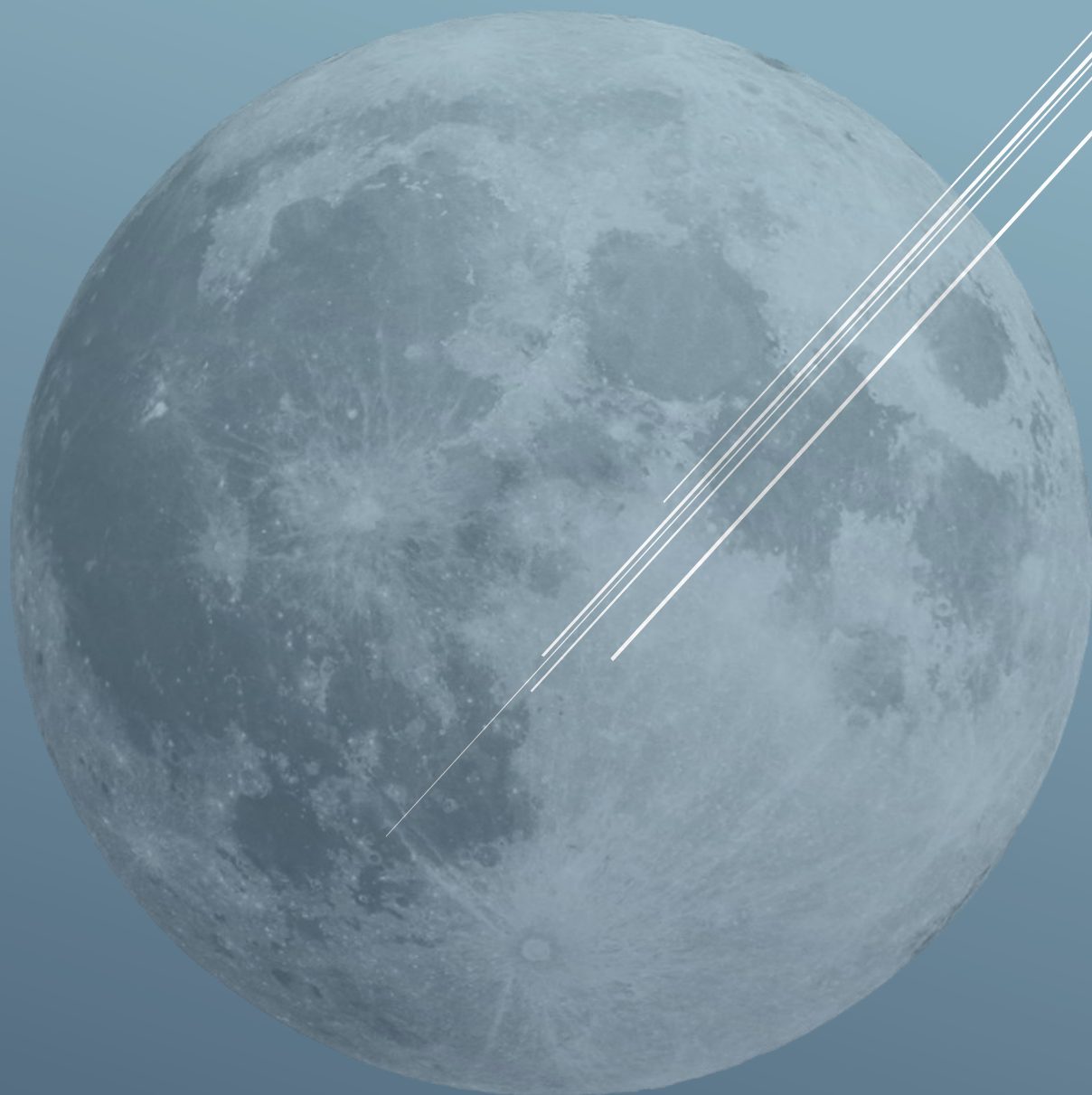




ÉPÍTÉSZET A HOLDON

Hallgató: Tankó Kincső Mária

Témavezető: Botzheim Bálint

Megjelenés dátuma: 2024.11.13.

Tartalomjegyzék

Bevezetés	2
A Hold és környezete.....	3
Eddigi tervek a Holdon levő lakhatáshoz.....	6
Múlt.....	6
Jövő	11
Alapformák és elemzésük	15
Alacsonyabb szerkezet elemzése – domb	16
Magasabb szerkezet elemzése – termeszvár	20
Összehasonlítás	24
Következtetés	25

Bevezetés

„Kis lépés az embernek, hatalmas ugrás az emberiségnek.” Hangzott el 1969 júliusában Niel Armstrong szájából, miközben lábnyoma kirajzolódott a holdporban. Ennél a nyomnál kissé hamarabb, de ugyanazon a napon, az első építmény is nyomot hagyott a Holdon, amikor a Sas leszállt a Nyugalom Tengerén, hiszen a Sas (Eagle) nevű holdkomp volt az első ideiglenes építmény a Holdon.¹

Annyira különleges, új, megfoghatatlan és ugyanakkor inspiráló teljesítmény volt, hogy a mai napig hihetetlennek tűnik a Holdra szállás. Regények, filmek, álmok születtek az intergalaktikus életről, és a holdra szállásról, már évekkel a megvalósulása előtt, főként a sci-fi világban², és ebből az álomból vált valóra egy darabka. Megérintheztük a Holdat. 3 éven belül 6 alkalommal is volt Holdra szállás a NASA Apollo misszióin belül. 1972-ben került az utolsó emberi és az emberrel együtt, építménynyom (a Challenger) a Hold felszínére³. Azóta eltelt 52 év és a Holdnak nem voltak emberi látogatói. A nagy teljesítmény után, hátra dőlt a világ, másra fókuszált. A Hold pedig továbbra is mutatta nekünk „jobbik” oldalát.

A remény tovább építette a képzeleteket a holdi életről. Az elmélkedések, tervek halmozódtak és eljött a várva várt idő. Újból emberek látogatnak el a Holdra, hosszabb időre és újabb missziókra, új építményekben, új technológiával az előző tapasztalatokra, kutatásokra és mérésekre alapozva. Egyre több űrkutatási projekt jelenik meg szerte a világon. A NASA 2026-ban⁴, a Kínai csapat 2030-ban⁵ és az Európai Űrügynökség 2040-ben⁶ szeretne űrhajósokat küldeni a Holdra. A Holdon való élet felépítése újból lendületet vett. Bátorságot kapott a világ, hogy a halmozó álmokat megvalósítsa és tovább bővítse, alakítsa a Hold történetét és vele együtt, építészetét.

¹ <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1969-059C> (megnyitva: 2024 október)

² Például: irodalom: Johannes Kepler-*Az álom* (1634), Cyrano de Bergerac: *Voyages dans la Lune (Utazás a Holdra)* (1657), Jules Verne: *Utazás a Holdba* (1865), Konsztantyin Eduardovics Ciolkovszkij: *Távol a Földtől* (1920), H. G. Wells: *Emberek a holdban* (1901), Arthur C. Clarke: *Holdrengés* (1961) Zene: Joseph Haydn: *Il mondo della luna (Élet a Holdon, opera)* (1777), Ludwig van Beethoven: *Holdfény szonáta („Mondschein”)* cisz-moll, op. 27. N° 2. (1801), Claude Debussy: *Clair de Lune (Holdfény)* (1905), Pink Floyd: *The Dark Side of the Moon (A Hold sötét oldala)* (1973), film: Georges Méliés: *Le Voyage dans la Lune (Utazás a Holdba)* (1902), Fritz Lang: *Frau im Mond (Nő a Holdban)* (1929)

³ <https://www.nasa.gov/mission/apollo-17/> (megnyitva: 2024 október)

⁴ <https://www.nasa.gov/mission/artemis-iii/> (megnyitva: 2024 október)

⁵ <https://edition.cnn.com/2024/09/30/style/china-unveils-moon-landing-spacesuit-intl-hnk/index.html#:~:text=China%20has%20taken%20a%20step,in%20the%20country's%20space%20program.> (megnyitva: 2024 október)

⁶ <https://www.space.com/europe-astronauts-moon-mars-explore-2040> (megnyitva: 2024 október)

A Hold és környezete

Ahhoz, hogy megértsük a Holdon levő építményeket, meg kell értsük a holdi környezetet, körülményeket, hogy kialakítsunk egy képet arról, milyen lehet az élet a Holdon.



Ábra 1 – A Föld és Hold közötti távolság, NASA/JPL-Caltech⁷

A holdi körülmények jelentősen eltérnek a földi körülményektől. Első lényeges különbség, a gravitáció, mely $1,62 \text{ m/s}^2$, míg a Földön ez $9,80 \text{ m/s}^2$.⁸ A kisebb gravitáció megkönnyíti a nehéz elemek szállítását, nehéz csomagok, felszerelések cipelését, és az emberi egészségre, kedvre is pozitív hatással van. Az ugrálás egy fontos mozgási forma lehet a holdi környezetben, mely erősíti az izmokat, csontozatot, szív- és érrendszert, idegrendszert, egy felszerelés nélküli edzés forma az űrben, mely jókedvet is eredményez,⁹ Ezt alátámasztja az Apollo 17 misszóján belül az a kis felvétel, amikor Gene Cernan és Jack Schmitt űrhajósok, ugrálás közben dalolni kezdtek és kifejezték tetszésüket a súlytalanságból adódó ugráláshoz.¹⁰ Egy másik lényeges különbség, hogy a Hold körüli légkör sokkal ritkább, a Földdéhez képest.¹¹¹² Ebből adódik a többi körülményi tényező.

- Hőmérsékletingadozások

Általános felszínen a hőmérséklet $-143 \text{ }^{\circ}\text{C}$ és $+115 \text{ }^{\circ}\text{C}$ között ingadozik. Ezzel ellentétben Vannak olyan kráterek, ahova soha nem süt be a Nap, itt $-246 \text{ }^{\circ}\text{C}$ alatt is

⁷ <https://science.nasa.gov/solar-system/moon/five-things-to-know-about-the-moon/> (megnyitva: 2024 október)

⁸ <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html> (megnyitva: 2024 október)

⁹ https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/The_science_of_Moon_hopping#:~:text=The%20videos%20of%20the%20first,bones%20and%20the%20cardiorespiratory%20system. (megnyitva: 2024 október)

¹⁰ https://www.youtube.com/watch?v=Zl_VdN6rfrQ (megnyitva: 2024 október)

¹¹ <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html> (megnyitva: 2024 október)

¹² <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html> (megnyitva: 2024 október)

lehet a hőmérséklet.¹³ Viszont találtak olyan krátereket, ahol állandóan +17 °C a hőmérséklet. Általánosságban elmondható, hogy nagy a napi hőmérséklet-ingadozás. 15 földi nap felel meg 1 holdi napnak. Így 15 napig tartós napsütés és forrasztó meleg lehet a Hold felszínén, melyet 15 napig tartó sötétség és hideg követ.¹⁴

- Mikrometeorid eső

A hold ritka légköre miatt minden méretű meteorit becsapódik a Hold felszínére, míg ez a Föld esetében szétporlik ahogy bejut a Föld légkörébe. Általában a mikrometeoridok kisebb, mint 50 µm átmérőjűek, 2-4 g/cm³ sűrűségűek és általában 20 km/s sebességgel csapódnak be. Itt is Vannak szélsőséges esetek. Például egy 5 kg-os test, amely 72 km/s csapódik be a Hold felszínére, egy 9 m-es krátert is tud eredményezni. Tehát a meteoritok rendelkezhetnek több kilogrammos súllyal is.¹⁵¹⁶

A következő körülmények tényezőit a mágneses mező hiánya okozza a Holdon, mely a második védőréteg a Föld légköre mellett.

