig, altså ikke carbon neutral men bare et meget lavere C02 udslip end den konventionelle måde. Ved at gøre brug af dette koncept giver muligheden for at lave diverse ponikker som bliver skrevet herunder.

Hydroponics

Ved hydroponisk dyrkning har man fjernet jordbunden og erstattet den med mineralrig vand, som gør at planterne nemt kan gro, da plantens rodsystem er i direkte kontakt med vand og derfor ikke først skal ´søge´ efter vand og næringsstoffer, som jord planter skal. For at planterne ikke drukner i vandet, skal systemet tilsluttes en luftpumpe, som sørger for cirkulation.



(*What Is Hydroponics?*, 2018)

Aquaponics

Aquaponics er en teknologi til madproduktion der kombinerer akvakultur og hydrokultur. Akvakulturens funktion er opdræt af vanddyr og hydrokulturen er dyrkning af planter. Den uspiste foder som vanddyrene fodres med, amt deres efterladenskaber vil over tid skabe et giftigt miljø for vanddyrene, grundet den høje koncentration af affaldsstoffer der udvikles. Systemet transporterer den giftige vand til et kar, hvor planternes rødder optager disse næringsstoffer fra vandet og på den måde renser vandet, der igen føres tilbage til vanddyrenes kar. På den måde lever planter og dyr i symbiose. Hele denne teknologi er afhængig af vand og ilt, og essentiel for menneskets overlevelse.

(https://www.vecteezy.com/, n.d.)

Aeroponics

En svævende ponik hvor man også har fjernet jordbundet og i stedet for har rodsystemet frit, derved kan "tågen" optages gennem rødderne. Dette bliver gjort af nogle ventiler som sprøjter denne "tåge" ud og kan derfor kontrollere hvornår og hvor meget der skal gives på diverse tidspunkter. Ved at bruge disse forskellige måder at dyrke planter på Mars, kan man holde det i et lukket system helt uden Mars' problematikker som ellers ville påvirke dyrkningen. Dette giver en god mulighed for at man vil kunne overleve og ikke være afhængig af solens energi, da vi kan emittere og endda få bedre resultater med LED lys.

(nosoilsolutions, n.d.)

Atomkraft som strømkilde

Mange af de udfordringer der er, ved at kolonisere Mars kan løses med teknologier. Hvad end det drejer sig om produktionen af fødevare, spaltning af carbondioxid til ilt der bruges i både produktionen af raketbrændstof og til at skabe en åndbar atmosfære, eller rensning af vand, så findes der maskiner der kan klare disse opgaver. Maskiner har en fælles svaghed; de kræver energi i form af elektricitet. Det er derfor en absolut nødvendighed at en koloni på Mars har dets eget veletablerede energikilde til driften af disse maskiner.

På jorden har vi efterhånden opdaget mange mulige energikilder til produktionen af elektricitet. De fossile brændstoffer, som olie, kul og gas har haft enorm betydning for Jordens industrielle udvikling og er en gennemtestet energikilde. Sol, vind og vand er nyere, grønnere og uudtømmelige energikilder. Atomkraft er yderst energifyldt, men det har gennem tiden vist sig at være katastrofalt hvis sikkerheden fejler.

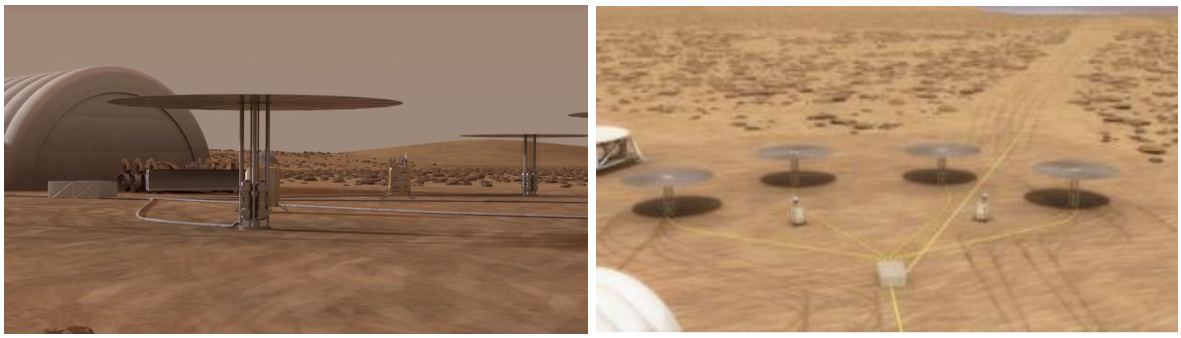
Først og fremmest kan fossile brændstoffer udelukkes da disse opstår ved nedbrydningen af organisk materiale over hundredvis af år, og Mars indtil videre ikke har haft tegn på liv den størrelsesorden.

Vind og vandenergi er heller ikke relevante, da. Vindmøller som vi kender dem er designet til Jordens atmosfære, og selv med et redesign er det tvivlsomt at Mars' atmosfære, der er under 1% af Jordens (ESA, 2018), ville være tyk nok til at kunne bidrage tilstrækkeligt momentum til at drive en vindturbine. Ligeledes er Vandenergi utilgængelig som energikilde, da tilgængeligheden af flydende vand, og nærmere manglen derpå, ikke understøtter valget af vandturbiner.

Solenergi bruges i forvejen på mange satellitter og rumstationer i jordens kredsløb og er dermed en teknologi der har vist sig, at være klar til brug i rummet og er derfor en mulighed der er værd at overveje. Problemet med solenergi på Mars er, at afstanden til solen er markant større på Mars end den er på Jorden, hvorved effektiviteten af solcellepaneler nedsættes drastisk. Dertil kommer at solcellepanelerne kan blive beskadiget eller direkte ødelagte af Mars' notoriske støv. Ydermere betyder den nedsatte effekt af panelerne også, at antallet af solcellepaneler påkrævet for at drive en koloni ville blive højere.

Et sidste bud er atomkraft. Et atomkraftværk kan levere store mængder strøm, det er uafhængigt af vejrforhold og distance til solen, og det benytter en brændselstype der, i rummet og på fremmede planter, er mere tilgængelig end fossile brændstoffer. Dette er netop grunden til at vi i dette projekt har valgt at vores koloni skal drives af et atomkraftværk. Det er dog ikke et klassisk atomkraftværk som findes her på Jorden, der skal drive kolonien på Mars. Atomkraftværker her på Jorden, mere specifikt i USA, har en gennemsnitlig størrelse på 1 kvadratmil (1,6 kvadratkilometer) (Office of nuclear energy, Fast Facts Guide) og har et gennemsnitligt output på 1 gigawatt (Office of nuclear energy, 2018). Dette er selvfølgelige langt mere energi og en langt større facilitet end hvad vores 500-personer store koloni har behov for. Det er derfor nødvendigt enten at nedskalere eksisterende atomkraftværker, eller at opfinde en ny form for kraftværk. Heldigvis for os har NASA allerede tænkt på dette, hvilket har ført til udviklingen af 'kilopower' (NASA, Kilopower, 2019).

Kilopower er en lettere transporterbart atomreaktor, udviklet af NASA med det specifikke formål at kunne producere den nødvendige elektricitet til forposter og kolonier på både Månen og på Mars.



Concept billeder af kilopower

Kilopower har også den fordel over traditionelle atomkraftværker, at den ikke bruger vand til hverken nedkøling turbinedrift. I stedet benytter den en teknologi kaldet en 'stirling converter', der kan omdanne den generede varme fra fissionsprocessen , til elektricitet (NASA, Stirling Converter, 2016). Disse 'kilopower' kraftværker er designet at kunne transporteres med rumraket i en færdig- eller nærfærdigsamlet konfiguration, og de kan hver især producere op til 10 kilowatt hvilket er nok til en almindelig husholdning, hvormed flere skal bruges for at drive en hel koloni. Ser man på NASA's konceptbilleder lader det til at det er planen at flere af disse kilopower reaktorer skal samarbejde for at producere den nødvendige elektricitet til en koloni.
Kilopower designet til at være et simpelt system med så få dele som muligt for at gøre vedligehold og udskiftelse af dele nemmere hvormed vedligeholdet også bliver nemmere. Dertil behøver denne type reaktor ikke store og avancerede sikkerhedssystemer til overvågning og køling af reaktoren. Endnu en positiv for kilopower er at energiproduktionen er fordelt over flere seperate enheder, hvilket øger sikkerheden for kolonisterne, da en reaktor kan fejle, uden at kolonien mister al elektricitet, og dermed deres kritiske systemer som ilt og vand.

Alt i alt er kilopower det bedste bud på en energikilde, der både er stabil, sikker og effektiv, og som også er udviklet af NASA til dette specifikke formål. Dette er grunden til at vi i dette projekt vil benytte denne energikilde, når vi designer kolonien.

Byggeforhold og byggeformer

Da bygge forholdene er så meget anderledes på Mars end de er på jorden, finder vi det relevant at undersøge dette emne. Da størstedelen af vores projekt er baseret på bygninger, by planlægningsstrategier og design, er det en nødvendig forudsætning at vide hvad vi har at gøre med, så vi kan finde begrænsninger og muligheder. Under de specielle byggeforhold, det er at skulle bygge en koloni på Mars, bliver vi tvunget til at tænke på nye måder, metoder og i nye materialer. Hvad der på nuværende tidspunkt kan medbringes til Mars er begrænset og den plads vil hovedsageligt være reserveret til materialer til fødevareproduktion, værktøjer og mennesker. Derfor skal så mange af byggematerialerne som muligt være lokale materialer, ofte kaldet in situ. Fokuset ved at bygge på Mars skal være at lave et habitat for mennesket som forebygger disse farer, hvor menneskets komfort og velvære stadig bliver vedligeholdt, mens hovedparten af konstruktionen er en in-situ løsning. Dette betyder at man først og fremmest må forstå de farer for mennesket som der er på Mars. Dernæst kan man fokusere på hvordan materialerne til at bygge kolonien findes, medbringes eller udvindes. Til sidst skal man klargøre processen for hvordan hele konstruktionen af kolonien skal bygges, da mennesket ikke ville kunne opholde sig længe på overfladen af Mars, selv ikke i en overlevelsesdragt, før de må søge tilbage i habitatet hvor man er beskyttet mod den radioaktive stråling og hvor dragtens iltbeholder kan genopfyldes. En løsning på dette problem kan være brugen af robotter da disse ikke bliver påvirket af hverken det tryk eller den radioaktive stråling der finder sted, grundet planetens tynde atmosfære. Robotter kan også sendes i forvejen så et habitat eventuelt allerede kan være opført når mennesket ankommer til Mars lokationen.

Vi har valgt at placere vores by inde i en lavatunnel da denne naturlige udhuling i jorden kan beskytte vores beboere mod den farlige radioaktivitet som Mars overflade bliver bombarderet med. Ud over radioaktiv stråling ville en tunnel eller et underjordisk habitat også kunne beskytte mod Mars ekstreme kulde i og med at der er en nogenlunde konstant temperatur i tunnelen, hvorimod temperaturen på overfladen af planeten kan svinge fra -195C til +20C. Tunnelen vil også fungere som dække mod de voldsomme støvstorme (Beskrevet i afsnittet om Mars´ forhold) som kan opstå på planetens overflade og dermed beskytte habitatet mod det

fine sand som er giftigt for mennesker at indånde. At bygge underjorden betyder at radioaktiv strålingsbeskyttelse ikke skal medtænkes i konstruktionen af bygningerne og kan dermed give et større udvalg af byggematerialer og metoder. Ved at fjerne radioaktiv stråling som et problem kan vi nu udelukkende fokusere på den næste store udfordring; det atmosfæriske tryk på Mars. Mars atmosfære er omkring hundrede gange tyndere end på jorden, dette vil betyde at der vil være et tryk, som presser udad på alle vægge i bygningen. Det vil af denne grund være meget svært at bygge konstruktioner som er kantede da hjørner eller spidse samlinger vil blive et svagt punkt for et sådant et tryk. En rund eller buet overflade på konstruktionen er derfor nødvendigt. Dog kan man tage brug dette tryk da man kan bygge en konstruktion som tager brug af dette tryk til at holde sig selv oppe, altså et oppusteligt habitat. Et eksempel kunne være en kuppel konstrueret af et kabelnet (BIG) som samles på planeten hvorefter trykket bliver dannet på indersiden så denne konstruktion rejser sig. Man ville eventuelt på denne måde kunne lave en stor kuppel hvor i atmosfæren er reguleret således at bygningerne inden i kuplen ikke behøves at kunne stå imod dette tryk.

Da vi har valgt at fokusere på at bygge in-situ på Mars vil størstedelen af materialerne til vores konstruktioner derfor blive nødt til at være lokale materialer.

Eksempler på In-Situ Byggematerialer

- 3D Printing med Is
- Mars regolit blandet til Svovlbeton
    - 3D Printing med Mars regolit
- Mursten af sammenpresset Mars regolit

Grundet Mars' lave gennemsnits temperatur (-60*C) ville det være muligt at lave sit shelter af is. Denne ide er blevet udviklet af de amerikanske New Yorker firmaer SEArch (Space Exploration Architecture) og Clouds AO (Clouds Architecture Office). Projektet vandt i 2015 New York Makers Faire's top pris for dets dybdegående undersøgelse af 3D Printing med is styret udelukkende af fjernstyrede robotter. Ideen med projektet ville være at sende de fjernstyrede robotter i forvejen så disse ville kunne skabe In-Situ habitater for kommende Mars udforsker.

Dette shelter fungere godt da et af isens specielle egenskaber er at blokere for radioaktivstråling men samtidigt at lade sollys penetrere dog er der et problem med hvor stort shelteren kan bygges og selve holdbarheden da den kræver regelmæssig vedligeholdelse hvilket betyder at "Mars Ice House" bedst fungere som shelter for en tidlig Mars kolonisering. Vi har derfor ikke valgt at bruge denne byggemetode da vores mål er at designe en langtidsholdbar og bæredygtig koloni på Mars som i fremtiden skulle kunne holde til en varmere gennemsnits temperatur.

