

„Munkácsy Tudományos Diákkörök Konferenciája - 2017"

Az emberiség jövője - Terraformálás

DIVIÁNSZKI HENRIK

1. Bevezetés

Az emberek ősidők óta kémlelik a csillagos égboltot. Éjszakáról éjszakára gondolkodtak és gondolkodnak el azon, hogy milyen jó lenne látni, érzékelni, tapasztalni, hogy milyen is a világűr, milyenek a csillagok, bolygók, lehet-e élet valamelyiken, illetve az ember meghódíthatja-e akár csak egy kis részét is a világmindenségnek? Valószínűsíthető, hogy ezek a gondolatok a közeljövőben bizonyítást nem fognak nyerni, a kérdésekre még sokáig nem kaphatunk választ, de fantáziálni róla tudunk, vagy akár szimulálni is tudjuk a megvalósíthatóságát.

A Föld pusztulásának víziója megjelenik mindennapi életünkben. Foglalkoznak vele filmek, könyvek, művészetek, de ami elgondolkodtató, hogy a világ tudósai is demonstrálják a földi létünk végét. A Földön kívüli élet megvalósításának gondolata már évtizedek óta foglalkoztatja az emberiséget. Kutatók százai kelnek fel nap, mint nap azért, hogy megoldást találhassanak és jövőt teremthessenek a következő nemzedékek számára.

Minden ember egyik legnagyobb kívánsága a jövőbe látás lenne, mivel ki ne szeretné tudni a megoldásokat azokra a problémákra, amik jelenleg leküzdhetetlennek látszanak, ki ne szeretné látni, milyen lesz az élet 1000 év múlva, ki ne szeretné látni a végtelent, a számunkra ismeretlen. Az általam feldolgozott téma szerencsére nem része az elképzelhetetlennek, mivel a mi életünk részét is képezni fogják az egyre mélyebb és mélyebb űrbe történő kalandozások. Ezen programok közé tartozik Hawking Slingshot projektje, mely kapcsán az emberiség az univerzum olyan mélységeibe fog eljutni, melyről eddig álmodni sem mert volna. A NASA egyik legfontosabb programjai közé tartozik a Marsra-szállás, melyet a 2030-as években szeretnének megvalósítani. A 2010-es Amerikai nemzeti űrprogramban (U.S. National Space Policy) kiemelték, hogy 2025-re szeretnének egy aszteroidára leszállni. Egy-egy aszteroida teljes kibányászásával évekre elég nyersanyaghoz jutna a Föld. Ezen programok nagyon fontosak az emberiség számára, mivel megoldást nyújthatnak a fogyó energiaforrásokra. Mindezen előrelépések remélhetőleg nem a távoli jövőben, hanem a mi életünk folyamán fognak bekövetkezni.

Dolgozatomban jelenkorom, egyelőre csak elméleti síkú témáját, a terraformálást szeretném bemutatni a kedves olvasónak. Mindazt, ami érdekel és foglalkoztat, amiért képes vagyok még éjszaka is a számítógép előtt ülni és olvasni a legújabb felfedezéseket és téziseket. Szeretném én is keresni a megoldást és jövőt adni az emberek számára. Szeretném megtalálni, hogy melyik az az égitest, ahol a földi létformához hasonló lehetőséget kapnának az emberek a fennmaradásra. Az „Universe Sandbox 2” nevű számítógépes program segítségével meg fogom próbálni szimulálni a terraformálást különböző égitesteken, megvalósítva az elképzelhetlent, vagyis azt hogy hova költözhetnénk.

A ma élő ember életét nem feltétlen fogja a terraformálás érinteni, de egy-két generáció múlva, bizonyára nem lesz elképzelhetetlen. Dolgozatomban utánajárok, hogy a jelenlegi tudásunk alapján a jövő nemzedéke, milyen módon fog tudni egy lakhatatlan bolygót átalakítani.

2. Milyen messzire juthat el az emberiség?

Bizonyára sokunk elgondolkodott már azon, hogy van-e határa terjeszkedésünknek, van-e olyan hely az univerzumban, amit sosem láthatunk, illetve sosem érhetünk el? A válasz sajnos igen, ami számomra felettébb lehangoló. Ha rendelkezésünkre állna az összes sci-fi technológia, akkor is egy áthatolhatatlan csapda közepén vagyunk. Hogy létezhet ez?

A mi otthonunk a Tejútrendszer, amely egy átlagos méretű galaxis a maga 100.000 fényévével (946073077711956100 km). Ez a relatíve kis terület rengeteg égitestet rejt magában, mint például törpebolygókat, különleges ködöket, neutron csillagokat, fekete lyukakat és sok egyéb más érdekességet. A galaxis közepén egy szupermasszív fekete lyuk található (Sagittarius A). Ennek egy csendes ágában foglal helyet a Naprendszer. Ha távolról nézzük, úgy tűnhet, hogy sűrű, égitestekkel teli, de közelebről megvizsgálva látható, hogy a legnagyobb része „üres” tér. A Tejútrendszerben a csillagok közötti átlagos távolság 47 trillió kilométer. Sajnos a jelenlegi technológiával több, mint tízezer év lenne eljutni a legközelebbi csillagig (Proxima Centauri). Természetesen eltekintve a Stephen Hawking ötletétől, (melynek fejlesztését a Facebook tulajdonosa Mark Zuckerberg illetve az Orosz milliárdos Yuri Milner támogat), mely szerint egy nanoszondát Földön lévő lézerek segítségével a fénysebesség ötödére gyorsítanak. Ez azt jelentené, hogy 20 év alatt elérhetnénk az Alpha Centaurit, amely a Proxima Centauri utáni legközelebb csillag hozzánk.



1. kép: A naprendszer (saját ábra)

A Tejútrendszer viszont nincs egyedül. Az Androméda galaxissal és több mint 50 törpe galaxissal együtt alkotják a lokális galaxiscsoportot. Ez csupán 10.000.000 fényév (94607307771195600000 km). A mi galaxiscsoportunk a galaxiscsoportok százai mellett része a Laniakea Szuperhalmaznak. Ha úgy érezte a kedves olvasó, hogy a lokális csoport nagy volt akkor csalódást kell okoznom, mert a mi superclusterünk 500.000.000 fényév átmérőjű. A Laniakea, Virgo és egyéb szuperhalmazok pedig csak egy a millióból részei a számunkra látható univerzumnak.

