

Földön kívüli égitestek geológiai és rétegtani tagolása és nevezéktana

HARGITAI Henrik¹, CSÁSZÁR Géza², BÉRCZI Szaniszló³, KERESZTURI Ákos^{4,5}

¹ELTE TTK Természetföldrajzi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány P. st. 1/A

²ELTE TTK Regionális Földtani Tanszék 1143 Budapest Stefánia út 14., csaszarg@mail.datanet.hu

³ELTE TTK Anyagfizikai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány P. st. 1/A

⁴Collegium Budapest, 1011 Budapest, Szentháromság u. 2.

⁵Magyar Csillagászati Egyesület, 1114 Budapest, Bartók Béla 11–13.

Geological and stratigraphical units and the nomenclature of extraterrestrial planetary bodies

Abstract

In recent decades our knowledge of the surfaces of the planetary bodies in the Solar System has increased dramatically. Geological, time-stratigraphic and geochronologic units have been defined and redefined. The terminology of planetary science is in many respect resembles terrestrial terminology but there may be differences in the use of technical terms. In this article a short description is presented of the geology and geochronology of Mercury, Venus, the Moon, Mars and Callisto and an attempt is made to create a basis for a Hungarian terminology of the described fields.

Keywords: planetology, stratigraphy, geochronology, Solar System, planetary surfaces

Összefoglalás

Az utóbbi évtizedekben a Naprendszer égitestfelszíneiről szerzett tudásunk jelentősen megnövekedett. Az egyes égitestekre geológiai, kronosztratógráfiai és geokronológiai egységeket határoztak meg majd definiáltak újra. A bolygótudományi szakszókincs sok tekintetben hasonlít a földi geológiai terminológiához, ám használatukban különbségek is vannak. Ezen dolgozatban a Merkúr, a Vénusz, a Hold, a Mars és a Callisto geológiájának és geokronológiai egységeinek összefoglaló leírását adjuk, megkísérelve egy egységes, a geológiai és planetológiai szakszókincssel és helyesírással összhangban levő, magyar nyelvű terminológia megteremtését.

Kulcsszavak: bolygótudomány, sztratógráfia, geokronológia, Naprendszer, bolygófelszínek

Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben a Naprendszer égitesteit meglátogató űrszondák révén több tízezer felvétel, helyszíni és távérzékeléses mérés született, amelyek alapján elkezdtük megismerni anyagukat és fejlődéstörténetüket. Vizsgálatukhoz geológiai munkamódszereket használnak a szakemberek, de mivel nem a Földet tanulmányozzák, gyakran planetáris geológiának vagy asztrogeológiának, illetve újabban főleg planetológiának, magyarul bolygótudománynak nevezik ezt a szakterületet. A kutatások során összeálló kép révén sikerült eltérő rétegtani egységeket lehatárolni rajtuk. Szükséges lett ezek elnevezése és értelemszerűen az elnevezések magyarártása is. A más égitestek „földtanával” foglalkozó tudomány, a planetológia nyelvzete is gyors átalakulóban van. A földi fogalmak alkalmazása széles körben elterjedt más égitestek képződményeire és folyamataira, noha ezek a kifejezések nem feltétlen, és nem is teljesen jelentik ugyanazt, mint a földi

kontextusban. Ha ezeket körültekintéssel alkalmazzuk, és szem előtt tartjuk, hogy azok nem a földi fogalmak pontos megfelelői, hasznos segédeszközöket kapunk. Ezek magyar megfelelőinek megalkotásához kíván néhány szabályt és alapfogalmat lefektetni jelen írásunk, áttekintve az egyes égitestek történetét is.

A földkéreg rétegtani tagolása

A Föld legfelső, szilárd burkának földtani felépítésével hozzátvetőlegesen immár két évszázada a geológia és mintegy egy évszázada a geofizika foglalkozik. Miután a kontinentális kéreg egészének és az óceáni kérgű területek egy részének vizsgálata is alapvetően nemzeti együttműködésben zajlik, a szakemberek szinte a kezdetektől tudták, hogy a Föld és a földkéreg egészének megismerése csak egységes terminológia és nomenklátúra megalkotása esetén

lehetséges. Különösen vonatkozik ez a fejlődéstörténeti elemzés alapját képező rétegtani rendszer megalkotásának szükségességére. Hosszú előkészítő munka után mégis csak az 1952-es algíri geológia kongresszuson született megállapodás arról, hogy ezt a munkát elvégezzék. Az addig egységes, de hiányos szemléletű rendszer teljes átalakításával járó munka létrehozása negyedévszázadot vett igénybe. Erre a feladatra a Földtudományok Nemzetközi Uniója (IUGS) a Nemzetközi Rétegtani Osztályozási Bizottságot (ISSC) hozta létre. Az eredmény, az International Stratigraphic Guide 1976-ban látott napvilágot (HEDBERG 1976). Ebben a rétegtan három alapvető ágát különítik el. A magyar kiadvány (FÜLÖP et al. 1975) ezzel tartalmilag megegyezik. A litosztratigráfia (kőzetrétegtan) a földkérget kőzettani felépítése alapján tagolja az alábbi egységekre (I. táblázat).

I. táblázat. Példák kőzetrétegtani egységekre

Table I. Lithostratigraphic units (examples)

Magyar	Magyar példa	Planetáris példa	Angol
rétegtag	Nánai Rétegtag		Bed
tagozat	Zsidóhegyi Márga	ridged member (= gerinces tagozat) Mars	Member
formáció	Pénzeskúti Márga	Heveliusi Formáció, Hold	Formation
formációcsoport (főformációcsoport)	Geresei Formációcsoport		Group (Supergroup)
komplexum	Ipolyi Komplexum		Complex

A litosztratigráfiai tagolás a kőzetek mindhárom alapvető csoportjának (üledékes, magmás és metamorf) tagolására alkalmas módszer. Ezzel szemben a biosztratigráfia csak az üledékes eredetű rétegsorok tagolására alkalmas, amely azonban kiterjedhet kiscsoportú metamorfózison átesett metamorf képződményekre is, amennyiben ezek eredetben üledékes kőzetek voltak. A biosztratigráfiai egységek létrehozásának alapvető feltétele ősmaradványok vagy ősmaradvány-együttesek jelenléte. Alapegysége a biozóna, amelynek számos változata létezik. Miután a közeljövőben komoly esélyünk nincs arra, hogy a bolygókon ősmaradványokat találjunk, biozónákat határozzunk meg, ezért ennek részleteivel itt nem foglalkozunk.

A harmadik rétegtani osztályozási módszer a kronosztratigráfia, amely egységekre tagozódást jelent. Ennek megfelelően egy egység a definícióban rögzített időintervallumon belül keletkezett képződmények összességét foglalja magába, függetlenül azok kőzettani összetételétől. Ez az alábbi hierarchikus rendszerű egységterminusokat használja a nagyobbtól a kisebb felé haladva (CSÁSZÁR 2002) (II. táblázat).

A nemzetközi irányelvek alapján a fenti rétegtani

terminológia foglalkozik még a rétegtani nomenklatúrával és a sztratotípusokkal is. A nomenklatúra a fenti terminusok felhasználásával létrehozott konkrét rétegtani egységeket jelenti (pl. Dachsteini Mész-kő Formáció vagy triász rendszer). További fontos eredménye a negyedévszázados munkának, hogy a kőzettestek osztályozásával foglalkozó sztratigráfiától megkülönböztette a geokronológiát, amely a vonatkozó képződmények relatív és egyre inkább a millió években is kifejezett korával, vagyis a képződési folyamatok idejének meghatározásával, időskálán történő elhelyezésével foglalkozik. A tagolási rendszer megfelel a kronosztratigráfiának, de időre utaló kifejezésekből áll (II. táblázat).

Mind a nemzetközi (SALVADOR 1994), mind a hazai (FÜLÖP et al. 1975) rétegtani nevezéktan megszabja az egységek létrehozatalának módját valamennyi rétegtani osztályozási módszer számára. Ebből ezúttal is csak a litosztratigráfiai és a kronosztratigráfiai egységek névkalkulációjára kívánunk kitérni. A litosztratigráfiai nevezéktan szerint a litosztratigráfiai egységek nevei trinominálisak (háromtagúak), esetleg binominálisak (kéttagúak) lehetnek. Az első név mindig egy földrajzi név, ami a vonatkozó képződménynek lehetőleg típuselődulási helyéről, sőt, ha lehet a sztratotípus helyéről származik. Ez lehet település, hegy, völgy, vízfolyás vagy bármiféle földrajzi név. Kívánatos, hogy a földrajzi név legyen harmóniában az egység rangjával; egy formációcsoport lehetőleg nagyobb tájegységről kapja a nevét, míg egy rétegtag nevéként, egy kisebb földrajzi objektum (pl. egy tanya vagy egy kis vízfolyás) szerepeljen. A litosztratigráfiai tagolás alapegysége a formáció, amire a földkérget felszínközeli részének minél nagyobb hányadát fel kell osztani. Ezen belül szükség esetén megkülönböztetünk kisebb rangú egységeket: tagozatot, rétegtagot. A komplexum megnevezés kevésbé ismert, vagy bonyolult kőzetösszetételű és bonyolult tektonikai egységek (gyakran metamorfotok) megjelölésére szolgál. Miután ezek egyedi kőzettestek a többi rétegtani egységtől eltérően az ide tartozó egységek neveit nagy kezdőbetűvel írjuk (Budai Márga Formáció). A binominális megjelölés két esetben kaphat szerepet. Az egyik eset az, amikor a háromtagú név második vagy harmadik elemét elhagyjuk az adott szövegen belüli második használat után (Budai Márga, vagy Budai Formáció), a másik eset pedig, amikor nincs domináns

II. táblázat. Példák időrétegtani és geokronológiai egységekre

Table II. Chronostratigraphic and geochronologic units (examples)

Kronosztratigráfia (Time-stratigraphy)				Geokronológia (Geochronology)			
magyar	földi példa magyarul	planetáris példa magyarul	angol	magyar	földi példa magyarul	planetáris példa magyarul	angol
eonotéma	fanerozoikum		Eonothem	eon	fanerozoikum		Eon
időtéma	mezozoikum		Erathem	idő	mezozoikum		Era
rendszer	jura	imbriumi noachi	System	időszak	jura	imbriumi noachi	Period
sorozat	felső-jura [középső-, alsó-]	alsó-imbriumi	Series	kor	késő-jura (középső-, kora-)	kora-imbriumi	Epoch
emelet (alemelet)	toarci		Stage (substage)	korszak	toarci		Age
kronozóna	Bifrons zóna		Chronozone	krón	bifrons krón		Chron

kőzetnév, hanem az egységnek az a definitív jellemzője, hogy bizonyos kőzettípusok sajátos együtteséből áll. Ilyenkor, természetesen, csak a földrajzi név és az egység rangját kifejező terminus szerepel, pl. Csatkai Formáció.

