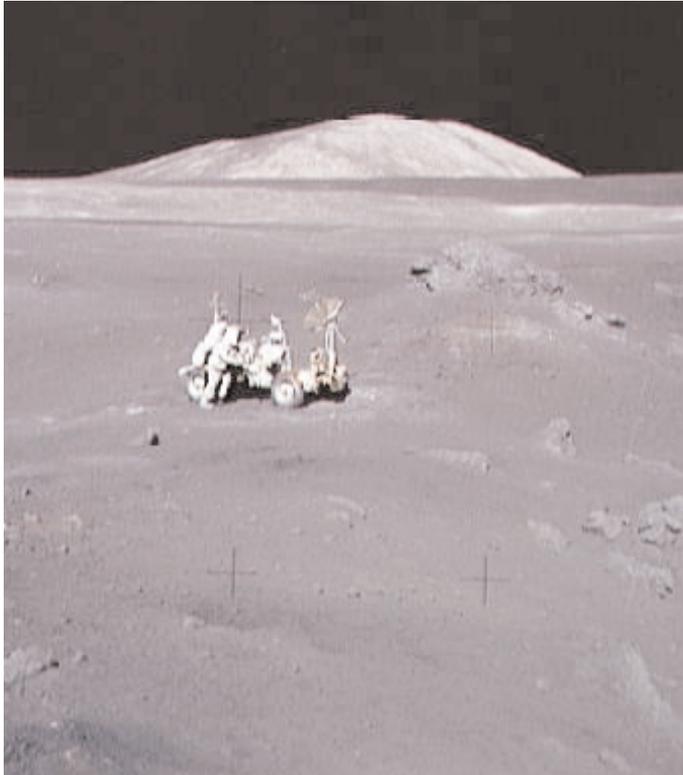


HOLD



MARS



FÖLD (VREDEFORT-KRÁTER)



KIS ATLASZ A NAPRENDSZERRŐL (6):

BOLYGÓFELSZÍNI MIKROKÖRNYEZETEK

Bérczi Szaniszló, Földi Tivadar, Hargitai Henrik, Hegyi Sándor, Illés Erzsébet, Kereszturi Ákos, Kovács Zsolt,
Mörthl Mária, Sik András, Weidinger Tamás

ATLASZA *online*

ELTE TTK Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, Uniconstant, Budapest–Püspökladány, 2003.



VÉNUSZ

Bérczi Szaniszló, Hargitai Henrik, Illés Erzsébet, Kereszturi Ákos, Sik András, Földi Tivadar, Hegyi Sándor, Kovács Zsolt, Mörtl Mária, Weidinger Tamás:

Kis atlasz a Naprendszeréről (6): Bolygófelszíni Mikrokörnyezetek Atlasza

Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport,
ELTE TTK / MTA Geonómia Bizottság, Budapest, 2003

Ma már nemcsak kizárólag a Föld felszínén ismerjük a tájakat, hanem több más égitest felszínét is el tudjuk képzelni magunk körül. Ez az álló ember körüli táj a mikrokörnyezet. Az első űrszondák, amelyek simán leszálltak a Hold, a Mars felszínére, lényegében emberi nagyságúak voltak. A körbetekintő kamerával az ember maga nézett körül, s a kinyúló karral is szinte a megfigyelő ember csorgatta végig a felszíni homokot "újjai" között. Ebből az idegen égitest felszínén végzett körültekintésből született meg a Mikrokörnyezetek vizsgálata című kis atlasz gondolata.

A Surveyor, a Luna és a Lunahod, a Viking, a Mars és a Pathfinder nemcsak körülnézett, hanem mért is az égitest felszínén. A legfontosabb ismereteket mérésrel és elemzéssel gyűjtötték a kutatók. Ma ezt az ismeretkincset egyre gazdagabbá tehetjük és szinte újráfelfedezhetjük akkor, amikor a négy legismertebb égitestfelszíni mikrokörnyezetet összehasonlítjuk. E négy felszín a földi, a holdi, a marsi és a vénuszi. Ezek közül különös jelentősége van a holdi környezetnek, hiszen ott a robotok után ember is járt. A földi és a holdi mikrokörnyezetet tehát nemcsak a műszeres mérések, hanem az emberi megfigyelések és cselekedetek oldaláról is összehasonlíthatjuk. Sőt, következtethetünk, tervezhetünk ezek alapján még Mars felszíni űrhajós-feladatokat is.

Mégis, a legfontosabb célunk e kis atlasz elkészítésével az volt, hogy szempontokat adjunk a környezetnek, mint egészen a megfigyeléséhez. A környezetben folyamatok zajlanak s ezek megfigyelése alkalmas arra, hogy kipróbáljuk, hogyan alkalmazhatjuk ismereteinket egy új helyzetben. Külön-külön is megfigyeljük az egyes folyamatokat, de összetartozó folyamatokból csoportokat is alkotunk. Például a légkörhöz kapcsolódó jelenségek összekapcsolódnak (gondoljunk egy meteorológiai mérőállomásra). Ugyancsak összetartozó jelenségek az űrszonda körüli talajon és kőzeteken megfigyelhető geológiai és geográfiai jelenségek. A szél port szállít, a közethez csapja, rendszeresen borotválja a közet felületét, egyszer lerakja, máskor fölhalmozza a szállított port. Ha

hullik csapadék az égitesten, akkor az időnként rárétegződik a porra, később elpárolog onnan és még sok más ide tartozó jelenséget figyelhetünk meg a marsi ill. a földi sivatagokban.

Megint más jelenségkörre képeznek a sugárzások hatásai. A Nap besugárzása nyomán a felületekről visszavert fény, a kőzetek és talajok termikus emissziója, a talaj közelében fölmelegedő légköri gázok hatása is ilyen kapcsolt jelenségkör. A mérési és megfigyelési anyagot egyre többféle mérésből összegezve egyre hűségesebb ismereteink lesznek az űrszonda körüli égitest mikrokörnyezetéről.

Ennek fényében azután izgalmas kísérlet ugyanezeket végigtanulmányozni egy kiválasztott földi mikrokörnyezetben. Például egy hortobágyi szikesen a talajt is, a gyér növényzetet is, de esetleg a csapadékhullást, vízfolyást, vagy a kiskunsági homokbuckák vidékén a szélfújta formákat, barkánok keletkezését, a talajközeli levegő fölmelegedését stb. megfigyelhetjük. A részeredményeket most is egységes képpé illesztjük össze, de a vizsgálódás minden pontját egyúttal egy másik bolygótest mikrokörnyezetével való összehasonlítással egészíthetjük ki. Az összehasonlító planetológia a XXI. század olyan tudományága lesz, amely célt ad és izgalmas terepet a természettudományok újráföldolgozására, ismételt áttekintésére, csoportosítására és rendszerezésére. A célok és a munkák végeztetik el velünk ezeket az újráföldolgozásokat. S nincs "keresettebb cikk" manapság a természettudományok oktatásában, mint a cél: hogy miért is tanuljuk őket?

Tovább bővítjük a tevékenységek körét azzal, hogy a földi környezetbe magunk készítette robotot helyezünk. Ez a Hunveyor (Hungarian University Surveyor) kísérleti gyakorló űrszonda modell, amelyen mérőműszerek, égitestfelszínre tervezett kísérletek vannak elhelyezve. S ahogy tanuljuk a modern űrkísérletektől, egy kis méretű mozgó kísérője is van a leszállt űrszondának. Ez a Husar (Hungarian University Surface Analyser Rover) nevű "rover", amely megközelítheti a mikrokörnyezet egyes tárgyait és helyszíneit és méréseket végezhet rajtuk. Maguknak a robotoknak az elkészítése technológiai, informatikai és műszaki feladatokat von be a munkába. A mikrokörnyezetek egy részét laboratóriumi terepasztalon is modellezhetjük. Így visz el a mikrokörnyezetek tanulmányozása azokhoz a modern múzeumi bemutató technológiákhoz, amely szimulátorok seregével népesíti be az egyik szobát (földi irányítóközpont) s égitestfelszíni (űrruhában végzett) munkákkal egy másik szoba látogatóit (űrszimulátorok). A látogató tehát már nem passzív szemlélője, hanem aktív résztvevője az összetett eseményeknek. A mikrokörnyezetek atlasza ebben is tesz néhány lépést a

legizgalmasabb űrkutatási eredmények hazai megismeretése terén.

Kevés munka lehet olyan érdekesítő, mint az, amit részben saját ötletekkel, részben a közelünkben dolgozó kollégákkal együtt, de mégis a magunk közreműködésével tudunk végezni. A tevékenység összetettsége minden erőlködésünkből merít. A munkatársakkal való szolidaritást az együttműködés természetes közelségben tarja mindvégig a munka során. Az űrkutatás világa ettől az összetettségtől, ettől a teljes emberi részvételtől is olyan vonzó. Lebilincselő, ahogyan az ember beleélheti magát a valódi eseményekbe, attól, hogy sok ágon maga is tevékeny munkatársa a missziónak. Az ilyen munkák, a megélt helyzeteken keresztül, mély kapcsolatba hozzák az ember személyiségét az ismeretekkel, a gondolkodással, a tevékenységek céljával. Amikor kis atlasz sorozatunk 6. tagját útjára bocsátjuk, ezeket a gondolatokat is vegyük magunk mellé és a bolygófelszíni mikrokörnyezeteiben tett sétáinkon, méréseinken és munkáinkon úgy vegyünk részt, hogy a sorozat következő atlaszát már az újonnan kigondolt kísérletekkel az olvasókkal együtt írassuk.

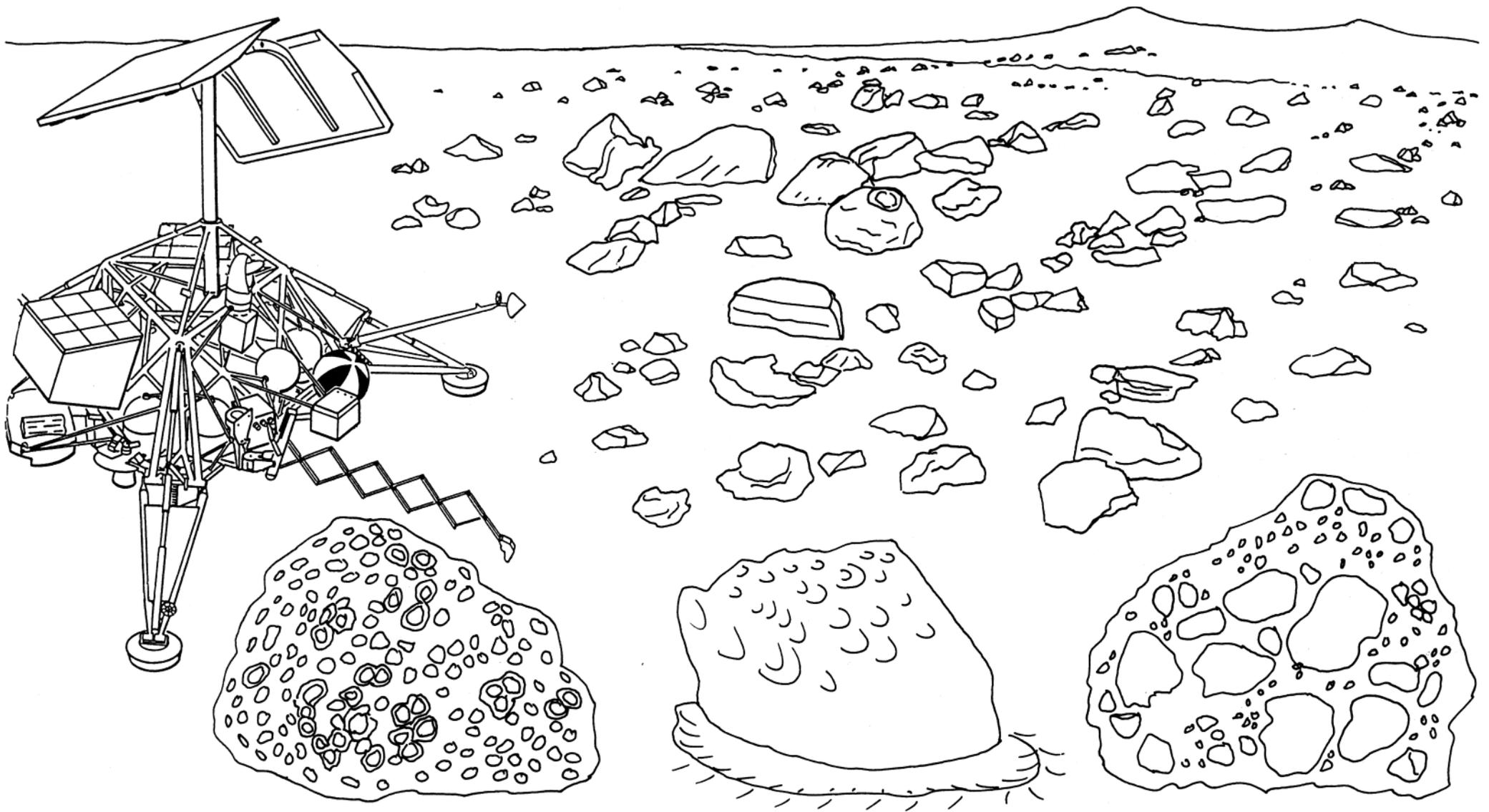
Ilyen indító gondolatok jegyében kívánunk jó munkát a bolygófelszíni mikrokörnyezeteiről készült atlaszunk olvasásához. *A szerzők*

E munka megjelentetését a Magyar Űrkutatási Iroda az ELTE TTK / MTA Geonómia Bizottság Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport TP-190/2003 számú témapályázata keretében támogatta. E támogatásért a MŰI-nek köszönetet mondunk.

Kiadja az UNICONSANT, Püspökladány, Honvéd u. 3.
Kis Atlasz a Naprendszeréről (6): Bolygófelszíni mikrokörnyezetek atlasza
ISBN 963 00 6314 X0
963 86401 0 3

Tartalomjegyzék:

- Bevezető gondolatok (B. Sz.)
- I. Első pillantás leszállás után: sziklasivatagok (B. Sz.)
- II. A sivatag és a kőzetfelszín közelről (B. Sz., S. A.)
- III. A törmelékanyag jellemzői (S. A.)
- IV. Leszállás a Vénuszra (I. E., H. H.)
- V. Becsapódások megfigyelése a felszínen (H. (I.E., H.H.))
- VI. Vizformálta marsfelszín (K. Á.)
- VII. Holdraszállás emberrel (H. H.)
- VIII. Mikrometeorológiai mérések a Földön és a Marson (W. T., B. Sz.)
- IX. Ritkalegköri elektrosztatika (F. T., B. Sz.)
- X. Légköri kémiai összetétel mérése (M. M., B. Sz.)
- XI. A Viking űrszondák biológiai mérései (S. A.)
- XII. Táblázatok (H. H., I. E.)



KIS ATLASZ A NAPRENDSZERRŐL (6):

BOLYGÓFELSZÍNI MIKROKÖRNYEZETEK ATLASZA

**Bérczi Szaniszló, Hargitai Henrik, Illés Erzsébet, Kereszturi Ákos, Sik András,
Földi Tivadar, Hegyi Sándor, Kovács Zsolt, Mörzl Mária, Weidinger Tamás**

ELTE TTK Koszmosz Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, UNICONSTANT, Budapest, Püspökladány, 2003

I. ELSŐ PILLANTÁS LESZÁLLÁS UTÁN: SZIKLASIVATAGOK

1.1 A Surveyor-7 a Holdon, a Tycho kráternél

A Surveyor-7 utolsó tagja volt egy olyan űrszonda sorozatnak, melynek egységei simán leszálltak a Holdra. A Surveyor-7 a Tycho kráter északnyugati lejtőjén szállt le, olyan terepen, amelyen e sorozatnak eddig egyik előző tagja sem. Kamerájával körülnézve sziklával beszórt sivatagi tájat fényképezet le.

A legfontosabb műszerei a következők voltak: TV kamera (ilyen minden Surveyoron volt; öt sikeres Surveyor leszállás volt: az 1, 3, 5, 6, 7 szondáké), talajvizsgáló kar (előzőleg csak a Surveyor 3 dolgozott vele), alfa-sugárzásmérő talaj-analizátor (előzőleg a Surveyor 5-ön és 6-on volt ilyen műszer), mágnes a mágneses szemcsék gyűjtésére (szintén volt ilyen a Surveyor-5-ön és 6-on). A Surveyor-7 magával vitt 7 kis tükröt is, a váz egyes pontjaira erősítve. A kis pénzérme nagyságú tükrökön a leszállás után leülepedő port figyelték meg.

A Surveyor-7 körüli tájat érdemes úgy szemügyre vennünk, hogy rögtön hasonlítsuk is össze a Pathfinder körüli marsi tájjal. A jobbra lévő rajzon megfigyelhető közetdarabok nem borítják be a felszínt olyan sűrűn, mint a marsi tájon (a szemközti oldal rajzán). A sziklák törési felülete itt a Holdon éles, a marsiaké többnyire lekerekített. Itt a Holdon nem volt hosszú szállítási folyamat. A sziklát kiszakító becsapódás utáni a földarabolt közettöredékek kidobódtak, repülés

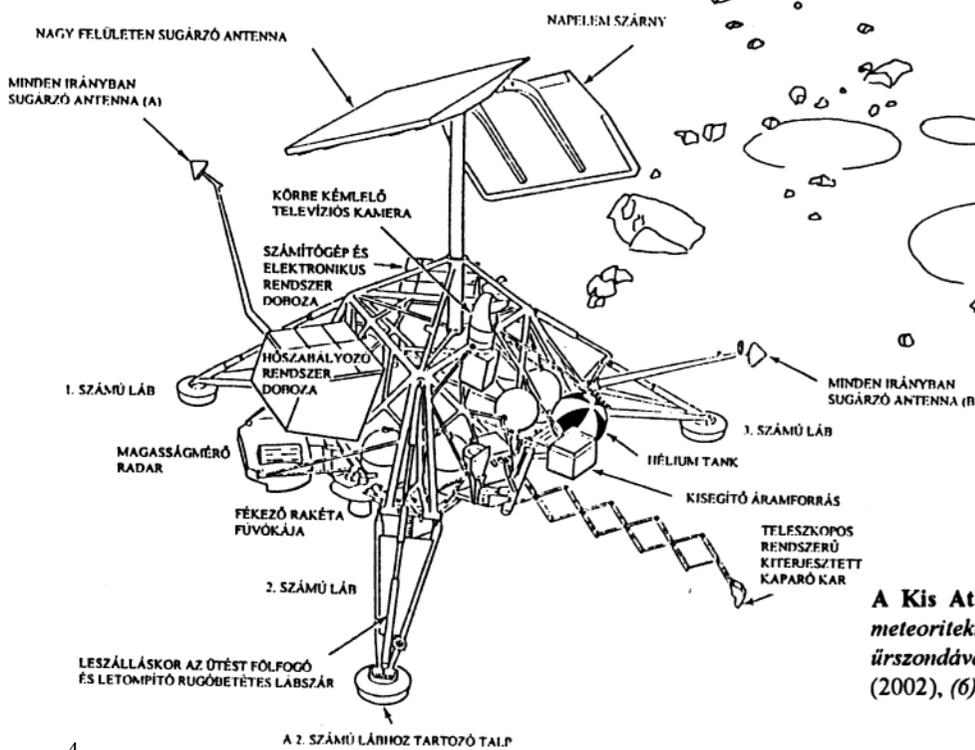
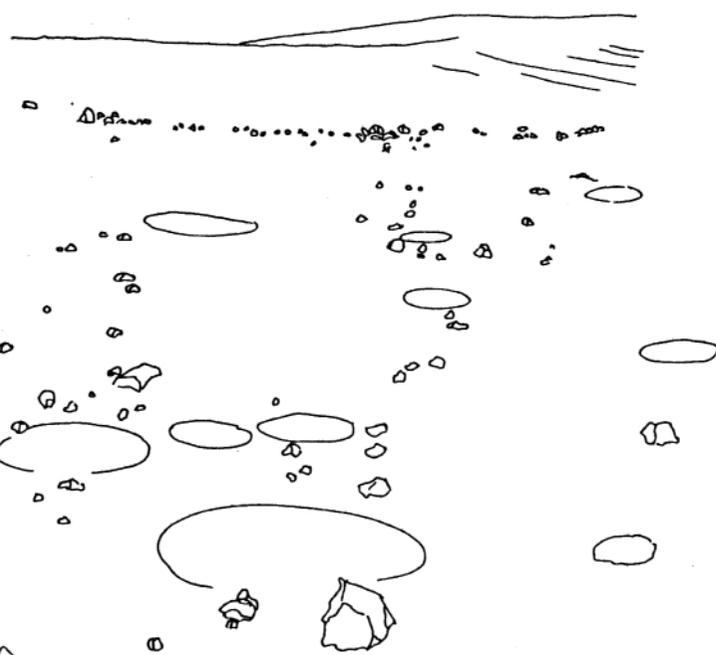
közben néhány ütközés történhetett a környező közetdarabok között, majd rövid tovagördülésük után kerültek a mostani helyükre. A légkör nélküli Holdon a csaknem mindent beborító por is a felület állandó "bombázásakor", a kisebb-nagyobb meteorit testek, törmelékek becsapódásakor keletkezik, s a becsapódáskor keletkező porfelhő anyaga ülepszik le. A Marson, majd látni fogjuk, rohanó víz szállította a kőtömböket mai helyükre, azok ütközben kissé lekerekedtek a sok surlódástól és ütközéstől, s a meglassúdó víz alatt ágyazódtak be a finom iszapba, dőltek egymásra, s csak később kerültek szárazra, amikor a víz elpárolgott fölülük.

A Surveyor-7-en lévő alfa részecske detektort csak az ásó karral segítve tudták mérési helyzetbe hozni. Ez a műszer a talaj kémiai összetételét mérte. Azt találta, hogy a talajban itt kevesebb volt a vas és több a kalcium a korábbi Surveyorok által a mare bazaltokon mérthez képest. Ez volt az első ilyen mérés a holdi felöldek anyagán.

A Surveyor-7 két holdi nappalon működött (ott egy nappal 2 hétig tart). A korábbi Surveyorok eredményeivel összehasonlítva azt találta, hogy a Tycho körüli fel földön s a finomszemcsézett por albedója (fényvisszaverő-képessége) nagyobb, a portakaró (regolit) vékonyabb, a kis méretű kráter pedig kevesebb, mint a mare leszállási helyeken.

Kis atlaszunkban a Surveyort nemcsak az elvégzett mérések, hanem szerkezeti felépítése szempontjából is mintának tekintjük. A Surveyorok példáján gondoltuk ki, terveztük és építettük meg a mi magyar egyetemi kísérleti gyakorló űrszondánkat, a Hunveyorot (Hungarian University Surveyor).

De a következő fontos űrkíséret szerkezetei között is találtunk példaértékűt. Ez a most következő Pathfinder marsszonda kisautója, angol nevén rovere volt. Ennek mintája lebegett a szemünk előtt, amikor egy ennél sokkal egyszerűbb, csak kétkerekű "kóborlót" építettünk a Hunveyor mellé, ami végül a Husar nevet kapta (Hungarian University Surface Analyser Rover).



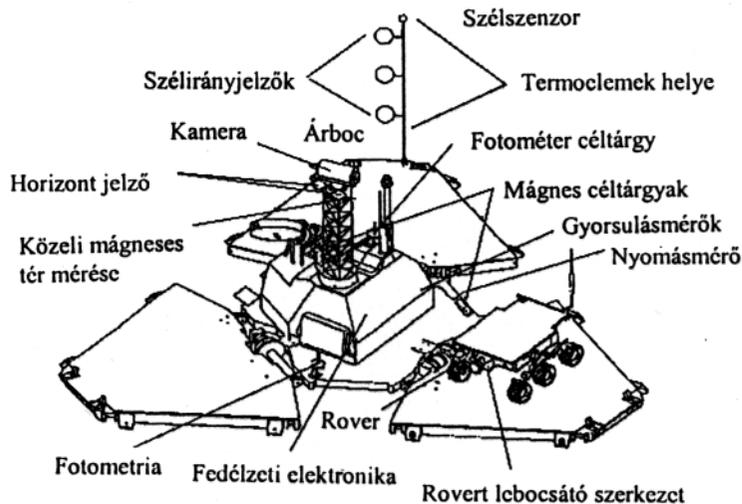
A Kis Atlasz a Naprendszerrel sorozat eddig megjelent tagjai: (1): Planetáris és anyagterképek: Holdközetekről, meteoritekről. (2000), (2): Planetáris felszínek vizsgálata a Surveyor alapján megépített Hunveyor kísérleti gyakorló űrszondával (2001), (3): Bolygótestek atlasza. (2001), (4): Bolygólegkörök atlasza. (2002), (5): Űrkutatás és geometria. (2002), (6): Bolygófelszíni mikrokörnyezetek atlasza. (2003).

1.2 A marsi sziklasivatag

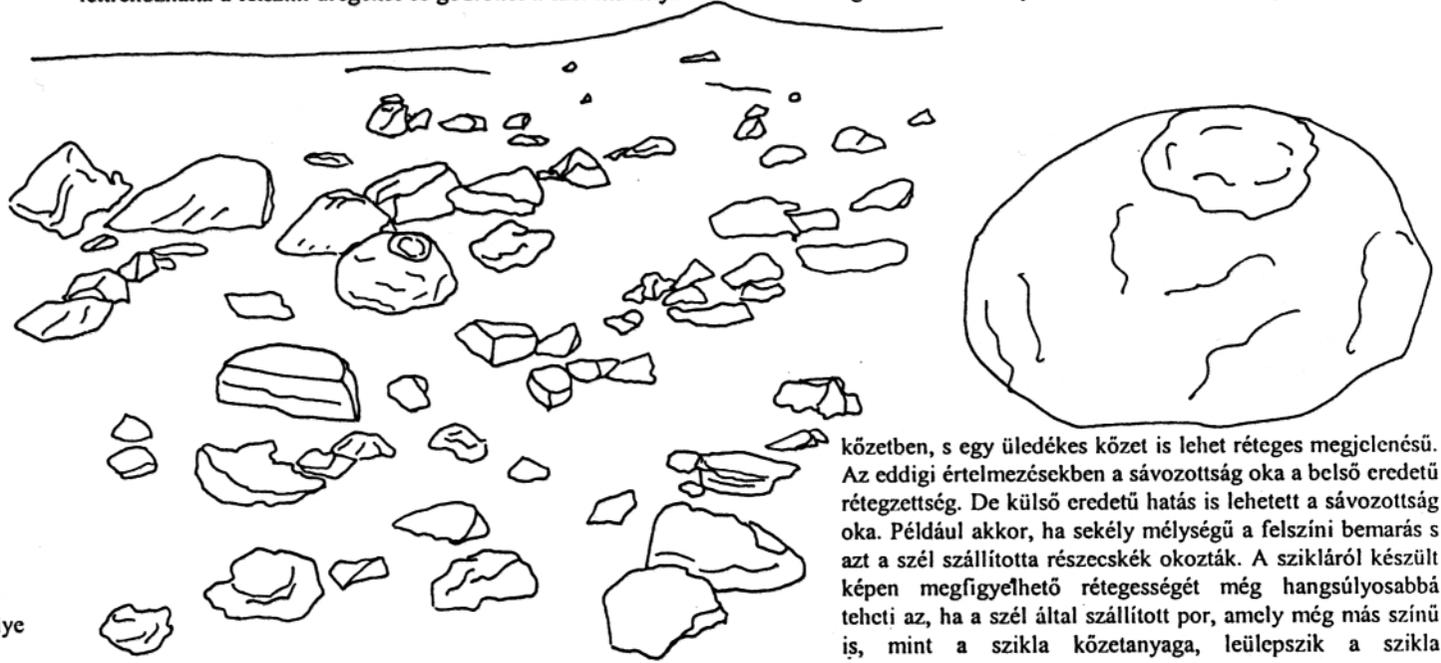
A marsi felszínre leszállt két Viking űrszonda és a Pathfinder változatos kőzetparkot talált maga körül. Az űrszonda körüli felszíni mikrokörnyezet tárgyait első körütekintésre két fontos összetevőre lehetett bontani: kőzetsziklákra és mozgó üledékekre. A kőzetsziklák az apróbb szemcseméretű törmelékből álló sivatagos talajon, s részben a talajban, belőle félig kiállva helyezkedtek el. A mozgó üledékek különféle alakzatokba rendezetten voltak megfigyelhetők s dűnéket, szélzászlókat, hullámfodrokat képeztek. Először magukat a sziklákat vesszük szemügyre. Milyen kőzetszöveteket figyelhetünk meg a felszínükön? Ez után a szélfujta port és homokot, valamint a talajhorizontot vizsgáljuk meg. A mikro-környezetet alkotó sziklák és törmelék elhelyezkedése és egymáshoz való viszonya alapján következtethetünk a felszín arculatát kialakító eseményekre.

1.3 A marsi sziklák kőzetszövege

A marsi sziklák felszínén sokféle kőzetszövetet lehetett megfigyelni. Voltak szivacsosak és/vagy apró gödrökkel borítottak, voltak kiálló bütykök vagy egyenes, néha egészen síma felületűek, voltak egyenetlen felszínűek, melyeket árkolt és vonalazott mintázat borított. S megfigyeltek olyan kőzetdarabot is, amelyen látszott, hogy szemcsés és benne több zárvány van beágyazva. Az ilyen konglomerátumra jellemző szövet a holdi breccsás kőzetszöveteket is eszünkbe juttatja.



A szivacsosan üreges felszínű, talán hólyagüreges bazaltos felszíni texturájú kőzetek a Viking-2 leszállási helyén fordultak elő nagy számban (ez egy 1976-os marsi expedíció volt). Azok a kőzetek, melyeknek a felszínét viszonylag kevés (a felszín 10 %-át) üreg és gödröcske borítja, különféle folyamatokban keletkeztek. Ilyen folyamat a jég hatására létrejövő aprózódás, amely a felszín néhány pontján már elkezdődött. De ilyen gödröcskéket hozhat létre a kőzetet alkotó, különböző mállékonyaságú ásványok közül a mállékonyabbak szelektív kioldódása is. S végül létrehozhatta a felszíni üregeket és gödröket a szél munkája



is, amikor a szállított törmelékkel bombázza a kőzetfelszíneket. A szél, földi viszonyok között, például az arizonai sivatagban, a viszonylag dűrva szemcsés szállított anyaggal tudja bemart üregesre formálni a kőzetfelszíneket.