Mars overflade består af pulveriseret klippemateriale kaldet regolit som består primært af siliciumdioxid, jernoxid, aluminiumoxid, calciumoxid og svovloxid. På jorden kan denne sammensætning fremstilles ved at bruge basalt fra visse vulkaner som har næsten samme sammensætning. Dette eksperimentelle Mars lignende produkt kendes som JSC Mars-1A. I 2017 viste Yu Qiaos, Professor ved University of California, at det var muligt at sammenpresse JSC Mars-1A til et kompakt materiale. I tidsskriftet "A Novel Material for In Situ Construction on Mars: Experiments and Numerical Simulations" af Lin wan, Roman Wender og Gianluca Cusatis beskrives hvordan en støbning af svovl og Mars aggregat kan omdannes til svovlbeton, et stærkt byggemateriale som er fleksibelt med en høj holdbarhed. En fordel ved at bruge svovlbeton på Mars er også at dette ikke behøves vand for at der sker en binding i produktet, som der skal bruges i den mest brugte beton på jorden og at Mars' atmosfære og temperatur er ideelt for nedkølingen af svovlbeton for at kunne opnå en høj holdbarhed i produktet. Dog er den største fordel at svovl er naturligt forekommende og nemt at finde på overfladen af Mars, og at Mars regolitten derudover også indeholder store mængder metaller som vil reagere med svovlen og skabe polysulfater som styrker betonen. I tidsskriftet beskrives hvordan en blanding af 50% svovl og 50% Mars regolit (JSC Mars-1A) med en maksimum aggregat størrelse på 1 millimeter skaber en svovlbeton som har en trykstyrke der er højere end 50 MPa hvor beton som bruges på jorden ligger på 28 MPa. Taget dette i betragtning vil svovlbeton være et optimalt materiale at bruge da alle komponenterne til at lave en perfekt blanding kan findes på Mars, og den eneste raffinering af produktet der skal foregå er at sørge for at maksimum størrelse på aggregatet er 1 millimeter .

På grund af den nemme tilgængelighed til produktet vil svovlbeton være ideelt til at ligge et fundament for kolonien inden i lavatunnelen og man kan med dette produkt derfor skabe et sikkert, fast og plant fundament for kolonien.

Hvorfor bygger vi i kupler?

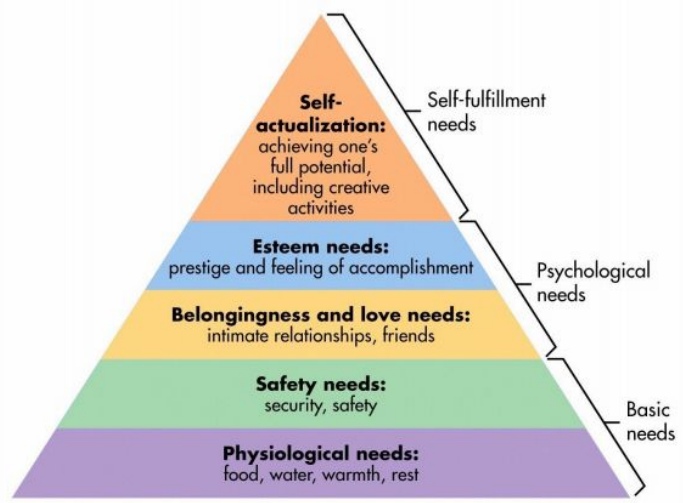
Mennesker har gennem tiden bygget forskellige kupler siden det gamle Rom. Pantheonen anses som at være blandt de første kuppel bygninger i verden. Ved at bygge en kuppel sparer man både på materialer men også gør at bygningen har størst mulige rumfang.

Ved at bygge en koloni på Mars skal vi overholde nogle specielle love inden for fysikkens verden som gør at vi er nødt til at bygge på specielle måder så bygningen ikke kollapser. Ved at bygge en kuppel gør det at bygningen ikke har nogle kanter som er svage punkter og kan derfor undgå at den potentielle koloni går under.

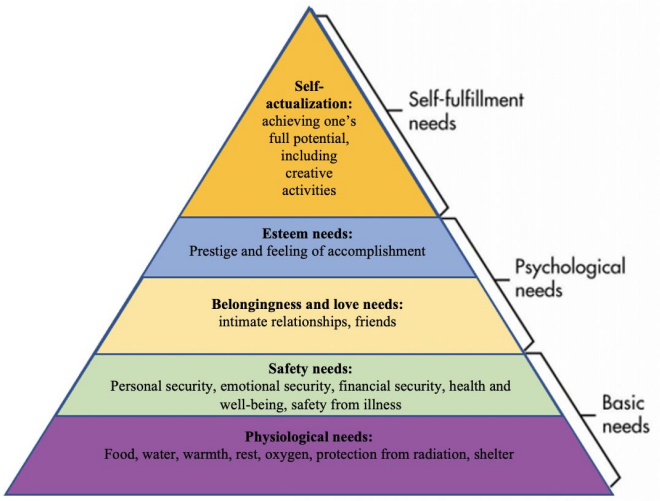
Analyse

Behovspyramide for Mars aka. MARSlows behovspyramide

Udarbejdet af os i gruppen på baggrund af den viden vi har om Mars´ forhold.



Maslows behovspyramide



MARSlow, Maslows teori adapteret til Mars

I dette afsnit introducerer vi en modificeret udgave af den traditionelle behovspyramide som er udarbejdet af Maslow. Teorien lægger sig op ad STS semesterbindingen, men vi finder den relevant, da man ikke kan undgå at tage udgangspunkt i menneskene som individer, når en koloni på Mars skal realiseres. Maslows behovspyramide er en afbildning af menneskets behov, vi har tilpasset den traditionelle behovspyramide, da menneskets behov på Mars, vil se noget anderledes ud, Mars´ forhold taget i betragtning.

Maslows teori beskriver den måde mennesket tænker på, ud fra de udfordringer mennesket har på Jorden. Et liv som kolonist på Mars, vil angiveligt betyde en ændring i de basale menneskelige behov som vil skulle opfylde.

På den oprindelige figur, kan man se at fysiologiske behov trumfer alle andre behov, det er dog vigtigt i denne sammenhæng, at huske på at der på en planet som Mars, er visse udfordringer der gør basal overlevelse markant sværere end på Jorden, her er bl.a. tale om Mars' atmosfære

som er ekstremt iltfattig, og menneskets basale behov for ilt, bliver derfor ikke dækket naturligt. Dette er en essentiel faktor for menneskets overlevelse, som Maslows teori tager for givet. Feltet for de fysiologiske behov på Mars er derfor udvidet, som det også fremgår af vores behovspyramide på Mars (MARSlow, se figur).

Et andet essentielt behov på Mars, som adskiller sig fra Jorden, er et øget behov for motionering af hele muskulaturen, grundet den lavere tyngdekraft og dermed mindre pres på menneskets muskler og knoglemarv, som tyngdekraften på Jorden er med til at opretholde.

Ifølge Patrick Henz (december 7, 2016) har mennesker udfordringer i forhold til Maslows behovsteori. Dette skyldes at mennesker som ikke er på samme niveau i behovspyramiden, vil kæmpe forskellige kampe indbyrdes. Hvis alle var på det øverste niveau ”selvrealisering” ville man kunne undgå mange problematikker, da folk ville vælge at sætte andres behov før deres egne.

I 1990 udførte man et eksperiment kaldet ”Biosphere 2” hvor folk var i et lukket miljø og ikke havde omgang til verden udenfor, ligesom en faktisk koloni på Mars. Begge af disse eksperimenter fejlede grundet forskellige problematikker hvilket gav andre forskere en ide om hvad folk er i stand til når de er afskærmet fra omverdenen.

Ved at være på det fjerde niveau er besætningen mere tilbøjelig til at få problemer med hinanden da prestige, status og præstationer kan komme i vejen og derfor ikke giver et gunstigt udfald for selve missionen. Patrick Henz mener derfor at en forudsætning for, at denne mission skal kunne lykkes vil besætningen skulle stræbe efter niveau fem, da det begunstiger missionens helhed og kan give det bedst mulige resultat.

Komparativ Analyse - Koloniens placering på Mars

Koloniplanlægningen og kolonistrukturen afhænger i høj grad af forholdene og lokationen på Mars. Landskabet på Mars er helt anderledes end på jorden, og det skal indtænkes i rammen for hele strukturen af kolonien. Regionerne på Mars er meget forskellige; nogle steder er der helt goldt og fladt, andre steder er der høje bjerge, bakker og klipper. Ligeledes er der bestemte klimatiske forhold på Mars der ikke kan ignoreres, da de udgør en trussel for menneskers overlevelse. Vi skal tænke i permanente, men realistiske løsninger. Derfor er det vigtigt at kigge på hvad der allerede findes på Mars og hvordan man kan udnytte det bedst mulig, så man kan reducere fare, tid, penge og pladsmangel og på længere sigt gøre det muligt at udvide kolonien.

Vi har derfor kigget på en række løsninger som tager udgangspunkt i, at udnytte de ressourcer vi har til rådighed på Mars. Vi har undersøgt en række centrale elementer og opsætninger på Mars og undersøgt fordele og ulemper ved hver, med en konklusion til sidst, der har til formål at klargøre vores beslutning for rammesætningen af kolonien, samt redegørelse for denne.

Overflade koloni (fritliggende)	Krater koloni	(Lava)tunnel koloni
Let tilgængelig for både land- og rumfartøjer Let at udvide Let adgang til essentielle faciliteter (energi, vand) = minimalt gravearbejde Naturligt lys → Denne er dog et problem ifht. stråling Ingen beskyttelse mod naturfænomener f.eks. stråling, meteornedslag, sandstorm Forøget slid på materiel → Mars' støv er potentielt meget skadeligt for maskiner med bevægelige dele	Let tilgængelig for både land- og rumfartøjer Delvis beskyttelse mod sandstorm, meteornedslag Vand og el kan føres på overfladen = minimalt gravearbejde Naturligt lys → Denne er dog et problem ifht. stråling Koloniudvidelsen er begrænset af kraterets fysiske størrelse Ingen beskyttelse mod stråling Potentielt forøget slid på materiel → Mars' støv kan være meget skadeligt for maskiner med bevægelige dele	Beskyttelse mod naturfænomener f.eks. stråling, meteornedslag, sandstorm Indelukket lav luftudskiftning lettere opvarmning af kolonien Naturlig adskillelse mellem koloni og kraftværk → potentielt stort gravearbejde for føring af nødvendige kabler Intet naturligt lys → kan bidrage til mindsket stråling Svært tilgængelig → dårlige adgangsmuligheder Koloniudvidelsen er begrænset af tunnelens fysiske størrelse Risiko for sammenstyrtning → potentielle evakuerings problemer

Overfladekolonier

Konceptet for en koloni er blevet visualiseret gennem mange år af populære medier som filmindustrien og videospils-industrien. Dette har for mange mennesker haft stor indflydelse på hvordan de forestiller sig livet på en fremmed planet, hvilket kan give et falskt indtryk af hvordan et liv egentligt ville se ud på en planet som Mars.

Overflade – fritliggende

Fordelen ved at bygge på Mars' overflade er letheden ved at etablere en koloni, samt transport til og fra kolonien med både Marsrover eller rumskib. Ved at bygge på overfladen minimere man det potentielle gravearbejde, der vil opstå ved at skulle føre både vand og el under jorden, da disse i tilfældet af en koloni under overfladen vil kræve dette.

Dertil kommer at en fritliggende overfladekoloni antageligvis er nemmere at udvide, da denne udvidelse ikke vil være begrænset af koloniens fysiske omgivelser. Dertil kan det bemærkes at en overflade vil blive udsat for naturligt sollys, hvilket både sparer på elregningen og giver en naturlig fornemmelse af nat og dag og naturlig d-vitamin tilførsel . Dette er dog også en af de helt store ulemper ved at bygge på overfladen, da Mars' atmosfære ikke beskytter mod stråling. .Kolonisterne vil altså ikke kunne begå sig i direkte sollys i længere perioder uden kraftigt beskyttelsesudstyr f.eks. EVA-dragter, der i dag bruges i rumfart, når personel skal bevæge sig rundt udenfor et beskyttet område.

Et yderligere problem, er Mars' enorme mængder støv. Støvet forventes at kunne være enormt skadeligt for elektronik og maskineri med bevægelige dele. Dette var en af grundene til at NASA's "Opportunity rover" blev designet til at kunne 'overleve' i mindst 90 dage i Mars' fjendtlige miljø. Det skal dog bemærkes at "Opportunity" formåede at udforske Mars helt indtil d. 10. juni 2018, hvor den efter en af Mars' famøse sandstorme stoppede alle transmissioner til Jorden. Dette er vel at mærke over 14 år efter ankomst, og den egentlige effekt af Mars' støv kan derfor være noget anderledes end først antaget (NASA).

Selvom der kan være tvivl om hvorvidt Mars' støv er så skadeligt som først antaget, er der endnu ikke foretaget fyldestgørende undersøgelser der entydigt afkræfter teorien, hvormed det må antages at denne teori stadig holder.

Ydermere er Mars' overflade udsat for meteornedslag (Space.com, 2013). Dette skyldes at Mars' atmosfære er for tynd til at yde tilstrækkeligt modstand til at meteorer brænder op inden de rammer planeten. Taget dette i betragtning, vil en eventuel fritliggende overflade koloni være i fare for at blive ødelagt af et sådant meteornedslag.

