

Bérczi Szaniszló, Hargitai Henrik, Horváth András, Kereszturi Ákos, Mészáros István, Sik András

KIS ATLASZ A NAPRENDSZERRŐL (7):

BOLYGÓFELSZÍNI BARANGOLÁSOK

ELTE TTK Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, UNICONSTANT, Budapest–Püspökladány, 2004.



KIS ATLASZ A NAPRENDSZERRŐL (7):
BOLYGÓFELSZÍNI BARANGOLÁSOK
 Bérczi Szaniszló, Hargitai Henrik, Horváth András
 Kereszturi Ákos, Mészáros István, Sik András

Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán működő Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoportnak két alcsoportja is fontos anyagvizsgálati területének tekinti a bolygótestek felszínét. A Planetológiai Csoport egyik kiemelt kutatási és oktatási programja a planetáris testek felszínének vizsgálata. A Hunveyor Csoportnak pedig kísérleti terepasztala az égitest felszíne: a Hunveyor egyetemi gyakorló űrszonda műszeres működtetését ilyen teszt-területeken, azok modelljének kialakításával végzi.

Az összehasonlító planetológiának is fontos területe az égitestek felszínének anyagvizsgálata az égitestre simán leszállt űrszondák segítségével. Előző atlaszunk a statikus munkát, a helyben álló űrszondák által végezhető méréseket mutatta be. Ez a második égitestfelszín közelről vizsgáló atlasz a mozgó terepmunkát szeretné elemezni. Az égitestek felszínén mozgó műszaki egységek még összetettebb képet rajzolhatnak meg és alakíthatnak ki a kutatókban a felszín borító anyagokról, tájakról, geológiáról.

Az első mozgó egységek a Hold felszínén végezték munkájukat. Velük kezdjük a bolygófelszíni barangolásokat. Az Apolló expedíciók holdautói és a Lunohod robotok a legrégebben munkába állt űreszközök idegen égitesteken. A harmadik és a negyedik programcsoport is a Marsra visz el bennünket: a Pathfinder rovere és a kis atlasz írásakor is dolgozó MER roverek a legfiatalabbak közülük. Párjaik pedig a földi tesztrobotok és maga az ember felszíni terepi kutatásaival. Ahogyan a statikus robot a megérkezett, de „földbe gyökerezett lábú” kutatót testesíti meg jelképesen, úgy a mozgó rover már a terepet bejáró embert látatja velünk. S ma már a terepi szimulációk sora alkalmas arra, hogy az égitestfelszíni kutatómunkát érdekessé, vonzóvá, szinte mondhatni, hogy kalandossá tegye a fiatalok, diákok, egyetemi és főiskolai hallgatók számára. Ennek a kis atlasznak ez is célja: mozgósítani a diákok kedvét, erejét, fantáziáját egy-egy összetett feladatra, amely a természet egy darabjának megismerésére irányul.

Tartalomjegyzék

- 2 BEVEZETÉS
- 4 APOLLO-11: MARE TRANQUILLITATIS
- 5 APOLLO-12: OCEANUS PROCELLARUM
- 6 ALSEP
- 7 APOLLO-14: FRA MAURO
- 8 AUTÓVAL A HOLDON!
- 9 APOLLO-15: HADLEY - MONTES APENNINUS
- 10 APOLLO-16: DESCARTES
- 11 APOLLO-17: TAURUS - LITTROW
- 12 LUNOHOD ROBOTAUTÓK
- 14 A ROBOTAUTÓK FEJLŐDÉSE A MER-EKIG
- 15 A MARS FELDERÍTŐ JÁRMŰVEK
- 16 A MER-EK NAVIGÁCIÓS RENDSZERE
- 18 A SPIRIT ÚTJA, MÉRÉSEI, EREDMÉNYEI
- 19 AZ OPPORTUNITY ÚTJA, MÉRÉSEI, EREDMÉNYEI
- 22 VÍZBORÍTOTTA FELSZÍNEK FELDERÍTÉSE
- 24 EMBERES TEREPI MUNKA A MARSON
- 26 MARS BARANGOLÁS MAGYARORSZÁGON

(Az Apollók fejezetei Mészáros István, a Lunohodé Horváth András, a marsi és MER fejezetek Sik András, Bérczi Szaniszló és Horváth András, a Vízborította fejezet Hargitai Henrik és Kereszturi Ákos, az Emberes fejezet Kereszturi Ákos és a befejező fejezet Sik András munkája.)

Sorozat- és arculatterv: Bérczi Szaniszló

Tördelés: Hargitai Henrik Korrektúra: Botos Eszter

E munka megjelenését a Magyar Űrkutatói Iroda az ELTE TTK / MTA Geonómia Bizottság Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport 154/2004 számú témapályázata keretében támogatta.

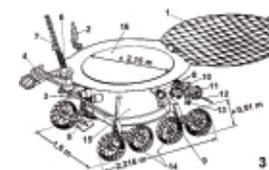
E támogatásért a MŰI-nek köszönetet mondunk.

Kiadja az ELTE TTK Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A és az UNICONSTANT, Püspökladány, Honvéd u. 3.

Bérczi Sz. Hargitai H., Horváth A.,
 Kereszturi Á., Mészáros I., Sik A.:
 Kis Atlasz a Naprendszeréről (7):
Bolygófelszíni barangolások
 ISBN 963 00 6314 XÖ
 963 86401 5 4

Járművek összefoglaló leírása

Lunohod-1



Szovjet automatikus holdjáró.
 A Luna-17-el érkezett a Holdra.
 Holdat érés: 1970. november 17.,
 Esők tengere
 Működés vége: 1971. október 4.
 Tömege: 756 kg
 Megtett út: 10,5 km
 Átlagsebesség: napi 35 m

Lunar Roving Vehicle



Az Apollo-expedíciók holdautói.
 Adataik egységesen a következők:
 Tömegük: 209 kg
 Max. teher: 490 kg.
 Méret: 310×230×114 cm.
 Összesen 4 darab készült, a negyedik már nem repült. A roverek összköltsége: 38 millió USD.
 Harrison Schmitt szerint „nélkülük az A-15, -16, -17 nagy felfedezései nem lettek volna lehetségesek.”

Apollo 15 holdautója – Rover 15
 1971. júl. 30. Hadley-Apennines
 David Scott és Jim Irwin űrhajósok által vezetett holdautó.
 Megtett út: 27,8 km 3 óra alatt.

Apollo 16 holdautója – Rover 16
 1972. április 21. Descartes kráter.
 John Young és Charles Duke által vezetett holdautó.
 Sebesség: 10-12 km/óra
 Megtett út: 26,7 km 3 és fél óra alatt.

Apollo 17 holdautója –Rover 17
 1972. december 12. Taurus-Littrow.
 Gene Cernan űrhajós és Harrison

Schmitt űrhajós-geológus által vezetett holdautó.
 Megtett út: 35,9 km 4 és fél óra alatt.

Lunohod-2

Szovjet automatikus holdjáró.
 A Luna-21-el érkezett a Holdra.
 Holdat érés: 1973. január 15., Le Monnier kráter
 Működés vége: 1973. május 8.
 Tömege: 840 kg
 Megtett út: 37 km
 Átlagsebesség: napi 308 m

Sojourner

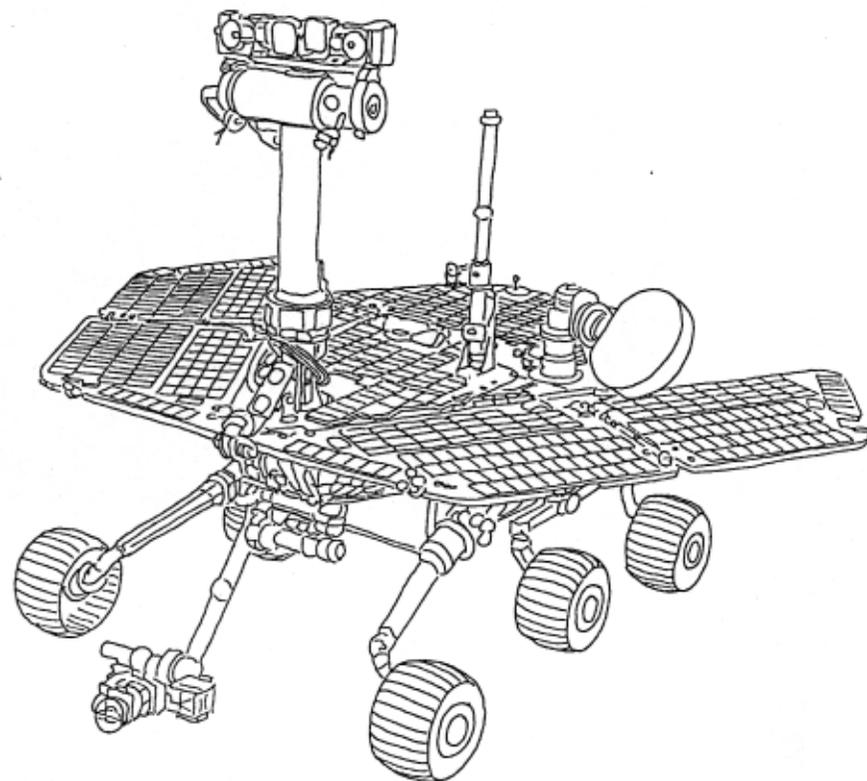
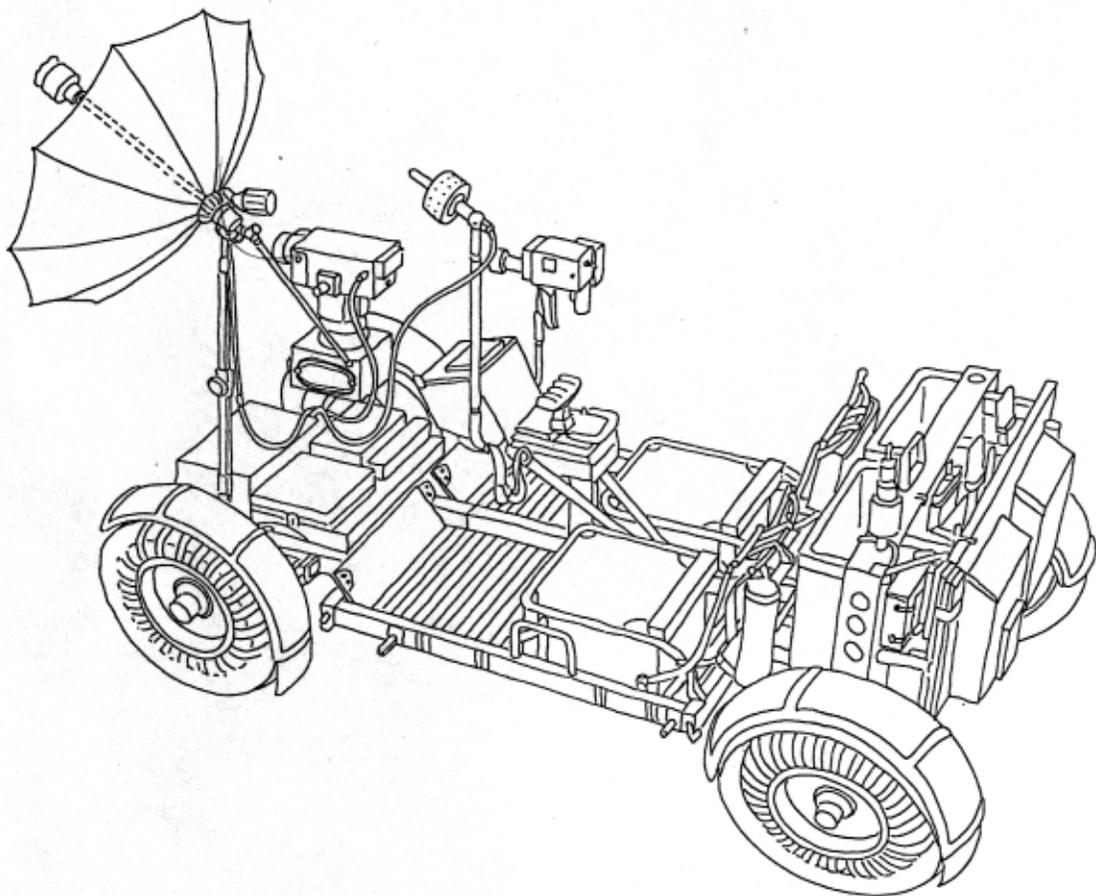


A Pathfinderrel érkezett automatikus hatkerekű mini marsjáró (*microrover*).
 Az első rover más égitesten.
 Marsra gurult 1997. július 6-án.
 Tömege: 10,5 kg.
 Mérete: 65×48×30 cm.
 Végsebessége 1 cm/s. (0,0036 km/h)
 Adóteljesítmény: 12W, 8,4 GHz
 A Marson napelemmel helyi idő szerint 10 és 14 óra között volt működőképes.
 Megtett út: kb. 100 m
 Átlagsebesség: napi 90 cm
 Költség: 25 millió USD

Mars Exploration Rover A
 Spirit (Guszev kráter) és **Mars Exploration Rover B**
 Opportunity (Meridiani Planum)



Marsot érés: 2004. január 4./25.
 Végsebesség: 5 cm/s
 Átlagsebesség: 1 cm/s
 Összköltség (leszálló egységekkel):
 835 millió USD.



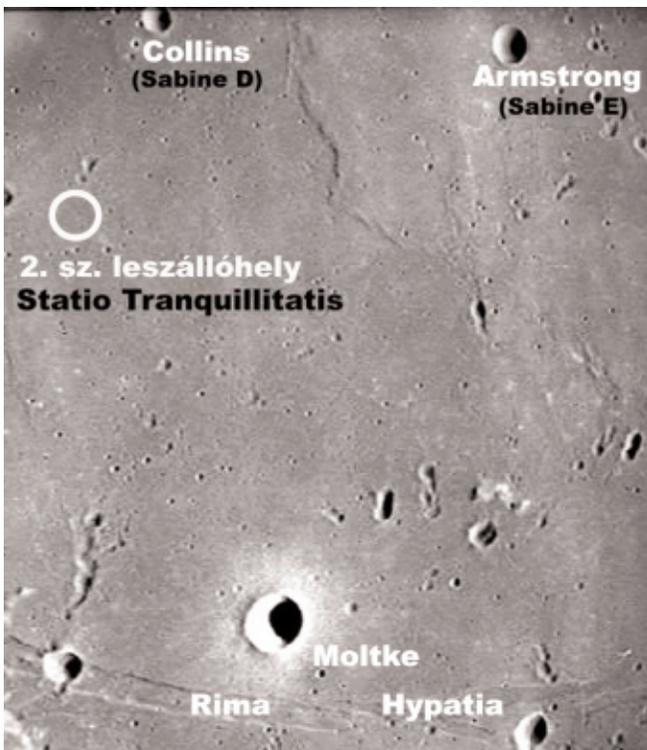
Bérczi Szaniszló, Hargitai Henrik, Horváth András, Kereszturi Ákos, Mészáros István, Sik András

KIS ATLASZ A NAPRENDSZERRŐL (7):

BOLYGÓFELSZÍNI BARANGOLÁSOK

ELTE TTK Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, UNICONSTANT, Budapest–Püspökladány, 2004.

APOLLO-11: MARE TRANQUILLITATIS



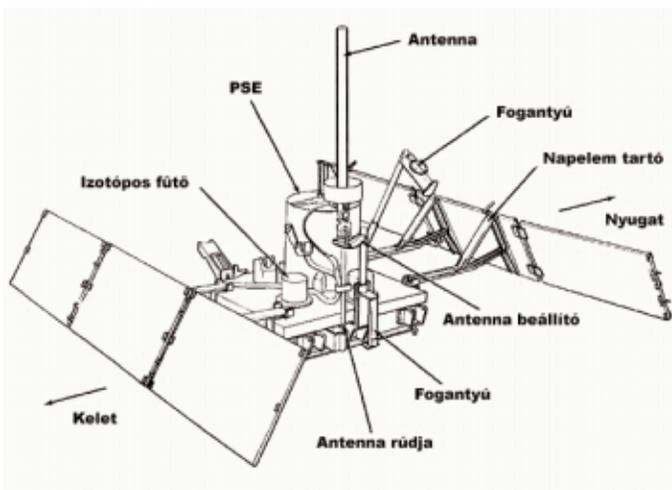
Az emberiség történetének első leszállását egy másik égitesten – a Holdon – **Neil A. Armstrong** és **Edwin E. Aldrin** hajtotta végre az **Eagle** (Sas) hívójelű holdkomp fedélzetén, 1969. július 20-án. A célpont az egyenlítő közelében kijelölt öt leszállóhely közül a 2. számú volt a **Mare Tranquillitatis** (Nyugalom tengere) biztonságos, sík terepén. Az első holdexpedíció emlékére a leszállóhely latin nevet kapott: **Statio Tranquillitatis**. Koordinátái: $0^{\circ} 41' 15''$ északi szélesség, $23^{\circ} 25' 55''$ keleti hosszúság.

EVA : Első lépések a Holdon!

A holdkomp rendszereinek ellenőrzése után, a tervezettnél korábban került sor a kiszállásra (EVA: *Extra Vehicular Activity* – űrhajón kívüli tevékenység). A létrán leereszkedve Armstrong elindította a tévékamerát. A fekete-fehér kép elég rossz minőségű volt, de az egész világ látta. 1969. július 21-én 02 óra 56 perckor (GMT – greenwichi idő szerint), a holdkomp leszálló talpáról lelépve hangzott el Armstrong parancsnok történelmi mondata: „*Kis lépés egy embernek, de óriási ugrás az emberiségnek.*”

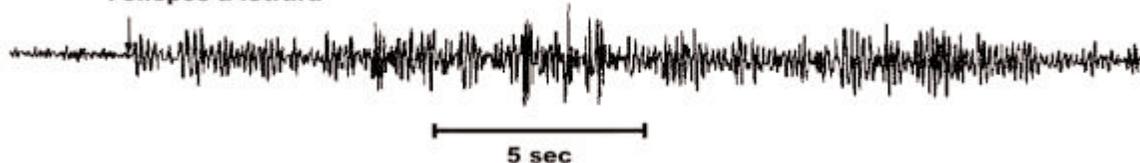
Armstrong első feladata a biztonsági kőzetminta begyűjtése volt. Az űruha zsebébe beleférő biztonsági minta hirtelen szükségessé váló visszatérés esetén is biztosított volna egy keveset a holdtalaj anyagából.

A tudományos mérőeszközök kihelyezése Aldrin feladata volt. Először a napszél-gyűjtő fóliát (SWC) állította fel, majd kicsomagolta és a holdkomp hajtóműveitől biztonságos távolságban felállította az **EASEP** (Early Apollo Scientific Experiments Package – korai Apollo tudományos kísérleti csomag) nevű műszeregyüttest. Az EASEP műszerei: **1.** Passzív szeizmométer (PSE), **2.** Pordetektor (LDD), **3.** Táv mérő lézerreflektor (LRRR). Az első Holdra leszálló expedíció elsősorban technikai jellegű kísérlet volt, ahol a maximális biztonságra törekedtek. Ezért korlátozták a telepített mérőeszközöket a fenti műszerekre (a későbbi expedíciók ALSEP állomásának felállításáig ideje kb. 4 óra volt).

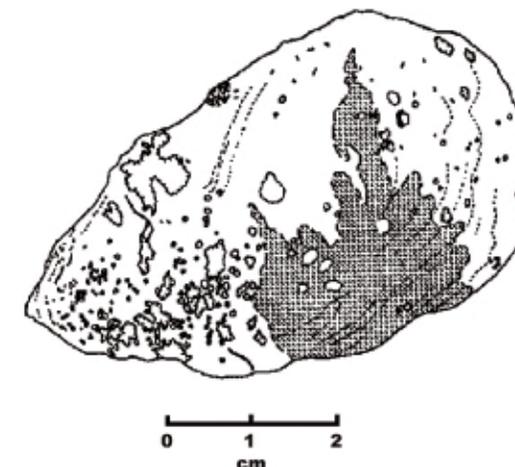


A passzív szeizmométer (PSE) kinyitott állapotban

Fellépés a létrára



PSE regisztrátum: Armstrong felmegy a holdkomp létráján



A 10023. sz. biztonsági kőzetminta felületének térképrajza

A kőzetminták gyűjtése és a fényképezés Armstrong feladata volt (ezért a parancsnok mindössze egyetlen holdfelszíni felvételen látható).

A Hold felszínén megvizsgált első nagyobb kráter a holdkomptól 60 m távolságban levő, 30 m átmérőjű **Little West-kráter** (Kis Nyugati-kráter) volt. Ide Armstrong látogatott el és panorámafelvételeket készített a kráterről és a holdkompról.

Az első holdfelszíni kutatóút 2 óra 31 percig tartott. Az űrhajósok végig a holdkomp környezetében tartózkodtak. Összesen 21 kg talajmintával tértek vissza az Eagle fedélzetére.

Csak három olyan ember van, akiről a Hold innenső oldalán még életében krátert neveztek el: a leszállóhely közelében levő három kis kráter (eddiggi neve Sabine E, D és B) új neve: **Armstrong, Collins és Aldrin**.

APOLLO-12: OCEANUS PROCELLARUM

Charles A. („Pete”) Conrad és Alan L. Bean célpontja az **Oceanus Procellarum** (Viharok Óceánja) keleti része volt, ahol két és fél évvel azelőtt, 1967. április 20-án a **Surveyor-3** holdszonda leszállt. Az **Intrepid** (Rettenthetetlen) nevű holdkompnak 370 méter távolságon belül kellett elérkeznie ahhoz, hogy az űrhajósok gyalogosan elérhessék az űrszondát!

A geológiai cél egy újabb holdtengeri (mare) terület vizsgálata volt a Mare Tranquillitatis (Apollo-11) után. További érdekesség, hogy a **Copernicus-kráter** egyik sugársávja itt halad át, tehát az űrhajósok mintát vehettek a 350 kilométerre levő kráter keletkezése során kidobódott anyagból.

A Hold felszínét 1969. november 19-én, a starttól számított 110 óra 32 perc 35 másodperc elteltével érték el. Conrad és Bean olyan pontosan szálltak le, hogy távolságuk a holdszondától mindössze 155 méter volt! A leszállóhely koordinátái: 3° 11' 51" déli szélesség, 23° 23' 7,5" nyugati hosszúság.