A gödrös bemarások ellentéte az, amikor a felületből kiáll egy erősebb megtartású anyagzárvány. Több ilyen szikla is volt a Pathfinder körül: például a Squash (Sülttök) nevű, mely az egyik oldalán érdekesen kiálló részeket mutatott. A Squash-on ezek a kiálló részek sötétebbek voltak a kőzet többi részénél s ez a szövet értelmezhető breccsaként is. De értelmezhető konglomerátumként is. Ugyanígy értelmezhetjük a makroszkópikus kőzetminta szövetét akkor is, amikor különböző színű tartományok figyelhetők meg a szikla felszínén.

A szikla felületébe bemart és az abból kiálló részeknek a váltakozása a szikla felszínének jellegzetesen sávozott vagy réteges külső megjelenését okozhatja. Az ilyen sávozott felszíni szövet (textúra) sokféleképpen kialakulhatott. Kialakulhatott attól, hogy a kőzet belsejében található anyag nem homogén, hanem eltérő anyagú rétegekből áll. De a kőzeteknek ez réteges megjelenése létrejöhetett üregek összeolvadásából is. (Itt fontos megjegyezni, hogy a kamera felbontásának finomsága erősen befolyásolja azt, hogy milyen szövet figyelhető meg a szétszórt kőzetek felületén.) A réteges szerkezet nyomás hatására is létrejöhetett a

kőzetben, s egy üledékes kőzet is lehet réteges megjelenésű. Az eddigi értelmezésekben a sávozottság oka a belső eredetű rétegzettség. De külső eredetű hatás is lehetett a sávozottság oka. Például akkor, ha sekély mélységű a felszíni bemarás s azt a szél szállította részecskék okozták. A szikláról készült képen megfigyelhető rétegzettségét még hangsúlyosabbá teheti az, ha a szél által szállított por, amely még más színű is, mint a szikla kőzetanyaga, leülepszik a szikla árokmedyéibeiben.

Megfigyeltek azt is, hogy néhány szikla héjas szerkezetű és a szikla alakját követi ez a héjas textúra. Ilyen jelenség a Földön is ismert és szferoidos mállás hozza létre. Ilyenkor a víz behatol a gyengébb ellenállású ásványokba, mállásuk pedig a kőzetdarabnak az egész külső rétegét meggyöngíti. Különösen a gránitos kőzeteknél gyakori ez a mállási forma.

A Pathfinder körüli marsi sziklákon látható alakzatok többsége, Bridges és társainak megfigyelései szerint, jól értelmezhető a száraz sivatagi szél felszínalakító hatásával. A Pathfinder szikláin előforduló felszíni mintázatok mindegyikéhez tudtak hasonlót párosítani az arizonai sivatagból, ahol e kőzetszöveteket többségében a szél és az általa szállított törmelék formálta ki.

II. KÖZETFELSZINEK KÖZELRŐL

A marsi mikrokörnyezet szikláinak felszínvizsgálatából láttuk, hogy azokat belső és külső erők alakították. Döntő jelentőségű volt a szél e felszínek kialakításában, de a sziklák elhelyezkedésénél az őket a helyzínre szállító víz munkáját is figyelembe kell venni. Az apró szemcsés törmelék mozgásában szintén fontos szerepet játszott a szél. Most ezek elrendeződését tanulmányozzuk.

A széltevékenység háromféle lehet: pusztítás, szállítás és fölhalmozás. Ennek alapján rendezhetők csoportokba a homokra jellemző (eolikus) mikroformák.



A szél pusztító tevékenysége (koptatás, szélmarás) a felszíntől mért 15 centiméteres magasságig a legintenzívebb, mert ez az ugraltatva szállított homokszemcsék jellemző haladási szintje. Ennek következtében a nagyobb sziklatömböket eróziós árok szegélyezi a szikla közelében lokálisan megnövekvő szélesebb túlmélyítő hatásának eredményeként. Ebben az eróziós árokban főleg a kőzetdarabról származó törmelék szemcsék

találhatók. A sziklafelszíneken apró gödrök, néhány centiméter hosszú vésett rovátkák (szélkarcok) jelzik a szélmarás hatását. A szélmarta helyek felületborításának aránya elérheti a teljes felület 50–60 %-át is.

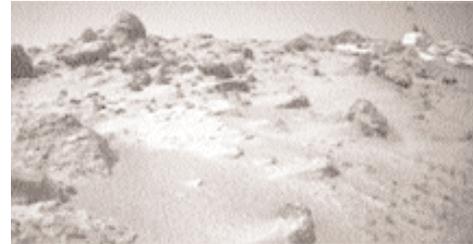
A kőzetdarabok mögött található homokfodrok mellett az akkumulációs formák között említhetők azok a kis méretű dűnék is, amelyek néhány méter hosszúak, és egy-két deciméter magasak. Színük világos a felszínükre ülepedett légköri porréteg következtében. Am miután a Sojourner rover átgurult egy ilyen mikrodűnéen, a keréknyomai helyén a porborítás alól előbukkant a dűne sötétebb színű anyaga.

A Pathfinder által vizsgált területen számos apró kőzetdarab szélárnnyékos oldalán ismerhető föl szélzászló, melynek hosszúsága a decimétértől közel egy méterig változik, s magassága néhány centiméter, színe vöröses, anyaga pedig finomszemcsés.

2.1 Szélfújta alakzatok a Pathfinder körül

Kezdjük a szélfújta törmelék (por és homok) alakzatainak tanulmányozását a sziklák környezetében. A lassú szél a lebegő port a sziklák tetején is leteszi, ezért sok kődarab van porral borítva. Ilyen porborítást minden marsi leszállóhelyen megfigyeltek. A Bernoulli törvény értelmében a nagy sebességű áramlás, az erős szél, elszállítja a homokot. Gyors áramlású a szél a sziklák mögött, mellett, s ezért a sziklák körül kis árok keletkezik. Gyakorik az ilyen árkok a

Pathfinder körüli sziklák lábánál is. A szél azonban nemcsak elszállítja, de a homok egy részét el is rendezi. A kisebb méretű kőzetdarabok mögött hosszan elnyúló **szélzászlókat** fényképezett a Pathfinder. A szélzászlók elhelyezkedési irányából meghatározták az uralkodó szélirányt is a Pathfinder vidékén, a leszállási időszak évszakában (ÉNy-DK).



A szélfújta formák különböző mérettartományokba esnek. Ezek közül a bolygófelszíni mikrokörnyezetek tartományaiba eső kisebbeket, a leszállóhelyhez közeli területeket érintettük eddig. A Pathfindertől távolabb láthatók már a nagyobb magasságból megfigyelhető táj formakincséhez tartoznak. Ezek olyan nagyobb méretű **homokdűne** tarajok, amelyek az űrszonda körüli mikrokörnyezet megfigyelési határának peremén húzódnak és a lokális környezet formáit a regionális környezet domborzati formáival kapcsolják.

2.2 Szélfújta alakzatok a kőzeteken és a régióban

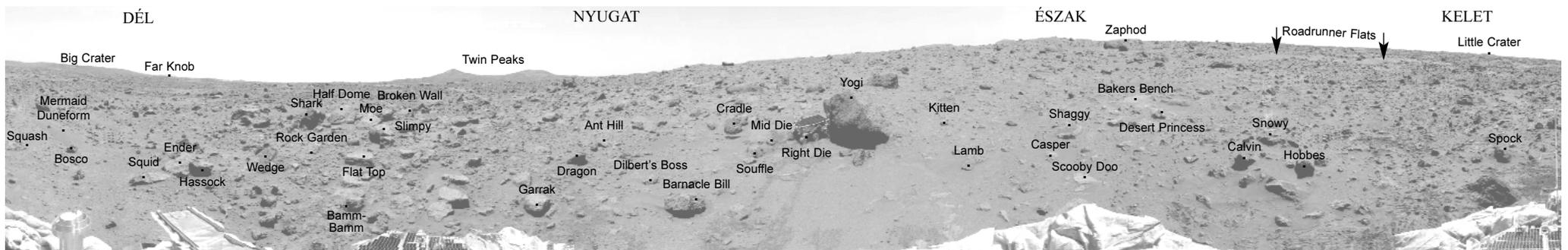
A Pathfinder leszállóhelyének tágabb környezetét

a Tiu és az Ares-völgyet létrehozó áradások, tehát a víz áramlásakor föllépő szállító munkái alakították ki. Az áradások után főleg a szél és az általa szállított anyag, vagyis az eolikus folyamatok formálták a felszínt.

Az áramló légkör aprószemű törmelékkel visz magával és építő vagy romboló munkát végez a mikrokörnyezet alakzatain. Háromféle szél fújta formát figyeltek meg a Pathfinder környezetében. Az akkumulációs, vagyis fölhalmozódási formák fodroszerű mintázatokból, sodródási lerakódásokból és dűnékből állnak. Az eróziós minták, („szélbarázdák”), olyan formák, amelyek leginkább a **sziklák körüli árkok** formájában figyelhetők meg. Az abrúziós jelenségek a sziklák felületén láthatók, s leggyakrabban a szélhordta por és törmelék által kivált „furyák”, lyukak, barázdák.



A Pathfinder képeinek vizsgálatából



A Mars Pathfinder leszállóhelyének panorámafényképe a kővek neveivel. A hullámzó domborzat miatt egy közeli horizontvonal mögött csak a távolabbi kiemelkedések bukkannak ki (pl. Twin Peaks, Big Crater, Far Knob).

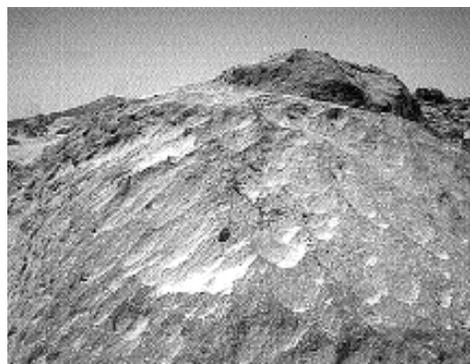
megállapították, hogy mind a törmeléket főlhalmozó, lerakó, mind pedig az eróziós formák fő széliránya megegyezik a Mars északi féltekéjének a leggyakoribb téli szélirányával (ÉNy - DK), Ezt az irányt már a Viking Orbiter képein is megfigyelték.

A Pathfinder tágabb környezetének domborzatáról a Mars Global Surveyor felvételei tájékoztattak. A Tiu-Ares áradási síkságon többféle felszínforma is megfigyelhető. Ilyenek a Tiu-völgyhöz lefutásához igazodó halvány vonalas szerkezetek, melyek a kráterek mellett főleg világos, párhuzamos vagy ívelt hátakból állnak (ezek hossza néhányszor tíz métertől a több száz métert is elérheti). A hátak közti távolság 25–60 m között változik, és 7–20 m szélesek és így hasonlítanak a más területeken is megfigyelhető transzverzális dűnékhöz. ÉNy-DK irányuk megegyezik a Pathfinder közelében levő kis dűnék és szélszárlók, valamint a Viking Orbiter képein látható szélsávok irányával. E **dombhátak** az áradásos időszak után képződtek, fiatal eolikus formák, mert keresztezik az áradásos időszak után keletkezett nagy kráterek széleit és betérítik lejtőiket, befedik a régebbi formák oldalait is. A Pathfinder képei azt mutatták, hogy az Ikercsúcsok (Twin Peaks) keleti lejtőin és a nyeregben is világos sávok húzódnak keresztül, s ezek két ilyen párhuzamos dombhát vonulatai, felülről fényképezve őket.

A Pathfinder leszállóhelye körül, láttuk, sok sziklán találunk szélrovtákkát. E **szélrovtákkák** orientációja KDK-tól NyÉNy-felé fújó szelekre utal, ami határozottan eltér a mai uralkodó széliránytól (ÉK-DNy) és az uralkodó szélirány jelentős változására utal. (Szelirányváltozások periodikusan is történhetek a 125 000 éves pályahajlási oszcillációs ciklussal összefüggésben. A a napéjegyenlőségek a perihéliumponttal 51 000 évenként esnek egybe.

Ugyancsak az ősbib szeles időszakra szolgálhatnak bizonyítékul a kisebb (60–300 m átmérő között) kráterek, melyek többsége másodlagos eredetű. E kráterek nagy részének megkopott a pereme és úgy tűnik, mintha szél szállította üledékkel lennének részlegesen kitöltve

(csökkent vagy elpusztult Ny-ÉNy-i peremszakaszuk van)



A kráterperemek lepusztult szakaszainak iránya megegyezik a szélrovtákkák azimutjával és eltér a szélbarázdák és szélsávok orientációjától. A Pathfinder leszállóhelyétől keletre, mintegy 1 kilométer távolságban, az előbb bemutatott dombhátak egy csoportja is észrevehető és orientációjuk főleg észak-déli irányú.

A Pathfinder leszállóhelyének geológiai vizsgálata azt mutatta, hogy a dombhátak rendszere, a krátereken belüli lerakódások és a kráterekhez kapcsolódó szélsávok, (melyek mind láthatók a keringési pályáról), egy viszonylag fiatal felszínformálási időszak szél által kialakított alakzatai. Irányuk alapján ezek a (téli) szelek hozhatták létre a Pathfinder környékén látható kis dűnéket és felhalmozódásokat is.

A Pathfinder körüli sziklákon lévő szélrovtákkák és a pályáról látható lefaragott kráterperemek egy másik, ősbib szeles időszakra utalnak. Ezek a szelek egykor elég sok homokanyagot is szállíthattak, és e szállított törmelékekkel vájták ki a szélrovtákkát a sziklafelszíneken. Az ilyen szélrovtákkák elsősorban olyan helyeken keletkeznek, ahol az erős szelek a szállított szemcsék nagy mennyiségét mozgatják szaltációs (táncoltatott) formában. Ilyen területek a Földön főleg a sivatagokban és a gleccserek mellett találhatóak. A földi kőzetek felszínén ma megfigyelhető szélrovtákkák jelentős része egy ősi szeles időszakban keletkezett. Maradványformaként jelennek meg a 6–8000

évvvel ezelőtti időkből, a jégkorszak szárazabb időszakából.

Valószínű, hogy a Pathfinder leszállóhelyénél levő talaj-szemcsék homokfrakciója is ősi eredetű és a Tiu Valles és az Ares Valles ősi (2 milliárd évvel ezelőtti) áradásaiból származik. A Pathfindertől keletre levő halvány dombhátak szintén egykori dűnék maradványformái lehetnek. Az ősi szeles időszakban ezek a dűnék szolgálhattak homokanyag-forrásként a szeleknek ahhoz, hogy a szállított törmelékanyagot kivájják a szélrovtákkát a Pathfinder körüli sziklákon.

2.3 Jég a sivatagban

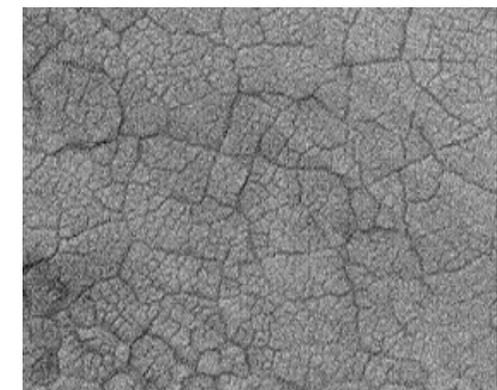
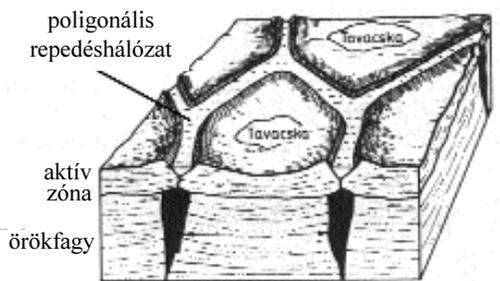
A Föld legtöbb sivatagában csakúgy, mint a Holdon és a Vénuszon, a víz hiánya a legfontosabb tájformáló tényező. A Mars sziklasivatagos, törmelékes felszínű területei azonban bővelkednek H₂O-molekulákban, csak azok nem folyékony állapotban, hanem jég formájában vannak jelen a felszínközeli rétegekben. Ezért a marsi sivatagok környezeti viszonyait és felszínalakító folyamatait helyesebb a földi fagy-sivatagokhoz hasonlítani, amelyek bolygónk sarkvidéki (periglaciális) régióiban, főként Kanada északi részén, Szibériában és az antarktisi Száraz-völgyek területén borítják a felszínt.

A fagy-sivatagokban a jég nem a felszínen, hanem – a kőzetrétegek pórusait kitöltve s ezáltal szemcséit összecementálva – a felszín alatt található, az örökké fagyott (permafroszt-) rétegben, amelynek vastagsága a több száz métert is elérheti. Felső néhány métere az aktív zóna, amelyre hatással van a felszíni hőmérséklet változása, ezért periodikusan megolvad – ez a halmazállapot-változás határozza meg elsődlegesen a periglaciális formakincset.

A fagyás során az aktív zónában ékszerű, függőleges rések alakulnak ki, amelyekbe törmelék hullik. Bár olvadáskor bezárulnak, a következő fagyási periódusban az aktív zóna ugyanott reped meg, így az ékek helye állandósul. A felszínen pedig egy poligonális repedés-hálózat fejlődik ki, amelynek csomópontjai a függőleges résekben találhatók.

A marsi poligonok többnyire kráterek fenekén vagy a kráterközi síkságokon alakulnak ki, a 60° és 80° szélességek között. Legjobban az ürfelvételeken akkor láthatók, ha világos dér vagy sötét homok tölti ki repedéseit.

A periodikus megolvadás másik következménye a felszíni törmelék-takaró réteges kúszása (lassú lejtőirányú elmozdulása), amely a Földön számos helyen jelenleg is zajlik, s múltbeli nyomai marsi formákon is megfigyelhetők. Hatására hosszú idő alatt óriási méretű törmelék-lejtők alakulnak ki, amelyek hasonlítanak a földi gleccserekhez, de anyagukban sokkal magasabb a kőzettörmelék aránya (sziklagleccserek).

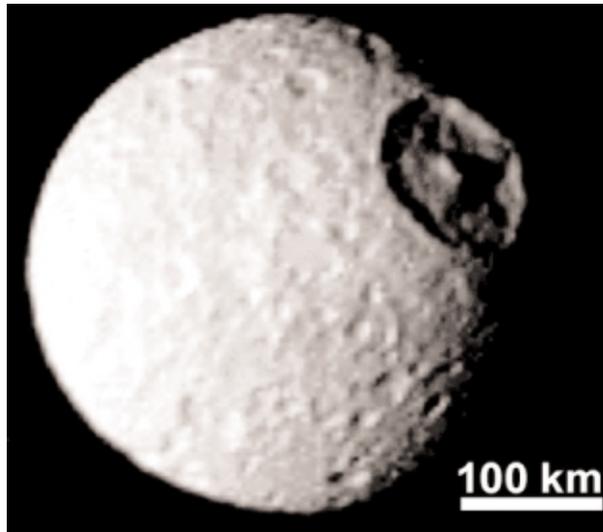


Szélfúttá homok borította poligonok, a 71.2°D, 282.6°Ny-on lévő kráterben. E12-02319, 2002. január 21-i felvétel. A kép helyszínén nyár van. A képkivágat kb. 1,5 km széles területet mutat. (NASA/JPL/MSSS)

III. A TÖRMELEKANYAG JELLEMZŐI

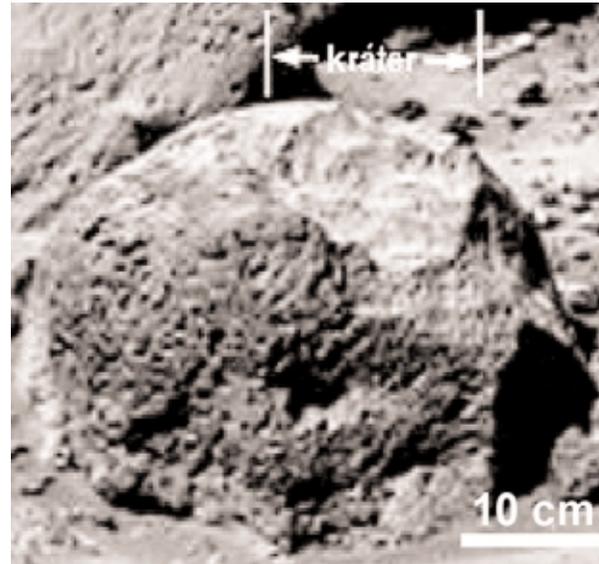
A szilárd kéreggel rendelkező égitestek felszínét nem sértetlen, kemény kőzettestek alkotják, hanem általában törmelékanyag borítja. Ez a törmelékanyag többféle folyamat eredményeként jön létre:

- a kozmikus erózió, vagyis az égitestet érő becsapódások által okozott hatások (kidobódás, kéreg-rengés, töredezés, rázkódás) miatt, amely ellen csak sűrű légkör jelent - részleges - védelmet;
- a kőzetmegbontó mechanizmusok által, amelyek két típusa a kőzetek alkotórészeinek fizikai szétesése, méretcsökkenése (aprózódás, ezt elsősorban az intenzív hőingadozás okozza), illetve az ásványi összetevők kémiai átalakulása (mállás, amelyhez viszont valamilyen oldószer, az általunk a Földről ismert legáltalánosabb esetben folyékony víz jelenléte szükséges, de a Vénuszon például a légkör gázaival történő kölcsönhatás okozza);
- a tömegmozgások és más külső erők (víz, jég, szél) munkájának hatására, amely utóbbiak működésének fontos feltétele valamilyen illószféra jelenléte az égitesten.



A Szaturnusz Mimas holdjának óriási krátere

A törmelékanyag elnevezése sokféle lehet, és gyakran égitestenként is eltérő. A Hold felszíni törmelékanyagát regolitnak, ritkábban holdpornak nevezik, a Marsot borító kevésbé homogén törmelékanyagot gyakran megaregolitnak hívják, a Föld esetében pedig a talaj kifejezés tekinthető általánosnak.



Apró meteorit-becsapódás nyoma a Marson

Földtudományi értelmezése szerint azonban a talaj a földkéreg legkülső termékeny rétege (pedoszféra), vagyis részben biológiai produktum, ezért jelentése nem egyezik meg minden szempontból a felszíni törmelékanyagával. Bolygónk száraz, sivatagi és fagyos, poláris területein a környezeti feltételek rendkívül kedvezőtlenek a talajképződés számára, így itt a felszíni talaj helyett valóban törmelékanyag (vagy terméketlen vázlat) borítja. Ez az egyik oka annak, hogy a Földön ezek a területek hasonlítanak leginkább a Hold és a Mars tájaihoz.

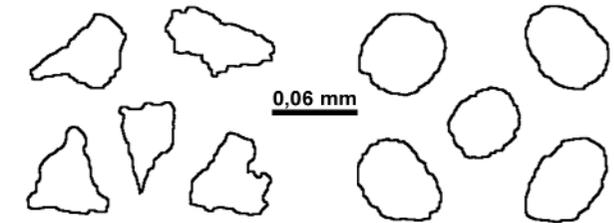
3.1. A törmelék fizikai tulajdonságai

A felszínt borító törmelékanyagot leszállóegységekkel igen összetett módszerekkel és részletesen tanulmányozhatjuk. A vizsgálatok alapján pedig következtetni lehet a leszállási hely múltbeli fejlődésére és a jelenleg aktív felszínalakító folyamatokra.

szemcseméret	törmelék	kőzet
> 200 mm	tömb / görgeteg	breccsa /
200-2 mm	kavics	breccsa /
2-0,06 mm	homok	homokkő
0,06-0,02	kőzetliszt	lössz
0,02-0,004 mm	aleurit	aleurolit
< 0,004 mm	agyag / iszap	agyagkő

A törmelékes üledékes kőzetek földi rendszere

- Az alkotórészek szemcsemérete, alakja és osztályozottsága szoros összefüggésben áll a táj arculatának kialakulásával. A különböző viszkozitású közegekhez, illetve külső erőkhöz gyakran jellegzetes méret-tartományok társíthatók, így a törmelék szemcseméret-gyakorisági diagramja alapján meghatározható a domináns felszínalakító folyamat. Ez tovább pontosítható a szemcsék alakitási sajátosságaival - így lehetséges például az éles, csúcsos folyóvíz szállította csillogó homokanyag elkülönítése a szinte teljesen izometrikus, legömbölyített, matt, szél által mozgatott szemcséktől (az utóbbi emellett a szemcsék minimális méretbeli eltéréséről is felismerhető).



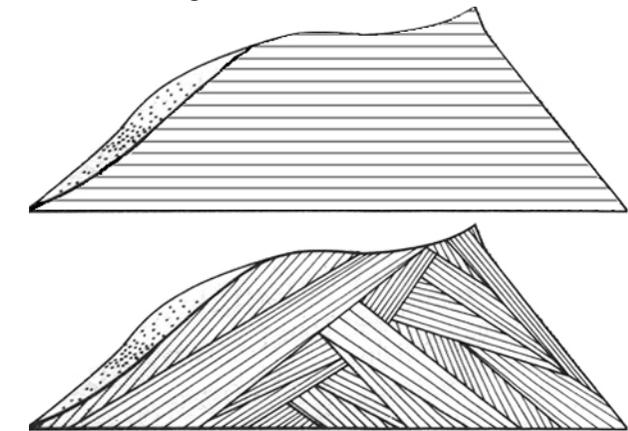
Folyóvízi, kevésbé

lekerekített homokszemcsék

Szél által szállított,

lekerekített homokszemcsék

- A törmelékanyag vastagsága alapján megbecsülhető, hogy milyen hosszú ideje fejlődik változatlan módon a vizsgált terület.
- A törmelék esetleges függőleges szerkezete is a felszínalakulás mechanizmusát és időbeli változását jelzi. Az egymással párhuzamosan elhelyezkedő rétegek például állandó, egyirányú szelek esetén jönnek létre, a folyóvízi törmelékanyag szállítás viszont főként kereszttrétegzést alakít ki.



Párhuzamos és kereszttrétegzés

- Fontos vizsgálni a szemcsék közötti hézagok, pórusok térfogatarányát, amely a törmelék réteg tömörödésével folyamatosan csökken, vagyis a réteg "érettségét", korát jelzi.

- A hézagok térfogatát a légköri gázok mellett sokféle más anyag is kitöltheti. A Földön ez leggyakrabban talaj- vagy rétegvíz, de más szilikátos égitesteken a H₂O sokkal ritkább vegyületnek számít, kivéve a Marsot, ahol nagyobb mennyiségben a megaregolit pórusaiban található H₂O, összecementálva annak szemcséit és egy globális perma-froszt-réteget (örökfagy-zónát) hozva létre. A vörös bolygó más részein viszont vas-oxidral cementált törmelékterületek feltételezhetők (a Földön az agyag-, kova-, só-, karbonát- és szulfát-vegyületek által összecementált törmelék is ismert).

3.2. A törmelék kémiai összetétele

A különböző felszínrészletek állékonyság- és színárnyalatbeli eltérései alapján kijelölhetők a különleges összetételű területek, de azok elemi illetve ásványi összetevőinek pontos meghatározásához spektrométerekre van szükség.

Ilyen berendezések gyakran találhatók a keringőegységeken, amelyek távérzékelési módszerek alkalmazásával szinte globális felmérésre képesek, valamint a leszállóegységeken is, amelyek viszont a leszállóhely mikrokörnyezetének igen pontos kémiai-ásványos elemzését végezhetik el.

A vastartalmú összetevők kimutatása azonban egyszerűbben is lehetséges. A Mars Pathfinder Sojourner Roverjének felső részén eltérő mágneses tulajdonságú lapokat helyeztek el egymás mellett, amelyekre a légkörből hulló poranyag fokozatosan kiülepedett. Így megbecsülhetővé vált a száraz ülepedés intenzitása valamint a poranyag mágnesezhető összetevőinek aránya is.

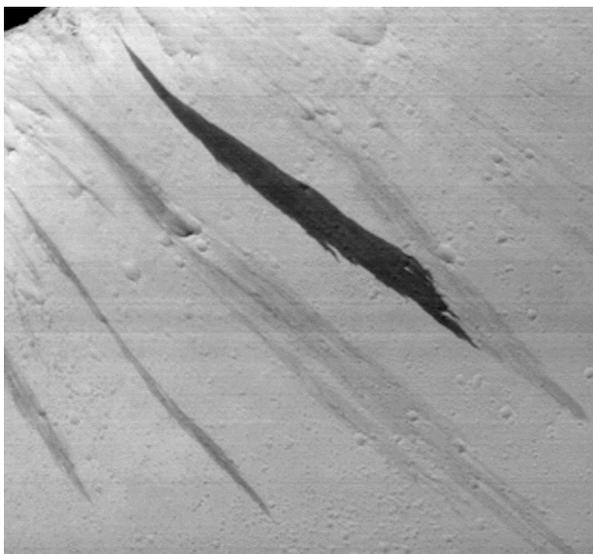
3.3. A törmelék szállítása

A bolygók felszínén zajló lejtős tömegmozgások és a jelen lévő áramló közegek alkalmasak a törmelékanyag szállítására. Am utóbbiak hatékony működéséhez számottevő illószféra jelenléte szükséges, ezért a víz és a jég, mint áramló közegek napjainkban csak a Földön jelentősek. (Az utóbbi évek vizsgálatai alapján úgy tűnik, hogy a Mars fejlődésének kezdetén a Földhöz hasonlóan nedves bolygó volt, s ennek egyik legfontosabb bizonyítékát éppen az ősi vízfolyások által szállított illetve felhalmozott üledékes rétegsorok jelentik. Tehát megfelelő felszíni viszonyok esetén bárhol szerephez juthat a víz a törmelék szállításában.) Más égitesteken a törmelék szállítás meghatározó tényezői a suvadások és a szél.