A planetológia és így a planetáris geológia szempontjából is nyilvánvalóan az előzőnél sokkal nagyobb jelentőségű a kronosztratigráfiai (és geokronológiai) tagolás lehetősége. A Föld kérgének rétegtani tagolására alkalmazott terminusok rendszerét a *II. táblázat* foglalja magába. Első pillantásra is látszik, hogy a terminusok nagyságrendet kívánnak kifejezni. A nomenklatúrára csak példákat soroltunk fel a *II. táblázat*-ban. A földtörténet fiatalabbik szakaszának két legmagasabb rendű neve egyértelműen az élet fejlettségét fejezi ki (fanerozoikum, mezozoikum stb.) A rendszer-, az emelet-, az al-emelet- és kisebb mértékben a sorozatnevek is — a hőskorból származó néhány név kivételével — földrajzi eredetűek. Ezek magyar nyelvű változatát attól függően eltérő módon képezzük, hogy az adott földrajzi névnek létezik-e magyar neve, vagy magyaros írásmódú változata, akkor magyaros változathoz -i képzőt illesztünk, pl. kárpáti, vagy veszfáliei. Amennyiben nincs magyar neve vagy magyaros írásmódja, akkor latin betűt használó nyelvből származó szóhoz ragasztjuk az -i képzőt, pl. toarci, anisusi. Az új nevek esetében már csak földrajzi név szolgálhat alapjául a fenti rétegtani terminusoknak, de hagyománytiszteletből, és az erőteljes beágyazódottság miatt is, megőrződtek azok a terminusok is, amelyek nem földrajzi eredetűek. Ilyenek például népnév (ladin, szilur, szkíta), a mitológiai név (tithon), vagy sajátos kőzetnév (kréta, karbon) eredetű nevek. Ezekben az esetekben a szótövet használjuk -i képző nélkül. Ez esetben is érvényes a magyaros írásmód, amennyiben az adott szónak létezik magyaros megfelelője. A nem latin betűt használó nyelvekből származó név esetén a magyar helyesírási szabály szerint a magyaros kiejtés szerint kellene írni a terminust, ha nincs magyar megfelelője (pl. kaszimovi, moszkvai). Ezek egy része azonban olyan földrajzi név, amely a magyar irodalomban más okból aligha kerül említésre, ezért csatlakozva a világtendenciához az angolos írásmódból indulunk ki, és ahhoz illesztjük az -i képzőt (pl. changxingi).

Más égitestek földrajzi nevei jórészt létező vagy mitológiai személynévekből, földi földrajzi nevekből származnak. Ahol ezeknek van magyaros bevett írásmódja, ott ehhez ragasztjuk a -i képzőt, ahol nincs, ott az eredeti alakhoz.

A bolygók és holdak rétegtanának történeti áttekintése

Az egyes égitestek geológiai egységeinek meghatározása korábban alapvetően a morfológia (domborzat) és albedó, illetve kráterszámlálással vagy a kráterek erodáltsági foka alapján meghatározott relatív kor alapján történt (BÉRCZI 1978). A korai geológiai egységek elnevezése is főképp a morfológiát tükrözte, mely azonban alapvetően nem az egység keletkezésével, hanem az adott térszín másodlagos módosulásaival (erózió, tektonika) kapcsolatos (TANAKA & SKINNER 2003).

Egyes leíró geológiai elnevezések (pl. sima, egyenetlen) az épp használt méretaránytól is függenek. Az utóbbi időkben ilyen elnevezéseket nem használnak; hanem a litosztratigráfiai egységeket — földi mintára — a típusterület földrajzi helynevére nevezik el (magyarul a földrajzi név latin alakjához illesztett -i képzővel, pl. *Vastitas Borealis Formáció*, de: 4 tagozatának nevei angolul „mottled member, groved ~, ridged ~, knobby ~”), meghatározzák továbbá a kőzetek relatív korát (pl. noachi), sztratigráfiai helyzetét (alsó, felső) és elhelyezkedését (belső, külső, peremi, közeli, távoli). Részletesen jelzik az egységek határának milyenségét (biztos, átmeneti, kérdéses stb.).

A jelentősebb légkör nélküli bolygótesteken (pl. Hold, Merkúr, Callisto) alapvetően három típusú dátumsík használható a rétegtani tagoláshoz (BÉRCZI 1978). Ezek:

— A becsapódásos medencék körüli, a medencétől távolodva vékonyodó *törmeléktagaró*

— A medencéket és mélyedéseket feltöltő lávasíkságok (*mare* területek)

— A fiatal kráterek *sugársávjai*

A Naprendszer szilárd felszínnel rendelkező bolygótestjei (bolygói, holdjai) többségének sajátossága, hogy mai felszínük akár évmilliárdokkal ezelőtt keletkezett, és nagy kiterjedésű, hosszú ideje többé-kevésbé változatlan területek találhatóak rajta. Így a földi párhuzam szerint felszínük jelentős részének kora hárdezi és archaikumi.

A Merkúr, Vénusz, Hold és Mars esetében is létrehozták a távérzékeléses, fotogeológiai megfigyelések alapján az első (relatív) kronosztratigráfiai (időrétegtani) tagolást (első részletes magyar nyelvű leírását lásd: BÉRCZI 1977, 1978; ennek egy korai összefoglalása: TAYLOR 1982), melyhez a Hold esetében radiometrikus korokat is kötni lehetett. A Külső-Naprendszer nagyobb holdjaira kráterszámlálásos statisztikák és fotogeológiai megfigyelések alapján már eddig is meghatároztak rétegtani egységeket, de napjainkban folyik a nevezéktannal is ellátott geokronológiai tagolás elkészítése (pl. a Callistóra WAGNER 2007).

Az időrétegtani tagolás megfelelő évszámait földi években fejezik ki; a latin terminusok rövidítését — Ga (milliárd év) és ma (millió év) — használják.

A legtöbb sztratigráfiai terminus az adott égitesten előforduló sztratotípus földrajzi alakzatának nevéhez kötődik, mely eredetileg vagy személynévből, vagy latin szóból ered. A Mars geokémiai alapokról induló korbeosztásának terminusai kémiai elemek görög nevei alapján készültek.

A bolygók és holdak rétegtani terminológiája és nomenklatúrája

A szilárd kőzetfelszínnel rendelkező bolygók és holdak rétegtani tagolásánál célszerűnek látszik azon tapasztalatok felhasználása, amelyek a Föld kérgének két évszázados vizsgálata során halmozódtak fel. A Föld, illetve a többi bolygó és hold tanulmányozhatósága és tanulmányozott-

sága között ugyan tekintélyes a különbség, mégis a fent ismertetett földi rétegtani osztályozás, annak rendszere és eljárási módszerei alkalmasnak tűnnek arra, hogy ezeket a lehetséges mértékig itt is alkalmazzuk. A legfontosabb különbség, hogy a bolygókon, holdakon részletes geológiai szelvényezésre belátható időn belül aligha kerül sor, sőt, egyelőre az is kivételesnek számít, ha azokról származó kőzetek in situ vagy földi laboratóriumi (vegyi és mikroszkópos) vizsgálatára lehetőség nyílik. További fontos különbség, hogy az élővilág fejlődésére alapozott sztratiográfiai módszerek alkalmazására ugyancsak nem kínálkozik lehetőség, sőt az estek többségében vizes közegben lerakódott üledéksorok is hiányzanak. A fentiekből adódóan gyakorlatilag csak a távérzékelés (ill. fotogeológiai módszerek) alkalmazható.

A korbecslés alapjai

A rétegtani tagolás esélyét tovább csökkenti az a körülmény is, hogy a Földdel szemben ezek az égitestek általában gyenge recens geológiai aktivitást mutatnak. Különösen a fiatal felszínnek korának meghatározása nehéz, főként azért, mert kis méretű kráterek esetén nem egyértelmű, hogy egy kráternyom primer, vagy szekunder (másodlagos, azaz egy másik kráter keletkezéséhez köthető) becsapódás eredménye. Az Io vulkáni síkságokkal borított felszínén nem találtak a jelenleg elérhető térbeli felbontású képek vizsgálatával becsapódásos krátert; így ennek kora igen bizonytalanul, a vulkáni aktivitás intenzitása alapján becsülhető.

A marsi amazoni időszak csekély geológiai aktivitása miatt az annak kortagolását kijelölő és egyben az adott kort jellemző geológiai egységek csak rövid aktivitás nyomai. Így az amazoni időszak kezdetét egyes szerzők 3,5, mások 2 milliárd évvel ezelőttre teszik (TANAKA 2001).

Relatív kormeghatározás (1. ábra, a, b, c) történhet pl.

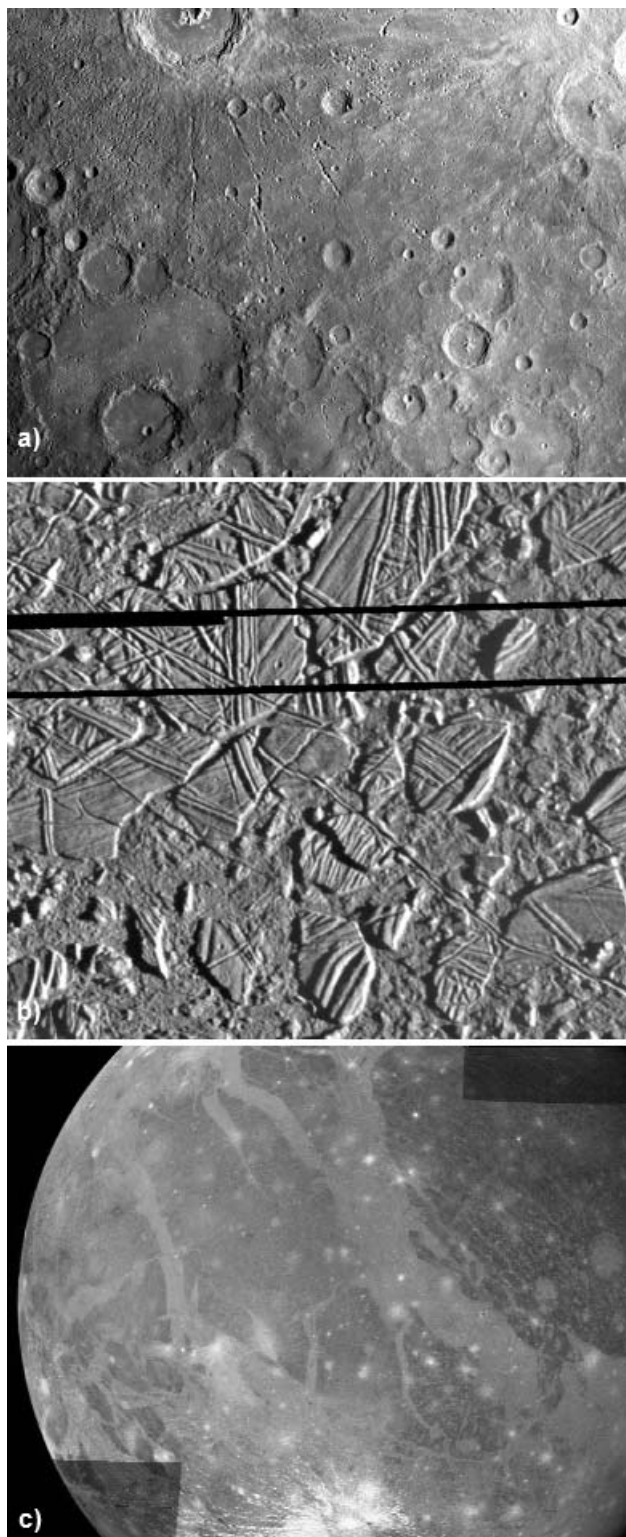
— a kráterszámlálós statisztikák (krátergyakorisági görbék: adott átmérőjű [átmérő-intervallumú] kráterek gyakorisága egységnyi területen: $N_{(D \geq 1 \text{ km})}/\text{km}^2$) vizsgálatával

— a kráterek erodáltsági fokának vizsgálatával (Pohn–Offield kráterdegradációs osztályozás) (OFFIELD & POHN 1970).

— a települési törvények alapján.

A kráterszámlálós módszerrel (2. ábra, a, b) egy terület átlagos kora határozható meg, a kisebb kibukkanások korainak változatossága nem jelenik meg (vagy csak átlagolva). Különösen a Mars esetében okoz problémát, hogy egyes felszín típusokon gyakoriak az eltemetett majd újra felszínre került (exhumált) kráterek. Itt a kráterszámláláson alapuló kor csak a felszíni kitettség korát adja, nem az adott felszín valós korát.

