

A HOLD FEJLŐDÉSTÖRTÉNETE KÖZETMINTÁK ALAPJÁN

Bérczi Szaniszló
ELTE Anyagfizikai Tanszék

Egy korábbi, szintén a Naprendszer anyagaival foglalkozó cikkben a kis égitestekről írtunk, és a kondritos kisbolygó fejlődéstörténetét tekintettük át. Mostani írásunkban a holdi fejlődéstörténet nagyobb eseményeit mutatjuk be, amelyekről az Apollo-expedíciókon begyűjtött kőzetminták és a holdi meteoritok is tudósítanak.

A Naprendszer űrszondákkal végzett kutatása a Föld és a Hold vizsgálatával indult. A Hold anyagainak föltérképezése során a földtan által 300 éve kitaposott utat járták végig. Ennek lényege, hogy első lépésként az égitest felszínén lévő kőzettesteket azonosították. Ezeket nagy holdi események hozták létre. Egy évtized alatt az U. S. Geological Survey munkatársai megalkották a Hold rétegtanát. Nem volt azonban segítségükre fosszília az egymást át nem fedő rétegek relatív sorrendjének meghatározására, vagyis a földtani korrelációra. Ekkor ismerték föl, hogy a kőzettestekhez tartozó forma is lehet zárvány szerepű. A kőzettest felszínén megfigyelhető krátereket ugyanolyan „fosszília” szerepkörben kezdték alkalmazni, mint korábban a biológiai, majd azt követően a radioaktív elemekkel tették. Megszületett a kráterstatisztika, melynek segítségével ma már a Naprendszer távoli égitesteinek is meg tudjuk határozni a korát.

A földi sztratigráfia axiómái

A szilárd kérgű bolygótestekről készült geológiai térképeken a kőzettestek a „főszereplők”. Azokat a kőzettesteket ábrázolják színes formában, amelyek a felszínre nyúlnak. A kőzettestekkel valójában gyakran a felszínen megfigyelhető formákat térképezik föl, és arra törekszenek, hogy a kőzettesteket még a felszín alá nyúlásukban is nyomon kövessék. A kőzettestrétegekből rétegtani (sztratigráfiai) egységeket, sorozatokat állítanak össze.

A kőzettestek föltérképezése során axiómákat állítottak össze. Az axiómákat megelőzi a következő alapföltevés: az égitest felszíne tömbökből áll, 3D kiterjedésű kőzettestekből, melyeknek a körvonalai, elhelyezkedése, egymáshoz való viszonya mérhető, föltérképezhető.

A legismertebb axióma a települési törvény (*Nicolaus Steno*, dán természettudós állította föl az 1600-as években). Az égitest felszínén található kőzetrétegek (kőzettestek) közül az a fiatalabb, amelyik fölötte van a másiknak. A rétegek sora – így fölfelé haladva – rendre egyre fiatalabb kőzettesteket jelez.

Ézúton is köszönetet mondunk a NASA Johnson Space Center Koszmikus Anyagok Laboratóriumának a mintakészlet kölcsönzéséért.

A következő két fontos és elismert axióma annak a tapasztalatnak a kiterjesztése, amit ma, itt a Földön megfigyelhetünk. Megfigyelhetjük, hogy

1. milyen folyamatok alakítanak ki kőzettesteket: például üledékképződés a tengerben, vulkanizmus stb.;

2. milyen folyamatok változtatják e kőzettestek egymáshoz való viszonyát: például tektonizmus, intenzió stb.

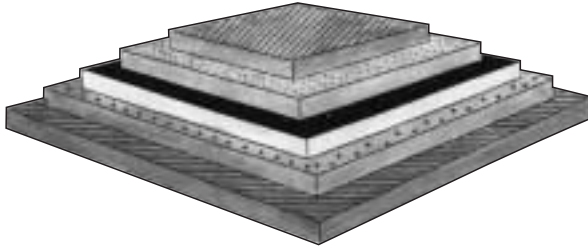
A kiterjesztési kettős axióma azt mondja ki, hogy amilyen folyamatok hatnak ma és itt a Földön, azok hatottak korábban is, és másutt is a Föld felszínén. Az időbelit aktualizmusnak, a térbelit uniformitarizmusnak is nevezik, de mindkettő a jelen folyamatok működésének térbeli és időbeli kiterjesztése.