A tömegmozgások során a törmelékanyag nem áramlás, hanem a gravitációs erő hatására jön mozgásba, ezért szinte bármilyen környezetben előfordulhatnak, ahol a törmelék lejtős térszínen (völgyekben, kráterek falán, vulkánok oldalán) található. Ezen folyamatoknak több alaptípusa ismert:

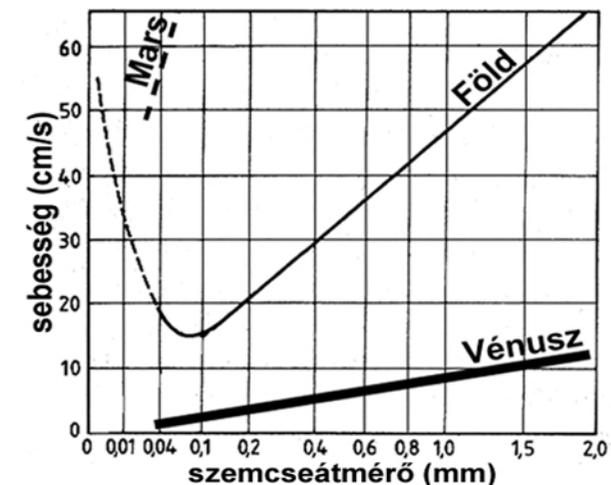
- omlás: hirtelen folyamat, a kőzet- és törmelékdarabok egymástól függetlenül, szabadon mozognak;
- csuszamlás: lassabban zajló jelenség, s az elmozdulás tömbszerűen, egy csúszópálya mentén történik;
- kúszás: a felszíni anyag lassú, de folyamatosan zajló, rétegszerű elmozdulása.

A tömegmozgások egy sajátos formáját jelentik a Marson jelenleg is megfigyelhető porlavinák. Ezek során helyi állékonyság-vesztés miatt megindul lejtőirányba a felszínt borító, a légkörből kiülepedett porréteg, s - öngerjesztő folyamatként - egyre nagyobb területről ragadja magával a port, kitarva az alatta lévő, általában sötétebb kőzetretegeket. Mivel a porhullás igen lassú, az így kialakult formák hosszú ideig láthatók maradnak.



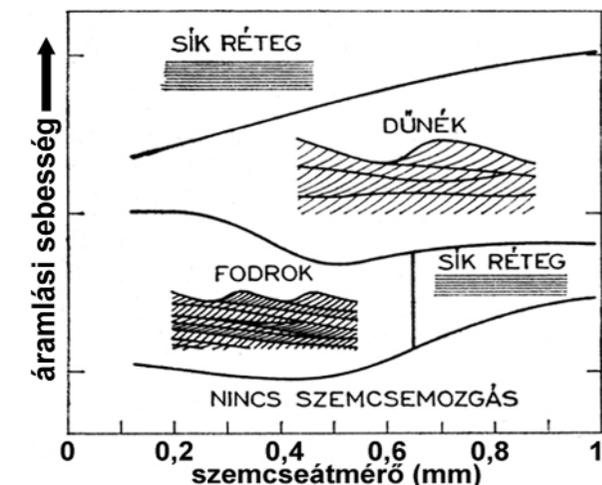
Porlavinák nyomai a Mars felszínén

A szél által mozgatható szemcseméret-tartományt elsősorban a szélsébség illetve a levegősűrűség határozza meg (nem közömbös a törmelék sűrűsége sem). Ezek ismeretében a különböző nagyságú szemcse-frakciókhoz hozzákapcsolható egy kritikus indítási sebesség, amelynél lassabb szélfújás esetén a törmelék réteg mozdulatlan állapotban marad.

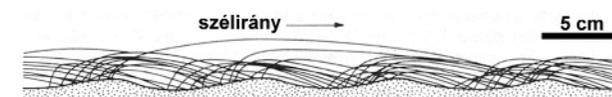


Indítási szélsébség a szemcseátmérő függvényében

A szél háromféle módon képes a törmelék szemcsék szállítására: a nagyobb tömböket csúsztatva-görgetve, az apróbbakat lebegtetve, a homok mérettartományt pedig ugráltatva (szaltációval) mozgatja. Az ugráltatás hatására a szabad homokfelületek felszíne fodrozottá válik.



Formák a szélsébség a szemcseátmérő függvényében



Homokfodrok kialakulása

IV. LESZÁLLÁS A VÉNUSZON

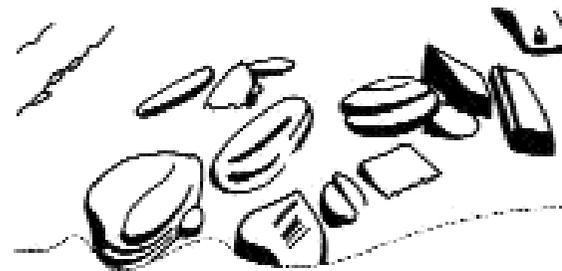
4.1. Sziklasivatag a Vénuszon (I.E., H.H.)

A Vénusz bolygó kutatására küldték eddig a legtöbb szondát: 2003-ig 43 alkalommal közelítette meg űreszköz a Vénuszt. A 43-ból 15 lépett be a légkörébe, ebből 11 szállt le a felszínére, és mindössze 4 küldött fényképet e pokoli világból.

A Földdel nagyjából azonos méretű Vénusznak nagyon sűrű légköre van, amely nagy – mintegy 90 atmoszféra – légnyomást hoz létre a felszínén. A főleg szén-dioxidból álló légkör a nagy légnyomás miatt létrejövő különösen erős üvegház-hatásával 500 °C körül tartja a felszíni hőmérsékletet. Nem csoda, hogy ilyen forróságban nincs víz a bolygó felszínén. Ami kevés vize van a Vénusznak, az a légkörbe került, de nem vízfelhőket alkot, hanem a légkörben lévő kén-nel kénsav és kénsav felhőket képez. Ezek a felhők mindenütt, teljesen beborítják az eget. Így a felszín űrszondáról nem fotózható, csak radarral lehetett a felszíni formákat feltérképezni (Pioneer Venus 1, Venyera 15 és 16, Magellan). A felhők az 8 és 55 km magasság között négy különálló réteget alkotnak, amelyeknek csak a cseppméretei különböznek.

Nem volt egyszerű a Vénuszra leszálló szondák készítése. A nagy légnyomás miatt az első leszálló szondák még a légkörben összeroppantak, vagy a 20 km környékéig lejutottak ugyan, de a kénsavfelhők anyaga lemarta az érzékelőket, így megszakadt velük a kapcsolat (Venyera 4, 5 és 6 és a Pioneer Venus nagy szondája). A következőket aztán más anyagból és nagyobb nyomásra készítették, így ezek már elérhették a felszínt. A szovjetek általában két szondát indítottak egyszerre, és mindegyiken két kamerát helyeztek el, hogy teljes körpanorámát fotózhassanak. Némelyeknél azonban a kamera sapkája nem nyílt ki, talán megolvadt a pokoli hőségben (a Venyera 9 egyik és a Venyera 11 és 12 mindkét kamerájánál). A szondáknak a felszínt sima leszállással elért leszálló egységei a hőséget 20-120 percig bírták, addigra túlmelegedtek, és beszüntették működésüket (Venyera 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 és 14, Vega 1 és 2. A Pioneer Venus három kis szondáját nem sima leszállással szállították le, azok a felszínhez ütközéskor szüntették be adásukat.).

A felhők miatt a Napot sehonnan és semikor sem láthatná egy Vénusz-lakó, ha létezne. Nem is hitték, hogy a fényképezéshez elegendő fény van a felszínén. A Venyera 8 szovjet űrszonda által



1. ábra: A Venyera 9 leszálló egységének fekete-fehér panorámaképe, az első, idegen bolygó felszínéről készített kép. A leszállás 1975. okt. 22-én történt a 32° déli szélességgel és a 291° keleti hosszúsággal jelzett pontban, ahol 53 percig működött a szonda. A felvétel helyén és idején 457° C hőmérsékletet és 88 atm. nyomást mértek. A szélesség 0,4-0,7 m/s volt. Korábban a kutatók azt gondolták, hogy a felszínen élénk szeleket, homokot és poros levegőt találnak, és a sűrű légkör és a zárt felhőzet miatt nagyon sötét lesz. A kamerához fényszórót is vittek a biztonság kedvéért. A kép tanúsága szerint tiszta volt a levegő annak ellenére, hogy a leszállás után közvetlenül készült a kép. A táj egy sziklasivatag. A 30-40 cm-es köveken viszonylag friss, kevésbé erodált törések és felületek látszanak. A köveknek egy része azonban besüpped a talajba, tehát van „talaj”, vagyis kőzettörmelék is.

vitt fénymérő azonban mutatta, hogy a következő alkalommal érdemes fényképezőgépet is vinni. Először a Venyera 9 és 10 leszállása után került sor fotózásra (ekkor fekete-fehér képek készültek), amikor nyilvánvalóvá vált, hogy a Vénusz felszínén olyan erős a megvilágítás, mint a Földön egy nagyon felhős napon. A felhők árnyékoló hatása azonban változik, ahogy ezt a Venyera 13 talajellenállásmérő karjáról készült két felvétel is igazolja, amelyek 80 perc különbséggel készültek. Itt a megvilágításbeli különbséget a felhők eloszlásának változása okozhatta. A Nap ugyanis ennyi idő alatt alig mozdul el a Vénuszon, hiszen a Vénusz 243 földi nap alatt fordul meg a tengelye körül.

A Venyera 13 és 14 szonda-páros már színes panoráma képeket továbbított. Érdekes fénytörési jelenséget látunk a képeken. Olyan erősen görbült a kép, mintha egy nagyon kicsi gömbön állnánk. Ezt a délibábhhoz hasonló optikai hatást az hozza létre, hogy a hőmérséklet a felszín felett 1 m-en belül ugrásszerűen változik. A

felvételek tanúsága szerint a felszín albedója nagyon alacsony, 2 (Venyera 13 mérése) és 11 % (Venyera 14 mérése) között változott. A színes felvételeken a talaj barna; ilyen színt várhatunk egy sötét talajtól sárga légkörben, amelyből a fény kék összetevője teljesen kiszűrődött, mire a talajszintre leért.

A Venyera 9, 10, 11, 12, 13, 14 szondák a Beta-régió két óriási vulkánjának közelében szálltak le. A Venyera 13 és 14-t ultraibolya fluoreszcens spektrométerrel és talajmintavevő karral is ellátták (3 cm mélységből 1 cm³-t). A Venyera 14 toleites bazaltot azonosított, amely a Földön az óceánaljzatokon nagyon gyakori. A Venyera 13 kálium alkáli bazaltot hasonló anyagot talált, amely a Földön az óceáni szigeteken fordul elő, és nagyon ritka. A Venyera 8, amely ettől a területtől a legmesszebb mért gamma spektrométerével a felszín anyagát, gránit-hoz hasonló anyagra jellemző sugárzásértékeket mért.

A radarhullámok szóródásából megállapítható volt, hogy por alakban nincs vastag regolitréteg a Vénuszon, de nem zárható ki,



2. ábra: Venyera 13 leszálló egységének panorámaképe az első színes kép a Vénuszról (a kép párja a borítón színesben látható). A leszállás 1982. márc. 1-én a Phoebe-régiótól keletre történt (7,5° déli szélesség és 303° keleti hosszúság). A szonda a tervezett 32 helyett 127 percig működött a 457 C fokos és 84 atm. nyomású környezetben. A piros szűrőn át készített felvétel volt a legtisztább, ezt látjuk, ezért a képen a felszínen minden vöröses. A képen számban álló kőzet látszik, amelynek kibukkanásai sötét, finom szemcsészettségű törmelékkel (talajjal) vannak takarva. A talajmintavevő adatai alkáli gabbróra utalnak. A lávafolyásnyomok határainak vizsgálata alapján a Venyera 13 leszállóhelyén kis viszkozitású pahoehoe lávák

hogyan cementáló anyagként szerepel a por. Mindenesetre a Venyera 9 fotóján látszanak a porba félig besüllyedt kövek, tehát por van a Vénuszon.

A Vénusz felszínén a fizikai feltételek nagyon állandóak. A szondák nagyon gyenge szeleket regisztráltak, az sehol sem érte el az 1 m/s-ot. A Venyera 9 és a Pioneer Venus leszállásokon felmerült ugyan a por, de a Venyera 9-nél 40 másodperc alatt már teljesen el is ült. A koromszerű, sötét por anyaga leginkább a bazalt tulajdonságaira emlékeztet. A légkör tisztasága a talaj közelében arra utal, hogy a por nem emelkedik fel a levegőbe, hanem a felszínen marad. Mivel a szél gyenge; csapadék sincs, és a napi maximálisan 1 fok hőmérsékletváltozás miatt a hőerőző is kicsi, az erőző nagyon gyenge a Vénuszon.

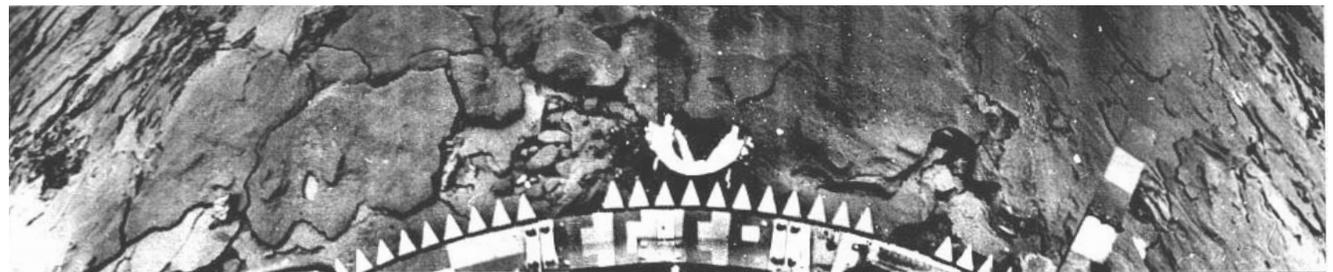
Csak a szilárd anyag és a légkör maró gázai közötti kölcsönhatás marad, vagyis csak a kémiai mállás működik, és vezet a kőzetek aprózódásához, porlásához. A port a hegységekből a gravitáció és a magassággal egyre erősödő szelek szállítják lejjebb. A por lent újra reakcióba lép az alsó légkörrel. Ilyen mállástermékek láthatók a Venyera szondák panorámaképein, a kövek között. Elmozdulásuk észrevehető volt a Venyera 13 szonda lábán, ahol a 100 percnél működési idő alatt folyamatosan változott a lerakódott por eloszlása. A porrészecskéket itt is a gyenge szél mozgathatta, mint ahogy a néhol látható szélzászlókat is a hozhatta létre.

A Venyera 14 panorámaképei nagyméretű, lapos, lemezesen repedt köveket mutatnak, mintha a vulkáni anyag a megszilárdulás után éppen megrepedezett volna. A Földön az

óceáni aljzat mutat hasonló képet. A többi szonda felvételén a kövek már nem annyira élesek, kicsit erodálódtak, közöttük sötét por látszik.

Hogy a Vénuszon hegyek léteznek, arra a panorámaképeken látható sziklák is utalnak, de a Pioneer Venus magasságmérések is mutatták.

Ha ma vulkánok működnek a Vénuszon, akkor a színjáték különbözik a Földön megszokottól, még ha a vulkán működési mechanizmusa és a láva anyaga azonos is. A nagy légnyomás miatt ugyanis úgy játszódik le a vulkáni kiömlés, mint ahogy a Földön az óceánban. A vulkáni felhők harmadakkora magasságig hatolnak fel a légkörbe, és vulkáni szórás sincs. Ha ilyen mégis találunk, akkor az csak akkor következhetett be, ha a magma abnormálisan magas illóanyag tartalmú (2% vízgőz vagy 5% CO₂-nél nagyobb tartalom), vagy ha korábban kisebb volt a légnyomás. A mostani légnyomáshoz ugyanakkora kiáramlási sebesség



3. ábra: A Venyera 14 leszállóegységének panorámaképe. A leszállás 1982. márc. 5-én a Phoebe-régió környéki bazaltos síkságra történt (13,15° déli szélesség és a 310° keleti hosszúság). A szonda 57 percig volt működőképes a 465 °C fokos hőségben és a 94 atm. légnyomáson. A kép azt mutatja, hogy friss lávafolyás kihűlt, vékony rétegű kérge éppen csak hogy megrepedezett.

esetén a földinél 2-4-szer kisebb sebességgel dobódnak fel az anyagok, tehát sokkal kevésbé szóródnak szét, mint a Földön.

A lávafolyások lassabban hűlnek ilyen felszíni hőmérsékleten, ezért lényegesen hosszabbak, mint a Földön. Radarképeken azonosítottak is több hosszú lávafolyást, a leghosszabb elérte a 6800 km-t, tehát hosszabb, mint a Nílus. Ehhez a hosszúsághoz a magas felszíni hőmérsékleten kívül valami másnak is hozzá kellett járulni. A láva valószínűleg nagyon sok sót tartalmaz, amely hígfolyóssá teszi azt.

A Venyera 13 és 14-et felszerelték egy nagyérzékenységű szeizmométerrel is, amely a mikro szeizmicitás érzékelésére is alkalmas volt. A Venyera 14 két olyan eseményt is regisztrált, amilyent egy kb. 10 cm-es elmozdulás okozhat. Földi analógia alapján ez megfelel annak, amit egy vulkántól 3000 km-re lehet érzékelni. Ilyen távolságra volt a Venyera 14 mind a Beta, mind a Phoebe vulkáni hegykolosszustól. Nemcsak a friss törések létéből (Venyera 14 kép), hanem ezekből a mérésekből is arra következtethetünk tehát, hogy a Vénusz ma is aktív bolygó.

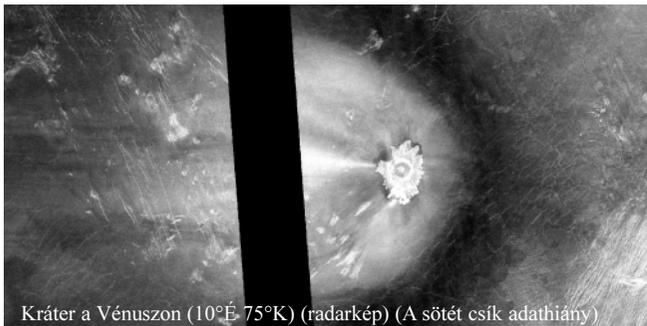
V. BECSAPÓDÁSOK MEGFIGYELÉSE A FELSZÍNEN

5.1 Becsapódások a Vénuszon

A Vénusz felszínén kb. 870 becsapódásos krátert számláltak. Az az érdekes, hogy a 10-12 km-nél kisebb kráterek mind több test szinkron becsapódásának a nyomát őrzik. A nagyon sűrű légkörbe behatoló kisebb testek ugyanis a súrlódástól annyira felizzanak, hogy még a levegőben, a talaj közelében szétrobbannak, és időkülönbség nélkül, egyszerre érkeznek a felszínhez. Így a törmelékterítőjük még a levegőben ütközik, és egész máshol hullik vissza, mintha egy becsapódás törmelékterítője lenne.

A nagyobb kráterek törmelékterítője gyakran aszimmetrikus a nagyon sűrű légkör miatt. Ferde becsapódás esetén ugyanis a test által felmelegített levegő turbulens áramlásai nem engedik a törmelékterítőt a beérkezés irányába kiterülni, így ott hiányzik a terítő egy szegmense.

A Vénuszon a becsapódásokkal kapcsolatban még egy fajta érdekes jelenség létrejön a nagy légsűrűség miatt. Ott ugyanis mindennaposak az olyan jelenségek, mint amilyen a Földön a Tungúz meteor kapcsán fellepett. A légkörbe beérkező, felforrósodott test szétrobban, így ő maga nem éri el a talajt, viszont a robbanásával kiváltott légköri lökésfront a talaj szemcséit összemorzsolja, finom porrá őrli. A radarfelvételeken nagyon feltűnőek az ilyen becsapódási helyek, mert a finom por a radarhullámokat egész másként veri vissza. A radarhullámok visszaverődése ugyanis a felszíni mikrodomborzatra érzékeny. Ha a hullámhossz méreténél sokkal kisebb a felszín durvasága, a felszín, mint egy síktükör egy irányba veri vissza a nyalábot, ezáltal más irányokból radar-sötétnek látjuk a felületet. Ha a radarhullámok hullámhosszána nagyobb a felszín tagoltsága, akkor a nyalábot mindenfelé szétszórja, tehát minden irányból fényesebbnek látjuk a felszín azon részét. Ezért látjuk fényesebbnek a hegyeket, és sötétebbnek, részletnélkülinek a síkságokat a radarképeken.



Kráter a Vénuszon (10°É 75°K) (radarkép) (A sötét csík adathiány)

5.2 Becsapódásos kráterek környezete a Földön

A becsapódásos kráterek a Földön kívüli égitestek legjellegzetesebb formái; a Földön mégis viszonylag ritkán fordulnak elő. Nem mondható mégsem, hogy kuriózumok, hisz az elmúlt közel száz év során több mint másfélszáz ilyen szerkezetet azonosítottak. (A Vénuszon 870 elnevezett kráter található, melyek között 1 milliárd évesnél nincs idősebb.) A földi kráterek becsapódásos eredetét az elmúlt kb. 50 évben sikerült bizonyítani. Korábban vulkáni eredetüket sem zárták ki. A civilizációtól távol eső területek részletes légi- vagy űrfelvételeken alapuló térképezésével szinte évente találnak újabb becsapódásos szerkezeteket. A földi kráterek kb. harmada a felszínen ma már nem észlelhető domborzatú szerkezet. Ezek vagy eltemetődtek (víz alatt, pl. Chixulub) vagy a felszínük elegyengetődött az erózió miatt (szárazföldön).

A földi kráterek több mint fele 10 km-nél kisebb átmérőjű; a kráterek kora pár tízezer évtől többszáz millió évig változik (a kisebbek fiatalabbak); kb. 10-nek a kora haladja meg az 1 milliárd évet. Az idősebbek természetesen csak ott láthatók, ahol a felszín maga is ilyen idős, tehát az őspajzsok felszínén. Azok a kőzetek, melyeket a nagy meteorbombázás időszakában a legtöbb becsapódás érte, a Földön mára az erózió és lemeztectonika (a kőzetek beolvadása) miatt eltűntek a felszínről. A ma látható fiatal krátereket valószínűleg a földesúroló égitestek (NEO: Atének, Apollók) becsapódásai (is) hozták létre.

5.3 A kráterek azonosítása

A kráterek becsapódásos eredete ma már egyértelműen azonosítható különféle bélyegek alapján. Ezek a jelek terepi és laboratóriumi megfigyelésekkel tanulmányozhatók, tehát „kalapálhatók”. Nem lehet merész feltételezés, hogy a földi kráterek azonosító jegyeihez hasonló, terepi geológiával – tehát a mikrodomborzat tanulmányozásával – megfigyelhető jegeket találnánk más égitestek becsapódásos szerkezeteinél is. A becsapódásos eredetre utal:

- a táj morfológiája (tál alakú mélyedés, sánc; ill. a Földön a 4 km-nél nagyobb kráterek esetében központi csúcs; több száz km-es krátereknél központi gyűrű. A sánc meglete földi körülmények (gyors erózió) közt a kráter fiatal korát jelzi).
- a kőzetek eloszlása (mélyből származó kőzetek a kráter körüli törmeléktagaróban ill. inverz réteg, a becsapódást megelőzően leülepedett rétegek a felszínen, erősen dőlten).
- a kőzetek geológiája (impakt breccsák; olvadékok, a magas hőmérséklet és nagy nyomás hatására sokk-metamorfózist szenvedett kőzetek)



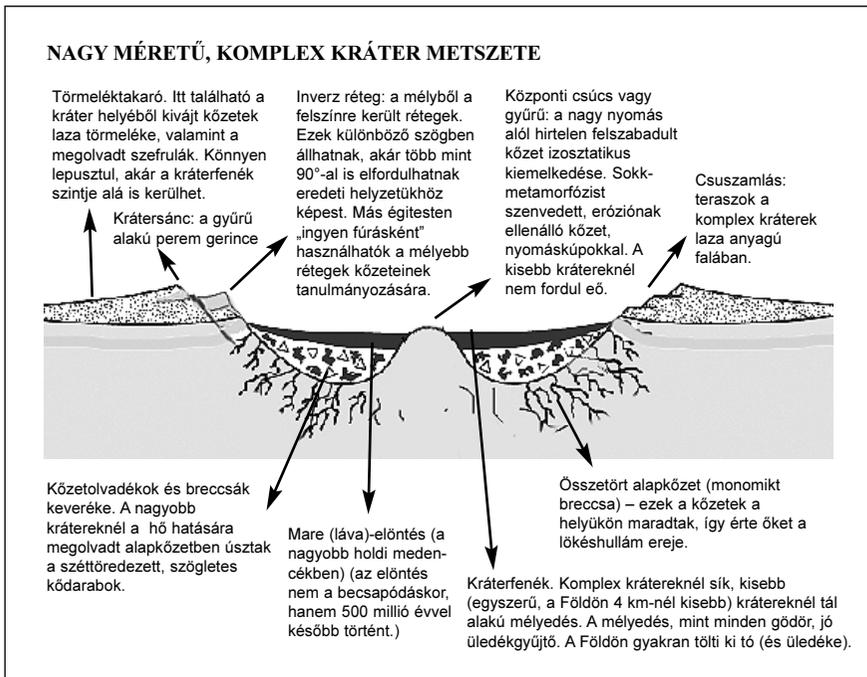
- a kőzetek morfológiája (*mikroszkopikus méretben*: pl. vékonycsiszolaton látható elváltozás pl. kvarcban; szferulák (gömb vagy csepp alakban megszilárdult kőzetolvadékok); *makroszkopikus méretben*: az alapkőzetben a hangsebességet meghaladó sebességű lökéshullám keltette, lófarkhoz vagy fenyőághoz hasonló mintázat (nyomáskúp), mely a teljes kőzetanyagot átjárja (a becsapódó test 12–72 km/s sebességgel ütközik a Földdel). A nyomáskúpok Y alakú rajzolatában az Y szára a becsapódás központja felé mutat, ahonnan a lökéshullám kúpja széjjelfutott (*a képen nyíllal jelölve*).
- a becsapódó test (meteoroid) darabjai (ilyenek többnyire a kisebb energiájú becsapódásoknál találhatóak, ha a becsapódáskor nem párologtak el, általában 1 km átmérőjűnél kisebb kráterek esetében.) A becsapódó test még a légkörben darabokra robban, ha anyaga és sebessége miatt nem tud ellenállni a légkörbe merüléskor fellépő nyomásnak.
- geofizikai mérések, pl. gravitációs anomáliák (egyszerű krátereknél negatív, a lazább breccsás üledék miatt, komplex kráterek központjában a sokk-metamorfózist szenvedett központi csúcs miatt pozitív).

5.4 A kráterek eróziója

A kráterek egyes részei az erózióval szemben eltérő ellenálló képességűek.

A Vredfort-kráter 300 km átmérőjű sánca mára (2 milliárd év alatt) teljesen lepusztult; a kráter területe több km-t erodálódott, így a ma felszínen levő kőzetek valaha a becsapódás központjában kiemelkedett, de még így is eredetileg több km mélyen a felszín alatt levő kőzetek voltak. Az, hogy ma látható, annak köszönhető, hogy a metamorfózis miatt ezek a kőzetek jóval ellenállóbbakká váltak környezetüknél, különösen a laza üledékként leülepedő sánc anyagánál.

A Földön számos krátert tölt ki édesvízi vagy sós tó. A kandagai őspajzsos vagy Skandináviában a legtöbb kráter ma tóként azonosítható, ahol pár helyütt a krátérsánc lazább anyaga pusztult le hamarabb, így ezt tölti ki víz gyűrű alakban. A Marson a kráterekbe bejutó folyóvizek hoztak létre krátertavakat, amelyek vastag üledékréteget halmoztak fel a kráterek besejében. Ugyancsak vastag – kb. 180 ezer éves – folyamatos rétegsor rakódott le a 220 ezer éves Tswaing-kráterben is, ahol a sánccok közé zárt sós üledéke őrizte meg az eltelt időben ott élt növények pollenjeit, illetve ősmaradványokat, amelyek alapján az éghajlat története rekonstruálható. Általánosan elmondható, hogy a kráterek sánca csak a legfiatalabb, jó megtartású krátereknél látható még, de ezeknél is folyamatosan alacsonyodik.

