

1. ábra. Az Apollo-program első geológus asztronautája Dr. Harrison „Jack” Schmitt (Apollo-17) a gereblye használata közben [12]



Dr. Punczman Ádám Tamás*

Az égitestek bányászata **I. rész**

Az égitestek bányászatának technológiai nehézségeit kiválóan reprezentálják az eddig lefolytatott, tudományos célú mintagyűjtő küldetések. Az emberiségnek sikerült már a Holdról, aszteroidáról és üstökösről is mintákat gyűjtenie. Ezek mennyisége az ipari méretű kitermeléstől messze elmarad ugyan, továbbá a küldetések száma is kevés, a folyamat iránya mégis arra mutat, hogy az égitestek bányászata a távoli jövőben megvalósulhat.

2015 óta folyamatosan növekszik azon államok száma, amelyek nemzeti törvényeikkel biztosítják magánszemélyek számára az égitestekből kinyert erőforrások tulajdonjogát. Közben a nemzetközi világűrjogban az Amerikai Egyesült Államok az Artemis-megállapodás¹ keretében egyre több szövetségest talál, akik szerint az űrerőforrások kereskedelmi céllal kisajátíthatók. Ezzel szemben Oroszország, valamint Kína ellenzi az amerikai koncepciót, és megállapodtak egy saját kutatóbázis megépítésében a Hold felszínén. A tanulmány áttekintő jelleggel ismerteti az égitestek bányászatának technológiai kihívásait és jogi

vonatkozásait, ezzel is rámutatva, hogy e tevékenység során milyen szempontokat szükséges figyelembe venni.

LEHETSÉGES KITERMELÉSI HELYEK

Naprendszerünkben több égitest is a kitermelés potenciális célpontjává válhat. Éjszakai égboltunk állandó kísérője a Hold, a felszínét borító regolit² feldolgozásával abból különböző anyagok vonhatók ki, mint például: oxigén, szilícium, vas, kalcium, magnézium, alumínium. Továbbá a Hold pólusainál található vízjég értékes erőforrás lehet, mivel a víz felhasználható lesz a majdani létesítmények életfenntartó rendszereiben, valamint rakéta-hajtóanyagként is szolgálhat, mert hidrogénre és oxigénre bontható. [1] A vörös bolygóként emlegetett Mars jelentős mennyiségben különböző fémanyagokat,³ míg az óriás gázbolygók⁴ deutérium és a hélium-3 anyagokat tartalmaznak, amelyek a fúziós energiatermelés elengedhetetlen nyersanyagai.

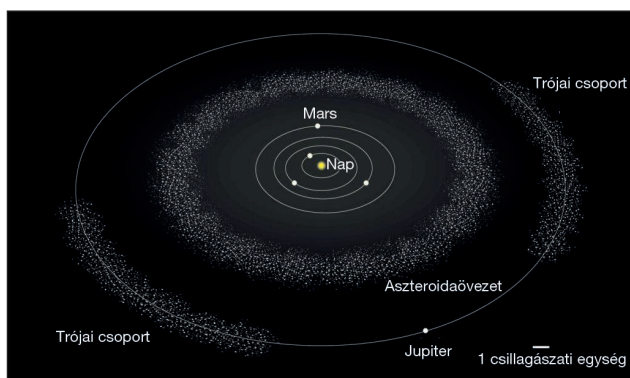
ÖSSZEFOGLALÁS: Az égitestek bányászata egyre inkább előtérbe kerül, mivel néhány állam nemzeti szinten már tisztázta az erőforrások tulajdonjogát. Ezzel szemben a nemzetközi világűrjogban kétséges, hogy az űrerőforrások tulajdonjog tárgyai lehetnek-e. Az emberiség tudományos céllal már birtokba vett mintákat, de azok mennyisége és a küldetések gyakorisága azt mutatja, hogy az ipari mennyiségű kitermelés a közeljövőben még nem fog megvalósulni.

KULCSSZAVAK: világűrjog, űrbányászat, világűr-küldetések, Artemis-megállapodás, Világűrszerződés, Apollo-program, Luna-program

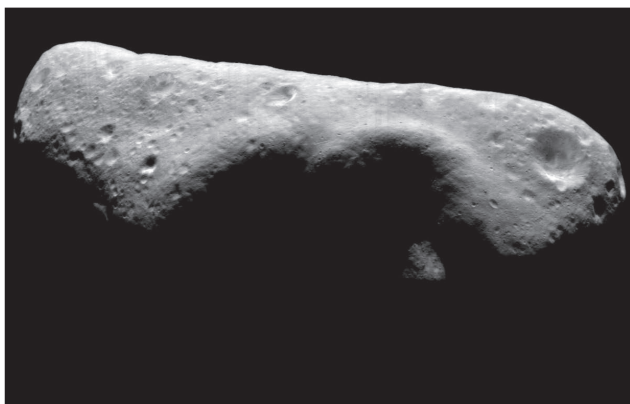
ABSTRACT: The mining of celestial bodies is increasingly coming to the fore as some states have already clarified the ownership of resources at national level. In contrast, in international space law, it is doubtful whether space resources can be subject to property rights. Humanity has already taken possession of samples for scientific purposes, but their quantity and the frequency of missions indicate that industrial-scale extraction is not yet in the near future.

