

# Különleges alakzat a Holdon: az Ina

Ebben a cikkben egyedülálló holdfelszíni alakzatot mutatunk be, amelynek létezésére csak az első emberes holdutazások eredményeként derült fény, és amely a Hold történetének egy új, titokzatos fejezetéről hoz híradást.

A felfedezés története 1971. július/augusztus fordulójára, az Apollo-15 holdexpedíció idejére nyúlik vissza. Miközben David R. Scott parancsnok és James B. Irwin, a holdkomp pilótája a holdi Appenninek-hegység lábánál a Hadley-rianás közelében a felszínen tanulmányozták égi kísérőnket, addig Alfred M. Worden, a parancsnoki modul pilótája szorgalmasan fényképezte a Hold felszínét.

Az Arizonai Egyetem Bolygó és Holdkutató Laboratóriumának (LPL, Tucson, AZ) neves holdkutatója, Ewen A. Whitaker észrevette, hogy a 72. keringés során az Itek Optikai Rendszer AS15-P-10176 és 10181 képein egy szokatlan, D betűre emlékeztető, mintegy 3 km kiterjedésű mélyedés látszik a Haemus-hegység déli előhegyeinél. Közeli holdrajzi koordinátái: keleti hosszúság 5°18', északi szélesség 18°36'.

Ez a furcsa mélyedés a hasonló méretű krátereknél sokkal laposabb aljzatú, és nem is olyan jellegzetesen mély „kanál” vagy kúp alakban lefelé szűkülő, mint az ismert néhány kilométer átmérőjű becsapódási kráterek. Felülről nézve a közepe kiemelkedik, kissé domború. Az alakzat mélységét Whitaker legfeljebb négyszer tíz méteresnek becsülte, és megjegyezte, hogy a formáció nagyon eltér az addig ismert holdfelszíni alakzatoktól. A képződmény a Lacus Felicitatis mellett közvetlenül kelet felé a mare területből néhány száz méterrel kiemelkedő lapos platón helyezkedik el. A D forma egy egyenes szakasszal és egy nagyjából félkörívűből álló éles peremmel határolódik el a környező platótól. A peremén kívüli része lankásan simul bele a plató szintjébe.

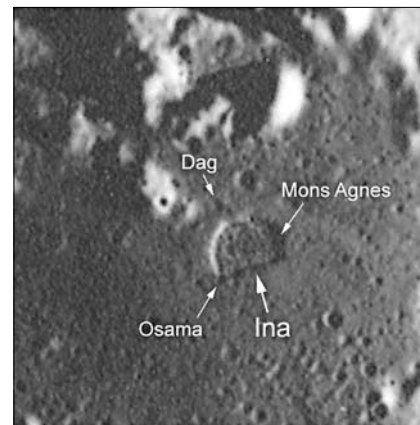


Alfred Worden, az Apollo-15 űrhajósa 1971-ben, Hold körüli pályáról fényképezte le az Ina elnevezésű alakzatot (NASA-felvétel)

A mélyedés aljzata felerészben sötét mare anyag foltokkal tarkított, s az egész alakzat belseje „szennyezett, piszkos higany-cseppre” emlékeztetően „fodrozott, habos”. A sötétebb foltok és az aljzat között gyakran fényes, nagyobb fényvisszaverésű anyagból elválasztó határvonal látszik. Az aljzaton vannak olyan sötét foltok is, amelyek a szokásos mare anyagtól különböző fotometriai tulajdonságot mutatnak. A D alakzaton belül mindössze csak két becsapódási kráteret azonosítottak, és a környezetében is alig vannak ilyenek.

A Nemzetközi Csillagászati Unió (IAU) és az Egyesült Államok Geológiai Szolgálat (USGS) holdfelszíni alakzatok nevezéktanába 1979-ben került bele az Apollo-15 felvételein Ewen Whitaker által a Lacus Felicitatis melletti platón felfedezett D alakzat, amely az Ina elnevezést kapta. Az IAU listán a név jelentése mellett ez áll: „latin női név”.