Tegyük fel, hogy az emberiség leküzdöi a jelenlegi akadályait és egy Hármas típusú civilizáció lesz a Kardashev skála szerint. (Egyes érték = anyabolygójának teljes energiáját fel tudja használni, Kettes érték = saját csillagának teljes energiáját képes felfogni, jelenleg 0.73 az értéke a fejlettségünknek). Ez azt jelentené, hogy teljes irányításunk alatt állna a galaxisunk, a fellelhető összes energiájával együtt. Tegyük fel, hogy feltaláltuk a csillagközi utazás technikáját és minden szükséges feltétel adott, vajon meddig juthatunk el? Nos, a

válasz eléggé elszomorító: a lokális galaxiscsoport lenne a határunk. Ez a számunkra látható univerzum 0.0000000001%-a. Habár kis része az univerzumnak, de a maga 10.000.000 fényévével több, mint elég tér az emberiség számára.

Ahhoz hogy ezt megértsük, nézzük meg milyen az „üres” űr. Amit mi semminek hívunk az űrben valójában nem semmi, hanem részecske és antirészecske ütközés. A részecskék kiszámíthatatlan mozgása illetve random természete miatt ezek sűrűbb és ritkább részekre tagolódnak a téren belül. Ezeket a részeket együtt kvantum ingadozásnak (Quantum Fluctuation) szokás nevezni. Ennek ismeretében térjünk vissza az ősrobbanáshoz. A robbanás során a szingularitásból trillió kilométernyi űr lett 1^{-35} másodperc alatt. Ez azt jelenti, hogy az atomok közötti területek a hihetetlen sebességű tágulás során galaktikus különbségek lettek. Ennek következtében kialakultak a hatalmas űrben sűrűbb és ritkább részek. A tágulás után nem sokkal a gravitációs erő elkezdte összehúzni az űrt, ám nem járt sikerrel csak a kis „sűrű” részekben. Az ilyen űrben alakultak ki a galaxiscsoportok, mivel a gravitáció egy – egy csoportban tudta csak magát érvényesíteni a galaxiscsoportok gravitációnálisan kötöttek, ám a köztük lévő tér nem. Itt jön elő a probléma: De miért nem tudunk egyszerűen csak átmenni a másik közeli galaxiscsoportba? A válasz erre egyszerű, az az infláció, ami az ősrobbanásakor kezdődött és azóta sem állt le – csak jelentősen lelassult. Ezt a tágulást az ún. sötét energia biztosítja és gyorsítja. A sötét anyagról illetve energiáról jelenleg annyit tudunk, hogy hol van és hogy sok van belőle. Mint korábban említettem csak a galaxiscsoporton belüli tér kötött, így a csoportok közti űr folyton tágul. Nagyon sokára a lokális galaxiscsoport lesz az egyedüli dolog az űrben, ami ember számára látható lesz, mivel a sötét energia mindent eltol körülöttünk.

Elviekben elhagyhatnánk a lokális csoportot és utazhatnánk a két „Local group” között, de sosem érnék sehova, mert túl gyorsan tágul az univerzum ahhoz, hogy felvehetnénk vele a versenyt. Miközben az univerzum tágul, a galaxiscsoporton belüli terek egyre szorosabban fognak kötődni. Ennek következtében 3.75 milliárd év múlva a lokális galaxiscsoport egy nagy galaxissá fog egyesülni, aminek a nem túl eredeti „Tejdrómeda” nevet adták.

Egy olyan civilizáció, ami egy Tejdrómeda típusú galaxisban fog élni, sosem lesz képes rá, hogy tanulmányozza az Űrt, mivel olyan messze lesz minden, hogy még fotonok sosem fogják észlelhető frekvencián elérni a galaxist. Ennek az lesz a szomorú következménye számukra, hogy sosem fogják tudni tanulmányozni a kozmikus háttérsugárzást, így sosem tudhatnak meg semmit az ősrobbanásról, az univerzum tágulásáról és még sok egyéb számunkra ismert dologról. De mielőtt még rosszabb következtetéseket vonnánk le, egy civilizációnak egy galaxiscsoport több trillió csillaga bőven elég. Főleg úgy, hogy mi emberek még mindig nem találtunk rá módot, hogy a Naprendszeret elhagyjuk.

3. A Fermi paradoxon

Az olvasó is bizonyára hallotta mennyire különleges körülmények szükségesek egy Földszerű bolygó kialakulásához; megfelelő hőmérséklet és még sok más tényező. A tejútrendszerben 500 milliárd (!) csillag van, ami viszonyításképpen több mint 10.000 csillag minden egyes porszemre a Földön. Ezen tömérdek égitestek közül megközelítőleg 20 milliárd napszerű. Megfigyelések azt bizonyítják, hogy ezen csillagok ötöde rendelkezik földszerű bolygóval a lakható zónában. Ha ezek csak 0.1%-a tartalmazna életet, akkor a tejútrendszerben több mint 1.000.000 bolygó lenne étellel a felszínén. Ez még nem minden, mivel csak a mostani állapotról ejtettünk szót. A Tejútrendszer megközelítőleg 13 milliárd éves, aminek az első 1.5-2 milliárd éve nem volt alkalmas élet kialakítására. Ez azt jelenti,

hogy a Föld kialakulása előtt több mint 5 milliárd év állt rendelkezésre Földszerű bolygók kialakulásához. Pontosán nem lehet megmondani, de ezekkel együtt akár több milliárd lehetőség volt élet kialakulására. Ha kialakult volna élet bármelyiken is már rég észrevettük volna. Hogy nézhetnének ki? Három kategóriába soroljuk a civilizációkat a korábban is említett Kardashev skála alapján. 1-es szintű civilizáció olyan, amely ki tudja aknázni anyabolygójának összes nyersanyagát, 2-es, amely képes anyacsillagjának teljes energiáját felfogni (Dyson gömb) illetve a 3-as, amely saját galaxisa felett uralkodik.

