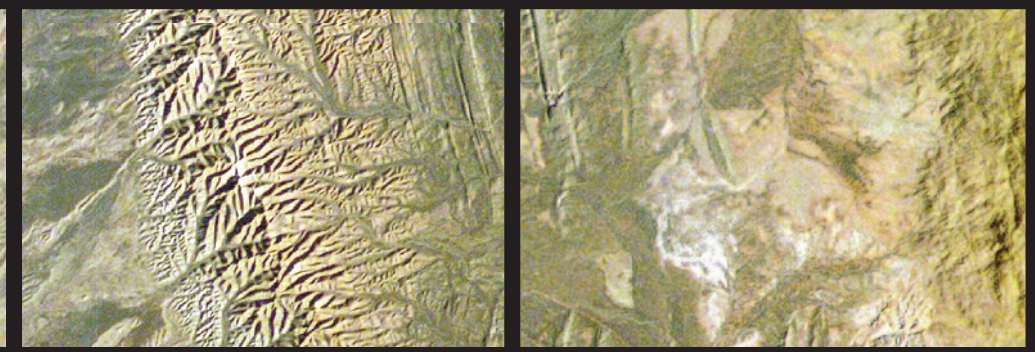


A NAPRENDSZER KISENCIKLOPÉDIÁJA

# A NAPRENDSZER FORMAKINCSE (1)

ELTE TTK KOZMIKUS ANYAGOKAT VIZSGÁLÓ ŰRKUTATÓ CSOPORT

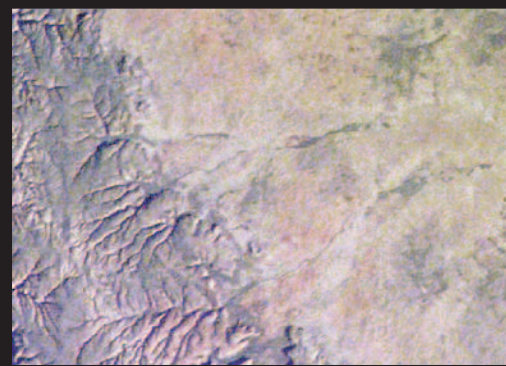
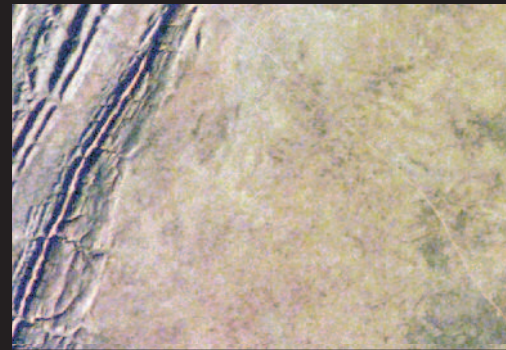
ONLINE



HARGITAI HENRIK – BÉRCZI SZANISZLÓ – GUCSIK ARNOLD – HORVAI FERENC – ILLÉS ERZSÉBET –  
KERESZTURI ÁKOS – NAGY SZABOLCS JÁNOS

# BECSAPÓDÁSOK

FOLYAMATA, NYOMAI ÉS HATÁSAI

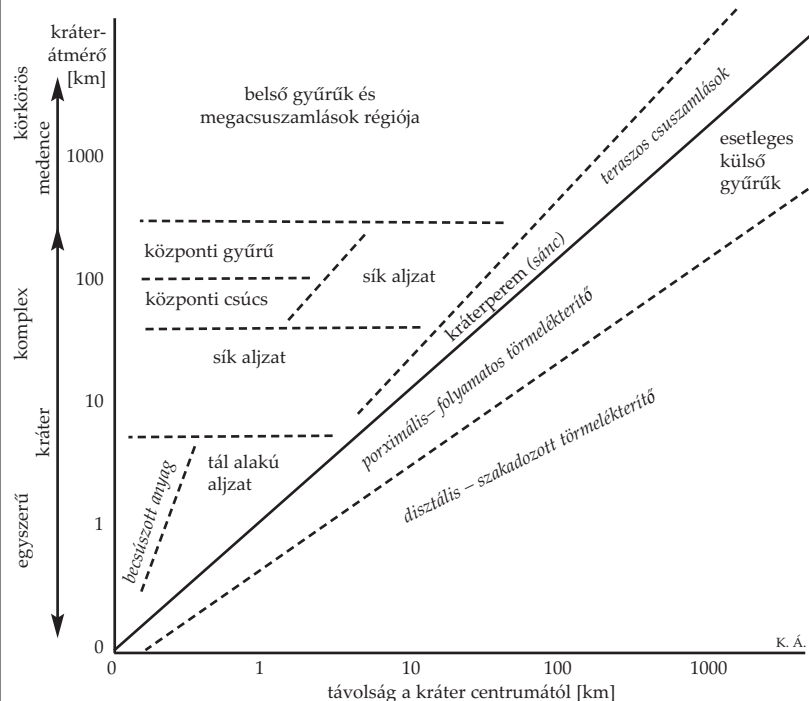


## TARTALOM

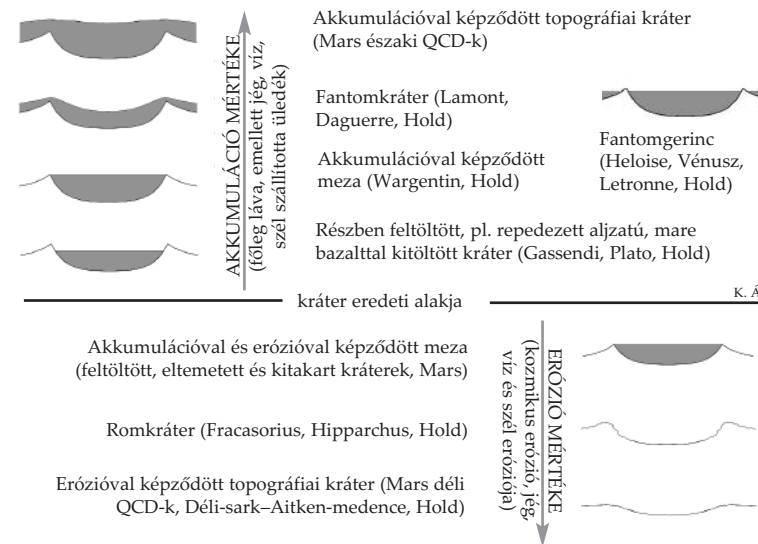
A becsapódásos kráterek felfedezése, vizsgálata, és korai terminológiája (H.H.)	2
Becsapódásos kráterek nevezéktana, katalógusai	4
A kráterképződés korai története (H. H. – I.E.)	5
Felszínek kormeghatározása kráterszámlálással	7
<b>A KRÁTERKÉPZŐDÉS FOLYATAMATA</b>	
A becsapódás folyamata	8
Víz alatt képződött becsapódási kráter és képződésének utóhatásai (H.H.)	11
<b>BECSAPÓDÁSOS KÖZETEK</b>	
Impaktitok (H.H.)	13
A kráter és törmeléktaarója alakját befolyásoló tényezők (H.H.)	17
Ferdeszögű becsapódás nyomai	18
<b>A BECSAPÓDÁSOS KRÁTEREK TÍPUSAI</b>	
Egyszerű (kis) kráter	19
Központi csúcsos komplex kráter	20
Sík aljzatú kráter	22
Központi gyűrűs és peremi gyűrűs kráter	23
Többgyűrűs (körkörös) medence, óriáskráter (B.SZ.)	24
Óriás becsapódás hatásai	27
Kráter üstökösragon	28
<b>TÖBBES KRÁTEREK</b>	
Kettős kráter	29
Kráterlánc	30
Krátermező	31
<b>A KRÁTERBELSŐ MÓDOSULÁSAI</b>	
Gödörközpontú, dómközpontú és dombközpontú kráter (K.Á.)	32
Repedezett aljzatú kráter (K.Á.)	33
Krátertó (H.F.)	34
Lávaborított kráter, mare, fantomkráter	35
<b>A KRÁTEREN TÚL</b>	
Törmelékterítő	36
Krátersánc, kráterfal	37
Sugársávok kráter	38
Parabolacsóva és virágsziromterítő (I. E.)	39
Lebenyterítő kráter (H. H. – I. E. – K. Á.)	40
<b>BECSAPÓDÁSOK TOVÁBBI NYOMAI</b>	
Becsapódás kráter nélkül (I. E.)	43
Másodlagos kráter	44

Antipodális kaotikus terület, albedópamacs (I.E.)	45
<b>KRÁTEREK ÁTALAKULÁSA, ERÓZIÓJA</b>	
Kráterek lepusztulása	46
Kozmikus erózió	48
Betemetett kráter és kitakart kráter	49
Negatív gyűrűs kráter (gyűrűárok szerkezet)	50
Kerekasztal kráter, impakt meza	51
Relaxálódott kráter	52
Palimpszeszt és penepalimpszeszt	53
Romkráter, rommedence, topográfiai medence	54
<b>EGYES ÉGITESTEK KRÁTEREI</b>	
A Merkúr becsapódásos kráterei (B.SZ.)	55
A Vénusz becsapódásos kráterei	56
A Föld becsapódásos kráterei (H.F.)	57
Az Európa becsapódásos kráterei (H.F.)	58
<b>BECSAPÓDÁS KÖVETKEZMÉNYEI</b>	
Becsapódások és bolygófejlődés (K.Á.)	59
Nagyobb becsapódás utóhatásai a Földön (H.H.)	60
Kiseb kráter mint élő- vagy lelőhely (H.H.)	62
A kráterek és az asztrobiológia (K.Á.)	63
<b>BECSAPÓDÁS NYOMAI: LABORVIZSGÁLAT</b>	
Planáris mikroszerkezetek (N. SZ. J. – G. A.)	64
Irodalom, hivatkozások	65
Tárgymutató (K.Á.)	66
Névmutató (K.Á.)	67
Földi kráterek katalógusa	68
Magyar nevet viselő kráterek (H.H.)	69
<b>SZERZŐK:</b>	
<b>BÉRCZI SZANISZLÓ – ELTE TTK Általános Fizika</b> Tanszék, Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport	
<b>GUCSIK ARNOLD – Nyugat-magyarországi Egyetem</b>	
<b>HARGITAI HENRIK – ELTE TTK Természet-földrajzi Tanszék</b>	
<b>HORVAI FERENC – Magyar Űrkutatói Iroda</b>	
<b>ILLÉS ERZSÉBET – MTA Konkoly-Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézete</b>	
<b>KERESZTURI ÁKOS – Collegium Budapest, ELTE TTK Természetföldrajzi Tanszék</b>	
<b>NAGY SZABOLCS JÁNOS – ELTE TTK Közöttani és Geokémiai Tanszék</b>	
Kisenciklopédiánk valamennyi fejezete közös munka gyümölcse. Egyes fejezetek azonban jobban kötődnek valamely szerzőhöz, mint mások: ezeket a szerző nevének kezdőbetűjével jelöltük.	

## Becsapódásos kráterek felszínének formakincse



## Becsapódásos kráterek átalakulása



# BECSAPÓDÁSOK

## FOLYAMATA, NYOMAI ÉS HATÁSAI

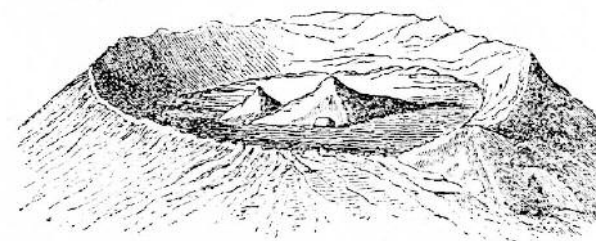
HARGITAI HENRIK – BÉRCZI SZANISZLÓ – GUCSIK ARNOLD – HORVAI FERENC – ILLÉS ERZSÉBET – KERESZTURI ÁKOS – NAGY SZABOLCS JÁNOS

**A** NAPRENDSZER FORMA KINCSE SOROZAT a Naprendszer szilárd felszínű égitestjeinek alakzattípusait mutatja be. Jelen füzetünk a becsapódásos formákkal foglalkozik. A téma feldolgozási módja némileg különbözik az eddigi kiadványokban megszokottól. Tematikus tárgyalásmódjának alapját Illés Erzsébetnek az ELTE TTK-n 1997 és 2005 között tartott előadásai adták (Illés 1990, 1992, 2001), formáját pedig Bérczi Szaniszló Kis Atlasz a Naprendszeréről sorozata. A kisenciklopédia egyes fejezetei eltérő típusú és szintű háttértudást igényelnek (morfológia, geológia, fizika, geokémia, kőzettan stb.), de igyekeztünk mindegyiket „fogyaszthatóvá” tenni minden érdeklődő olvasó számára.

ELŐKÉSZÜLETBEN: tektonikus és vulkanikus formák, szélfúttá és vízi eróziós formák.

A komplex kráter sajátosság morfológiai jellemzői közül a legfontosabbak: a belső központi csúcs, a sík aljzat, a teraszos, meredek belső kráterfal, a sánc, majd azon túl a külső lankásabb lejtő, amelyen a kidobott törmeléktagaró sugárirányban árkokkal és gerincekkel váltakozva tagolt és fokozatosan vékonyodik, másodlagos kráterekkel tarkított, s mely legmesszebbre a sugársávokkal nyúlik, amelyek akár az egész féltékét is átérhetik (2005).

„A holdbeli hegységek legtöbbjei úgy tűnnek fel, mint köralakú hegy-sáncok, melyek többnyire hirtelen alámeredő lejtőikkel kerek völgymedencéket zárnak kebelökbe, s e katlan fenekéről sok helyütt, egy külön, alacsonyabb hegykúp emelkedik ki” (Szabó 1869) (1. ábra, lenn: Lévy 1911)



1. „Gyűrűalakú hegy a Holdon”



PLANETOLÓGIAI KÖR  
ELTE TTK KAVÜCS, BUDAPEST

A Naprendszer kisenciklopédiája – A Naprendszer formakincse (1):  
Becsapódások folyamata, nyomai és hatásai

(c) 2005 Bérczi Szaniszló, Gucsik Arnold, Hargitai Henrik, Horvai Ferenc, Illés Erzsébet, Kereszturi Ákos, Nagy Szabolcs János  
Kiadja az ELTE TTK – MTA Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport (KAVÜCS) 1017 Budapest, Pázmány P. st. 1/A <http://planetologia.elte.hu>  
Jelen kötet nonprofit oktatási céllal szabadon másolható.  
ISBN 963 463 795 7 ö (sorozat)  
ISBN 963 463 796 5 (1. kötet)

# A BECSAPÓDÁSOS KRÁTEREK FELFEDEZÉSE, VIZSGÁLATA ÉS KORAI TERMINOLÓGIÁJA

Gyűrűshegy, asztrobléma

## KRÁTER:

1. Tál alakú kerek mélyedés, amelyet meteorikus test igen nagy sebességű (*hypervelocity*) becsapódása hozott létre. Becsapódásos kráterek a Naprendszer szilárd felszínű égitestjeinek zömén előfordulnak.  
2. Vulkánok kürtőjének kivezető nyílása.



2. Becsapódás egyszerű bemutatása egy réteg liszttel és egy réteg kávéval kitöltött serpenyőben. A lövedék *paint ball* (Middlesboro Country Club)

3. Az Elegante-kráter, egy vulkáni eredetű (maar) kráter a Pinacate vulkánmezőben, É-Mexikóban (Föld). A kiemelt sánc, sekély mélység, kerek alak, a kráterfal morfológiája megtevesztésig hasonló a becsapódásos kráterekéhez. Ez mutatja, hogy morfológiái hasonlóságuk miatt valóban jogos volt a holdi kráterekről is azok vulkáni eredetét feltelezni. Hasonlítsuk össze pl. a Wolfe Creek-kráterrel

**G**ALILEO GALILEI VOLT AZ ELSŐ, aki a távcső megjelenése után, 1609-ben először fordította azt a Hold felé, és így először pillanthatta meg a Hold krátereit. A kráter szót a szerkezetre először Schröter használta 1791-ben.

A kráterek eredetére vonatkozó első tudományos elmélet a 17. századi angol Robert Hooke nevéhez fűződik: ő kísérletezései alapján olvadt felszínen lassan kiáramló gáz megfagyott buborékainak nyomaként értelmezte őket.

A vulkáni kráterekhez való hasonlóságuk miatt évszázadokig vulkanikus eredetűnek – kürtőnek vagy beszakadásos kalderának – gondolták valamennyi krátert a Holdon, vagy korabeli nevén, gyűrűshegyet, körhegységet. Közéjük tartozott Cholnoky Jenő is, aki nem fogadta el az arizonai Barringer-kráter kozmikus eredetére vonatkozó elméleteket, és maga melegforrás-tölcsérnek tartotta (idézi Jakucs, 1995 p. 30.). Az égből hulló kövek kráterképző voltát nem is lehetett könnyű elfogadni.

1876-ban Richard Proctor vetette fel először a kráterek becsapódásos (*impact*) elméletét. Ő közzölt először „realisztikus” rajzokat a holdi kráterekről (in: Spudis, 1996). Később laboratóriumi kísérletek sorozatával igazolták a holdkráterek becsapódásos eredetét. A becsapódási elmélet első amerikai támogatója Grove Karl Gilbert (USGS) volt, aki a becsapódással laborkísérleteket is végzett az 1890-es években. Ő a Meteor-krátert (akkori nevén Coon-hegységet) először becsapódásos eredetűnek tartotta, de később nézete megváltozott, és posztvulkáni-gőzkitöréses eredetűnek gondolta. Fő ellenvetés az volt a becsapódásos elmélettel szemben, hogy a különféle szögekben történő becsapódáskor többségben nem kör alakú kráter keletkezne, mert ilyen csak merőlegesen érkező testtől keletkezhet. Ez hibás előfeltevés volt. Egy közeli, vulkanikus eredetű krátercsoport (Sunset-kráter) is



hozzjárult ezen nézetének kialakulásához. A Mare Imbriumot viszont becsapódásos eredetűnek tartotta, ellentétben az akkoriban elfogadott vulkán magyarázattal (Gilbert 1893). Az első általánosan becsapódásosnak elismert földi kráter ez, a Daniel M. Barringerről elnevezett (Meteor)-kráter volt. A kráter körüli vasmeteorit-darabok alapján Barringer azt remélte, hogy a kráterben megtalálja a becsapódó test nagy mennyiségű vas-anyagát, így számos próbafúrást végzett a kráterben az 1920-as években. Vasat végül nem talált. A kráter területe ma is az ő leszármazottai tulajdona. Barringer kérésére a brit Forrest Ray Moulton 1929-ben kiszámolta, hogy mi történhetett a becsapódó testtel, és azt találta, hogy a másodperc törtszere alatt felszabaduló energia elpárologtatja mind a becsapódó testet, mint a kőzetet, amelybe becsapódik, így nyoma nem marad, csak a becsapódás *irányától függetlenül* kerek kráter. Barringernek az elvégzett számításait nem adta oda, csak 1931-ben írta meg népszerűsítő csillagászati könyvében. A szakma nem figyelt fel rá (Chapman, Morrison 1989), akárcsak Wegener elméletére, amely a holdkrátereket becsapódási eredettel magyarázta (Wegener 1921).

1935-ben John Boon és Claude Albritton hét földi szerkezetről állította, hogy erodált becsapódásos kráterek. Ők az *asztrobléma* („csillagsebhely”) elnevezést használták rájuk, amely Magyarországon is elterjedt, elsősorban a földtudományi használatban (pl. Jakucs L.). 1938-ban A csillagos ég című 480 oldalas magyar kézikönyv két bekezdést szentel a krátereknek:

„Egyes nagytömegű lehullott meteorok olyan nagy erővel csapódhatnak a talajba, hogy mély tölcserformájú mélyedést vájnak. Ezidőszentit őt, minden kétséget kizáró »meteorokráter« ismerünk. (...) Az említett meteorokráterek egyidőben fontos szerepet játszottak a Hold felületén levő kráterek kialakulásának magyarázatában is, mert feltételezték, hogy ezeket a krátereket a Holdra zuhant meteorok vájták. Ma ez az elgondolás elavult.” (Tolmár 1938).

A 20-as években fedezték fel az Odessa krátert (Texas), majd légifényképezésben 1947-ben a Wolf Creek krátert Ausztráliában. Az 50-es évekre kb. 10 becsapódásos krátert ismertek a Földön. Ekkoriban már ismertek olyan *kriptovulkáninak* nevezett kerekded, dombszerű alakzatokat, melyek a környezetüknél mélyebben fekvő rétegekből álltak (Vredfort-dóm, Dél-Afrika; Serpent Mound, Ohio, USA stb.). Előbb lassú, vulkáni folyamatokban felfelé nyomott rétegekkel magyarázták, de később kiderült, hogy vulkanizmus nem játszott szerepet keletkezésükben. 1937-ben J. D. Boon és C. C. Albritton már becsapódás mellett érveltek. Később e „kriptovulkáni” szerkezetekről kiderült, hogy erősen erodált kráterek központi zónái, melyek törmeléktakarója, sánca már leerosdálódott, és csak központi, egységesen kiemelt területének egy mélyebb rétege maradt meg. Már ekkor is ismertek voltak a tektitok, a becsapódáskor kivetett olvadékcseppek, de őket villámcsapáskor megolvadt légréteg

porszemcséknek tartották (Chapman, Morrison 1989).

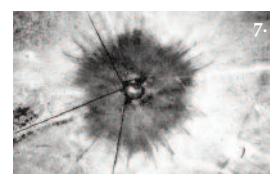
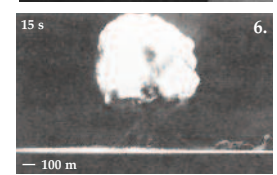
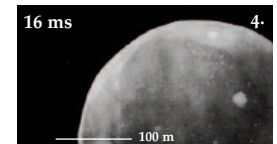
A holdi medencék becsapódásos eredete először 1949-ben merült fel (Baldwin 1949). A medencéket geológiai sztratigráfiai térképezésre először Eugene Shoemaker használta, aki 1961-ben megalapította az USGS (az USA Geológiai Szolgálat) asztrogeológiai ágát, és ő volt az, aki a PhD dolgozatában a Barringer-kráter becsapódásos eredetét is bizonyította.

Ekkoriban még nem gondoltak rá, hogy más égitesteken is a holdihoz hasonló gazdagságban található kráterek. Ezt a Mariner-4 Marsról (1965), majd a Mariner-10 Merkúrról (1974–75) készített fényképei mutatták meg. Ezek után vált csak egyértelművé, hogy a becsapódásos kráterek általános jelenségek a Naprendszer égitestjein.

1962-ben, a holdi többgyűrűs medencék (Orientale) első felismerésekor Harold Urey még hevesen vitatta a medencék létezését (Hartmann 2003 p. 82). Idehaza Hédervári Péter a nagyobb égitesteken a vulkáni keletkezés magyarázatot a becsapódással legalábbis egy szinten említendőnek tartotta a kráterek földi kalderákkal való hasonlósága miatt (Hédervári 1986 p. 48).

A becsapódásos kráterek felismeréséhez három eltérő tudományág vezetett az 1960-as években: a holdkráterek távcsöves megfigyelése; a földi kráterek geológiai és közetmikroszkópiai megfigyelése (ezen belül legfőképp a sokk-metamorfózis hatásainak felismerése, amelyet bizonyító jellegűnek fogadnak el); és a becsapódás folyamatának fizikai modellezése. E három terület azóta jelentősen kibővült. Az űrszondás megfigyelések mind részletesebb képet és mind több égitest-példát adnak, így a Naprendszer egyfajta „ingyenes óriáslaboratóriumként” használhatják a kutatók. A távérzékelési műholdak révén pedig saját Földünket is „kívülről” láthatjuk (ezáltal a kerek alakzatokat jobban felismerhetjük). A földi geológiai munka módszerei alkalmazhatók lettek más égitesteken: az Apollo programban a Holdról hoztak mintákat, a Marson roverk helyben vizsgálják a kőzeteket. A becsapódás modellezésében pedig már szuperszámítógépek is részt vesznek (pl. Sandia 1997). Ma már kevésbé jelentős, de az 1960-as években mind amerikai, mind szovjet oldalon a becsapódás folyamatának és a krátereknek a megismerését segítette a föld alatti kísérleti hagyományos és atomrobbantások vizsgálata. A létrejövő szerkezetekben (pl. Baker, Dialpack, Suffield, Prairie Flat, Snowball stb.) a központi szerkezeti kiemelkedés, a kráterperemi suvadások is megfigyelhetők voltak (pl. Jones 1976).

Ma is csak a valósnál nagyságrendekkel kisebb mérettartományú laboratóriumi kísérletek, katonai robbantási kísérletek, valamint elméleti modellek igazolják a kráterek becsapódásos eredetét, hiszen még senki sem látott szilárd felszínű bolygótestbe történő kráterképző becsapódást. A Deep Impact szonda becsapódó egységének 2005-ös ütközése a Tempel 1 üstökössel az első, bár mesterségesen létrehozott, a

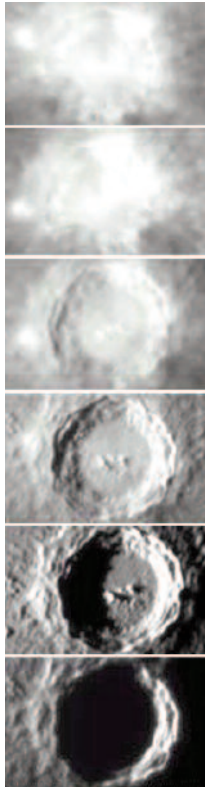


4-5-6-7. Az első kísérleti atomrobbantás, a 20 kT-s *Trinity* tűzgömbje, torlóóra és krátere Új-Mexikó államban, 1945. július 16-án (USA, Los Alamos National Laboratory)



8-9. A robbanás helyszínén a hó megolvasztotta a homokos talajt és üveges kérget hozott létre, melyet itt *trinitit*nek neveztek el.





10-15. A kráterek megfigyelésekor nagyon fontos, hogy milyen napállásnál történik az észlelés. A képen a Copernicus kráter fényképei különböző napállásnál. A legfőbb képen a kráter képen a Copernicus kráter fényképei különböző napállásnál. A legfőbb képen a kráter képen a Copernicus kráter fényképei különböző napállásnál. A legfőbb képen a kráter képen a Copernicus kráter fényképei különböző napállásnál.

becsapódás pillanatában megfigyelt ilyen esemény (a kráterről már nem készült kép).

A becsapódás eredet mellett erős elméleti érv, hogy olyan apró, differenciálatlan égitesteken (törmelékeken) is találunk krátereket, melyeken vulkáni aktivitás nem lehetséges. A vulkanikus és becsapódásos kráterek pusztán morfológiai alapú megkülönböztetése még ma sem teljes egyértelműséggel megoldott.

Ma egy képződményről makro- és mikromorfológiai, geofizikai, kőzetmikroszkópiái, geokémiai mérésekkel bizonyítható becsapódásos eredete. A legfontosabb becsapódás-indikátorok a sokk metamorfizált kvarc (PDF-ek), a kráter, geofizikai anomália, impakt breccsák, nyomáskúpok, az azonos korú üledékretegben szferulák, irídium anomália, megacunami-üledékek (tengeri becsapódásnál). A becsapódásos képződmények földtani kutatásával foglalkozó tudományág neve *impakt sztratiográfia*.

**A becsapódás folyamata és hatása** a 19. században leginkább az üstökösök Földdel való találkozására kapcsán merült fel. Több ilyen témájú tudományos-fantasztikus könyv is született, mely a kor vezető elméleteinek megfigyelés irta le az eseményt. A csillagász Flammarion (1894) egy regényének tudósa mondja:

„Lesz ugyan találkozás, összeütközés és lokális szerencsétlenség, de ezen kívül más semmi. Egy földrengéshez, vulkánkitöréshez vagy borzasztó szélvészhez fogható esemény lesz az egész (...) [Az üstökös darabjai] légkörünket áthatítva oly ellenállással találkoznak, hogy ... nem is hullanak le a talajra, hanem már előbb apró részekre robbannak. A hulló test előtt légnyomás van, mögötte légűres tér. A mozgó test kívülről meggyullad és fehérizzóvá lesz, a légűres térbe visszacsapó levegő mennydörgésszerű hatalmas zajt okoz, robbanások és széthullás következik be, a fémanyagok elég sűrűek lévén ahhoz, hogy ellenálljanak, lehullanak, a többiek pedig gőzzé válnak ... mielőtt a légkörünk alsó rétegeit elérhetnék. (...) Valószínűleg egész légkörünk lángba borulna tőle... A levegő oxigéntartalma táplálná is a tűzvést. A levegő hőmérséklete több száz fokra emelkedne föl. A tengerek, tavak, folyók elkezdének forrni... Ima ez történnék a Földdel, ha egy olyan üstökös találkozik [vele], mint amilyen az 1811-ik évi volt.”

Végül az esemény így zajlik le a regényben:

„A látóhatárt kékes tűzkeszű fogja közre: [az üstökös csóvájában lévő] széndioxid vegyül az oxigénnel. Mindenütt fullasztó kénsgaz. Ugyanakkor tűzeső, csillagzapor indult meg az égről. Ennek legnagyobb része nem jutott el a talajra, de számos meteor bomba módjára szétrobbant és fűdeleket átvitvén csakhamar mindenféle tűzvést okozott. A Földnek az üstökös felé fordult félgömbjén a találkozás órájában szélben tikkasztó szárazság, fojtó hőség és gyötörő kénsgaz uralkodott és mindenki letargiába esett. ... a másik félgömb ezalatt csaknem teljesen érintetlen maradt.” (v. ö. 6o. old.)

**A nagy kihalások** becsapódással való magyarázatát a 20. században sokáig a meghaladott, 19. századi katasztrófista elméletekhez hasonlóan elfogadhatatlannak, bizonyíthatatlannak és nevetségessnek tartották (a devoni kihalásról lásd pl. McLaren [1970] elméletét). A korszak fő geológiai alapelve Lyell uniformitarianizmusa volt. Az első K/T határbeli geológiai bizonyítékok megjelölésével (Alvarez et al. 1980) ez a nézet lassan

megváltozott. Bár Alvarezék cikkükkel úgy fejezik be, hogy az irídiumgazdag réteghez tartozó forráskráter megtalálása valószínűtlen, pár éven belül egy mexikói olajtársaság kutatásai alapján sikerült egy pont ilyen korú, jelentős méretű (a korábbi modelleknek megfelelő) krátert találni a Yukatan-félszigetenél, a felszín alatt (Hildebrand et al. 1991).

Ma egyre nagyobb teret hódít a neokatasztrófizmus – bár ma sem állítható egyértelműen, hogy pl. a K/T kihalásért csak a becsapódás lenne felelős.

**Sugársávok** A kráterekhez hasonlóan bizonytalanság jellemezte a holdi sugársávok keletkezésére vonatkozó elméleteket. A legkülönbözőbb elképzelések láttak napvilágot a 19–20. század folyamán: sókipárolgás, láva- vagy kristály kitérés, tőresek mentén történő hamu vagy porkilövellés, ill. a kráterből kivetett, porrá tört anyag leülepedése.

\*\*\*

### A kráterek eredete magyar tankönyvek szerint

(Egy paradigmaváltás tükröződései)

– 1853. „A hold hegyeinek vulkáni eredetét majdnem bizonyosnak mondhatjuk.” (Schrödler Frigyes. Ford: Jánosi Ferenc, Mentovich Ferenc, ifj. Szász Károly: A természet könyve Pest)

– 1902. „A kőralakú mélyedések régen kialudt vulkánok kráterei. A Hold hegyei vulkáni eredetűek. Az óriási gyűrűhegységek zilált alakja s a kráterek roppant száma azt bizonyítják, hogy a Hold még iszonyúbb és rombolóbb vulkáni működésnek volt színtere mint a Föld.” (Baló - Miklós: Csillagászati földrajz)

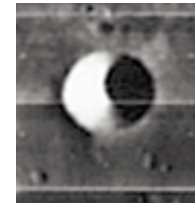
– 1918. „Ezek a kráterek vulkanikus eredetűek, melyek még akkor keletkeztek, mikor a Hold folyékony anyagát gyenge kéreg vonta be s a Föld erős vonzása következtében e vékony kéreg repedésén minduntalan előbuggyant a Hold belsejének folyós anyaga.” (Márki: Földrajz)

– 1951. „A holdcirkuszok gyűrűalakja [eredetére] két feltevést ismerünk. Az egyik szerint ezeket a krátereket nagy köveknek (meteoritoknak) a bolygóközi térből a Holdra való esése okozta... A másik szerint ősidőkben lefolyt hatalmas vulkanikus működések hatására keletkeztek. Bizonyos feltételek között ezek a működések nem kitérésben, hanem lávaömlésekben nyilvánultak meg. E feltevés szerint, amit A. P. Pavlov akadémikus, szovjet csillagász dolgozott ki, a holdcirkuszok kihűlt lávavavak.” (1951/53 Voroncov-Veljaminov: Csillagászatban)

– 1976. „A krátereket kétféle erő, belső (vulkanikus) és külső (nagy méretű meteoritok becsapódásából eredő) hozta létre.” (Fuha–Kertész: Fizika) (Bratislava)

– 1998. „A regolitot elképesztő méretű bolygókezdeményzapor hozta létre a Hold kialakulásával egyidőben... Ezeket a képződményeket legtöbbször meteoritok becsapódása alakította ki.” (Szili: Földön innen...)

**MORFOMETRIA** A kráterek morfológiai vizsgálatakor (alakja különféle mérhető jellemzőinek meghatározásakor) más égitesteken csak távérzékeléses adatokra (optikai, infravörös és radar tartományban készített képekre ill. lézeres magasságmérésre) támaszkodhatunk. A képeken mérések akkor végezhetőek, ha azokat egyenes ortogonális vetületűvé alakítjuk. Ha lézeres magasságmérési adat nem áll rendelkezésre, a kráter domborzati jellemzői mérhetőek árnyékhosszméréssel, fotoklinometriával (a lejtésszögére a felszín árnyékoltságából következtetve) vagy sztereó képpárból történő magasságméréssel (Schenk 1990, 1996 stb.).



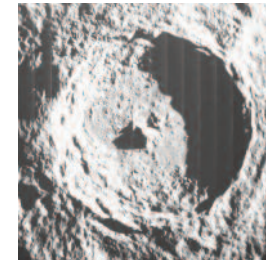
16. Schmidt (Lunar Orbiter IV, 085-h1)



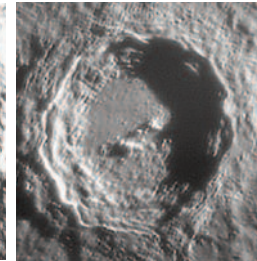
17. Dawes (Lunar Orbiter V, m70)



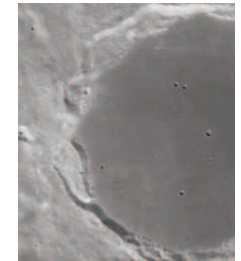
18. Römer (Lunar Orbiter IV, 073-h3)



19. Tycho



20. Copernicus



21. Plato (Clementine)

16-21. Az 1974-es szovjet kráterosztályok típuspéldái (részletezve lásd a szövegben!)

**TERMINOLÓGIA Történeti osztályozás** A kráterek első részletes modern osztályozását az 1960–70-es években végezték el amerikai és orosz-szovjet kutatók. A távcsöves észlelésekből már ismertek voltak a kráterek fő jellegzetességei. Howard (1974) azt vizsgálta, hogy ezek a jellemzők milyen méretnél jelennek meg és tűnnek el. Arthur (1963–66) római számokkal jelölt osztályokat állított fel. Az egyszerű-komplex elkülönítést először Dence (1965) használta, földi kráterekre (Melosh, Ivanov 1999).

Hartmann és munkatársai (1962, 1971) hozták létre a ma is használatos fő osztályokat (pl. *multiring basin, peak ring crater* stb).

A szovjet Florenszkij, Baszilevszkij és Grebennik (1976) munkájára ma már leginkább csak az orosz szakcikkekben hivatkoznak, ezért említjük ezt ebben a történeti fejezetben. Ők a Lunar Orbiter és Zond-8 szondák képei alapján végezték el a holdi kráterek osztályozását. Minden típust a típuskráterrel nevezték el. Ezek leírását munkájuk alapján adjuk meg egyszerűsítve (16-21. ábra):

**Schmidt-típus:** egyszerű tal alakú kráter. Átmérőjük pár métertől max. 20 km-ig terjed. Éles, nem teraszos, fokozatosan az aljzatba átmenő peremmel. Típuspéldája még a Marius-A kráter.

**Dawes-típus:** hullámos felszínű, konvex aljzatú. Egyeses lejtőjű. A lejtők néhol teraszal, hirtelen csatlakoznak az aljzathoz. Általában 10–15 km, max. 40 km átmérőjűek. (Ma inkább jellegzetes csuszamlási jelenségei miatt használják a Dawes-típus elnevezést.)

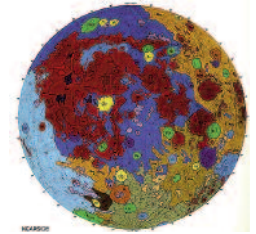
**Römer-típus:** központi csúcsos, teraszos fallal. 20–55 km átm.

**Tycho-típus:** központi csúcsos, szabdaltsal aljzattal, mely lávafolyások területre emlékeztet. 25–100 km.

**Copernicus-típus:** mint Tycho, a központi csúcs kevésbé kifejezett, inkább kisebb csúcsok halmaza. 35–100 km.

**Plato-típus:** Nincs központi csúcs. Felszine sima (talán láva miatt). 19–100 km.

Az 1990-es évekre a marsi lebenyes kráterek terminológiája egyre áttekinthetlenebbé vált, ezért ennek egységesítésére a Mars Crater Consortium tett kísérletet (Barlow 2000) (lásd: *lebenyes kráterek*).



**22. A Hold geológiai térképe (USGS) mutatja a kráterek fontosságát a geológiai térképezésben. A legfiatalabb korú egységek a kráterek és törmelékterítők (világos színnel; középtáj a Copernicus, lent a Tycho)**

Jelen kiadványunk a kráterek mai terminológiáját is tartalmazza. Ez egyben az első kísérlet egy következetes, egységes magyar terminológia kidolgozására is.

## BECSAPÓDÁSOS KRÁTEREK NEVEZÉKTANA, KATALÓGUSAI



23. Thomas Harriot (1612) térképén a krátereket még csak számok jelölik

A *Catalog of Large Martian Impact Craters* szempontjai: Térképi negyed Aazonosítási szám Koordináta Átmérő vagy elliptikus kráternél kis- és nagy- tengely, irányultság Rétegtani helyzet Megőrzöttség (erodáltság) Törmelékterítő típusa Kráterbelső morfológia Mélység (sánc-aljzat) Sáncgerinc magassága Közp. csúcs magassága Közp. csúcs kerülete Közp. gödör átmérő Törmelékterítő mérete, területe, kerülete Talapzat magassága Lebonyosság Törmelékterítő mozgékonyosság Közvetlen, Fajhő (Barlow 2003b)

A kráter szó a görög *kráterből* (κρατήρας) (lakomák bor- és víz vegyítésére szolgáló edénye) ered. Az úrkorszak előtt a holdi krátereket gyűrűshegynek is nevezték, valamint az orosz nyelvhasználatban – és onnan fordítva magyar kiadványokban is – *circusznak* is.

1645-ben Langrenus készítette el az első nagyszabású Hold-térképet. Ő vezette be a *mare/terra* fogalmat, de a tulajdonnévi tagok, ill. a kráter-elnevezései (híres, akár még élő emberekről, szövetséges uralkodókról ill. földi helyekről, nagyvárosokról) nem élték túl őt. Más nevezéktan javasolt a lengyel Hevelius *Selenographia* című térképein (európai földrajzi neveket) – nevezéktanát protestáns országokban az 18. századig használták. A mai nevezéktan alapja F. Grimaldi (térkép) és Giovanni Battista Riccioli (nevezéktan) 1651-es térképe, amelyben csak már elhunyt tudósokról és filozófusokról nevezte el a krátereket; 1838-ban Beer és Mädler, térképük után egyfajta holdi kráter-adatbázist is közzé tettek, amelyben a kisebb (másodlagos) krátereket nagybetűvel jelezték. Julius Schmidt 1878-ban jelentette meg nagy Holdatlaszt, amelyben több mint 30 ezer krátert ábrázol. Az IAU 1935-ben tette közzé Mary Blagg 1913-ban készült munkája alapján a korábbi, különféle rendszerek egységesített, ma is hivatalos változatát. Az 1960–70-es években a Hold túloldalának fényképezésével a szovjet kutatók elsősorban szovjet neveket adtak az ottani alakzatoknak, ezért egy bizottság jött létre, hogy megőrizze a nevek



24. Langrenus (1645) térképén a krátereknek kortárs neveket adott: a mai Archimedes nála Róma, a mai Copernicus szponzora, IV. Fülöp spanyol királyt nevével viseli

nemzetköziségét: végül többségében amerikai és orosz nevek kerültek a térképre, de mindkét bizottsághoz ajánlásokat tehettek más nemzetek tudósainak neveire is: így kerültek – mindkét félhez történt ajánlások révén – magyar nevek is a Hold túloldalának a térképére. Az alapszabály az, hogy csak már elhunyt tudósokról kaphatnak nevet a kráterek (Néhány esetben még élő amerikai vagy orosz űrhajósok esetén tettek kivételt) (Greeley, Batson 1990).

A többi égitest esetében csak az 1960-as évek óta ismerünk krátereket, így azok neveit kezdettől egy bizottság adta, tehát nincs olyan történelmi gyökérük, mint a holdiaknak, viszont ezek is általában Riccioli elveit követik.

Az IAU csak a legnagyobb, illetve a szakirodalomban leg-többet elemzett krátereknek ad külön elnevezést – bolygó-tesztenként más szabályok alapján. A kisebb kráterekre a legtöbb esetben koordinátájával lehet hivatkozni. A marsi és holdi leszállóhelyek közelében található krátereket az adott program résztvevői nevezték el „informálisan” (*operational names*), de ez maradt a hivatalos elnevezésük is. „Kilóg” a hivatalos nevezéktanból a Titánon elsőként felismert nagy medence, a közelmúltban nemhivatalosan elnevezett *Circus Maximus* is, ill. az Itokawa kisbolygó japán nevezéktan.

**KATALÓGUSOK.** A becsapódások – pontosabban meteorit-hullások – első katalógusa 1861-ben jelent meg (Greg 1861).

**Orosz katalógusok** A legteljesebb orosz marsi kráter-katalógus az *Marsi kráterek morfológiai katalógusa* (Rodionova et al. 2000), amely az összes (19 ezer) 10 km-es vagy annál nagyobb kráter adatait tartalmazza. Ezekre SAI indexük alapján lehet hivatkozni (a SAI a Sternberg Astronomical Institute rövidítése, ahol a katalógus készült). Ez csökkenő átmérő szerint tartalmazza a marsi krátereket a 470 km átmérőjű Huygenstól (SAI 1) egy 10 km átmérőjű kráterig (SAI 19308). A katalógus adatbázisa az internetről letölthető. Ugyanez a csoport készítette el a 15 ezer db 10 km-nél nagyobb holdi kráter katalógusát is Zond és Lunar Orbiter felvételek alapján (Rodionova et al. 1985).

**Amerikai katalógusok** A Nadine Barlow által a Viking Orbiter képek segítségével 1982 és 1986 között összeállított *Catalog of Large Martian Impact Craters 1.0* összesen 42283 db, 5 km-nél nagyobb marsi kráter adatait tartalmazza, mert így még valószínűleg mentes a másodlagos kráterektől (Barlow et al. 1990, 2003b). A katalógus eredeti célja méret-gyakoriság eloszlási görbe összeállítása volt, és segítségével a marsi relatív kormeghatározás pontosítása. Az eredeti katalógust a Mars Global Surveyor és Mars Odyssey új adatai alapján



25. Hevelius 1645-ös térképén Európa helynevei jelennek meg a hasonlóan tartott szerkezeteknél. A Copernicus kráter az Etna nevét kapta. Hegynevei egy része megmaradt

felújították. Az új (2.0-s) verzió pontosabb domborzati adatok mellett ásványtani és – infravörös mérések alapján – termofizikai adatokat is tartalmaz (Barlow et al. 2003b).

A David Roddy és Nancy Isbell által összeállított másik katalógus 4300 kráter bedigitalizált adatait tartalmazza. Eredeti célja a kráterek keletkezésének mechanikai szempontok szerinti vizsgálata volt.

Ezekon kívül számos, több ezer marsi krátert tartalmazó katalógus létezik, melyek különféle szempontokhoz helyezik a hangsúlyt (lebenyes törmelékterítő, lepusztultság). Ezekre hivatkozások találhatóak a *Mars Crater Morphology Consortium* honlapján (Barlow et al. 2003) ([www.marscraterconsortium.nau.edu](http://www.marscraterconsortium.nau.edu)).

A marsi kráterek adatbázisát tartalmazó szoftver – pontosabban több amerikai adatbázis adatait, így MOLA adatokat (Garvin et al. 1998) is tartalmazó GIS (*Integrated Crater Catalog*) – az „IMPACT” (Interactive measurement, profiling, and analysis of crater topography) (Mouginis-Mark et al. 2003; Új, Baloga 2004). Az interneten is hozzáférhető további képes adatbázisok: Venus Crater Database (Herrick 1997); Venus Crater Database (Schaber 1992), Callisto Crater Database (Schenk, 1996a); Ganymede Crater Database (Schenk, 1996b); Digital Lunar Orbiter Photographic Atlas of the Moon (Gillis 2004). A John Spray által vezetett kanadai Earth Impact Database (EID 2003) a földi becsapódásos kráterek „hivatalos” katalógusa, mely csak a minden szempontból bizonyítottan becsapódásos kráterek adatait és referenciáit tartalmazza. Jarmo Moilanen online katalógusa (Moilanen 2003) a valamilyen szempontból kérdéses (57 db *probable*/289 db *possible*) krátereket is tartalmaz és azokat is, melyekről egykor felmerült, hogy becsapódási eredetűek, de bezonyosodott, hogy nem azok.



26. Riccioli (1651) a mai nevezéktan alapja, bár ő még – Langrenust követve – a terra területeket is felosztotta és ezeknek a részeknek is külön nevet adott

**A kráterek elnevezése:**

**Hold:** tudósok, filozófusok, művészek; kisebb kráterek esetén keresztnevek; leszállóhelyeknél az űrhajósok adta nevek  
**Merkúr:** művészek, festők, zenészek, írók

**Vénusz:** híres nők vezetékneve, istennők, 20 km-nél kisebb krátereknél női keresztnevek  
**Föld:** a helyi hagyományoktól függ: általában hamarabb kaptak nevet, mint kráter voltakati felismerték volna, ezért sokszor törő nevík van. A legismertebb, arizonai Meteor-kráter hivatalosan Barringer-kráter; míg taláulunk olyan neveket is, mint pl. B.P. (British Petroleum) structure vagy Oasis-kráter, mindkettő Libiában. A Gilf Kebir krátermező 13 tagját keresztnevekről nevezték el az azokat felfedező kutatók (Pailou et al. 2004)

**Mars:** ismert tudósok, akik a Marssal foglalkoztak, kisebb kráterek: korábban 100 ezer, ma 20 000 főnél kisebb települések.

**Deimos:** írók, akik a mars-holdakról írtak

**Phobos:** tudósok, akik a Phobos felfedésében segítettek

**Callisto:** északi mitikus hősök és hősnők

**Ganymedes:** a termékeny félhold terület népeinek hősei és hősnői

**Europa:** kelta istenek és hősök

**Io:** nem ismert kráter

**Mimas:** Malory: *Morte d'Arthur* c. könyve szereplői és helyszínei

**Enceladus:** Szereplők és helyek Burton *Arabian Nights* c. könyvéből

**Tethys:** Szereplők és helyek Homérosz *Odüsszeiájából*

**Dione:** Szereplők és helyek Vergiliusz *Aeneászából*

**Miranda:** Szereplők Shakespeare *A Viharjából*

**Triton:** vízi istenek, helyszínek

**Helyesírás:** a hivatalos IAU nevezéktanban a kráterek neveinek nincs köznévi tagja, azaz a *kráter* szó nem része a földrajzi névnek. Ezért földönkívüli kráter esetén nem kell a tulajdonnév és a *kráter* szó közé kötőjel a magyar nyelvhasználatban. Jelen munkánkban ezt az elvet követjük.

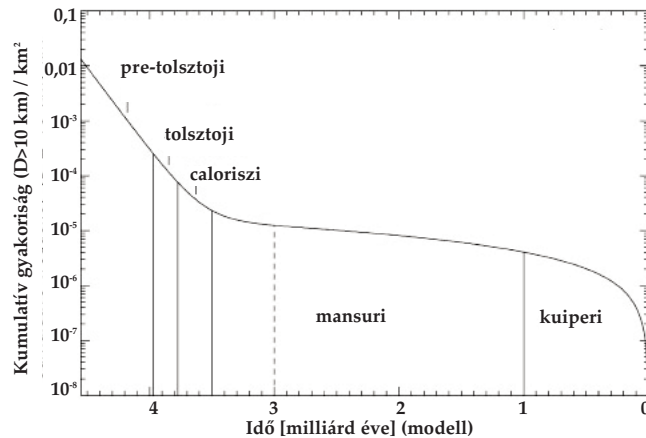
Az óriáskrátereket így kráternek vagy medencének is nevezhetjük, pl. Tolsztoji medence, Merkúr. Az egyértelműen becsapódási eredetű *Planitiákat* nem síkságnak, hanem medencének fordítjuk, pl. Caloris-medence, Merkúr.

## A KRÁTERKÉPZŐDÉS KORAI TÖRTÉNETE

Korai intenzív bombázás időszaka: early intense bombardment (EIB), early heavy bombardment; Késői nagy bombázás időszaka: late heavy bombardment (LHB), terminal bombardment, terminal cataclysm

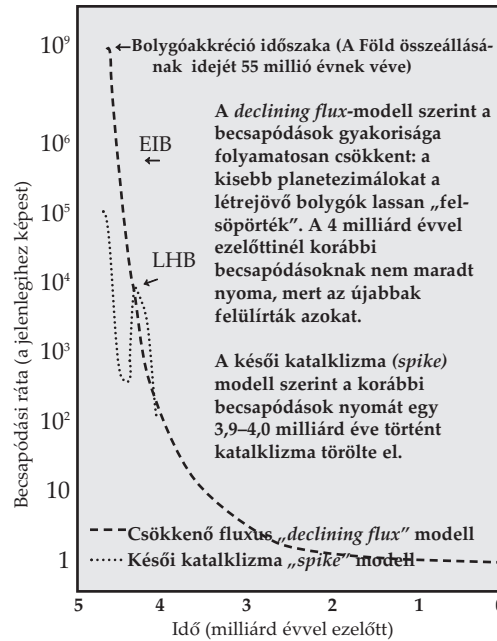
A koronggá lapuló szoláris ködben összeálló kis testek, a planetézimálok a begyulladó ősnap körül keringtek. Ezek egymásnak ütköztek, és sebességüktől és méretüktől függően összeálltak vagy szétarabolódtak. A kis testek számának „felezési idejét” (*half life*) (ami az az időtartam, amíg a planetézimálok felét a bolygók felsöprik) a Naprendszer keletkezésének kezdeti időszakában 10–30 millió évre teszik (Hartmann 2000). Pár 10 millió év alatt többszáz darab 100–1000 km-es nagyságrendű bolygócsíra állt össze belőlük, amelyek ezután összeütközve létrehozták a bolygóembriókat (proto-égitesteket), majd a mai bolygókat. Miután a bolygók felszíne megszilárdult (a Hold esetében 4,42 milliárd éve), már megőrizhette a becsapódások nyomait. A Hold felszínére nézve látható, hogy egyes területeken több kráter található (felföld [terra]), míg másokon kevés (holdtenger [mare]). Kellene lennie egy időpontnak, ami óta nincs olyan sok becsapódás, mint korábban. A radiometrikus kormeghatározás alapján a kevéssé kráterezett mare területek is igen idősnek bizonyultak, ami azt mutatja, a becsapódások száma már korán lecsökkent.

27. Becsapódás-gyakoriság a Merkúron, a kronostratigráfiai beosztással (modell) (Neukum et al, 2001, Spudis és Guest 1988 alapján)



A korai sok becsapódás időszakát a korai intenzív bombázás korának (*early intense bombardment* – EIB, *early heavy bombardment*) nevezik (Hartmann 1966).

A Hold esetében az Apollo-expedíciók által hozott

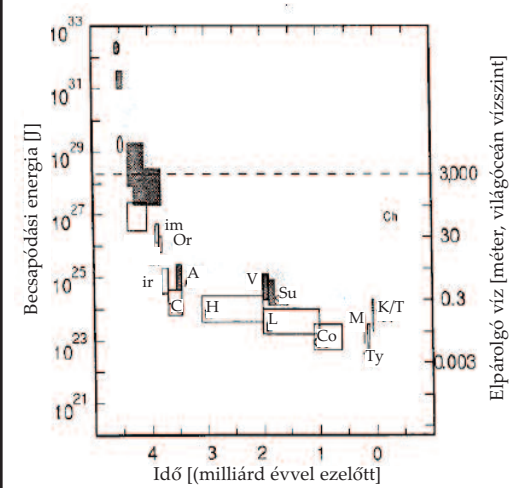


28. Becsapódások gyakorisága a Föld-Hold rendszerben. (Hartmann, 1980, 2000, 2005). A jelenlegi becsapódási ráta a modellben 10 m vastag regolit-réteget hozna létre 3,6 milliárd év alatt (mare területek), ami megfelel  $3 \times (10^9)$  m/év regolittermelésnek.

olvadékbreccsák radiometrikus kormeghatározása alapján a következő holdi kronológiát állították fel:

3,95 milliárd éve a mainál nagyobb volt a becsapódások gyakorisága. A holdi medencék pereméről és a felföldekről begyűjtött becsapódási (impakt) breccsák kora 3,85–3,95 milliárd év. (A „fiatal”, kevéssé kráterezett felszínt alkotó mare bazaltok kora többségében 3,2–3,9 milliárd év.) Néhány holdi breccsa ezeknél is fiatalabb, idősebbet azonban nem találtak. A 3,95 milliárd évnél korábbi (pre-nektári) időszak becsapódási gyakorisága nem ismert, de egyes modellszámítások szerint a nektárinál nagyobb lehetett. A kezdeti becsapódási gyakoriságot magyarázó két fő modell a következő:

■ A folyamatosan csökkenő fluxus (*declining flux*, lásd 28. ábra) modell szerint 3,95 milliárd évnél korábban is nagyszámú, lassan csökkenő gyakoriságú becsapódás volt, ezeknek azonban az Apollo-mintákban csak 3,95 milliárd évvel ezelőtől van nyoma. Ebből a nagyon korai időszakból csak néhány nagyméretű topográfiai medence ismert,



azok telítettség borították újabb kráterekkel. Nem feltétlenül szükséges katasztrófával magyarázni, hogy ebből a 3,95 milliárd évnél korábbi időszakból más nyom nem maradt fenn. Az igen intenzív „korai bombázás” ugyanis többször „átforgatta” és megolvastotta/újra elpárologtatta a regolitot, ami során létrejött a holdi megaregolit (törmelék- és porréteg). Ezért nem található a felszínen idősebb kőzetek (olvadékok), bár lehetnek a megaregolit mélyebb részeiben.

Amint a szoláris köd poranyagát a keletkező bolygók felsöpörték, a bombázás intenzitása lassan csökkent. Egyes 3,95 milliárd évnél fiatalabb kőzetek már megmaradtak, és a felszínről sem forogtak bele mélyebb rétegekbe.

Ha a becsapódások gyakorisága és a regolit-keletkezési intenzitás arányosan változik, a mai becsapódási gyakoriság milliószorosa 3 km regolitot termel 1 millió évente a Holdon (Hartmann 2000) (28. ábra). Ezt az értéket feltételezi a modell a 4 milliárd évnél korábbi időszakra.

■ A késői katalizma (*spike*) modell szerint a nagyszámú ősi becsapódás kora után a becsapódások száma gyorsan csökkent: a Hold környezete gyorsan „kitisztult”, és többszázmillió éven keresztül már viszonylag alacsony volt a becsapódási gyakoriság.

A Holdon 3,85–3,95 milliárd évvel ezelőtt gyorsan megnőtt a nagy becsapódások száma. A korai becsapódások nyomai ezen katalizma („cataclysmic event” [Ryder], „terminal

29. A legnagyobb földi (fekete négyzet) és holdi (üres négyzet) becsapódások.

Rövidítések:

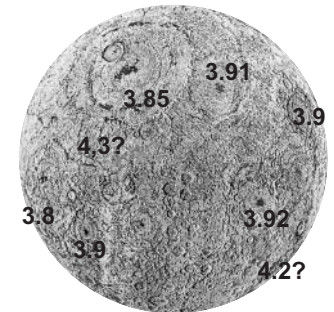
Hold:

Ty–Tycho,  
Co–Copernicus,  
L–Langrenus,  
H–Hausen,  
C–Ciolkovszkij,  
Im–Imbrium,  
Or–Orientale,

Föld:

K/T–Chicxulub  
M–Manicougan,  
Su–Sudbury,  
V–Vredefort.

A szaggatott vonal egy világóceánt elpárologtatni képes becsapódás becsült határvonala (Sleep et al. 1989)



30. Fantáziarajz a Holdról az imbriumi korban, amikor a nagy medencék keletkeztek, a keletkezés idejével (milliárd év) (Wilhelms, Davis, 1971).

Ezen korai nagy becsapódások többgyűrűs medencéket hoztak létre, amelyek bazalttal csak később töltődtek fel

31-32-33. Lenn: fantázia rajzok a korai Föld felszínéről. A holdi krátorsűrűség alapján a Földön története során kb. 100 db, 1000 km-nél nagyobb átmérőjű kráter (medence) jöhetett létre (Melosh 1997). Ezeknek azonban mára nem ismert nyoma. Az ilyen nagy, ősi becsapódások medencéknek a törmelékerítője árulhatja el létezését az archaikumi geológiai mintákban.



lunar cataclysm” [Tera 1974]) során tűntek el. A 3,95–3,85 milliárd évvel ezelőtti, „bolygófejlődést lezáró” kataklizmának a „késői nagy bombázás” (*Late Heavy Bombardment* – LHB [Wasserberg], *Terminal Bombardment*) nevet adták. A becsapódások nyomán a korábban már megszilárdult kőzetanyag újraolvadt, és létrejöttek a Hold nagy medencéi, amelyek kora az Apollo-minták alapján 3,85–3,95 milliárd év.

A legidősebb impakt breccsákban lévő olvadékok kora 3,95 milliárd év, azaz korábbi olvadékeletkezésnek (becsapódásoknak) nincs közvetlen bizonyítéka. A legfiatalabb medence az Orientale (3,8). Ha feltételezzük, hogy ez az időszak valóban egy becsapódási gyakorisági csúcsot („kataklizmát”) jelöl, kérdés, hogy miért történt ekkor ilyen nagyszámú becsapódás.

– Wetherill (1975) szerint ekkor valamilyen nagyobb égitest darabokra szakadt a Belső-Naprendszerben és ennek a darabjai csapódtak be a Holdba. (Ez az elmélet mára meghaladottnak számít.) Hasonló esemény azonban bárhol és bármikor bekövetkezhet a Naprendszerben, melynek során néhány tízmillió éven keresztül egy térségben megnövekedhet a becsapódások száma.

Vágy:

– A Naprendszerben keringő, a bolygóképződésből kimaradó törmelékek ekkor álltak össze elegendően nagy darabokká ahhoz, hogy medencéket is létrehozzanak. Később, ezek is elfogytak, így véget ért a késői nagy bombázás időszaka.

– A kéreg-lefröccsentés elmélete szerint a Hold anyagát kirobbantó becsapódás után a Föld körül létrejött anyaggyűrűből több nagyobb test is összeállt, amelyek később becsapódtak a Holdba, és ezek hozták létre a medencéket. Ez azonban nem magyarázza, hogy miért találunk hasonló korú ősi óriási medencéket más égitesteken is.

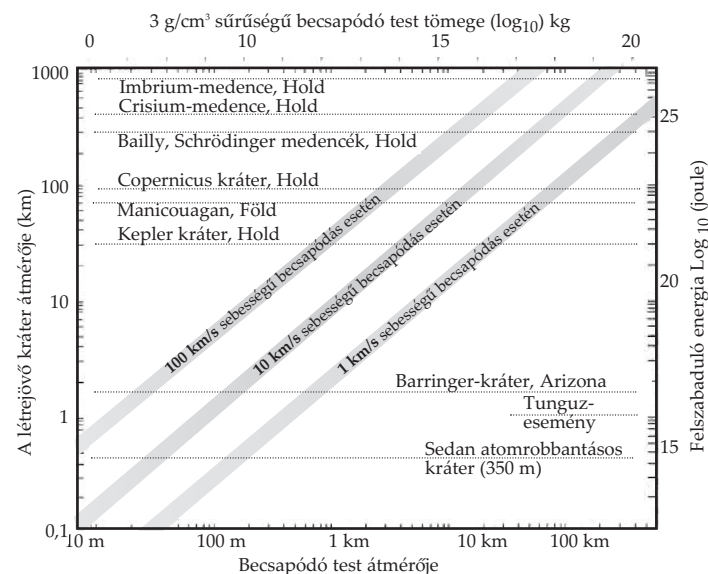
Mára az űrszondás megfigyelések és a számítógépes szimulációk alapján az az általánosan elfogadott kép, hogy a bolygók összeállása cigarettafüsttől hasonlóan finom porszemcsekből indult, amelyek kisebb anyagcsomókká, planetézimálokká álltak össze. Ezek kis sebességű ütközése, egymáshoz tapadása hozta létre a bolygócsírákat, amelyekbe további planetézimálok ütközve bolygóembriókká nőttek. További növekedésük következményeként több száz test keringett a Naprendszerben, amelyek végül egymásba csapódva létrehozták a ma is létező nyolc nagybolygót. Az így kialakult nagy testek becsapódásai már katasztrofális következménnyel jártak. Ma ezt nevezik a *késői nagy bombázás* időszakának.