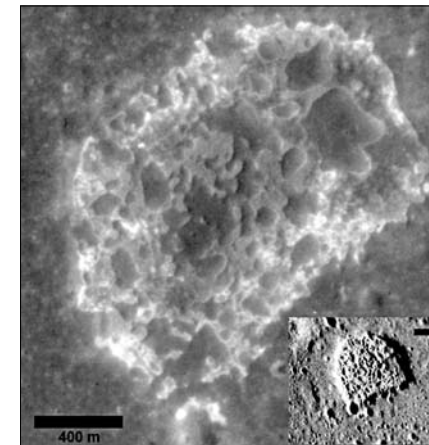
Az Ina belső és külső pereménél, valamint közvetlen szomszédságában a peremétől egy kilométeren belül még három kisebb alakzat is van, amely szerepel az IAU/USGS hivatalos elnevezések között. Ezek az Apollo-17 AS17-M-1518 számú felvételén látszanak a legjobban. A Dag (skandináv férfinév) egy 0,36 km átmérőjű kis kráter, az elnevezést 1976-ban fogadta el az IAU. A második alakzat, az Osama (arab férfinév) egy 0,42 km átmérőjű kráter pontosan az Ina „D” betűje délnyugati végénél ül a peremen. Ezt a nevet is 1976-ban fogadta el az IAU. A Mons Agnes (görög eredetű női név) az Ina északkeleti peremére belülről rásimuló kiemelkedés. Az IAU ezt 1979-ben fogadta el, abban az évben, amikor az Ina elnevezést.



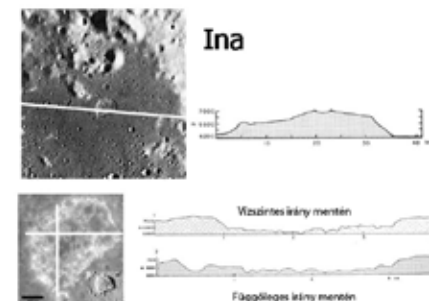
Az Ina belsejében (Mons Agnes), pereménél (Osama) és kívül a közelében (Dag) levő kisebb alakzatok. Bővebben l. a szövegben (Apollo-17 metrikus kamera AS17-M-1518 felvétel)

A hivatalos „Ina” név mellett más, de nem hivatalos elnevezései is használatosak a mindennapi kutatómunka során, amelyek jellegzetes alakjára utalnak: „D-struktúra”, „D-alakú struktúra”, „Ina D”, „Ina kaldera”, „D-kaldera”, s hogy miért épp kaldera, azt az alábbiakban megtudhatjuk.

Az Apollo-15 után az Apollo-16 programjában nem szerepelt az Ina megfigyelése. Viszont az Apollo-17 űrhajósa folytatják az Ina fényképezését 1972. december 10.



A jellegzetes „D betű” kinagyítva az eredeti Apollo-15 AS15-P-0176 felvételtől (jobb alsó sarok). (NASA Apollo-15, Schultz és munkatársai, 2006)



Az Ina és a környezet magasságprofilja a kijelölt egyenes mentén (fent). Az Ina belsejének vízszintes és függőleges irányú magassági profiljai (lent). (Profilok: El-Baz, 1980 és illusztrációs képek: NASA Apollo-17 AS17-M-1672 és Apollo-15 AS-P-10181)

és 16. között. Miközben Eugene A. Cernan parancsnok és Harrison H. Schmitt geológus, holdkomp-pilóta a Taurus-Littrow térségben gyalogosan és holdautó segítségével kutatta a Holdat, addig Ronald E. Evans, a parancsnoki modul pilótája által készített felvételek további adalékokkal járultak hozzá az Ina titkainak megismeréséhez.

Az Apollo-17 Ina D-ről készített felvételeinek első kiértékelését Farouk El-Baz egyiptomi-amerikai geológus végezte, aki

