

SIK ANDRÁS

Curiosity – egy földi év a Marson

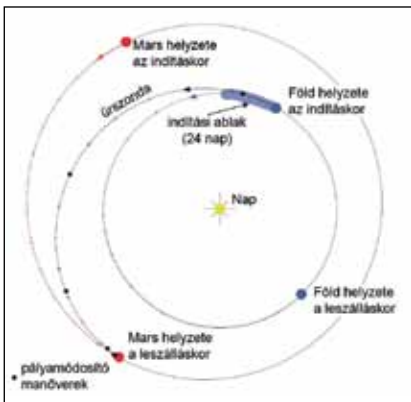
Tavaly nyáron új korszak kezdődött a vörös bolygó kutatásában: a víz több milliárd éves történetét és jelenlegi előfordulását tanulmányozó küldetések után végre egy olyan űrszonda érkezett felszínére, amely a fagyos környezet lakhatóságát vizsgálja, illetve a feltételezett múltbeli élőlények szerves anyagu maradványait keresi. A hatkerekű jármű azóta már közel két kilométert gurult a zord marsi terepen, s rendkívül izgalmas eredményei arra utalnak, hogy a leszállóhely térségében egykor talán valóban létezhetett a Földön kívüli élet!

2012. augusztus 6-án, hazai idő szerint hétfő reggel egy hevesen izzó szerkezet süvített át a Mars ritka légkörén és 7:18-kor sikeresen leszállt az égitestre, rövid időre megzavarva a vörös táj dermedt nyugalalmát. Ám a Földön minderről senki nem tudott. ...

...még kb. 14 percig, ugyanis a világűrben fénysebességgel haladó rádiójelek ennyi idő alatt tették meg a két bolygó közötti, ekkor nagyjából 248 millió kilométeres távolságot (1. ábra). Természetesen a földi irányítóközpontból küldött utasításokat is hasonló késés terheli, így a landolást az űreszköz fedélzeti számítógépe irányította automatikus üzemmódban.

Az egy földi éve tartó küldetést a NASA Sugárhajtás Laboratóriuma (Jet Propulsion Laboratory, röviden JPL) valósítja meg, hivatalos elnevezése Mars Science Laboratory, rövidítése pedig MSL. A felszínen dolgozó járművet viszont – egy névadási pályázatot megnyert amerikai diáklány javaslatára – Curiosity rovernek hívják, ami magyarul kíváncsiságot és különlegességet is jelent. Fejlesztése több mint egy évtizede kezdődött, s becslések szerint a rakétaindítással, illetve a földi irányítóközpont működési költségeivel együtt hozzávetőlegesen 2,5 milliárd dollárba kerül.

1. ábra. A Curiosity útvonala, valamint a két bolygó egymáshoz viszonyított helyzete az indítás és a leszállás időpontjában



2. ábra. A Curiosity a piros kereszttel jelölt helyre érkezett meg a Gale-kráterbe, egészen közel a 7 x 20 kilométer nagyságú landolási ellipszis középpontjához

Technológiai és tudományos mérföldkő

Az emberiség által eddig készített legfejlettebb bolygókutató űrszonda 2011. november 26-án indult el a Marshoz és 8,5 hónapig tartó utazása során 567 millió kilométert tett meg a világűrben.