A korai és késői bombázás kifejezései a korábbi irodalomban színvonaluknak is előfordult.

A Hold esetében a medencék képződése hirtelen, 3,8 milliárd éve ért véget. Azóta igen kevés (nagy) becsapódási esemény történik, ezért ma már „friss” felületekként tűnnek fel ezek a 3 milliárd éves felszínek is. A bolygófelszínekre ma a korai időszak „maradékai” ill. az újabb ütközések nyomán keletkezett szilánkok csapódnak be. A kráterkeletkezés a Holdon az utóbbi kb. 2,5–3 milliárd évben nagyobb azonos intenzitású. Kérdés, hogy ez-e a helyzet a Naprendszer más területein is. Abszolút kormeghatározási adatok csak a Holdra állnak rendelkezésre, más égitestekre csak a Hold esetéből lehet extrapolálni. Ennek alapján hasonló (3,85–3,95 milliárd éves) korúra teszik a Mars és Külső-Naprendszer holdjain látható nagyobb medencék keletkezését is, ezek azonban radiometrikus kormeghatározás hiányában bizonytalan becslések. Az bizonyos, hogy mind a Belső-, mind a Külső-Naprendszerben a legnagyobb becsapódások medencék az égitestfejlődés korai időszakából származnak.

Egy új elgondolás értelmében a *late heavy bombardment* időszakát a Jupiter váltotta ki, amely a környezetében elhaladó bolygócsírákkal gravitációs kölcsönhatásba lépve, összességében veszített a mozgási energiájából. Emiatt kismértékben befelé migrált az égitestek összeállásának végén. Utóbbi során rezonanciazónái egyes sávokat tisztára söpörtek a kisbolygóövben. Ennek eredményeként sok kisbolygó állt a többi égitestet keresztező pályára, amely jelentősen megnövelte a becsapódások gyakoriságát. Hasonlóra a későbbiekben nem került sor, ezért a *late heavy bombardment* véget ért. Azóta fontosabb lett a kisebb égitestekre erősebben ható Yarkovszki-effektus és egyéb perturbációk hatása, és azóta ezek állítanak kisbolygókat a többi égitestet keresztező pályákra. Emiatt a kezdeti időszakhoz képest nem csak a bombázás intenzitása, de a becsapódó égitestek jellemző mérete is csökkent.

A Földön, akárcsak a többi égitesten, a kéreg megszilárdulása után valószínűleg kráterek borították a felszínt (31–33. ábra). A Föld (és valószínűleg a Vénusz, részben talán a Mars) korai légkörében lévő vizet a Külső-Naprendszerből származó, jégben gazdag planetézimálok (üstökösök, kisbolygók) szállíthaták a Földre (Abe és Matsui 1985). Az ilyen égitestek korábban, a Föld összeállásakor a Föld alanyagában is növelhették a víztartalmat, mely később kigőzölögthetett a légkörbe (Chyba 1991). Az archaikumban a kontinensek ősterületeinek kialakulása előtt a globális

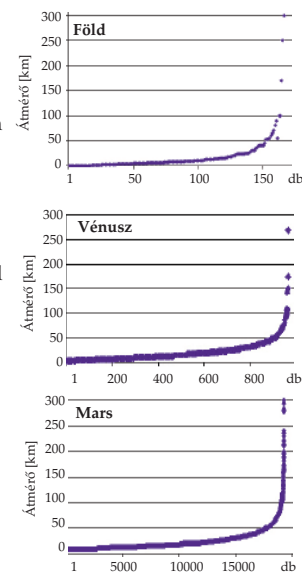


34. A keletkező kráter mérete mint a becsapódó test méretének, sebességének és tömegének függvénye (a becsapódó testre  $3 \text{ g/cm}^3$  sűrűséget feltételezve) (Hartmann 2005 p.252). A Földön a legkisebb kráterek kb. 10 méteresek – az ennél kisebb krátert ütő testek még felszint éres előtt a légkörben a sűrűlódás miatt felrobbannak (*cutoff size*). A légkör nélküli égitesteken, így a Holdon nincs ilyen hatás

vízóceánból a szigetív-vulkanizmus területén és talán a nagyobb kráterek sáncán találhattunk volna csak kiemelkedő szárazföldeket. Lehetséges ugyanakkor, hogy éppen a nagy becsapódások hoztak létre olyan kéreg-inhomogenitásokat, melyek segítettek a kontinensek kialakulásában (Frey 1977).

4 milliárd éve a földi becsapódások esetleg többször is elpárologtathatták a kialakuló óceánok vizét, és kipusztíthatták a talán már 4,2 milliárd év óta többször is kialakult, maitól esetleg eltérő életet (Hartmann 1991, p. 83, Oberbeck 1989). Erre utalhat az, hogy a nagy bombázás időszakának lezárulta (a becsapódási gyakoriság jelentős csökkenése) után gyakorlatilag rögtön megjelent az élet.

A lassan gyarapodó szárazföldeket később is számos kráter borította. Valószínűleg a nagy bombázás őspajzsokat ért kráterei sokáig a felszínen látszottak, amíg be nem temette őket az üledék vagy a lávafolyások. A nagyszámú ősi krátert ma esetleg kidobott törmeléktakarójuk nyomai alapján lehet megtalálni az archaikumi geológiai mintákban.



35-36-37. Három égitest kráterei átmérőjük szerint sorban felrajzolva. Figyeljük meg, milyen méret fölött ritkulnak meg a kráterek.



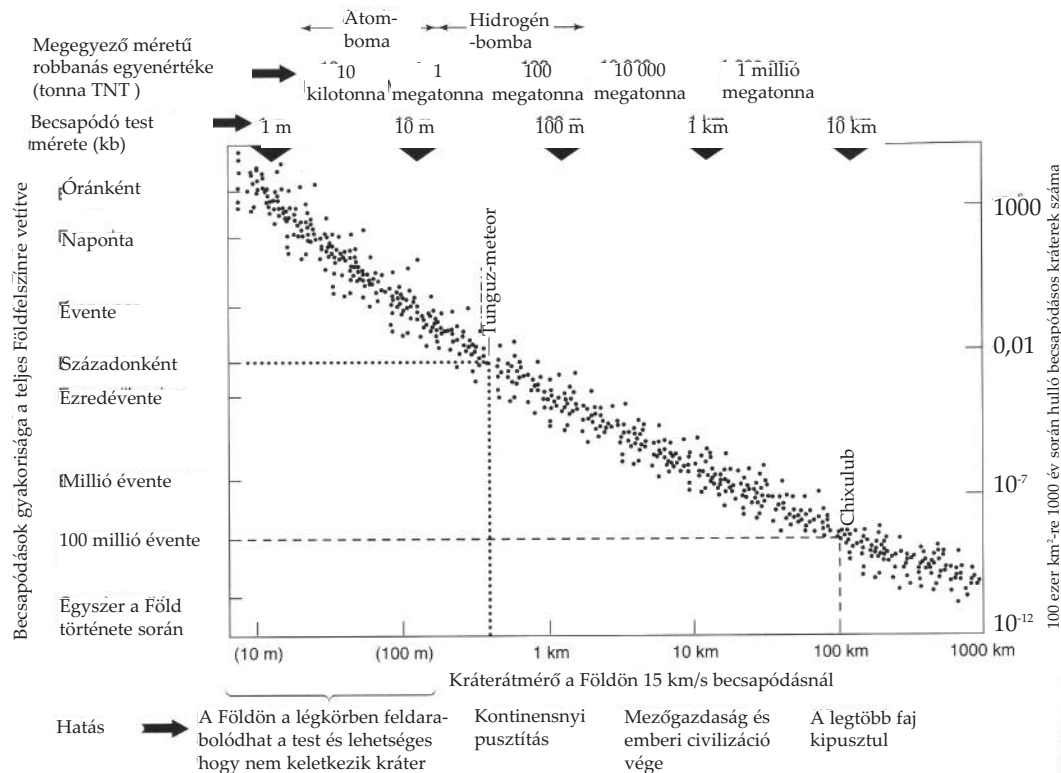
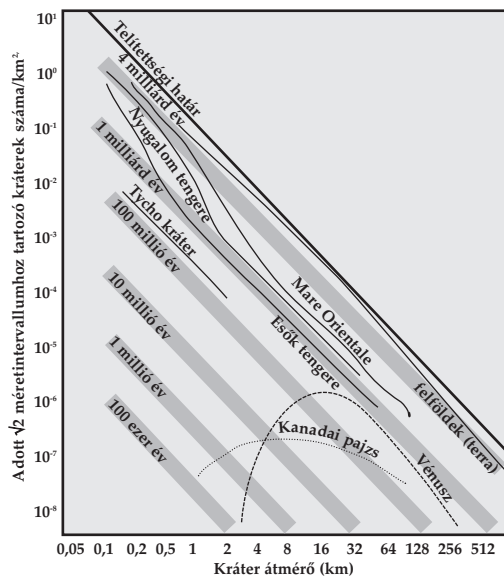
## FELSZÍNEK KORMEGHATÁROZÁSA KRÁTERSZÁMLÁLÁSSAL

Az égitestek felszínét véletlenszerűen érő becsapódások a kráttersűrűség meghatározása segítségével lehetővé teszik, hogy egy bolygófelszín egyes részeinek egymáshoz viszonyított korát meghatározzuk. A helyes kormeghatározás feltétele, hogy a becsapódó testek fluxusa (gyakorisága) térben és időben ismert legyen. A kráterek nagysága közvetlen összefüggésben van a becsapódás energiájával, ami a becsapódó test tömegének és a felszínhez viszonyított sebességének függvénye. Így a kráterméret alapján kideríthető, hogy egy felszínt hány kisebb és hány nagyobb becsapódó test ért. A krátterszámlálás alapuló kor a krátermegtartási kor (*crater retention age*).

A kormeghatározást a kráterkeletkezési függvény (*crater production function, CPF*) segítségével lehet elvégezni (lásd pl. G. Neukum 1975, B. Ivanov, W. K. Hartmann munkássága ill. Tanaka, 2005).

Mivel nem ismert, hogy a kisebb méretű kráterpopulációban milyen arányban található elsődleges és másodlagos kráterek, ezeket a kicsi (néhány m–pár száz méter átmérőjű) krátereket a krátterszámlálásban nem célszerű használni. Ezért különösen a fiatal, csak kisebb krátereket befoglaló felszínek korának meghatározása bizonyítalanabb (lásd még a Másodlagos kráterek c. fejezetnél).

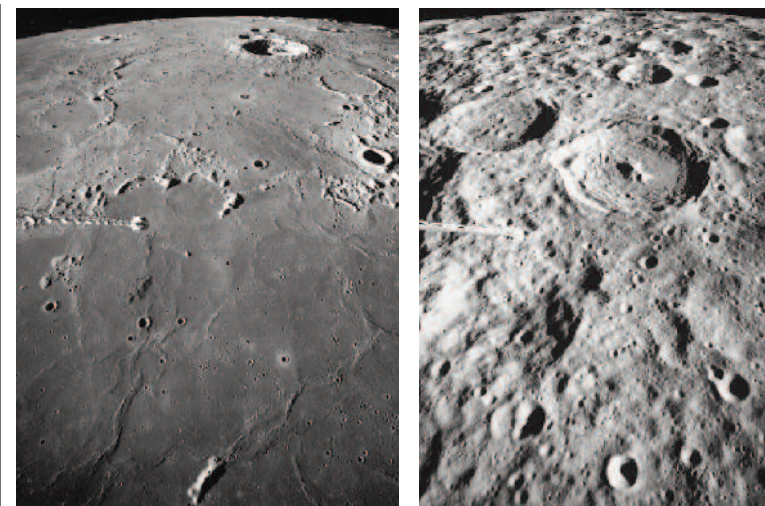
38. Összefüggés a Hold különböző méretű krátereinek előfordulási gyakorisága és a terület kora között, feltüntetve a Vénusz és az kanadai pajzs krátermegtartási korát is. A vastag vonal a telítettségi határ, aminél nagyobb kráttersűrűség már nem lehetséges. A Hold felszíne eléri ezt a határt, azaz itt korukra csak minimum érték adható (Hartmann 1983 alapján)



39. A Föld légkörének tetejét elérő meteorikus testek gyakorisága (Hartmann 2000 alapján)

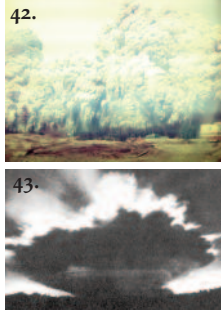
Eltérő számú becsapódó test éri a Naprendszer különböző részeiben keringő égitesteket: amelyek pl. közelebb van a kisbolygó-övezetnek vagy egy óriásbolygó közelében helyezkedik el, az a nagy test fókuszáló hatása miatt többet kaphat. A számítások szerint a Mars kb. 2-3-szor annyi becsapódást szenved el, mint a Hold, ezért a kráttersűrűséghez rendelt abszolút kormeghatározásos holdi adatokat a Marsnál érvényes értékek alapján korrigálni kell. Mivel ennek pontos szorzófaktorát nem ismert, a Mars és a többi égitest felszínének abszolút korára vonatkozó becslések bizonytalanok.

Bármilyen felszín elég nagyszámú becsapódás esetén elérheti telítettségi állapotát (*equilibrium* vagy *saturation*), amikor már „megtelt” a felszín kráterekkel, és minden új becsapódás egy korábbi krátert rombol szét. Ezt az állapotot több kisbolygó és pl. a Merkúr, a Hold és a Callisto egyes területei is elérték. Ezekre a területekre csak egy minimális korérték adható, vagyis azt, hogy ezen minimális kornál mennyivel idősebbek, krátterszámlálással nem lehet megállapítani.



40-41. Alig kráterezett, kb. 3 milliárd éves mare felszín és erősen kráterezett, kb. 4 milliárd éves terra felszín a Holdon (Apollo ferdetengelyű felvételek)

## A BECSAPÓDÁS FOLYAMATA



42-43. Két kép a Mt. St. Helens vulkán 1980-as kitöréséről: az alapi torlóár (fent) és a hamufelhő (lent). (Mt. St. Helens Múzeum, Washington állam, USA)

44. Kísérleti atomrobbantás Coloradóban 1972-ben. 91 t TNT 9 méter átmérőjű, 7 m mély krátert hozott létre. A másodlagos kráterek 110 m-re, a törmelékterítő 201 m távolságba jutott. (Hartmann, 2005, p253). Valódi becsapódást még nem figyelt meg az emberiség, ezért ez a „legjobb közelítése” az eseménynek. Jól látható a „jetekben” kidobódó törmelék és a vulkán-kitörésekből ismert alapi torlóár. A kilökött törmelék hozza létre a másodlagos krátereket és a sugársávokat: v.ö. képek a a törmelékterítő (36. oldal), a sugársávok (38. oldal) és másodlagos kráterek (43. oldal), fejezetekben. (W. K. Hartmann fotója)

A becsapódásos kráterek monogenetikusan szerkezetek, azaz képződésük egyszeri esemény. (A krátert a későbbiekben számos folyamat módosítja.) A becsapódás folyamatát általában három részre különítik el (46. ábra): érintkezés / összenyomás (*contact/compression*), kivájás (*excavation*) és átalakulás (*modification*). A kivájás során létrejövő tranzienst (átmeneti) kráter mindig tál alakú: a kráterek megfigyelhető morfológiája a tranzienst kráter átalakulásával (összeomlás, központi csúcs kiemelkedés stb.) jön létre (Melosh, Ivanov 1999). A kráter végül megfigyelhető alakját ezután további folyamatok (erózió, feltöltődés stb.) alakítják. A folyamatok kísérő jelenségei (pl. alapi torlóár, porhullás) a vulkánkitöréseknél ill. mesterséges robbantásoknál is megfigyelhetők.

### 1. Érintkezés/összenyomás – a becsapódó test hatása

A test hatása sebessége négyzetétől és tömegétől függ ( $E=1/2 m v^2$ ). A test általában planetocentrikus pályáról kisebb 12–20 km/s, heliocentrikus pályáról nagyobb (max. 72 km/s) sebességgel csapódik be egy bolygótestbe. Ha „szemből” érkezik, nagyobb, ha „hátról” éri utol a céltestet”, kisebb relatív sebességgel csapódik be. A Föld esetében például a felszínre merőlegesen érkező meteorikus test néhány (1-2) másodperc alatt áthat a légkörön. A kisebb, lefékeződő vagy nem merőlegesen érkező test max. néhány percet tartózkodik a légkörben (és



esetleg a légkörön, a felszínnel párhuzamosan áthaladva végül újra eltávozik). A test felszínérése után átmérőjének megfelelő mélységbe hatol szilikátos kőzetben (vízben kb. átmérője 3–4-szeresére), amely lefékezi, és eközben adja át mozgási energiáját a keletkező lökéshullám formájában a közegnek. A teljes fékezés mindössze pár századmásodperc alatt megtörténik. A mozgási energia ennyi idő alatt alakul át hővé és a lökéshullám energiájává. A pillanatok alatt, igen kis helyen koncentráltan felszabaduló energia nagyságrendileg hasonló a Földön egy év alatt minden földrengésben és vulkáni tevékenységben felszabaduló energiához (Koeberl 1997, lásd táblázat).

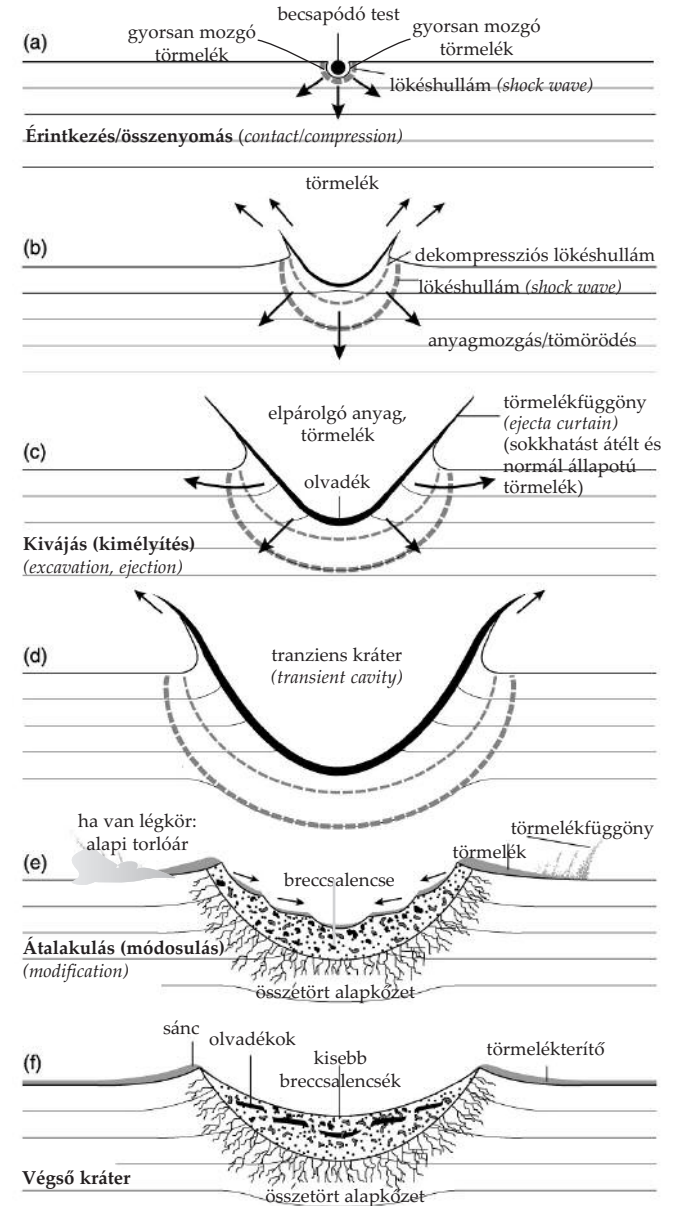
Kráter	Felszabaduló energia
Barringer-kráter (1,1 km)	$5,22 \cdot 10^{16}$ J
5–10 km	$10^{17-18}$ J
50–200 km	$10^{21-23}$ J
Mt. St. Helens kitörés 1980	$6 \cdot 10^{16}$ J
San Francisco földrengés	$10^{17}$ J
A Föld felszínén felszabaduló energia	$1,3 \cdot 10^{21}$ J/év

(Koeberl 1997, hivatkozások itt)

### 45. Becsapódási és endogén (belső eredetű) folyamatok energiái

A becsapódó test sebessége általában nagyobb, mint a hangsebesség, ezért az energia nem tud szabadon szétterjedni, és egy lökéshullámfrontot alkotva koncentráli közvetlenül a becsapódó test előtt. Ezért minden kráter kör alakú lesz, függetlenül a becsapódás szögétől, a nagyon lapos szögű becsapódás esetét leszámítva.

A becsapódás kőzetet összenyomó (kompressziós) lökéshulláma (*shock wave*) elhaladása után a nyomás alatt lévő kőzetből a nyomás az ún. dekompressziós lökéshullám (*rarefaction/release wave*) segítségével szabadul fel (visszapattan). Ez a lökéshullám a becsapódó testre is visszahat: hatására az (is) megolvad ill. elpárolog. A becsapódó test és a célkőzet elpárolgott anyaga gőzfelhőként (*vapor plume*) jelenik meg a kráter felett. A becsapódástól távolodva, nagyjából a krátérsánc közelében a felszín anyagában terjedő lökéshullám nyomása – ahogy mind nagyobb felületen terjed szét – a becsapódás központi 100 GPa-ról (sebessége 20–30 km/s-ről) 1–2 GPa-ra csökken, és ezzel „hagyományos” szeizmikus lökéshullámként terjed tovább, melynek sebessége a hangsebességgel egyenlő (a kőzetben 5–8 km/s). A becsapódás központjában a hőmérséklet meg-



46. A becsapódás folyamata egy egyszerű kráter példáján (French 1998 alapján, módosítva)

### A becsapódásokkal kapcsolatos lökéshullámok elnevezései, típusai

Légköri lökéshullám  
*air blast*

Lökéshullám kőzetben  
(Kompressziós) lökéshullám  
*shock wave*

Szeizmikus hullám vagy földrengéshullám  
*seismic, elastic wave*

Dekompressziós hullám  
*release wave*

haladhatja a 3000 °C-t. A központban az anyag elpárolog, távolabb megolvad. Vízből felépülő kőzet esetén ilyenkor vízgőz és víz keletkezik.

Ebben a fázisban keletkeznek a nagysebességű jetek, melyek a becsapódás sebességének akár a háromszorosával, sugarasan dobják ki a sokkhatást szenvedett törmelékét (Schultz, Mustard 2004).

(Lapos szögű becsapódás kidobott anyagával kapcsolatban lásd a 18. oldalt!)

A távolabbi kőzetdeformációkat, töréseket, földcsuszamlásokat stb. már ez a szeizmikus típusú, azaz a földrengésekkor is előforduló szeizmikus lökéshullám (*elastic wave, seismic wave*) hozza létre, így később a felső folyamatokétól nehéz elkülöníteni hatásukat.

Az érintkezés/összenyomás fázisa a legnagyobb becsapódásoknál is csak néhány másodpercig tart. Amíg a lökéshullám (*shock wave*) eléri a becsapódó test felszínétől távolabbi oldalát, kb. addig tart, ameddig a becsapódó test eredeti sebességével a méretének megfelelő távolságot tesz meg. Ez egy 50 km-es 25 km/s-el mozgó test esetén is csak 2 mp. Kb. négyszázszor ennyi időbe telik, amíg a dekompressziós hullám (*release wave*) eléri a becsapódó test elejét. Ezután a becsapódó test már nem játszik szerepet a kráter kialakulásában, csak az általa keltett lökéshullám.

### 2. Kiválás: A tranziens kráter növekedése (*transient cavity / crater*).

A lökéshullám (*shock wave*) hatására az anyag a lökéshullám központjától távolodni fog. Amikor a lökéshullám energiája elfogy (az eredeti nyomás visszaáll), az anyag még mindig mozog. A tranziens kráter kinyílása a dekompressziós lökéshullám hatására jön létre. Ez a lökéshullám már hangsebességgel halad, és nem okoz irreverzibilis változásokat (sokkhatást), mint a becsapódás kompressziós lökéshulláma (*shock wave*).

A becsapódás energiája az anyagot mozgatva a gravitáció és a sűrűlés legyőzésére fordítódik. Így a robbanás energiája mellett ettől a két paramétertől függ a végső kráterátmérő.

Az tranziens kráter a becsapódás energiájától függetlenül hasonló (tál vagy félgömb) alakú, és csak a későbbi folyamatokban veszi fel a „méretének megfelelő” morfológiát. A tranziens kráter mérete szoros összefüggésben van a felszabaduló energia nagyságával; a végső kráterméretet azonban a helyi földtani és gravitációs viszonyok is befolyásolják (pl: kráterfal suvadása). A tranziens kráterből távozó anyag mennyiségét valószínűleg elhanyagolhatóan kis mértékben befolyásolja a helyi gravitáció, mivel ebben a robbanás energiája a döntő tényező. A kidobás sebessége elérheti az

égitest szökési sebességét is, így az anyag egy része végleg eltávozhat az égitestről. Így jutottak a Földre a Holdról és a Marsról (pl. SNC-) meteoritok (McSween 1985).

A kiválást a dekompressziós lökéshullám és az alapközet köcsönhatása kelti. Ennek központja a kőzettestben ott van, ameddig a lövedék behatolt. A nagy nyomás alá került közet dekompressziós lökéshullám formájában visszapatann (*elastic rebound*), nagy, medence-formáló becsapódás esetén akár a köpeny felső részének mélységéből is, annak anyagát maga után „húzva”.

Az anyag oldalra és felfelé lökődik, de csak felfelé tud eltávozni. A lökéshullám energiája mozgási energiává alakulva, szimmetrikus anyagkiáramlást (*excavation flow*) hoz létre. (Ez lassabb, mint az összenyomás fázisában kilökött jetek.) A kráter kinyílásakor az anyagáramlás sebessége néhány km/s a kilökés zónájában (*ejection zone*). Ez a folyamat hamar kialakítja a tranziens, tál alakú krátert.

Részben elmozdítással, részben kidobással kialakul a kratersánc, mely a törmelékgyűrű legvastagabb (legmagasabb) része. Légkör esetén a légköri sűrűlés miatt a kilökési zónából távozott legnagyobb darabok (megablokkok) közelebb, a lebegtetés miatt a kisebbek távolabb jutnak el (allochton – eredeti helyükről elkerülő – kőzetek).

A kráter aljzata alatt található az áthelyeződési zóna (*displace zone*), ahol az anyag a lökéshullám hatására sugárirányban elfelé próbált mozogni; a felszín azonban nem érte el. Ezek a parautochton kőzetek, melyek a kráter mélyét alkotják. A szomszédos kőzetek egymáshoz képest hasonlóképpen, de kis távolságra mozdulnak el, innen a parautochton (nagyjából helyben maradó) elnevezés. A kőzet nem töredezik szét teljesen, inkább deformálódik, és lefelé mozogva összetömörödik, illetve komplex kráterek közepén visszapatannva kiemelkedik, a nagyfokú tömörödés után felszabadulva a lökéshullám alól.

A kőzetek kráterközépi tartománya (a becsapódáskori nyomástól függően) tartalmazhat nyomáskúpokat.

A tranziens kráter mélysége az áthelyeződési zóna legmélyebb pontjait tart, ahonnan tehát már nem távozott az anyag (mélység:átmérő aránya 1:4-1:3) (Melosh, Ivanov 1999). A tranziens kráter legnagyobb mélységének elérése után még tovább szélesedik: lefelé már nem tud tovább tömörödni az anyag, oldalra azonban még növekedhet tömörítéssel és az anyag kidobásával. Ekkor már elég nagy energiájú becsapódás esetén megindult a központi csúcs kiemelkedése is.

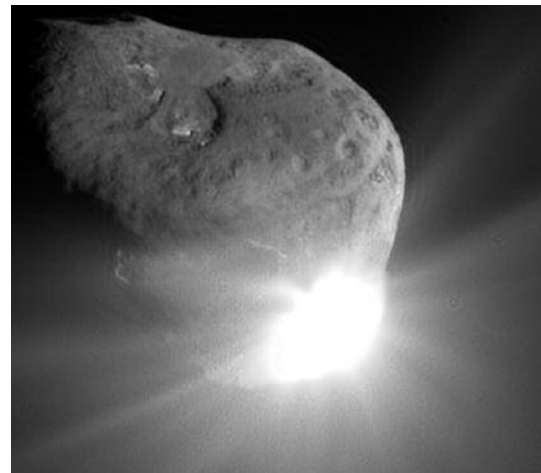
Egy idő után a lökéshullám energiája annyira lecsökken, hogy már nem képes kilököni több anyagot.



48. Bombatólcsérek II. világháborús fronton (légifelvétel). A bombatólcséreket kitölti a talajvíz. A kép felső részén jól látható a sugarasan kivetett törmeléktakaró is. Balra egy kettős, egybeérő kráter látható (Korabeli filmfelvétel)

Ebben az egyensúlyi pillanatban ér véget a kiválás fázisa. Ez 1 km-es kráternél kb. 6 másodpercig; 200 km-esnél mintegy 90 másodpercig tart. Miután a tranziens kráter elérte legnagyobb szélességét, a lökéshullámok kisebb (<1 GPa) nyomású hullámokká szelidülnek; inentől már a lökéshullám sem befolyásolja a kráterfejlődést.

A kiválás végeztéig a becsapódó test átadta energiáját a kőzetnek. Az energia függvényében létrejött egy adott méretű „standard formájú” tranziens kráter. Vagyis: a tranziens kráter alakját sem átmérője, sem a becsapódás sebessége, a felszíni gravitáció vagy a felszín anyagának



49. A Deep Impact űrszonda becsapódó lövedékének találkozása a Tempel 1 üstökös magjával. A felvétel a becsapódás pillanata után 67 másodperccel készült. A forró törmelék ekkorra már kiterjedt, ezt mutatja a fényes folt (Deep Impact, HRI-937, 2005. júl. 4.)

Tranziens kráter 1:3,5



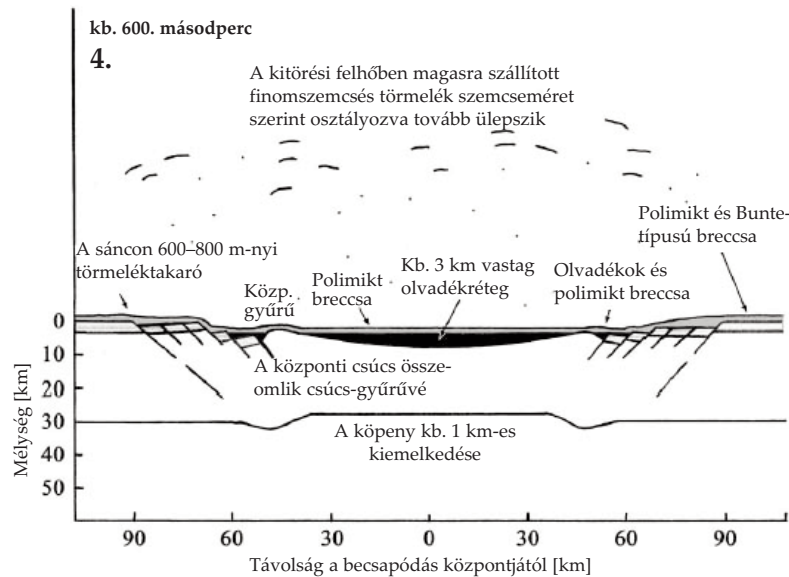
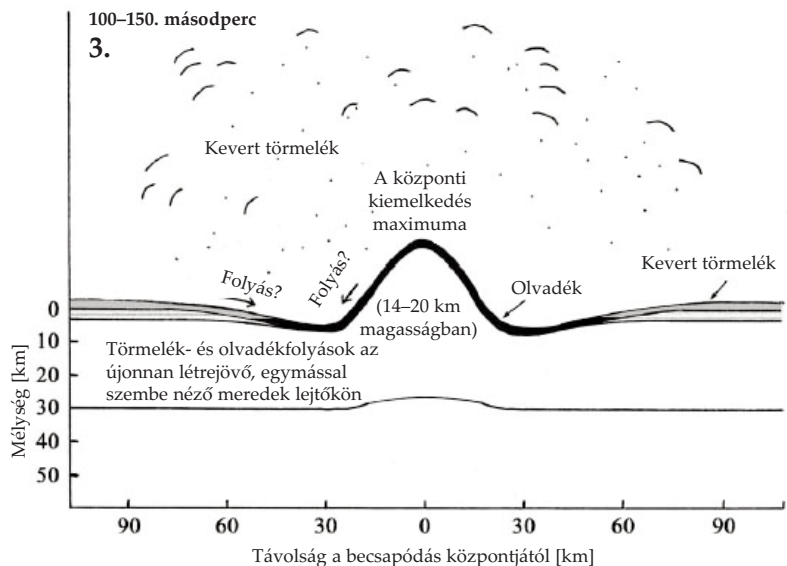
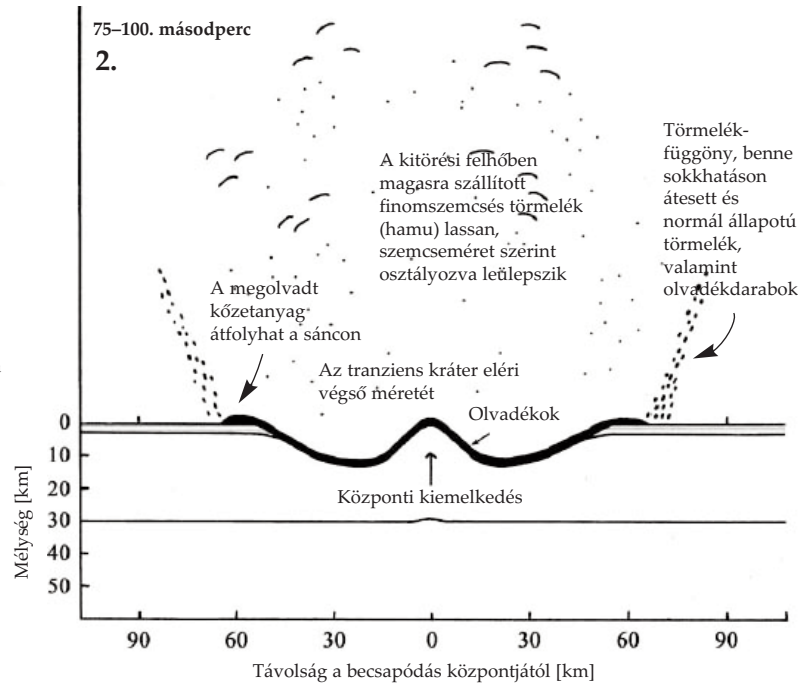
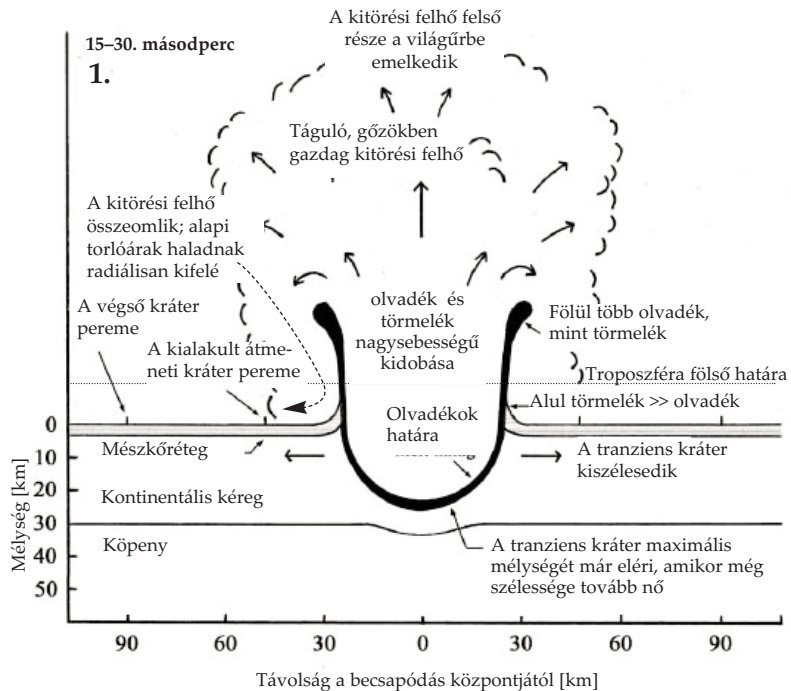
Egyszerű kráter 1:5



Másodlagos kráter 1:10



47. Kráterek mélység:átmérő arányai, torzítás nélkül feltüntetve



tulajdonságai nem befolyásolják jelentősen (Melosh, Ivanov 1999) (a becsapódás szöge is csak extrém esetben számít). A kráterek változatos formakincsét az ezután következő folyamatok hozzák létre.

### 3. Átalakulás – a gravitáció és a kőzet hatása

A tranziens krátert a gravitáció és a kőzet mechanikai elváltozásai módosítják. Az átalakulási fázis első része akkor ér véget, mikor a törmelék már nem hullik tovább. A tranziens kráter pereme beomolhat, a tranziens kráter túl meredek lejtői lesúvadhhatnak, és a visszahulló anyag is részben (akár felerészben) feltöltheti a kráter mélyedését.

A kráterfal összeomlása, a kráter részleges betemetése tehát a gravitáció hatására jön létre (kis  $g$ -n még nagyobb kráternél is „kitart” a perem).

Az összeomlás, későbbi izosztatikusan kiegyenlítődé, tömegmozgások, erózió, üledéklerakódás és későbbi becsapódások azonban tovább alakítják a krátert.

Modellszámítások alapján egy 10–20 km-es kráter esetén az egész folyamat max. 10 percig tart.

A megfigyelések szerint jeges égitesteken a csuszamlások csak csekély szerepet játszanak a kráter utólagos átalakításában (McKinnon et al. 1986). A későbbiekben itt a kráter domborzatának relaxációja (kiegyenlítődé) is alakítja a morfológiát.

*Az átalakulás folyamatait lásd a megfelelő fejezetekben (egyszerű, komplex kráter, többgyűrűs medencék)!*

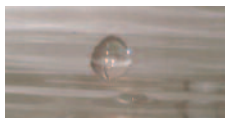
A fenti folyamatsor a kráter kialakulását írja le laborvizsgálatok, modellszámítások és katonai robbatási kísérletek megfigyelései alapján. Kevésbé foglalkozik a becsapódást kísérő egyéb egyidejű jelenségekkel (torlóárak, hamuszórák stb.), melyekről – megfigyelt példa híján – kevés ismeretünk van. Ezen jelenségek, akárcsak a törmelékterítő jellegzetességei, a jelenlegi, kisebb nagyságrendű krátereket létrehozó laboratóriumi kísérletekben nem rekonstruálhatók megfelelően.

50. Komplex kráter keletkezése a Chicxulub példáján (Kring 2004 modellje alapján). Az ábrákon nincs függőleges torzítás

# VÍZ ALATT KÉPZŐDÖTT BECSAPÓDÁSI KRÁTER ÉS KÉPZŐDÉSÉNEK UTÓHATÁSAI

Submarine impact crater, bathypelagic impact

51-56. A becsapódás folyamata egy vízcsepp példáján:



Érkezik a becsapódó test...



Először egy kerek kráter keletkezik, melyből koronaszerűen fröccsen ki a víz (lásd 44. ábra)



A vízcseppek visszahullása után horpadás marad, sáncsal körülvette. A krátert hamarosan kitölti a visszaáramló víz...



... A víz oldalról és mélyből történő visszaáramlása miatt a mélyedés közepén hamarosan egy vízoszlop emelkedik a magasba, majd összeomlik...

Vízbe történő becsapódáskor a víz megakadályozhatja a becsapódó testet a tengerfenék elérésében, és a kráterbelső, a sánc és a törmelékfakaró kialakulására is hatással lehet.

Kb. 1-2 km átmérőjű kőmeteorit esetén csak a víz „nyílik szét” kráterre, az aljzaton nem keletkezik kráter (a vízbe hatolási mélység 4-8 km). Kráter csak ennél nagyobb test vagy sekélyebb tenger esetén keletkezik. Azonban sem a légkör, sem az óceán nem képes arra, hogy egy 10 km-es nagyságrendű test földkéregbe csapódását megakadályozza.

Ha a becsapódó égitest víztestbe csapódik, a becsapódás nagyságától függően mennyiségű víz elpárolog, és a légkörbe jut (szárazföldi becsapódás esetén is nagy mennyiségű víz(gőz) jut a légkörbe). Utóbbi egy része helyben esők formájában ki is csapódik. A légkörben a vízgőz erős üvegházhatást is okoz, akárcsak az a CO<sub>2</sub>, amely a szárazföldi tüzek ill. a savas esők által oldott mészkövek nyomán kerül a légkörbe.

A számítások szerint egy 440 km átmérőjű test becsapódása képes egy egész óceánt elpárologtatni, ez esetben a benne lévő élet is kipusztítani. Ilyen esemény akár többször is megtörténhetett a Föld korai, 3,8-4,2 milliárd évvel ezelőtti időszakában, amikor azonban vékonyabb hidroszférája és másféle légköre volt.

A légkör hőmérséklete a becsapódás felett elérheti a 1000°C-ot. A gőz-légkör több ezer év alatt hűl le (Sleep et al., 1989). A víz rossz



Az összeomló vízoszlop körül a kráter peremén „sánc” keletkezik, amelynek gyűrűje lassan kiszélesedve továbbhalad. Vízen a jelenség a másodperc törtrésze alatt lejátszódik...



... és nem marad látható nyom (kráter) utána. Hamarosan közepén csak sík felület alakul ki, míg a lökéshullám gyűrűi távolra szaladnak. (Hargitai H. fotói)

hővezetése miatt azonban csak az óceán teteje forma föl, a mélye hűvös maradhatna, leszámítva, hogy közben a levegőből aláhull az elpárolgott majd megszilárdult, még forró kőzetanyag is. Ilyen hullás mellett is fennmaradhatna a mélyben az élet.

Az óceán vízében (1 g/cm<sup>3</sup>) egy adott átmérőjű test (sűrűsége függvényében) kb. 15 átmérőnyi mélységbe hatol. A behatolás mélysége (penetration depth) közel független a becsapódás sebességétől (O'Keefe, Ahrens 1982).

Elképzeltető, hogy a kráter középpontjában vízből keletkezik rövid időre egy óriási központi csúcs, mely akár több km magasra is szökhet, majd összeomlik.

Sekélytengerbe (vízbe) hullt kisebb becsapódás esetén igen jellemző vonás, hogy a keletkező kráternek nincs sánc vagy az nagyon alacsony. A kiemelt sánc hiányát azzal magyarázhatjuk, hogy a környező víz beáramlik a kivált mélyedésbe, amint a kráterben lévő víz a hő hatására elpárolog. Ezalatt a sáncban keresztülfolyó zagyrák lemoshatják a sáncot (Dypvik, Jansa 2003). A törmelékfakaró amúgy is minimális lehet, mert a víz ellenálló ereje megakadályozza a kidobott törmelék távolra jutását.

Ha a becsapódás a selfterület peremén történt, a lökéshullám vagy a keletkező földrengések hatására a selfperem beomolhat, mint azt kimutatták a Montagnais (58. ábra) és Chicxulub (64. ábra) krátereknél. A keletkező anyagmozgások (vízalatti lavinák) csatornákat moshatnak ki, amelyekben többszáz km-re is eljuthat az anyag. A felszínen cunamik (impact-derived tsunami) indulnak, a lezúdu-

## A földi becsapódások felosztása a becsapódási környezet szerint (Dypvik, Jansa 2003)

1. Szárazföldi becsapódás (Subareal impact)
2. Vízbe történő becsapódás (Subaqueous/submarine impact) Olyan kráter, mely sekély- vagy mélytengeri környezetben keletkezett, akár kontinentális, akár óceáni kérgen. Óceáni kérgben létrejött krátert jelenleg nem ismerünk.
3. Mélyvízi becsapódás (bathypelagic impact) Olyan becsapódás, amely a mély víz miatt nem hozott létre krátert, de egyéb jelekből (szferulák, a becsapódó test maradványai) a becsapódás tényére következtetni lehet. Példája az Eltanin-becsapódás lehet (63. ábra) a déli Csendes-óceánon, melynek kráterét nem találták meg (ami nem zárja ki, hogy nem létezhetett kráter).



ló tömegmozgásos óriási zagyrák megaturbiditét hoznak létre, mely törmelékes breccsát tartalmaz.

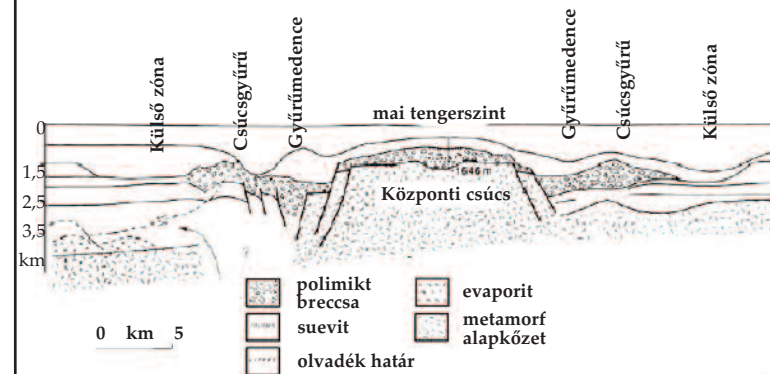
A becsapódás létrehozta cunamikra vonatkozó számításokhoz jó tapasztalati alapot adott a Bikini-atollon végrehajtott Baker kísérleti atomrobbantás. Ennek alapján 1 km átmérőjű becsapódó test a becsapódástól akár 20 km-re is 1 km magas amplitúdójú hullámokat hozhat létre. Ezek mélyen a szárazföldre hatolva képesek olyan üledékrétegeket szétteríteni, melyekben a szárazföldi és vízi élőlények maradványai keverednek.

A vízbe történő becsapódás indikátora a megacunami. Egy kisebb becsapódás is óriási szökőárat hozhat létre: először itt is üreg keletkezik, s közben szétlökődik a víz, a vízcseppek fotóiból ismert „korona” alakjában (52. ábra). Egy, a Chicxulubhoz hasonló becsapódás keltette cunami hulláma a Föld

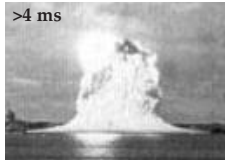
57. A Föld bizonyítottan becsapódásos eredetű kráterei, kockával jelezve a sekélytengerieket (Dypvik, Jansa 2003 alapján)

Mj: Mjølner  
Mo: Montagnais  
CB: Chesapeake Bay  
Ch: Chicxulub

58. A Montagnais kráter (45 km) (Kanada) metszete Dypvik, Jansa (2003)



59-62. A Baker 23 kT-s, 27 m mélységben robbantott kísérleti atomrobbantás a Bikini-atoll egy lagúnájában (víz alatti robbantás) 1946. július 23-án.



59. A felszínre elért lökeshullám fröccsdómot (*spray dome*) lök a magasba kb. 800 m/s sebességgel, amelyet a forró gőzből álló buborék követ.



60. A tűzgömb buborék gőzből és a bomba elpárolgott darabjaiból áll. A lökeshullámot követő alacsony nyomású zónában kicsapódik a víz és felhőkoronát hoz létre (*Wilson kondenzáció*). A vízen látható a lökeshullámfront



61. A vízgőz-gombafelhő



62. A felhő középső részén összeomlik és a víz visszajut a felszínre, itt alapi torlóárat (*base surge*) hoz létre (<http://nuclearweapnarchive.org>)

63. Az Eltanin-beccsapódás 2,15 millió éve történt a Csendes-óceán déli medencéjében. A beccsapódás központjának becsült helye a cunami lökeshullámja alapján készített modell szerint : 53.5° d 90° ny

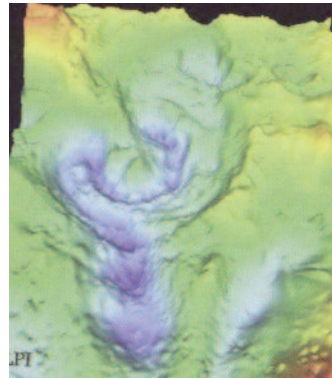


túloidalát 27 óra alatt érné el, és még ekkor is nagyságrendileg 100 m magas hullámokat vetne (Ward és Brownlee, 2002, McGhee, 1996 p.162). A partokon hosszú sávban található ilyenkor tengeri üledékterítés nyoma (lásd Illés 2003). Ilyenkor talán a barlangok, a tavak mélye és a szárazföldek belseje adják a legjobb menedéket. A talajra hullott por miatt a növényzet elpusztulhat, így a humuszképződés is megszűnhet.

A ma ismert, 172 bizonyítottan beccsapódási szerkezetből (57. ábra ill. 68. oldal) hetet mai sekélytengeri környezetben találtak, kb. 60 db. a mai (szárazföldi) felszín alatt található és valamennyi kontinentális kérgen helyezkedik el (részletesen lásd: Dypvik, Jansa 2003 és Gersonde et al. 2002).

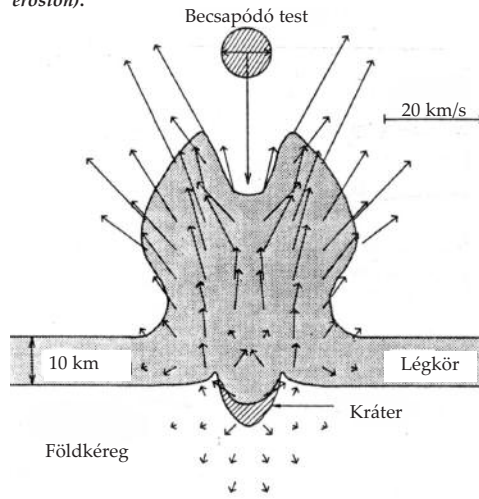
Valószínűleg sekélytengerben jöttek létre a következő kráterek: Montagnais (Skót-self, 45 km; 58. ábra), Mjolinir (Barents-tenger, 40 km), Chesapeake Bay (Chesapeake-öböl, 90 km). A napjainkban tenger és 1 km vastagságú mészkő üledékréteg alatt elhelyezkedő Chicxulub kráter a modellszámítások szerint eredetileg kb. 50 m mélységű sekélytengerben jött létre.

Jelenleg óceáni kérgen létrejött kráter nem ismert a Földön, ami egyrészt a Föld felszínének eme 2/3-áról alkotott igen hiányos ismereteinkkel magyarázható, másrészt az óceáni kéreg fiatal korával (kb. max. 150 millió év). Az ennél idősebb kérgen keletkezett kráterek már szubdukálódtak. Egy olyan beccsapódás ismert közvetve, mely óceáni kéreg fölött történt. Az Eltanin-beccsapódás (63. ábra) üledéknyomaira az Eltanin nevű hajó bukkant az 1960-as években. Később a tengerfenéken található magas irídiumtartalmú rétegek megerősítették a beccsapódás létét (részletes hivatkozások: Shuvalov 2003). A 2,2 millió évvel ezelőtti eseményt egy a becslések szerint kb. 0,5-2 km átmérőjű beccsapódó



64. A vastag mészkőréteg alatt fekvő Chicxulub kráter gravitációsanomáliaterképe (LPI)

65. Lent: modellszámítás egy beccsapódás légmentesítő hatását (O'Keefe és Ahrens 1982). A kráterből kilökött kis szemcseméretű törmelék nagy magasságra is eljut és onnan lassan ülepszik le a Föld felszínére. Ezek az elpárolgott test részben kicsapódott anyagából származnak. A mm-cm méretűek mikrotektonik formájában érnek földet, míg a kisebbek (mikrométeresek) hónapokig lebegve globális réteget hoznak létre felszínérés után. A szilárd felszínen vagy vízben keletkező test tömege 10-100-szorosának megfelelő anyagmennyiséget lök ki a kráterből. A légmentesítő magasba lökött része végleg eltávozhat (*impact erosion*).

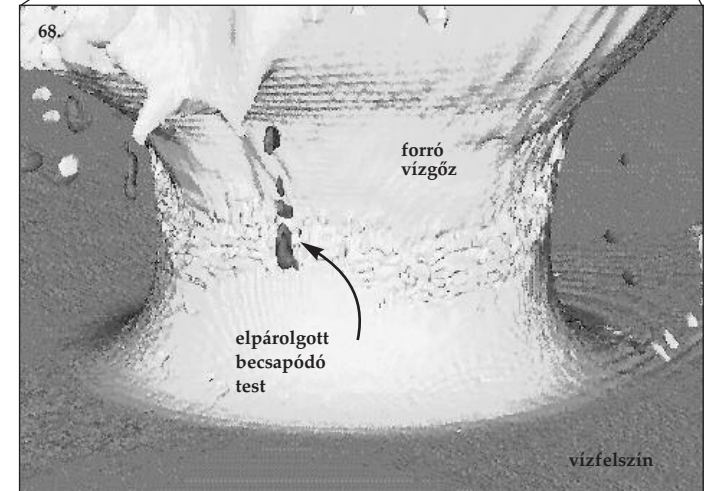
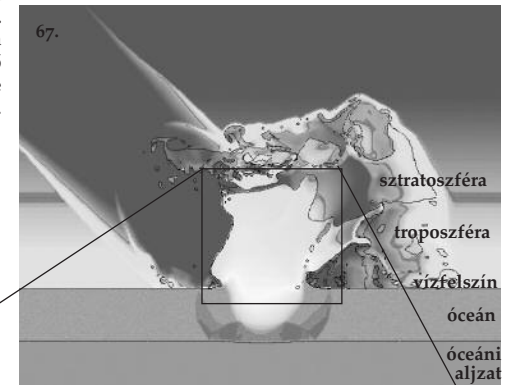
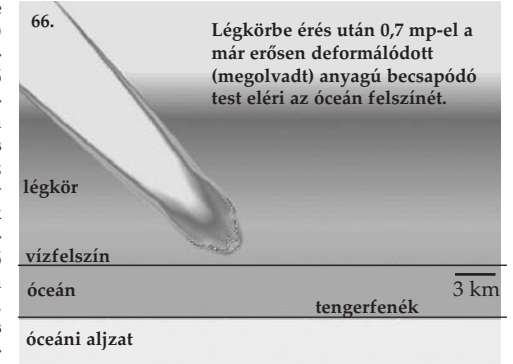


test okozta. Elképzelhető, hogy a test nem érte el az óceánfenék 4-5 km-es mélységét mert még előtte szétrobbant – kráternek (eddig) nem találtak nyomát, azaz a Tunguz-eseményhez hasonlóan nem hozott létre krátert.

66-67-68. Beccsapódás vízbe (modell)

1 km-es, 60 km/s-al közelítő, 45°-os szögben érkező üstökös vízbe csapódásának szimulációja (Sandia 1997). A beccsapódás után pár másodperccel az átmeneti kráter forró, nagy nyomású vízgőzzel telik meg, mely - 300-500 km<sup>3</sup>-nyi víznek megfelelő vízgőz - felfelé kivágódik a sztratoszférába.

A test elpárolgott anyaga és a kidobódott vízgőz ballisztikus pályán nagy területen szóródik szét világszerte. Elképzelhető, hogy a vízben illetve légmentesítő kiülepedő törmelék kétféle törmelékterítőt hoz létre.



## IMPAKTITOK

### Sokk metamorfózis

#### Impactites, shock metamorphism

A becsapódás alapvetően felszínközeli jelenség, így az ekkor keletkezett, a becsapódás hatására átalakult kőzetek csak vékony rétegben találhatóak. A becsapódás által érintett kőzetek együttes elnevezése: **impaktit**. Felosztásuk szövetük, a sokk metamorfózis foka és összetevőik alapján történhet. A leggyakoribb impaktitok az összetört, részben megolvadt darabokat tartalmazó **impakt breccsák**. A kráter morfológiája mellett ezek jelenléte bizonyítja egy földtani szerkezet becsapódásos eredetét.

Az ütközés és az ekkor létrejövő kompressziós lökéshullám (*shock wave*) hatására rövid időre magas hőmérséklet (2000°C) és magas nyomás (10–500 Gigapascal) (1 GPa=10 000 atm) keletkezik, mely sokk-metamorfózist okoz. Egy-egy kőzetdarab többször is átélheti ezt az eseményt. Ha a nyomásviszonyok egy adott kőzetenél meghaladják az ún. Hugoniot rugalmassági határt (*Hugoniot elastic limit, HEL*), a kőzet maradandó elváltozásokat szenved (*residual shock effect*). Ez az érték a legtöbb ásványra és kőzetre 5–10 GPa. Az egyetlen természetes felszínközeli folyamat, mely során ilyen nyomás létrejöhét, a nagysebességű (*hypervelocity*) becsapódás (Gucsik 2003).

Az *in situ* hatásokon túl a becsapódás akár az egész bolygó felszínére is elérhet mikron méretű gömböcskéket (mikroszferulákat, tektiteket), a nagy nyomás hatására átalakult (sokk metamorfózist szenvedett) ásványszemcséket ill. a becsapódó test elpárolgásából származó platinacsoport-elemekben, így irídiumban vagy a tüzek miatt hamuban gazdag port. Légkör megletekor ezeket a szelek is szállíthatják. Vizsgálatokkal olyan becsapódási eseményre is következtetni lehet, amelynek krátere azóta eltűnt (pl. óceáni kérgen képződött, és azóta a lemeztektonika révén a szubdukciós zónában alábukott, majd beolvadt az astenoszférába).

A képződő impaktitok tömegének nagyobb részét a célttest átalakult kőzetei teszik ki. A céltestből és a becsapódó testből képződött impaktitok keveredhetnek is. A legmélyebbről kidobott anyagok nem a kráter végső mélységéből, hanem a tranziens kráter mélységéből erednek, melynek mélysége kb. a végső kráter átmérőjének 35%-a. A kidobott anyagok eredeti elhelyezkedésükhöz képest fordított rétegzésűek.

**AZ IMPAKTITOK FELOSZTÁSA** (IUGS SCMR 1996, Gucsik 2003, Stöffler és Grieve 2003 alapján, módosítva)

#### 1. Egyetlen becsapódás hatására létrejött kőzetek

1.1 Proximális (*proximal*, közeli) impaktit (a proximális törmelékterítőben előforduló kőzet)

1.1.1 **SOKKOLT KŐZET** Nem breccsásodott és nem is teljes mértékben megolvadt kőzet.

1.1.2 **KŐZETOLVADÉK-BRECCSA** (*impact melt rock*,

*melt breccia*) Olvadékmátrixban törmelékeket is tartalmazó kőzet. Orosz neve tagamit.

1.1.2.1 Felosztás *összetétele* alapján

- 1.1.2.1.1 **Törmelékgazdag** (*clast rich*)
- 1.1.2.1.2 **Törmelékiszegény** (*clast poor*)
- 1.1.2.1.3 **Törmelékmentes** (*clast free*)

1.1.2.2 Felosztás *átkristályosodottsága* alapján

- 1.1.2.2.1 **Üveges** (tektitek, impakt üvegek (*lásd: disztális impaktitok!*))
- 1.1.2.2.2 **Kristályos** (hipokristályos, holo-kristályos)

A szilárd anyag akkor olvad meg, amikor a lökéshullám alól felszabadult kőzet hőmérséklete magasra emelkedik.

A nagyobb gravitációjú égitesteken azonos méretű kráterben több olvadék keletkezik, mint kisebb gravitációjú égitesteken.

A földi kráterekben található olvadékokkal kapcsolatban (pl. Sudbury) sok vita folyik arról, hogy azok a becsapódáskor olvadtak-e meg helyben (impakt olvadékok) vagy utóvulkáni működéssel kerültek a felszínre, esetleg a becsapódás során lávafolyást is alkottak-e. A Ries-kráter esetén sikerült impakt olvadék-folyásra bukkanni (*impact melt flow*) (Osinski 2004). Hasonló folyásnyomokat már holdi és vénuszi kráterekben is megfigyeltek. (Az olvadékokról és üvegekről részletesen lásd: Dressler és Reimold 2001.)

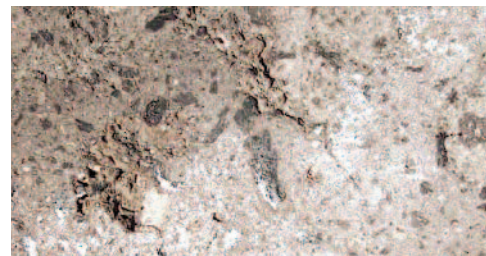
60 GPa feletti nyomáson a teljes kőzetanyag maradéktalanul átolvad.

**1.1.3 Impakt breccsa** (*impact breccia*) A legtopegesebb impaktitok breccsák, amelyek állhatnak megolvadt és csak összetört kőzetek darabjaiból. A breccsa rosszul osztályozott és tömeges megjelenésű. Vulkáni megfelelőjük a piroklasztit breccsa. Legnagyobb darabjai a sánc közelébe kidobott megablokkok.

A becsapódáskor a kőzetek megolvadnak ill. szögletes darabokra törnek. Ha az olvadék gyorsan hűl le, amorf szerkezetű üveg keletkezhet. A törmeléklet a megszilárdult olvadék cementálja össze, ezzel breccsa keletkezik.

Litológia alapján a monomikt breccsa egyetlen fajta, helyben feldarabolódott kőzettípusból épül fel. A polimikt breccsa többféle, eltérő körülmények közt (pl. máshol) keletkezett kőzetet tartalmaz. Szövetük finomszemcsés mátrixból és törmelékiszegényből áll.

A klasztikus breccsa elsősorban különálló törmelékekből áll, az olvadékbreccsa (*impact melt breccia*)



69. Suevitbreccsa a Ries kráterből: a kőzettörmelékes mátrixban szabálytalan alakú sötét üvegdarabok úsznak.

alapvetően egybeolvadt kőzetekből áll össze. A holdi breccsákban lévő törmelékdarabok nagy része maga is korábban keletkezett breccsa, így gyakran kialakulhat a breccsa a breccsában szerkezet (70. ábra). A holdi breccsák nagy része a többszöri becsapódási esemény kővetkeztében polimikt szerkezetű (Meyer 1987, Stoffer 1980).