A kráterszámláláskor elkülönítendő a felszín kráterképződési kora (*crater production age*) és krátermegtartási kora (*crater retention age*), mely utóbbi figyelembe veszi, hogy a kráterek le is pusztulhatnak (erózióval, relaxációval stb.).



1. ábra. a) A geológiai események sorozatának meghatározása a Merkúr példáján

A bal alsó sarokban látható 230 km átmérőjű nagy kráter, és benne egy kisebbet keletkezésük után láva töltött ki; a kisebb kráter törmelékterítójét el is fedi a nagyobbikba kiömlő láva. A lávasíkság keletkezése után jött létre egy DNy–ÉK irányú kompressziós eredetű lebenyes szélű törésvonal, mely a kisebb krátert keresztezi. A balra fent látható teraszos, központi komplexummal rendelkező nagy kráter radiálisan kidobott törmelékföldjének egyes lapos szögben kivetett nagyobb blokkjai másodlagos kráterek szabálytalan láncolatát hozták létre, melyből a kráter belseji lávasíkságba is jutott. E kráter egészen fiatal lehet, mert törmelékterítője proximális (kráterközeleli) részén és belső területén alig néhány friss, egyszerű kráter található. A kráterek között találhatók olyan területek, ahol nincsen becsapódási nyom: ezek az idős kráterközi síkságok. A legfiatalabb

alakzatok a kis méretű, szabályos tál alakú, frissen megőrzött kráterek. A kép jobb alsó részén a legkülönbözőbb erodáltsági fokú (korú) kráterek láthatóak (Messenger-felvétel, PIA10384)

b) A geológiai események sorozatának meghatározása egy vízjég borította égitest, az Europa példáján

Az Európát árapályhó fűti. A globális vízjégkéreg alatt vízóceán található. A kéreg az árapályerők hatására állandó feszültségnek van kitéve, ami repedésekben oldódik ki. A repedéseken feltör az óceán vize, mely megfagy, majd a kásás jég a bezáródó repedésen a felszínre nyomódik, létrehozva a kettős gerinceket. A repedések keresztbe-kasul szelik a felszínt. Az alulról felszálló meleg áramlatok egyes területeken felolvasztják a vízjégkérget és káoszterületet hoznak létre. A jég nem olvad el teljesen, de a kásás jégen úszó jég-táblákra tagolódnak, melyek rövid idő alatt ismét belefagynak az újrafagyó felszínbe, ahol hamarosan ismét repedések jelennek meg. Egy ilyen szeli át a képet a bal felső saroktól a jobb alsó sarok felé. Mind a repedések, mind a káoszterületek hozzájárulnak a folyamatos és globális felszín-újrapézdéshez. Néhány kisebb becsapódási kráter is látható, mind az idősebb táblákon, mind a „mátrix” anyagban (utóbbi bal felé, a kép alsó részén). A felszín korát 50 millió évesre becsülik. Az itt látható kráterek valószínűleg másodlagosak, azaz egy nagy becsapódás során kilökött törmelék visszahullásának nyomai. (A Conamara-káosz részlete; Galileo-felvétel, 1997; P48526).

c) A geológiai események sorozatának meghatározása egy szilikát-jég keverékű anyagból álló „jeges hold”, a Ganymedes példáján

A sötét terület sűrűn kráterezett, idős kéreg, melyet az árapályhó-fűtés eredményeként keletkezett tág repedések választanak szét, a repedésekben fiatalabb és világosabb anyaggal. A képen a legfiatalabb alakzat az alul látható Osiris kráter (és több másik, fényes kráter), melyek friss jeget löktek ki a felszínre. A Ganymedes-korong felső részén az Urukbarázdás szeli ketté a Galileo- (fent) és Marius-régiót (középtájt). (A Voyager-2 felvétele a Jupitertől elnéző féltékéről, PIA00081.)

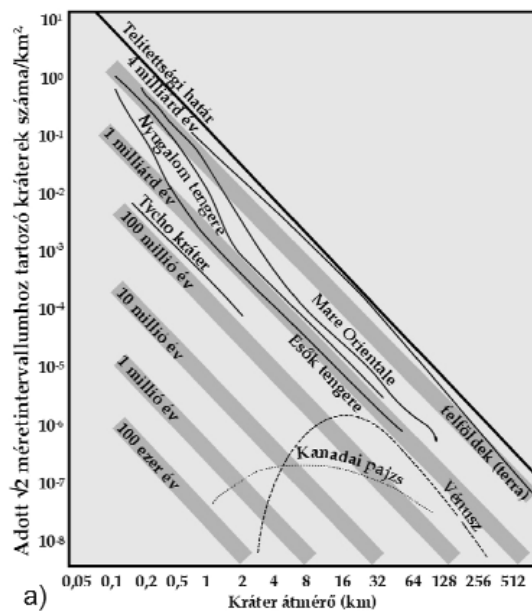
Figure 1. a) Series of subsequent geological events carved their traces in this area of Mercury, **b)** Geologic history of Conamara Chaos, Europa, **c)** Geologic history of the anti-Jovian hemisphere of Ganymedes

Az eddig elvégzett tagolás tartalmilag kronosztratiográfiai és ennek megfelelően geokronológiai tagolásnak minősíthető. Ugyanakkor a kronosztratiográfiai/geokronológiai terminus rangjának meghatározása is nehéz. Az eddig elkülönített egységeket az angol szakirodalom a rendszer/időszak és sorozat/kor kategóriáknak megfelelő szintűként sorolja be, ám ezt a rendszer/időszak megjelölést ez esetben a legmagasabb szintű egység funkciójában alkalmazza. Hierarchia, azaz több szintű tagolás csak az alapegység kora-, középső-, késő-, kor rangú, ill. felső-, középső-, alsó-sorozat rangú egységek elkülönítésével történik, egyéb, finomabb beosztás nem készült márcsak azért sem, mert még ezen hosszú időtartamokat felölelő egységek határvonalának meghúzásában is nagy az egyes szerzők között a véleménykülönbség.

Ha a bolygókon alkalmazott tagolási rendszert a földi rétegtani/geokronológiai egységekkel vetjük egybe, akkor ezek legalább egyvel (időtéma/idő, ill., rendszer/időszak), esetenként inkább kettővel (eonotéma/eon, ill., időtéma/idő) nagyobb rangú kategóriáknak látszanak megfelelni (I. később a IV. táblázat jobb oldali oszlopa).

A kronosztratiográfia mellett elvileg a távérzékelés előzetes minősítésű litosztratiográfiai egységek létrehozására is teremthet lehetőséget. Ezen belül a legnagyobb esélye a legnagyobb rangú egységek, mint a formációcsoport és komplexum kijelölésének van. A Holdon WILHELMS (1987) definiálta a főbb litosztratiográfiai egységeket (legnagyobb egységként „formáció” néven). Teljesen nem lehet azonban kizárni a valódi formáció rangú egységek kijelölhetőségét sem. Erre legújabbban a marsi in situ roveres vizsgálatok alapján került sor helyileg.

A planetáris kronológia egyik megválaszolatlan kérdése, hogy a fotogeológiai módszerekkel, elsősorban szer-



a) 0,05 0,1 0,2 0,5 1 2 4 8 16 32 64 128 256 512
Kráter átmérő (km)



2. ábra. a) Összefüggés a Hold különböző méretű krátereinek előfordulási gyakorisága és a terület kora között, feltüntetve a Vénusz és a kanadai pajzs krátermegtartási korát is

A vastag vonal a telítettségi határ, aminél nagyobb krátérsűrűség már nem lehetséges. A Hold felföldjei elérik ezt a határt, azaz itt korukra csak minimumérték adható (HARTMANN 2005 és HARGITAI et al. 2005 alapján)

b) A Derültég tengere keleti pereme

Két élesen eltérő felszíntípus a Holdon: balra a fiatal, alig kráterezett, sötétebb árnyalatú mare terület, jobbra a világosabb, idős, lepusztult kráterekkel sűrűn tagolt felföldi (terra) terület. A Derültég tengerének medencéje, azaz a Serenitatis-medence egy 3,98 Ga korú becsapódás nyoma; vulkanizmusa 3,8 Ga-ban kezdődhetett, és 2,4 Ga-ig tartott. A két („idős” felföld és „fiatal” mare) terület kora között tehát kb. ekkora a különbség. A mare peremén az Aldrovani-gerincek redőgerincrendszerre fut egészen a mare lávával előntött Le Monnier kráterig. A redőgerincek a mare láva hűlésével keletkezett tektonikus eredetű, törésvonal mentén keletkezett ráncok. A kép közepe táján a Clerke fiatal krátertől délre fut keresztül a mind a mare, mind a terra területen átvágódó, bezökkenett Littrow-rianások árkaiknak fő vonulata. A Clerke-től keletre a terra területen látható nagy, lepusztult kráter a Littrow. (A nyíl az Apollo-17 leszállási helyét jelöli a tektonikus eredetű Taurus-Littrow-völgyben.) (AS17-0939[M] sz. NASA-kép)

Figure 2. a) Crater counts and isochrons for the Moon, Venus and the North American Shield, **b)** Eastern margin of Mare Serenitatis, borderline of mare and terra terrains

kezetük, morfológiájuk alapján azonosított, definiált geológiai egységek korrelálhatók-e globálisan az adott égitesten, azaz ezeket globálisan szinkron (egyszeri és egyidejű) vagy diakron (egymás után, hosszabb időn át többször visszatérő) események hozták-e létre. Ha az egyes egységek keletkezése egy meghatározott időhöz kötődő, egyedi, akkor a kronosztratigráfia a valós képet mutatja. Ha azonban a bolygótest története során hasonló morfológiájú egységek többször is kialakulhattak, akkor csak pl. egy ciklikus endogén aktivitás által létrehozott egységeket határoznak meg. A kráterszámlálás és az egyes regionális méretű egységek határainak települése adhat választ erre a kérdésre.

A jelenleg használatban lévő nevek magyaros írásmódjának egységesítése már több éves törekvése a hazai szakembereknek (HARGITAI & KERESZTURI 2002). Itt törekvésünk, hogy ahol annak a névnek, melyről a rétegtani egység névadó földrajzi helyét elnevezték, van magyarul használt bevett írásmódja, ott azt használjuk a rétegtani egység nevéként (pl. a Copernicus kráter esetében Koper-nikusz neve, s innen: kopernikuszi rendszer/időszak). E nevek használatát a *III. táblázatban* foglaltak szerint ajánljuk.

A geokronológiai tagolás kiindulópontja

A földi hádész (hádészi) eon kezdőpontja a Föld kialakulása. A „Hadean” terminust csak 2008-ban fogadták el hivatalosnak, mint a legkorábbi eont (GRADSTEIN et al. 2008), ennek informális létező albeosztását azonban a Nemzetközi Rétegtani Bizottság (ICS) — legalábbis napjainkig — nem ismeri el hivatalosnak. Ilyen nem hivatalos terminus pl. a legkorábbi időt jelző (angol nevén) „Cryptic”, mely a Föld kialakulásától 4,15 Ga-ig tartott (ezt fedi le a „korai Föld” néven emlegetett 3,5–4,55 Ga időszak is) (GRADSTEIN et al. 2004).

Megjegyzendő, hogy a meteoritok vizsgálata révén ma már egyre részletesebb mérésekkel és modellekkel rendelkezünk a Naprendszer kialakulásának első évmillióiról; a bolygók összeállásáról, melynek eseménysorozata a bolygókeletkezés előtti idő tagolására is használható volna. Igaz, hogy ezek nem jelennek meg semmilyen rétegsorban (hiszen még nem léteztek bolygók sem), azaz kronosztratigráfiai egységként nem értelmezhetők, de a meteoritok révén mérésekkel is vizsgálhatók és időbeliségük megállapítható, ezért geokronológiai egységként is elismerhetőnek tűnnek.

