

# Magyar részvétel a Rosetta-űrszonda leszállóegységének tudományos kísérleteiben

## A Rosetta-küldetés

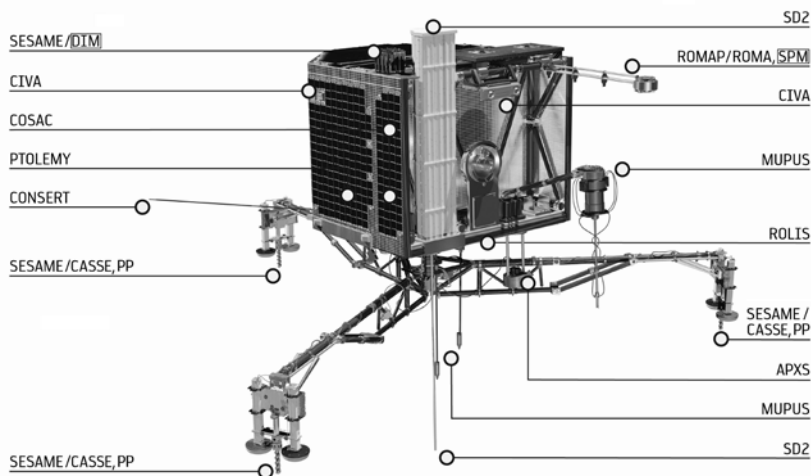
Az Európai Űrügynökség Rosetta nevű űrszondáját 2004. március 2-án bocsátották fel azzal a céllal, hogy aktivizálódásának kezdetétől – a Naptól számított több mint 3 CSE távolságtól – az égitest napközeli pontjáig legalább egy éven keresztül helyben tanulmányozza a 67P/Churyumov–Gerasimenko-üstökösöt. Az űrszonda emellett egy közel 100 kg tömegű leszálló egységet (Philae) is magával vitt, hogy annak műszereivel közvetlenül az üstökös felszínén végezzen tudományos méréseket.

Ahhoz, hogy közel tíz évvel később az űrszonda sikeresen elérje célját, gravitációs hintamánók sorozatára volt szükség. Háromszor (2005-ben, 2007-ben, valamint 2009-ben) a Föld és egyszer (2007 februárjában) a Mars mellett elhaladva szerzett akkora lendületet, amellyel lehetővé vált az üstökös megközelítése, majd az égitest körüli pályára állás. Útja során a Rosetta űrszonda elhaladt a Lutetia és a Steins kisbolygók mellett, ahol értékes tudományos vizsgálatokat is végzett. A hosszú út során az űrszonda irányítói rendszeresen tartottak tesztkampányokat, amikor fedélzeti szolgálati berendezések, valamint tudományos műszerek működését ellenőrizték. 2011 júniusára az űrszonda olyan távol került a Naptól, hogy napelemtáblái – egyéb energiaforrások hiányában – nem lettek volna képesek az üzemeltetéshez szükséges energiát biztosítani. Ezért előre tervezett módon az űrszondát hosszú időre kikapcsolták; ezt mély hibernációnak nevezték el. A mély hibernációs szakasz 2014 januárjában ért véget, amikor a Rosetta – előre beprogramozott parancsra – sikeresen életre kelt. Pár hónappal később a Philae műszereinek mély hibernáció utáni működőképességét is ellenőrizték. 2014. augusztus 6-án végül a Rosetta elérte célpontját, az átlagosan mindössze 4 km átmérőjű 67P/Churyumov–Gerasimenko-üstö-

köst. A pályára állást, valamint a feltérképezést követően kijelölték a leszállás tervezett helyszínét; a leszállás napjának 2014. november 12-ét jelölték meg.