A kráter belsejében található **breccsalencse** (**kráterkitöltő breccsa**) törmelékekből és megolvadt kőzetek (*impact melt rock*) keverékéből áll; amelyre később még üledékek is települnek. Összetevői ballisztikusan, nagy szögben kivetett és a kráterbe visszahullt törmelék (*fallback*), megszilárdult olvadékdarabok, a magas kráterfalról, krátersáncról beomlott, nem metamorfizálódott és nem megolvadt kőzettörmelék, későbbi krátersánc-csuszamlással a kráterbe visszatért, korábban a sáncra kilökődött törmelék.

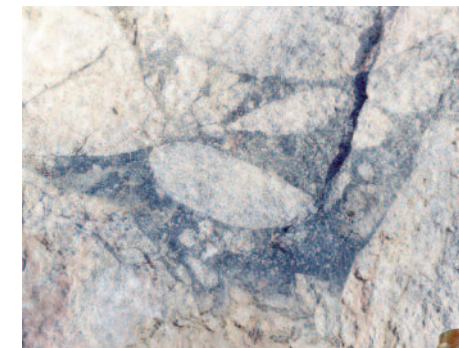
1.1.3.1 (Par)autochton (*autochthonous=authigenic*) breccsa: összetevői nem mozdultak el jelentős mértékben eredeti helyükről

**Monomikt** (*egy összetevőjű*) breccsa

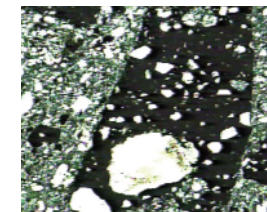
• 1.1.3.1.1 **Kataklasztos** (nyíró igénybevétel hatására, mozgási felületek mentén összetört szövetű). Általában sokk metamorfózis nem érte, csak mechanikusan összetört. A kráter alatti (par)autochton (kb. helyben maradó) területeken fordul elő vagy az allochton kőzetekben nagyobb törmelékdarabokban (megablokkokban)

1.1.3.2 **Allochton** (*allochthonous=allogenic*) breccsa. Összetevői eredeti helyükről elmozdultak.

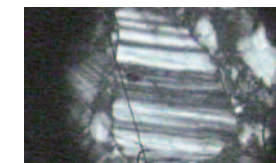
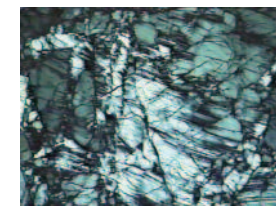
**Polimikt** (*több összetevőjű*) breccsa (egykomponensű célkőzet esetén értelemszerűen monomikt): A célkőzet különböző tartományaiól származó, különféle méretű sokk metamorfózison átesett litikus törmeléklet és ásványszemcséket tartalmazó kőzet, mely elszállítottott és átkeveredett, majd lerakódott a



73-74. Pseudotachilit breccsa: a sötét, megolvadt mátrixban úszó szilárd, részben szögletes, részben lekerekített (gránit-) darabokkal. Vaal folyó medre, Dél-Afrika (Vredefort), jobbra: polimikt olvadékbreccsa ugyaninnen (fotók: Hargitai H. 2003)



70. Breccsa a breccsában: a korábbi breccsaszilánkok beágyazva az újonnan létrejött breccsába (14305 sz. Apollo-14 minta, Hold, kőzetmikroszkóp)

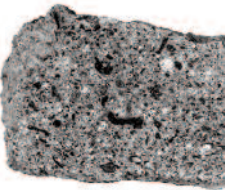


71-72. Az anortozitok ősi terra kőzetek a Holdon. Kőzetmikroszkópos felvételek. A sok becsapódás ütközéseinek hatására összetöredeztek. A sokk-metamorfózisos szövet-átalakulás különféle szöveti jegyekben mutatkozik meg a bemutatott plagioklaszon: – hullámos kioltás (*undulatory extinction*) – ikresedés (*twinning*) – tördeltelemek eltolódása (*Kink Banding*) (Bérczi 2001a)





55. Az Addams kráter a Vénuszon: törmelékterítője gazdag impakt olvadékokban, mely egy részén 600 km-re jutott a kráteráncától. (56,1°d, 98,9°k, Magellan C2-MIDR 60S093-202)



76. Suevitbreccsa (French 1998)

kráterben vagy körülötte, vagy telérek formájában benyomódott az alapkőzetbe.

Klasztikus mátrixú breccsa

• **1.1.3.2.1 Litikus breccsa** (*lithic breccia*, néha neve *fragmental breccia*): olvadékok nélküli, különböző erősséggel sokkolt polimikt kőzet- és ásványdarabokat tartalmazó törmelék. A Ries-kráternél helyi neve Bunte (=tarka, németül) breccsa, mely elnevezést más krátereknél is használják. Vegyesen tartalmazza az átütött rétegek kőzeit, ezen belül többet a mélyebbről, kevesebbet a felszínközeli rétegekből származók közül. Milliméterestől több méteres blokkokig (megablokk) mindenféle méretű darabokat tartalmazhat. Valószínűleg a proximális törmelékterítő és másodlagos kráterek kidobta törmelékek keveréke, melyet turbulens törmelékárak mozgattak. A Ries-kráternél közvetlenül a sánc külső részén található.

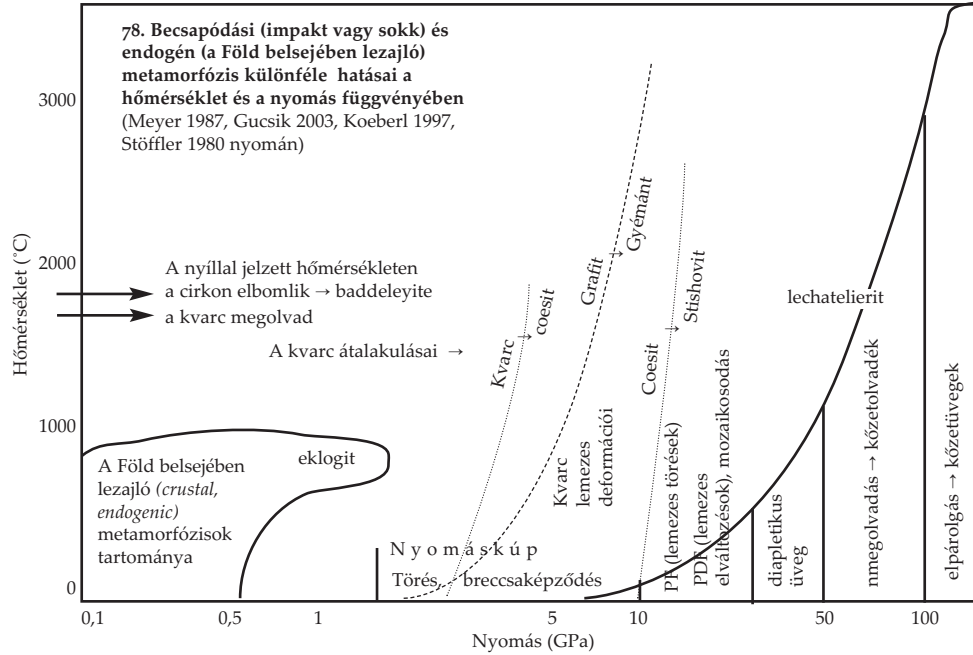
• **1.1.3.2.2 Suevit vagy suevitbreccsa** (*néha neve kevert breccsa – mixed breccia*) (69., 76. ábra) polimikt, (üledékes és kristályos) közettörmelék, ásványtörmeléket, valamint amorf (üveges) és kristályos olvadékdarabokat tartalmazó breccsa. Nevének eredete Svábföld latin neve [Suevia]; típushelye a Ries-kráter. Suevitbreccsa elhelyezkedhet a kráterben (krátersuevit: *crater suevit* vagy *fallback suevit*) vagy azon kívül (kidobott suevit: *Ejecta* vagy *fallout suevit*). Míg a hullott suevitben vannak „hőpajzs alakú” tektitek, a krátersuevitben értelemszerűen nincsenek. A suevit az erózióknak kevésbé ellenálló, jól faragható kőzet. A kidobott suevit vulkáni bombákhoz hasonló sötét üvegdarabokat is tartalmaz. A kidobott suevitet a Ries-kráternél világosbarnás színe és alakja miatt fláde-nak [téhénlepény] nevezik (tsz.: fláden). (Az elnevezést más krátereknél is használják.)

**1.1.3.3 Dimikt (két összetevőjű) breccsa**  
Telérbreccsa

• **Impakt pszeudotachilit** (*-es breccsa*): (73-74. ábra) a kráter alatt lévő kőzetben telérekben található breccsa. Finomszemcsés mátrixban sokkolt és nem sokkolt ásványokat és közettörmelékét tartalmaz. Dimikt breccsának (két összetevőjű) nevezik. Jellemzői a sötét, sűrű megolvadt mátrixban levő lekerekített és szögletes alapkőzet-darabok. Először Shand (1916) írta le őket Vreddefortból. (Eredeti leírása szerint ez tachilit-szerű, telérekben előforduló, sötétzürke vagy fekete, afanitós (finomszemcsés) szövétű, vele éles határvonalban találkozó, különféle, lekerekített és szögletes zárványokat

Kompressziós lökéshullám	Dekompressziós ( <i>release</i> ) hullám		
Összenyomás	Kiválás/közp. kiemelkedés	Átalakulás	Későbbi változások
<b>Vetődések, törések</b>			
Pszudotachilit	Allogén breccsa	Monomikt breccsa	
	Polimikt klasztikus br.		
0	1	10-100	>1000
Idő (másodperc)			

77. Impaktitok képződése a becsapódás különböző fázisaiban a Slate Island becsapódási breccsái példáján (Dressler, Sharpton 1997 alapján)

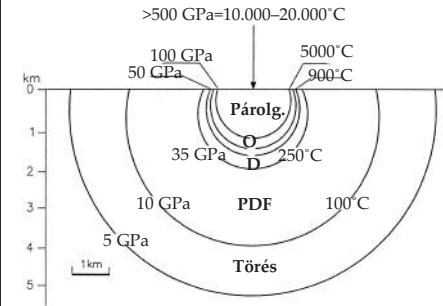


tartalmazó kőzet). A becsapódás alatt az ütközés keltette lökéshullámok hatására törésekben (esetleg szuper-törésekben – *super faults*) mint telérekben jön létre, ahová olvadék nyomul (vagy ahol olvadék keletkezik) és keveredik párhuzamosan létrejövő közettörmelékekkel. A törések villámcsatornához hasonlóan elágazók lehetnek (Dressler, Reimold 2004). Elméleti megfontolások szerint a vetődésekben sűrűlő olvadással (*friction melting – tektonikus pszeudotachilit*), „hagyományos” impakt olvadékként és/vagy sokkbreccsásodással keletkezik (Dressler, Sharpton 1997). A legújabb magyarázat szerint a becsapódás hője törések, és már meglévő inhomogenitások mentén, kaotikus, robbanásszerű módon, törések és sűrűlőds nélkül terjed, így pszeudotachilit a becsapódás pillanatától elsőként jön létre a breccsatispusok közül (Dressler, Reimold 2004). A Földön típuspéldái a 2,02 milliárd éves Vreddefort szerkezetből és Sudburyből is ismertek (Reimold 1995b, Dressler, Reimold 2004). Hegycsuszamláshoz kötődő, sűrűlődsos hővel keletkező pszeudotachiliteket írtak le több helyről, melyet *hyalomylonit*nek neveznek. A Ries-kráter pszeudotachilitjeinek helyi elnevezése *Explosionsbreccie* (Dressler, Reimold 2004). A becsapódásos pszeudotachilit keletkezésének mikéntjéről ma is vita folyik.

**1.2 Disztális (distal, távoli) impaktit** (a disztális törmelékterítőben vagy azon túl előforduló kőzetek)

**1.2.1 Konszolidálódott disztális impaktit: impakt üvegek:**

• **1.2.1.1 (Impakt) tektit** (=megolvadt, görgölű): impakt üveg, amely földi becsapódások ballisztikus

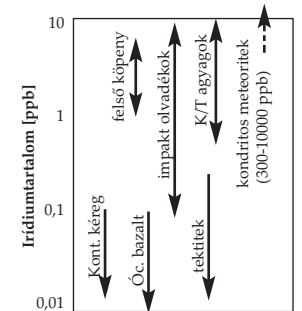


79. Egy kb. 20 km átmérőjű kráter zonális közzertartományai (*shock stage = shock facies = shock zoning; progressive impact metamorphism = prograde shock metamorfism*) a becsapódáskor fellépő maximális hőmérséklet ill. nyomásviszonyok függvényében alakulnak. (Párolg.: a kőzetek elpárolognak; O: a kőzetek megolvadnak; D: diapletikus üveg keletkezése; PDF: planáris deformációs jelenségek (lemez elválások); T: törések, rugalmas változások (Reimold 1995 nyomán)

kidobott („szétröccsent”), gyorsan lehűt olvadékcseppeiből áll, amelyek a proximális (közele) törmelékterítőn túl nagy területet beborító szórásmezőben találhatók. Méretük cm-es vagy mm-es nagyságrendű tektitek. Utóbbi elnevezése mikrotektit, amelyeket általában mélytengeri üledékben lehet

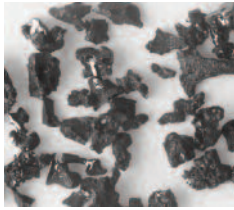
A sokk metamorfózis fokozatai  
**2 GPa nyomásig** jellemző a törés és breccsásodás, egyéb sokk-képződmények nélkül  
**2-10 GPa jellemző** képződménye a nyomáskúp (*Shatter cone*).  
**3-25 GPa között** mikroszkopikus deformációs jellegzetességek is kialakulnak pl. kvarcon és földpátocon  
**25-40 GPa** nyomásnál egyes ásványok amorf üveggé alakulnak, polimorf alakokkal (pl. kvarcnál coesit) kísérve  
**35-60 GPa** nyomásnál egyes ásványok, főleg földpátok megolvadnak. Az eredeti szövét erősen pusztul.  
**60-100 GPa** nyomásnál az ásványok mind megolvadnak  
**100 GPa** nyomás felett a kőzet elpárolog. Az ebből az kondenzálódott ásványokat csak újabban sikerült azonosítani (nanogyémántok suevit breccsában)

Platinacsoport (*platinum group elements - PGE*) (platinafémek): ruténium (Ru), ródiium (Rh), palládium (Pd), ozmium (Os), irídium (Ir), platina (Pt). Mindezek átmeneti fémek. Hasonló tulajdonságúak (nagy sűrűség, magas olvadáspont) a vas, kobalt és nikkel is. Mindezen elemek megtalálhatók a sudbury ércekből és az Urálban. Kémiaiilag ellenállók. A platinafémek a földkéregben a ritka elemek közé tartoznak.

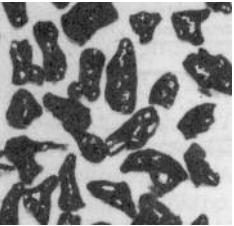


79b. Különféle földi és földönkívüli kőzetek irídiumtartalma (Montanari, Koeberl 2000)

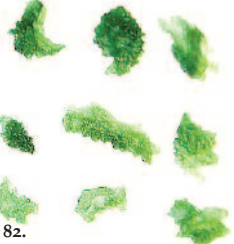




80. Szénből álló „mikrosalak” (microslag) szerű 1–2 mm méretű mikrobreccsa-darabok (Rubielos de la Cérída impakt szerkezet, Spanyolország) (Schüssler et al.)



81. A tektitekhez hasonló, de eltérő keletkezésű anyagok a Kilauea 1959-es kítöréséből származó vulkáni üvegszilánkok (Cas 1988)



82-83-84. Különbő formájú földi tektitek. Fent: zöldes-áttetsző moldavit tektitek (www.man.li)



83.

megtalálni. Egyes meghatározások szerint mikrotektit az 1 mm-nél kisebb tektit. Ritkán tíz cm-nél nagyobb üvegbombák is előfordulnak.

A tektit definíciója szerint 1) amorf üveg, 2) homogén kőzet- (nem ásvány-) olvadék, 3) sok lechatelierit tartalmaz, 4) földrajzilag kiterjedt szórásmezőkben fordul elő (nem csak egy-két különálló helyen), 5) a disztális törmelékterítő része, nem fordul elő a kráterhez közel ill. impakt kőzetekben (pl. suevitbreccsában), 6) vízben és földönkívüli anyagban szegény, 7) a célterület felszínén jön létre. Ha a fentiek közül egy vagy több feltételnek nem felel meg egy üveg, azt *impakt üvegnek* nevezhetjük (Montanari, Koeberl 2000).

Az impakt üvegek kémiai és izotóposzerkezete azonos a forráskőzetével. Ez a tulajdonsága jól használható a távolra jutó tektiteknel a forráskráter helyének megtalálásában. Kormeghatározásukkal ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , K-Ar, Rb-Sr, Sm-Nd, U-Th-Pb, *fission track* [hasadványnyom] stb. módszerekkel) a becsapódás időpontját adhatjuk meg megközelítőleg. Az impakt üvegekre jellemző a hólyagüregesség (*vesicular*), vagyis gázbuborékok keletkezése.

A becsapódásos vagy vulkáni eredetű, légkörben történő utazás után visszahullt apró üvegek szétrepülésükkor vették fel alakjukat. A tektit kifejezést mindenféle alakú földi példányra használják, néhány szerző beleérti a Holdról földre hullt becsapódásos vagy vulkáni eredetű példányokat is. A Földön kívül általában nem a tektit, hanem a *szferula* (=gömböcske) szót használják a kidobott üveggömböcskékre. A Földön szferulák, mikroszferulák (apró gömböcskék) biogén, vulkáni, vagy sokféle egyéb abiogén módon is keletkezhetnek.

A vulkáni hamuban található, a kítöréskor hirtelen lehűlt és megszilárdult magmából kialakuló, sajátos alakú, hólyagüreges üvegtörmelék neve **üvegszilánk** (*glass shard*, *tachylite shard*, *phreatomagmatic glass shards*). A vulkáni üvegszilánkok általában a kítöréskor keletkező, egyre nagyobbra növekvő, majd kipukkanó gázbuborékok falának szilánkjai (ASH 2005). A földi vulkáni üvegek esetében a szferula (*spherule*) szó üveggömböcskéket jelöl (szinonimája a *mikrotektit*), szemben a szögletes üvegszilánkokkal (*glass shards*), amelyek közül a 2 mm-nél kisebbek a hamu, a nagyobbak a lapilli tartományba soroltak (Worstell 1998).

A legismertebb holdi üvegek (hirtelen megszilárduló



84.

szilikátkőzetecsképek – *glass droplets*) a gömb vagy súlyzó alakú milliméter nagyságú sárgás (*orange soil*), fekete és zöld (*green glass*) üveggömbök. Ezek képződését vulkáni eredetű (lávaszökőkút) magyarázzák, mivel összetételük homogén, és nincsenek rajtuk nyomai sokk-metamorfózisnak.

Az impakt üvegek víztartalma a Földön sokkal kisebb (0,001–0,05 térfogatszázalék), mint a vulkáni üvegeké (0,25%). A vulkáni szferulák összetétele homogén, míg a becsapódásiaké lehet heterogén is. Levine és munkatársai (2004) apró (<5µm), vasban gazdag szemcséket találtak egyes szferulák felületén, ami arra utalhat, hogy vasmeteorit becsapódásakor keletkeztek.

**A földi tektitek.** A becsapódásos eredetű tektitek általában feketék, de némelyek – pl. a Ries becsapódás harmadidőszaki, homokos üledékéből keletkezett moldavitjai – áttetsző világoszödek. Alakjuk általában lekerekített, de található szögletes, vulkáni üvegszilánkhoz hasonló is. A moldavitot színe miatt drágakőnek (korábban talizmánként) is használják – a Willendorfi Vénusz mellett is találtak belőle. Ezek a Ries távoli (szakadozott) törmelékterületének részét alkotják (Pierazzo et al.).

Alakjuk alapján a tektitek három nagy csoportba sorolják:

- **1.2.1.1.1** Gömb, könnyecsepp, korong súlyzó alakúak (*splash form*). Alakjukat a megszilárdulásakor forgó olvadékból nyerték.

- **1.2.1.1.2** Némelyek a légkörön történő áthaladáskor megolvadnak, és hópajzshoz vagy peremes gömbhöz hasonló alakúak (*aerodynamically shaped tektites*) (főleg ausztrálázsiaiak)

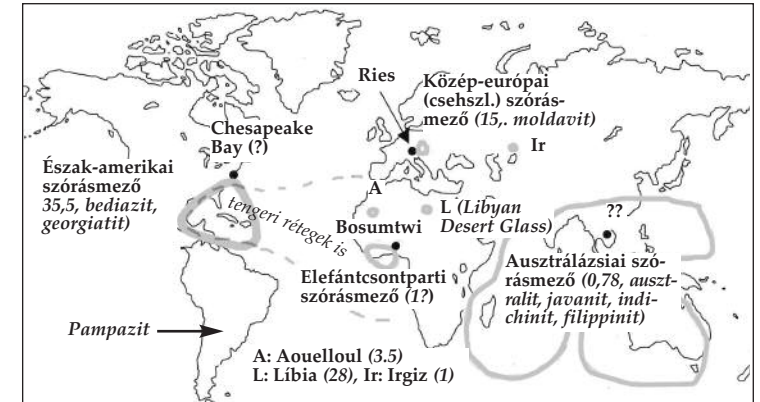
- **1.2.1.1.3** A *Muong-Nong* típusú tektitek réteges szerkezetűek (laoszi lelőhelyükről elnevezve). Közöttük igen nagyok is találhatók.

A tektitek nagy területen szóródnak szét. Az egy forrásból származó tektitek egy **szórásmezőben** (*strewn field*) találhatók. A Földön csak néhány ilyen mező ismert (85. ábra). Ezek egy becsapódásból származó anyaga igen nagy területet borít be. Szórásmezők minden valószínűség szerint más égitesteken is megtalálhatók. A gravitációtól függően különböző méretű mezőket alkothatnak. Mivel más égitesteken a kráterek gyakoriak, az átfedő szórásmezők gyakorlatilag a teljes felszínt beboríthatják. Így lehetett a múltban a Földön is, különösen a nagy bombázás időszakában. De még ma sem ritka: az argentin Pampák utóbbi 10 millió év üledékét őrző löszrétegeiben 6 impakt üveg réteget azonosítottak (Schultz, Mustard 2004).

Az egyes földi szórásmezőkhöz külön kőzettani elnevezés (ásványfaj) tartozik. A Cseh-medencében moldavitnak nevezik a Ries kráterből kidobott zöldes tektitek (a Moldva folyóról). Az argentin pampán található, porózus löszből keletkezett impakt üvegek neve pampaziti (Schultz et al. 2004).

Tektitek, a meteoritekhez hasonlóan magánkereskedelemben, gyűjtőktől is kaphatók.

Impakt üvegek általában csak a fiatalabb becsapódások körül találhatók, mert az üveg geológiai időléptékek alatt nem stabil, átkristályosodhat és széteshet (a földi tektitek közül a legidősebb 35 millió éves). Ennek némileg ellentmondanak az ausztrál Hamersley-medencében és a dél-afrikai Barbertonban talált archaikumi szferulák, melyek alakja megegyezik a tektitekével (Dressler és Reimold 2001).



85. Tektitek szórásmezői (*strewn field*) (zárójelben: kor [millió év], az adott mező tektit-fajainak kőzettani elnevezése) és a mezők feltételezett forráskrateri a Földön (Gucsik 2003 és Bagnol 1991 nyomán). A szórásmezők alakja és kráterhez képesti elhelyezkedése lehet ferdeszögű becsapódás vagy a zonális szelek szállításának a hatása.

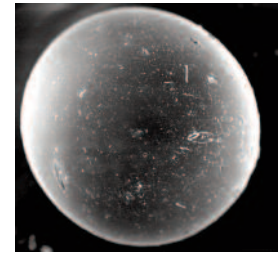
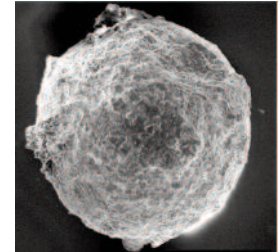
- **1.2.1.2 Mikrocrystit** (*microcrystit*): mikrotektitszerű szferula, mely valószínűleg elpárolgott kőzetek kondenzációjával képződött. Tengeri üledékben található, előfordulásuk korrelál irídiumban vagy más sziderofil elemekben anomálishan gazdag rétegekével (79b ábra).

**1.2.2 Nem konszolidálódott disztális (távoli) impaktit**

- **1.2.2.1 Impaktoklasztos hullástörmelék** (*impactoclastic air fall bed*) (párhuzamát lásd: *airborne volcanic ejecta = tefra*). Nagy területen, akár az egész égitesten a légkör által szétterített finomszemcsés üledék, mely a becsapódásakor kidobott sokk-metamorfizált ásványokat és olvadékokat is tartalmaz.

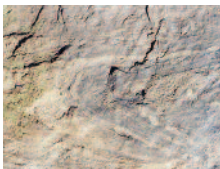
- **1.2.2.2 Törmelék** (nem sokkolt)

## 2. Több becsapódási eseményen átesett kőzetek



86-87. Üvegszferula (fent) és kristályos szferula (lent) az Apollo-12 mintából. Mindkettő kb. 200 mikrométer átmérőjű. (Levine 2004)

88. Moldavit-lelőhelyek Csehországban, Németországban és Ausztriában (Bouska)



89-90. Különféle, V alakú, a lökéshullám hatására keletkezett mintázatok a Vredefort-kráter központi részéhez közel (Hargitai H. 2003)



91. Nyomáskúpok a Vredefort-kráter központi területén. A kráter alatt lévő, helyben maradt kőzetet teljes egészében átjárja az a mintázat, amelyet a lökéshullám hozott létre (Hargitai H. 2003)



92. Nyomáskúp (French 1998)

**Impaktoklasztikus üledék:** ballisztikusan kidobott majd leülepedett törmelék.

2.1 Nem konszolidálódott becsapódási törmelék (unconsolidated impactoclastic debris).

• 2.1.1 **Impakt regolit** Légtér nélküli égitesten jön létre. Finomszemcsés becsapódási törmelék. Beleértendő az a por, mely az évmilliárdokon át tartó állandó mikro-meteor-bombázás hatására a felszín legfelsőbb rétegének felaprózódása nyomán keletkezett. A holdi regolit legfőbb, porrá töredezett rétege – a *holdpor* – igen tapadóképes, amit az űrhajósok is tapasztaltak, mikor ruhájukra és felszerelésükre rátapadt.

2.2 Sokk hatására kőzetté vált impakt regolit (consolidated impactoclastic debris)

• 2.2.1 **Regolitbreccsa** (olvadékkal) (regolith breccia)  
• 2.2.2 **Litikus breccsa** (olvadék nélkül, csak kőzettörmelék) (lithic = fragmental breccia)

Az impaktitok néhány jellemzője

– **Nyamáskúp** (*shatter cone*) (89–92. ábra) Ez az egyetlen makroszkopikus méretű, sokkhatásra keletkezett szerkezet. Más trérek a becsapódás szempontjából nem bizonyító erejűek, míg a nyomáskúp meglehetősen igen. Felszínük jellegzetesen sugárirányban szétágazó „lófarokszertű” mintázatot mutat. Egyedileg vagy csoportosan is előfordulnak. Egy-egy fókúpon gyakoriak a parazitakúpok is. Nyomáskúpok mindenféle kőzetben keletkezhetnek. A legszebben megőrzöttek finomszemcsés mészkővekben találhatók. Méretük milliméteres–méteres nagyságrendű lehet. A kúp a lökéshullám forrása, azaz felfelé mutat, és a becsapódástól távolodva a V alakú minta által bezárt szög növekszik („kinyílik”), ami a helyi nyomásviszonyok meghatározására is használható lehet (Gucsik 2003). Kialakulásuk magyarázata még nem teljesen kidolgozott. 1–6 GPa nyomásnál keletkeznek (Baratoux, Melosh 2003, további referenciákkal).

– **Sokk metamorfózist szenvedett ásványok** A nagy nyomás (a sáncon ill. a becsapódás központjában 20–1000 kbar: 2–100 GPa) és a magas hőmérséklet hatására az ásványok átalakulnak. Ehhez hasonló körülmények csak 75 km-nél mélyebben találhatók a Föld belsejében, így ezekre utaló felszíni nyom egyértelműen becsapódás hatására utal, vulkáni jelenségek nem tudják létrehozni. A sokkhatás felismerése az űrkutatás hatására az 1960-as években történt meg, amióta általánosan elfogadott, hogy a nagy sebességű (*hypervelocity*) lökéshullámok (természetes úton) csak becsapódásos esemény hatására jönnek létre. Így a meteorittörmelék hiánya nem kizáró ok egy szerkezet becsapódásos eredetének bizonyításánál.

A sokkhatást szenvedett kvarcásványok polimorf módosulatai igen nagy sűrűségű kvarcváltozatok.

A **coesit** (>30 GPa) (2,93 g/cm<sup>3</sup>) csak >60 km mélységben keletkezhet endogén úton. Tektonizmussal kerülhet a felszínre. Coesit a Föld *felszínén* csak becsapódással vagy atomrobbantással keletkezhet.

A **stishovit** (>12–15 GPa) (4,23 g/cm<sup>3</sup>) képződése a modellek szerint 300–400 km mélyen történhet, így a felszínen csak becsapódásos kőzetben található.

Igen nagy, 50 GPa feletti nyomáson és 1700°C feletti hőmérsékleten kvarcból **lechatelierit** olvadékvány jön létre, ami a becsapódásos kőzeteken kívül egyedül

fulguritokban, azaz villámcsapás által közvetlenül ért talajból vagy homokból keletkező kőzetben található a természetben.

**Gyémánt** nagy mélységben (>60 km) jöhet létre, illetve kimberliten kerülhet a felszínre (pl. Dél-Afrika). Sokkhatásra a grafit gyémánttal alakulhat. Ilyenkor nanogyémántok keletkezhetnek.

A coesit segített a Ries-kráter becsapódásos eredetének azonosításában. A Ries-kráterben nanogyémántot, 2–300 mikrométeres gyémántdarabkákat is találtak.

Az ásványokon a sokkhatás felismerése mikroszkópos vizsgálattal lehetséges, pl. lemezes (lamellás) elváltozási formák (*planar deformation features* – PDF) azonosításával. Ez az impaktitok legfontosabb azonosítási módja, ásványtani indikátora.

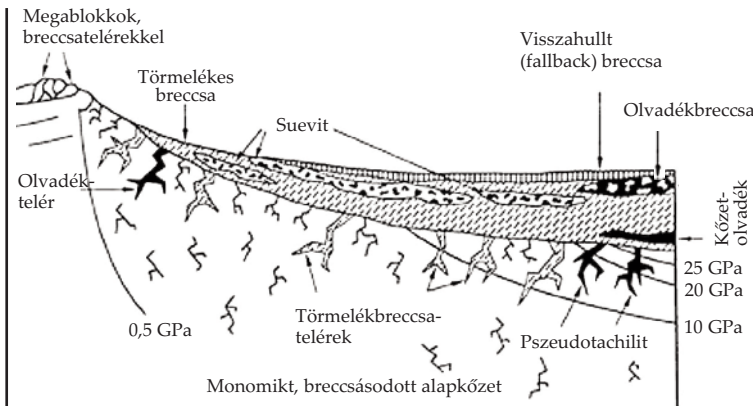
A szilikátásványok – köztük legkönnyebben a plagioklász – sokkhatásra pl. erős és szabálytalan hullámzó optikai kioltású lesz (71–72. ábra). A deformációs sávok a lamellás tartományok, melyek orientációja különbözik az őket tartalmazó kristályokétól. Ezek az eltérések a keresztávotzottság és mechanikai ikresedés lehetnek.

35 GPa-nál nagyobb nyomáson (ill. a nyomás alóli kristabudulásakor) az ásvány nem olvad meg. Miközben kristályos szerkezetét megőrzi, optikailag izotróp (amorf) lesz. Ennek neve **diapletikus** („megszilárdult”) **üveg** (*diapletic glass*). Egy példa rá a plagioklászból átalakuló maskelinit (*maskelynite*).

– **A becsapódó test anyaga** A meteorikus testek légkörön történő áthaladásakor átalakulást szenvednek. Ha nem párolognak el, és elérik a felszínt darabjai, akkor a meteorittöredék is megtalálható a keletkezett kőzettörmelékben.

A becsapódó test azonban gyakran teljesen elpárolog vagy egybeolvad a célkőzettel, esetleg később elmállik, így darabjai nem találhatók meg a kráterben. Ennek oka, hogy a becsapódás lökéshulláma a becsapódó testen is áthalad, s mivel ez van a központban, ez mindig a legerőteljesebb hatást szenvedti el: a nagy hőmérséklet miatt a másodperc törtrésze alatt elpárolog. Paradox módon a kisebb becsapódó testeknél maradhat meg belőle szilárd anyag, mivel a légkör lefékezi, így kisebb lesz a becsapódás energiája. Általában 40 méternél kisebb testek maradnak meg, melyek 1 km-nél kisebb krátert ütnek, azaz az ennél nagyobbaknál kicsi az esély meteoritdarabok megtalálására a kráterben. Földi körülmények között azonban ezek a darabok is hamar lepusztulnak, elmállnak. Légtérrel rendelkező égitestnél a meteorit anyaga a légkörbe kerül por, ill. az elpárolgott test porrá kicsapódott anyaga formájában. Ennek legfinomabb szemcseméretű frakciója ülepedik ki legkésőbb a légkörből, és emiatt ez a lehető fel legnagyobb elterjedéssel.

Ez az agyagfrakciójú réteg a **platinacsoport** **elemekben** és köztük a legnagyobb sűrűségű irídiumban valamint más sziderofil („vaskedvelő”) elemekben (nikkelben és kobaltban) igen gazdag. Ez a földi becsapódások vizsgálatakor földönkívüli eredetre utal, mert a differenciálódott földkéreg (vagy más differenciálódott égitest kérge) szegény bennük, míg a kondritos, nem differenciálódott meteoritek gazdagok benne. A K/T határton ezen elemek koncentrációja négyszer akkora nagyságrendű, mint máshol a felszínen. Erre először



93. Egy idealizált egyszerű kráter felépítő kőzetek Koeberl (1997) nyomán. (A későbbi üledékképződés anyagai nélkül). Az átmeneti kráterben (eredeti kráterfenéken) lévő breccsák együttesen alkotják a breccsalencsét.

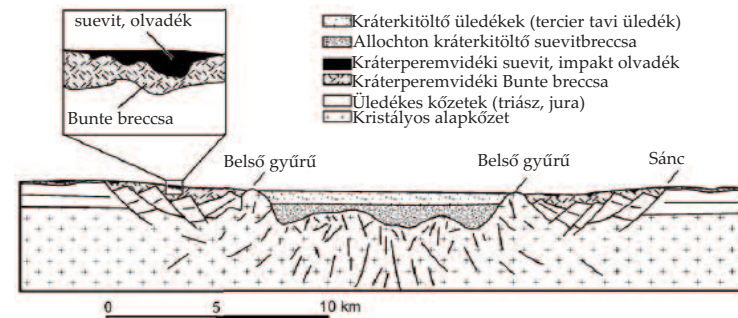
Alvarez és munkatársai (1980) kutatása irányította a figyelmet (típusfeltárása Gubbio, Olaszország)

Ugyanakkor a Föld mélye is gazdag bennük, pl. irídiumban, így hosszú időn át tartó erőteljes vulkáni tevékenység is létrehozhat ilyen réteget, de csak lokálisan. Nem minden becsapódás hoz létre irídiumgazdag réteget, ami a becsapódó testek eltérő összetételére utal. Az említett elemek a kőzettestben is előfordulhatnak, ha az elpárolgó becsapódó test beépül a breccsákba és olvadékokba (79b ábra).

Ahhoz, hogy a törmelék globálisan szétszóródhasson, O’Keefe és Ahrens modellszámítása szerint (1982) több hónapig a légkörben kell tartózkodnia.

A rétegek vastagságának és a tektitgyakoriságnak térbeli változása a kráter korabeli helyét is felfedheti: a becsapódástól távolodva a réteg vastagsága gyorsan csökken (McGee 1996 p.193, 201).

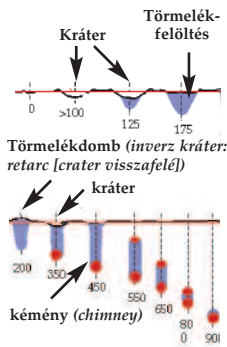
– **Hamu** A földi becsapódások esetén a becsapódás és a másodlagos hatások okozta tüzek a légkör által elszállított globális hamuréteget terítenek szét, ami a földtani rétegek széntartalmának vizsgálatával állapítható meg. Ez azonban nem feltétlen bizonyítéka egy becsapódásnak, mindössze globális vagy nagy kiterjedésű tüzek jelenlétére utal.



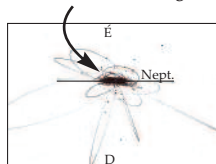
94. Egy valós példa a Földön: a Ries-kráter (Föld) metszete Osinski (2004) alapján

# A KRÁTER ÉS TÖRMELEKTAKARÓJA ALAKJÁT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

95. Csak akkor jön létre kráter alakzat, ha az adott energiájú robbanás meghatározott mélységben történik. Ha adott energiát hordozó test mélyebben robban, akkor nem kráter forma keletkezik. Ezt a különböző mélységekben eltemetett atombombák robbantása mutatja (Sublette 2001)



Az üstökösök többsége



96a. 140 közelmúltban felfedezett üstökös pályája „oldalnézetből”. A vízszintes vonal a Neptunusz pályáját jelzi (30 CsE). Néhány kisbolygó – pl. 1999LE31, 2000DG8 – pályájának 90°-nál nagyobb az inklinációja, azaz retrográd keringésű: a többivel ellentétes irányban kering.

A becsapódás annál erősebb hatást vált ki, minél nagyobb a becsapódó test mozgási energiája, amely tömegétől és sebességétől függ. Mivel a mozgási energia  $1/2 mv^2$ , már kis tömegű, de nagy sebességű testek is nagy energiát képviselnek. A becsapódó test mozgási energiája a robbanás okozta lökéshullám és hő formájában igen kis idő alatt felszabadul és továbbadódik a kőzetnek, majd a kilökött törmeléknek és egy kis része a légkörnek.

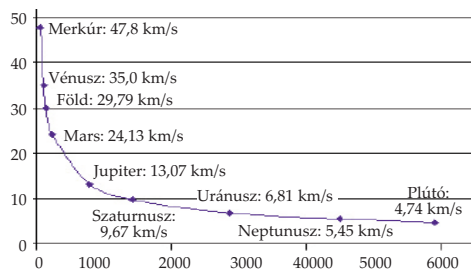
Az üttört kráter méretét befolyásolja a becsapódó test energiája (sebessége és tömege), a céltest gravitációja és a becsapódás helyének kőzetsűrűsége. Általában (kisbolygó Föld-típusú égitestbe csapódásakor) a lövedék méretének 20–30-szorosa lesz a kráter átmérője.

**A test tömege (m)** Mikroszkopikusultól a kisbolygó méretig bármekkora becsapódó test előfordulhat.

**A test sebessége (v)** A Naprendszerből érkező testek általában 10–60 km/s (40–200 km/h) sebességgel ütköznek a Föld naptávolságában (itt leggyakoribbak a kb. 20 km/s körüli értékek).

A becsapódáskor a két test relatív sebessége függ pályamenti mozgásirányuktól; becsapódás földrajzi helyének kerületi sebességétől és irányától. A bolygókkal vagy a céltessel azonos síkban azonos irányban keringő égitestek relatív sebességkülönbsége kisebb (pl. egyes kisbolygók egymáshoz vagy bolygókba csapódása), míg egy ezzel jelentős szöveget bezáró síkból (pl. Oort-felhőből) érkezőké nagyobb lehet (96a ábra). Pályahajlástól függően a kisbolygók általában 15–25 km/s, az üstökösök kb. 60 km/s relatív sebességű becsapódásokat eredményezhetnek a Föld és a Hold esetében.

A Föld közelében saját pályamenti sebességéhez (30 km/s) a Naprendszerhez tartozó égitest esetén maximum 42 km/s adódhat hozzá, ami a Naprendszer szökési sebessége a földpálya mentén. Az ennél



96b. Bolygók átlagos pályamenti sebessége

gyorsabb égitestek kirepülnek a Naprendszerből vagy azon kívülre érkeznek. Így a Földet általában max.  $30+42=72$  km/s sebességgel érheti egy becsapódás kivéve ha a Naprendszeren kívülről érkező vagy oda tartó égitesttel találkozik. A sebességek vektorosan adódnak össze. Csak hiperszonikus (*hypervelocity*) (2–3 km/s-nél gyorsabb) becsapódás képes valódi kráterformálásra; a lassabbak csak egy egyszerű gödört vájnak, ahol sem nagy nyomás, sem nagy hőmérséklet, sem lökés-hullámok nincsenek jelen.

**A becsapódás iránya** A kráter sugársávjainak helyzetét, a kivetődő törmeléktakaró alakját (és a kráter alakját is) *lapos szögű becsapódás esetén* befolyásolja a becsapódás iránya. A kráter csaknem mindig kör alakú; csak akkor lesz elliptikus, ha a becsapódás szöge kb. 5% alatti (Spudis 1996 p. 16). A becsapódások általában nem a felszínre merőlegesen, hanem ferde szögben történnek.

**A becsapódás környezete** A létrejövő kráter mérete számos paraméter függvénye: a becsapódás energiáján kívül meghatározó a gravitáció és a felszín anyagának tulajdonságai is. Ez különösen azoknál az égitesteknél bizonytalansági tényező, ahol kicsi a gravitáció, és anyagának nem ismertek a tulajdonságai (pl. üstökös). Azonos energiájú robbanás esetén a legnagyobb kráter akkor jön létre, ha a gravitáció a domináns tényező. Ha a felszín anyagának összetartóképesége erősebb, kisebb kráter keletkezik. Porózus felszínen a becsapódás energiáját a felszín elnyeli ill. az anyag összetömrődésére fordítja. Itt kisebb átmérőjű és mély kráter keletkezik, minimális törmelékterítővel (pl. Mathilde kisbolygó).

A belső-naprendszerbeli kőzet- illetve a külső-naprendszerbeli kőzet-jég vagy jégkérgű égitesteken eltérő tulajdonságú becsapódásos szerkezetek jönnek létre. A marsi kráterek jellegzetessége a felszín alatti víz és megolvadt jég becsapódás hatására kiforrócsenő lebenyes törmeléktakarók adják. Kemény ill. puha kőzet eltérő krátereket eredményez.

A felszín anyagának illóanyagtartalma a kráter törmeléktakarójának, sáncának és a központi csúcsnak az alakját egyaránt befolyásolja. Azon jégholdakon, ahol vékony kéreg alatt folyékony víz van, egy nagy kráter sokkal sekélyebb lesz (pl. Europa), mivel a víz izosztikusan egyrészt kiemeli a kráter mélyedését, másrészt a nagyobb súlyú sánc alatt a vékony kéreg besüllyed.

**Légköri jellemzők** A légkör a sűrűségétől és a légkörön való áthaladás szögétől függően lassítja a becsapódó test sebességét. Sűrűbb légkörben a kisebb meteorikus testek egyáltalán nem jutnak el a felszínig, mert a légköri súrlódás miatt felizzanak és elpárolognak, vagy a ránehezedő légellenállás nagy nyomása miatt (több tíz GPa) még a felszín elérése előtt felrobbannak. A felszínre elért testek mérethatára adja a levágási határt (*cutoff size*).

A több darabra széttört meteorok egy nagy helyett sok kisebb krátert ütnek (szinkron becsapódás) vagy egyáltalán nem ütnek krátert, mert széttört kis

darabjaik már elégnek vagy szétszóródnak a légkörben (Vénusz, Föld, Titán). A légkörben felizzó testek anyaguktól (porozitás, mechanikai szilárdság, olvadáspont, összetartóképesedés) függően reagálnak a nagy hőmérsékletre és nyomásra. A kisebb testek teljesen el is párologhatnak felszínre érés előtt, ami légkör nélküli égitesten nem következik be. A kisebb testek közül a felszínre a légkör által „kiválogatott” összetételű testek érhetik csak el a légkörrel rendelkező égitesten. A légkör a kisebb méretű meteorokat jobban tudja fékezni, mert tömegükhöz képest nagyobb felületen érintkeznek vele. A legkisebb meteorikus testeket a légkör megakadályozza a felszínre elérésében. A néhány kg tömegű meteorikus testek a földi légkörben annyira lelassulnak, hogy kráter helyett csak gödört ütnek. A magas illótartalmú meteoritok a felszínen gyorsabban lebomlanak.

A sűrű légkörben a kidobódó törmelék csak kisebb távolságra tud eljutni a légköri ellenállás miatt, így a törmelék legfeljebb a kráterátmérő 1–2-szereséig jut el. Ugyanakkor a felforrósodott légkör turbulens áramlásai felkapják, és messzebb vihetik a finom törmeléket. A vénusi kráterek morfológiáját a légkör magas hőmérséklete (470 °C) és sűrűsége befolyásolja.

**Gravitáció** Nagyobb gravitációjú égitesten adott energiájú robbanás esetén a törmeléktakaró kisebb területen terül szét. A krátersánc is alacsonyabb lesz, ezért a kráter itt sekélyebb. Minél nagyobb a gravitáció, annál kisebb kráterméretnél jelenik meg a központi csúcs vagy a központi gyűrű.

A kisbolygók esetén a gravitáció egészen különleges eloszlású törmeléktakarót is létrehozhat. A szabálytalan („krumpli”) alakú és gyorsan forgó égitesteken ugyanis nem mindig a felszínre merőleges a nehézségi erő, ezért a kirepülő törmelék sajátos pályán mozoghat. Emellett a gyorsan forgó égitest elől haladó oldala több törmelékkel „söpör fel”, mint az áttellenben lévő, követő oldal (pl. Azzura kráter kirobbant szikláinak aszimmetrikus eloszlása az Ida kisbolygón).

**A becsapódás időtartama** A kráter képződésének sebessége a mérettől függően pár tizedmásodperces – pár óráig lehet (1 km átmérőjű kráter pár másodperc alatt, 200 km-es 10 perc alatt jön létre). A szilárd céltárgyan keletkező felszültségek deformációk keretében percek alatt felszabadulnak. A Holdat a Föld anyagából kiforrócsenő ütközés a modell-számítások szerint néhány óra alatt zajlott le.

**A robbanás mélysége** (95. ábra) A becsapódásos krátereknél mindig az energiával arányos mélységben következik be a „robbanás”. Atomrobbantáskor lehet kísérletezni a robbanás mélységének változtatásával. A felszín feletti atomrobbantáskor a légköri lökéshullám mélyedést létrehozhat, de sáncot nem; minél mélyebben történik a robbanás, annál mélyebb lesz a kráter, de annál több törmelék hullik vissza és tölti fel; adott mélység alatt pedig már nem keletkezik kráter. (A különféle mélységű atomrobbantások során létrejövő alakzatokkal kapcsolatban lásd: Teller et al. 1968).

**Ismert tulajdonságú becsapódó test alapján a létrejövő kráter méretének kiszámítása** (a Barringer-kráter példáján). Az eredeti számítások atomrobbantások alapján készültek, ezért sokszor ma is kilotonna TNT egyenértékben fejezik ki a robbanás energiáját (Shoemaker 1983).

$$D_{kráter} = g \cdot S_p \cdot K_n \cdot E_{TNT}^{1/3.4}$$

A kráterátmérő kiszámítása, egyszerű kráter esetén. Komplex krátereknél szorító tényező a kráterfal suvadása miatti módosulás.

$$r = [m] 40 \text{ m}$$

A becsapódó test sugara

$$\rho = 7800 \text{ kg/m}^3 \text{ (7,8 g/cm}^3\text{)} \text{ (A Barringer-kráter Fe-Ni meteoritja esetén). A becsapódó test sűrűsége. Egy S típusú kisbolygó kb. 3,3 g/cm}^3$$

$$v = 20000 \text{ m/s}$$

A becsapódás relatív sebessége

$$\rho_t = 2300 \text{ kg/m}^3$$

A becsapódás helyén található felszín (kőzet, üledék) sűrűsége

A Földön kőzetek kb. 2,6 g/cm<sup>3</sup>

$$g = (g_{Föld}/g_{céltest})^{1/6} \text{ (Föld: 1)}$$

$$g_{Föld} = 9,8 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ g}$$

Gravitációs korrekciós tényező

$$S_p = (\rho_a/\rho_t)^{1/3.4}$$

Céltárgy sűrűség korrekció, a Jangle U atomrobbantás helyszínén  $\rho_a = 1800 \text{ kg/m}^3$  (1,8 g/cm<sup>3</sup>) alapján;  $\rho_t =$  a becsapódás helyszínének sűrűsége

$$m = V \rho = 4/3 \pi r^3 \rho \text{ [kg]}$$

Becsapódó test tömege (térfogat-sűrűség)

$$E_{kin} = 1/2 m v^2 \text{ [J=kg(m/s)}^2\text{)]}$$

Mozgási energia

$$E_{TNT} = E_{kin} / (4,185 \cdot 10^{12} \text{ J/kT}) \text{ [kT]}$$

A mozgási energia átszámítása kilotonna TNT egyenértékre

$$K_n = 74 \text{ m} / (E_{TNT})^{1/3.4}$$

Empirikus korrekciós tényező

(Rekurzív) számítások a Barringer-kráterhez:

$$S_p = (1,8/2,3)^{1/3.4} = 0,93$$

$$m = 4/3 \pi 40^3 7800 = 2,61 \cdot 10^8 \text{ kg}$$

$$E_{kin} = 1/2 \cdot 2,61 \cdot 10^8 \text{ kg} \cdot (20000 \text{ m/s})^2$$

$$= 5,22 \cdot 10^{16} \text{ J}$$

$$E_{TNT} = 5,22 \cdot 10^{16} / 4,185 \cdot 10^{12} = 12470 \text{ kT}$$

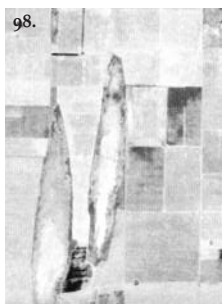
# FERDESZÖGŰ BECSAPÓDÁS NYOMAI

## ELNYÚLT ALAKÚ KRÁTER, LEPKESZÁRNY-TERÍTŐ

### Elliptical crater, butterfly ejecta



97-98-99. Rio Cuarto kráterek, Argentína: az Északi-medence, a Csepp, az Ikrek, a Hold-csoport és a Tandem



Lásd még: szinkron becsapódás, krátermező (31. o.)

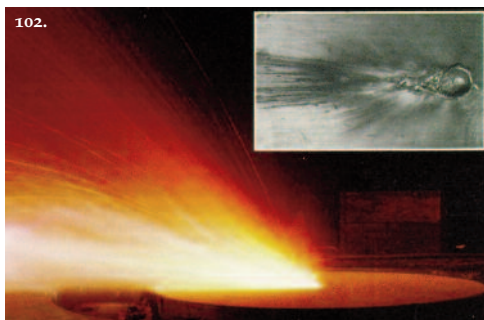
A becsapódás szöge kb. 30° felett (90°=vertikális) szinte biztos, hogy nem befolyásolja a kráter alakját: az minden esetben kör alakú lesz, mert nem a becsapódás ütötte lyuk, hanem a koncentrikusan szétáramló lökéshullám felelős a kráter keletkezéséért. Ezért a legtöbb esetben a kráter alakja alapján nem lehet megbecsülni a becsapódás szögét (Ai et al. 2005).

**Elliptikus kráterek** (*elliptical craters*) keletkeznek, ha a becsapódás szöge kisebb, mint kb. 6° és sebessége nagyobb mint 4 km/s (Melosh 1997).

**Lepkeszárny-terítőjű kráterek** Lepkeszárny alakú (*butterfly symmetry*) törmelékterítők a Marson és Holdon is találhatóak. A laposszögű (*oblique*) becsapódások ezen típusában a kráter maga



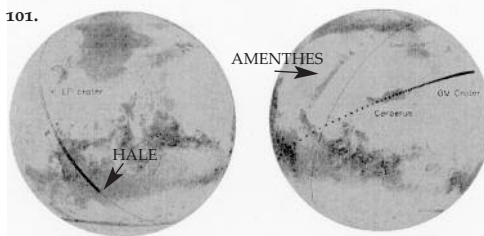
100. Emberek igyekeznek az egyik Rio Cuarto kráter központi csúcsa felé (*Sky and Telescope* 1992. ápr. 30. p.)



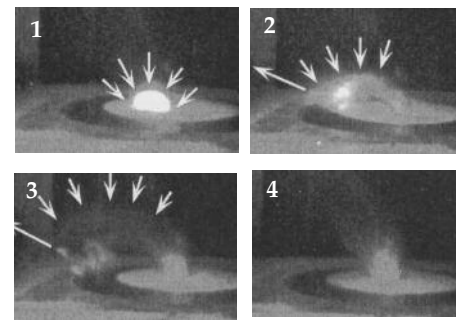
normális kerekded is lehet, de találtak elnyúlt alakú krátereket is. Ilyenkor a törmelékktakaró is aszimmetrikus, esetenként lepkeszárny alakú. A folyamatot még kevésbé értjük, ezért találkozhatunk azzal az elentmondással, hogy a laborkísérletekben a laposszögű becsapódás előre felé veti ki a törmeléket, míg a lepkeszárnyak oldalt helyezkednek el. A Vénuszon található lepkeszárnyhoz (259g ábra) hasonló törmelékterítők a légkör közreműködésével keletkezhetnek.

**Előredobott olvadékok** A laposszögű becsapódás pillanatában keletkező olvadékok és elpárolgott anyag még a krátermedencéből származó törmelék kidobása (a robbanás) előtt a becsapódás irányának megfelelően előredobódik és egy szűk sávban jelentős területet boríthat be. A Coriolis-erő figyelembevételével meghúzható olyan görbe, amely a laposszögű becsapódások irányát követve gömbi főkört alkot. A fiatal, elliptikus krátert létrehozó becsapódások előrevetített irányában található sötét üledék ilyen előredobott olvadéksáv lehet (*dark mobile materials*). Ilyen vizsgálatot végeztek a Mars esetében pl. a Hale kráterre, melynek antipodális részén elnyúlt sötét sáv az Amenthes nevű sötét terület (Schultz, Mustard 2004).

**Laposszögű becsapódásnyomok a Földön** Argentínában néhány elnyúlt depresszió található közel egymáshoz (Rio Cuarto-kráterek), amelyeknek keletkezését sokáig nem sikerült kielégítő módon magyarázni, mert az erózió és főleg a mezőgazdasági művelés megváltoztatta a természetes környezetet. Egy



101.



102-103. Ferdeszögű becsapódás modellezése (Schultz, Mustard 2004) (5,5 km/s sebességgel 30° szögben becsapódó test). A becsapódás gömszimmetrikusan kiterjedő elpárolgott anyaga mellett megjelenik az előredobott olvadék és elpárolgott anyag is. Balra (102.) ugyancsak Schultz egy korábbi kísérlete, a becsapódás nyomával.

amatőr csillagász pilótának – aki naponta repült el a depressziók felett – jutott eszébe, hogy talán sajátos becsapódásnyomokról van szó. Elképzelhető, hogy egy nagy inklinációjú pályáról érkező test északról dél felé haladva a Föld légkörében szétrobbanva szinkronban több, elnyúlt krátert hagyott hátra. Ugyanakkor az is lehetséges, hogy az első becsapódáskor nem semmisült meg az egész test, és „felső” részének darabjai továbbrepültek és végigbombázták a felszínt egy néhány km széles sávban. Peter Schultz megvizsgálta a nyomokat, és kvarc nagy nyomású módosulatát találta a környéken, ami igazolta a becsapódásos eredetet.

**Visszapattanó test** (*grazing*) 5°-nál laposabb szögű becsapódás esetén, ha a légkör elég sűrű és a becsapódó test elég kicsi, a test megpattanhat a légkör felső részén és visszapattnhat a világűrbe, akár a kacsázó kavics.



104. Típuspélda elliptikus kráterre a Marson, Rodionova (2000) kráterkatalógusában. A Rodionova-féle marsi kráterkatalógus 19 ezer kráter közül összesen 97 db elliptikus krátert sorol fel.



105. Laposszögű becsapódás eredménye: 10 km hossz-tengelyű elnyúlt, elliptikus kráter és lepkeszárny alakú törmelékktakaró (Mars, Viking, 039B13). Valószínűleg 10°-nál kisebb volt a becsapódás szöge. A becsapódó test valószínűleg több darabra szakadt, mert a kráter mellett egy hasonlóan elliptikus, de kisebb is látható hasonló lepkeszárny-törmelékterítő (a képen balra) (lásd még: 259g ábra)



106. Kb. 1 km hosszú, elnyúlt, egyik oldalán hegyes szögben végződő mélyedés (kráter?) (Mars, 4,4° d, 10,1° ny, MGS MOC2-689)

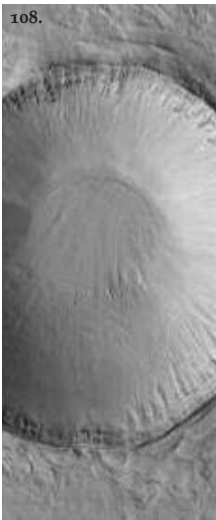
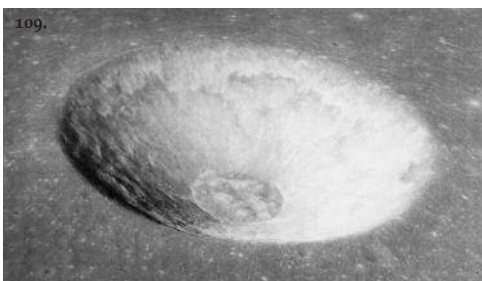


107. A laposszögű becsapódástól keletkezett, 11x8 km-es elnyúlt alakú Messier (jobb) és a 11x13 km-es Messier A (bal) kráter (Hold)

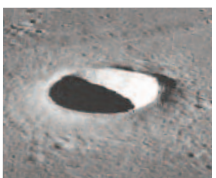
## EGYSZERŰ (KIS) KRÁTER

### Craterlet, simple crater, bowl-shaped crater

109. 8 km-es kráter a Holdon (Apollo AS10-29-4253)



108. 5 km-es kráter a Marson. MGS MOC2-1035, 36.2°É, 212.3°ny



110. Egyszerű kráter a Holdon (Apollo-kép)

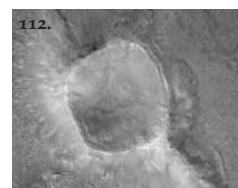
111. A Niamh 4,4 km átm. egyszerű kráter az Europa jégkérgén ugyanolyan morfológiát mutat, mint a szilikátos égitesteken. Szerkezete szögletes, mint a Barringer-kráteré (21°É, 217°ny, 14E0027, Moore et al. 2001)

**E**gyszerű kis kráter minden szilárd felszínű égitesten található, ezek a legáltalánosabban előforduló kráterek. Tál alakúak, kiemelt sáncuk és néha sima, mély fenekük van. Komplex szerkezet nem található bennük.

Az egyszerű kráterek mérete kicsi, a Földön (alapközettől függően) max. kb. 3–6 km átmérőjűek; max. 5 km átmérőjűek a Ganymedesen és a Marson, max. 15 km-esek a Holdon. A komplex kráterekbe történő átmenet kritikus mérete (118. ábra) a gravitációval fordítottan arányos, azaz minél kisebb a gravitáció egy égitesten, annál nagyobbak lehetnek ott az egyszerű kráterek: a legnagyobbat eddig az Amaltheán találták (90 km átmérő) (Melosh, Ivanov 1999).

Ellentétben a komplex kráterekkel, az egyszerű kráterek mélysége szélességükkel arányosan növekszik. A Holdon mélységük átmérőjüknek a 15–20%-a (mélység:átmérő arányuk 1:5). A hasonló gravitáció ellenére a Ganymedes kőzet-jégholdon mélységük kb. 30– (McKinnon et al. 1986) –60%-al (Schenk 1990) sekélyebb, mint a Holdon.

A „tál” fenekén általában felhalmozódik a sáncról lejtős tömegmozgással lecsuszamló anyag, ami az eredetileg tál alakú aljzatot síkká vagy dombosdombossá teheti. Ezek azonban nem alkotnak teraszoz-



112-113. Egy marsi (40.1°É, 13.6°ny Cydonia) és egy földi (Arizona) 1 km-es, (talán korábbi törésvonalak miatt) szögletes kráter (MOC2-681/LANDSAT, PIA03212)



kat, mint a komplex kráterek esetén. Különleges esetben – pl. Eros – ugyanitt por gyűlhet össze, azaz ún. portócsa jöhet létre vagy a kráter keletkezésekor létrejött olvadék (Spudis 1996 p. 195).

A legismertebb egyszerű földi kráter a kissé szögletes alakú arizonai Meteor- (Barringer-) kráter (113. ábra), amely 1,2 km átmérőjű. 20 ezer éve egy, kb. 40–60 m átmérőjű, 30 ezer tonnás vasmeteorit ütötte.

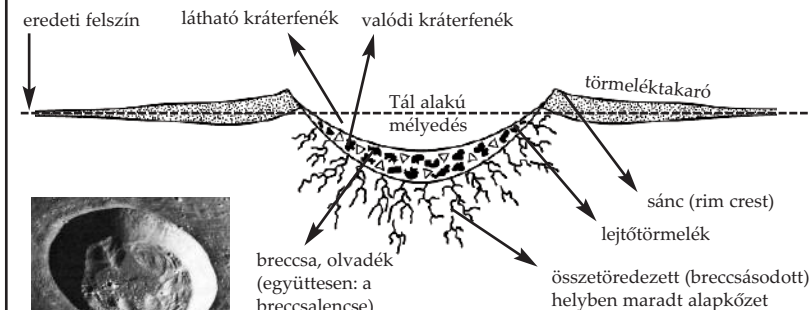
Az egyszerű kráterek közelítőleg megőrzik a tranzienstörés kráter tál alakját és méretét. A tranzienstörés kráternek a túl meredek falából törmelék omlik le a krátergödörbe (breccsalencsét alkotva). A végső kráter átmérője a tranzienstörés kráterénél legfeljebb 20%-al lehet nagyobb.