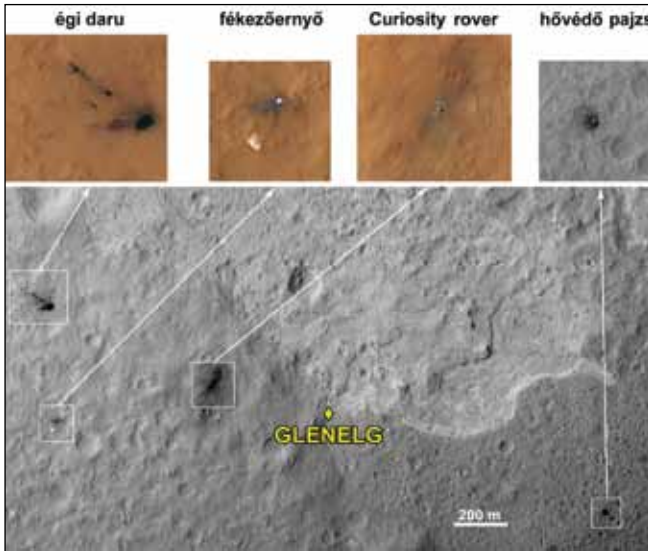
A 900 kilogramm össztömegű roverrel azonban nem lett volna biztonságos a kisebb méretű leszállóegységeknél korábban alkalmazott, légszak-burkolattal tompított landolás.¹ Ezért az MSL-küldetés mérnökei teljesen új módszert fejlesztettek ki: a fékezőernyő kinyílása és a hővédő pajzs leválása után bekapcsolódtak az ereszkedő egység fékezőrakétái, hogy önmagát irányítva megközelíthesse a leszállóhelyet, majd működésbe lépett „égi daru” berendezése, amely egy kb. 7,5 méter hosszúságú kábelrendszerrel gurulóképes állapotban leengedte a járművet

¹ A vörös bolygó felszínén a nehézségi gyorsulás a Földön mérhető érték 38%-a, ezért egy marsi mérlegen a Curiosity súlya csak kb. harmada lenne a földinek – a leszállás során fellépő erőhatások azonban az űrszonda tömegével arányosak, ez pedig független az égitest gravitációjának nagyságától.

a felszínre, végül pedig több száz méterrel távolabb repült és becsapódott.

A merész landolás tervezői közel egymillió szimuláció alapján próbálták előre kizárni az összes hibalehetőséget, mégis minden várakozásukat felülmúlta, hogy az eredményes pontossággal időzített műveletek végül tökéletesen sikerültek, s a rover alig 2 kilométerre az eredetileg kijelölt célponttól érte el a bolygót (2. ábra), az ereszkedés során levált alkatrészekkel körülveve (3. ábra). Ráadásul ennek a jövőbeli, emberes küldetések szempontjából is rendkívül nagy jelentősége van, mivel azoknál tényleg életbevágóan fontos lesz, hogy a leszállás biztosan a bázis közelében történjen!

A Curiosity elsődleges tudományos célkitűzése külső szomszédunk lakhatóságának vizsgálata, vagyis kideríteni, hogy milyen környezeti viszonyok jellemezték a múltban, illetve hogy elviselhető feltételeket kínált-e valamilyen életforma számára. Ennek részeként a robotkarján található közetfúró berendezéssel és törmelékmarkoló lapáttal gyűjtött mintákon anyagvizsgálatokat végez, műszereivel biokémiai folyamatok, széntartalmú vegyületek és szerves anyagok előfordulási nyomait keresi, kameráival nagy felbontású panoráma-felvételeket készít, to-



3. ábra. A leszállás nyomai egy a keringőegység által készített űrfelvételen

vábbá részletesen tanulmányozza a felszín sugárzási viszonyait, a légkör összetételét és az időjárás folyamatokat (4. ábra).

A küldetés tervezett időtartama egy marsi év (vagyis 687 földi nap), s ennek már el is telt több mint a fele, ám a rover műszaki állapota várhatóan lehetővé teszi, hogy meghosszabbítsák egy újabb marsi évre. Energiaforrása ugyanis egy radioizotópos termoelektromos generátor (RTG), amely plutónium radioaktív bomlásának hőjéből termel elektromos áramot, legalább 14 földi éven keresztül.