- Napszél

A napszél a Nap által a Naprendszerbe kilőtt töltött részecskék (elektronok, ionok, protonok) folyamatos áradása, mely égeti a Hold felszínét. A Hold rendelkezik olyan helyekkel, melyre jellemző a mágneses mező. Ez olyan, mint egy kis buborék, ahova nem jut el a nap égető energiája, és ezáltal világosabbak is ezek a területek. A napszél által a Hold felszíne statikus elektromossággal töltődik fel, emiatt a holdporban járkálva egy apró szikra komoly problémákat is okozhat. A napszélnek köszönhetően, nemcsak elektromos feltöltődés keletkezik, hanem el is szállítja az elektromos többletet, mely természetes földelésként is működik. A napszél újabb pozitív hatása, hogy általa keletkezik víz a Holdon. Így segítségével a jövőre való tekintettel, akár vizet is elő lehet itt állítani.¹⁷

¹³ <https://science.nasa.gov/moon/weather-on-the-moon/> (megnyitva: 2024 október)

¹⁴ <https://www.nasa.gov/solar-system/nasas-lro-finds-lunar-pits-harbor-comfortable-temperatures/> (megnyitva: 2024 október)

¹⁵ <https://www.nasa.gov/meteoroid-environment-office/about-lunar-impact-monitoring/> (megnyitva: 2024 október)

¹⁶ <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19780005022/downloads/19780005022.pdf> (megnyitva: 2024 október)

¹⁷ <https://science.nasa.gov/moon/solar-wind/> (megnyitva: 2024 október)

- Korona kitörések

A Nap óriási kitörései olyan lökeshullámokat eredményeznek, melyek a Hold felszínéhez érve hasonló hatásokat érnek el, mint a napszél esetében, viszont sokkal erősebbek, és helyi robbanásként jelentkeznek.¹⁸¹⁹

- Galaktikus kozmikus sugárzás

Galaktikus sugárzások, melyek a Tejútból vagy akár távolabbi galaxisokból érintik a Holdat, meghatározó szerepet kapnak a Hold felszínének kémiai változásában. Például, ha jeget érintenek, oxigént szabadítanak fel, ezt követően szénnel kapcsolódva prebiotikus szerves molekulákat hozhatnak létre²⁰, melyek az élet kulcsfontosságú molekuláinak építőköveit alkotják.²¹ Ugyanakkor károsan hat az emberi szervezetre, emiatt ésszerű védelmet nyújtani a sugárzások ellen.

Paraméterek	Hold	Föld
Felszíni gravitáció	1,62 m/s ²	9,80 m/s ²
Légkör össztömege	~25,000 kg	5.1 x 10 ¹⁸ kg
Forgási idő	29,53 nap (Föld körül)	365,25 nap (Nap körül)
Naphossz	1 nap	15 nap
Térfogata	2.1968 10 ¹⁰ km ³	108.321 10 ¹⁰ km ³
Egyenlítői sugár	1738.1 km	6356.8 km
Sarki sugár	1736.0 km	6371.0 km
Egyenlítői terület	10 921 km	40 070 km
Távolság az egyenlítőtől	átlagosan 378 000 km	
a Föld és a Hold között	*a távolság az év folyamán változik, ezért 357 000 km és 405 000 km között van	

Ábra 2 – Összehasonlító táblázat a Hold és a Föld paramétereivel²²²³²⁴²⁵

¹⁸ <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20120012541/downloads/20120012541.pdf> (megnyitva: 2024 október)

¹⁹ <https://www.nasa.gov/solar-system/nasa-study-finds-solar-storms-could-spark-soils-at-moons-poles/> (megnyitva: 2024 október)

²⁰ <https://www.space.com/14955-cosmic-rays-moon-space-radiation.html> (megnyitva: 2024 október)

²¹ <https://24.hu/tech/2023/04/06/élet-építőelemei-prebiotikus-molekulák-aminosavak-molekularis-felho/> (megnyitva: 2024 október)

²² <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html> (megnyitva: 2024 október)

²³ <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html> (megnyitva: 2024 október)

²⁴ https://imagine.gsfc.nasa.gov/features/cosmic/earth_info.html#:~:text=The%20diameter%20of%20a%20circle,the%20Earth%20is%20slightly%20flattened. (megnyitva: 2024 október)

²⁵ [https://www.space.com/18135-how-big-is-the-moon.html#:~:text=The%20moon's%20mean%20radius%20is,6%2C783.5%20miles%20\(10%2C917%20km\).](https://www.space.com/18135-how-big-is-the-moon.html#:~:text=The%20moon's%20mean%20radius%20is,6%2C783.5%20miles%20(10%2C917%20km).) (megnyitva: 2024 október)

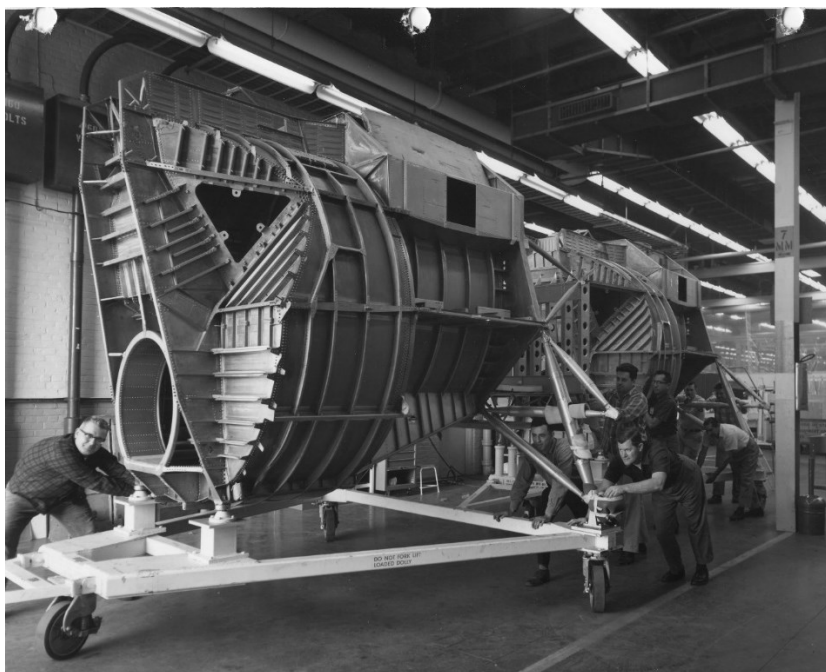
Mindezen körülmények mellett fontos megemlíteni a holdport, mely a Hold felszínét borítja be. Ez a holdpor nagy károkat tud okozni a csatlakozásokban, gépezetekben, szerkezetekben, hamar rövid időn belül tönkre teszi azt, amivel kapcsolatba lép. Az emberi egészségre is ártalmas, főként a tüdőre, szív- és érrendszerre, meg az idegrendszerre is.

Eddigi tervek a Holdon levő lakhatáshoz

Most, hogy tisztáztuk, milyen körülmények uralkodnak a Holdon, nézzük meg, milyen építmények, illetve tervek születtek, amelyek alkalmazkodnak ezekhez a holdi körülményekhez, környezethez.

Múlt

Első sorban a múltra támaszkodunk. Megvizsgáljuk, hogy az Apollo missziókon belül létrejött építmények, milyen formavilágot, szerkezetet, elrendezést, funkciókat foglaltak magukba. Az Apollo hold moduljai voltak az első építmények a Holdon. Hosszú út vezetett, az ötlettől a megvalósulásig. Míg kitalálták és elfogadták a Hold körüli pályán történő találkozás, randevú (másképp LOR: Lunar Orbit Rendezvous) eljárást, mely lehetővé tette, hogy a hold moduljai kis méretűek legyenek és ne rakéta méretű tömegek, melyek több energiát és anyagot igényelnek.²⁶

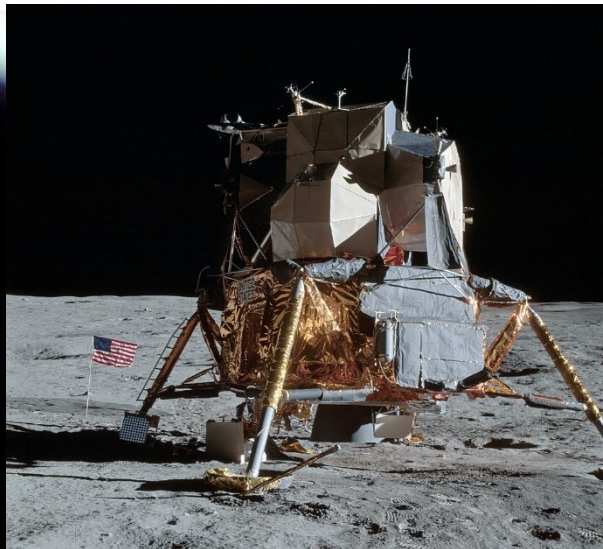
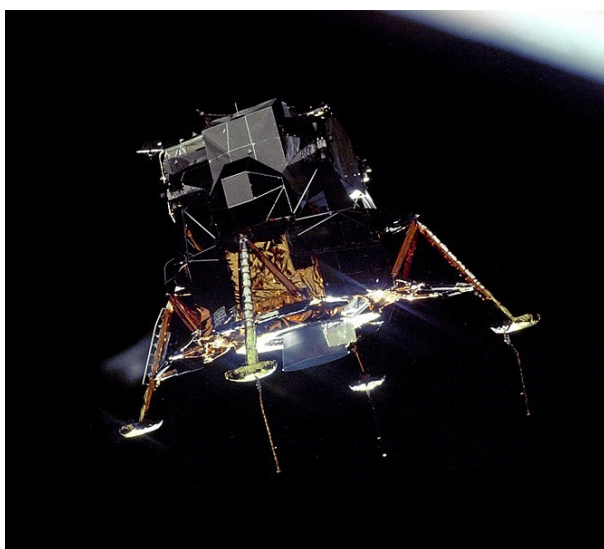