Biztosak lehetünk-e abban, hogy észrevettük volna már a máshol kialakult életet? Nos ha lenne megfelelő technikánk ahhoz, hogy akkora kolóniákat küldjünk minden lakható bolygóra, amely képes életet fenntartani, akkor megközelítőleg 2 millió év alatt az egész galaxist be tudnánk népesíteni. Lehet, hogy sok időnek tűnik, de ne feledjük el, hogy több mint 10 milliárd év állt rendelkezésére bármely civilizációnak. De ha több milliárd olyan bolygó van, amely képes lenne életet fenntartani csak a mi galaxisunkban, sokkal több idejük volt rá, mint nekünk, illetve annak tudatában, hogy a megfelelő technikával rendelkező társadalomnak csak 2 millió évre van szüksége a teljes benépesítéshez, akkor hol vannak a földönkívüliek? Ez a Fermi paradoxon és sajnos senki sem tudja rá a választ, de szerencsére vannak ötleteink.

Az első feltételezés szerint lehet, hogy voltak akadályok, amelyeken a Föld sikeres túljutott. Lehet, hogy a komplex élet kialakulásához több volt szükséges, mint gondolnánk. Lehetséges, hogy azokon a bolygókon, amikről beszéltünk nem valósulhatott meg az élet, csak mi nem tudunk róla. Nem tudjuk, hogy hogyan indult valójában az élet és elképzelhető, hogy a körülmények, amelyek szükségesek a kialakulásához rendkívül komplikáltak. Ezek az akadályok állhatnak nemcsak mögöttünk, de akár előttünk is. Olyan események, amelyeken bizonyos civilizációk túljutnak, mások nem, mint például a klímaváltozás, vagy akár az atomháború. Elképzelhető, hogy vannak olyan akadályok, amelyeket nem lehet legyűrni. Például az elképesztő jövőbeli technológia, aminek hátrányairól nem is tudunk, elpusztít minket. Ha ez igaz, akkor közelebb vagyunk a halálunkhoz, mint a kezdetünkhöz. Szintén lehetséges, hogy egy ősi hármastípusú civilizáció uralkodik a galaxisunk felett és ha elérünk egy bizonyos fejlettségi szintet egyszerűen elpusztítanak, mert veszélyeztetjük a hatalmukat. Másik teória szerint az univerzum lehet, hogy régen sokkal barátságosabb volt és csak nemrég lett megfelelő az élet kialakításához. Ez továbbá azt is jelentheti, hogy mi emberek egyediek vagyunk, vagy akár elsők az egész univerzumban.

Vegyük példaként mókusokat. Kiirtjuk az élőhelyét, de nem azért mert nem szeretjük őket, hanem mert szükségünk van a nyersanyagra, ami szerencsétlenségére épp a fa. Egy magasabb civilizációnak lehet, hogy szüksége van az összes vízre a Földünkön és eközben véletlen kipusztítanak bennünket.

Elképzelhető, hogy tényleg egyedül vagyunk - 90 milliárd fényévi teljes üresség. Ha ez valóban így van, akkor az emberiség feladata, hogy az első hármastípusú civilizációvá váljon.

4. Terraformálás

Mint ahogy mindenki értesült róla, rohamos iramban égetjük el a földi nyersanyagokat és a tudósok számára világos, hogy nemsokára új erőforrásokra, vagy egy új bolygóra lesz szükségünk. Egy ember számára lakhatatlan bolygó lakhatóvá tételét terraformálásnak nevezzük.

4.1 Mars terraformálása

Vessünk egy pillantást külső szomszédunkra, a Marsra. A vörös bolygónak rendkívül vékony atmoszférája van, megközelítőleg 1%-a a földinek, mindemellett szén-dioxid, tehát nem épp alkalmas emberi lélegzésre. A Mars jóval távolabb van a Naptól, mint a Föld (54.6 millió km-rel) ennek következtében, illetve a vékony atmoszférája miatt megközelítőleg -63 °C uralkodik a felszínén. Mindennek tetejében a Marsnak nincs mágneses mezeje, amely megvédené a bolygót a napszálltól, illetve a káros sugárzástól. A gravitációs ereje a földi érték harmada (0,38 G).

Hogy is javíthatnánk meg ezt a rengeteg problémát? Kezdjük az atmoszférával. Meg kell vastagítanunk és meg kell változtatnunk az összetételét. Egyik módja ennek az üvegházhatás kialakítása lenne. E folyamat során a besugárzó napfény csapdába kerülne és nem tudna kijutni, aminek következtében a bolygó felszíne felmelegedne. Három anyagból lenne célszerű ezt véghezvinni: marsi kőzetekben található metánból, szén-dioxidból, vagy ammóniából. Ammóniát tudnánk szerezni külső naprendszerbeli jeges üstökösökből. Mivel az NH_3 tömeg szempontjából nagyrészt nitrogénből áll, ha növényi fotoszintézissel felszabadított oxigént adnánk hozzá, akkor hasonló atmoszférát tudnánk kialakítani a Földihez. A megfelelő vastagságú atmoszféra kialakítása után az atmoszféranyomás már megfelelő lenne emberi élet fenntartásához. A víz kérdése meglehetősen egyszerű, mert a Marsnak a sarkköri jégsapkáit felolvasztva eláraszthatnánk az egész bolygót. A Marsnak 4.2 milliárd éve megszűnt a mágneses mezeje, aminek következtében elvesztette az eredeti atmoszféráját. Ezek alapján feleslegesen alakítanánk át légkörét, az erős napkitörések és a napszél évek alatt széthordaná az újonnan kialakított légkört. Amíg nem tudjuk abszolválni a magnetoszféra kérdését, addig a Mars nem terraformálható.