A lecsuszamlott üledék alatt lévő kilökött és visszahullott törmelék a megolvadt kőzetekkel együtt alkotja az (allochton, elmozdult) breccsalencsét (*breccia lens*), amely részben feltölti az eredeti mélyedést (*crater-fill unit*). Ez alatt található a kráter valódi alja, mely a tranzienstörés kráteréhez képest jelentősen nem módosult.

A kráter látható aljzata alatt található a parautochton (kissé elmozdult) kőzetek, amelyek inkább csak feltöredeztek, és nem olvadtak meg és nem is estek át sokmetamorfózison.

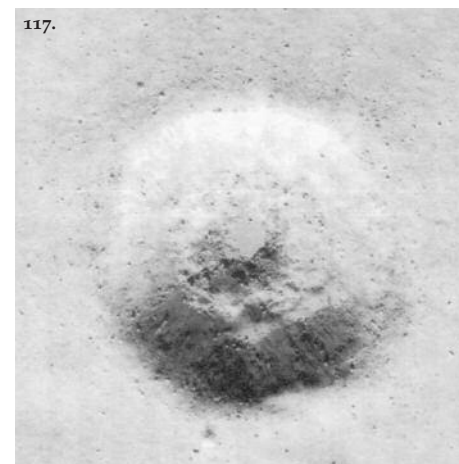
A kidobott anyag (*fallout ejecta*) távolabbra visszahullt része a kráter mélyedésén kívül alkot vékonyodó réteget: ez a törmelék-takaró (*ejecta blanket*). A törmelék-takaró, amelynek legvastagabb része maga a sánc, kb. 0,5–1 kráterátmérő távolságig húzódik, és általában (különösen friss krátereknél) a környezettől eltérő albedójú. A krátertől még távolabb, részben még a törmelékterítőben található a kidobott nagyobb törmelékdarabok létrehozta apró, másodlagos kráterek. Ezek eloszlása szabálytalan, néha láncokba vagy kisebb mezőkbe tömörülnek.

**Kisbolygók kráterei** A laza, néha szivacszerűen üreges belső szerkezetű kisbolygókon a nagyobb kráterek szokatlanul mélyek, mivel nem csak a robbanás-kor kirepült anyag hozza létre őket, hanem részben a felszín alatti üregek beszakadásával is mélyülnek (pl. a Mathildén). Mind a kis, mind a komplex, viszonylag friss kráterek belső lejtőjén jellemző a „csíkozottság”, mely a lejtős tömegmozgások nyoma (pl. Phoebe, Phobos, Eros).



114. Csuszamlások által létrehozott anyag a kráterfenéken (Hold)

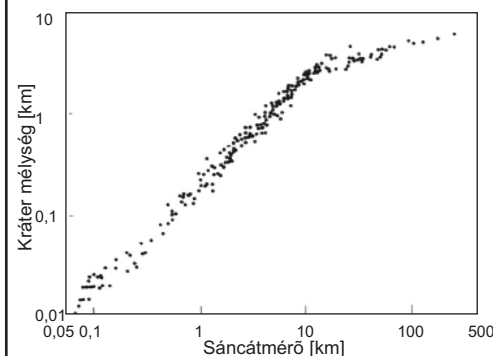
115. Egyszerű (kis) kráter metszete, egyes részeinek és benne található különféle kőzettípusoknak a feltüntetésével



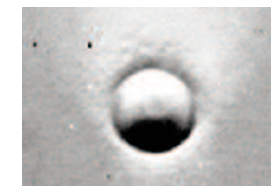
117. Balra: A holdi kráterek belsejében is találunk olyan alakzatot, amelyet a becsapódás hője miatt megolvadt majd megszilárdult kőzet-tóknét magyaráznak (Spudis 1996 p. 195).



116. Különleges kráterbeli üledékek Eros (fenn): portócsa (pord): A becsapódások során az égitest finoman „megrázkódik” és a finom por frakció lassan a kráterek mélyében összegyűlik, emellett elektrosztatikusan töltött por vándorlása is közreműködhet kialakulásukban.



118. Mélység:átmérő arány a friss holdi kráterek esetén. Az átmenet 15 km-nél következik be a komplex kráterek felé (Greeley 1985 p. 98)



119. Egyszerű kráter a Marson, világos szélzászlóval

# KÖZPONTI CSÚCSOS KOMPLEX KRÁTER

Central peak crater, Central peak basin,  
Central uplift, complex crater



A komplex kráterek közül a legközönsége-  
sebbek a központi csúcsos kráterek. A  
becsapódás után sáncuk (*rim*) összeomlása  
és aljzatuk (*floor*) kiemelkedése jelentősen átalakította őket. Az egyszerűből a komplex kráterbe történő átmenet kritikus mérete (118. ábra) a gravitációval fordítottan arányos. Alapvetően a kőzetanyag állóképessége és az adott égitest felszíni nehézségi gyorsulása határozza meg a komplex „összeomlás” elindulását (Melosh, Ivanov 1999). A központi csúcsos kráterek kialakulása tehát alapvetően a helyi gravitációtól függ, de egyéb helyi tényezők (kőzetanyag, a kéreg merevsége) is befolyásolják.

A komplex krátereknek kiemelt sáncuk belső lejtője meredek, néha teraszokkal. A sima kráterfenék megsejlyed, a középpontjuk viszont rugalmasan visszapattanva (*elastic rebound*) kiemelkedett (*central uplift*), a felszínen központi csúcsot (*central peak*) alkotva. Egnél több központi csúcs (azaz központi csúcskomplexum) esetén összetett összeomlott központi csúcsos (*collapsed central peak*) kráterről beszélhetünk (Rodionova 2000).

Több kutatás foglalkozik az egyszerű → komplex kráter átmenet (*central peak transition*) mérettartományának meghatározásával és ehhez kapcsolva a kráterek „eredeti” méretének (a transiens kráter átmérőjének) kiszámításával.

**Terminológia** A Holdon lévő kráterek központi csúcsát és krátere közelében található hegységek csúcsát a kráter nevével és egy görög betűvel jelöljük (kivéve: Mons Euler, ahol *hegy* nevet viselnek).

## A KOMPLEX KRÁTER RÉSZEI

**Lapos aljzat:** a kráter fenéke nem tál alakú, hanem közel sík. A kráter mélysége nem nő arányosan az átmérővel. 20–400 km átmérőnél általában 3–6 km mélységűek (Melosh 1997). Az aljzatot a becsapódás hőjétől átolvadtt (impakt) kőzetolvadék borítja (*melt sheet*). Ennek összetétele tehát az eredeti kőzetek keverékét adja. Mivel újrakristályosodott, a becsapódás pontos korának meghatározására alkalmas.

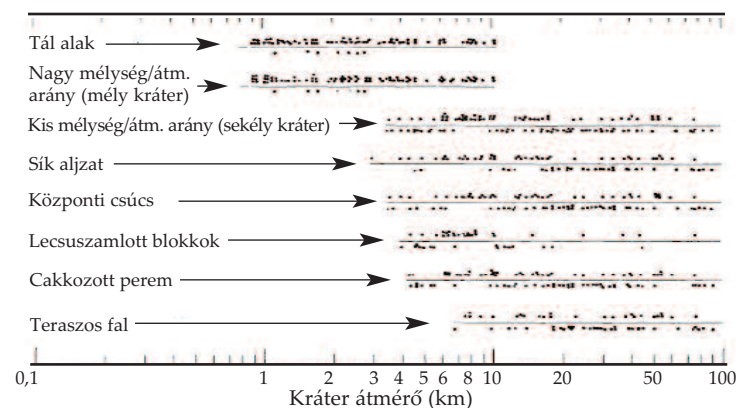
**Központi csúcs** (Központi kiemelkedés.) (*Structural uplift*) (pl. 120., 129b ábra). A becsapódásos szerkezetek központjában található kiemelt blokkok csoportja.

Nagyobb energiájú becsapódás esetén gyűrűvé „nyílik” (*peak ring*, Hartmann and Wood, 1971).

A központi csúcsot a sáncig a kráteraljzat **gyűrű alakú síksága** (*ring depression; circular trough; rim syncline; annular trough, annular basin*) veszi körbe, melyet a visszahulló anyag vagy olvadék tölt fel.

**A központi csúcs keletkezése** A központi kiemelkedést a robbanás lökéshulláma okozta nagy nyomás megszűnte után a rugalmasan visszapattanó (*elastic rebound*) aljzat hozza létre. A lökéshullám (*shock wave*) központjához közel az anyag visszafordíthatatlanul összetömörödik, de elegendő távolságban már reverzibilis változás játszódik le: az anyag így visszapattan eredeti helyzeténél magasabbra.

A rugalmas visszapattanás okozta központi csúcs megjelenése (*Central Peak transition*) a gravitációval és a kéreg rugalmasságával van kapcsolatban. A megfigyelések azt mutatják, hogy minél nagyobb gravitációjú az égitest, annál kisebb kráterátmérő mellett alakulhat ki a központi csúcs. Földi gravitáción már egy 2 km-es átmérőjű kráter esetén úgy „viselkedik” a felszín, mint a Holdon

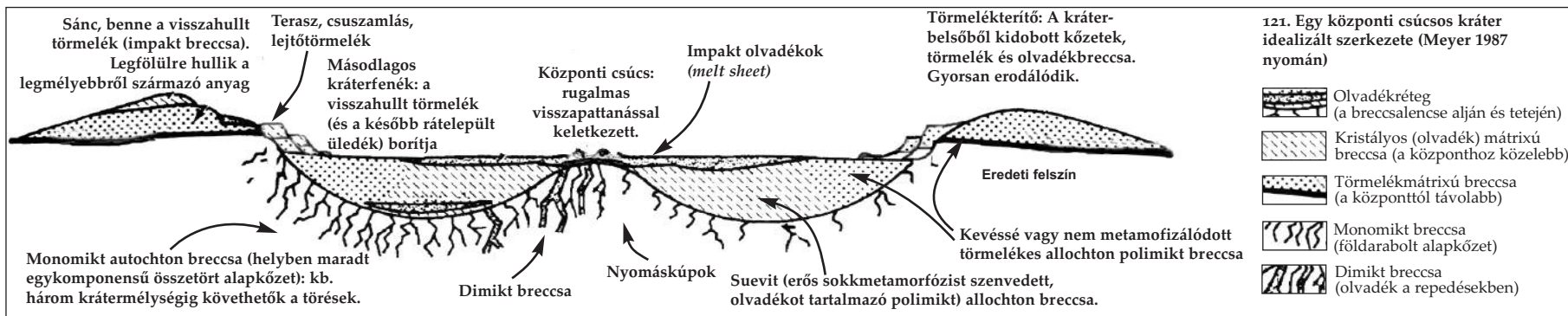
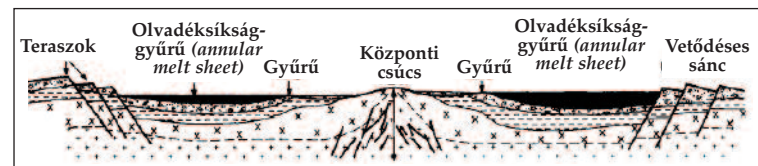


122. Különböző egyszerű és komplex kráterekre jellemző tulajdonságok összefüggése a krátermérettel a Marson, 230 friss kráter vizsgálata alapján. A morfológiai tulajdonságok jól láthatóan egy mérettartományban megváltoznak (egyszerű-komplex átmenet). Csak kis mértékben vagy egyáltalán nem módosítja a változás pontját a földtani alap is (az egyes vonalaktól felfelé: marsi síkságok, a vonalak alatt: marsi felföldek krátere) (Pike 1980 alapján). A 4–10 km-es átmeneti mérettartományban mind egyszerű, mind komplex kráterek előfordulnak.

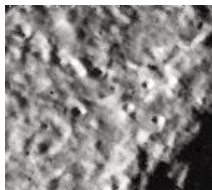
egy 15 km-es esetén. A kis méretű égitesteken az egészen nagy kráterekben sem alakul ki központi csúcs. Nem tisztázott még, hogy mi a pontos összefüggés a becsapódáskor felszabaduló energia, a gravitáció, a felszín kőzeteti, a létrejövő kráterméret és a központi csúcs megjelenése között.

A Hold esetében 10–20 km mélységből kerül

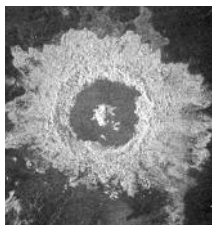
123. Lent: Központi gyűrűs kráter metszete. A központi csúcs részleges összeomlásával belső gyűrű keletkezhet (Reimold és Gibson, 1996)



120. Központi csúcsos kráter (7 km) belsejének részletes szerkezete (Mars, 31.4°é, 147.7°ny, MGS, MOC R17-02753)

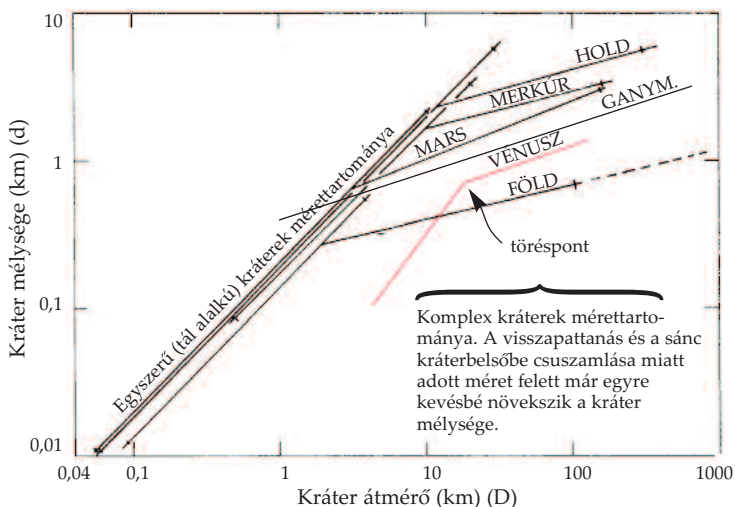


124. A csúcs árnyékából láthatóan kettős központi csúcsú kráter (Merkúr, Mariner-10, Mve 032.005)



125. Saskia kráter (37 km) (Vénusz, Magellan)

126. Kráterek mélység/átmérő (d/D) szerinti mérettartományai. Az ábra bal részén látható egyenesen találhatók az egyszerű, tál alakú kráterek. A görbe lefutása megváltozik, amint a kráter komplexsége válik: itt a mérettel kevésbé változik a kráter itt már nem tál alakú, hanem sík aljzatának mélysége. Az átmenet a két típusú görbe között a töréspont. Látható, hogy egy darabig ennél nagyobb méretben is található még egyszerű kráterek, azaz a töréspont környéki méretben mindkét típusú kráter előfordulhat. (Vénusz: Cochrane 2003 alapján, Ganymedes: Schenk, 1990; többi égitest: Pike 1980 alapján [az egyes görbékre hivatkozások a cikkekben]). A töréspontok (d/D görbe megváltozása): Föld: 1,9 km; Vénusz: 13 km; Mars: 3,1 km; Merkúr: 9-10 km; Hold: 12 km



perc alatt (Vredefort, Dél-Afrika (200 km átmérőjű kráternél): kb. 1/2 óra.). A maximális magasság elérése után a („tranzien”) központi kiemelkedés a gravitáció hatására részben visszaszüllyed és összeomlik, így eredeti (átmeneti) magasságánál alacsonyabb lesz.

A rétegiemelkedés végső **magassága** (h) (az eredetileg legmélyebben fekvő, most felszínre került réteg elmozdulása) a tapasztalatok alapján  $h = 0,06d^{1,1}$ , ahol d a kráter átmérője (pl. Gucsik 2003). Ugyanez megfeleltethető  $h=0,1D$ -nek, ahol D= a végső kráter átmérője (vagyis a kiemelkedés magassága kb. a kráterátmérő 10%-a). A gyors és nagy magasságra történő kiemelkedésben szerepe lehet a gyors rezgések által a sűrűldést csökkentő akusztikus fluidizációnak is (Melosh, Ivanov 1999).

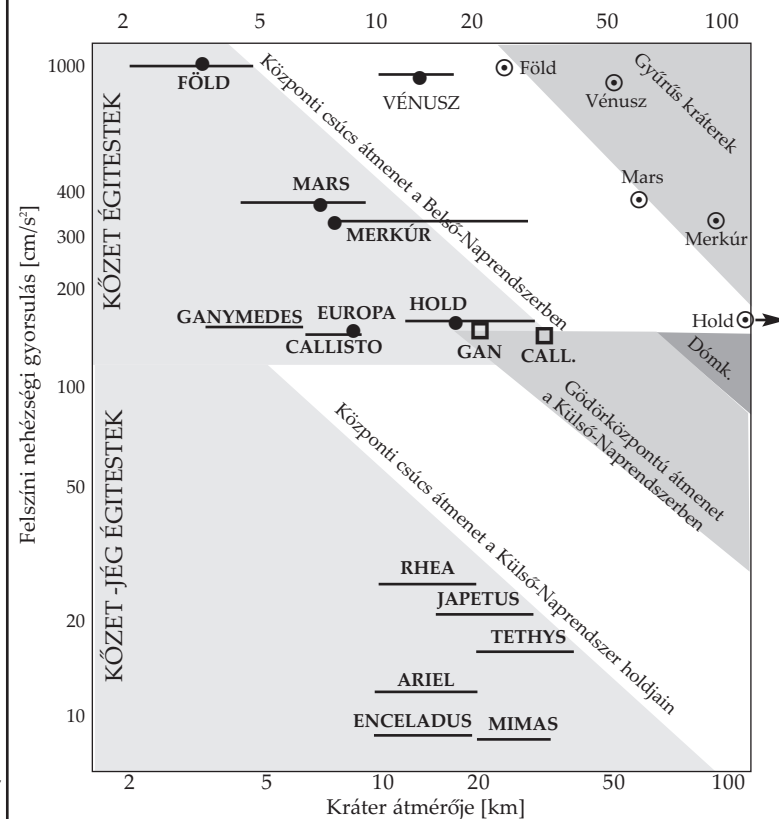
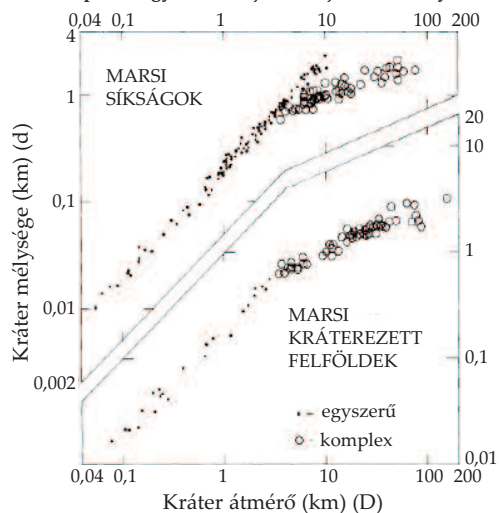
A csúcskomplexum (*peak complex*) **átmérője** a Föld-típusú bolygók esetén a kráter átmérőjének kb. 22%-a (Melosh 1997).

Ahogy a kráter mérete növekszik, a központi kiemelkedést felváltja egy bonyolultabb, gyűrűkből álló szerkezet (központi csúcsos kráter → központi csúcsos medence → csúcsos és gyűrűs medence).

**Csuszamlás.** A sáncanyag a kráter belseje felé omlása. Sokszor törések mentén történik és teraszokat hoz létre.

**Teraszos fal (terraced wall):** A kráterfal a tranzien kráterben túlságosan meredek, a nagyobb krátereknél pedig túl magas is, így instabil.

127. Egyszerű és komplex kráterek átmérője (D) és mélysége (d) különböző marsi területeken (Pike 1980 alapján). A krátertípusok egyik fontos jellemzője a d/D arány.



- központi csúcs megjelenése
- ◻ központi gödör megjelenése
- ⊙ központi gyűrűs kráterek kialakulása
- központi csúcs ill. komplex kráter megjelenése
- ◻ Egyszerű kráterek zónája
- ◻ Csúcsos kráterek zónája
- ◻ Gyűrűs / gödrös kráterek zónája
- ◻ Dömközpontú kráterek zónája

**Az átmenet határai**

- (központi csúcs megjelenése):  
 Föld, kristályos kőzet 4 km\* (5 km\*\*)  
 Föld, laza üledékes kőzet 2 km\* (3 km\*\*)  
 Vénusz 16\* km (8 km)  
 Merkúr 7 km\*\*  
 Mars 7 km\*\*  
 Europa 6 km\*\*  
 Hold 15 km\*\*  
 (\*Moore et al. 2001, \*\*Melosh, Ivanov 1999)

128. A kráterek központi csúcsának ill. központi gödrének megjelenése, ill. az egyszerű kráter és komplex kráter közötti átmenet hozzávetőleges „idealizált” határa a Belső-Naprendszer kőzet- és Külső-Naprendszer jeges felszínű égitestjein. A külső-naprendszerbeli adatok McKinnon, 1986 alapján, a belső-naprendszerbeli adatok Pike, 1980 alapján, a Vénusz adata Cochrane, 2003 alapján (további részletes hivatkozások az említett cikkekben) A gyűrűs kráterek adatait lásd a *Duplagyűrűs kráterek* fejezetben (23. oldal). A ferde feliratok sávja az *idealizált*, gravitációval inverzen arányos összefüggés sávját mutatják. Az átmenet az egyes égitesteken ettől a felszíni sajátosságok miatt eltérhet. A Földön bizonyos, hogy eltérő kőzetben eltérő méretnél jelenik meg a központi csúcs, ami a gravitáció mellett a *felszíni* kőzet tulajdonságainak fontosságára utal. A fenti ábra tehát csak az összefüggés egy részét mutathatja.

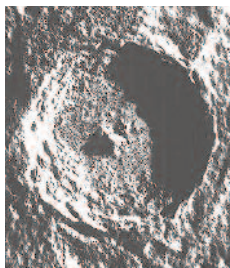
## Csúcsok és gyűrűk megjelenése

	Föld	Mars	Hold
$g$ [ $cm/s^2$ ]	978	372	160
$c$ . peak:	>1-3	>8 (-30)	>50
$p$ . ring:	20-25	100-300	100-300
$m$ . ring:	100 ?		300-600

$c$ . peak: közp. csúcs: min. átmérője [km]

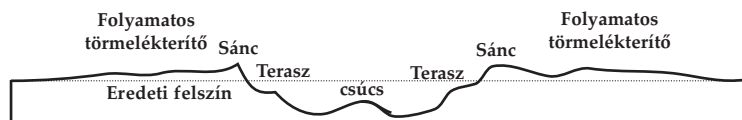
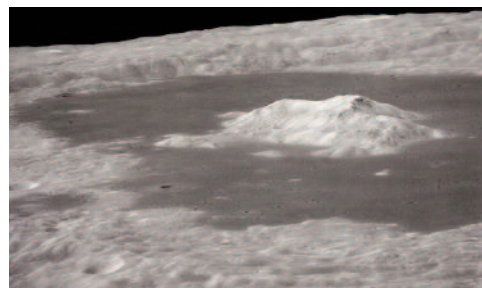
$p$ . ring: közp. gyűrű ( $peak$  ring) átmérője [km]

$m$ . ring: Többgyűrűs medence átmérője [km]



129. Hold, Tycho (85 km), 108 millió éves „fiatal” kráter (Lunar Orbiter IV, 125M)

129b. Hold, Ciolkovszkij (180 km), központi csúcsos, lávával részben elöntött kráter (Apollo-15 as15-91-12383)



130. Egy központi csúcsos kráter (16 km, 12.8° é 83.8° k, Mars) metszete háromszoros magassági torzítással. A kráter kb. 1 km mélységű, a központi csúcs kb. 300 m-re emelkedik a kráteraljzat fölé. (MGS MOLA) (Matias et al. 1999)

A stabilitás eléréseig az eredetileg meredek fal anyaga a gravitáció hatására lecsúszik. Ezen csuszamlások miatt a kráterfal sokszor lépcsős, azaz teraszos szerkezetű lesz. Ezzel a folyamattal a kráter átmérője (sáncgerinctől sáncgerincig) az eredeti, átmeneti kráter átmérőjének akár 60%-ával is nagyobbra nőhet (Melosh 1997).

**Törmeléktagaró** (lásd a törmeléktagaró fejezetben!)

**Jeges égitestek komplex kráterei** A központi csúcsos krátereknél nagyobb kráterek a csúcsgyűrűs kráterek ( $peak$  ring), majd a gyűrűs medencék, ahol a központi csúcs eltűnik.

A jég-kőzet holdakon a központi csúcs kategória után a kráter növekedésével a központi gödrös kráterek következnek (McKinnon et al. 1986).

A jég-kőzet holdakon a komplex kráterek kisebb átmérőnél jelennek meg, mint az azonos gravitációjú kőzetégitesteken, ami a jég szilikáttól eltérő tulajdonságaival magyarázható.

A Ganymedes és a Callisto kőzet-jég holdak komplex kráterei 60-70%-as sekélyebbek, mint a hasonló gravitációjú, de jeget nem tartalmazó anyagú Holdéi. Ez valószínűleg nem a későbbi relaxáció, hanem a kráteraljzat erőteljesebb visszapattanásának hatása (Schenk 1990). A jeges holdakon a sánc suvadás csak nagyobb méretnél indul meg, mint a megfelelő gravitációjú kőzetégitesteken. (Schenk 1990).

A még nagyobb medencék többgyűrűs szerkezetének kialakulásában a helyi földtani-szerkezeti viszonyoknak van szerepe inkább, mint a gravitációnak (Melosh 1997).

## SÍK ALJZATÚ KRÁTER

### FALLAL ÖVEZETT SÍKSÁG

Flat floor crater, valled plains, wallebene (*németül*), vallová rovina (*csehül*)

A sík aljzatú kráter (fallal övezett síkság) nagy, feltöltött vagy fel nem töltött, sík aljzatú kráter. *Fallal övezett síkság* elnevezésüket a holdmegfigyelő amatőr csillagászok használják. A fallal övezett síkság kategória esetleg megfeleltethető Barlow és Bradley (1990) marsi *flat floor crater* (*pristine*) osztályának.

Ez a komplex vagy összetett kráterek egyik csoportja, amely átmenetet képvisel a központi csúcsos komplex kráter és az egyszerű, tál alakú kráter között: már mutatják a komplex kráterekre jellemző sík aljzatot, de nincs központi csúcsuk. Jellemzőjük lehet a suvadások miatt csipkézett fal (*scalloped wall*).

A Holdon 20-40 km átmérő közti krátereken még nem látható teraszos fal és központi csúcs, de aljzatuk már sík, és sáncuk csipkézett. A Marson átmérőjük 50-70 km közötti.

A központi csúcs nélküli sík aljzat megjelenése a kéreg merevségére utalhat. A képlékenyebb kőzetekből álló felszínű égitesteken lehetséges, hogy a komplex kráterekben sokáig azért nem jelenik meg a központi csúcs, mert az anyag nem elég merev ahhoz, hogy visszapattanjon.

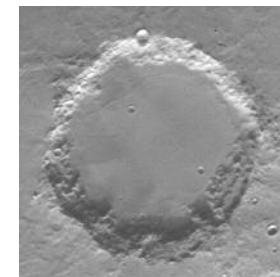
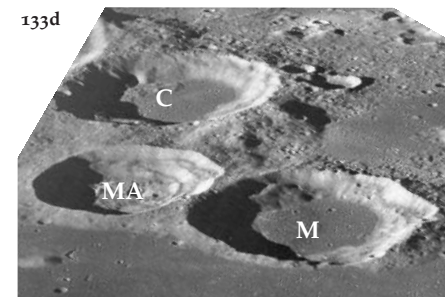
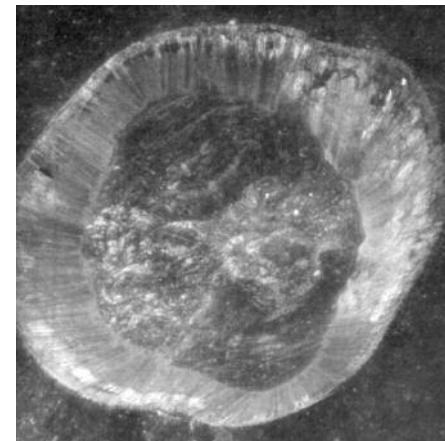
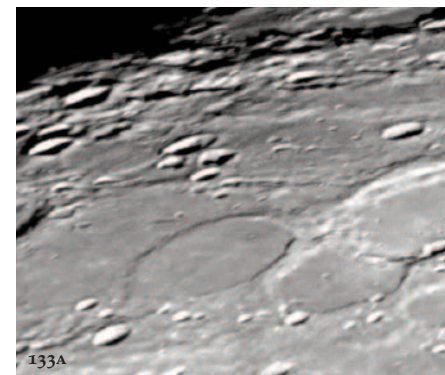
Az ilyen kráterek megkülönböztetendők azon egyszerű vagy komplex kráterektől, melyet később



132. A 17 km átmérőjű, lapos aljzatú Bessel kráter, aljzatán csuszamlásnyomokkal és kisebb kráterekkel (Bessel kráter, Mare Serenitatis, Hold, Apollo, AS15-9328)

töltött fel üledék (láva, por stb.) és így tűnt el központi csúcsuk és/vagy alakult ki sík aljzatuk.

A Wild 2 üstökösmaçon észlelt sík aljzatú kráterekről lásd a 28. oldalt!



131. Sík aljzatú kráter (Mars)



133a és 133b: Sík aljzatú kráterek a Holdon. Fenn: a Wargentín kráter (84 km, 50° d, 60° ny) belsejét láva töltötte fel. Hasonlóan lávafeltöltés miatt sík a Plato kráter aljzata is (lenn, távcsöves felvétel)

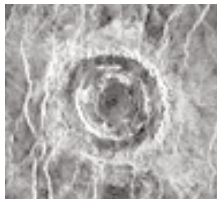
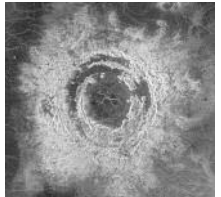
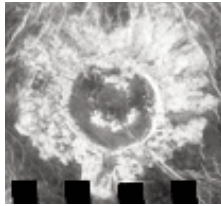
133c: A sík aljzatú Dawes kráter a Holdon

133d: A sík aljzatú kráterek a Holdon  
C: Colombo A  
MA: Magelhaens A  
M: Magelhaens  
Apollo-8 felvétel (as08-13-2225)



## KÖZPONTI GYŰRŰS KRÁTER/MEDENCE ÉS PEREMI GYŰRŰS KRÁTER

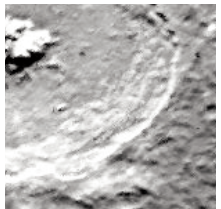
Central ring crater, two-ring basin, doubling ring crater / basin, central ring basin, peak ring crater, complex crater with internal ring, ring of mountains; peripheral peak ring crater; duplagyűrűs kráter, központi gyűrűs kráter (medence)



134-135-136. Központi gyűrűs kráterek a Vénuszon. Felülről lefelé: Wheatley (74,8 km átm.; 16,62°é, 268,03°k).

Mona Lisa (79 km átm.; 25,61°é, 25,15°k).

Barrymore (57 km átm.;



137. A Bach kráter (kb. 200 km) (Merkúr, Mariner-10, Mve034.226)

Lásd még: központi csúcsos, központi gödrös kráter

**A központi csúcsos és gyűrűs** (*peak-plus-ring* vagy *transitional*) krátereknél még megvan a központi csúcs, de már látható egy ezt körülvevő kiemelt, a sáncon belüli gyűrű is. A gyűrű és a központi csúcs között – az adott krátertől függően – medencegyűrű /árokgyűrű /olvadási síksággűrű (*annular basin, annular trough, annular melt sheet*) található (pl. Montagnais kráter, Föld, 58. ábra). Az ennél nagyobb alakzatoknál a csúcs eltűnik, és csak a gyűrű marad meg, mely így – a sánccal együtt – dupla gyűrűt képez.

A **központi gyűrűs** vagy más szóval **duplagyűrűs krátereket** egy külső, törmelékekből álló sáncgyűrű és egy belső, a kráter sík aljzatán található, csúcsokból és gerincekből álló gyűrű (*peak ring*) (Hartmann and Wood, 1971) jellemzi. A belső gyűrű általában nem folyamatos, inkább gyűrű alakban elhelyezkedő csúcsok láncolata. Olyan szakaszai is előfordulnak, amelyek folyamatos gerincként tűnnek (Bach, Merkúr, 137. ábra), de legtöbbször a gyűrű valahol megszakad. Csúcsokból állónak tűnik azonban egyes nagyobb, erodált, lávával elborított kráterek sánca, azaz kráterpereme is, így lehet, hogy eredetileg, kialakulása után a csúcs-gyűrű a sánchoz hasonlóan folytonos volt.

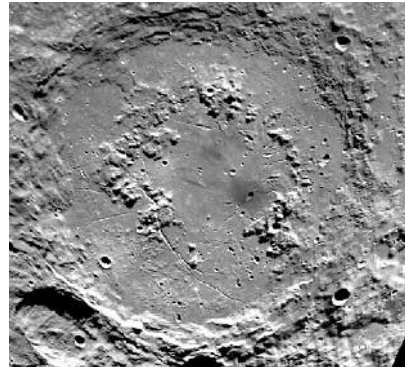
A központi gyűrűs kráterek átmeneti formák a központi csúcsos kráterek és a körkörös (többgyűrűs) medencék között a kőzet-égitesteken. A jég-kőzet holdakon vagy jeges égitesteken nem találtak csúcs-gyűrűs krátert; ott a központi csúcsos kráterek után központi gödrös kráterek következnek, ami, ha úgy vesszük, szintén egy gyűrű megjelenése egy központi alakzat körül. Gyűrűk a központi csúcs összeomlásával vagy tektonikus módon jöhetnek létre.

A központi csúcs és a központi gyűrű közti átmenet megfigyelés alapján becsült értékei különböző égitesteken:

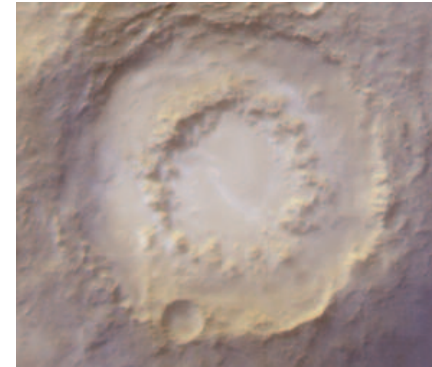
Égitest	g (m/s <sup>2</sup> )	átmenet határa
Föld	9,78	20 km (Melosh 1997)
Vénusz	8,87	40 km (Strom 2003)
Mars	3,72	45 km (Melosh 1997)
Merkúr	2,78	75 (Melosh 1997) 200–750 km (Strom 2003)
Hold	1,56	140 km (Melosh 1997)

Minél nagyobb a gravitáció, annál kisebb átmérőjű kráternél már jelentkezik a központi gyűrű. Nagyon kis gravitációjú égitesteken ezért a kritikus határ nagyobb lenne az égitest átmérőjénél is, ezért itt nem jöhet létre.

Kérdés, hogy a gyűrűk kialakulása csak a gravitáció és kráterméret függvénye (a klasszikus magyarázat szerint),



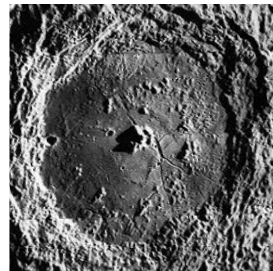
138. Schrödinger – 320 km átmérőjű központi gyűrűs medence a Holdon (Lunar Orbiter IV)



139. Lowell kráter, 201 km átm, Mars, Okt. 17, 2000



140. Barton kráter (50 km) (Vénusz, Magellan radar)



142. Compton kráter, Hold (162 km átm). Ez a kráter átmeneti a központi csúcsos és a központi gyűrűs kráterek között (central peak basin [Hartmann 1971]) A kráter aljzatát láva repedések húzódnak. (Lunar Orbiter LO5-M181)

vagy a bolygó kérgének vastagsága (a Mohorovicic-határ mélysége) is döntő szerepet játszik (McKinnon et al. 2001)

Föld-típusú bolygókon a központi gyűrű átmérője rendszerint kb. fele a kráter átmérőnek (Melosh 1997), de a központi gyűrű átmérője a kráterátmérő növekedésével valószínűleg fokozatosan változhat.

A Földön pl. az afrikai Csádban található Aorounga-kráter és a Chicxulub-kráter (64. ábra) központi gyűrűs kráterek. Mégis, talán a legismertebb földi körkörös medence-kráter a kanadai Clearwater-tavak közül a nyugati (141. ábra). Ilyenek lehetnek még (mértékük sorrendjében):



145. A Strindberg (átm: 165 km) (lenn) és az Ahmad Baba (115 km, fent) gyűrűs kráterek (Merkúr) (Mariner-10, FDS 150).

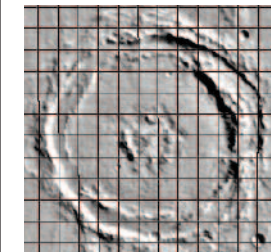
Manicouagan (Kanada, 100 km), Popigai (Oroszország, 100 km), Vredfort (Dél-Afrika >200 km), Sudbury (Kanada, >200 km), Chicxulub (Mexikó, >180 km). Újabbán *peak ring* kráter néven ide sorolják a mindössze kb. 20 km átmérőjű, kanadai Haughton krátert is (Plescia, 2005).

„Jégtöréses” gyűrűs kráterek Az Európa nagyobb krátereinak sajátos többgyűrűs szerkezete van, amelynek kialakulása a vékony jégkéreggel lehet kapcsolatban.

### PEREMI GYŰRŰS, TERASZGYŰRŰS KRÁTER

*Peripheral Peak Ring craters (PPR) (143. ábra)*

Az eddig tárgyaltaktól teljesen eltérő módon keletkezett többgyűrűs krátertípus, melyben a gyűrű szerkezeti nem a központi csúcshoz, hanem a kráterfalhoz kapcsolódik. A Marson figyeltek meg ilyen krátereket, melyeknek a külső gyűrűje a kráterlánchoz egészen közel helyezkedett el. Itt a perem és a gyűrű távolságára a központtól 1:1,3. Az ilyen gyűrű képződését a kráterfal összeomlásával, gyűrűszerű suvadással magyarázzák (Nycz et al., 2005). Az ilyen **teraszgyűrűs kráter** a kráter belső peremének nagyobb csuszamlásával kialakult teraszt tartalmaz, mely a kráter belső fala mentén hosszan és összefüggő formában fut körbe.



143. Mars: peremi gyűrűs kráter, 58 km átm., SAI 1078 (Viking)



141. A tóval kitöltött Ny-Clearwater kráter, Québec, Kanada. Átmérője 36 km. Kora: 290 mill. év (STS099-728-7)



144. Nem PPR, de hasonló: a marsi Hrad-völgy környéki duplagyűrűs kráterek (1 km átm.) az elméletek szerint nem becsapódásos, hanem robbanásos-beomlásos eredetűek (Morris 2005) (MGS MOC E2300531)

## TÖBBGYŰRŰS (KÖRKÖRÖS) MEDENCE, ŐRIÁSKRÁTER

Multiring(ed) basin, impact basin, multiringed structure

Lásd még: kétgyűrűs kráterek, Valhalla típusú medencék, rom- (fantom, topográfiai) medencék, antipodális hatás

146. A 900 km átmérőjű Orientale-medence (Hold) körkörös szerkezete, négy hegykoszorújával. A negyedik gyűrű, a Cordillera-hegység valószínűleg maga a krátersánc. 1962-ben Kuiper és akkori diákja, W. K. Hartmann „fedezték fel”, a holdperemről készített, és egy glóbuszra vetített fényképek segítségével (Hartmann, 2003 p81)



**A** többgyűrűs (körkörös) medencék nagy méretű becsapódások által létrehozott medencék. A külső sánc felül még legalább két belső gyűrűjük is van.

Törmelékterítőjük rétegtani szintként is szolgál, becsapódásuk a kráteren túl is befolyásolta az égitest kérgét (pl. repedés, utólagos vulkáni aktivitás).

Nagy, több tíz–több száz km átmérőjű testek becsapódásai hozták létre többségében a nagy bombázás idejében, 3,9 milliárd évvel ezelőtt vagy korábban, amikor ilyen nagy égitestek még bőségesebben voltak jelen.

A gyűrűk a becsapódás nyomán létrejött szerkezeti kiegyenlítődés nyomai. Létrejöttüket magyarázzák a becsapódás hőjétől képlékenyebb olvadt felszínen cunamiszerű hullámok keletkezésével (Baldwin, 1972, 1974) és a becsapódás nyomása utáni rugalmas

viisszapattanás majd beszakadás révén is (Head, 1974; Howard et al, 1974). A többgyűrűs medencék több kiemelt koncentrikus gyűrűből és köztük tektonikusan feltördelt, lezökkent blokkokból és árkokból (*ring graben*) álló szerkezetek. A gyűrűk átmérőinek egymáshoz viszonyított aránya a tapasztalatok szerint  $\sqrt{2}$  körüli (Melosh 1997).

A tektonikus törések később az emelkedő magmának biztosíthatnak utat. A keletkezést a cunamihoz hasonló hullámokkal magyarázó elmélet alapján a gyűrűk alapvetően felszíni, a tektonikus magyarázat szerint viszont mély gyökerű szerkezetek. Ha hullámokként keletkeztek, a gyűrűk a krátersáncon túl található, míg ha tektonikus úton, a gyűrűk a sáncon belül helyezkednek el. Lehet, hogy a két jelenség együtt hozza létre a különféle gyűrűket.

Egy, a Valhalla-típusú többgyűrűs medence létrejöttét magyarázó elmélet szerint a gyűrűk úgy képződnek, hogy a becsapódás központjából távozó anyag helyére vékony sávban új anyag kerül az azt körülvevő területről; és ez az anyagmozgás hozza létre a gyűrűket a felszínen.

**Befolyásoló tényezők** A gyűrűk nagysága (átmérője) függ az az égitest kőzetburkának vastagságától és az asztenoszféra viszkozitásától, így többek között attól is függ, hogy a medence az égitestfejlődés során mikor keletkezett. Vékony litoszféra és képlékenyebb asztenoszféra alacsonyabb és sűrűbben elhelyezkedő „gyűrűhullámot vetett” (lásd: Valhalla), a vastagabb litoszféra viszont kevesebb és alacsonyabb gyűrűket (Gilgamesh) eredményez (pl. Valhalla-, Cordillera-típusok). A mára már jórészt kihűlt, vastag és rideg litoszférájú égitesteken (Hold, Callisto) egy korabelivel azonos nagyságú mai becsapódás sem hozna létre gyűrűket.

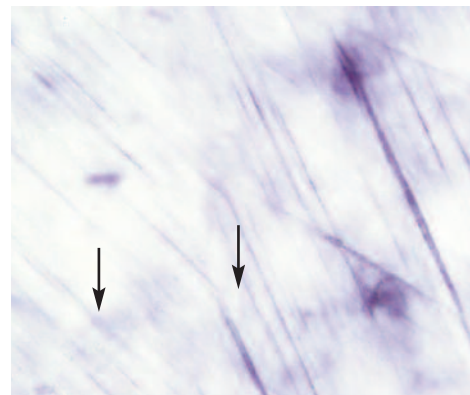
### A hordozó égitest és a medence mérete

A becsapódási szerkezetek létrejöttük fontos paraméter az égitesten mérhető felszíni nehézségi gyorsulás. A Föld-típusú bolygók közül a Földön és a Vénuszon (ahol a Mead, a Klenova és a Cleopatra ilyen körkörös

kráterek) a legnagyobb a felszíni  $g$  érték. A marsi ennek harmada, a merkúri negyede, a holdi hatoda. Ezzel az értékkel fordított arányban növekszik a becsapódó test által létrehozott törmelékalkazat mérete az égitesteken.

A körkörös medencék a Földön (elméleti számítások alapján) 100, a Holdon (tapasztalati úton) 400–600 km-esnél nagyobb szerkezetek.

A többgyűrűs medencék megjelenése nem olyan szorosan áll fordítottan arányban a gravitációval, mint pl. a központi csúcs megjelenése adott átmérőnél. Valószínűleg a kőzetanyag rheológiai jellemzőinek nagy a

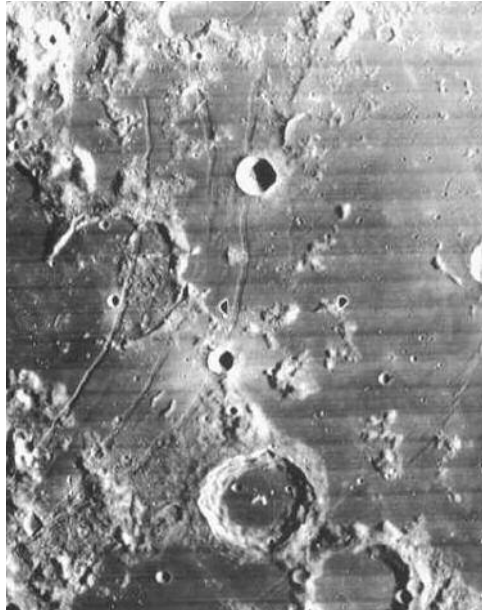


147. A Nectaris-medence. Az Orientale-medence körkörös szerkezetének fölismerése azért volt jelentős, mert a Hold látható oldalán nem maradt fenn ilyen alakzat: minden körkörös medencét lávasíkságok töltöttek ki. Egyedül a Nectaris-medence körül látszik kettős hegykoszorú (nyilakkal jelölve) (Hold).



148. A körkörös szerkezet egy lávasíksággal kitöltött medence esetén is a felszínre vetülhet. A lávasíkságon húzódo redőgerincek körkörös íveket alkothatnak a síkság felszínén, mint a képen a Mare Serenitatis sötét gyűrűje és redőgerincei esetében látható (Hold)

149. A körkörös szerkezet nyoma a felszínen nem csak redőgerincekként jelenhet meg: a magma-test kihűlésekor annak térfogata zsugorodik, az ennek nyomán létrejövő húzási feszültségek körkörös hasadékokat hoztak létre több mare peremvidékén. Ilyen a Holdon a Serenitatis déli peremén futó hasadékok rendszere a Sulpicius Gallus kráter közelében, vagy a Campanus-Hippalus hasadékok (trilles) a Mare Humorum (kép) peremén.



szerepe, függ a tranziens kráter összeomlása idején a felszín alatti réteg képlékenyebbé válásától (Melosh, Ivanov 1999). A körkörös medencék kialakulásának magyarázata távolról sem megoldott kérdés.

**Típuspélda:** A legrégebben fölfedezett körkörös medence a holdi Orientale-medence (146. ábra) (Hartmann, Kuiper 1962), melynek négy hegységövezete veszi körül a Mare Orientale központi részét (pl. Rook, ill. Cordillera-hegység, kora 3,8 milliárd év, átm: 900 km). A holdi Orientale azért is típusalakzat, mert jól megfigyelhetők a körkörös gyűrűk.

A Merkúron a Caloris-medence alkot többszörös gyűrűs medencét. A medence 1300 km átmérőjű, 2000 m magas többszörös gyűrű veszi körül. A kb 4 milliárd éves becsapódás olyan nagy energiájú volt, hogy a lökéshullámok a bolygó átellenes pontján fókuszálódtak, és ott feltördelték a felszínt (→ kaotikus terület). A Mariner-10 látogatásai idején hasonlóan nyugati peremi helyet foglalt el a megfigyelhető Merkúr felszínen, mint a Hold Földről látható oldalán az Orientale. Ezért a fényviszonyok, a körkörös szerkezet elhelyezkedése, a kidobott takaró, amely sugárirányban futó gerincekkel és völgyekkel tagolt, s másodlagos kárterek láncába megy át, mind hasonló arculatot mutatott, mint az Orientale a Holdon.

Megtaláljuk a körkörös medencéket a jeges kőzetekkel borított jupiterholdakon is. A Ganymedesen a Gilgamesh (151. ábra), az Európán a Tyre és a Callanish, a Callistón az Asgard és a Valhalla (156. ábra) a legnagyobb körkörös szerkezetek. Utóbbi fedezték fel először, és ez adta csoportjának típuspéldáját is (Passey, Shoemaker 1982).

A jeges holdak felszínén a körkörös medencék főbb jellemző vonásai: a gyűrűk, a kidobott takaró, a sugaras hegy-völgy rendszer, a belső síkság mind megtalálható. De érdemes kiemelni azt, hogy a körkörös szerkezet nem mindig az átlagos térszínből kiemelkedő hegyek formájában marad fenn, mert pl. a Jupiter holdjain a medencék hegyeinak domborzata elsimult (relaxálódott) (lásd: *palimpszeszt*). E jeges holdakon a becsapódás által tördelt repedéseken keresztül feltörő frissebb anyag más albedójú. Az elkülönülő gyűrűk nem domborzatuk,

hanem eltérő fényvisszaverőképességük alapján azonosíthatók. Ezért is kapták ezek a külső naprendszerbeli körkörös alakzatok a →palimpszeszt elnevezést, ami a középkori kódexekből kikapart, de még sejtető szövegmaradványokra utal. A Valhalla típusú körkörös szerkezetek domborzata tehát olyan, hogy a kialakuláskori feszültségeket már kiegyenlítette a relaxáció, és csak az (eltérő albedójúként megjelenő) anyagkülönbség teszi észlelhetővé a gyűrűket.

A Ganymedesen a Gilgamesh (151. ábra) a körkörös medencék egyedüli példája. Ez öt gyűrűből áll, melyből a harmadik egyben a kráttersánc lehet. Ez kb. 575 km átmérőjű, kétszer akkora, mint az utána következő legnagyobb újabb (*post-bright terrain*) ganymedesi kráter.

A Gilgamesh központjában sima felszínű dóm található. E körül erősen feltördelt gyűrűhegység helyezkedik el.

A Gilgamesh medence mélysége 1–3 km.

Hatalmas palimpszeszt uralja a Ganymedes egyik oldalát, melyet Galileo Galileiről neveztek el. A Galileo-palimpszeszt középpontjában lehetett az a mélyedés, amelyhez hasonló a Gilgameshben találunk. A medence központi részén található kisebb sík terület pl. a Buto-fakula esetében is fennmaradt a Ganymedesen. Hasonló alakzatot találhatunk az Europa vékonyabb, jeges kérgén a kisebb átmérőjű Callanish-makula esetében is.

#### **Valhalla-típusú többgyűrűs palimpszeszt-medence** (*Valhalla Class Multiring Basin*)

A Valhalla-típusú körkörös medencék típuspéldája természetesen a kb. 3800 km átmérőjű Valhalla gyűrűrendszer a Callistón (156. ábra). Húsznál is több koncentrikus gyűrűből áll, valamint a legkülső törések gyűrűjéből (*outward facing scarps*), amelyek extenziós eredetűek lehetnek. A Ganymedesen koruk a világos területek koránál korábbra tehető.

Példák: Valhalla, Asgard (Callisto), Galileo-Marius-régió, Nicholson-régió, Perrine-régió, K-Marius-régió (Ganymedes) (Schenk 1996b)

Ezek keletkezésekor a kőzetburok még vékony és gyenge volt, ezért a becsapódás

150. A Marson a körkörös medencék legszebb képviselője az Argyre. A központi síkságot többszörös, tagolt gyűrűből álló hegység fogja körül. Érdekes, hogy az Argyrénél nagyobb kiterjedésű Hellas medence körül már nem található meg a körkörös szerkezet, s ez hiányzik az Isidis körül is.



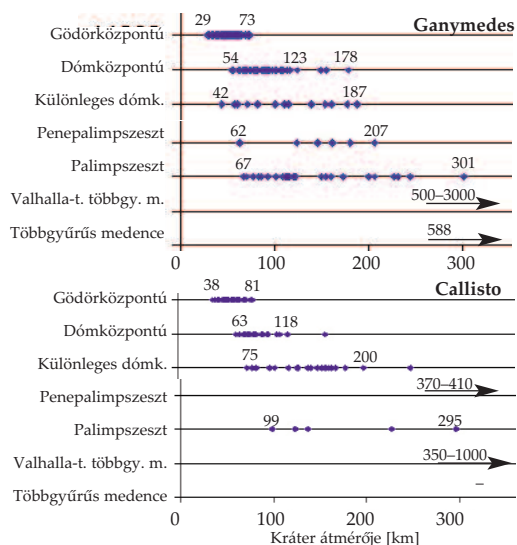
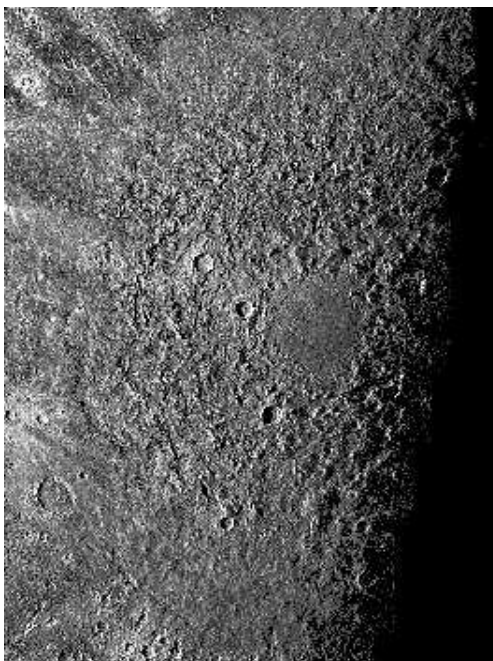
hatása kiterjedtebb volt, mint a sima többgyűrűs medencék esetén; hatása az egész égitesten érezhető lehetett.

**Terminológia – Kráter/medence:** általában a 100–300 km-nél kisebb becsapódásos szerkezeteket még kráternek, az ennél nagyobbakat már medencének nevezzük. Mindkét szerkezet azonos módon keletkezett. Előbbieknek nincs földrajzi utóneve, utóbbiaké általában Planitia vagy ha lávával van feltöltve, akkor Mare.

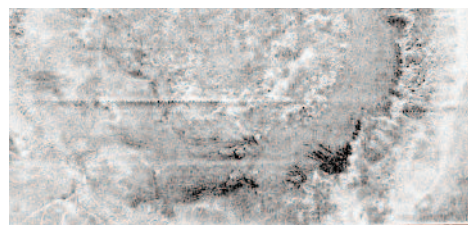
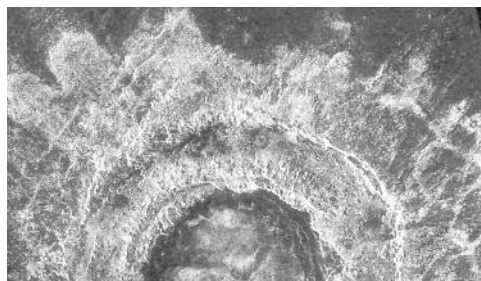
– **Medence/mare:** A becsapódásos medence és a mare nem összekeverendő fogalmak. Míg a medence a becsapódás mélyedését, addig a mare a kitöltött lávatarakó felszínét jelöli. A Holdon a Föld felé forduló oldal *medencéit* utólag láva töltötte fel. Így pl. az Imbrium-medence elnevezés a lávatenger nélküli (eredeti) becsapódásos szerkezetre utal, míg a Mare Imbrium (Esők tengere) a lávaeltöltés felszínét jelenti.

– **Montes/hegység:** Egyes medencék sánca(i) általában hagyományosan ilyen elnevezéssel szerepelnek a térképeken.

151. A Gilgamesh a Ganymedesen. Voyager-2 felvétel



152-153. A Ganymedes (fent) és a Callisto (lent) krátereinek típusai méret függvényében Schenk (1996a, 1996b) alapján. Az egyszerű, központi csúcsos és sík aljzatú kráterek nincsenek feltüntetve.



Többgyűrűs szerkezetek radarképei

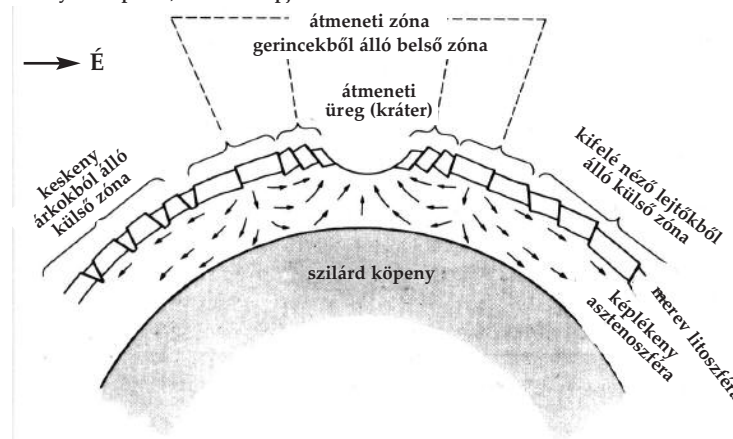
154. Fent: Meitner kráter (150 km) (Vénusz, Magellan radar, Greeley 1985 p. 139)

155. Lent: A Circus Maximus (440 km) az első Titánon azonosított becsapódásos szerkezet (Cassini, PIA07365-516-290)



156. Fent: a 4000 km átmérőjű Valhalla a Callistón (Voyager)

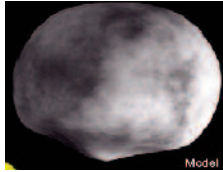
157. Lent: a Valhalla feltételezett metszete keletkezése idején (Greeley 1985. p. 218, Melosh alapján)



# ÓRIÁS BECSAPÓDÁS HATÁSAI

Égitest-széttrés

Big Whack, Post-accretionary vaporization



158. A Vesta és krátere – fényességmérések alapján készített számítógépes modell

## EGY KRÁTER MAXIMÁLIS MÉRETE

Egy égitestet érő becsapódás ütötte kráter átmérője értelemszerűen legfeljebb akkora lehet, mint amekkora az égitest átmérője. Ennél nagyobb becsapódás már széttöri a célgitestet, bár egyes esetekben ennél kisebb kráter keletkezése is végzetes lehet. A legnagyobb komplex kráter az 530 km átmérőjű Vesta kisbolygón (158. ábra) található 460 km átmérőjű kráter, melynek központi csúcsa a Vesta déli pólusa közelében található (Thomas et al. 1997).

Az égitestsugarához viszonyított legnagyobb kráterek a Naprendszer ismert égitestjein:

	d [km] kráter	D [km] égitest	d/D átm.%
Névtelen (Vesta)	460	530	87
Déli-sark–Aitken (Hold)	2500	3480	70
Odysseus (Tethys)	400	1048	38
Herschel (Mimas)	140	400	34
Tirawa (Rhea)	350	1528	25
Gertrude (Titania)	275	1578	17

## TÖRÉSEK (repedések)

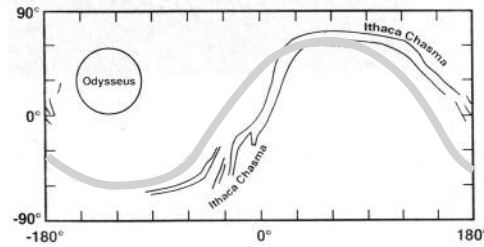
A bolygóttest tömegéhez és mechanikai szilárdságához viszonyított nagy becsapódás esetén keletkezhetnek a kráterből kiinduló (pl. a Phoboson a Stickney krátertől az egész testen végigfutó) vagy a kráter-középpontú gömbi főkör mentén futó repedések az égitestben. Egyes elméletek szerint erre példa lehet az Ithaca-chasma (Tethys), mely azonban kissé odébb található, mint az Odysseus középpontú gömbi főkör. Az Odysseus–Ithaca együttes példája lehet egy gyűrűs medence maximális méretére is (a gyűrű gömbi főkörön fut) (Schenk 1990).

Hasonló repedések láthatók a Mimason is (161. ábra) (Moore et al. 2004).

## A CÉLTEST TELJES SZÉTTÖRÉSE

Nagy energiájú becsapódás esetén előfordulhat, hogy a célttest teljesen szétdarabolódik. Így jöhetnek létre a kisbolygó-családok. A hasonló pályák és a spektrális valamint a tengelyforgási tulajdonságok alapján azonosíthatóan egy-egy ősi szülőtest széttrésével jöttek létre.

A Jupiter körül több olyan holdcsoport van, amelyeket hasonló pályáik alapján egy-egy test szétdarabolódásából eredeztetnek.



159. Az Odysseus kráter (160. ábra) és az Ithaca-chasma a Tethysen. Szürkével az Odysseus egy gömbi főköre (Moore et al. 2004 ábrája nyomán). Az Odysseus–Ithaca együttesen akár sajátos, többgyűrűs medencének is tekinthető (Schenk 1990)

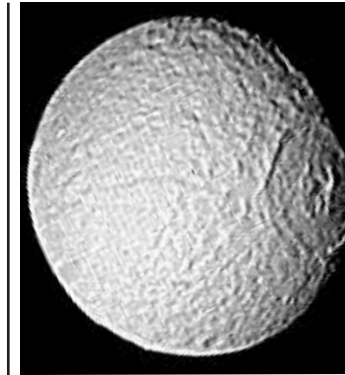
Ha bolygó körül keringő hold törik szét, akkor előfordulhat, hogy anyagának egy része a bolygó körül gyűrűt alkot. A gyűrű Roche-határon kívüli részéből később újra összeállhat egy test. A Mírándán látható nagy ovoidok magyarázatára vetették fel azt a forgatókönyvet, amikor is a fenti módon létrejött gyűrű nagyobb darabjainak visszacsapódásai és lesüllyedései hozhatták létre az ovoidoknak nevezett felszíni nyomokat.

Ütközés darabolhatott fel egy testet a Triton hold közelében, mert a Tritonnak csak az egyik oldalán van sok kicsi kráter. A felszínnek karkülönbségével nem magyarázható ez a jelentős eltérés a krátereloszlásban, mert semmiféle felszín-újra-képződési esemény (pl. vulkanizmus) nyoma nem látszik. Itt tehát a célttest szétdarabolódása miatt látjuk a célttest krátereit, de egy másik, az ütközés idején a közelben elhaladó test (Triton) felszínén lévő becsapódásos kráterek elhelyezkedéséből következtethetünk az eseményre (Schenk, lásd: Illés 1992).