A következő két fontos axióma a kőzettestek közötti viszonyokból von le időrendi következtetést. Az egyik megállapítja, hogy az a tektonikus folyamat, amely elmozdít egymáshoz képest két kőzettestet fiatalabb, mint a két elmozdított kőzettest. A másik azt állítja, hogy az a kőzettest, amely más kőzettestbe való behatolással jött létre, fiatalabb, mint az őt bezáró kőzettest.

Az utolsó fontos axióma a korreláció lehetőségét fogalmazza meg zárványok segítségével. A zárványok bezárásának axiómája egyrészt ugyanolyan viszonyaxióma, mint az előző kettő, másrészt azonban magában hordozza az Univerzumra is kiterjeszhető anyagszerkezeti rétegtan lehetőségét is. Ez az axióma kimondja, hogy a bezárt test (zárvány) mindig idősebb, mint a bezáró kőzet. A földtani korreláció alkalmazására azért van szükség, mert a kőzettestek nem folytonos réteget képviselnek, illetve mert különböző helyeken az égitest felszínén más és más típusú kőzetek egyidejűségét is fontos megállapítani. Röviden: a rétegek oldalirányú folytonosságát tudjuk kimutatni a korreláció segítségével.

A zárványok önálló fejlődéstörténeti sorozatot képeznek akkor, ha az élővilág fossziliáit alkalmazzuk a korreláció megállapításánál. Vannak azonban időközben fölfedezett másféle zárványok is: ilyenek például a radioaktív elemek, melyek bomlásukkal szintén saját fejlődéstörténetet képeznek. A zárványok tehát rávilágítanak arra a tényre, hogy a rétegtan (sztratigráfia) lényegéhez tartozik az, hogy két független, saját fejlődéstörténetet őrző eseményszálal vet egybe, hasonlít össze.

A Naprendszerbe kilépve új típusú zárványokra lesz szükségünk ahhoz, hogy a korrelációt égitestek közötti tartományokra is kiterjesszük. Olyan zárványok szükségesek, melyek több égitest felszínén is megtalálhatók, és valamilyen tulajdonságuk időben változik. Ilyen zárványok a kráterek, s korrelációra alkalmas kőzetprovinciák az égitestfelszíni krátermezők.



1. ábra. A holdi sztratigráfia idealizált rétegtani piramisa. Felülről rendre a következő rétegtani egységek sorakoznak: *kopernikuszi* (fiatal, sugársávokkal is körülvetett kráterek tartoznak ide), *eratoszthenészi* (fiatal, de sugársáv nélküli kráterek tartoznak ide), *imbriumi* (az Imbrium medence kialakulásától, kidobott takarók, mare előntések tartoznak ide), *nektári* (a Nektár-medence kialakulásától kezdve képződött medencék, marék tartoznak ide), *pre-nektári* (minden Nektár-medence előtti kőzettest ebbe a rétegtani emeletbe tartozik).

Holdi sztratigráfia

A Hold volt az első égitest, melyre a sztratigráfia Földön kifejlesztett, de más égitestre kiterjesztett axiómáit alkalmazták [5–8]. A kőzettestek tulajdonságait, az átfedési viszonyokat először fotometriai úton, távcsöves fényképfelvételekről, majd űrfelvételekről állapították meg.

A rétegtani térképező munka egyik összefoglalása a holdi rétegtani oszlop, amit mi itt egy lépcsőzetes azték piramis formájában mutatunk be (1. ábra). Ebben felsoroljuk a holdi rétegtan fő emeleteit, melyek egyúttal a holdi kőzetképződés nagy korszakait is jelentik.

A Holdon a sugársávós kráterek a legfiatalabbak (kopernikuszi emelet), ezeket követik lejjebb a még mindig fiatalosan tagolt morfológiájú, de már sugársáv nélküli kráterek (eratoszthenészi emelet). Mindkét fiatalabb emelet rétegei többnyire csak kráternyi foltokban vannak jelen a Hold felszínén, bár előfordulnak eratoszthenészi marék is (és a Tycho- vagy a Kopernikusz-kráter sávjai is messzire nyúlnak, különösen telihold idején láthatjuk ezt). A foltnyi rétegtani egységek alatt nagy kiterjedésű kőzettesteket alkotó két emelet következik. Az egyik az imbriumi, mely az Imbrium-medencéhez kapcsolódott a definiáláskor kijelölt területen (imbriumi emelet). A másik, a még

idősebb egység a Nektár-medencéhez kapcsolódik (nektári emelet). Legalul fekszik a krátermezőkkel borított terravidékek (pre-nektári) emelete.