Overflade – Krater

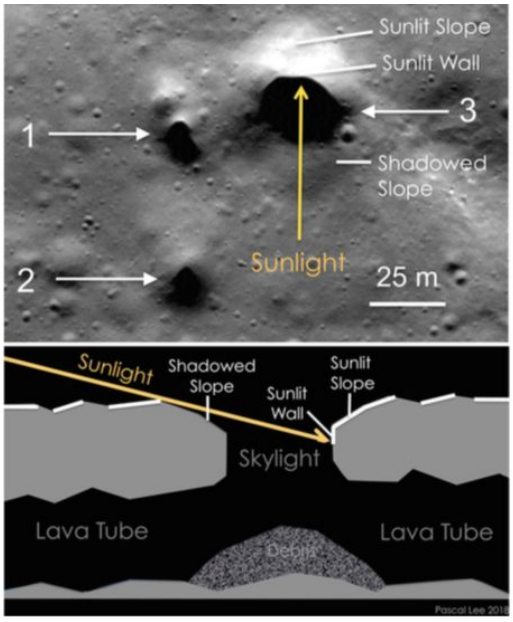
Kraterkolonien har mange af de samme fordele som beskrevet ved en standard overfladekoloni, nemlig en let tilgængelighed for både land- og rumfartøjer og mindsket gravearbejde til tilføring af vand og elkabler. Dertil deler disse to muligheder for en overflade koloni, det faktum at kolonisterne udsættes for naturligt lys, men som det blev forklaret tidligere, er dette ikke nødvendigvis en fordel for kolonisterne.

Bygges kolonien i et krater fremfor i det fri, vil kolonien være delvist beskyttet mod de sandstorme som florerer på Mars, samt fragmenter fra meteornedslag. Denne beskyttelse er dog kun delvis, da det ikke kan antages at kratervæggene vil kunne afværge alle sandstorm eller alle fragmenter.

En koloni i et krater, har dermed flere betydelige ulemper som kan gøre valget af denne type koloni mindre tiltrækkende. Først og fremmest vil en kraterkoloni have samme problem som en fritstående overfladekoloni, nemlig den manglende naturlige beskyttelse mod stråling. Dertil vil udbredelsen af en kraterkoloni være begrænset af kraterets fysiske størrelse.

Lavatunneller

Man har siden da også fundet ud af at der har været lavatunneller på Mars, så nu er spørgsmålet om de er kollapset eller kan bruges, det er især i Mons-regionen på Mars, og især Arsia Mons, som bliver udpeget som en potentiel mulighed (M. Von Ehrenfried, 2019). Som nævnt i vores tidligere afsnit om fysiologiske behov hos mennesket på Mars, er der nogle behov som forskere har fundet nogle delløsninger på og som har stort potentiale i fremtiden såsom vand og ilt. Som også nævnt tidligere er der nogle store udfordringer her i blandt stråling og støvstorme, som stadig volder problemer og som ikke kan ignoreres, men som dels ville kunne løses ved beboelse i lavatunneller.



Possible skylights into lava tubes on the floor of the crater Philolaus, located near the north pole of the Moon. Image courtesy of Pascal Lee.

Hentet fra (M. Von Ehrenfried, 2019)

Fordele

Lavatunneller på Mars menes at være dannet lang tid tilbage, af vulkaner, magen til dem på jorden. Ud fra den viden der hidtil er om lavatunnellerne på Mars, kan de være op til flere kilometer lange og brede, og tilbyder derfor godt med plads til beboelse. Tunnellerne sørger for en mere stabil og konstant temperatur end hvad der findes på Mars´ overflade. Beskyttelsen som disse lavatunneller tilbyder, inkluderer også radioaktiv stråling, samt reducere faren for støvstorme og meteornedslag til det minimale.

Denne beskyttelse mod udefrakommende farer, vil betyde at ingeniører ikke skal bruge lige så lang tid på at udvikle teknologi indvendigt som kan tilbyde beskyttelse, noget der både ville være tidskrævende og konsumere en stor del af den masse nyttelasten udgør.,den masse nyttelasten udgør.,til første del af en Mars kolonisering. Dybden i tunnellerne ville også støtte forskning på Mars, da forskere ville være tættere på grundfjeldene og dybtliggende marsjord og

vil dermed kunne studere Mars´ jord og mineraler med større effektivitet end på overfladen. Samtidig vil man have nemmere adgang til vand-is, som ligger dybt begravet på Mars. Forskere mener også, at der i lavatunnellerne på Mars, kan være spor af næringsstoffer som er opstået via kemosyntese, som det også ses ved vulkaner på Jorden (Daga, 2013).

Ulemper

Som nævnt tidligere, ligger de mange kilometer lange og brede lavatunneller nedenunder Mars' overflade. Vi valgt valgt at placere vores energiforsyning og andre vitale funktioner, som ikke har behov for at optage plads i tunnellerne, på Mars´ overflade. Disse funktioner skal forbindes til vores underjordiske koloni, da tunnellerne ofte har få udgange.

Selvom tunnellerne er store, begrænser de alligevel arealet man kan bygge på, og forestiller man sig at habitatet skal kunne udvides i fremtiden, kan dette også vise sig at være en ulempe. En anden udfordring ved tunnellerne er det manglende lys. Mennesket har brug for lys, både for vitaminernes skyld, men også for eventuelle planters skyld.

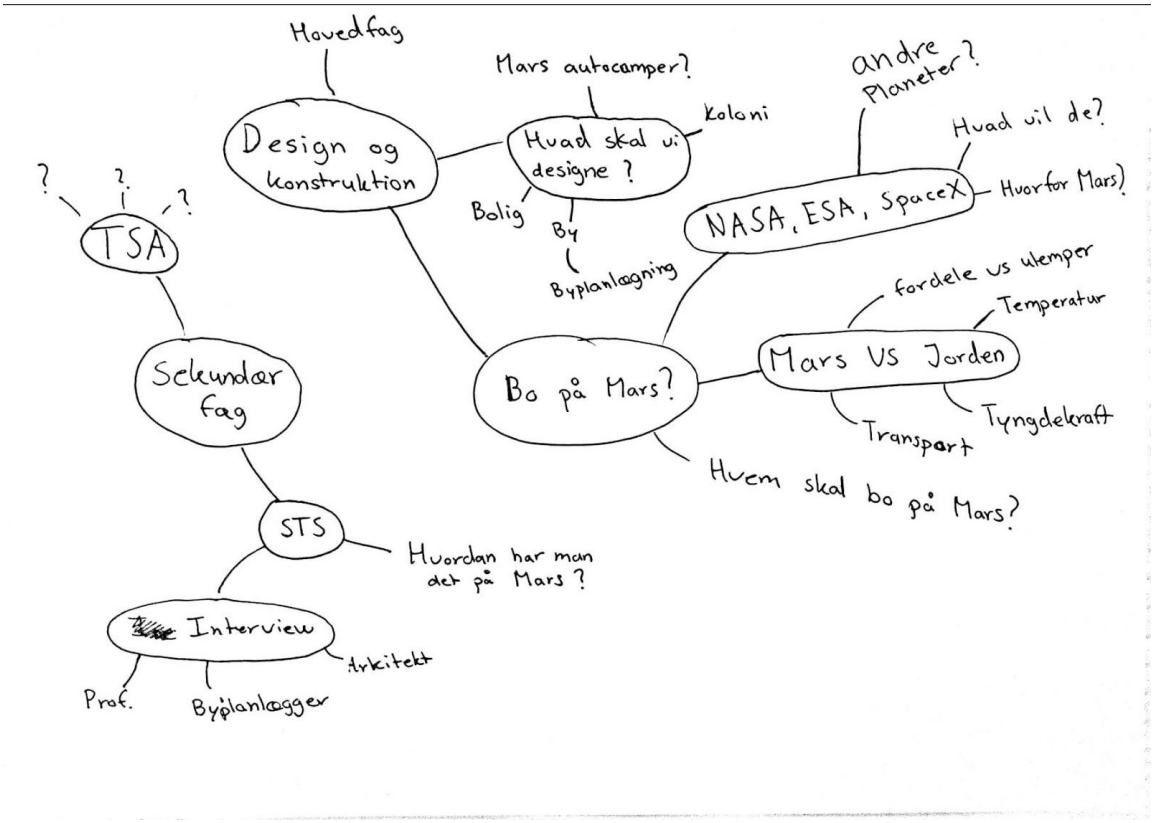
Et andet problem, som man endnu ikke ved så meget om, er tunnellernes stabilitet, om de kan holde eller om der er den mindste sandsynlighed for at de kan kollapse. De manglende udgange og indgange, vil være et problem hvis det viste sig, at kolonisterne skal evakueres. Selve lokationen af lavatunnellerne kan også vise sig at bære udfordringer med sig, for tunnellerne er som sagt naturligt opstået, og man har derfor ikke mulighed for at vælge hvor de skal være placeret, hvilket kan resultere i at, man har en koloni langt fra andre regioner med interessante og relevante undersøgelsesmuligheder. Udover det, viser det sig at de lavatunneller man kender til, ligger i og omkring nogle høje klipper og ujævne overflader, hvilket kan være en ulempe ved landinger og transport generelt, som i sidste ende kunne resultere i selvisolation, i et område med de lavatunneller man har kolonier i (Daga, 2013).

Sammenfatning af komparativ analyse

Fordelene ved at bygge i en lavatunnel opvejer dog de potentielle ulemper der kunne være ved selvsamme, da netop stråling og sandstorme, som lavatunnellerne beskytter mod, er de største farer for langvarig beboelse på planeten (se komparativ analyse i skemaet ovenfor).

Vi har derfor valgt at vores hypotetiske koloni skal bygges i en lavatunnel, da dette vil give os friheden til ikke at bekymre os om koloniens behov for beskyttelse mod de farer der truer på Mars overflade.

Designproces

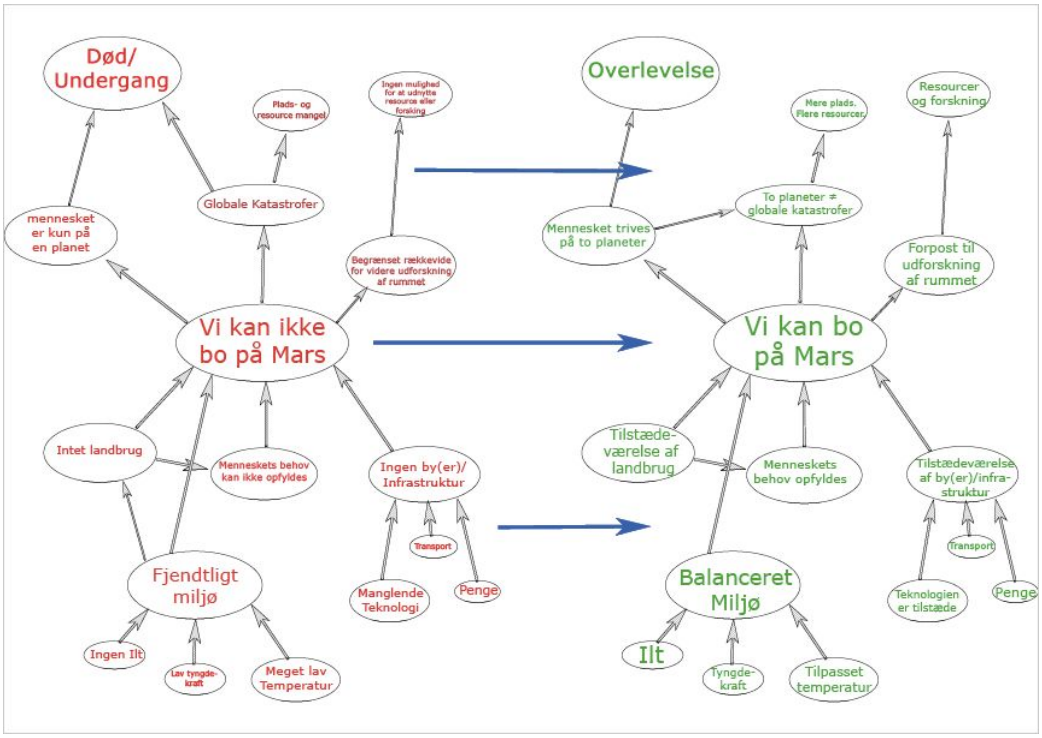


I følgende afsnit gives et indblik i, hvordan vi er kommet frem til designet for kolonistrukturen. Vi har brugt Soft Design Science Metoden (SDSM) til at guide os gennem designprocessen, samt benyttet forskellige værktøjer og redskaber til at understøtte formgivningens proces, såsom problemkort, brainstorm og storyboard.

1. Lær om det specifikke problem

Første skridt i designprocessen ifølge SDSM er, at sætte sig grundigt ind i det specifikke problem.

Efter at have indhentet viden om byplanlægnings strategier, Mars´ forhold, klima og de ressourcer Mars byder på, brugte vi problemkort-metoden (CCM, Colored Cognitive Map) til at kortlægge de specifikke problemer vi skulle forholde os til, for at kunne designe en bystruktur til en koloni på Mars.



Problemkort; udarbejdet af gruppen

2. Find inspiration, kreer problemet og generelle betingelser

Anden fase i designprocessen havde til formål at identificere de generelle problemer vi skulle løse. Dertil viste Maslows behovsteori sig instrumentelt; Marsboernes grundlæggende behov er de samme som Jordboernes; de fysiologiske behov skulle tilgodeses, samt behov i forbindelse med tryghed, psykologiske behov såsom kærlighed og tilhør, påskønnelse og selvrealisering. De kendte behov skulle oversættes og ny interpreteres, med fokus på liv i en koloni på Mars. De ugæstfrie forhold på Mars betyder dog, at fysiologiske behov, såsom at trække vejret eller ikke blive udsat for stråling, bliver til en sand udfordring i designprocessen af en koloni på Mars (se evt. MARSlow i vores Analyse Afsnit).

Til at skabe et miljø, hvori Marsboernes behov kunne opfyldes fyldestgørende, undersøgte vi tre forskellige koloni scenarier; en koloni på Mars' overflade, enten fritliggende eller beskyttet i et krater, og under jorden i en lavatunnel. Den komparative analyse viste at en lokation under overfladen i en lavatunnel ville løse udfordringerne med stråling, støvstorme og større udsving i temperaturer og var derfor vores foretrukne valg for lokation af Mars kolonien.