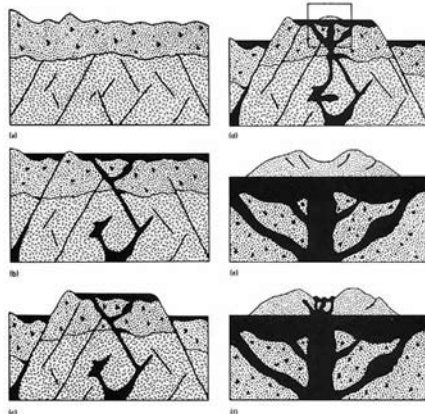
az Apollo-holdexpedíciók leszállóhelyeinek kiválasztásában, valamint a holdfelszíni kutatásokat végző űrhajósok felkészítésében vett részt. El-Baz felismerte, hogy az Ina valójában egy nagyobb holdi dóm, magmás kőzetanyag felboltozódás tetején helyezkedik el. Maga a dóm a platóból emelkedik ki alig észrevehetően és mintegy 14 km átmérőig terjed a talpazata. A plató maga tulajdonképpen egy kiemelkedett vetődési képződmény (geológiai szakkifejezéssel horst). Ezt a platót nyugatról a Lacus Felicitatis, északról a Haemus-hegység lába, keletről a Lacus Odii és Lacus Doloris határolja. A dóm tetején lévő Ina a terület holdi vulkánossággal való szoros kapcsolatát jelenti, így tehát az Ina nem alaptalanul tekinthető vulkanikus eredetű képződménynek. El-Baz szerint az Ina csak mintegy 30 méter mély, ami megfelel Whitaker előzetes becslésének.

El-Baz arra is rámutatott, hogy az Ina kisebb mare területekkel szabdaltnak tekinthető fekszik, a Lacus Felicitatis, Lacus Odii, Lacus Doloris, Mare Vaporum vidékén. Ezen a területen a vulkáni bazaltos anyag, amely egykoron az Ina alatt felfelé mozoghatott és az alakzat belsejében megfigyelhető lávafolyásokat és „hőlyagszerű, fodrokra” emlékeztető lyukacsos szerkezetet létrehozta. El-Baz arra is felhívta a figyelmet, hogy a Haemus és Appenninek közötti vidék alumínium/szilícium (Al/Si) gyakorisági aránya a mare anyag jelenlétét tükrözi, továbbá az egyik jelentős holdrengés aktivitási zóna (az A-7 jelű) is ezen a vidéken van. Ez a Haemus és Appenninek között a mélyben húzódó törésvonalak, a Serenitatis törérendszer jelenlétére utal. Mindezek alapján az Ina viszonylag fiatal képződmény lehet.

Az Ina kialakulásának első modelljét Ewen A. Whitaker tette közzé 1978-ban. A modellben az Ina-kaldera kialakulása hat egymás után következő fő lépésben foglalható össze. Ezek lényege a következő.

Az első, kiindulási helyzet: az Imbrium-medence kialakulása előtt adott a holdfelszín eredeti kőzet- és törmelékanyaga.

A második lépésben feltehetően az Imbri-



Az Ina kialakulásának lépései: a) kezdetben adott az eredeti holdfelszín, b) a mélyből bazaltos magma áramlik fel a felszínre, c) vetődéssel tömb, az Ina-plató alakul ki, d) folytatódik a magma felfelé áramlása és egy kis lankás dóm alakul ki, e) a dóm mérete megnövekszik és a közepe beroskad, kialakul a kaldera, f) a kalderában felszíni vulkáni aktivitás és lávafolyások történtek, kisebb mini-dombok és mélyedések, üregek is kialakulnak (Ewen A. Whitaker, 1978)

um-medencét létrehozó hatalmas becsapódás után a mélyben levő magma felnyomódott a felszín felé az Appenninektől keletre is. E mellett lávaanyag fröccsent át az Appennineken, létrehozva a Mare Vaporumot, valamint a mellék mare területeket az eredeti holdfelszín feltöltésével, arra ráarakódva. Ez alakította ki a Lacus Felicitatis vidékét is. A bazaltos magmaanyag a kőzetrepedéseken felfelé áramlott. Felmerülhet, hogy esetleg a szomszédos nagy becsapódási medencék, a Mare Serenitatis és Mare Tranquillitatis kialakulása, mare anyaga is szerepet játszott az Ina kialakulásában.

A harmadik lépésben – miután erős tektonikus mozgások követték az Imbrium-medence kialakulását – vetődésekkel árkok és kiemelkedések jöttek létre, így az Ina plató (horst) képződménye is. A kiemelkedett platótömb belsejében levő magmácsatornákból tovább folytatódott a vulkanikus anyag felszínre áramlása.

A negyedik lépésben a plató tetején vulkáni dóm alakult ki az állandó belső utánpótlással felszínre jutó lávaanyagból. A dóm



A mintegy 3 km átmérőjű Ina egy platóból kiemelkedő lankás, mintegy 14 km talpazatátmérőjű dóm tetején fekszik. Környezetében nagyon kevés becsapódási kráter van. (AS17-M-1672 felvétel, Ewen A. Whitaker, 1978)

először még kis méretű volt: néhány tíz, majd néhány száz méter átmérőjű.