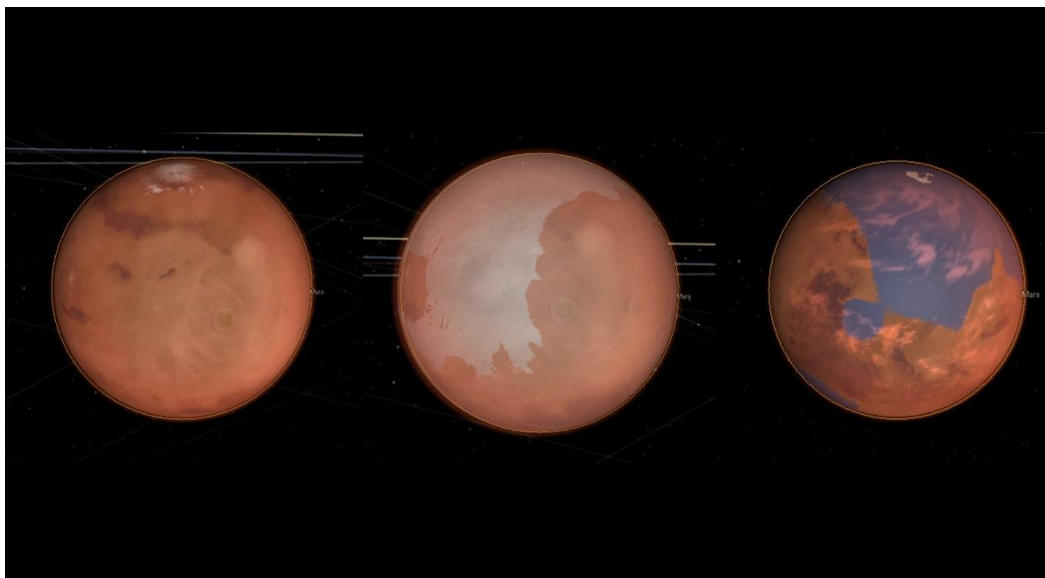


1. kép: A Mars terraformálása (forrás: A világ titkai)

4.2 A Mars terraformálásának szimulációja

Egyik kedvenc számítógépes programom a „Universe Sandbox 2” segítségével szimulálni tudom a különböző lépéseket. A Mars felszíne a szimuláció kezdetekor $-53,4$ °C. Ezt növelhetjük üvegházhatással, de ez jelenleg csak $0,806$ °C, amely nem elég a bolygó felmelegítésére. Az üvegházhatást növelni, az atmoszféra nyomásának növelésével tudjuk megoldani. Ezt megtehetjük a légkör tömegének növelésével. A Mars kapcsán nem növelhetjük az atmoszféra nyomását 1 atm közelébe sem, mivel az üvegházhatás akkora lenne, hogy akár 100 °C fölé is emelkedne a hőmérséklet. Egy átlagos földi ember az atmoszféra nyomásának 57%-át is képes elviselni. Ezzel az adattal számolva 108 °C-os üvegházhatást kapunk, ami néhány hónap

elteltével a hőmérsékletet 30 °C köré emeli. Ennek hatására a korábban hozzáadott jég felolvad és a Mars felszínét óceánok és kontinensek borítják. Már csak egy feladatunk maradt, mégpedig a mágneses mező helyreállítása. Mivel a mai napig nem tudjuk, mi okozza a mágneses mező kialakulását, így manuálisan megadtam 0.300 Gauss értéket, amely a földi magnetoszféra erősségével egyenlő. Ezzel orvosoltuk a másodpercenkénti 24,5 kg anyagveszteséget, amelyet a napszél elhordott. Ezen lépések után már csak az emberek feladata, hogy bezöldítsék a bolygót és megváltoztassák az atmoszféra összetételét.



2. kép: Mars terraformálása saját szimulációmmal (saját ábra)

4.3 Vénusz Terraformálása

Sajnos a Marsnál jóval nehezebb feladattal nézünk szembe, mivel a Vénusz felszíni hőmérséklete 462 °C. Atmoszférája a Földéhez képest sokkal sűrűbb, mindemellett főleg széndioxid és kén-dioxid. Felszíni nyomása hatalmas, 91 atm. A Vénusz esetében egy feladatunk van: megváltoztatni az atmoszféra összetételét, mert annak következtében a hőmérséklet és a nyomás is csökkenne jelentősen.

Hogyan tudnánk megváltoztatni a sűrű CO₂ atmoszférát? Az eredeti felvetés szerint, 1961-ben Carl Sagan úgy vélekedett, hogy génmanipulált baktériumokkal kell benépesíteni a bolygót, amelyek képesek a CO₂ megkötésére. Habár a mai napig széleskörben elfogadott teória, de sajnos későbbi tanulmányok azt bizonyítják, hogy csak a biológiai módszerek nem elegendőek a sűrű atmoszféra megváltoztatásához. Probléma ezzel a módszerrel az, hogy a széndioxid megkötő baktériumok hidrogént használnak fel, amit a földön vízből tudnak nyerni, de mint kitalálhatják 462 °C-on nincs víz folyadék formájában. A Vénusznak szintén nincs mágneses mezeje, úgyhogy az atmoszféra külső része kiszolgáltatott helyzetben van, aminek következtében a felszínén található hidrogén az űrbe került. Sagan továbbá megemlíti, hogy akármilyen szerves molekula szinte azonnal visszaalakulna CO₂-á a hatalmas hőmérséklet miatt. Ezt a hőmérsékletet pedig csak úgy tudnánk megváltoztatni, ha légköréből eltávolítanánk a széndioxidot.

Másik érdekes elgondolás alapján a Vénusz litoszféráját felfordítanánk és hagynánk, hogy reakcióba lépjen az atmoszférával, aminek következtében karbonátok keletkeznének. Ennek az a

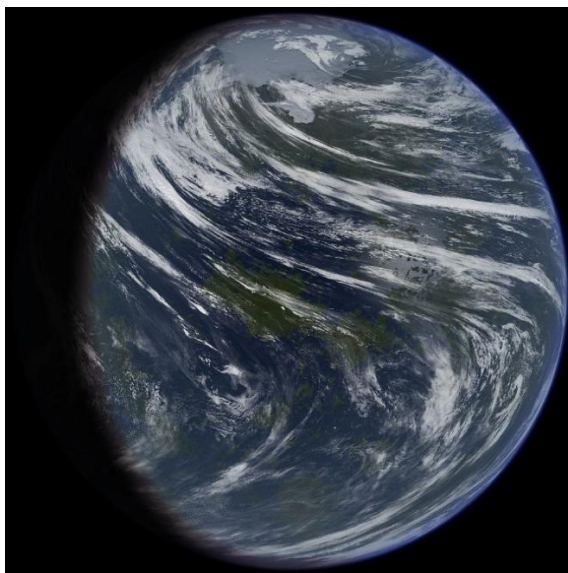
problémája, hogy több mint 1 km mélységig porrá kéne zúzni a litoszférát annak érdekében, hogy szignifikáns változás következzen be az atmoszféra összetételében.