3. Brug forestillingsevne til at abducere den generelle løsning

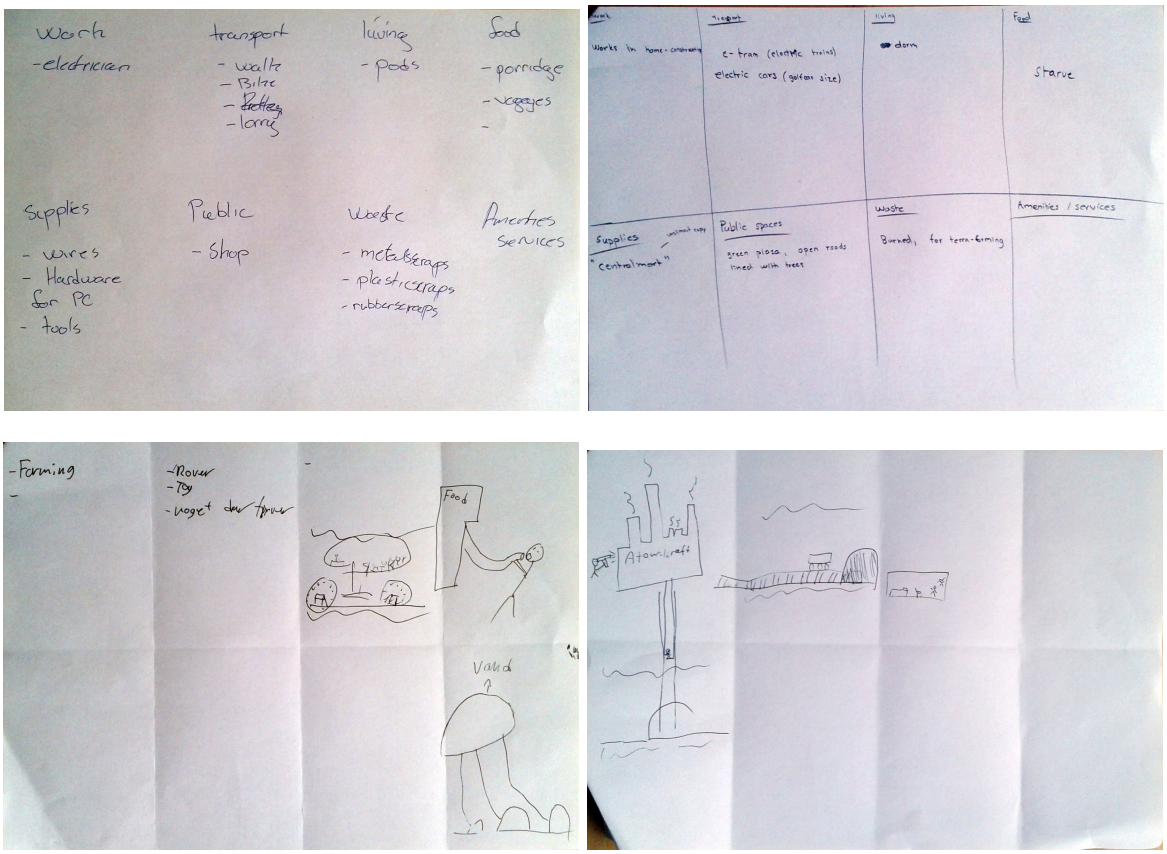
Mens gruppen undersøgte de forskellige delproblemer, begyndte der at opstå en mere tydelig ide om, hvordan livet i en velfungerende koloni på Mars kunne se ud. I den forbindelse lavede vi en storyboard session, til gavn for projektets videre proces mod at skabe en bystruktur til en koloni på Mars.

Storyboard

Vi brugte storyboard metoden til at skabe en kronologisk og visuel historie for os selv. Denne kronologi har været til gavn for selve opgaveskrivningen, samt til at se på gennemgående ideer på illustrationerne nedenfor, for en potentiel designløsning til en koloni på Mars.

Vi tog udgangspunkt i en koloni der trives og hvor de typiske fejl der opstår ved nybyggede strukturer var blevet løst. Hvem ville beboerne være? Hvilke opgaver ville kolonisterne løse om dagen? Hvordan ville de transportere sig til deres arbejde? Hvor vil Marsboerne få deres varer

fra? Gennem en kollektiv storyboard-session samlede vi vores tanker og opdagede forskellige mønstre i vores tænkning.



Ovenstående tegninger er udarbejdet af gruppens medlemmer

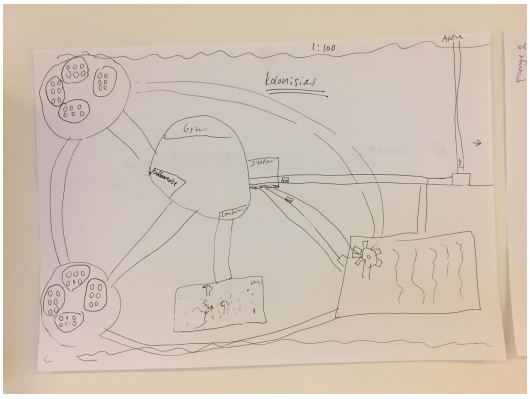
De seks illustrationer ud fra selekterede pattern language mønstre

Hvert gruppemedlem har tegnet en af følgende seks illustrationer ud fra udvalgte mønstre fra Christopher Alexanders Patterne language, kombineret med den viden vi havde om Mars´ forhold og egnede byggemetoder.

Mattis´ Illustration

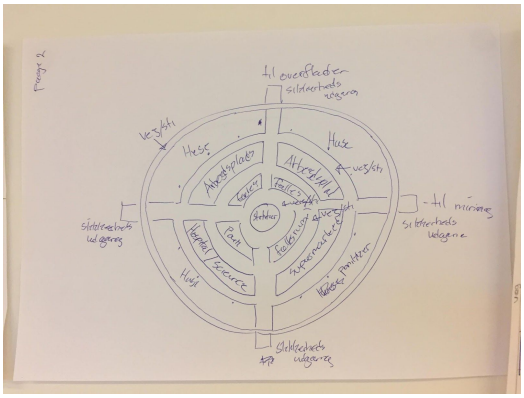
Behovet for at bygge kolonien i en kuppel, som er en nødvendighed grundet Mars tyngdekraft, er ikke indtænkt i dette design, men tanken har derimod været på at benytte lavatunnellens naturlige vægge. Ideen er at hvis store sektioner af lavatunnellen kunne forselges, så ville der ikke længere være behov for et kuppel-design.

Jonas' Illustration



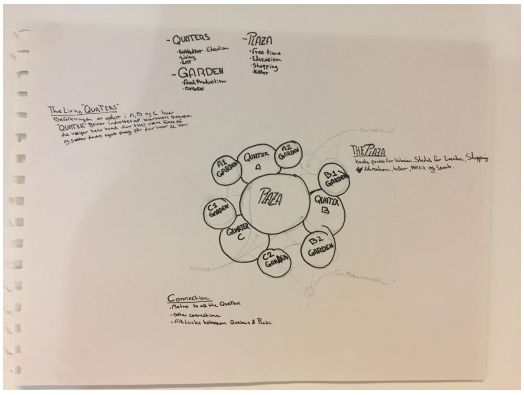
Denne illustration viser kolonien nede i en lavatunnel. separate kupler med mindre kupler inden i. Disse mindre kupler skal forestille at være koloniens sove og leverum. I midten af kolonien er en større kuppel, som skal forestille at være fællesrum med evt. skole, konferencerum, sundhedssektor mm. Alle kuplerne har adgang til hinanden både af sikkerhedsmæssige årsager, men også for at øge den sociale kontakt. Sove kuplerne har også adgang landbrug og park, via en transportbane der går gennem hele kolonien på yderkanten.

Seans Illustration



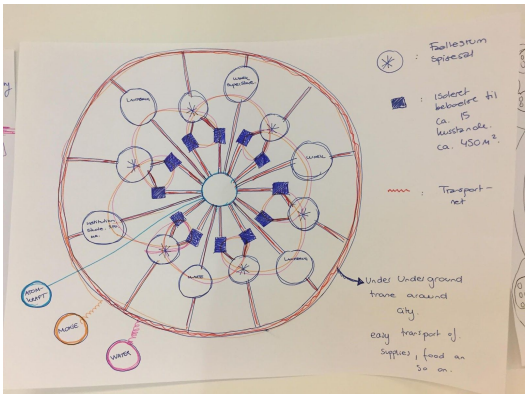
Fokuseret er på bygge at under en kuppel og at kunne udnytte højden i centret af kuplen. Det hele er samlet via et stisystem som er cirkulært og derfor meget nemt at finde rundt i. Selve ideen kommer fra den meget kendte O2 arena i London.

Andreas´ Illustration



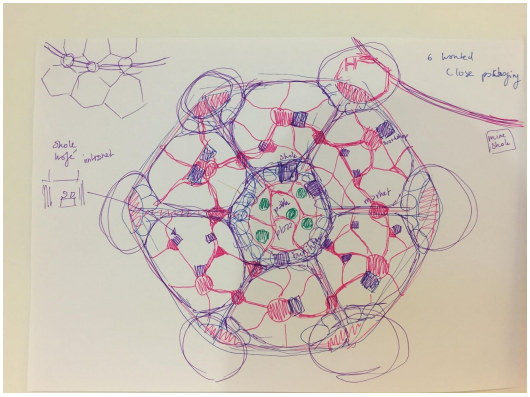
Fokus er på befolkningen og dennes interaktioner med hinanden og kolonien. Befolkningen er opdelt i A, B og C. Hver "Quater" bliver indrettet af kvarterets beboere og de vælger selv hvad fokus i kvarteret skal være. Midten af kolonien er et stort "Plaza" som er stedet for events, shopping, uddannelse, politik og sport. Sideliggende til beboelseskvartererne ligger "The Gardens" hvor alt fra oxygen til mad bliver produceret.

Lauras Illustration



Strukturen er baseret på en fælles plads, hvor stisystemer udspringer til de omkringliggende beboelses sektioner (mørkeblå). To beboelses sektioner er forenet med en fælles spise og aktivitetssal. Den centrale plads er forbundet med enheder tiltænkt, blandt andet, et sundhedscenter, fødevareproduktion, minedrift mv. Fra de fælles spisesale og enheder til industri, går der veje ud til en ringvej, som sørger for nem transport rundt i kolonien. Det fremgår tydeligt af designet, at der mangler stisystemer mellem alle beboelsesenheder, fællesområder og industriområder.

Elans Illustration



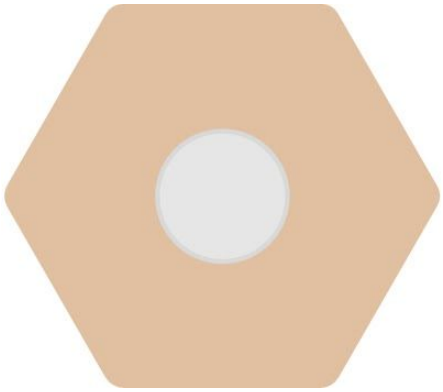
Kolonien er delt i syv dele, til at stille beboerne i stand til at sætte deres eget præg på nabolaget. Hver beboelsescelle har sin egen mindre torv og fælleshus. Den centrale celle er en stor fællesmødeplads der kan benyttes til fester, markeder, m.fl.. På grænsefladerne af beboelsescellerne er der en gennemgang og steder, hvor beboerne fra naboceller kan mødes og deles om fællesfaciliteter.

Via vores storyboard sessionen og ovenstående illustrationer, kunne vi se nogle gennemgående træk for koloniens struktur, samt elementer såsom cirkulær grundstruktur(Kupler), opdeling af enheder, sikkerhed og flugtveje, områder til beboelse, et fællesområde, et grønt areal og transportveje. Denne viden overførte vi til SDSM metodens næste fase.

Den viden vi hidtil har genereret, kombineret med den viden vi har fra Pattern language og MARSlows behovspyramide (Behovspyramide for mennesket på Mars), har vi her benyttet til at videreudvikle og indsnævre designet, til vores bud på en bystruktur, til en koloni på Mars.

Central fælles kupel

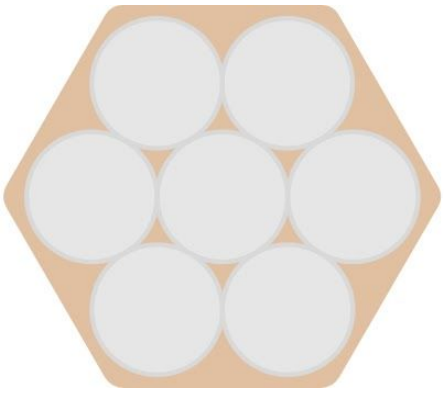
Ligheden mellem den geometriske og den organiske bystruktur er at de begge som oftest udspringer fra en central plads eller torv. Den geometriske bys centralisering omkring en plads udsprang fra ideen om at man så havde overblik og dermed kontrol over byen. Den organiske bystruktur som især kom til udtryk i middelalderen, brugte denne centrale plads til udveksling af varer, der fungerede som en markedsplads.



Figur 1

Hvordan integrerer vi ovenstående i en by struktur på Mars?

Hele Marskolonien udspringer af en central kuppel, der fungerer som hele byens samlepunkt. Denne er en del af transportvejene mellem bydelene, men det er samtidig tiltænkt at pladsen skal fungere som et socialt mødested for større events af forskellig karakter. Ideen er ligeledes at der på denne plads skal være et grønt område.



Figur 2

De omkringliggende kupler: habitat til beboelse

Christopher Alexander beskriver i kapitlet, "mosaic of subcultures", hvordan byens struktur kan understøtte og fremme både det enkelte individs og samfundets karakter. Det gør han ved at dele byen op i flere nabolag, og at give beboerne friheden til at sætte deres eget præg på bydelen. Han tilføjer i kapitlet ´identifiable neighbourhood´ at mennesker har behov for at kunne identificere sig med det sted de bor. Opdelingen gør det muligt, at de forskellige nabolag udvikler deres egen identitet, som beboerne kan være stolte af at tilhøre.

I "subculture boundary" udtrykker Alexander et behov for tydelige grænser mellem de forskellige bydele, for at mindske friktionen mellem de forskellige subkulturer. Han anbefaler at denne grænse skal være minimum tres meter bred. Hans ideer om hvad dette grænseland kan bruges til er bl.a. natur, vand og veje.