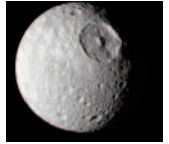
## KÉREGLEFRÖCCSENTÉS ÜTKÖZÉS KÖVETKEZTÉBEN

### – Nagy vasmag

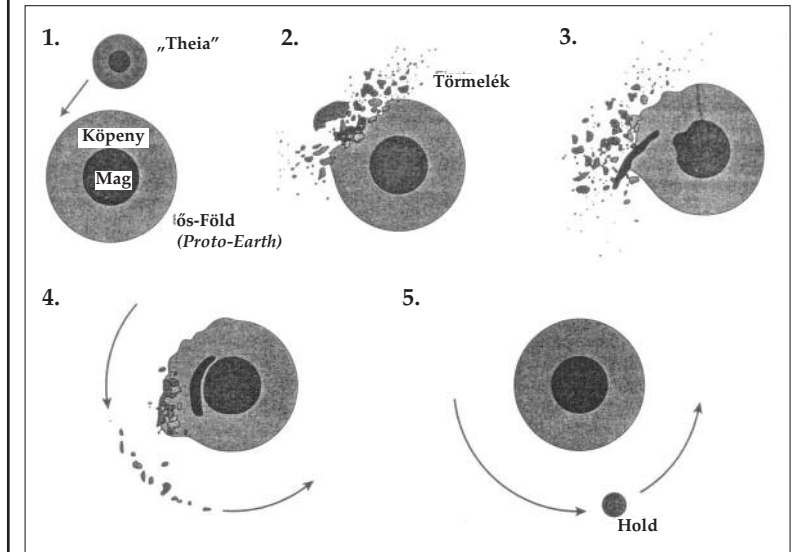
Nincs kráternyom, ha egy nagy, nem centrális ütközés lefröccsenti a célttest külső részét. A becsapódás hőjétől megolvadt köreg – a becsapódó test anyagával együtt – a célttest körüli, (ha hold volt a célttest, a bolygója körüli) Kepler-pályára áll, vagyis gyűrűt hoz létre. Ha a célttest túl közel volt a Naphoz az esemény idején, akkor a gőz halmazállapotba került anyagot a napszél kifújhatta, és az esemény létét abból rekonstruálhatjuk, hogy a célttest magja túl nagy ahhoz képest, mint amit kondritos összetételű anyagból differenciálódással létrejött égitest esetében várnánk. Ilyen módon („Post-accretionary vaporization”) magyarázzák a Merkúr nagy magjának a létrejöttét.



160-161-162. Óriás becsapódások nyomai. Jobbra: a kb. 400 km átmérőjű Mimas 140 km átmérőjű Herschel krátere (Cassini, PIA06257), alatta ugyanezen festményen elképzelve. A Herschel központi csúcsa kb. 6 km magasra emelkedik a 10 km mély aljzattól. A becsapódó test 10 km-es lehetett. Balra: a 1048 km átmérőjű Tethys 400 km átmérőjű Odysseus krátere (Voyager, PIA01398). Kb. ekkora a holdi Schrödinger kráter is.

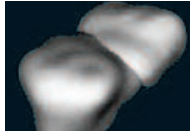


A Mimas és a Tethys itt bemutatott fotói egymással méretarányosak. A Mimaszal ellentétben a Tethys esetében a kráter aljzata fel tudta venni a test görbületét, azaz relaxálódott a még képlékeny kérgű Tethysen (Illés 2003). A Mimason a kráter lapos aljzatú és jól látszik a központi csúcsa is.

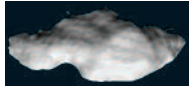


163. A Hold keletkezésének ma elfogadott Cameron-féle modellje (1976):

1. Egy Mars méretű égitest a Föld felé tart
  2. A Föld kérgét és köpenyét súrolva halad el mellette
  3. Az égitest és a Föld anyagának egy része kivágódik a világűrbe („lefröccsen”) és
  4. Föld körüli pályára áll; az égitest magjának anyaga a Föld magjába olvad
  5. A Hold – a mainál a Földhöz sokkal közelebbi pályán – összeáll a becsapódó égitest köpenyének és kisebb részt a Föld köpenyének anyagából, mely addig az elmélet szerint gyűrűként keringhetett Föld körüli pályán
- Egy modell szerint a Hold körül egy ideig még keringhettek a törmelékdarabok (primeval lunar satellites), amelyek aztán hamarosan bebecsapódtak, mert folyamatosan közeledtek (bespirálóztak) a Hold felé (akárcsak a Mars felé közeledik a Phobos).



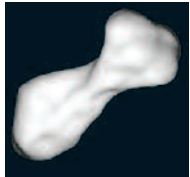
164. (4769) Castalia 1,6 km



165. (4179) Toutatis 4,6x2,4x1,9 km



166. (9969) Braille 2,2x1,0 km



167. (216) Kleopatra 217x94x81 km

Súlyzó alakú kettős (két összetapadt testből álló) kisbolygók és méretük

### – Kísérő összeállása „Big Whack”

Ha a célest a Naptól távolabb, hidegebb helyen keringett az ütközéskor, ahol a gőzök le tudtak csapódni, akkor a fenti mechanizmus szerint létrejött gyúró tartósabban megmaradhatott és a Roche-határon kívül mozgó szemcsékből összeállhatott egy vagy több nagyobb test a célest vagy az ő bolygója körül. Így, ütközéssel keletkezhetett a Hold (*Giant Impact Modell*) (Cameron, Ward 1976, Hartmann 1975, 2005). Valószínűleg a Plútó holdja, a Charon is hasonló módon keletkezhetett. A lefröccsentett anyag illó részét mindkét esetben kifújta a napszél, így mindkét hold – a Hold és a Charon is – nagyon „száraz” (vagyis a saját naptávolságának megfelelő nem illó anyagból épül fel), mert csak a kicsapódott szemcsék gyűltek bele a kialakuló kísérőbe (Illés 1992). Ez a „száraz” anyag a Charon esetében a vízjég.

### TÚL GYORS, TÚL LASSÚ VAGY RETROGRÁD TENGYELFORGÁS

Óriási, de megfigyelhető kráter nélküli becsapódásra következtethetünk akkor is, ha anomálishan gyors vagy lassú (esetleg retrográd) egy égitest forgása. Utóbbi esetre példa a Vénusz. A szoláris kód forgásából az következik, hogy az összeálló kis testecskék (planetezimálok) mind ugyanabban az irányban, közel körpályán keringtek, és kis sebességű ütközéseik révén ugyanilyen irányú forgást örökölték a szoláris ködből. Azonban a nagy bombázás időszakában egy megfelelő irányú és sebességű becsapódás felgyorsíthatta vagy lelassíthatta a célest forgását (Illés 1992).

### NAGY TENGYELFERDESÉG

Ha az ütközés nem az egyenlítői síkban történt, akkor esetleg nagy tengelyhajlást hozhatott létre nagyfokú precesszióval, mint ahogy az Uránusz vagy a Plútó esetében magyarázzák (Illés 1992).

### TÖBB TENGYEL KÖRÜLI FORGÁS

Az egyes kisbolygóknál megfigyelhető, több tengely körüli forgás valószínűleg becsapódások nyomait őrzi.

### ÖSSZETAPADÁS: „BECsapÓDÁS” HATÁRA

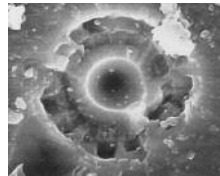
Bizonyos esetekben az egymáshoz közeli pályán mozgó égitestek olyan kis sebességgel ütköznek, hogy ez az égitestek összetapadását eredményezi. Így magyarázzák a súlyzó alakú kisbolygók keletkezését.

### BECsapÓDÁSOS KRÁTEREK HIÁNYA

Nem figyeltek meg krátereket az Io felszínén (a folyamatos felszínújrapépződés miatt a lávafolyások elfedik azokat).

## KRÁTER ÜSTÖKÖSMAGON

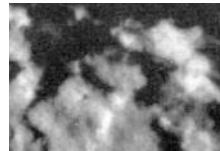
A Tempel 1, a Borelli- és Wild-2 (169. ábra) üstökös-magokról készített képeken sem láthatók szokványos kinézetű becsapódásos kráterek valószínűleg a felszín anyaga és a kis gravitáció miatt. Vita folyik arról, hogy ezeket az üstökös-magokon látható mélyedések közül melyek lehetnek becsapódások nyomai és melyeket okozhat más mechanizmus, pl. szublimáció (Illés 2002). A Wild 2-n kétféle, becsapódásiként interpretált mélyedéstípust figyeltek meg Brownlee és mtsai (2004): a gödör-halo (*pit halo*) szerkezetek kerek kráterének környezetét törmelékek borítják. A magyarázat szerint homogén, jól összetartó anyagba történő becsapódás mikrogravitáción kelthet ilyen formát. A sík aljzatú (*flat floor*) kráter körül nincs törmelék és igen meredek faluk van. Ezek porózus anyagban keletkezhetnek. A törmelékterítő hiánya a porózus kisbolygók krátereire (37. oldal) és az erősen átalakult kráterekre hasonlít.



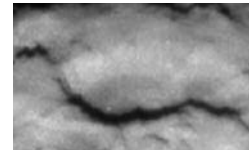
169a



169c

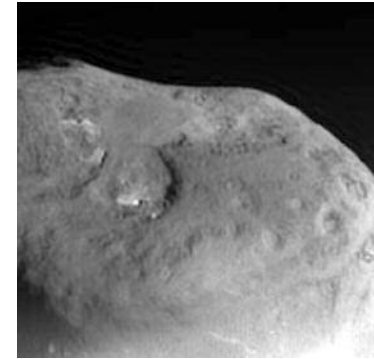


169b



169d

169a-b-c-d: A Wild 2 üstökös-mag két depressziótípusa és azok analógiái: a: gödör-halo kráter analógiája, 10 mikrométer átmérőjű mikrokráter holdi üvegből. b: Rahe kráter (0,5 km) a Wild 2 üstökös-magon. c: 10 cm átmérőjű laboratóriumban porózus anyagban létrehozott becsapódási kráter. d: Left foot sík aljzatú kráter (400 m) a Wild 2 üstökös-magon. (Brownlee et al. 2004 nyomán)

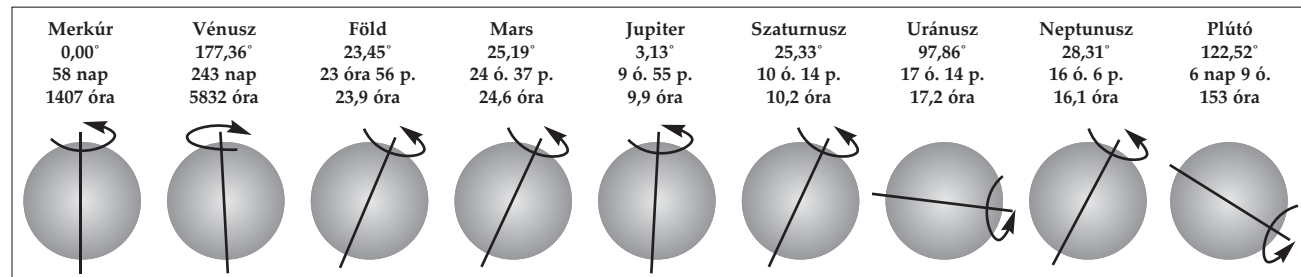
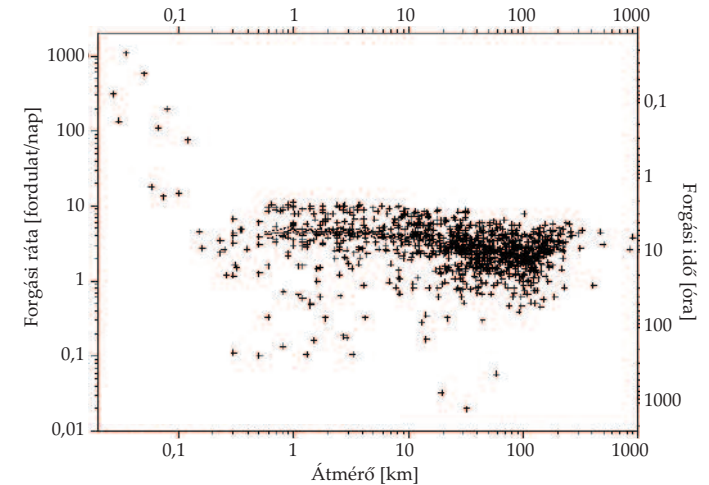


168. A Tempel 1 üstökös fényképe a Deep Impact becsapódásának pillanatában (2005. július 4.) (PIA02137)



169. Az 5,4 km átmérőjű 81 P/Wild 2 üstökös mellett 2004. január 2-án 240 km-re haladt el a Stardust űrszonda. L: Left foot, R: Rahe kráter (PIA06285)

170. Kisbolygók forgási periódusa átmérőjük függvényében 984 kisbolygó adatai alapján. (Pravec et al. 2002 alapján)



171. Bolygók tengelyferdesége és forgási ideje

## KETTŐS KRÁTER

### Doublet crater

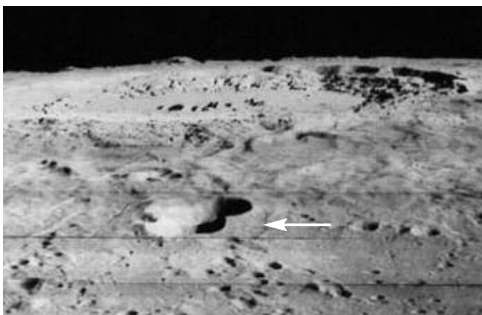


172. Homokfedte kettős kráter Líbiában (22,04°é, 23,45°k) (Paillou et al. 2003)

A kettős kráterek a kráterláncok (30. oldal) vagy krátermezők (31. oldal) különleges esetei. A kráter a kráterben vagy kráter a másik kráter peremén ill. kráter kráter mellett típusú szerkezetek (*doublet crater*) lehetnek egyidejű vagy egymástól független események nyomai is (hasonlóan az optikai kettős csillagokhoz).

A legelfogadottabb elmélet szerint ezek közül a nagyobbak kettős (vagy holddal rendelkező) kisbolygók vagy összetapadt, súlyzó alakú, vagy az árapályerők által szétszakított kisbolygók becsapódása nyomán jöttek létre. Ezt alátámasztja, hogy a kettős kisbolygók összeshez viszonyított aránya (15–17%) nagyjából megegyezik a kettős kráterek arányával (Cook et al. 2003).

Cook a Vénusz kráterpopulációjának vizsgálata során azokat tekintette dupla krátereknek, melyek között max. 150 km távolság van. Míg a Földön a 20 km-nél nagyobb kráterek 10–15%-a dupla (a kb. 160-ból 28), a Vénuszon a dupla kráterek arányát mindössze 2,2 %-nak találta, viszont a földihez hasonlóan bizonyult (14%) a radarsötét kettős kerek területek aránya. Ez utóbbi esetekben a becsapódó test még a Vénusz felszínének elérése előtt szétrobbant ill. elpárolgott a sűrű légkörben.

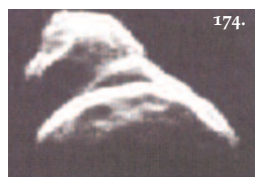


173. A 21 km átmérőjű, 1,4 km mély, egymással összeolvadó Fauth kráterpáros (nyíllal jelezve) a Holdon, a Copernicus krátertől délre eső másodlagoskrátermező területén (Hold, Lunar Orbiter II.)

Példák: Földön a Kamenyck és Guszev-kráter Oroszországban (25 km ill. 3 km átm., 15 km távolságban), Keleti és Nyugati Clearwater-tó kráter (178. ábra) (26 km és 36 km átm., 28 km távolságban).

A Ries-kráter és a Steinheim-medence (24 km és 3,4 km átm., 46 km távolságban), keletkezésére vonatkozó elmélet szerint nem hozhatta létre e krátereket sem kontakt (súlyzó) kettős, sem a légkörben széteső kisbolygó, csak valódi kettős kisbolygó, melyek 1,5 ill. 0,15 km átmérőjűek voltak. Ez az azonos időben, 15 millió éve keletkezett két kráter valószínűleg a forrása a moldavit tektitek szórásmezejének. A szórásmező és a kráter kőzettani vizsgálata alapján végzett modellszámítás szerint a becsapódás 30–45°-ban történt 20 km/s sebességgel (Pierazzo et al.).

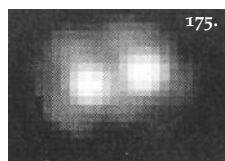
Más égitesten a kráterek zsúfoltsága miatt nehéz valódi („fizikai”) kettős krátereket azonosítani. A valódi kettősöket elárulja azonos lepusztultsági fokuk (koruk), esetleg a becsapódás hasonló szöge (a szegmenshiány elhelyezkedése), hasonló morfológiai tulajdonságuk.



174.



176.



175.

Az Antiope kettős kisbolygó (Keck)



177.

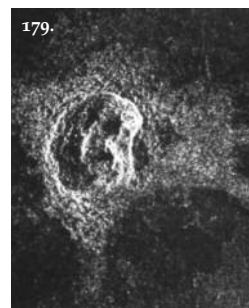
A Toutatis kisbolygó két nézetben (Arecibo, radar)

A Pulkova kisbolygó és holdja (CFHT, hawaii)

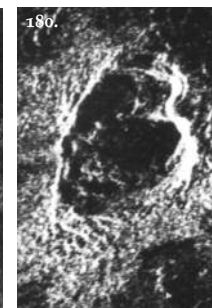
174–177. A kettős kráterek lehetséges forrásai: kettős kisbolygó, kisbolygó apró holddal és összetapadt, kontakt (súlyzó alakú) kisbolygó



178. A két Clearwater-tó (Québec, Kanada) (Landsat, 2000. augusztusi felvétel) Átmérő: 36 és 26 km Koruk: 290 millió év



179.



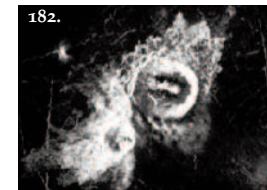
180.

179–180. A légkörben felrobbant becsapódó test szinkron becsapódása ütötte kráter (Vénusz, 21,4° d, 335° k 12 km átm. MRPS 33918; és 51° d, 358° k; 11 km átmérő, MRPS 33959).

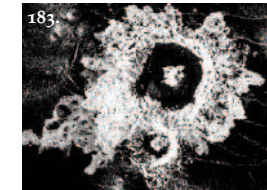
Lásd még: szinkron becsapódás



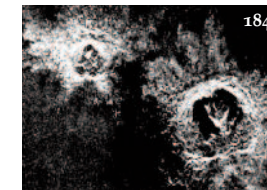
181. Két 500–600 méter átmérőjű kráter az Eros, amelyek egymásba érnek. Feltehetőleg egyszerre történt az őket kialakító becsapódás, azaz két, egymás közelében mozgó test ütközésétől keletkeztek (Eros, NEAR, 0135959925)



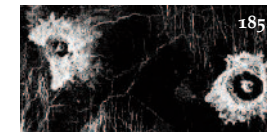
182.



183.



184.



185.

182–185. Az „optikai” és „fizikai” kettősök elkülönítése még a Vénuszon sem egyértelmű. Cook et al. elhatárolásában (felülről lefelé)  
– egy „biztos (?) kettős” (14/7,3 km átm., 26 km táv.) 46,75°é, 123,2°k),  
– egy valószínű (30/14 km átm., 16 km táv., 19,55° d, 40,4° k),  
– egy lehetséges (18/10 km átm., 26 km. táv, 32,7° d, 163,15° k)  
– és egy szegmenshiányának elhelyezkedése alapján biztosan optikai (23/16 km, 117 km táv., 45,55°é, 281,45° k) (Magellan radarképek)

# KRÁTERLÁNC

Krätorsor, catena

Catena, crater chain, multiple impact event

Lásd még: kettős kráterek (29. old), másodlagos kráter (secondary, satellite craters)



186. A Davy-kráterlánc a Holdon. A Hold túloldalán levő caténáknak párhuzamos nevezéktana létezik: az egyik a hivatalos IAU elnevezés, a másik, csak az orosz kutatók által használt, felfedezésük után adott szovjet nevek, melyek ismert orosz/szovjet rakétafejlesztéssel, űrkutatással foglalkozó intézetek nevének rövidítései, Leuschner=GDL, Michelson=GIRD, Lucretius=RNII (mind a Mare Orientaléból indulnak ki)

187. A 620 km hosszú Gípul Catena, (Callisto, Voyager) Hasonló a 150 km hosszú Enki-kráterlánc a Ganymedesen is.

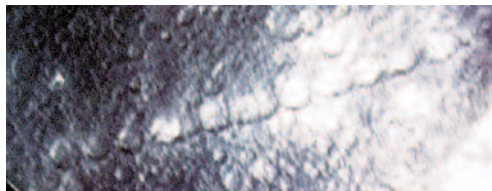
Hasonló méretű, morfológiájú, valószínűleg egy időben keletkezett kráterek egy egyenes mentén elhelyezkedő láncolata.

Míg a másodlagos kráter kifejezés a becsapódó objektum robbanásától szétröptített és visszahullott testek által vágott krátereket jelenti, amelyek a kráter körül bárhol keletkezhetnek (és időnként ezek közül is néhány lineárisan sorakozhat fel), addig a *catenán vagy kráterlánc*on egyetlen kráter sor értünk. A kráterlánc krátereit egy testnek a Nap vagy bolygó körüli pályán szétdarabolódott és a pálya mentén egymástól eltávolodó darabjai hozzák létre.

A kráterláncok elsődleges vagy másodlagos eredetének eldöntése nem annyira morfológia alapján, hanem inkább a kráterlánc nagy medencékhez képesti helyzetének meghatározásával történhet: ha egy kráterlánc orientációja radiális egy, a bolygótesten bárhol található medencére (azaz a kráterek egy, a nagy medencén is áthaladó gömbi főkörön helyezkednek el), és a kora vele megegyezik, akkor valószínű, hogy másodlagos. Ha ilyen kapcsolatot nem találunk, a kráterláncot – más magyarázat híján – elsődleges eredetűnek tekinthetjük. A Callisto és a Ganymedes kráterláncai elsődleges eredetűek lehetnek, amelyeket a Jupiter árapályereje által szétdarabolott üstökösök vagy kisbolygók becsapódásai hoztak létre. Erre a Shoemaker-Levy 9 üstökös hívta fel a figyelmet (Schenk et al. 1996). A Föld és a Hold esetében a Föld árapályereje darabolhatott fel becsapódó testeket.

A feldarabolódás a lazán összeállt, porózus szerkezetű üstökösök és a törmelékhalom (*rubble pile*) szerkezetű kisbolygók esetén lehet gyakori.

Ha a céltest körüli pályáról történik a becsapódás, akkor a kráter sor egy szélességi kör mentén helyezkedik el. A becsapódás ugyanis a becsapódó testek pályájának és a céltest gömbjének a metszéspontjában történik, de a céltest a tengelyforgás következtében mindig más oldalát fordítja a becsapódási ponthoz. Ilyen szétdarabolódott test becsapódás-sorozatát egyedül a Jupiter esetében figyelhetjük meg eddig (Shoemaker-Levy 9, 1994. jún. 16–22 között). Ez esetben a becsapódások az egész



188. Kráterlánc a Ganymedesen, két különböző korú (kráterezettségű) terület határán (Galileo, G01610)

bolygót körülfojták egy szélességi kör mentén, mert az üstökös már 2 évvel a találkozás előtt darabokra szakadt, és azok olyan távol kerültek egymástól, hogy az első és utolsó becsapódás közt több nap telt el, ami alatt a bolygó többször körbefordult.

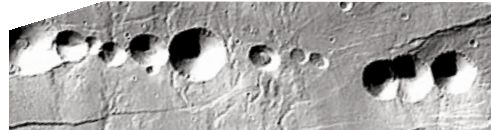
Hasonlóan távoli, valószínűleg egy forrásból származó kráterláncokat a Földön is feltételeznek két kihalási hullám idejére: a felső-devonra (196. ábra) és a felső-triászra (Spray 1998). Utóbbi esetben négy nagy, egy korabeli főkörre eső 200–215 millió éves krátert azonosítottak, ezek a Manicouagan, Obolon, Rochechouart, Saint Martin, Red Wing.

Catenát találtak már a Jupiter Callisto és Ganymedes holdjain, valamint a Földön és a Holdon is. A Callisto és a Ganymedes kráterláncai a feldarabolódott üstökösök (*disrupted comets*) tulajdonságaira is rávilágítanak: átlagosan 11 (6–25) kb. egyforma darabból állnak, amelyek közül a legnagyobb általában középen található. A modellszámítások szerint 275±100 évente történik üstökös-feldarabolódás a Jupiter térségében (Schenk et al. 1996).

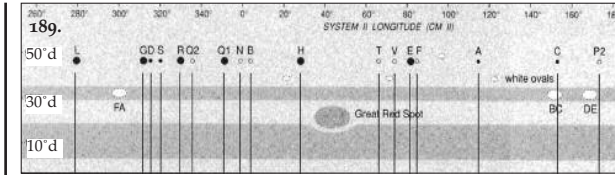
Példa kráterláncra: Semjakin-féle kráter sor (Clavius kráter, Hold)

**Romkráterek alkotta völgy / romkráterek láncolata** A Holdon Vallis vagy Catena néven szerepel több olyan alakzat, amelyben egymás mellett romkráterek (igen erősen erodált kráterek) völgyet alkotnak (pl. Vallis Rheita).

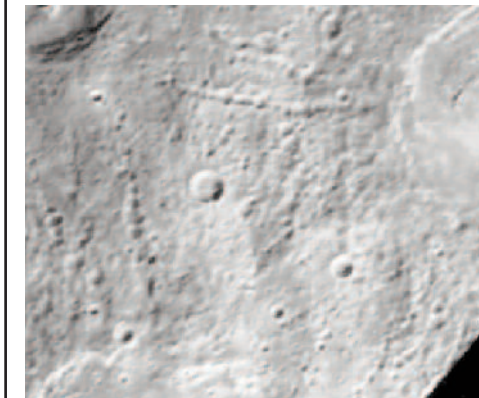
**Vulkáni vagy tektonikus kráterlánc** Hasonló kinézetű kráterek láncolata létrejöhet vulkáni lávacsatorna vagy tektonikus árok beomlásával is. Ezeknek a krátereknek nincs sem sáncuk, sem törmelékterítőjük: azaz nem becsapódásosak, de nincs lávafolyás vagy kúp sem bennük, így nem is vulkáni kürtők, hanem beszakadással keletkeztek (*pit crater*) (107. ábra). Példa: Rima Hyginus (Hold), 8°é., 6°k. (Lunar Orbiter IV, 97, 102; Lunar Orbiter V, 94–97 sz. képek).



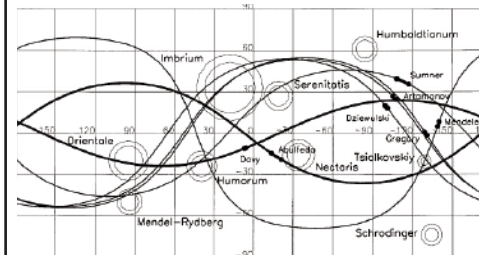
197. Törésvonalak mentén beszakadással keletkezett kráterlánc a Mars-on.



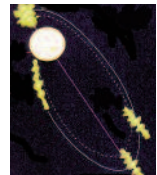
189-190. A Shoemaker-Levy 9 üstökös szétszakadt, pályája mentén 1,1 millió km-re széthúzó darabjai 1994-ben, jobbra pedig ugyanezen darabok Jupiterbe csapódási helyei. A betűk a becsapódás sorrendjét is jelzik (A: első becsapódó darab) (v. ö. 202. ábra!)



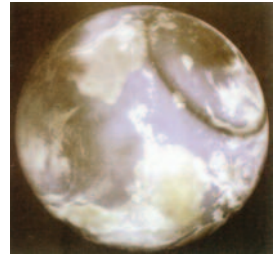
194. Nagy medencékre radiálisan elhelyezkedő másodlagoskráter-láncok a Merkúron. 60°é, 134°ny (Ahmad Baba kráter)



195. Nagy medencék, kráterláncok és azok gömbi főkörrei a Holdon. Ha a kráterlánc egy olyan gömbi főkör mentén van, mely átmegy egy nagy medence középpontján, valószínű, hogy a medencéből származó törmelék által üttört másodlagos kráterek láncolata



191. A szétdarabolódott Shoemaker-Levy 9 üstökös pályája 1992-es szétdarabolódásától 1994-es becsapódásáig (fantáziarajz)



192. A Shoemaker-Levy 9 üstökösök egyik Jupiterbe csapódott darabja nyomán keletkezett lökéshullám a Földre vitéve, méretének érzékeltetésére. Jól mutatja, hogy milyen légköri hatása lett volna, ha a Földre csapódik (fantáziarajz)



196. Kráterlánc a Földön? A felső-devoni (azaz egy kihalási eseménnyel egyidejű) becsapódásnyomok a Földön, a kontinensek „visszaforgatása” után látszólag egy sorban található, de ez véletlen is lehet (McGhee 1996 p.190).

Az egyes kráterek adatai:

Kráter	átmé- [km]	kor mlő év
Siljan (Svéd.)	52	365±7
Charlevoix (Kan.)	46	360±25
Kaluxa (Oroszsz.)	15	360±10
Crooked Cr., Mi, US.	5	320±80
Flynn Cr., Ten, USA	4	360±20



## KRÁTERMEZŐ

Szabálytalan kráter, kráterfürt, kráterhalmaz  
Crater cluster, multiple crater, irregular crater; crater cluster

Lásd még: kettős kráter (29. oldal)

Hasonló morfológiájú, sokszor szabálytalan, esetleg egymást véletlenszerűen átfedő, egyidejű becsapódásként létrejött kráterek. Krátermező genetikailag létrejöhet a légkörben felrobbant test darabjaiból vagy egy eleve rajban érkező csoport becsapódásával. Másodlagoskrátermezőről beszélhetünk, ha a krátereket egy becsapódás során kidobott kőzetdarabok hozzák létre.

### A test légköri robbanása (szinkron becsapódás)

Ha a légkörben szétrobban egy test, a pályasebességéhez képest elenyésző oldalirányú sebesség rövid ideig módosítja további röppályáját, amely a néhány 10 km magasan történt robbanással kissé eltávolítja a töredékeket egymástól. Ezért azok csoportosan, egyidejűleg ütköznek a talajba – csoportosan elhelyezkedő vagy egymást átfedő, bonyolult alakú krátereket és törmelékterítőket hozva létre. Az egyidejűség abból látszik, hogy egyik becsapódás sem írja felül a másik nyomát, hanem a becsapódások által kidobott törmelékterítő még a levegőben, repülés közben ütköznek, egymás mozgását lefékezik, és olyan módon és helyen hullanak le, ahogyan egy magányos becsapódáskor elképzelhetetlen. Az ilyen „közös” törmelékterítőt létrehozó becsapódást nevezzük **szinkron becsapódásnak**.

Számos ilyen kráter található a Vénuszon (198., 199. ábra), ezek többsége 13–15 km-nél kisebb.

Az ilyen mezőknél általában a mező legnagyobb tagja kap nevet, és annak az adatai szerepelnek a kráter-adatbázisokban.

Példák: Hold 30° d., 4° ny (Lunar Orbiter IV, 107, 108, 112, 113) Vénusz: Terhi (45.71° é, 253.09° k).

### Kkrátermező (kráterhalmaz, kráterfürt)

(Crater cluster)

A kráterhalmazok szintén időben közel egyszerre történő becsapódás következtében jönnek létre, azonban ez esetben a test már a világűrben több darabra esik. Ezek a testek már olyan távol kerülhetnek egymástól, hogy krátereik törmelékterítői függetlenek egymástól. Ez esetben már nem lehet kimutatni, hogy az egyes becsapódások milyen időkülönbséggel követték egymást.

### Kettős kisbolygó (Multiple asteroid) krátere

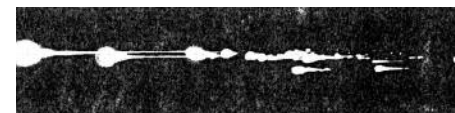
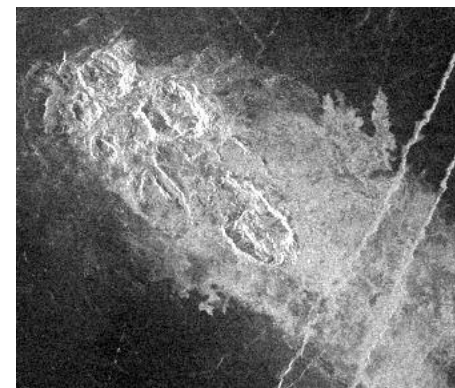
A Vénuszon megfigyeltek olyan, kettős vagy többes krátereket, melyek túl távol vannak ahhoz, hogy a légkör által szétrobbantott testek szinkron becsapódásával magyarázhatók lennének, de valószínűleg hasonló korúak, és túl közeli ahhoz, hogy független esemény nyomát őrizzék. Ezeket a légkörbe lépés előtt szétdarabolódott testnek vagy egy eleve többes rendszer tagjainak (pl. kisbolygó és holdja) becsapódásával magyarázzák. (Lásd még: kettős kráter, 29. oldal)

**Mars** Számos krátermező található a Marson is (pl. az Orcus-paterától keletre). A kisebb, 20 m átmérőjűek valószínűleg a ritka marsi légkörben felrobbant és darabokra tört kisebb testek becsapódásának nyomai, míg a nagyobbak esetleg másodlagos eredetűek: egy nagy becsapódás által kidobott törmelék kivágódik és Mars körüli pályára kerül (egy darabig a légkörön túl mozog), itt darabjai, akár csak a meteorrajképződéskor, eltávolodnak egymástól, majd újra visszatérve a légkörbe a sűrűlő más-más mértékben fékezi a darabokat, így azok egymástól eltávolodva, kb. 15–20 km-es mezőt alkotva csapódnak be a Mars felszínébe (Hartmann 2003, p. 381).

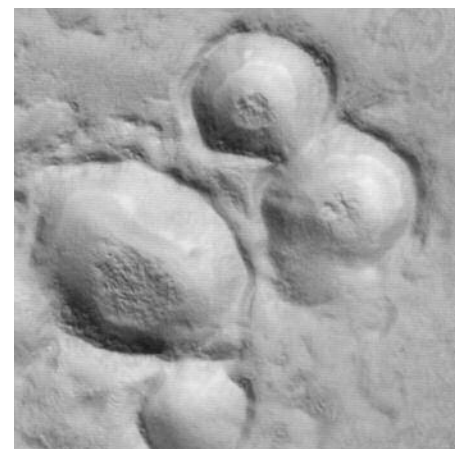
**Föld** Krátermezők a Földön is találhatóak és szerencsés esetben (pl. sivatagban) megőrződhetnek. Ilyen pl. a 2004-ben megtalált, 13 db 20–1300 m átmérőjű kráterből álló krátermező Egyiptomban (Paillou et al. 2004).



200. Krátermező a Maadim-völgytől északkeletre. A kráterek átmérője 200–700 m. (20° d, 183° ny, Viking Orbiter mozaik) (Hartmann 2003, p. 373)

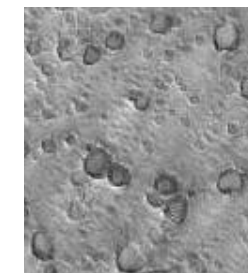


202. Az egyetlen, Földön dokumentált, légkörben szétdarabolódott test a Peekskill meteorit 1992. október 9-én hullott Peekskillben, New York államban (USA) (190b ábra). Darabjai max. 20 km-re távolodtak el egymástól. Min. 70 darabra szakadt. Olyan lapos szögben érkezett, hogy ha 40 km-el magasabban van, elhagyja a Földet, ahogy egy 1972-es tűzgömb esetében történt (Wyoming, USA). A 15 km/s sebességgel érkező meteorit kb. 40 km-es magasságban kezdett feldarabolódni (Borwn et al. 1994)



203. A Maadim-völgyiekhez (200. ábra) hasonló krátermező közelről (Mars, 270° ny 32° é, MGS, M11-02890)

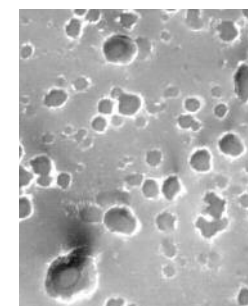
204. Balra: a Terhi kráter és krátermezeje (Vénusz, 45,71° é, 253,09° k, Magellan radarkép)



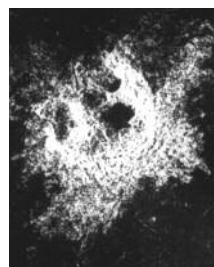
205. Másodlagoskráter-mező (vagy berogyásos szerkezetek?) (Mars, 19,9° é, 33,3° ny, MGS, MOC2-552)



206. 20 m-es kráterek mezeje a Marson, amelyet valószínűleg a légkörben felrobbant test hozott létre. (158° ny 45° d, MGS, M19-00278)



207. Krátermező a Meridi-ani-föld hematit-régiójában. A kráterek 100–300 m átmérőjűek. Lehetséges, hogy nem becsapódásos, hanem berogyásos eredetűek (Mars, 4° ny 2° d, MGS)



198-199. Több darabra robbant test egyidejű becsapódásának (szinkron becsapódás) nyomai a Vénuszon. Földről lefelé: 25,6° é, 336° k; 14 km, MRPS 33958; 16,4° é, 352° k, 9 km. (Magellan radar)

# GÖDÖRKÖZPONTÚ, DÓMKÖZPONTÚ ÉS DOMBKÖZPONTÚ KRÁTER

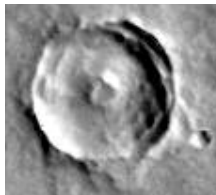
(Central) pit crater, dome crater, central mound crater, floor/summit pit



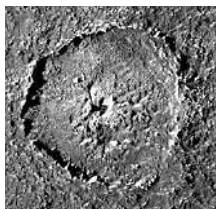
208. Gödörközpontú kráter, Ganymedes (39° d 122° ny, Galileo)



209. Kb. 10 km átmérőjű gödörközpontú kráter, belsejében is lebenyes üledékekkel (Mars, MGS Themis 101425005)



210. Gödörközpontú kráter (Mars, 1° d, 29° ny Viking)



211. Egy 70 km-es gödörközpontú kráter a Callisto egyenlítői vidékén (0° é, 3° k, Galileo, PIA01657)

## GÖDÖRKÖZPONTÚ KRÁTER (Pit crater)

**K**özönséges központi csúcs vagy központi gyűrű helyett gödrös központi csúcsot vagy kis gyűrűs központi mélyedést mutató becsapódásos kráterek a gödörközpontú kráterek (208-212. ábra). Nem összetévesztendőek a belső gyűrűs (*peak ring*) medencékkel, ahol az egész kráter és a központi gyűrű lényegesen nagyobb, és az utóbbin belüli rész csak kis mértékben süllyed a kráter fenekének környező szintje alá.

**Jellemzők:** a Holdon és a Marson a központi gödör mélysége és a kráterátmérő közötti kapcsolat lineáris, és közel hasonló. A Marson készült globális felmérés alapján mindenhol előfordulhatnak ilyen kráterek. Koruk változatos, vannak köztük erősen és gyengébben lepusztultak.

**Előfordulás:** Hold, Mars, Ganymedes, Callisto. Ezeken az égitesteken központi gödrös kráterek elsősorban a kb. 2–200 km átmérőtartományban fordulnak elő. A Marson a gödrös központi csúcsot mutató kráterek az összes eddig megfigyelt kráter 10%-át, a központi csúcs nélküli, csak központi gödröt mutató kráterek 21%-át adják. A Marson az 50–60 km átmérőjű kráterekben 10–12 km-es központi gödör jellemző (Carrol 1978, 1980, Hale 1982).

**Keletkezésük magyarázata:** központi gödrös kráter illó anyagban gazdag felszínen alakul ki, bár mintha néhány holdkráternél is megjelenne, pedig itt, a holdfelszín anyagában nagyon alacsony az illó anyagok koncentrációja. Feltehetőleg a becsapódáskor keletkezett nagy nyomás hatására vagy utólagosan az illó anyagok robbanásszerűen kitágulnak, s ez hozza létre a gödröket.

Kargel szerint a marsi gödrös kráterek gödre eredetileg csúcs volt, de a megolvadt talajjégtől „sáros” anyagú csúcshegy összeomlott a saját súlya alatt és létrehozott egy második sárfolyásos törmeléktakarót a kráter belsejében (Kargel 2004, p. 98) (209. ábra).

A gödörközpontú krátereket a Marson *floor pit* és *summit pit* (fenék- és csúcsgödör) csoportokba sorolják. Hogy különféle erodáltságú központi gödrös kráterek találhatók a Marson, azt mutatja, hogy az egész marstörténet során keletkeztek, tehát az illóanyagok mindig rendelkezésre álltak a marstalajban. A friss gödörközpontú kráterek sokszor mutatnak többrétegű törmeléktakarójú (MLE – *multiple lobe ejecta*) morfológiát (Barlow 2005b).



212. Gödörközpontú kráter (Mars) 1°S, 29°W

## Dómközpontú kráter (Central Dome Crater)

**Dómközpontú krátereket** (215-217. ábra) eddig csak a Ganymedes és Callisto holdakon találtak, de más jeges holdakon is előfordulhatnak. Ezeket a krátereket a becsapódás után sáncuk és aljzatuk tömegmozgásos folyamatai jelentősen átalakították. Sáncuk belső oldalán néha teraszok láthatók. A kráterfenék megsüllyedt, a központjuk viszont felboltozódott. Az összetett központi szerkezet egy sima felszínű, környezeténél világosabb dóm, mely valószínűleg a jég megfagyása révén tágult és magasodott ki. Másodlagos kráterek, sánc és törmeléktakaró is jellemzik. Átmérőjük a Ganymedesen 60–180 km, központi dómjuk több 10 km szélességű (Schenk 1993).

## KÜLÖNLEGES DÓMKÖZPONTÚ KRÁTEREK

(*Anomalous Dome Craters*)

Ilyen típusú krátert eddig csak a Ganymedes és Callisto holdakon találtak. Központjukban kör alakú dómok (néhány km – néhányszor 10 km átm.) találhatók, amelyet kaotikus gyűrűhegység vesz körbe (218. ábra). A központi rész keletkezhetett a központi csúcs összeomlásával vagy relaxációjával, vagy a becsapódáskor megolvadt jég megfagyásával, amikor a vízjég térfogata megnő, felboltozódást okozva. Körülötte törmeléktakaró és másodlagos kráterek találhatók, amelyek a becsapódásos eredetre utalnak. Ezen kráterek sánca hiányzik, helyükön néha egy nem folyamatos, kör alakú linamens (vonallal) látható. Krátorszámolás alapján koruk a dómközpontú és a palimpszeszt kráterek közöttire tehető (Schenk 1993).

## DOMBKÖZPONTÚ KRÁTER (Central Mound Crater)

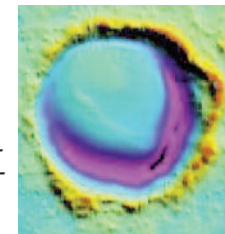
Domb (vagy felboltozódás) számos sarkvidéki marsi kráter belsejében is látható. Ezek valószínűleg hó- és jégfelhalmozódás eredményei (213. ábra, 318a-b ábra). Az északi sarkvidéken a széles domb a kráterek belsejének északi részét tölti ki, a déli részén mély árok található, a déli féltekén fordítva. Ez a domb elszublimálására utal. Ezek a kráterek elsősorban topográfiai térképen láthatók, mert lágy domborzatúak és porral fedettek.

## Dombközpontú kráterek összeomlási gödörrel (Central Mound Crater with collapse pits)

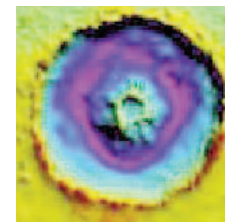
A Mars poláris vidékein számos kráter mutat központi kiemelkedést: széles hátú dombot vagy csúcsot, amelyen gödör (*pit crater*) ül (214. ábra). Egy elmélet pingók (betakart jégtömbök) hosszú időn át való képződésével ill. (az elolvadó jég üregének) beszakadásával magyarázza ezeket is és a gödrös képződményeket is (Sakimoto, 2005). Barlow és Bradley (1990) ezeket még az „osztályozhatatlan” (*unclassifiable*) osztályba sorolta.

A vulkanológiában hasonló elnevezést használnak azokra a kráterekre, amelyek a felszín alól visszahúzódó magma nyomán beszakadással/besüllyedéssel keletkeztek, így ezzel a szóval (*pit crater*) az asztrogeológiában is kétféle értelemben találkozhatunk. Ezek a gödrös kráterek egy sor mentén található, sánc és üledéktakaró nélküli mélyedések (197. ábra). Képződésükre számos, vulkanikus, tektonikus és egyéb magyarázat van, ezeket lásd: Wyrick et al. (2004).

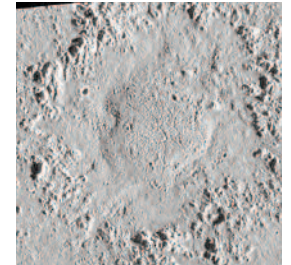
213. Aszimmetrikus üledékes és nem becsapódásos eredetű központi domb, amely 1,4 km-el emelkedik az 55 km-es kráter aljzatának legmélyebb pontja (gyűrűárok) fölé. Színfokozatos domborzatábrázolás (Mars, 77° é 215° k, MGS MOLA)



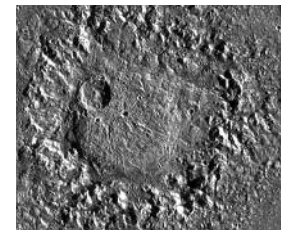
214. 65 km átmérőjű kráter, 1,1 km-es központi kiemelkedéssel és gödörrel a tetején (Sakimoto, 2005). Színfokozatos domborzatábrázolás (Mars, 62° d 40° k, MGS



215. Dómközpontú kráter. (Har, 50 km, Callisto, Galileo, PIA01054)



216. Dómközpontú kráter. (Doh, 55 km, Callisto, Galileo, PIA01648)



217. Dómközpontú kráter (Neith, 160 km, Ganymedes, Galileo, PIA01658)

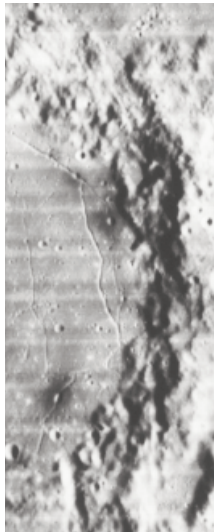
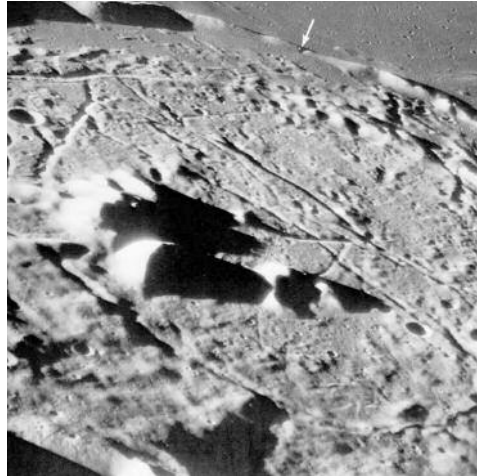


218. Különleges dómközpontú kráter 28.0° d, 328.0° k Ganymedes

## REPEDEZETT ALJZATÚ KRÁTER

Rianásos kráter, töréses kráter, töredezett aljzatú kráter  
Floor-fractured crater (FFC), cracked floor crater

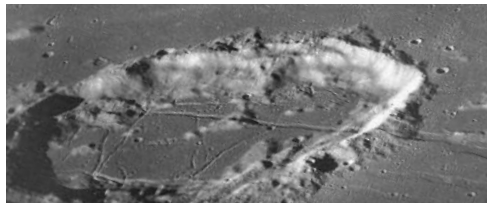
219. A 110 km-es Gassendi kráter központi csúcsai és a kráteraljzaton futó repedések (Hold)



220a. Törések az Alphon-sus kráterben (Hold, Lunar Orbiter IV, 108h2)

**Morfológia:** a repedezett aljzatú kráterek általában nagy (a Hold esetében kb. 22 km-nél nagyobb) becsapódásos kráterek, amelyek aljzatát kitöltő láva felszínén tektonikus törések, repedések vannak. A holdi repedezett aljzatú krátereknél jellemző a kráterperemmel párhuzamos gyűrű alakú repedés, amely mentén sötét foltok sorakozhatnak. A koncentrikus törésmintázat mellett radiális szerkezetek is megfigyelhetők (Masursky, 1978). 1976-ban Peter Schultz említette elsőként az ilyen krátereket külön kategóriaként.

**Előfordulás:** a repedezett aljzatú krátereket a Holdon azonosították először, a továbbiakban a Marson (Rodríguez 2004) és a Vénuszon (Wichman 1993) is akadtak hasonló képződményekre. A



220b. A Goclenius kráter a Holdon. A legnagyobb repedés (rianás) a kráteren túl is folytatódik (Apollo-8 as08-13-2225)

Holdon főleg a felföldeknek a mare vidékekhez közeli részén található. A Marson az idős felföldeken, főleg a felföld-mélyföld határvidéken, és néhol a Valles Marineris környéki lávasíkságon jellemzők.

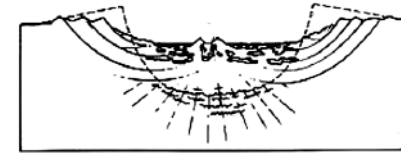
**Keletkezésük:** a becsapódás után (annak utóhatásaként vagy attól teljesen függetlenül) a kráter alatti zónába magma emelkedett fel, és a kráter alatti összetört breccsalencsébe hatolva oldalirányba kiterjedt, részben a felszínre ömlött. Az ezzel kapcsolatban és a későbbiekben fellépő nyomásváltozás a kráter aljzatát alkotó, törésekkel elválasztott blokkok némelyikét elmozdította. Az elmozdulásokat létrehozó mechanikai feszültségek kialakításában közreműködhetett a magma és a breccsa közötti sűrűségkülönbség, a feláramló magma mechanikai emelő hatása, a magma megszilárdulásakor (hűlésekor) fellépő térfogatcsökkenés és főleg a felszínre kiáramló láva miatt a mélyben raktározódó magma mennyiségének csökkenése. A törések közül a kráterperemmel párhuzamosan futók mentén néhol sötét foltok mutatkoznak a Holdon, amelyeket valószínűleg robbanásos vulkánkitörések nyomán visszahullott por alkot.

**Példák:** A Holdról a leghíresebb az Alphon-sus (220. ábra), az egyik legnagyobb a 207 km átmérőjű Humboldt (223. ábra). A Vénuszon ilyen például a Mead (367. ábra), Meitner és az Isabella kráterek. (További példák: lásd Head, 2000.)



221. Az Isidis-medence (Mars) déli peremén lévő 5 km átmérőjű kráter (középen) és jobbra egy kb. 10 km átmérőjű kráter szintén repedezett aljzatot mutat, de valószínűleg más okból, mint a holdbéli kráterek.

222. A repedezett aljzatú kráterek keletkezésének eseménysora



A) a kráter keletkezése (szaggatottal a tranzien-s kráter mérete)



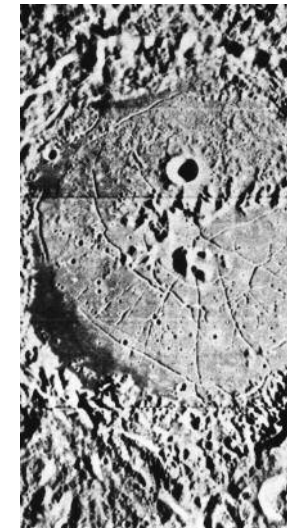
B) a magmaemelés megindulása,



C) nagy mennyiségű magma nyomul a kráter breccsába és részben a felszínre ömlik,



D) a törések mentén vetődéses elmozdulások történnék (Schultz)



223. A Humboldt kráter (202 km) (Hold, 27,2° d, 80,8° k, Lunar Orbiter IV, 011)

224. A Viharok óceánja (Oceanus Procellarum) nyugati részét határoló töréses kráter (75 km) (Lunar Orbiter IV-H189)



## KRÁTERTŐ

### Crater lake, impact crater lake, impact lake, intracrater lake

#### A krátertavak egy lehetséges felosztása

#### Vulkáni kráter vagy kaldera

- szilikát lávató (Io)
- víz krátertő (maar)

#### Becsapódásos kráter vagy medence

- szilikát kőzetolvadék (Vénusz)
- vízláva-tó (Europa)
- utólagos, belső eredetű lávató (mare)
- utólagos, kívülről befolyó láva (fantomkráter, Hold)
- víz krátertő (Soutpan, Föld)

225. Az újfundlandi (Kanada) Mistastin-tó, úrrepülőgépről fényképezve. Az erősen erodálódott, 28 km átmérőjű és 36,4 millió éves komplex kráter a jégkorszak eróziója és a kelet felé vándorló gleccserek nyomán nyerte el mai alakját. A kráter központi csúcsa ma formájáról a Lópatkó-sziget nevet viseli.

A kráterek mélyen fekvő területeit többféle folyékony halmazállapotú (vagy a felszínen áramlással mozgó) anyag töltheti ki. Utóbbi a Naprendszer ismert égítestjei esetén víz vagy szilikátkőzet-olvadék, amely vulkanikus vagy becsapódásos eredetű krátert is kitölthet. Ha a krátert víz tölti ki, a kialakuló jelenség neve krátertő, ha láva, elnevezése általában lávató. Az ilyen tó megszűnhet a folyékony anyag *eltűnésével* (kiszáradással, elpárolgással, víz esetén) vagy *megszilárdulásával* (pl. láva esetén).

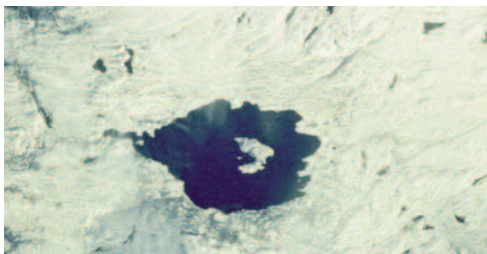
A **kitöltő anyag** a vulkáni kráter aktív korában *láva*. Becsapódásos kráterekben jóval ritkábban, de itt is előfordul, ha a becsapódás hője megolvasztja a kőzetet. A Naprendszerből ismert, lávával kitöltött becsapódásos krátereket általában utólag vagy máshonnan (a kráteren kívülről) származó láva tölti ki (marék, fantomkráterek). Szilikátos kőzetolvadékkal kitöltött aktív vulkáni kalderákat (lávatókat) találunk az Io felszínén (pl. Loki).

A „klasszikus” értelemben vett krátertavakat *víz* tölti ki, melyek inaktív vulkáni kráterekben (Szent Anna-tó, kalderákban (Crater Lake, Oregon, USA) vagy becsapódásos kráterekben (Soutpan, Dél-Afrika (229. ábra); Kara-Kul, Tádzsikisztán stb.) találhatók.

Sajátos az Europa jupiterhold helyzete, ahol a krátereket rövid ideig víz töltheti ki, ami az ottani környezetben kőzetolvadéknak, azaz lánának számít, mely jég(kőzet)té fagy (szilárdul meg).

A továbbiakban a folyékony vizet ma vagy régebben tartalmazó, becsapódásos eredetű kráterek tavait írjuk le.

Egy becsapódási krátert létrejötté után a Földön



általában hamar víz tölt ki. Ennek forrása lehet talajvíz (ha a kráterfenék a talajvízszint alatt található), csapadék vagy beömlő folyó.

A krátertavak – a tavakhoz hasonlóan – is lehetnek időszakosak vagy állandóak. Előbbi esetben – megfelelő éghajlaton – a tó időnként kiszárad, majd az esőzések révén, jellemzően a korábbi partvonal mentén, ismét kialakul (pl. az Acraman sós krátertő, Ausztrália 32° d, 135° k). Korábban az arizonai Barringer-kráterben (113. ábra) is volt krátertő (Cockell, Lee 2002).

A tavi állapot elsősorban a viszonylag friss krátereknél jellemző, ahol még kifejezett a mélyedés medence jellege és a krátérsánc elgátoló hatása.

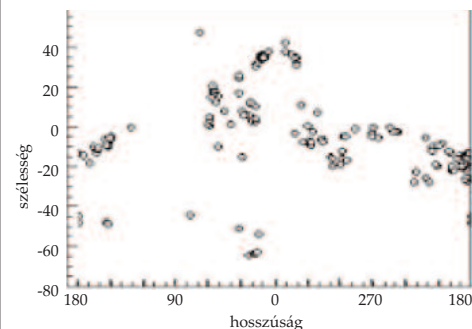
A krátertavak alakja rendszerint követi a krátérsáncot, ami megszabja a tó maximális kiterjedését. Sokszor a tó nem tölti ki teljes mértékben a krátert. Esetben felfedezhetjük a tó közepén szigetként megjelenő központi csúcsot. A krátertő a lepusztuló kráter medencéjéből végleg el is tűnhet (Ries-kráter, Németország).

A becsapódásos eredetű krátertavakra a Földön kívül a Marson ismerjük a legtöbb példát, de ez esetben csak *paleotavakról* beszélhetünk, mert a vízkitöltés már megszűnt, róla csak üledékeik árulkodnak. A nagyobb marsi krátertavak üledékesedését vizsgálva a marstörténet különböző időszakai tárulnak elénk.

A marsi (paleo-) krátertavakból több mint százat számláltak meg. Felszíni elhelyezkedésük korrelál a marsi folyóvölgyekével (20° d-i szélesség körüli gyakorisági maximummal). Típusaik környezetükkel való kapcsolatuk szerint: *zárt rendszer* (csak befolyó víz), *nyílt rendszer* (be-és túlfolyó völgy), ill. *tólán*c (egy völgy több kráteren is végighalad) (Cabrol 1998). A marsi krátertőmedencékben a befolyásoknál deltát, üledékes eredetű teraszokat, partvonalat, evaporitokat figyeltek meg (Cabrol, Grin 1999). A Gale kráterben lévő paleotó talán a máig tartó amazoniszi korban is aktív lehetett.

A modellszámítások alapján nem zárható ki, hogy a Vénusz történetének korai periódusában a felszínen folyékony víz is létezhetett, így a bolygón lehettek vízzel kitöltött krátertavak is.

A földtörténet azon időszakában, amikor már kicsapódott a víz a lehülő felszínre, de még nem jöttek létre a kontinensek magterületei (ha volt ilyen időszak), a nagyobb medencék sáncai (mint az első szárazföldek) óriási zárt (idővel esetleg



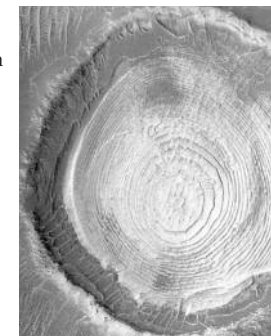
226. Balra: 160 db., 10 és 404 km közötti átmérőjű feltételezett krátertő elhelyezkedése a Marson Cabrol szerint. Ezen krátertavak múltbéli létezésére a kráterfenéki üledékretegek alapján következtethetünk.

kiédesedő) tavakat vághattak el az akkor globális óceán vízfelületétől.

A holdakat tekintve a Jupiter Europa holdján a nagyobb becsapódások következtében a kéreg alól ugyan feltörhet víz, ám az azonnal megfagy, így krátertő nem alakulhat ki.

A Szaturnusz körül keringő Cassini űrszonda infravörös felvételei alapján elképzelhető, hogy folyékony szénhidrogénnel kitöltött becsapódásos kráterekben tavak találhatók a Titánon.

Mivel a becsapódáskor hó termelődik, és a későbbiekben akár több száz vagy ezer évig posztimpakt hidrotermális aktivitás lehet a kráterben, ezekben a környezetekben – ha az a kráter az élet szempontjából még épp túl hideg területen található – átmenetileg az életnek kedvezőbb környezeti feltételek (*impact oasis*) alakulhatnak ki. Ilyenek elképzelhetők a Marson, a Földön vagy a Titánon (O'Brien et al. 2005, Cockell és Lee 2002) is (lásd: *kráterek biológiája*).



228. Üledékreteg-sorozat egy 2,3 km átmérőjű kráterben, mely a nagyobb Schiaparelli kráterben található a Marson (MGS MOC2-403) (Kargel 2004 p. 93)



227. A New Quebec 3,3 km átmérőjű becsapódásos kráterben kialakult tó (Kanada)

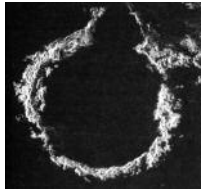
229. Lent: a Soutpan (Tswaing) kráterben igen sós (hiperszalin) tó található, mely évmilliók óta gyűjti az üledéket (Dél-Afrika)



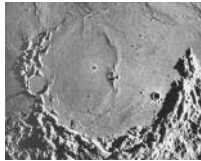
## LÁVABORÍTOTTA KRÁTER/MARE, FANTOMKRÁTER

*Maradványkráter, fantomkráter*

**Smooth floor crater, dark material on the crater floor buried crater, ghost crater,**



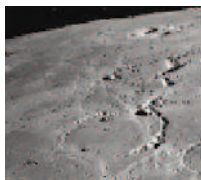
230. 40 km átmérőjű átmérőjű, részben eltemetett ikerkráter (a Heloise) (Vénusz, 40,0° é, 51,9° k, Magellan radar)



231. A holdi Letronne kráter a Viharok óceánján. A teljesen elöntött északi sánctól felszíni redőgerincek vonala jelöli ki (Spudis, p. 39)



232. 20 km átm. fantomkráter (-gerinc) Mare Cognitum DK-i vidékén. A krátert láva borította el (AS16-M2834)



233. Fantomgerinc a Holdon (ferdetengelyű Apollo-felvétel)

A mare kifejezés a Holdon olyan olyan becsapódásos medencéket jelöl, melyeket később láva töltött ki. Olvadék keletkezhet becsapódás közvetlen hatására. Ilyenkor a robbanás okozta hó megolvashatja a kőzeteket. A kráter alatt található kőzetek megolvadását a gyors nyomáscsökkenés segíti. A medence vagy kráter területén az anyag eltávozásának következtében a kráteraljzat a köpennyel együtt izosztatikusan megemelkedik, ennek nyomán a kéreg vékonyabb és repedezett lesz. A vékonyabb kéregben futó repedéseken keresztül utólag is könnyebben tör a felszínre a magma. A megemelkedés konvekciós áramlatokat hozhat létre az asztenoszférában, amelyek újabb lávaanyagot juttathatnak a felszínre a becsapódáskor keletkezett repedéseken keresztül, és fenntartják a vékonyabb kérget (Elkins-Tanton et al. 2004).