Paul Birch elgondolása szerint, ha hidrogénnel bombáznánk az atmoszférát a szén-dioxidból elemi szén és víz keletkezne. Mint eddig minden felvetésnél, sajnos itt is van egy probléma. A hidrogén mennyisége, ami szükséges lenne a Bosch – reakció elindításához 40000000000000000000 kg (4×10^{19}). Ekkora mennyiségű hidrogént csak gázóriások légköréből tudnánk szerezni.

Tudósok nem vetették el az atmoszféra teljes eltávolítását sem, de mivel a kijutási sebesség nagyon magas, a Vénuszon sajnos elég nehéz feladat lenne. James B. Pollack és Carl Sagan 1994-ben kiszámolta, hogy egy 20 km/s sebességgel haladó 700 km átmérőjű aszteroida becsapódása oldana fel elegendő energiát az atmoszféra 1 ezredének eltörléséhez. Ennek következtében rengeteg ekkora erejű becsapódásra lenne szükség, ami súlyos károkat és valószínűsíthetően olyan kigőzölgeket jelentene, aminek következtében visszaállna az eredeti atmoszféra.

A Vénusz kapcsán egy másik érdekes problémáról is szót kell ejtenünk; a Naprendszer leglassabban forgó objektuma a maga 243 napos forgás idejével. Ez azt jelentené, hogy 243 napig nappal majd szintúgy 243 napig éjszaka lenne. Mellesleg a hihetetlenül lassú forgás valószínűsíthetően felel az inszignifikáns mágneses mezőért is.

Az eredeti terraformálás ötletgazdája erre is felállt egy érdekes megoldással. Birch szerint az egyenlítő körül keringő különleges tükrökkel könnyen be lehetne állítani egy 24 órás napciklust. Másik elgondolás szerint felgyorsíthatnánk a pördületét úgy, hogy nagy sebességű aszteroidákat lövünk el mellette. Ezzel viszont az a probléma, hogy még az atmoszféra teljes kiirtásánál is nagyobb energia szükséges, nem beszélve az esetleges ütközések következményeiről.

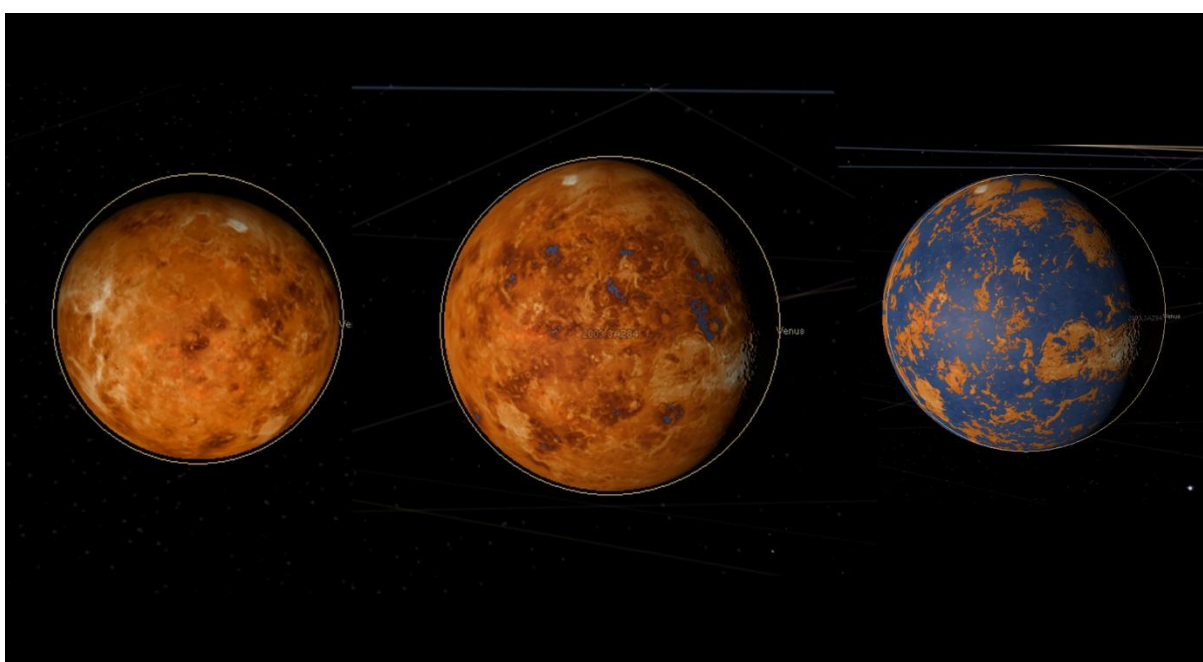


3. kép A Terraformált Vénusz (forrás: terraform.wiki – Venus)

4.4 A Vénusz terraformálásának szimulációja

Szimulációk kezdetekor a Vénusz felszíne 477 °C-os és 91.2 atm légköri nyomás uralkodik rajt. A Marssal ellentétben itt a bolygó vastag atmoszférájának tömegét kell csökkenteni, aminek

következtében esik a nyomás, illetve az üvegházhatás. Ennek eredménye a hőmérséklet drasztikus esése. A légkör tömegét $5.26 \cdot 10^{18}$ kg-ra csökkentettem, ami földszerű 1 atmoszférás nyomást biztosít a bolygónak. A nyomásváltozás következtében az üvegházhatás 82°C -ra csökkent, ami egy stabilis -5 és 20°C közötti hőmérsékletet ad. A megfelelő körülmények biztosítása után hozzáadhatjuk a vizet, kontinenseket és óceánokat kialakítva. A bolygó albedóját (visszaverő képesség) rendkívül magasra, 0,87-re állítottam, hogy ne kelljen alacsonyabb nyomásra állni a megfelelő hőmérséklet kialakításáért. Ilyen magas albedót csak mesterségesen tudnánk kialakítani, mivel az immáron földszerű atmoszféra nem képes ilyen szintű visszaverésre. Most lenne szükség a korábban kifejtett CO_2 átalakításra mivel más feladatunk a Vénusz kapcsán nem maradt. Mágneses mezőt szintén hozzáadtam a szimuláció során, de a nap közelsége ellenére a Vénusz legfelső rétegeit tudja csak pusztítani, annak ellenére, hogy nincs magnetoszférája.