EVA-1: az ALSEP állomás

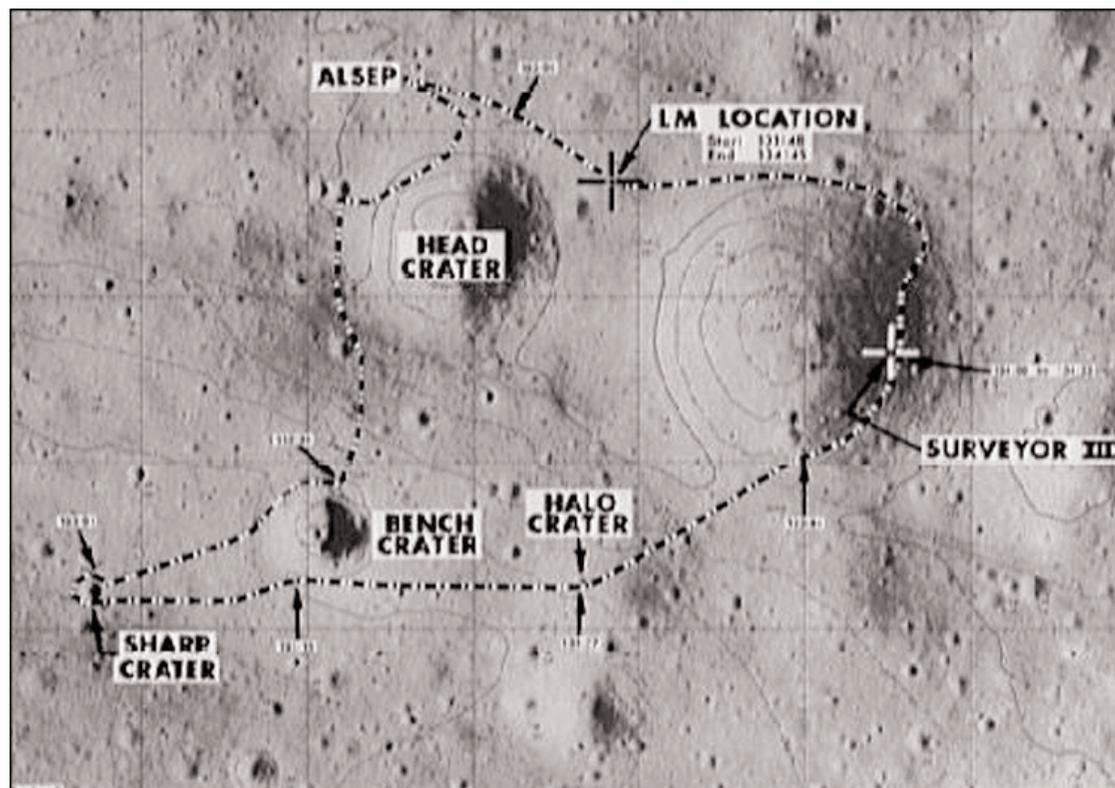
Az alacsony, mindig vidám Conrad a következő szavakkal lépett a Hold felszínére: *„Hoppá! Lehet, hogy ez kis lépés volt Neilnek, de nagy lépés nekem!”* A színes TV kamera tönkrement, mert kihelyezés közben Bean véletlenül a Nap felé fordította. Ezután hozzáláttak a tudományos mérőműszerek csomagjának felállításához.

Az **ALSEP** (Apollo Lunar Surface Experiments Package – Apollo holdfelszíni kísérletek műszer-csomagja) tudományos mérőállomást a holdkomptól 120 méterre állították fel.

Conrad és Bean megvizsgálta és lefényképezte a műszeregységek közelében lévő két kis regolit dombocskát, melyek mibenléte nagy érdeklődést keltett a geológusok körében, hiszen ilyen képződményt sem az Apollo-11 útján, sem a későbbi expedíciókon nem találtak. Úgy tűnik, hogy a dombok a közeli **Head-kráter** keletkezése során kidobódott anyagból keletkeztek.

Az EVA-1 befejezésekor az űrhajósok felkeresték az ALSEP állomástól 170 méterre levő, 450 méter átmérőjű

Middle Crescent (Középső holdsarló)-**kráter**et. Panorámafelvételeket készítettek a kráterről, kőzetmintákat gyűjtöttek, majd visszatértek a holdkomphoz.



Az EVA-2 útvonala

Az EVA-1 3 óra 56 percig tartott, 1 km-es utat tettek meg és 16,7 kg kőzetmintát gyűjtöttek.

EVA-2: a Surveyor-3

Először a **Head (Fej)-kráter**et vizsgálták. A 140 méter átmérőjű kráter peremén kívül feltűnően világos színű talajt találtak. Ez a **Copernicus-kráter** sugársávjának anyaga volt. Az utólagos elemzés szerint a 93 km átmérőjű kráter 810 millió évvel ezelőtt keletkezett.

A 60 méter átmérőjű **Bench (Pad)-kráter** belsejében két sziklapad formájában sikerült az eredeti sziklás altalaj réteget megfigyelni.

A harmadik állomás a 12 méter átmérőjű és 3 méter mély **Sharp (Éles)-kráter**nél volt, melynek pereme kiemelkedik, anyaga is világosabb és kidobási takarója átfedi az összes többi környező

kráterét – mindezek igazolják fiatal korát.

Negyedikként a világos udvarral körülvett **Halo-kráter** környékét vizsgálták. Itt dupla mélységű magmintát is vettek a talajba fúrt mintavevő csővel.

Ezután következett a misszió csúcspontja: a Surveyor-3 holdszonda meglátogatása. A szonda a 230 méter átmérőjű, öreg **Surveyor-kráter** belső lejtőjén szállt le, így az űrhajósoknak be kellett hatolniuk a – szerencsére sekély – kráter belsejébe. Bár a talaj lazább és süppedősebb volt, baj nélkül elérték a szondát. Leszerelték a Surveyor-3 televíziós kameráját és ásókarját, hogy a Földön a mérnökök megvizsgálhassák a 31 hónapos holdfelszíni expozíció hatásait. Utolsó megállóhelyük a Surveyor-kráter belső peremén ülő, kőekkel telezsúfolt, kicsiny **Block-kráter** volt.

Az EVA-2 időtartama 3 óra 49 perc volt, 1,3 km-es útjuk során 17,6 kg kőzetmintát gyűjtöttek.

ALSEP

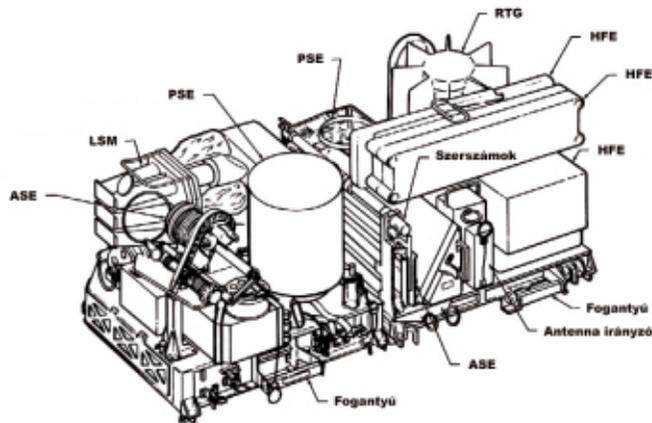
Az **ALSEP** (Apollo Lunar Surface Experiments Package – Apollo holdfelszíni kísérletek műszercsomagja) a holdkomp leszálló fokozatába összecsomagolt állapotban beszerelt, hordozható, 126 kg tömegű műszeregységes volt. Először az Apollo-12 útja során alkalmazták.

A műszerekből két csomagot alakítottak ki, és így az antenna rúdjaival, mintegy súlyzószzerűen lehetett őket a holdkomp hajtóműveitől biztonságos távolságra szállítani.

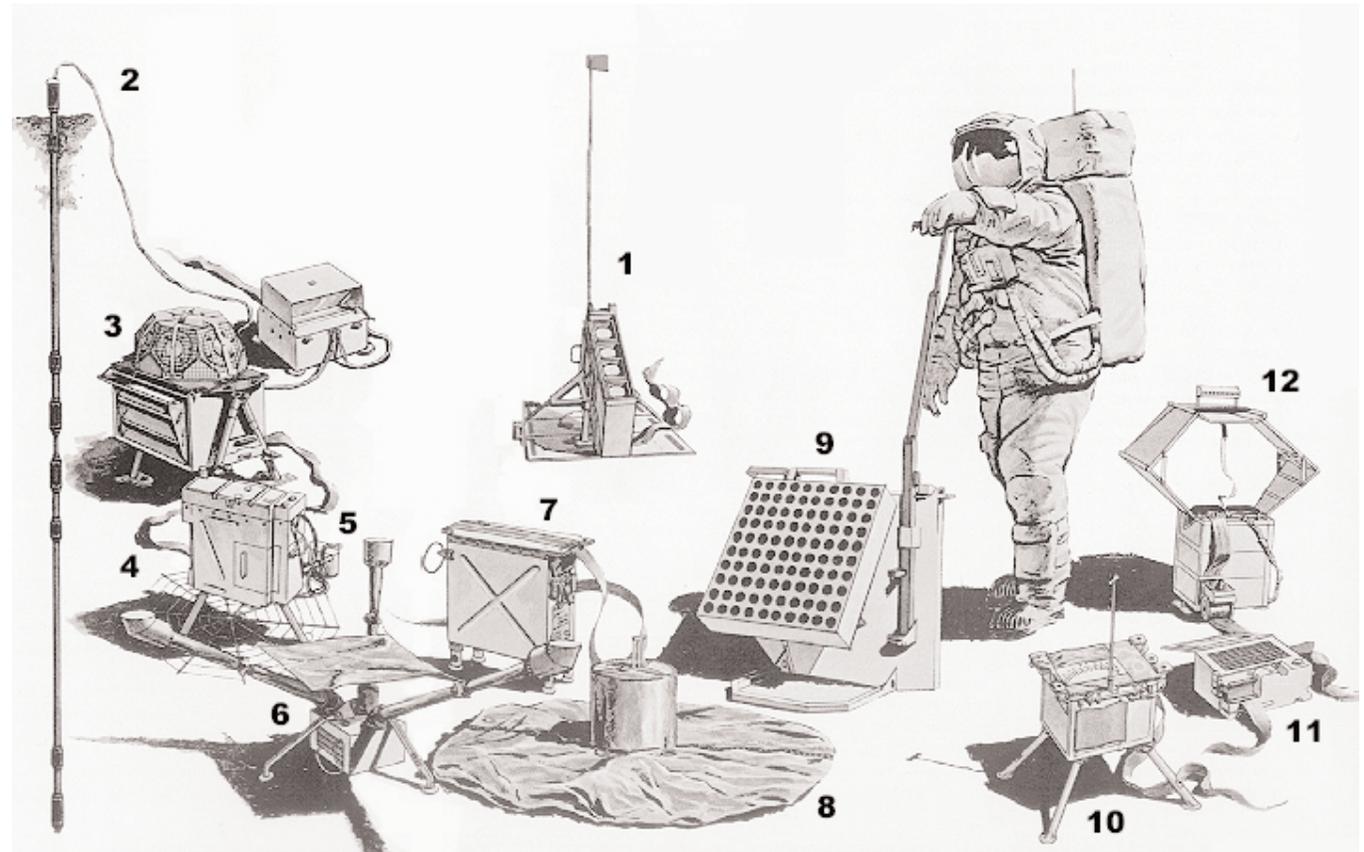
A műszercsomag kiszerezését és a telepítési helyre szállítását mindig a holdkomp pilótája (LMP) végezte. A rendszer üzembe helyezése bonyolult feladat volt, ebben tehát a másik űrhajós, a parancsnok (CDR) is segített.

A központi állomás tartalmazta az elektronikai berendezéseket, a telemetriai rendszert (adót és antennát), és ide futottak be az egyes műszerek kábele is. A két űrhajós ezután sugárirányban helyezte el a mérőberendezéseket. A talajon tekergő kábelek sok gondot okoztak. Az Apollo-16 műszereinek telepítése közben John Young parancsnok el is szakította a hőáramlásmérő (HFE) kábelét, mely így használhatatlanná vált.

Az állomás működtetéséhez szükséges 75 W energiát egy 18 kg tömegű, Plutónium-239 töltetű radioizotópos termo-elektromos generátor, a SNAP-27 szolgáltatta.



Az ALSEP műszerei összecsomagolt állapotban



A műszerek összeállítása repülésenként változott. Összesen öt ALSEP állomást telepítettek a Holdra (Apollo-12, -14, -15, -16, -17).

A műszerek a következők voltak: **1.** Aktív szeizmométer (ASE) (Apollo: 14, 16). **2.** Hőáramlásmérő (HFE) (15, 16, 17). **3.** Napszél-spektrométer (SWS) (12, 15). **4.** Szupratermális iondetektor (SIDE) (12, 14, 15). **5.** Hidegkatódos ionizációmérő (CCIG) (12, 14, 15). **6.** Háromtengelyű magnetométer (LSM) (12, 15, 16). **7.** Töltőtrészecske-detektor (CPLLE) (14). **8.** Passzív szeizmométer (PSE) (11, 12, 14, 15, 16). **9.** Távmérő lézerreflektor (LRRR) (11, 14, 15). **10.** Mikrometeorit-detektor (LEAM) (17). **11.** Holdlégkör-tömegspektrométer (LACE) (17). **12.** Holdfelszíni graviméter (LSG) (17). **13.** Pordetektor (LDD) (11, 12, 14, 15).

(A mérőeszközök között az Apollo-11 három műszerét is feltüntettük.)

Az ALSEP kutatóállomás telepítése többnyire az első EVA során történt.

Az ALSEP állomások egyik érdekes feladata volt az S-IVB rakétafokozatok és a feleslegessé vált holdkomp felszálló fokozatok becsapódásának észlelése. Ezekben az esetekben ugyanis a becsapódó testek tömege, iránya és sebessége ismert volt.

A mérőberendezések többsége évekig kifogástalanul működött, míg végül 1977. szeptember 30-án kikapcsolták őket.

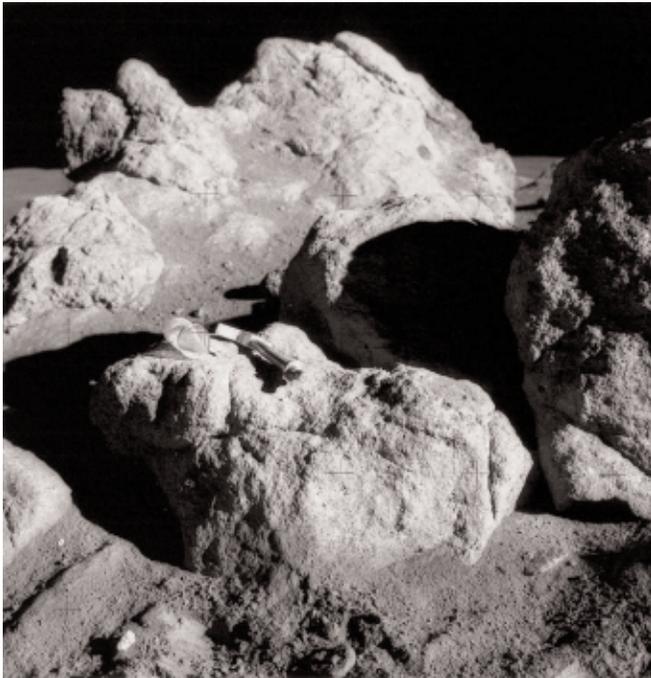
APOLLO-14: FRA MAURO

Az 1457-ben világtérképet készítő velencei geográfusról elnevezett **Fra Mauro Formáció** a Mare Imbrium (Esők tengere) keletkezésekor kidobódott anyagból jött létre. A dombos, felföldi vidék az eddigieknél nehezebb leszállóhely volt, de a két mare expedíciónál (Apollo-11, -12) idősebb kőzetmintákat ígért.

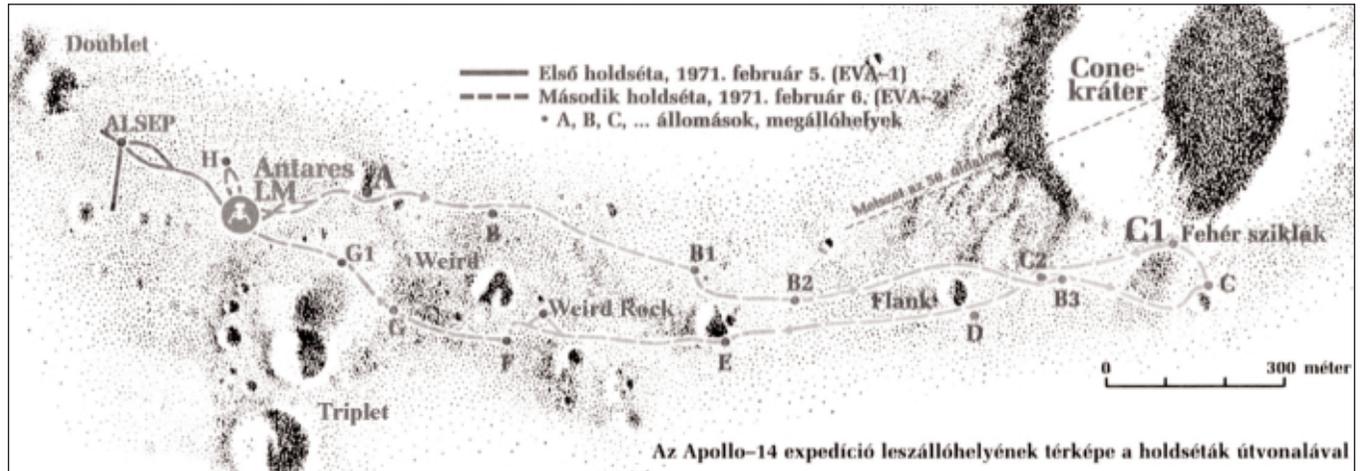
Alan B. Shepard és **Edgar D. Mitchell** 1971. február 5-én sikeresen és pontosan leszállt fő célpontjuk, a 337 m átmérőjű és 76 m mély **Cone** (Kúp)-kráter közelében. Az **Antares** hívójelű holdkomp leszállási koordinátái: 3° 40' 24" déli szélesség és 17° 27' 55" nyugati hosszúság.

EVA-1: az ALSEP állomás

Shepard a következő szavakkal lépett a Hold felszínére: „**Hosszú út volt, de itt vagyunk**”. Kicsomagolták a holdkomp egyik leszálló lábára szerelt kétkerekű kézikocsit, a **MET**-et (Modular Equipment Transporter – moduláris eszköszállító), amelyet műszerek és szerszámok, valamint a kőzetminták szállítására használtak.



Geológus kalapács a Nyereg Szikla előtt



Ezután a **Doublet-kettőskráter** mellett felállították az Apollo-program második ALSEP állomását.

Az első EVA 4 óra 47 percg tartott, 1 km-es utat tettek meg és 20,5 kg kőzetmintát gyűjtöttek.

EVA-2: a Cone-kráter

A második EVA igazi geológiai kutatóút volt. Fő célja a Cone-kráter peremének elérése volt, mivel ez a fiatal kráter keletkezésekor felszínre hozta a Fra Mauro Formáció ősi anyagát. A kráter létrehozó becsapódás a holdfelszín kialakulásának „legfiatalabb” (1 milliárd éven belüli), ún. kopernikuszi korának vége felé történt (hold-geológiai jelölése Cc4). A leszállóhely gondos kiválasztása lehetővé tette, hogy – a Mare Imbrium középpontjától 1370 km-re – az asztronauták mintát vehessenek a kidobódott anyagból!

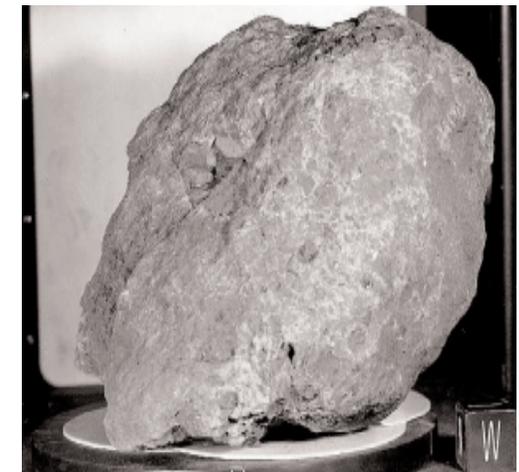
Az út a kráter pereméig és vissza mintegy 3 km-t tett ki. A tájékozódás azonban váratlanul nehéznek bizonyult a dombos terepen, mivel biztos viszonyítási pontot csak a holdkomp és az ALSEP állomás fénylő műszerei jelentettek.

A MET-et felváltva húzó két űrhajósnak a kráterperem közelében 10°-os lejtővel kellett megküzdenie. A csalóka terepen a kráter déli peremét nem sikerült elérniük, de fő geológiai céljukat igen: mintákat vettek a peremet övező fehér sziklákból. Houstonban észlelték a rendkívüli erőfeszítés jeleit: hallható volt az asztronauták ziháló légzése, Shepard szívverése percenként 150, Mitchellé 128 volt. Az irányítóközpont javaslatára így visszafordultak, bár lelkiileg nagyon megviselte őket, hogy nem pillanthatták meg a kráter belsejét. Az utólagos elemzés kiderítette,

hogy egyrészt a kráter északi pereme alacsonyabb a délinél, ez is nehezítő körülmény volt, másrészt, hogy a C1 jelű állomáson mindössze 30 méterre voltak a peremtől!

Útjuk során a legfontosabb feladat a kőzetminták gyűjtése és a fényképezés volt. Több állomáson panoráma felvételeket is készítettek. Az A és a C állomáson méréseket végeztek a hordozható magnetométerrel (LPM).

A második EVA 4 óra 34 percg tartott, 3 km-es útjuk során 22,3 kg kőzetmintát gyűjtöttek.



A 14321 sz. minta, a „Big Bertha”
(9 kg tömegű breccsa a C1 állomásról)

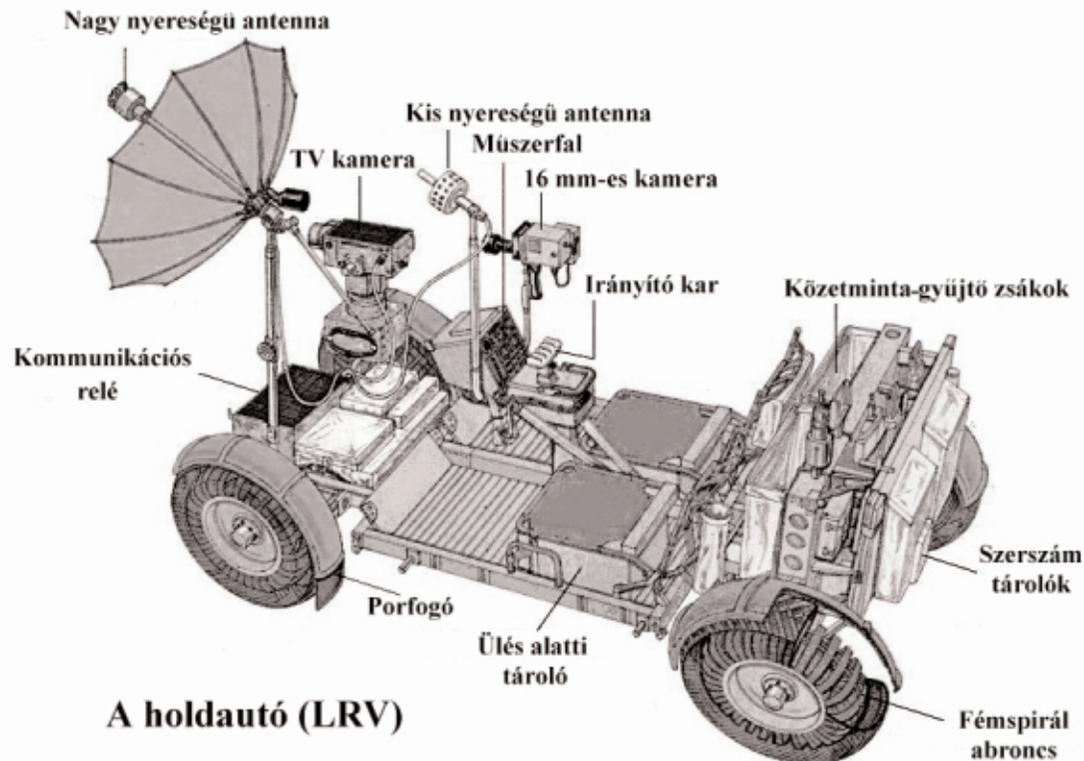
AUTÓVAL A HOLDON!

Az Apollo-program repüléseinek lépcsőzetes tervét **Owen Maynard** dolgozta ki. Az egyre nehezedő feladatok egymás utáni betűjelet kaptak. A „J” típusú űrrepülések jelentették az Apollo program csúcspontját és egyben befejező szakaszát (Apollo-15, -16, -17).

