

## Bygga på månen

NASA har lovat att återvända astronauter till månen, den här gången för att stanna. Kina har också sagt att man planerar att bygga en "bas" på månen, även om man inte har specificerat om den skulle vara permanent bemanad. För att något av detta ska leda till bosättningar på månen måste man bemästra den hårda verkligheten där.

[The harshest reality](https://www.bbc.com/future/article/20230317-the-epic-quest-to-build-a-permanent-moon-base)

<https://www.bbc.com/future/article/20230317-the-epic-quest-to-build-a-permanent-moon-base>

[NASA's Artemis Base Camp on the Moon Will Need Light, Wat...](#)

[How easy will it be to build a Moon base? - BBC Future](#)

När SpaceX-grundaren Elon Musk avslöjade sina planer för en månkoloni i augusti 2017 kallade han den Moonbase Alpha. Men SpaceX är inte ensamma om att vilja få människor tillbaka på månen. Europeiska rymdorganisationen (ESA) var redan ett steg före. ESA tillkännagav planer på en permanent månbas 2016.

Den kinesiska rymdorganisationen CNSA (China National Space Administration) har meddelat nästa steg i sina framgångsrika Chang'e-måntutforskningsuppdrag strax efter att Chang'e 4 blev den första rymdfarkosten som gjorde en mjuk landning på månens baksida. Chang'e 5 och 6 kommer att vara provreturuppdrag medan Chang'e 7 kommer att undersöka Sydpolen, en region av särskilt intresse för mänsklig bosättning eftersom den innehåller vattenis.

Amerikanerna avslöjade inte planer för en permanent månbas förrän i augusti 2018. NASAs primära fokus fram till dess hade varit Mars. Kontrakt har redan tecknats mellan rymdorganisationer och industrin för långsiktiga måninfrastukturuppdrag, såsom satelliter för att tillhandahålla kommunikations- och navigationstjänster för månen, planer utarbetas för vattenutvinning från månis och el från solkraftverk osv.

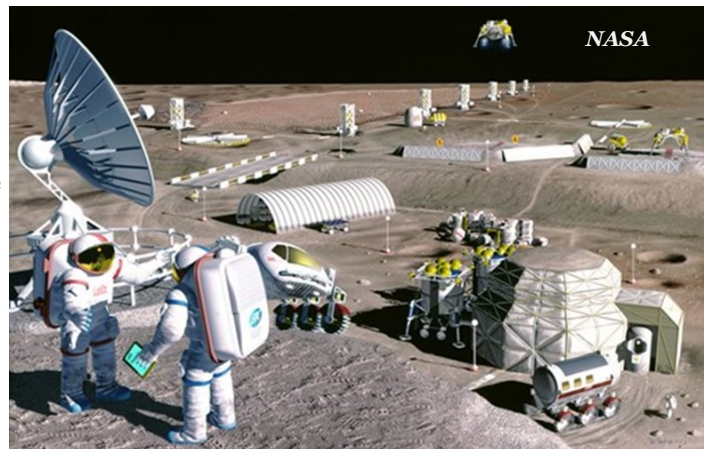
Men oavsett vilken organisation som kommer dit först, kommer den viktigaste prioriteringen att vara överlevnad. Den längsta tiden människor har bott på månen hittills är bara tre dagar. För längre vistelser är det inte den mest välkommande destinationen.

Först och främst måste man bestämma den exakta platsen. Bland de många saker som man måste ta hänsyn till finns två viktiga saker: Platsen måste sola sig i nära kontinuerligt solljus för att driva basen och ha måttliga extrema temperatursvängningar, och den måste erbjuda enkel åtkomst till områden med fullständigt mörker som håller vattenis. Medan ett basläger kommer att kräva mycket ljus, är det också viktigt för astronauter att ha nära till permanent mörka kratrar med reservoarer av fruset vatten.

Sydpolen verkar vara den mest lovande platsen. Eftersom vattenis upptäckts vid månens sydpol och slutligen bekräftats av NASA, så kommer en månbas sannolikt att vara belägen där. Det är ingen slump att Chang'e 4: s Yutu 2-rover för närvarande samlar in information i Sydpolens Aitken-bassäng. Vattenisen kan hittas på ytan i permanent skuggade områden av kratrar och under jord.

