

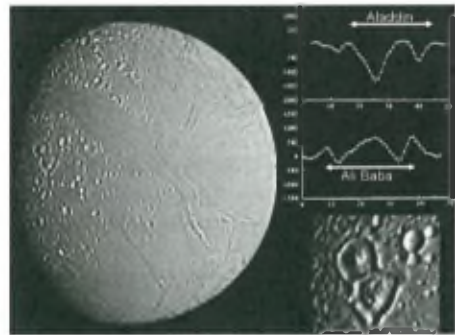
# A Szaturnusz pőfékelő holdja

Az Enceladus 505 km-es átmérőjével, 1,12 g/cm<sup>3</sup>-es sűrűségével és 1,37 napos keringési idejével átlagos objektum a Szaturnusz holdrendszerében. Elsőként a Voyager-szondák mutattak rá érdekességeire, most pedig a Cassini felvételei nyomán lett a küldetés második legfontosabb célpontja a Titan után. Az alábbiakban előbb általánosságban áttekintjük, mit tudunk a Cassini előtt a holdról, majd az új eredményekből szemezgetünk.

Az Enceladust William Herschel fedezte fel 1789 augusztusában, és a görög, valamint római mitológiában ismert százkarú óriásról nevezte el. Akkoriban még csak öt szaturnuszholdat ismertek: a Titant, a Rheát, a Iapetust, a Dionét, és a Thethyst. Elsőként a Voyager-1 készített közeli képeket az Enceladusról 1980 novemberében, bár a felvételek a nagy távolság miatt még elég gyengék voltak. Kilenc hónappal később, a Voyager-2 sokkal részletesebb fotói 1–3 km közötti felbontással örökítették meg a felszín 43%-át, ráadásul ez a felszín sok helyen meglepően simának és fiatalnak mutatkozott. Ez a felismerés volt az egyik oka, hogy a Cassini útja során négy Enceladus-közeliítést is terveztek, hogy az égitestet teljesen föltérképezhessék.

A felszín egyik régóta ismert sajátja, hogy a ráeső fény majdnem 100%-át visszaveri, ami példátlan a Naprendszerben. A kötött tengelyforgású hold követő féltékéje egy kicsit világosabb a vezető féltékéhez képest – bár globálisan homogénnek mondható az albedó. Az egyenletes fényvisszaverő képesség kialakulásában talán az E-gyűrűről visszahulló szemcsék is közreműködhetnek (a hold az E-gyűrűben kering). A nagy albedó emellett azt is jelenti, hogy a felszín csaknem pormentes jég.

Az Enceladus kráttersűrűsége változatos, legidősebb területei nagyjából hasonló korúak, vagy kicsit fiatalabbak, mint a Tethys és a Rhea idős vidékei. Ugyanakkor sok helyen csak elszórvan találhatunk krátereket, lényegesen kisebb számban, mint a holdhoz sokáig hasonlóknak tartott Mimasnál. Az Enceladuson a legnagyobb kráter átmérője csupán 35 kilométer, és a felszín jelentős részét sík területek alkotják, amelyeket árkok és repedések szabdalnak. A nagy kráterek hiánya, néhány elöntött és eldeformálódott kráter, valamint a tiszta, fényes jégtakaró arra utal, hogy az idők folyamán a felszín megújult. Ilyen alakváltozás csak kellően magas hőmérséklet, erős tektonikus és vulkanikus hatás esetén történhet.



**Az Enceladus a Voyager-2 felvételén. Jobbra az Aladdin- és az Ali Baba-kráter 9-szeresen túlmagasított közelítő keresztmetszéve, alul a két furcsa kráter kinagyított képe**