## A Philae műszerei és tudományos programja

A leszállóegység műszerei által végzett tudományos vizsgálatok célja az üstökösanyag összetételének és felépítésének helyben történő vizsgálata volt, különös tekintettel az üstökös felszíni és felszín alatti anyagának elemi, molekuláris, ásványtani és izotóp-összetételére. A Philae-n összesen 10 tudományos műszert, illetve műszeregyüttest helyeztek el; ezek tömege hozzávetőleg 21 kg. Helyzetüket a leszállóegységen az 1. ábra mutatja. A műszerek között szerepel egy hat kamerából álló, panorámaképek készítésére is alkalmas képfelvevő rendszer (CIVA), mellyel a kutatók az infravörös és a látható hullámhosszú tartományban tudnak felvételeket készíteni, valamint a ROLIS rendszer, mellyel az első felszín közeli felvételek készültek a leszállóhelyről. Az SD2 fűrő, mintavevő és -elosztó segítségével az üstökös felszínét alkotó anyag közvetlen vizsgálatára is lehetőség nyílik. A műszer kb. 20 cm mélységig fúr le; az onnan begyűjtött mintákat analízis céljából a spektrométerekhez (COSAC, PTOLEMY), valamint mikroszkópos vizsgálatokhoz (CIVA) továbbítja. Az APXS műszer a Mars Pathfinder-en már használt alfa-proton-röntgen spektrométer egy továbbfejlesztett változata, mellyel a leszállóegység alatti felület vegyi elemzésére nyílik lehetőség. A MUPUS többcélú tudományos műszer az üstökösfelszín sűrűségének, hőtani és mechanikai sajátosságainak vizsgálatára szolgál. Az üstökösanyag rádióhullámterjedési kísérletben (CONCERT) rádiotomografos módszerrel vizsgálják az üstökös belső szerkezetét. Ez az egyetlen olyan kísérlet a



1. ábra. A Rosetta-űrszonda Philae elvezéscsi leszálló egysége és annak tudományos műszerei. A magyar részvétellel készült műszerek nevét kerettel kiemeltük (ESA/ATG medialab)

Rosetta-küldetés tudományos programjában, amelynek műszereit részben az anyaszondára, részben pedig a leszállóegységre telepítették. A ROMAP (ROsetta MAGnetometer and Plasma monitor) műszeregyüttes két kísérletet, a MAG-ot és az SPM-et integrálja. Feladata, hogy adatokat szolgáltatson az üstökös/napszél kölcsönhatásról és az üstökös aktivitásáról a naptól való távolság függvényében. A SESAME névre hallgató felszíni elektromos, hang- és akusztikus monitorozó kísérlet három műszert foglal magába: a CASSE akusztikus kísérletet, melynek segítségével az üstökös legfelső rétegének jellemzői vizsgálhatók, a PP permittivitásmérőt, valamint a DIM por-detektort. A DIM és az SPM detektorok fejlesztésében és megépítésében, továbbá a kapott mérési adatok kiértékelésében az MTA Energiatudományi Kutatóközpont mérnökei és kutatói vettek, illetve vesznek részt.

A magyar részvétel kapcsán érdemes megemlíteni, hogy a Philae hibatoleráns központi vezérlő és adatgyűjtő számítógépét az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont és az SGF Kft. mérnökei fejlesztették, míg a leszállóegység tápellátó rendszere a BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan

Tanszék Űrkutató Csoportjának jelentős közreműködésével készült.

A Philae működését három alapvető szakaszra osztották:

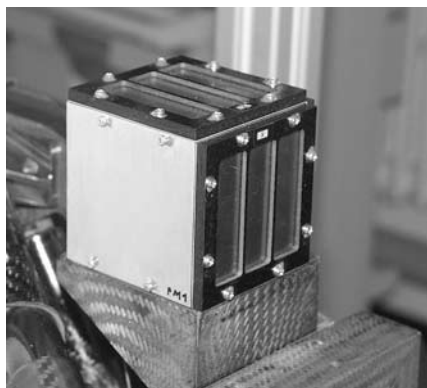
Az első, ún. SDL (Separation, Descent, Landing) fázisban történt meg az anyaszondáról való leválás, az üstökös magjához repülés és a felszínre szállás. Ennek időtartama kb. 7 óra volt. A repülés kezdetén nyitották ki a Philae lábait, a CONSERT antennáját és a ROMAP detektorának tartórúdját. A leszállás alatt folyamatosan üzemelt a ROMAP magnetométere, mellyel párhuzamosan összehasonlító méréseket végeztek az anyaszonda magnetométerével, valamint a CONSERT; szakaszosan működött a CIVA-ROLIS és a SESAME DIM por-detektora.

