

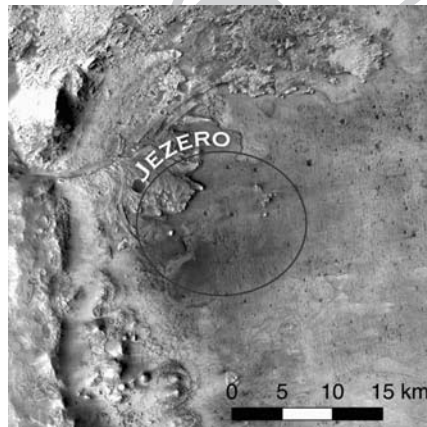
## Kezdődik a mintagyűjtés a Marson

Eddig a vörös bolygóra küldött űrszondák az ott mutatkozó jelenségeket, anyagokat próbálták minél tüzetesebben vizsgálni – a nemrég startolt Mars 2020 roverrel azonban továbblépett a stratégia. Közeledünk ugyanis egy új, minőségi ugráshoz a bolygó megismerése során: ez pedig a marsi anyagminta hozatala a Földre. A NASA és ESA együttműködésével tervezett (és még további űrügynökségek bevonásával is járó) Mars Sample Return (MSR) program a következő évtized legfontosabb, a Naprendszer kutató eseményének ígérkezik. Ennek keretében a feladat összegyűjteni, majd a Földre visszahozni a marsi mintákat, amiket majd bolygónkon olyan nagy és összetett műszerekkel és olyan tartósan lehet elemezni, ahogy a Marson nem lehetséges. A szakemberek mindentől áttörést várnak a bolygó múltjának és főleg az élet lehetőségének megismerése terén – ebben teszi meg az első lépést a Mars 2020 rover.

A Perseverance, azaz Kitartás nevű marsjáró a Curiosity számára kifejlesztett leszálló rendszert, annak „karosszériáját” (a korábbiaknál erősebb hat kerékkel) és a start idején 110 W-ot termelő radioaktív energiaforrást (Multi-Mission Radioisotope Thermoelectric Generator - MMRTG) fog használni. A 2020. július 20-án indult Perseverance hét hónappal később, és legfeljebb hat pályamódosítás után, 2021. február 18-án, helyi időben kora délután landol majd a Jezero-kráterben lévő egykori folyó által lerakott üledékes képződmény mellett a Marson.

A program célja anyagminták összegyűjtése, az egykori élet lehetőségének vizsgálata, és ezzel összefüggésben a geológiai fejlődéstörténet rekonstrukciója. Az összegyűjtött mintákban már itt a Földön a biomarkerek, azaz egykor életnyomok keresése a kiemelt cél. A Mars 2020 a helyszíni kutatás mellett csak begyűjti, és kis téglékbe helyezi a mintákat. Azokat egy későbbi, másik rover

fogja behelyezni abba a felszálló egységbe, amely Mars körüli pályára emeli őket, ott egy további űreszközkhöz kapcsolódik, és az utóbbi juttatja majd vissza Földünkre a mintákat. Egyik problematikus vonatkozása a módszerek, hogy a kiemelt minták több évet fognak a Mars felszínén tölteni, ahol valamivel intenzívebb besugárzás és egy kicsit élénkebb napi hőingadozás éri őket, mint eredeti, néhány centiméter mély helyzetükben. Azonban mivel sok és eltérő mintát hasznos a Földre hozni, ezek kinyerése nem oldható meg közvetlenül a Földre történő szállítás előtt.



A célpont: a Jezero-kráterben lévő folyóvízi üledékes képződmény (balra) és a landolási ellipszis (középen) (NASA, Wronkiewicz 2018)

A szonda az érkezése előtt közel két héttel ébreszti fel magát, ennek keretében feltölti az akkumulátorait a napelemek segítségével, több egységét felmelegíti. A legveszélyesebb művelet, a leszállás, a Curiosity esetében már sikeresen kipróbált módszert követi. A légkörbe lépés közvetlenül bolygóközi pályáról, fékezés nélkül történik 5,2-5,6 km/s sebességgel. A légköri belépés előtt kb. 10 perccel válik le a bolygóközi úton a fel-