KEY WORDS: Space law, space mining, space missions, Artemis accords, Outer Space Treaty, Apollo program, Luna program.

* Jogász, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Világűrjog és -politika Kutatóműhely megbízott kutatója. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6278-3122>



2. ábra. A Naprendszerben található aszteroidák a Mars és a Jupiter közötti övezetben, valamint a Jupiter pályáján találhatóak (A szerző szerkesztése a [2] alapján)



3. ábra. Az S típusú aszteroidák csoportjába tartozó 433 Eros égitest [4]

Lehetséges kitermelési helyszínné válhatnak még az aszteroidák is. Jelenleg több mint egymillió kisbolygót tartanak számon, amelyek a Naprendszerben a Mars és Jupiter közötti aszteroidaövben, valamint a Jupiter keringési pályáján elhelyezkedő, két trójai csoportban találhatóak meg. (2. ábra)

Összetételük szerint három osztályt különböztetünk meg. [3] A C típusú aszteroidák nagy mennyiségben tartalmaznak fémet, valamint szenet, így nehezen észrevehetőek, mivel felszínük sötét. Az ismert aszteroidák körülbelül

4. ábra. Az M típusú aszteroidák csoportjába tartozó 21 Lutetia égitest [5]



75%-át alkotják, leggyakrabban az aszteroidaöv külső peremén helyezkednek el.

Az S típusú aszteroidák különböző összetételűek, amelyeket „köves” (szilikátos összetételű) aszteroidáknak is szoktak nevezni, mivel szilikát anyagokból, valamint vasból és nikkeltől állnak. A belső aszteroidaövben találhatóak, és az ismert aszteroidák 17%-át alkotják. (3. ábra)

Szintén az aszteroidaövben találhatóak az M típusú aszteroidák, amelyek vasból és nikkeltől állnak, világos a felszínük, így könnyen észrevehetőek, bár ez a legritkább típus. (4. ábra)

KIHÍVÁSOK

Az égitestek bányászatához elsősorban az eszközök szállításának költségeit kell csökkenteni. Ezen a területen a SpaceX amerikai vállalat már megkezdte a fejlesztést. Rakétájuk már 1600 dollár/kg áron tud hasznos terhet Föld körüli pályára juttatni, szemben a Kína által használt Hosszú Menetelés 3B (Long March 3B) rakétával, amely 6400 dollár/kg áron nyújt ilyen szolgáltatást. [6]

A bányászat során alkalmazandó robottechnológia terén figyelemmel kell lenni arra, hogy mely égitest felszínén kívánunk kitermelést végezni. A Hold esetében alacsony a gravitáció, amely csökkenti a gravitáció által hajtott folyadék-/részecskeáramlást, növeli a nem gravitációs mozgatóerők hatását (felületi feszültség, mágneses vonzás stb.). A hőmérséklet szélsőséges⁵, a légköri nyomás hiánya miatt a folyadékokat mesterséges nyomású, zárt rendszerben kell alkalmazni. A berendezések tervezésekor a moduláris kialakítást kell előnyben részesíteni, valamint az automata/távírányítású robottechnológiát alkalmazni. Kiemelendő, hogy az aprítási és dúsítási folyamatokat víz használata nélkül kell megtervezni. Továbbá figyelembe kell venni, hogy a holdpor elektrosztatikus és koptató hatást vált ki a berendezésekben, amely miatt pormérséklő technológiát szükséges kifejleszteni. [7] Emellett széles sávú űrkommunikációs és informatikai rendszereket szükséges kifejleszteni, hogy a távvezérlés válaszideje a szükséges szintre csökkenjen, és ne szakadjon meg a kapcsolat még akkor sem, ha távolabbi bolygók esetében egy kisebb égitest keresztezi a kommunikációs vonalat. Kiemelendő az energiatermelő rendszerek fejlesztése is, mivel pl.: a Vénusz felszínén a hőmérséklet 500 °C, és a légköre olyan sűrű, hogy napenergiát nem lehet felhasználni a felszíni munkához. [8] Mindezek figyelembevételével tehát a szakirodalom, az aszteroidákkal szemben a közelség miatt előnyben részesíti a Holdon történő kitermelést.

MINTAGYŰJTŐ KÜLDETÉSEK

A mintagyűjtő küldetések előfutárai lehetnek az égitestek bányászatának, mivel felfedik a technikai nehézségeket és a világűr környezeti viszonyainak kihívásait.