Ötödik lépés: a dóm közepe beroskad, mert az aljából eltávozó, oldalirányban szétfolyó lávaanyag kiüresítette a dóm közepét, ennek következtében az berogyott, de nem túl mélyen, hanem csak legfeljebb néhány-szor tíz méteres mélységben. Ekkor jött létre a lapos kaldera, az Ina.

A hatodik lépésben is még elég sok lávaanyag juthatott a mélyből a felszínre, és a dóm tömbjén áttörve kisebb vulkánkitörések által jutott szabadon a felszínre. Ez tehát egy eruptív vulkanikus periódus lehetett az Ina történetében. Ennek a felszínre tört lánának megszilárdult folyásait, dombszerű kiemelkedéseit és beroskadó kisebb mélyedéseit lehetett megfigyelni az Apollo-15 és -17 felvételein, illetve vizuálisan is látták az űrhajósok. A kaldera pereme jól körülhatárolt, és a dóm is megfigyelhető a plató közepénél.

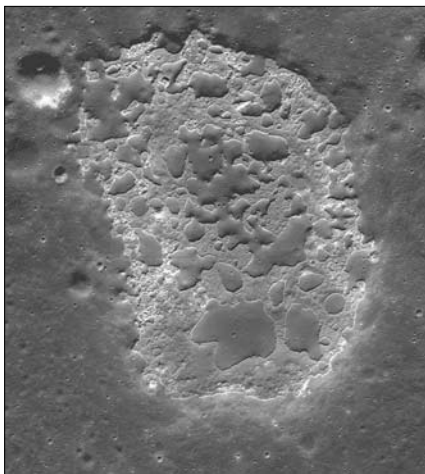
Peter H. Schultz, Carlé Pieters (Brown Egyetem, Providence, RI) és Matthew I. Staid (Bolygókatatósi Tudományos Intézet, PSI, Tucson, AZ) 1999-ben és 2001-ben egy-egy rövid konferencia-összefoglalót adtak közre, majd 2006-ban egy figyelemre méltó cikket

közöltek a Nature folyóiratban a vulkán működésével és esetleges jelenkori utóvulkáni aktivitásával kapcsolatban. Az Apollo-15 és -17, valamint később, 1994-ben a Clementine-szonda felvételein látszik, hogy az Ina környezetében nagyon kevés becsapódási kráter van. A Clementine 415, 750 és 950 nanométeren készült többszínfotometriai felvételei az Ina belsejében és környezetében fiatal holdfelszínt mutatnak. Schultz és munkatársai szerint az Ina legutolsó vulkáni aktivitása legfeljebb csak néhány tízmillió évvel ezelőtti, ami azt jelenti, hogy holdi geológiai időskálán nemrég történt eseményről van szó. Ez azt is jelenti, hogy a holdi vulkáni tevékenység nem szűnt meg mintegy 3,2 milliárd évvel ezelőtt – vagy legfeljebb 1–2 milliárd éve, ahogy a szelenológusok többsége addig gondolta. A kései vulkáni aktivitás azonban csak olyan kicsi, izolált területeken fordulhatott elő, mint amilyen az Ina és vidéke.

A Clementine adatai szerint az Ina belsejében magas titán és vas-oxid tartalmú vulkáni bazalt található. Ez a közeli Mare Tranquillitatis anyagához való hasonlóságot is jelentheti – tehát az Ina plató vidéke nem csak a Mare Imbrium, hanem a Mare Tranquillitatis mare anyagából is származhat.

Schultz és munkatársai szerint az Ina vulkáni lávafolyásai mellett, illetve azt követően a felszín alól gázkibocsátás is történt, ami részben piroklasztikus aktivitást is jelentett, illetve a gázkibocsátás a holdi eredeti regolit takarójának szétszórását is okozták. Az Apollo-15 alfarészecske-detektora olyan radioaktív részecskéket (polónium-210, amely az urán-radon bomlási sorból származik) figyelt meg, amelyek legfeljebb az utóbbi hatvan évben kerültek ki a Hold belsejéből. Ez felveti, hogy bár kismértékben, de a Hold bizonyos részei még ma is mutatnak valamilyen gázkibocsátást. Ezek, ha léteznek egyáltalán, nem járnak olyan látványos és Földről is megfigyelhető tranzien jelenségekkel (fénylés, elhomályosodás, elszíneződés, TLP vagy LTP), amiket évtizedekkel ezelőtt amatőr csillagászok is látni véltek, de realitásukat már akkor is vitatták.