Sydpolsregionen har många väl upplysta områden, men vissa delar är mer eller mindre ljusa än andra. Forskare har funnit att vid vissa högre höjder, till exempel på kraterkanter, skulle astronauterna få längre perioder av ljus. Bottnarna på vissa djupa kratrar är däremot höjda i nästan konstant mörker, eftersom solljuset vid Sydpolen står i en så låg vinkel.

Dessa unika ljusförhållanden har att göra med månens lutning och med topografin vid Sydpolen. Till skillnad från jordens 23,5 graders lutning lutar månen bara 1,5 grader på sin axel. Därför tippas ingen av månens halvklot märkbart mot eller bort från solen under hela året som det gör på jorden, ett fenomen som ger oss soligare och mörkare årstider här. Detta innebär också att solens höjd på himlen vid månpolerna inte förändras mycket under dagen. Om en person stod på en kulle nära månens syd-



pol under dagsljus, när som helst på året, skulle solen knappt röra sig över horisonten.

Initiala planer inkluderar landning av en rymdfarkost på en relativt platt del av en väl upplyst kraterkant eller ås. Landningsområdet bör helst separeras från andra baslägerfunktioner som livsmiljö eller solpaneler med minst en kilometer för att förhindra att rymdfarkoster sprutar skräp på utrustning eller områden av vetenskapligt intresse. När en rymdfarkost går in för landning, kan den potentiellt spruta hundratals kilo ytpartiklar, vatten och andra gaser över ytan och det är viktigt att hålla området runt landningsplatsen och baslägret så orört som möjligt.

Bland de många intressanta sakerna med sydpolsregionen är dess läge precis mellan den jordvända sidan av månen, eller den närmaste sidan, och den sida vi aldrig ser från jorden, känd som den bortre sidan. Dessa två halvklot är geologiskt mycket olika. Den bortre sidan har större kratrar och dess skorpa är tjockare än den närmaste sidan. Man vet inte varför de två sidorna bildades på detta sätt. Bosättningen måste vara på den jordvända sidan för att göra det lättare att använda radiovågor för att kommunicera med jorden.

Besättningen på det sista Apollo-uppdraget, Gene Cernan och Harrison Schmitt, tillbringade längst tid på månytan hittills, 75 timmar totalt. Cernan liknade det vid en campingexpedition. De åt och sov i hängmattor, inuti den kompakta landaren och tog på sig rymddräkterna för att gå ut. Astronauterna i Artemis III, nästa amerikanska expedition till månen, planeras att stanna i ungefär en vecka och kan förvänta sig några fler bekvämligheter och mycket mer utrymme.

Landaren de kommer att använda tillhandahålls av Elon Musks SpaceX och är baserad på hans Starship-koncept, som ursprungligen är tänkt att transportera hundra personer till Mars. Med tanke på att NASA bara vill transportera två personer till månen, borde det finnas gott om plats för ett laboratorium, förvaring för en rover och till och med bekvämligheter som sängar, kök och toalett.



Väl på månen kan astronauterna behöva bygga mycket av de nya bosättningarna med material, som de kan hitta på själva månen. Månens naturresurser är inte omedelbart uppenbara. Det finns ingen vegetation, mat eller rinnande vatten, men däremot vissa mineral, solljus och vattenis.

Att bygga ett bostadsutrymme av månens tillgängliga resurser är vettigt. Det finns potential att använda lavarör, tunnlar som bildades under månens vulkaniska förflutna, som skydd med tillgång till frusen vattenis under ytan. Men en mer omedelbar plan är att bygga en livsmiljö med hjälp av månregolit, den fina mörka basaltgrå sanden, som liknar vulkanisk sand på jorden.