Azóta a rétegtan alapelveit több más naprendszerbeli égitestre is alkalmazták, így a Marsra, a Merkúrra, a Jupiter Galilei-féle holdjaira, és jelenleg a Vénusz geológiai térképezése folyik. A XXI. század egyik nagy tevékenysége lesz a Naprendszer-léptékű rétegtan kidolgozása.

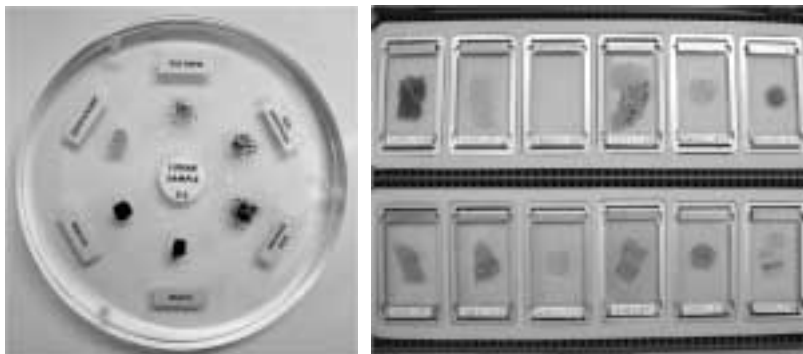
Hosszú ideig a Naprendszer bolygói és holdjai közül (a Földön kívül) csak a Holdat borító rétegsor vizsgálata volt lehetséges: a felszíni rétegek azonosítására fényképfelvételek alapján nyílt mód. Ma az űrkutató egyik nagy kihívása az, hogy a bolygótestek geológiai föltérképezése után tegye lehetővé a klasszikus földtan másik fontos hierarchiaszintjének, a kőzetmintáknak a vizsgálatát is. A Hold esetében ez részben már megvalósult. Az Apollo-expedíciókból is és a Földre hullott meteoritok anyagából is vizsgálhatjuk ma már a Hold anyagait.

NASA holdkőzetek

1969 és 1972 között hat sikeres leszállást hajtottak végre a NASA űrhajósai a Holdon. A begyűjtött kőzetminták össztelege 384 kilogramm. Ezek az első tudatosan gyűjtött naprendszerbeli anyagkészletek. Ugyanebben az időszakban három Luna robotűrszonda is hozott talajmintát a Holdról az orosz űrkutató keretében.

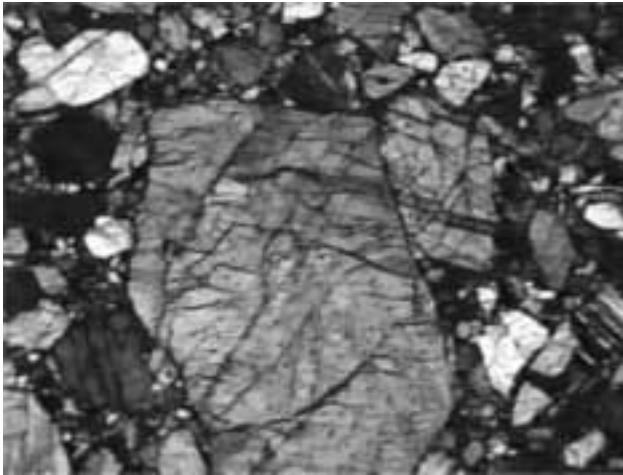
A NASA 20 példányban elkészített egy 12 vékonycsiszolatból álló készletet a felsőoktatás számára (2. ábra). Az oktatási célú holdkőzet-mintasorozat jó áttekintést ad a Hold főbb kőzettípusairól. Vizsgálatuk képet ad a Holdon lejátszódott fontosabb kőzetani folyamatokról. Ezek a holdi kéreg kialakulása (az anortozitminták és a noritminták), a bazaltos mare előntések kialakulása s a bazaltok rétegződése (3 bazaltos minta és egy szitált frakció a narancsszínű talajból, amit lávaszökőkút hozott létre), breccsák keletkezése (3 breccsaminta, egy-egy a felföldi és mare területéről, egy pedig a Fra Mauro formációról) s a holdi regolit keletkezése (2 talajmintából szitált frakció és egy talajbreccsa).