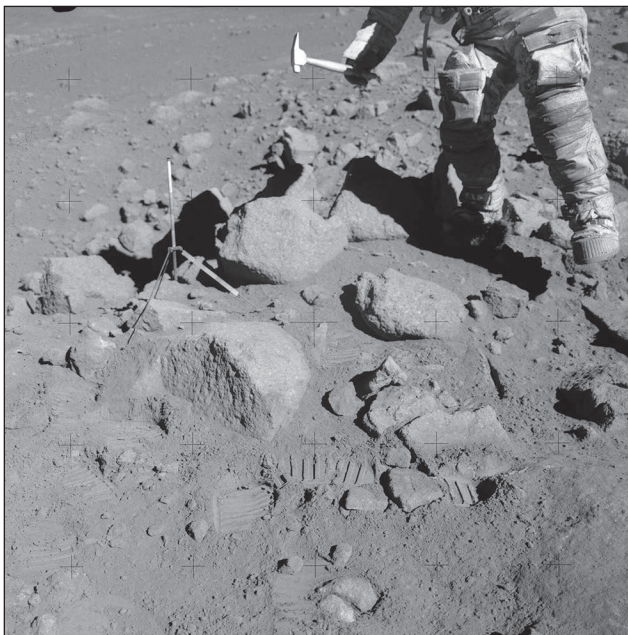
AZ APOLLO-PROGRAM

Az amerikai űrprogram során, a NASA asztronautái hat küldetés során összesen 382 kg mennyiségű mintát tudtak gyűjteni a Holdról. A program költségvetése, 1961 és 1973 között 49,4 milliárd dollár volt. A missziókat főként a különböző technikai problémák miatt felmerült időhiány, a légnyomás biztonságának kérdései, valamint a műveleti célok teljesítése jellemezte. [9] A program során különböző





5. ábra. A gnomon, vagy árnyékvető pálca a), mintavevő lapát használatát b) [10] [11]



6. ábra. Kalapács használata kőzetminta gyűjtéséhez [13]

mintavételezési eljárásokat alkalmaztak annak függvényében, hogy a felszínen vagy felszín alól végezték azt.

A felszínen végzett dokumentált mintavételezés során, a begyűjtés előtt a mintákat lefényképezték. A felvételek dokumentálták azt a körülményt, amelyben megtalálták azokat, segítve a minták történetének értelmezését. Az eljárás hátránya volt az időigényesség; az űrhajósok az ütemterv betartása miatt sokszor nem tudták elvégezni a dokumentálást.

Érdekes kiemelni az Apollo-14 küldetését, ahol az asztronautákat a Cone-kráter peremének elérése vezérelte, ezért az útközben begyűjtött minták nem kerültek dokumentálásra. [9; 413. o.]

A felszín alóli mintavételezéshez 2–4 cm átmérőjű csöveket alkalmaztak (mélymintavevő csövek), amelyeket kala-

páccsal ütöttek be a talajba. Az első alkalmazások során 70 centiméter mélységet értek el, amely 50 kalapácsütést igényelt. Az Apollo-15, 16 és 17 küldetésnél már elektromos fúrót használtak, és a 3 méteres mélységet is elérték. [14]

Az Apollo-11 küldetés során gyakorlati problémát jelentett a merev, felfűjt űrruha, amelyben az űrhajósok nehezen tudtak lehajolni. Az Apollo-12 misszió alkalmával azonban már hosszú szárú fogókat vittek magukkal az asztronauták, hogy ne kelljen a mintákért lehajolniuk. (8. ábra)

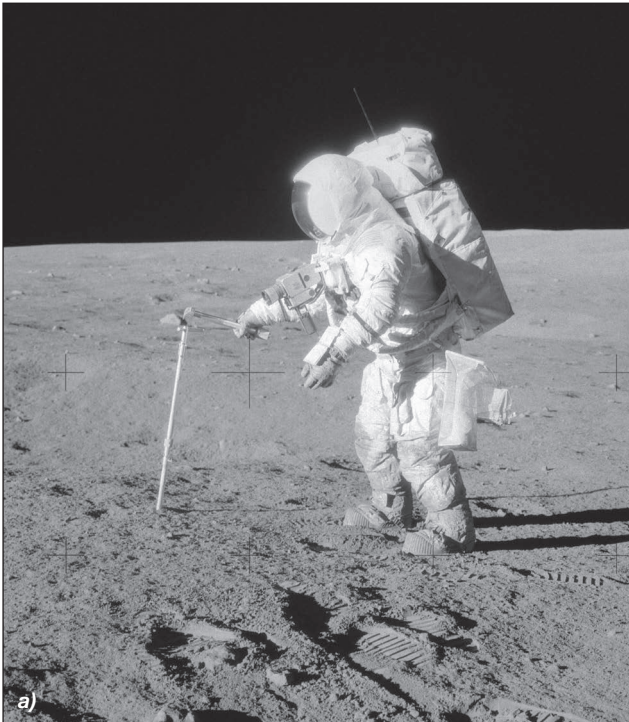
Az Apollo-15 küldetéstől kezdve alkalmazták a holdjárót (Lunar Rover Vehicle – LRV[®]), így már a leszállástól távolabb, nagyobb területekről is tudtak kőzetmintákat gyűjteni. Tapasztalható volt, hogy a lengéscsillapítók másképp működtek, mint várták, mivel egy-egy gödör vagy bukkanó nagy zökkenésekkel járt, és biztonsági öv nélkül az utasok „kirepültek” volna az ülésből. [9; 449–451. o.] (9. ábra)

Az asztronauták azt is megtapasztalták, hogy a holdpor a sisak és a kesztyűk tömitéseinek elszennyeződéséhez vezetett, valamint később, a holdkompban könnyező szemről, torokszorulásról és tüsszögérről számoltak be. [19]