A 2007. szeptember 14-én útnak indított japán SELENE (más néven Kaguya, „Holdhercegnő”) űrszonda is részletesebben vizsgálta az Ina vidékét holdkörüli pályáról. Japán kutatók a titán-dioxid és vas-oxid felszíni eloszlását tanulmányozták és térképezték fel nagy felbontással. A megfigyelések szerint az Ina belsejében nagy a titán koncentrációja, ami megerősítette a Clementine-szonda korábbi méréseit.



Az Ina részletei az LRO holdszonda LROC NAC felvételén (NASA LRO, SESE/ASU, M119815703)

A Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) keringése során részletes színekpi megfigyeléseket végzett az Ina-kalderáról és vidékéről. Matthew I. Staid (Bolygókutató Intézet, PSI, Tucson, AZ) és munkatársai 2011-ben az LRO M3 (Moon Mineralogical Mapper) ásványtani térképező műszere adatai alapján megerősítették a nagy titántartalom jelenlétét, illetve azt, hogy az űridőjárás még nem módosította jelentősen az Ina belsejét és környezetét, vagyis az Ina egy viszonylag fiatal holdi képződmény. Az Ina színekpi jellemzői, valamint belsejének és környezetének felszíni törmeléke a közeli Mare Tranquillitatis fiatal krátereinek belsejéhez hasonló.

Az LRO részletes felvételeket is készített az Ina-kalderáról és környezetéről. Mark S. Robinson (Arizona Állami Egyetem LRO

kutatócsoport) és munkatársai 2010-ben az Ina környezetében több mint 3000 kráter statisztikáján alapuló vizsgálataikból az Ina közvetlen környezetének korát mintegy 10 millió évesre becsülték. Az LRO felvételeiből William B. Garry (Bolygókutató Intézet, PSI, Tucson, Arizona) és munkatársai 2013-ban arra a következtetésre jutottak, hogy az Ina belsejében a lávafolyásokat nem elsősorban kitöréses (eruptív) aktivitás hozta létre, hanem belülről, a felszín alól felfelé törekvő magmaanyag „felfújta, megduzzasztotta” a felszín közeli lávatarát – ezek az úgynevezett inflálódo („felfúvódo, duzzadó”) lávafolyások. Hasonló földi vulkanikus képződményekkel is összevetették az Ina belső szerkezetét és azt találták, hogy a földi „felfújt” lávafolyások közül a hawaii Kilauea egyik lávafolyama 1990-ben 10 centiméter vastagságról néhány óra alatt több méter vastagságúra duzzadt. Tehát ez valóban egy hatásos, látványosan rövid idő alatt lejártszódo folyamat lehet – akár a Holdon is.

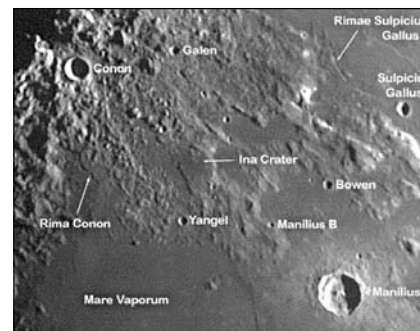
Az Ina nincs egyedül a Holdon: Philips J. Stooke, a kanadai Western Ontario Egyetem Bolygókutató Tanszékének kutatója 2012-ben az LRO LROC képeket elemezve az Ina-kalderára hasonlító 26 holdfelszíni mélyedést fedezett fel. Ezek közül két ilyen alakzatnak az Ina-analóg alakzatként való azonosítása még bizonytalan. Az újonnan felfedezett Ina-szerű alakzatok mérete – átmérő vagy elnyújtott alakzatoknál kiterjedés – 300 méter és 1000 méter között van, tehát amatőrcsillagászati távcsövek számára túl kicsik. A holdészlelőknek marad az Ina, mint a ma ismert legnagyobb D-kaldera.