2. ábra. A NASA holdkőzetkészlet két része: balra a holdi mintákat tartalmazó korong látható 6 beöntött anyagmintával. Jobbra a 12 vékonycsiszolatot tartalmazó készlet látható felülnézetben.



Anortozit

A Hold külső kérgé az égitest összeállása után megolvadt. A magmaóceánból kristályosodott ki az *anortozitos* kéreg, amelyet – egységesen – holdi felföldeknek nevezünk. Arra, hogy a holdi magmaóceán a teljes Holdra kiterjedt, az ásványok ritkaföldfém-gyakorisága alapján következtettek: az anortozitok nagy pozitív európiumanomáliájából és a holdi bazaltok nagy negatív európiumanomáliájából. Néhány anortozitmintában még megfigyelhető a kőzet kumulátos szövete is.

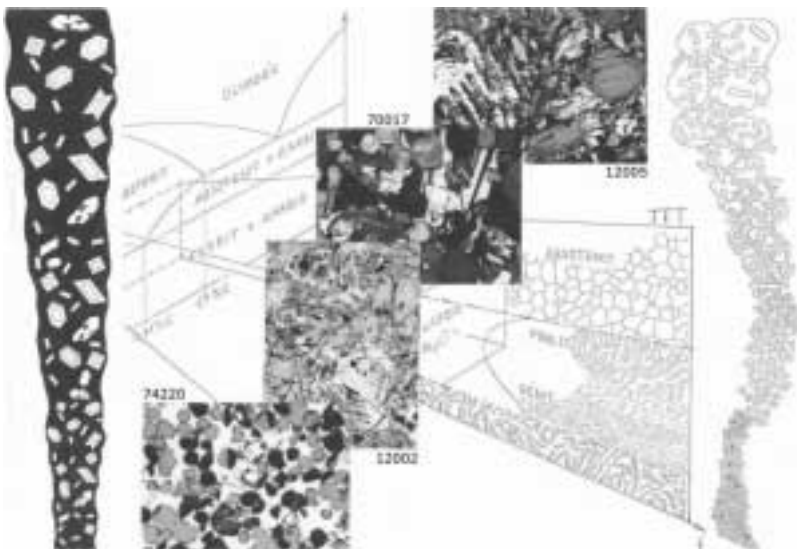


3. ábra. Anortozitminták a NASA-készletből: a 60025 számú kőzetminta részlete.

A Hold anortozitos kérgét a keletkezése utáni fél-milliárd évben több nagyméretű égitest becsapódása érte. Ezek a becsapódások feltördelték az anortozitos kérgét, körkörös medencéket hoztak létre, és hatalmas területekre terítették szét a kidobott törmelék-takarót. A hold kérgét alkotó anortozitos kőzetek ezért többségükben breccsás szövetűek. Az Apollo űrhajósai által hozott anortozitminták többségében megfigyelhetjük az összetördelt ásványokat, a breccsás szövetszerkezetet.

A *terra kőzeteket* egy anortozit- és egy noritminták képviseli. Az anortozit a holdi felföldek anyaga, szinte kizárólag csak földpátkristályokból áll. A valamikori nagyméretű (centiméteres) szemcsék a sok ütközéstől, becsapódástól, rengéstől mára összetöredeztek (60025). A vékonycsiszolaton megfigyelhetjük a blokkok elmozdulását, a szemcseperemek összetöredezését, az optikai tulajdonságok (pl. a kioltás) mozaicitá-

4. ábra. A NASA holdkőzetkészlet 4 bazaltmintájának szövete lehülési sebesség szerinti sorozatba rendezve és összevetve az acélok edzésére készített szövetdiagrammal, melyen a különböző szövetű acélok is lehülési sebességük szerint következnek. A szövet mintázata annál apróbb szemcsés, minél közelebb történt a lehülése a felszínhez, s ezért minél nagyobb volt a lehülés sebessége.



sát. Az anortozitok kialakulásának kora 4,4–4,2 milliárd év (3. ábra).