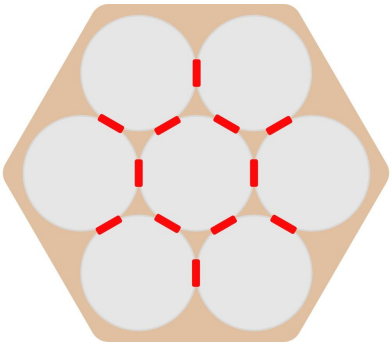
Maslows teori understøtter dette, da det at indgå som en del af et nabolag og udfylde en rolle i samfundet, gør en tilnærmelse til det man traditionelt har kaldt selvrealiseringsbehovet.

Hvordan integrerer vi ovenstående i en kolonistruktur på Mars?

Byen er delt op i syv kupler, som sætter rammerne for de enkelte subkulturer. Da hver kuppel er indkapslet fungerer kuppel-væggen som en tydelig grænse mellem hver koloni-del. Der er ikke plads til et tres meter bredt grænseland mellem nabo kuplerne/subkulturerne, men vores formodning er, at kuplernes vægge udgør en 'hård' og rigid grænse.

De syv tætpakkede kupler former en hexagonal enhed, der kan kopieres til at udvide kolonien.

En anden fordel ved at dele kolonien op, er at mindske sårbarheden af kolonien. Hvis der opstår et nødstilfælde i en af delene, kan den berørte kuppel isoleres fra resten af kolonien. Det kræver at hver kuppel har sin egen tilførsel af livsnødvendigheder som energi, vand, ilt og fødevarer.



Figur 3

Portåbninger skaber forbindelser

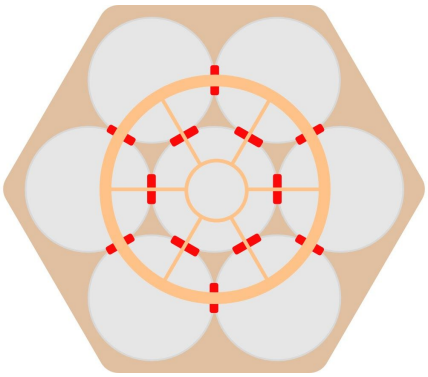
I afsnittet "Neighbourhood boundary" beskriver Christopher Alexander at individualiteten af de forskellige bydele styrkes ved at begrænse overgangene mellem de enkelte subkulturer, så kulturerne ikke flyder sammen, ved at markere hver overgang med en portal, f.eks. en luftsluse.

Hvordan integrerer vi ovenstående i en kolonistruktur på Mars?

Der er forbindelse mellem de forskellige kupler gennem en enkelt portal. Denne portal har to funktioner; den markerer tydeligt grænsen mellem bydelene og kan i tilfælde af kalamiteter (f.eks. brand, utætheder med efterfølgende pressure loss, m.fl.) fungere som en såkaldt sikkerhedsdør, der isolerer en kuppel fra resten af kolonien.

Denne sikkerhedsforanstaltning er essentiel for menneskers behov for at føle sig sikre og trygge.

Behovet for sikkerhed er nævnt i Maslows Teori. Behovet for sikkerhed på Mars, hænger sammen med de fysiologiske behov, som på Jorden oftest tages forgivet, f.eks. Ilt, beskyttelse mod radioaktiv stråling og støvstorme. Derfor er det en vigtig del at tænke med i vores designforslag, da vores designs formål er at sikre menneskets overlevelse på Mars og skabe en sammenhængende koloni.



Figur 4

Stisystemer forbinder nabolag

Christopher Alexander påpeger i afsnittet "Promenade" at det er et menneskeligt behov at have mulighed for at være blandt andre mennesker, at se andre og at blive set, da han mener at dette styrker sammenholdet i samfundet. Han foreslår at man bruger promenaden til at forbinde byens vigtigste aktiviteter, hvorved det enkelte individ gives et formål med at bevæge sig gennem promenaden. Jævnfør Maslows behovspyramide, vil man i dette tilfælde dække det tredje trin i pyramiden, der omhandler behov for kontakt mellem mennesker og tilhørsforhold.

Hvordan integrerer vi ovenstående i en kolonistruktur på Mars?

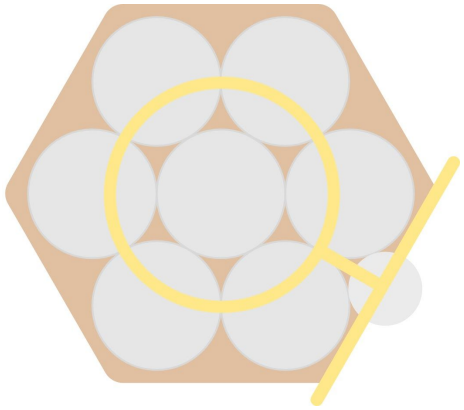
Da byens areal er designet til et samfund bestående af 500 personer, vil den største del af trafikken bestå af lavhastigheds transport såsom fodgængere, cyklister og lignende. Denne form for transport tilgodeser Marsboernes livsnødvendige behov for fysisk aktivitet.

Marsbyens promenade adskiller sig fra den Alexander beskriver, idet den er cirkulær. Vi har ikke konkret evidens for at dette vil fungere på lige fod med den kendte promenade som vi ser den her på Jorden.

Som beskrevet i de organiske og geometriske bystrukturer, udspringer byen fra en central plads. Det er ud fra disse principper at Marskoloniens subkulturer, her menes nabolag, er

placeret omkring en central kuppel. Ud fra denne centrale kuppel, er der forbindelse via et stisystem til de omkringliggende beboelsesenheder.

I Maslow's oprindelige pyramidemodel nævnes de fysiologiske behov som mad,ilt og søvn. Disse behov gør sig stadigt gældende på Mars, dog er behov som for eksempel øget fysisk aktivitet, ikke nævnt i den oprindelige model, hvilket skyldes er det ikke er et direkte behov for dette, for overlevelse på Jorden. Behovet kommer af at tyngdekraften på Mars er markant lavere end den er på Jorden. Dette medføre et øget muskelsvind, da musklerne ikke bruges i lige så høj grad som de er skabt til. Dette betyder at der er et behov for øget daglig motionering, for at opveje muskelsvindet, og dermed opretholde en mere naturlig kropslig tilstand.



Figur 5

Underjordiske transportveje

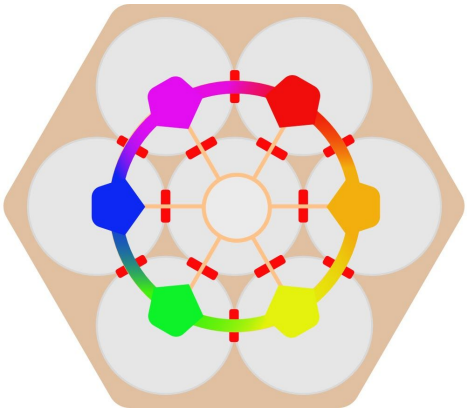
Christopher Alexander beskriver i afsnittet “Ringroads” at behovet for højhastigheds transport er en nødvendighed i moderne samfund, men at placering heraf, er af betydning for samfundets trivsel. Det er essentielt at transporten i og mellem de forskellige subkulturer ikke adskiller bydele eller bidrager til lydforurening. Han mener derfor at enhver højhastigheds vej, enten bør være sænket ned i jorden eller forseglet.

Hvordan integrerer vi ovenstående i en kolonistruktur på Mars?

Der vil uden tvivl opstå et behov for motoriseret transport i kolonien på Mars. Dette transportsystem kommer til at løbe i en ringvej under byen, der som promenaden, forbinder de

ydre kupler. Her vil al tung transport foregå, eksempelvis transport af byggematerialer og leveringer fra Jorden.

Hele bystrukturen for Mars kolonien er designet til at kunne kopieres, dvs. når der opstår et behov for at kolonien udvider sig, så går samme bystruktur igen, i den nye koloni. Disse koloniers motoriserede transportsystemer skal også forbindes med hinanden, og derfor vil det ´underjordiske´ transportsystem, ud over ringbanen, bestå af en interkolonial transportvej.



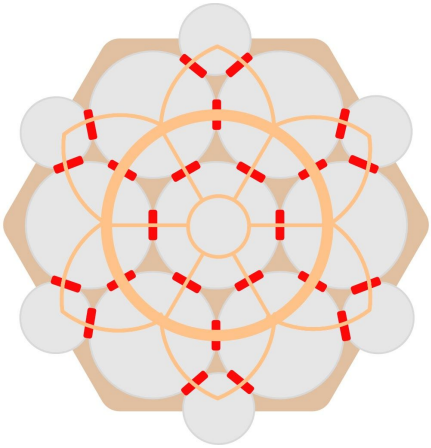
Figur 6

Aktivitetsområder

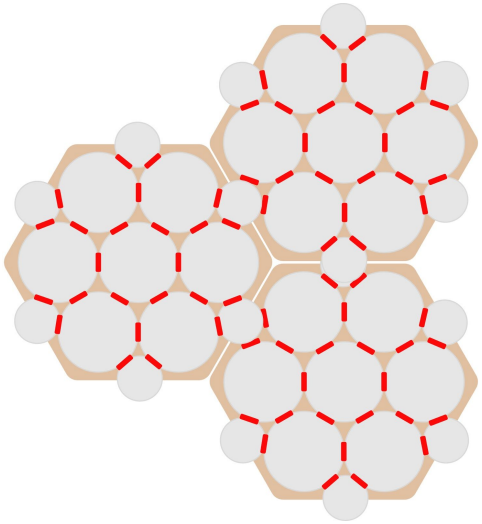
I afsnittet "Activity nodes" beskriver Christopher Alexander hvordan aktivitetsområder er med til at skabe karakter for de forskellige bydele og promenaden. Han påpeger at disse aktivitetsområder bør placeres let tilgængeligt for samfundets indbyggere, ved at være fordelt rundt i byen, med samme afstand til hvert aktivitetsområde. Han tilføjer at layoutet for disse aktivitetsområder skal bestemmes af menneskene i nærområdet og at disse faciliteter skal være relaterede til hinanden, så de tiltrækker den samme type af mennesker. Alexander foreslår, at disse områder kan bære præg af bl.a. natteliv og butikker. Han beskriver i afsnittet om "Small public squares" at torvets størrelse har betydning for hvor attraktivt området bliver. Han mener at torve på en diameter over 70 fod, ca. 21 meter, synes øde.

Hvordan integrerer vi ovenstående i en kolonistruktur på Mars?

I hver af de seks ydre kupler i Mars kolonien er der placeret et aktivitetsområde. Tanken med disse er at skabe en plads hvor de interne og eksterne subkulturer/nabolag kan mødes, hvilket vil skabe liv og bevægelse i byen. Ideen er at de forskellige områder skal facilitere forskellige aktiviteter såsom uddannelse, natteliv, kunst, indkøbsmuligheder og sundhedscentre, samtidig skal der være mulighed for, at den enkelte kolonist kan sætte deres præg på den subkultur han/hun tilhører.



Figur 7



Figur 8

Konnektivitet

Illustrationen (til venstre) viser hvordan subkulturernes fællesområder er forbundet. Nogle af disse områder vil i takt med at byen udvikler sig, fungere som bindingspunkt mellem nabodistrikterne (illustrationen til højre).

4. Ex ante evaluering (generel) og anden iteration

Mens gruppen udarbejdede designet og modellen for en koloni af sammenkoblede kupler, blev vi opmærksomme på et alternativt materiale og konstruktionsmetode, der kunne bruges til at forme den yderste kapsel omkring kolonien.

Indtil videre var tanken bag designet af vores kupler, baseret på komprimering, det vil sige at trykket af vægten af strukturen skulle ledes ned til jorden. Da tyngdekraften på Mars er meget

mindre end Jordens, kan man på Mars nøjes med mindre materiale end på Jorden, men materialeforbruget vil alligevel være betydeligt.

I blogindlægget "Domes are overrated" af Casey Handmer (2019), beskrives det hvordan vi kan udnytte Mars' tynde atmosfære til at bygge med. Han foreslår her strukturer lavet af polymerer der udnytter trykforskellen mellem inden- og udenfor kuplen: det øgede lufttryk inden i kuplen trykker udad i Mars' tyndere atmosfære og holder på den måde kuplen oppe, som det også er tilfældet med f. Eks en balon, en hoppeborg eller en sæbeboble. Dette vil kræve væsentligt mindre materiale.

Indlægget er dog ikke peer reviewed, men Handmer har en 'Bachelor in Science, Advanced Mathematics', (University of Sydney) og en 'PhD in Theoretical Physics' (California Institute of Technology) og er forfatter til to bøger om udforskning af Mars, og der kan derfor gøres belæg for at benytte hans tanker om emnet.

Handmer foreslår polymerer som for eksempel ethylene tetrafluoroethylene (ETFE) til at lave en membran der former en yderste barriere for en koloni. Han beskriver at materialet, som er et flerlags komposit forstærket med kevlar, kan bruges til at opstille strukturer under tryk på Mars. Materialet kan nemt svejses kemisk eller ved brug af varme, hvilket gør det enkelt at konstruere, og reparere. Projekter på jorden hvor ETFE er brugt i konstruktioner, er for eksempel kuplen af 'The Eden Project' i Cornwall, UK, der lavet af ETFA-puder, ligesom væggene af 'National Space Centre' i Leicester UK, og 'Beijing National Aquatics Centre'.

ETFE og stål, der er nødvendig for at ankre strukturen, kan produceres af de materialer der er for hånden på Mars, hvormed drømmen om in-situ kan efterkommes.