A ma elfogadott nézet szerint 4,567 Ga-vel ezelőtt (T_0) keletkeztek a kondritos meteoritokban megőrzött mikrométer-milliméter méretű kalcium-alumínium zárványok (CAI-k). Ezek és a következő évmilliókban (4,565–4,562 Ga) (SCOTT 2008) a Naprendszer kissé távolabbi öveiben kicsapódott anyagból külső hőhatásra megolvadt kondrumok a protoplanetáris ködből kondenzálódó első szilárd részecskék; és az első, melyek beépültek a későbbi Föld anyagába.

A planetáris ásványvilág legkorábbi összetevőinek történetében a kezdőpont tehát a meteoritokban talált legősibb zárványok, a CAI-k és a kondrumok keletkezése. Ez a 4,567 Ga tehát a hádész — ill. a prekambium — kezdőpontja is, melyet GRADSTEIN et al. (2008) „a Föld kialakulásának” T_0 időpontjaként határooz meg.

Ezek létrejöttét követi a planetezimálok, majd a kisbolygótestek összeállása. E kis égitesteket az ekkor még bőven rendelkezésre álló ^{26}Al radioaktív bomlása kezdte — belülről — erőteljesen fölmelegíteni. Később a ^{26}Al többsége elbomlott. A kondritos anyagból fölépülő kisbolygók közül a kisebbek máig nem melegedtek föl oly mértékben, hogy elveszítsék a kondrumok ősi szemcséit.

A Naprendszer kristályos anyaga, amely a szoláris köddel egyensúlyban lévő szemcsékből állt, fokozatosan halmozódott föl. Első lépésként, mintegy 10–100 ezer éves időskálán, kisebb halmazokká, majd fokozatosan, ütközésekkel 10–100 km átmérőjű planetezimálokká (porózus bolygócsírákká) álltak össze (SCOTT 2008). A kb. 300 km-nél nagyobbak már oly mértékben fölmelegedhettek a radioaktív fűtés hatására, hogy belső szerkezetük differenciálódhatott.

Az első 10–100 millió évben alakultak ki a bolygók. Ezen időszakban került sor a földtörténet következő mérföldkövére: a Theia nevű égitest proto-Földbe csapódására, mely eseményből megszületett a Hold és a ma ismert Föld is. Ezt az eseményt MÜNKER et al. (2003) 4,533 Ga-ra teszi. A holdi magmaóceán felszínének megszilárdulását 4,527 Ga-ra datálják (KLEINE et al. 2005), ami jó támpontot adhat az első földi kőzetek megszilárdulásának időpontjára is.

A következő földtörténeti mérföldkő az első olyan emlék, ami már a mai Földünkön is nyomozható. Ez adja az archaikum kezdőpontját: a legidősebb ma ismert kőzetminta kora (kb. 4,03 Ga).

A Belső-Naprendszer égitestjeinek geológiai és geokronológiai egységei

Az egyes, krátergyakoriság alapján kijelölt egységek a földi rendszerben használt radiometrikus korokhoz kötése csak a Hold esetében lehetséges; más égitesteken ezért eltérő korrelálási módszerek és elvek eltérő évszám-adatakat eredményeznek (pl. egy ilyen korrelálási alapfeltevés, hogy a Marsnál a Holddal azonos volt a becsapódás-gyakoriság). A kráterek méretgyakorisági görbéi alapján kísérlet tehető a becsapódó testek eredetének feltárására: mivel ez — a Belső-Naprendszerben — a fő kisbolygó-övezet méreteloszlását közelíti, valószínűsíthető, hogy ez a becsapódó testek eredete; és az üstökösök aránya legfeljebb 10% körüli (WAGNER et al. 2002). Az alábbiakban az egyes korok eseményeit és a nekik megfelelő sztratigráfiai egységeket jellemzőit mutatjuk be (*IV. táblázat*), jelezve az egyes egységek problematikuságát is (TANAKA & SKINNER 2003) alapján. A földrajzi (bolygórajzi) neveket magyaros írásmóddal, HARGITAI et al. (2008) alapján közöljük.

III. táblázat. A Naprendszer néhány égitestjének időrétegtani (ill. geokronológiai) egységei és magyar elnevezésük

Table III. Time-stratigraphic and geochronologic units for planetary bodies of the Solar System with their Hungarian language translations

	Kronosztratigráfiai egység (angolul)	Forrásnév	Forrásnév típusa (alakzat)	Forrásnév típusa (megkülönböztető tag)	Javaslat a magyar névhasználatra (minden esetben kisbetűs alakok)
MERCÚR	Kuiperian	Kuiper	kráter	G. Kuiper: (holland-amerikai csillagász) (személynév)	kuiperi
	Mansurian	Mansur	kráter	Ustad Mansur: (indiai személynév)	mansuri
	Calorian	Caloris Planitia	medence	calor, caloris (m)-hőség, forráság (latin)	calorisi (a földrajzi névben előforduló latin szótó eredeti alakjának megtartásával)
	Tolstojan	Tolstoj	kráter	Lev Tolstoj: (személynév, orosz író)	tolsztoji (a hagyományos magyaros írásmódot követve)
	Pre-Tolstojan	"	"	"	pretolsztoji
VÉNUSZ	Aurelian	Aurelia	kráter	Aurelia, Julius Caesar édesanyja (római)	aureliai (mivel földrajzi névből képzett, -i képzővel)
	Atlian	Atla Regio	terület	Atla az északi mitológiában Heimdall anyja a 9 közül	attai (az eredetihől képezve)
	Guineverian	Guinevere Planitia	síkság	Guinevere, azaz magyarul Guinevra, Arthur király felesége (brit)	guinevrai (Guinevra bevett, magyarul használt nevéből)
	Rusalkian	Rusalka Planitia	síkság	ruszalka: orosz vízi tündér	ruszalkai (az eredeti alak él a magyar nyelvben, ezért fonetikusan)
	Lavinian	Lavinia Planitia	síkság	Lavinia: Aeneas felesége	laviniai
	Sigrunian	Sigrun Fossae	árok	Sigrún: a skandináv mitológiában a győzelmi rúnák ismerője, valkür-féle nölak	sigrúni (az eredeti skandináv helyesírás szerinti ékezettel, melynek elvileg minden bolygófelszíni névben is szerepelnie kellene az IAU előírásai szerint)
	Fortunian	Fortuna Tessera	tessera (f) mozaik, négyszögletű lap, fa, kavics (latin, itt: orosz közvetítéssel)	Fortuna római istennőről elnevezett mozaik szerkezetű terület	fortunai (a használt angol alaktól eltérően közvetlenül az eredeti földrajzi névből képezve, mely az istennő nevével is megegyezik) Lásd még: Europa->Europán. Nem keverendő a földi kambriumi „Fortunian” (magyarul: fortuni) korszakkal
	Pre-Fortunian	"	"	"	prefortunai
HOLD	Copernican	Copernicus	kráter	személy (latinisított, lengyel)	kopernikuszi (elterjedt magyaros névírással)
	Eratosthenian	Eratosthenes	kráter	személy (görög)	eratoszthenészi (elterjedt magyaros névírással)
	Imbrian	Mare Imbrium –Felső tenger	mare mare, maris (n)-tenger	imber, imbris (m)-zivatar (latin)	imbriumi (a földrajzi név megkülönböztető tagjához csatolt képzővel)
	Nectarian	Mare Nectaris= Méz tenger	mare	nectar, nectaris (n)-nektár (latin, eredetileg görög)	nektári (a szótó más kontextusban magyarul is ismert, ezért magyaros írással)
	Pre-Nectarian	"	"	"	prenektári (az előző mintájára)
	(Procellarian) (elavult)	Oceanus Procellarum	mare	Viharok óceánja	procellarumi (elavult, már nem használt)
MARS (geológiai tagolás)	Amazonian	Amazonis Planitia	síkság Planitia, planitiae (f)- síkság (latin)	amazon, amazonis (f)-amazon. (latin)	amazoni (a szó töve: amazon)
	Hesperian	Hesperia Planum	planum,-i (n): síkság (latin)	Hesperia, a nyugati föld neve az antikvitásban	hesperiai (magyarosan; lévén, a hesperia bevett magyar helyesírású)
	Noachian	Noachis Terra	terra, terrae (f) föld (latin)	Noach=Noé bibliai személy (héber)	noachi (a szó töve: noach, amit az angol alak is tükröz. Magyarul noé lenne, de ez annyira eltér, hogy nem javasolt „lefordítása” és összekeverhető a noéi idő biblikus nevével. Ékezet nélkül.)
	Pre-Noachian	"	"	"	prenoachi (az előző mintájára)
MARS (geokémiai tagolás)	Siderikian		sziderosz=vas (görög)	Kémiai	sideriki (mint fenn). Szabad fordításban: a vas-oxid kora. Nem keverendő a földi paleoproterozoikumai „Siderian” (szideri) időszakkal, mely a marsi névadásához hasonló filozófiával utal arra, hogy az ekkor megjelenő oxigén oxidálta a vasat és tömegesen képződtek az óceánban a szilagos vasércék.
	Theikian		theiön=kén (görög)	Kémiai, szulfátok, kén görög nevéből	theiiki (mint fenn). Szabad fordításban: a szulfátok kora.
	Phyllocian		phyllisifate fillo-szilikátok	Kémiai, phyllon=levél (görög)	phylloci (kiejtve: filloszi) (az eredeti helyesírás megtartásával, minthogy a szó a köznyelvben nem ismert; bár nem földrajzi névből képzett, -i képzővel). Szabad fordítása: az agyagásványok kora.

IV. táblázat. A Naprendszer néhány égitestjének korrelált geológiai története

Table IV. Correlated geologic history for some of the planetary bodies of the Solar System

Ga	MERKÚR	VÉNUSZ	HOLD	MARS	CALLISTO	FÖLD	Ga
0	időszak/rendszer határesemény	időszak/rendszer IDŐ	időszak/rendszer határesemény	RÉTEGTANI GEOKÉMIAI	időszak/rendszer határesemény	eon/ontéma idő/időtéma	0
0	kuiperi Sugársávós (fiatal) kráterek, lörmelék.Lakarójuk és másodlagos kráterek	aurellai Parabolosodó kráterek Koronák, rittek ruszalkai Redőgerinces síkságok KORAI lavinal Törédezett lávasíkság övek sigrúni Törédezett lávasíkságok fortunai lesszerák	kopernikuszi Fiatal, sugársávós kráterek, törmeléktakarójuk és másodlagos kráterek Copernicus kráter	amazoni Periglaciális környezet, lokális lövöclötrétek (pl. Elysium) sideriki Hideg, száraz klíma, lassú oxidációs folyamatok	burri Fiatal sugársávós kráterek	fanerozoikum kainozoikum mezoozoikum paleozoikum	0
1	mansuri Sugársáv nélküli kráterek. A becsapódások gyakorisága kb. állandó szintű	PREFORTUNAI	eratoszthenészi Idősebb, sugársáv nélküli kráterek; nagy medencék feltöltése mare bazaltokkal			ncoproterozoikum	1
2		Tesszerák előtti fázis, nem maradt nyoma				mezoproterozoikum	2
3				heszperiai Redőgerinces síkságok, f i üledéktakaró		ncoproterozoikum paleoproterozoikum	3
4	calorisi Nagy bombázás vége Mansur kráter Tolsztoji Sima síkságok Tolstoj kráter pretolsztoji	késő-imbrium kor-imbrium Orientale-medence Imbrium-medence Nectaris-medence prenektári	noachi Völgyhálózatok, kráterek, medencék prenoachi Eltemetett medencék	theiiki Vulkáni eredetű szulfátok, savas esőként mállasztanak prenoachi Eltemetett medencék	valhallai Nagy bombázás vége Penepalimpszesztek, kráterek Valhalla-medence- asgard	archaikum paleoarchaikum eoarchaikum	4
4,6	lőbgyűrűs medencék, kráterek Kráterközi síkságok, törésvonalak		Idős, medencék törmelék takarója, SPA-medence	phylocci Meleg, nedves, agyagvárosítás	preasgard Kráterek, medencék, palimpszesztek	hádész	4,6