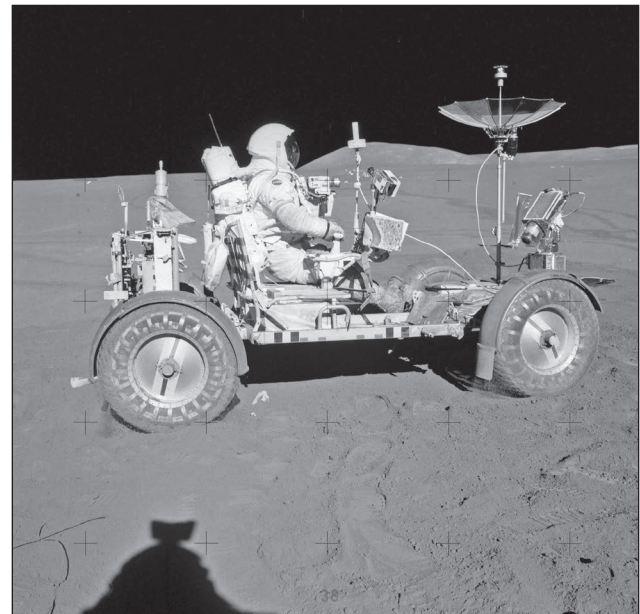
A LUNA-PROGRAM

A szovjet Luna-program (1959–1976) keretén belül valósult meg az első robotizált holdfelszíni mintagyűjtés. A programban ötször kíséreltek meg mintát gyűjteni, amelyből azonban csak három küldetés volt sikeres. Összesen 321 gramm holdmintát gyűjtöttek.

A Luna-16 szonda (10. ábra) Holdra szállását követően ellenőrizték a rendszert, és telefontométerrel megvizsgálták a terepet. A vizsgálat után működésbe hozták a talajmintavevő rendszert. A fúrófej működésbe lépését követően mintegy 35 cm mélységig hatolt a talajba. A fúrás 6 perc 14 másodpercig tartott, majd a talajmintával együtt visszahúzódt a fúrófejet a fúróegységgel együtt felemelve behelyezték a gömb alakú visszatérő egység henger alakú tartályába, majd hermetikusan lezárták azt. A visszaindulás során a felszállás időpontját és az indítás sebességét



7. ábra. Az Apollo-12 asztronautája kalapáccsal üti a Hold talajába a mélymintavevő csövet a). Elektromos fúró tesztelése a Földön b) [15] [16]



8. ábra. Hosszú szárú fogó alkalmazása kőzetminta begyűjtéséhez [17]

9. ábra. A Lunar Rover Vehicle a mintavételezés kijelölt helyszínére indul [18]

pontosan meg kellett határozni, mivel a rakétarendszer csak egyszeri indításra volt alkalmas, és útközben pályakorrekcióra nem volt lehetőség.

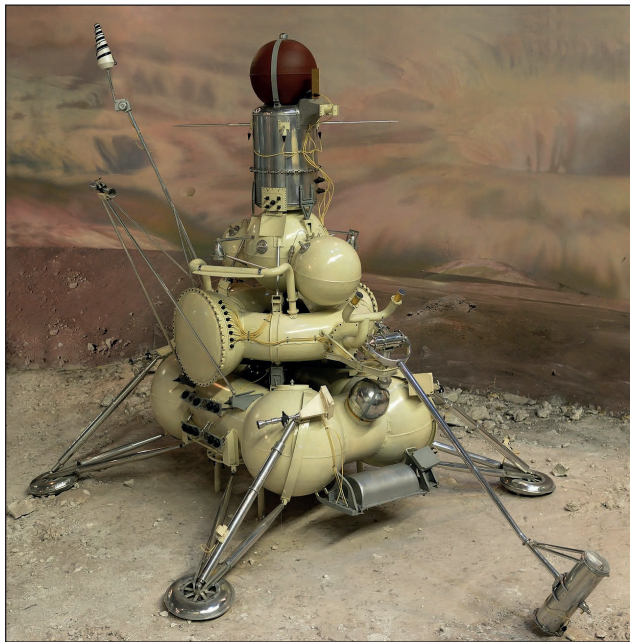
A Luna-18 szonda sikertelen Holdra szállást hajtott végre. A bonyolult, hegyes terepen a felszínre érés nem sikerült jól, és a Holdra szálláskor megszakadt a szondával a kapcsolat.

A Luna-20 szonda fúrásának folyamata eltért a korábbi-tól, mivel a fúrófej 34 cm mélységig fúrt, de túlpörgött. A mérnökök arra a következtetésre jutottak, hogy a Hold talaja kevésbé volt sűrű, a felszínt alkotó különféle ásványok molekuláinak tapadóképesége (kohéziója és adhé-

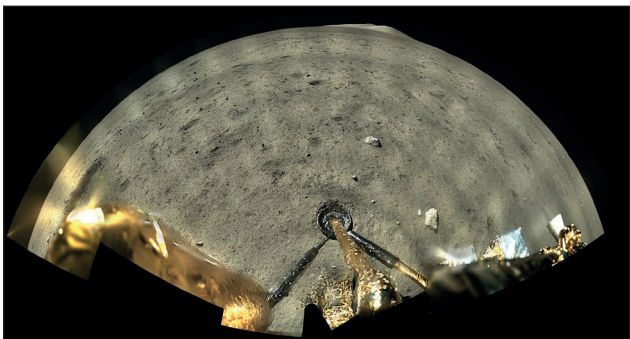
ziója) ugyanakkor lényegesen nagyobb volt, mint a Luna-16 leszállási helyén. [20]

A Luna-23 és a Luna-24 holdszonda fúróberendezését már 2,5 m mély fúrásra tervezték, amely – a talajellenállás függvényében – képes volt automatikusan váltani mind a forgó, mind a forgó és ütő-véső módszer között. A Luna-23 holdszonda kedvezőtlen terepen történő leszálláskor a talajmintavevő berendezése megsérült, így nem tudta feladatát végrehajtani. A Luna-24 holdszonda azonban sikeresen landolt, és a mintavételezés során eredményesen változtatta a forgó valamint az ütő-véső technikát.