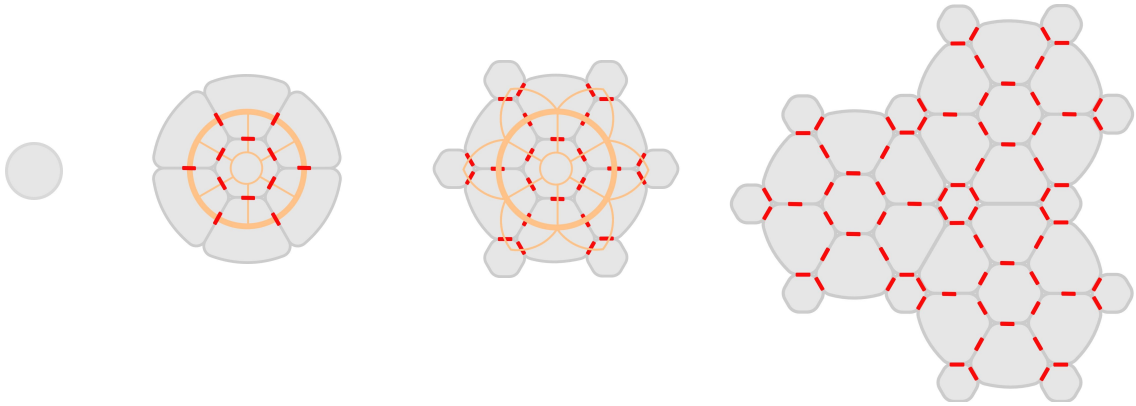
En oppustelige plastikmembran lyder måske ikke som det sikreste bud på beboelse på en fremmed planet, man Handmer understreger at det kevlarforstærkede ETFA er enormt stærkt under trækkraft. Dertil besidder materialet en egenskab der kaldes 'rip-stop', hvilket simpelt forklaret betyder at revner ikke kan udvide sig hurtigt og eksplosivt.

Kolonien ligger forholdsvis beskyttet indenfor lavatunellen, hvormed der tilføjes et ekstra beskyttende lag til kuplen. Det, der kunne være en sårbarhed er eventuelle faldende sten fra loftet af lavatunnellen, hvilket især kan være en risiko i forbindelse med Marsquakes. Dette kan

forebygges ved at styrke loftet ved hjælp af stålnet der holder på løse sten, som man ser det i bjergområder her på Jorden.

Hvis kolonien bliver konstrueret af celler kunne designet se ud som tætpakkede sæbebobler, og der, hvor nabolagenes vægge berører hinanden, opstår en lige skillevæg. Dette løser de ubrugelige mellemrum i kuppel designet. Dertil vil den mere tætpakkede koloni være mindre udsat for varmetab.

En ekstra fordel ved denne nye struktur er, at når kolonimoduler sættes sammen, så tre moduler kan mødes på et samlested, i stedet for to, som i det forrige design, øges transportmulighederne mellem kolonierne.



Figur 9

Det er indtil her, SDSM metoden kunne bruges til at guide os. De næste aktiviteter i SDSM (Design en specifik løsning til det specifikke problem, Ex Ante (Specifik) og (Konstruer den specifikke løsning og ex post evaluering) kræver at designet flyttes ud i den virkelige verden, for her at blive videreudviklet, testet og evalueret. Vi vil i det næste afsnit bruge TRIN-modellen til at analysere og evaluere vores design.

Analyse af færdige design

I følgende afsnit vil vi gennem TRIN-modellen analysere Mars kolonien som værende en teknologi. Vi vil forholde os til hvilke indre mekanismer kolonien består af, samt hvordan disse elementer har indflydelse på koloniens funktion.

Første trin, Teknologiens indre mekanismer

Koloniens formål

Koloniens formål er at sætte rammerne for permanent beboelse på Mars.

Teknologiske processer som bidrager til kolonien formål

Kupler: Sørger for en beskyttet atmosfære, stabilt tryk.

MOXIE: Skaber ilt.

Hydroponic: Fødevareproduktion

Kilopower: energi som er nødvendig for moxie, hydroponics og vandindving.

Vandindvinding fra vand-is: Nødvendighed for menneskets overlevelse.

Andet trin, Teknologiens artefakter

Formålet med følgende trin er at belyse funktionaliteten for de artefakter kolonien består af.

Promenaden

Promenaden er en cirkulær gade (figur 4), der forbinder de 6 beboelses Kupler. Vi forestiller os at gaden er omkring 3 meter bred. Formålet med promenaden er som beskrevet at forbinde koloniens subkulturer, samt transportvej for lavhastigheds transporten i kolonien, gående, cyklister lign.

Stisystemer

Stisystem (figur 4) sørger for at alle dele i kolonien er forbundet med hinanden, det giver Mars beboerne mulighed for nemt at begå sig i og mellem beboelses Kuplerne. Stierne dannes i Marsregolitten.

Transportveje

Transportvejene (figur 5) er tænkt som værende en underjordisk ringbane, hvis funktion er transport af tungere last og dermed egnet til motoriserede transportmidler. Samtidig er det tiltænkt som illustrationen/iterationen om transportveje viser, at efterhånden som kolonien udvider sig, skal de forskellige kolonier forbindes via. Interkoloniale transportveje.

Portåbninger

Portåbningernes (figur 3) funktion er at bidrage til at subkulturernes individuelle karakterer kan opstå og samtidig sætte grænsen mellem de forskellige beboelsesdele. Vigtigst af alt er deres funktion at fungere som flugtdøre i tilfælde af eksplosioner/brand, ilt udslip eller sygdomme, for at begrænse spredningen af disse til de øvrige Kupler.

Aktivitetsområder

I hver af de seks beboelses kupler er det tiltænkt, at et aktivitetsområde(figur 6) skal være med til at karakterisere den enkelte dome. Aktivitetsområdets funktioner i de forskellige kupler er f.eks. uddannelsesinstitutioner, natteliv, kultur, indkøb eller sundhedscentre. Formålet med at sprede de nævnte funktioner ud i de forskellige sektioner er, at skabe subkulturer som adskiller sig, for på den måde at skabe grobund for liv og bevægelse i kolonien, at appellere til Marsboernes nysgerrighed og sociale behov.

Tredje trin, Teknologiens utilsigtede effekter

Formålet med følgende trin er, at belyse de potentielle negative udfald der er ved at bosætte mennesker på Mars.

Grupperinger

Kuplernes placering udgør en hexagonal enhed, formålet med dette er optimering for udvidelse af kolonien i fremtiden. Hexagonet består af 7 Kupler, 6 af hvilke, er beregnet til beboelse. Denne opdeling efterlader det syvende kuppel til brug som fælles frirum. Den fysiske adskillelse mellem beboelses kuplerne, kan i værste fald betyde at beboerne danner grupperinger med usunde konnotationer, frem for det tiltænkte stærke fællesskab.

Ressourcer

Ressourcetrækket er stort når der sendes raketter til det ydre rum. Dette ressourcetræk vil angiveligt blive markant større hvis en koloni skal bygges på en fremmed planet, såsom Mars, hvormed en stor mængde ressourcer, råstoffer samt økonomiske ressourcer mm, ville blive fjernet fra Jordens ressource økosystem.

Psykologisk helbred

Det vides allerede i dag at længerevarende ophold på rumstationer kan have en negativ effekt på den menneskelige psyke, hvorfor astronauter mfl. er pålagt at gennemføre regelmæssige psykologiske tests, for at sikre at deres mentale helbred forbliver sundt. Med det i mente, vides det at der er en betydelig risiko for at permanent bosættelse på Mars vil have lignende effekt på den menneskelige psyke. I dette tilfælde vil beboerne dog ikke have det samme sikkerhedsnet som hidtidige rumfarende, da retur til Jorden enten er meget langvarig. Dette vil betyde at beboere på Mars vil skulle være i stand til at løse denne type problemer selv, hvilket er et potentielt bristepunkt for kolonien, som er yderst vanskeligt at designe sig ud af.

Fysiologisk helbred

Mars byder på et mere fjendtligt miljø end hvad vi er vant til her på Jorden. Der er forskellige aspekter der i den forbindelse har indflydelse på menneskets fysiologiske tilstand.
At bo under overfladen i en lavatunnel, afskærmet fra solens lys er ikke noget menneskeheden endnu har oplevet og det vides ikke hvordan dette på længere sigt har indflydelse på den fysiologiske tilstand, her tænkes der især på d-vitamin mangel, dette kan dog fremstilles kemisk og indtages som tablet, men om det vil være tilstrækkeligt er uvist.

Mars´ tyngdekraft er svarende til en tredjedel af jordens, hvilket betyder at mennesket udsættes for et mindre tryk end hvad vi er vant til. Dette har betydning for muskelmassen og knoglemassen, det vil kræve at menneskene på Mars er i bevægelse og træner i langt større grad end hvad normaliteten her på Jorden er, dette er nødvendigt for at kroppen ikke går i forfald. Denne udfordring er bekendt fra tidligere bemandede rummissioner, men ikke påvirkningen på kroppen gennem en hel levetid.

Fare for kollaps

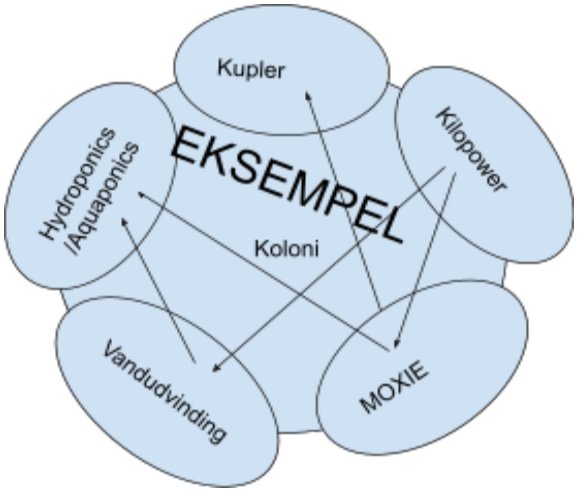
Ifølge rumforskere er der detekteret Marsquakes, altså det vi kender som jordskælv. Hvor ofte disse opstår og styrken heraf kan have betydning for koloniens levetid under Mars overflade, i tilfælde af at et potentielt Marsquake forårsager sammenstyrtning.

Begrænsende koloni-struktur.

Ved at designe kolonien i et hexagonalt design og under Mars´ overflade, arbejder vi med en konkret standard størrelse. Vi er bundet af lavatunnellens størrelse, samt den repetitive koloni-struktur, som gør koloniens udformning meget rigid. Det sætter nogle begrænsninger for hvor højt og bredt vi kan bygge, hvilket kan have negativ indflydelse på koloniens funktion.

Fjerde trin, Teknologiens teknologiske systemer

Formålet med følgende trin er at kortlægge koloniens teknologiske systemer, hvordan disse fungerer, hvorfor de er bærende for koloniens eksistens, samt redegøre for deres interne betydning for hinanden.



Kupler

Kuplerne sætter rammen for kolonien, og menneskets beboelse på Mars. Den primære funktion er at beskytte mennesket mod Mars fjendtlige atmosfære. Hver kuppel består af en ETFE-membran

Menneskets overlevelse i disse kupler er afhængig af de fire nedenstående systemer.

MOXIE

MOXIE er en oxygen-generator. Atmosfæren på Mars består af 96% carbondioxid, mens oxygen kun udgør 0,13% i Mars´ atmosfære. MOXIE producerer ilt, på samme måde som et træ. Det omdanner carbondioxid til oxygen. MOXIE-teknologien er afhængig af strømtilførsel, som fører os til næste system, Kilopower.

Kilopower

Energikilden der forsyner kolonien med strøm er et specialudviklet atomkraftværk, der fungerer via en teknologi kaldet ´Stirling conversion´ der omdanner fissionsprocessens varme til elektricitet (NASA, Stirling Converter, 2016). Dette energisystem er nødvendigt, for at forsyne MOXIE-generatoren og vandindvindings-systemet med strøm.

Aquaponic

Aquaponics er en teknologi til madproduktion der kombinerer akvakultur og hydrokultur. Akvakulturens funktion er opdræt af vanddyr og hydrokulturen er dyrkning af planter. Den uspiste foder som vanddyrene fodres med, samt deres efterladenskaber vil over tid skabe et giftigt miljø for vanddyrene, grundet den høje koncentration af affaldsstoffer der udvikles.

Systemet transporterer den giftige vand til et kar, hvor planternes rødder optager disse næringsstoffer fra vandet og på den måde renser vandet, der igen føres tilbage til vanddyrs kar. På den måde lever planter og dyr i symbiose.

Hele denne teknologi er afhængig af vand og ilt, og essentiel for menneskets overlevelse.

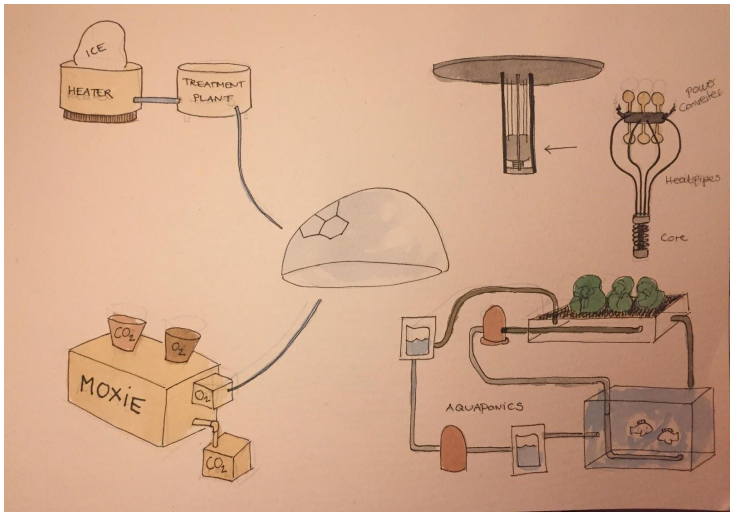
Vand udvinding

Vand er essentiel for menneskets overlevelse. Den eksisterende is på Mars, er Marsboernes kilde til vand. Vi forestiller os en teknologi der i et stort kar, optøer isen, hvorefter vandet transporteres videre til et rensningssystem.. Derudover er vand som nævnt, nødvendigt til fødevareproduktionen.

Femte trin, modeller af teknologien

Afsnittets formål er at visualisere ovenstående trin via vores fysiske model af designet, samt illustrationer.

Her ses vores fysiske model af det endelige designforslag. Lavatunnellen med kilopower på toppen. Indeni lavatunnellen ses den hexagonale replikative kolonistruktur. De hexagonale strukturer illustrerer eksempler på hvordan de forskellige kolonier kan se ud.



