



Lente Gábor

Kémiai üzenet egy kisbolygóról

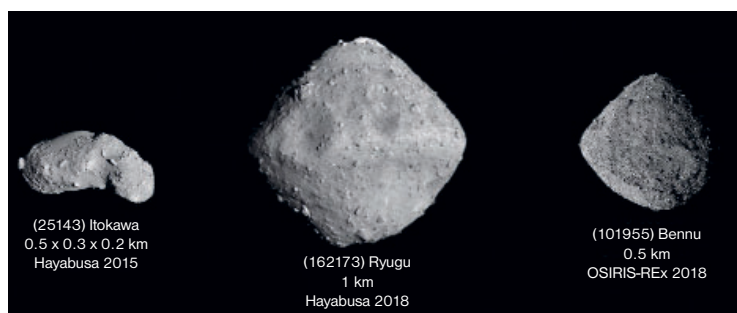
2026. január 22-én, magyar idő szerint este, az Amerikai Kémiai Társaság asztrokémiai szakosztálya érdekes webinariumot szervezett „Organic Origins: The Chemistry Hidden in an Asteroid” címmel. Az előadó Scott Sandford, az amerikai NASA űrügynökség által fenntartott Ames Research Center kutatója volt, a téma pedig a Benu kisbolygót megvizsgáló OSIRIS-Rex szonda eredményeinek ismertetése. A webinariumról készített felvétel teljes egészében megtekinthető az ACS oldalain (<https://www.acs.org/acs-webinars/library/benu-asteroid.html>).



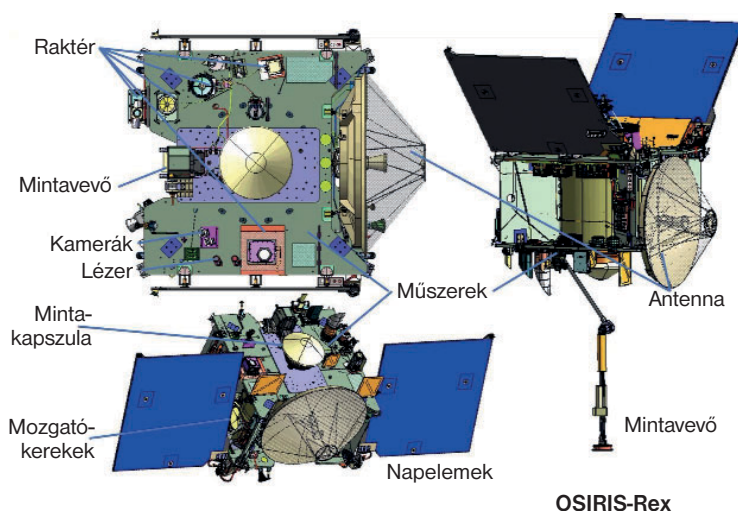
A Naprendszer kialakulása utáni, korai időszak kémiai változásainak nyomait legjobb eséllyel olyan kis égitesteken lehet megtalálni, amelyek anyaga máig megőrizte a bolygóképződést megelőző állapotokat. Az ilyen jellegű vizsgálatokat eddig csak távoli spektroszkópiai mérésekre, illetve a földre hullott meteoritok analizésére lehetett alapozni.

Először 2010-ben fordult elő, hogy közvetlen mintát is sikerült venni egy ilyen égitestről, s azt visszajuttatni a Földre: ezt a japán JAXA űrügynökség Hayabusza (Hayabusa; nevében a vándorsólymot jelentő japán szó köszön vissza) űrszondája hajtotta végre, amely a 25143 Itokawa kisbolygót kereste fel. Noha a min-

tamennyiség igen csekély volt, segítségével a földi laboratóriumokban nagy felbontású analitikai méréseket lehetett végezni, amelyek sokkal részletesebb információkat adtak, mint bármilyen eszköz, amit egy űrszondán a helyszínre lehet küldeni. Hasonló sikerrel járt a Hajabusza 2, amely a 162173 Ryugu kisbolygóról hozott vissza mintát.