A 3 méter hosszúságú és 2,1 méter magas szerkezet kerekeinek átmérője 0,5 méter, robotkarját pedig akár 2 méterre is ki tudja nyújtani. Szilárd, lapos felszínen maximális gurulási sebessége 2,3 méter/perc, fedélzeti navigációs rendszere azonban folyamatosan elemzi a domborzati viszonyokat és kikürtöli a veszélyt jelentő tereppontokat, jelentősen lassítva mozgását. Így átlagos körülmények esetén néhány tucat métert képes haladni egy marsi nap során (további technikai részletek lapunk 143. évfolyamának 8. számában, Kereszturi Ákos: A legnagyobb marsjáró című cikkében olvashatók, amely 2012. augusztusában jelent meg).

Egy ősi krátertől aljzatán

A leszállóhely-választás mindig kulcsfontosságú döntés, mivel a néhány kilométeres körzetében végzett kutatómunka eredményeiből gyakran az egész égitestre vonatkozó, általános jellemvonásokra kell következtetni.

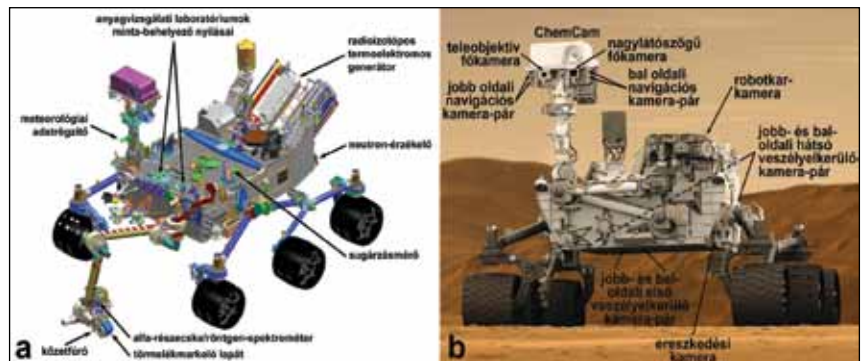
Éppen ezért a Curiosity felszíni célpontjának meghatározását évekig tartó, nemzetközi konferencia-sorozat előzte meg, s a korábbi küldetések landolási ellipsziseinél sokkal kisebb méretű zónát végül a 154 kilométer át-

mérőjű Gale-kráter lapos aljzatán jelölték ki (2. ábra). A formakincs alapján ugyanis valószínűnek tűnt, hogy valamikor a múltban itt egy tó vize hullámzott és üledék-retegek rakódtak le (bővebb fejlődéstörténetét Both Előd: Miért éppen a Gale? című cikke mutatja be, amely 2013. januári számunkban jelent meg), a rover pedig már néhány héttel érkezése után bizonyítékokkal igazolta ezeket az elképzeléseket!

A science-fiction író Ray Bradbury tiszteletére elnevezett leszállóhelyről (d. sz. 4,6°; k. h. 137,4°) észak felé nézve kanyargó világos alakzatot fotózott le a kb. 20 kilométeres távolságban húzódó, felszabdalt kráterfalon: az egykor befelé folyó vizek által kimélyített völgy nyomvonalát (5. ábra – lásd borítólaponk III. oldalán). Majd fedélzeti berendezéseinek és tudományos műszereinek tesztelése után kelet felé indult el marsi barangolása során, a Glenelg-pont irányába (6. ábra).

A Glenelg-pont után egy látványos kőzet-lapos aljzathoz érkezett (zöld szaggatott vonal jelöli a 6. ábrán), ahol a sötét árnyalatú, enyhe lejtésű térszint felváltották a Yellowknife Bay elnevezésű terület világos színű, alacsonyabb helyzetű rétegei (8. ábra - BIII). Ezek repedéses mintázata arra utal, hogy a feltehetőleg iszapos-homokos törmelékből létrejött kőzetek utólag összetöredeztek, s vizes oldatok járták át belsejüket keményebb, világos ásványkiválásokkal töltve ki a szűk réseket. A közeli felvételeken olyan apró, szinte szabályos gömb alakú sötét szemcsék is láthatók, amelyek nagyon hasonlítanak az Opportunity által megfigyelt szferulákhoz, s keletkezésük legelfogadottabb magyarázata szerint ugyan-csak folyékony vízből válhattak ki.