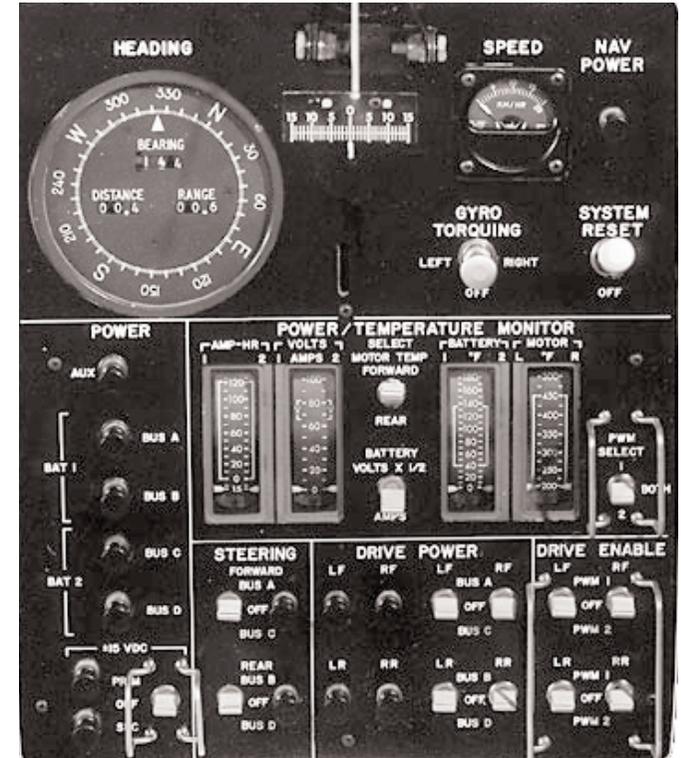
Wernher von Braun tervezőcsoportjának a Saturn-V óriás hordozórakéta módosításaival 2300 kg-mal sikerült növelni a Hold irányába indítható hasznos terhet, mely így elérte a 48 tonnát. A holdkomp hajtóműveinek tolóerejét is megnövelték, nagyobb hajtóanyag-tartályokat szereltek be, így az addig 237 kg tömegű hasznos terhet 574 kg-ra növték. A holdkomp több oxigént, vizet és élelmet szállított. A visszahozható kőzetminták tömege is 40 kg-ról 110 kg-ra nőtt.

A holdautó

A holdkomp legfontosabb új eszköze a telepekről üzemelő, elektromos meghajtású, négykerekű, nyitott, 209 kg tömegű **holdautó** (Lunar Roving Vehicle, **LRV**) volt. Az áramellátást két 36 voltos ezüst-cink elem biztosította. Az autót összehajtott állapotban a holdkomp leszálló fokozatára szerelve, a kiszálló létra mellett helyezték el. A kerekek abroncsa titán fémspirálból készített sűrű háló volt. Az autó fordulási sugara 3 m volt, haladási sebessége 10-12 km/óra. A holdautót botkormányos vezérlőkarral lehetett irányítani, elvileg mindkét ülésből, de a gyakorlatban mindig a baloldali ülésben helyet foglaló parancsnok vezetett. A navigációs rendszer segítségével biztonsággal megállapítható volt a holdautó holdkomptól való iránya és távolsága.



A holdautó (LRV)



A holdautó műszerfala

Ez egyrészt nagymértékben segítette a kitűzött célpontok elérését, másrészt megkönnyítette a visszajutást még akkor is, ha a holdkomp az adott helyről már nem is volt látható. A megállóhelyeken az űrhajósok az autó parabolaantennáját a Földre irányították, a televíziós kamera pedig színesben közvetítette tevékenységüket. Érdekesség, hogy a tévékamerát **Ed Fendell** a houstoni űrközpontból irányította!

A „Backroom”-ban, vagyis az irányítóterem hátsó szobájában helyet foglaló ügyeletes tudóscsoport tagjai értékelték a látottakat, és javaslataikkal befolyásolhatták a holdfelszíni munka menetét. A holdautó lehetővé tette azt is, hogy az űrhajósok a megállóhelyek közötti útszakaszokon valamelyest pihenjenek. Fontos alapszabály volt, hogy az űrhajósok csak annyira távolodjanak el a holdkomptól, hogy a holdautó meghibásodása esetén gyalogosan is visszatérhessenek oxigénpalackjaik kiürülése előtt.

APOLLO-15: HADLEY– MONTES APENNINUS

A küldetés hármas célja az Imbrium-medence talajának, ősi peremhegységének és a viszonylag fiatal Hadley-ároknek geológiai vizsgálata volt.

1971. július 30-án, 22 óra 16 perckor (GMT) **David R. Scott** és **James. B. Irwin** a holdkompdal csodálatos szépségű tájra szállt le a Mare Imbrium keleti öblében, a **Palus Putredinis** (Rothadás mocsara) területén. A leszállóhely koordinátái: 26° 06' 03" északi szélesség, 03° 39' 10" keleti hosszúság. A leszállás bravúros volt, mivel északon dombok, keleten a 4500 m magas Mons Hadley, délen a 4000 m magas Mons Hadley Delta, nyugaton pedig a Rima Hadley, az 1500 m széles és 300 m mély árok határolta azt a kis síkságot, ahová a **Falcon** (Sólyom) nevű holdkomp leérkezett.

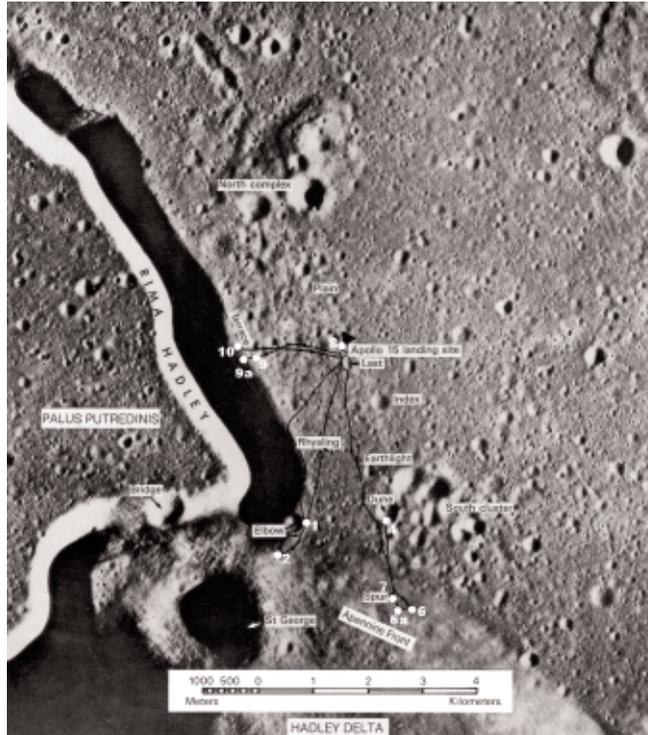
EVA-1: Az első autót

A Hold felszínére lépve Scott parancsnok a következőket mondta: *„Ahogy itt állok a Hadley ismeretlen csodáiban, átérzem, hogy természetünknek van egy alapvető igazsága. Az embernek lételeme a felfedezés. És ez (az expedíció) a felfedezések csúcspontja.”* A két űrhajós 45 perc alatt kicsomagolta a holdautót, majd további egy óra alatt felkészítette az első útra. Az utazás eléggé rázós volt, de hamarosan elérték a Hadley-árkot, és annak partján dél felé haladtak.

Az első geológiai állomás az **Elbow** (Könyök)-kráter volt, ahol radiális mintavételezést végeztek, azaz a krátertől egyre távolodva vettek kőzetmintákat és panorámafelveleteket készítettek. Ezután felfelé haladva elérték a Hadley Delta lábánál ülő, kb. 2 km átmérőjű **St. George-kráter** lejtőjét, ahonnan a holdautó tévékamerája segítségével a földi nézők is megcsodálhatták az észak felé kanyargó Hadley-árkot. A hegylábán gyűjtött minták **breccsának** (összetett, fragmentális kőzetnek) bizonyultak.

A holdkomphoz visszatérve, attól 110 m-re felállították az Apollo program harmadik ALSEP állomását. Az ALSEP helye volt a 8-as állomás. Ide a másik két EVA során is visszatértek, mivel tervezési hiba miatt akadozott az a fűrészerkezet, amellyel a hőáramlás-méréshez kellett lyukakat fúrniuk.

Az első EVA 6 óra 32 percig tartott, 10,3 km-es utat tettek meg és 14,5 kg kőzetmintát gyűjtöttek.



EVA-2: A Teremtés Köve

A második kutatóút délre vezetett, a Hadley Delta lejtőjére. A menetrendet megváltoztatták, így a következő a 6. állomás volt, ahol az asztronauták egy 12 m-es kis kráter környékén dolgoztak.

A 6A megállóhely különösen veszélyes volt, mert a lejtő 15 fokkal, a talaj pedig igen laza volt. A 3 m hosszú sziklatömb, amely mellett megálltak, zöld színű volt – és ez megérte a veszélyt: Irwin kézzel tartotta a holdautót, míg Scott mintát vett a kőtömbből. Az utólagos elemzés szerint ez a szikla is breccsa, a zöld színt a nagy Fe és Mg tartalmú üveg-komponens adja.

A Montes Apenninus az Imbrium-medence keleti peremhegysége. Ennek két masszívuma a Mons Hadley és Hadley Delta, így remélhető volt, hogy az ősi holdkéreg kristályos, plagioklászban gazdag kőzetét: **anortozitot** találnak. A 40 m átmérőjű fiatal **Spur** (Sarkantyú)-kráterhez érkeve (7. állomás) egy breccsa tetején ülő kristályos, világos színű, ökölnyi kődarabot vettek észre. *„Megtaláltuk, amiért jöttünk”* – jelentette Scott Houstonnak. Ezt a

15415. számú, 4,09 milliárd éves kőzetmintát nevezték el **Genesis Rock**-nak, azaz Teremtés Kővének.

A visszaúton még megálltak a Déli Krátercsoport **Dune** (Dűne)-kráterénél (4. állomás), ahol mintákat vettek a másodlagos becsapódásos eredetű területről.

Az EVA-2 időtartama 7 óra 12 perc, a megtett út 12,5 km volt, 34,9 kg kőzetmintát gyűjtöttek.

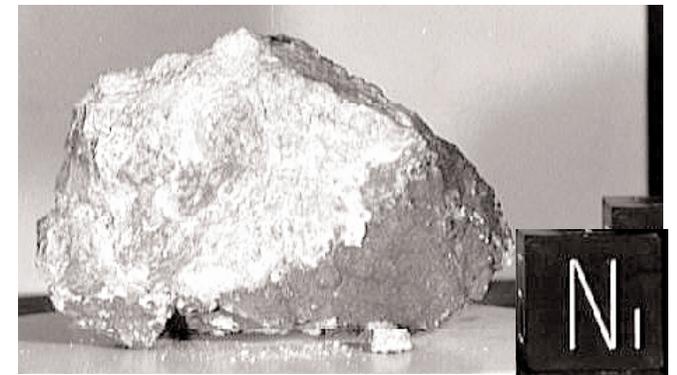
EVA-3: Rima Hadley

Az utolsó kutatóút ismét az ALSEP állomásnál kezdődött: óriási erőfeszítéssel sikerült kiemelniük a mélyfúrásos talajmintavevő csövet.

A holdautóval nyugat felé haladva, a **Scarp** (Lejtő)-kráter közelében volt a 9. állomás, egy 15 m-es fiatal kráter, ahonnan **regolit** (holdpor) eredetű breccsát gyűjtöttek. Ezután érték el a Hadley Árok partját (9A állomás). Ezen a csodálatos szépségű helyen Scott és Irwin 103 kőzetdarabot gyűjtött (ezek közül 97 **mare-bazalt** volt és csak 6 breccsa). Nagyszámú felvételt készítettek teleobjektívvel, ezeken jól láthatóak az egymást követő lávafolyások rétegei. Utolsó, 10. megállóhelyük 200 m-rel északabbra volt, itt már csak fényképeztek, hogy a 9A és 10. állomás felvételeiből térhatású fotómozaikokat lehessen készíteni.

A holdkomphoz visszatérve Scott megismételte **Simon Stevin** és **Galileo Galilei** kísérletét: a vákuumban leejtett geológuskalapács és sólyomtoll egyszerre ért talajt.

Az EVA-3 időtartama 4 óra 49 perc volt, a megtett út 5,1 km, 27,3 kg kőzetmintát gyűjtöttek.



A 15415. sz. minta: a Genesis Rock

APOLLO-16: DESCARTES

Az Apollo-16 felföldi leszállóhelye alkalmas volt mind a **Descartes Formáció**, mind a **Cayley Formáció** vizsgálatára, melyek együttesen a Hold innenső oldalának 11 %-át teszik ki. Az előzetes geológiai elemzések felvetették a vulkanikus eredet lehetőségét is. Az **Orion** holdkomp fedélzetén **John W. Young** és **Charles M. Duke** 1972. április 21-én, 2 óra 23 perckor (GMT) szállt le két friss becsapódásos kráter, a **North Ray** és a **South Ray** (Északi és Déli sugaras-kráter) között, a 48 km átmérőjű **Descartes-krátertől** északra. A leszállóhely koordinátái: 08° 59' 29" déli szélesség, 15° 30' 52" keleti hosszúság.

EVA-1: „Grand Prix” a Holdon!

„Itt vagy hát, titokzatos és ismeretlen Descartes-felföld. Az Apollo-16 meg fogja változtatni a képedet.” – mondta Young parancsnok a felszínre lépve.

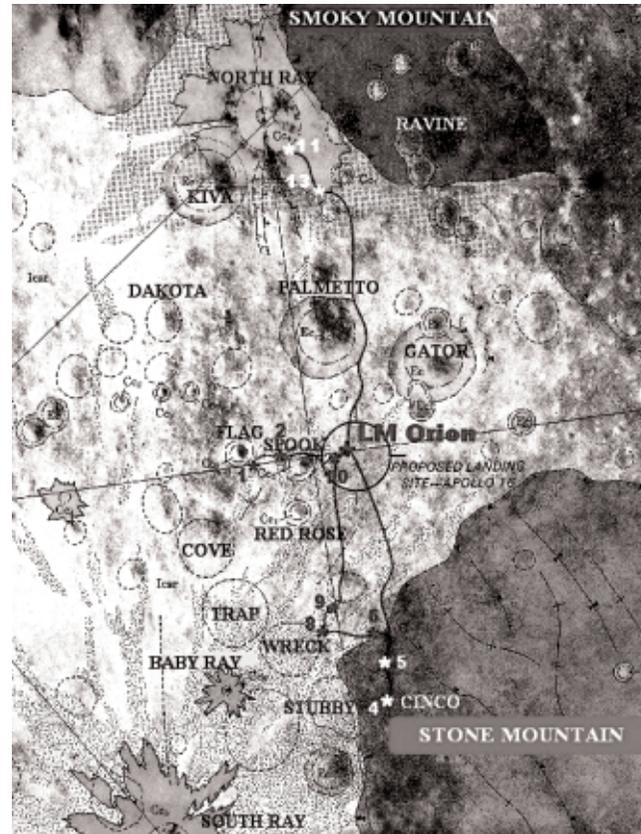
A holdautó kicsomagolása után a holdkomptól 95 méterre, délnyugatra felállították a negyedik ALSEP állomást (ez lett a 10. számú állomás).

Az Orion árnyékában felállították az első csillagászati műszert: egy 75 mm-es Schmidt rendszerű ultraibolya teleszkópot, amellyel a Földet körülvevő hidrogént és a galaxisokat vizsgálták.

Az első geológiai kutatóút 1,4 km-re nyugatra vezetett, a 300 m átmérőjű **Flag** (Zászló)-kráterhez, melynek peremén, a 30 m-es **Plum** (Mazsola)-kráter mellett volt az 1. állomás. A földi tudóscsoport javaslatára itt gyűjtötték a 61016. számú mintát, az Apollo program legnagyobb, 11,7 kg tömegű kőzetét, mely vezetők geológusuk, **Bill Muehlberger** tiszteletére **Big Muley** nevet kapta.



Az Apollo-16 leszállóhelyének geológiai térképe



A visszaúton, a holdkomptól 550 m-re volt a 2. geológiai állomás a **Spook** (Kísértet)- és a **Buster-kráterek** között. Itt használták először a hordozható magnetométert (LPM).

Az ALSEP-hez visszatérve került sor a holdautó maximális teljesítményének kipróbálására, ezt nevezték tréfásan „**Grand Prix**”-nek. Az elért legnagyobb sebesség 17 km/óra volt. Ezután a 2,6 m hosszú talajmintavevő csővel mélyfúrásos mintát vettek. Az első EVA 7 óra 11 percig tartott, 4,2 km-es utat tettek meg és 29,9 kg kőzetmintát gyűjtöttek.

EVA-2: Stone Mountain

A második kutatóút délre vezetett. A cél a **Descartes Formáció** részét képező, 540 m magas **Stone Mountain** (Kőhegy) volt. A

hegyoldalon lévő krátercsoport, a **Cinco** (mely, mint neve is mutatja öt kráterből állt) mellett volt a 4. geológiai állomás. Megállóhelyük a legmagasabb pont volt, amit az Apollo-program során elértek, mivel az átlagos holdrádiuszhoz viszonyítva 7975 m magasan, a környező fennsík fölött 175 m magasan volt. Itt használták először az adatrögzítő penetrométert (SRP), amellyel a talaj szilárdságát vizsgálták. Az 500 m-rel lejjebb fekvő 5. állomáson újabb méréseket végeztek a portábilis magnetométerrel (LPM). Vulkanikus kőzeteket sem a 4., sem az 5., sem a hegy lábánál lévő 6. állomáson nem találtak. A kőzetminták döntő többsége mállékony **breccsa** volt, ezek a korábbi becsapódások nyomát őrizték. **Anortozitot** is találtak. A 7. állomást időnyerés céljából törölték. A 8. állomás a **Wreck** (Roncs)-kráter peremén volt. Itt haladt át a 680 m átmérőjű, 143 m mély **South Ray-kráter** sugársávjá, így a kőzetmintákból meg lehetett állapítani, hogy a kráter 2,5 millió éves. A **Cayley-fennsíkra** visszatérve, a 9. állomáson egy felfordított nagyobb kőtömb alól vettek talajmintát. A 10. megállóhely az ALSEP közelében volt, itt ismét méréseket végeztek a penetrométerrel.

Az EVA-2 időtartama 7 óra 23 perc volt, a holdautóval 11,1 km-t tettek meg, és 29 kg kőzetmintát gyűjtöttek.

EVA-3: A North Ray-kráter

A harmadik kutatóút fő célpontja az űrhajósok által a Holdon meglátogatott legnagyobb kráter, az 1100 m átmérőjű, 230 m mély **North Ray-kráter** volt, a leszállóhelytől 4,9 km-re északra, a **Smoky Mountain** (Füstös Hegy) lábánál. A kráter peremén lévő nagy fehér sziklatömbök közelében volt a 11. állomás. A kráter belsejéről polarizációs filterrel és teleobjektívvel több panoráma felvételt készítettek.

Megállóhelyüktől 120 m-re volt az a hatalmas sötét sziklatömb, amely háznyi méretéről kapta a nevét (**House Rock** – hossza 20 m, magassága 12 m). Mintavétel és fotózás után visszatértek a holdautóhoz. A kráter lankáján leereszkedve elérték a 13. állomást, egy másik nagy sötét sziklatömböt, melynek kiálló pereme alá sosem süttött be a nap – innen a neve is – **Shadow Rock** (Árnyék Szikla).

Mintát vettek az árnyékos zugolyból. Az LPM-mel Young itt is megmérte a mágneses térerőt. Utolsó megállóhelyük az ALSEP állomásnál volt. Beszálláskor magukhoz vették az UV teleszkóp filmkazettáját.

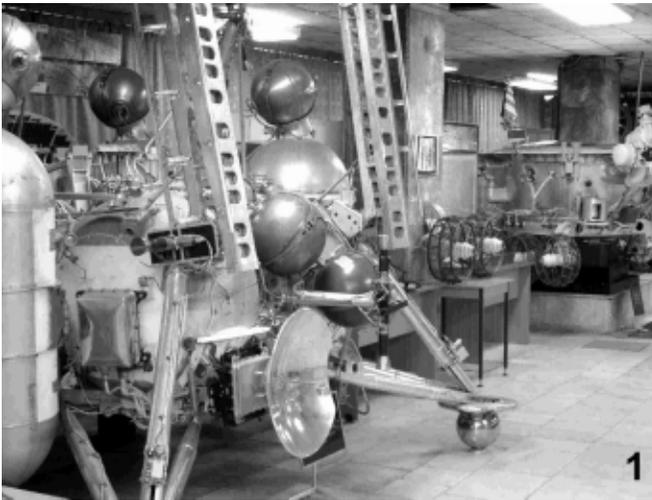
Az EVA-3 időtartama 5 óra 40 perc volt, a megtett út 11,4 km, a gyűjtött kőzetmennyiség 35,4 kg.

LUNOHOD ROBOTAUTÓK

Lunohod holdrobot felépítése

A szovjet holdszondák harmadik nemzedéke, melyeket a közepes teljesítményű Proton hordozórakétával indítottak Bajkonur űrrepülőtérrel. Három típusuk feladata: automatikus holdi talajmintavétel Földre-szállítással, önjáró kutatólaboratórium Holdra juttatása, valamint holdműholdak pályára állítása.

A 4 t-s Luna-robotok 1,8 t-s egysége jutott a Holdra, amely egy szabványosított szállítóegységből, egy talajmintavevő és szállítórakétából, illetve önjáró kutatóautóból állt. A moszkvai Babakin űrközpontban készített Luna holdrobotokat 1969–1976 között indították égi kísérőkhöz.



Lunohod robotautók

A nagytömegű szovjet holdrobotok egyik, elektromotorokkal hajtott, kerekeken gördülő, távirányítású, Lunohod elnevezésű típusa. Az első holdautó volt, amely a szomszédos égitestre jutott, és hónapokon keresztül működött a szélsőséges körülmények között.

A Lunohodok egy nyolckerekű, mechanikus és torziós felfüggesztésű alvázból, valamint egy hermetikusan zárt laboratóriumból álltak. Utóbbiban helyezték el az elektronikus parancsfeldolgozó, irányító és adatgyűjtő egységeket, illetve a hőszabályozó rendszert. A laboratórium külső részéhez az energiát biztosító, lezárható napelemtábla, két antenna, a fűtéshez egy radioaktív hőgenerátor, lézertűkőr, talajanalizátor volt csatlakoztatva.