A Merkúr

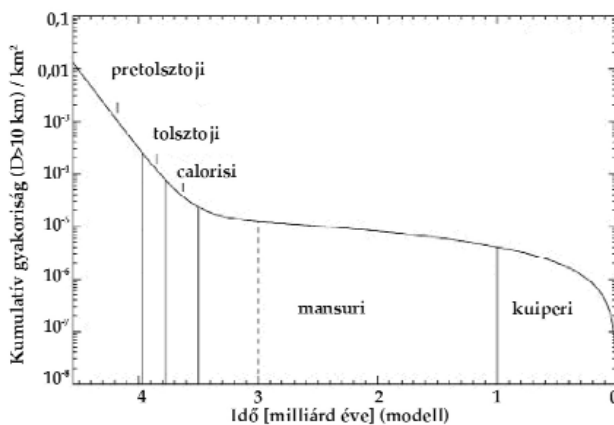
A Merkúr felszíne, így sztratigráfiai tagolása is igen hasonló a Holdéhoz. A Merkúr felszínén három fő geológiai egység dominál, legalábbis területének azon a 40–45%-án, amelyet a Mariner-10 szonda lefényképezett. Ezek: a kráterekkel sűrűn tagolt felföldek, az ezen található sima kráterközi síkságok, és a kevésbé kráterezett sima síkságok, melyeken redőgerincek is találhatóak, és melyek a holdi mare területekhez hasonlóak, leszámítva, hogy itt a környezetüknel világosabbak. A krátereket lepusztultsági fokuk alapján 5 osztályba sorolták (sugársávós [legfiatalabb]: c5, romkráter [legidősebb]: c1). A Merkúr nagyobb törésvonalainak keletkezését (pl. Discovery-szakadék) a bolygó hűlésével magyarázzák. A Merkúr geokronológiai tagolása a Messenger űrszonda 2008-as elrepülése, ill. 2011-es bolygó körüli pályára állása után valószínűleg módosulni fog.

Geokronológiai tagolás

WAGNER et al. (2002), SPUDIS (2001) és SPUDIS & STROBELL (1984) alapján (3. ábra).

Pretolsztoji időszak/rendszer: a kéreg megszilárdulásától a Tolstoj többgyűrűs medence keletkezéséig. Ezen időszakra tehető az idős többgyűrűs medencék és a kráterek többségének kialakulása, ill. a kráterközi síkságok felszínének megszilárdulása. Jellemzők az árapályerők és zsongorodás miatti törésvonalak.

Tolsztoji időszak/rendszer: A Tolstoj-medence keletkezésétől (3,97 Ga), mely egybeesik a — becsapódási vagy vulkáni hatásra létrejött — sima síkságok fő kialakulási idejével.



3. ábra. A Merkúr becsapódásos kráterek alapján felállított kronológiája és kronosztratigráfiai rendszere, WAGNER (2002) alapján

Figure 3. Cumulative crater counts of Mercury and its chronostratigraphic system

Calorisi időszak/rendszer: A becsapódásos eredetű Caloris-medence (3,77 Ga — a Naprendszer egyik legnagyobb becsapódásos szerkezete) kialakulásától. Kora a holdi Orientale-medencéjéhez lehet közeli; ezen időszakban ér véget a késői nagy bombázás.

A Calorisszal egyidejűleg a földrengéshullámok koncentrálódása hozta létre a vele antipodális összetöredezett területet. Utána és/vagy vele egyidejűleg, közelében sima síkságok alakultak ki.

A Caloris-becsapódáshoz négy formáció köthető (MCCAULEY et al. 1981). A Caloris Montesi Formáció a medence peremén található, a kidobott törmelékanyag (kráteránc) és a korábbi terület feltöredezett anyaga alkotja. A

Nervói Formáció anyagát a medence belsejébe visszahulló törmelék kissé kiemelkedő szintje alkotja. Az *Odini Formáció* anyagát a becsapódáskor távolra kidobódó, nagy kőzetblokkok alkotják. A *Van Eycki Formáció* anyagát a sugárirányban kilökődő majd visszahullt törmelék sávjai alkotják.

A nagy kiterjedésű kőzettesteket alkotó három rendszer fölött a foltszerű rétegtani egységeket tartalmazó két fiatalabb rendszer következik.

Mansuri időszak/rendszer: Sugársáv nélküli kráterek. A késői nagy bombázástól a becsapódások gyakorisága nagyjából állandó fluxusú. Jellemzője az újabb, a régiákat elfedő kráterek keletkezése. Az időszak névadója a Mansur kráter (kb. 3,5 Ga).

Kuiperi időszak/rendszer: A legfiatalabb nagy kráter (a Mariner-10 felvételein) a 60 km átmérőjű Kuiper fényes sugársávú kráter (kb. 1 Ga). A holdi helyzethez hasonlóan a sugársávú kráterek jelölik ki a legfiatalabb időszakot: a már sugársávjukat „elvesztő”, de még fiatal kráterek a mansuriba tartoznak. Mindkét fiatalabb rendszer (mansuri, kuiperi) rétegei többnyire csak kráternyi foltokban vannak jelen a Merkúr felszínén.

A Vénusz

A Vénuszon kb. 970, véletlenszerűen elhelyezkedő becsapódási krátert azonosítottak; kb. 1–3 km-nél kisebb kráterek nem keletkeznek, mert a becsapódó test még felszínre érés előtt feldarabolódik és elég. A kráteresűrűség átlagosan 2 db/1 millió km². A kráterek korának pontosabb meghatározásaként klasszikus települési törvények segítségével vizsgálható, hogy az őket befoglaló geológiai egység keletkezése előtt vagy után alakultak-e ki (pl. ha egy kráter egy redőgerinceket mutató síkságon található, vizsgálható, hogy a kráternek milyen a viszonya a redőgerincekhez). A parabolacsóvát és radarsötét halót a holdi

sugársávokhoz hasonlóan a fiatal kráterek lassan környezetükbe olvadó képződményének tartják. A felszín kora a kráterszámításos módszert alapul véve globálisan átlagosan 300–1000 millió év. A tényleges kor megállapításához a Vénuszról visszahozott kőzetminta vizsgálata adhatna biztos választ, amire a belátható jövőben nem lehet számítani.

A vulkáni síkságok 600–1000 millió, a vulkáni kúpok 260±160 millió évesek.

A véletlenszerűen elhelyezkedő kráterek alapján kétféle alapmodell állítható fel: vagy egyszerre történt a felszín befedése, és közel az egész felszín egyidős (CRM: Catastrophic Resurfacing Model); vagy a kráterek keletkezése és elfedése párhuzamosan, folyamatosan történik (ERM: Equilibrium Resurfacing Model — PHILIPS et al. 1992). (A valós helyzet a két szélsőség között valószínűbb.) Az előbbi (CRM) modell az elfogadottabb. Eszerint kb. 700 millió éve globális katasztrófikus felszín-újraképződés történt, mely a bolygó belsejében zajló konvekciós áramlásoknak felszínközeli jellegében történő (egyedi vagy ciklikus) átmenettel magyarázható (pulzáló geológiai aktivitás). A kiömlő lávák elfedték a korábbi területeket, így a tesszerák nagy részét (KERESZTURI 1995). Az ún. SPITTER (Spatially Isolated Time-Transgressive Equilibrium Resurfacing) és egységnyi felszín-újraképződési modell (ERM) szerint azonban a kráterkeletkezés és az őket elfedő lávafolyások kiömlése egymással párhuzamosan, állandó rátával folyik a vékony kérgű Vénuszon (HANSEN & YOUNG 2007). (Hasonló, folyamatos felszín-újraképződést feltételeznek a globálisan egységesen pártízmillió éves korú Europa jégfeszínére is.)

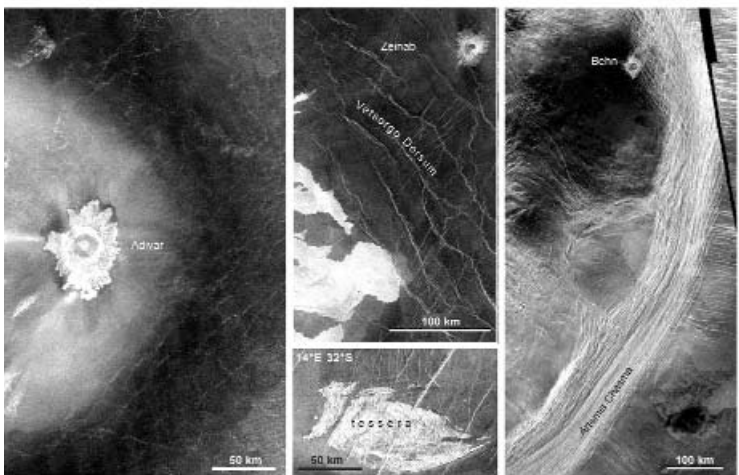
A Vénusz térképezésére részletes iránymutatásokat dolgoztak ki TANAKA et al. (1994), melyek az amerikai USGS (United States Geological Survey) planetáris geológiai térképezési módszerein alapulnak. A Magellan űrszonda radarfelvételei (4. ábra) alapján BASILEVSKY & HEAD (1995, 2002) készítette el a Vénusz egyes területeinek sztratigráfiai tagolását, a különböző területekre különféle rétegtani egységeket alkotva.

Geokronológiai tagolás

A Vénusz rétegtani tagolását (BASILEVSKY & HEAD, 1995, 1998, 2002 és HEAD & BASILEVSKY 1999 alapján ismertetjük.

Prefortunai idő: nyomai nem ismertek (más kifejezéssel ez a pretesszera fázis, azaz a tesszerák képződése előtti idő — kb. 1–4,5 Ga). A Vénusz történetének 80–90%-át kitevő időszak, melyből feltehetően nem maradt a felszínen morfológiai (azaz a jelenlegi távérzékelési módszerekkel azonosítható) nyom; bár kőzeteiből a tesszerák tartalmazhatnak kőzettesteket.

Korai idő: Ezen idő későbbi szakaszának elnevezése egy alternatív tagolás szerint *Guinevrai (időszak)* (kb. 40–400 ma), s részei: Sigrun-csoport, Lavinia-csoport, Rusalka-csoport.



4. ábra. A Vénusz jellegzetes felszíntípusainak radarfelvételei (a Magellan űrszonda felvételei)

Balra: fluidizált törmelékterítőjű kráter, körülötte radarsötét parabolacsóvával (a képen a csóvának csak egy része látszik; a csóva balra folytatódik); lent középen: tesszera terület; fent középen: redőgerinces lávasíkság, a kép bal alsó sarkában egy közeli kráterből kiinduló friss lávafolyás; jobbra: az Artemis Corona körüli törésöv egy részlete

Figure 4. Radar images of typical terrain types of Venus

A kráterek vizsgálata arra utal, hogy a felszínt ma kb. 70%-ban borító anyagok igen rövid idő alatt formálták újjá a Vénusz felszínét.

Fortunai időszak/rendszer: tesszera orogenezis fázis: tesszera — tektonikusan négyzetesen feltördelt — területek keletkezése (koruk szerzőtől függően 900 ± 200 vagy 1140 ± 460 millió év), melyek ma szigetként különülnek el a körülöttük lévő fiatalabb egységektől; a Vénusz területének 8%-a. A tesszerák keletkezése után települt vulkáni rétegek vastagsága 1–3 km-re becsült.

Sigrúni időszak/rendszer: közel párhuzamos törésvonalakkal sűrűn szabdalva vulkáni anyagú síkságok jellemzik; A mai felszín 3–5%-a.