Ábra 3 – Két Grumman LM felszálló alapszerkezet áthelyezése összeszereléshez²⁷

²⁶ <https://www.nasa.gov/history/60-years-ago-nasa-decides-on-lunar-orbit-rendezvous-for-moon-landing/> (megnyitva: 2024 október)

²⁷ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Two_Grumman_Lunar_Module_ascent_fuselages.jpg (megnyitva: 2024 október)

Az Apollo hold moduljai, az úgynevezett LM-ek (Lunar Module), melyeket 1962-ben kezdte el tervezni a Grumman nevű amerikai repülőgépgyártó és űripari vállalat. Problémát okozott az LM súlya, melyet először a helikopterek kabinjaihoz hasonlóan terveztek. Az emberek gyakran a legközelebbi hasonló formát alkalmazzák, amikor egy új szerkezetre gondolnak, például, az első repülő, melyek teste a csónakéhoz hasonlult. Itt is ez volt az eset. Viszont a nagy ablakok súlya, az ülések, a nehéz hőburkolatok, a szerkezet vastagsága és a beltér térfogata túl nagy súlyt eredményeztek. Csökkenteni kellett az LM súlyán, ahol csak lehetett. A prototípusok több változáson, igazításon mentek át, végső stádiumukban a NASA-val és az űrhajósokkal közösen végezték a simításokat. Így az 3-5-lábból, 4 láb lett, a nagy ablakokból 2 kis ablak lett, az ülések helyett állva irányították az LM-et az űrhajósok, a kerek nyílás helyett négyzetes lett, hogy az űrhajósok táskájukkal a hátukon ki-be férjenek, a szerkezetek a minimum méretekre lettek véve és a hőburkolat helyett 25 réteg arany színű alumínium bevonatú mylar (PET, polietilén-tereftalát alapú rugalmas poliészter) fóliát használtak.²⁸



Ábra 4 – Az Apollo 11 holdi modulja (Sas) a holdkörüli pályán²⁹ Ábra 5 – Az Apollo 14 holdi modulja (Antares) a Holdon³⁰

Több prototípus, tesztelés, igazítás és pontosítás után, az Apollo 11 misszióval kezdődően, útra indultak az LM-ek és beépültek a Hold környezetébe. Minden LM különböző nevet kapott, viszont szerkezetük és felépítésük megegyezett.

Eagle (Sas) - Apollo 11 - 1969

Intrepid (Vakmerő) – Apollo 12 -1969

²⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=4yj3CUkhTzc&t=1981s> (megnyitva: 2024 október)

²⁹ <https://www.nasa.gov/image-article/eagle-prepares-land/> (megnyitva: 2024 október)

³⁰ <https://www.flickr.com/photos/nasa2explore/9354566064/in/album-72157634771066936/> (megnyitva: 2024 október)

Antares – Apollo 14 – 1971

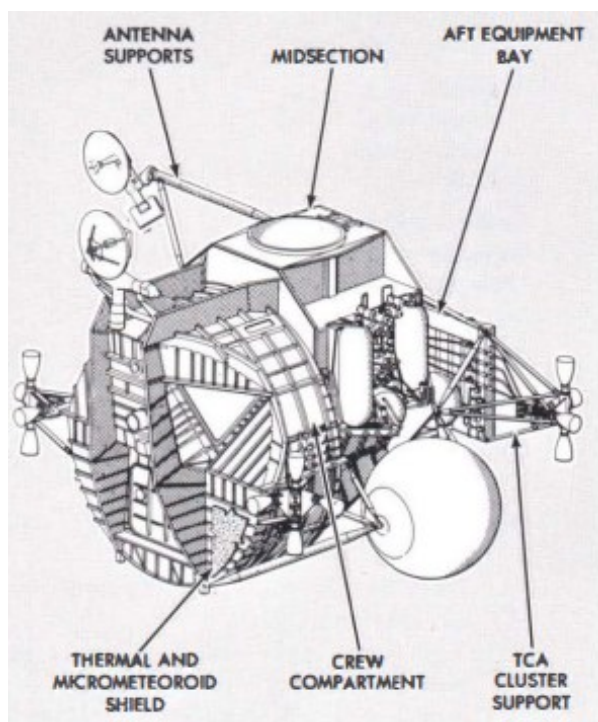
Falcon (Sólyom) – Apollo 15 – 1971

Orion – Apollo 16 - 1972

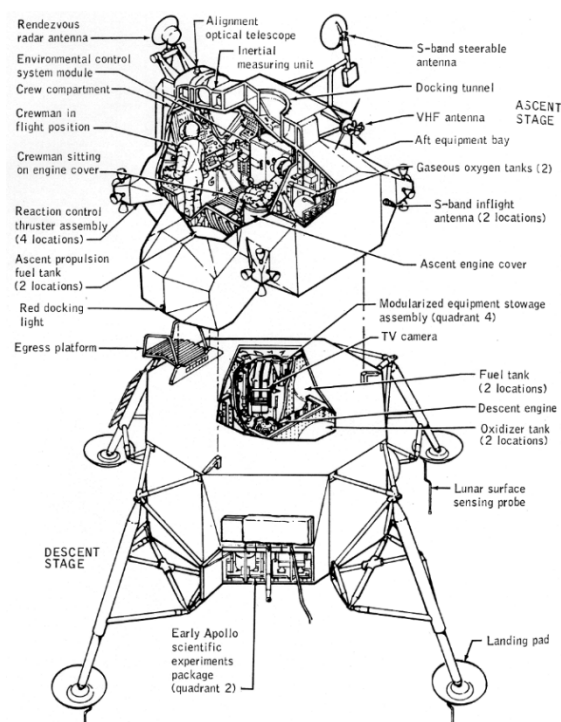
Challenger (Kihívó) – Apollo 17 – 1972

Nézzük meg részletesebben, miket foglal magába egy LM, hogyan van felépítve.

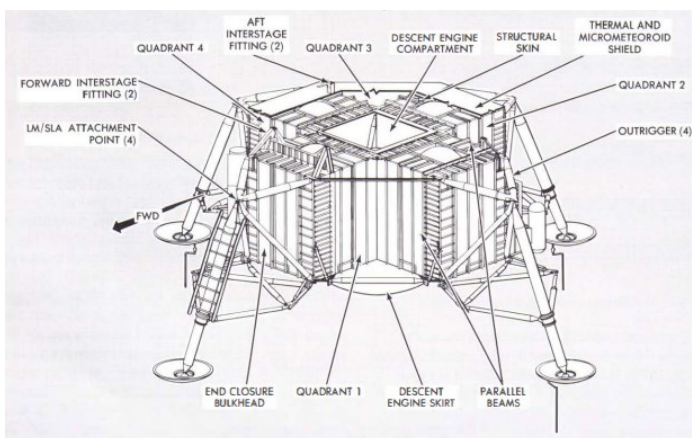
Az LM 2 fő részből állt: a leszálló (descent) szerkezetből és a felszálló (ascent) szerkezetből



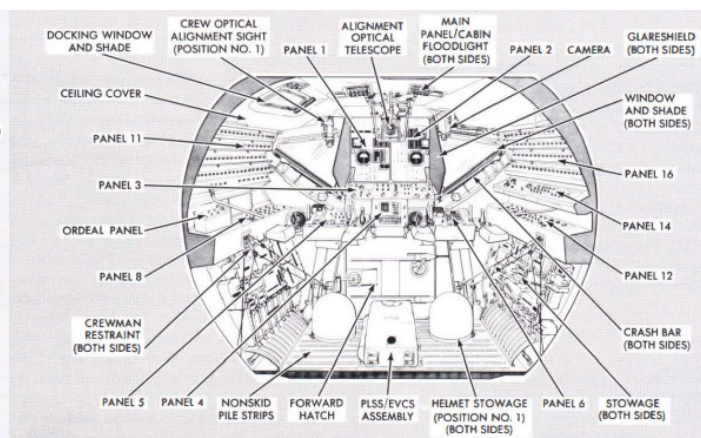
Ábra 6 – A felszálló szerkezet (ascent)³¹



Ábra 8 – Az LM felépítése³²



Ábra 7 – Leszálló szerkezet (descent)³³



Ábra 7 – A leszálló szerkezet alaprajz³⁴

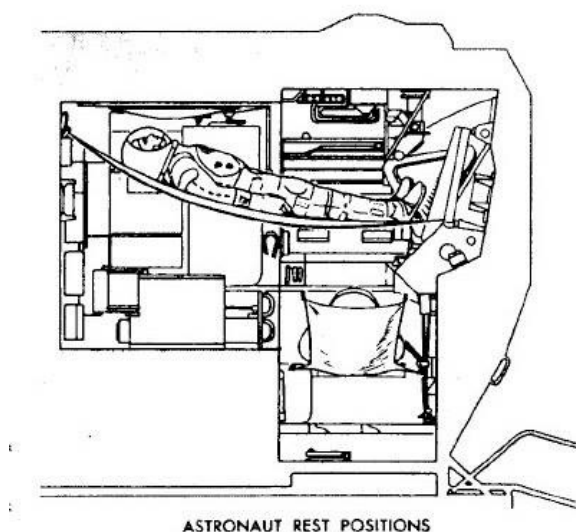
³¹ https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/static/history/alsj/lm04_lunar_module_pplv1-17.pdf (megnyitva: 2024 október)

³² <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/static/history/diagrams/ad002.gif> (megnyitva: 2024 október)

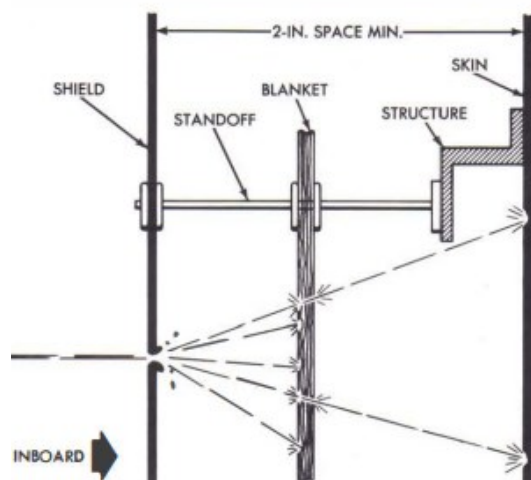
³³ https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/static/history/alsj/lm04_lunar_module_pplv1-17.pdf (megnyitva: 2024 október)