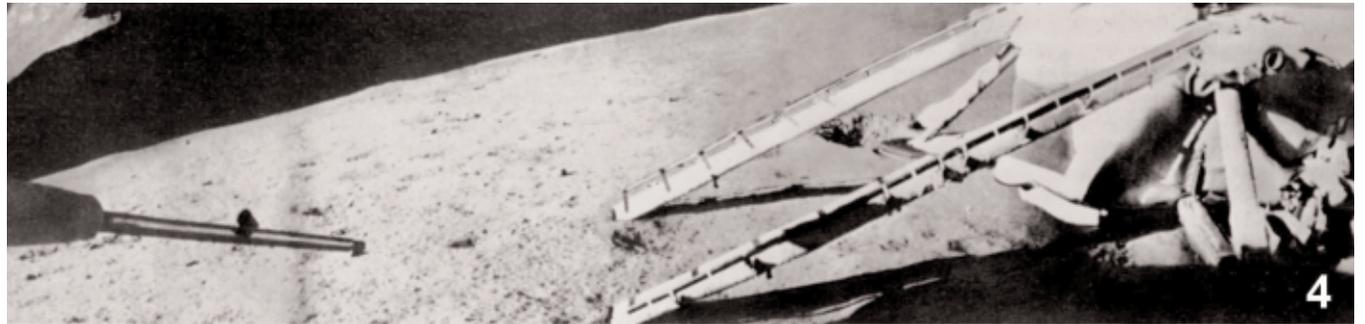
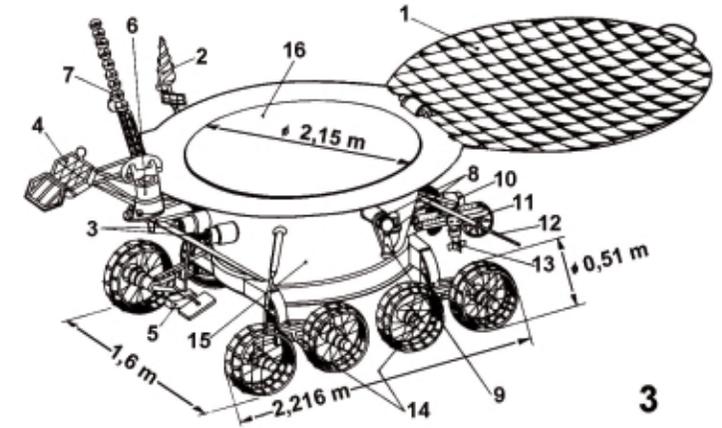
1. kép A Lunohodok egységesített szállítóegysége

2. kép A Lunohodok küllős kerekei

3. kép A Lunohod-1 főbb berendezései: 1-napelemboríték; 2-kis irányított antenna; 3-tv-kamerák; 4-francia lézertűkőr; 5-Rifma röntgenspektrográfia talajösszetétel vizsgálatára; 6-a spirálantenna hajtómotorjai; 7-erősen irányított spirálantenna; 8-panorámakamerák; 9-függőleges kitűző; 10-radioaktív hőgenerátor; 11-távolságmérő kerék; 12-rúdantennák; 13-penetrométer a talaj fizikai-mechanikai tanulmányozására; 14-önjáró alváz; 15-hermetikus műszeres egység.

4., 5. kép A Lunohod-1 panorámafelvételei:

felül, a kép jobbszélén a leszállító egység egy része és a nem használt legördülő sínek láthatók; alul a talajon több kódarab és a poros felszínen a Lunohod-1 kerekeinek egymást keresztező nyomai figyelhetők meg a függőleges kitűző és a hermetikus műszeres egység oldala között.

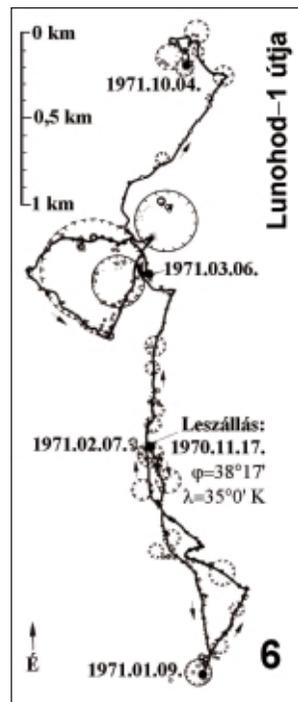


A Lunohod-1 útja

A 756 kg tömegű szovjet holdautót szállító Luna-17 űrszonda 1970. november 10-én indult Bajkonur űrrepülőtéréről. A Hold körüli pályára álló szállító egységgel november 17-én a Lunohod-1 simán leszállt a holdi „Eszök tengerén” ($\delta=38,6^\circ$, $\epsilon=35^\circ$ nyugati hosszúság). A legördült holdautó 1,5 km-re délre távolodott el, majd visszatért a szállítóhoz, miközben részletesen vizsgálta a holdtalajt, és jó minőségű képeket készített a felszínről. Az első szovjet holdautó holdi munkáját három holdi nappalra tervezték, de mivel ezután is jól működött, kutatási programját 1971. október 4-éig meghosszabbították. A Lunohod-1 tíz hónapos munkája alatt összesen 11 km futott be, 20 000 tv-képet és 210 panorámafelvételt, valamint ötszáz helyen talajanalízist készített.

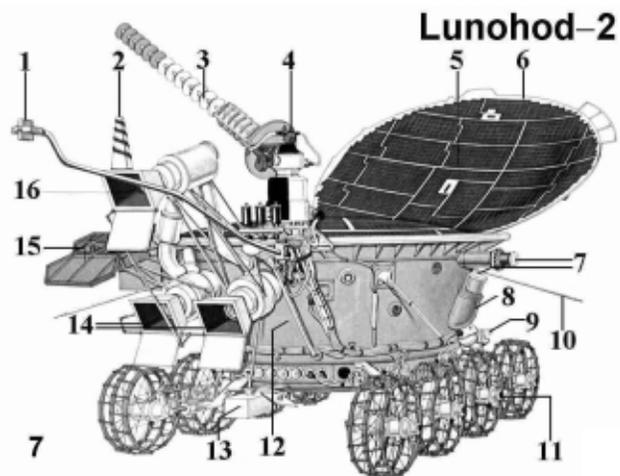
6. kép A Lunohod-1 útvonalterképe, 1970. nov. 11. – 1971. okt. 4.

7. kép A Lunohod-2 részei: 1: magnetométer; 2: kis irányítót-tűségi és 3: erősen irányított antennák; 4: hajtómotor; 5: nap-elemek; 6: fedőlap; 7: panoráma szkennerek; 8: panoráma-kamera; 9: radioaktív hőgenerátor; 10: rúdantenna; 11: kerékhajtó motor; 12: hermetikus műszeres egység; 13: röntgenspektrográfias talaj-analizátor; 14, 16: tv-kamerák; 15: - lézertűkőr.

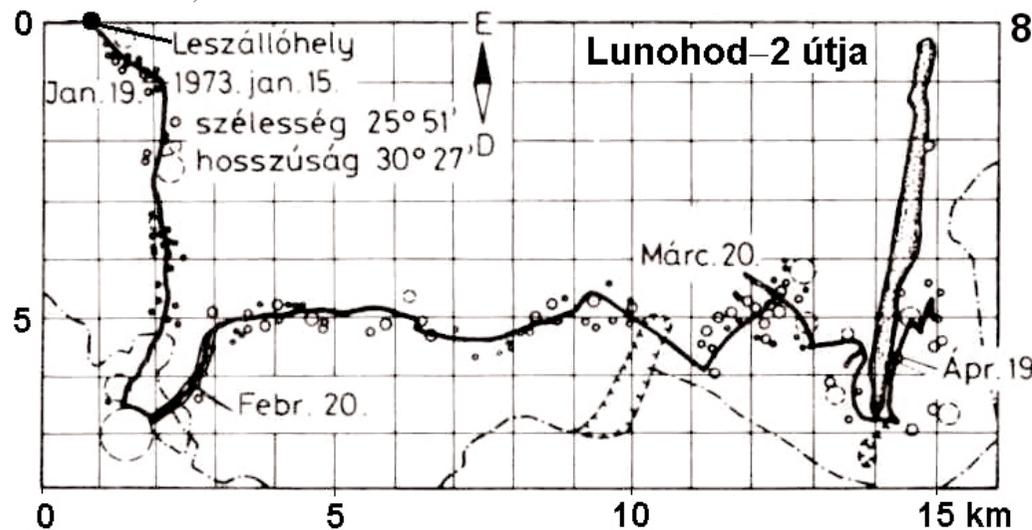


A Lunohod-2 útja

A 840 kg tömegű szovjet holdautót szállító Luna-21 űrszonda 1973. január 8-án startolt Bajkonurból. A sima holdi leszállás január 15-én a Le Monnier-kráterben történt ($\delta=29,8^\circ$, $\epsilon=329,5^\circ$ nyugati hosszúság). A Lunohod-2 négy hónapos munkája során (1973. január 15. – május 8.) 37 km-t tett meg, 80 000 tv-képet és 86 panoráma felvételt, valamint sok felszíni mágneses mérést készített. Kutatásait egy igen érdekes, kb. hat km-es és 200–300 m széles szakadéknál szakította meg.



8. kép Lunohod-2 útvonalterképe a Le Monnier-kráterben, 1973. jan. 15. – máj. 8. (a pontozott vonal a kráter széle)

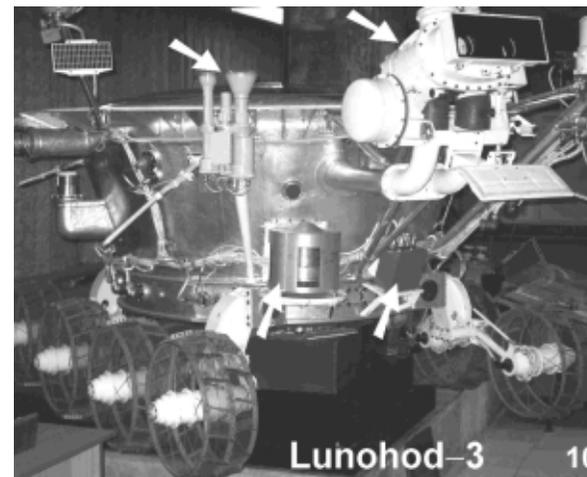


A Lunohod-3

A szovjet mérnökök a következő holdautót a hetvenes évek közepén szerették volna a Holdra küldeni, de a startra nem kaptak engedélyt, mert a Burán űrrepülőgép fejlesztésére kellett koncentrálni a pénzügyi forrásokat. Az elkészült és működő Lunohod-3 múzeumba került.

9. kép A Lunohod-2 panoráma képének részlete

10. kép A Lunohod-3 a Babakin Űrközpontban (Moszkva)



A ROBOTAUTÓK FEJLŐDÉSE A MER-EKIG

A holdi terepmunkák után a kutatás a Mars felé fordult. A máig bejelentett tervek is még a távoli jövőbe helyezik az emberrel végzett leszállást, s addig különféle robotokkal, robotautókkal végzik a bolygótest felszínének kutatását. A kutatóautók kifejlesztése számos szimulációs kísérletre is lehetőséget nyújt, melynek során az ember és a robot együttműködését is gyakorolni lehet. Ezért a robotautók fejlesztése sokszínű kutatási és egyúttal oktatási feladat és lehetőség is. Ilyen céllal készül a Kis Atlasz a Naprendszerrel sorozatban már bemutatott Hunveyor gyakorló űrszonda modell is. A simán leszállt űrszonda kutatási munkáit modellező Hunveyor a stabilan megállt és elmozdulásra nem képes eszközök mérőműszer-együttesét hordozza. Egy későbbi műszaki fejlesztési szakasz az, amikor a simán leszállt űrszonda leszállás után két részre válik szét. A helyben maradó egységet a leszállt űrszonda platform része alkotja. A róla leváló robotautó hordozza a mérőműszerek zömét, s legurulva a platformról eltávolodik tőle. Egyre távolabb jutva, a helyét változtatva végzi a terepmunkákat. A Hold kutatásában ilyen volt a Lunohod. A Marsfelszíni kutatások céljaira először ilyen megoldású volt a NASA Pathfinder űrszondája. Bolygófelszíni barangolásainkat most azoknak a korai robotoknak a rövid bemutatásával folytatjuk, amelyeket földi felszíni geológiai munkákra alakítottak ki, s amelyekből azután a sikeres Pathfinder és MER űrszondák kifejlődtek.

Dante

A Dante robotot nehezen megközelíthető vulkáni helyek megközelítésére fejlesztették ki a Carnegie-Mellon Egyetem kutatói. Fölfüggesztett, 8 csőlábon álló szerkezete volt. Meredek vulkáni kúrtók falán ereszkedett le távirányítással. Az Antarktiszon az Erebusz vulkánnál és Alaszkában a Spurr-hegységben végeztek vele terepi munkákat.

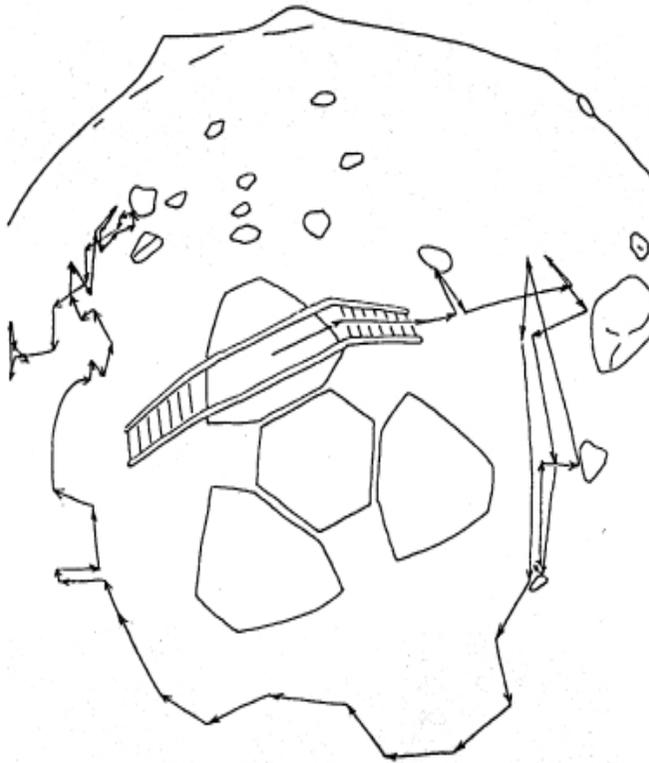
Nomad

Szintén a Carnegie-Mellon Egyetem kutatóinak fejlesztése volt a Nomád robot. Kisautónyi méretű, négykerék-meghajtású robotautó volt. Az önálló mozgás elektronikus módját oldották meg vele. A Nomád még jellemzően földi körülmények közé szánt tesztrobot volt, hiszen benzinmotoros motorral haladt, kb. 1 km/óra sebességgel. A fedélzetén több kamerát helyeztek el, s távirányítással mintegy 50 kilométeres tesztutat tettek meg vele az arizonai sivatagban.

Sojourner

A Jet Propulsion Laboratory fejlesztéseként készült el, már szándékosan planetáris felszíni kutatásokra. A JPL tesztautók

sorozatát fejlesztette ki (pl. a Robby és a Rocky változatokat), amelyek egyre közelebb kerültek a Mars Pathfinder (MPF) Sojourner néven megvalósított kutatóautójához. A Sojourner kiskoffer méretű, 6 keréken gördülő robotautó volt, 11 és fél kilogramm tömeggel. A 6 kerék összekapcsolása különleges mozgékonytá teszi lehetővé. Az elektronikát az aerogélnak nevezett, igen könnyű, de nagyon jó hőszigetelő képességű anyagból készült doboz védte. Ez az anyag a víz sűrűségének 1/50-ed részét teszi csak ki. Üveghabnak is nevezik.



A Sojourner robotautó nem távolodott el messzire a Sagan Memorial Station elnevezésű platformtól. Az MPF programban a platform neve a korábbi megnevezések szerint lander, leszálló egység. A Sojourner tömege még jelentősen kisebb, mint a leszálló egységé. A MER szondák esetén már megfordulnak a tömegviszonyok. A platform már főleg csak külső váz a leszállás során és szétnyitható burkolat a MER robotautó számára. A MER-ek műszerparkja szinte teljes egészében a robotautóra került.

Az MPF egy érdekes átmeneti állapotot képvisel a planetáris robot-együttesek sorában. A leereszkedő űrszonda ballonba rejtett együttese összetett leszállási manőverrel érkezik meg az égitest felszínére és visszapattanások sorozatán át jut el nyugvó helyzetébe. Ekkor az ütések fölfogó ballonokat leeresztik, és szabaddá válik maga a platform + robotautó rendszer. A Pathfinder misszió során a bolygófelszíni barangolást még csak a platform körüli szűkebb térségre tervezték, ezért az MPF rendszer környezetet fényképező kameráját a platform árbocán helyezték el. A Sojourner autóteste frontoldaláról kinyúló teleszkópikus robotkarra rögzítették az APXS (Alpha-Proton X-ray Spectrometer) anyagvizsgáló berendezést (ezt Németországban készítették). A talaj mágneses szemcséit vonzó, kis elemi mágnesekkel mintázott szőnyeget a *Sagan Memorial Station*re helyezték.

FIDO

Ez a rover a Jet Propulsion Laboratory fejlesztéseként készült el olyan planetáris felszíni kutatásokra, amelyeket a kutatóautó a platformtól eltávolodva, hosszabb távolságot bejárva végez. A FIDO nagykoffer méretű, szintén 6 keréken gördülő robotautó volt, amelynek fölépítése és főbb egységeinek elrendezése a Sojourneréhez hasonló. A környezetet vizsgáló kamera – az MPF-hez képest – átkerült a roverre, és egy árbocra nyúlt magasra a napelemekkel borított autótető fölé. Ez az árboc valójában egy csuklós kar, melynek felső végén nemcsak a tájékozódásra szolgáló navigációs kamerát, hanem egy panorámakamerát is elhelyeztek. A MER szondák többi kamera-főlszereltsége is mind megjelent a FIDO-n: az előre és a hátra néző, veszélyt jelző kamerák (front és rear hazard kamera) formájában. A fedélzeti mérőműszerek nagy részét egy előre kinyúló robotkar végére építették. A csápszerűen előrenyúló robotkar két karrészből áll, amit egy vízszintes tengely körül mozgatható könyök kapcsol össze. A karszerkezet elején és végén is volt csukló. A kar végén foglal helyet egy kis kamera, megvilágító lámpa és a talaj és a kőzetek kémiai analizésére szolgáló APXS műszer, valamint a Mössbauer spektrométer is. 1999 óta éveken át tesztelték a FIDO-t a Mojave sivatagban. A FIDO kifejlesztésével a marsi mintát begyűjtő expedíció részére készített kutatóautót a NASA.

Athena

Ezt a robotautót a Cornell Egyetem kutatói fejlesztették ki. Az Athena Marsra küldött változatai a MER robotszondák. Sok mindenben hasonló a fölépítése a FIDO-hoz, de ez nagyméretű, dohányzóasztal nagyságú, 6 kerekű robotautó. Ezzel a roverrel a 2004 nyarán dolgozó MER szondákig jutottunk el, melyeket részletesen bemutatunk.

A MARS FELDERÍTŐ JÁRMŰVEK (MER)

A járművek működését irányító eszközöket a rover testének megfelelő, ún. meleg, elektronikus dobozban (*Warm Electronics Box, WEB*) helyezték el. Szigetelt falai még a -96°C-os fagyos marsi éjszakák során is melegen tartják a járművek lelkét jelentő érzékeny elektronikát. A jármű Elektronikus Modulja (*Rover Electronic Module – REM*) a központi számítógépet jelenti, amely a tudományos felszerelést, kommunikációs műszereket, valamint a motorokat felügyeli és irányítja.

Az erős kozmikus sugárzás miatt speciális memóriával van felszerelve a központi számítógép, amely az éjszakai kikapcsolások során is megfelelően tárolja az adatokat, hogy ne fordulhasson elő váratlan adatvesztés. A fedélzeti memória nagysága a legutóbbi marsjármű, a Sojourner ezerszerese, 128 MB DRAM beépített hibafelismerővel és javítóval. Az éjszakai leállások miatt 3 MB közönséges, a PC-kből ismert EEPROM memóriát is építettek bele, amely a csak olvasható memória (ROM) elektromosan törölhető és újraprogramozható változata. Kifejezetten arra jó, hogy a számítógép kikapcsolása után is biztonságosan tároljon adatokat.

A járművek „egészségi állapotáért” külön program felel. A marsi légkörbe való belépéskor a program teljes rendszerellenőrzést hajt végre. Ellenőrzi, megvannak-e a parancsok a memóriában, működnek-e a kommunikációs rendszerek, felméri a jármű teljes állapotát. Hasonló műveletsort hajt végre akkor is, miután a leszállóegység landolt, és a jármű megkezdene működését. Rendszeres időközönként felméri a rover állapotát, ellenőrzi az elektronikus dobozban a hőmérsékletet, a kommunikációs felszerelést és az áramellátást.

A járművek három tengelyű egyensúly- és pozícióérzékelővel (*Inertial Measurement Unit – IMU*) vannak felszerelve, amelyek segítenek megbecsülni a jármű helyzetét és dőlésszögét. A műszerekkel nyomon követhető és kiválasztható a biztonságos útvonal. Felismeri az esetleges veszélyes, nagy dőlésszögű helyzeteket, így a jármű el tudja kerülni a veszélyes útvonalakat.

A járművek hőmérsékletét külön szabályozó és ellenőrzőrendszer figyeli. Mivel a szállítóeszközt is a roverek központi számítógépe irányítja, a felmelegedő elektronikára már az utazás alatt is külön gondot kell fordítani. Túlmelegedésük elkerülése végett speciális hőelvezető-rendszerrel látták el az űrszondát, amely 150 watt hő elvezetésére képes.

A Mars felszínén a járművek a helyi időjárás szélsőséges hőingadozásának vannak kitéve. A leszállóhely környékén a várható maximális hőmérséklet 22°C körül alakul, míg éjjel akár -99°C-ra is lehűlhet a felszín. A levegő maximális hőmérséklet-ingadozása 83°C körüli, ami főleg az érzékeny elektronika tekintetében igen jelentős. A műszerek melegítésére részben az elektronikus eszközök

saját hőtermelését használják fel. Mivel azonban az éjszaka folyamán nagyon alacsonyra süllyedhet a hőmérséklet, a járművek nyolc radioizotópos melegítőelemmel (*Radioisotope Heater Unit – RHU*) is fel vannak szerelve, amelyek egyenként 1 wattnyi hő termelésére képesek.

Az állandó melegítés mellett ki-be kapcsolható elektromos melegítőkre is szükség van. Ezek -20°C-os hőmérséklet esetén megnövelik a belső hőmérsékletet, +20°C fölötti hőmérséklet elérésekor pedig a marsi környezetbe vezetik el a felesleges hőt. Az RHU-k az akkumulátorok terhelését is csökkentik. Nélkülük a megnövekedett akkumulátorigény miatt a járművek működési ideje csupán 70 marsi napra csökkenne.

A járművek hat kerékkel „száguldanak” a marsi talajon, s mindegyik kereket külön motor mozgatja. Különleges meghajtásának köszönhetően képes egy helyben 360°-ot körbefordulni. A kerekek felfüggesztése a Sojourneréhez hasonló, a jármű képes nagyobb köveken, akadályokon is átgördülni anélkül, hogy egyensúlyából kimozdulna. Maximálisan 45°-os dőlésszögig bírja felborulás nélkül, a veszélyes helyzeteket megelőzendő azonban a mozgásvezérlő program kerüli a 30°-osnál meredekebb dőléssel járó útvonalat. Sík, szilárd talajon maximális sebessége 5 cm másodpercenként. A jármű mozgását fedélzeti számítógépe vezérli, így kb. 10 másodperc haladás után megáll, feltérképezi és elemzi helyzetét elmozdulása során, majd mintegy 20 másodpercig, így átlagosan kb. 1 cm-es másodpercenkénti sebességgel halad.

A mars-járművek egyik büszkesége a robotkar, amely végére mini laboratóriumot helyeztek el a kutatók. Ezzel nem csupán megközelíti a vizsgálandó kőzeteket, hanem felszínük közvetlen közelében végzi el vizsgálatait, sőt csiszoló és mini-fűrójának segítségével otthagya „ujjlenyomatát” is a marsi felszínen. Négy tudományos műszer kapott helyet rajta: mikroszkóp, Mössbauer-spektrométer, röntgen- és alfasugárzás-detektor, kőzetcsiszoló-eszközök. Utóbbi kiegészítésül egy tisztítókefe is helyet kapott a robotkaron, hogy segítsen megtisztítani a marsi portól a kőzetfelszínt. A robotkar tömegének 30%-át tudományos felszerelése teszi ki. A tömeg csökkentése érdekében lyukacsos szerkezetűre tervezték a titánból készült kart.