A Holdon a Föld felőli oldal kérgé vékonyabb, ezért a legtöbb mare terület itt található, míg a túoldal medencéit csak részben (129b ábra) vagy egyáltalán nem tölti ki bazalt, mert a magma a vastag kérgen nem tudott átjutni, s még felszínt érés előtt megszilárdult. Abban, hogy a láva eljut-e a felszínre, a köpenyáramlás (pl. iránya) is szerepet játszik.

A holdi marék nem a becsapódáskor (impakt-olvadékként) keletkeztek, hanem – a felszínen talált bazaltok kormeghatározása alapján – kb. félmilliárd évvel később ömlöttek ki. (A sudburyi becsapódás (Föld) olvadékjai ellenben valószínűleg azonnal keletkeztek és nem utómagmás működésben.)

**Fantomkráter** *Obscure crater, ghost crater*

Fantomkráternek neveik a valamilyen anyaggal beborított krátert (ez lehet láva, por vagy egyéb anyag). A Hold esetében ilyen lehet egy mare területen belül, a bazalttal a pereméig elöntött kisebb kráter, amelyet a bazaltelöntés kívülről ért, de a kráter medencéjét végül belül is kitöltötte (pl: Letronne kráter, Hold). A mare elöntés teljesen előlontheti, elfedheti a krátert – ezeket ma már közvetlenül nem ismerhetjük fel. A vékonyabb rétegben elöntött kráter sánca a bazaltelöntésen keletkezett redők vagy az átöröklött domborzat révén követhető lehet.

Lávával elöntött (*buried*) kráterek más égitesten, pl. a vulkanikusan valaha igen aktív Vénuszon is

találhatók, igaz, nagyon kis számban.

A holdi kráterek közt találhatunk sok teljesen és részben elöntött, valamint el nem öntött, de körbefolyt krátert is. Ezzel ellentétben a Vénuszon látható kráterek mindössze 4%-át érte részleges láva-elöntés. A Vénusz mai felszínén látható becsapódásos krátereinek többsége valószínűleg egy kb. 500 (±200) millió évvel ezelőtti globális láva-elöntés (*catastrophic resurfacing*) után keletkezett, s azok kevésbé erodálódtak azóta. (Grinspoon 1997, p. 258). Az elöntés előtti (ismeretlen számú) kráter teljesen a vastag lávatarakó alá került, így azok ma már nem mutathatók ki.

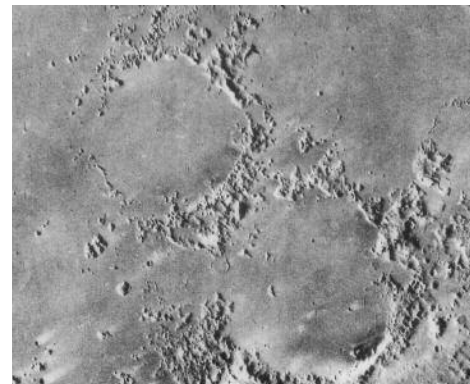
**Fantomgerinc** *Ghost ring* A fantomgerinc a fantomkráter sáncgyűrűje, amelynek csak egyes szakaszai láthatók (233. ábra).

A **Marson** a fantomkráterek szél erodálta, vulkáni vagy tavi üledékekkel borított krátert jelölnek.

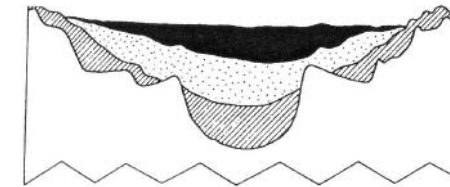
A **Merkúron** található lávával elöntött (holdi marékknak megfelelő) medencék igen kevés későbbi becsapódásnyommal az aljazaton. Becsapódásos olvadék és visszahullott törmelék borítja ezeket a krátereiket (Rcf5-c5 geológiai egység).

A **Vénusz** egyes krátereinek (cf geológiai egység) belsejét és belőle kiindulva a környezetét valószínűleg a becsapódáskor megolvadt és szétterült anyag borítja (Addams, Markham kráter, 362. ábra).

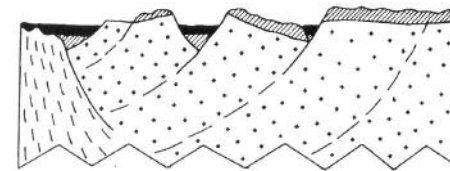
**Nevezéktan.** A lávával feltöltött holdi medencék neve hagyományosan (hold) *tenger (mare)*; a kisebb méretűek *tavak (lacus)*, a mare területek kitérkedései *öblök (sinus)*, a mare és terra területek átmenete *mocsár (palus)*



234. Fantomkráter a Marson: sánccfalmaradvány által kirajzolt 280 km átmérőjű kráterperem az Elysiumtól keletre (Viking Orbiter 672A64 Greeley 1985 p.175)



Mare Serenitatis



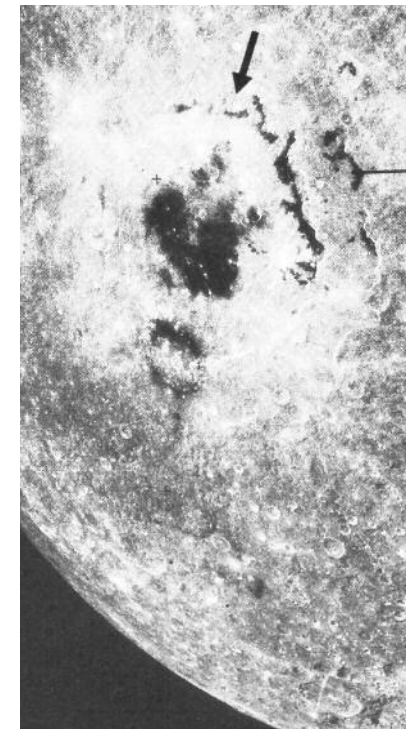
235. Két medence metszete a Holdról (Bérczi 2003)

IMBRIUMI MARE FORMÁCIÓ

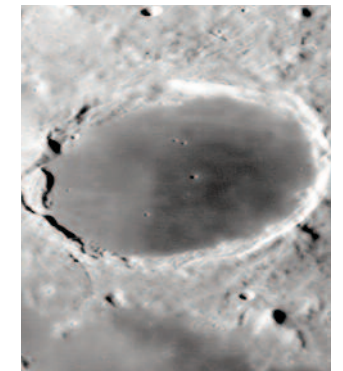
- Fialat mare-elöntés
- Idős mare-rétegek
- Törmeléktaóró és impakt breccsa
- Alapkőzet

IMBRIUMI V. NEKTÁRI GYÜRŰS RÖGHEGYSÉG FORMÁCIÓ

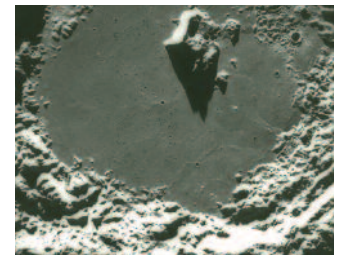
- Törmeléktaóró és impakt breccsa
- Mare-elöntés
- Visszalökődő központi tömb
- Alapkőzet, vetődött rögök



236. A Mare Orientalének csak egyes részeit töltötte fel láva (v. ö. fenti ábra) (Zond 8 12-305 2525 H, Greeley 1985 p. 84)



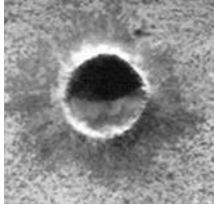
237. A lávával kitöltött Plato kráter (Hold) (M. Fiedler, T. Böhme web-kamerás fényképe)



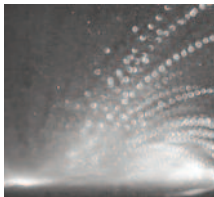
237b. A részben lávával kitöltött Ciolkovszkij kráter (Hold, Clementine-felvétel)

## TÖRMELEKTERÍTŐ

Törmelékta<sup>karó</sup> Ejecta blanket, crater ejecta, fallback ejecta, circumbasin materials, distal ejecta,



238. A törmelékterítő a mélyebb felszíni rétegekből származó kőzetekből áll. Ezt jól jelzi, ha a felszíni rétegtől eltérő az albedója, mint ezen a marsi példán (Themis 20030417 2,3N 356,5W)



239. 3,5 mm átmérőjű üveggömbök becsapódása hasonlóan durvaszemcsés anyagba, 2 km/s sebességgel. A képen a kivetődő törmelék (gömbök) pályája látható. (Barnouin-Jha et al. 2005)



240. A törmelékek röppályája a Holdon (fenn) és a Merkúron (lenn) eltér a különböző gravitáció miatt. (A Holdon messzebb jut.) (Strom 2003)

Törmelékterítőnek vagy törmelékta<sup>karó</sup>nak nevezzük a becsapódás nyomán kidobott majd visszahullt, a kráter mélyedésén kívül lerakódott törmelékek keverékét.

Minél kisebb az égitest gravitációja, annál távolabb jut a törmelék (240. ábra). A légköri súrlódás ezen túl is csökkenti azt a távolságot, ameddig a törmelék eljuthat. (A Vénusz forró légkörének sajátos fluidizáló hatása ezzel ellentétes.) A törmelékterítő anyaga összetört, részben megolvadt, gyakran a későbbiekben összecementálódott impakt breccsa, olvadékok (a törmelékterítőben aránya 1–4% [Hartmann 2000]), impakt üvegek, por/hamu stb. A törmelék egy része a sáncan kívül, más része azon belül hull vissza.

A törmelékterítő anyagának egy része a becsapódás első fázisában dobódik ki igen nagy sebességgel (a kezdeti nagy energia miatt ebben gyakoribb lehet az olvadék), túlnyomó része a kiválás fázisában, kisebb sebességgel lökődik ki (kevésbé sokkolt kőzetekkel), általában 45°-nál kisebb szögben (239–240. ábra). Légkörrel rendelkező égitesten a ballisztikus pályán kidobott törmeléken kívül alapi torlóárként is kerül ki a kráterből finomszemcsés anyag, amelyet atomrobbantásokkor is megfigyeltek (4., 42., 44. ábra) (Montanari, Koeberl 2000).

A törmelékterítő közetani vizsgálata több földi kráternél lehetséges; leírásunk részben ezeken alapszik.

A törmelékterítő rétegsora a korábbi rétegsornak közel a fordítottja (*inverted stratigraphy*). A kidobott anyag az eredeti, kidobás előtti települési sorhoz viszonyítva megfordult rétegsorral települ (hullik vissza), azaz az eredetileg legmélyebben lévő kőzetek kerülnek a törmelékta<sup>karó</sup> legtetejére (241. ábra). Multi-spektrális műholdas távérzékeléssel a törmelékterítő megfigyelése más égitesten is lehetővé teszi a felszín alatti rétegek kőzeteinek durva meghatározását.

A törmelékterítő különösen nagy medencék esetén alkalmas relatív kormeghatározásra, mert egyidejűleg nagy területet takar be a környezetétől jól elkülöníthető anyaggal. Példa: Merkúr: Nervo formáció Hold: Apennine Bench formáció; Montes Rook formáció (Wilhelms, McCauley 1971b).

A törmelék visszahullása során rengeteg másodlagos kráter keletkezik, ami a későbbi kozmikus erózióval együtt egyenletlen, dimbesdombossá teszi a törmelékterítő felszínét.

A földi vulkánkitörések visszahullt hamujához hasonlóan (243. ábra) a törmelék szemcseméretét tekintve a krátertávolság függvényében jól osztályozott, ez légkörral bíró célobjektumoknál a leghatározottabb.

A visszahullott törmelék vastagsága a krátertől távolodva csökken. A törmelék a kráter közepétől távolodva sajátos anyagsorozatot alkot, melynek egyes

részei eltérő megjelenésűek és elnevezésűek:

A **kráterkitöltő törmelék** (*crater fill deposit*) vagy **breccsalencse** a kráter mélyedésébe a robbanás nyomán visszahulló (*fallback*), lencse alakú törmelékhalmoz. Breccsából és a részben megolvadt kőzetek (*impact melt rock*) keverékéből áll. A kráter fenekén a becsapódás folyamán létrejövő breccsalencse vastagsága fele-harmada a kráter végső (sáncgerinctől aljzatáig számított) mélységének (Melosh 1997).

A **kráterkitöltő üledék** (*crater fill sediment*) a kráter mélyedésében nem közvetlenül a becsapódás után, hanem a későbbiekben hosszabb időn át (évek, évmilliók alatt) felhalmozódó üledék (szél, víz, jég, lejtős tömegmozgás, esetleg elektrosztatikus porvándorlás szállította üledék). Kráterkitöltő üledékeket hoznak létre pl. a kráterfal csuszamlásai, amelyet más becsapódások keltette vagy egyéb eredetű földrengések, rázkódások is elindíthatnak.

A kráterperemen belül és kívül, de ahhoz közel számtalan nagy méretű, szögletes kőzettömb: **megablokk** található, amelyek a legközelebb hullottak vissza a becsapódáskor.

Kifelé ezután következik a **sánc** (*rim*) (lásd 37. oldal): a visszahullott anyag többsége itt, a kratersáncban tömörül, ami gyűrűshegység formát alkot a kráter medencéje körül.

A sáncan túl található a kráterből kilökött, a felszínt anyagával széles körben betakaró **törmelékterítő** (*fallout, ejecta blanket*).

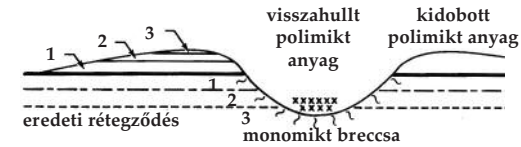
Közvetlenül a kratersáncot veszi körbe a **folyamatos**, más néven **proximális törmelékterítő** (*continuous / proximal ejecta*). Ez kb. 5 kratersugárnyi távolságig húzódik és a takaró anyagának 90%-át tartalmazza, köztük nagyobb méretű törmeléket (megablokkokat) is. A folyamatos törmelékterítőben 1 kratersugár távolságig hullik vissza az összes kidobott törmelék kb. fele, s a törmelékteríték vastagsága kb. a távolsággal kőbösen csökken (hivatk.: Moore et al. 2004).

A kráter és folyamatos törmelékterítője magas napállásnál környezetétől eltérő, egységes albedójúként tűnhet fel (lásd a Tycho kráter fényképét). Hasonlóképp a palimpszesztek esetében az eltérő albedójú kerek alakzat a kráter folyamatos törmelékterítőjét is magában foglalja.

Távolabbra a törmelékta<sup>karó</sup> egyre vékonyodó és finomodó frakciójú. Elnevezése **szakadozott** vagy **disztális** (*discontinuous / distal ejecta*) (Példa: Fra Mauro formáció (Imbrium-medence), Hevelius formáció (Orientale-medence)). Légkör megléte esetén ezt pusztítja le leghamarabb az erózió.

A szakadozott (disztális) törmelékta<sup>karó</sup>hoz tartozhatnak a tektitek, amelyek a becsapódáskor elpárolgó majd gyorsan újraszilárduló kőzetanyag (*impact vapor plume*) kicsapódó gömböcskéi, szeferulái.

A törmelékta<sup>karó</sup> (és a kráterbe visszahullt törmelék) anyagában átalakult és eredeti állapotú, de összetört kőzetek vegyesen fordulnak elő. A suevitbreccsa főleg a mélyből származó és kisebb részt eredetileg felszínen levő anyag törmelékeiből áll. Kb. 70%-ban megolvadt, s az olvadék mátrixa cementálja össze a szögletes



241. Kráterek belsejéből kidobott anyag települése (Meyer 1987)

törmeléket. A suevit, mint azt a Ries-kráter esetén Nördlingen város lakói bizonyították, könnyen faragható építőanyag (Benton 2003 p. 107).

A törmelékterítő lehet egyrétegű **radiális** (vagy száraz-ballsztikus) (Single Layer Ejecta, Radial: SLER), amit a becsapódáskor ballisztikus pályán kidobott törmelék alkot; vagy rétegzett/lebenyes (vagy fluidizált), melyet egy vagy több törmelékteríték alkot, ami fluidizálva rakódott le a kráter körül (*részletezve lásd: lebenyes kráterek, 39. oldal*) (Barlow et al. 2000).

A **törmelékben előforduló kőzettípusok**:

– **Breccásodott alapkőzet** (helyben maradt breccsalencse): a tranzienst kráter eredeti aljzata alatti régió, amelyet a robbanás lökéshulláma részben összetört, de az így képződött egyes blokkok jelentős mértékben nem mozdultak el. Az ilyen **parautochton** (hasonló és eredeti helyben maradt) kőzetek (*parauchthonous rocks*) a kráteraljzat alatt *lefelé* együttesen elmozdulva (és nem kilöködve) keletkezett kőzetek (pl: litikus breccsák).

– **Elmozdult, allochton** (más helyre került) kőzetek (*allogenic units*): Breccsák, kőzetolvadékok, amelyek a kráterkitöltő törmeléket és a kratersánc körüli törmelékta<sup>karó</sup>t alkotják; s amelyek *nem* mai helyükön (az üledékta<sup>karó</sup>ban) jöttek létre, hanem máshonnan (a kráterből) kerültek oda (kidobással). Pl: olvadékbreccsa, suevit, breccsalencse, kilöködött törmelékta<sup>karó</sup> (ejecta). Allochtonok a kráter mélyén található breccsa-telérek is.

A **pszeudotachilit breccsa** a kráter alatti kőzetekben található telér (dike)-szerű szabálytalan impakt breccsa (pl. Sudbury, Vredefort). A tömbök mérete a mikroszkopikustól a több száz méteresig változhat. Mivel eredetileg a kráter alatt keletkezik, erózióval kerülhet a felszínre.

A **törmelékek fajtái elhelyezkedésük szerint**:

– a **kráter alatt**: parautochton kőzetek, allochton breccsa-dike-ok, pszeudotachilit.

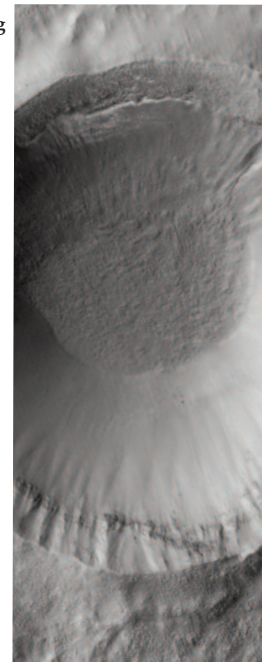
– a **kráterben**: kráterkitöltő törmelékek (litikus és olvadékbreccsák – suevit) és üledékek

– a **kratersáncan és azon túl**: kilökött törmelékta<sup>karó</sup>:

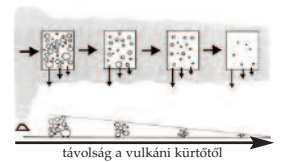
–Folyamatos törmelékterítő, majd

–Szakadozott törmelékterítő

A törmelékterítőhöz már talán nem sorolható az az anyag, melyet a szelek továbbítottak távolabbi területekre, pl. mint amilyen pl. a Földön a kréta/tercier földtörténeti határon megtalált légkörből kihulló iridiumgazdag réteg. A légkör által távolabbra szállított por a Vénusz esetén jelentős mértékben járulhat hozzá a felszín borításához (lásd: *parabolacsóvjú kráterek*).

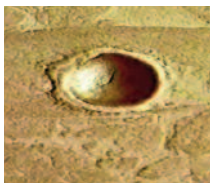


242. Egy 3 km átmérőjű marskráter a belső falán kibukkanó felszín alatti sötét réteggel, a kráter aljzatán pedig a csuszamlások és omlások nyomán felhalmozódott törmelékekkel (Mars, 37.5° d, 222.1° ny, MGS MOC)

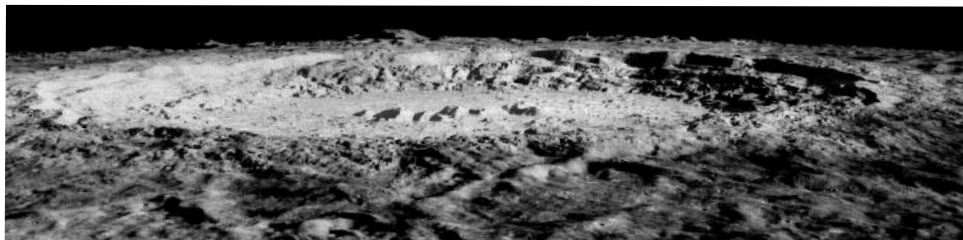


243. Párhuzam: a vulkáni kúrtóból származó kítőrensi oszlop egy részét a szél elszállítja, így a kihullási felhőből az anyag távolra is jut. A távolsággal csökken a szórt és lerakódott piroklaszt (*ash-fall deposits*) vastagsága és szemcsemérete (Ash 2005)

244. Friss kráter a Mars „fagyott óceánjáról”: ezek a kráterek valószínűleg korábbi, porral beborított vízfelület jégtábláinak anyagában keletkeztek. Szinte alig vetettek ki törmelékterítőt. Lehetséges, hogy alakjuk ezért alig módosult a tranziens kráter állapothoz képest (Mars Express)



245. A Copernicus kráter oldalnézetén jól láthatók a csuszamlásos teraszok és a sík aljzatú kráter arány- és magasságviszonyai (Hold, Lunar Orbiter PIA00094)



#### A PORÓZUS KISBOLYGÓK NAGYOBB KRÁTEREI

A C típusú (szenes kondrit anyagú) Mathilde kisbolygó űrszondás megfigyelései (NEAR szonda) és laborkísérletek szerint porózus vagy csak a gravitáció által egyben tartott törmelékhalom (*rubble pile*) szerkezetű kisbolygókban létrejövő nagyobb / mélyebb kráterek esetén más égitestekkel ellentétben nincs jelentős törmelékterítő. A porózus testeket ért nyomás nem kiszórja, hanem inkább összetömöríti az anyagot. A becsapódások így jelentősen növelhetik a kis égitest sűrűségét (Housen, Holsapple, 2003). A kráterek mérete azért is lehet igen nagy az égitesthez képest, mert a porózus anyag jobban letompítja a lökeshullámot anélkül, hogy a kisbolygó szétrobbanna (Cheng-Barnouin-Jha, 1999). A Hyperion szaturnuszhold furcsa felszínéről készített Cassini-képek alapján inkább szivacsos szerkezetű égitestnek gondolhatjuk a Hyperiont is, mint kemény sziklából állónak.

A C típusú porózusabb kisbolygókkal szemben az S típusú (szilikátos anyagú) Eros és a Gaspra kisbolygón nagy távolságban is megtalálták kidobott anyag nyomát, illetve az Eroson sok nagyobb követ, blokkot mutatnak a fotók. Az ilyen kődarabokról korábban azt gondolták, hogy nem esnek vissza a kisbolygóra, hanem a kis gravitáció miatt elszöknek róluk a becsapódáskor elért sebességgel.

## KRÁTERSÁNC, KRÁTERFAL

*Gyűrűshegység, hegységgyűrű, kráterperem, hegység (Montes), sánchegység Crater rim, basin rim, rimcrest, ring mountain, massif, wall*

A sánc a kráter gyűrű alakú, legmagasabbra kiemelt pereme, ahol a kivetett anyagok (kőzet, törmelék) olvadékok is tartalmazó kevert breccsát alkotva egymásra rakódnak. A körbefutó gyűrű legmagasabb pontján belül és kívül lévő lejtők töréspontja közti részt soroljuk ide. A sánc a törmeléktakaró legmagasabb (legvastagabb) része. A krátersánc törmeléke a sánc-törmelék (*Pedestal ejecta* [belső és külső]). A sánc belső lejtői (*fala*) (*internal slopes*) sokkal meredekebbek, mint a külsők (*external slopes*).

A kráterfal a sánc legmagasabb pontján belül, a kráter belső aljzatáig húzódó lejtő, amely általában a kráterfal nagyobb blokkjainak csuszamlásával, esetleg kisebb törmelékek hullásával alakult ki a tranziens kráter belső lejtőjéből.

A sánc alatt az eredeti felszín becsapódáskor kinyomódva kiemelt (azaz nem visszahullással felhalmozott) anyaga található. A kráterek sánca idősebb anyagokat tartalmaz a becsapódás időpontjánál, mert a kráter belsejéből (mélyebb rétegekből) dobta ki az anyagot a becsapódás lökeshulláma. Az ősi medencék hegységgyűrűi a legidősebb anyagok közé tartoznak a bolygófelszíneken. A nagy medencék lepusztult sánca különálló blokkok és köztük lévő árkok láncolata. Földrajzi elnevezésük: hegység (Montes, t.sz.). Pl.: Hold: Montes Carpatius,

Montes Appenninus (a Mare Imbrium körül), Montes Rook formáció (az Orientale-medence körül) (Wilhelms, McCauley 1971b). **Mars:** Lybia (az Isidis-medence körül), Hellespontus (a Hellas-medence körül), Nereidum Montes, Charitum Montes (az Argyre-medence körül). **Merkúr:** Caloris Montes formáció (*cm* geológiai egység), (elavult elnevezéssel *Caloris mountains terrain* (Trask és Guest 1975)

A sánc ill. romjainak előforduló lehetséges magyar megnevezései (lásd még: lepusztulás)

**Hegy/-ek** (Mons, Montes, gori vagy hrebet (orosz) =hegy, hegyhát)

**Hegység** = Montes

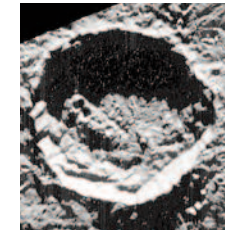
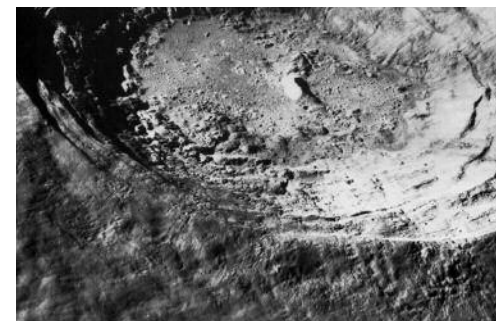
**Sánchegység** = nagy medencék jórészt lepusztult sáncanyagából álló vonulat

**Szigethegy** = Mons = a mare területekből szigetként kiemelkedő egyetlen csúcs vagy kis területen koncentráció csúcsok csoportja

**Szigethegység** = Montes, Mons = a mare területekből szigetként kiemelkedő számos csúcs, hegység

**Szirt** = Mons = csúcs a terra területen

**Hegy** = Mons = hegység, hegylanc egy része, vonulata vagy nem besorolt viszonylag egyedülálló kiemelkedés.



248. A Rhyannon kráter (15 km). Jól látható a kráter jégbe vájt éles, csuszamlott fala (Europa, 81° d, 197° ny (Moore, 2001)

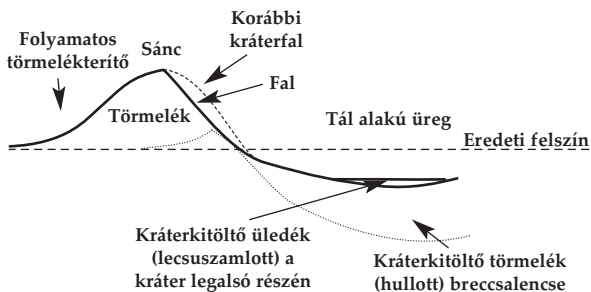


249. Az Appenninek a Holdon

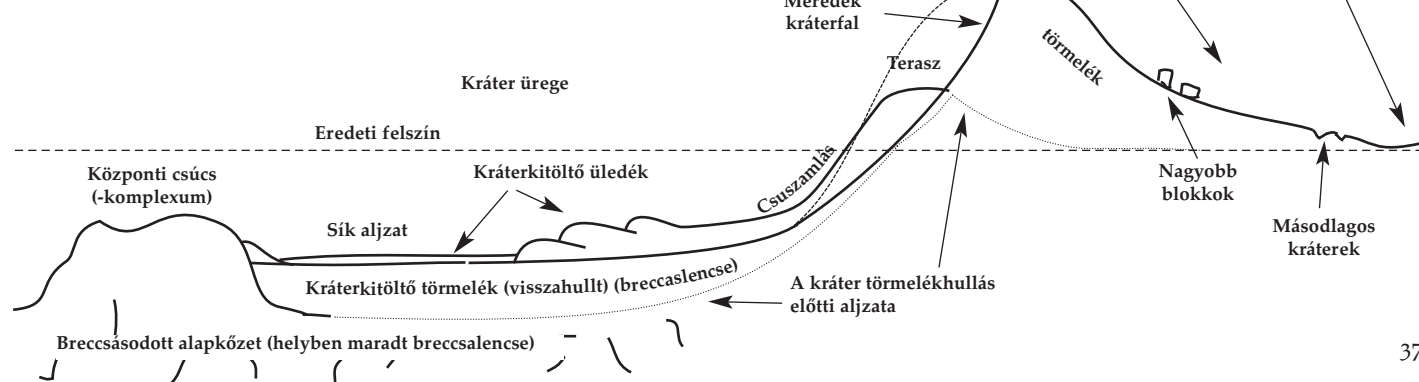
250. A 39 km-es Aristarchus kráter belső lejtőjén csuszamlások alkotta teraszokkal (Hold, Apollo, AS15-0326)

246-247. Krátertípusok idealizált metszetei a kráter egyes morfológiai és egyszerűsített közzetani egységeinek feltüntetésével (nem méretarányos)

Egyszerű, tál alakú kráter

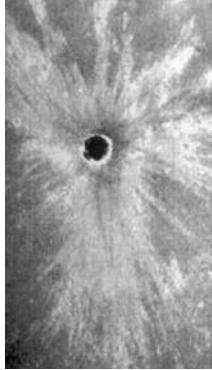


Központi csúcsos komplex kráter

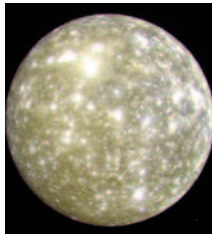


## SUGÁRSÁVOS KRÁTER

Crater rays, rayed crater, bright ray crater, ray system, bright ejecta



251. Kb. 100 m átmérőjű kis kráter a Marson világos sugársávokkal és sötét kráterbelsővel (Kargel 2004, p. 97, MGS MOC M1000565)



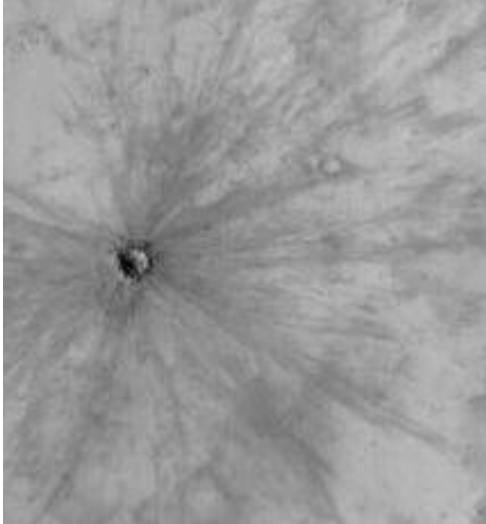
258. A Callisto kráterek albedófoltjaival pöttyözött felszíne

252. Kb 100 m-es fiatal, sötét sugársávok kráter a Marson. Balra fent szegmenshiány látható a sugársávokban (6,9° d, 317,1° ny, Arabia, MGS, MOC2-803, R0801722)

A sugársávok a törmelékterítő egy látványos formáját képviselik. Ezek fiatal kráterek körüli radiális alakzatok. A környezetüktől eltérő fényvisszaverő képességük (albedójúk), ezért annál világosabbak vagy sötétebbek.

**Keletkezés** A becsapódáskor kidobott, elporladt vagy megolvadt és üveggé szilárduló anyag 1 km/s vagy nagyobb sebességgel csapódik ki, és hosszú, vonalmenti sávokban hullik vissza. Az egy sávban kidobott anyag megfeleltethető a becsapódás elején kivágódó gyorsan, szűk szegmensekben távolra kidobott *jetek* sávjainak (44. ábra). A gyors jetek után a kráter körül mindenhol hullhat a törmelék. A jeketet is fékezheti a légkör.

A sugársávok a környezetüknél frissebb, újabban a felszínre került anyagok, melyek nagyon vékony rétegben borítják be az alattuk lévő anyagot. A sugársáv kontrasztját az adhatja, ha a mélyből kidobott anyag minősége eltér a felszíni környezetétől pl. a Holdon világosabb (pl. terra) anyag kerül sötét (pl. mare) felszínre, vagy ha kőzetminősége nem tér ugyan el, de frissebb a kozmikus eróziónak már hosszú ideje óta kitett környezetnél. Légkör nélküli égitesten a sugársávok a kozmikus sugárzás és a Nap ultraibolya sugárzásának hatására halványulnak el,



azaz válnak környezetükhöz egyre hasonlóbb albedójúvá. Légkörrrel rendelkező égitesten a por is beboríthatja vagy vékony rétege lepusztulhat.

A sugarak „optikai frissességét” a Holdon a kopernikuszi / eraszthenészi kor határvonalának meghatározására használják. A korábbi nézettel ellentétben, amely szerint a sugársávok a Holdon kb. 1,1 milliárd év alatt halványulnak el, a környezetüktől eltérő anyagú sugársávok akár 3 milliárd évig is láthatók maradnak. Csak a regolit átkeverődésével tűnnek el. Azok a sugársávok, melyek az anyag frissessége miatt világosabbak, de azonos összetételűek azzal a területtel, amelyen képződtek, hamarabb, kb. 0,8 milliárd év alatt elhalványulnak. Ennyi idő kb. elegendő ahhoz, hogy vastartalmukat a kozmikus erózió oxidálja. Ez adja ki a kopernikuszi kor határvonalát is (Ray Hawke et al. 2004).

A sugársávok nem mindig radiálisak a kráterre, hanem lehetnek érintőlegesek is. A fényes sugársávok a krátert övező sötét halon (eltérő színű törmelékgyűrűn) túl indulnak a Tycho-t bemutató képen (254. ábra). Ez utalhat a becsapódás szögére és irányára, ami – a lepkeszárny alakú vagy szegmenshiányos törmelékterítőhöz hasonlóan – eltorzíthatja a sugársávok futását.

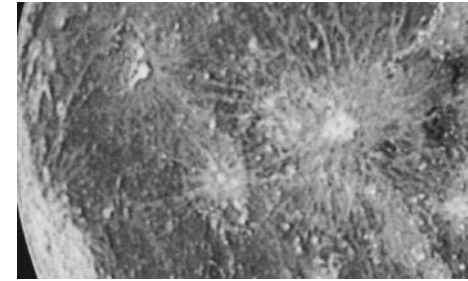
Sugársávok a nagyobb medencék körül is keletkezhetnek, de mára az erózió mind eltüntette őket.

**Világos halo** A kráter környezetében nemcsak sugaras, hanem összefüggő területet is boríthat eltérő albedójú törmelékterítő (257. ábra) (*ha világosabb: bright ejecta*). Ez mindig a kráter fiatal korát jelzi pl. jellegzetesen „pöttyözött” Callistón (258. ábra). Sok kisebb kráter körül látható világos halo a Merkúron is.

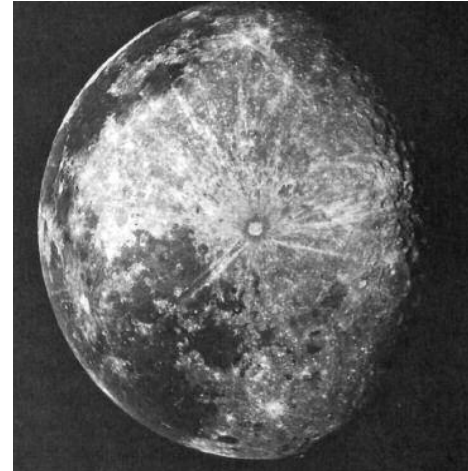
**A Marson** sötét sugársávok poros felszínre alakultak ki, a por fölé a mélyebb rétegek sötét anyagát szórva szét a kráter körül. A kráter fiatal korát az mutatja, hogy a légkörből lehulló világos por még nem lepte be ezeket a sötét részeket. A Marson a fiatal krátereknél is ritkán láthatók a sugársávok, mert a szél hamar eltünteti őket. A 252. ábrán a sánc közelében látható kis fekete pöttyök kidobott sziklák.

**Típuspéldák:** Zunil, Mars: 10,1 km átmérőjű kráter, 1600 km-ig eljutó sugársávokkal (másodlagos kráterek rajával), 16 kratersugáron belül igen kevés, azon túl a számítások szerint 10<sup>7</sup> db. másodlagos kráterrel (McEwen et al. 2005).

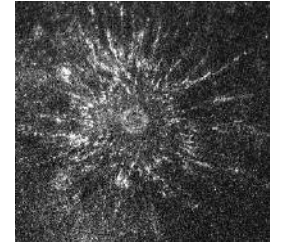
Merkúr: 67°S, 56°, Hold: Tycho (3000 km-ig követhető sugársávok), Europa: Pwyll (1000 km-ig követhető sugársávok) (377. ábra).



253. A Hold Copernicus kráterének „kanyargó” sugársávjain megfigyelhető, hogy a sugársávok milyen messzire jutnak, és az, hogy azok nem feltétlenül radiálisak a kráter középpontjára, hanem több esetben érintőlegesek a kráterek peremére. Ugyanezt lásd még a Tychoról készült 254. ábrán.



254. A Hold nézete a Tycho krátert középpontba helyezve. (Hartmann 2005, p.253). A sugársáv csak egy sötét halon túl kezdődik, nem közvetlen a kráternél. A sugársáv a sávban kidobott majd visszahullott törmelék helyét mutatja; ebben a sávban található a másodlagos kráterek láncai is (v.ö.: másodlagos kráterek ill. 2., 7., 44. ábra)

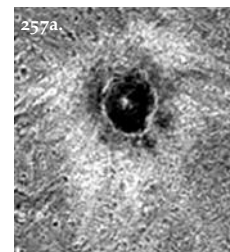


255. Sugársávok kráter radarképe a Merkúron (34° d, 347° ny, John Harmon, Arecibo radar)



256. Fenn: a fiatal sugársávok Kuiper kráter (Merkúr, 10,8° d; 31,5° ny, 60 km, Mariner-10)

257a-b. Képek jobbra : a Ganymedes kráterei körül sajátos albedo-sorozat látható: világos sugársávok (Kenshu kráter, balra) és sáncon belül sötét halo (Galileo, G112697)





## PARABOLACSÓVA ÉS VIRÁGSZIROMTERÍTŐ

*Parabolic feature, Petal ejecta*



259a. Egy világos, parabola alakú terület egy 60 km-es kráter körül (Titán, Cassini)



259b. Földi párhuzam a parabolasóvára: a helyi szelek által szállított, ellipszis alakban lerakott por. A visszahulló radioaktív porból álló felhő egy Detroitot ért atomtámadás esetén 25 km/h selet feltételezés (modellszámítás). (*The Effects of Nuclear War, Congress of the USA, 1979*). A gyors erózió miatt hamar eltűnik a felszíni por, de más égitesten megmaradhat. Hasonló mintázatot adhat a vulkánkitörésből származó visszahullott por is. Egyik sem parabola alakú, mert ezen esetekben a pornak folyamatos az utánpótlása (egy táguló gömb teljes térfogatában), míg a becsapódáskor csak egy táguló gömb felszínén rakódik le a por (Illés 2005)

**PARABOLA (POR-)CSÓVÁJÚ ÉS PORHALÓS KRÁTEREK A VÉNUSZON** *Parabolic feature, air fall deposits, Radar-dark parabola, radar-dark feature, paraboloidal streaks*

Eddig parabolasóvájú krátert a Vénuszon és a Titánon találtak, de előfordulhatnak a Földön is. A 11 km-nél nagyobb kráterek környezetét rendre radarsötét finom porrá tört anyag borítja a Vénuszon.

A vénuszi kráterek környezetében található alakzatoknak több felosztása is van. Az egyik ezeket eróziós sorként magyarázza: A legfrissebb alakzat a *Radar-dark parabola* (DP) (pl. Stuart kráter); mely idővel *Clear dark halo*-vá alakul (CH) (pl. Caccini kráter), majd *faint halo* (FH) (pl. Barrymore kráter) fázisba erodálódik, és végül eltűnik (*no halo*, NH Rand kráter) (Basilevsky et al 2004).

Egy másik felosztás (Bondarenko, Head, 2004) a következő típusokat különbözteti el: *radar-dark diffuse feature* (DDF) (a kráterek 64%-ánál), ebből nyugatra nyíló parabolasóvák (8–13%), *radar-dark halo* (30–35%), *faint dark halo features* (21%).

A vénuszi radar-alakzatok több folyamatra is utalnak:

- A kráter körül a becsapódás előtt a légköri robbanás lökéshulláma a regolit anyagát porrá őrli.
- A nagy légsűrűség következtében a becsapódások által kivágott finom por egy része nem hullik le azonnal, hanem nagyobb magasságba (40–50 km) feldobódik, ahol az uralkodó zonális szelek magukkal ragadják, és szélirányban elszállítják. Közben a por a légkörben a becsapódáskor kapott sebességvektorával a levegőhöz képest is tovább mozog, így meridionális irányban is egyre szélesebb sávba jut el. Eközben a por tovább hullik ki a levegőből, és ahova lehullik, ott a talajon egy finom porral takart sáv marad utána. Ez a finom porral borított sáv radarhullámokkal készített felvételeken a környezeténél sötétebbnek látszik, sötét parabolasávot rajzolva. Ez sokszor csak egy parabola körvonalaként jelenik meg. A parabolasávok fókuszisaiban a becsapódásos kráter foglal helyet, a tengelye pedig az egyenlítővel, azaz az uralkodó (nyugati) széliránnyal párhuzamos és emiatt parabolasávuk mindig nyugat felé nyitott.

A parabolasáv anyaga mindig a legfiatalabb geológiai réteget jelenti.

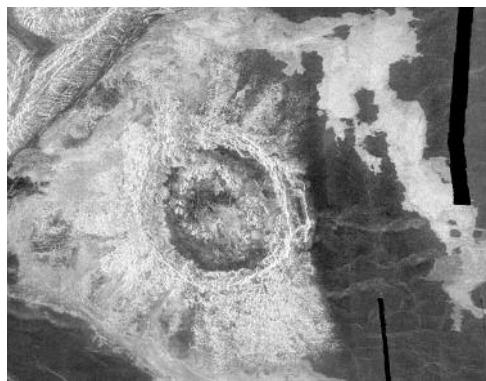
A Vénuszon legalább 60 kráternek (az összes kb. 6%-ának) van jól látható parabolasóvája. Ezek némelyike akár ezer km-ig is követhető. Az, hogy a

radarképen nem látszik parabola, talán csak arra utalhat, hogy ott az anyag nem olyan finomszemcsés, avagy az anyag már lekopott. Így elképzelhető, hogy az egykori parabolasávok térben átfedő és egymásra rétegződő anyaga akár a felszín 80–90%-át is beborítja. A Venyera szonda felszíni képein látható réteges kőzeteket Basilevsky (2004) megkövesült és erodált parabolasóvák-rétegekként magyarázza. Hasonlóan rétegekként ülepszik le a földi vulkánkitörésekből vagy atomrobbantásokból származó por is. A Vénusz felszínét így jórészt olyan por boríthatja, amelynek anyagát a becsapódások vájták ki mélyebb rétegekből (Basilevsky et al 2004).

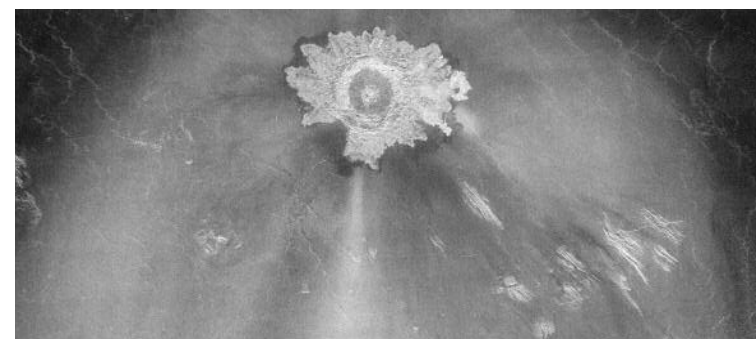
Ha a beérkező test nem jut le a felszínre, akkor csak a lökéshullám porrá őrölő hatása látszik a felszínen. Parabola az ilyen radarsötét felt esetében azért nincs, mert nem történt felszíni robbanás, ami a port feldobta volna a légkör magasabb részeibe.

### VIRÁGSZIROM SZÉLŰ, FLUIDIZÁLT HATÁSÚ TÖRMELEKTERÍTŐ *Petal Ejecta Crater*

A Vénusz sűrű légköre fékezheti a kidobott anyag sebességét, de más hatása révén elősegítheti annak gyors mozgását. A szén-dioxid (gáz) 31°C feletti hőmérsékleten és 73 atm-nál nagyobb nyomáson szuperkritikus folyadék állapotba megy át. A Vénusz felszínén uralkodó magas hőmérsékleten és nyomáson a CO<sub>2</sub>-légkör szuperfolyékony folyadékként viselkedhet, és ekkor a belé szóródott törmelék sárfolyáshoz hasonlóan terítheti szét (Illés 2005). A folyadékként viselkedő nagyon sűrű és forró légkör légkör turbulens áramlásai magukkal ragadhatják a kivágott és elporlasztott törmelék. Az így fluidizált törmelékterítő erősen szabdaltságot lebeget, virágsziromhoz hasonló szélű törmelékterítőt hoz létre. A törmelék így messzebbre szállítható (a Vénuszon 1–1,4 helyett 1,5–2 kráteresugárra),



259c. A Cohran kráter körüli impakt olvadék elég sokáig folyékony maradt a forró légkörben (Magellan radar)

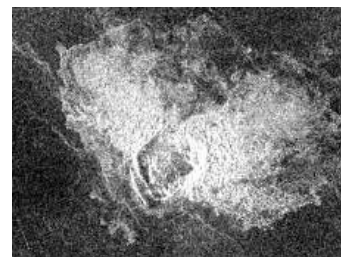


mintha a szemcsék a légkör nélkül repülnének szét. Másrészt a felemelkedő kitörési felhő turbulens áramlásai által a talajra lecsapott szemcsék a turbulens felhő alakját (vetületét) rajzolják ki a talajra – virágszirom-szerű törmelékterítő-szelet hozva létre. Ez lehet szabálytalan is meg szimmetrikus is (Illés 1992). A vénuszi virágszirom szélű törmelékterítő kráter hasonló az eltérő mechanizmussal, de szintén fluidizálva létrejött marsi lebegető kráterekhez.

### SZEGMENSHIÁNYOS TÖRMELEKTERÍTŐ

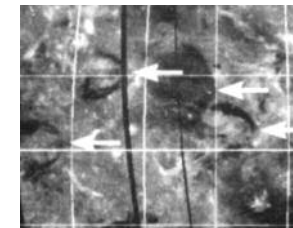
Ferde szögű becsapódásnál a sűrű légkörű bolygókra a becsapódó test mozgásának útvonalát mentén a felforrósodott, turbulens levegő az érkezés irányában útját állja a törmelékterítő kirepülésének, ezért a Vénuszon sok kráter törmelékterítőjének hiányzik egy szegmense (259f ábra).

**Alternatív magyarázat a fluidizált törmelékterítőre** Collins és Melosh (2003) szerint fluidizált tömegmozgást ún. akusztikus fluidizáció (*Acoustic Fluidization*) is létrehozhat, melynek során a szemcséket a regolitban létrejövő gyors rezgések mozgatják. Ez az elmélet magyarázza a Marson, Ión, Callistón, Phoboson és Vénuszon talált ún. *Sturzstrom*nak nevezett törmelékárványokat, melyek 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>-nél nagyobb térfogatú, rendkívül mobilis törmelékanyagból állnak.



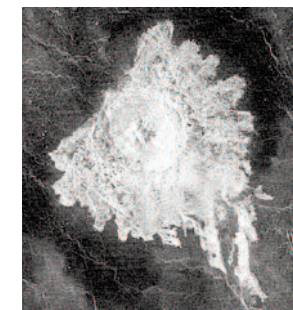
259g. 8 km átm. lepkeszárny-szerű törmelékterítő kráter. A becsapódó test a kép bal alsó oldala felől érkezett. (Vénusz, 12° é, 352° k, Magellan radar, MRPS 34427)

259d. A 30 km-es Adivar kráter (Vénusz, 9° é, 76° k, Magellan radar, F-MIDR 09N075)



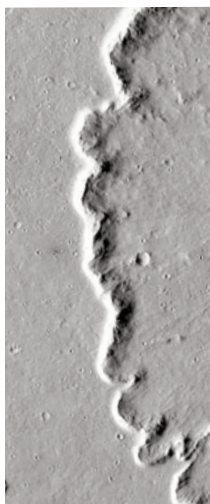
259e. Sötét parabolasáv a Vénuszon. A sötét parabolasáv egy keskeny szélességi sávban jelentkezik az egyenlítő két oldalán

259f. Lenn: A virágszirom-szerű, szegmenshiányos fluidizált törmelékterítő Aurelia kráter (40 km), melyből a radarképen világos impakt olvadékfolyás indul (Vénusz, 20,3° é, 331,8° k, Magellan radar, F-MIDR 20N332)

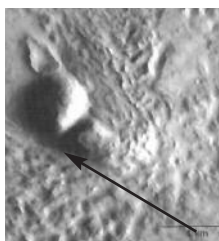


## LEBENYETERÍTŐS KRÁTER

Rampart (peremgerinces), Pedestal (lépcsős), Pancake (Pn), Mound, Lump, Splash (posványos), Flower, Radial, Rd: Radially lined ejecta = Lunar-like, Transitional = Diverse, Lobe, Lobate Craters Fluidized ejecta blanket (fluidizált törmeléktakarójú), Single lobe, Double lobe, Multiple lobe etc. Egységesített nevezéktan: SLE vagy SL: Single Lobe Ejecta, egyrétegű lebenyeterítés (Single lobe rampart), DLE vagy DL: kétrétegű lebenyeterítés Double Lobe ejecta, MLE vagy ML: Multiple Lobe ejecta



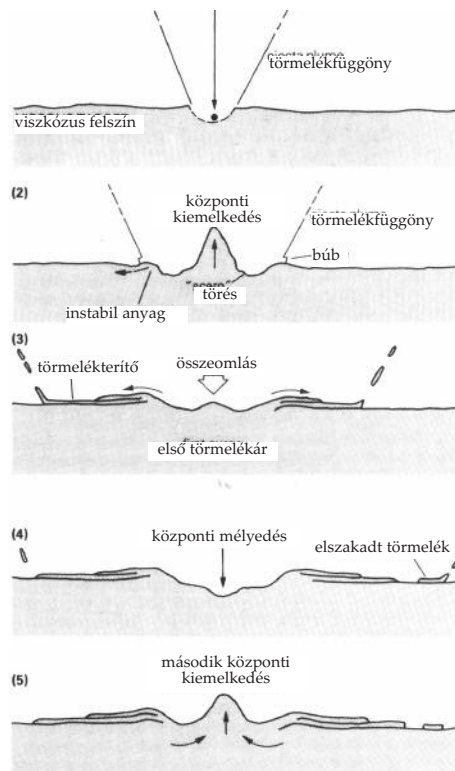
260a. SLE kráter. (Mars 21°S 285°E) A *distal rampart* (peremgerinc) közelről. A tereplépcső itt 177 m magas. (teljes kép: *köv. o.*) (THEMIS VIS V05808002.)



260b. Lebenyeterítő részlete: látható, hogy nem hullott, hanem a képen jobbról folyt a törmelék, hisz egy korábbi kőtömb megállította útjában. (Mars, 179°ny, 29°é, MGS SP2-44305)

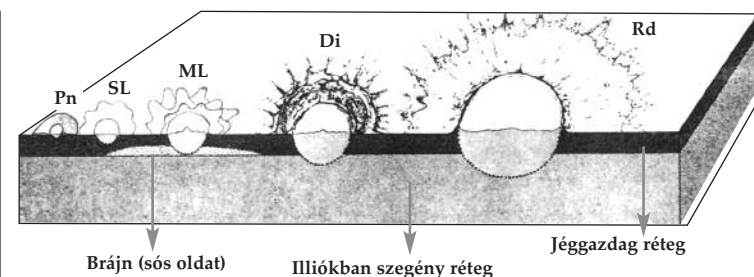
Az egy- vagy többretegű lebenyes szerkezetű törmeléktakarójú kráterek különlegessége törmeléktakarójuk, amely nem csak „szárazon”, ballisztikus pályán dobódott ki, hanem részben „fluidizálva”, „sárfolyásként” rétege(ke)t alkotva rakódott le, és jól definiálható vonalban, hirtelen, csipkézett vagy ívelt peremgerincben végződik (*distal ridge / distal rampart*), ellentétben a fokozatosan elvékonyodó hagyományos törmelékterítővel (*radial ejecta*). Ezek a lebenyeterítő (röviden: lebenyes) kráterek. Nem a fentiek szerint képződött krátereknél is látható tereplépcső morfológia, melyet erózió is létrehozhat (*pedestal craters*).

Eddig (2005) csak a Marson és a Ganymedesen (Shoemaker et al. 1982) találtak ilyen krátereket. A lebenyes törmeléktakarót valószínűleg a permafroszt vagyis az örökké fagyott regolitban található vízjég becsapódás hőjétől történő hirtelen felolvadása és a regolitval keverve sárfolyásos (*mud flow*) „kiplaccsanása” hozta létre a becsapódáskor, így **fluidizált törmeléktakarós** – azaz lebenyeterítés (*muddy slurry* – „posványterítés”) krátereknek nevezzük őket. Átmérőjük a Marson általában 5–50 km. Az ennél kisebb vagy nagyobb krátereknek nincs lebenyes takarója, mert még nem érték el a jég réteget vagy annál mélyebbre hatoltak. A fluidizált törmelékterítő jól láthatóan különálló, egymás fölé települő, messzire hatoló lebenyekből (nyelvekből) állhat. Hasonló folyamatok a Földön is lejátszódhattak pl. a sekélytengerben keletkezett krátereknél. A Chicxulub kráteránctól 230 km-re fluidizált portól származó üledéket találtak, bár egyértelműen nem sikerült bizonyítani, hogy ez is lebenyes kráternek tekinthető. Lebenyeterítőt földi kráter körüli nem találtak, mert ha léteztek is, mára lepusztultak, de pl. a Ries-kráternél is feltételezik, hogy kialakult. Morfológiájuk alapján megkülönböztetjük az egymásra települő teljes lebenyeterítőrészeket



261. A lebenyes kráterek keletkezésének magyarázata Greeley (1985 p.177) szerint.

számát (egy, kettő, sok); elvégződésének futását (tagolt, tagolatlan) és domborzatát (peremgerinc, *rampart*), hirtelen tereplépcső (*pedestal*). Használják a palacsinta (*pancake*) kifejezést is. Genetikájuk alapján lehet felhalmozódó (peremgerinces) vagy eróziós kialakulásúak (pl: lépcsős). A lebenyes kráterek standardizált általános felosztását Barlow és munkatársai (2000), miután már túl sok többé-kevésbé szinonim név volt forgalomban, a következő genetikaszemleges, leíró jellegű alaptípusúakra egyszerűsítették: – egyrétegű törmelékterítő SLE (*single layer ejecta*), – kétrétegű törmelékterítő DLE (*double ~*), – többretegű törmelékterítő MLE (*multiple ~*). Így mi is ezeket a standard rövidítéseket használjuk. **Törmeléktakarójuk alapján** a következő típusokat különböztethetjük meg (Caplinger 1994, Mitchell et al. 2002, Barlow et al. 2000):



262. A lebeny morfológiája és a talaj illóanyagtartalma közti összefüggés. A jéggazdag regolitba csapódó test palacsinta- (Pn, *pancake*) és egyrétegű lebenyes (SL, *single lobe/layer*) törmelékterítőjű krátert hoz létre. A többlebenyes törmelékterítőt (ML, *Multiple lobe/layer*) sós oldatban gazdag brájban történő becsapódás eredményezi. A sugaras törmelékterítő (Rd, *Radial Ejecta*) illiókban szegény réteget keresztező becsapódás hatására jön létre. A változatos (Di, *diverse*) morfológiájú törmelékterítő akkor jön létre, ha a becsapódás hasonló vastagságú illógazdag és illószegény réteget üt át (Barlow és Bradley 1990 nyomán)

### PEREMGERINCES (RAMPART) LEBENYETERÍTŐ

A marsi kráterek egy része olyan törmeléktakarójú, mely jellemzően nem fokozatosan elvékonyodó szórt (hullott) törmelékből, hanem egy vagy több fluidizált, „sárfolyásos” módon kilöködött törmelékből áll. Egy ilyen „sárfolyási esemény” egy réteget hoz létre. Egy ilyen takarót nevezünk lebenyeterítőnek, megkülönböztetve őket a szárazon, ballisztikus pályán hullt hagyományos törmelékterítőktől.

A törmelékterítő lebenyes, ha létrehozója a kráter által átütött felszín alatti jég elolvadása (elpárolgása/fluidizációja a becsapódás keltette hő hatására). A Marson minél magasabb szélességen van a kráter, annál kisebb és sekélyebb kráter is elég ahhoz, hogy elérje a kritikus (jégtartalmú) réteget (R. Kuzmin, ill. J. Boyce munkái, 1980; Squyres, 1992). Az adott helyen legkisebb méretű kráterek tehát kirajzolják a marsi talajjég mélységét. (Kuzmin, Costard, 1988). A kráterek vizsgálata

Törmelékterítő-típusok a Marson kb. 4000 kráter alapján:

SL (egyrétegű): 51%  
DL (kétrétegű): 6,6%  
ML (sokrétegű): 11,8%  
Rd („száraz”): 5%  
Pn (palacsinta): 0,5%  
(Barlow, Bradley 1990)



263. Kétrétegű lebenyeterítés (DLE, *double lobe/layer ejecta*) kráterek elhelyezkedése a Marson (Mouginis-Mark 2005)

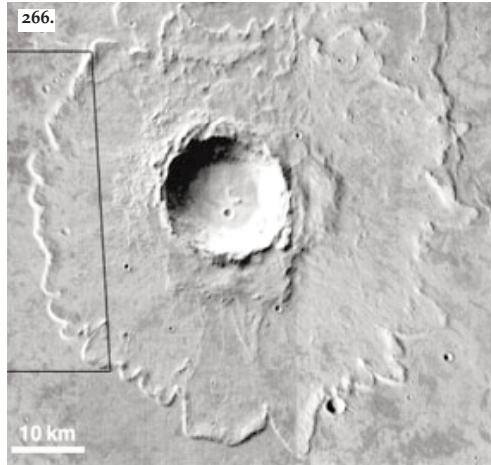
Egyrétegű...	...peremgerinces... ( <i>rampart</i> )	...tagolt...	... lebenyeterítés kráter
Kétrétegű...	...lépcsős... ( <i>pedestal</i> )	...tagolatlan...	
Többretegű...			

264. A lebenyeterítés kráterek egyszerűsített rendszere és nevezéktana



265. Egyrétegű lebenyterítő kráter (single layer ejecta=SLE). 7 km átm. (Mars)

266. Jobbra: egyrétegű, tagolt lebenyes SLE kráter a Sinai-síkságon (Mars, 21° d 285° k) (THEMIS nappali IR #I05059003). (A bekéretett részt lásd a 260a. ábrán kinagyítva)

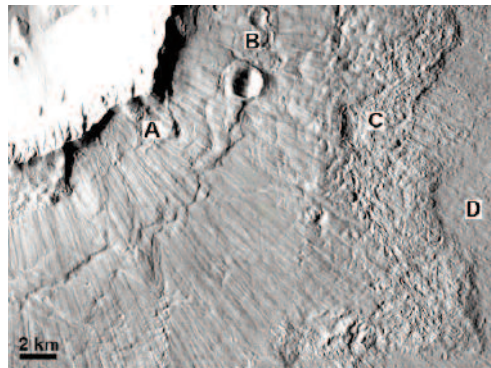


267. Dupla rétegű lebenyterítő kráter (16 km) (Mars)



268. A Poona kráter lebenytakarója sugaras mintázatú (Mars)

269. Kétrétegű lebenyterítő kráter (Mars). A: radiális árkok, B: régebbi kráter részleges előntése, C: a belső lebeny leszakadása, D: megváltozott szögű radiális árkok (Themis V09670012) (Mouginis-Mark, 2005)



alapján a legfelső talajréteg a sarkokon kb. 100 m, az egyenlítőn kb. 400 m mélyen található.

A marsi rétegzett kráterek többnyire szabdalt (szeldelt), vagyis lebenyes pereműek. A SLE rövidítés azonban mindössze annyit jelent, hogy törmelék (vagy sár)-takarója egyrétegű. Ha a kráterperem vonala nem folyamatosan ívelt, hanem szinuszosan hullámzó, akkor nevezhető lebenyesnek (vagy lebenyes rétegűnek). Ennek alapján a rétegzett törmelék takarójú kráterek lehetnek lebenyes: szinuszos (S, pl. SLES) vagy nem lebenyes: ívelt (circular, C, pl. SLEK) elvégződésűek.

a) SLE – Egylebenyes/egyrétegű (single lobe ejecta vagy sinlge layer ejecta). Fluidizált kidobott takarójú kráter, egyetlen anyagréteggel.