³⁴ ibidem

A leszálló szerkezetnek oktagon alaprajzú formája volt. 4 dobozolt szerkezet, mely az üzemanyagot foglalta magába, közre fogta a középen elhelyezett motorteret, mely az ötödik dobozolt szerkezetet alkotta. Az így kialakult kereszt forma sarkait össze kötve alakult ki az oktagon forma. Így, a dobozok mellett kis háromszög alakú terek jöttek létre, melyeket kvadránsoknak neveztek, és tárolásra használtak: az első kvadráns általános tárolásra használták, mely az Apollo 15-16-17 misszióknál úgymond, garázzsá alakult, mivel itt tárolták a holdautót. A második kvadránsban volt elhelyezve a kísérleti csomag és víztartály. A harmadik kvadráns tartalmazott egy oxigén és egy hélium tartályt, valamint speciális tükröt, melyek ma is a Hold felszínén találhatóak, és lehetővé teszik, hogy a Föld és a Hold között lézersugarakat közvetítsenek. A negyedik kvadráns tartalmazott több eszközt, mint például azt a kamerát, amivel a felvételek készültek a Holdon. A lábak, 4 db., a fő szerkezethez csatlakoznak, vagyis az eldobozolásokhoz. Az egyik lábon található a létra. Az LM-nek ez a része be volt vonva 25 réteg arany színű alumínium bevonatú mylar fóliával, mely a hőszigetelést biztosította, hogy az itt elhelyezett elemek, tartályok eszközök a nagy hőmérsékletingadozások miatt ne forrjanak fel, illetve ne fagyjanak meg.³⁵³⁶³⁷



Ábra 8 – Az űrhajósok alvó pozíciója³⁸



Ábra 9 – Burkolat a mikrometeoroides elleni védelemre³⁹

Megtudtuk, hogy a leszálló rész főként a tárolást, a leszálláshoz szükséges tartályokat, motort, azaz gépészetet tartalmazott, valamint a szintkülönbség áthidalását a létra segítségével.

³⁵ https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/static/history/alsj/lm04_lunar_module_pplv1-17.pdf (megnyitva: 2024 október)

³⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=oX8-IXdABuc&t=372s> (megnyitva: 2024 október)

³⁷ <https://www.nasa.gov/history/diagrams/apollo.html> (megnyitva: 2024 október)

³⁸ <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/03/apollo-lunar-lander-technical-brief-ochmo.pdf> (megnyitva: 2024 október)

³⁹ https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/static/history/alsj/lm04_lunar_module_pplv1-17.pdf (megnyitva: 2024 október)

Ezzel ellentétben, a **felszálló szerkezetnek** kívülről egy bonyolultabb formája van, az elhelyezett tartályok és elemek miatt, viszont ez a rész normális nyomás alatti helyiséget tartalmaz, ahol az űrhajósok levehették űrruhájukat. A felszálló szerkezetnek két fő belső tere volt: elől helyezkedett el a csapatfülke, vagy irányító fülke, ahol két űrhajós irányíthatta az LM-et. Itt volt elhelyezve két oldalt a két kilátó nyílás, ablak és a leszállás utáni ki-be járható nyílás, azaz az építmény bejárata a Holdon. A csapatfülke mögött volt a középső rész. Ez a két helyiség egységes teret alkotott, viszont különböző formákat és funkciókat foglalt magába. A középső rész volt, ahol az űrhajósok függőágyakon aludtak. Középen volt elhelyezve a felszálláshoz szükséges szerkezet, felette meg a csatlakozó nyílás, mellyel a hold pályája körüli műszaki egységhez tudnak csatlakozni. Több eszköz, volt a középső részben még elhelyezve.

Az LM alapszerkezetére volt elhelyezve az arany színű alumínium bevonatú mylar fólia, ami a hőszigetelést biztosította, ez előtt, meg egy vékony alumínium panel volt elhelyezve, a mikrometeorideső védelem biztosítására. Ezzel a rétegrenddel az a mikrometeorid, mely elérte az alapszerkezetet, jelentéktelen hatással volt az LM-re.

Az LM lakható térfogata $4,5 \text{ m}^3$ volt, belmagassága 2,34 m, alvó területen 1,5 m. A bejárat mérete 80x80 cm-es négyzet alakú nyílás volt.

Műszaki adatok ⁴⁰	LM	Leszálló rész	Felszálló rész
térfogat	$6,65 \text{ m}^3$		$6,65 \text{ m}^3$, $4,5 \text{ m}^3$ (lakható)
belmagasság	2,33 m		2,33-1,5 m (közép rész)
befoglaló méretek	Átmérő: 9,45 m	4 m	4,3 m
építménymagasság	7 m	3 m	4 m
szintek száma	2	1	1
szerkezete	alapszerkezet alumínium ötvözet		
hőszigetelése	25 réteg arany színű alumínium bevonatú mylar fólia		
burkolata	alumínium panel Inconel fóliával, táblával, lemezzel burkolva		
ablakok	2 db. $2 \times 0,2 \text{ m}^2$		
helyiségek	Tárolás, irányító fülke, középső rész tárolásra, alvásra, gépészeti terek		

⁴⁰ https://www.hq.nasa.gov/pao/History/SP-4029/Apollo_18-13_Launch_Vehicle-Spacecraft_Key_Facts.htm
(megnyitva: 2024 október)

Elmondhatjuk, hogy a múltban a lehető legkisebb hely, súly és méretek kialakításával született meg az első építmény a Holdon. A meghatározó szempont az volt, hogy emberek rövid időre eljussanak a Holdra és vissza is térjenek a Földre. Az építmények a Földről lettek a Holdra szállítva, és sosem tértek vissza, vagy maradtak épen, sosem lehetett őket újból alkalmazni, felhasználni. Egyszeri használatra alkalmas, kész építmények voltak. Ez volt az akkori koncepció.

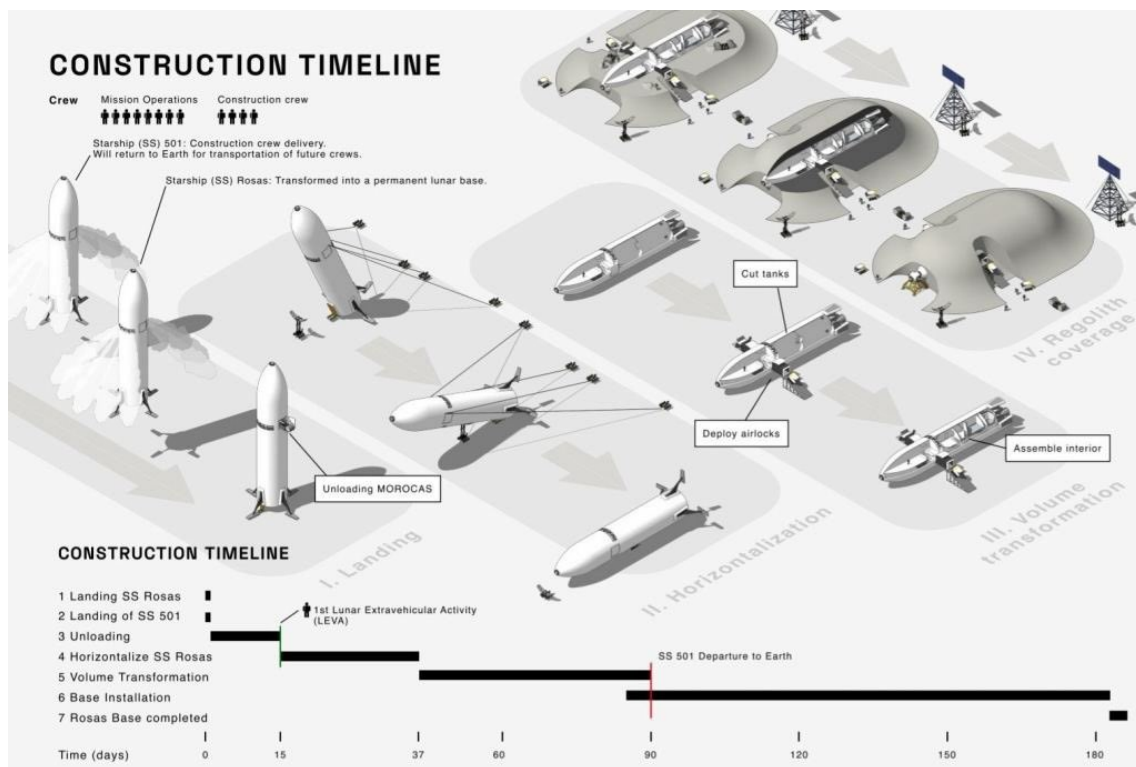
Jövő

A jövő építményei a Holdon eltérő koncepció szerint lesznek kialakítva, létre hozva. A tervek szerint, ezek az építmények hosszabb tartózkodásra kell alkalmasak legyenek, így méretben és szerkezetben is eltérőek lesznek, újabb technológiákat alkalmazva és több kutatási eredményt figyelembe véve, viszont ugyanúgy meg kell feleljenek a holdi körülményeknek.

Az újabb felbuzdulás a Hold és űr kutatásában, ahol emberek látogathatnak el a Holdra, egyre több projektet és kutatást eredményez, melyről értesülhetünk a hírekből, olvashatunk tudományos cikkekben. A versengés újból nő és az emberi határokat feszegeti, jobbnál-jobb szerkezeteket, gépeket kialakítva. A jövőbeli építményekről nem találtam pontos terveket. Mivel a jövő bizonytalan, általánosságban tudunk ezekről a tervekről beszélni, melyeknél a változás az állandó.