Miután egyik kijelölt célpontjánál befejezte vizsgálatait és a következő felé indul, a robotkar összehajlik és a robotjármű eleje alá simul, így biztonságban át tudja vészelní, amíg a jármű a marsi felszínen kószál. Maximálisan hat G-s terhelést bír ki.

A jármű fényképein szárnyaknak tűnő szerkezetek biztosítják a jármű számára az energiát, ezek a napelemek. Maximális megvilágítottság mellett 140 watt energiát szolgáltatnak, amely a Sojourner 16 wattjához képest jelentős előrelépés. A mozgás 100 watt energiát igényel, így a megmaradt energia több tudományos kísérlet elvégzését teszi lehetővé. Éjszakára, illetve a kevésbé napos

időkre két tölthető akkumulátor biztosítja az energiát. Az idő előrehaladtával azonban ezek kapacitása jelentősen csökken, ahogy azt korábbi programok eredményeiből sejtethetjük. A 90 nap végére a napelemek is csupán 50 watt energiát fognak tudni szolgáltatni egyrészt a rájuk rakódott pormennyiség miatt, másrészt az évszaktváltozás következtében eleve kevesebb napsütés éri a felszínt.

A járművek alacsony- és nagyteljesítményű rádió-adóvevőkkel vannak felszerelve, amelyekkel közvetlenül a Földdel is, de a Mars körül keringő MGS és Mars Odyssey űrszondákkal is tudnak kommunikálni. Mi több, a robotok a bolygó műholdjait képesek reléállomásként használni, és parancsokat fogadni tőlük. Az alacsony teljesítményű antenna hátránya, hogy minden irányba sugározza jeleit, míg a nagyteljesítményű antenna képes irányított rádiósugárzást kibocsátani. Így elegendő csupán egyszer beállítani a Föld irányába, utána energiát lehet spórolni azzal, hogy nem kell mindig újraállítani. Az orbitális pályán keringő űreszközökkel könnyebb a kommunikáció, mivel azok közelebb vannak a járművekhez, mint a Földhöz, illetve a felszíni robotokhoz képest sokkal hosszabb ideig vannak megfelelő pozícióban a földi kommunikációhoz.

A leszállóegységen elhelyezett UHF adóvevő jelei a leszállás eseményének megfigyeléséhez és az adatok rögzítéséhez szükségesek. Az MGS űrszonda ugyanis a landolást pontosan nyomon fogja majd követni.

Az alacsony frekvenciájú jeleket a NASA űrszonda követő állomásai, a Deep Space Network (DSN) hatalmas rádióantennái fogják fel.

A MER-EK TUDOMÁNYOS BERENDEZÉSEI

Panoráma-kamera (Panoramic Camera – PANCAM)

A robotok 1,4 m magasra képesek kinyújtani „nyakukat”, aminek a tetején a két magasra szerelt sztereo, színes, nagyfelbontású, CCD kamerák perspektivikus panorámaképek elkészítését teszik lehetővé – mintegy háromszor jobb felbontásban, mint amire a Mars Pathfinder képes volt. 4000 × 24 000 pixeles panorámaképeivel ez az eddigi legfejlettebb optikai műszer, amit valaha idegen bolygó felszínére küldött az emberiség.

A hősugárzást vizsgáló műszer (Mini-TES) számára a robotnyak periszkópként szolgál, maga a műszer technikai megfontolás alapján a jármű elektronikus dobozában kapott helyet. Együttes eredményeikkel a leszállóhely környékéről részletgazdag képeket kapnak a kutatók, s egyben ezek alapján fogják kiválasztani az érdekesebbnek tűnő kőzeteket, amelyeket részletesebb vizsgálatnak is alávetnek majd.

A teljes látókép elkészítéséhez a kamerákat 360°-ban el lehet

forgatni, illetve „billgetetni” is lehet 90°-kal felfelé és lefelé. A mini-TES készülék is hasonló felépítésű, ám itt a vízszinteshez képest felfele csupán 30°-kal, míg lefele 50°-kal képes elmozdulni.

Miniatur hőszugárzás detektor (Miniature Thermal Emission Spectrometer – Mini-TES)

Az infravörös spektrométer a talaj és a kőzet hőszugárzása alapján az ásványi felépítés feltérképezésében segít. A napsugárzás által felmelegített felszín hőszugárzást bocsát ki magából, aminek mértéke az anyagi összetételétől függően változik. A műszer víz nyomát őrzi ásványok, főleg karbonátok és homokos agyag után kutat. (Külön érdekesség, hogy a műszer detektora periszkópként a járművek „nyakára” van szerelve, így majdnem ugyanazt látja, mint a panorámakamera.) A spektrum különböző tartományában felvett képek részletesen leírják a leszállóhely környezetének tulajdonságait.

Mössbauer-spektrométer (MB)

A robotkara szerelt négy műszer egyike. A speciális spektrométer a vasban feldúsult anyagok rendkívül pontos összetételét képes meghatározni. A marsi felszín vastartalmú vegyületekben igen gazdag, vörös színét is a felszín jelentős vas-oxid tartalmának köszönheti. A műszer érzékeny elektronikája a járművek meleg elektronikus dobozába van beépítve. Egy-egy mérés mintegy 12 órát vesz igénybe.

Alfa-röntensugárzásmérő (Alpha Particle X-ray Spectrometer – APXS)

A tenyérnyi nagyságú eszköz a talajból érkező röntgen- és alfa-részecske sugárzást detektálja, ezzel pedig kémiai összetételükről szerez információt. Az alfa részecskék radioaktív bomlás során keletkeznek. A műszer elektronikus berendezései ebben az esetben is a meleg elektromos dobozban lettek elhelyezve. Általában éjszaka végez méréseket, amelyek mintegy 10 órát vesznek igénybe.

Mikroszkópkamera (Microscopic Imager – MI)

A CCD-vel felszerelt mikroszkóp a felszíni anyagok részletesebb vizsgálatát teszi lehetővé. A marsi talaj és a kőzetek legapróbb részleteit is ki lehet vele fürkészni, ezzel a többi tudományos műszer kiegészítőjévé válik, hiszen a részletes anyagvizsgálatok mellett a vizsgálati tárgy mikroszkopikus felbontásban is elének tárul. Az üledékes kőzetek apró szemcséinek alakját segítségükkel alaposan lehet tanulmányozni, ez pedig kialakulásuk körülményeire világíthat rá, s talán a víz nyomát is képesek lesznek vele meglesni.

A műszer a robotkaron található, hogy megfelelően közel lehessen

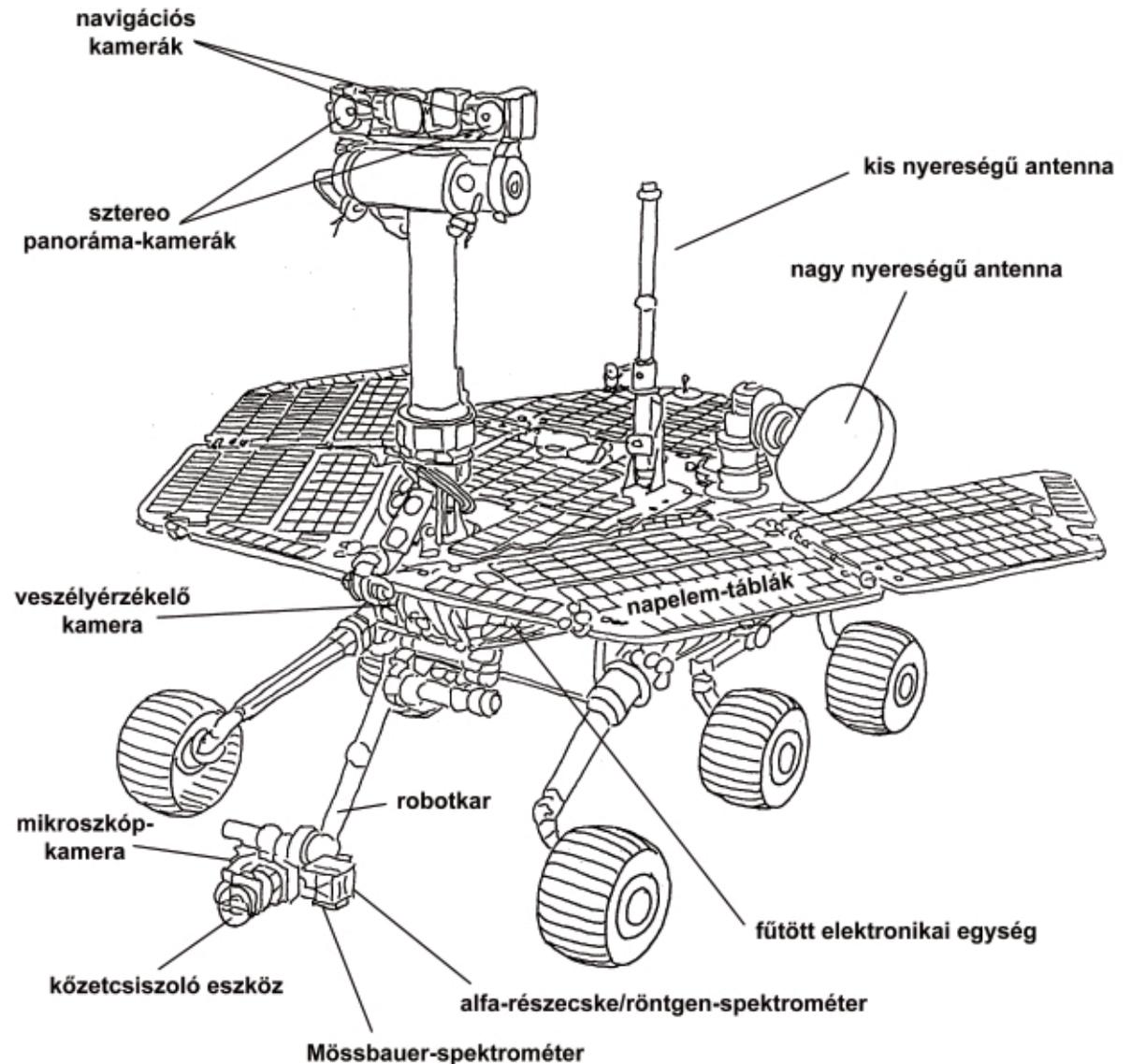
emelni a vizsgálandó területhez. 1024×1024 képpontos fekete-fehér képeket készít.

Kőzetcsiszoló eszköz (Rock Abrasion Tool – RAT)

A csiszolóeszköz mintegy 45 milliméteres átmérőjű és 50 milliméter mély lyukat vés a kőzetbe. A 750 gramm súlyú minifűrőt a robotkar végén helyezték el, vésőjét pedig külön motorok

forgatják, akár kemény vulkanikus kőzeten is képes elvégezni feladatát. Feladata, hogy megtisztítsa és előkészítse a vizsgálati területet a többi tudományos eszköz számára.

A kutatók szerint a marsi kőzetek külső és belső rétegei jelentősen különbözhetnek. Míg a külsőbb részeket belepíti a por, valamint kémiai reakcióba is léphetnek a környezettel, a mélyebb rétegek eltérő tulajdonságúak, talán egykori víz nyomát is őrizhetik.



A MER-EK NAVIGÁCIÓS RENDSZERE

A Mars Exploration Roverek hat keréssel gurulnak a Mars felszínén, amelyek függetlenek egymástól, mindegyiket külön motor mozgatja. Ennek eredményeként úgy is képesek 360°-os fordulatot tenni, hogy nem mozdulnak el eredeti helyükről. Különleges felfüggesztésüket pedig éppen arra tervezték, hogy nagyobb méretű akadályokon is át tudjanak gördülni egyensúlyi helyzetük elvesztése nélkül.

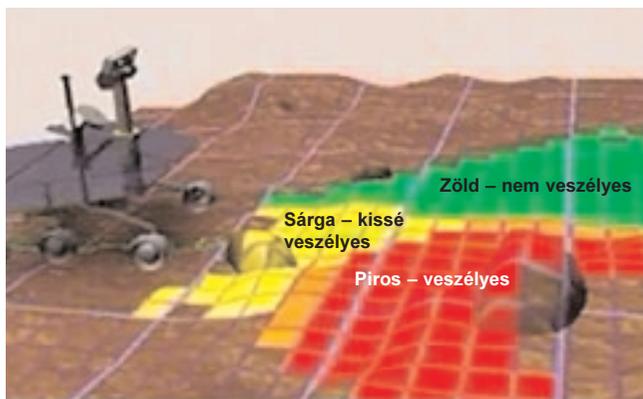
Ennek ellenére a két rovernek, a Spiritnek (MER-A) és az Opportunitynek (MER-B) rendkívül óvatosan kell mozognia, mert akár egy apró hiba is a küldetés azonnali befejezését eredményezheti. Ezért kézenfekvő megoldásnak tűnhet, hogy a földi irányítóközpontban döntsenek a szerkezetek minden egyes mozdulatáról. Erre azonban nincs lehetőség, mert a szakemberek nem állnak folyamatos összeköttetésben a járművekkel (mivel a Mars forog a tengelye körül; s így a leszállóhelyek nem néznek mindig bolygónk felé, valamint a keringőegységek is csak szabályos időközönként haladnak el a járművek térsége felett).

Míndezeket figyelembe véve a Mars Exploration Rover-ek központi számítógépében automatikus navigációs rendszer működik, amely képes a járműveket a lehetséges legbiztonságosabb útvonalon a kiválasztott célpontokhoz irányítani. A navigáció négy alapvető lépésből áll, amelyeket a számítógép rövid időnként megismétel, s így vezérli a rovert.

1. Sztereó felvétel készítése

A jármű elején található két veszélyérzékelő kamera felvételt készít a szerkezet előtt található területről, s a számítógép ezekből előállít egy digitális térbeli modellt, amelynek alapján kiszámítható a tereptárgyak távolsága.

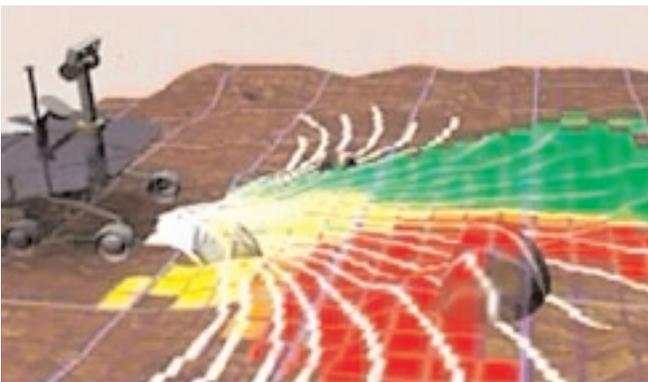
2. Veszélyességi felmérés



A rendszer elemi cellákra osztja a digitális terepmodell felszínét, amelyek nagysága megegyezik a jármű kerekeinek méretével. Ezek

után mindegyik cellában külön vizsgálja a kiemelkedések, a meredekség valamint a felszíni érdesség mértékét, s megbecsüli az áthaladás veszélyességét.

3. Útvonal-választás



Ezek után történik meg a célpont felé vezető lehetséges útvonalak előállítás, majd azok összesített veszélyességének kiszámítása. Végül a számítógép kiválasztja azt az útvonalat, amely a célpont felé vezet, és minimális veszélyt jelent a szerkezet számára.

4. Elmozdulás



A jármű elmozdulása kb. 10 másodpercen át tart, maximális haladási sebessége mintegy 5 cm/s. Ha ennek során mégis valamilyen váratlan akadály merül fel, a szerkezet automatikusan megáll, és várja a földi irányítóközpont utasításait.

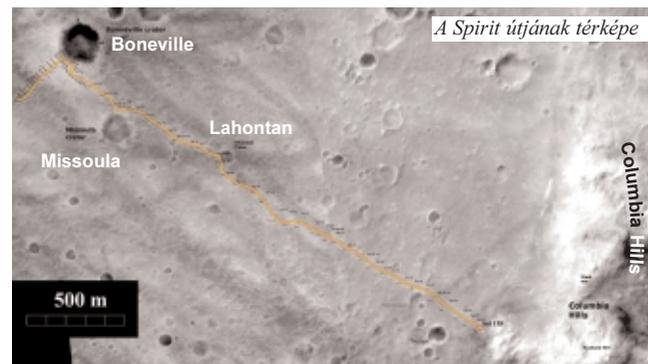
Miután a jármű megtette a kijelölt útszakaszt és megállt, a folyamat kezdődik előlről: felvétel-készítés a kamerák előtt található területről, majd a digitális térbeli modell előállítás, veszélyességi felmérés, útvonal-választás, elmozdulás...

Míndezek ismeretében igazán jelentős teljesítménynek tűnik, hogy a

Mars Exploration Roverek akár napi 100 métert is képesek haladni a felszínen, bár ebben az esetben semmilyen tudományos feladat végrehajtására nincs idejük. Ezért a járművek küldetése során a szakemberek egyik legfontosabb feladata talán éppen az, hogy egyensúlyt találjanak a Guszev-kráterben megtett távolság és az egy helyben állva, de tudományos vizsgálatokkal eltöltött időtartam között.

A SPIRIT ÚTJA, MÉRÉSEI, EREDMÉNYEI

A Spirit a Guszev-kráterben landolt 2004. január elején. A Guszev kráter falkoszorúja nyitott észak felé, az Elysium körüli síkságra, és a feltételezések szerint akkor, amikor még óceán borította a Mars északi poláris vidékeit, a Guszev-kráter tó vagy tengeröböl lehetett. A Spirit leszállását is egykori vizes helyre tervezték, ahogyan a megfigyelt szürke hematit színképvonalak alapján az Opportunityt a Terra Meridiáni vidékre.



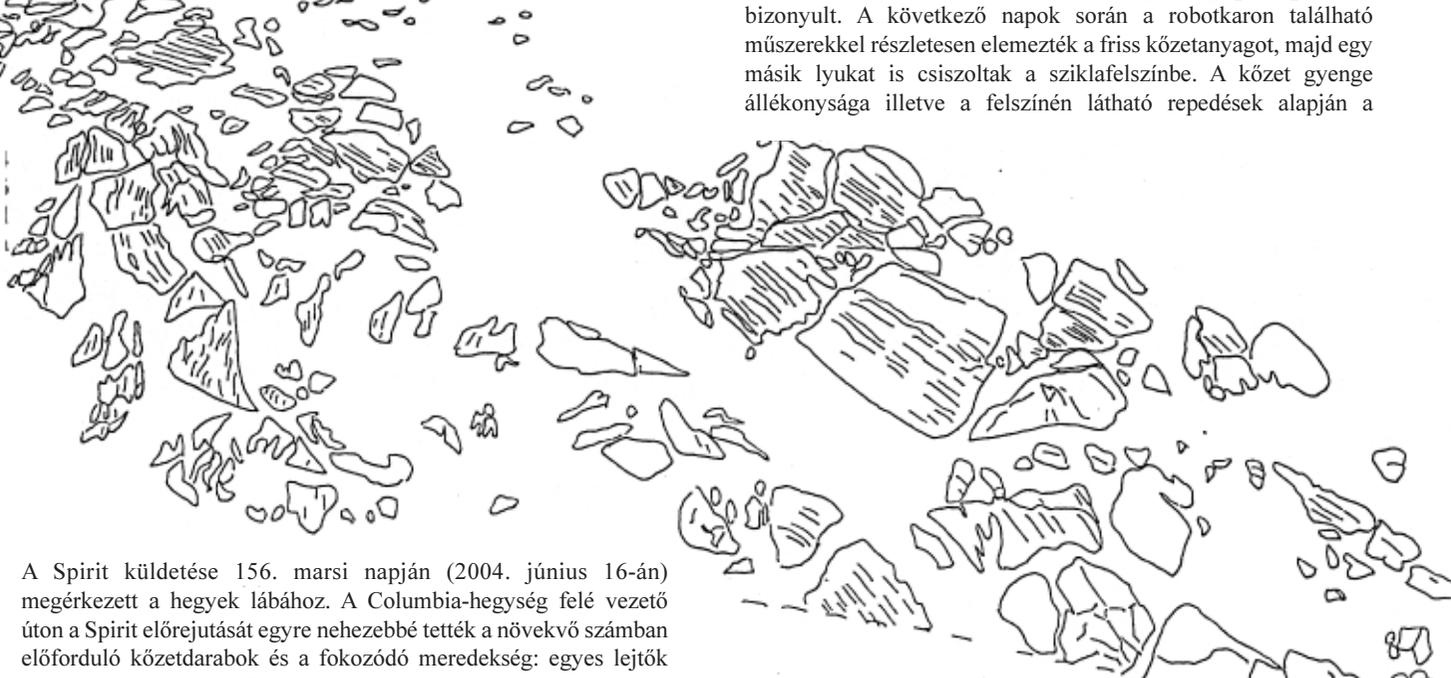
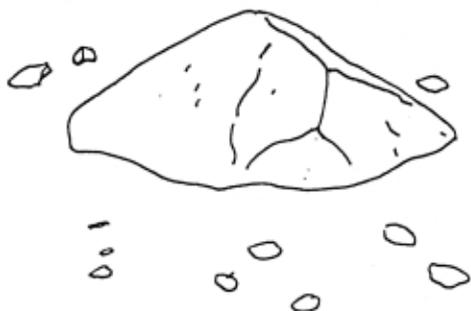
A Spirit űrszonda sziklás terepen szállt le. A távolban, kelet felé egy hegyvidék látszott a térképeken, amelyet Columbia-hegységnek neveztek el. Sok tördelt szikladarab borította a sivatagi területet, ahol a Spirit leszállt. A sziklatörmelék mennyisége növekedett, ahogy a közelben lévő kráterhez, a Bonneville-kráterhez közeledett a Spirit. A kőzetdarabok közül sokat lapos, háztető alakúra csiszoltak a marsi szelek. Ilyen kőzetek jól ismertek a Földön is. Hazánkban a nógrádi várhegy tövében elterülő szántóföldeken gyűjtöttünk még az 1970-es évek elején, amikor Andó József tanár úr terepgyakorlatokat vezetett közzettanból. Ezeket éles kavicsnak nevezik. A jégkorszaki szelek koptatták le egy-egy oldalát simára. Az egyik marsi kőzetdarab nevet is kapott: Adirondack lett a neve egy New York környéki hegységről. Ennek és a Humphrey nevének a kémiai összetételét is megmérték, és azt találták, hogy a Pathfinder által mért kőzetminták andezites összetételénél bázikusabb. Ez a kémiai összetétel közelebb áll a marsi meteoritek egyik típusának, a shergottitoknak az összetételéhez.



A SPIRIT A COLUMBIA HEGYSÉGNÉL

A Spirit első látványos célpontja a Bonneville-kráter volt. Ez a 200 méter átmérőjű kráter mintegy 350 méterre feküdt a leszállási helytől. Ennek peremén a Mazatzal elnevezésű sziklát vizsgálta meg a Spirit. A külső, világos színű réteg alatt sötétebb felszín talált, amikor a kőzetcsiszoló eszközzel lemarták a külső réteget. A csiszolt körlapnyi felületekből ötöt martak egymás mellé (virágszerű mintát rajzolva a felszínre) és ez már olyan nagy méretű, friss felszín eredményezett, hogy a mini-TES műszerrel is meg tudták mérni a friss felület TES-színképét. Az APXS műszerrel is mérték az összetétel változását a két rétegben. A sötétebb réteg nagyobb bróm- és klórtartalma, s az eltérő TES-színképek alapján a szikla vizes mállására következtettek a kutatók.