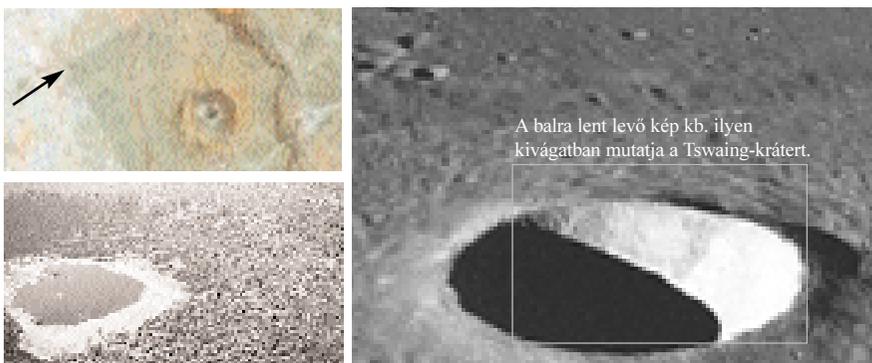


5.5 A Tswaing-kráter (Dél-Afrikai Köztársaság)

Ez 220 ezer évvel ezelőtti becsapódás jó állapotban megmaradt tál alakú krátere, mára az eredeti kb. felére erodált magasságú kráterfallal (a környezetétől 60, a kráterfenéktől max. 119 méterre emelkedik ki). Átmérője 1,1 km. A kb. 40 m átmérőjű kondritos kőmeteorit becsapódásakor a lökéshullám a kráter kb. 30 km-es körzetében mindent letartolt, minden élőlényt elpusztított. A becsapódástól több tíz km-re is hullottak vissza kivált üledékek, melyek saját környezetükben is pusztítást végeztek (másodlagos kráterek). A kráter becsapódásos eredetét csak az 1990-es években sikerült bizonyítani. Benne sós tó található. *(Képek az alsó sorban)*

TSWAING-KRÁTER, FÖLD D=1,1 KM

MOLTKE KRÁTER, HOLD: D = 7 KM



5.6 A Vredefort-dóm (Dél-Afrikai Köztársaság)

A Vredefort és Parys közelében található (fél)gyűrűhegység egy 2,02 milliárd évvel ezelőtti becsapódás központ gyűrűjének része; a kráter többi része (pl. a sánc) mára teljesen lepusztult. Ez a legnagyobb és egyben legidősebb becsapódásos kráter a Földön (idősebb becsapódásokra is van kőzettani bizonyíték, de ezek szerkezete már nem maradt meg). Az eredetileg 300 km átmérőjű krátert kb. 10 km átmérőjű becsapódó test vájta ki, amely több km mélyen hatolt a kőzetekbe. Egy ilyen réteg a kb. 100-120°-osan inverzzé fordult világos tengeri homok rétege, amely egy már jóval a becsapódás előtt létező ősi óceánban ülepedett le. Ez alatt 3,2 milliárd éves gránit feküdt több km vastagságban, amely ma a felszínen látható. Ez a gránitos anyag a becsapódás hőjétől részben megolvadt: az olvadt anyagban a széttört, éles peremű kőzetdarabok úsztak, ami ma ún. pszeudotachylitikus breccsaként található pl. a Vaal folyó medrében *(lásd alább, a képen egy fűcsomó)*

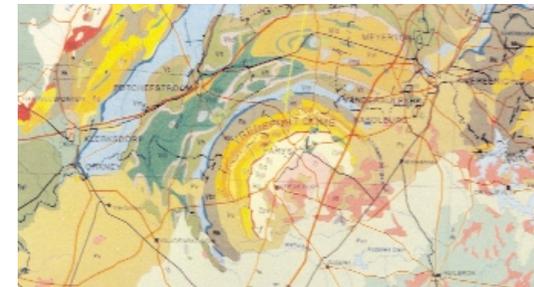


Kép: a Tswaing (Soutpan=sóstó) kráter naplementekor; A krátert és környékét sűrű növénytakaró borítja, de a krátérsánc sziluettjének egy része látható, illetve sejthető *(szaggatott vonal)*. Ez a kráter Pretoriától 40 km-re északra található, a főleg cvának lakta szegénynegyed (bádogváros) kellős közepén. Mivel természetvédelmi terület, kerítéssel védik. A műholdképen éles csikként



A Vredefort-dóm ma két félkör alakú hegységglánc vonulatából áll. A kettő között a valaha nagyobb Vaal folyó vájta ki azt a völgyet, mely ma struccok és majmok élőhelye.

A becsapódás helyét később üledékek fedték be, melyek azután ismét szárazra kerültek, leerdőlódtak. A korabeli felszín alatt kb. 17 km mélyben lévő, 3,1-3,5 milliárd éves kőzetek ma a felszínen vannak. Ezeken a sokk-metamorfózis hatása ma is jól látható. A Vredefort-struktúra peremén gyűrű alakban található a mai dél-afrikai aranylelőhelyek. A kettő között valószínű a kapcsolat, pl. a kráterben valaha található tó kimosó-felhalmozó hatása. *(Kép: a Vredefort-dóm geológiai térképe.)*



látható *(a nyíl irányában)*, amint a kráter eredeti növénytakarójú környezete az út mellett futó kerítés vonalában véget ér és kezdődik a beépített/lepusztult településrész, ahol a fákat a helybeliek felhasználják mindennapi céljaikra. A krátérsánc egy nagyobb sík környéken az egyetlen kiemelkedés.

5.7 Űrbázis egy földi meteorkráterben: a Haughton-kráter (Kadada, Nunavut, Devon-sziget) (HMP és FMARS)

A marsi felszíni viszonyok sajátosságai ill. a jövőbeli marsra utazó űrhajósok feladatai jól szimulálhatók saját bolygónk egyes részein, ahol hasonló felszíni folyamatok működnek és ahol a kutatók számára is hasonló munkakörnyezet teremthető. A Marsi körülményekhez a legtöbb szempontból hasonló (Mars-analóg) kutatóhelyszín a Földön a kanadai arktikus szigetvilágbéli Devon-szigeten, a Föld legmagasabb szélességen található kráterénél, a Haughton-kráternél található. A 24 km átmérőjű krátert létrehozó becsapódás 23 millió évvel ezelőtt történt. A kráter térsége geológiai, morfológiai és éghajlati szempontból egyaránt emlékeztet az általános marsi tájképre.

Az amúgy lakatlan, így „megfelelőképp” elszigetelt Devon-szigeten a rövid földi nyár során – a marsinál jóval melegebb, de a Földön megszokotthoz képest hideg időben – a terület jórészen elolvad a hó és előbukkan a törmelékenyes kőzetfelszín. A sziget geológiája és morfológiája ilyenkor számos analógiát kínál a Marssal: a becsapódásos formákon kívül legismertebbek azok a kanyonok, melyeknek kőzetkibukkanásokkal rétegzett falában a Marson csak nemrégiben fölfedezett, ottani, *ugyancsak* rétegzett kőzetkibukkanással borított kanyonok falán lefolyó recens víz(hó?)folyásnyomoknak kinéző jelenségek földi párjai találhatóak. (A Földön biztos, hogy vízfolyásnyomok). A hasonlóság mellett szól az is, hogy a sziget majdnem teljesen növénymentes (a jegesmedve kilóg az analógiák közül). A marshoz hasonlóan a terület permafroszt azaz a talajban állandó talajjég található. A talajjégben ősi életnyomok is megőrződhetnek, ami a Mars esetében is lehetséges. A környéket a kráter törmelékföldje borítja. A kráterben a becsapódás után létezett tavaknak is megtalálták a nyomait. Ezek az üledékrétegek az elmúlt

Az első EVA (Extravehicular Activity, Mars-séta) a Devon-szigeten, szimulált de kellőképp látványos, kényelmetlen és lassan feloltható szakfánderben. Hátterben az FMARS állomás („HAB”) központi része: egy rögzítőlábakra helyezett, 8 m átmérőjű, 2 emeletes hengszerű épület, amelyhez kívülről további felfújható részek csatlakoztathatók.



23 millió év éghajlati és biológiai történetét is tartalmazzák. Az itt talált ősmaradványok nem kövesedtek meg, hanem az állandóan száraz és hideg sarki éghajlatnak köszönhetően eredeti szerkezetükben maradtak meg. Valószínű, hogy a marsi kráterek és ősi tavi üledékeik is hasonlóképp sokáig kiváló megtartásban őrzik az egykori környezet nyomait. Az erózió a Földön így is sokkal gyorsabb, mint a Marson: a 23 millió éves Haughton-kráter mai állapotában erodáltabb, mint a 2-3 milliárd éves marsbéliék.

A sziget völgyei sajátos rendszert alkotnak. Ezeket nem csapadékvíz vagy talajvíz/-jég alakította ki, hanem a jégkorszaki jégtakaró elolvadásából keletkezett víz. Ezen völgyek morfológiája hasonlít a marsi hálózatos völgyekre. A Devon-sziget analógiáját felhasználva lehetséges, hogy a hasonló marsi völgyeket sem csapadékvíz vájta ki egy valamikori melegebb éghajlatban.

A NASA HMP kutatásai nyomán fedezték fel a kráterben ősi hidrotermás aktivitás nyomait. Ezeket a becsapódás hője táplálta. Hasonló becsapódásos eredetű melegvízforrások más égitesteken is előfordulhatnak, és ezek az élet keresésekor is esélyesek lehetnek.

A NASA 1997-ben indította el Haughton-Mars Projektjét (HMP), első – földi – Mars-bázisát (Mars on Earth beceneven). Az egy évvel később megalakult Mars Society pedig 2000-ben építette fel a térségben első Mars-analóg állomását, a Flashline Arktikus Marskutató Állomást (FMARS), a HMP bázis részeként, kifejezetten az emberes marsutazásra való felkészülés céljával (a két projekt részvevői és kutatásai közt is van átfedés).

Az FMARS állomás különböző szakemberekből (főként geológus, asztrobiológus, mérnök, műszerész, fizikus) álló, 5-10 naponta cserélődő 4-6 fős legénység életterét, laboratóriumait és raktárát jelenti. A kutatók „hagyományos” geoidéziai, mikrobiológiai, táv-



Balra: Marskutatók munka közben. Fantáziakép? Nem: a Mars Society „űrháiban” a HPM két tagja bemutatja egy tévéműsorhoz. A kék eget vörösre színezték, így teljes az illúzió.

Len: A Haughton-kráter a LANDSAT képen (látható tartományban., 2002. 08.)

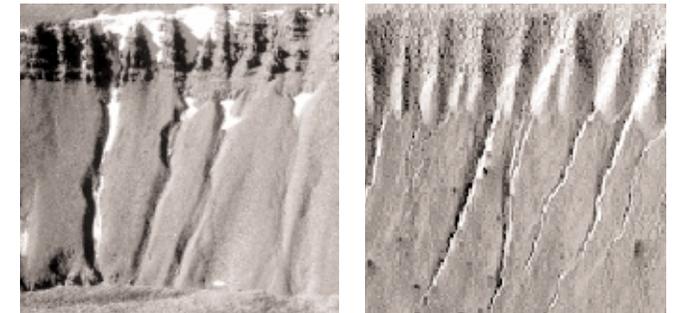


Balra: a kráterkeletkezéskor kivetett kőzettömb, melynek repedéseit mikrobák foglalták el – így védve vannak a nyáron 24 órás UV sugárzástól. *Jobbra:* A NASA HMP alaptábor, az előtérben Tent City (Sátorváros). A háttérben az Erőd (The Fortress) kőzetkibukkanása, mögötte a távolban a Mars Society FMARS állomása.

közlési kutatást is végeznek a kifejezetten Marsra tervezett kísérletek mellett. A munka egyik célja kikísérletezni, hogy pl. milyen szerszámokat érdemes használni; milyen hosszú terepmunka az ideális; milyen hosszú és távoli terepbejárásokat (EVA) érdemes tenni és milyen gyakran; mennyi idő kell az adatok, minták gyűjtésére ill. elemzésére; mire (információ, műszer) van szüksége a kutatóknak a terepen ill. a bázison, távol a Földtől. Mit kell tudnia egy marsautónak? Milyen legyen a hosszú terepbejárásra tervezett és a marsi port is bíró szakfánder? Ezekre a kérdésekre csak a gyakorlatban lehet választ találni.

A Mars Society állomásán az ott dolgozó önkéntesek űrruhában, marsjárművekkel járják a terepet előre kidolgozott kutatási program alapján, tapasztalatszerzés céljából. A külvilágtól szinte teljesen elzártan működő állomás 4-6 fős legénysége rendszeresen cserélődik. Az állomások csak nyáron működnek, de a bázis legújabb eleme, a Arthur Clarke Mars Űvegház automatikusan működik télen is.

Csorgók a Devon-szigeten (NASA HMP, P. Lee) (bal a) és a Marson (70,8°D 355,8°Ny) (MOC M03-02709, jobbra). A két kép kb azonos méretarányú (kb. 0,5 km széles területet mutat).

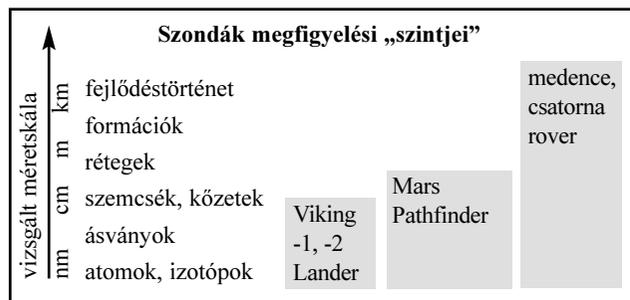


VI. VÍZFORMÁLTA MARSFELSZÍN

6.1. A „csatorna rover” megfigyelési célpontjai

A marskutató két kulcskérdése: az egykori éghajlat, főleg a víz jelenlétének kérdése, valamint az élet kialakulásának lehetősége. A 2003-ig célbaért űrszondák és a földi marsmeteoritok vizsgálata rámutatott, hogy az eddigieknél kifinomultabb módszerek kellenek a biztos eredményekhez. Erre egyik sikeres módszer az egykori környezetek rekonstruálása, amelyhez nem pontszerű elszórt mintavételt használunk, hanem egymással kapcsolatban fejlődött területeket tanulmányozunk, így pontosabban tudjuk rekonstruálni a fejlődéstörténetet.

Ilyen rekonstrukcióra a mellékelt idős folyómeder /folyóvölgy segítségével láthatunk egy példát. Képezeletbeli űrszondánk egy rover, amely többször 10 km-es távolságot képes megtenni, akát nehéz terepen is. Útját egy folyóvölgy felső szakaszán kezdi. Nagy felbontóképességű kamerájával a friss omlások területén vizsgálja a rétegsort 10-100 m távolságból, és kereke alatt az üledékek jellemzőjét 1-10 cm közletről. Ha csak a vizuális eredményeket nézzük, az árbán bemutatott jelenségeket van esélyünk megfigyelni, miközben a csatorna mentén végighaladunk. A deltatorokolat után olyan adathalmaz áll rendelkezésünkre, amellyel a vízfolyás térben (esetleg időben) változó jellemzőit pontosan tudjuk rekonstruálni. Ez nem csak az egykori felszíni és felszínalatti folyamatokról árulkodik, de a vízhozamra, a felszínkémiaira és paloklimára is következtetni enged.



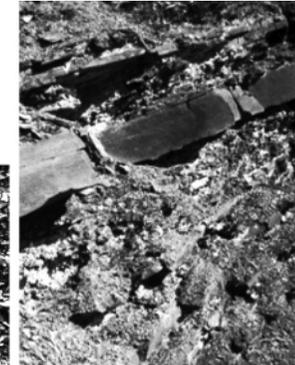
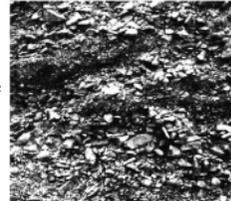
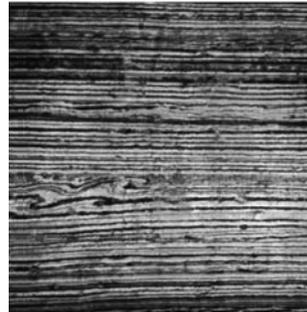
„CSATORNA ROVER” MEGFIGYELÉSI CÉLPONTJAI

A képaláírások magyarázata:

1. vizsgálandó jelenségek
2. rekonstruálható környezeti paraméterek
3. vizsgálati távolság / vizsgált szerkezetek mérete

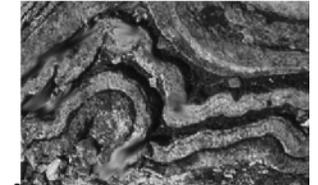
Törmelék felhalmozódás
energiaviszony, szállítási mód
1–10 m / cm

Ritmikus rétegzés
vízhozam, éghajlati változások
cm / 0,1 mm



Völgy és mederfal
vízáramlás előtti üledékek, erózió jellege
10–100 m / 0,5–1m

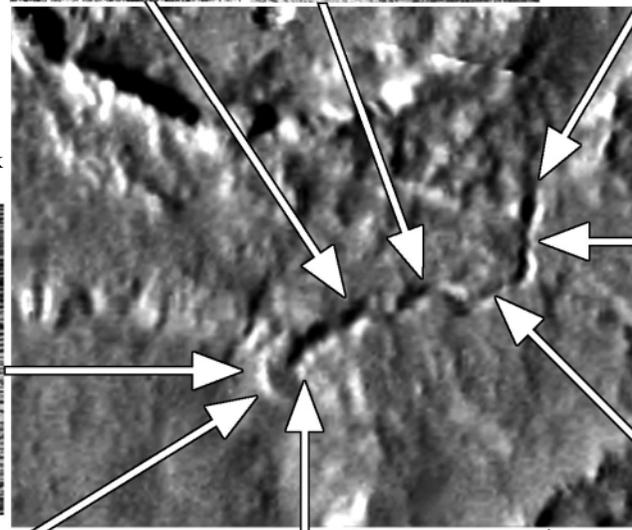
Deformáció a forrásrégióban
felszín alatti vízarámlás
cm / mm



Kőomlás
szemcseméret, alak megoszlás
10–10 m / 10 cm



Konglomerátum, breccsa
energiaviszonyok, kémiai környezet
1–10 m / 1 cm



14° É
53° Ny
1 km



Csatorna kitöltések
elhagyott meder, finom üledékek
1–50 m / 10 cm

Keresztrétegzés
hullámzás jellege, vízmélység
1–50 m / 10 cm

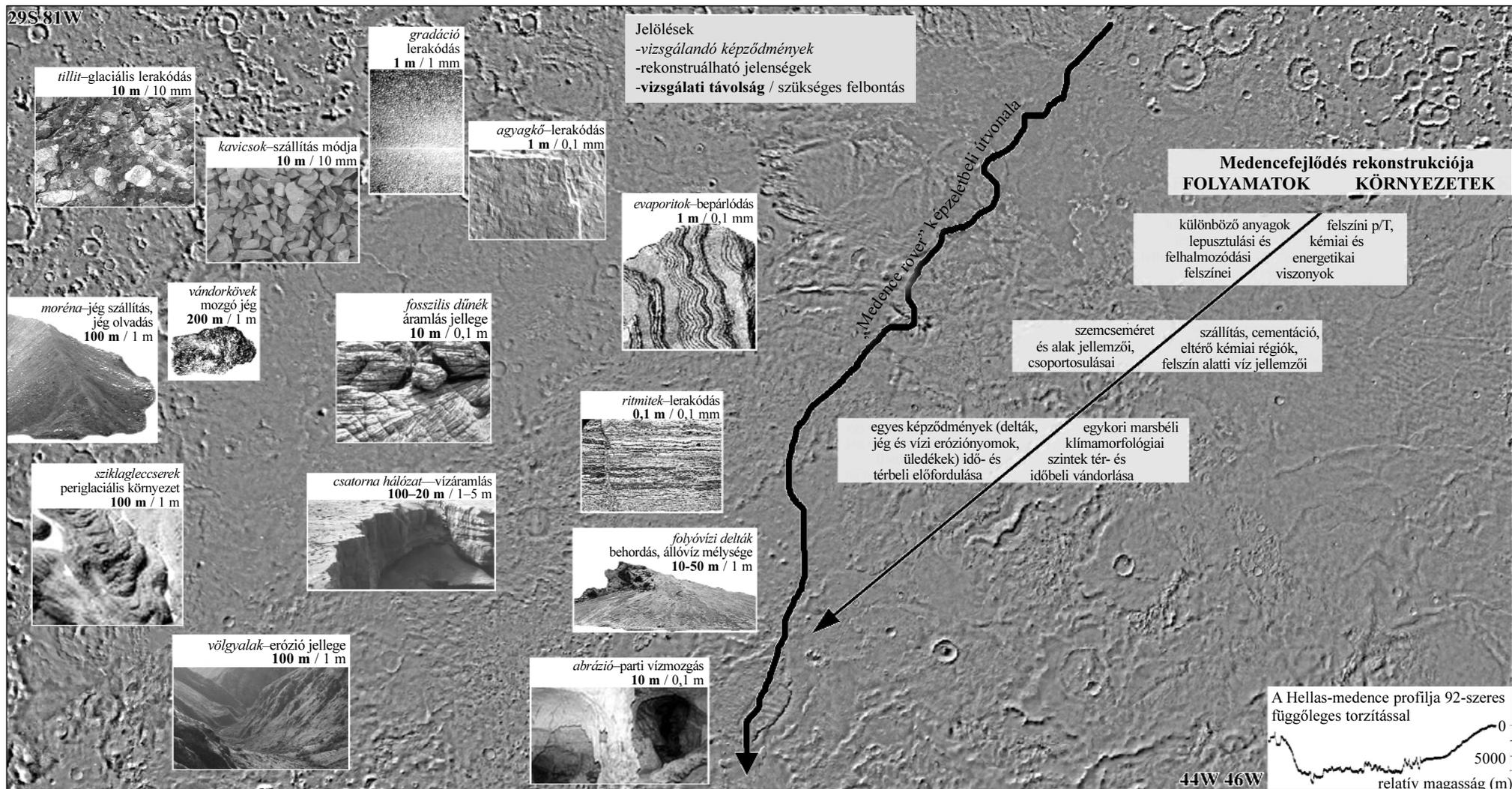
6.2. A „medence rover” megfigyelési célpontjai

A földi medence analízishez hasonló vizsgálatok a Marson is eredményesek lehetnek. A speciális marsbéli körülményekhez alkalmazkodva a „medence rover” az alábbi jelenségekre fordít különös figyelmet (azaz ezekre optimalizáltak a detektorai): savkő mállási következményei (sejtes szerkezetű kőzetfelületek), mállási kéreg és rétegzettsége (klímaváltozások), a lejtős tömegmozgásokhoz kapcsolódó vetők (alakjuk az egykori üledék

konzisztenciájára, víztartalmára utal), fanglomerátumok és egyéb rövidéletű vízmozgás üledékek. A medence rover néhányszor 10-100 km-es távolságon a bolygó felszínfejlődésének hosszabb időszakát mutatja be. A Marson a Hellas a legnagyobb medence, amelynek fenekét nem borítja vastag bazaltláva. A rover útja során glaciális, áradásos és hálózatos csatornák, állóvizek eróziós és akkumulációs nyomait látogathatja végig.

A Hellas medencében található a bolygó legmélyebb pontja, itt vagyunk legközelebb a lehetséges mélységi vízréteghez, és

geotermikus aktivitásra utaló forró foltok is mutatkoznak a területen. A medencében az alábbi jelenségeket használhatjuk ki a megfigyelések során a peremtől befelé haladva: 1. a felszínformák egyre közelebb keletkeztek a mélységi vízréteghez, 2. a lehordási hely azonosítása a szállítás távolságára utal, 3. a cementációból és a kémiai környezetből a felszín alatti víz jellegére, viselkedésére következtethetünk, 4. az eltérő korú üledékek a klíma változására utalnak. Az ábrán a megfigyelhető jelenségek balra, és az ezekből rekonstruálható jellemzők jobbra láthatóak.



VII. HOLDRASZÁLLÁS EMBERREL

7.1 Az első lépések

Neil Armstrong holdralépése utáni híres első mondata után a következő szavaival már az általa látott és tapasztalt környezetet írta le:

ARMSTRONG: *A felszín finom és poros. Cipőm hegyével könnyen felkavarhatom. Csak 1 mm-re süllyedek le, de látom a lábam nyomát. [A holdpor] rátapad a csizmára, mintha finom szénpor volna. ...*

7.2 A holdpor (regolit)

A Hold talaját (alapkőzete fölötti közettörmelékét) regolitnak vagy holdpornak nevezzük. Felső rétege finomszemcsés, de rosszul osztályozott (változtos szemcseméretű) anyag. Holdfelszíni állapotában a friss porhóhoz hasonló, nagy (40-70%) porozitású, így kb. 1 g/cm³ sűrűségű. Könnyen tapad, az űrhajósok ruhájára és eszközeire is odatapadt. Amikor a Földön a kutatók kibontották a talajmintákat, azt egy kazánból kiszedett szürkésbarna, poros salakhoz hasonlították.

ALDRIN: *Kicsit nehéz áttörni a kérget.*

ARMSTRONG: *Nagyon puha a felszín. De helyenként nagyon kemény talajba ütközöm.*

ALDRIN: *Pompás sivatag. De milyen poros ezeknek a szikláknak a felülete!*

A poros felszín a mikrometeoritok és a részecskesugárzás aprózó hatása hozza létre. Minél idősebb a regolit, annál vastagabb, mert annál jobban átforgatták a becsapódások és a mikrometeoritbombázás. A legidősebb felföldeken 20–30 m, a fiatalabb holdtengereken 2–8 m vastag a regolit. A fiatal kráterek belsejében levő olvadékbreccsa rétegeken néhol csak pár cm regolit alakult ki. Az alapkőzetet ill. korábbi regolitrétegeket tárhat fel lejtős tömegmozgás a kráterek vagy völgyek falában. Bár távolról is kerülhetnek törmelékek egy helyre, általában a regolit a helybeli alapkőzet törmelékéből áll. A regolitban sosem tűnnek el a nagyobb szemcsék, mert a becsapódások, miközben aprózzák a törmelékét, nagyobb szemcseméretű új olvadékbreccsákat és agglutinátokat is hoznak létre. A törmelékek aránya azonban nagyobb, mint az olvadékoké.

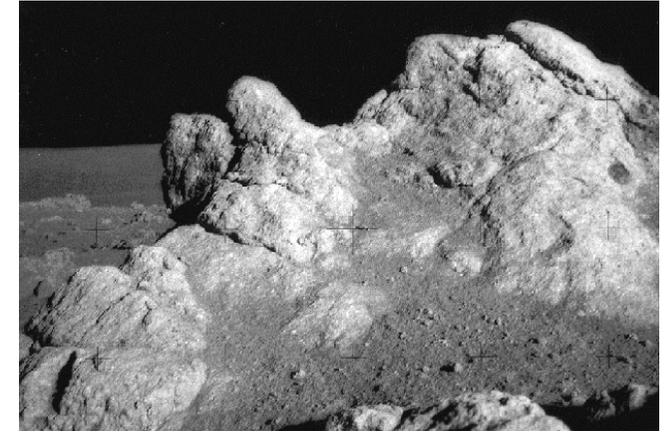
Bár a holdport a mikrometeoritok porítják, meteoritikus anyagot mégis alig találunk benne. A becsapódás ugyanis általában igen

nagy sebességgel (15-35 km/s) történik, így a becsapódó test elpárolog; egy része az űrbe szökik, más része filmként kondenzálódik a közettörmelékekre. A vizet tartalmazó mikrometeoritek vize a holdi nappal során elpárolog és az űrbe szökik (kivéve az állandóan sötét sarki területeket).

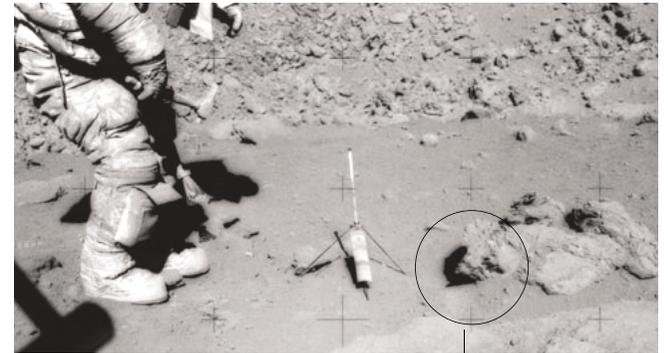
7.3 A holdfelszín anyagai

Üveg önállóan csepp vagy **gömböcske** alakban, vagy más kőzetek cementálóanyagaként fordul elő. Keletkezhetnek becsapódásokkor szétfröccsenő olvadékból vagy vulkáni tevékenységben. Az Apollo 15 mintái között zöld gömböcskék (szferulák) szerepeltek, az Apollo 17 pedig narancsszín üveggömböket talált Valószínűleg mindkét színes üveg vulkáni lávaszőkökútból ered (koruk 3,6 milliárd év).

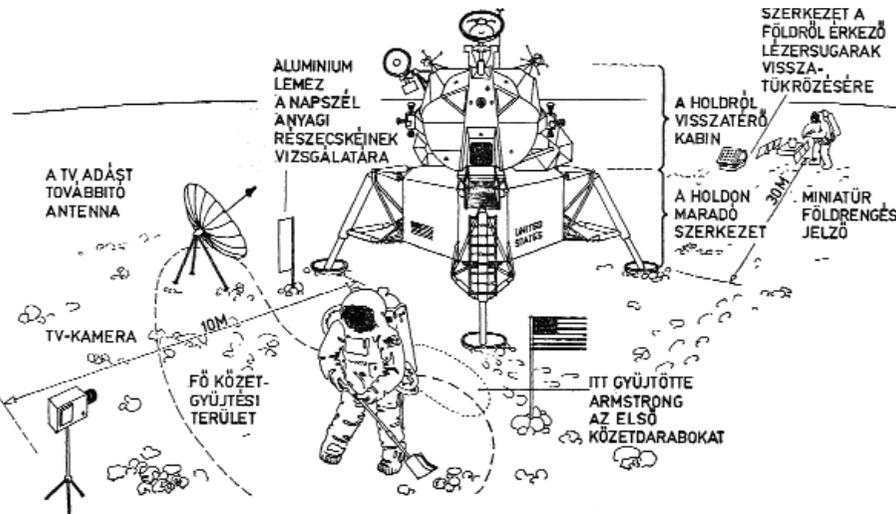
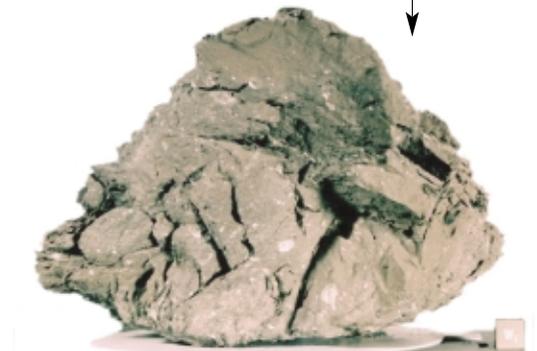
Az **agglutinátok** mikrometeorit-becsapódáskor keletkezett apró olvadéktörmelékek, melyekben a becsapódáskor keletkező üvegek cementálják össze a regolitban lévő ásványokat és kőzettörmelékét. Agglutinátok a nagyobb kráterek törmelékében ritkák; arányuk annél nagyobb, minél régebb óta van a mirormeteoritbombázásnak kitéve a felszín.