A leszállás utáni második, ún. FSS (First Science Sequence) fázisban került sor az első felszíni tudományos mérésekre, melynek során – szakaszosan – valamennyi tudományos műszert bekapcsolták. Az SDL és FSS fázisokban a Philae fedélzeti tápellátását az addig „érintetlen” lítiumelemek (Primary Battery) biztosították; az FSS végső szakaszában a Philae napelemei által töltött akkumulátorok (Secondary Battery) „besegítését” is tervbe vették.

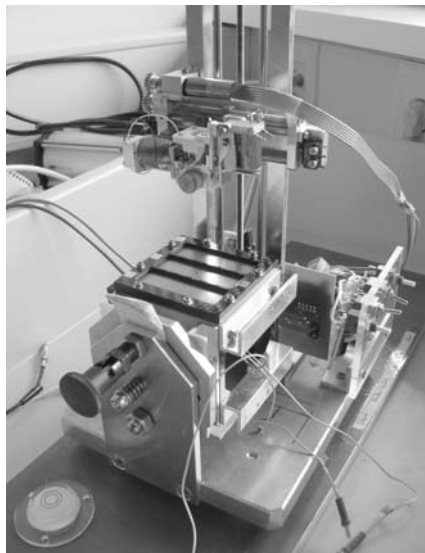
A harmadik, ún. LTS (Long Term Science) fázist több hónapra tervezik, melynek során – a Philae hőmérsékletének és az akkumulátorok töltöttségi állapotának figyelembe vételével – az egyes műszerek szakaszosan mérnek.

## A DIM por-detektor

A DIM detektorát (2. ábra), mely a Philae balkonján foglal helyet, három egymásra merőleges irányba néző, 3–3 szegmensből álló piezo-elektromos érzékelő alkotja; érzékelési felületük összesen 72 cm<sup>2</sup>. A kísérlet fő feladata azoknak az üstökös felszíni anyagrészecskének a vizsgálata, melyek a kiszabaduló gázok hatására időszakosan elhagyják a felszínt, de mivel a szökéshez nincs elegendő sebességük, visszaesnek rá. Emellett – a detektor geometriájának köszönhetően – a közvetlenül az üstökös felszínéről érkező részecskék detektálása is lehetséges. A por-szemcsék a szenzoroknak ütközve azokban elektromos jelet váltanak ki, mely csillapított szinuszos jelleget mutat. A DIM jelfeldolgozó elektronikája a kapott első fél-periódus amplitúdóját és szélességét határozza meg. Ezen mennyiségek a rugalmas ütközések fizikáját leíró hertzi elmélet szerint a porrészecske tömegétől és sebességétől, valamint a szenzor és a por-részecske anyagi tulajdonságaitól függenek; a becült anyagi tulajdonságok



2. ábra: A Philae tetejére szerelt DIM por-detektor (MTA EK, MPS)



3. ábra: Ejtési kísérletek a kalibráló mechanikára szerelt DIM por-detektorral (forrás: MTA EK, MPS)

mellett a beérkezett részecskék fluxusa, valamint tömeg és sebesség szerinti eloszlása is becslhető. A kapott adatok értelmezésének megkönnyítésére egy olyan földi kalibráló egység áll rendelkezésre (3. ábra), mellyel különféle anyagú, formájú és állagú részecskékkel beütési próbák végezhetők vákuumban és extrém alacsony hőmérsékleten is. Az elméleti számítások és a kísérleti eredmények alapján a DIM a tizedmilliméteres-milliméteres méret-, valamint a 0,025–2 m/s sebességtartományban érzékeny.