- A NASA ezeket Artemis misszióknak nevezi. Az Artemis III misszió belül, melynek indítását 2026 szeptemberére tervezik, újabb emberi látogatókat küldd a Holdra. A NASA a SpaceX céggel közösen tervezi a HLS (Human Landing System) nevű emberi holdra szállás rendszert, vagyis azt az új építményt, mely biztosítani fogja a hosszabb emberi tartózkodást a Holdon. Az eddigi tervek szerint a SpaceX holdi modulja, egy 50x9 m-es rakéta formájú űrhajó, mely első fázisában még függőleges állapotban van, majd leborításra kerül és vízszintes állapotát 5m vastag hold földdel fogja betakarni. Így biztosítva van a Holdi körülmények elleni védelm. Ez is egy Földről a Holdra szállított építmény lesz, mely kiegészül a holdi anyagburkolattal.⁴¹

⁴¹ <https://www.nextbigfuture.com/2024/01/180-days-for-a-spacex-starship-moonbase.html> (megnyitva: 2024 október)

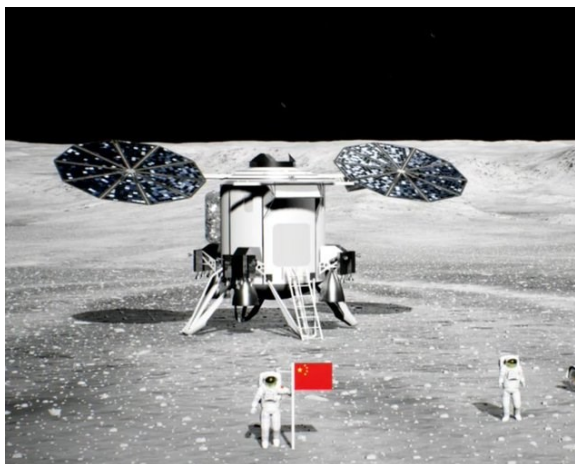


Ábra 10 – A SpaceX és NASA terve a holdi modul felborításával és beborításával létrehozott építményre a Holdon⁴²

- Kínában a missziókat Change-eknek (változás) nevezik. Ők 2030-ban terveznek űrhajósokat a holdra szállítani és a Lanyue (a Holdat átölelni) lesz az ideiglenes építmény a Holdon. Formája egyszerű, jelentősen kisebb, mint a NASA és SpaceX által tervezett holdi építmény. A kínai holdi építmény, mely hosszabb lakhatást biztosítana, az általuk fejlesztett hold téglából lenne kialakítva, melynek vizsgálata a holdi körülményekre még folyamatban van. A forma itt is egyszerűbb és kisebb, a hold felszínén lenne elhelyezve. A holdi téglák lehetőségén kívül a szerkezet 3D nyomtatásának lehetőségét is vizsgálják, meg a holdi lávacsövek vizsgálatát, hasznosítását és beépítését.⁴³

⁴² <https://www.nextbigfuture.com/2024/01/180-days-for-a-spacex-starship-moonbase.html> (megnyitva: 2024 október)

⁴³ <https://www.youtube.com/watch?v=jLX6HNgcOk0&t=36s> (megnyitva: 2024 október)



Ábra 11 – Lanyue látványterve a Holdon⁴⁴



Ábra 12 – Hold téglából épített építmény látványterve a Holdon⁴⁵

- Az Európai Űrügynökség a brit Hassell építész stúdióval közösen fejlesztett ki egy tervet a jövő holdbázisára, mely a Hold földjébe süllyesztve, felfújható, bővíthető szerkezetekből áll, holdföldből alkotott héjszerkezettel burkolva. Ez a héjszerkezet azonos formájú elemek egymásra halmozódásából jön létre.⁴⁶



Ábra 13 – Moduláris építmények a Holdon ESA és Hassell terve⁴⁷



Ábra 14 – ESA és Foster + Partners 3D nyomtatott építményének terve a Holdon⁴⁸

Ezek azok a tervek, amelyek a jelenlegi hírek alapján fognak megvalósulni. Ezen kívül több más tervet is találunk az interneten, melyet építészek versenyekre, pályázatokra vagy éppen saját motivációból készítettek el egy nagyobb cél érdekében. Az alapötlet mindenhol ugyanaz.

⁴⁴ <https://jatan.space/tag/china-and-luna/> (megnyitva: 2024 október)

⁴⁵ <https://www.youtube.com/watch?v=jLX6HNgCOK0&t=36s> (megnyitva: 2024 október)

⁴⁶ <https://www.hassellstudio.com/project/lunar-master-plan-moon-base-for-the-european-space-agency> (megnyitva: 2024 október)

⁴⁷ ibidem

⁴⁸ <https://www.fosterandpartners.com/projects/lunar-habitation> (megnyitva: 2024 október)

Hosszabb tartózkodás érdekében, minél több, a helyszínen kialakított, helyi anyagokból a legcélszerűbb építkezni, még a Holdon is. Ezek kialakítása főként 2 részre oszlik:

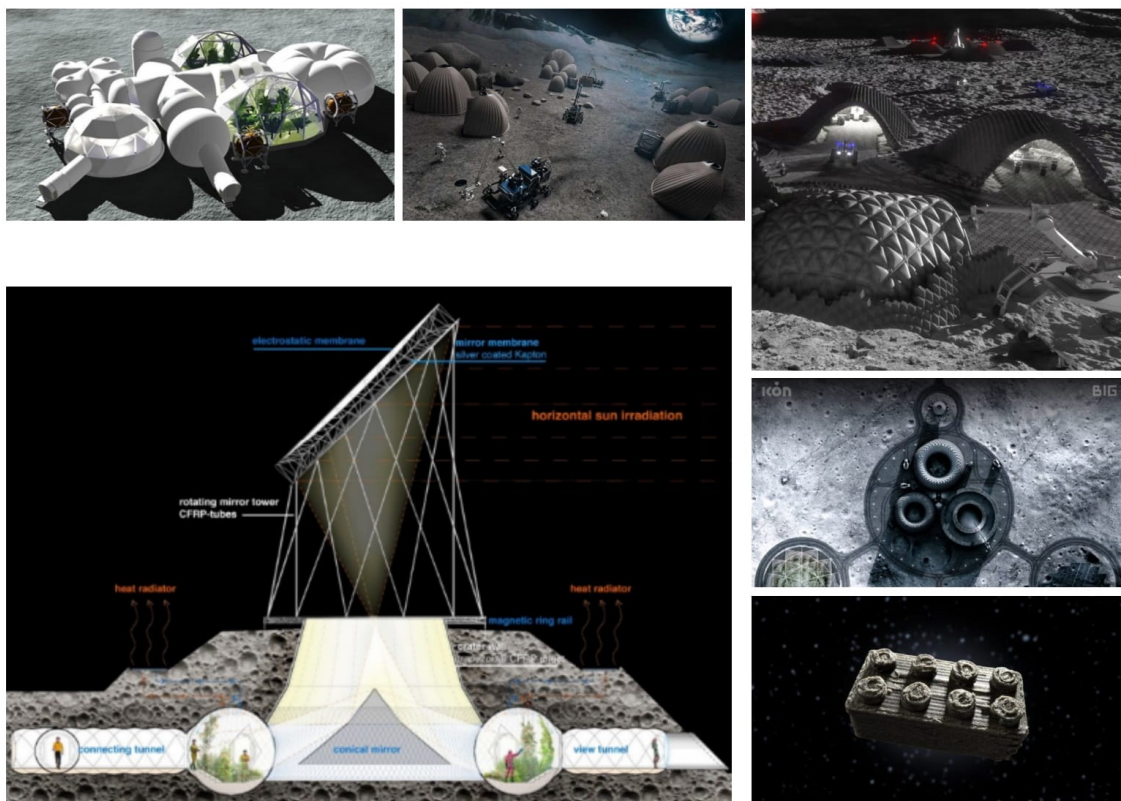
- föld alatti építmények
- föld felszínén elhelyezett építmények

A föld alatti építmények több munkát igényelnek, nehezebb a kialakításuk, ha olyan helyre szeretnénk telepíteni, ahol ez a meglévő környezet módosításával jár, viszont több védelmet biztosít.

A föld feletti építmények flexibilisebbek, könnyebben kialakíthatóak, a védelem biztosításáról mindenképp gondoskodni kell, amit a helyi holdi talaj tud biztosítani.

Szerkezet kialakításának módjai:

- Meglévő hold modul felhasználása
- 3D nyomtatás
- Holdi téglák használata
- Felfújható szerkezet
- Holdi talaj alkalmazása védőréteggént



Ábra 15 – Holdi lakhatásra kialakított tervek⁴⁹

⁴⁹ <https://spacesettlementprogress.com/progress-on-inflatable-lunar-habitats/> (megnyitva: 2024 november)

A fentebb említett módszerek merültek fel a Holdon elhelyezett építmények szerkezeteinek kialakításával kapcsolatban, illetve kombinációjuk. Ezekkel a szerkezetekkel kísérleteztek vagy éppen kísérleteznek a mai napon is, hogy helyszíntől, körülménytől függően, melyik a legalkalmasabb. A felfújható szerkezetekkel még az 1960-as években kísérletezett a NASA.⁵⁰ A 3D nyomtatás később került szóba, mely az 1980-as évektől kezdődően folyamatosan fejlődött, míg olyan méreteket értek el, hogy épületek nyomtatására is alkalmasak.⁵¹⁵² Az Európai Űrügynökség és a Foster + Partners építésziroda, közös erővel fejlesztették ki 2013-ban a 3D nyomtatott építmények technológiáját a holdi körülményekhez.⁵³ A hold téglája a legújabb találmány. Még LEGO formájú hold téglát is fejlesztett a LEGO az Európai Űrügynökséggel közösen.⁵⁴ Sok lehetőség tárul elénk a tudomány jelen állása szerint, de hogy melyik bizonyul megfelelőnek, az a helyszínen fog kiderülni.

A jövőbeli terveknel a hosszú távú tartózkodáson van a hangsúly. Már nem azon versengenek, hogy ki ér újból előbb a Holdra, hanem, hogy ki rendelkezik fejlettebb, fenttarthatóbb, ellenállóbb, a holdi körülményekhez alkalmazkodó technológiákkal, szerkezetekkel. Fontos szerepet játszik a gyors, egyszerű, könnyed kialakítás, a holdi környezeti hatásoknak való ellenállóképesség és nem utolsósorban a kényelem, az élhetőség, az emberi körülmények megteremtése.

Alapformák és elemzésük

A jövőbeli holdbázisok böngészése során, két alapformára tudnánk leszűkíteni a tervezett építményeket.

-egy alacsonyabb, félgömb forma, melyet dombnak is lehet nevezni és

- egy magasabb, kerekített termesztő szerű forma

A domb forma kevesebb szintet foglal magába, míg a termesztő forma ugyanazon a területen, több szintet is be tud fogadni. A továbbiakban ezt a két formát fogom elemezni, főként abból a szempontból, hogy melyik felel meg inkább a holdi körülményeknek és a hosszabb emberi lakhatásnak.

<https://newatlas.com/3d-printing/bjarke-ingels-group-project-olympus/> (megnyitva: 2024 november)

<https://link.springer.com/article/10.1007/s44223-022-00014-9/figures/1> (megnyitva: 2024 november)

<https://newatlas.com/lunar-bricks-energy-storage/60675/> (megnyitva: 2024 november)

⁵⁰ <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20190001443/downloads/20190001443.pdf> (megnyitva: 2024 november)

⁵¹ <https://room.eu.com/article/design-architecture-for-3d-printing-a-lunar-habitat> (megnyitva: 2024 november)

⁵² <https://ultimaker.com/learn/the-complete-history-of-3d-printing/> (megnyitva: 2024 november)

⁵³ https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Building_a_lunar_base_with_3D_printing (megnyitva: 2024 november)

⁵⁴ <https://www.dezeen.com/2024/07/04/european-space-agency-esa-lego-space-brick-moon/> (megnyitva: 2024 november)

Elemzés

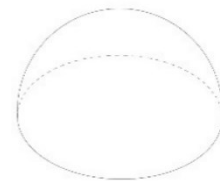
Amint már említettük, a Holdon más körülmények uralkodnak, mint a Földön. Meg kell felelni az extrém hőingadozásoknak, mikrometeorid esőnek és különböző sugárzásoknak, valamint ott van az alacsony gravitációs érték. Például: Hogyan befolyásolja a forma a mikrometeoridok viselkedését? Melyik forma van jobban kitéve ezek káros hatására? Ezeket a tényezőket figyelembe véve, alakult ki elemzésem.