A Bonneville-kráter alapos vizsgálata után a Spirit több hónapon keresztül (mintegy két és fél kilométer utat megtéve) haladt a Columbia Hills hegyvonulata felé. Ez a terület azért izgalmas a szakemberek számára, mert a formák és a kőzetek részletes vizsgálatán keresztül megtudhatják, hogy milyen úton keletkezett a Columbia-hegyek formacsoportja, s ezen keresztül pontosabb képet alkothatnak a térség múltbeli fejlődéséről. Jelenleg ugyanis még nem ismert, hogy kráterképző becsapódásos folyamat, vulkáni működés vagy esetleg folyóvízi teraszképződés hozta létre a vonulatot. Fontos kérdés az is, hogy milyen úton került ennyi sziklatömb a hegyvonulat oldalajtóijére. Ezek nagy száma talán azt jelzi, hogy a lejtőfejlődés - geológiai értelemben - most is zajlik.



A Spirit küldetése 156. marsi napján (2004. június 16-án) megérkezett a hegyek lábához. A Columbia-hegység felé vezető úton a Spirit előrejutását egyre nehezebbé tették a növekvő számban előforduló kőztdarabok és a fokozódó meredekség: egyes lejtők



dőlésszöge elérte a 20°-ot (ez még nem jelent problémát a jármű számára). Ám az automatikus navigációs rendszer helyett általában a földi irányítóközpontból vezérelték a robotautót.

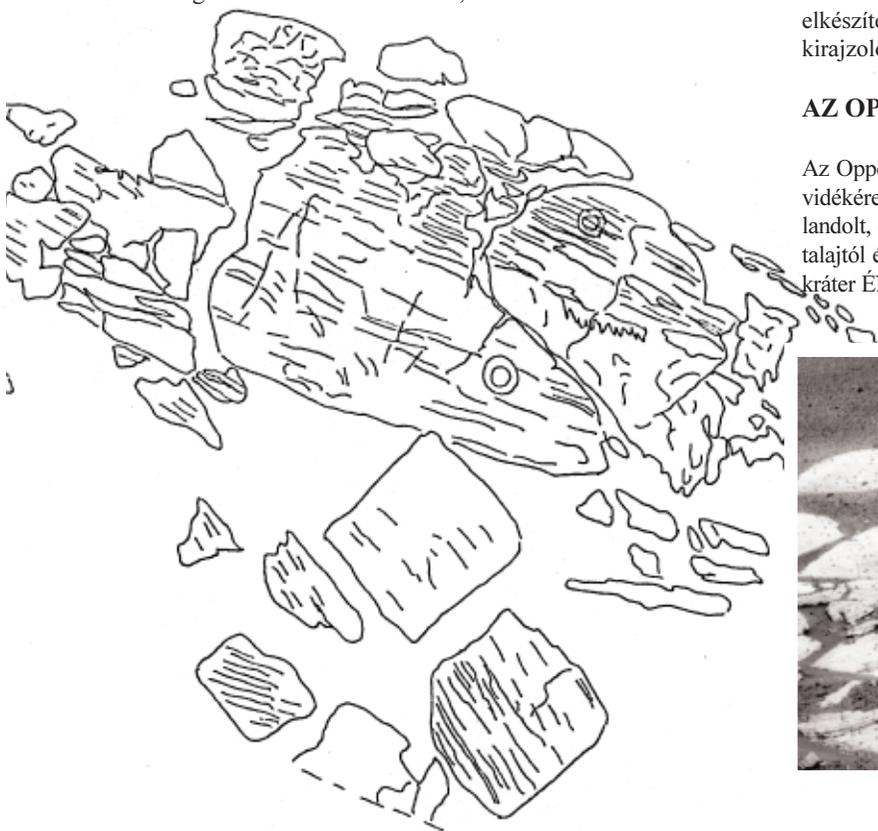
Tovább haladva a lejtőn fölfelé a Spirit alaposan megvizsgálta egy kőzetkibúvást, amelyet a küldetés irányítói Woolly Patch-nek neveztek el. A 195. napon a kőzetcsiszoló eszköz lyukat mélyített a szikladarab felszínébe, amelynek anyaga meglepően puhának bizonyult. A következő napok során a robotkaron található műszerekkel részletesen elemezték a friss kőzetanyagot, majd egy másik lyukat is csiszoltak a sziklafelszínbe. A kőzet gyenge állékonysága illetve a felszínén látható repedések alapján a



A Mazatzal nevű kőzet a Bonneville-kráter peremén.

szakemberek úgy gondolják, hogy a múltban vízzel érintkezve alakult ki jelenlegi összetétele.

Amint a Spirit megérkezett a Columbia-hegyek lábához, a szakemberek megkezdtek a felkészülést a „hegymászásra”. Ennek során nagyobb körültekintésre volt szükség a szerkezet irányításánál, két okból is. Egyrészt a leszállóhelyen beköszöntő marsi tél miatt a napsugarak alacsonyabb beesési szöggel érkeztek, s emiatt fokozatosan csökkent a napelemek által előállítható energia mennyisége. (Így fontos volt, hogy az egyenlítő déli oldalán dolgozó jármű, amikor csak lehet, észak felé lejtő területen álljon, mert ezzel növelhető volt a napelem-táblákra jutó napsugárzás mennyisége.) Másrészt azért is szükség volt az eddiginél is nagyobb körültekintésre, mert a jármű jobb első kerekének meghajtó-rendszere már hibásan működött (gurulás közben ennek a keréknek az energiafelvétele a normális érték többszörösére nőtt), és ez gondot okozott a rover többi rendszerének energiaellátásában. Ezért a szakemberek úgy döntöttek, hogy kikapcsolják a jobb első kereket, s megpróbálják anélkül irányítani a szerkezetet. Ehhez napokon át tartó tesztek végeztek a Spirit földi modelljén, s ezek alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a meghibásodott kerék nem forog szabadon haladás közben, hanem mozdulatlan marad s



árkot mélyíti a felszíni törmelékanyagba. Ezért hatékonyabb lesz, ha a szerkezet „hátrafelé” halad, vagyis ahelyett, hogy maga előtt tolja a meghibásodott kereket jobb oldalt elöl, inkább húzza maga után, bal oldalt hátul – vélték a mérnökök. (Amikor szükség volt a hatodik kerék használatára is egy-egy terepakadály leküzdéséhez, akkor rövid időszakokra visszakapcsolták eredeti meghajtó-rendszerét.) A Mars Global Surveyoron található MOC (Mars Orbiter Camera) lézeres magasságmérései és MOLA (Mars Orbiter Laser Altimeter) lézeres magasságmérései alapján elkészített digitális domborzatmodelljén választották ki a legbiztonságosabb – s nem a legrövidebb – útvonalat a Spirit számára, amelyen elérhette a vonulat első magaslatát, a Nyugati-kiszögellést (angolul West Spur).

A valódi hegymenet a küldetés 201. napján vette kezdetét. Ekkor a Spirit – biztonsági programjának megfelelően – automatikusan megállt, mert úgy érezte, hogy 25 foknál meredekebb terepre ért. Másnapra a szakemberek a földi irányítóközpontban 32 fokra növelték a biztonságosnak tekintett lejtőszöveget, így a Spirit 25,5 métert haladt felfelé az emelkedőn. A következő nap újabb 19 métert tett meg, s amikor megállt, mintegy 9 méter magasan állt a Guszev-kráter aljzatához képest. Ezt jól lehetett érezni az itt elkészített panorámafelvételen is, melyen a távolban halványan kirajzolódtak a kráter peremének vonulatai is.

AZ OPPORTUNITY ÚTJA, MÉRÉSEI, EREDMÉNYEI

Az Opportunity a Meridiani Planum (korábbi neve: Terra Meridiana) vidékére érkezett meg 2004. január végén. Egy kisméretű kráterben landolt, és első felvételein meglepetést tárt a megfigyelők elé. A sötét talajtól élesen elütő, világos színű kőzetkibúvás volt megfigyelhető a kráter ÉNy-i peremén. (kép, lenn)



A kráternek később az Eagle (Sas) nevet adták. 22 méter átmérőjű, sötét talajú a kráter belseje, s csak a kráterfal egy szakaszán volt megfigyelhető a szálaban álló kőzet. A világos színű kőzetet is, de a sötét színű talajt is 1–3 milliméter átmérőjű gömböcskék borították.

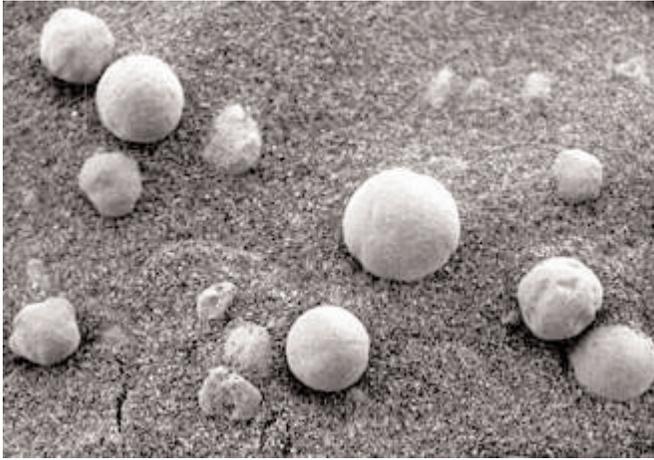
Az űrszonda a peremhez eljutva kameráival föltérképezte a felszíni rétegeket. Azt találta, hogy a kőzetkibúvás anyaga réteges szerkezetű. Ez a réteges szerkezet üledékes kialakulási folyamatra utalt. Ahogy az Opportunity végighaladt a kőzetkibúvási kráterfal mentén, a réteges szerkezetnek egyre több sajátos vonását figyelhették meg a kutatók. A rétegek gyakran voltak hullámosak, amit egy olyan folyamat eredményének lehetett tekinteni, amikor a leülepedő réteg sekély parti vízben rakódik le. Ilyenkor a sodrás iránya is változó lehet, ami a kiülepedő rétegek kereszt-rétegzettségét eredményezheti, ahogyan ezt meg is figyelték a képeken.

Fontos megfigyelés volt az is, hogy a gömböcskék egyenletesen vannak szétszóródva a réteges kőzetben és fokozatosan peregnek ki belőle, ahogy az mállik a Mars felszínén. A gömböcskék egyenletesen borítják be a felszínt is.

Több ponton végzett talajanalízist is az Opportunity. Mössbauer-spektroszkópiával mutatta ki azt, hogy a réteges kőzet összetétele a jarozitéhoz hasonló. A jarozit egy Na, Fe, hidro-szulfát, amely jelentős mennyiségben tartalmaz kristályvizet. A Mars Odysseynak a Meridiani Planum vidékére kimutatott nagy hidrogéntartalmú anyaga tehát lehet az Eagle-kráterben azonosított jarozit is.

A gömböcskék a réteges kőzetből peregnek ki. A rétegek gyakran kereszt-rétegzettséget mutatnak.





Gömböcskék az Opportunity leszállási helyén, az Eagle-kráterben. Átmérőjük 1–3 milliméter.

A gömböcskékről (szferulákról) azt találta az Opportunity, hogy összetétele a hematit-hoz hasonló. Mivel későbbi, már az Eagle-kráteren kívüli útja mentén is sűrűn beborítja a felszínt e gömböcskék sokasága, ezért valószínű, hogy a sekély tengerből kiváló hematit (szürke hematit) színképi jelét, amit a Mars Global Surveyor mért, ezek a gömböcskék adják.

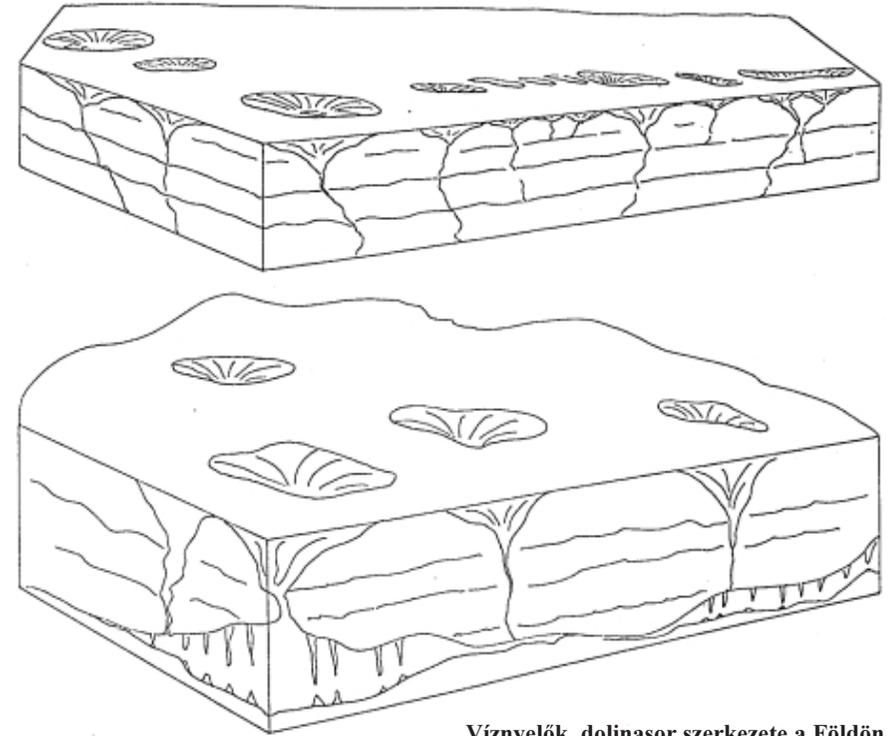


Gyakran megfigyelhető kioldódott ásványok helye a puha üledékes kőzetben. Itt mint „madárlábnymok” sorakoznak a hosszukás mélyedések a kőzet felszínén és két gömböcskét is látunk mellettük.

Még egy mérési eredmény van összhangban a Meridiani terület vizes múltjával. Nagy klór- és brómtartalmú anyagokra is utalt a talaj összetételét mérő APXS műszer eredménye. Földi körülmények között is a kiszáradó tengerben sókőzetek keletkeznek, melyeknek számottevő a klór- és brómtartalma.

Az Eagle-kráteret elhagyva az Opportunity panoráma-kamerái sok-sok gömböcskét és hosszan kanyargó, lapos homokfúvásokat mutattak. Kőzetkibúvások csak kevés helyen látszottak. Annál nagyobb volt a meglepetés, amikor a ballonos ugrások egyik külső foltja mellett a Bounce-nak elnevezett kőzetdarabot megvizsgálták. A fúrásos-csiszolások Mössbauer-színképe azt mutatta, hogy ennek a kőzetnek az összetétele nagyon hasonló a Földön talált egyik régi, 19. századi mars-meteoritéhoz, a Shergottyéhoz.

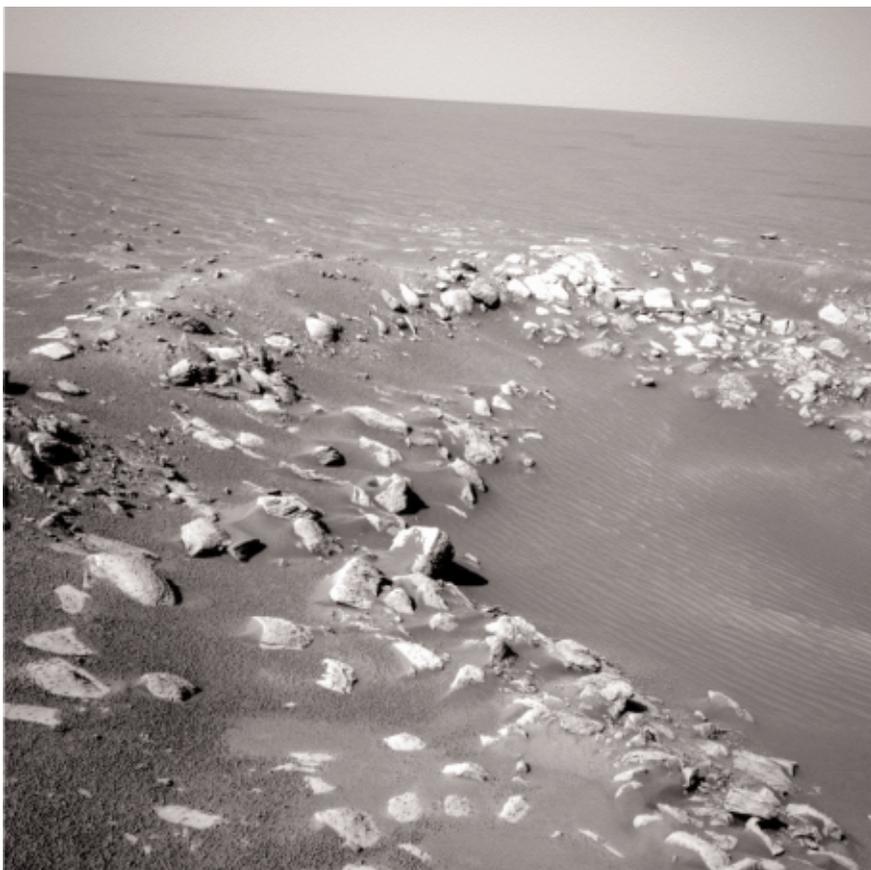
Tovább haladva az Endurance-kráter felé érdekes jelenséget fényképezett le az Opportunity. Előbb csak néhány kisebb mélyedést figyelt meg, melyeknek peremén szintén látható volt a világos színű, rétegzett kőzet kibúvása. Később azonban egész láncolatát találta meg a mélyedéseknek, melyeknek a falában szintén előfordultak a már ismert világos színű kőzetdarabok. A láncot alkotó mélyedések több helyen is olyan árokká olvadtak össze, amelyeket a földi karsztvidékeken lehet megfigyelni. Az egyik nagyobb árok nevet is kapott: Anatólia-árok lett a hely neve. A hosszan futó árok mintha törésvonalat követett volna és egy beléje torkolló másik árok mélyedéseit is meg lehetett figyelni. Ha az árokról beigazolódna a karsztos eredet, akkor ez újabb megerősítése lenne a terület vizes múltbéli eseményeinek.



Víznyelők, dolinasor szerkezete a Földön



Összekapcsolódó mélyedésekből kialakuló Anatólia-árok.



Összegezve az Opportunity vizsgálati eredményeit azt mondhatjuk, hogy megerősítette azt a feltételezést, hogy a Meridiani Planum vidéke egykor vizes anyagátalakulásokban, üledékes geológiai folyamatok során nyerte el mai arculatát. A réteges kőzet keresztarétegzettsége a sekély tengerparti környezetet valószínűsíti. A jarozitos és a sóközetes, valamint a hematitos kiválások is mind a vizes múlt anyagátalakulásaira utalnak. A két MER űrszonda újdonságainak sokaságát csak az 1976-os két Viking űrszonda eredményeihez lehet mérni.



Kazettás barkános dűnevidék (MGS kép, lent), melyhez hasonlót az Opportunity az Endurance-kráter mélyén talált (fent).

Mielőtt megérkezett volna az Endurance kráterhez, talált az Opportunity egy friss becsapódási kiskrátert. A belső mélyedést mint homoktó tölti ki a széllle szállított apró szemű homok. A feltördelt és „partra vetett” sziklák még nincsenek úgy lekoptatva, mint akár az Eagle-, akár a későbbi Endurance-kráterbeliek.

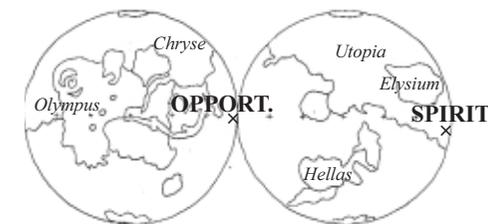
A következő hetekben az Opportunity megérkezett az Endurance-kráterhez. Mintegy 800 méteres utat tett meg idáig leszállási helyétől, az Eagle-krátertől. Már messziről lefényképezte a 132 méter átmérőjű kráter megfigyelhető

belső falának részletét, amely ugyanolyan jellegű kőzetkibúvást mutatott, mint amilyen az Eagle-kráterben is jelentkezett. De ez a sziklafal mélyebb metszetet adott arról a hatalmas réteges kőzetestről, aminek a felszínén az Opportunity leszállt, haladt és rajta méréseit végezte.

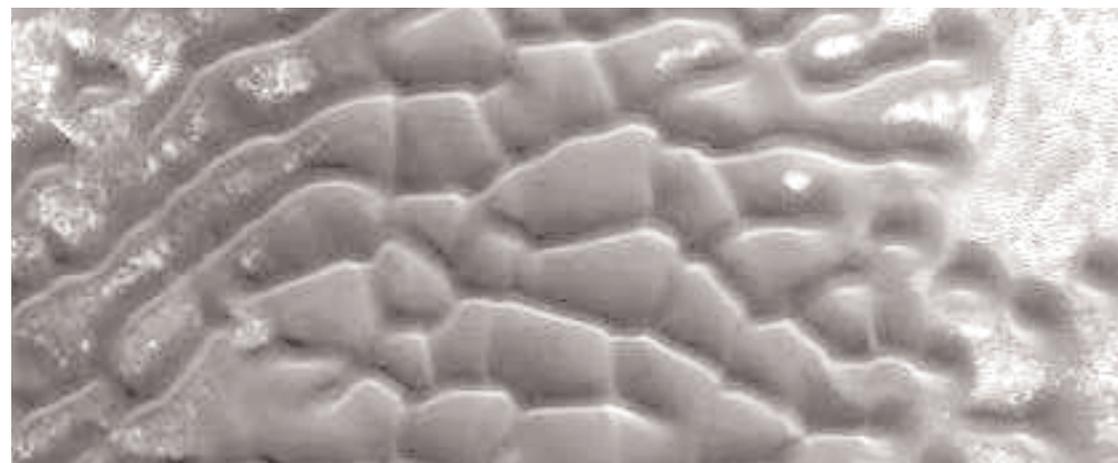
Az Endurance-kráterhez érve pedig a kráter mélyén csillagdűneszerűen elrendezett, kazettás homokformákat is a földi megfigyelők elé tártak a képei. A későbbiekben fokozatosan lejjebb ereszkedett az Opportunity a belső lejtőn.

A MER ŰRSZONDÁK BIONIKAI FŐLÉPÍTÉSE

A MER űrszondák összelrendezése egyre több bionikai jellegű vonást mutat. Ilyenek a laposan fekvő, de a törzs jellegű középrészhez képest kiálló, szárnyszerű napelemtáblák. Ilyen a rovertest első részében fölfelé kiálló „rovárszem” torony, melyen a navigációs kamerákat és a panoráma-kamerákat helyezték el, valamint a mini-TES nevű hő kibocsátást mérő spektroszkópot. Rovarszerű a rover elején elhelyezett, előre több csuklóval kinyújtható és mozgatható csápszerű robotkar is, ami egy rovar szívókájára emlékeztet. Ezen a robotkaron van kőzetmintákat söprő, fúró, csiszoló mechanika, az APXS és a Mössbauer spektroszkóp is. A laposra összehajtogatott rovertestet több napi műveletsorral emelték föl és illesztették valódi térbeli helyzetűvé a leszállás után. A leszállás módja a Pathfinder-nél már bevált ejtőernyős és rakétás kombinált fékezés után ballonokból álló „szedercsíra” szerkezet többszöri (25-30) visszapattanásos talajt érése volt.



A Mars két félteke, az űrszondák leszállási helyeivel.