Månstoft eller regolit, kan förvandlas till tegelstenar. Den europeiska rymdorganisationen ESA har utvecklat flera sätt att göra månklossar och experimenterat med stoft som har liknande egenskaper som månens regolit. En metod involverar en gigantisk spegel och en serie förstoringsglas för att fokusera solljuset. Värmen från ljuset används för att smälta ihop stoft, som kan byggas upp i lager, en 3D-skrivare för månstoft. ESA:s forskare och ingenjörer har också tillverkat tegelstenar genom att värma damm i en solugn och bombardera regolit med mikrovågor. Om det lyckas kan tegelstenar användas för att bygga hela månstrukturer, kanske omsluta uppblåsbara moduler eller återanvända nedlagda landare.

Dessa tegelstenar skulle bygga något som liknar en igloo täckt av en meter eller så av lös regolit för att erbjuda ett naturligt skydd mot strålning. Man måste ha en kvadratmeter eller större lins för att fånga solljuset och möjliggöra 3D-sintring och utskrift av månstoft. Det tar ungefär fem timmar att göra en tegelsten och man behöver 10 000 tegelstenar för en igloo. Det kommer att ta månader, men denna tid kan minskas om fler linsar är i drift. Själva byggandet kommer förmodligen att göras av robotar, som arbetar tillsammans, men kanske kan människor vara inblandade ungefär som en förman på en byggarbetsplats.

Syre i månregoliten kan extraheras för andning. Den mest sannolika källan är ilmenit ( $\text{FeTiO}_3$ ) som, i kombination med väte vid temperaturer på cirka  $1\,000^\circ\text{C}$  producerar vattenånga, som sedan måste separeras för att producera väte och syre.

Astronauterna måste också ha mat och dryck. Chang'e 4 lyckades gro ett frö, men att producera hållbar mat i rymden är inte en ny idé. Det började 1982, när sovjetiska kosmonauter odlade *Arabidopsis thaliana*, en medlem av senapsfamiljen, på rymdstationen Salyut 7. År 2010 utvecklade University of Arizona en prototyp av månväxthus. Det var ett hydroponiskt (odling i vatten) system med ett 5,5 meter membrantäckt rör, vattenkylda natriumånglampor och "kuvert" för att hålla fröna med koldioxid från astronauternas andedräkt och urin för att ge vatten. Fiberoptiska kablar levererade solljus.

Det krävs också energi. Ny energiteknik kommer att vara nyckeln till att leva på månen. Bränsleceller på jorden kräver en kemisk reaktion mellan väte och syre (ofta från luften) för att producera elektricitet, med vatten som biprodukt. Även om det inte finns någon atmosfär på månen, så finns ingredienserna där. Man kan dela vattnet på månen i syre och väte och under natten kombinera dem för att producera el. Under dagen har man mycket solenergi, förmodligen ett överskott, för att dela vattnet i väte och syre, så det är ett unikt verktyg som kan användas på månen för att upprätthålla ett långvarigt uppdrag.

Det finns också potential för termisk energilagring med en process som liknar värmepumpar. På månen finns ingen konvektion eftersom det inte finns någon vind så värmen från solen stannar i regoliten. Man kan använda en lins eller spegel för att fokusera solljus på marken och använda den resursen med en värmepump för att hålla en bas varm eller för att generera el.

Oavsett så kommer astronauter att bo på månen under längre perioder och utforska den. Men besättningen kan inte gå särskilt långt till fots. Detta kommer sannolikt att innebära att de reser runt i trycksatta månrovers, mobila livsmiljöer som rullar över ytan. Vetenskapen vi vill göra finns på många platser runt månen, målet är att bygga system som kan möjliggöra månads-långa eller längre utflykter.

Men ju längre man stannar, desto mer riskabelt blir det. Man har att göra med tre stora utmaningar - strålning, extrema temperaturer och meteoritpåverkan. På jorden skyddas vi från de värsta av dessa effekter av en tjock atmosfär och den magnetiska bubblan som omger planeten, känd som magnetosfären. På månen utsätts man för solstrålning och kosmisk strålning vid en mycket farligare dosnivå och temperaturen kan variera från +100C på dagen till -180C på natten. Tittar man på månen ser man också dess kratrar. Den bombarderas ständigt av mikrometeoriter, som skadar allt på ytan över tid.