A tervekben való elmélyedés során feltűnt az is, hogy az építmények minimális nyílással rendelkeznek. Szükségünk van a külső térrel való kapcsolatra és a természetes fényre. A nyílások a belső tereket jelentősen emberibbé tennék, emiatt a nyílások hatása a szerkezeti formákra is egy elemzett szempont. A nyílásoknak két különböző formáját elemzem: kör alakú nyílások, négyzet alakú nyílások. Mindegyik nyílásnál három állapotot elemzek: zárt, gyéren elhelyezett nyílások, sűrűn elhelyezett nyílások. A nyílások bár formailag különböznek, méretben hasonlóak. A kör alakú nyílások 1 m átmérőjűek, a négyzet alakú nyílások 1x1 m-es mérettel rendelkeznek. Így megtudhatjuk, hogy milyen hatással vannak a nyílások a szerkezetekre, formákra.

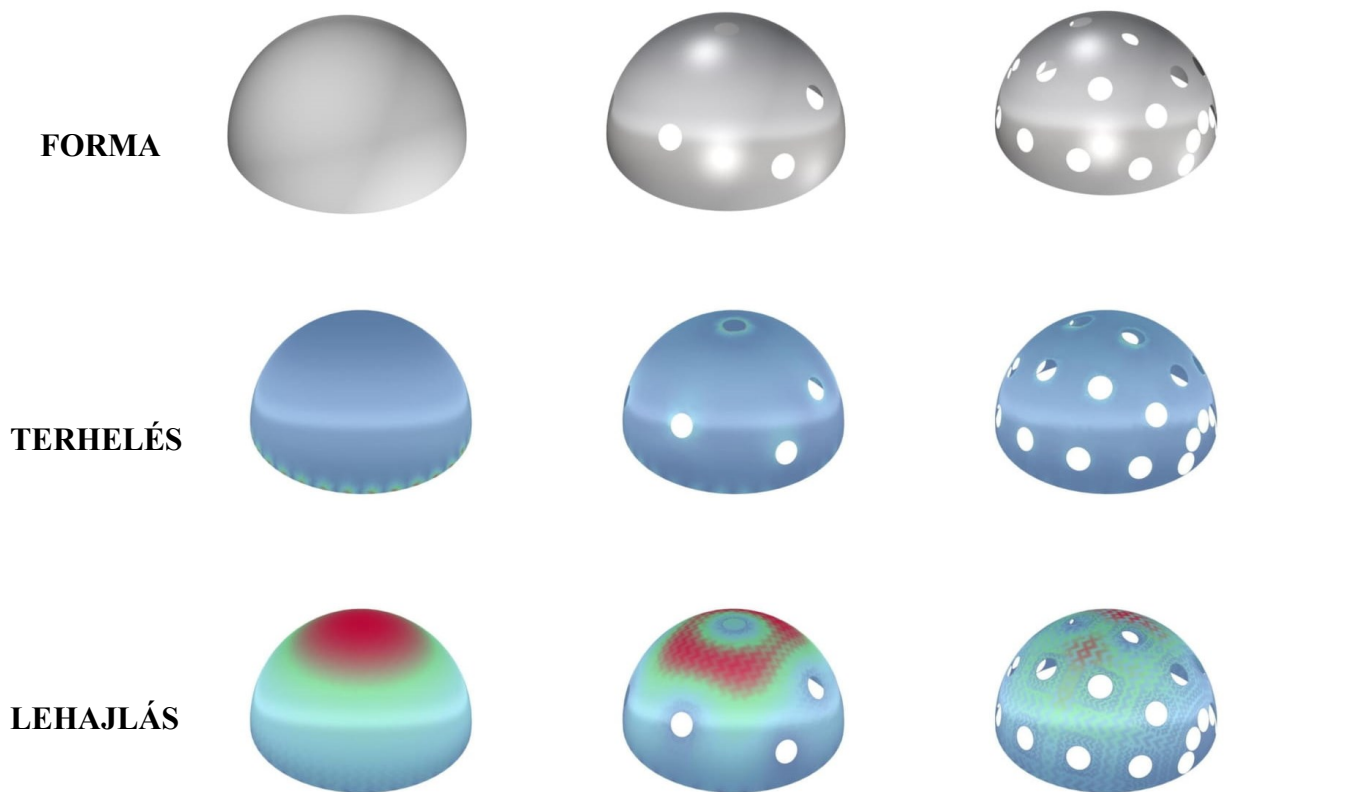
A két elemzett forma területe azonos, mely egy 10 m-es átmérőjű kör. Magasságuk, eltérő: a domb forma magassága 5 m, a termesztár forma magassága 15 m. A nyílások darabszáma, minden elemzett nyílássűrűségnél azonos, a jobb összehasonlítás érdekében.

Alacsonyabb szerkezet elemzése – domb

A domb formák főként a holdi talajjal betakart, leburkolt szerkezetek, viszont alkalmasak 3D nyomtatással létre hozott-, valamint felfűjt szerkezetekhez is. Így megfelelnek úgy a föld alatti, mint a föld feletti építmények kialakítására.



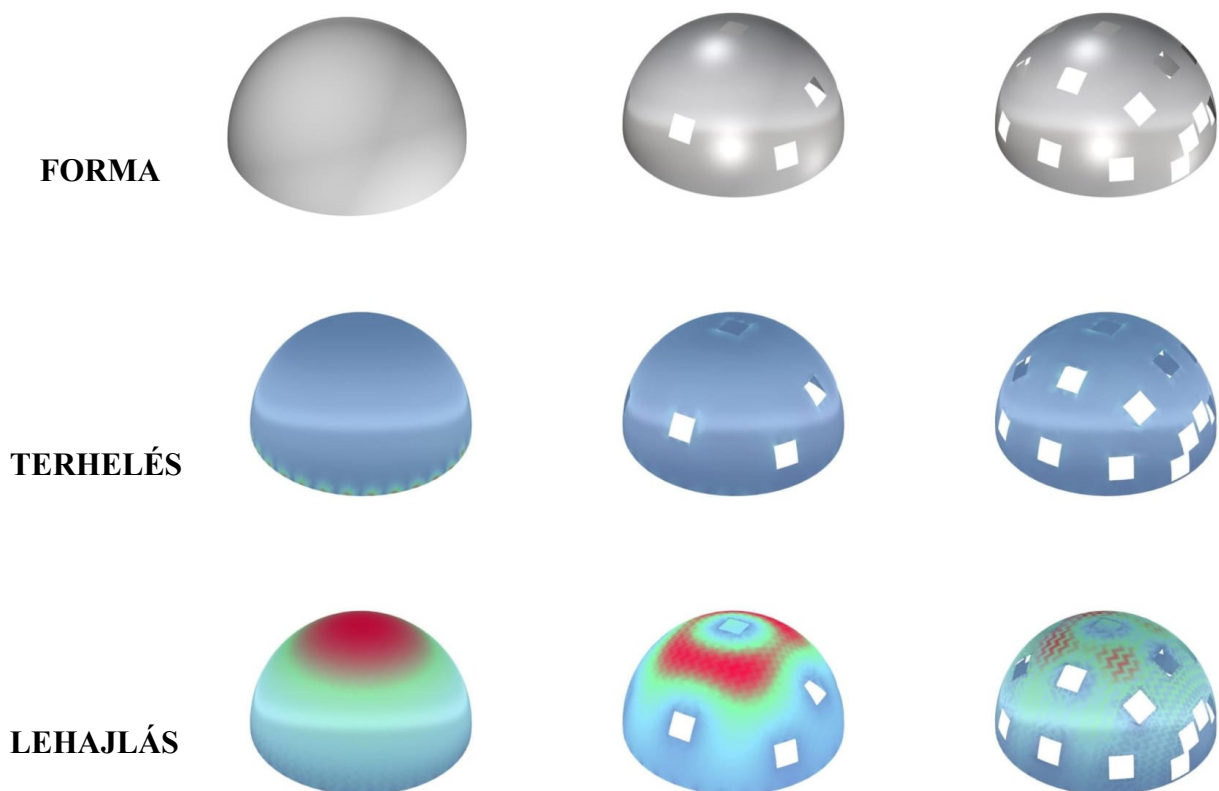
○ Kör alakú nyílások



Műszaki adatok

alapterület	78,54 m ²		
belmagasság	5 m		
forma, alap	10 m átmérőjű kör alapforma, 5 m magas félgömb forma		
térfogat	261,80 m ³		
szintek száma	1, max. 2 szint		
nyílások mérete	1 m átmérőjű kör		
Forma	Zárt	Gyér nyílások	Sűrű nyílások
nyílások száma	0	9 db.	25 db.
terhelés	1,62 m/s ²	1,62 m/s ²	1,62 m/s ²
lehajlás	0,000024 m	8,9409e-6 m	5,6397e-6 m

□ Négyzet alakú nyílások



Min.  Max.

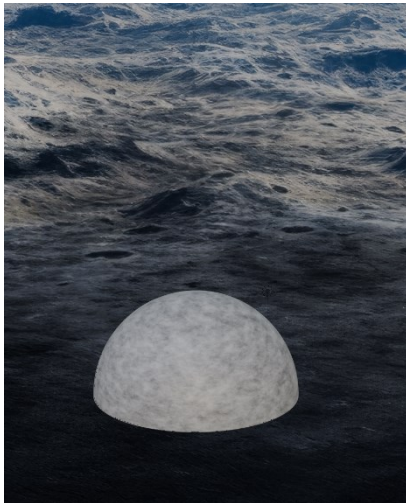
Műszaki adatok

alapterület	78,54 m ²		
belmagasság	5 m		
forma, alap	10 m átmérőjű kör alapforma, 5 m magas félgömb forma		
térfogat	261,80 m ³		
szintek száma	1, max. 2 szint		
nyílások mérete	1x1 m-es négyzet		
Forma	Zárt	Gyér nyílások	Sűrű nyílások
nyílások száma	0	9 db.	25 db.
terhelés	1,62 m/s ²	1,62 m/s ²	1,62 m/s ²
lehajlás	0,000024 m	8,5817e-6 m	5,111e-6 m

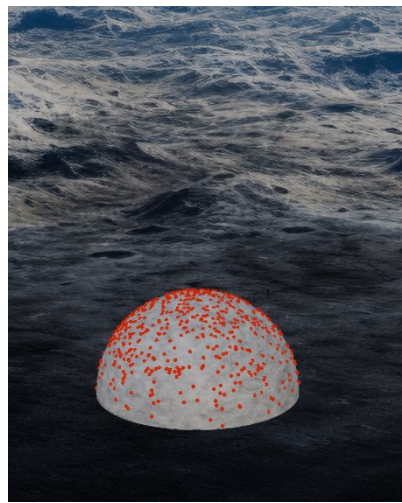
Az elemzésből látszik, hogy a nyílások formája a terhelést nem befolyásolja meghatározó módon, szétszóródik a nyílások körül. A lehajlás szempontjából már találunk eltéréseket. A kör alakú nyílások a domb formába helyezve nagyobb lehajlást eredményeznek, mint a négyzet alakú nyílások.