A Curiosity elsődleges vizsgálati célterülete azonban nem a lapos aljzaton található, hanem a kráter közepén emelkedő, 5500 méter magas Aeolis-hegynél (a NASA közleményei ezt gyakran a nem hivatalos Mount Sharp néven említik). A keringőegységekkel gyűjtött adatok szerint oldallejtőjén ugyanis szulfát-tartalmú agyágrétegek bukkannak a felszínre, s a földi analógiákat figyelembe véve éppen ezekben lehetett a legnagyobb esély a feltételezett múltbeli élőlények szerves maradványainak megőrződésére (9. ábra). A rover jelenleg kb. 8 kilométerre van az Aeolis-hegytől, ám nagyfelbontású kamerájának felvételein már jól látható az elsődleges vizsgálati célterület rétegsora, valamint az odafelé vezető útvonalon elakadásvészélyt jelentő sötét dűnemezők is (10. ábra- BIII).



4. ábra. A Curiosity legfontosabb műszerei (a), valamint tudományos és mérnöki kamerái (b)

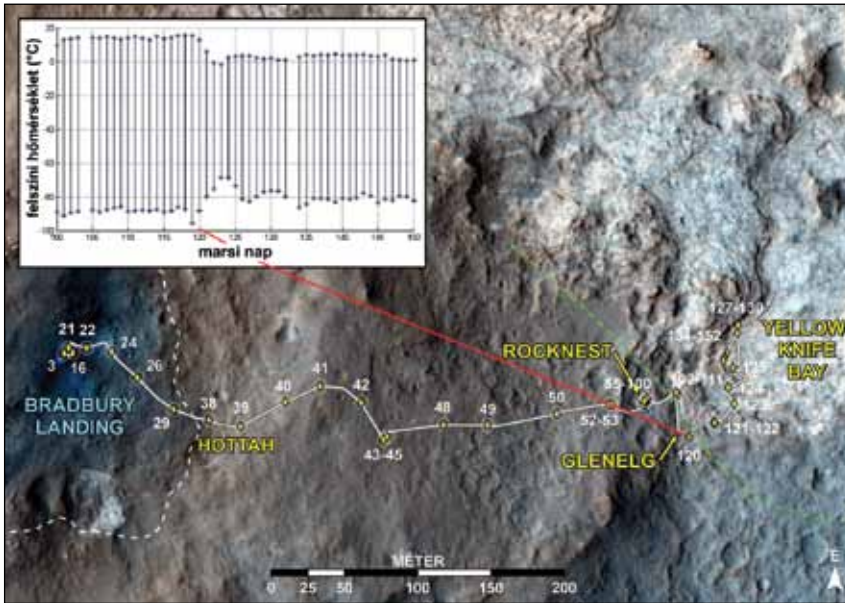
Néhány hét múlva, a Hottah-pontnál egy összecementált konglomerátum-kibukkanás mellett haladt el, amelynek lekerekített formájú kavicsai minden bizonnyal görgötte szállítódtak felhalmozódási helyükre, egy ősi vízfolyás medrében (7. ábra).

Nagyjából a küldetés 120. marsi napján váltakozó dőlésszögű, keresztirétegzett üledékanyagot talált, ezzel is a kavarogva áramló vagy hullámzó víz múltbeli jelenlétét támasztva alá – a Spirit és Opportunity roverek 8 évvel korábbi felfedezéseikhez hasonlóan.

Anyagvizsgálat és mintavétel

A leszállóegységek közvetlen módszerekkel elemzik a felszíni anyagokat, így terepi bizonyossággal ellenőrizhetik a keringőegységek távérzékelési eljárásokkal gyűjtött adatait. A Curiosity több, különböző elven működő anyagvizsgálati eszközzel is rendelkezik, s mindegyiket eredményesen használta már a küldetés első földi évében.