10. ábra. A Luna-16 űrszonda a moszkvai Űrmúzeumban kiállított másolata [21]



11. ábra. A Csang'e-5 fedélzeti fényképezőgéppel készített panorámafotó [22]

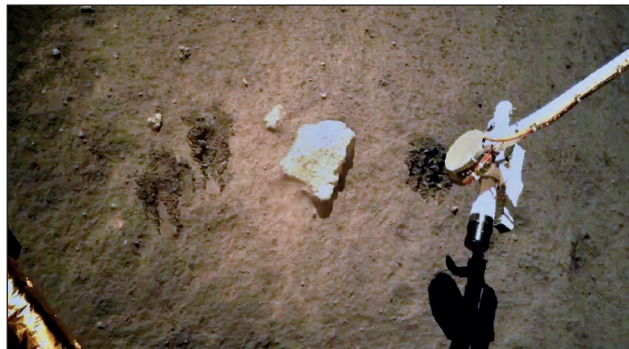
A CSANG'E-PROGRAM

A kínai nemzeti űrügynökség (CNSA – China National Space Administration) 2004-ben indította el a Hold kutatásával kapcsolatos Csang'e (Holdistennő) misszióját. 2020 őszén Kína, a világ harmadik államaként, a Csang'e-5 misszió által kb. 1,7 kg mintát tudott gyűjteni a Holdról, és azt a Földre szállította. (11. ábra)

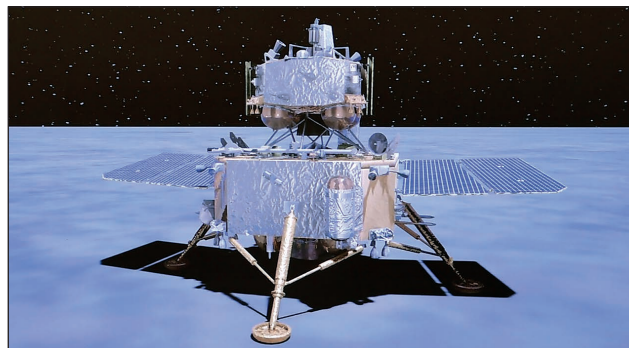
A mintavételezéshez az űrszonda két berendezése áll rendelkezésre. Az egyik egy (kőzet)fúró, amelyhez egy komoly mintaszállító mechanizmus (benne egy szállító „sín-el”) csatlakozik. Ennek feladata a minták „felszállítása” a Holdról felszálló egység mintagyűjtőinek egyikébe. A másik egy manipulátorkar, és annak végén található kotrókanál. Ez az eszköz a felszínt tudta kaparni, majd a kar felemelte a mintát a mintagyűjtő tartályok egyikébe. (12. ábra)

A HAYABUSA-1

A Japán Űrkutatási Ügynökség (JAXA – Japan Aerospace Exploration Agency), a Hayabusa-1 (Vándorsólyom) küldetés által (2003–2010) elsőként tudott aszteroidákról mintát gyűjteni. Az űrszonda az Itokawa nevű S típusú aszteroidá-



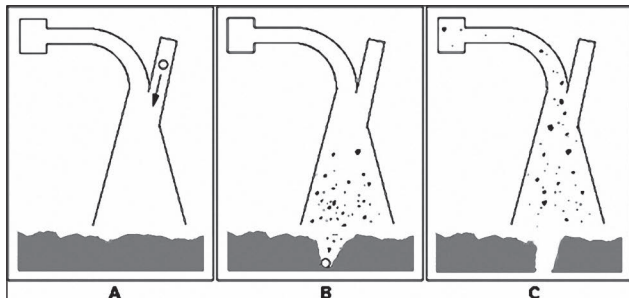
12. ábra. A Csang'e-5 manipulátorkarja mintavételezés közben [23]



13. ábra. A Csang'e-5 [24]



14. ábra. Az Itokawa aszteroida [27]

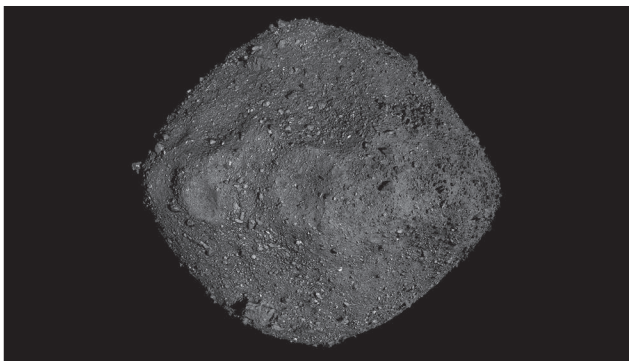


15. ábra. Az Itokawa aszteroidán végrehajtott mintavételezési eljárás sematikus ábrája [28]

ról gyűjtött mintát. [25] (14. ábra) A küldetés során számos olyan technológiát alkalmaztak, amelyek a jövőbeli bolygó-kutatásokhoz elengedhetetlenek lehetnek, hiszen a bolygóközi utazás ionhajtómű alkalmazásával, autonóm navi-