Tegningen er udarbejdet af gruppen.

Følgende illustration viser hvordan hver Kuppel, og forudsætningen for liv deri, er afhængig af ilttilførsel, vand, strøm og fødevareproduktion.

Sjette trin, Drivkræfter og barrierer for udbredelsen af teknologien

Modellens sjette trin har til formål at tydeliggøre hvilke drivkræfter der taler for at mennesket skal udvandre til Mars, samt hvilke hæmmende faktorer der er for realiseringen af dette projekt.

Drivkræfter for projektet

Som nævnt tidligere, opererer aktører som bl.a. NASA, SpaceX og UAE med muligheden for at mennesket kan bebo Mars. Fundamentet for denne ide kan være mange, men ser vi på menneskets udvikling gennem tiden, ligger det naturligt til os som race at udforske det uhåndgribelige og det endnu uvisse. En anden katalysator for ideen om mennesket udvandring til Mars, bunder i de menneskeskabte klimaforandringer eller globale katastrofer som truer menneskets overlevelse som race.

Barrierer for projektet

Økonomisk incitament

Ifølge Elon Musk vil det til en start koste omkring 1,3 millioner danske kroner at sende bare en person til Mars (Sørensen, 2020), for så at fragte 500 mennesker derop vil det koste 650 millioner danske kroner. Dette må absolut være en barriere i sig selv.

Transport

En anden faktor der hæmmer menneskets udvandring til Mars, er de 6 måneders om transporten tager, og det faktum at det kun er hver andet år at forudsætningerne for en rumrejse til Mars er optimale. Dette skyldes at Mars´ bane om solen er længere end Jordens, når raketten fra jorden skal lande på Mars, skal Mars derfor være foran Jorden i sin bane rundt om Solen. (Sørensen, 2020).

Dertil vil rejsen kræve en større mængde brændstof end turen til enten månen, ISS eller lignende, hvilket betyder at rumraketten skal medbringe mere brændstof for at kunne klare rejsen til Mars. Dette medbringer sine egne udfordringer, da mere brændstof unægtelig også betyder højere vægt af raketten, hvilket igen betyder at der vil være behov for yderligere

brændstof. For at løse dette kan man enten bygge større raketter der faktisk har den nødvendige plads til det ekstra brændstof, eller man kan genopfylde rakettens tanke efter den har forladt Jordens magnetfelt. Artemis (NASA, Artemis) er planen for en månebaseret genopfyldnings station, hvor rumraketter kan optankes til længerevarende missioner og Artemis vil hermed kunne muliggøre rejsen til bl.a. Mars. Dertil kan man nævne, at da tyngdekraften på månen er lavere end på jorden, så vil det også kræve mindre brændstof at afsætte en raket fra månen af.

MOXIE teknologi

MOXIE-teknologien som skal forsyne kolonien med ilt, har på nuværende tidspunkt ikke tilstrækkelig kapacitet til, at generere ilt til en hel koloni.

Risici

Der er en del risici ved at bosætte mennesket på en planet så langt ude i rummet, jo længere vi bevæger os ud i rummet, jo større er disponeringen af kosmisk stråling, dette har over tid en dødelig effekt. Derudover er der nogle konsekvenser ved den lave tyngdekraft, såsom nedsat muskel og knoglemasse. Endvidere har astronauter har haft en negativ påvirkning på deres syn, ved længere tids ophold i rummet (Stub & Stub, 2017). Intet menneske har været bosat i rummet gennem en hel levetid og derfor er der en masse potentielle konsekvenser for menneskets overlevelse, som endnu er uvisse.

Delkonklusion på baggrund af analysen

Alle trin-modellens trin er opfyldt. Selvom kolonien har begrænsede muligheder for at udvides da det afgøres af lavatunnellens areal, har det ikke den store betydning i første omgang af koloniens fase. Kupler vil være det primære design for for menneskenes beboelsesareal, da det rent teknisk øger sikkerheden. Essentielle livsvilkår er løst med de beskrevet teknologier: MOXIE, Aquaponics, vandindvinding af vand-is og kilopower. Beboernes sammenføring og kontakt med hinanden er sikret af stisystemer og promenaden der binder kolonien sammen og transporten er sikret via transportveje. Bosætterne er på mange måder efterladt til sig selv.

Selvdisciplin i form af daglig motion omgang med andre beboere skal sikre deres fysiologiske og mentale helbred.

Diskussion

Vi har i et tidligere afsnit undersøgt hvilke fordele og ulemper der er ved tre forskellige løsningsforslag til at danne rammen for en koloni på Mars; fritliggende på overfladen, krater og lavatunnel. Det var i dette afsnit at, det blev blotlagt at den sikreste løsning, for koloniens langvarige overlevelse og succes, ville være at danne kolonien i en af Mars' lavatunneller. Dette var til trods for det ekstra besvær der unægtelig vil komme af at transportere personel og materiel langt nok ind i en lavatunnel til at opnå den ønskede effekt, samt et potentielt stort ekskaverings arbejde i at føre de nødvendige rør og ledninger, til både vand og el, fra overfladen til kolonien. Det er derfor særligt interessant at tage endnu et kig på de planer andre organisationer har for fremtidig beboelse på Mars. Dette var noget vi dækkede i et tidligere afsnit, hvor vi fandt ud af at de eksisterende planer for beboelse på Mars, som vi har haft kigget på, alle ligger over jorden, og dermed ikke i det beskyttede rum som lavatunneller byder på. Hvorfor det forholder sig sådan, har vi desværre ikke et entydigt svar på, fra de valgte organisationer. Dette vil dog ikke forhindre os i at diskutere hvorfor deres planer er så meget anderledes fra vores eget designforslag.

Først og fremmest skal det nævnes at vores projekt foregår i en fremtid, hvor bemandede missioner allerede har været på Mars, og efterfølgende er vendt tilbage til Jorden. Dertil er vores projekt baseret på hvad vi, efter vores undersøgelser, mener er den bedste og sikreste løsning for en koloni på Mars. Der tages i vores projekt ikke højde for hverken pris eller det praktiske i at etablere koloni i en lavatunnel, frem for i det fri på Mars' overflade. Dette kan vi tillade os, da vores projekt udelukkende er teoretisk, hvorimod bl.a. SpaceX's og NASA's designforslag er reelle planer som de ønsker udført inden for en nær fremtid. Dette betyder, at NASA og SpaceX har en helt anden, og langt mere begrænset, tidshorisont end hvad vi har arbejdet med.

Dertil er det vigtigt at huske på, at det er meget besværligt at finde frem til lavatunnellerne uden at have haft mandskab og det nødvendige udstyr til at scanne efter dem. Det betyder at de præcise lokationer for Mars' lavatunneller ikke er 100% kortlagte og kan derved ikke sige med sikkerhed hvordan forholdene er dernede. Dertil er det ikke til at beskrive hverken størrelsen eller den indre topografi af lavatunnellerne, uden først at have haft personel på planeten, hvilket for en relativt nærtstående mission til Mars, ikke er hensigtsmæssigt at planlægge efter.

Til sidst kan det diskuteres om de omtalte organisationer har fremvist disse løsningsforslag med det formål at tiltrække eventuelle sponsorer til at bidrage til finansieringen af projektet, eller for tiltrække potentielle fremtidige kolonister. Det ville ikke være uden fortilfælde at et privatejet firma, som SpaceX, ville være nødsaget til at søge sponsorater fra andre firmaer, organisationer eller enkeltpersoner, såsom rigmænd der drømmer om en feriebolig på Mars, for at kunne fortsætte investeringen i deres ambitiøse Marsprojekt.

Konklusion

Motivationen for koloniseringen af Mars, er dels menneskets lange historie og behov for udforskning og pioneering, men også de store klimatiske problemer på jorden. Naturkatastrofer og overbefolkning er alle problemer, der på kort- eller lang sigt, vil gøre det udfordrende at bo på Jorden. En potentiel Løsning på dette er udvandring til Mars. Planeten i vores solsystem der minder mest om Jorden og som har de bedste forhold for en kolonisering af mennesket.

Der findes mange forskellige aktører der har planer om længerevarende missioner og beboelse på Mars. Både private aktører som SpaceX og offentlige aktører som NASA og ESA, har lagt fundamentet for eksisterende projekter og erfaringer som vi har inddraget i vores projekt. Dog omhandler det meste af allerede eksisterende projekter, transport af vare og materialer til Mars og har et fokus på længerevarende missioner og forskning på og af planeten. Her adskiller vores projekt sig da vi udformer et meget hypotetisk projekt med det formål at argumenterer for en mulig løsning på permanent bosættelse på Mars.

De mange problemer på Mars gør det både udfordrende at bygge, men også generelt at overleve som menneske på planeten. Derfor vi har gjort opgaven overskuelig ved at afgrænse den. Ud fra teorien om MVP, kan vi konkludere at de første kolonister skal minimum være på 500. Ilt, vand, og de mange fysiologiske udfordringer der er på Mars, ligger i et mere teknisk område, og vi har derfor lænet os op ad allerede eksisterende projekter fra blandt andet NASA med MOXIE og Kilopower.

Støvstorme og radioaktiv stråling er to gennemgående problemer, der skaber udfordringer for menneskets overlevelse, men også bygningsstrukturen. Vi har fundet ud af at man kan udnytte allerede eksisterende lavatunneller på Mars. Vi har ud fra en komparativ analyse, hvor vi blandt andet har analyseret fordele og ulemper ved at bygge på overfladen, konkluderet at den bedste løsning på længere sigt vil være at bygge i lavatunnellerne, da de til dels fjerner problemerne med radioaktiv stråling og støvstorme, da marsjorden har en beskyttende effekt og fordi disse tunneller ligger under jorden. Selv om disse tunneller er brede og kilometer lange, har de en naturlig plads begrænsning som potentielt kan skabe udfordringer for udvidelsen af kolonien i fremtiden, den geografiske placering af tunnellerne, samt den drastiske reducering af lys er også udfordringer vi ikke har en fyldestgørende løsning på. Dog har vi, med den viden vi har fået, stadig konkluderet det som den bedste mulighed.

I designprocessen har vi lænet os op ad Christopher Alexander og hans teorier om Pattern Language. Selvom hans ideer og designs er forbeholdt jorden, og mange af hans ideer har mennesket med som den del af processen, har vi formået at vinkle hans teorier og medtaget hans tanker om mennesket i vores designproces på Mars. Hans teorier har grobund i mange arkitekters designs af byer. Vores fokus på byplanlægning i projektet har ikke kunnet foregå uden inklusion af mennesket og dets behov, både fysiologiske og psykologiske. Efter flere iterationer er vi kommet frem til at en heksagon formet koloni med kupler, er den bedste løsning. Den dækker menneskets fysiologiske behov for overlevelse og sikkerhed, men også behov sammenføring og tilhørsforhold, samt at den hexagoniske udformningen i fremtiden vil gøre det nemmere at udvide kolonien.

Corona Afsnit

Følgende afsnit beskriver hvordan pandemien har haft begrænsende indflydelse på vores projektarbejde, samt hvordan det har påvirket det psykiske samarbejde i gruppen.

Covid-19 virussen har forandret mange ting i samfundet, en af dem er uddannelsesinstitutionerne og derfor har det også påvirket vores projekt. Omlægningen til digital kommunikation har dannet grundlag for en hel række nye udfordringer man ellers ville have undgået, såsom tekniske problemer. En stor del af den viden og de teknikker vi har med i bagagen når vi skriver dette projekt, kommer fra vores undervisning og forelæsninger. Grundet Corona har størstedelen af vores undervisning været online, hvilket ikke har været optimalt med mange betydelige tekniske problemer, som enten har forstyrret eller direkte afbrudt undervisningen. For både undervisere og studerende har det været svært at tilpasse sig digital undervisning, lyd, billede og generelt kommunikation har været et tidskonsumerende problem på stort set alle kursusgangene, til trods for at uddannelsesinstitutionerne ihærdigt har forsøgt på, at imødegå netop dette.

Møder med vores vejleder har været begrænsede. Møder online med vores vejleder har betydet at vi ikke har kunnet se hinanden i øjnene, hvilket har haft betydning for kommunikationens kvalitet, samt koordination og planlægning for møderne og har ikke været fuldendte, og koordination og planlægning har været udfordrende. Rammerne for dagligdagen har set anderledes ud, og vi har brugt mere tid i hjemmet end vi er vant til. Det har også betydet at det har været svært at adskille arbejde og fritid, distraktion og fokus.

Helt praktisk har hele situationen også betydet manglende inklusion af data i vores projekt. Ekspertinterviews, eksperimenter, laboratorie besøg foredrag og andre former for dataindsamling der involverer fysisk tæthed og kontakt har ikke været mulige. Det må derfor konkluderes at vores projekt på den ene eller anden måde ville have set anderledes ud, hvis ikke det havde været for den globale pandemi.