Laviniai időszak/rendszer: feltöredezett és széles hátakkal tagolt síkságok jellemzik, melyek elnyúlt övekként jelennek meg a síkságokon belül; A mai felszín 3–5%-a.

Ruszalkai időszak/rendszer: ekkor jöttek létre a redőgerinc (bazalt-)síkságok: a mai felszín 50–60%-a; és a vulkáni pajzsok, illetve az egymásba olvadó kisebb pajzsvulkáni építmények alkotta területek (ezek a mai felszín kb. 10–15%-át fedik). A redőgerincesedés globális elterjedésű. A becsapódási kráterek többsége a ruszalkainál fiatalabb. A vulkáni lávasíkságok keletkezése és deformációja 10–100 millió év során történhetett. A lávasíkságokat morfológia és radarfényességük alapján lehet felosztani.

Késői idő: **Atlai időszak/rendszer:** lebenyes (bazalt-)síkságok; sima síkságok (10–15%) és ríftesedett területek jellemzik.

A ruszalkai utáni, máig tartó vulkánosság — pár tized $\text{km}^3/\text{év}$ fluxussal — és a hozzá kötődő ríftesedés intenzitása nagyjából állandó mértékű. Jellemző felszínformái a részben koronákhoz és ríftekhez kötődő helyi vulkáni építmények és folyások.

Aureliai időszak/rendszer: (kb. 40 millió évvel ezelőtől máig) rétegtani helyét a radarsötét parabolacsóvás kráterek jelölik ki. Ezek a legfiatalabb kráterek, az összes kráternek kb. 10–15%-a, melyekhez a parabola alakú radarsötét területek és a becsapódáskor kilökött, szél által mozgatott, majd kiüledő finom frakciójú törmelékek kapcsolódnak (ezek a felszín 8%-át borítják). Jellemzői továbbá a belső erők működését jelző ríftesedett területek. A Lakshmi-fennsík körüli vélhetően fiatal hegységöv (pl. Maxwell-hegység) felgyűrődése külön szerkezeti fázist jelölhetne ki, bár ilyen „Maxwell-orogén” nincs definiálva.

A Hold

A Hold volt az első égitest, melyre a sztratigráfia Földön kifejlesztett, de más égitestre kiterjesztett axiómáit alkalmazták (SHOEMAKER & HACKMAN 1962, WILHELMS 1970, 1987). A kőzetestek tulajdonságait, az átfedési viszonyokat először fotometriai úton, távcsöves fényképfelvételekről, majd úrfelvételekről állapították meg. E rétegtani térképező munka a holdi időrétegtan egységeit a következőképpen foglalta össze: a sugársávós kráterek a legfiatalabbak (kopernikuszi rendszer), ezeket követik lejjebb a még mindig fiatalosan tagolt morfológiájú, de már sugársáv nélküli

kráterek (eratoszthenészi rendszer). Mindkét fiatalabb emelet képződményei többnyire csak kráternyi foltokban vannak jelen a Hold felszínén, bár előfordulnak eratoszthenészi eredetű mare területek is (és a Tycho vagy a Copernikus kráter sávjai is messzire nyúlnak, különösen telihold idején láthatjuk ezt). A foltszerű rétegtani egységek alatt nagy kiterjedésű kőzetesteket alkotó két rendszer következik. Az egyik az imbriumi, mely az Imbrium-medencéhez kapcsolódott a definiáláskor kijelölt területen (imbriumi rendszer). A másik, a még idősebb egység a Nectaris-medencéhez kapcsolódik (nektári rendszer). Legalsó helyzetű a kráterekkel sűrűn borított terravidékek (felföldek) (prenektári) rendszere.

A települési törvény szerint megalkotott holdi kronosztratigráfiai egységek időviszonyait később, az ugyancsak távérzékeléses, de kráterszámolásos módszer alapján továbbfejlesztették (WILHELMS et al. 1971). Az első kronosztratigráfiai oszlopban a nagy kiterjedésű mare rétegek külön időrétegtani egységet alkottak: ez volt a procellarumi rendszer. Ezt később közel egykorúnak találták az imbriumival, ezért törölték mint önálló egységet, de belefoglalták az imbriumi rendszerbe. Ekkor vezették be a nektári (és prenektári) rendszert az addig használt preimbriumi rendszer továbbbontásával.

Később, az Apollo expedíciók által elhozott kőzetminták ilyen célú vizsgálata alapján, a relatív tagolást radiometrikus korokhoz is kötni lehetett (WILHELMS 1987, BÉRCZI 1991).

A holdi rétegtani tagolást egyes szerzők a földi hágász tagolására is használják; melyet az indokol, hogy ezen idő különösen korai részében a Földet is a holdihoz hasonló kozmikus hatások (becsapódások) érhették (HARLAND et al. 1990); és hogy a Holdon — a Földdel ellentétben — találhatóak ebből az időből származó kőzetminták. A Hold rétegtani tagolását WILHELMS 1987 alapján ismertetjük (5. ábra).

Geokronológiai, ill. rétegtani tagolás

Prenektári rendszer/időszak (4,54–3,9 Ga): idősebb medencék kidobott anyaga: kb. 30 ismert medence, köztük a Procellarum- (4,15 Ga) és Déli-sark–Aitken-medence (SPA) (4,1 Ga); az eredeti kéreg keletkezése.

Nektári rendszer/időszak (3,9–3,8 Ga): a Nectaris- és Imbrium-medence becsapódása közti időszak. Alsó határa a *Jansseni Formáció* alja (a Nectaris-medence kidobott anyaga). A késői nagy bombázás időszaka.

Alsó (kora)-imbriumi sorozat/kor (3,85–3,84 Ga): alsó határa a *Fra Maurói Formáció* alja (az Imbrium-medence kidobott anyaga). A *Cayleyi Formáció* világosabb fényességű, egyenletes síkságokat, a *Descartesi Formáció* egyenetlen síkságokat képez a felföldeken. E két formációt korábban vulkáni eredetűnek gondolták, de az Apollo–16 nem talált vulkáni kőzeteket, csak breccsákat; így ma ezt is az Imbrium-medence törmeléktagarójával hozzák összefüggésbe (TAYLOR 1982). Jellemzői az idősebb kráterek.

Felső (késő)-imbriumi sorozat/kor (3,84–3,26 Ga): alsó határa a *Heveliusi Formáció* alja (az Orientale-medence kidobott anyaga); jellemző eseményei: mare bazaltok keletkezése (nagy medencék feltöltése, a jelenlegi mare anyagok 2/3-ának kiömlése), és idősebb kráterek (pl. Kirieger) képződése.

Kronosztratigráfiai egység rendszer		Milliárd években mért idő	Geológiai egységek	Események
Kopernikuszi		jelen 0,1	Fiatal, sugársávós kráterek és törmelékterítőjük	Tycho
		0,9 1,1	Impakt kráterek	Copernicus
Eratoszthenészi		3,2	Idősebb, nem sugársávós kráterek	Eratoszthenes
			Apollo-12 lávák Apollo-15 lávák	Imbriumi lávák
Imbriumi	Felső-imbriumi	3,26	Luna-16 lávák	Kiterjedt lávasíkságok keletkezése a felénk néző oldalon; kevesebb lávafolyás a túloldalon
		3,6	Mare-bazaltok	
	Alsó-imbriumi	3,84	Apollo-11 lávák Apollo-17 lávák	Orientele-medence
		3,85	Heveliusi F Cayleyl és Descart. F	Imbrium-medence
Nektári			Késői nagy bom-bázás	Crisium Muscoviense Humorum Nectaris Serenitatis Smythii Tranquillitatis Nubium
		3,9	Jansseni Formáció	
Prenektári		4,1		Déli-sark – Aitken-medence Procellarium-m.
		4,6		A Hold kialakulása

5. ábra. A Hold rétegtani tagolása (WILHELMS 1987 alapján, módosítva)

Figure 5. Stratigraphic units of the Moon (after WILHELMS 1987)

Eratoszthenészi rendszer/időszak (3,26–1,1 Ga): Ekkor keletkeztek egyes idősebb (nem sugársávós) kráterek (pl. Delisle, Timocharis, Eratoszthenes), valamint egyes mare bazaltok (lávásíkságok). Ezen időszak jellemzője egyes nagy medencék feltöltése.

Kopernikuszi időszak/rendszer (1,1 Ga – máig): a mai fiatal (sugársávós) kráterek és az általuk kidobott takarók keletkezése (pl. Tycho [kora 107 millió év], Aristarchus, Kepler, Copernicus [900 ma] és kis kráterek).

A Mars

A Mars esetében különböző szerzők eltérően korrelálják a Hold közetain mért radiometrikus adatokat a marsi kráterszámlálásos adatokkal. A marsi „rétegtani-morfológiai” egységeket SCOTT & CARR (1976) Mariner-9 fényképei alapján elkészített geológiai térképe alapján CONDIT (1978) definiálta. Ezt SCOTT & TANAKA (1986) finomította a Viking Orbiter képei alapján, s azóta is számos változata készült el; a relatív beosztás maga azonban egyértelmű. A kezdeti rendszert az Arcadiai Formáció (alsó-amazoni alsó határán, HARTMANN & NEUKUM 2001), majd az északi területek vizsgálata (FREY et al. 2003: „prenoachi” bevezetésének javaslata) tovább finomította.

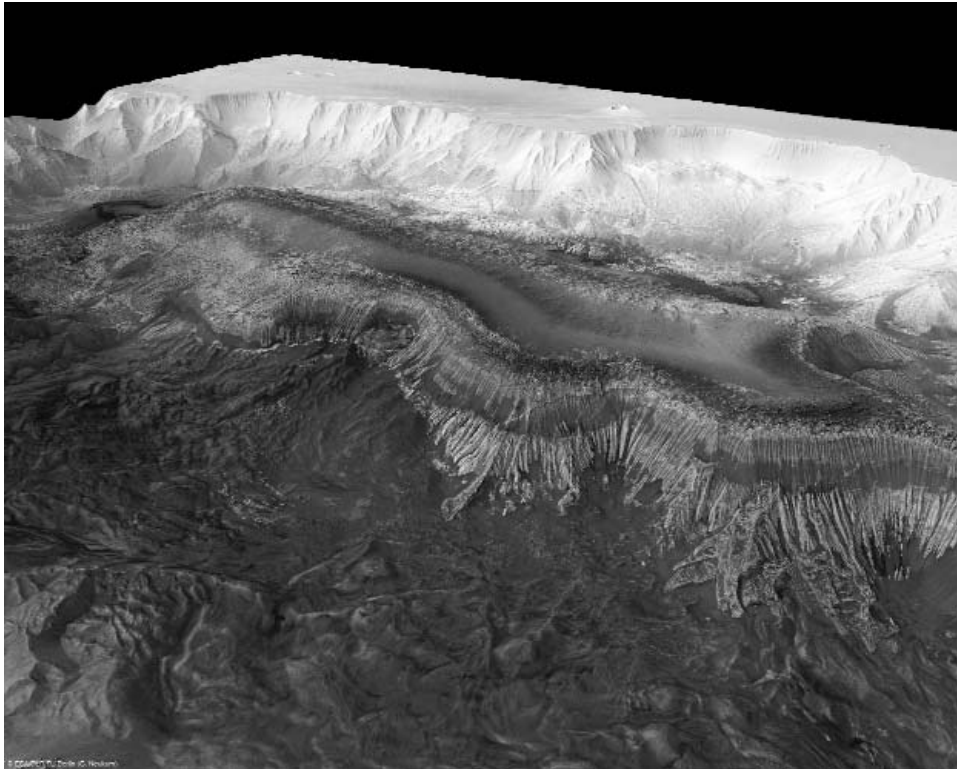
A marsi rétegtannak új, geokémiai szempontokon alapuló beosztását alkották meg (BIBRING et al. 2006) a Mars Express űrszonda megfigyelései (6. ábra) alapján.