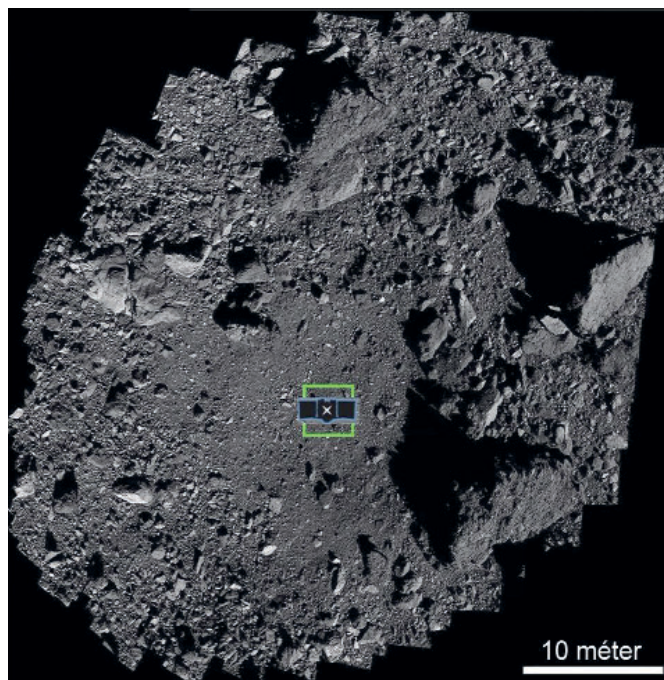


A 101955 Benu nagy szénttartalmú, szabálytalan alakú kisbolygó, átlagos átmérője mintegy 500 méter. Már távoli megfigyelések alapján is valószínűsíthető volt, hogy a felszínén hidratált ásványfázisok találhatók. Erre indult el az OSIRIS-REx (Origins, Spectral Interpretation, Resource Identification, Security – Regolith Explorer) űrszonda 2016. szeptember 8-án, majd 2018. december 3-án pályára állt a kisbolygó körül. Kevesen gondolnak bele, hogy ez technikailag mennyire nehéz feladat: egy olyan égitest gravitációjában kell fogságba esni, amelynek a tömege egyébként elég kicsi.

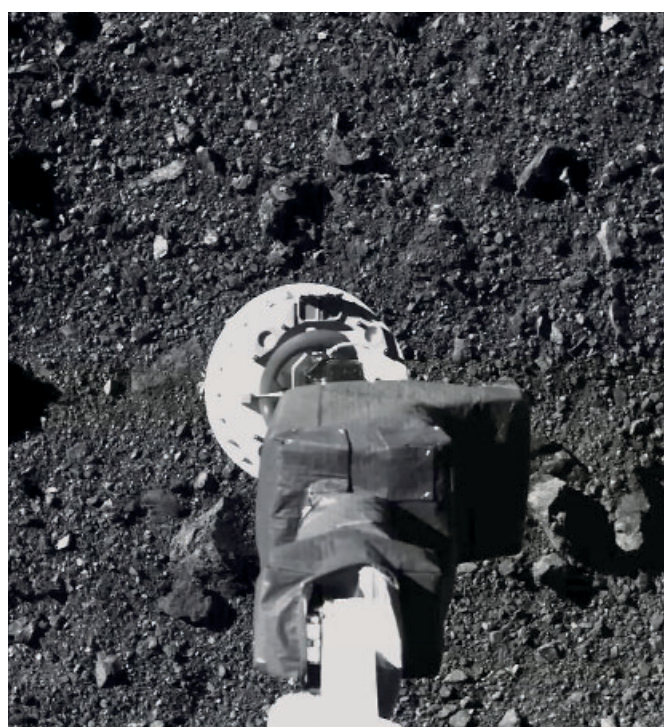
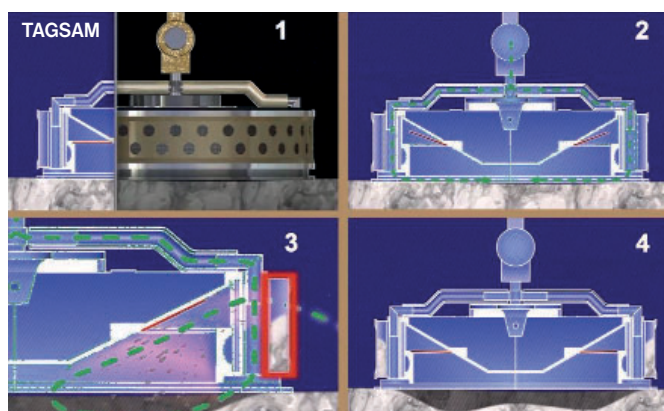