Litteraturliste

Websites

Antyufeev, A. V., & Antyufeeva, O. A. (2019). Linear cities: controversies, challenges and prospects. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 687, 055025. Retrieved November 11, 2020 https://doi.org/10.1088/1757-899x/687/5/055025

BIG. (2017). BIG | Bjarke Ingels Group. Big.Dk. Retrieved November 11, 2020 https://big.dk/#projects-mars

Butenschøn, P. B. (n.d.). Byplanlægning. Leksikon.Org. Retrieved November 26, 2020, from https://www.leksikon.org/art.php?n=417

Byer og byplanlægning. (2020, December 10). Dansk Arkitektur Center - DAC. Retrieved November 11, 2020, from https://dac.dk/viden/artikler/byer-og-byplanlaegning/

Candanosa, R. M. (2017, April). Growing Green on the Red Planet. American Chemical Society. Retrieved December 10, 2020, from https://www.acs.org/content/acs/en/education/resources/highschool/chemmatters/past-issues/2016-2017/april-2017/growing-green-on-the-red-planet.html

Daga, A. (2013). Lunar and Martian Lava Tube Exploration. North Dakota, USA. Retrieved December 07, 2020, from https://www.lpi.usra.edu/decadal/leag/AndrewWDagaFINAL.pdf?fbclid=IwAR2bz4si7Fs-mC1hBTcGtwaChpFz3diPkgHjMWlyl38UkAyNf-TrbbKDywl

Den organiske og den geometriske by. (n.d.). Dansk Arkitektur Center - DAC. Retrieved November 26, 2020, from https://dac.dk/viden/artikler/den-organiske-og-den-geometriske-by/

DIY_Metodekort. (2014). Designmetode: Storyboard, 10. Retrieved December 9, 2020, from https://www.d2i.dk/wp-content/uploads/2014/09/DIY_Metodekort_10.pdf

Elon Musk: Der vil være masser af job på Mars. (2016, October 10). VIDENSKAB.DK.Retrieved November 25, 2020, from https://videnskab.dk/teknologi-innovation/elon-musk-der-vil-vaere-masser-af-job-paa-Mars

Esposito, M., Tse, T., Soufani, K., & Xiong, L. (2017, December 27). Feeding the Future of Agriculture with Vertical Farming (SSIR). Https://Ssir.Org/. Retrieved November 25, 2020, from https://ssir.org/articles/entry/feeding_the_future_of_agriculture_with_vertical_farming

Federman, S. F., & Zankowski, P. M. (2018, August 14). Vertical Farming for the Future. Retrieved November 25, 2020, from https://www.usda.gov/media/blog/2018/08/14/vertical-farming-future

Handmer, C. J. (2019, November 28). Casey Handmer's Blog. Https://Caseyhandmer.Wordpress.Com. Retrieved December 17, 2020, from https://caseyhandmer.wordpress.com/2019/11/28/domes-are-very-over-rated/

Harbaugh, J. (2019, May 17). Latest Updates from NASA on 3D-Printed Habitat Competition. NASA. Retrieved November 11, 2020 https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/latest-updates-from-nasa-on-3d-printed-habitat-competition/

Harbaugh, J. (2019b, May 17). Media Invited to Finale of NASA's 3D-Printed Habitat Challenge. NASA. Retrieved November 11, 2020 https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/M19-012.html

HASSELL. (2019, March 13). HASSELL + EOC presents MARS HABITAT. YouTube. Retrieved November 11, 2020 https://www.youtube.com/watch?v=AIrH01N9AsE

Heiney, A. (2016, September 28). Farming in 'Martian Gardens.' NASA. Retrieved November 25, 2020, from https://www.nasa.gov/feature/farming-in-martian-gardens/

Henze, P. (2016, December 7). Maslow or the Real Martian Pyramid. Retrieved November 11, 2020 https://ethicsplayground.wordpress.com/2016/12/07/maslow-Mars/?fbclid=IwAR26EfQxIbHTygKWBdW3h-GAJmZMiWXTSa60jBUcYisnAMPbVgxNpJHq4II

High-Efficiency Stirling Convertor Demonstrates Long-Term Performance | Science Mission Directorate. (2018, April 16). NASA. Retrieved November 25, 2020, from https://science.nasa.gov/technology/technology-highlights/high-efficiency-stirling-convertor-demonstrates-long-term-performance

https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/Ai-Spacefactory/

INFOGRAPHIC: How Much Power Does A Nuclear Reactor Produce? (2018, February 6). Energy.Gov. Retrieved November 25, 2020, from https://www.energy.gov/ne/articles/infographic-how-much-power-does-nuclear-reactor-produ

ce

Jens ramskov, J., & #1 kenneth krabat 19. januar 2018 - 11:24. (2018, January 13). Mars er leveringsdygtig i gode byggematerialer. Retrieved December 14, 2020, from https://ing.dk/artikel/Mars-leveringsdygtig-gode-byggematerialer-209854

Klassisk brainstorm – Værktøjskassen til innovation og entreprenørskab i undervisningen. (n.d.-b). Ku.Dk. Retrieved December 12, 2020, from https://innovation.sites.ku.dk/metode/klassisk-brainstormi/

Le Corbusier. (n.d.). Dansk Arkitektur Center - DAC. Retrieved November 26, 2020, from https://dac.dk/viden/artikler/le-corbusier/

Lise Pedersen, L. P. (n.d.). Funktionalisme ca. 1930-1970. Syddansk Erhvervsskole. Retrieved November 19, 2020, from https://mffu.dk/uploads/Lise-Pedersen-Funktionalisme.pdf

Los Alamos National Lab. (2018, September 25). Kilopower reactor to power a habitat on Mars. YouTube. Retrieved November 25, 2020, from https://www.youtube.com/watch?v=MNsJvSerJ5c

M. Von Ehrenfried. (2019). Lunar and Mars Caves, Lava Tubes and Pits. From Cave Man to Cave Martian (p. 13). Springer International Publishing : Imprint: Springer. Retrieved December 07, 2020, from https://link-springer-com.ep.fjernadgang.kb.dk/book/10.1007%2F978-3-030-05408-3 via soeg.kb.dk

Mars Exploration Rovers. (n.d.). NASA Mars. Retrieved December 9, 2020, from https://Mars.nasa.gov/mer/

McLeod, S. A. (2018, May 21). Maslow's hierarchy of needs. Retrieved November 11, 2020https://www.simplypsychology.org/maslow.html - https://canadacollege.edu/dreamers/docs/Maslows-Hierarchy-of-Needs.pdf

Mersmann, K. (2015 opdateret i 2017, September 18). nasa.gov. (K. Hille, Editor) Retrieved November 25, 2020, from https://www.nasa.gov/feature/goddard/the-fact-and-fiction-of-martian-dust-storms

NASA Jet propulsion Laboratory. (2016, November 22). jpl.nasa.gov. (California Institute of Technology) Retrieved November 25, 2020, from https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=6680

NASA Jet Propulsion Laboratory. (2018, June 13). Mars Dust Storm News. YouTube. Retrieved November 25, 2020, from https://www.youtube.com/watch?v=fIKxdRFx2Wo

NASA Science Mars. (n.d.). MOXIE. Retrieved November 25, 2020, from https://Mars.nasa.gov/Mars2020/spacecraft/instruments/moxie/

NASA Video. (2018, May 2). Kilopower: A Gateway to Abundant Power for Exploration. YouTube. Retrieved November 25, 2020, from https://www.youtube.com/watch?v=fugONNLb9JE

NASA. (2010, August 2). Team SEArch+/Apis Cor. Retrieved November 11,

2020https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/SEArch-Apis-Cor/

NASA. (2018b, August 2). Ai-Spacefactory Images. Retrieved November 11, 2020

NASA. (2018c, August 2). Northwestern University Images. Retrieved November 11, 2020https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/NorthwesternUniversity/

NASA. (2018c, August 2). Team Kahn-Yates Images. Retrieved November 11, 2020https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/kahn-yates/

NASA. (2018c, August 2). Team Zopherus Images. Retrieved November 11, 2020https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/Team-Zopherus/

NASA. (2019, August 13). Kilopower. Retrieved November 25, 2020, from https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/kilopower/

NASA. (2020, November 24). nasa.gov. (T. Greicius, Editor) Retrieved November 25, 2020, from Mars Perserverance Rover: https://www.nasa.gov/feature/jpl/moxie-could-help-future-rockets-launch-off-Mars

NASA. (n.d.). Mars Facts. NASA's Mars Exploration Program. Retrieved December 14, 2020, from https://Mars.nasa.gov/all-about-Mars/facts/

NASA: Artemis. (n.d.). NASA. Retrieved December 19, 2020, from https://www.nasa.gov/specials/artemis/

Østerberg, D. Ø. (n.d.). Funktionalisme. Leksikon.Org. Retrieved November 26, 2020, from https://www.leksikon.org/art.php?n=930

Paris, P. (2014). planetary-science.org via google scholar. Retrieved November 25, 2020, from http://planetary-science.org/wp-content/uploads/2014/11/The-Physiological-and-Psychological-Aspects-of-Sending-Humans-to-Mars-Edited-and-Updated1.pdf

Rasmussen, A. R. (2015, March 23). Gammel græker kædet sammen med Fredericia og Esbjergs byplaner. Videnskab.Dk. Retrieved November 25, 2020, from https://videnskab.dk/kultur-samfund/gammel-graeker-kaedet-sammen-med-fredericia-og-esbjergs-byplaner

Roskilde Universitet. (n.d.). Login - RUC SSO. Retrieved December 19, 2020, from https://signon.ruc.dk/login?service=http%3A%2F%2Fstudy.ruc.dk

Roskilde Universitet. (n.d.-a). Login - RUC SSO. Retrieved December 19, 2020, from https://signon.ruc.dk/login?service=http%3A%2F%2Fstudy.ruc.dk

Roskilde Universitet. (n.d.-c). Login - RUC SSO. Retrieved December 19, 2020, from https://signon.ruc.dk/login?service=http%3A%2F%2Fstudy.ruc.dk

SEArch & Clouds AO. (2015). MARS ICE HOUSE. Marsicehouse. Retrieved November 11, 2020 http://www.Marsicehouse.com/

Smithsonian National Air And Space Museum. (2019, January 10). Today, Mars is warmer than Earth. See how we compare. Retrieved December 19, 2020, from https://airandspace.si.edu/stories/editorial/today-mars-warmer-earth-see-how-we-compare

Sørensen, A. S. (2020, September 3). Elon Musks vilde idéer: Koloniseringen af Mars. Videnskab.Dk. Retrieved December 11, 2020, from https://videnskab.dk/teknologi-innovation/elon-musks-vilde-ideer-koloniseringen-af-Mars

Space.com Staff. (2013, May 20). Pow! Mars Hit By Space Rocks 200 Times a Year. Space.Com. Retrieved November 11, 2020 https://www.space.com/21198-mars-asteroid-strikes-common.html

Space.com. (2018, August 18). Space.com. (N. T. Redd, Editor) Retrieved November 25, 2020, from https://www.space.com/17048-water-on-Mars.html

Stub, H. S., & Stub, H. S. (2017, March 24). Her er de største udfordringer ved at rejse til Mars. Videnskab.Dk. Retrieved November 11, 2020 https://videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/her-er-de-storste-udfordringer-ved-rejse-til-Mars

Swayze, G. A. (2020, January 6). 18-27. Evaluating mineral resources on Mars for exploration and colonization. USGS. Retrieved November 25, 2020, from https://www.usgs.gov/centers/mendenhall/18-27-evaluating-mineral-resources-Mars-exploration-and-colonization

The European Space Agency. (2019, Maj 31). The radiation showstopper for Mars exploration. Retrieved November 25, 2020, from https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/The_radiation_showstopper_for_Mars_exploration

Wan, L., Wendner, R., & Cusatis, G. (2016, August 12). A Novel Material for In Situ Construction on Mars: Experiments and Numerical Simulations. Retrieved December 14, 2020, from https://arxiv.org/pdf/1512.05461.pdf

Yampolskiy, R. V. (2018, November 17). Minimum Viable Human Population with Intelligent Interventions. Researchgate. Retrieved November 25, 2020, from https://www.researchgate.net/profile/Roman_Yampolskiy/publication/329012008_Minimum_Viable_Human_Population_with_Intelligent_Interventions/links/5befa8204585150b2bbc7401/Minimum-Viable-Human-Population-with-Intelligent-Interventions.pdf

Bøger

Alexander, C. [et al.] (1979) *The timeless way of building*, New York : Oxford University Press.

Alexander, C. [et al.] (1982) *A pattern language : towns, buildings, construction,* New York: Oxford University Press.

Checkland, P., & Scholes, J. (1990). *Soft systems Methodology in Practise.* Chichester: John Wiley.

Jensen, E. J., Jørgensen, G. J., Winther, L. W., Partoft, M. P., & Albertsen, N. A. (2013). *Den grænseløse by: Vol. 800 eksemplarer* (1.oplag ed.). Center for Strategisk Byforskning, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet.

https://www.byplanlab.dk/sites/default/files/den_graenselose_by_bog_2013.20.06.pdf

Jørgensen, N., (2020) *Digital signatur. En eksemplarisk analyse af en teknologis indre mekanismer og processer,* d. 19. august, 2020.

Mitcham, C. (1984) *Thinking through Technology. The Path between Engineering and Philosophy.* The University of Chicago Press: Chicago.

Müller, J., Remmen, A., og P. Christensen, P. (1984) *Hvad er teknologi? Kapitel 2 (s. 15-28)* i Samfundets teknologi, teknologiens samfund. Systime, Herning.

Pries-Heje, J., J. Venable & R. Baskerville (2014). *Soft Design Science Methodology.* In. Simonsen et al. (2014). Situated Design Methods. MIT Press.

Venable, J. (2014). *Using Coloured Cognitive Mapping (CCM) for Design.* Perth, Western

Australia, Australia: Curtin University. Hentet 15. December 2020

Illustration

Baskerville, R., Pries-Heje, J., & Venable, J. (2009, May). *Figure 5. Soft Design Science Research* [Illustration]. Https://Dl-Acm-Org.Ep.Fjernadgang.Kb.Dk/Doi/Pdf/10.1145/1555619.1555631.

Eriksson, P. E. (2010, May 2). *Om en kommunikationsrevolution, ett handskrivet brev och vikten av öppenhet*. Wordpress.Com.

https://pareriksson.wordpress.com/2010/05/02/om-en-kommunikationsrevolution-ett-handskrivet-brev-och-vikten-av-oppenhet/

Klassisk brainstorm – Værktøjskassen til innovation og entreprenørskab i undervisningen.

(n.d.-b). Ku.Dk. Retrieved December 12, 2020, from

https://innovation.sites.ku.dk/metode/klassisk-brainstormi/

Nosoilsolutions. (n.d.). *Aeroponics* [Illustration]. Https://Www.Nosoilsolutions.Com.

https://www.nosoilsolutions.com/aeroponics/

vecteezy. (n.d.). *How Aquaponics work?* [Illustration].

https://www.vecteezy.com/vector-art/1223013-aquaponics-system-diagram*What is*

Hydroponics? (2018, September 3). [Illustration]. Https://Www.Quora.Com.

https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-hydroponics-and-aquaponics