Mikrometeorideső ellenállása

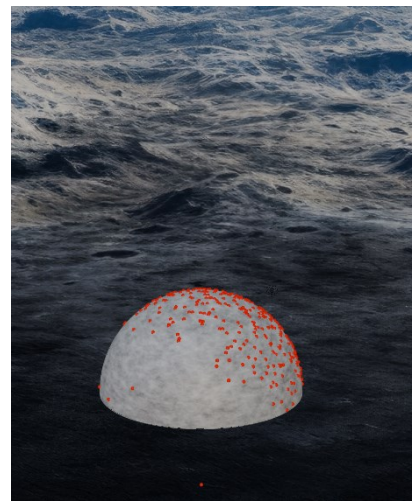
Ennél az elemzésnél a blender nevű programban szimuláltam a mikrometeoridok becsapódását a Holdon. Beállítottam a holdi gravitációt, mely $1,62 \text{ m/s}^2$ és meghatároztam a mikrometeoridok paramétereit: sebesség 20 km/s , súly 3 g , mérete 1 cm (a jó megjelenítés érdekében). Megvizsgáltam, hogy a domb formára milyen hatással lehet egy ilyen mikrometeorideső, ha fentről esik rá, vagy ha oldalról éri a formát a becsapódások. Ezt úgy mutattam ki, hogy azok a mikrometeoridok, melyek a forma felületét érték, rajta maradtak a felületen, így a pirossal jelölt pontok a mikrometeoridok becsapódási helyét jelölik.



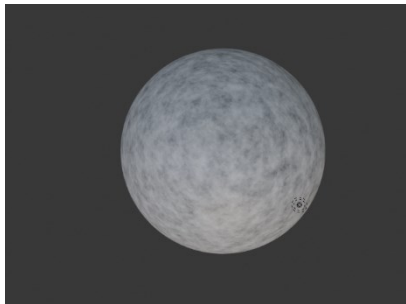
A forma oldalról nézve



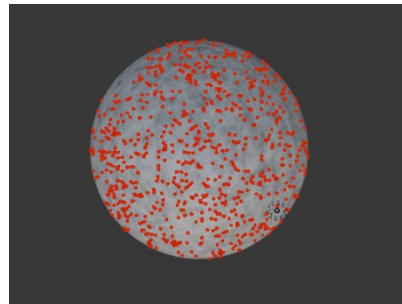
Felülről becsap. mikrometeoridok



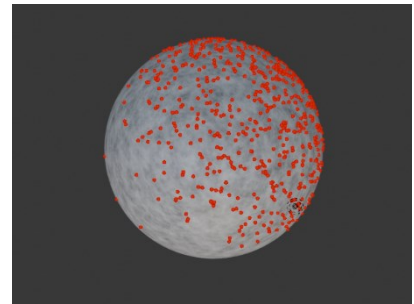
Oldalról becsapódó mikro.



A forma fentről nézve



Felülről becsap. mikrometeoridok



Oldalról becsapódó mikro.

A mikrometeorideső szimulációból látható, hogy a domb forma közel teljes felülete ki van téve a mikrometeorid becsapódásoknak. Ennél a formánál a teljes felületen számít a védelem.

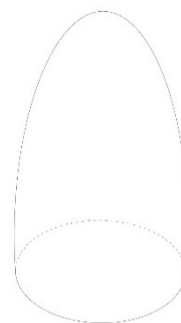
Más környezeti tényező

A sugárzások és a napszél ellenállóképessége az anyag használatától, burkolattól, szerkezet típusától függ, ezért nem foglaltam bele elemzésembe. Megjelent az a terv is, hogy

mesterségesen hoznának létre mágneses teret, ahol arra szükség van.⁵⁵ Így akár kiegészítő gépekkel is megoldható lenne a sugárzások elleni védelem.

Magasabb szerkezet elemzése – természetvár

A természetvár forma főként a föld felszínén létrehozott építményeknek felel meg. 3D nyomtatással, holdi téglával kialakítva, vagy akár a Földről szállított holdi modulból kialakított szerkezetekhez alkalmazható.



○ Kör alakú nyílások

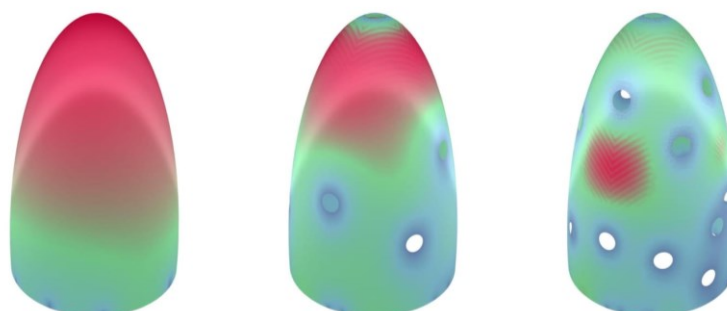
FORMA



TERHELÉS



LEHAJLÁS



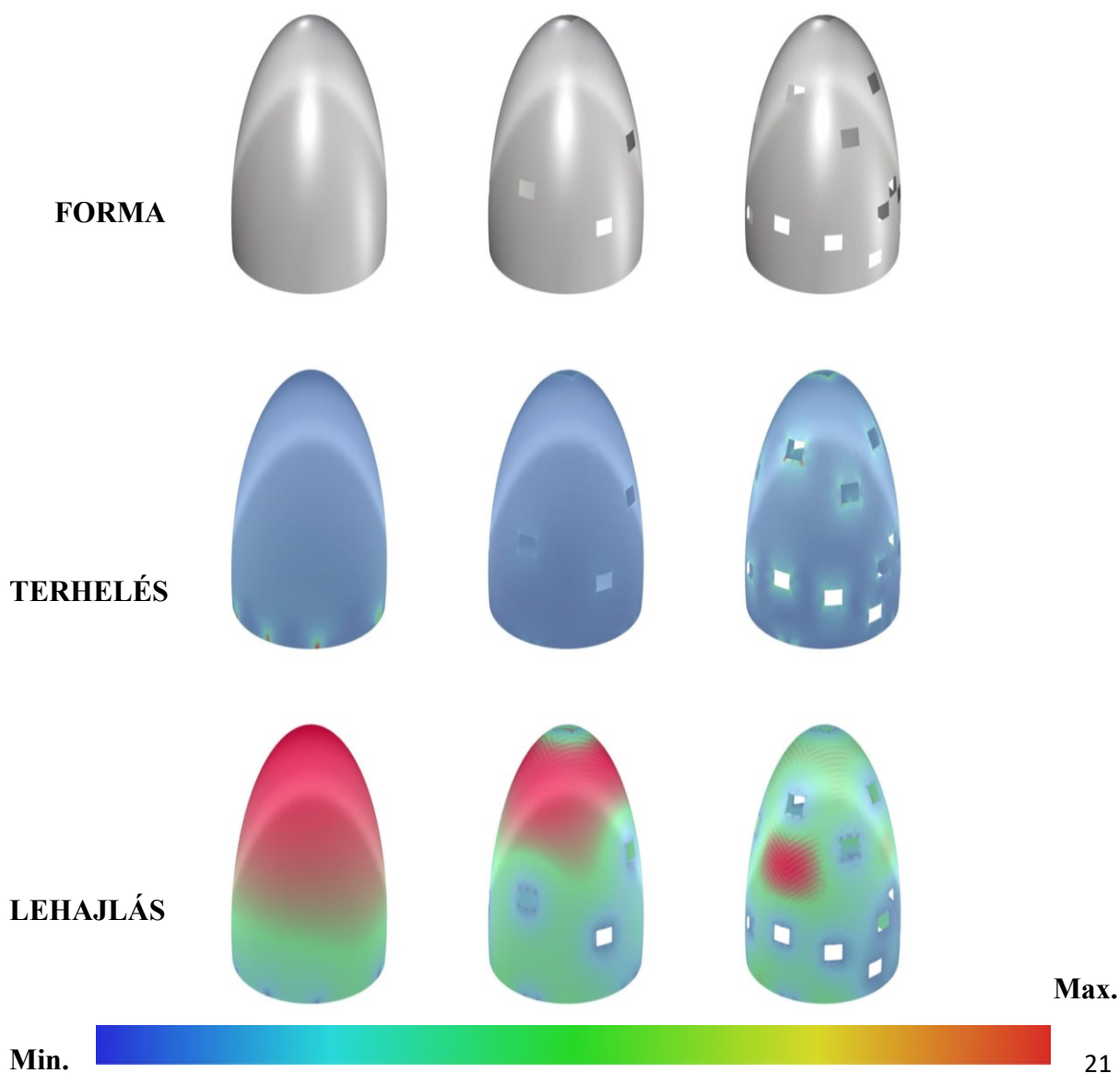
Min.  Max.