16. Ábra. A Hayabusa-1 űrszonda megközelíti az Itokawa aszteroidát [29]



17. ábra. A Benu aszteroida [31]

gáció és irányítás mellett, optikai mérésekkel, a mintagyűjtés az aszteroida felszínéről nagyon gyenge gravitációs térben történt. Újdonságnak számított a közvetlen vissza-

térés a bolygóközi pályáról történő mintavételhez, valamint az alacsony tolóerő, és a gravitációs ráségítés alkalmazása. [26]

A mintagyűjtő eljárás különbözött a korábban más nemzetek által alkalmazottaktól, hiszen az űrszonda egy kürt alakú testet érintett az Itokawa égitest felszínéhez. A kürtben egy 5 grammos lövedéket lőttek a felszínbe 300 m/s sebességgel, hogy kis mennyiségű anyagok szakadjanak ki a felszínből. Az ütközésből származó port és szilánkokat a kürt felfogta, és egy mintatároló edénybe továbbította. [30] (15. ábra) A mintavételezési eljárás kidolgozásakor nem ismerték az égitest felületének keménységét, és az alacsony gravitációs erő miatt fennállt a lehetőség, hogy a mintavételezés által kifejtett erő elmozdíthatja az űrszondát is. A küldetés során az űrszonda kétszer próbált „érintkezni” (touchdown) az égitest felszínével. A második alkalommal azonban súlyos károkat szenvedett, kifolyt az üzemanyag, nem lehetett kontrollálni a magasságát, és rövid időre a kommunikáció is megszakadt az eszközzel. [19; 123. o.]

A szondának 2007-ben kellett volna visszatérnie a Földre, de a nehézségek miatt csak 2010 júniusában tért vissza az Itokawa aszteroidáról gyűjtött mintákkal. A program folytatásaként a Hayabusa-2 küldetéssel Japán összesen 6,4 gramm mintát gyűjtött a Ryugu kisbolygóról.

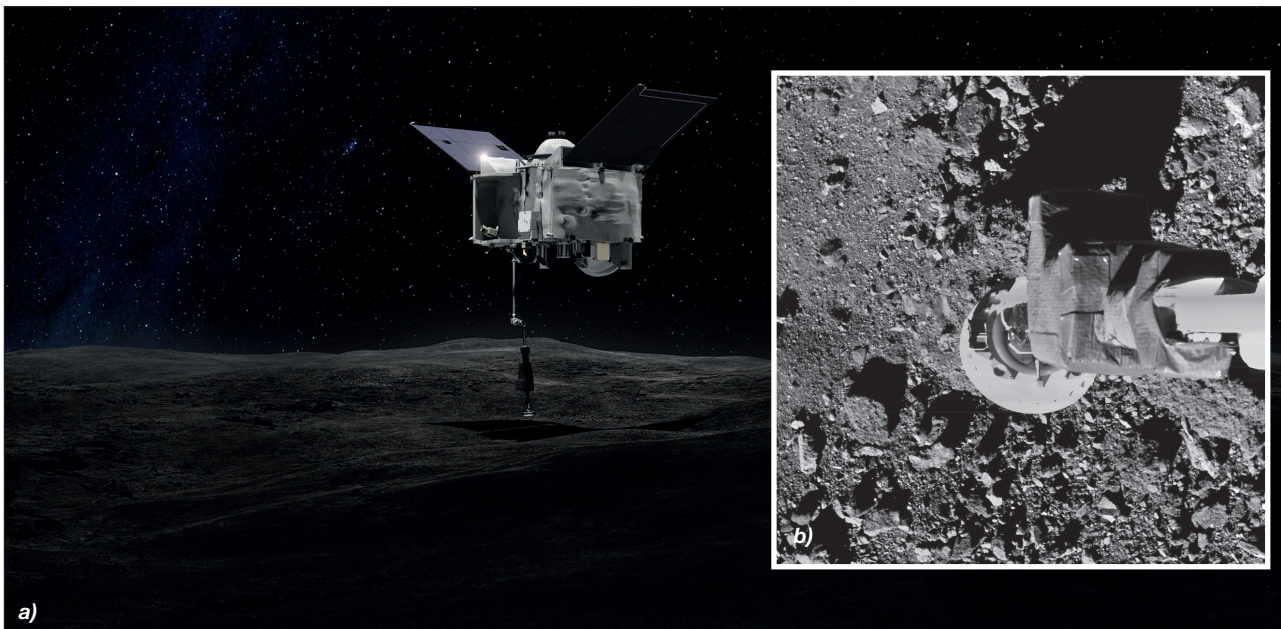
A NASA OSIRIS-REx

A NASA 2016. szeptember 8-án indította el az OSIRIS-REx űrszondát, amelynek célja a Benu aszteroidáról történő mintagyűjtés volt. (17. ábra)

Az űrszonda mintagyűjtési eljárása hasonló volt a Hayabusa-1 küldetésben alkalmazotthoz. Az eljárás során az OSIRIS-REx rövid időre megérintette az égitest felszínét, miközben a mintavevő kar kb. öt másodpercig érintkezett a felszínnel, és közben nitrogén gázt bocsájtott ki. Ezáltal a kisebb kőzetek és felszíni anyagok felkeveredtek, és a mintavevő fejbe kerültek. [32] (18. ábra)