VÍZBORÍTOTTA FELSZÍNEK FELDERÍTÉSE

Lékvágás az Európán

Az Europa 5–30 km vastag, a víz elnyelési vonalai alapján azonosított vízjégkérgé alatt a Galileo mérései szerint valószínűleg folyékony, sós vízóceán található. Ez 6–100 km vastag lehet. Az Europa, felszíni formáinak alapján, geológiailag aktív holdnak látszik. Erre bizonyíték lehetne a felszínre jutó és itt vákuumkörnyezetbe kerüléskor felforró víz kitöréscsúcsok megtalálása, hőmérsékleti anomáliák keresése (mélyből érkező melegebb víz-láva-cseppek felszín közelébe jutása [„forró folt”]) vagy az onnan kidobott és az Europa körül pályára állt anyag keresése. A Voyager és Galileo szondák 20 év különbségű felvételein ill. egyes mérésein eddig a felsoroltak közül egyiknek sem találták bizonyítékát. Számos keringő/leszálló szonda terve készült el. Egyes szerzők a Mars-programhoz hasonlóan látják az Europa kutatásának jövőjét, azaz több szondára építő részletes, mintavételt is elemző felderítésként. Ugyanakkor felhívják a figyelmet arra, hogy az Europa felszíne, bár nagy léptékben jégsíkság, mezomorfológiáját tekintve igen durva, egyenetlen felület, melyen csak különleges, önálló döntéshozatalra képes egység tudna épen landolni. A megfelelő leszállóhely kiválasztásában először a keringő egység segíthet. A leszállóhely kiválasztásánál a sík térszín alapfeltétel, de szintén az a minél fiatalabb jég vizsgálata, mely viszont a geológiai töréseknél ill. a káosz-területeken található, ahol a legvékonyabb a kéreg. Elméletek szerint ezeket akár a mélytengeri füstölgőkhoz hasonló melegforrásoktól felszálló melegvíz-feláramlásfelhő is kialakíthatja.

A felszín alatti világ radartávérzékeléssel is vizsgálható. Ennek hatékonysága függ az Europa jégregolitjának porozitásától, vastagságától (becsült: 1 km) és metamorfizációjának (tömörödöttségének) fokától. Könnyen lehet, hogy a földi vizsgálatokhoz hasonlóan a radar nem a jég-óceán határt, hanem a jégben belüli szerkezeti horizontokat tudná csak kimutatni.

A leszállt egység egyik alapvető feladata az „üde” jég vizsgálata. A jégkéreg legfelső része a kozmikus (becsapódásos és sugárzás okozta) erózió és átalakulás, szennyezés hatásának van kitéve. A friss jég párszáz méter mélyből mintázható, ahol már valószínűleg a jégkéreg alatt levő vízóceán megfagyott anyaga tisztán található. Ezt a jeget olvasztanak fel helyben és az olvadékokat vizsgálnák. Ilyen mélyre csak valamiféle fűrészes technológiával lehet lejutni, például:

— atom- (plutónium) meghajtású hőszondával (kriobot), mely átolvasztja magát a jégben (fölötte a víz újra megfagy) (a 60-as évekbeli „Phibirth-szonda” terve alapján, mely forróvízsugárral dolgozik). Formája hosszúkás cső, mely kommunikációs kábelt hagy maga után. A Cornell Egyetem 1998-as kísérletei alapján szondájuk mögött -80°C-on olyan gyorsan fagy be a jég, hogy fogságba ejti a szondát is, így ez megoldandó kérdés. A kriobotból kibocsátható úszó szonda (Hidrobot) tovább vizsgálná az óceán mélyét.

— Lékolvasztó szondával (Open Hole Probe), mely a kiolvasztott vizet is eltávolítja

— Lékvágó szondával, mely a jégbe mechanikusan fúr lyukat, a jégdarabokat pedig eltávolítja. Ezek közül az első megoldást látják a leginkább kivitelezhetőnek.

A szonda mérései

— szervesetlen sók és aminosavak koncentrációjának meghatározása
— a jég szerkezete (rétegződés, szemcsézettség, zárványok) meghatározása optikai módon

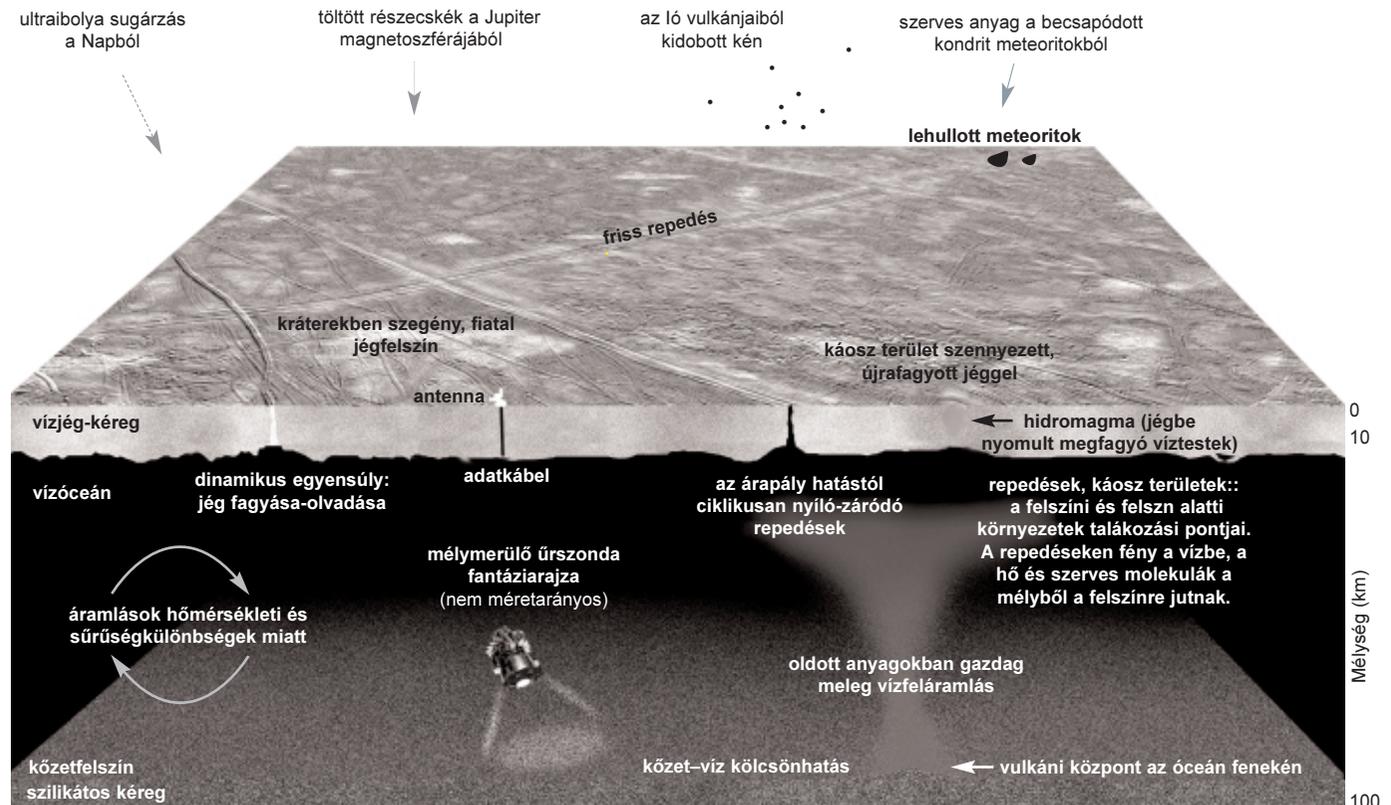
— magnetométerrel és szeizmométerrel a jégalatti vízóceán pontos kiterjedésének a meghatározása.

Az óceán alkalmas lehet – leginkább a geotermikus energián alapuló – élet számára, ha a megfelelő építőelemek biztosítva vannak és arra alkalmas közeg lehet/ett, esetleg egy korábbi, vékonyabb jégkérgű és/vagy sekélytengeri (fotoszintézisre alkalmasabb) állapot mellett. Jelenleg a jég alá nem hatol be fény, így az egyedüli energiaforrás a hő

lehet, táplálékforrás pedig viszonylag szűken akadhat.

Az életre utaló jelek a földi tengeri jég vizsgálata alapján nem a jégben, hanem a felszínre diapirként jutó sűrű sóoldat (brájn)-zárványokban ill. sórészecskékhez kötődően található. Fontos információforrást jelenthetnek olyan buborékok is, melyek a felszínre jutnak; vagy az óceán fenekéről származó, jégbe fagyott és így felszínre jutó lebegő anyagok. Az életnyomok keresésénél fontos párhuzam lehet a Vosztoz-tónál alkalmazott vizsgálati módszerek.

A felszín alatt, az óceán fenekén (a „valódi” vagy „második”, szilikátos felszínen) lehetséges vulkáni aktivitás is, a földihez hasonló füstölgőkkel. A kérdés, hogy az árapályerők miatt csak a víz került olvadt állapotba, vagy a szilikát anyagú (második vagy belső) köpeny is. Ha ez is olvadt, a víz „kenő” jelenléte miatt akár lemeztektonika is működhet a holdon. Mivel az Europa pályaelemei ciklikusan változnak, ez magával vonja, hogy az árapályerők erőssége is pulzálóan változó



Egy Európát vizsgáló merülő robot lehetséges kutatási területei (fantáziarajz). Az Europa egyes „niche”-ei akár az élet számára is kedvezőek lehetnek: együttesen jelen vannak a folyékony víz, különböző molekulák és ezek kombinálódásához szükséges energia. Itt azok a folyamatok és környezetek láthatók, ahol talán olyan körülmények vannak, amelyek kémiai szempontból hasonlítanak arra, ami a Földön az élet keletkezésekor uralkodott (modell, K. Á. nyomán)

működhet a holdon. Mivel az Europa pályaelemei ciklikusan változnak, ez magával vonja, hogy az árapályerők erőssége is pulzálóan változó lehet. Ennek következtében a vulkáni aktivitás is periodikusan felerősödhet ill. kihunyhat.

Földi analógiák

A Vosztok-tó

1993–96-ban radarral és szeizmikus mérésekkel fedték fel a Vosztok-tavat (77°D, 105°K). Ez egy 4 km vastag jégkéreg alatt rejtőző, 280×55 km nagyságú, 10–500 m mély, folyékony vizű tó az Antarktiszon, melyet a geotermikus energia tart folyékonyan, fölülről pedig a jég védi – avagy a jég nagy nyomás alatt tartja és ettől nem fagy meg. Oxigéntartalma nagyobb a légkörénél. Közel 100 kisebb, azóta felfedezett jég alatti tóval állhat kapcsolatban. A legidősebb jég-fúrásminták 420 ezer évesek, a tó tehát ennél régebben került a jég alá (max. 15 millió éves, ekkor alakult ki a déli jégsapka). Az alapvetően orosz irányítású fúrás projektjén belül a NASA JPL Europa/Vostok kezdeményezése keretében egy Europa-fúró kriobot tesztjét itt tartanák, különösen ügyelve arra, hogy a Vosztok-tavat ne fertőzzék meg a felszínről étellel – ez a cél az Európán is. (Egyelőre ezért nem is tudni, hogy van-e a Vosztok-tóban élet. A kiemelt jégmagban találtak felélvezhető baktériumokat, melyek 3000 évet „aludtak”. Elképzelhető, hogy a felszíntől akár millió évig is elzárt és külön fejlődött életközösség létezik a tóban. 1998-ban az orosz fúrásmag nem hatolt a folyékony vízbe: 3625 méter mélyen, párszor tíz méterre a „vízszintől” állt meg. Az alján a víz megfagyott darabja volt, mely a mag legértékesebb része. A tóban rengeteg oldott gáz van, ami a jég feltörésekor a felszínre törhet a lecsökkenő nyomás miatt. Ez ellen a lassú olvasztással védekeznek: a jég újra megfagy, így elzárva az utat. Ugyanez a módszere az Europa kriobotnak is. A Vosztok-tó alapján következtetni lehet a Mars felszíne alatti jelenségekre is.

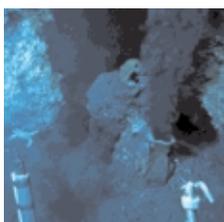
Az óceánfenék

Az óceánfenék olyan kőzetfelszín, melynek felderítése a Föld esetében is alig kezdődött meg. Jórészt ismeretlen terület, mind mikrodomborzatát, mind élővilágát, jelenségeit tekintve, holott ez alkotja Földünk felszínének 70%-át. Felderítéséhez az űrkutatáshoz hasonló módszerek szükségesek: vagy „automata koncepció” szerinti, távolról irányított, kamerákkal felszerelt jármű (*Remotely Operated Vehicle* – ROV), vagy „emberes utazás”, melyben a mélymerülő hajóban a kutatást irányító ember/ek is tartózkodnak. A végcélnél a környezeti feltételek bizonyos tekintetben nagyobb feladatot jelentenek: nincs fény, így bármiféle optikai érzékeléshez erős reflektorok kellene, melyek csak a közvetlen környezetet tudják bevilágítani. Nincs részletes térkép sem a területről – az csak kutatás közben készíthető el. (A domborzat feltérképezéséhez elegendő visszhangos mélységmérő is – ilyen több Galilei-hold esetében is terveznek a felszínre telepíteni). A víz nyomásának (1000 atm-ig!) elviseléséhez különleges szerkezetű hajóra van szükség: ez ma is határt szab a kutatható mélységeknek. Itt

is fontos kőzetminta vétele és annak felszínre juttatása. Az első holdkőzetekkel szinte egyidőben érkeztek először kőzetminták az óceánok fenekéről: 1968-tól a Glomar Challenger, majd a JOIDES Resolution, orosz részről az Indiai-óceánban a Vityaz kutatóhajók gyűjtöttek először fúrómagmintákat ill. részletes domborzati adatokat. A földi óceán – más bolygófelszínektől eltérően – *egységesen* igen fiatal, a legidősebb részei is kb. 160 millió évesek (az idősebbek folyamatosan szubdukálódnak). Valószínűsíthető, hogy évmilliárdokkal ezelőtt is hasonló környezetekkel találkoztunk volna az óceánfenéken. Az aktuális óceánközépi hátságok területén állandó vulkáni aktivitás, így állandó hőtermelés folyik. A folyamatos üledékképződés miatt a régebbi felszín állandóan eltemetődik. Az üledékben élő, hideghez és nagy nyomáshoz alkalmazkodott, ezért „lassan élő” fajok jórészt a felülről hulló élőlénymaradványokból élnek. Az élőlények jellegzetes nyomain az óceánban „felülről hulló” élőlényekből képződött üledék (mészvázú vagy kovás lények (foraminifera/diatóma/ radiolária) és az élőlények életnyomai: járásuk, élelemszerző útjaik közben hagyott útvonalaik nyoma.



Foraminifera



Fekete füstölők



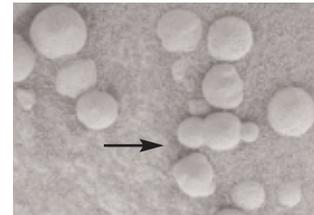
Csőférgek



Az Alvin merülőhajó

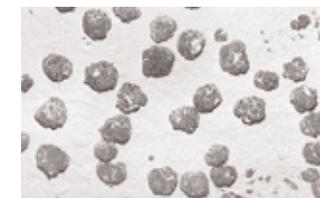
Mélytengeri füstölők

Az óceán mélyét kutató első merülőhajó az Amerikai Haditengerészet Alvin nevű, 1960-as években készített, 3 személyes hajója. 4 km mélységig képes merülni. Ebből fedezték fel a mélytengeri füstölőket 1977-ben, a Galapagos-szigeteknél. Az óceánközépi hátságok geotermikus energiából táplálkozó, mélytengeri forróvíz-forrásaik felfedezésére már számítottak, azonban nagy meglepetést okozott, hogy itt élőlényközösségeket is találtak. A kidobott anyagtól függően más-más színű mélytengeri füstölők ásványi anyagokban gazdag, a friss lágával érintkezve felmelegedő oldatot „füstölögnek” a vízbe. Az élőlények energiaforrása vulkáni eredetű H₂S. (pl. Explorer Ridge, Juan de Fuca Ridge) A „hideg szivárgók” vulkáni aktivitástól és fotoszintézistől független, tengerfenéki összenyomott üledékből kifacsarodó vízforrások, ahol szintén találtak CH₄-H₂S energiaforrásokból élő élőlényközösségeket (pl. Mexikói-öböl).



Fenn: a holdi „narancs talaj” szferulái kifröccsent magmából, ill. a hasonló, regolittal kevert gömböcskék (kép) becsapódás hatására megolvadt kőzetből keletkeznek, s még földet érés előtt gömb vagy könnycsepp alakban megszilárdulnak. A gömböcske azonos méretű, mint a marsi kép „áfonyái”.

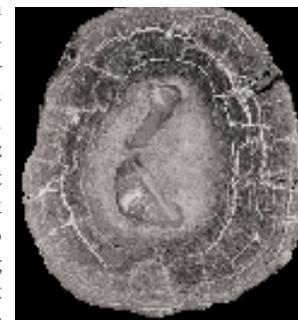
Jobbra: a marsi Hematit-régióban talált „áfonyák” („blueberry”) konkréciói, amint előbukkannak az erodálódó kőzetből. Valószínűleg a kőzet pórusaiban valaha vándorló vízből csapódtak ki. Erre utal az a hármás (nyíl), melyhez hasonlóan összetapadt hármás a kutatók szerint a potyogó magmából nem képződhetne. Ha a szferulák rétegzett szerkezetűek, a konkréció-elmélet helytálló, míg ha vulkáni eredetűek, a hullásukkor megsértett kőzetfelszín árulkodhat erről.



Földi óceánfenéki mangánkonkréciók: nem szabályos gömb alakúak.

Mangánkonkréciók

Az óceánfenéki mangánkonkréciók a tengervíz és az üledékfelszín kémiai reakciói révén nagy nyomáson keletkeznek. Borsó-göflabda méretűek. A konkréciók magja általában cápafog, bálnacsont vagy meteoritdarab, ami köré a közelben található fémek kicsapódnak. A Csendes-óceán egyenlítő menti – északi medencéiben, 4–6 km mélységben leggyakoribbak, ahol lassú és abiogén (vörösgyag) az üledékképződés. Hatalmas mezőket alkothatnak. Növekedési sebességük 5–10 mm /millió év, míg a környező üledéklerakódási sebesség 1 mm/1000 év – tehát egy folyamat (vagy az élőlények üledékátfordató tevékenysége) állandóan „felszínen tartja” őket. Elméletek szerint növekedésük, szerkezetük (vas)baktériumoktól is függ. Kérdés az is, hogy a mangán maga honnan származik a konkréciókhoz. Mangán- (~15%), vas-, nikkel-, réz- és kobalttartalmuk miatt értékes árványkincsek. Bányászatuk azonban ma még a felszínre juttatás drágasága miatt nem kifizetődő, de már felmerültek olyan kérdések, hogy a nemzetközi vizeken (óceánfenéken) levő mangán kié, ki bányászhatja; valamint környezetvédelmi kérdések (az erős vízpumpák miatt óriási üledékfelhő keletkezne).



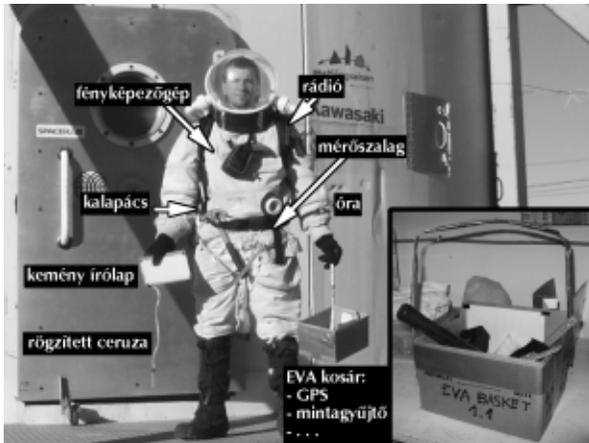
EMBERES TEREPI MUNKA A MARSON

Modellünkkel az ember által a Marson végezhető terepi munka néhány jellemzőjét vizsgáltuk, elméleti számítások és a Mars Desert Research Station 23-as legénysége keretében nyert tapasztalatok alapján. A munka tervezésének térbeli és időbeli sajátosságait a következő alapfeltevésekből kiindulva közelítjük:

A térbeli mobilitást a használt közlekedési mód határozza meg, eszerint elkülönítettünk légi (léghajó, repülőgép, hopper) és felszíni (légpárnás, rover, gyaloglás) közlekedési módokat. Modellünkben az e sorok írásakor reálisnak tekintett roveres valamint gyalogos módszert alkalmaztuk, a gyaloglás során exoskeleton (mesterséges mechanikai segédeszköz) nélküli paraméterekkel számoltunk. Képzelt asztronautáink ideális fizikai állapotúak, napi 10 órás fizikai munkára képesek rövid megszakításokkal. Szkaferberük komfortos, a hagyományos életfenntartó rendszeren kívül szabályozható benne a fűtés, folyamatos a páraelszívás, egyszerű beépített evő és ivó rendszer található benne. A legtöbb marsutazás-tervben szereplő, két egy személyes nyitott (kis), és egy sok személyes, nyomás alatti, zárt légtérű (nagy) roverük van. A HAB (lakóegység) szerepét a zárt légtérű rover látja el, amely nukleáris energiaforrással három hónapon keresztül biztosítja a szükségleteket a benne utazóknak.

Felhasznált paraméterek:

- ♦ Átlagsebesség gyalogosan: 3 km/h
- ♦ Átlagsebesség kis roverrel: 8 km/h
- ♦ Átlagsebesség nagy roverrel: 20 km/h
- ♦ Max. biztonságos lejtőszög gyalogosan: 20°
- ♦ Max. biztonságos lejtőszög roverrel: 10°



- ♦ Folyamatosan szkaferberben töltött időtartam: 8-10 óra
- ♦ Rövid terepi megálló: 15-20 perc, kb. 100 m-es terület bejárása
- ♦ Hosszú terepi megálló: 2-3 óra, kb. 1 km-es terület bejárása

Terepi felszerelések és mobilitásuk

Berendezés	Gyalogos	Kis rover	Nagy rover
Kalapács	+	+	+
Ásó	+	+	+
Fúró (max. mélység: laza regolit 12 m, permafroszt 2 m)			+
Mini röntgen-spektrométer	+	+	
Nagy kapacitású röntgen-spektrométer			+
Mini Mössbauer-spektrométer	+	+	
Nagy kapacitású Mössbauer-spektrométer			+
Pásztázó elektronmikroszkóp			+
Infravörös spektrométer	+	+	+
Optikai mikroszkóp			+
Fényképezőgép	+	+	+
Rajztábla, íróeszköz	+	+	+
Mintagyűjtők	+	+	+

További kiegészítő alapfelszerelés: óra, GPS (folyamatos pozíció rögzítés), rádió (folyamatos hangrögzítés)

Felszínformák elérhetősége

Az elérhetőségi vizsgálatnál a fenti paramétereken túl az alábbi közelítéseket használtuk: a maximális megtehető távolság a maximális terepi sebességből és EVA (terepi séta) időtartamból adódik. A valódi megtehető távolság ennél kevesebb, mivel egy EVA időtartamának kb. 25%-át álló helyzetben töltik, és a valódi útvonal eltér az egyenestől (ennek hosszát a radiális távolság duplájának vettük, azaz adott radiális távolság eléréséhez annak kétszeresét kell megtenni). Mindezeket túl az asztronautáknak vissza is kell érniük a kiindulási ponthoz, ami az összesen bejárando távolságot ismét a duplájára növeli. A kiindulási ponttól mérhető, alábbi radiális távolságok bizonyítják a nyomás alatti légtérű rover szükségességét.