A noritminták felerész rombospiroxénből, felerész plagioklász földpátból áll (78235). Durvaszemcsés kőzet, az ásványok nagysága az 5 millimétert is elérheti. Üveges erek is előfordulnak benne. A becsapódások ütközései nagyon megviselték ezt a kőzetet. A földpát nagy része maszkelynit üveggé talátható benne. Ma azt feltételezik, hogy a noritok és más *terra* kőzetek is intrúzióként nyomultak be az anortozitos kéregbe.

Holdi bazaltok

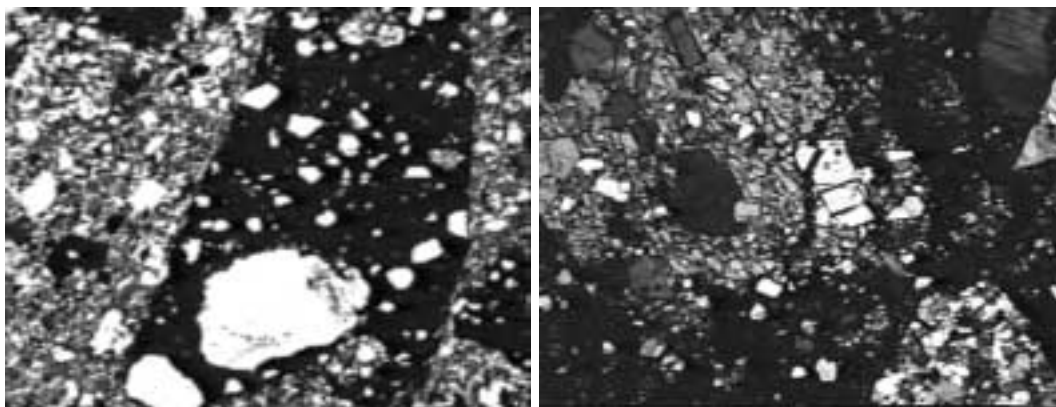
A holdi kéregbe történt nagy becsapódások medencéket alakítottak ki a Holdon. A Hold látható oldalán ezeket a körkörös medencéket bazaltláva-folyások töltötték föl. A holdi vulkanizmus hosszú ideig eltartott, s a higan folyó láva hatalmas távolságokon, vékony rétegekben terült szét. A holdi bazaltok keletkezésének kora csaknem egymilliárd évet fog át az imbriumi korban, de kráter számlálás alapján tudjuk, hogy léteznek olyan láva-folyások is, melyek az eratoszthenészi korban keletkeztek. Ilyenek az Imbrium-medencében föltérképezett láva-folyások is. Az Apollo-expedíciók által a Földre hozott holdkőzetek kora 3,7 és 3,2 milliárd év közé esik.

A holdi lávák vékony rétegekben terültek szét. A holdi bazaltmintákat ezért legcélszerűbb egy vékony láva-folyás felszínétől lefelé haladva sorba rendezni és így bemutatni őket. A felszíntől lefelé haladva más és más jellegű szöveteket találunk egy láva-folyásban. A láva a mélység növekedésével egyre lassabban hűlt le, s ezért a kőzetszövetek a lehülési sebesség csökkenése szerinti sorba lesznek rendezve. A szövetek az üveges elegyrészeket is tartalmazó szferulitos szövet

tól elindulva rendre a következő típusokat tartalmazzák: variolitos szövet, interszertális szövet, intergranuláris szövet, szubofitos szövet, ofitos szövet, poikilitos szövet. A holdi bazaltok között a legtöbb típusra van példa, néha azonban csak úgy, hogy töredékként jelennek meg a breccsákban. Ilyen szövetsort földi ofiolitokban, vagy párnalávákban is találtak kutatók [3].