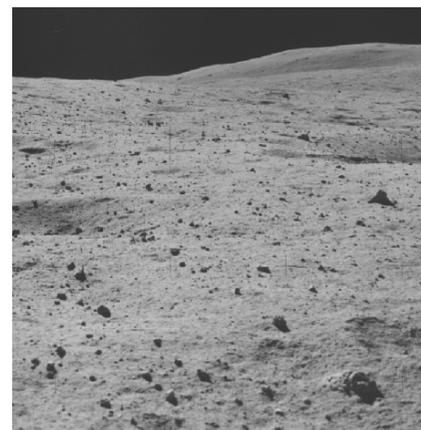
Az Apollo 14 leszállóhelye az Esők tengere (Mare Imbrium) kidobott takaróján. Az amúgy sík felszínen az űrhajósok az Imbrium-medencét létrehozó becsapódás kidobta törmelékeit (breccsákat) találták (a képen).



4,53 milliárd éves breccsa begyűjtés előtt és után (Apollo 17)



Az Apollo 11 leszállóhelye (Hédervári P [1970] után)

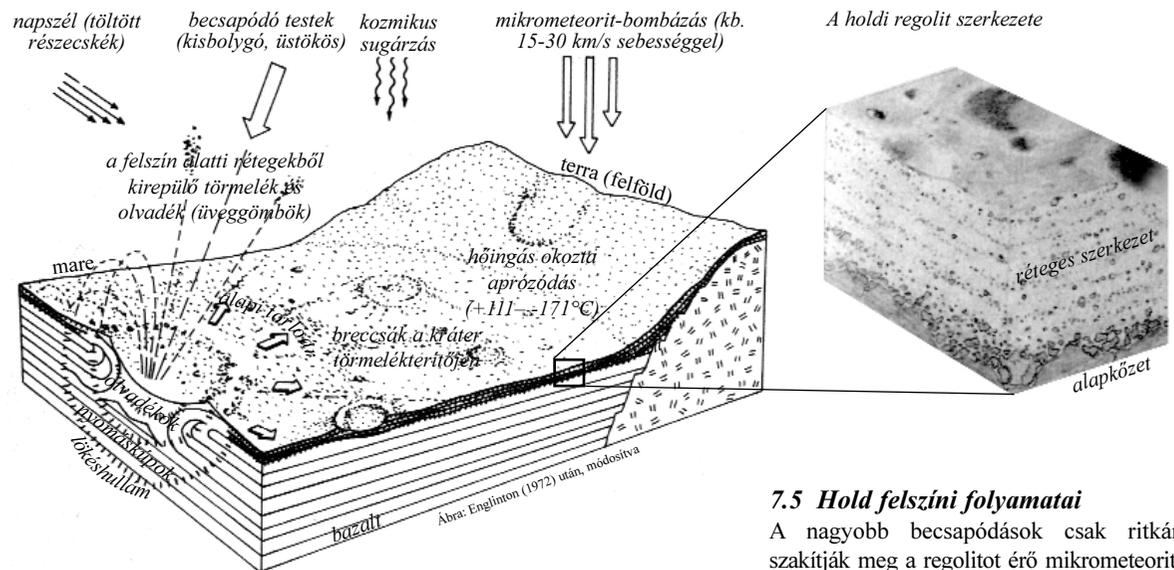


Az Apollo 16 leszállóhelye idős felföldi területen, a Descartes kráter közelében volt. Egy közeli friss kráter becsapódásakor kidobott törmelék borítja a felszínt.

A **breccsák** becsapódásokkor keletkeztek: a megolvadt kőzet cementálja össze a különböző helyekről származó szögeletes kőzettörmelékeket. A sorozatos becsapódások következtében gyakoriak a breccsa a breccsában szerkezetek. Az becsapódási olvadákbreccsák lávához hasonlóak, de a becsapódások megolvadt kőzetből keletkeztek és kiválóan alkalmasak a becsapódás korának radiometrikus meghatározására. A kráterezett felföld területre leszállt Apollo 16 a legkülönbébb típusú breccsákat gyűjtötte össze. A kráterekhez hasonlóan a breccsák mérete is tág határok közt változhat, a mikrobreccsákról a ház méretű tömbökig. A vasban és magnéziumban gazdag **bazalt** a holdi medencéket és nagyobb krátereket tölti ki. A Hold mélyebb rétegeiből került a felszínre. Az idősebb bazaltok nagy, a fiatalabbak (3,1 milliárd évesek) kis Ti tartalmúak. A mare bazaltok többszáz millió évvel a nagy medencék létrejötte után ömlöttek a felszínre és ezután többször felújult aktivitásuk új lávafolyásokkal. Ezek párszáz m vastagok. A lávafolyások közti időben regolitképződés folyt, így a lávák közt vastag regolitréteg őrződik, melyből a becsapódások jelentős

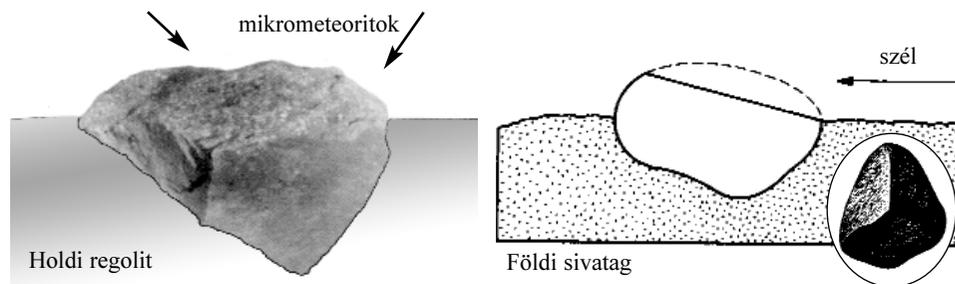
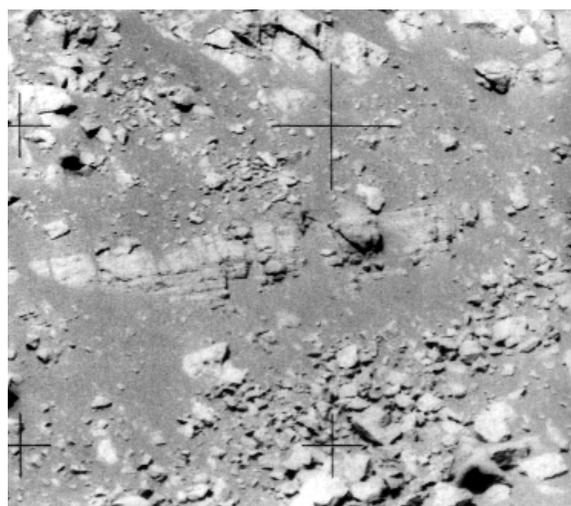
menyiséget juttatnak a mai felszínre. A világos – szinte csak plagioklász földpátból (anortitból) álló – **anortozit** a feldöledek anyaga. Az anortozit a Hold keletkezése után létrejött magmaóceán „felszínén úszó”, legkönnyebb (kis sűrűségű) anyag feldúsulásával keletkezett, lassan lehűlt kalciumgazdag földpát. Néhány helyen sötét **köpenyüledék** (üveges hamu) borítja a felszínt. A holdi regolitba a napszélből származó **gázok** (H, He, N) is beépülnek kis mennyiségben. A földfelszínhez képest a Hold regolitja viszonylag gazdag a napszélből származó ^3He izotópban, melyben több évmilliárd alatt dúsult fel. A Hold felszíni és az alatti regolitrétegei így 3-4 milliárd éves archívumát tartalmazzzák a Napszél összetételének, a kozmikus sugárzás által gyártott izotópok révén a szupernóva-robbanásoknak, valamint esetleg a Földről származó, meteoritbecsapódásokkor kilökött kőzeteknek is. A kozmikus sugárzás által létrehozott radioaktív izotópok arányából kiszámítható, hogy egy kőzet mennyi időt töltött a Hold felszínén.

7.4 A regolit gazdasági hasznosítása



A ^3He a ma még csak kifejlesztés alatt álló fúziós reaktorokban lehetne felhasználható energiatermelésre. Elsősorban az ilmenitszemcsékből nyerhető ki, mely a regolit 0-20%-át teszi ki, ám gazdaságos kinyerése problémás. A Földről csak drágán kijuttatható üzemnyagnak helyben lehetne

kinyerni a napszélből származó hidrogént (melegítéssel) és a kőzetekben – pl. ilmentiben (FeTiO_3) – lévő oxigént. Másik felhasználási területük a víz „készítése” lehet. A regolitról szigetelőanyag, illetve a belőle kinyert üvegekből építő- és burkolóanyag készíthető. A 14 napos nappal ide-



Fenn: félig eltemetett kőzettörmelék (14310 sz. minta). A „kiálló” részt a mikrometeoritbombázás több millióú éven át tartó eróziója simára koptatta, míg a holdporban lévő védett részén megmaradtak az eredeti éles törési felületek. A jelenség épp ellentétes végeredményt ad, mint a földi sivatagok sarkos kavicsai (jobbra), ahol a kvarchomokot fújó szél éles felületeket csiszol a kavicsokra, míg az eltemetett rész lekerekített marad. *Balra:* az Apollo 15 leszállóhelyéhez közeli holdtenger (Esők tengere) szálaban álló bazaltos, rétegzett alapkőzetének kibukkanása a regolitról, a Hadley-völgy meredek falában. Az alapkőzet vagy ott kerül a felszínre, ahol egy lejtőn lecsúszott róla a fedő réteg, vagy ott, ahol becsapódás robbanása takarította le róla a regolitról. (1430 kép: Heiken, Vaniman, French: Lunar Sourcebook alapján)

7.5 Hold felszíni folyamatai

A nagyobb becsapódások csak ritkán szakítják meg a regolitról érő mikrometeoritbecsapódások, részecskesugárzás és hőingás okozta aprózódás folyamatos, porító hatását. Ezek a folyamatok azonban csak a regolitról legfelső pár mm-ét érintik. Mállás és fagy-aprózódás a Holdon nem jelentkezik, mivel a víz még a kőzetek szerkezetében sem található.

Becsapódáskor az alapkőzetek a magas hőmérséklet és nagy nyomás hatására nagy mélységig erős metamorfózison esnek át.

A holdi regolit réteges szerkezetű. Az Apollo 15 űrhajósai által vett kb. 2,5 m mély fűrészi mag 7 elkülöníthető paleotalaj (regolit-) réteget tartalmazott. A 3,3 milliárd éves bazaltos alapkőzet a felszín alatt kb 5 méterre kezdődött. Ez igen lassú regolitfejlődési sebességre utal. Itt tehát egy helyen hétszer fedte be közeli becsapódás törmelékterítője az aprózódott regolitréteget. A friss törmelékterítő általában világos színű, és lassan, több mint 100 millió év alatt sötétedik be.

A folyamat (aprózódás, a regolitról folyamatos feldúsulása agglutinátokban [a becsapódások nyomán] és a napszélből érkező anyagokban; és az ezzel járó sötétedés) addig tart, míg egy újabb becsapódás törmelékterítője be nem takarja ezt a réteget és ekkor a kidobott nagyobb törmelékek aprózódása kezdődik újra.



7.6 Az Apollo-leszállások jelentősége

A Földön kívül az egyetlen égitest, ahol geológusok saját kézzel gyűjthettek mintákat, a Hold. A hat Apollo leszállóhelyet úgy választották ki, hogy minél sokszínűbb területekről lehessen mintákat szerezni. Az Apollo-leszállások a mikrokörnyezet és az onnan vett minták tanulmányozásával derítettek fényt több alapvető planetológiai kérdésre:

– Korábban a Hold felszínének összetétele teljesen ismeretlen volt. Kiderült, hogy nem vulkáni hamu, hanem a becsapódások aprózta törmelék, por borítja.

– A kráterek zömmel becsapódásos eredetűek és nem vulkániak.

– A felszín kora 3-4 milliárd év. Ez jóval több, mint a leszállások előtt becsült érték. A holdkőzetek alapján végzett abszolút kormeghatározás adja az alapját a más égitestek felszínén használt kráterszámlálás (relatív) kormeghatározásnak.

7.7 Az Apollo 17 leszállóhelye

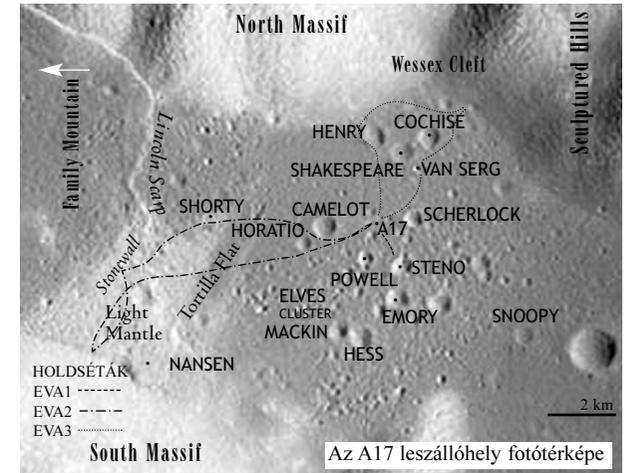
(Taurus-Littrow) (1972. dec. 11–19.)

Az utolsó Apollo expedíció a Serenitatis-medence peremén szállt le. A völgy a

Serenitatis-medencét létrehozó becsapódás-kor, 3,9 milliárd éve keletkezett a medence peremén kiemelkedett sánc egyik kőzet-blokkjának visszazökkenésével. Később, 3,75 milliárd éve mare bazalt tört a felszínre. A leszállás előtt lehetségesnek tartották, hogy a közelben található sötét takaróval borított „halo kráterek” fiatal vulkáni salakkúpok kürtői. A Shorty kráteret megvizsgálták, hogy az vulkáni kürtő-e, és közelében a „narancs talaj” narancsszínű (üveg-) és fekete (ilmenit-) gömböcskéit találták. Az üveg azonban 3,6 milliárd éve alakult ki 400 km mélyből eredő lávaszökőkútból a mare-tevékenység részeként, míg a kráter fiatal, kevésbé erodált, becsapódásos eredetű, így nincs kapcsolat közöttük. A Serenitatis-becsapódásnál ősbibb, 4,2-4,5 milliárd éves kőzeteket is gyűjtöttek, amelyeket a becsapódás vajt ki a Hold kérgének mélyebb részéből. A minták némelyike arra utalt, hogy a környéket kb. 100 millió éve egy nagy becsapódás hatása érte: a hegyoldalokról ekkor gördülhettek le a kőtömbök, melyből a minták származtak. A leszállóhelyet épp keresztezi a fiatal Tycho kráter egyik sugársávja. A minták alapján a Tycho becsapódás kb. 108 millió éve történt.

7.8 Az emberes leszállás előnyei

Egy idegen égitest felderítése, a tapasztalatok alapján, minden esetben meglepetéseket hoz a kutatók számára. Valamennyi Apollo-expedíció hozott olyan felfedezéseket, melyekre nem számítottak korábban a kutatók (pl. a narancs talaj véletlen felfedezése). Ilyesmikre automatikus űrszondát még rugalmas programozással és a fénysebesség korlátait beszámító valósidejű kapcsolattartással sem lehet felkészíteni. Az ember könnyen alkalmazkodik a leszállóhely környezetéhez, hogy minél részletesebben és több szempontból felderítse azt. Képes arra, hogy egy nagyobb területről kiválassza azokat a helyeket és mintákat, melyek a legfontosabbak pl. a terület geológiája szempontjából. A váratlan helyzetekhez (pl. egy elromlott szerkezet megjavítása, lásd A-13), megváltozott körülményekhez az ember tud legjobban alkalmazkodni. A küldetés sikerét csak ember jelenlétében veszélyeztetheti viszont váratlan napkitörés (sugárzás veszélye), pszichológiai válság, betegség (az Apollo 7 űrhajósai repüléskor influenzások lettek) stb. Az Apollo 11 leszállásakor Armstrong a Holdat, Aldrin pedig a radart figyelte. Armstrong a leszállás előtt közvetlenül azt

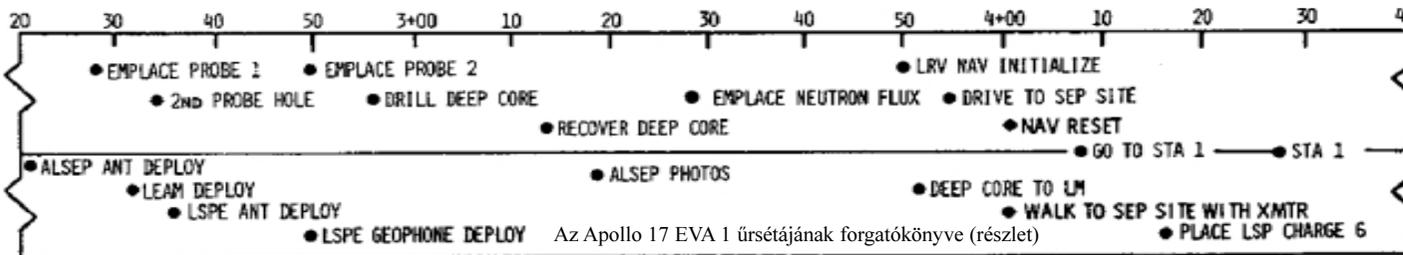


látta, hogy épp egy kráter közepe felé közelednek, ahol autó méretű kőtömbök hevertek. Kézi irányításra kapcsolt és így repültek tovább, az eredeti leszállóhelytől távolabb, ahol már slég sík volt a felszín. Lehet, hogy egy automata állomás küldetése hasonló helyzetben kudarccal végződött volna.

Az Apollo program hátránya volt, hogy az emberek programja percre pontosan előre meg volt határozva, így az emberek csak kőzeteket gyűjthettek, de nem hozhazzak szabadon döntéseket, nem „nézelődhetnek”, nem mehetek az érdekesnek vélt helyekre, ami a geológus terepi munka egyik fontos eleme. Egy terepet többször is be kell járni, a látottakat megbeszélni, különféle vizsgálatokat végezni, ezek kiértékelése alapján újabbakat, míg fel nem épül a kutatókban a terep mentális geológiai térképe. Ez csak egy hosszabb ott-tartózkodással együtt lenne lehetséges.

Az emberes leszállás egy idegen égitestre általában a sokadik lépés a távcsöves megfigyelés → első elrepülés (fly-by) → égitest körüli pályáról felderítés (orbiter reconnaissance) → automata leszállás (vagy becsapódás) (lander/descent probe) → rover / talajmintavétel → mintavétel Földre küldése (sample return) után. A következő az állandó bázis létesítése lenne, melyhez automaták készítenék elő a terepet, s ahol a bázis működéséhez szükséges alapanyagokat (energia, víz, élelem, építőanyag, sugárvédelem, üzemanyag) a bázis mikrokörnyezetében található forrásokból kellene előállítani.

Holdbázis alapításának a nyersanyagok kinyerésén túl csillagászati célja is lehet. A légkör nélküli Hold ideális hely: az állandóan árnyékos sarki helyeken infravörös megfigyelésekre (ehhez alacsony hőmérséklet kell), a Földdel elentétes oldalon pedig rádiócsillagászatra (a földi rádiójazokat leárnyékolja). A kisebb kráterek hatalmas parabolaantennáknak nyújtanak helyet. Problémát jelenthet a könnyen tapadó por és a napkitörések hatása.



7.9 Fényviszonyok a Holdon

A légköri szórás hiánya miatt nappal is láthatók a csillagok. A Föld a Holdon a Föld felé néző oldal egy adott pontjáról – a kötött keringés miatt – mindig ugyanott látszik az égen, csak a fázisa változik (a Nap is szinte alig mozdul, hisz két hétig tart egy nappal). A kb. két hetes éjszaka 0. hosszúsági fokbeli éjfelekor teliföld látható, ami a Földi éjszakákhoz képest elég sok fényvel világítja meg a holdi tájat (a látható tartományban a Holdi, átlagos 7%-al szemben a Föld a fény 39%-át veri

vissza, jórészt a felhőzetnek köszönhetően.) A Földről ez a hamuszürke fényként látszik. Ez legerősebb teliföldkor (a Földről nézve újholdkor), de a holdi nappal idején is érzékelhető, amikor a légköri szórás hiánya miatt elvileg teljesen sötétnek kellene lennie az árnyékos területeknek, de a földfény miatt ez is kap némi fényt. Az Apollo 10 űrhajósai többször is elreptültek olyan területek felett, amelyeket a Nap nem világított meg. A hamuszürke fényben azonban az űrhajósok ekkor is jól felismerték a felszín egyes részleteit.

ARMSTRONG: *Nagyon sötét van itt árnyékban, és alig látom, hova lépek. ...*

ALDRIN: *Olyan erős fény éri a napvédőmet, hogy eltart egy ideig amíg megszokja a szemem. De ha már egy ideig a vakító napfényben álltam, nem kell más.*

További fényforrások az állatövi fény és a naplemente utáni, elektrosztatikusan töltött portól származó fénylés (*Post-Sunset Lunar Horizon Glow/Lunar Dust Levitation*).

Valamennyi Apollo űrhajós beszámolt olyan fényfelvillanásokról, melyet csukott szemmel láttak (*Visual Light Flash Phenomenon*). A percenként átlagosan két fénycsíkot/-pontot általában a holdkompban pihenne látták. A jelenséget valószínűleg a kozmikus sugárzás részecskéi okozzák.

7.10 Tájékozódás a Holdon

Az Apollo 14 űrhajósai holdsétáik alkalmával eltévedtek. A légkör hiánya miatti kristálytiszta átlátszó vákuum megnehezíti a távolságok becslését, hiszen egészen horizontig minden egyformán tisztán és élesen látható. Hasonlóképp megnehezíti a tájékozódást az ismerős terepi elemek hiánya (fák, házak stb). Az egyedüli támpontot a különböző méretű közettörmelékek jelentik, amelyek viszont a legkülönbözőbb méretekben is hasonlóan néznek ki (lásd az oldal bal sarkában lévő képet, melyen a John Young mögötti nagyobb kötömb óval messzebb van, mint gondolnánk és valójában ház nagyságú: a közelinek tűnő tájképi elemek több km-re is lehetnek. A hullámzó felszín miatt a horizontvonal távolsága sem becsülhető meg. Az Apollo 14 űrhajósai nem találták az egyik megmintázandó kráter peremét, holott épp azon álltak.

A képen John Young (Apollo 16)

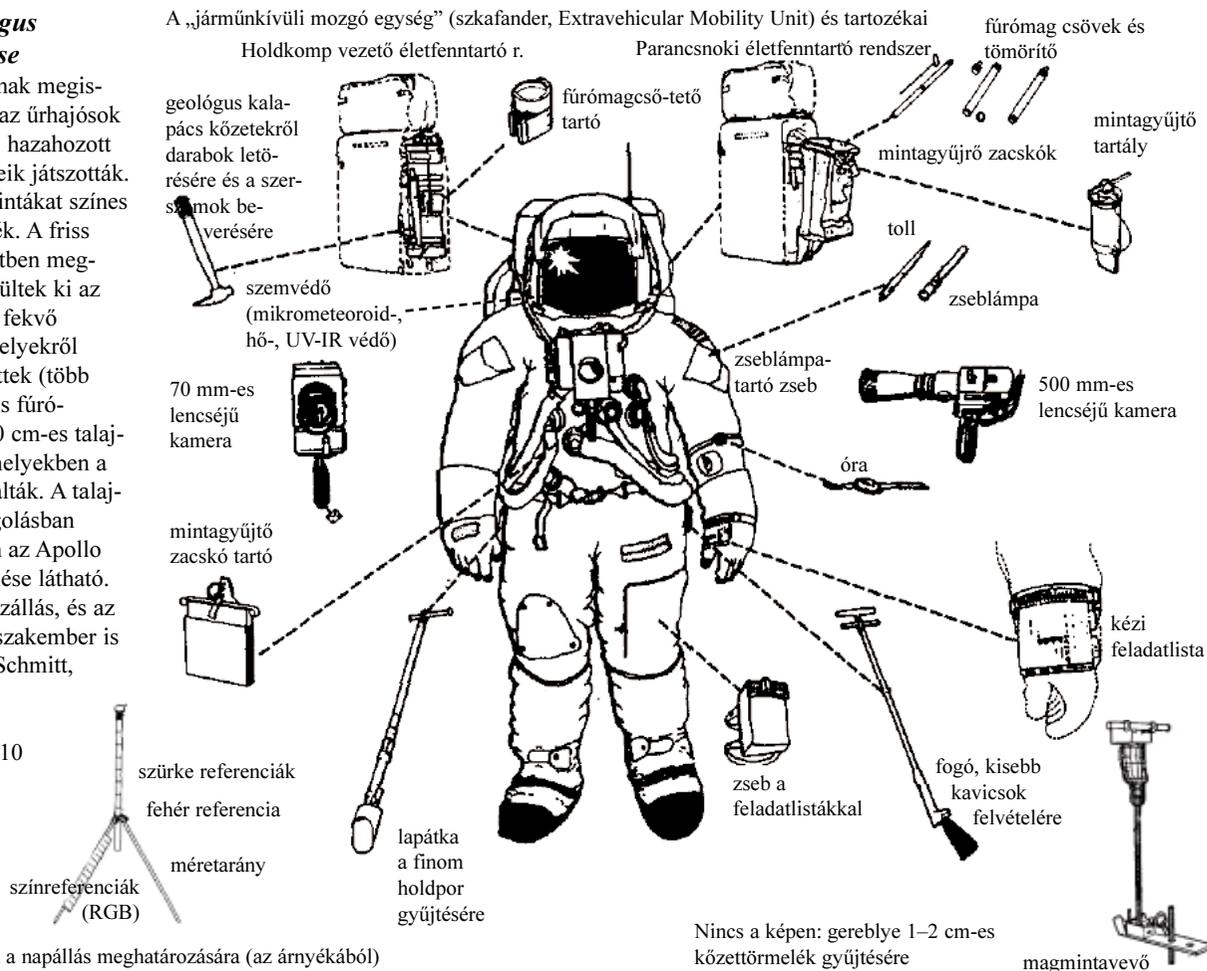


7.11 Az űrhajós geológus munkája és felszerelése

A holdfelszín geológiájának megismerésében a fő szerepet az űrhajósok által készített fényképek, hazahozott minták és szóbeli közlések játszották. Mintavételezés előtt a mintákat színes sztereóban lefényképezték. A friss kráterek sáncfalát keresztben megmintázták, mert ezek kerültek ki az eredetileg legmélyebben fekvő rétegekből. Különböző helyekről panorámafotókat készítettek (több darabból). 60 és 30 cm-es fűrómagokat mintáztak. 8–20 cm-es talajmintázó árkokat ástak, melyekben a szemcseméretet is vizsgálták. A talajmintákat vákuumcsomagolásban hozták a Földre. A képen az Apollo 17 űrhajósainak felszerelése látható. Ez volt az utolsó holddraszállás, és az első, melyben geológus szakember is részt vehetett (Harrison Schmitt, egyben a holdkomp vezetője).

Az Apollo 17 összesen 110 kg közetmintát hozott a Földre, melyet 22 óras kinntartózkodásuk alatt gyűjtöttek össze.

gnomon a napállás meghatározására (az árnyékából)



VIII. MIKROMETEOROLÓGIAI MÉRÉSEK A FÖLDÖN ÉS A MARSON

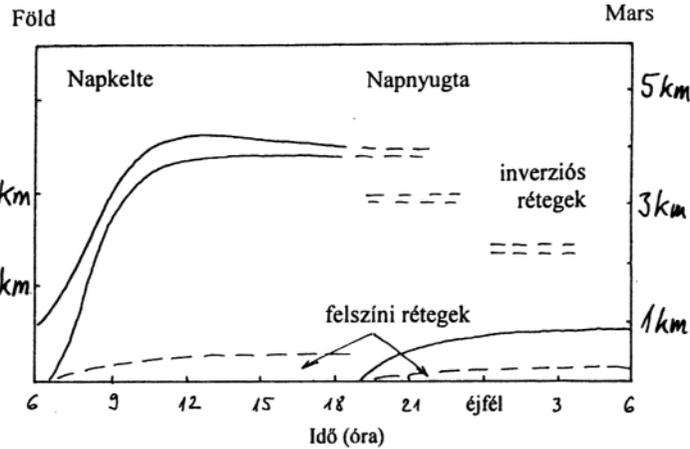
A Mars az első olyan égitest, ahol a földihez hasonló meteorológiai mérések folytak. A felszínközeli légtér jelenségeit leíró mikrometeorológia az űrkutatás segédtudománya lett. Olyan folyamatokat tanulmányoz, amelyek karakterisztikus mérete kisebb 10 km-nél, időskálájuk pedig nem haladja meg az 1 napot. E folyamatok a felszín feletti „sekély rétegben”, a planetáris határretegben (PHR) játszódnak le, ahol a bolygó-felszín, mint mechanikus és termikus kényszer jelentkezik. A kutatásban kiemelt szerepet kap a felszínközeli réteg (a PHR alsó 10%-a) tanulmányozása, a felszíni energiamérleg komponensek meghatározása, a kicserélődési folyamatok (impulzus, hő, nyomanyagok) vizsgálata különböző felszínek felett (csupasz talaj, alacsony és magas vegetáció, víz, jég, vagy mesterséges felszínek, mint a város). A PHR dinamikája, sajátos jelenségei minden légkörrel rendelkező bolygón hasonlóak. Ezért nem véletlen, hogy a Marsra küldött Viking és Pathfinder szondák meteorológiai mérési programját amerikai, dán és német mikrometeorológusok tervezték. E tudomány – legalábbis a Földön – szorosan kapcsolódik az emberi tevékenységhez.