A felszín fiatal részeinek kora a becsapódások gyakorisága alapján közelítőleg 20–200 millió év. A legfiatalabb vidékek kráttersűrűsége tehát az Európánál és a Triton jégsapkájánál megfigyelt arányhoz hasonló. Utóbbi egyértelműen túl fiatal ahhoz, hogy megjelenését az égítést keletkezése óta történt geológiai aktivitás nélkül magyarázzuk. Ugyanakkor nagy

kérdés, honnan kapja a hold az utóbbihoz szükséges belső energiát. A radioaktív fűtés egymagában ehhez kevés, ezt feltehetőleg árapályfűtés egészíti ki. Ennek az az oka, hogy a Dione és az Enceladus között 2:1 arányú keringési rezonancia áll fenn. A Dione keringési ideje duplája az Enceladusénak, így szabályos időközönként pályájuk ugyanazon pontján kerülnek legközelebb egymáshoz, ami a pályájukat kissé megnyújtja. Az enyhén elliptikus pályán változó a keringési sebesség, a tengelyforgás viszont továbbra is egyenletes. Emiatt a Szaturnusz keltette dagálypúp periodikusan eltolódik az Enceladuson, ami hőtermeléssel jár. A számítások alapján az így felszabaduló teljesítmény-sűrűség nagyságrendileg  $5 \text{ mW/m}^2$  körüli, és nem egyértelmű, hogy elegendő-e a belső aktivitáshoz. Elképzelhető, hogy kevés metán és ammónia megemeli a jég olvadáspontját, és ennek eredményeképp kevesebb hő is elég az anyagok megolvadásához.

Korábban már említettük, hogy az Enceladus az E-gyűrűben kering. Utóbbi létezését 1979-ig vitatták, mert csak akkor figyelhető meg a Földről, amikor a gyűrűrendszer éléről látszik. 1979 őszén a Pioneer-11 bizonyította egyértelműen a gyűrű létezését, majd később földi megfigyelések során vették észre, hogy az E-gyűrű az Enceladus pályája mentén a leg-sűrűbb és a legfényesebb. Ekkor merült fel, hogy utánpótlását a holdról nyeri, ennek hiányában 1000–10 000 éves időskálán szétoszlan a anyaga. A részecskék a földi vizsgálatok alapján fagyott víz-cseppekre emlékeztetnek. Az Enceladus anyaga esetleg a becsapódásokkor kirepülő szemcsék formájában kerülhet a gyűrűbe. Ilyen elven azonban bármely hold körül hasonló gyűrű alakulhatna ki, ezért került szóba egy további lehetőség, amely szerint a jégdarabok gejzírek útján is elhagyhatják az égitestet.

A felszíni aktivitásra a fent említett magas albedón és a kráterzegény területen kívül tektonikus szerkezetek is utalnak. A Cassini előtt ezekből csak néhányat ismertünk, ilyenek pl. a tágulások eredetű Samarkand Sulci, a 4 km széles és legalább 300 m mély Darabar Fossa. Az Isbanir Fossa repedése mentén 300 m-es szintkülönbség mellett megfigyelhető, hogy egymáshoz képest 15 km-re jobbra tolódtak el a törésvonal ellenkező oldalán lévő kőzetek. Általánosan elmondható, hogy az Enceladuson a szintkülönbségek 0,5–2 km-nél nem nagyobbak, és többnyire inkább a mélyedések, mint a hosszanti magaslatok jellemzők a holdon. Mindezeket túl felmerült az aktív kriovulkánok lehetősége is. Itt a szilikátos magma helyett vízjég és egyéb gázok alkotják a kőzetolvadékot, melynek megszilárdulásával vízjég keletkezik. Ez a folyamat megújíthatja a felszínt, és az E-gyűrűt is fenntarthatja. Elképzelhető, hogy egyes furcsa kráterek is részben vulkáni eredetűek. Ilyenek például az Aladdin és Ali Baba esetében megfigyelhető szokatlanul nagy és magas központi csúcsok, amelyek akár 600 m-re is kiemelkedhetnek az aljzatról. (Az Enceladus felszínformáit találóan az Ezeregyéjszaka meséi után nevezték el, talán megsejtve a Cassini által feltárt további rejtélyes képződményeket...)

A Cassini-szonda révén számtalan új, részletes felvétel és egyéb megfigyelés készült. A hold idős területein sok észak–dél, valamint kelet–nyugat irányú törésvonalat sikerült azonosítani, amelyek egymásra közel merőleges rendszert alkotnak. Ezek az árapálytengely (a Szaturnusz irányába mutató tengely) két felszíni dőféspontja közelében koncentrálnak, és az árapályerők hatására alakulhattak ki az évmilliók során.