Három bazaltos vékonycsiszolat van a gyűjteményben, de összetételét tekintve ide tartozik a „narancsszínű” talajminta is, tehát a *bazaltokat* négy minta képviseli a NASA-készletben. Rendezzük el a holdkőzetkészlet négy, bazaltos összetételű mintáját egy olyan tulajdonság alapján, amely jól megfigyelhető a szövetükön: az ásvány-szemcsék mérete alapján. Tudjuk, hogy a lehülés körülményei erősen hatnak a szemcseméretre. A gyorsan hűlő szilikátolvadékból apró kristályok

válnak ki, míg a hosszú ideig (pl. nagy mélységben) kristályosodó kőzetek durva szemcsés szövetűek lesznek. Ha tehát az átlagos szemcseméret, illetve a szemcsék egymáshoz való viszonya alapján készítünk el egy sorozatot a holdi



5. ábra. Holdi breccsák a NASA készletből „breccsa a breccsában” szövettel.

bazaltokból, akkor voltaképpen a lehülési sebesség szerinti anyagterképet is fölvezoltuk. A mi lehülési anyagterképünkön (4. ábra) a függőleges tengelyen szerepel a lehülési sebesség, a különféle szövetek pedig egymás alá kerülnek: az apró szemcsés felszínközeli, s rendre az egyre durvább szemcséjű mélységi szövetekkel zárul a sor.

A leggyorsabban lehült anyagot a narancsszínű talajminta üvegcséppjei képviselik a sorozatban (74220). Ezek a holdi ásványi anyagok egyúttal a legszínesebbek is. A narancsszínű talajminta, egy 40–100 mikrométeres szemcsékből, többnyire szferulákból (gömböcskékből) álló szitált frakció. Feltehetően egy lávaszökőkút széjjelfröccsent, parányi olvadékcseppjeiből keletkezett. Üveges alapanyaga mintegy szerkezeti ellentéte a kristályos szerkezetű kőzetmintáknak. A hirtelen megszilárdult cseppek átalakulás nélkül megőrizték a láva forrásvidékének, a holdi köpenynek az olvadékösszetételét.

A lehülési sebesség szerinti szövetsorban alájuk kerül az ugyancsak gyorsan lehült, de már a mélyből jövő lágában nagyobbra nőtt ásvány szemcséket is tartalmazó szövet, melyben ásványnyalábok (plagioklász földpát és piroxén) figyelhetők meg (12002). A piroxéntükrisztályok körbeveszik a korábban a mélyben már megnőtt és a magma által fölhozott olivinkristályokat, s így alakítják ki a porfirós szövetet. A 12002 számú minta porfirós szöveve úgy alakult ki, hogy a kristályosodás már a mélyben megkezdődött, s a kiömlő láva már tartalmazta az olvadékból elsőként kristályosodó ásványokat, az olivineket. Ezeket aztán körbevették a szál-as-tűs piroxének és a földpátok.

A szövetek sorában harmadik bazaltminta már nagyobb ásványokat is bőven tartalmaz (70017). (Ez a minta a hazai szarvaskői, DNy-bükki gabbrónknak is rokona nagy titántartalma alapján.) A 70017 számú bazaltban a piroxének saját színe a halványrózsaszín barackvirághoz hasonló, de a fekete, átlátszatlan (opak) ilmenit kristályok, melyek fontos elegyrészei a 70017 számú bazaltnak, sötétre színezik a vékonycsiszolatot. A spinell szemcsék többnyire négyzetes vagy hatszöges metszetű fekete ásványokként figyelhetők meg, az ilmenitek gyakran vázkristályosak, beöblösödéseket mutatnak a vékonycsiszolatban. Igen ritkán megfigyelhetünk armalcolit ásványokat is, melyek

hosszúkás hordó alakúak. Az armalcolitot a Holdon fedették föl és az elsőként leszállt űrhajósokról (*Armstrong, Aldrin, Collins*) nevezték el.

A lehülési sorban negyedik egy poikilitos szövetű minta (12005). Ebben – a lehülésnek immár egy késői szakaszában – nagy szemcsékbe ágyazottan láthatók a korábban kivált kicsiny szemcsék. A korán kiváló kristályosodást még olvadék vette körül, ezért szép, saját alakú kristályosodtak. A 12005 számú bazaltminta szövetében a nagyméretű földpátok és piroxének kristályosodtak utoljára, s ezért bezárják a szép, sajátalakú olivineket és néhány ilmenit és spinell szemcsét.

Breccsák

Még az anortozitoknál is tördeltebb ásványvilág szökik a szemünkbe a breccsákat megfigyelve a mikroszkópban (5. ábra). A becsapódások ütése összetett átalakító folyamatokat indít el a felszíni kőzeteken. Ipari folyamatok hasonlatával élve: mint a „malom” őrli, mint a „vihár” forgószele teríti, s mint a „kemence” forrósága összesüti a törmelékeket. A breccsák némelyike sokszor átesett ezen a tortúrán, ezért alakított ki soknak a „breccsa a breccsában” szöveve (14305, 72275).