8.1. A planetáris határreteg szerkezete

Tekintsük át a Bolygóléggörök Atlaszából ismert nappali konvektív és az éjszakai stabilis határreteg szerkezetét, szélprofiljait! A termikus és mechanikus turbulencia alakította konvektív PHR napfelkelte után gyorsan fejlődik. Átlagos magassága a Földön 1,5 km, a Marson – amelynek sokkal ritkább a légköre, és lényegesen nagyobb a napi hőmérsékleti ingása – hozzávetőlegesen 5 km. A felmelegedett felszínről induló örvénytestek (termikus turbulencia) nagyobb méretűek és rendezettebbek, mint az éjszaka kialakuló mechanikus eredetűek. Gondoljunk csak a földi, vagy a marsi kis porforgatagokra, termikekre. A PHR jól átkevert. A szél lassan nő a magassággal. Éjszaka a felszín lehül. Megszületik a vékony stabilis PHR. A szél gyorsan növekszik a magassággal. A hideg felszín feletti inverziós réteg (a hőmérséklet csökken a magassággal) jelöli ki a PHR határát. Itt általában erős a szél. A PHR fejlődését a felszíni energiamérleg komponensek (sugárzás, hőszállítás, párolgás), illetve a felszín és a szabad légkör meteorológiai állapotjelzői (szélsebesség, hőmérséklet, nedvesség) kormányozzák. A felszíni energiamérleg komponenseit gyakran parametrizálják a felhőzet és a meteorológiai állapotjelzők ismeretében. A felszíni energiamérleg alakja:

$$R_n = H + LE + G,$$

ahol R_n a sugárzási egyenleg, ami a rövidhullámú (Nappól származó, 0-4 μm közötti) és a hosszuhullámú (4-100 μm közötti)



A határreteg napi menete a Földön és a Marson. Figyeljük meg a felszínközeli réteg, illetve a stabilis és a konvektív PHR hasonló szerkezetét és fejlődését, valamint az éjszakai „maradvány” inverziókat!

sugárzási egyenleg összege. H az örvények „érzékenyebb” (szenzibilis) hőszállítás, LE a vízgőz által szállított rejtett vagy más szóval latens hő, G a talajba jutó hőáram; dimenziójuk $[W m^{-2}]$.

8.2. Mikrometeorológiai mérések – Bugacpuszta, 2003

A szokásos meteorológiai állapotjelzők mellett a mikrometeorológusok mérik a felszíni hőmérsékletet, a felszínközeli réteg hőmérséklet-, nedvesség- és szélprofiljait, a sugárzási mérleg komponenseket, számítják az albedót (a visszavert és a bejövő rövidhullámú v. globálsugárzás hányadosát), regisztrálják a fotoszintetikusan aktív (400 - 700 μm közötti) sugárzást és a sugárzási egyenleget.

A talaj hőforgalmát a talajhőmérséklet- és a talajnedvességi profil ismeretében határozzák meg. Mérik a mélyebb talajrétegekbe jutó hőáramot is.

A turbulens örvények szerkezetét és tulajdonságát nagyérzékenységű műszerekkel, 10-20 Hz-es felbontással mérik. Ez érthető, hiszen az örvények karakterisztikus mérete a felszín feletti magassággal arányos, így néhány másodperc alatt elhaladnak a műszer előtt. A hőmérséklet és a szélsebesség pillanatnyi értékeinek meghatározására szolgál az ún. szonikus anemométer, ami a hangsebesség mérésén alapul, a Doppler-elvet használja fel. A nyomanyag koncentrációt (vízgőz, szén-dioxid) az adott gáz elnyelési sávjában működő „lézerekkel” mérik.

8.3. Meteorológiai állomás a Marson – Pathfinder, 1997

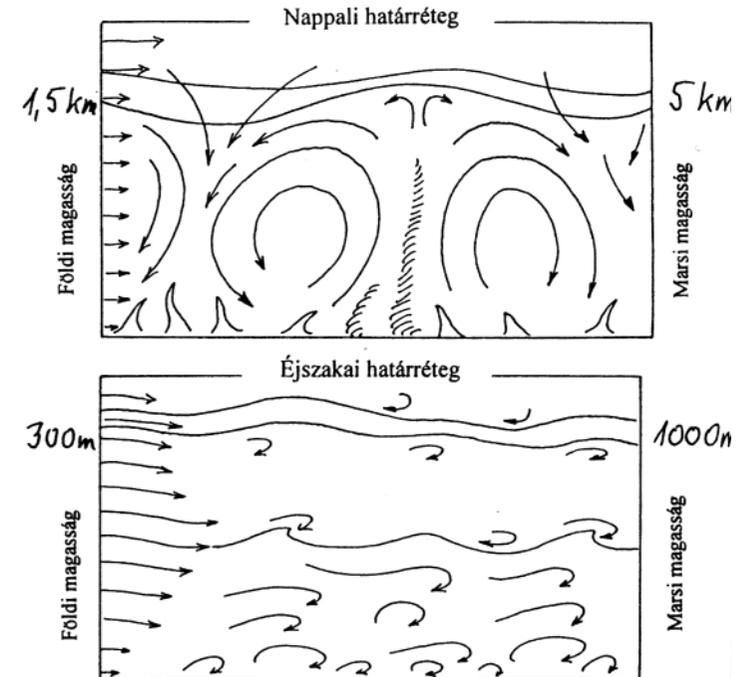
Az 1976-ban Marsot ért két Viking űrszonda 1050, illetve 2245 marsi napon át végzett megfigyeléseket. (1 marsi nap, vagy 1 Sol = 24,62 óra, míg 1 marsi év = 667 marsi nap). Az 1997. július 4-én leszállt Pathfinder 92 marsi napon át

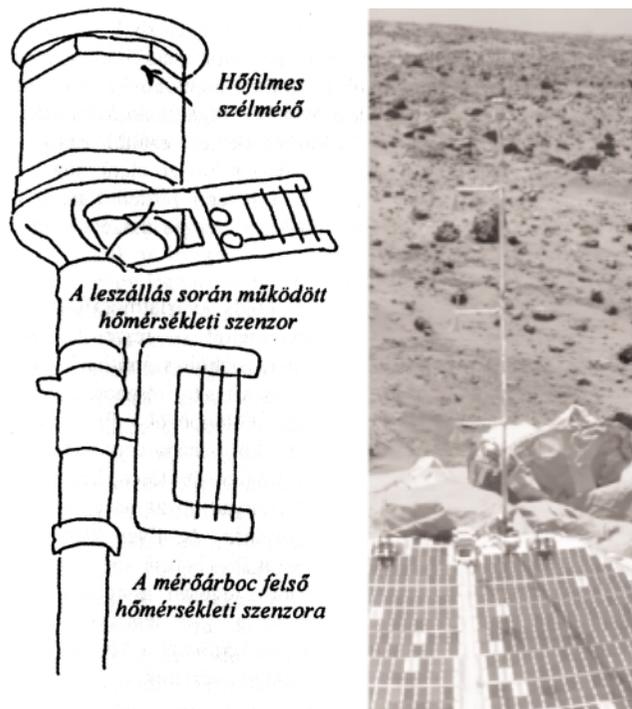
szolgáltatott adatokat. A mérések – hasonlóan a földiekhez – az alsó 1-2 m-es légrétegben folytak. A szélsebességet hőfilmes anemométerrel mérték. A mérési elv nagyon egyszerű. A 6 vékony lemezkét, („film”) állandó, környezeténél nagyobb hőmérsékleten tartják. Az ehhez szükséges energia kapcsolatban van a szél sebességével és irányával, vagyis a „filmhez” ütköző molekulák hőszállításával. Az ilyen elven működő ún. hődrótos anemométerrel dolgoznak az agrometeorológusok, a növény-állományon belüli szélprofilok leírásakor, vagy a barlangkutatók, a kis légmozgások meghatározásánál. A műszer nagyon érzékeny, pontossága $cm s^{-1}$ -os, míg a mérés felbontása akár 4 Hz-es is lehet, ahogy a Pathfinder-nél is volt.

A léghőmérséklet is fontos meteorológiai elem, amit – a földi mérésekénél is használt – érzékeny termoelemmel mérték. Egy referencia szinthez képest adják meg a mérőpont pillanatnyi hőmérsékletét. A program újszerűsége, hogy három szintben, a felszín felett 65 cm, 90 cm és 1,4 m magasan mérték a hőmérséklet napi menetét. Gyűjtötték a felszíni nyomás adatokat is.

A hőmérsékleti gradiens és a szélsebesség ismeretében az ún. hasonlósági elmélet alapján kiszámítható az örvénytestek impulzus és szenzibilis hőszállítás. Megadható a felszíni érdességi magasság is, ami a Marson 0,3-3 cm-nek adódott.

A felszíni sugárzási mérleg komponenseit, a légkör „átlátszóságának” (homályosságának) ismeretében, a Pathfinder adataira és a Viking szondák korábbi méréseire támaszkodva modellezték.





A Pathfinder hőmérséklet- és szélesség szenzorai.

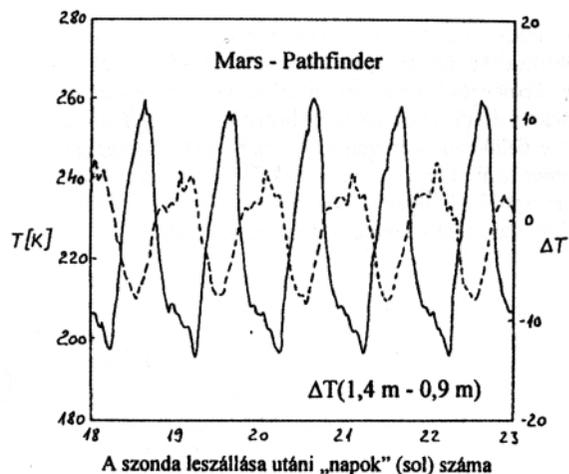
Ahogy a földi mérések feldolgozásánál, úgy a marsi adatok kiértékelésénél is a következő fő kérdésekre keressük a választ:

- milyen a turbulens örvények szerkezete nappal és éjszaka,
- hogyan alakul a szélesség és a hőmérséklet spektruma,
- hogy lehet mérni és modellezni a felszínközeli réteg napi változásait, a felszíni sugárzási és energiamérleg komponenseket,
- hogyan fejlődik a nappali és az éjszakai határréteg a Marson,
- hogy alkalmazhatók az egy- és többdimenziós PHR modellek?

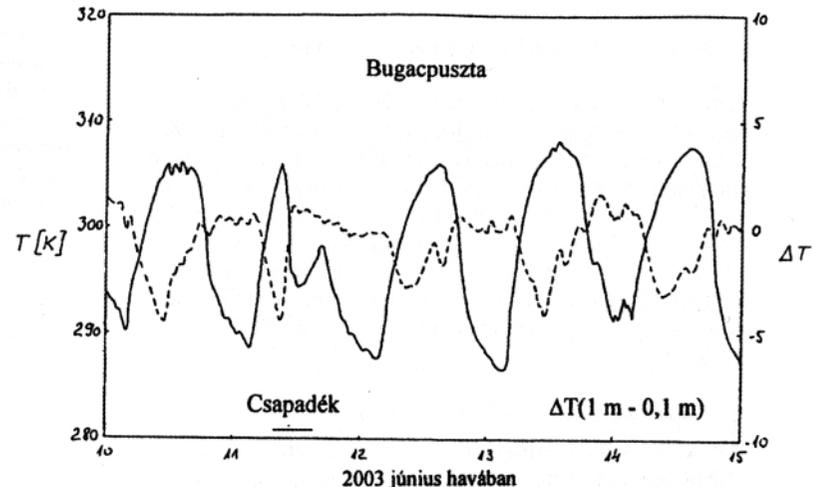
8.4. A marsi és a földi felszínközeli réteg néhány sajátossága

A Mars légkörének 95%-a CO_2 , 2,7%-a N_2 , 1,6%-a Ar, míg az oxigén és a vízgőz részaránya mindössze 0,13%, illetve 0-0,2%. Az átlagos légnyomás a Föld felszínén 1013 hPa, a sűrűség $1,2 \text{ kg m}^{-3}$. Ugyanezek az értékek a Marson két nagyságrenddel kisebbek: a felszíni nyomás 7-8 hPa, a sűrűség $0,015 \text{ kg m}^{-3}$. A nyomás mindkét bolygón hasonlóan, logaritmikusan csökken a magassággal. A Földön a felszíni nyomás általában néhány 10 hPa-os intervallumban változik.

A Naptól való nagy távolság miatt, amikor a Mars poláris területein tél van, az ottani hőmérséklet eléri a szén-dioxid fagyáspontját. Megindul a szárazjég felhalmozódása, ami a felszíni légnyomást akár 10-15%-kal is csökkenti.



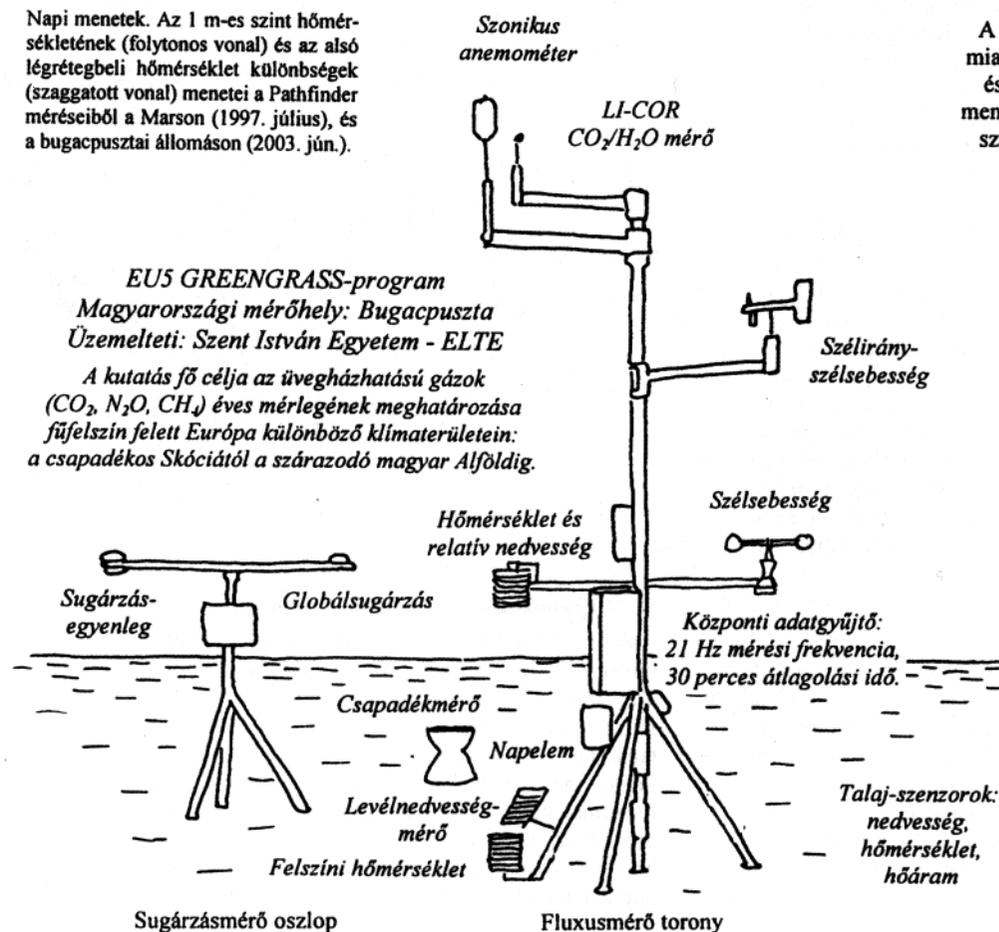
Napi menetek. Az 1 m-es szint hőmérsékletének (folytonos vonal) és az alsó légrétegbeli hőmérséklet különbsége (szaggatott vonal) menetei a Pathfinder mérésből a Marson (1997. július), és a bugacpusztai állomáson (2003. jún.).



A Mars-pálya jelentős excentricitása miatt lényeges különbség van a déli és az északi póluson kondenzálódott CO_2 jég mennyisége, illetve a téli évszakot követő szublimáció dinamikája között, ami egy éves nyomási hullámot eredményez.

Marsnál a napállandó a földinél mindössze 44%-a. A ritka légkör és a kisebb planetáris albedó miatt a marsi sugárzási egyenleg összemérhető a földivel. A talajba jutó hőáram nagyobb, a szenzibilis hőáram kisebb. A vízgőz párolgása alig szállít energiát. A napi hőingás viszont lényegesen nagyobb a Marson mint a Földön.

A felszínközeli szélesség mindkét bolygón azonos nagyságrendű. A földi üvegházhatás $\sim 40^\circ \text{C}$, a marsi $\sim 10^\circ \text{C}$. A hideg Marson -50°C az átlaghőmérséklet; a hőmérsékleti értékek -125 és $+20^\circ \text{C}$ között változnak, míg a 15°C átlaghőmérsékletű Földön -80 és $+50^\circ \text{C}$ között. A hőmérsékleti fluktuációk (az átlagértékektől vett eltérések) lényegesen nagyobbak a Marson. Az erős termikus turbulencia és a ritka légkör magyarázza a vastagabb PHR-t.



Sugárzás-mérő oszlop

Fluxusmérő torony

IX. RITKALÉGKÖRI ELEKTROSZTATIKA

A holdi és a marsi felszínre leszállt űrszondák ritka légkörbe érkeztek. A holdi légkör a legjobb földi vákuumnál is ritkább. Ezért a felszínt érő napsugárzás ultraibolya (tehát elég nagy energiájú) része már ionizáló hatást is ki tud fejteni. Ez az ionizációs hatás megjelenik még a Marson is, de kisebb mértékben. Először a holdi esetet mutatjuk be és annak egy olyan műszer-modelljét, amelyet föl is lehet használni mérések elvégzésére. E műszer-modell a Hunveyor kísérleti gyakorló egyetemi űrszonda modellre tervezett FOELDIX-1 mérőműszer.

9.1 Lebegő porfelhő a holdi felszín fölött

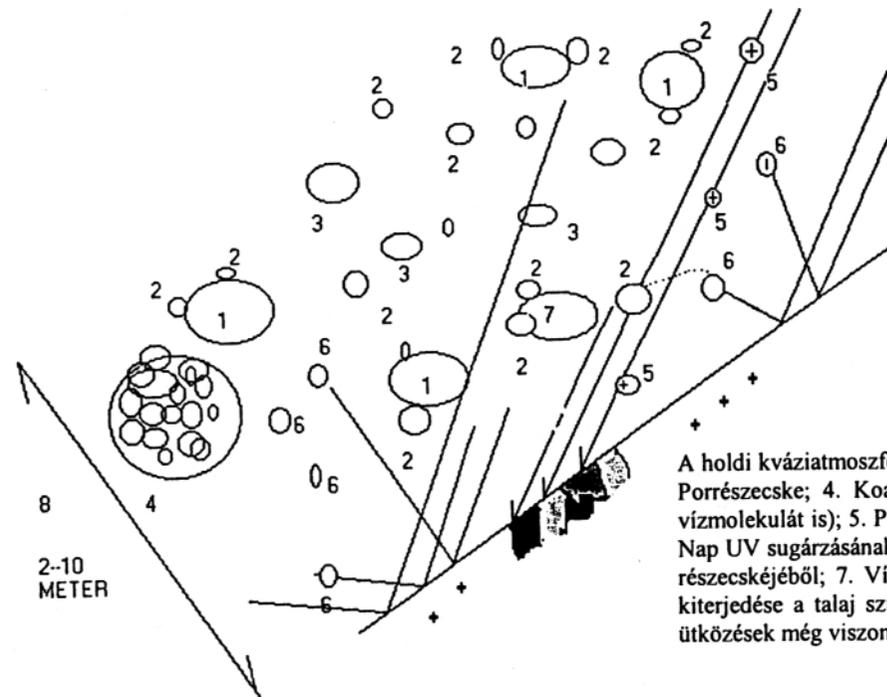
Már a Surveyor-5 lefényképezett és az Apollo expedíciók LEAM kísérleti berendezése mért a Holdon egy érdekes jelenséget. Alkonyatkor, amikor már elhaladt a fény-ármények határ vonal az űrszonda fölött, a nyugati égen a horizont fölött egy fénylő lebegő porfelhőt fényképezett le a Surveyor-5. Az Apollo berendezés pedig mérte ennek a porfelhőnek az áthaladását a hold felszínére kitett mérőműszer fölött, ugyanilyen napszakban. A porfelhő megjelenésére a következő elektromos modellt állíthatjuk föl.

A Hold felszínét finomszemcsés por borítja. A napból érkező UV sugárzás egy részecskére eső energiája olyan nagy, hogy ionizálni képes a porszemcsék atomjait. Az UV foton lelöki az atomok egyik külső elektronját, a visszamaradt porrészecske így pozitív töltést kap. Az elrepülő elektron az erős vákuum miatt nem találkozik részecskével, kivonódik a rendszerből. Hosszabb besugárzási idő után a poros felszín oly mértékben feltöltődik, hogy a legkisebb méretű porrészecskék egy része elemelkedik a felszínről. Ezáltal létrejön a megvilágított holdi felszín fölött a lebegő porfelhő, amely pozitív töltésű és önálló részecskékből áll. Ez azonban csak alkonyatkor látható, amikor a horizont mögötte már sötét.

9.2 A napszél hatása a poros felszínre

A napszél legfontosabb részecske összetevője a proton. A proton a hidrogén atom magja és pozitív töltésű. Azok a protonok, amelyeknek a mozgási energiája néhány elektronvolt, a felület közelébe érve nagy valószínűséggel szabad elektronokkal találkoznak és velük ütközve hidrogénatommá alakulnak (rekombináció). A kis elektrontömeg alig változtatja meg a beérkező kb. 2000 szeres tömegű proton mozgásának irányát. A már semleges hidrogén atom beleütközik a felületbe. Az ilyen energiájú

mozgáshoz földi körülmények között néhány ezer K fokos, hidrogénöblítésű kemencében mérhető hőmérséklet tartozik. Az ilyen kemencék kiválóan alkalmasak az anyagok redukálására. A holdi felszínen is ez történik, de molekuláris méretben. A beütköző hidrogén atom nagy valószínűséggel oxigén atomot talál el és azzal vízmolekulát alkotva kiszakad a felszíni anyagból. E folyamat által tehát, a napszél hatására a holdi kváziatmoszféra vízmolekulákkal gazdagodik.



9.3 A vízmolekulák és a lebegő porfelhő

Érdekes előzménye van a holdi atmoszféra modell most következő szakaszának. A 20. század 30-as éveiben a Tungstam Gyár Laboratóriumában elektroncsöveket fejlesztettek. Bródy és Palócz e kísérletek során azt tapasztalta, hogy a vákuumcsövek (elektroncsövek) belső falán, még hipervákuum esetén is, mindig marad egy monomolekuláris vízréteg. Ez a tény a gyártott csövek minőségét hátrányosan befolyásolta. A jelenség oka az volt, hogy a vízmolekulák negatív elektronokat hosszú ideig kötöttek meg és az üveg pozitív töltésű felületéhez tapadtak.

Számunkra az a fontos ebből a fölismerésből, hogy a vízmolekulákból származó negatív ionok rendkívül hosszú életűek. A hold felszínének közelében az előbb leírt módon felszabaduló vízmolekulák a Nap UV sugárzásának hatására keletkező elektronokkal ütközhetnek és ezáltal negatív töltésre tesznek szert. Ezek a rendkívül hosszú életű, negatív töltésű vizionok találkozhatnak a lebegő porfelhő pozitív töltésű porrészecskéivel. Az ütközési energia összetapasztja

A holdi kváziatmoszféra itt bemutatott részecskéinek energiájából számítható hőmérsékletek részecskénként igen különbözők. Pl. a napszél kb. néhány ezer K fokos hidrogén öblítéses kemence viszonyait hozza létre a Hold felszínén. Az ilyen kemence redukáló hatása a Földön. Ezért jogosan gondolhatjuk, hogy a hold felszíni viszonyok között is a közetek redukciója történik.

A holdi kváziatmoszféra modellje: 1. Oxigén; 2. Hidrogén; 3. Porrészecske; 4. Koagulált porrészecske (ez már tartalmaz vízmolekulát is); 5. Proton a napszélből; 6. Elektron, amely a Nap UV sugárzásának hatására szakadt ki a felszíni por egyik részecskéjéből; 7. Vízmolekula; 8. A holdi kváziatmoszféra kiterjedése a talaj szintje fölött: ez az a tartomány, ahol az ütközések még viszonylag gyakoriak.

öket és ezáltal egy hosszabb koagulációs folyamat első lépése történik meg. A folyamat többszöri megismétlődésével egyre nagyobb méretű koagulált porrészecskék keletkezhetnek. Lényegében ezen a folyamatsoron alapul a holdi kváziatmoszféra modellje (Földi, Bérczi, Palásti, 2001).

9.4 A koaguláció eredménye marsi viszonyok között

A Marson számottevő atmoszféra van a holdihoz képest. Az atmoszféra főleg CO₂-ből áll és vízgőzt is tartalmaz. Ez a két összetevő már jelentősen segíti az előzőekben a holdi esetre fölívált folyamatok létrejöttét. A CO₂ redukciója már a

marsi felsőlégkörben hozzájárul vízmolekulák létrejöttéhez. A Mars légköre nagyon finom porrészecskéket is tartalmaz. Ezért a holdi esetre bemutatott folyamatok már a marsi atmoszféra felső rétegeiben is jellemzők.

De a legfontosabb különbség az, hogy a Marson a coaguláció másfajta részecskéket is érint. Amennyiben baktériumok, vagy spórák is lebegnek a marsi légkörben - hiszen a szél gyakran nagy légköri tömegeket mozgat meg - a koagulációs folyamatban a gyarapodó porszemcse-vízmolekula együttesekbe ezek a részecskék is beágyazódhatnak. A beágyazással a lebegő baktériumok védelmet kaphatnak az UV sugárzás ellen. Az így becsomagolt életképes baktériumokat a szél a Mars tetszés szerinti helyére elszállíthatja. Az utóbbi évek Mars Global Surveyor fényképanalízise alapján magyar kutatók megjelölték azokat a forráshelyeket, ahonnan a legnagyobb valószínűséggel származhatnak ezek a marsi baktériumok. A Mars déli sarki övezetében a 60-80 szélességi körök között a sötét dűnéken megfigyelhető télvégi-tavaszi foltok vezették rá a kutatócsoportot arra, hogy a foszló hó-jég takaró alatt rejtőzhet a marsi élet valamilyen formája (Horváth, Gánti, Gesztesi, Bérczi, Szathmáry, 2001). A jövőben indítandó Mars-szondák célszerű leszállási helye ez a régió. Ha ezen szondákon sikerülne elhelyezni egy koagulált-por gyűjtő berendezést, a FOELDIX-1-et, valószínű, hogy kimutatható lenne az életképes baktériumok valamilyen fajtája.

9.4 A FOELDIX-1 működése

A FOELDIX-1 egy olyan elektrosztatikus elven működő porgyűjtő mérőműszer, amely alkalmas arra, hogy a rajta átáramló gázokból, elektrosztatikus úton, a gázban lebegő részecskéket válasszon le. 2002-ben elkészült ennek egy űrszondára méretezett változata, amely a Hunveyor egyik fontos műszere. A műszer működése a holdi kvázi-atmoszféránál leírt folyamatokon alapul. Láttuk, hogy a vákuumban a vízmolekuláknak hosszú ideig megmarad a negatív töltése. A FOELDIX-1 egy olyan elektroncsőhöz hasonló tubus, amelyben katód és anód sorok váltakozva helyezkednek el. A szokásos elektroncsövekhez képest a különbség az, hogy az anód pozitív ionokat is emittál. (A klasszikus elektroncsőben csak a katód emittál és csak elektronokat.) A cső belsejében a ritka gáz áramlási sebessége irányában váltakozva vannak elhelyezve az anód és katód elektródák, és rajtuk azonos nagyságú, de ellentétes polaritású feszültség van. A fal zéró potenciálú. Az elrendezés következtében a tubuson belül a negatív és a

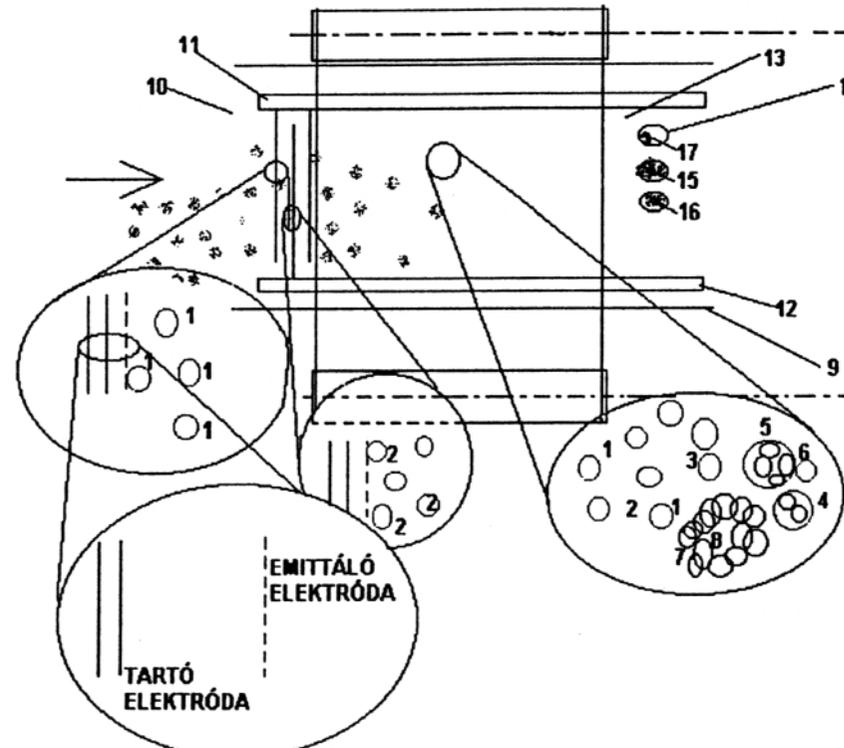
pozitív töltésű helyek egymást váltogatják. A számunkra érdekes jelenségek az előjelváltás környezetében jönnek létre. Az áramlásban lebegő porrészecskék előbb negatív, aztán pozitív töltést kapnak, s ezáltal a határretegben irányítottan koagulálódnak. Ennek eredményeként a tubusban 19 áttöltéssel ca. 500 000 szerez tömegnövekedést érhetnek el a nanométeres nagyságrendű por (ill. a beágyazott nanobaktériumot is tartalmazó) részecskék. Ez az irányítottág az egyetlen különbség a holdi kvázi-atmoszférához képest a folyamatban. Összegzésül tehát megállapíthatjuk, hogy a FOELDIX-1 mérőműszer tubusa funkcionális modellje a holdi és marsi kváziatmoszférának. A Hunveyoron alkalmazott készülék megfigyelő, érzékelő és távjelző funkciókkal már műszerként működik.