adatokat ellátó egység, majd a belépés után kb. 75 másodperccel éri el a hővédő pajzs a maximális hőmérsékletét 1300 °C körül. A műveletek során mindvégig tartja a rádiókapcsolatot a Mars körül keringő MAVEN és MRO szondákkal (amelyek az adást valószínűleg csak később továbbítják a Föld felé), és közvetlenül a Földre is sugároz – utóbbi 10,5 perc időközéssel vesszük itt bolygónkon. Az 21,5 m átmérőjű fékezőernyő közel 11 km magasan, 1500 km/h sebességnél nyílik – itt újdonság, hogy a korábbiakkal ellentétben nem a sebesség, hanem a Mars felszínéhez viszonyított helyzet alapján jelöli ki a rendszer az ideális pillanatot az ernyő nyitására. Ezt követően válik le a hővédő pajzs, bekapcsolódik a felszínt figyelő kamera, majd 90 másodperccel később, közel 2,1 km magasan a felső burkolat is leválik. Megkezdődik működését a nyolc fékező rakéta, amelyek fokozatosan nullára csökkentik a függőleges és a vízszintes sebességet is.

Az egyik újdonság a korábinál fejlettebb autonóm navigációs rendszer (ún. Terrain-Relative Navigation), amely a korábinál intelligensebben koordinálja a szonda mozgását: tereptárgyakat azonosít, korrigálni tudja a szél hatását, és egy szikláktól mentes területet választ ki a pontos landoláshoz. A rendszer közel 600 m-rel képes a leszállás helyét oldalirányba módosítani, és az ereszkedés végén akár 40 m-es pontossággal is képes landolni egy kijelölt pontban. Maga a leszállási ellipszis egyébként 16x14 km-es, kisebb, mint bármely korábbi Mars-szondánál. A leszállás végén a felszín felett 20 m magasan eresztik ki a rovert a kábeleken, majd helyezi a rendszer le a felszínre. Ezt követően a kábeleket leválasztják, és a rakétás egység messze elrepül, majd becsapódik. A landolás után a rendszerek felélesztése és ellenőrzése történik néhány napon keresztül, miközben a rover kinyitja nagy nyereségű antennáját, hogy közvetlenül is tudjon kommunikálni a Földdel. Legkorábban az ötödik napon mozdul meg.

Mag a rover 3 m hosszú, 2,7 m széles, 2,2 m magas, 1025 kg súlyú (a Curiosity-nál 14%-kal nehezebb), beleértve a 45 kg-os,

öt helyen ízesülő, kinyújtva 2,1 m hosszú robotkart. A szonda valamivel „olcsóbb” (2,1 milliárd USD) a Curiosity 2,5 milliárd USD költségéhez képest. Emellett a rover önállóbb, mint a Curiosity, a tervek alapján összesen 20 km-t lesz képes bejárni a felszínen. A roveren összesen 23 kamera van (korábban soha ennyi nem volt egyik szondán sem), valamint két mikrofon is, amelyek főleg a légköri belépés és a leszállás során nyújthatnak hasznos adatokat. A kamerák közül három a leszállás alatt figyel az eseményeket, a Mastcam 2 kamerával bír, a Supercam része egy kamera, a SHERLOC műszer két kamerát tartalmaz, emellett 1 támogatja a PIXL és egy a MEDA műszert, és további három kamerát helyeztek el az ereszkedés vége felé leváló felső burkolaton. Mindezekon kívül két további kamera van a helikopteren is (lásd később).

Fontos technológiai demonstráció lesz az oxigén előállítása a rover MOXIE nevű berendezése által a marslégköri szén-dioxidból. Mindez a jövőbeli emberes expedíció megvalósítását könnyíti. A tervek alapján ugyanis a visszatéréshez szükséges oxigént és metánt, mint rakéta üzemanyagot a vörös bolygón, a légkörből fogják előállítani, kb. 10 g/óra sebességgel. Emellett a rover kereke is időállóbb lett, mint a Curiosity esetében, vastagabb és erősebb alumínium abroncs van rajta.

Az összesen 59 kg-ot kitevő tudományos műszerek a roveren:

- Mastcam-Z: két optikai kamerát tartalmazó rendszer, amely zoomolni képes, és akár mozgóképet is rögzíthet, valamint nagy felbontású sztereóképeket is készít. Fő feladata a tudományos elemzés, de a rover üzemeléséhez is nyújt adatokat.

- MEDA (Mars Environmental Dynamics Analyzer): a marsi por jellemzésére szolgáló műszer. Részegysége az RDS (Radiation and Dust Sensor) ami égre néző CCD-kamera és néhány külön fotódetektor együttese. Ezek a légkör átlátszóságát követik, a por szemcseméretét és eloszlását becsülik. Emellett hőmérséklet érzékelők, szél és páramérő is van rajta. Az UV sugárzást és a por jellem-

zőit becsülve a jövőbeli emberes expedíció előkészítésében is közreműködik.