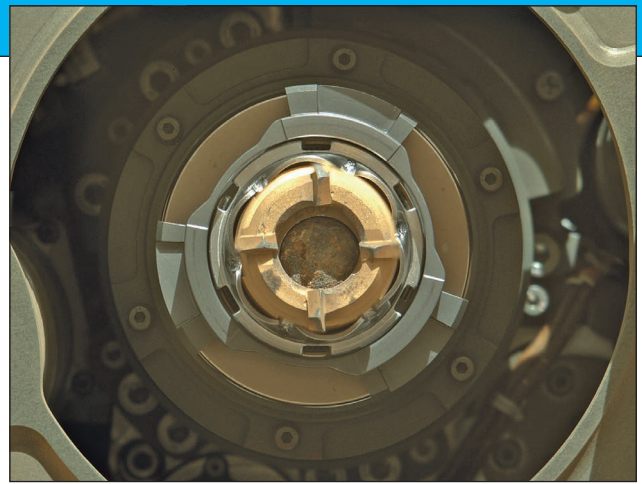
A mintagyűjtés rendkívül sikeres volt, emiatt annyi anyag került a tárolóba, amennyi miatt a fedél bezárása elakadt,

18. ábra. Az OSIRIS-REx az égitest felszínének érintése előtt a) Az OSIRIS-REx mintavevő karja a Benu felszínének érintése közben b) [33][34]





19. ábra. A Perseverance első fúrásáról készített felvétel [37]



20. ábra. A Perseverance fúrófej, és mintavételi cső [38]

így az elkezdett kiszóródni. A probléma észlelése után a mérnököknek végül sikerült a mintagyűjtő kapszulát bezárni. Bár a gyűjtött minták pontos tömegéről nem hoztak nyilvánosságra információt, a szakemberek becslése szerint, az meghaladja az egy kilogrammot. A minta pontos tömegét a kapszula 2023 szeptemberi Földre érésekor állapítják meg. [35]

A MARS PERSEVERANCE

A marsautót a NASA 2020. július 30-án indította, és a jármű 2021. február 28-án szállt le a Mars felszínére. A misszió célja, hogy a Mars Jezero-kráterében üledékes kőzeteket gyűjtsön. A rover 43 mintacsővel rendelkezik, és 2 méter hosszú karja kinyúlásával, „útvefűró” segítségével sziklát fúr. (19., 20. ábra) A rover hasa egy kis robotkarnak ad otthont, amely a nagy kar „laboratóriumi asszisztenseként”

működik. A kis kar felveszi és áthelyezi az új mintacsöveket a fúróba. Az eljárás után egy üreges csövet juttat a felszín alá, majd a fúrómag anyagát elraktározzák a mintavételi csőben. A kis robotkar a megtöltött mintatartókat visszateszi a rover „hasába”. [36]

(Folytatjuk)

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Ram S. Jakhu, Joseph N. Pelton, *Global Space Governance: An International Study (Space and Society)*, (Springer, Germany, 2017). 385.;
- [2] „Trojans (Asteroid) Facts & Information” *The Nine Planets* <https://nineplanets.org/trojans/> (Letöltve 2022.4.28.);

21. ábra. A Perseverance szelfije a Mars felszínén [39]