⁵⁵ <https://www.leonarddavid.com/mars-moon-dwellings-artificial-magnetic-fields-protect-settlers/> (megnyitva: 2024 november)

Műszaki adatok

alapterület	78,54 m ²		
belmagasság	15 m		
forma, alap	10 m átmérőjű kör alapforma, 15 m magas kerekített kúp forma		
térfogat	693,84 m ³		
szintek száma	Kb. 4 szint		
nyílások mérete	1 m átmérőjű kör		
Forma	Zárt	Gyér nyílások	Sűrű nyílások
nyílások száma	0	9 db.	25 db.
terhelés	1,62 m/s ²	1,62 m/s ²	1,62 m/s ²
lehajlás	0,0002 m	0,000015 m	6,3125e-6 m

□ Négyzet alakú nyílások



Műszaki adatok

alapterület	78,54 m ²		
belmagasság	15 m		
forma, alap	10 m átmérőjű kör alapforma, 15 m magas kerekített kúp forma		
térfogat	693,84 m ³		
szintek száma	Kb. 4 szint		
nyílások mérete	1x1 m-es négyzet		
Forma	Zárt	Gyér nyílások	Sűrű nyílások
nyílások száma	0	9 db.	25 db.
terhelés	1,62 m/s ²	1,62 m/s ²	1,62 m/s ²
lehajlás	0,0002 m	0,000015 m	6,3437e-6 m

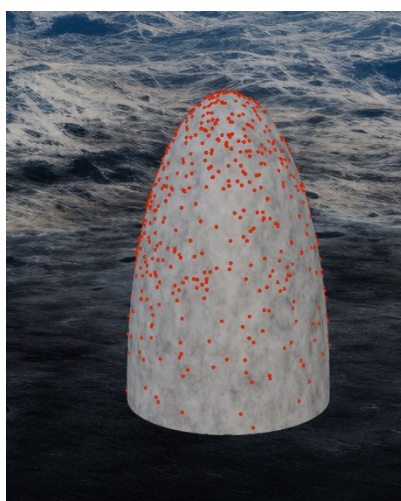
Az elemzésből látszik, hogy a nyílások formája a terhelést nem befolyásolja meghatározó módon, szétszóródik a nyílások körül. A lehajlás szempontjából a kevés nyílással rendelkező forma, mindkét nyílásalnál ugyanolyan lehajlást eredményez, viszont a sűrűn elhelyezett nyílásoknál már találunk eltéréseket. A négyzet alakú nyílások a természetes formába helyezve nagyobb lehajlást eredményeznek, mint a kör alakú nyílások.

Mikrometeorideső ellenállása

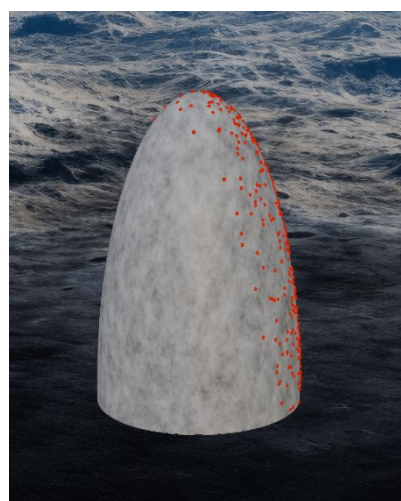
Az elemzés módja ugyanaz, mint az előző formánál, csak az elemzett forma különbözik. Tehát a blender nevű programban szimuláltam a mikrometeoridok becsapódását a Holdon. Beállítottam a holdi gravitációt, mely 1,62 m/s² és meghatároztam a mikrometeoridok paramétereit: sebesség 20 km/s, súly 3 g, mérete 1 cm. Megvizsgáltam, hogy a domb formára milyen hatással lehet egy ilyen mikrometeorideső, ha fentről esik rá, vagy ha oldalról éri a formát a becsapódások. Ezt úgy mutattam ki, hogy azok a mikrometeoridok, melyek a forma felületét érték, rajta maradtak a felületen, így a pirossal jelölt pontok a mikrometeoridok becsapódási helyét jelölik.



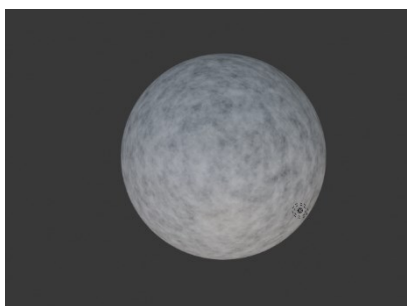
A forma oldalról nézve



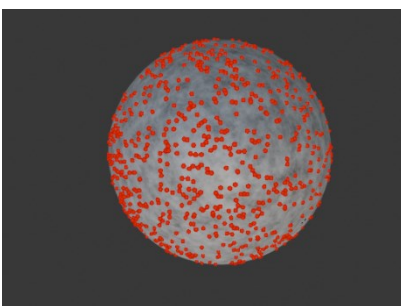
Felülről becsap. mikrometeoridok



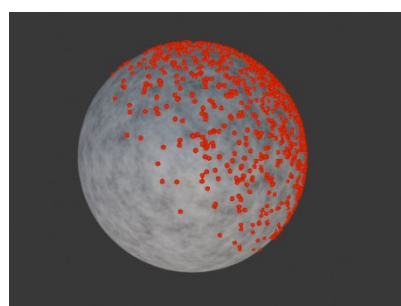
Oldalról becsapódó mikro.



A forma fentről nézve



Felülről becsap. mikrometeoridok



Oldalról becsapódó mikro.

A szimulációból kiderül, hogy a termesztő forma az a része, mely közelebb esik a becsapódások irányához, több becsapódásnak van kitéve, mint a többi része. A fentről becsapódó mikrometeoridok a forma felületének felső részét éri jobban, az alsó része kevésbé van kitéve a becsapódásoknak. Az oldalról érkező becsapódásoknál a forma védelmet nyújt, így a fél felületet nem éri becsapódás. A védelemről, ebben az esetben is, teljes felületen gondoskodni kell.

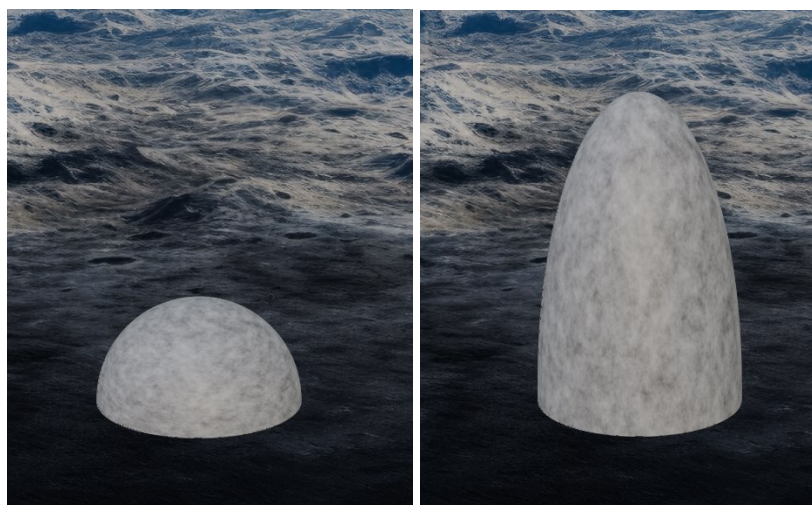
Más környezeti tényező

A sugárzások és a napszél ellenállóképessége az anyag használatától, burkolattól, szerkezet típusától függ, ezért nem foglaltam bele elemzésembe. Megjelent az a terv is, hogy mesterségesen hoznának létre mágneses teret, ahol arra szükség van.⁵⁶ Így akár kiegészítő gépekkel is megoldható lenne a sugárzások elleni védelem.

⁵⁶ <https://www.leonarddavid.com/mars-moon-dwellings-artificial-magnetic-fields-protect-settlers/> (megnyitva: 2024 november)

Összehasonlítás

Az elemzés után a két alapforma összehasonlítása által jobban megmutatkoznak ezek előnyei és hátrányai. A domb forma lehajlása a Holdon jobb eredményt ért el. Erre a formára a négyzet alakú nyílások alkalmasabbak. A mikrometeoroideső a forma teljes felületét érinti, viszont elhelyezhető a föld alatt, a földbe süllyesztve és a föld felszínén is. Erre a formára alkalmazhatóak a felfújható-, a 3D nyomtatással létrehozott – és a holdi talajjal beborított szerkezet típusok. A termeszvár forma lehajlása rosszabb, a domb formához képest. Erre a formára a kör alakú nyílások ajánlottak. A mikrometeoroideső viszont a felület 50%-át érinti. Ezt a formát alkalmasabb a föld felszínén elhelyezni. A termeszvár formához alkalmazható szerkezet típus lehet itt is a 3D nyomtatás, mint a domb formánál, a hold téglá vagy az átalakított meglévő hold modul. Még elmondható az is, hogy ugyanazon az alapterületen a termeszvár forma több szintet magába tud foglalni, mint a domb forma. A táblázatban jelöltem azt a tulajdonságot, jellemzőt a két forma közül, amelyik jobbnak minősül. Így a plusz pontok száma alapján kimutatható, hogy melyik forma felel meg jobban a holdi körülményeknek. A pontok alapján látszik, hogy a két szerkezet egyenlő pontszámmal rendelkezik.



Műszaki adatok	Domb (3+)	Termeszvár (3+)
alapterület	78,54 m ²	78,54 m ²
belmagasság	5 m	15 m
térfogat	261,80 m ³	693,84 m ³
szintek száma	Max. 2 szint	Kb. 4 szint (+)
terhelés	1,62 m/s ²	1,62 m/s ²
lehajlás	0,000024 m (+)	0,0002 m
megfelelő nyílás forma	négyzet	kör

mikrometeoroideső hatása	teljes felületet érinti	A felület 50%-a érintett (+)
elhelyezés	föld alatt, föld felszínén (+)	föld felszínén
szerkezet típus	3D nyomtatás (+)	3D nyomtatás (+)
	felfűjható szerkezet	hold téglá
	holdi talajjal való beborítás	meglévő hold modul

Következtetés

Az elemzésből kiderül, hogy egyik formára sem lehet egyértelműen rá mondani, hogy jobban megfelel a holdi körülményeknek, mint a másik. Mindkettő alkalmazható a holdi körülményekben. A természetvár forma építése magassága miatt talán több időt vehet igénybe, de ez függ az alkalmazott szerkezet típustól, technológiától is. Ugyanakkor, több helyet nyújt ugyanazon az alapterületen. Mindkét formának megvannak az előnyei és hátrányai. Fontos figyelembe venni a szerkezet típust, az anyaghasználatot és a helyszínt. A helyszín az elsődleges szempont, mely jelentősen befolyásolja a választást, döntést.

Hatalmas képzelőerőre van szükség, amikor olyan helyre tervezünk, ahova még azelőtt senki, ha egy olyan építményt, szerkezetet szeretnénk létrehozni, amire még nem volt példa. Nem csak a körülmények részletes elemzése, hanem a forgatókönyvek, lehetséges helyzetek vizualizációja, kidolgozása és minden lehetséges problémára megoldást találni, több tudományág összefogását igényli, melynek eredménye egy mérnöki csoda, és életünk, környezetünk, a világűr, a Hold jobb megértése, ahol nem csak a felénk fordított oldalát ismerhetjük meg, hanem azt is, amelyik “távolabb áll tőlünk”. Mai technológiákkal sokkal közelebb vagyunk a holdi épületek kialakítására, mint valaha. A Holdon való letelepedés az első lépés. Innen tovább vezetnek az utak, akár a Marsig, ahol újabb körülményeknek megfelelő építmények kerülnek kialakításra. Közel van a Holdon való építészet történetének folytatása. Elméletekből, álmokból valóságok lesznek. Merjünk álmodni!