- MOXIE (Mars Oxygen In-Situ Resource Utilization Experiment): oxigén előállítását végzi a marsi légkörből.

- PIXL (Planetary Instrument for X-ray Lithochemistry): a kőzetek fluoreszcenciáját elemzi, közel 20 különféle kémiai elemet képes kimutatni. Érdekessége, hogy a kőzetek felszínéről egy folyékony nitrogént tartalmazó kis kapszula kinyitásával keltett gázáram segítségével fújja le a port.

- RIMFAX (Radar Imager for Mars' Subsurface Experiment): az első olyan marsfelszíni berendezés, amelynek radarhullámai a felszín alá behatolnak – korábban csak keringési pályáról végeztek ilyen mérést. Ezzel vizsgálja a Perseverance a felszín alatti jég, avagy esetleges víz előfordulását.

- SHERLOC (Scanning Habitable Environments with Raman & Luminescence for Organics & Chemicals): a robotkar végén lévő UV lézer gerjesztette Raman és UV fluoreszcenciás spektroszkóp, célja biomarkerek azonosítására. 100  $\mu\text{m}/\text{pixel}$  térbeli felbontással a kémiai összetételt és a szervesanyag tartalmát is meghatározza, a molekulák jellegétől függően  $10^{-2}$  és  $10^{-6}$  közöttinél nagyobb koncentrációt képes kimutatni. Asztrobiológiai szempontból fontos ásványok (szulfátok, karbonátok, foszfátok stb.) azonosítására is alkalmas. Akárcsak a PIXL, nitrogéngáz-sugárral fújja le a port a célközetről, és a Földön elhelyezett kalibrációs célpontjai között különféle standardok, és egy Marsról származó meteorit mellett öt szkafanderdarab is van. Utóbbiakon a marsi viszonyok úrruhákra gyakorolt hatása elemezhető.

- SuperCam: a korábbi ChemCam továbbfejlesztett változata, amely 10 ezer  $^{\circ}\text{C}$ -ot is eredményező lézeres gerjesztés nyomán felszabaduló ionizált összetevőket elemzi, a keletkező plazmafelhő vizsgálatával az optikai és az infravörös tartományban is valamint Raman-spektroszópiával. Mikrofon is van rajta, ami a lézeres lövés hanghatása alapján tesz durva becslést a célkőzet keménységére.

- WATSON (Wide Angle Topographic Sensor for Operations and eNginering): a Curiosity fedélzetén lévő MAHLI kamera továbbfejlesztett változata, a célpontot 13  $\mu\text{m}/\text{pixel}$  felbontással örökíti meg a 380–680 nm tartományban.

A műszerek kapcsán említhető a mintagyűjtő és -tároló rendszer, amely összesen 43 mintát gyűjthet, és a tervek alapján legalább 30-at fog. A kinyújtható robotkar végén lévő műszerek között elhelyezett magfúró 13 mm átmérőjű és 60 mm hosszú apró hengereket nyer ki a célkőzetből, amelyek várhatóan 10–15 g körüli tömegűek. A kiemelt mintákat egy kisebb robotkar segítségével egy fotó rögzítése után korong alakú mintatartóba helyezi, amelyet a küldetés végén valahol lehelyezi a felszínre. A kőzet- és regolitminták mellett néhány mintatartóban olyan „kontroll minták” vannak, amelyeket még a Földön helyeztek beléjük – itt annak megállapítása a cél, hogy milyen változásokon estek át ezek a marsi mintavétel utáni időszakban, és az esetleges földi szennyezések elkülönítésében is segítenek. Biológiai szempontból nagyfokú tisztaság szükséges a szondán, amelyet tüzetes sterilizálási műveletekkel értek el, főleg hogy a Földre visszaküldött anyagokban semmilyen, bolygónkról származó életnyom ne forduljon elő.