Az összetétel hozzávetőleges megállapítására szolgáló ChemCam nevű műszer lé-



6. ábra. A Curiosity által 2012 végéig megtett útvonal térképe és a felszíni hőmérséklet napi ingadozásának grafikonja

zernyalábjá elpárologtat egy kis mennyiséget a vizsgált kőzetanyagból, spektrométere pedig azonosítja az így keletkező gáz alkotóelemeit. Mérései alapján úgy tűnik, hogy a Yellowknife Bay világos ásványkiválásai magas kalcium-tartalmú szulfátos anyagból, vagyis gipszhez hasonló vegyületből állnak (11. ábra).

A robotkar alfa-részecske/röntgen-spektrométeréhez (APXS) hasonló berendezések a korábbi küldetések járművein is üzemeltek, így van lehetőség kémiai hasonlóságokat és különbségeket találni az eddigi leszállóhelyek felszíni anyagai között. Miután a járművet beirányították egy kisebb dűnébe és kb. 40 centiméteres szélességben feltárta annak homokos-agyagos törmelékét, APXS-elemzést is végzett. Ennek eredménye szerint a legapróbb szemcsék vegyületarányai igen pontos egyezést mutatnak a Spirit és az Opportunity által meghatározott értékekkel – igazolva, hogy a rendkívül hosszú ideje működő széltevékenység átkeverő hatása már globálisan egységes összetételű felszíni porréteget hozott létre az égitesten.

A Curiosity neutron-érzékelőjével a törmelékérték legfelső 60 centiméterének H₂O-tartalma becsülhető meg a haladási útvonal mentén. Az első mérések szerint a felszín alatti H₂O mennyisége 1–3% között változik a leszállóhely térségében, ám a fagyott vízjég és a hidratált ásványokban kémiaiilag kötött vízmolekulák elkülönítéséhez további adatok szükségesek.

Szerves anyagok jelenléte a rover két anyagvizsgáló laboratóriumában mutatható ki, amelyekbe fedélzeti nyílásaikon

keresztül lehet behelyezni a robotkar szűrőrendszerében megszáított mintákat.

Laza szerkezetű üledékekből a 4,5x7 centiméter méretű törmelékmarkoló lapáttal tud mintát venni, egyszerre kb. 20 gramm mennyiségűt (12. ábra - BIII). A Rocknest-pontnál történt mintavétel anyagáról először részletes felvételek készültek a 8 centiméter átmérőjű megfigyelőtálcán, majd kb. fél-fél gyógyszer-tabletta-méretű részei a küldetés 71. marsi napján bekerültek a CheMin, illetve néhány héttel később a SAM elnevezésű laboratóriumba is.

Az előbbi vizsgálataiból többek között sikerült pontosítani a Gale-kráter bazaltos kőzeteinek mállási történetét, s így ásványtani megfigyelésekkel is alátámasztani, hogy a területet egykor nedves viszonyok jellemezték. Az utóbbi berendezés eredményeinek közzétételét – a küldetés tudományos vezetőjének nagyszabású felfedezést említő nyilatkozata miatt – egy hónapos találgatás előzte meg, végül pedig az derült ki, hogy egyszerű szerves molekulákat azonosított kis mennyiségben: klórtartalmú szénvegyületeket, például klórmetán (CH₃Cl) és kloroform (CHCl₃) gázokat. Am ezek biztosan nem élettevékenységre utalnak, hanem a SAM-laboratóriumban végzett vizsgálatok során keletkeztek, a felszíni törmelékanyagban már korábban kimutatott perklorát-vegyületek kémiai reakcióinak termékeként. Ráadásul a NASA szerint a talált vegyületek széntartalma akár földi szennyeződésből is származhat, ami esetleg a kalibrációs tesztek során maradt a műszer belsejében.