A felszín: A Mars felszínének legnagyobb egységei az északi, mélyebben fekvő, kevésbé kráterezett, üledékekkel fedett, eltemetett medencéket (*Quasi Circular Depressions*) rejtő síkvidék és a déli, sűrűbben kráterezett, idősebb felszín. Két fő vulkáni területe a négy óriási pajzsvulkánt tartalmazó, a bolygó történetének jelentős részén keresztül aktív Tharsis-hátság és az egy nagyobb és két kisebb kúpot hordozó Elysium-hátság. Több körkörös ősi medence található a felszínén: az északi síkságból öbölserűen kinyúló Isidis és Chryse és a déli felföldekbe mélyedő Argyre és Hellas. Két fő völgytípusa a valamelyest a földi vízgyűjtőkre hasonlító völgyrendszerek és az egyedi, áradásos csatornák, melyek sokszor beomlott, ún. káosz-területekből erednek (KERESZTURI 2000). A tektonikus eredetű, később esetleg vízzel kapcsolatos folyamatok és lejtős tömegmozgások, hátráló erózió szélesítette Mariner-völgyrendszer ríften is valaha nagyobb mennyiségű víz zúdulhatott le, mely a Noctis-labirintusból eredhetett, s több völgyágban folyhatott ki a Chryse-medence felé (KERESZTURI 2006).

Geokronológiai, ill. kronosztratigráfiai tagolás

A kráterszámlálás alapján végzett tagolást TANAKA (2001) és HARTMANN (2005) alapján, módosítva; a mars-történet leírását KERESZTURI (2000, 2006) és SIK et al. (2005) alapján ismertetjük.

Noachi időszak/rendszer (kb. 4,0–3,5 Ga) Típusterülete a Noachis-felföld. Jellemzői az északi területek süllyedése; vulkanizmus, tektonikus árokrendszerek kialakulása;



6. ábra. A Mars Express szonda HRSC kamerájával rögzített sztereofelvételekből készült hamisszínes domborzatmodell, amely a 8 km mély Hebes-szurdok árokszerű mélyedését mutatja

A képen jobb középről balra felfelé egy lapos tetejű üledékes öszlet nyúlik el, amely főleg szulfátokból, köztük gipszből épül fel. Közel vízszintes rétegei majdnem az árok peremének magasságába érnek, víztartalmú ásványai nedves, feltehetőleg hűvös, vizes környezetben rakódhattak le (ESA/DLR/FU Berlin - G. Neukum)

Figure 6. False colour 3D image of Hebes Chasma, Mars, created from Mars Express HRSC camera's stereo images

felszíni vagy felszín alatti vízfolyásos eredetű völgyhálózatok kialakulása (a napluminozitás korai, magasabb értéke és a sűrűbb légkör miatt melegebb klíma vagy lokális impakt hó hatására). A felszín meghatározó elemei az óriási becsapódásos medencék (Ares, Hellas, Argyre, Isidis, Utopia, Chryse), melyek 4 milliárd éve alakultak ki. Az egy vagy több becsapódást követő lökéshullám(ok) „elfújhatták” a korai, sűrűbb légkör jelentős részét és ezzel visszafordíthatatlanul megváltoztatták a Mars globális éghajlatát. A korban még rendelkezésre álló elegendő belső hó még működtethetett aktív, lokális „lemeztektonikát”, melynek ma is látható nyoma az eltérő mágnesezettségű, párhuzamos sávokat alkotó kőzettestek az egyenlítővel párhuzamosan a déli féltekén kialakuló hátságban, transzform vetőkkel.

Alsó-noachi sorozat / Kora-noachi kor (informálisan: prenoachi) (4,6–4,0 Ga; ennek alsó határa — mivel sehol sincs felszíni kibukkanása — nem definiált): ősi (É-on ma eltemetett) medencék (*QCD = Quasi Circular Depression*) létrejötte, gyakori becsapódások kora; e korban a Mars magnetoszférája még aktív lehetett.

Középső-noachi sorozat/kor: a ma is kráterekben gazdag területek létrejötte.

Felső-noachi sorozat / Késő-noachi kor: e korra tehető a kráterközi síkságok létrejötte és a völgyhálózatok keletkezésének záró szakasza.

Hesperiai időszak (kb. 3,5–3,0 Ga) Típusterülete a Hesperia-fennsík. Előbb vulkanizmus, később a lávasíkságokon redőgerincek képződése zajlott. Ezen időszakra tehető a Mariner-völgyrendszer rift kialakulása és az északi mélyföldek korai szerkezeteinek (üledékes) betemetődése. E szerkezeteket egy feltételezett, esetleg időszakosan, többször vízzel telítődő, és alkalmanként befagyó óceán — informális nevén az *Oceanus Borealis* — üledékei temethették be: ez tehát a mai északi felszín kialakulásának záró eseménye lenne (a későbbi becsapódásokat és glaciális formákat nem számítva).

A lokálisan megolvadó talajjég nyomán beomló területekről (ezek a mai káoszterületek) nagy mennyiségű víz folyik le, ami áradásos csatornákat hoz létre (pl. a Chryse- vagy a Hellas-medence irányában), nagy mennyiségű hordalékot mozgat, s végül befagyó állóvizeket alkot. Ezek kialakulási folyamatát *Megaoutflow* néven foglalják össze (a Mars Episodic Glacial Atmospheric Oceanic Upwelling by Thermotectonic Flood Outburst kezdőbetűiből képzett betűszóval).

Alsó-hesperiai sorozat / kora-hesperiai kor: A feltevések szerint ekkor alakultak ki a Hesperia-fennsík redőgerinces síkságjai (megjegyzendő, hogy a redőgerinc keletkezése utólagos jelenség, így másodlagos tulajdonságnak számít, befogadó anyagánál később keletkezett).

Felső-hesperiai sorozat / késő-hesperiai kor: *Vastitas Borealis Formáció* (az északi feltöltött síkság keletkezése). Megjegyzendő, hogy maga a feltöltés eseménye esetleg jóval rövidebb időtartam alatt történt, mint az általa reprezentált kor — TANAKA & SKINNER (2003) szerint ennek az üledéksornak a keletkezése jelezhetné egy „borealis” időegység alsó határát.

A *Vastitas Borealis Formáció* és a Hesperia-fennsík redőgerinces síkságjainak keletkezése közt eltelt hosszabb idő során jöttek létre a déli poláris *Dorsa Argentea Formáció* és a Tharsis vulkáni rétegsorának egyes rétegei (Tanaka 2001).

Amazoni időszak/rendszer (kb. [2–] 3 Ga–napjainkig): Típusterülete az Amazonis-síkság. A Mars tengelyferdesége a földinél nagyobb kilengésekkel változik, ezzel változik az illók helyzete, így az illók vándorlásának marsi éves ciklusán kívül nagyobb időskálán is erősen változhat a jégsapkák mérete (KERESZTURI 2007). Meleg periódus idején az elolvadó víz feltölthette a déli medencéket is. A jégkorszaki helyzet bekövetkeztekor előbb a víz, majd a szén-dioxid fagyott ki.

Az amazoni időszakot csekély geológiai aktivitás jellemzi. Előfordulnak kisebb lávafolyások Tharsis- és Elysium-hátságok területén. Ekkor keletkezhetett a *Medusae Fossai Formáció*, és az időszakra jellemző lehet a periglaciális környezet. A nyárutói porviharok és téli dérlerakódások poláris rétegzett üledéket, a szél a jégsapkákat övező dűnemezőket hoz létre. Jellemző, recens aktivitásra utaló felszíni jelenségek a lejtősávok, a sárfolyások és a törmelék-lejtők. A legfiatalabb vulkáni nyomok az északi pólussapka környékén lévő apró kúpok, amelyeken az eddigi felvételeken egyetlen becsapódásos krátert sem találtak.

Alsó-amazoni sorozat / Kora-amazoni kor Alsó határát az Acidalia-síkság sima síkságjának anyaga jelöli ki, mely azonban a Borealis-síkvidékkel részben egykorú lehet.

Középső-amazoni sorozat/kor Üledékek és a becsapódási kráterek lebenyes (sárfolyásos) törmelékterítői jellemzik.

Felső-amazoni sorozat / Késő-amazoni kor. Ekkor alakult ki az Elysium-síkság lávatakarója, mely lávaömlés azonban valószínűleg gyorsan lefolyó esemény lehetett.

Geokémiai alapú kronológia

A geokémián alapuló kronológiát BIBRING et al. (2006) dolgozta ki. Ezeknek az egységeknek nincs kronosztratiográfiai egység jellegű hierarchia-szintjük; a Mars történetének geokémián alapuló kronológiai korszakait jelölik ki. *Phylloci* idő kb. 4,5–4,2 Ga: A meleg, nedves klímán az idős, magmás kőzetek agyagásványokká (réteges szerzetű filloszilikátokká) mállanak az állóvizek fenekén vagy a marstalajban hidrotermás aktivitás vagy jeges égitestek becsapódása révén. *Theiiki* idő kb. 4,2–3,5 Ga: Vulkanári aktivitás nyomán szulfátok (SO₂) kerülnek a légkörbe,

melyek a vízzel reagálva savas esőket hoznak létre, melyek mállasztják a kőzeteket. *Sideriki* idő kb. 3,5 Ga–napjainkig: Hideg, száraz klíma. A víz és vulkánosság csekély szerepet kap, a kőzetek a légkörrel való kölcsönhatás nyomán oxidálódnak igen lassan vas(III)-oxidá, hematitá (Fe₂O₃), a Mars felszíne így nyeri el mai, vörös színét.

A Callisto

A Külső-Naprendszerben számos kisebb és nagyobb hold található, melyek közül időrétegtani tagolása egyelőre csak a Callistónak készült el (WAGNER 2007). A Callisto a legcsekélyebb geológiai aktivitást mutató, a jégholdak csoportjába tartozó Galilei-hold. Példaként tehát ezt ismertetjük. Megjegyezzük, hogy az ismertett korszakhatár-értékek igen bizonytalanok.

A Callisto rétegtani tagolása — a Holdéhoz hasonlóan — a jelentősebb becsapódási szerkezetekre épül, mert ezek keletkezésekor a korábbi felszín részint megsemmisült, részint tektonikailag deformálódott, a kráter (medence) körüli jelentős térszint pedig a kráter kilökött törmeléke fedte be üledékével. A legfiatalabb egység határát a sugársávok kráterek definiálják.

A Callisto többi bolygótesttől eltérő és a Külső-Naprendszer holdjaira jellemző tulajdonsága egyrészt hogy jelentős arányú jeget tartalmaz (sűrűsége 1,86 g/cm³), másrészt, hogy — mint minden hold — bolygójához kötött keringésű.

Geokronológiai tagolás

A preasgard (4,5–4,2 Ga) és asgard (4,2–4 Ga) időszak/rendszer (4,2–4 Ga) jellemzői a gyakori becsapódások. Az ekkor keletkezett többgyűrűs, mára a jeges kőzetanyagban domborzatukat elvesztett, „relaxálódott” medencék (palimpszesztek) napjainkra elfedődtek más becsapódásokkal. Kriovulkanári aktivitás lehetséges, hogy volt, de ennek nyomai mára eltűntek. A nagyobb domborzati kiemelkedések a kőzetanyag vízjég összetevőjének szublimációja miatt hamar erodálódhattak.

Valhallai időszak/rendszer (4–3,5 Ga): Kezdetét a Valhalla-medencét létrehozó becsapódás jelöli ki. Ekkora tehető a domborzatukat némileg máig is megőrző nagy medencék, a penepalimpszesztek keletkezése. Ekkorra tehető a legfiatalabb medencék (a sugársávok Lofn és a törmelékével fedett közeli Heimdall) keletkezése. A Lofn törmelékterítője a sztratigráfiai horizont alsó- és felső-valhallai korai (sorozatai) közötti határt jelöli ki. Ennyiben a holdi Orientaléhoz és ganymedesi Gilgamesh-hez hasonló a szerepe (KERESZTURI 1997). A késő-valhallai kor így a nagy bombázás és medencekialakulás korának végét jelzi, amennyiben a Lofn datálása helyes.