A Cassini 2005. július 14-én 175 km-rel repült el a hold déli féltékéje felett, minden korábbinál részletesebb felvételeket

készítve. Ezek alapján a d.sz. 55. fokától délebbre sokkal kevesebb a kráter, mint az északi sarkvidéken, vagy alacsonyabb szélességeken. Ugyanakkor bőséggel fordulnak elő néhányszor 10 méteres sziklák, több párhuzamos törésvonal, és világos fagyréteghez hasonló finom takaró is látszik. A kérdéses terület pereme „cikk-cakkos” körvonallal, háromszögszerűen, V alakban elkeskenyedő nyúlványokkal kapcsolódik idősebb környezetébe. A legizgalmasabbak az infravörös spektrométer mérései, eszerint a terület érezhetően melegebb annál, mint amilyen hőmérsékletűnek a számítások alapján lennie kell. Míg az egyenlítő közelében kb. 80 K uralkodik, a déli póluson 85 K. Ennél lényegesen hidegebb volna, ha nem lenne belső fűtés, és csak a beeső napfény melegítené a felszínt. A déli sarkvidéken belül az egyes repedések még melegebbek, közel 110 K-esek. A déli sarkvidékről a Voyager-felvételek alapján korábban csak annyit tudtunk, hogy ott az átlagosnál is kicsit magasabb a hold albedója.

A terület felett az ion- és semleges részecske tömegspektrométer (INMS) a ritka légkör vízgőz koncentrációjában 35 másodperccel a legnagyobb közelség előtt éles maximumot figyelt meg. Az észlelésre 270 km-rel a fiatal terület pereme felett került sor. Később a holdhoz legközelebb, 175 km-re haladt a szonda el, mégsem az utóbbi helyen jelentkezett a maximum – annak forrása tehát a felszín kisebb területe volt. A nagysebességű detektor (HRD) és a por-detektor (CDA) pedig a finom, púder szemcseméretű jég szemcsék eloszlásában figyelt meg maximális koncentrációt közel egy perccel a legnagyobb közelség előtt, 460 km-re a felszín felett. A szonda mozgásának utólagos elemzése rámutatott, hogy az űreszköz ekkor egy hasadék felett repült el.

A fentiek arra hasonlítanak, amit az üstökösök felszíni anyagkibocsátásakor keletkező anyagsugarak (jetek) esetében várhatunk. Természetesen nagy különbség, hogy míg az üstökös magoknál a jelenségért ismereteink szerint a beeső napsugárzás kiváltotta szublimáció felel, addig az Enceladusnál a belső hő gerjesztheti azt. A modellek alapján elképzelhető, hogy a mélyből víz-ammónia keverék, vagy közel tiszta víz nyomul a felszínre, ahol a környezeténél magasabb hőmérséklete miatt erősen szublimál és sok vízmolekulát, nitrogént, széndioxidot, metánt, etánt és etilént bocsát ki, gázokkal töltve fel a légkört. A folyamat keretében valamilyen módon (talán a vulkánkitörésekhez hasonlóan) szilárd szemcsék is kirepülnek az űrbe.

Az Enceladus ritka légkörét először a február 17-i közelítéskor észlelték, a magnetométer segítségével. Az atmoszférából elszökő semleges és ionizált részecskék ugyanis megváltoztatják a hold közelében a Szaturnusz mágneses erővonalainak helyzetét. Július 11-én a Cassini a Bellatrix okkultációja során is detektálta a légkört, de csak a csillag belépésekor. A kilépéskor nem jelentkezett elhalványodás, ami aszimmetrikus eloszlású atmoszférára utal. A mostani elhaladás során is detektált ritka gázburok 65%-ban vízmolekulákból, 20%-ban hidrogénmolekulákból áll, emellett széndioxid, molekuláris nitrogén és szén-monoxid mutatkozik benne. A jelek tehát arra utalnak, hogy a déli poláris vidéken lévő, nem hivatalosan Tigriskarmolásoknak nevezett régió a hold legaktívabb területe. Itt a törésvonalakkal szabadult, és viszonylag meleg, fiatal felszín alól gáz és szilárd anyag szabadul ki az űrbe, folyamatos anyagutánpótlást biztosítva a légkörnek és az E-gyűrűnek.

BUDAI EDINA, SZABÓ ANDREA,  
KERESZTURI ÁKOS