Keményebb kőzetanyagból pedig a robotkar fűrőberendezésével vehető minta, legfeljebb 6 centiméteres mélységből (13. ábra). Ennek használatára azonban a küldetés 180. marsi napjáig vágni kellett. A célpont csiszolókefével végzett letisztítása és a tesztelés után végül csak 2013. február 8-án került sor az űrkutatás történetének első távvezérelt kőzetfűrészi műveletére. A Yellowknife Bay sík terepén kialakított lyukból, vagyis a sziklafelszín málladékborítása alól származó minta egy része az 1. és 2. kamrákon át a robotkar szűrőrendszerébe, onnan pedig a jármű anyagvizsgáló laboratóriumaiba került (14. ábra - BIII).

Az egy hónapig tartó mérésekből a küldetés szakemberei azt a rendkívül izgalmas következtetést vonták le, hogy több milliárd

7. ábra. Folyóvízi görgetéssel koptatott kavics a leszállóhely közelében





9. ábra. Az Aeolis-hegy a Curiosity felvételén

évvél ezelőtt a leszállóhely térsége lakható volt a földi baktériumokhoz hasonló élőlények számára! Az agyagtartalmú fűrésmin-tában ugyanis különböző oxidáltságú kénvegyületeket azonosítottak, amelyek egymásba történő kémiai átalakítása, a kemoszintézis akár valamilyen primitív múltbeli élettevékenység energiaforrása is lehetett. Továbbá nitrogén, hidrogén, oxigén, foszfor és szén jelenlétét is sikerült kimutatni, vagyis a Gale-kráter nedves aljzatán egykor az általunk ismert életforma legtöbb alkotó-eleme rendelkezésre állt. S a kifűrt törmelék árnyalata is erősíti a lakhatóságra vonatkozó feltételezéseket, mivel az erősen oxidált, vöröses hematit helyett sokkal elviselhetőbb sókoncentrációjú, illetve kémhatású környezetben létrejött, szürkés-feketés vasásványok színezik. (100 marsi nappal később és néhány méterrel távolabb a Curiosity egy másik fűrészt is végzett a Cumberland elnevezésű helyen, hogy új mintával ellenőrizhessék a kiemelkedő jelentőségű eredményeket.)

Légköri mérések

A Curiosity feladatai közé tartozik a marsi atmoszféra részletes tanulmányozása is. Leszálláskor már a végéhez közeledett a téli évszak a Gale-kráter területén, s a felszíni hőmérséklet $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ között változott a napok során (6. ábra). Azóta nagyjából fél marsi év telt el, jelentős mértékű eltolódás azonban nem mutatható ki ezekben az értékekben.

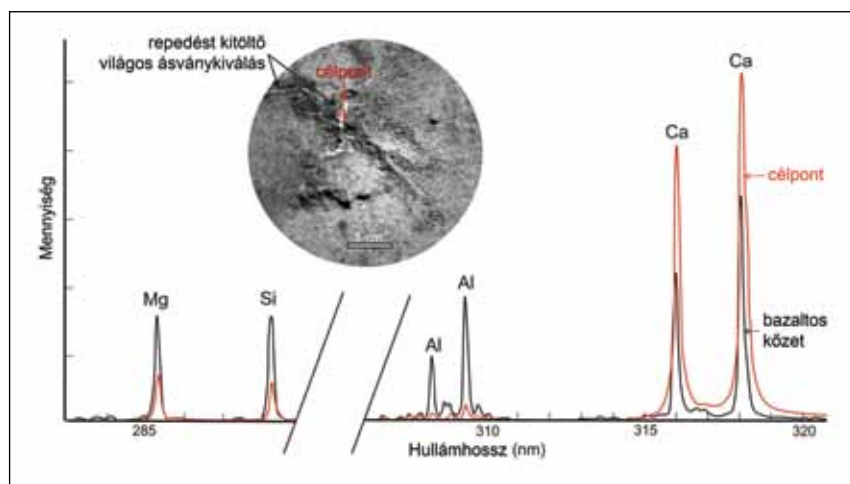
Az alacsony sűrűségű gázburok nyomása csak 0,6%-át éri el saját bolygónk tengerszinten mérhető légnyomásának (ezért a H_2O gyakorlatilag jég vagy gőz formában lehet stabil a felszínen), ám napi, évszakos és szabálytalan ingadozása egyaránt megfigyelhető (15. ábra). A délelőtti maximum és a délutáni minimum közötti