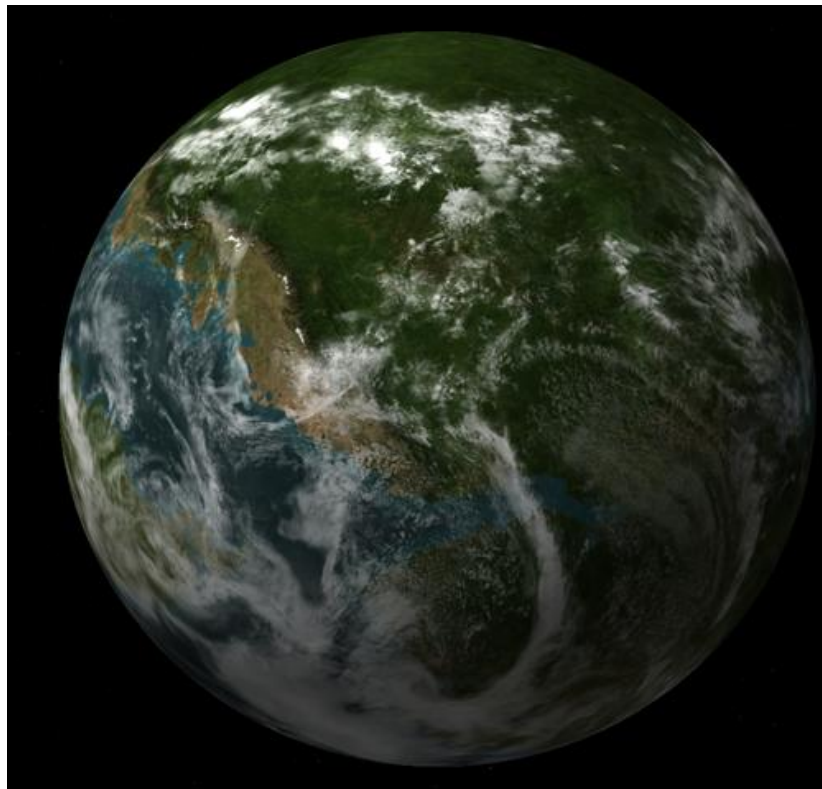
4. kép: A Vénusz terraformálásának főbb lépései (saját ábra)

4.5 A Merkúr terraformálása

A Naphoz fekvő legközelebbi bolygó egyben a legszélsőségesebb is. Napi hőingása gigászi, napos oldalán $420\text{--}430^\circ\text{C}$ -os, míg sötét oldalán akár mínusz 180°C is lehetséges. A bolygó átlaghőmérséklete 167°C . Szélsőséges hőmérsékletét leszámítva sok kedvező tulajdonsága is van, ezek közé tartozik a mágneses mező. Ez azonban nem tudja megvédeni teljesen a hatalmas erejű napkitörésektől az ún. „flarektól”. A bolygó felszínén viseli a nap közelségének nyomait, mivel nagy része megégett az extrém körülmények miatt. Északi jégsapkái rengeteg vizet és egyéb szerves anyagot rejtenek magukban mely szintén hasznos átalakítása során. Felszíni nyomása közel nulla, gravitációs ereje a Marséhoz hasonló (0.38 G).

Mielőtt bármely munkálatokhoz hozzálátnánk, a bolygót meg kell védeni valamilyen pajzzsal, mivel mágneses mezeje csak század olyan erős mint a Földé. Sok szempontból hasonlít a Marsra, aminek következtében hasonló atmoszférával kéne rendelkeznie, de sajnos az extrém napszél a maradék atmoszférájától is megfosztotta. Felszínén nincsenek gáztartalmú kőzetek -

mivel elégték - melynek következtében máshonnan kéne gázokat hozni az atmoszférába. Ezek elméleti síkon nem lennének túl nehezek; nitrogént a Titán légköréből, vizet és oxigént pedig aszteroida övbeli aszteroidákból nyerhetnénk. Hasonlóan a Vénuszhoz itt is felmerül a lassú forgás problémaköre. A Merkúron egy nappal és egy éjszaka (csak) 176 földi nap hosszúságú.