## Az SPM töltött-részecske monitor

Az SPM kísérlet célja a napszél-paraméterek (sűrűség, sebesség, hőmérséklet, irány) meghatározása, és ezek alapján az üstökös-napszél kölcsönhatás nyomon követése az üstökös inaktív állapotától annak aktív állapotáig, a kóma kialakulásáig. Az SPM detektorát egy elektrosztatikus félgömb-analizátor és egy Faraday-csapda alkotja. Előbbi az elektronok és ionok fajlagos – azaz egységnyi töltésre vonatkoztatott – energiaspektrumának és irányeloszlásának, utóbbi pedig a töl-

tött részecske fluxus energia függvényében történő meghatározására szolgál. A 160°-os látószögű műszerrel a 40 eV – 8000 eV energiájú ionok a 0,3 eV – 4200 eV energiájú elektronok jellemzőit (sűrűség, sebesség, hőmérséklet, irány) tudják mérni. A félgömb „üres” belsejébe van beleépítve a ROMAP fluxgate magnetométere, mellyel a mágneses tér vektoriális komponensei határozhatók meg  $\pm 2000$ nT dinamika-tartományban, 10pT felbontással.



4. ábra. A ROMAP kombinált mérőfeje  
(Technische Universität Braunschweig)

## Hazai vonatkozású mérések a leszállás közben és az üstökös felszínén

2014. november 12-én reggel, 8:35-kor (minden időpont GMT-ben) a leszállóegység levált az anyaszondáról. A Philae ROMAP kísérletének magnetométerét – melynek célja az üstökös esetleges mágneses terének a mérése – a műszerek közül elsőként, már a leválás előtt két órával bekapcsolták. Egy órával később, valamint a leválást követően még összesen három alkalommal – az üstökös magjától különböző távolságokban – a SESAME kísérlet pordetektorával (DIM) is végeztek méréseket.

A Philae 15:34:04-kor érte el az üstökös felszínét, de sem a talajhoz nyomást biztosító gáz-fúvóka, sem az ott-tartást biztosító horgonyok kilövőszerkezete nem lépett működésbe. A leszálló egység ezért elhagyta a felszínt, és többszöri talajérintés után 17:31:17-kor érte el végső pozícióját

– a tervezett leszálló- (és első talajérintési) helytől több, mint egy km távolságban, egy hasadéokban. A ROMAP és a keringő egység magnetométereinek adatainak összevetéséből a kutatók pontosan rekonstruálták a Philae orientációját és forgási paramétereit, emellett a kinyúló rúdon lévő detektor rezdüléseiből másodperc pontossággal meg tudták határozni az egyes talajérintések időpontját. Az első talajérintés után a plazmamérések is elkezdődtek, melyek aztán több mint 6 órán át folytak. A végső talajt érést követően 5 alkalommal, közel 1–1 órára a DIM műszert is bekapcsolták. Utóbbi mérési adatai arra engednek következtetni, hogy a Philae végső leszállóhelyén az üstökös aktivitása jelenleg meglehetősen kicsi. A mérési adatok részletes kiértékelése és értelmezése a cikk írásának időpontjában még folyamatban van.

Az eredetileg tervezett hosszú távú tudományos mérésekre a Philae nem megfelelő pozíciója miatt egyelőre nem kerül sor. A Nap a leszálló egységet az üstökös tengely körüli körbefordulása (12,4 óra) alatt mindössze másfél óra hosszan és meglehetősen kis szögben világítja csak meg, így annak hőmérséklete jelenleg igen alacsony (ami az akkumulátorok töltését lehetetlenné teszi), és a napelemtáblák megvilágítása sem megfelelő mértékű. A Rosetta programban dolgozó mérnökök és kutatók szerint viszont remény van arra, hogy az üstökös pálya napközeli pontjának közelében a körülmények kedvező irányban változnak meg, és a mérések a felszínen újra megkezdődhetnek. Addig is az anyaszonda – eddig kiválóan működő – távmérő érzékelői folytatják sok hónaposra tervezett mérési kampányukat. Ezáltal is lehetőség nyílik a Naprendszer ősi anyaga tulajdonságainak és a kialakulásának jobb megértésére.

A DIM és SPM műszerekhez való hazai hozzájárulás PRODEX és PECS szerződések keretében valósult meg. A munka jelenleg a 4000107211, valamint a 4000107212 számú PECS-szerződések keretében folyik.

*Apáthy István, Hirn Attila  
MTA Energiatudományi Kutatóközpont*