Strålningen är kanske det största problemet. Jordens geomagnetiska fält, eller magnetosfär, försvagas gradvis när man rör sig bort från jorden, tills den vid månen gör ett dåligt jobb med att avböja strålningen. Utforskare och bosättare där kommer att möta två typer av strålning: energirika protoner från solen och galaktiska kosmiska strålar från supernovor. Dessa består av protoner och tunga joner som rusar genom vårt solsystem i alla riktningar. Utan en lösning kommer båda formerna att gå genom resenärernas kroppar och slå bort elektroner i atomerna som utgör deras celler och DNA. Forskare tror att denna jonisering inte bara kan bryta DNA utan också skada cellernas förmåga att reparera skadan, vilket leder till ökad risk för cancer, hjärtsjukdomar och grå starr, bland andra sjukdomar.

I science fiction har författare fantiserat om kraftfältteknik för att avleda skadlig strålning. Det skulle återskapa jordens magnetosfär i miniatyr så att människor inte behöver leva sina liv i naturligt förekommande lavarör eller hål begravda i den utomjordiska marken. Som det visar sig kan vetenskapliga fakta inte vara så långt efter. En grupp NASA och universitetsforskare har undersökt möjligheten att använda "aktiv skärmning", där stora elektromagnetiska eller elektrostatiska fält genereras för att avleda den mest skadliga strålningen bort från ythabitat eller rymdfarkoster.

En solstorm utgör en omedelbar fara för astronauterna, som kan utveckla akut strålningssyndrom om de fångas i en sådan. Protonerna som kommer från solen har tillräckligt låg energi för att man ska kunna stoppa dem med några centimeter, kanske decimeters material. Vårre är det med strålningen från supernovor. En galaktisk kosmisk strålproton kan passera genom en meter material.

Det kan vara möjligt att flytta och forma massor av regolit för att blockera strålningen, men det kommer att kräva långsiktig uppbyggnad av infrastruktur och förmågan att transportera de massiva maskiner som är nödvändiga för att utföra sådana operationer på månen. Astronauter skulle kunna använda grottor eller lavarör som naturliga skydd, men de kanske inte finns i det område man är intresserade av. På rymduppdrag som är längre än ett år kan därför aktiv avskärmning komma in som ett alternativ.



Att placera supraledande elektromagneter, som är trådspolar kylta till kryogen temperaturer för att undvika elektriskt motstånd, runt kärnan i en rymdfarkost eller livsmiljö kan generera ett kraftfullt magnetfält. Detta skulle vara ett surrogat för jordens magnetosfär och avböja inkommande laddade partiklar.

Men det nödvändiga systemet kan vara för stort för att flygas till månen för att skydda en livsmiljö i full storlek. Ett bättre alternativ, på grund av komponenternas storlek, kan vara en elektrostatisk skärm som uppnår samma resultat, men genom att skapa ett högspänningselektriskt fält. Elektromagneter är massiva och svåra att hålla tillräckligt kalla för att vara supraledande, medan det är relativt enkelt att placera högspänning på en elektrod. Sovjetunionen testade en sådan sköld, i miniatyr, på Cosmos 603-satelliten som lanserades 1973 med viss framgång.

Tidiga ytuppdrag av NASA: s Artemis-program vid månens sydpol är planerade att pågå högst en månad. Men om planer för långvariga uppdrag ska lyckas, kommer någon mekanism för att skydda astronauterna från strålning att behövas. Exponering för faktisk rymdstrålning är fortfarande en stor identifierad risk för människor och en stor okänd risk för biologiska och fysiska system. Ingen vet säkert om människor kan överleva och sprida sig i rymden. Om löften om att utvidga det mänskliga samhället till rymden ska tas på allvar måste mer fokus läggas på strålning och andra frågor relaterade till människor som lever bortan från jorden för alltid. Först när dessa tekniker är perfekta och testade för att säkerställa att de kommer att fungera under månförhållanden, kommer astronauterna att kunna bygga en månbas.