OSIRIS-Rex

A súlytalansághoz közeli állapot jelentette a küldetés legnagyobb technikai kihívását a mintavétel során, ehhez dolgozták ki a TAGSAM (Touch-And-Go Sample Acquisition Mechanism) rendszert, amelynek segítségével 2020. október 20-án sikerült a felszíni regolithból 121,6 grammos mintát gyűjteni. A szonda 2021. május 10-én indult vissza, és 2023. szeptember 24-én sikeresen a Föld felszínére juttatta a mintakapszulát.



A szonda még mindig működőképes és korlátozott mennyiségű üzemanyag is van rajta, ezért logikus volt a küldetés meghosszabbítása. Az új feladat neve OSIRIS-APEX, ahol az utolsó négy betű jelentésének eredete az Apophis Explorer kifejezés, s arra utal, hogy a tervek szerint a következő állomás a 99942 Apophis kisbolygó 2029 tavaszán. Az Apophis 2029. április 13-án rendkívül közel halad el majd a Föld mellett, az égi mechanikának köszönhetően az Osiris néhány nappal később, április 21-én áll majd pályára körülötte, s mintegy másfél éven át fogja kísérni. Mintavételre már nincs lehetőség, mert csak egyetlen kapszula volt, de a mintavevővel a kisbolygó felszínén lévő port fel lehet keverni, és ezt az állapotot távoli spektroszkópiával vizsgálják majd.

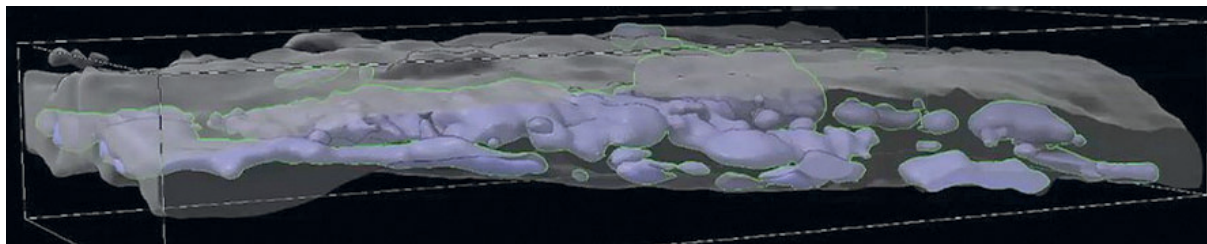


A TAGSAM mintavételi rendszer és a mintavételi hely a Bennu kisbolygón

Az előadásban a 2023-ban visszajutott minták analíziseredményeinek ismertetése előtt részletesen szó esett arról, milyen kivételes erőfeszítéseket kellett azért tenni, hogy a földi eredetű szennyezéseket elkerüljék. A tesztekbe több olyan elemet is beépítettek, amelyek elsődleges célja egy ilyen baleset utólagos felismerése volt. A legfontosabb vizsgálati módszerek közé tartozott a röntgendiffrakció, a pásztázó és transzmissziós elektronmikroszkópia, a tömegspektrometria (GC-MS, LC-HRMS) és a stabilizotóp-arányok mérése ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, D/H, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$).