- [3] Senem Cabuk; Nazim Caubuk: Technological importance of asteroid mining, *Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences*; 2021 Vol. 4, Issue 2, p. 65–66, <https://doi.org/10.46239/ejbc.793540>;
- [4] Forrás: https://solarsystem.nasa.gov/internal_resources/3964/ (Letöltve: 2022.4.28.);
- [5] Forrás: https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/468195main_4_closest_approach_full.jpg (Letöltve: 2022.4.28.);
- [6] Bruno Venditti, „The Cost of Space Flight Before and After SpaceX” *Visual Capitalist* 2022, <https://www.visualcapitalist.com/the-cost-of-space-flight/> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [7] Matthew G. Shaw et al., „Mineral Processing and Metal Extraction on the Lunar Surface - Challenges and Opportunities” *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*; 31 (2021) 1, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2109.02201>;
- [8] Ricky J. Lee, *Law and Regulation of Commercial Mining of Minerals in Outer Space* (Springer, Germany, 2012), 53;
- [9] Dancsó Béla, *Holdszéta – A Holdra szállás története*, (Novella Kiadó, Budapest, 2004) 469.;
- [10] Forrás: <https://www.hq.nasa.gov/alsj/a17/AS17-137-20963HR.jpg> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [11] Forrás: <https://www.hq.nasa.gov/alsj/a17/AS17-146-22371HR.jpg> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [12] Forrás: <https://www.hq.nasa.gov/alsj/a17/AS17-134-20425HR.jpg> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [13] Forrás: <https://www.hq.nasa.gov/alsj/a15/AS15-82-11140HR.jpg> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [14] <https://www.lpi.usra.edu/lunar/samples/apollo/tools/index.shtml> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [15] Forrás: <https://www.lpi.usra.edu/resources/apollo/images/print/AS12/49/7286.jpg> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [16] Forrás: <https://www.hq.nasa.gov/alsj/a15/ap15-71-HC-717HR.jpg> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [17] Forrás: <https://www.hq.nasa.gov/alsj/a12/AS12-47-6932HR.jpg> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [18] Forrás: <https://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/alsj/a15/AS15-85-11471HR.jpg> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [19] Andrea Longobardo, szerk., *Sample Return Missions: The Last Frontier of Solar System Exploration*, (Elsevier, Netherlands, 2021), 31.;
- [20] Almár Iván és Horváth András, *Űrhajózási Lexikon*; (Akadémiai Kiadó – Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1984), 410.;
- [21] Forrás: <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/revisiting-soviet-lunar-sample-return-missions> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [22] Forrás: <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/revisiting-soviet-lunar-sample-return-missionshttps://arstechnica.com/science/2020/12/china-releases-a-super-clear-image-of-the-moon-taken-by-change-5-probe/> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [23] Forrás: <https://news.cgtm.com/news/2020-12-03/China-s-Chang-e-5-completes-lunar-surface-sampling-and-sealing-VUEJRIIBji/img/ac0d45df749143bea03621e0f36396bc/ac0d45df749143bea03621e0f36396bc.png> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [24] Forrás: <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6810692/part/6785425.jpg> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [25] NASA Science Solar Sstem Exploration, „25143 Itokawa” <https://solarsystem.nasa.gov/asteroids-comets-and-meteors/asteroids/25143-itokawa/in-depth/> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [26] Andrea Longobardo, szerk., *Sample Return Missions: The Last Frontier of Solar System Exploration*, (Elsevier, Netherlands, 2021), 123;
- [27] Forrás: <https://www.eso.org/public/images/eso1405b/> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [28] Forrás: https://curator.jsc.nasa.gov/hayabusa/_images/sample-impact.gif (Letöltve: 2022.4.28.);
- [29] Forrás: https://www.esa.int/var/esa/storage/images/esa_multimedia/images/2019/09/hayabusa_at_itokawa/19708758-1-eng-GB/Hayabusa_at_Itokawa.jpg (Letöltve: 2022.5.1.);
- [30] Forrás: <https://curator.jsc.nasa.gov/hayabusa/collection.cfm> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [31] Forrás: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/bennu-beauty.jpg> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [32] „OSIRIS-REx Mission Operations” National Aeronautics and Space Administration utóljára frissítve 2018. december 3. <https://www.nasa.gov/content/osiris-rex-mission-operations> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [33] <https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/osirisrextagprint2016.jpg> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [34] Képforrása: <https://www.asteroidmission.org/wpcontent/uploads/2020/04/20200414SamcamCheckpoint.png> (Letöltés ideje: 2022.4.28.)
- [35] Both Előd, „Sikeres mintavétel” Űrvilág kutatási hírportál 2020 https://www.urvilag.hu/tavoli_vilagok_kutato/20201106_sikeres_mintavetel (Letöltve: 2022.4.28.);
- [36] „Sample Handling” *Mars 2020 Perseverance Rover* <https://mars.nasa.gov/mars2020/spacecraft/rover/sample-handling/>; és Frey Sándor, „Meghiúsult mintavétel a Marson” Űrvilág kutatási hírportál 2021 https://www.urvilag.hu/perseverance/20210816_meghiusult_mintavetel_a_marson (Letöltve: 2022.4.28.);
- [37] Forrás: <https://mars.nasa.gov/resources/26125/watson-image-of-perseverances-first-borehole/> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [38] Forrás: <https://mars.nasa.gov/resources/26210/sample-tube-in-perseverances-drill-with-rock-core/> (Letöltve: 2022.4.28.);
- [39] Forrás: <https://mars.nasa.gov/resources/26253/perseverances-selfie-at-rochette/> (Letöltve: 2022.4.28.).

JEGYZETEK

- Az Artemis-egyezmények névadója a NASA Artemis-programja, amelynek célja, hogy 2025-ben az első nőt és egy férfit juttassanak a Holdra, ezt követően pedig megalapozzák a tartós emberi jelenlétet az égitesten. Napjainkig 19 nemzet: Ausztrália, Bahrein, Brazília, Kanada, Kolumbia, Franciaország, Izrael, Olaszország, Japán, Luxemburg, Mexikó, Új-Zéland, Lengyelország, Dél-Korea, Románia, Szingapúr, Ukrajna, Egyesült Arab Emírségek, Egyesült Királyság csatlakozott az Egyesült Államok által vezetett megállapodáshoz, amelynek lényege az, hogyan szabályozzák a Hold erőforrásainak hasznosítását. (A szerk.)
- Holdi kőzetréteg.
- Kén, kálium, titán, nikkell, cink, vas és egyéb ritka fémek.
- Jupiter, Szaturnusz, Uránusz és a Neptunusz.
- A Holdon a felszíni hőmérséklet nappal 123 °C, éjszaka –178 °C között változik.
- Az LRV vezető tervezője a General Motors magyar származású gépészmérnök, Pavlics Ferenc volt. A holdjáró különleges kerekeit Pavlics szabadalma alapján készítették el. (Bővebben: Dr. Both Előd, „Holdautók és marsjárók I. rész,” *Haditechnika* 55, 3. szám (2021): 44–48. <https://doi.org/10.23713/HT.55.3.08> (A szerk.)