A célterület a 45 km átmérőjű Jezero-kráterbe érkező folyóvölgy elvégződésénél lerakott, részben a földi deltatorlatokra emlékeztető kb. 4  $\text{km}^3$  térfogatú hordalék. Ennek kinézete alapján maximálisan kb. 250 m mély tó töltötte ki a krátert valamikor kb. 3,9–3,5 milliárd évvel ezelőtt. A folyó által lerakott anyagban vizes mállással keletkezett filloszilikát, valamint karbonát és hidratált szilikát ásványok vannak – noha ezek nem biztos, hogy mai helyükön jöttek létre, valószínűbb, hogy az ősi folyó forrásvidékéről származnak, és azokat az áramló víz szállította ide. Az egyetlenlítő 18 fokkal északra mutatkozó terület jelentős részén viszonylag friss szélerezési kihantolás mutatkozik. A vízáramlás  $10^3$ – $10^4$   $\text{m}^3/\text{s}$  maximális vízhozamot mutathatott, főleg a

Hesperian korban. Maga a folyóvölgy elvégződésénél mutatkozó üledékes képződmény összesen néhány száz év alatt is létrejöhetett. A kráterben felhalmozódott víz egy idő után kelet felé ömlött ki, egy másik, „kifelé” mutató vízfolyásnyomot létrehozva. Legalább három ilyen esemény történhetett, külön szakaszokban, valószínűleg sokkal gyorsabban, mint amekkora időtartam a hordalék felépüléséhez szükséges. Maga a tó pedig tovább is létezhetett, mint amennyi idő alatt az üledék felhalmozódott.



Fantáziarajz az Ingenuity helikopter repüléséről (NASA, JPL-Caltech)

Az Ingenuity (azaz Leleményesség) nevű helikopter szerkezetű drón lesz az első űreszköz, amely irányítottan fog haladni egy másik bolygó légkörében (korábban a Vénusznál alkalmazott ballonok csak passzívan sodródtak a forró bolygó légkörének magas tartományában). Az Ingenuity feladata a Perseverance rovertól teljesen függetlenül zajló technológiai tesztelés, amely a jövőben a nehezen megközelíthető, vagy nehezen vizsgálható területek elemzésében és elérésében segít (pl. meredek sziklafalak, sok közettörmelékkel avagy süppedős dűnekkel körbevett részek). Az Ingenuity jövőbeli „utódainak” feladata a felszíni munka tervezésének támogatása lesz – sokkal könnyebb és hatékonyabb bármilyen elemzés, ha a cél kijelölése és elérése előtt néhány centiméter felbontással pontosan

ismerjük, miként néz ki magasból a vidék, hol és mely rétegek bukkannak ki, melyik a legbiztonságosabb útvonal.

Maga a repülés is kihívás, mivel a nehézségi gyorsulás a Marson harmada a földinek, a légköri sűrűség pedig csak százada, ezért igen nagy energiabefektetés szükséges a repüléshez, amiben az alacsony, 1,8 kg-os tömeg is segít. A 49 cm magas eszköz tetején két, egymással ellentétes irányban forgó, 1,2 m átmérőjű, szénszálalás anyagból készült rotor adja a felhajtóerőt, maximálisan 2400 fordulatot téve percenként. A rotorok felett helyezkedik el a napelemtábla, amely a lítium akkumulátort újratölti (350 W-ot tárolva), a rotorok alatt pedig a 13,6 x 19,5 x 16,3 cm-es testben van minden egyéb, ami a működéshez szükséges. Maga a helikopter a rover alján helyezkedik el, majd innen teszik le a felszínre, akkor aktivizálja magát, miután a Perseverance továbbhajtott fölé. Egyhónapos tesztelése során legalább öt kisebb autonóm repülést végez, miután erre a Földről a rover közvetítésével parancsot kap. Ezek során egyenként maximum 3 perces repüléseket hajt végre, miközben legfeljebb 10 m magasságot emelkedik, és maximálisan 600 m távolságot tesz meg, miközben színes és fekete-fehér kamerájával a felszínt fotózza. Az Ingenuity a roverrel áll kapcsolatban, annak sugározza adatait.

A Perseverance a tervek alapján legalább egy marsi éven át fog üzemelni a bolygón – a gyakorlatban remélhetőleg ennél lényegesen hosszabban. Eközben a MAVEN, az MRO és a TGO keringőegységek révén sugározza a Földre adatait (adatmennyiségben többet, mint a Curiosity), bolygónkkal közvetlenül csak a legfontosabb műveletek során kommunikál és kap utasításokat.

A 2020-as Mars oppozíciót összesen három szonda indítására használták ki. A NASA Mars 2020 rovere mellett, amely 10,9 millió ember nevét is magával viszi, idén nyáron startolt az Egyesült Arab Emírátsok Hope (azaz Remény) nevű keringő egysége, valamint a kínai Tianwen-1 keringő és leszálló egység és a hozzá kapcsolódó rover is.

Kereszturi Ákos