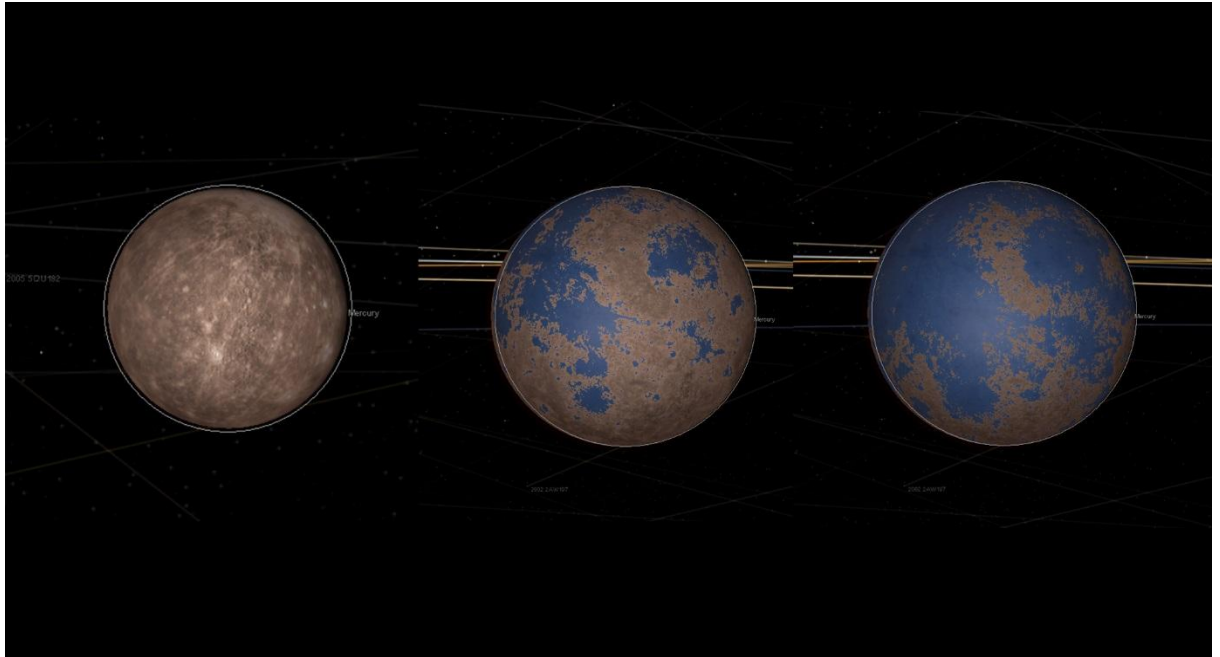


5. kép: Merkúr terraformálva (terraform.wiki – Mercury)

A Merkúr kapcsán felmerül a paratteraformálás is, mely tulajdonképpen egy lakható buborék kialakítását takarja. A kráterek alján lévő fagyott jeget felolvasztva és a krátert egy jó nagy üvegbúrával lezárva egy tetszetős vízivilágot tudnánk kialakítani.

4.6 A Merkúr terraformálásának szimulációja

A Merkúr kezdeti felszíni hőmérséklete $240\text{ }^{\circ}\text{C}$, a felszíni nyomás megközelíti a 0 atm-t . Először a nyomást 1 atmoszférára növelem, aminek következtében az üvegházhatás felszökik $48.2\text{ }^{\circ}\text{C-ra}$. A bolygó felszíne lehül $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ környékére, de sajnos további nyomáscsökkenéssel nem változik, így ismételten az albedón kell módosítani. Ennek értékét 0.9 re állítottam ami, mint korábban is említettem, csak mesterségesen érhető el – hacsak nem akarunk Vénuszhoz hasonló 91 atmoszféra nyomás alatt élni. A probléma ismételten a Nap közelsége, mivel rendkívül erős mágneses mezőre lenne szükség ahhoz, hogy teljesen megállítsuk az anyagok folyamatos vesztesét.



6. kép: A Merkúr terraformálásának lépései (saját ábra)

4.7 Európa terraformálása

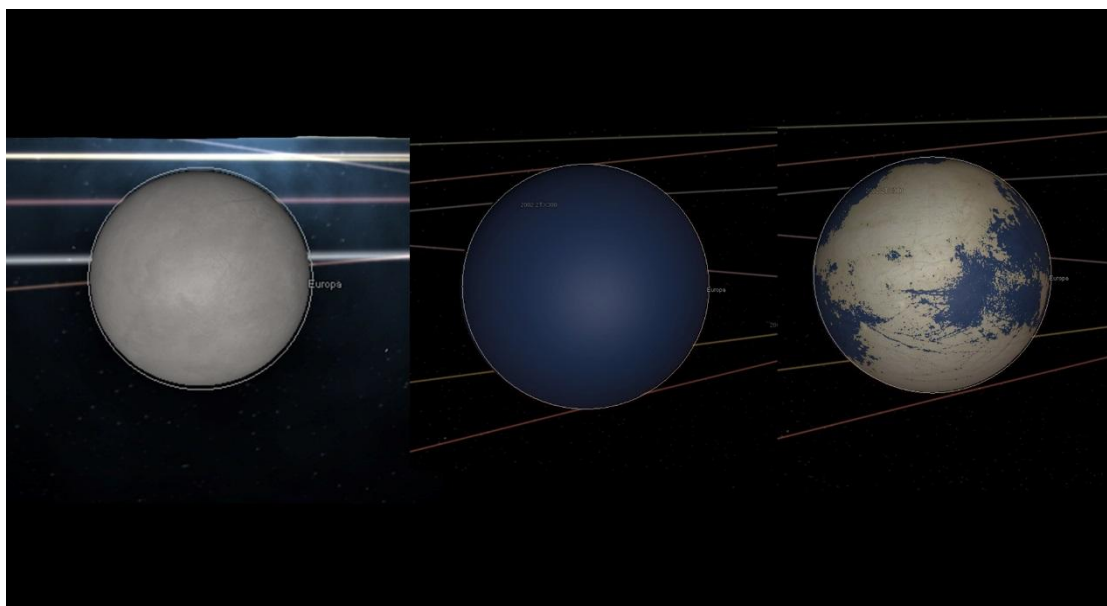
Európa a Jupiter egyik híres holdja eredetileg azért került a figyelem középpontjába, mert feltételezték, hogy több kilométer mélységű jégrétegében akár baktériumok is élhetnek. Hatodik legközelebbi hold a Jupiterhez és hatodik legnagyobb a Naprendszerben. Feltételezések szerint a hold magja és a jégpáncél között egy hatalmas kiterjedésű óceán található.