Néhány jellemző felszínforma elérhetősége (a krátereket kivéve)

Képzelt EVA a Marson

A fentiek alapján az MDRS-en 2004.02.11-i *Skyline Rim*hez végrehajtott EVA mintájára egy marsbéli, az előbbinél hosszabb EVA terve látható az alábbiakban. Utóbbi az egykor tóval kitöltött Hesperia-kráterben, a betorkolló csatorna torkolatvidékén zajlik, célja az egykori tavi környezet és a víz, valamint hordalékbeáramlás jellemzőinek vizsgálata. A két EVA fontosabb adatai:

MDRS 23-as legénység

- 4 óra, 2 személy, 2 kis rover

- 7 rövid (15 perces) és 1 hosszú (1 órás) megálló

Megállók:

1. HAB Rim törmelékletítő
- 1-2. HAB Rim keresztelés
2. vizuális térképrajzolás
- 2-4. folyóvízi síkság keresztelése
3. csatornarendszer keresztelése
- 3-4. heglábfelszín keresztelés a hegyre merőlegesen
4. törmelékvizsgálat a *Skyline Rimmel*
- 4-7. heglábfelszín keresztelése a hegyel párhuzamosan
5. vizuálisan felfedezett muszkovit előfordulás
6. részletes törmelékvizsgálat (lejtőszög 10-30°)
7. nagy lecsúszott blokk vizsgálata

Képzelt EVA a Hesperia Paleolake területén a befolyó csatorna torkolatvidékén (d.sz. 2.5° ny.h. 249.5°)

- 9 óra, 4 személy, 2 kis rover

- 8 rövid (20 perces) és 1 hosszú (2 órás) megálló

Megállók:

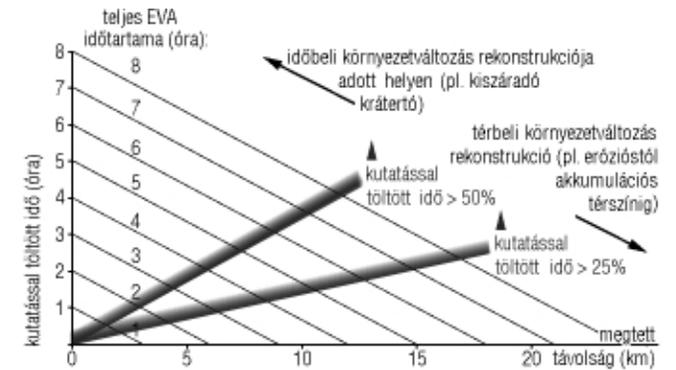
1. kráterfal-kibukkanás
- 1-2. üledékes medence keresztelése (lejtőszög < 2°)
2. blokkvizsgálat
- 2-5. heglábfelszín keresztelése a hegyperemre merőlegesen és párhuzamosan

3. terasz keresztzése
4. hegymászás (lejtőszög 5-20, max. 300 m magasság, 2 óra)
+ közben heglábfelszín- és dűnevizsgálat (lejtőszög < 5, 2 óra)
5. terasz- és heglábfelszín-vizsgálat
6. heglábfelszín terasz
7. blokkvizsgálat
8. blokkvizsgálat
9. kráterfal-kibukkanás

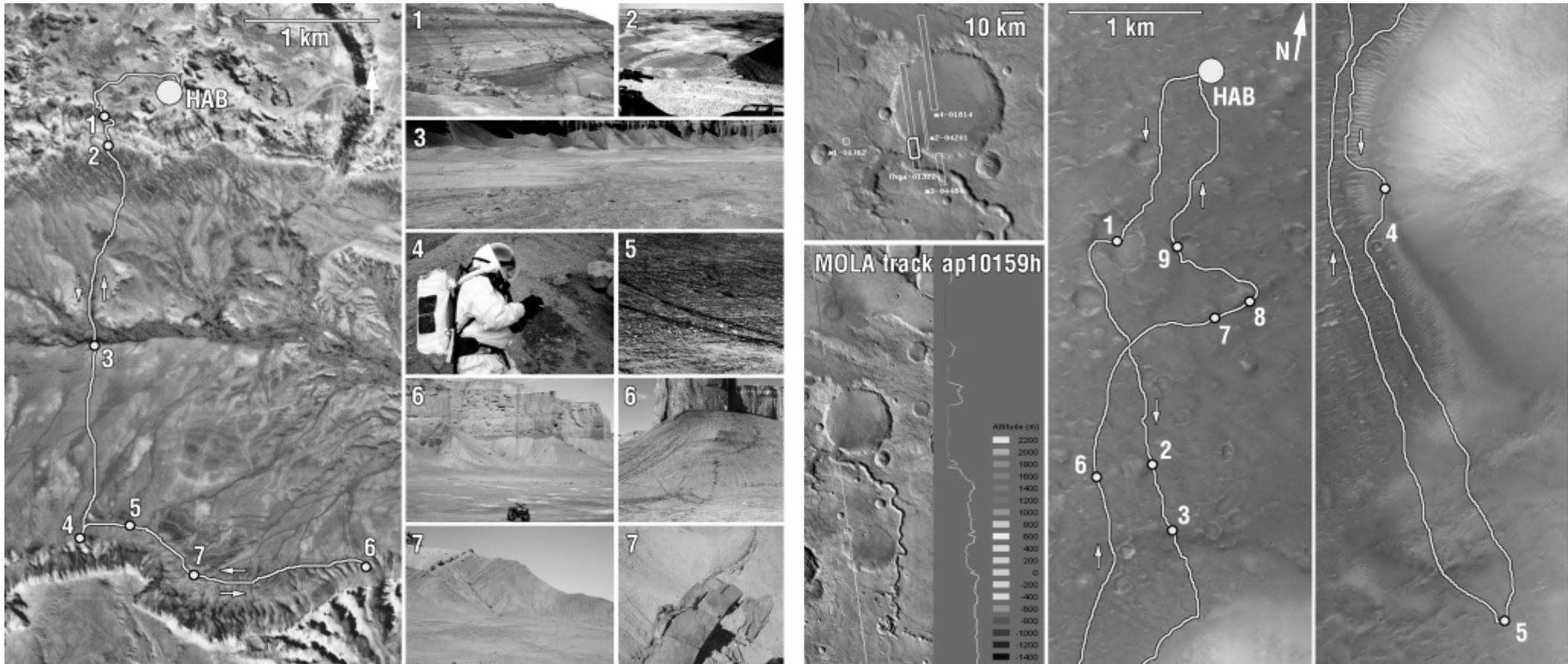
A marsfelszíni munka jellemzői

A terepi munka során fontos, hogy asztronautáink megtalálják az optimális arányt a munkaidő, a bejárható távolság és a magukkal szállított műszerek között. A

mellékelt diagrammon 1–8 órás gyalogos EVA-k bejárható távolsága (vízszintesen) és munkával töltött időtartamai (függőlegesen) láthatók. Minél több időt fordítunk munkára, annál rövidebb a teljes bejárható távolság. A kutatási stratégiát a vizsgálandó képződmény jellemzőihez kell igazítani. Hosszabb kutatási idő és rövidebb távolság szükséges pl. amikor egy üledékgyűjtő adott pontján akarjuk a környezetváltozást rekonstruálni (itt MDRS EVA 4. és 6., megálló; Hesperia-kráter EVA 4. megálló; Opportunity munkája az Eagle- és Endurance-kráterekben). Rövidebb kutatási idő, és hosszabb útvonal akkor alkalmazandó, amikor egy folyamat vagy képződmény (pl. vízfolyásnyom, ősi vízborítottság stb.) térbeli változását akarjuk tanulmányozni (itt MDRS EVA 3–6. pont között;



Hesperia-kráter EVA 3–5. és 5–6. pont között; Spirit munkája a Columbia-hegynél).



MARSI BARANGOLÁS MAGYARORSZÁGON

Kissé talán meglepő módon hazánkban van egy olyan terület, amelynek arculata több szempontból is hasonlít a marsi tájak képehez. Ez a terület a Fejér megyei Gánt település mellett található, ahol az elmúlt évtizedekben folytatott bauxittermelés során óriási méretű bányagödörök és meddőhányó-csoportok jöttek létre, s ezek vörös színe, apró szemcsés törmelékanyaga, illetve gyér növényborítottsága miatt az ember helyenként valóban úgy érezheti magát, mintha a Marson járna.

2004 márciusában itt rendezték meg az *I. Magyar MarsExpedíciót*. A két egymást követő, négy fős diákcsoport részvételével zajlott esemény célja az volt, hogy a lehetőségekhez képest minél jobban modellezze egy Marson működő kutatóállomás élet- és munkakörülményeit, s ennek részeként:

- a tudományos program végrehajtásához szükséges szakmai felkészültséget;
- az együttműködés, az elzártág és az egymásra utaltság pszichológiai hatásait;
- a takarékos erőforrás-felhasználást;
- a tervszerű időbeosztást;
- a kutatási eredmények részletes dokumentációját;
- a kutatóállomás és az irányítóközpont közötti késleltetett kommunikációt;
- a felmerülő váratlan helyzetek önálló megoldásának szükségességét.

(Fontos megemlíteni azokat a Mars és Föld közötti alapvető különbségeket, amelyeket nem lehetett figyelembe venni a modellezés során:

- az emberes marsutazások minimum másfél éves időtartama;
- a Mars felszínén jellemző sugárzási környezet;
- a kisebb nehézségi erő (kb. harmada a földi értéknek);
- a Mars kis nyomású és főként CO₂-ből álló légköre.)

A modellezés két helyszíne a marsi kutatóállomás és a földi irányítóközpont voltak, amelyek között a kommunikációt mikrohullámú rádióösszeköttetés biztosította. A Mars-bázist egy zsiliprendszeren keresztül, s kizárólag teljes szfakafanderöltözékben lehetett elhagyni.

A földi irányítóközpontként működő lakókocsi a bányagödör peremén helyezkedett el, mintegy 220 méterre a Mars-bázistól. Az irányítószemélyzet szinte napi 24 órán át dolgozott két párban felváltva: a küldetésért felelős személy munkáját mindig egy kommunikációs munkatárs segítette.

Napi időbeosztás:

Utazás 06:30-09:00; Érkezési munkafázis 09:00-13:00; A pihenő 13:00-14:00; Nappali munkafázis 14:00-18:00; B pihenő 18:00-19:00; Esti munkafázis 19:00-23:00; Éjszaka 23:00-07:00; Felkészülés 07:00-08:00; Csomagolás 08:00-09:00; Visszatérés 09:00-11:00

A négy fős csapatoknak igen szigorú időbeosztást kellett követniük az expedíció során. A program előtt a diákok részletes eligazításon vettek részt, ahol mindenki elsajátította a kiválasztott szakterületével kapcsolatos tudnivalókat, így minden tudományos témakörnek volt egy-egy specialistája. A szimuláció során mindenkinek végre kellett hajtani a saját feladatát, általában a csapat egy másik tagjával közösen. Emellett a legénység négy tagja közül valaki egyben parancsnok is volt, akinek figyelnie kellett a csapatmunka szervezésére s az esetlegesen felmerülő konfliktushelyzetek megoldására is. A diákok munkáját egy részletes, 50 oldalas dokumentáció segítette, amelyben minden elvégzendő kísérlet leírása és a napi munkabeosztás is megtalálható volt.



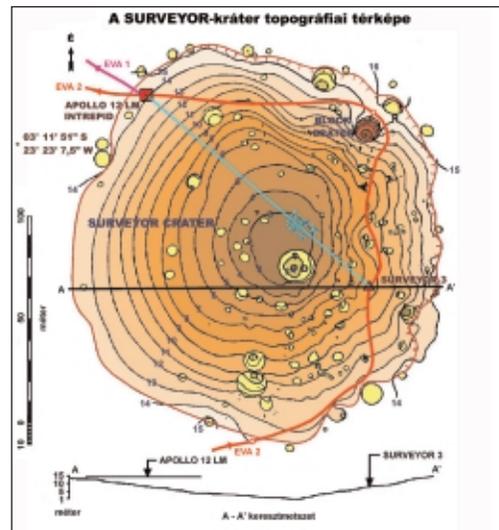
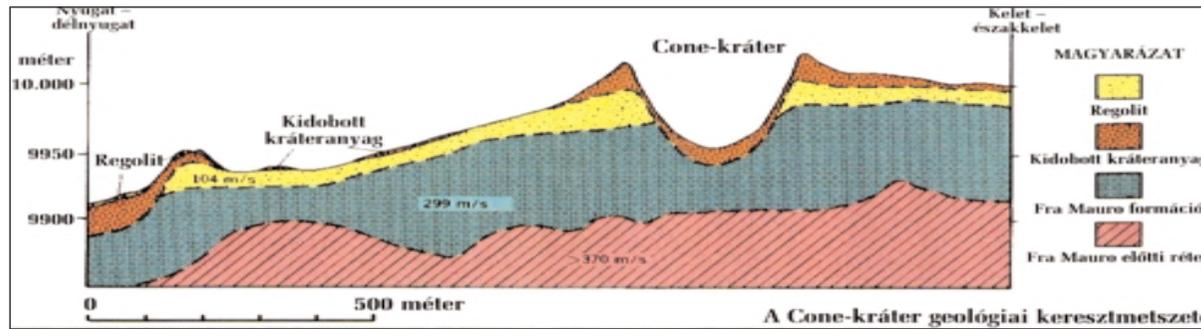
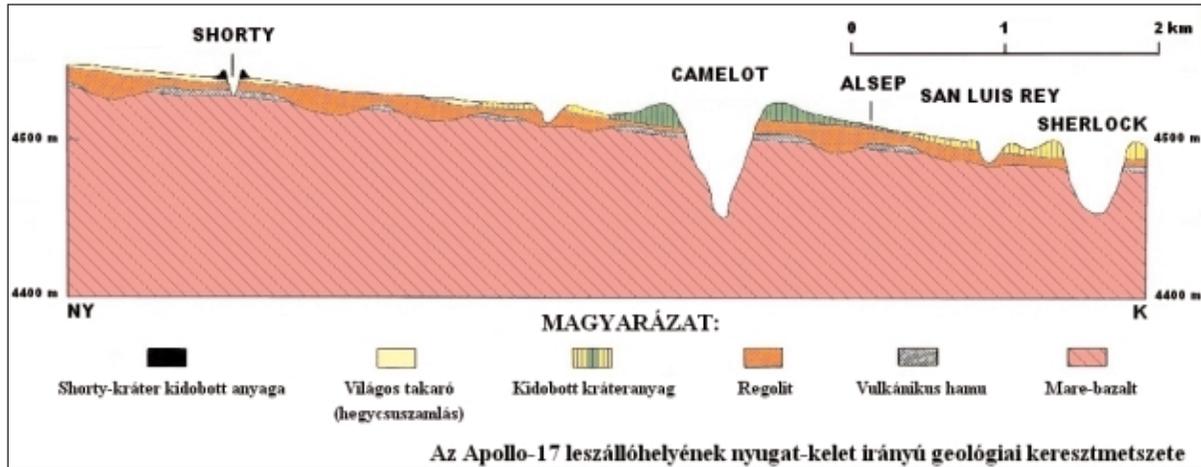
A modellezés résztvevői összetett tudományos programot hajtottak végre. Naponta több alkalommal meteorológiai mérést

végeztek, s ezek alapján meghatározták a hőmérséklet és a légnedvesség napi változását a felszín közelében, illetve két méteres magasságban egyaránt, valamint rendszeresen feljegyezték a területen jellemző széláramlás pillanatnyi sebességét is.

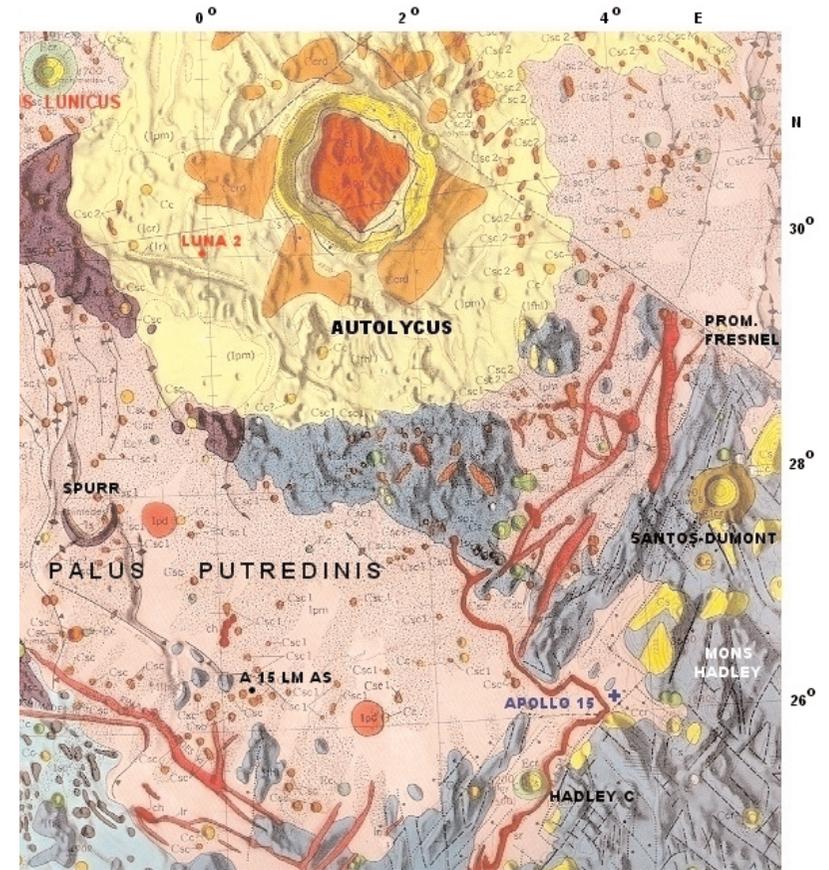
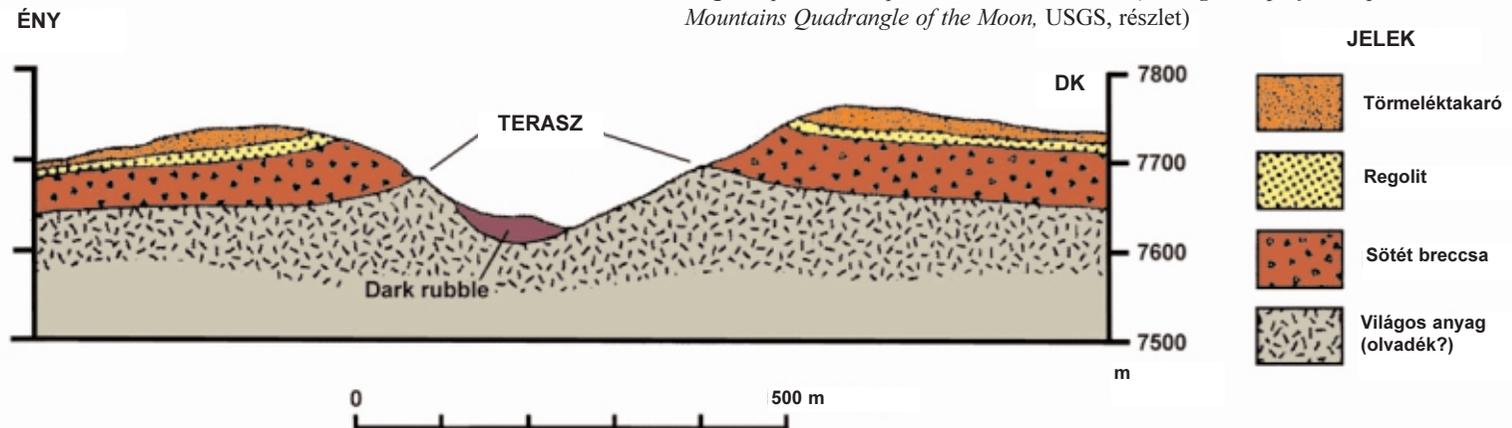
Ezen kívül talajfűrő szerkezettel mintát vettek fél és másfél méteres felszín alatti mélységből a törmelékanyagból, majd este az erre szolgáló tudományos eszközökkel megvizsgálták a mintákban lévő víz mennyiségét és a törmelék szemcseeloszlását, amely eredmények alapján következtetni lehet a terület múltbeli fejlődésére. Emellett biokémiai módszerekkel is tanulmányozták a mintákat: megpróbálták kimutatni azok szervesanyag-tartalmát, illetve táptalajon kitenyészteni a bennük található baktériumokat. Az eredményeket természetesen folyamatosan dokumentálták, és amint lehetett, továbbították a földi irányítóközpontban dolgozóknak.



A csapat robotspecialistája pedig egy legóból épített járművet tesztelt a marsi terepen, amelyet a robotépítő szakkör tagjai készítettek erre a célra. A hat kerekű, programozható szerkezet a NASA *Mars Exploration Rover* jeihez hasonlóan képes arra, hogy automatikusan kikerülje az útjába kerülő akadályokat, így egy későbbi változata talán a Marson is sikerrel járhat majd.

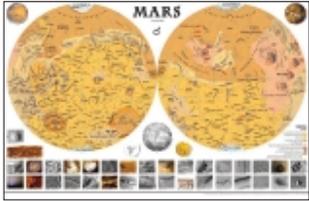


A SOUTH RAY-KRÁTER

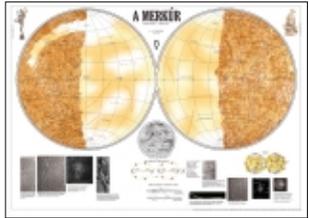


Fenn: az Apollo-15 leszállóhelyének környezete. Színek magyarázata (az eredeti térkép alapján): rózsaszín – mare; szürke-preimbrümi; lila-imbrümi; sárga-kopernikuszi; piros-árok és törésvonal (*Geologic Map of the Apennine Mountains Quadrangle of the Moon, USGS, részlet*)

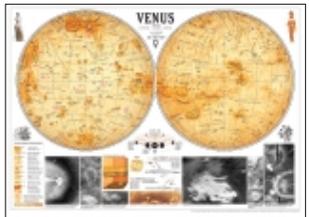
Térképeink



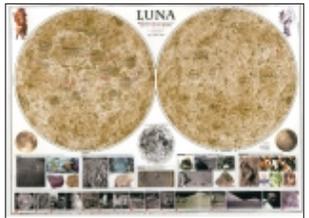
A Mars többnyelvű térképe



A Merkúr többnyelvű térképe

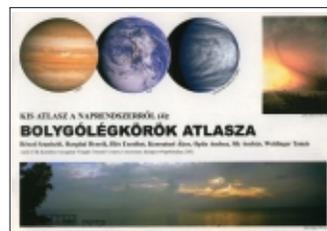
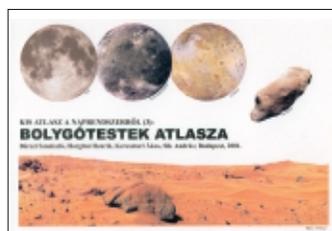


A Vénusz többnyelvű térképe



A Hold többnyelvű térképe

A térképek és a Kis atlasz a Naprendszeréről sorozat kötetei megtalálhatók és beszerezhetők a Koszmos Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoportnál:
Bérczi Szaniszló
1117 Budapest
Pázmány Péter sétány 1/A
bercziszani@ludens.elte.hu



Sorozatunk korábbi kötetei:

1. Holdkőzetekről, meteoritekről 2000.
2. A Surveyor alapján megépített Hunveyor 2001. (angolul is)
3. Bolygótestek atlasza 2001.
4. Bolygó légkörök atlasza 2002.
5. Űrkutatás és geometria 2002.
6. Bolygó felszíni mikrokörnyezetek Atlasza 2003. (angolul is)



ELTE TTK – MTA
Koszmos Anyagokat Vizsgáló
Űrkutató Csoport

[HTTP://PLANETOLOGIA.ELTE.HU](http://planetologia.elte.hu)