Sok breccsában különböző eredetű kőzetszilánkok és töredékek keveredtek össze (polimikt breccsák), míg más breccsák egyetlen megelőző kőzet (protokőzet) összetördeléséből alakultak ki (monomikt breccsa). Sok breccsában a mátrix anyaga megolvadt és újrakristályosodott. A becsapódási kráter közepén találjuk azokat a kőzeteket, amelyek a megolvadt kőzetekből és a rájuk visszahullott törmelékekből alakultak ki. A 65015 számú felföldi breccsában a megolvadt mátrixból olyan nagyméretű piroxén ásványok kristályosodtak ki, amelyek az apró plagioklász földpát szemcséket poikilitesen magukba zárják. Más breccsákban nagyméretű közettöredékeket, kőzetszilánkokat találunk beágyazva. A breccsák jelentőségét az adja, hogy bennük több távoli területről származó idegen kőzetszilánk is megtalálható. Így a 6 expedíciós gyűjtőhely a breccsák révén sokkal nagyobb kiterjedésű gyűjtési területet reprezentál összekeveredett kőzetszilánkaival.

A NASA-készletben a negyedik anyagmintatípus a talajmintaké. A talajminták is a távoli vidékekről odaszállított változatos anyagvilágot, kőzet- és ásványtöredékdarabokat hordozzák, és így a felszíni keveredési folyamatokra is utalnak. Szitált frakciók 60–100 mikrométeres szemcsékkel. A 68501 számú minta a felföldekről, a 70181 számú minta pedig a mare vidékekről tartalmaz töredékeket, kőzetszilánkokat, ásványszemcséket.

A 68501 számú mintában főleg anortozitos szilánkok fordulnak elő, de néhány felföldi típusú bazaltszilánk is megtalálható közöttük. A 70181 számú minta főleg a mare bazaltok ásványtöredékeit tartalmazza. Előfordul a szemcsék között néhány odakeveredett narancstalaj-gömböcske is.

Ugyancsak a talajminták sorába illik a 15299-es számú regolit breccsa. Ebben üveges alapszövetbe beágyazva találhatjuk meg a kőzet- és ásványszilánkokat. Olyan kisméretű gömböcskék (szferulák) is megfigyelhetők bennük, amelyek becsapódások idején keletkeztek. Méretük 10–20 mikrométer, s így észrevehetően kisebbek, mint a lávaszökőkutak 60–100 mikrométeres szferulái.

Összegzés a Hold kőzeteiről

Az űrkutatási módszerekkel megszerzett első expedíciós kozmikusanyag-gyűjtemény a Holdról származik. Az Apollo-expedíciók gyűjtötte 384 kilogrammos készletnek csak egy részét dolgozták föl eddig. A Hold felszíni folyamatairól sok fontos ismeretet gyűjtöttünk már az Apollo-11 anyagának megismerésével. Ezek közül kiemelkedő jelentőségű a holdi anortozitok kéregalkotó szerepe, a nagyon idős holdi kőzetvilág kormegállapításai, a nagy mélységből származó lávaszökőkúti szferulák holdi köpeny eredete, a mare bazaltok sokfélesége és néhány mare bazalt nagy titántartalma.

Ma a holdi kőzeteket összetételük szerint a bázisos-ultrabázisos földi kőzetek közé interpolálhatjuk be. Nagyobb magnéziumtartalma alapján több holdi kőzet már a pikrites ultrabázisos tartományba esik (12002, 70017). Azonban a becsapódások által előidézett anyagkeveredéseknél három fontos csoportot különítenek el a holdi talajok forrásvidékeire. Az egyik a felföldek anortozítja, a másik a viszonylag nagy vastartalmú mare bazaltok csoportja s a harmadik a káliumban, ritka földfémekben és foszforban való gazdagsága miatt KREEP-nek nevezett komponens. Ez utóbbi komponens részaránya a Mare Imbriumtól való távolodással csökken a talajösszetevők között. A három fő forrástípust a későbbi Clementine és Lunar Prospector műholdak sugárzásos összetétel-analizátorai is jól el tudták különíteni. Így ma, a hat leszállás kicsiny felszíni mintavételezése ellenére a Hold egészére kiterjedő összetételi térképek állnak már rendelkezésünkre a holdfelszín anyagairól. (A Hold túlsó oldalán szintén van egy fontos KREEP-forrás, s ez a South Pole Aitken nevű nagy becsapódásos medence.)