Az Ina megfigyelése igazi kihívás. Charles A. Wood egy 100 holdi alakzattól álló listát állított össze 2004-ben, amely a Sky and Telescope 2004. áprilisi számának 113–120. oldalán jelent meg, és „Lunar 100” néven vált ismertté és közkedvelté. Ez a holdészlelők „Messier-maraton” listája. Az Ina is szerepel a listában, leírása: „D alakú fiatal vulkáni kaldera”. Az Ina a Lunar 100 listában a 99-dik (L99), tehát rendkívül nehéz megfigyelni. Az Ina igazi „nagyvad” a holdészlelők számára. (A cikk A Hold 100-szor

címmel olvasható a Meteor 2004/7–8. számában.)

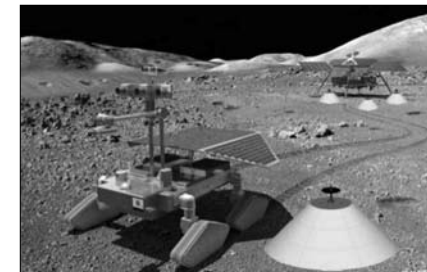
Megfigyelésére a holdi helyi napkelte és napnyugta körüli napok a legkedvezőbbek: a helyi napkelte utáni kora reggel első negyed utáni 1–2. napon, illetve utolsó negyed előtti 2–3. napon, a helyi napnyugta előtt. Az Ina megkeresését érdemes a Rükkl-féle Holdatlasz 22-es számú térképének tanulmányozásával kezdeni, annak jobb alsó részén látszik a Lacus Felicitatis és a plató. Jó tájékozódási pont még a Yangel-kráter, amelytől észak felé van a plató és rajta az Ina. A Rükkl-atlasz 23-as térképén a feltűnő Manilius-kráter jelenti a kiindulási pontot.

Az Ina kis átmérője miatt legalább 15 cm átmérőjű távcsövekkel érdemes megkísérlni a megfigyelését nyugodt légkör mellett, amikor a Hold már nagy magasságba emelkedett a látóhatár fölé.



Az Ina és környezete a Yangel-krátertől északra lévő platón. A plató dél-délkeleti részén az Ina „D” alakjára nagyon hasonló becsapódási kráter látható, amivel az Ina összetéveszthető, de az Ina átmérője ennek csak fele (Howard Eskildsen, Ocala, Florida, 2007. június 23. 02:11 UT, Meade 6” f/8 refr., Orion StarShottl, LPOD 2007. június 27.)

Az Ina eddigiekénél is részletesebb tanulmányozása a helyszínre küldött űreszközökkel lenne a leghatékonyabb. Erre talán a közeljövőben sor is kerülhet, ugyanis a Japán Űrügynökség, a JAXA második hold-



A tervezett japán SELENE-2 hernyótalpas holdjáró (az előtérben balra) és mellette jobbra a holdfelszíni hőmérsékletét mérő csanakakúp alakú mérőműszer. A háttérben a leszállóegység látszik, amely mellett további csanakakúp alakú műszerezéségek mérik a holdfelszíni hőmérsékletét (JAXA)

szondája, a SELENE-2 (Kaguya-2, „Holdhercegnő”) egyik lehetséges leszállóhelye az Ina közelében lenne. A SELENE-2 egy holdkörüli pályán keringő egységből, egy felszíni leszállóegységből és azzal együtt a felszínre szállított holdjáróból, valamint több kisebb csanakakúp alakú felszíni hőmérsékletet mérő műszerezéségből állna. A keringő egység össztömege 3,1 tonna, fedélzetén 100 kg hasznos teherrel. A 2,7 tonna tömegű leszállóegységből 700 kg-ot tesz ki a felszíni platform, rajta 200 kg műszerrel és berendezéssel. A holdjárómű 100 kg össztömegű lenne, ebből 20 kg műszer és berendezés.

A jelenlegi elképzelés szerint 2017-ben kerülne sor a japán holdrover indítására. Mindenképp módfelett izgalmas lenne a holdroverrel bejárni az Ina belsejét, a helyszínen méréseket végezni és közeli felvételeket készíteni a Hold e különleges és viszonylag fiatal vulkáni képződményéről. Az Ina közelében, illetve belsejében végzett helyszíni megfigyelések és mérések alapján el lehetne dönteni, van-e még valami jele a jelenkori holdi vulkáni utóműködésnek.

Tóth Imre