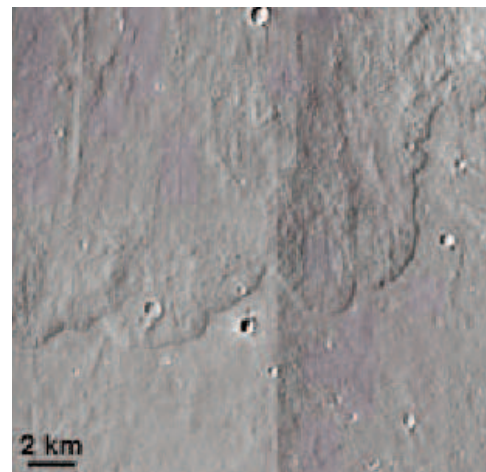
Lebenyének általában peremgerinc elvégződése van (*distal ridge, rampart*), a peremgerinc tereplépcsősje a Marson általában 60–80 m (Fagents 2005).

b) DLE – Dupla lebenyes/kétrétegű (double lobe ejecta vagy double layer ejecta). Két, jól elkülöníthető réteget tartalmaz törmelék takarója; a második réteg általában kisebb átmérőjű és az elsőre települ. Abban térnek el az SLE és MLE típusától, hogy nincsenek másodlagos kráterek, hanem radiális barázdák láthatók lebenyeiken és nincs peremgerincük (Mouginis-Mark, 2005).

Két rétegük eltérő morfológiájú, így elképzelhető, hogy eltérő hatások hozhatták létre.

A radiális barázdás krátereket Barlow és Bradley külön osztályba sorolja a lebenyes kráterektől (*Rd, Radially lineated ejecta craters*). A radiális alakzat arra utal, hogy ballisztikus pályán is történt anyagkidobás; de ez keveredhet (alá- vagy rátelepülhet) a fluidizált takaróra is. Ha csak ballisztikus törmelék kidobás történt, az a hagyományos „holdkráterek” kialakulásával egyezik meg. Lehetséges, hogy a két réteg egy vizes és egy száraz réteg kidobott törmelékét tartalmazza.

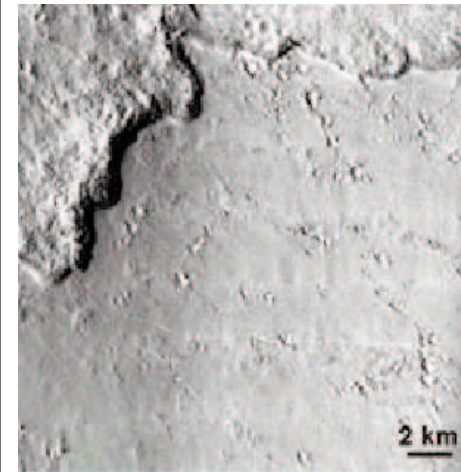
A kétrétegű törmelék takaró utalhat folyóvízi vagy állóvízi környezetbe érkező becsapódásra is (Cockell, Barlow 2002), ahol az üledékrétegek eltérőek lehetnek, és a vízben mozgó ill. légkörbe is kivágódó törmelék más utakat járhat be.



270. Két rétegű lebenyterítő (DLE) kráter lebenyvégződése. (Mars, THEMIS V09670012)

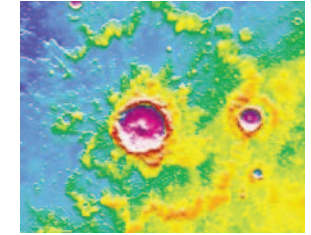
c) MLE – Többlebenyes/többrétegű (*multiple layer ejecta, ML: multiple lobe ejecta*). A kráter körül kettőnél több teljes vagy részleges anyagréteg található a törmelék takaróban (Barlow, Bradley 1990). A törmelék takaró peremgerincben végződik és másodlagos kráterek is gyakoriak körülöttük (Kargel 2004 p. 98, Barlow et al. 2000). A dupla takarót valószínűleg a marstalajban két szintben levő víz/jég hozta létre avagy azt jelzi, hogy a kráter gödre áthatolt a permafroszton (és megolvastotta), valamint elért egy mélyben lévő vízáradó réteget is.

A **rampart (peremgerinc) kráter** kifejezést az irodalom sokszor mindenféle lebenyes kráterre használja. Balow et al. (2000) azonban a talapzatot a lebenyek végén található kiemelkedéssel (*distal ejecta ridge vagy distal rampart*) azonosítja, így azok a SLE, DLE, MLE kráterek, melyek rétegzett törmelékterítőjének vége kiemelkedik, rampart kráterek (pl. SLER). Ennek alapján a nem tereplépcsősben elvégződő és nem is felboltozódó végződésű rétegek, vagyis azok, melyek lefelé ívelten végződnek: a palacsintakráterek (*Pancake (Pn), Single Layer Ejecta Pancake - SLEPn*). Ezeket egy sík, lepenyszerű takaró veszi körbe. A SLEPn-ek Costard szerint erodálódott DLE-k belső rétegei, ahol a külső lebeny elerodálódott (337. ábra). Barlow és Bradley (1990) szerint azonban

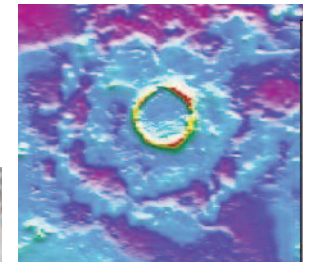


271. Többrétegű lebenyterítő (MLE) kráter lebenyvégződése (Mars, THEMIS, V05710012) (Mouginis-Mark 2005)

Különféle (talapzatos és lépcsős) kráterek összehasonlítása színfokozatos térképeken (Mars, MGS MOLA) (Mitchell et al, 2002)



272. Egy 51 km átmérőjű talapzatos (rampart) kráter. 57.9° é, 58.5° k, Mars. A törmelék takaró vége kissé kiemelkedik, mint azt a magassági profil mutatja.



273. Egy 22 km átm. kráter: mutatja a lépcsős (pedestal) kráterek jellegzetességét is, de egy „gyűrűben” ott található a törmelékterítő távoli peremgerince (*distal rampart*) is. Mars, 51° N, 54° E.

273. Egy 22 km átm. kráter: mutatja a lépcsős (pedestal) kráterek jellegzetességét is, de egy „gyűrűben” ott található a törmelékterítő távoli peremgerince (*distal rampart*) is. Mars, 51° N, 54° E.



274. Lebenyterítős kráterek a Ganymedesen (Galileo, G01609)

a palacsintakráterek a lebenyes kráterek legegyszerűbb típusai.

**d) Sziromlebenyes törmelékterítős (petal ejecta) kráterek.**

Morfológia: a takaró néhány, jól meghatározott (gyakran átfedő), csúcsos végű „virágsziromba” rendeződik, ahol a virágszirom értelmezhető jól fejlett (tagolt, szabdalt) lebenyként is.

Virágszirom peremű (azaz erősen szabdalt, sokszor csúcsban elvégződő nyelvekből álló lebenyterítőtű) kráterek a Vénuszon is előfordulnak, ahol a morfológiailag hasonló alakzatok a sűrű légkör miatt jönnek létre. Ott a turbulens légáramlatok kapják fel és sodorják távolabbra a törmelékot, de elképzelhető egyfajta torlóár szerepe is, amelyben a sűrű CO<sub>2</sub> légkör szuperfolyékony állapotban folyadékként viselkedve sárfolyásszerűen teríti szét a törmelékterítőt (Illés 2005).

**A lebenyesség mértéke** A lebenyesség ( $\Gamma$ , lobateness) (törmelékterítő peremének szinuszosossága, csipkézettsége) mértékének kiszámítása:

$$\Gamma = k/(4\pi A)^{1/2}$$

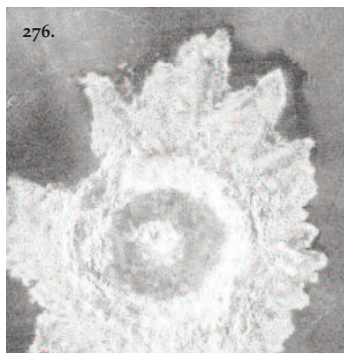
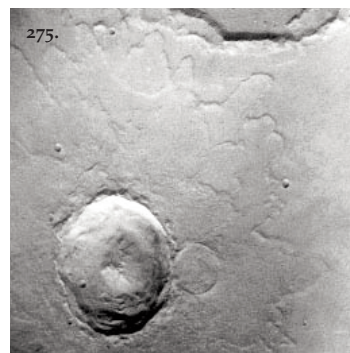
ahol k: a törmelékterítő kerülete,

A: a törmelékterítő területe (Barlow 1994).

A lebenyes törmelékterítők jellemzésénél fontos paraméter a fluidizált törmelék mozgékonyossága (ejecta mobility radio, EM). Ennek közelítése:

$$EM=1/r$$

ahol l: a törmelékterítő legnagyobb távolsága, r: a kráter sugara (Barlow, Pollak 2002).

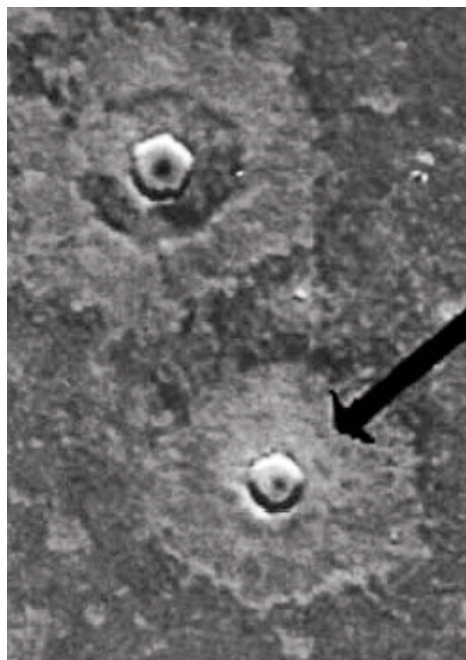


275-276. Jól tagolt lebenyes terítő a Marson (balra, Viking) és a Vénuszon (jobbra: Adivar, 29 km, Magellan radarkép). Látható a lebenyek morfológiai hasonlósága.

**LÉPCSŐS (PEDESTAL) KRÁTER**

**Lépcsős (pedestal, Pd) kráter:** erodált törmelékterítőtű kráter. A törmelékterítő nem fokozatosan magasodik a kráter sánca felé, hanem tereplépcsővel, de nincs peremgerince (distal ejecta ridge). A kidobott törmelék valószínűleg pajzsként védte az alatta levő, puhább kőzetet, melyet az erózió – esetleg szélerózió – az idők során lehordott. A kráter és törmelékterítője így (középen a kráter révén lyukas) „palacsinta-tanúhegyként” emelkedik környezete fölé. Keletkezhet szélerózióval is, de jégdús rétegbe történő becsapódással is, ahol a környezet anyaga idővel elszublimált (Barlow 2005b). A törmelékterítő „rágott” peremű is lehet (278. ábra), mint egyes szublimáló anyagú / hátravágódó tereplépcsők esetében.

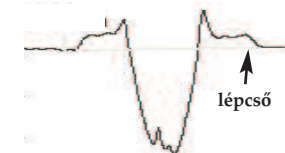
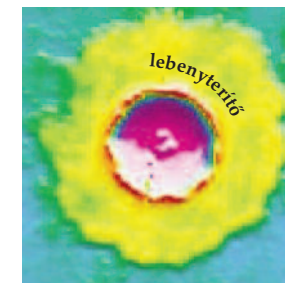
A pedestal crater kifejezést gyakran használják minden olyan kráterre, amelynek nem tagolt lebenyterítője van, különösen, mert eredetük (eróziós vagy sem) sokszor nem kideríthető.



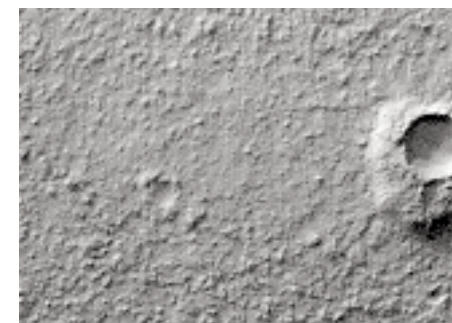
277. Két, kétrétegű lebenyterítőtű (DLE) morfológiájú kráter a Marson, amelyek Cockell és Barlow (2002) szerint állóvízbe történő becsapódás nyomán keletkeztek (a feltételezett Oceanus Borealis aljzatán).



278. Egyrétegű palacsinta vagy lépcsős (pancake vagy pedestal) kráterek a Mars északi síkságán (Viking 60A53).

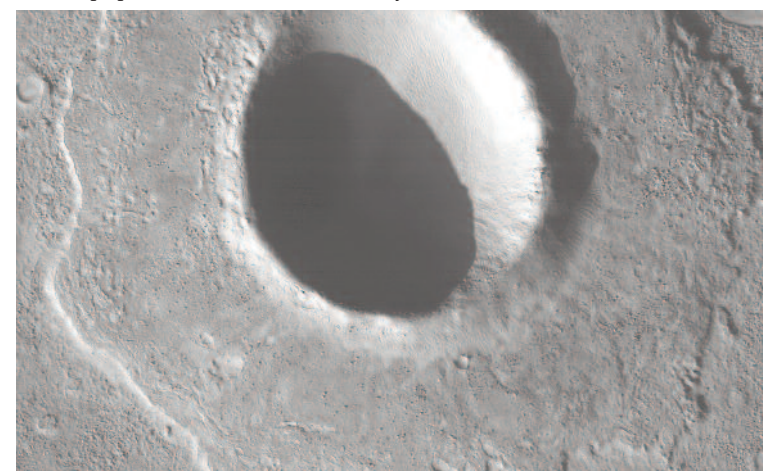


280. Egy 29 km átm. lépcsős kráter Mars, 49 °é, 118.5 °k (Mitchell et al 2002) Színfokozatos magassági térkép, MOLA.



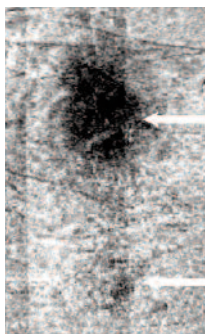
279. Apró „lépcsős kráter” (pedestal crater), inkább tanúhegy: a kb 100 m-es kráter törmelékterítője megőrizte az eredeti térszint egy apró darabon (Mars, 50,0° d, 77,8° ny, MGS MOC2-907)

281. Tereplépcsős kráter (Mars, 50,4° d, 14,3° ny, Noachis, MGS, MOC2-962)

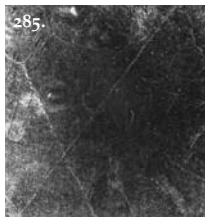
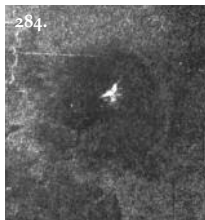
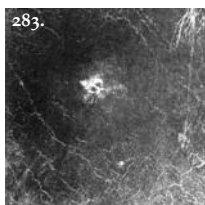


## BECSAPÓDÁS KRÁTER NÉLKÜL

Tunguz-esemény, köralakú radarfolt  
Splotche, airblast scar, circular radar reflectance feature



282. Dupla „splotche” (folt) a Vénuszon, hasonlóan a dupla kráterekhez. (59,8° é, 180,3° k, Cook et al. 2003, Magellan radar, C1-60N180)



A légkörrel bíró égitesteken előfordul, hogy a meteorikus test nem éri el a felszínt, ezért kráter nem keletkezik, azonban elég alacsonyan robban fel ahhoz, hogy egyéb képződményeket létrehozzon a felszínen.

Az óriásbolygókon, ahol nincs szilárd felszín, minden becsapódás tulajdonképpen ilyen „Tunguz-esemény”, azaz légköri robbanás felszíni nyom nélkül (Illés 1992, 2003).

A Vénuszon elég gyakran előfordul a kisebb becsapódó testek esetében, hogy a becsapódó test már a légkörben teljesen szétrobban, és nem is keletkezik kráter. Ilyenkor a lökeshullám (atmospheric blast wave) a becsapódás 3–4 kráter-átmérőnyi környezetében finommá őrli a vénusztalajt. A robbanás pontja alatt a felszínen ez a terület a Magella szonda radarfelvételein több kráterátmérő távolságig kiterjedő sötét foltként jelenik meg. Ezeket a területeket informálisan *spotche*-nak nevezik (Cooke et al, 2003).

Ezek a radarsötét területek a Földön 1908. június 30-án történt Tunguz-esemény (287. ábra) megfelelői a sűrűbb légkörű Vénuszon (Illés 1992), ahol a légnyomás a földi 90-szerese. Ilyet esetleg még a Titán holdon láthatunk, ahol a földinél négyszer sűrűbb a légkör, ami az ottani kisebb gravitáció miatt 1,5-szer akkora felszíni légnyomást tart fenn. Más szilárd felszíni bolygótesten a lényegesen kisebb légnyomás miatt ilyen jelenség nem várható.

Ha nem elég nagy a becsapódó test mérete vagy a szilárdsága (pl. porózus a felépítése), akkor a légellenállás a felszín elérése előtt szétrobbantja a testet. A néhány centiméteres és deciméteres becsapódó testeket – sebességüktől, anyaguktól és szerkezetüktől függően – a földi légkör még nagy magasságban elporlasztja/elpárologtatja, de a 40–60 méteresek már elég alacsonyan robbannak fel ahhoz, hogy a robbanás lökeshulláma elérje a

283-284-285. Mind kisebb kráterek radarsötét folttal. A legalsó képen már nincs kráter, míg a radarsötét folt (porrá őrölt regolit) megmarad (Vénusz, Magellan radar. Felülről lefelé: -20,7°, 338° MPRS 33962; 47,2°, 333°, MPRS 33987; -19,6, 339°, MPRS 36838. Minden kép kb. 60 km szélességű területet mutat) (Science, 1991. ápr. 12)

felszínt (Kereszturi, 2004). A radarsötét terület mérete és a robbanás magassága a légkör sűrűségétől is függ.

Becslések szerint az 1882-es mócsi meteoritzáport létrehozó becsapódó test 5-6 méter átmérőjű lehetett. Nagy magasságban – kb. 20 km-en – robbant föl, darabjai egy 25 km nagytengelyű szórási ellipszis mentén szóródtak szét. Mintegy 3000 db meteoritot gyűjtöttek össze Mócs környékén, 10-12 falu határából (Londoni Meteorit Katalógus, 1985).

Itt említhető meg, bár ismert példa nélkül, hogy a mélytengerbe történő becsapódás esetén sem éri el bizonyos mérethatár alatt a becsapódó test az óceán alját, így krátert nem hoz létre, bár hatásaira más megfigyelésekből következtetni lehet.

Kérdés, hogy vajon a Földön a „Tunguz-meteor”-ral kapcsolatban látható-e a radarképeken ilyen radar-sötét vagyis porrá zúzott terület, és az mekkora. Lehet, hogy a földi intenzív erózió miatt a radarsötét porrá törés területe száz éves távlatból ma már nem deríthető ki a Tunguz-meteorral kapcsolatban sem, és az öregebb krátereknél még reménytelenebb a dolog (Illés 1992, 2003).

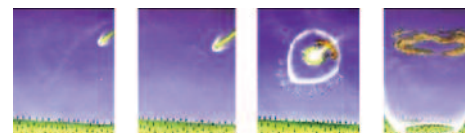
Amikor a becsapódó test vagy annak darabjai ugyan erősen lefékeződve, de földet érnek, egyszerű gödör keletkezik:

**GÖDÖR** Penetration Crater Csak mechanikusan „lepottyano”, a légkörben már lefékeződött vagy szétrobbant és kis sebességgel lehullt darabokból álló meteoritek által ütött nyom: egyszerű gödör a Földön (290a, 290b ábra).

286. *Chronicles of Prodigies* (1557) Conrad Lycosthenes fametszete égből hulló halált hozó kövekről

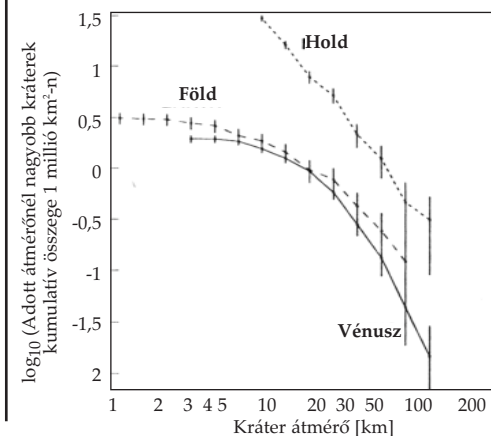


287. 1908-ban a Szibéria felett (60° 53' 09" é, 101° 53' 40" k) kb. 10 km magasságban felrobbant üstökös vagy kisbolygó radiálisan kidöntötte a fákat, kivéve a robbanás központját. Itt a fák álltak, de sem ágaik, sem kérgük nem volt. Az első expedíciót 1927-ben Leonyid Kulik vezette. A kép a becsapódás központjától 8 km-re készült 1929-ben

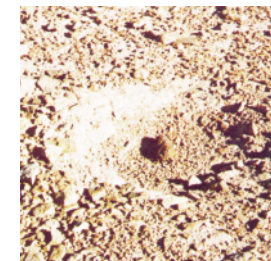


288. A Tunguz-esemény modellje: a meteorikus test széthullása, felrobbanása, és a lökeshullám felszíni hatása (www.mysterydatabase.com/english/Articles/tunguska.htm)

291. A légköri levágás határa a Vénuszon, a Földön és a Holdon. Légkör jelenlétében csak a nagyobb testek érik el a talajt, a kisebbek a sűrűlódás hője miatt elégnak (elpárolognak) a légkörben. Ezért a kisebb kráterekből egyre kevesebb van, s ez bizonyos kráterméretnél „levágást” okoz: ennél kisebb kráter már nem található a felszínen. A Vénuszon ez a határ kb. 3 km. A Titán levágási határa nem ismert (Science 1991. ápr. 12. alapján)



289. A Mount St. Helens 1980-as kitörése ugyanígy pálcikaként fektette el a fatörzseket, melyek ma is ott hevernek (Fotó: Hargitai H. 2005)



290a. Egy 80 cm átm. kráter, közepén egy 19 kg-os meteoritdarab. A meteoritdarab 18 cm mélységig hatolt. A kráter legalább 160 éves (Messinger, 1987. III/1)



290b. A Peekskill meteorit (202. ábra) egyik darabja a képen látható autóba csapódott.

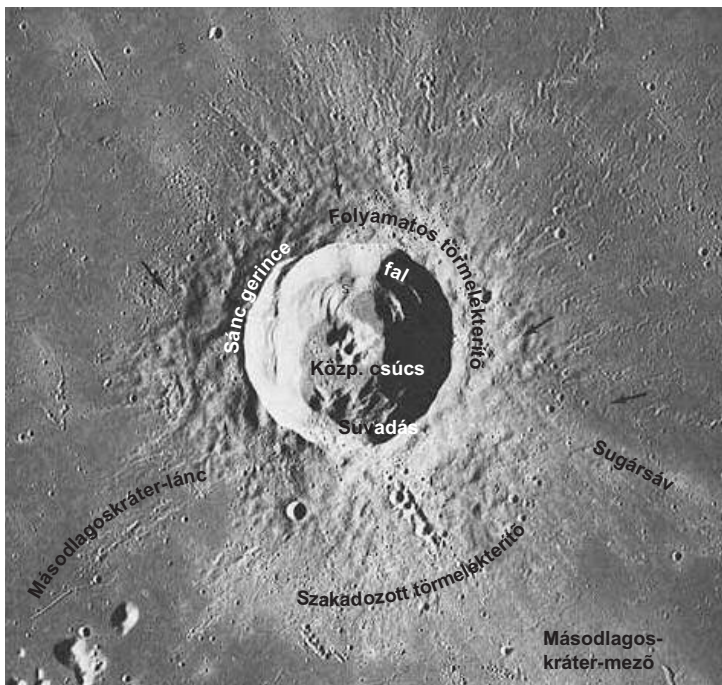
## MÁSODLAGOS KRÁTER

Secondary crater, secondaries, satellite crater



292. A Pwyll becsapódáshoz kapcsolódó 450 és 30 m közötti átmérőjű másodlagos kráterek a Conamara-káosz 4x4 km-es területén (Europa, Galileo). Lásd még: 377. ábra.

293. Euler kráter (27 km) (Hold, Apollo 17 AS 17-2923) Greeley, 1985 alapján



A becsapódásos eredetű krátereknek a klasszikus felosztás szerint két fő típusa van: elsődlegesek (*primaries*) és másodlagosak (*secondaries*). Az elsődleges kráterek közvetlenül az űrből érkező, nagy sebességgel becsapódó test hatására alakulnak ki, a másodlagos kráterek a becsapódáskor kivetett anyag (nagyobb blokkok) kis sebességgel történő visszahullásától származnak. A másodlagos kráterek raja sugársávok formájában/mentén is megjelenhet. Előfordulnak mezőben vagy láncmintázatban. Jellemzők a V alakú másodlagoskráter-mező, ahol a V csúcsa a becsapódás felé mutat (pl. a Copernicus másodlagos krátere).

A holdi másodlagos kráterek mélység/átmérő aránya kb. 1:10 (McEwen et al 2005) azaz sekélyebbek, mint az „elsődleges” kráterek, amelyek mélység/átmérő aránya 1:5.

A szakirodalom gyakran visszatérő kérdése, hogy a Hold, Mars stb. 1 km-nél kisebb krátere között

mekkora arányban fordulnak elő az elsődleges ill. a másodlagos kráterek. A kérdés gyakorlati, mert erősen befolyásolja a fiatalabb, főleg kisebb területek kráterszámlálásán alapuló kormeghatározását, ahol csak az elsődleges krátereket szabad figyelembe venni. Több elmélet szerint a kisebb kráterek túlnyomó többsége a Marson másodlagos (McEwen et al. 2005). Egy nagyobb becsapódás közelében a sekély, szabálytalan alakú, láncokba, mezőkbe, „heringsont” alakba szerveződő kráterek egyértelműen másodlagosnak tekinthetők. A nagyobb becsapódásoktól messzebbre eljutó törmelék (*distant, background secondaries*) morfológiája azonban az elsődleges kráterekétől nem különbözik. Így pl. a marsi fiatal felszíneken a 300 m-nél, az idős felszíneken az 1600 m-nél kisebb krátereket általában nem veszik figyelembe a kormeghatározásnál.

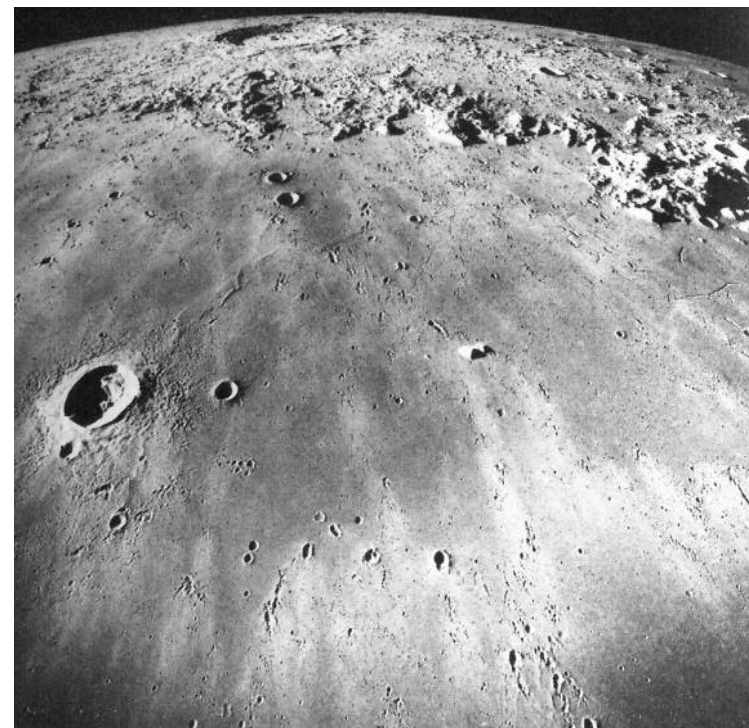
A nagy medencék keletkezésekor kilökött törmelék visszahullásával létrejött másodlagos kráterek nagy területet borítanak be. Sok helyen a medencére radiális láncokba rendeződnek. (pl. nektári medencék másodlagos krátere a Holdon [Nbc geológiai egység])

Típuspéldák: Hold: 55.5°S., 48°W., DK-Schiller C (Lunar Orbiter IV, 160, 167 sz. kép), 53 N., 24°W., ÉK-Sinus Iridum (Lunar Orbiter IV, 140, 145 sz. kép)

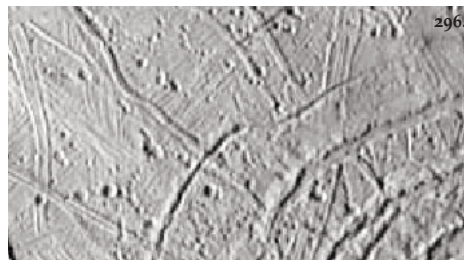
A **Merkúron** a másodlagos kráterek az erősebb gravitáció miatt a holdiakhoz képest közelebb található az „anyakráterhez” (*primary impact*), azaz térbeli elhelyezkedésük jobban koncentrált. Ezért a Merkúron egy fiatal kráter közelében levő korábban keletkezett kráter idősebbnek látszik, mint hasonló korú, de távolabbi társa.

**Mars:** McEwen és munkatársai (2005) a másodlagos krátereket a Cerberus lávasíkságon keletkezett 10 km átmérőjű Zunil kráter körüli másodlagos kráterek példáján vizsgálták. A becsapódás a modellszámítások szerint kb. 10 millió másodlagos krátert hozhatott létre, amelyek 1600 km távolságig is terjednek. A modellek szerint az egyetlen becsapódásból létrejövő tízmillió másodlagos kráter szokványosnak tekinthető a bolygón. A Pathfinder leszállóhelye körüli kis kráterek is másodlagosak lehetnek.

A másodlagos kráterek jelenléte segíthet eldönteni egy szokatlan megjelenésű elsődleges kráter becsapódásos eredetét. Az Európán található Callanish és Tyre szerkezeteknél (374., 350. ábra) a másodlagos kráterek jelenléte egyértelműen igazolta ezen sajátos kráterek becsapódásos eredetét (Moore et al. 2001).



295.



296.

294. Fenn: a Copernicus kráter (Hold) irányába nézve jól láthatók a szabálytalan, a kráter felé mutató V alakba és láncokba rendeződő másodlagos kráterek és a világos sugársávok. A kráterek és sugársávok elhelyezkedése jól láthatóan fedi egymást. Középtájt a Kárpátok-hegység látható (Apollo ferdetengelyű felvétel, Hartmann 2005, p. 253).

295-296. Másodlagos kráterek egy dupla lebenyes, 16 km-es kráter lebenyességénél a Marson (295. MGS Themis V05451015) és az Európán a Tyre-makula körüli másodlagos kráterek (296., Galileo fotó)

## ANTIPODÁLIS KAOTIKUS TERÜLET, ALBEDÓPAMACS

Dombos-vonalas terület, **hilly and lineated terrain**  
Összetöredezett terület, **chaos, chaotic area, swirl**

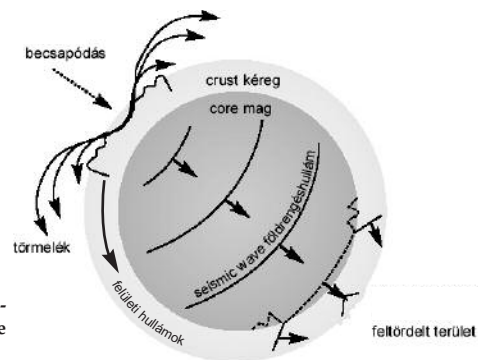
297. A Merkúr Caloris-medencéjével ellenlábás (antipodális, átellenes) terület, az ún. „dombos-vonalas” terület



### BECSAPÓDÁS KELTETTE KAOTIKUS TERÜLET

Akkor beszélünk becsapódás keltette kaotikus területről, ha egy testet akkora becsapódás ér, hogy annak szeizmikus hulláma a test túloldalán fókuszálódva (*antipodal focusing*) a kérget összetöri (*seismic shaking*). Ehhez a céltest méretének és a becsapódás nagyságának éppen megfelelőnek kell lenni. A Merkúron a Caloris-medencével (361. ábra) szemközti (antipodális) területet (297. ábra) tekintik ilyen módon összetörtnek. A Holdon a Van de Graaff kráter környéke (299. ábra) az Imbrium-medence ellenlábasa, azaz azzal átellenes ponton fekszik. Az itteni kráterek fala sajátos mintázatú, talán a fókuszálódó rengéshullámok keltette csuszamlások vagy az itt fókuszálva lehulló törmelékek miatt.

A Thetys Odysseus kráterével antipodális terület



298. A Merkúr Caloris-becsapódásának modellje

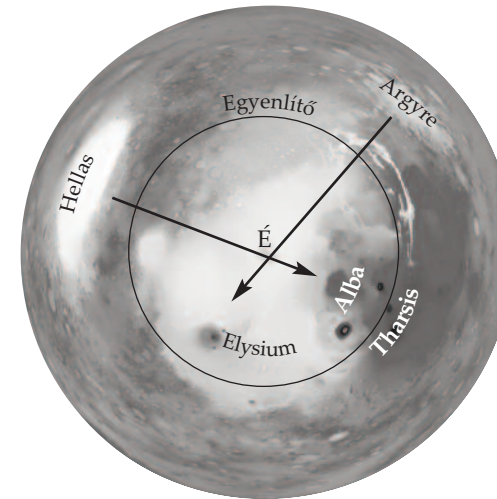
viszonylag sima síkság; ami lehet az antipodális hatás miatt, de lehet más okból, pl. utólagos lávaömlés hatásától is.

### BECSAPÓDÁS KÖVETKEZTÉBEN LÉTREJÖTT ALBEDÓPAMACS

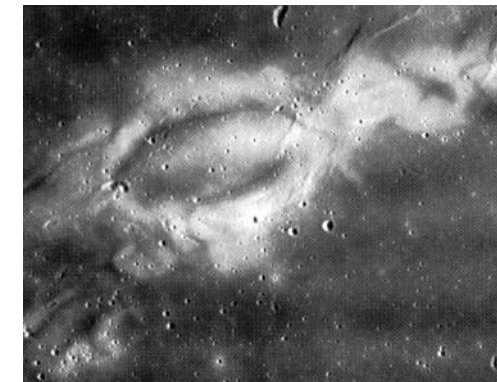
Albedópamacsoknak (*swirls*) a Holdon talált világos, diffúz, határozatlan szélű foltokat nevezzük (302. ábra), amelyekhez mágneses anomáliák kapcsolódnak. A Holdon általában a mare medencékkel ellentétes oldalon (a medencék antipodusan, tehát a Hold túloldalán) helyezkednek el – kivéve a Reiner Gamma nevűt, amely a Hold innenső oldalán távcsöves megfigyelésekkel már régóta ismert volt. Jelen tudásunk szerint albedópamacs akkor keletkezik, ha a test közelében mágneses tér létezik (például saját mágneses tér, vagy egy hold esetében a bolygóé, amely körül kering), és a testet érő becsapódás által elgőzöltetett, ionizált és minden irányba szétszórott felhő a test túloldalán összeütkezve lehullik. Ekkor ugyanis a plazma állapotú kidobási felhőbe befagyhat a mágneses tér, azt mozgásával magával ragadja a felhő, és a céltest túloldalán összeütkezve összesűríti a mágneses erővonalakat, amelyek az ott lehullott anyag kihűlése után mint befagyott mágnesestér-anomáliák maradnak vissza. Ezen befagyott mágneses terek által létrehozott mini-magnetoszférák megvédik az alattuk lévő felszínt a napszél bombázásától, és ezért a védett hely nem sötétül el – ellentétben a környezettel.

Példa: Reiner  $\gamma$ , Mare Marginis (Orientale antipódus), Van de Graaff, Mare Ingenii (Imbrium antipódus). A világos pamacsok korát ugyanakkor egyes kutatók a kráterszámlálás alapján csak 20–50 millió évre teszik (Schultz, in: *Astronomy* 1994. okt. p. 32), ami látszólag ellentmond ősi (több milliárd éves) eredetüknek. A mágneses magyarázat viszont lehetővé teszi hosszú időn át történő folyamatosan „megújuló” fennmaradásukat.

299. A Van de Graaff kráter környéke, az Imbrium-medencével átellenes pont a Holdon: feltördelt terület (Surveyor).

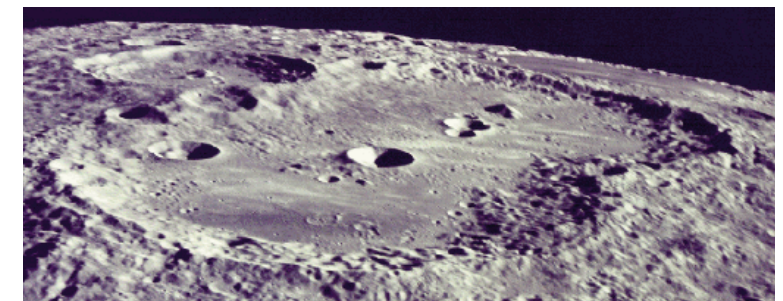


301. A Mars térképe északi-sark-központú poláris sztereografikus vetületben. A nagy medencék átellenes pontjaiban találhatóak a nagy vulkáni központok: közöttük több kutató szerint kapcsolat van.



302. A Reiner Gamma albedópamacs környezete, a Holdon (Lunar Orbiter felv.).

300. Ugyanez a terület, mint balra (Van de Graaff), de az Apollo-17 ferdetengelyű fényképén.



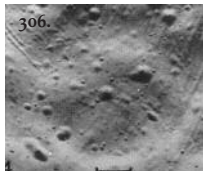
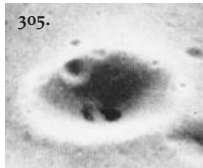
## KRÁTEREK LEPUSZTULÁSA

### Crater degradation, crater freshness

Lásd még: romkráterek (53. old.), palimpszeszt (52. old.), kozmikus erózió (47. old.)



303. A mikrometeorit-bombázás eredményeképp a holdi kőzettörmelék felszín feletti része simára erodálódik, míg eltemetett része szögletes marad (14310 sz. holdkőzet minta eredeti helyzetének rekonstrukciója)



304-305-306. Kráterek lepusztulási sorozata a Phoboson. Fenn és középen kb. 1 km (éles ill. lekerekített körvonalú) kráter, lenn kb 3 km átmérőjű, fantomkráter (Icarus 40 p. 228)

A kráterek még légkör nélküli égitesten is erodálódnak, pusztulnak. Ennek oka a kozmikus erózió (lásd: 47. oldal), amelynek a kráterek több (de Naprendszerünkben eddig legfeljebb kb. 4,5) milliárd éven át ki lehetnek téve. A kozmikus erózió legintenzívebb része a légkör nélküli égitesteken az állandó mikrometeorit-bombázás, melynek során mm-es (folyamat: *sandblasting*) és cm-es (folyamatok: *gardening*, *pitting*, *microcratering*, *microcrater=zap pit*) kráterek keletkeznek. Jég-kőzet holdakon sajátos hatás, hogy a becsapódáskor a jég elpárolog, így a visszamaradó kőzet sötétebb színű lesz. A mikrometeorit-becsapódások folyamata (*gardening*) révén a légkör nélküli bolygók felszínének anyaga egyre inkább porrá törik, és réteges szerkezetű lesz: az újabb becsapódások kivetette törmelék beborítja a megelőzően hosszabb ideig mikrometeorit-bombázás révén erodáló felszínt. A folyamatban létrejövő törmelékes anyagborítás a regolit.

Az erózió következtében a kráteránc, a központi csúcs, a kidobott törmeléktakaró és a másodlagos kráterek idővel elvesztik eredeti frissességüket, kifejlettségüket. A legfiatalabbak a legélesebb körvonalúak, az idősebbek körvonalai a kozmikus erózió miatt tompulnak (308. ábra).

A kisebb krátereknek leghamarabb a törmelékterítője és sáncának felső, hullott anyagból álló rétege tűnik el, mivel a kráterképződéskor kidobással felgyűlt, puha anyaguk könnyebben erodálódik (Koeberl, Sharpton). A nagyobb kráterek jelentős magasságot elérő sáncának egyes ellenállóbb részei (blokkjai) sok esetben a romkráterek részeként szigethegyként maradhatnak fenn.

A kráterek belső medencéje üledékbefogadóként szolgál, így az a belekerült üledék és a sáncanyagának csuszamlásai miatt lassan feltöltődhet. A sánclepusztulás és a kráterbelső-feltöltődés ellentétes folyamatának hatására a kráter domborzata idővel elegyengetődik. Olyan területen, ahol aktív üledékfelhalmozódás (akkumuláció) folyik, a kráter idővel feltöltődhet majd betemetődhet. Erős erózió esetén ha mind a

kráterfenékről, mind a sáncról lepusztul a törmelékanyag, feltáruhat a kráterképződéskor átrendezett alapkőzet. Ha az alapkőzet puha, a differenciális erózió során a kráteraljzaton keletkezett olvadékréteg áll ellen legtovább az erózióknak: a korábbi aljzat kerek mezejét emelkedik leerodált környezete felé (lásd: *kerekasztal kráter*, 50. oldal).

A legidősebb krátereket a kozmikus erózióknak kitett légkör nélküli égitesten csak egy mélyedés jelzi.

A kráterek abszolút korát nem tudjuk pusztán a lepusztultság foka alapján meghatározni, relatív kormeghatározására Pohn és Offield tett kísérletet (308. ábra).

Légkörrrel rendelkező égitesten az erózió mértékét az éghajlat alapvetően meghatározza.

Modellszámítások alapján a kráterek erodáltsága arra utal, hogy a marsi felföldek a nagy bombázási időszak óta (4 milliárd év alatt) átlagosan kb. 1 km-t erodálódtak (25 cm/millió év) (Kargell 2004 p. 245). Összehasonlításként: a Földön az erózió egymillió évente kb. 25–30 m-t pusztít le átlagosan a felszínből (Taylor, McLennan 1985; Wilkinson és Arbor, 2005). A földi, néhány km-es kráterek így néhány millió év alatt eltűnnek.

Egy 1 km átmérőjű kráter a Földön *csapadékos éghajlaton* 40-50 ezer év alatt eltűnik: felszíne kiegyenlítődik, a növényzet beborítja (Jakucs). A marsi kráterek az illószférák (jég, víz, légkör) erodáló hatása miatt jóval erodáltabbak a hasonló korú holdi krátereknél. A betemetett kráterek eróziója ismét kitarva más erózióú környezetben folytatódhat (pl. Földön, Marson).

A jégholdakon ill. sok jeget tartalmazó anyagú környezetben a kráterek lepusztulásában a jég relaxációja sem elhanyagolható tényező (Marsi poláris környezet, Ganymedes, Callisto).

#### A kráterek lepusztulási sorozata

A kráterek lepusztulását a következő jellemzők alapján határozhatjuk meg:

- sugársáv eltűnése
- a törmeléktakaró kifejlettsége (határának élessége)



307. A Meteor-kráter sáncának oldalnézete (Arizona, USA) (fénykép)

- a kráteránc magasságának csökkenése
- kráterfal/kráterfenék határának elmosódása a csuszamlások miatt
- szerkezeti elemek (kráterfal: terasz, kráteraljzat: csúcs, gyűrű) jellegtelenné válása
- a mélyedésen kívüli összes jellemző eltűnése illetve: feltöltődés, relaxáció

#### A KRÁTEREK KORUK SZERINTI GEOLÓGIAI FELOSZTÁSA

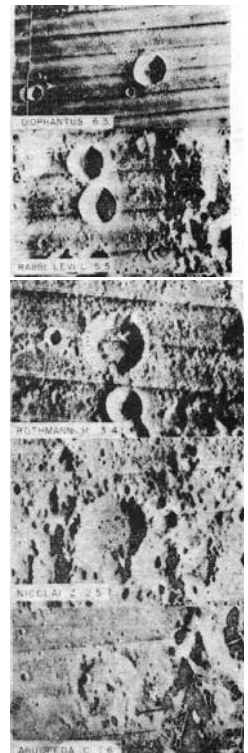
A holdi kráterek öregedésének, lepusztulásának vizsgálata alapján három mérettartományban definiáltak lepusztulási sorozatokat (Pohn, Offield, 1970). Egy-egy kőzetréteg korát a rajta levő legidősebb kráter korával dátumozzák. Ebben a módszerben a kráterek a felületen levő réteg „zárványai”.

A Pohn–Offield-féle, holdkrátereken alapuló 1970-es lepusztultsági skála 7 fokozatú. A *Catalog of Large Martian Impact Craters* a kráterek lepusztultsági fokát 8 fokozatú skálán állapítja meg (0,0: fantomkráter (*ghost crater*, 306. ábra), 7,0: friss kráter (*pristine crater*). Közöttük a törmeléktakaró érintetlensége, lepusztultsága alapján állapíthatók meg fokozatok (Barlow 2003b).

A kráterlepusztulási sorozat – a nemzetközi geológiai formációmegjelölés alapján – a legfrissebb (legfiatalabb), c5 jelzésűtől a legöregebb, leglepusztultabb, c1 jelzésűig terjed (a c a crater szó rövidítése). Ezt egyszerűsítve, összevonva közöljük az alábbiakban. Zárójelben a holdi (Cc, Ec stb.) és marsi (amazoniszi, hesperiai stb.) rétegtani jelölés olvasható.

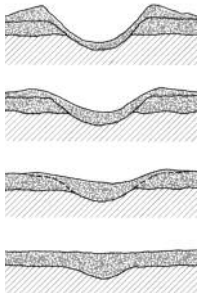
#### Fiatal, sugársávós (*bright rayed*) kráterek c5 (Cc=kopernikuszi)

Éles, megszakítatlan sánc (*rim*, *rimcrest*) határolja. Jól látható a radiális sugársávkoszorú, amely – a holdi példákra alkalmazott becslések szerint – akár 1 milliárd évnél is tovább fennmaradhat. A törmeléktakaró jól látható. A másodlagos kráterek mezői (*field*, *loops*) és láncai (*chains*) élesen láthatók. A kráterfal és a kráter-

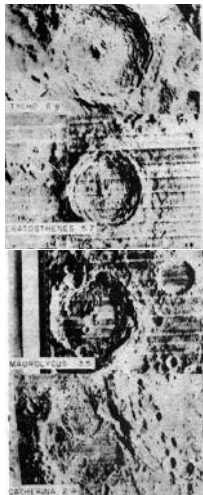


308. Az Pohn-Offield-féle kráterlepusztultsági sorozat, mely az interpolációs relatív kormeghatározáshoz készült (Pohn, Offield, 1970) Pohn és Offield a Hold sztratigráfiai egységeinek meghatározásához készített három sorozatot különböző méretű kráterekre. A lepusztultsági fokozatok 1 és 7 közötti értéket kaptak. A fenti ábrákon a kis (egyszerű) 5–20 km-es kráterekre készített sorozat részlete látható. (holdkráterek, fentről: Diophantus, Rabbi Levi, Rothmann, Nicolai, Abudfeda) (lásd még: 310. ábra)





309. Kráterek lepusztulási sorozata (Weltraum und Erde 41, 1982. alapján)



310. Az Pohn-Offield-féle kráterlepusztulási sorozat részlete a nagy méretű (40–70 km) komplex kráterekre (Pohn, Offield, 1970). Felülről: Tycho, Eratosthenes, Catherina, Regiomontanus. A skálán a legfrissebb megjelenésű kráter 7, a legleköptatottabb 1 értékű)

fenék határa éles. A kráterfenék jól elkülönül a környezetétől, rajta nincs másik kráter. A kis kráterek mély tál alakúak. A kráterfenéken előforduló szerkezetek – pl. központi csúcs – jól kifejezettek. A kráterfal szerkezetei – a teraszok – éles körvonallal láthatók. A krátersánc anyagában radiális gerincek láthatók. A sugársávok kráterek eltérő albedójuk miatt termális anomália helyei (azaz hőmérsékletük eltér a környezetétől).

Típusterület: Hold: Tycho, 43.2° d., 11.2° ny. (Lunar Orbiter IV, 119, 124; Lunar Orbiter V, 125–128 sz. NASA-képek); Copernicus, Aristarchus, Dionysius. Merkúr: FDS 121, 126, 529126 sz. képek.

Megj.: nem biztos, hogy minden friss kráternél keletkeznek (látható) sugársávok.

#### Friss kráterek (fresh craters)

c4 (Ec=eratoszthenészi; amazóniszi)

A legfiatalabb (c5) kráterekhez hasonlóak, de nincs sugársávjuk és ehhez kapcsolódó termális anomáliájuk. A másodlagos kráterek lepusztultabbak. Típusterület: Hold: Eratosthenes, 14.5° é., 11.3° ny (Shoemaker and Hackman, 1962) (Lunar Orbiter IV, 114; Lunar Orbiter V, 133–136 sz. képek).

#### Közepesen friss kráterek (moderately fresh craters)

c3a (Ic2=késő imbriumi; hesperiai)  
Jól elkülönülő, megszakítatlan, kissé csökkent magasságú sánc, teraszos fal, központi csúcs. A kráterfal alja jól látható határu. Különösen a Merkúron jól megőrzött másodlagos krátermező, több rátelepült apróbb kráter látszik a kráterfenéken. A sánc külső része lepusztultabb.

Hold: Plato, Plaskett. Merkúr: FDS 116, 166827 sz. NASA-képek.

#### Közepesen lepusztult kráterek (moderately subdued craters)

c3b (Ic1=kora imbriumi; noachiszi)  
Alacsony, lekerekített, de jobbra megszakítatlan sánc. A kráterfenék és a kráterfal folyamatosan megy át egymásba. A másodlagos krátermező főleg a nagy krátereknél nem jól látható, vagy csak részben megőrzött. A törmeléktakaró pereme nehezen jelölhető ki. Közepes számú rátelepült kráter látható. A kis kráterek sekélyek, sík (feltöltött) aljzatúak erodált (szabálytalan) sáncúak.

Hold: Iridum, Compton. Merkúr: FDS 222, 166912 sz. képek.

#### Lepusztult kráterek (subdued craters)

c2 (Nc=nektári; noachiszi)

Jobbára csak a mélyedés őrzött meg, alacsony,

erősen lepusztult, időnként megszakadó krátersáncal. A kráterfalon teraszok már csak a legnagyobb krátereknél láthatók, a központi csúcs is ritkán látszik. A fal és kráterfenék határa alig különül el. Nem láthatók másodlagos kráterek. Sok a rátelepült kráter. Az ilyen korú kis kráterek is sík aljzatúak az erózió és tömegmozgás planírozó (elegyengető) hatása miatt.

Típusterület: Hold: Alphonsus. Mars: 28° d, 162° (Scott és Tanaka, 1986). Merkúr: FDS 166912, 166913 sz. képek.

#### Erősen lepusztult (rom-) kráterek (highly subdued)

c1 (pNc=pre-nektári; noachiszi, pre-noachiszi)

Lásd: romkráterek, topográfiai medencék



311–312. Az ausztráliai Gosses Bluff kráter (23° d, 132° k) 6 km átmérőjű gyűrűhegye légifelvételen (lenn) és az űrröpülő Large Format Camera képén (fent). A központi kiemelkedés homokkőből áll, mely ellenállóbb volt, mint a környezete. Körülötte törmeléksocknya látható. (Short 1997). A kráter teljes mérete 22 km, melyet a légifotón a sötétebb terület is jelez. Ez a kráterbelső mélyének anyaga. A sánc lekoptott. Kora 142 millió év.

#### 313. Sötét halós kráterek kialakulása a Holdon:



A Kéreg kialakulása, korai kráterek



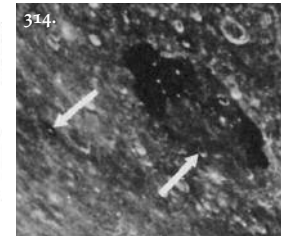
B Mare bazaltok kiömlése



C Az Orientale-becsapódás hatására felföldi (terra) anyag települ a bazalttra

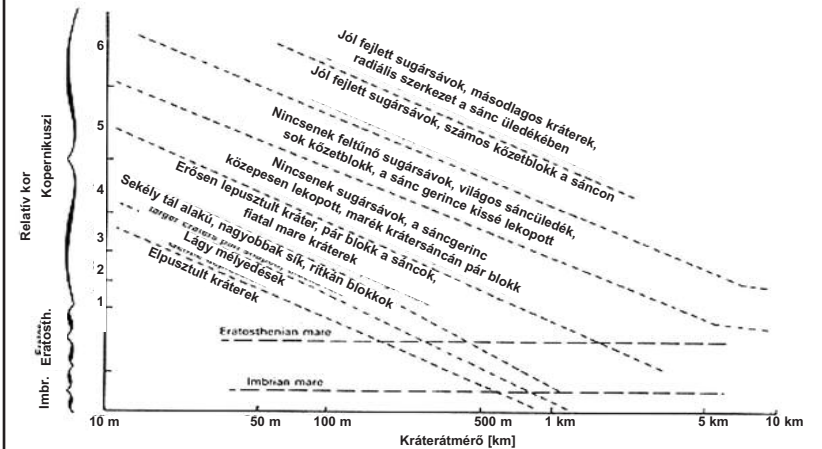


D A poszt-Orientale becsapódások exhumálják a betemetett mare bazalttréteget



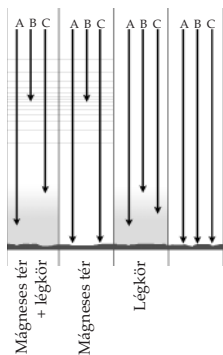
#### SÖTÉT HALÓS KRÁTEREK

313–314. A felszín eróziójának sajátos szerkezetei a sötét halós kráterek (dark haloed craters) a Holdon. Olyan fiatal kráterek, melyek egy alattuk fekvő, de már regolit borította sötét bazaltlávareteggel ültették át a felszínt. (Kép: a Mare Orientale sötét halós kráterei) (Spudis 1996 p.126)



315. Történeti ábra: Pohn és Offield kráterkormeghatározásra használt módszere, a radiometrikus kormeghatározás kora előttről. A kráter korát annak nagysága és lepusztultsága alapján lehetett megállapítani. Ha egy kráter adott lepusztultsági fokú, a nagyobb méretű idősebbnek számít, mint az azonos lepusztultsági kisebb (a nagyobb több idő alatt pusztul ennek alapján azonos fokozatúra). (in: Short; évszám nélkül, 19. szeckció)

## KOZMIKUS ERÓZIÓ



### 316. A kozmikus erózió három legfontosabb tényezőjének

(A: elektromágneses sugárzás főleg a Napból, B: ionok és atommagok főleg a napszélből és a kozmikus sugárzásból, C: meteorikus testek becsapódása) **hatásainak összehasonlítása –léggörrel és mágneses térrel bíró, –csak mágneses térrel és –csak léggörrel bíró, valamint –ezek nélküli felszínű égitestekre. Minél lejjebb hatolnak az egyes nyílak, durva közelítéssel annál erősebben hat az adott tényező az adott égitest felszínének átalakulására. A nyílak hossza csak jelzésértékű**

Kozmikus erózióknak nevezzük egy szilárd felszínű égitesten közvetlenül kozmikus hatásra bekövetkező felszínátalakulást. Gyakran hibásan csak a becsapódásokat sorolják a kozmikus erózióhoz, de ez valójában sok tényező hatására kialakult összetett folyamat. Nem tartozik ide pl. az árapálytól (azaz kozmikus hatásra) bekövetkező vulkanizmus, ami szintén alakítja a felszínt; továbbá a szél, a víz, a jég, azaz a különböző gáz- és folyadékszférák mozgásainak hatása, kivéve ha azt közvetlenül becsapódások váltják ki. Ugyanakkor ide számítjuk a napsugárzástól keletkezett térfogatváltozások repesztő hatását, amely a geológiában használt klasszikus eróziófogalomnak is része. A kozmikus erózió része ezen túl a Nap ultraibolya és extrém ultraibolya, valamint a Nap vagy bolygó magnetoszférája részecskesugárzásának felszíni anyagokat átalakító hatása.

Elkülönítjük továbbá a Naprendszer belső, napszél uralta részében, valamint a Naprendszer külső tartományában zajló eróziót. Utóbbi helyen (a heliopauzán kívül) az égitestek közötti térben már csillagközi anyag áramlik, amelynek főleg por összetevői lerakódhatnak, de anyagot is erodálhatnak az itt keringő testek (főleg üstökösök) felszínéről.

### A kozmikus erózió tényezői és formái

A meteorikus bombázás többféle felszínalakító hatással bír. A becsapódás ereje mechanikailag tördeli a kőzetet, és a robbanás helyszíne alatt a helyben maradt kőzetekben is repedéseket okoz, a kristályszerkezetet átalakítja, a kristályokon belül deformációkat hoz létre. A fellépő magas nyomáson és hőmérsékleten sok ásvány lebomlik, illetve átalakul, az illékony anyagok elpárolognak, ezekben elszegényedik a kőzet. A megolvadt anyagok újrászilárdulásukkor összecementálhatják a szemcséket. A kidobott és visszahullott törmelék is keresztlétegy a fenti átalakulásokon, egészen apróra töredezett darabok keletkezhetnek belőle. A visszahullott törmelék a kráter területén törmeléklenccsét, a kráter környékén törmelékföldet hoz létre. A mikroszkopikus becsapódások nagy gyakoriságukkal a felszíni, néhány mm vastag rétegben okoznak töredeztést és kémiai változásokat, ami szintén illékony elemekben szegényíti a kőzetet. A becsapódások elméletileg piezoelektromos hatás révén feszültségkülönbséget generálhatnak pl. a jégholdak külső rétegében, ami kémiai átalakulásokat

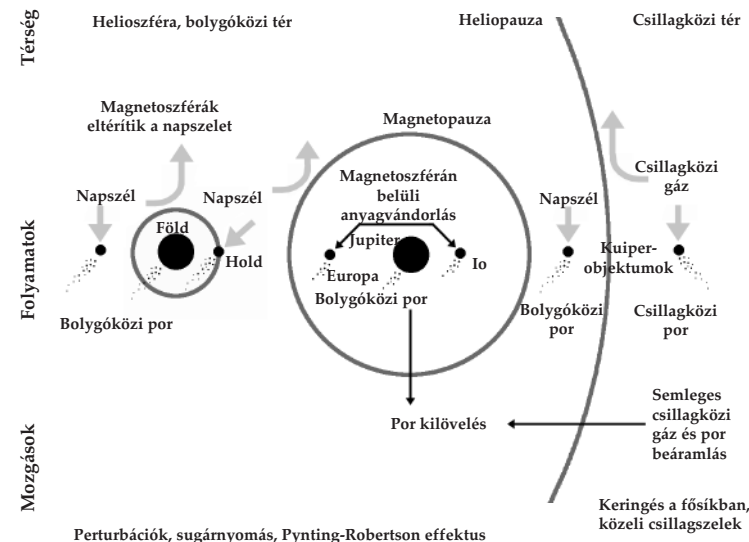
eredményezhet. Nem kifejezetten a kozmikus erózióhoz tartozó másodlagos folyamatok a becsapódásoktól előálló rengések, amelyek elősegíthetik a lejtős tömegmozgásokat (pl. kisbolygókön portócsák kialakulása, pl. Eros).

A napszél és a galaktikus kozmikus sugárzás révén töltött részecskék bombázzák az égitestek felszínét. Ezekből néhány atom beépülhet a regolitba, változtatva annak összetételét. Előfordul, hogy a nagy sebességgel becsapódó ionok, atomok nem maradnak a céltárgy anyagában, ugyanakkor a becsapódások felszabaduló energia kémiai átalakulást is okoz. Utóbbiak tipikus példája a hosszú láncú szerves anyagok (ún. tholinok) keletkezése a jeges égitestek, pl. az üstökösök felszínén, amely a felszín sötéttedésével illetve vörösödésével jár. A töltött részecskék becsapódásától felszabaduló energia miatt illékony atomok és molekulák szakadhatnak ki a felszínről, ritka légkört kialakítva (pl. az Europa ritka légkör). A napszél kapcsán említhető egy kozmikus eredetű, de nem a felszínt érintő hatás: a légkör erodálása, amelynek keretében a napszél a mágneses tér nélküli bolygók légkörével (pl. Vénusz) közvetlenül lép kölcsönhatásba, elsodorva, erodálva annak anyagát. Utóbbi közrejátszott a Mars légkör jelentős részének elvesztésében is.

A Nap elektromágneses sugárzásának rövidhullámú összetevője szintén okoz kémiai átalakulást, a fentiekhez hasonlóan elősegíti a hosszúláncú szerves anyagok képződését vagy molekulák bomlását. Szublimációt kiváltva közreműködik a jeges felszínű égitestek körüli ritka atmoszférák fenntartásában és a felszín könnyen illó elemekben történő szegényítésében. A nappalok és éjszakák erősen változó besugárzási viszonyai jelentős hőingást okoznak, ami tördeli a kőzeteket.

Az elektrosztatikus porlebegtetést eddig közvetlenül csak a Holdon figyelték meg, bár a légkör nélküli égitesteknél általában is előfordulhat. A Holdnál a terminátor mentén a felkelő Nap sugárzása révén a kis szemcséktől kiszabaduló elektronok töltéskülönbséget okoznak és a felszínnel azonos töltés esetén lebegtetik az apró szemcséket.

A kozmikus erózió hatását döntően befolyásolja, hogy az adott égitestet övezi-e légkör és mágneses tér. A mágneses tér a felszínt erősebben energiájú kozmikus sugárzást és a napszelet eltereli. Az órásbolygók azon holdjait, amelyek az adott bolygó magnetoszféráján belül keringenek, nem éri a napszél, itt azonban az adott bolygó magnetoszférájában mozgó töltött részecskék hatása lesz jelentős. A légkör a kozmikus erózió több formáját is erősen befolyásolja: megakadályozza a mikrometeoritok becsapódását, csökkenti a kisebb becsapódások számát. A légkör a kozmikus sugárzás közvetlen hatását jelentősen



### 317. A kozmikus erózió szempontjából fontos pár tényező áttekintése a Naprendszerben néhány égitest és folyamat példáján. Néhány példa jelenlegi modelljeink alapján arra, miként befolyásolják az égitestek egymás felszíni átalakulását: kénvándorlás az Io és Europa között a Jupiter magnetoszférájában, por kiáramlás a Jupiter rendszeréből, anyagátadás (pl. nitrogén) a Föld légköréből a mágneses tér legyengült időszakában a Hold felszínére. Mindezek csak egy-egy példát

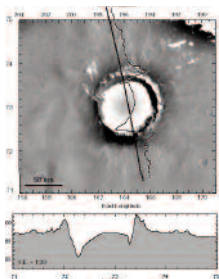
csökkenti, a napszelet akár teljes egészében kizárja, a nappali és éjszakai hőmérséklet közti különbséget és így a napi hőingást is csökkenti. A kozmikus eróziótól bekövetkező átalakulás mértékét erősen befolyásolja az egyes behatások ereje: a Naptól mért távolság, a becsapódó testek sebessége, anyaga, gyakorisága.