Terraformálási aspektusból jóval könnyebb dolgunk lenne, mint például a Merkúr vagy a Vénusz kapcsán. Legnagyobb probléma a Jupiter közelsége, aminek következménye a hatalmas sugárzás. A Jupiter hatalmas mágneses mezővel rendelkezik, Gauss értéke 6221. (A földi magnetoszféra erőssége 0.300 Gauss) Ezt orvosolni a hold pályáján lévő sugárzás visszaverő anyag segítségével lehetne. Kivételesen nem az atmoszféra jelenti a legnagyobb problémát, mivel főként oxigénből épül fel. Ha a jégréteget felolvasztanánk, amikor a Jupiter árnyékába kerül, újra befagyyna. Először a hideg -220°C -os egyenlítői hőmérsékletét kellene megemelni. Ezt könnyen elérhetjük pár száz tonna kén-hexafluoriddal, mivel ez a legerősebb üvegházhatást kiváltó gáz. Így már fel lehetne olvasztani a jeget, mely után csak az atmoszféra összetételének megváltoztatása szükséges. Légköréhez nitrogént kellene adni, ami lehetséges a korábban említett ammóniás módszerrel. Továbbá szükséges vízpára, CO_2 , arzén, hidrogén és kén-hexafluorid. A holdnak szüksége lenne mesterséges kontinensek kialakítására, ha csak nem akarunk egy igazi Waterworld-ben élni. Az Európán 1.78 földi nap egy nap, ami kivételesen számunkra nem lenne problémás, kivéve az éjszakák mivel a hatalmas hőingást még így sem tudnánk teljesen kiküszöbölni. Az Európának nincs mágneses mezeje, de kivételesen ez nem probléma, mivel a Jupiter monumentális mágneses mezeje minden káros sugárzástól megvédené.

4.8 Az Európa terraformálásának szimulációja

A hold kezdeti hőmérséklete -273°C , az atmoszféra tömege elhanyagolható, így nincs üvegházhatás. A bolygó légkörét magas, 17 atmoszféra értékre állítom. Ez nagy üvegházhatást fog eredményezni, amit a bolygó albedójának 0.1 körüli értékre csökkentésével javítok. Ennek

következménye egy 30°C-os hőmérséklet lesz. Ezután hozzáadhatjuk a megfelelő mennyiségű vizet. A képen is látható módon szükségünk lesz mesterséges kontinensek kialakítására.



7. kép: Az Európa terraformálása (saját ábra)

5. Következtetésem

Mint az vizsgálódásomból is látszik, amikor majd a távoli jövőben, ezen folyamatok nem csak elméleti síkon kell, hogy helyt álljanak, nem lesz egyszerű dolguk a jövő nemzedékeinek. Átgondolva munkálataim, arra a megállapításra jutottam, hogy sajnos mindegyik nehéz, illetve nincs könnyebb, vagy nehezebb - minden bolygó sajátos nehézségekkel bír. Legnagyobb problémát talán a Merkúr és Vénusz okozná, tekintettel arra, hogy tengelyforgásuk rendkívül lassú, illetve nehéz megváltoztatni azt. Így az emberek számára szinte lakhatatlan lenne, hiába terraformálnánk az egész bolygót. Külső szomszédunk, a Mars viszonylag könnyen átalakítható, de ha jövőbeli utazásaink arra tévednek, sajnos abszolválunk kell a magnetoszféra hiányát.

Egy ember bizonyára kevés, de ha egy emberiség közös erővel és összefogással egy cél érdekében lép fel, hiszem, hogy a lehetetlennek tűnő akadályokat is le tudjuk küzdeni. *Talán ténylegesen egyedül vagyunk, egyediek az egész univerzumban.* Ha ez tényleg így van, akkor a mi feladatunk, hogy az emberi gyarlóságot magunk mögött hagyva, meghódítsuk a rendelkezésünkre álló teret. Ilyen szabású utazások tökéletes tervezést és világszintű kooperációt igényelnek, de ha belegondolunk, az elmúlt 150 évben feje tetejére állítottuk a világot, kialakítottunk egy általunk fejlettnak vélt környezetet. Remélhetőleg képesek leszünk leküzdeni az önzőségünket és a rendelkezésre álló erőforrásainkat a tudományoknak szentelni, hogy beteljesíthessük létezésünk értelmét: az örökös fejlődést.

6. Irodalomjegyzék

- <http://avilagtitkai.com/articles/view/elon-musk-hamarosan-bejelenti-a-mars-kolonizalasanak-a-tervezetet>
- <https://www.youtube.com/watch?v=ZL4yYHdDSWs>
- <https://www.youtube.com/watch?v=sNhhvQGSMec>
- <https://www.youtube.com/watch?v=1fQkVqno-uI&t=301s>
- <http://www.universetoday.com/113346/how-do-we-terraform-mars/>
- <http://www.universetoday.com/127311/guide-to-terraforming/>
- <http://www.popularmechanics.com/space/moon-mars/a15410/terraform-mars-with-microbes/>
- <http://www.universetoday.com/113412/how-do-we-terraform-venus/>
- <http://terraforming.wikia.com/wiki/Venus>
- <http://terraforming.wikia.com/wiki/Mercury>
- <http://newmars.com/forums/viewtopic.php?id=5715>
- <http://terraforming.wikia.com/wiki/Europa>
- <http://www.universetoday.com/15201/jupiters-moon-europa/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=peVJ2BtrtUY>
- <http://www.hirado.hu/2015/06/05/a-foldi-szomszedsag-meghოდitasaval-indulhatna-az-urkolonizacio>
- http://hvg.hu/tudomany/201642_marsutazas_b_terv_spacex_musk_amarson
- http://www.chem.elte.hu/departments/altkem/tarczay/asztro/10_Asztrobiol%F3gia.pdf
- <http://ecolounge.hu/ur/bombazna-a-marsot-elon-musk-a-tesla-vezer-terraformalas-celjabol>
- http://index.hu/tudomany/2015/12/05/ami_istennek_hat_nap_nekunk_tobb_ev_szazad/
- <http://www.origo.hu/tudomany/vilagur/20010430avoros.html>
- <http://www.csillagaszat.hu/hirek/nr-egyeb-naprendszer/nr-mars/a-mars-lakhatobba-tetele/>
- <http://www.hirado.hu/2015/02/20/mars-expedicio-a-jegy-egy-utra-szol/>
- <http://galaktika.hu/egy-uj-otthon-a-marson/>
- <http://24.hu/tudomany/2015/11/13/igy-tehetjuk-lakhatova-a-marsot/>
- http://index.hu/tudomany/2016/03/09/2018-ban_indulhat_a_nasa_mars-misszioja/