Burri időszak/rendszer (3,5 Ga – napjainkig): A mindmáig sugársávokat mutató, a Callisto történetét alapul véve fiatalnak számító Burr kráter keletkezése jelzi alsó határát.

Irodalom — References

- BASILEVSKY, A. T. & HEAD, J. W. 1995: Regional and global stratigraphy of Venus: a preliminary assessment and implications for the geological history of Venus. — *Planetary and Space Science* **43/12**, 1523–1553
- BASILEVSKY, A. T. & HEAD, J. W. 1998: The geologic history of Venus: A stratigraphic view. — *Journal of Geophysical Research-Planets* **103/E4**, 8531.
- BASILEVSKY, A. T. & HEAD, J. W. 2002: Venus: Timing and rates of geologic activity. — *Geology* **30/11**, 1015–1018
- BÉRCZI SZ. 1977: *A Merkúr bolygó. Csillagászati Évkönyv*. — Gondolat, Budapest, 285–298.
- BÉRCZI SZ. 1978: *Planetológia. Egyetemi jegyzet*. — Tankönyvkiadó, Budapest,
- BÉRCZI SZ. 1991: *Kristályoktól bolygóttestekig*. — Akadémiai Kiadó, Budapest, 210 p.
- BIBRING, J.-P., LANGEVIN, Y., MUSTARD, J. F., POULET, F., ARVIDSON, R., GENDRIN, A., GONDET, B., MANGOLD, N., PINET, P., FORGET, F., BERTHÉ, M., BIBRING, J. P., GENDRIN, A., GOMEZ, C., JOUGLET, D., POULET, F., SOUFFLOT, A., VINCENDON, M., COMBE, S. M., DROSSART, P., ENCRENAZ, T., FOUCHET, T., MERCHIORRI, R., BELLUCI, G., ALTIERI, F., FORMISANO, V., CAPACCIONI, F., CERRONI, P., CORADINI, A., FONTI, S., KORABLEV, O., KOTTSOV, V., IGNATIEV, N., MOROZ, V., TITOV, D., ZASOVA, L., LOISEAU, D., MANGOLD, N., PINET, P., DOUTÉ, S., SCHMITT, B., SOTIN, C., HAUBER, E., HOFFMANN, H., JAUMANN, R., KELLER, U., ARVIDSON, R., MUSTARD, J. F., DUXBURY, T., FORGET, F. & NEUKUM, G. 2006: Global Mineralogical and Aqueous Mars History Derived from OMEGA/Mars Express Data. — *Science* **312/5772**, 400–404 DOI: 10.1126/science.1122659
- CONDIT, C. D. 1978: Distribution and relations of 4- to 10-km-diameter craters to global geologic units of Mars. — *Icarus* **34**, 465–478.
- CSÁSZÁR G. 2002: A Magyar Rétegtani Bizottság által jóváhagyott geokronológiai és kronosztratógráfiai terminusok. — *Földtani Közlöny* **132/3–4**, 481–483.
- FREY, H. V., FREY, E. L., HARTMANN, W. K. & TANAKA, K. L. T. 2003: Evidence for buried “Pre-Noachian” crust pre-dating the oldest observed surface units on Mars. — *34th Lunar and Planetary Science Conference*, 1848.
- FÜLÖP J., CSÁSZÁR G. HAAS J. & JOCHÁNÉ EDELÉNYI E. 1975: A rétegtani osztályozás, nevezéktan és gyakorlati alkalmazásuk irányelvei. — MÁFI, Budapest, 32 p.
- GRADSTEIN, F. M., OGG, J. G., SMITH, A. G., BLEEKER, W. & LOURENS, L. J. 2004: A new Geologic Time Scale, with special reference to Precambrian and Neogene. — *Episodes* **27/2**, 83–100.
- GRADSTEIN, F. M., OGG, J. G. & VAN KRANENDONK, M. 2008: On the Geologic Time Scale 2008. — <http://www.stratigraphy.org/GTS2008.pdf>
- HANSEN, V. L. & YOUNG, D. A. 2007: Venus’s evolution: A synthesis. Convergent Margin Terranes and Associated Regions: A Tribute to W. G. Ernst. — *Special Paper* **419**, 255–273.
- HARGITAI H. 2008: A planetológiai névanyag tervezete. — *Kézirat*. <http://planetologia.elte.hu/nevanyag.doc>. Letöltve: 2008. október 1.
- HARGITAI H & KERESZTURI Á 2002: Javaslat magyar bolygótudományi szaknyelvi norma létrehozására. — *Geodézia és Kartográfia* **54/9**, 26–32.
- HARGITAI H., BÉRCZI SZ., GUCSIK A., HORVAI F., ILLÉS E., KERESZTURI Á. & NAGY SZ. J. 2005: *A Naprendszer kisenciklopédiája — A Naprendszer formakincse (1): Becsapódások folyamata, nyomai és hatásai*. ELTE TTK — MTA Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, Budapest, p. 7.
- HARLAND, W. B. (ed.) 1990: *A Geologic Time Scale 1989*. — Cambridge University Press.
- HARTMANN, W. K. & NEUKUM, G. 2001: Cratering Chronology and the Evolution of Mars. — *Space Science Reviews* **96**, 165–194.
- HARTMAN, W. K. 2005: *Moons and Planets*. 5th Edition. — Thomson Brooks/Cole.
- HEAD, J. W. & BASILEVSKY, A. T. 1999: A model for the geological history of Venus from stratigraphic relationship: comparison geophysical mechanisms. — *30th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, USA*, #1390.
- HEDBERG, H. D. (ed.) 1976: *International Stratigraphic Guide — A guide to stratigraphic classification, terminology and procedure*. — John Wiley and Sons, New York, 200 p.
- KERESZTURI Á. 1995: A Magellan utolsó útja. — *Meteor* **25/6**, 13–18.
- KERESZTURI Á. 1997: Ganymedes, az óriáshold. — *Meteor* **27/1**, 5–11.
- KERESZTURI Á. 2000: Ősi folyók a Marson. — *Vízügyi Közlemények* **82/2**, 324–333
- KERESZTURI Á. 2006: Fejezetek a Mars fejlődéstörténetéből. — *Magyar Tudomány* **8**, 946–954.
- KERESZTURI Á. 2007: Éghajlat változás a Marson I. rész. — *Légekör* **52/2**, 12–17.
- KLEINE, T., PALME, H., MEZGER, K. & HALLIDAY, A. N. 2005: Hf-W chronometry of lunar metals and the age and early differentiation of the Moon. — *Science* **310/5754**, 1671–1674.
- MCCAULEY, J. F., GUEST, J. E., SCHABER, G. G., TRASK, N. J. & GREELEY, R. 1981: Stratigraphy of the Caloris Basin, Mercury. — *Icarus* **47/2**, 184–202.
- MUTCH, T. A., ARVIDSON, R., HEAD, J., JONES, K. & SAUNDERS, S. 1977: *The Geology of Mars*. — Princeton University Press, 400 p.
- MÜNKER, C., PFÄNDER, J. A., WEYER, S., BÜCHL, A., KLEINE, T. & MEZGER, K. 2003: Evolution of planetary cores and the earth-moon system from Nb/Ta systematics. — *Science* **301/5629**, 84–87.
- OFFIELD, T. W. & POHN, H. A. 1970: Lunar crater morphology and relative-age determination of lunar geologic units. — *U.S. Geol. Survey Prof. Paper No. 700-C. Washington*, C153–C169.
- PHILLIPS, R. J., RAUBERTAS, R. F., ARVIDSON, R. E., SARKAR, I. C., HERRICK, R. R., IZENBERG, N. & GRIMM, R. E. 1992: Impact craters and Venus resurfacing history. — *Journal of Geophysical Research* **97**, 15,923–15,948
- SALVADOR, A. (ed.) 1994: *International Stratigraphic Guide — A guide to stratigraphic classification, terminology and procedure*. — 2nd edition, *The International Union of Geological Sciences and The Geological Society of America, Inc., Boulder, Co.* 214 p.

- SCOTT, D. H. & CARR, M. H. 1976: The New Geologic Map of Mars. Reports of Accomplishments of Planetology Programs, 1975–1976. — NASA Technical Memorandum, NASA TM X-3364. Office of Space Science. Washington, DC, USA, National Aeronautics and Space Administration, p. 229.
- SCOTT, D. H. & TANAKA, K. L. 1986: *Geological Map of the Western Equatorial Region of Mars (1:15,000,000)*. — USGS, Washington.
- SHOEMAKER, E. M. & HACKMAN, R. J. 1962: Stratigraphic basis for a lunar time scale. — In: KOPAL, Z. & MIKHAILOV, Z. K. (eds.): *The Moon. Intern. Astronom. Union Symposium 14, Leningrad 1960, Proc.: New York, Academic Press*, 289–300
- SIK A., KERESZTURI Á. & HARGITAI H. 2005: A víz és a jég szerepe a Mars felszínfejlődésében. — *Földrajzi Közlemények* **129** (54)/3–4, 159–176
- SPUDIS, P.D. & GUEST, J. E. 1988: Stratigraphy and geologic history of Mercury. — In: VILAS, F., CHAPMAN, C. R. & MATTHEWS, M. S. (eds): *Mercury*. Univ. of Arizona Press, Tucson, 118–164.
- SPUDIS, P. D. & STROBELL, M. E. 1984: New Identification of Ancient Multi-Ring Basins on Mercury and Implications for Geologic Evolution. — *15th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, USA*, 814–815.
- SPUDIS, P. 2001: The geological history of mercury. — *Mercury: Space Environment, Surface, and Interior, LPJ Conference*, #8029
- TANAKA, K. L. (ed.) 1994: *The Venus Geologic Mappers' Handbook*. Second Edition. Open-File Report 94–438. — NASA. http://astrogeology.usgs.gov/Projects/PlanetaryMapping/VenusMappers/VGM_Handbook_94.pdf
- TANAKA, K. L. 2001: The Stratigraphy of Mars. — *22nd Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, USA*, #1695.
- TANAKA, K. L. & SKINNER, J. A. 2003: Mars: Updating geologic mapping approaches and the formal stratigraphic scheme. — *Sixth International Conference on Mars* #3129.
- TAYLOR, S. R. 1982: *Planetary Science: A Lunar Perspective*. — Lunar and Planetary Institute, Houston. http://www.lpi.usra.edu/publications/books/planetary_science/
- WAGNER, R. J. 2007: Untersuchungen zur Chronostratigraphie, Impaktchronologie und geologischen Entwicklung des Jupitersatelliten Callisto auf der Basis der Galileo-SSI-Kameradaten. — *Disszertáció, Freie Universität Berlin*. <http://www.diss.fu-berlin.de/2007/806/index.html>
- WAGNER, R. J., WOLF, U. & NEUKUM, G. 2002: Time-stratigraphy and impact cratering chronology of Mercury. — *Lunar and Planetary Science* **33**, 1575.
- WILHELMS, D. E. 1970: *Summary of Lunar Stratigraphy — Telescopic Observations*. — *US Geological Survey Professional Paper* 599-F, Washington.
- WILHELMS, D. 1987: Geologic History of the Moon. — *US Geological Survey Professional Paper* 1348, <http://ser.sese.asu.edu/GHM/>
- WILHELMS, D. E. & MCCAULEY, J. F. 1971: *Geologic Map of the Near Side of the Moon*. — USGS Maps No. I–703, Washington.
- Kézirat beérkezett: 2008. 02. 29.