A Hold fejlődéstörténete

Azokkal a kőzetmintákkal, amelyeket a térképezésből már ismert geológiai környezetből gyűjtöttek, pontosítani lehetett a sztratigráfiában már megismert holdi fejlődéstörténetet is. A holdi terrák anortozitjai és a bennük mért ritka földfémek eloszlása különös és fontos eseménysort bizonyított. Egykor a Hold külső rétegei megolvadtak, s 4,4 milliárd évvel ezelőtt az egész égitestre kiterjedő magmaóceán borította a Holdat. (A földi külső rétegek kezdeti megolvadására a holdi anortozitos kéreg keletkezésének fölismerése után gondoltak először.) A magmaóceán lehülése során a plagioklász földpát ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) az olvadéköna tetején gyűlt össze, s létrehozta a világos színű felföldek anortozitját. A nagyobb sűrűségű ásványok az olvadéköna aljára süllyedtek. Ez az első holdi differenciálódási korszak mintegy félmilliárd évig tartott.

A vastagodó holdi kéregre történtek a nagy körkörös medencéket létrehozó becsapódások, melyek feltördeltek a holdi kéregben. A töréseken át bazaltos láva szivárgott a felszínre, és egy-másfél milliárd éven át működő vulkáni tevékenységgel feltöltötte a Hold látható oldali medencéit. A bazaltok a Hold köpenyéből származnak. Némelyik közülük titánban igen gazdag, mint például az Apollo-11 és -17 leszállási helyéről gyűjtöttek (Meyer, 1987).

A bazaltos vulkanizmus csendesedésével a nagy felszínformáló események elültek a Holdon. Az egyre vastagodó holdi kéregre egyre kevesebb becsapódás történt. A folyamatos kráterbombázás a talajt ma is állandóan őrli, keveri és süti össze breccsákká. A holdi breccsa a breccsában szövetű kőzetek, a talaj anyagából összesült breccsák, a becsapódáskor megolvadt anyagból keletkezett talajbreccsák mind ezt igazolják [7].

Ugyancsak fontos új ismeretek, ritka kőzettípusok származnak a holdi meteoritok ma már 104 példányt is elért készletéből. Ezek között olyan csoportok is szerepelnek, melyek eltérőek a leszállási helyeken gyűjtöttektől. Ilyen például a legidősebb YAMM holdi bazaltok csoportja. Ezekről, illetve a marsi meteoritok vizsgálatáról más cikkekben szólnunk majd.

Irodalom

1. Bérczi Sz., *Planetológia*. Egyetemi jegyzet, J3-1154. Tankönyvkiadó, Budapest, 1978
2. Bérczi Sz., *Kristályoktól bolygótestekig*. (210 o.) Akadémiai Kiadó, Budapest, 1991
3. Józsa S., *Thesis*. Eötvös University, Dept. Petrology/Geochemistry, ELTE, Budapest, 2000
4. Meyer, C., *The Lunar Petrographic Thin Section Set*. NASA JSC Curatorial Branch Publ. No. 76. Houston, Texas, 1987; Magyarul: *Holdkőzetek: Kőzettani vizsgálatok a holdi vékonycsiszolat készletén*. Ford.: Bérczi Sz. ELTE TTK, Kőzetan-Geokémia Tanszék és Csillagászati Tanszék, Budapest, 1994
5. Shoemaker E.M., Hackman R.J., *Stratigraphic Basis for a Lunar Time Scale*. In: Kopal Z., Mihailov Z.K. (szerk), *The Moon*. Academic Press, New York, 289–300, 1962
6. Wilhelms D.E., *Summary of Lunar Stratigraphy – Telescopic Observations*. U.S. Geol. Survey Prof. Papers No. 599-F, Washington, 1970
7. Wilhelms D.E., *The Geologic History of the Moon*. U.S. Geol. Survey Prof. Papers No. 1348, Washington, 1970
8. Wilhelms D.E., McCauley J.F., *Geologic Map of the Near Side of the Moon*. USGS Maps No. I-703, Washington, 1971