9.5 A FOELDIX-1 elrendezése életrnyomok keresésére

A FOELDIX-1 fontosabb részei: 1. Por (vagy aeroszol) részecskék pozitív töltéssel; 2. Por (vagy aeroszol) részecskék

negatív töltéssel; 3. Koagulált por (vagy aeroszol) részecskék; 4. Koagulált por (vagy aeroszol) részecskék pozitív töltéssel; 5. és 6. Ismételten feltöltött, pozitív töltésű koagulált por (vagy aeroszol) részecske (5) találkozik pozitív töltésű por (vagy aeroszol) részecskével; 7. Sokszorosan koagulált por (vagy aeroszol) részecskék, fürtszerű halmazban (max. 500.000-szeres tömegnövekedéssel) a belsejében egy becsomagolt nanobaktériummal (8) vagy vírussal; 8. Baktérium vagy vírus (vagy másféle részecske biológiai információval) a sokszorosan koagulált por (vagy aeroszol) fürtszerű részecske belsejében; [ilyen helyzetben a baktériumok védve vannak a Nap UV-sugárzástól]; 9. A tubus fala; 10. Belépési kapu a légköri gázok és a bennük lebegő por és egyéb részecskék számára; 11. Elektróda pozitív potenciálon; 12. Elektróda negatív potenciálon; 13. Zérus potenciálon lévő gyűjtőelektródák, amelyekre kiválnak a koagulált részecskék; 14, 15, 16 és 17. Különböző táptalajok baktériumok számára.

A FOELDIX-1 berendezést a biológiai eredetű részecskék begyűjtésére kívánjuk fölhasználni a bolygók felszínén. Földi környezetben extrém viszonyok között található olyan élő mikroorganizmusokat, amelyek a marsi környezetekben is várhatók. Az ilyen élő szervezetek porszemcsekkel együtt gyűjthetők be a FOELDIX-1-gyel, például az Antarktison, mint jeges sivatagban, a Szaharában, mint forró sivatagban, a sztratoszférában, mint kis nyomású környezetben. A Mars felszínén a Déli Pólus környékén található sötét dűnével borított területek környezetében gondoljuk a leghatékonyabb alkalmazást. A téli dereshavas csapadékborítást követően a télvégi-tavaszi megolvadás idején folyékony víz is megjelenhet a fagyott réteg alján, és e víznek valamint a napfénynek a fölhasználásával élő baktériumok is várhatók a sötét dűnéken megjelenő sötét dűne foltokban. A fagyott réteg szublimációja után a szél fújja és szállítja, s magával ragadja a sötét dűne poranyagát és benne a mikroszervezeteket, amiket így a FOELDIX-1-gyel begyűjthetünk. A készülékben, a bemutatott működési mechanizmus szerint, láthatóan nagyobb lesz az élő szervezetek koncentrációja és ezzel nő azok fölismerésének lehetősége. Szintén alkalmazhatjuk a műszert az élő szervezeteket valószínűleg kisebb koncentrációban tartalmazó helyeken, például az egyenlítőn, a légkörben vagy a marsi légkör felső határán.



X. LÉGKÖRI KÉMIAI ÖSSZETÉTEL MÉRÉSE

10.1 Működés és mérések: a gázkromatográf

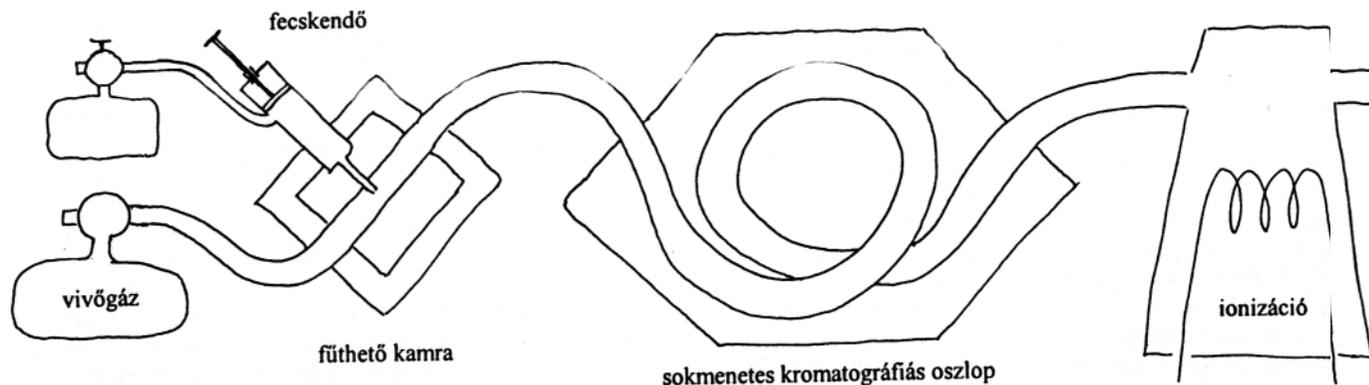
A gázkromatográfal való mérés elve több ponton hasonlít a Kovács Barna által a Hunveyorra fejlesztett optikai kémiai szenzoros mérésre, de ott egy anyag koncentrációját határozhatjuk meg egyszerre, míg a gázkromatográfal több anyag egymás melletti meghatározására van lehetőség. Itt is csapdába ejtik a "beporlasztott" vizsgálandó anyagot, de ez a csapda-anyag egy hosszú, 10-100 méteres cső (oszlop) falán helyezkedik el, vagy apró szemcsés alakban megtölti az oszlopot. Van azonban egy állandóan áramló ún. vivőgáz, ami nem hagyja, hogy a vizsgálandó anyag a csapdában megüljön, hanem áramlásával "végigkergeti" azt a csővön. Ez a hosszú réteg különböző módon késlelteti a vivőgázban áramló bevitt anyag összetevőinek előrejutását, így szétválasztja ezeket egymástól.

Vegyük sorra, hogy milyen anyagokat és hogyan használunk föl a mérés során.

1) A **vivőgázzal**, 2) egy (pl. 30 méter) **hosszú csőbe** (oszlop belsejébe) 3) befecskendezzük a **vizsgálandó összetételű anyagot**. (A hosszú cső (vagy oszlop) arra szolgál, hogy az anyagok átáramlása hosszú vagy nagy felület mentén történjen meg.) 4) A cső **belső falán** vagy belsejében egy **csapda-anyag** (pl. aktív szén, speciális szilikonolaj, stb.) van elhelyezve, amely 5) a **hosszú átáramlás** alatt a bevitt anyag molekuláit **szelektíven csapdába ejtik**, mivel a különböző gázokra más és más a kémiai egyensúly a mérendő gáz és a csapda anyag között. E csapdába ejtéssel a bevitt összetevők **különböző módon vannak késleltetve** a csőben való végigjutásban. 6) A cső végén egy **detektor** méri meg a beérkező anyagok mennyiségét. Ez lehet például egy tömegspektrométer is. 7) A detektorban az egymás utáni időszeltekben különböző összetevők érkeznek be.

10.2 Gázkromatográfias detektorok

Hogyan tudjuk azt meg, hogy egy vegyület lejött az oszlopról? A következőkben a gázkromatográfias detektorok típusaival ismerkedünk meg, és azzal, hogy segítségükkel milyen információkat nyerhetünk a mintáról. A jel alatti terület nagysága a koncentrációval arányos, ezen kívül azonban az anyagi minőségtől és a detektor típusától is függ. Ha szükségünk van a pontos koncentrációra, akkor a jel nagyságát a koncentráció függvényében meg kell határozni (kalibráló görbe felvétele), vagy a mintához ismert mennyiségű anyagot adunk (belső standard) és ehhez képest adjuk meg a mérendő anyag jelének nagyságát. A különböző detektorok más-más anyagcsoportra érzékenyek.



10.2.1. Hővezetőképességi detektor (TCD)

A detektor legfontosabb része egy állandó elektromos teljesítménnyel fűtött szál (platina, arany, wolfram, stb.) amelynek a hőmérséklete a vele érintkező gáz hővezetőképességétől függ. Ez utóbbi a gázmolekulák mozgékonyaságától, méretétől függ: minél kisebb a gáz moláris tömege, annál jobb a hővezető képesség. Ha a hélium vagy hidrogén vivőgázban egy nagyobb tömegű molekula érkezik a detektorba akkor a hőmérséklet megemelkedik és nő a huzal ellenállása. Gázok analitikájában ez a leggyakrabban használt detektor.

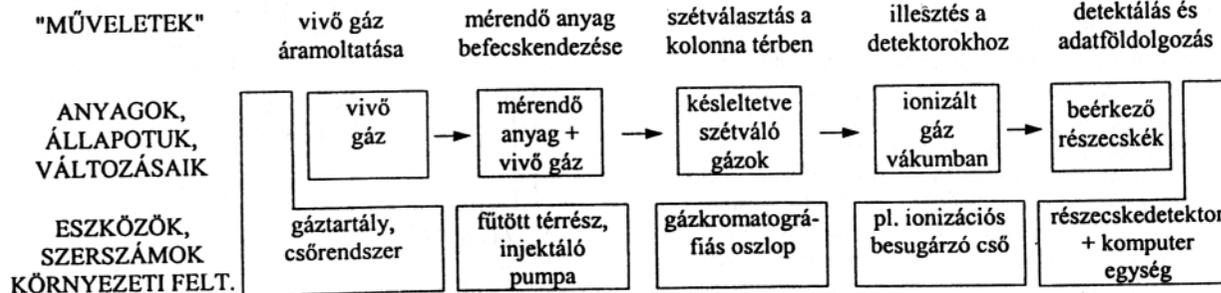
10.2.2. Lángionizációs detektor (FID)

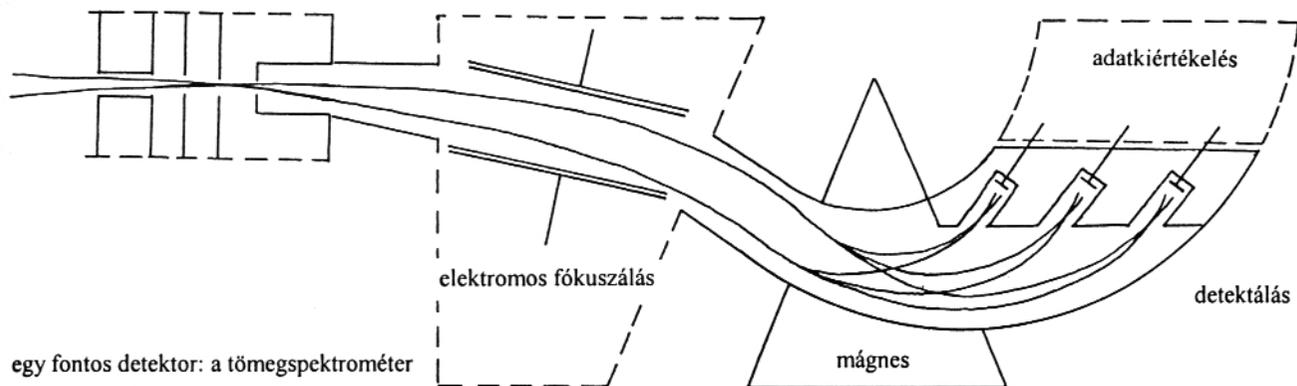
Az oszlopról lejövő anyagot egy hidrogén/levegő lángba vezetik. Az égőfej a katód és ezt hengeresen körülveszi az anód. Az égés során keletkező gyökök könnyen ionizálódnak, így a katód és az anód közötti tér vezetővé válik. Éghető szerves anyagok vizsgálatára ez a legalkalmasabb módszer, de nem éghető anyagokra (víz, kén-dioxid, szén-tetraklorid, nitrogén-oxidok, stb.) nem használható.

10.2.3. Elektronbefogásos detektor (ECD)

A működése azon alapul, hogy a nagy elektronegativitású atomokat (halogének, nitrogén), elektronszívó csoportokat tartalmazó anyagok elektronok befogására hajlamosak. Az oszlopról lejövő gáz két elektród között halad át, amelyek közül az egyik lágy béta-sugárzó izotóppal (pl. ⁶³Ni) van bevonva. A kilépő elektronok a vivőgáz (pl. nitrogén) molekuláit ionizálják és ez egy állandó áramerősséget eredményez. Amikor a minta molekulái a detektorba kerülnek, azok elektronokat befogják, és ennek következtében az áramerősség csökken.

A fentiekben kívül még számos olyan detektort használnak, amiknek a segítségével nagy érzékenységgel lehet bizonyos vegyületeket meghatározni, például a lángfotometriás detektorral (FPD) a foszfor- és a kén tartalmú vegyületeket. A gázkromatográfia alkalmazásával vizsgálható egy bolygó légkörének összetétele vagy az ott található talaj gyors felmelegítésével illékony szerves anyagok után kutathatunk, ami az élő szervezetek létre utalhat.





egy fontos detektor: a tömegspektrométer

10.2.4. Tömegspektrométer

A tömegspektrométer az egyik leggyakrabban alkalmazott gázkromatográfiai detektor, amelyet kapcsolt technikaként is, de önálló berendezésként is használhatunk. Legfontosabb jellemzője az, hogy segítségével az egyes anyagokat azonosítani tudjuk, mert a gázban repülő atomok tömegét teszi meghatározhatóvá. A többi detektor csak relatív vagy közvetett anyagazonosítást tesz lehetővé.

A tömegspektrométerbe bekerülő anyagot először ionizálni kell, majd az ionokat felgyorsítva és szétválasztva tömeg/töltés szerint detektáljuk őket. A tömegspektrométerben kis nyomás uralkodik, a minta molekuláit gázfázisban vizsgáljuk. A gázkromatográfiai oszlopról lejövő anyagok természetesen már gázfázisban vannak, de szilárd anyagok vagy folyadékok molekuláit is elpárologtathatjuk magasabb hőmérsékleten vagy más furfangos (pl. lézeres rásugárzással) módon.

Elektronütközéses ionizáció

Az ionok keltésére ez a legrégebb és legegyszerűbb módszer. Az elektronok egy fűtött katódból termikusan lépnek ki, majd felgyorsulnak attól függően, hogy milyen feszültségkülönbséget kapcsolunk az anód és a katód közé. Egy bizonyos feszültség (energia) felett az elektronok a minta molekuláit ionizálják, molekulaion keletkezik (M^+), majd a felvett energiától függően a molekula a leggyengébb pontokon széttöredezik (fragmentálódik). Ez a folyamat a molekula szerkezetére jellemző. A molekuláknak ez a széttöredezése "ujjlenyomatként" kezelhető. A töredékekről kigyűjtött adatok spektrumkönyvtárakba vannak kigyűjtve és a mért spektrumból, összehasonlítással, azonosítani tudjuk a vizsgált anyagot. A molekulák széttöredezése attól is függ, hogy milyen nagy energiájú elektronokkal ionizáljuk őket. (Ez rendszerint 70 eV szokott lenni, mert előlött már nemigen változik a tömegspektrum.)

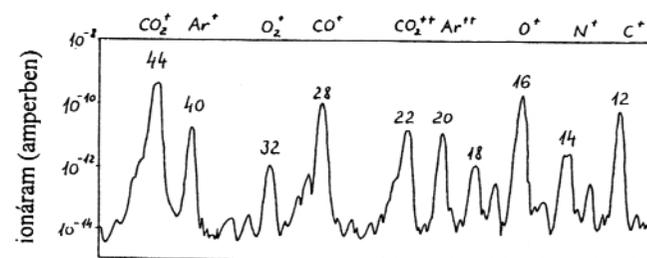
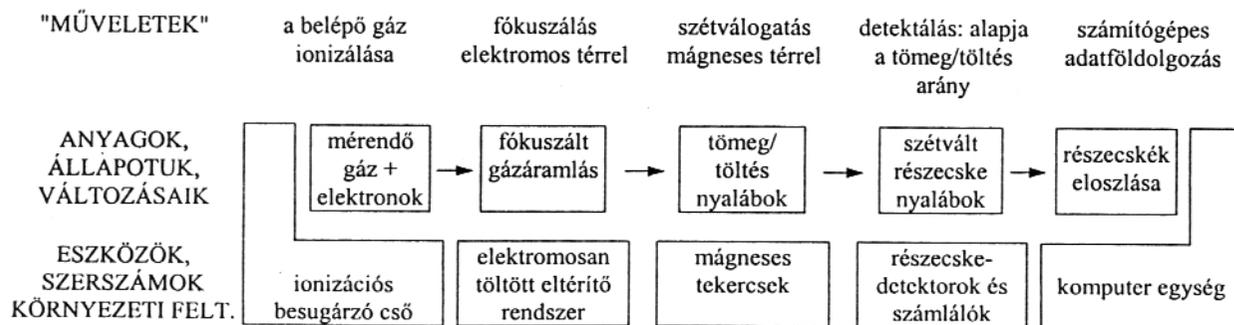
A tömegspektrométer egység

A tömegspektrométerrel történő mérés során a detektorba beérkező gázokon többféle műveletet végzünk. 1) Vákuumba ritkítjuk a gázt. 2) Ionizáljuk az anyagot, például úgy hogy egy katódból kilépő elektronok felhasználásával töltéseket juttatunk a gázmolekulákra. 3) A szóródó gázt áramlása során elektromos és mágneses térrel fókuszáljuk, majd egy 4) eltérítő mágnessel, tömeg/töltésüktől függően térítve el őket pályájukon, érzékelő detektorokhoz vezetjük.

Kémiai ionizáció

A kevésbé stabil, gyenge kötéseket tartalmazó anyagoknál kíméletesebb ionizációt kell alkalmazni, mert ezeknél a molekulaion felbomlik, mielőtt a detektorba jutna. Ez a szétesés olyan mértékű lehet, hogy már nem is nyerhető hasznos információ a tömegspektrumból. A kíméletesebb ionizáció a kémiai ionizáció. Ennél a módszernél a hagyományos ionizáció előtt még nagy mennyiségű reagens gázt kevernek a mintához. Az elektronütközéses ionizáció aztán elsősorban ezeket a molekulákat ionizálja. Így egy ionizált plazma keletkezik, melyben a nagy számú hozzákevert anyag ionjaival való ütközés során történik meg a minta molekuláinak ionizálódása. Így kisebb lesz a fragmentáció és nő a mérés érzékenysége is, mert a mérendő molekuláknak nagyobb hányada jut el a detektorig még a szétesés előtt.

A tömegspektrométerrel egyrészt a bolygó légkörök összetételének vizsgálata végezhető el, de ezzel a méréssel a talaj összetétele is meghatározható. Az izotóparány is adódik a mérésből, ami jellemző a bolygó légkörére vagy talajára. A módszerrel egy meteoritban lévő izotópok aránya is meghatározható. Ezáltal azonosítható a meteorit forráshelye, abban az esetben, ha ezt az arányt egy bolygó légkörében már megmérték.



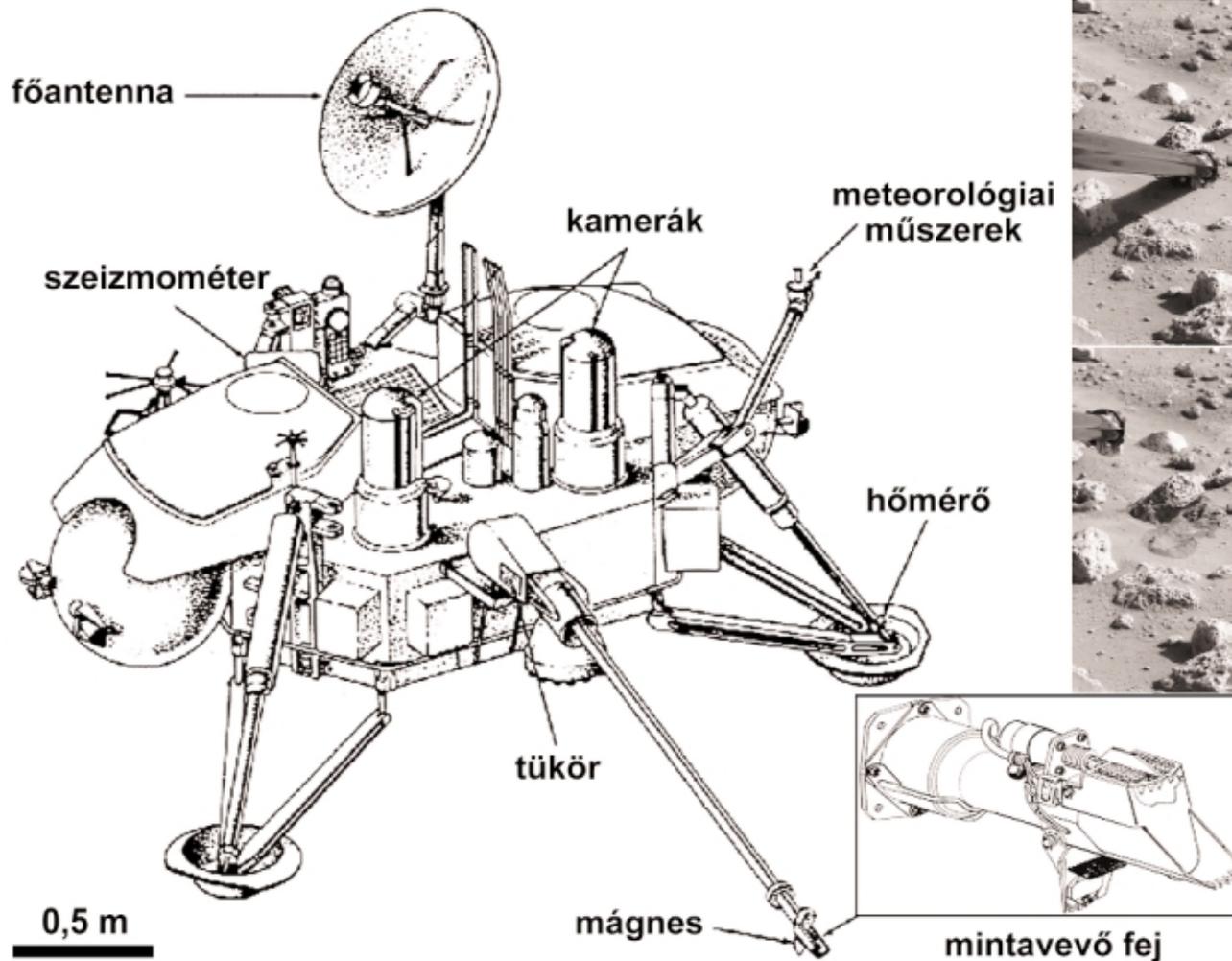
A Viking-1 leszálló egységének a mérése 135 km magasan, leereszkedés közben a marsi légkörben, 1976 július 20-án.

XI. A VIKING-ŰRSZONDÁK BIOLÓGIAI MÉRÉSEI

Az űrkutatás egyik legfontosabb hajtóereje a Földön kívüli élet kutatása, ami a legalaposabban leszállóegységekkel végezhető. Miután az egyre fejlettebb űrszondák mérései alapján pontos képet alkothattunk a Földhöz legközelebbi égitestek felszíni viszonyairól, fokozatosan a Mars került az asztrobiológiai vizsgálatok középpontjába. S bár a Vénuszra korábban ereszkedett le sikeresen ember alkotta űreszköz, mégis a Mars felszínén landolt Viking űrszonda-páros mérései jelentették a Földön kívüli élet kutatásában egy új korszak kezdetét.

9.1. A programról röviden

A NASA szakemberei a vörös bolygó átfogó megismerését tűzték ki célul, különös tekintettel a lehetséges marsi élet felfedezésére. A Viking-program két teljesen azonos űrszondára épült, amelyek egy-egy keringő- és egy-egy leszállóegységből álltak. A Vikingek 1975 nyarán indultak útnak, s 1976 júliusában, illetve augusztusában érkeztek meg. A Viking-1 leszállóegysége az egyenlítőtől 23°-kal északra, Chryse-síkság területén, a Viking-2 landere pedig az egyenlítőtől 48°-kal északra, az Utópia-síkságon érte el a felszínt. A tervezett 90 napos működési idejét mindkét



A Viking Lander felépítése és a felszíni mintavevő egység működése

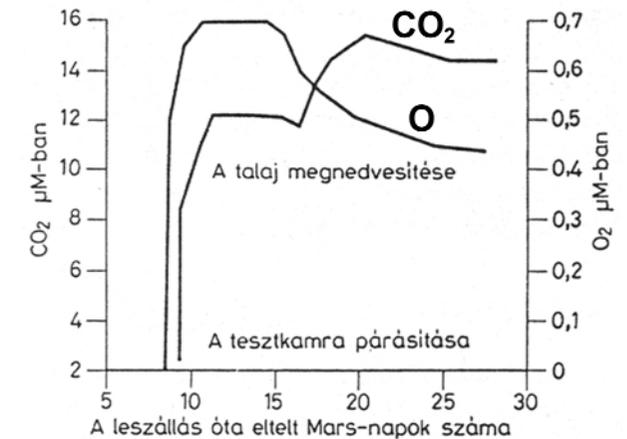
leszállóegység messze túlszárnyalta, s a Viking-1 1982. november 11-én, párja pedig 1980. április 11-én hallgatott el örökre. A leszállóegységek elsődleges feladata az volt, hogy mozgatható robotkarjukkal felszíni törmelékmintákat helyezzenek el fedélzeti laboratóriumaikban, előkészítve háromféle biológiai kísérletet.

9.2. Gázcsere kísérlet

Ennek a kísérletnek a célja a feltételezett marsi mikroorganizmusok élettevékenysége folyamán felvett, illetve leadott gázok kimutatása volt. A zárt kamrába helyezett marsi anyag-mintákat szerves vegyületek vizes oldatával, vagyis táp-anyaggal keverték össze, majd a keletkezett gázokat gázkromatográffal folyamatosan analizálták.

Először csekély mennyiségű tápoldatot adtak a mintához, hogy azt ne itassa át teljesen, hanem csak párosodást idézzen elő. A második lépésben már annyi tápoldatot használtak, hogy a minta teljesen telítődjön. Majd ezt a nedvesített mintát kb. 7 hónapig zavartalanul raktározták.

A kísérlet eredményei szerint közvetlenül azután, hogy párássá vált a minta, CO_2 és molekuláris oxigén szabadult fel, azonban ez rövid idő után megszűnt. Mindkét leszállóegység mintáit a gyors és rövid időtartamú gáztermelés jellemezte.



A CO_2 minden bizonnyal a törmelékfelületén megkötött légköri CO_2 volt, amelyet a párás kamrában gyorsan kiszorított a vízgőz. Az oxigén megjelenését bonyolultabb megmagyarázni, mert kevés olyan abiogén folyamat ismert, amely oxigéntermeléssel jár. Feltételezhető azonban, hogy a vízgőz hatására oxigénben gazdag vegyületek, elsősorban peroxidok bomlottak el, s oxigén szabadult fel.

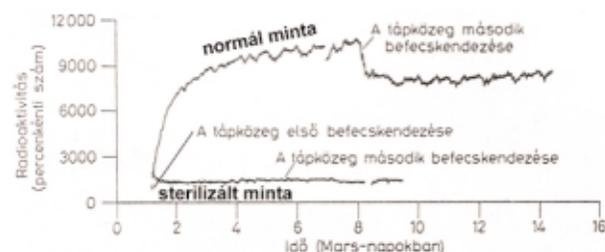
A hosszú idő elteltével végzett mérések során a CO_2 lassuló

mértékben, de folyamatosan termelődött, az oxigén viszont hamar eltűnt. A CO₂-termelődést továbbra is a korábban megindult folyamattal magyarázták, az oxigén eltűnéseért pedig a szerves tápoldatban lévő aszkorbinsav lehetett a felelős, amely megköti azt.

Míndeze alapján úgy tűnik, hogy a gázcsera kísérletben zajlott reakciók nem biológiai anyagcsere során, hanem a felszíni anyagok és a vízgőz kölcsönhatásának eredményei.

9.3. Radioaktív ¹⁴C izotóppal jelzett tápanyag-lebontási kísérlet

Ez a kísérlet az izotóppal jelzett tápanyag felvételét és anyagcserén keresztül történő lebontását vizsgálta, amelyhez egyszerű tápoldatot, ¹⁴C-vel megjelölt hangyasavat és glicint használtak. A kísérlet alapelve, hogy ha a mintában található a környezetükkel anyagcserét folytató mikroorganizmusok, akkor azok felhasználják a tápoldatot, s kibocsátott gáztermékekben kimutatható a radioaktív ¹⁴C-izotóp jelenléte.



Annai tápanyagot adtak a mintához, hogy az csak félig itatódjon át, de egyben a kamra légtere is párás legyen. Az eredmények szerint itt is CO₂-gázfejlődés történt, amely kb. egy marsi nap után észlelhetően lelassult.

A megjelenő CO₂ radioaktív volt, vagyis a tápoldat származéka. Képződését a gázcsera kísérlet alapján feltételezett peroxidok magyarázzák, mivel a hangyasavat a hidrogén-peroxid gyorsan oxidálja, s a reakció eredménye CO₂ illetve víz (a megjelölt CO₂ mennyisége alig volt kevesebb, mint amennyi az összes hangyasav oxidálódása során keletkezhetett volna).

Ám nem-radioaktív gázokat nem észleltek, amelyeknek a feltételezések szerint a minta vízzel történő keveredése során képződniük kellett volna (a gázcsera kísérlethez hasonlóan).

Miután ugyanezt a mintát egy újabb adag tápoldattal is összekeverték, a radioaktív CO₂ mennyisége nem nőtt, sőt kissé csökkent a kamrában. Ez megfelel annak a feltételezésnek, hogy a mintában lévő peroxidok az első adag tápoldat hatására mind elbomlottak, így az újabb adag már nem eredményezhetett további gázkibocsátást. A tapasztalt gázmennyiség-csökkenés oka pedig az lehet, hogy a CO₂ vízben jól oldódik, így az újabb tápoldat elnyelte a kamrában lévő gáz egy részét.