A Bennu anyagának jelentős részét hidratált filloszilikátok alkotják, ami egyértelműen vizes átalakulási folyamatokra utal. Ezek mellett karbonátfázisok, magnetit és különféle szulfidok is kimutathatók, ami változatos redoxikörnyezetre enged következtetni a kisbolygón. Kitérőt figyelmet érdemel a nátrium- és magnéziumtartalmú foszfátfázisok jelenléte, ami arról tanúskodik, hogy a Bennu ősi anyagában a foszfor reakcióképes formában volt jelen. Erre korábban még nem volt bizonyíték a foszfor prebiotikus kémiájában.

A mintákban szerves anyagok széles tárházát találták: alifás és aromás szénhidrogének, heteroatomot tartalmazó molekulák, valamint komplex, makromolekuláris szerves fázisok is azonosíthatóak voltak. A szokásos 20 alapaminosavból 14 jelenlétét már ak-



Egy Benuról származó szilárd minta elektronmikroszkópos képe

korra is bizonyították, a valin kivételétől eltekintve racém elegy formájában. 13 olyan aminosavat is kimutattak, amely a földi fehérjék felépítésében nem játszik szerepet. Ez a megállapítás összhangban van azzal az elképzeléssel, hogy a korai Föld szerves kémiai alapanyagának egy része ilyen égitestek révén jutott a bolygóra.



Az eddigi eredmények közül a legjelentősebb a hidratált filloszilikátfázisok nagy mennyiségének kimutatása. Ezek jelenléte azt mutatja, hogy a Benu felszínét alkotó anyag egykor folyé-

kony vízzel érintkezett, mégpedig olyan környezetben, ahol a folyamat nem járt jelentős hőhatással. A filloszilikátok kristályszerkezeti rendezettsége csekély, ami arra enged következtetni, hogy az átalakulás viszonylag rövid ideig tartott. Ez összhangban van azokkal a kozmokémiai modellekkel, amelyek szerint a kisbolygók belső vizes kémiai folyamatai elsősorban rövid élettartamú radionuklidok (pl. ^{26}Al) bomlásához kapcsolódóan mentek végbe.

Az Osirishoz hasonló, mintát visszajuttató szondák a közeljövőben is ritkaságnak számítanak majd. A kínai Tianwen-2 2025. május 28-án indult útjára, a 100 méternél is kisebb átmérőjű 469219 Kamo'oalewa kisbolygót vizsgálja majd meg, s még ugyanabban az évben vissza is tér a mintával. Az előkészítés utolsó fázisában lévő japán MMX (Martian Moons eXploration) program a Mars mintegy 11 kilométer átmérőjű, Phobos nevű holdját látogatja meg, és egy Mars-holdjárót is magával visz. Visszaúton többször megközelíti a Mars másik holdját, a Deimost, majd az indítás után szűk öt évvel juttatja vissza a mintákat a földre. Az indítási év 2026, a pontos dátumot még nem jelentették be. A Föld és a Mars egymáshoz képesti helyzete a Naprendszerben 26 havonta ismétlődő indítási ablakokat ad meg, a következő ilyen 2026 novemberében és decemberében lesz.



Chemistry Europe
European Chemical Societies Publishing

WILEY-VCH

The Journal for Excellence in Chemistry, Open to All

Why publish with *ChemistryEurope*?

- Fully open access for global reach and impact
- No article publication charges until June 2026
- Highest publishing standards backed by a team of academic Editors-in-Chief and expert in-house editors
- Rapid dissemination of your research through fast editorial decisions and efficient article processing



The flagship journal of the Chemistry Europe publishing association