eltérés legalább 10%, a nyári időszak átlaga pedig akár 30%-kal is több lehet a téli értéknél (mivel az időszakos jégsapkák anyaga tavasszal visszaszublimál a légkörbe). A közelben zajló nagyobb porviharok is befolyásolják a nyomásviszonyokat, főként a légkörbe került poranyag által elnyelt napsugárzás melegítő hatásán keresztül.

Alig egy hónappal megérkezése után a jármű kamerái egy marsi napfogyatkozásról is készítettek felvételeket, miközben a bolygó nagyobbik, Phobos elnevezé-

oxigén viszont csak nyomokban fordul elő a bolygón. Az utóbbi években azonban egyre növekvő bizonytalanság övezte a metán jelenlétét, ami – földi analógiákat figyelembe véve – vulkáni tevékenység vagy életfolyamatok során kerülhet a légkörbe. Éppen ezért a Curiosity felszínközeli gázminták összetételét is elemezte érzékeny laboratóriumaiban, ám metánra utaló jeleket nem talált.

A légkör fejlődéstörténetét tanulmányozva több különböző módszerrel igazolta, hogy a múltban a felső rétegekből



11. ábra. A Yellowknife Bay világos ásványkitöltésére igazított célpont összetétele a ChemCam által készített spektrumgörbén

sű holdja a leszállóhelyről nézve áthaladt csillagunk pereme előtt. Külső szomszédunk napfogyatkozásai azonban csak részleges vagy gyűrűs típusúak lehetnek, két holdjának apró mérete miatt.

Hosszú ideje közismert, hogy az atmoszférában 95% szén-dioxid található,

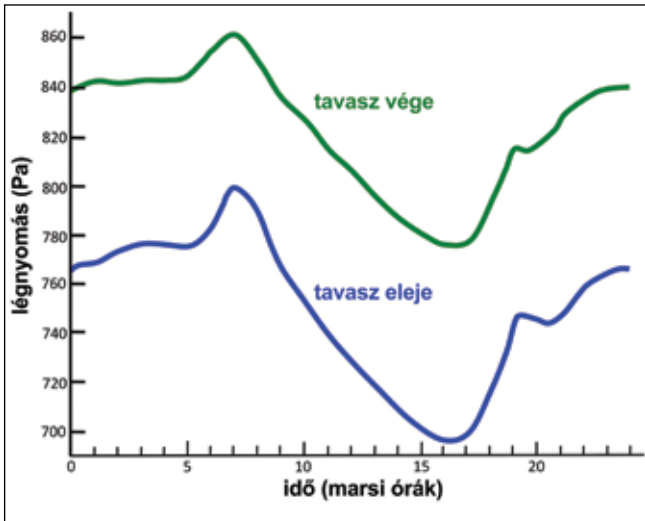
jelentős gázmennyiség szökött el a bolygóközi térbe. Erre utal a szén-dioxidot alkotó szénatomok nehezebb, ^{13}C -izotópjának kb. 5%-os többlete és a nagyobb tömegű ^{38}Ar -izotóp dúsulása becsült kezdeti mennyiségeikhez képest, valamint a marsi vízgőz deutérium/hidrogén arányának földinél magasabb értéke is, ami szintén a nehezebb deutérium-izotóp alsólégköri koncentrációjával és így relatív kisebb mértékű veszteségével magyarázható.