A peroxidok jelenlétét alátámasztja egy ehhez hasonló másik mérés is, amelyet 3 órán át 160°C-on sterilizált mintával végeztek. Ekkor az előbbi reakciók egyáltalán nem mentek végbe, ha viszont csak 46°C-ra melegítették a felszíni anyagot, a reakciók lezajlottak, de a termelődő gázmennyiség a felére csökkent. Az egyes szakemberek által felvetett biológiai magyarázat szerint a sterilizálás hatására elpusztultak azok az élőlények, amelyek anyagcsere-termékeit hevítés nélkül sikerült kimutatni. Ám a jelenség egyszerűen megmagyarázható abiogén folyamatokkal is figyelembe véve, hogy a peroxidok instabil vegyületek s hő hatására bomlanak.

9.4. Hevítéses ¹⁴CO₂ felszabadítási kísérlet

Ez a kísérlet a Mars valódi légköri és nyomásviszonyainak megfelelően zajlott, a légkörben jelen lévő természetes CO₂ és CO mintába való beépülését, majd szervesanyag-előállítás nyomait keresték (míg az előző két kísérletben az esetleges élettevékenység lebontási termékeit próbálták kimutatni).

A felszíni anyagmintát légköri gázokkal együtt helyezték zárt kamrába, amelybe radioaktív ¹⁴C-izotóppal jelölt CO₂-t és CO-t jutattak, majd öt napon keresztül mesterségesen megvilágították. Ezek után ¹⁴C-tartalmú szerves molekulákat kerestek a mintákban, s az elvégzett kilenc vizsgálatból hét esetben találtak is! Ez azt jelenti, hogy a felszíni anyagokban - rendkívül kis mennyiségű - szervesanyag-termelés zajlik. Fontos megjegyezni, hogy a szervesanyag-termelés fénytől elzárt mintákban is kimutatható volt.

9.5. Az eredmények értékelése

Bár a kísérletek nem hoztak egyértelmű eredményt, a NASA szakemberei arra a következtetésre jutottak, hogy nem sikerült meggyőző bizonyítékokat szerezni a marsi élet létezéséről, vagyis hogy a vörös bolygón nincs élet.

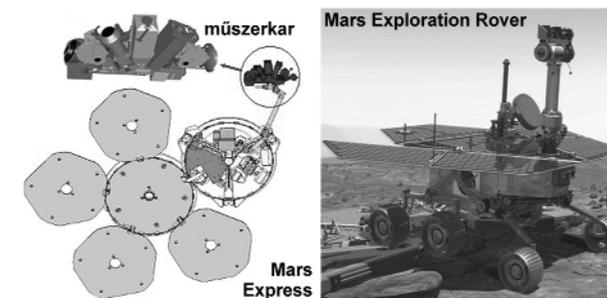
9.6. Kétség és bizonyosság

Néhány éve azonban kétségek merültek fel a Viking-leszállógépek mérési eredményeivel kapcsolatban. A program egyik vezető szakembere ugyanis azt állítja, hogy az 1976-ban használt mérőberendezések nem voltak elég érzékenyek a vizsgált mintákban rendkívül kis koncentrációban jelen lévő szerves anyagok kimutatásához. Tehát a Viking-program eredményei alapján nem zárható ki az élet létezése a Marson.

A mérések során azonban az is kiderült, hogy a Mars felszíne szélsőségesen oxidatív, ami komoly kihívást jelentene a Földön ismert életformák számára. Az elmúlt évek során azonban számos olyan extrém földi környezetben - 100°C-nál melegebb vizű forrásokban, az Antarktisz jégrétegeiben, szélsőséges pH-jellegű tavakban, atomreaktorok radioaktív hűtővizében, illetve több ezer méter mélyen az óceánok aljzatán, fénytől elzárva, mélytengeri füstölők közelében - fedeztek fel extrémofil élőlényeket, amelyeket korábban teljesen lakhatatlannak tartottunk. Ezért nem zárható ki, hogy léteznek olyan életformák, amelyek képesek a zord marsi környezet elviselésére. Tehát a szélsőséges feltételek alapján sem zárható ki a marsi élet létezése.

Biztos választ azonban csak újabb leszállógépek adhatnak a marsi élet kérdésére, leghamarabb 2003 végén – 2004 elején. Ekkor ugyanis három leszállógétség ereszkedik le a Mars felszínére (remélhetőleg problémamentesen):

- az Európai Űrügynökség által készített Mars Express Beagle-2 landere, amelynek elsődleges feladata a múltbeli és jelenlegi életnyomok keresése;
- a NASA két Mars Exploration Rover-je, a Spirit (Szellemisség) és az Opportunity (Lehetőség), amelyek főként közzettani-geokémiai vizsgálatokat végeznek majd, de ezek mérései is hozzájárulhatnak az élet felfedezéséhez a Marson.



Leszállógések 2003-2004 során a Marson

A VÉNUSZ, FÖLD, HOLD, MARS FELSZÍNI KÖRÜLMÉNYEI és AZ ŐKET ELÉRT SZONDÁK

	VÉNUSZ	FÖLD	HOLD	MARS
Napállandó [W/m ²]	2624 W/m ²	1373 W/m ²	1373 W/m ²	591 W/m ²
A Nap látszólagos mérete [°]	0,74°	0,53°	0,53°	0,35°
A Nap fényessége [magnitúdó]	-27.35 (a felhők felett)	-26,7	-26,7	-25,8
Tengelyferdeség [°]	177,4° (-2,6°)	23,45°	6,7°	25,19°
Egy nap hossza a felszínen	116 földi nap = 2802 óra	24 óra	29,5 nap = 708,7 óra	24 óra 39 perc (1 sol)
Egy fordulat (csillagnap)	243 nap = 5832 óra, retrográd	23 óra 56,1 perc	27 nap 7 óra 43 perc = 655,7 óra	24 óra 37,4 perc
Egy év hossza [földi napban]	224,7 földi nap	365,24 földi nap	365,24 földi nap a Nap körül, 27,3 nap a Föld körül	686,98 földi nap
Egy év hossza [helyi napban]	1,9 helyi nap	365,24 földi nap	365,24 földi nap a Nap körül, 27,3 nap a Föld körül	667 sol (marsi nap)
Nehézkedés [g, m/s ²]	8,87 m/s ²	9,8 m/s ² , 1g	1.62 m/s ² , 0,16 g	3,7 m/s ²
Felszíni légnyomás [hPa]	93219 hPa körül	1013 hPa körül	3 x 10 ⁻¹⁵ bar	6,9-9,1 hPa
Felszíni hőmérséklet [°C]	457 °C	15°C (-69–+58)	-150–+130°C	-5–75°C (Pathfinder)
Légkör fő összetevői	96,4% CO ₂ , 3,4% N ₂	78% N ₂ , 20,9% O ₂		95,3% CO ₂ , 2,6% N ₂
Szökési sebesség [km/s]	10,36 km/s	11,18 km/s	2,38 km/s	5,02 km/s
Pályamenti sebesség	35 km/s	29,8 km/s	1 km/s (A Föld körül)	24,1 km/s
Más égitest felszínét elérő (leszállt vagy becsapódott) szondák (felszínre érkezés dátuma, leszállás helye (földrajzi név, koordináta és/vagy helyi idő a leszállás helyén és időpontjában), a felszíni működés teljes időtartama)	Venya-3 ‡ (66.III.1.) Venya-4 (A, 67.X.18. 19° É 38°K) Venya-5 (A, 69.V.16. 3° D 18°K) Venya-6 (A, 69.V.17. 5° D 23°K) Venya-7 (70. XII. 15. éjszakai oldal, 23p, 5° D 351°K) Venya-8 (72. VII. 22., terminátor, 50 p 10° D 335°K); Venya 9 (75. X. 22., nappali oldal, Guinevere-síkság 32°É 291°K, 53p) Venya 10 (75. X. 25., nappali oldal (dél körül), Beta-régió 291°K 16°É, 65 p) Pioneer Venus † 3 db Kis Szonda (Északi (59,3°É 4,8°K), Nappali (31,3°D 317°K) Éjszakai (28,7°D, 56,7°K)) és egy Nagy Szonda (4,4°É 304°K) 78. XII. 9. Szállító egység: (busz) 37,9°D; 290,9°K Venya 11 (78. XII. 25., nappali oldal, 14°D 299°K 95p) Venya 12 (78. XII. 21., 7°D 294°K, 110p) Venya 13 (82. III. 1., Beta-régió 7,5°D 303°K, 127 p) Venya 14 (82. III. 5., Beta-régió, 13,25°D 310°K, 53 perc) VEGA 1 (85. VI. 11., ‡ Sapas-hegy 8,1° É 176,7°K 21 p + ballon 46 óra) VEGA 2 (85. VI. 15., K-Aphrodite-föld 7,2°D 179,4°K 15perc éjszakai oldal + 46 óra ballon).	Nagyobb ürepülőterek. űrközpontok, felföld-helyek: Tyuratam (Bajkonur) (1957 óta; Kazahsztán 45,6°É 63,4°K) Cape Canaveral (Kennedy űrközpont) (1958 óta; USA, Florida, 28,5°É 81,0°Ny) Kourou (1970 óta, Franciaország, Francia Guyana 5,2°É 52,8°Ny) A Mars Society marsi környezetet szimuláló földi kutatóhelyei: Flashline Mars Arctic Research Station (Haughton-kráter, Devon-sziget, Kanada, 2001 óta) Mars Desert Research Station (Hanksville, Utah, USA, 2002 óta) EuroMARS (Krafla/Mývatn, Észak-Ízland, terv 2003-tól) <i>További égitesteken leszállt szondák:</i> 433 Eros - NEAR - 2001. II. 12., működött 16 napig <i>Tervezett:</i> Titán - Huygens (2004–2005) Merkúr - BepiColombo (2012)	Luna 2 † (59.IX.13. Palus Putredinis 29,1°É 0°K) Ranger 4 ‡ (62.IV.26. 15,5°D 229,3°K) Ranger 6 † (64.II.2. 9,33°É 21,5°K) Ranger 7 † (64.VII.31. 10,35°D 20,58°Ny) Ranger 8 † (65.II.20.) Ranger 9 † (65.III.24.) Luna 5 ‡ (65.V. Felhők tengere) Luna 7 ‡ (65.X.7. Viharok óceánja) Luna 8 ‡ (65.XII.3.) Luna 9 (66.II.3.) Surveyor 1 (66.VI.2. 2,45°D 316,79°K-Flamsteed P) Surveyor 2 ‡(66.IX.22. Koperikusztól DK-re) Luna 13 (66.XII.24. 18,87°É 297,95°K, 2 nap) Surveyor 3 (67.IV.20. 2,94°D, 336,66°K Oc. Proc.) Surveyor 4 † (67.IV.) Surveyor 5 (67. IX. 11. 1,41°É 23,18°K Mare Tran.) Surveyor 6 (67. XI. 10 0,46°É 358,63°K Sin. Medii) Surveyor 7 (68. I. 10. 41,01°D 348,59°K Tycho) Apollo 11 (69.VII.20. 0,67°É 23,49°K Mare Tranq.) Apollo 12 (69.XI.19. 2,94°D 23,45°Ny Oc. Proc.) Luna 16 (70.IX. 20., Mare Fec. TM) Luna 17 + Lunohod 1 holdautó (1970.XI., 11 hónap 38,28°É 325°K) Luna 18 † (71.IX. 1. 3,52°É, 56,5° K) Apollo 14 (71.II.5. Fra Mauro 3,67°D 17,46°K) Apollo 15 (71.VII.30. Hadley-völgy 26,11°É 3,66°K) Luna 20 (72.II.21. 3,57°É 56,5°K TM) Apollo 16 (72.IV.20. Descartes 8,6°D 15,31°K) Apollo 17 (72.XII.11.Taurus-Littrow 20,17°É 30,8°K) Luna 21 + Lunohod 2 holdautó (1973.I. 4 hónap) Luna 23 (74.X.31. 12,25°É 62,2°K, TM sikertelen) Luna 24 (76.VIII.22. 12,25°É 62,2°K TM) Lunar Prospector † (99.VII.31., a déli pólus közelében 87,7°D 42,35°K)	Mars 2 ‡(71.XI.27. 45°D, 302°Ny Hellespontus-hg.) Mars 3 (71. XII.2, Sireneum-föld) Mars-6 † (74.III.12. 23,90° D, 19,42°Ny Margaritifer-föld) Viking Lander 1 (76. VII. 20. - 82. XI. 13., 22,27°É, 47,94°Ny, Chryse-síkság, 2245 nap) Viking Lander 2 (76. IX. 3. - 80. IV. 11., 134,01°K (225,8° Ny), 47,668°É, Utopia-síkság, 1316 nap) Pathfinder - Carl Sagan Memorial Station és Sojourner Rover (97. VII. 4. - 97. IX. 27. Ares-völgy 19,33°É, 33,55°Ny) Mars Polar Lander (Mars Surveyor '98) ‡(99.XII.3., 76,13°D, 164,66°K.) Deep Space-2 ‡(99.XII.3. 75,10°D, 163,65°K) <i>Tervezett leszállások:</i> Spirit (MER-A 2004.I.4., Gusev kráter) Opportunity (MER-B 2004, Meridiáni-föld) Beagle-2 / Mars Express (2003.XII., Isidis-medence 10,6°É, 270°Ny) Phoenix (2007, Alba-paterától É-ra)
Jelek: jel nélkül: sima leszállás, a szonda leszállás után működőképes maradt valamennyi ideig † szándékos becsapódás (kemény leszállás; a becsapódás pillanatáig a szonda működött) ‡ sima leszállásra tervezett, de végül becsapódott (baleset) □ szándékos becsapódás, de a rádiókapcsolat a leszállás közben megszakadt A=légköri mérések után becsapódott TM=talajmintát juttatott a Földre				
Nincs feltüntetve a szonda, ha – a rádiókapcsolat még repülés közben megszakadt és az űrszonda kora ismeretlen – a szonda elrepült az égitest mellett (elhibázta) – a szonda nem Föld körüli pályára állt vagy visszahalt – a szonda még a felbocsátáskor felrobbant A szovjet szondák, valamint a Beagle 2 indítási helye: Tyuratam (Bajkonur). Az amerikai szondák indítási helye: Cape Canaveral (Kennedy űrközpont).				

Címmlapon: HOLD: Harrison Schmitt, az egyetlen geológus, aki járt a Holdon, a Shorty-kráter sáncfalát vizsgálja (Apollo 17), MARS: A Pathfinder leszállóhelye, FÖLD: Kilátás a Vredefort-kráter középpontjából a kráter központi gyűrűjére, VÉNUSZ: A Venera 13 felvétele.

Irodalom:

Basilevsky et al. (1999): Morphology of the APXS Analysed Rocks at the Pathfinder Site. *LPSC XXXI*. #1313, LPI, Houston

Bridges N. T., Greeley R., Kuzmin R. O., Laity J. E., (2000): Comparison of Terrestrial Aeolian Rock Textures to those at the Mars Pathfinder Landings Site. *LPSC XXXI*, #2066.

Bridges N. T., Laity J. E. (2001): Rock Abrasion and Ventifact Formation on Mars from Field Analog, Theoretical, and Experimental Studies. *Martian Highlands and Mojave Desert Analogs, Workshop and Field-Trip*. 2001 Oct. #4003.

Horváth A., Gánti T., Gesztesi A., Bérzi Sz., Szathmáry E. (2001): Probable Evidences of Recent Biological Activity on Mars: Appearance and Growing of Dark Dune Spots in the South Polar Region. *LPSC XXXII*, #1543, LPI, Houston

Kaimal, J. C., and Finnigan, J. J. (1994): *Atmospheric Boundary Layer Flows*. New York, Oxford, Oxford University Press.

Larsen, S. E., Jorgensen, H. E., Landberg, L. and Tillman, J. E. (2002): Aspects of the Atmospheric Surface Layers on Mars and Earth. *Boundary-Layer Meteorology* 105, 451-470.

Savijarvi, H. (1999): A model study of the atmospheric boundary layer in the Mars Pathfinder lander conditions. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 125, 483-494.

Murphy J. R., Wilson G. W., Seiff A., Schofield J. T., Magalhaes J., Larsen S., Haberle R. M., Crisp D., Barnes J. (1998): Meteorological Results from the Mars Pathfinder Lander: An Overview. *LPSC XXXI*. #1824. LPI, Houston

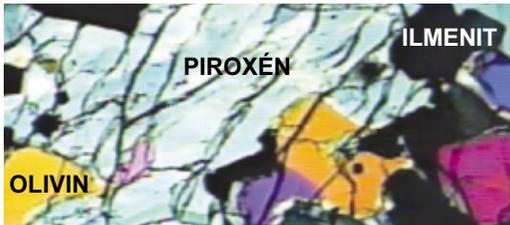
Parker T. J., Moore H. J., Crisp J. A., Golombek M. P. (1998): Petrogenetic Interpretations of Rock Textures at the Pathfinder Landing Site. *LPSC XXXI*. #1829. LPI, Houston

Tuba Z., Haszpra L., Weidinger T., Horváth L., Balogh J., Barcza Z., Czobel Sz., Nagy Z., Pintér K., Tarczay K. (2003): Long-term CO₂ concentration and flux measurements in Hungary. XXVIII General Assembly of the European Geophysical Union, Nice, April 2002, *Geophysical Research Abstract*, 4, (CD var.)

Tuba Z., Nagy Z., Weidinger T., Csintalan Z., Horváth L., Szerdahelyi T., Nagy J., Engloner A., Juhász A., Balogh J., Pintér K., Fóti Sz., Péli E. (2003): Az 5. EU&D keretprogrambeli gödöllői gyepek ökológiai kutatásokról. *6. Magyar Ökológus Kongresszus, Gödöllő, 2003. augusztus 27-29. Szerkesztette Domonkos M. és Lakner K., 266.*

Yanai K. Kojima H. (1987): Photographic Catalog of the Antarctic Meteorites. NIPR, Tokyo

Köszönet: A szerzők köszönetet mondanak Tuba Zoltánnak professzornak (programvezető), Nagy Zoltánnak és Pintér Krisztiának a gödöllői Szent István Egyetem Növénytan és Növényéleti Tanszék munkatársainak, Horváth Lászlónak (OMSZ) valamint Barcza Zoltánnak az ELTE TTK Meteorológiai Tanszék adjunktusának az EU5 GREENGRASS mérési adatok felhasználásáért.



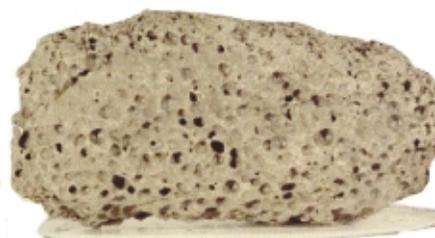
Holdi bazalt vékonycsiszolatának kőzetmikroszkópos képe (Apollo 12, 12005. sz. minta)



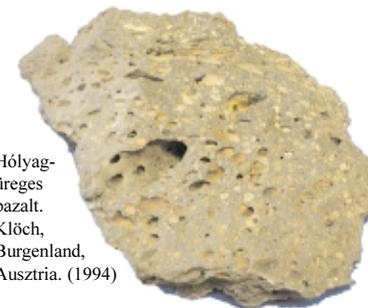
10049
Apollo 11
bazalt



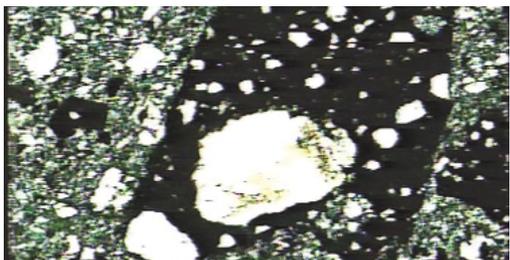
Bazalt
szilváskő-
ről. (2002)



15016 Hólyagüreges mare bazalt a Holdröl



Hólyag-
üreges
bazalt.
Klöckh,
Burgenland,
Ausztria. (1994)



Polimikt breccsa (kőzetmikroszkóp) (Apollo 14, 14305 sz. minta)



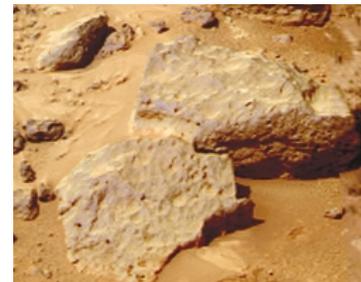
Vulkáni
breccsa (kb.
3 milliárd
éves,
Barber-
ton)



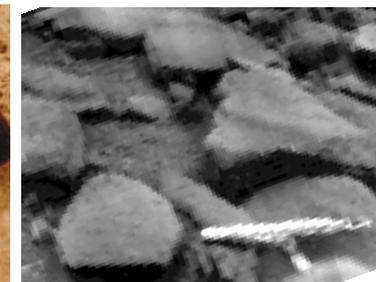
Meteoritként érke-
zett breccsa a
Holdröl
ALH
81-
005



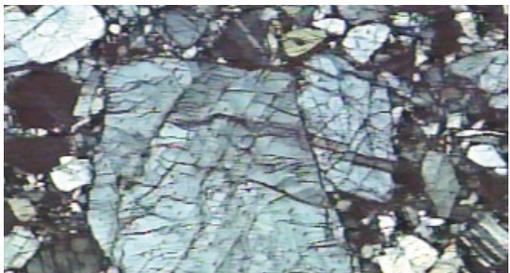
Gránit Erdős-
mecskéről, a
Mórággyi
rögéről.
(1974)



Bazaltok a Mars homokos felszínén (Pathfinder)



Bazaltok a Vénusz felszínén (Venyera 9)



Anortozit (plagioklász) (kőzetmikroszkóp) (Apollo 16, 60025 sz. minta)



4,19 milliárd éves anortozit a Holdröl (Apollo 16)



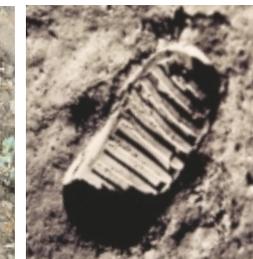
2 milliárd éve
becsapódás
során átalakult
(részben
megolvadt és
breccsásordott
gránit
Vredefortból
(Dél-Afrikai
Köztársaság)
(2003)



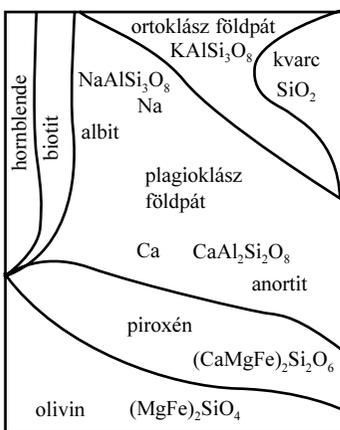
Peridotit zárvány bazalttufából, Szenték-
kálláról. (Bécezi Sz. 1982., KAVÜCS)



Földi talaj (Pilisecsaba, 2003)



A holdi regolit (Apollo 11,
1969)



szienit/trachit
 gránit/riolit
 granodiorit
 dácit
 diorit/andezit
 anortozit
 bazalt/gabbro
 norit
 peridotit
 dunit

Kalapács / Apollo 15



Fogó / Apollo 16



Gereblye / Apollo 16



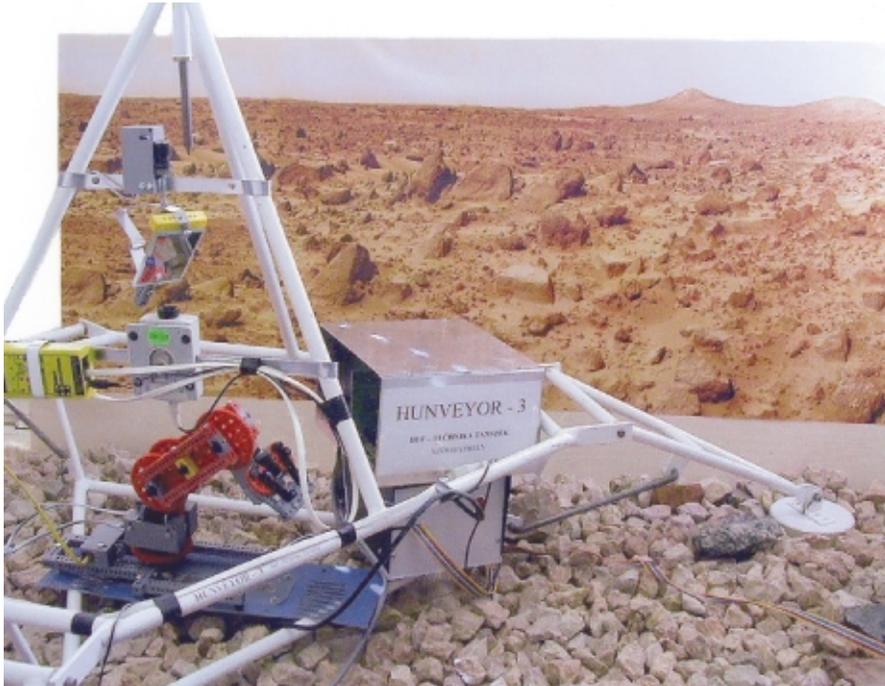
Lapátok / Apollo 17



Mintavevő zacskó / Apollo 16



BOLYGÓFELSZÍNI MIKROKÖRNYEZETEK ATLASZA



A Hunveyor gyakorló űrszonda a marsi táj fényképe előtti terepasztalon



A Hunveyor a marsi terepasztalon



VIKING 2 LANDER



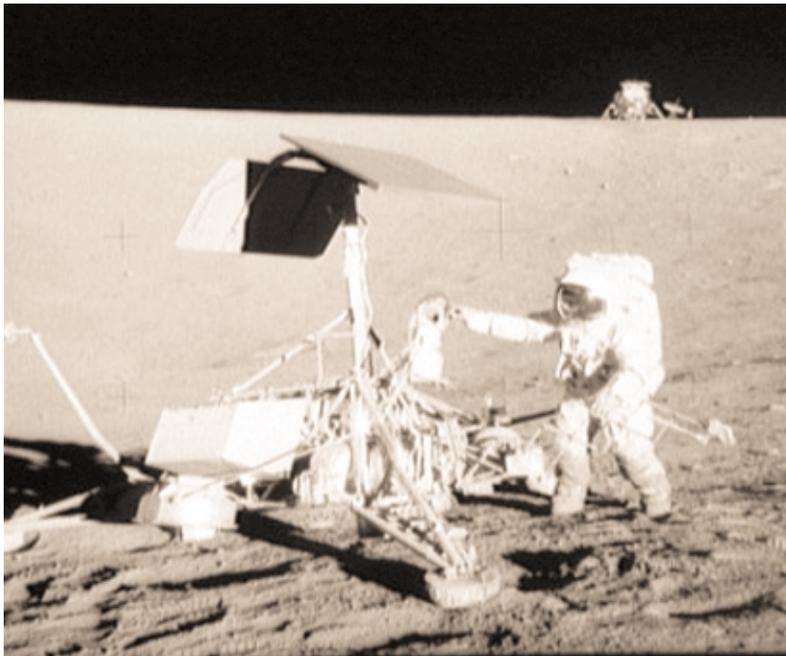
VIKING 2 LANDER

Az Utopia-síkság nyáron és télen

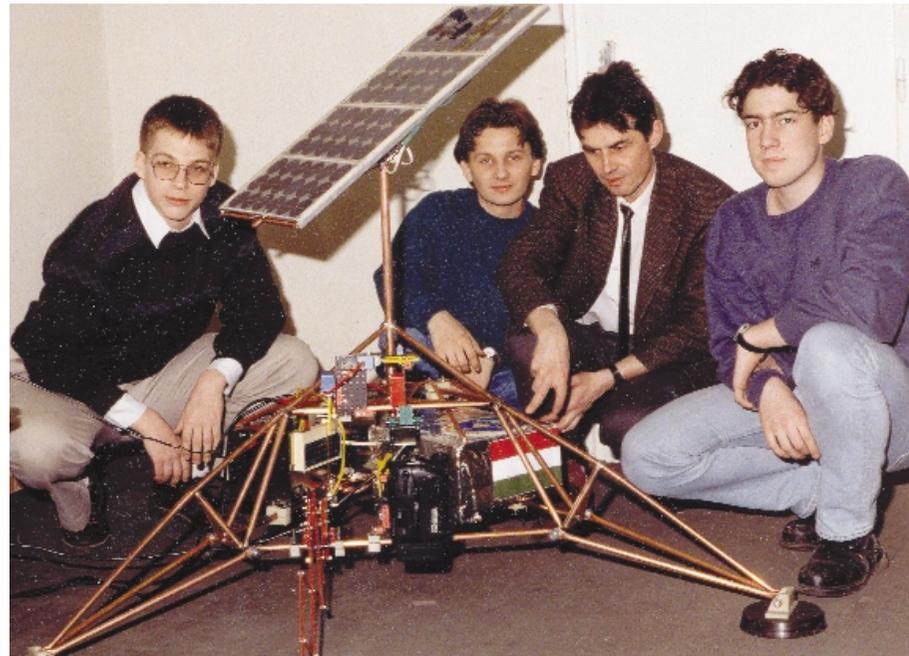


VIKING 1 LANDER

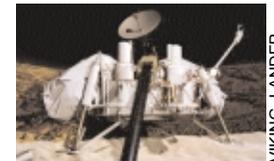
A Chryse-síkság homokformái



A Surveyor III , mellette az Apollo 12 űrhajósa, Pete Conrad, háttérben az A12.



A Hunveyor építőivel



VIKING LANDER



SOJOURNER ROVER



EÖTVÖS LORÁND
TUDOMÁNYEGYETEM
KOZMIKUS ANYAGOKAT VIZSGÁLÓ
ŰRKUTATÓ CSOPORT
[HTTP://PLANETOLOGIA.ELTE.HU](http://planetologia.elte.hu)