13. ábra. A robotkar célponthoz illesztése fűrés előtt (a), a fűrófej érintkezés-érzékelői és metszeti rajza (b), valamint közeli látványa (c)



Sugárzási viszonyok

A lakhatóság értékelésében a felszín sugárterhelése is nagyon fontos tényező. Mivel a Marsnak nincs ózonrétege és globális mágneses mező sem védi a különböző típusú sugárzásoktól, a földinél kb. két



15. ábra. A felszíni légnymás ingadozása egy nap során, a tavaszi évszak elején és végén

nagyságrenddel több terhelés mérhető vörös tájain.

A Curiosity érzékeny sugármérő beállítása a bolygóközi utazás közben is gyűjtött adatokat, s eredményei szerint a világűrben töltött 8,5 hónap hasonló mértékű összesített sugárterhelést jelent, mint amennyi egy átlagembert teljes élete során ér a Földön. Az érzékelő napjainkban persze már a marsi felszínen végzi megfigyeléseit.

Technikai problémák és jövőbeli feladatok

Közel egy földi évvel a leszállás után a Curiosity remek műszaki állapotban van, a küldetés irányítói pedig sikeresen kezelték az eddig felmerült váratlan helyzeteket.

A legemlékezetesebb talán a Rocknest-pontnál zajló mintavétel felfüggesztése volt egy apró fényes tárgy miatt, amelyet a felszíni törmelékanyag szemcséi között vettek észre a rover egyik áttekintő felvételén. Így a 62–63. marsi napok az eleinte még csavarnak tűnő objektum vizsgálatával teltek, részletesebb képek alapján (16. ábra - BIII). Ezeken már jól látható, hogy a tárgy valójában a külső vezetékek szigetelőanyagának egy darabja, s valószínűleg az égi daru kábelrendszerének leválása közben hullott a jármű fedélzetére, onnan pedig a mintavétel során leesett a felszínre.

Öt hónap múlva, 2013. február 28-án a Curiosity elsődleges fedélzeti számítógépe váratlanul meghibásodott, ám a földi irányítóközpont szakemberei átadták a vezérlést másik, teljesen azonos számítógépének. Ez a biztonsági üzemmódnak nevezett állapot csak néhány napig

tartott, a hiba teljes kijavításához viszont nagyjából két hétre volt szükség. Nem sokkal később egy szoftverprobléma miatt a szerkezet ismét biztonsági üzemmódra váltott, de szerencsére ezt is sikerült rövid időn belül megoldani.

Adattovábbítás szempontjából az idei év április hónapja volt a legnehezebb időszak, mivel a Nap átmenetileg a Föld és a Mars közé került, jelentős mértékben rontva a rádiójelekkel zajló bolygóközi kommunikáció megbízhatóságát. Ezért az irányítóközpontból május elejéig szinte

egyáltalán nem is küldtek további utasításokat, s persze tudományos adatok sem érkeztek a roverről.

A küldetés jövőbeli menetrendje szerint a Yellowknife Bay területén végzett kutatómunka után a Curiosity végre elindult elsődleges vizsgálati célterületének irányába. Eddig összesen már közel két kilométert tett meg a felszínen, s a következő hónapokat elemzések helyett főként gurulással tölti, kb. 8 kilométert haladva délnyugat felé (17. ábra). Előreláthatólag 2014 tavaszán éri majd el az Aeolis-hegy oldallejtőjét, hogy mintát vegyen az ott felszínre bukkanó szulfáttartalmú agyagrétegekből és anyagvizsgálati laboratóriumaiiban bizonyítékot keressen a Földön kívüli élet létezésére!

Ábrák forrása: NASA/JPL-Caltech/MSSS

További információk az [origo] internetes portál Tudomány rovatának Curiosity-cikkgyűjteményében olvashatók a küldetésről: <http://cimkezes.origo.hu/cimkek/curiosity/index.html>

17. ábra. A leszállóhely, a közelmúltig vizsgált Yellowknife Bay térség, valamint az Aeolis-hegy oldallejtőjén található elsődleges vizsgálati célterület térképe