A kozmikus eróziótól keletkező réteget regolitnak nevezzük, de a léggörrel bíró égitesteken a gáz- és folyadékszférák révén átalakult zónát is így nevezik (vagy alternatívaként a talaj szóval, azt a földi talajtól elkülönítve a bolygó nevének megfelelően, pl. marstalaj, vénusztalaj). Minél sűrűbb a légkör, annál erősebb annak védő hatása, és annál jobban alárendeltek a kozmikus tényezők. A keletkezett regolitban lefelé haladva csökken az átalakulás mértéke. A felszínhez közel kisebb töredékek lehetnek, míg legalul akár km vastag, kevés töréssel szabdalts és nagy tömbökből álló megaregolit réteg különíthető el.

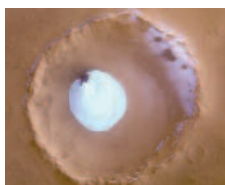
A kozmikus erózióban csak különleges esetekben játszanak szerepet pl. a nagyenergiájú gamma-sugarak, a közeli szupernóvabarobbanások és a csillagközi anyag, amely nagyobb mennyiségben csak kivételes esetekben hatol be mélyen a nagybolygók közötti térbe.

## BETEMETETT KRÁTER ÉS KITAKART KRÁTER

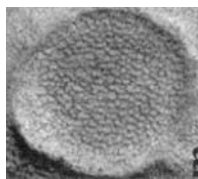
Maradványkráter, fantomkráter, exhumált kráter, elfedett kráter, betakart kráter  
Flat floor crater with deposits; ghost crater, exposed crater, buried crater



318a. A Mars északi síkságán található, (dombközpon-tú) Koroljov kráter belsejében nagy vastagságú poláris üledék halmozódott fel (fent: Viking fotó, alatta MOLA magassági görbe (Garvin et al.)



318b. Friss jég egy marsi kráter belsejében (ESA 210-020705-1343-6)



319. Jeges üledékkal fedett, elsimult kráter (Mars, Noachis-föld, 60,6°d 37,15°é, MGS, m1600879)

320. A ma is eltemetett Muskingum szerkezet (Ohio, USA) 1,3 km átmérőjű földi kráter. A képen a kráter és környezetének szeizmikus leképezése látható (Mazur, 2000)

Lásd még: kráterek eróziója (46. old.), kerekasztal kráter (51. old.), relaxálódott kráter (52. old.), dombközpon-tú kráter (32. old.)

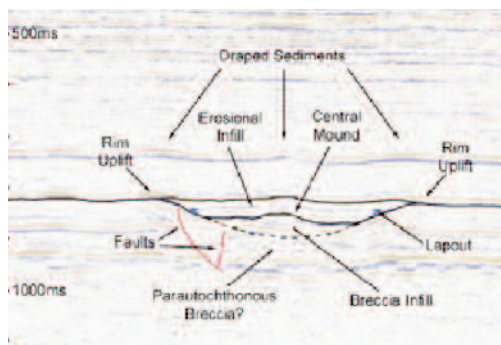
A krátereket idővel különféle üledékek takarhatják be (a Földön tengerelöntéskor akár több km vastag üledék). Ezek az üledékek később lepusztulhatnak, sajátos megjelenést adva a krátereknek is.

### Porlepte és üledékkal betemetett (betakart) kráterek

A Marson (és más égitesteken) az állandó porhullás néhol betemetheti a krátereket, ugyanígy jeges üledék is belepetheti azokat (*knobby deposit mantling crater*) (Kargel 2004 p. 250). Erre példa a Malea-fennsík és délebbre található terület, ahol a 0,3–1 km átmérőjű kráterek csaknem teljesen üledék alatt vannak, amelynek vastagsága 100 m körüli lehet (Kargel 2004 p. 183).

A Mars északi síkságán sok az eltemetett „megbújó” (igen sekély, sánc és törmelék-takaró nélküli) kráter (*stealth crater*). Ezek közül az erózió néhányat a felszínre hoz, majd esetleg vastag porréteggel ismét betakar (Kreslavsky, Head 2001). Üledéktakaró feltöltheti a kráternek csak a belsejét is.

Ha az üledék sok jeget tartalmaz, és a felszíni hőmérséklet tartománya a fagyás-olvadást lehetővé teszi, a jég jelenlétének jellegzetes felszíni megnyilvánulásai a fagy-polygonok, a „fagy-mintás talajok” (*polygonal patterned ground*). A fagy-polygonokkal fedett terület krátereit a repedések vonala rajzolja ki, vagyis a kráter domborzata kivétel az új felszínre is (McBride et al. 2005) (321. ábra).

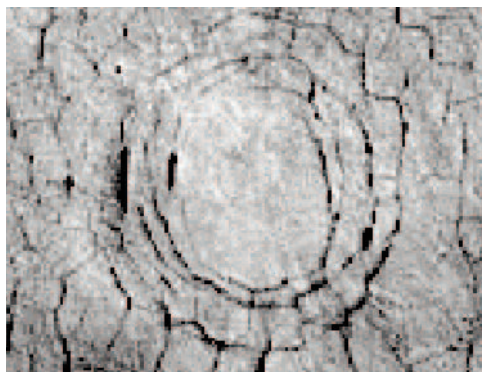


### Betakart kráterek geofizikai mérése

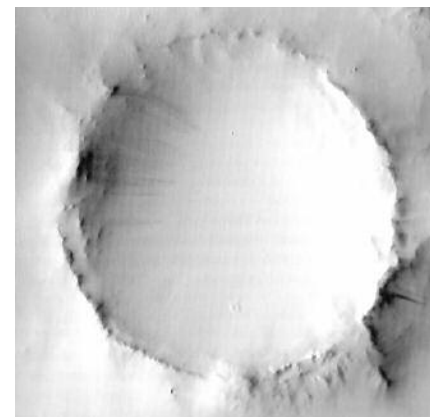
A Föld felszíne alatti kráterek geofizikai módszerekkel (gravitációs vagy mágneses anomáliák, szeizmikus vizsgálatok) mutathatók ki, eredetük pedig fúrásokkal igazolható. Ezt pl. a Chicxulub kráternél is felhasználták. További példák: Montagnais (Kanada) Chesapeake (USA).

### Kitakart/exhumált kráterek (*exposed craters*)

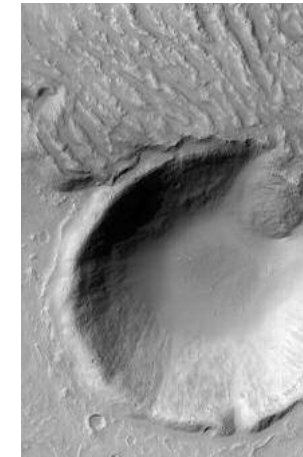
Az erózió ki is takarhat korábban üledékekkel befedett krátereket. Ilyenre példákat találhatunk a Marson; vagy a Földön pl. a glaciális lepusztítás átalakította kanadai vagy skandináv pajzsterületeken.



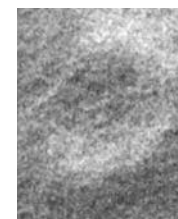
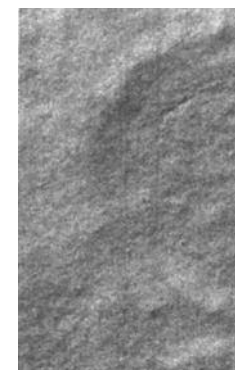
321. A marsi fagy-polygonokkal borított terület krátereinek helyét csak a repedések szabályos vonala rajzolja ki az amúgy véletlenszerű mintázatú felszínen (300 m átm.) (Mars, Utopia-síkság, 41.91°é, 271.17°MGS, R0501314).



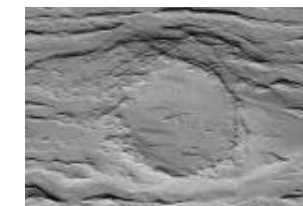
323. Porlepte kráter (Mars, 10°é, 331°ny, MGS, M03-01115)



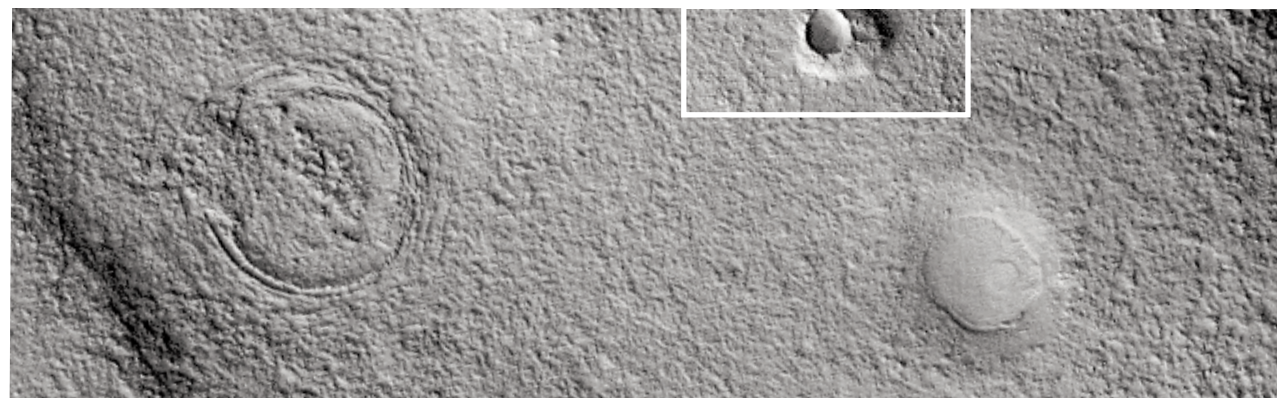
324. Egy kb. 2 km-es kráter eltemetésének kezdete: lávafolyam a Tharsistól délre (Mars, 33.5°d, 137.5°ny, MGS, MOC2-333)



325a-b. Betakart kráterek (Mars, 73,4°d, 312,1°ny, MGS, MOC m1502081)



326. Kráter maradógerincek között (Mars, 11.4°d, 181.6°ny, MGS, MOC2-785)



322. Betakart majd kitakart, kb 500 m-es kráterek a Marson. Ugyanezen a képen található a jobb felső sarokban kivágaton bemutatott tanúhegy szerkezetű kráter is. Észak kb. balfelé van (MGS, MOC2-907)

## NEGATÍV GYŰRŰS KRÁTER (GYŰRŰÁROK SZERKEZET)

327. Negatív gyűrűs kráter (elméleti) keletkezése



A friss kráter



A kráter belsejét és a sáncán túli területet nehezen erodáló anyag tölti fel, csak a sánc teteje „lóg ki” belőle...



... ami, mivel anyaga puhább, leerodálódik (v. ö. 234. ábra)

A negatív gyűrűs kráterek a becsapódásos kráterek lepusztulásának sajátos képződményei. Az eredetileg kiemelkedő krátérsánc lepusztult, és a környezeténél – ill. a kráter aljzatánál – mélyebb szintbe került. A Földön ezt víz is kitöltheti. Először a Marson találtak negatív krátereket.

A negatív kráter képződéshez valamilyen eróziós és feltöltő folyamat is szükséges lehet, például hogy belsejét és/vagy külső részét feltöltse valamilyen erózióknak ellenálló anyag (a kráterbelső jó üledékgyűjtő).

A morfológiai inverzió oka, hogy a becsapódáskor visszahullt laza törmelékanyag – a sánc és a kráterbelső felső törmelékére – gyorsabban lepusztult, míg a belsejében és a távolabb levő ellenálló anyagok (pl. olvadékok, sokk-metamorfizálódott kőzetek) lassabban pusztulnak. Az erózió legkönnyebben a sáncot pusztítja. Ekkor a krátérsánc helyén várórokhoz

328. A Viking-felvételeken negatív gyűrűsnek látszó kráterek a Marson. A látszattal ellentétben ezen kráterek gyűrűje nincs mélyebben a kráter többi részénél



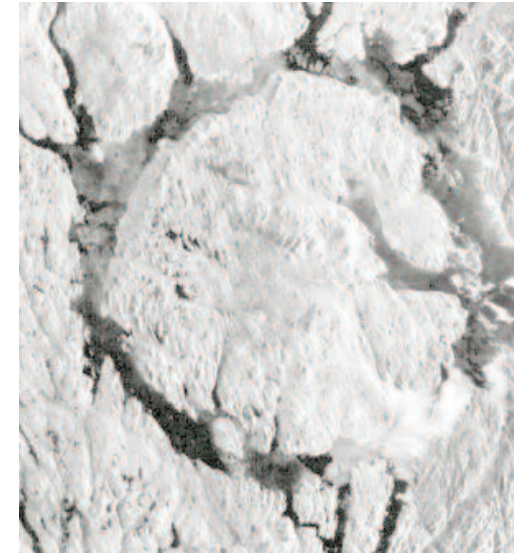
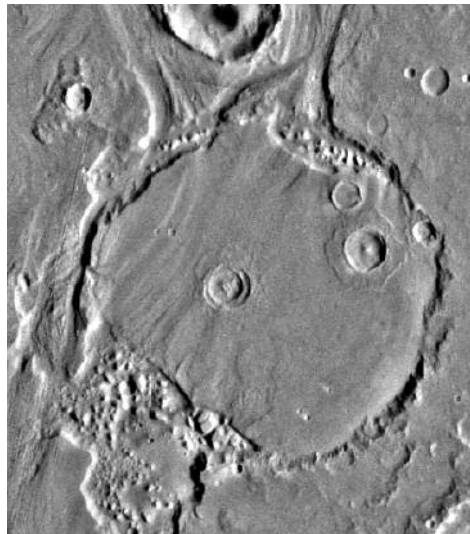
hasonló szerkezet jön létre. Hasonló szerkezet keletkezhet a kráterbelsőben átfolyó víz eróziós hatására is (329., 333. ábra).

A negatív kráterek közé tartozhat a földi Manicouagan-kráter (51°23'É, 68°42'Ny) (330–332. ábra) (Illés 2005). Ennek sáncon belüli és kívüli része jobban ellenállt az erózióknak, mivel ez impakt olvadékból áll, mely valószínűleg a magmás és metamorf kőzetekbe történő, kb. 214 millió évvel ezelőtti becsapódás során olvadt meg. A központi, kőzetolvadékot, valamint magmás és metamorf kőzeteket tartalmazó részen kívül a területet breccsa borította, mely nem cementálódott össze, és könnyebben erodálódhatott. A központi plató 56, a belső törési zóna 100 km átmérőjű. A jelenlegi tógyűrű 65 km átmérőjű; az eredeti kráter ennél jóval nagyobb (kb. 100 km-es) lehetett. A jégkori erózió kb. 1 km-nyi vastagságú kőzetet pusztított le ebben a kanadai régióban.

### Látszólagos negatív kráter

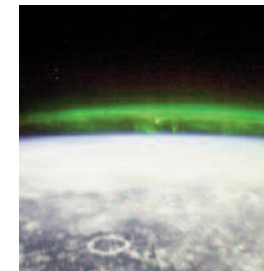
Negatív kráter „keletkezhet” érzékszaladás révén is. Ha a napfény *balról* süt egy olyan képen, melyen nem található ismerős fogódzó alakzat, az emberek egy része hajlamos a domborzatot negatívként értelmezni, azaz a bemélyedéseket ki-

329. A Maja-völgy áradásos csatorna vize egy 70 km-es kráter peremét könnyebben erodálta, mint a valószínűleg összecementált belsejét, negatív krátert kialakítva (Mars)



330. A Manicouagan-kráter (Föld, Kanada) télen (STS-felvétel). A területet a jégkorszakban bekövetkező glaciális erózió koptatta le. Az árokban található tó antropogén hatás eredménye: vízeróművek gátjai zárják körbe. (Cockell, Lee 2002)

331. A Manicouagan-kráter nyáron (LANDSAT-felvétel)



332. A Manicouagan-kráter télen, felette sarki fény látható (STS-felvétel)



emelkedésként látni és fordítva (335. ábra). Erre a fényképek interpretációjakor ügyelni kell. A legbiztosabb, ha magassági adatokkal együtt vizsgáljuk meg a krátereket (pl. a Mars esetében MOLA). A Marson a Viking felvételek alapján vizsgált negatív gyűrűs kráterekről (328. ábra) a MOLA magassági méréseken látható, hogy gyűrűjük nem mélyed be; így ezek valószínűleg nem negatív, hanem periférikus gyűrűs vagy teraszgyűrűs kráterek (143. ábra) (Kereszturi 2005).



333. Negatív gyűrűs kráter: egy másik lehetséges magyarázat. Ez esetben nem a sánc, hanem a kráterbelső mélyül ki gyűrűszerűen

## KEREKASZTAL KRÁTER, IMPAKT MEZA

*Dóm, circular mesa, saucer-shaped relicts within deeply eroded sediments, inverted topography, relict crater floor, exhumed crater*



Lásd még: betemetett és kitakart kráterek (48. old.)

A kerekasztal kráternél a különféle területek különböző mértékű (differenciális) eróziója (*differential erosion*) miatt a kráter belső része nem kopott le, mint környezete, hanem mezaként, táblahegyhez hasonlóan emelkedik ki a környezetéből.

**Keletkezés:** a kráter belseje az erózióknak jobban ellenáll, mint a sánc és a törmelékterítő, így idővel ez válik kiemelkedéssé. Impakt mezák akkor keletkeznek, ha a becsapódó test eleve laza, könnyen erodálható anyagba hullott,

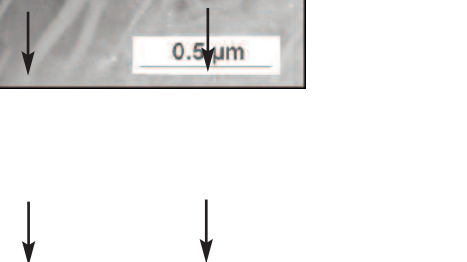
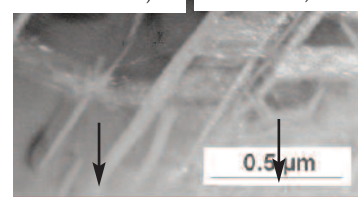
amely idővel lepusztul a kráter körül. Ugyanakkor a kráter belsejében ill. mélyén lévő kőzetek a becsapódáskor (pl. erős sokk metamorfózissal) átalakulnak, vagy utólag a kráterben leülepedő anyag összecementálódik ill. ellenálló üledék rakódik le, esetleg vulkáni láva tölti ki a kráter belsejét. Mindezek során erózióknak ellenálló anyag keletkezik (pl. olvadékokat tartalmazó breccsalencse, metamorfizált kőzetek). A puha alapkőzet miatt idővel a sánc és a sánc körüli anyag is lepusztul, míg a kráter medencéjében levő anyag – eredetileg a kráter alzata tanúhegyként – kerekasztal meza (táblahegy) formájában környezete fölé magasodik. Típuspélda: Mars, 23.7°é, 319.0°ny (336. ábra) (lásd még: lépcsős kráter).

Elképzelhető olyan keletkezés is – különösen szélerózió esetén – amikor a korábbi sáncon túli terület pusztul le, és a sánc csak azért emelkedik ki, mert eleve magasabb lévén az nem pusztult le a felszín átlagszintjéig és falával megvédte a kráterbelsőt is a lepusztulástól (338. ábra).

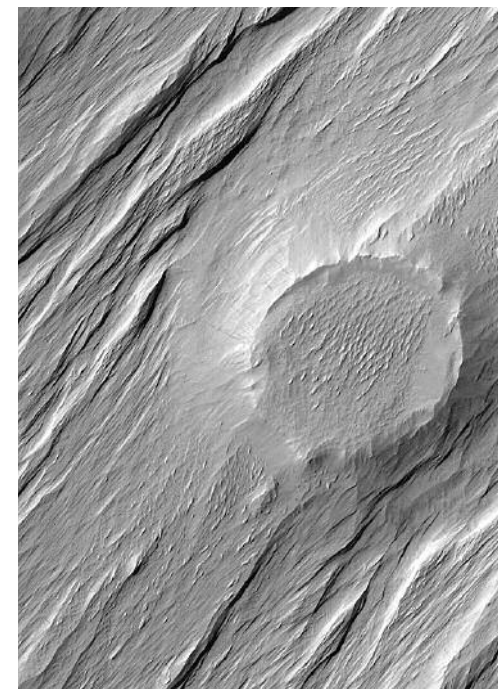
Hasonló geomorfológiai inverzió típusterülete pl. a Cydonia-táblahegyek (Mars) területe. Itt a korábbi kéregre vastag, könnyen erodálható üledék települt, amelyen számos kráter is keletkezett.

336. A kerekasztal kráter egyik tipikus példája (Mars, 23.7°é, 319.0°ny) Keletkezése magyarázatát lásd a 337. ábrán (MGS MOC-2-538)

Kisebbsépcsapódás vékony üledékretegbe (kicsi, tál alakú kráter) | Kisebbsépcsapódás vastag üledékretegbe (kicsi, tál alakú kráter) | Nagyobb becsapódás vastag üledékretegbe (központi csúcsos komplex kráter)



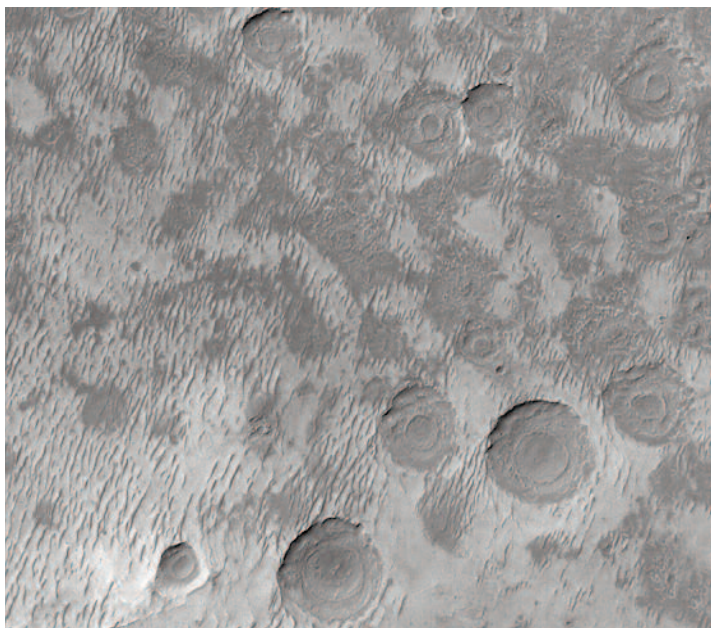
337. Könnyen erodálható anyagban keletkezett egyszerű és komplex kráterek lepusztulásának folyamata (Schultz 2003), amely impakt meza kialakulásához vezet.



338. A szélerózió felszínpusztító hatása hozta újra felszínre ezt a kráter a Marson. A kráterre korábban üledéktakaró települt, amely teljesen befedte. Valószínűleg felszínre kerülésekor még egy szintben volt a környezetével, de a differenciális erózió miatt környezete tovább mélyült, így a kráter látszólag kiemelkedett a környezetéből (meza). Körülötte hosszúkás maradékkerincek (szélformálta hosszanti szélbarázdák közötti tanúhegyek, jardangok) láthatók. (Mars, 1.6°é, 173.9°ny, MGS MOC, PIA07328)

334. Geomorfológiai inverzió: rétegzett tanúhegy, melynek rétegei egy korábbi kráter tavi üledékei lehetnek (Mars) v. ö. 228. ábra

335. Réteges üledékekkel eltemetett majd újra kitakart kráterek (Mars, 35.1°d, 356.5°ny, MGS, MOC2-848). Ezek azonban jelen helyzetükben ismét besüllyednek környezetükbe, azaz nem mezak, hanem „reliktumkráterek” (a Nap a bal felső sarokból süt) Központjukban kiemelkedő gyűrű mutatja a hajdani kráter szerkezetét – v. ö. 311. ábra)



## RELAXÁLÓDOTT KRÁTER

Lágyult, elsimult kráter  
Melted crater, softened crater

Lásd még: palimpszeszt (52. oldal)



339. „Megalovadt” kráter (középen) (kb. 500 m) (Mars, 18°ny 35°d, MGS M18-00848, G. Esquerdo in: Hartmann 2003). Alatta összehasonlításként egy frissebb kráter



340. „Lágy terület” krátéré (6 km) (Mars, Arabia, 44°é, 322°ny, Mars Odyssey, 020425)

Relaxáció során a felszín domborzata elsimul: a kiemelkedések lesüllyednek, a bemélyedések kiemelkednek és visszaáll a domborzat eredeti állapota. A relaxáció képlékeny anyagmozgása talán a gleccserjég mozgásához hasonlítható. A teljesen relaxálódott kráterek anyaguk eltérő fényessége alapján ismerhetők föl távérzékeléssel. A relaxáció alapvetően jegben gazdag felszínhez kötődik, ahol legfeltűnőbb a jelenség (jeges vagy jég-kőzet égitestek, üstökösök, jéggazdag regolitú felszínek). Az alábbiakban a becsapódásos kráterek olyan jelenségei szerepelnek, ahol a kráter morfológiái átalakulásukban, vagyis a felszíni domborzat kisimulásában, relaxációjában jég játszott szerepet.

### Meglágyult területek krátéréi

„Meglágyult kráterek” a marsi „lágy területeken” (softened terrain) a 30–65° közötti földrajzi szélességű sávban fordulnak elő. A Mars jéggazdag regolitúba ütött krátereken a kráterperem és a törmelékanyag hamar relaxálódik: „kilapul” vagy „szétfolyik”, mint egy gleccser. Számítások szerint a kráterlágulás folyamata 10 000–100 000 év alatt megy végbe, tehát a gleccserek mozgásához hasonló nagyságrendű (Turtle, Pathare, in: Hartmann 2003 p. 115).

### Eróziós monoklis kráterek a Marson (Buried Mid-Latitude Craters – eltemetett közepes szélességi kráterek)

A „monoklira” (bullseye) emlékeztető szerkezetű, koncentrikus mintázatú kráterek a Marson különféle mértékben lepusztult/eltemetett/feltöltött kráterek (341., 335. ábra). Előfordulási területükön a felszín érdes (scabby) megjelenésű. A „terület-érsedés” („terrain roughening”) feltételezett oka a regolitot



341. Néhány km átmérőjű relaxálódott „monoklis” kráterek (Mars, ÉK-Arabia-föld, 8,4°é, 317,5°ny, MGS, MOC2-577)

összementáló talajjég elszublimálódása lehet. A jég eltűnésével a terület berogy, a törmelék és port a Mars szelei elfújják, innen érdes felületű a felszín.

A Marson az északi síkság területén található kráterek is sokszor ellágyult domborzatúak, valószínűleg a többszöri fagyás-olvadás ciklusok és a regolit nagy jégtartalma miatt: a Mars Odyssey mérései szerint ezeken a területeken 5 cm közetréteg alatt már kb. 70 tömegszázalék a regolit jégtartalma (Kargel 2004 p.131).

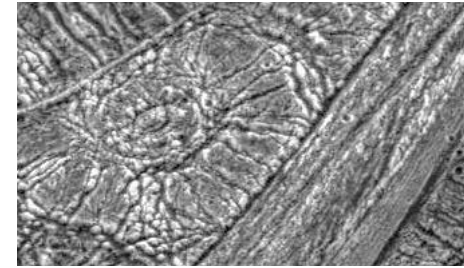
A meglágyult kráterekhez hasonló megjelésű kisebb krátereket (339. ábra) nevezik „olvadt” kráternek is (melted craters). Ezek domborzatot alig mutató 0,5–1 km átmérőjű, gyűrűs szerkezetek, melyeket a Marson figyeltek meg.

Aszfaltba ütött mesterséges kráterek felmelegítésével hasonló gyűrűs alakzatokhoz jutottak kutatók, mint a Noachis-földön található lapos, koncentrikus gyűrűs szerkezetek. Ezek a hegy súlyának a nyomása hatására a talajjég lassú „elkásásodásával”, szilárd fázisú elernyedésével (meglágyulásával) simultak ki (W. K. Hartmann, G. Esquerdo, in Hartmann, 2003 p. 118).

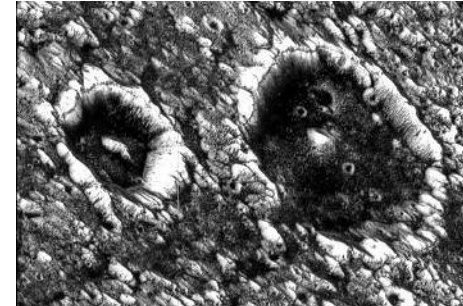
**A jégsapkák krátéréi** A jég relaxációs hatása a jégbe vagy túlnyomórészt jeges üledékbe vajt krátereken látszik legjobban. Sajátos viszkózus relaxáción mennek keresztül a marsi poláris rétegzett területeken és jégsapkákon keletkezett kráterek (Pathane et al. 2005).



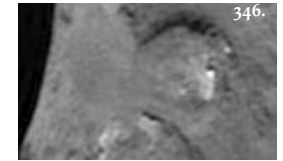
342. Lágyult felszín krátéréi az Enceladus szaturnuszholdon. A felszín – hasonlóan a többihez – jeges, és alig tartalmaz újabb kráterket, tehát valószínűleg fiatal lehet. A krátereken számos utólagos repedés fut keresztül. (Cassini, PIA06248)



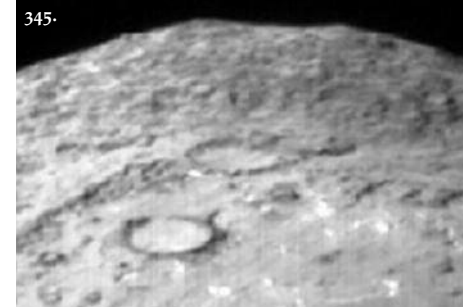
343. Két törésvonal közé „szorult”, sajátos ellágyult, eredetileg talán gödörközpontú kráter (Ganymedes, Galileo, G01616)



344. A Callisto hold felszínén sajátos „megkelt térsza” jellegűen változnak meg, relaxálódnak egyes kráterek (Galileo, G01607)



345-346. Sajátos átalakulási folyamatok uralkodhatnak az üstökösök magokon. Itt egyrészt talán az üstökösök jégben gazdag és esetleg porózus anyaga, másrészt az illók kibocsátása hozhatta létre a megfigyelhető morfológiát. Elképzelhető, hogy a jeges felszín egy része napközben megolvadt, és így omlott be egy kráter formájú szerkezet (346.). A képen a Tempel 1 üstökös felszínén láthatók kráterek (Deep Impact, balra: PIA 02135; kis kép fent: HRI-937) (Lásd még 168., 169. ábra) A Tempel 1 üstökös felszínét a mesterséges becsapódás kilökte anyag vizsgálata alapján liszt finomságú szilikátos anyag borítja, ami alatt kemény vízjég van.



347. Különböző mértékben relaxálódott (ellágyult anyagú) kráterek a Marson. A kép középső részén látható kráter domborzata már majdnem eltűnt. A sánca a frissebb krátereknek sem látszik (Mars, 337°ny, 36°d, MGS, M20-00860)

## PALIMPSZESZT ÉS PENEPALIMPSZESZT

*Relaxálódott/részben relaxálódott kráter  
Palimpsest, penepalimpsest*

**A** teljesen relaxálódott, domborzat nélküli krátereket a jeges holdakon palimpszesztnek, földrajzi leíró névvel makulának vagy fakulának nevezik. Ez utóbbi neveket egyébként más alakzatokra is alkalmazzák.

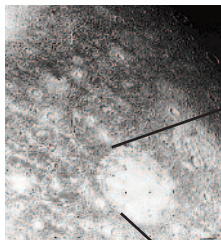
### PALIMPSZESZT

A palimpszeszt kerekded, nagy méretű, csak albedokülönbsége alapján észlelhető, környezeténél általában világosabb, domborzatát teljesen elvesztett (relaxálódott) becsapódásos szerkezet a jég-kőzet anyagú holdakon. Valószínűleg korábbi nagy becsapódásos medencék (és törmelék-takarójuk?) maradványa (Underwood et al 1997).

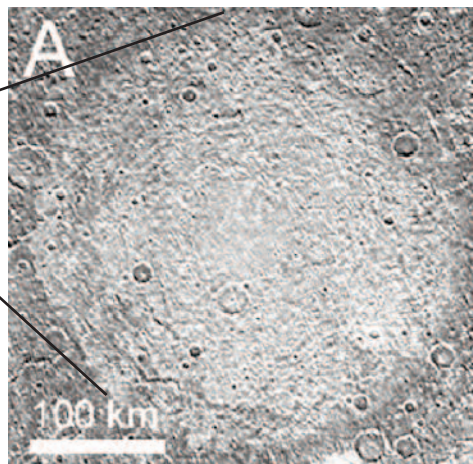
A palimpszeszt nevét (Smith et al. 1979) a kódexekből kivart szövegekről kapta. A környezeténél világosabb foltok leíró jellegű neve fakula (*facula*) (348. ábra), a sötétebbeké makula\* (*macula*) (350. ábra) (IAU nomenklatura földrajzi köznévi tag). Ezt a típust eddig a Ganymedes és Callisto, illetve az Europa holdakról írták le, de feltételezik, hogy a Titánon és más jeges égitesteken is előfordulnak.

A Ganymedesen nagyságuk az 500 km-es átmérőt is elérheti. Környezetükkel majdnem

\*Makula lásd: „makulátlan”; fakula: ez a szó más úton „fáklya” szavunkká alakult



348. A 344 km átmérőjű Memphis-fakula a Ganymedesen (Voyager-2, 2063702)



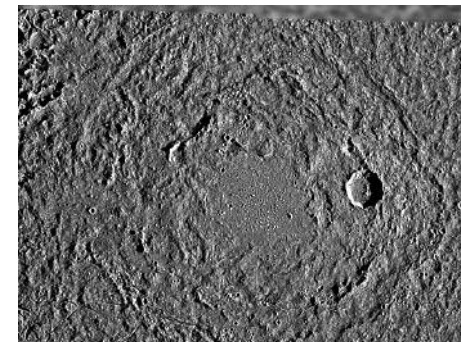
azonos magasságú a felszínük, és törmelék-takaró sem figyelhető meg körülöttük. Központjukban gyakran látható halvány folt, amely valószínűleg az egykori központi dóm vagy gödör maradványa. A palimpszesztnek a rájuk települt kráterek száma alapján idősebbek, mint a Ganymedes felszínének felét kitevő világos területek, ahol nem fordulnak elő. Bár másodlagos kráterek vagy törmelék-takaró nem figyelhető meg körülöttük, becsapódásos eredetűnek tartják őket, mert a penepalimpszesztnekhez hasonlóak, amelyek körül viszont láthatók ezek a nyomok.

Képződésüket a kőzet-jég-holdak legkorábbi időszakára teszik, amikor azok köpenye még melegebb és képlékenyebb volt mint ma, így azóta – vagy még akkor – viszkózus relaxációval elsimulhatott korábbi domborzatuk. Így ezek lehetnek a holdak legősibb szerkezeti (Shoemaker et al. 1982). A világos anyag valószínűleg a mélyebb rétegekből került a becsapódáskor a felszínre. A legidősebbeknél már egyáltalán nem látható a korábbi gyűrűs szerkezet, míg a fiatalabbaknál – bár csak részben – ez még megfigyelhető (Lucchitta et al. 1992; Murchie és Head, 1989). A fiatalabb palimpszesztnek részben egy felszínújrapépződés utáni, fiatalabb, világos területen fekszenek, míg az idősebbek területét átszelik ezek a világos anyagok. A Ganymedesen számuk – a penepalimpszeszttekkel együtt – legalább 39 (Farrar, Collins 2002).

A palimpszeszt környezetétől elkülönülő albedójú határvonala a megfigyelések szerint valószínűleg az eredeti kráter folyamatos, jég-olvadáskor gazdag (fluidizált) törmelékterítőjének külső peremét jelzi. Ezt támasztja alá, hogy másodlagos kráterek csak ezen (azaz volt sáncuk külső peremén) túl láthatók, akárcsak más közös ganymedesi kráter esetében (Jones et al 2003).

### PENEALIMPSZESZT

**Morfológia:** a palimpszesztnekhez hasonlóan kör alakú, általában 300 km-nél kisebb átmérőjű nagy albedójú (világos) foltok, ahol csak az eltérő albedó utal a kráterre, a domborzat már eltűnt. Megjelenésük a palimpszesztnekéhez hasonlít. A fő különbség az, hogy törmelék-takaró és másodlagos kráterek is láthatók itt, melyek jól jelzik becsapódásos eredetét. Számos gyűrű (törés vagy gerinc) övezi őket, melyek közül esetleg a legkülső gyűrűjük jelzi a sánc helyét. A Ganymedesen talált

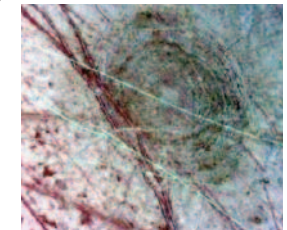


349. A Buto-fakula palimpszeszt. Központi sima régiója kb. 50 km átmérőjű (Marius-régió, Ganymedes, Galileo PIA01659 MRPS94206)

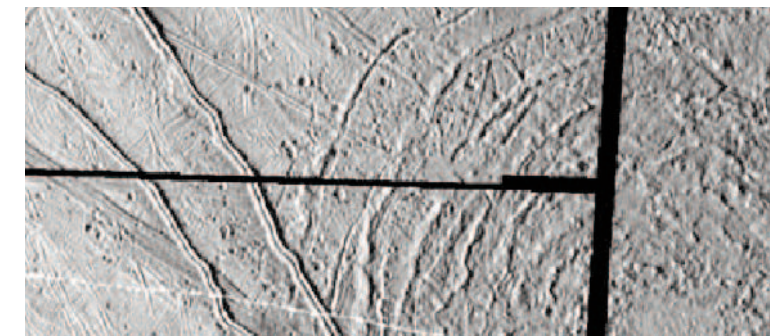
7 képviselőjük kora a világos területekhez közeli, fiatalabbak a palimpszesztnek. Átmenetnek tekinthetők a normál kráterek és a palimpszesztnek között. A kőzet-jég holdakon a megfigyelések alapján a legtöbb (fiatalabb, kisebb) kráternél ilyen kisimulós relaxáció nem látszik (Schenk 1990).

**Monokli jégkráterek** Az Európán kisimult domborzatú, de sáncát alacsony gerincekként még őrző becsapódásos szerkezetek a makulák és fakulák. A Tyre-makula (351. ábra) – egy nagyobb becsapódás nyoma – is (pene)palimpszeszt, amelyet több, max. 100 km átmérőjű sötét színű gyűrű (koncentrikus törésrendszer) határol. Ezek tehát a többgyűrűs kráterek sajátos, üveg töréséhez hasonló megjelenésű típusai, melyek képződéséhez valószínűleg vékony vízjégkéregre van szükség.

A Marson a jeget tartalmazó regolitban a domborzat idővel szintén relaxálódhat. Itt a pólus-közeli permafroszt területek jégtartalma teszi lehetővé a relaxálódást. Ezekre azonban a palimpszeszt kifejezést nem alkalmazzuk (lásd 51. oldal).



350-351. A Tyre-makula (fenn) és egy részlete közléről (lenn, Galileo-felvétel) (Europa)



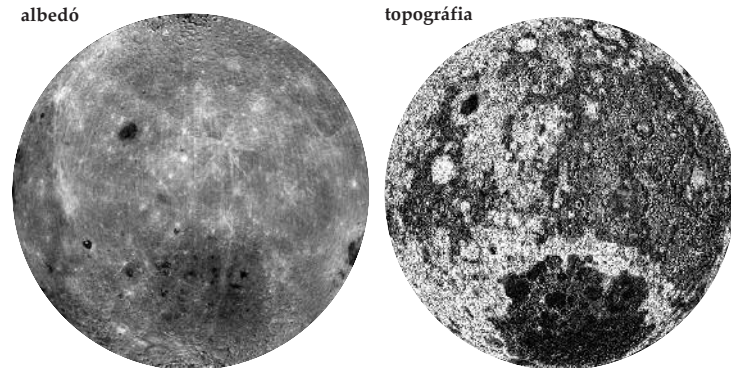
## ROMKRÁTER, ROMMEDENCE, TOPOGRÁFIAI MEDENCE

### Buried Basin, QCD



352. Az alig kivehető körvonalú Hommel kráter (126 km), belsejében több másik, frissebb kráterrel (Hold, 54.7° d 33.8° k, Lunar Orbiter IV, IV-082-H3)

353-354. A Clementine űrszonda képei a Hold túloldaláról. Balra albedó-fotó, jobbra topográfiai térkép, melyen jól látható a South Pole–Aitken-medence mélyen fekvő területe (szürke árnyalatok: magasan, világosak: átlagszintben, sötétek: mélyen fekvő területek)



Lásd még: eltemetett kráterek (buried craters, 48. old.), kráterek lepusztulása (45. old.)

**Romkráternek** (rommedencének) nevezzük azt az erősen erodált krátert, amely már nem látható kráterként, de domborzata (medencéje) vagy sáncának megmaradt töredékei kráterre utaló morfológiai jegyeket mutatnak. (A franomkráterek hasonlóak, de itt nem a kozmikus erózió, hanem akkumuláció – por, láva stb. betemetés – működött közre a kráter „eltüntetésében”)

**Topográfiai kráternek** (medencének) nevezzük azokat a medencéket, melyek vizuálisan nem, csak magasságmérésekkel kimutathatók, és a fentiekkel ellentétben a kráterre utaló morfológiai jegyeket nem mutatnak. Így topográfiai medencék a lepusztult rommedencék, de rajtuk kívül az eltemetett, de a felszínen domborzatában még kimutatható medencék is.

A romkráterek nyoma a lepusztult, megszakadó, sokszor különálló, lekerekített vagy görbült, esetleg egyenes sánc-darabok együttese, amely alig emelkedik a környezet szintje fölé. A központi csúcs ritkán látható. A kráterfal szerkezetei és másodlagos kráterek nem láthatók (FDS 62, 124, 215 sz. NASA-képek). Ebben a kategóriában általában már csak nagyobb méretű (>100 km a Merkúron) kráterek azonosíthatók, mert a kisebbek nyomát az újabb becsapódások teljesen eltüntették. A kráterfenék és a törmelékakaró hasonló a környező területekhez (Hommel, Hold).

**Topográfiai medence** Nagy energiájú ősi becsapódás lepusztult medencéje. A gyűrű alakú peremhegység esetleg részben észlelhető, de a kráter az erózió miatt már nem vehető észre, csak topográfiai mérésekkel mutatható ki. A legismertebb példa rá a Hold túlsó oldalának nagyméretű topográfiai medencéje, amelyet korábban „Big Backside basinnek” vagy „Aitken-Backside Basinnek” neveztek, mai neve pedig South Pole–Aitken Basin (magyarul *Déli-sark–Aitken-medence*) (Stuart-Alexander, 1978). A medence pereme egy szakadozott, 2200–2500 km átmérőjű kiemelkedés. A Föld felé néző oldalon lévő peremét már földi megfigyelésekkel észlelték, azoknak egy túloldali medencével való kapcsolatát először Hartmann and Kuiper (1962) jelezte előre.

A látványos Clementine méréseket megelőzően már a Zond-6 és -8 fotografikus magasságméréseivel (Rodionov et al. 1977) és az Apollo lézeres magasságméréseivel kimutatták (hivatkozások: Wilhelms et al. 1979). Középpontja: 56° S., 180° W. A becsapódáskor kidobott törmelékével valószínűleg a teljes, Föld felé néző oldalt is beborította. Ez a becsapódás a központi csúcsban 120 km mélységből származó köpenyanyagot is felszínre hozott, így a Hold köpenyanyaga csak itt tanulmányozható a felszínen. A medence mélysége 12 km.

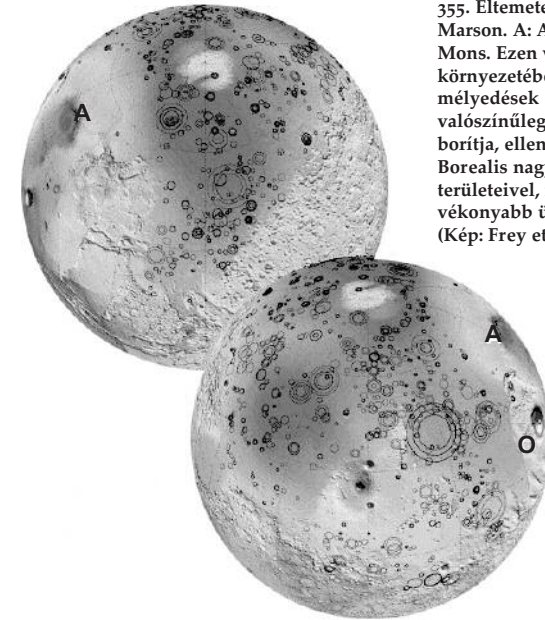
A második legnagyobb az Australe-medence, továbbiak: Planck, Poincaré és Schiller–Zucchi („*Basin near Schiller*” in: Hartmann and Kuiper, 1962), Mutus–Vlacq, Sikorsky–Rittenhouse, Amundsen–Ganswindt stb.

A Clementine űrszonda LIDAR lézeres magasságmérőjével készített mérések tették lehetővé ezeknek a 4,0–4,2 milliárd éve keletkezett hatalmas becsapódásos medencéknek az azonosítását. Kb. 40 kisebb pre-nektári vagy nektári medencét tártak fel a magasságmérési adatok. Ezek csak a topográfiai adatok elemzéséből váltak kimutathatóvá.

Alapvető különbségük a mare területek medencéitől, hogy míg a bazaltfeltöltéses medencék (=marék) főleg a Hold Föld felőli féltékéjén található, az ősi medencék (feltöltve vagy anélkül) közel véletlenszerűen oszlanak el az egész Holdon.

**Elnevezésük:** peremük két átellenes részén elhelyezkedő pontok (kráterek) neve alapján.

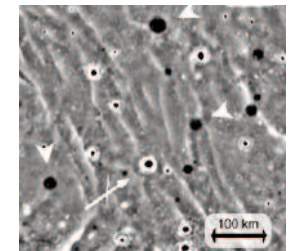
**Kerek mélyedések a Marson** *Quasi-Circular Depression (QCD)* A QCD-k olyan ősi medencék, amelyek a felszínen többségükben nem láthatók, de magasságméréssel kimutathatók. A holdi rommedencéktől annyiban térnek el, hogy üledékréteg vagy láva temette el őket.



355. Eltemetett ősi medencék a Marson. A: Alba Patera, O: Olympus Mons. Ezen vulkáni területek környezetében nem látszanak kerek mélyedések (QCD-k), tehát ezeket valószínűleg vastag lávatarak borítja, ellentétben a Vastitas Borealis nagy kiterjedésű területeivel, melyeket csak vékonyabb üledék boríthat (Kép: Frey et al. 2001 alapján)

A Marson a Mars Global Surveyor MOLA méréseit követően több mint 600 db, 50 km átmérőjűnél nagyobb eltemetett körkörös medencét (QCD-t) fedeztek fel, s nemcsak a déli felföldön, hanem az északi síkságokon is. Ezek azonban csak a MOLA 30 centiméteres magasságkülönbséget is kimutató mérésein látszottak, a korábbi Viking fényképeken még az utólagos elemzés során is csak kb. 15%-uk volt azonosítható. Ezek valószínűleg igen ősi, vastag törmelékkel, lávakkal és egyéb üledéktakaróval fedett medencék nyomai (Frey, 2005). A Vastitas Borealis formáció (*geológiai rövidítése: Hv*) területén véletlenszerű eloszlással előforduló kisebb, sánc nélküli „megbújó kráterek” (*Stealth Craters* vagy *flat-floored circular depressions*) valószínűleg ezen formáció rétegének keletkezése előtt vagy közben jöttek létre, s ennek a rétegnek az anyaga fedte be őket (Kreslavsky, Head 2001). Ezek is topográfiai kráterek tekinthetők.

Az üledékréteg alatti nagyszámú medence arra utal, hogy a marsi északi mélyföldek kérgé igen idős, esetleg idősebb a déli felföldek felszínének koránál is. Mindez bizonyítja, hogy ha volt víz valaha a Marson, egy nagy kiterjedésű mély terület már igen korán létezhetett, ahol ez a víz összegyűlhetett, s ahol esetleg élet is létrejöhethet.



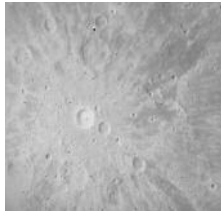
356. Megbújó kráterek (*stealth craters*) (nyílhegygel jelölve) és friss kráterek (nyílal jelölve) a Mars északi síkságján. MOLA topográfiai térkép (sötét: mélyebb, világos: magasabb területek) (Kreslavsky, Head 2001)



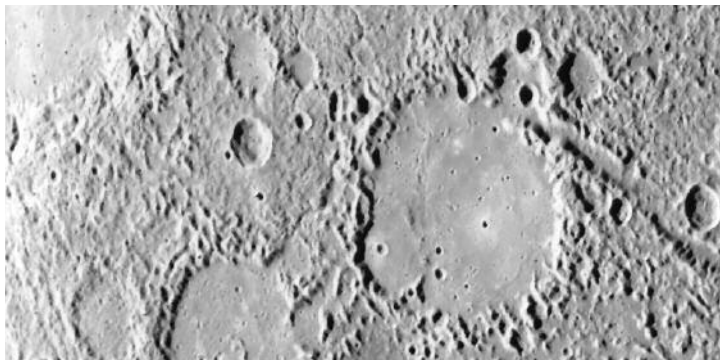
## A MERKÚR BECSAPÓDÁSOS KRÁTEREI



357. Három hasonló méretű, de eltérő erodáltságú központi csúcsos kráter a Merkúron (Mariner-10, 166679)



358. Fiatal, sugársávú kráter (Mariner-10, 166657 sz. felvétel)



359. Idős, lávával feltöltött kráterek a Merkúron (Mariner-10, 27424)

A Hold és a Merkúr két, első ránézésre erősen hasonló felszínű égitest. Ez nagyrészt abból fakad, hogy mindkét, jelentősebb légkör nélküli égitesten a felszíni formák kialakításában a becsapódások játszottak fontos szerepet.

A Merkúr ismert féltekén legalább 15 ősi becsapódásos medence található. A Tolsztoj többgyűrűs medence, 2–4 gyűrűvel (nem ismert bizonyosan), jól megőrzött, aszimmetrikus törmelékterítővel. Belső része a becsapódás után lávával töltődött fel. Hasonló, de csak egy gyűrűvel rendelkezik a Beethoven medence.

Az 1300 km átmérőjű Caloris-medence (361. ábra) a legnagyobb méretű becsapódási alakzat a Merkúron. Ellenlábás pontjában feltördelt terület található (lásd: 45. oldal). A Caloris-medence belsejét kitöltő lávát törésvonalak hálózata szabdalja. A láva lehet vulkáni eredetű vagy impakt olvadék.

Számos krátert vagy mélyedést tölt ki sima láva (*smooth plains*) anyag, mely valószínűleg nem sokkal a Caloris esemény után ömlött a felszínre. Ezek a holdi marékhoz hasonlóak, de azokkal ellentétben albedójuk megegyezik környezetükével (Spudis 2001).

A Calorisnál kisebb medencék és a nagyobb méretű kráterek belső központi gyűrűt és teraszos kráterfat mutatnak. Az ilyen szerkezeti formák 130 kilométeres átmérőig figyelhetők meg a kráterekben. Az ennél kisebb kráterekben már csak központi csúcs fordul elő.

A két égitest becsapódásos formái között azonban megfigyelhető egy alapvető különbség, miszerint adott morfológiai jellemzők a Merkúron kisebb

átmérőjű krátereknél jelennek meg. Az előbb felsorolt kráterjellemzők mind sokkal „tömöttebb elrendezésű” krátereket mutatnak a Merkúron, mint a Holdon. Ezt legegyszerűbben egy adattal érzékeltethetjük: a legkisebb olyan medence, amelynél a központi csúcs körkörös belső gyűrűvé bomlik, a Holdon 300 km, a Merkúron 130 km.

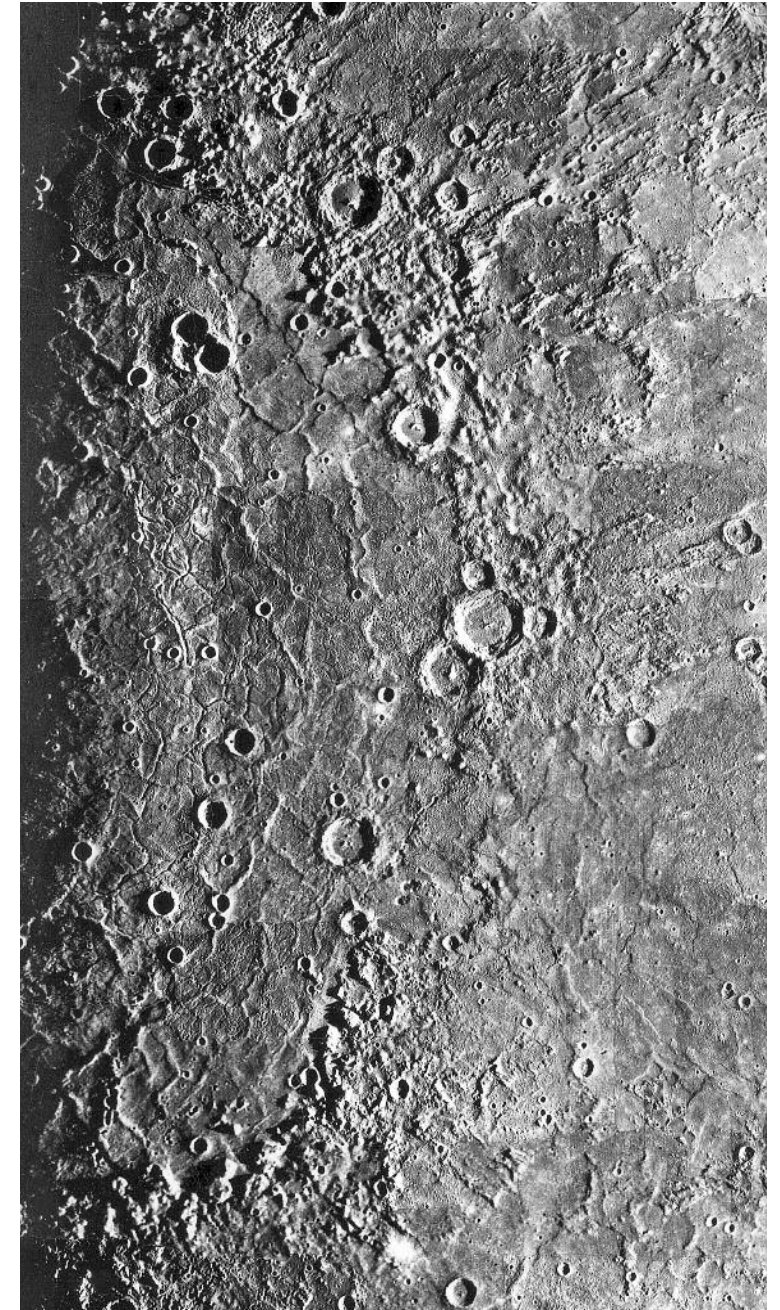
Ugyanílyan párokat lehet képezni más kráterformák összehasonlítása esetén is (például a Holdon 40 km, a Merkúron 20 km átmérő felett jellemzők a teraszok). Általánosságban megállapíthatjuk, hogy ugyanazon formák a Holdon kétszer olyan nagy kráterméretnél jelentkeznek, mint a Merkúron. Ennek oka, hogy a kráterkeletkezés meghatározó fizikai jellemzője a felszíni gravitációs gyorsulás. A felszíni gravitációs gyorsulás értéke pedig a Merkúron  $3,70 \text{ m/s}^2$ , míg a Holdon  $1,62 \text{ m/s}^2$ . (Közismert, hogy a Föld felszínén ez az érték  $9,81 \text{ m/s}^2$ .)

Érdeemes megemlíteni, hogy a Föld és a Hold felszíni formáinak összehasonlítása esetén ez az arány nem  $2/3$ , mint a Merkúr/Hold viszonyában, hanem jó közelítéssel  $1/6$ , ami azt jelenti, hogy a Földön hatodánál kisebb kráterátmérőnél jelenik meg egy egy előbb jelzett tulajdonság, vagyis pl. a központi csúcs 300 km átmérő helyett már 50 km-es átmérőnél belső gyűrűvé tagolódik. A földi kráterek 6-szor tömöttebb alakzatok, mint a Holdon lévők.

Ahogy a Holdon, úgy a Merkúron is megfigyelték, hogy a Caloris-medence kidobott takarója idősebb, mint a medencét kitöltő síkság felső rétegének kora. Ezt a mérést krátergyakoriság számlálásokkal végezték el.



360. Másodlagos kráterek lánc (alul) a Merkúr felszínének egy 50x40 km-es részén (Mariner-10)



361. A Caloris-medence részlete sűrű fényben (montázs a Mariner-10 felvételeiből)

## A VÉNUSZ BECSAPÓDÁSOS KRÁTEREI

Lásd még: sűrű légkör hatása, parabolacsóvás kráterek



362. A Markham kráter (75 km) egy vulkáni lejtőn van. Az impakt olvadék lefelé távolra jutott. A törmelékterítő szegmenshiánya 10–20°-os ferdeszögű becsapódást jelez (Magellan radar, C2-MIDR 00N131;1/40). Nagyon hasonló megjelenésű az Addams kráter is.



363. A 63 km-es Alcott kráter. Azon kevés kráter egyike, melyet kialakulása után részben láva öntött el (Magellan radar, MRPS 34482)

A sűrű légkörrel rendelkező, kb. Föld méretű Vénusz felszínén kb. 950 db, 1,4–280 km közötti átmérőjű becsapódási kráter található véletlenszerű eloszlásban, ami arra utal, hogy a Vénusz felszíne egységesen viszonylag fiatal, kb. 500 millió éves korú.

**Kis kráterek hiánya** A Vénuszon teljesen hiányoznak a kisebb kráterek, így a radarképek felbontásának növekedésével sem válik több kráter láthatóvá. Ennek oka a sűrű légkör: a kisebb meteorikus testek felizzanak és elégnék / felrobbannak a légkörben, mielőtt még elérnék a felszínt (levágási határ, „cutoff size”). A Vénuszon a 6–7 km-es kráterátmérőig folyamatosan nő az adott méretű kráterek száma, ez alatt azonban egyre kevesebb van; 3 km átmérőjű kráternél kisebb alig akad, a legkisebb 1,5 km-es.

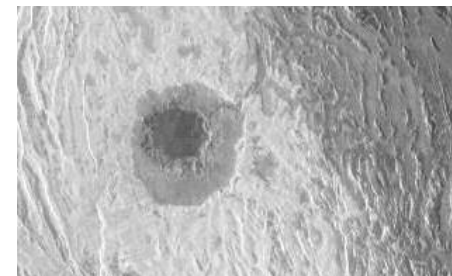
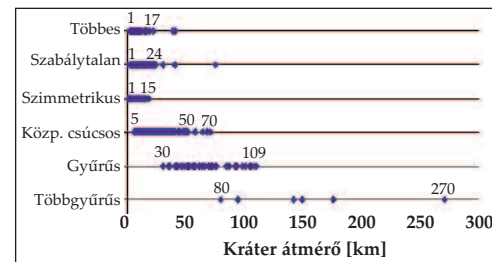
A Földön ugyanez a hatás kisebb méretekben működhet: csillaghulláskor épp ezt a jelenséget láthatjuk, de a mi légkörünk csak a néhány méternél kisebb testeket tudja elégetni. A kisebb darabok lelassulva, széttorve kráterképződés nélkül hullhatnak a felszínre. A legnagyobb földi kráterek 10 méter körüliek.

A 10 km-esnél kisebb vénuszi krátereket létrehozó égitestdarabok ugyan becsapódnak, de sokszor nem egy darabban. Ezek a sűrű légkörben szétrobbannak és darabjaik egyidőben (szinkron) csapódnak be egymáshoz közel, ha elég kis magasságban történt a feldarabolódás. Néha csak radarsötét udvar, halo látható, kráter nélkül. Ez azt a porrá zúzott vénusztalajt mutatja, amelyet a felszín elérése előtt még a légkörben történt robbanás által kiváltott lökéshullám hozott létre.

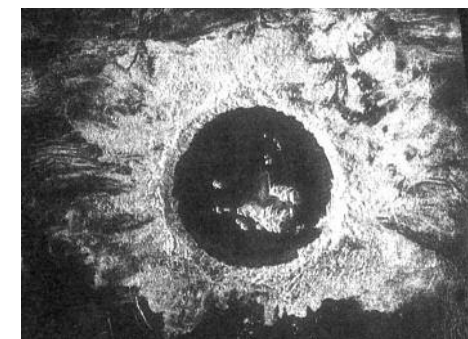
**Véletlenszerű krátereloszlás** A kráterek a Vénuszon a felszínt mindenütt kb. azonos sűrűségben borítják. Néhol ugyan több van belőlük, de nem több annál, mint amit véletlenszerű (*random and anticlustered*) eloszláskor (pl bekötött szemmel pontok felrajzolásakor) amúgy is várhatnánk (Grinspoon 1997).

A gyenge erózió miatt a kráterek többsége (84%) frissnek, érintetlennek néz ki, és sokszor nagy lávamezők tetején vannak. 4%-uk belsejét tölti ki részben láva, de majdnem teljesen eltemetve (amikor sejteni még lehet a kráter létét) szinte egy sincs.

A Vénusz felszínének kora a kráterszámlálás alapján  $500 \pm 200$  millió év. Ekkor érhetett véget a legutolsó nagyobb felszínújrapépződési esemény. A Föld után a Vénuszon található a Belső-Naprendszer legfiatalabb felszíne. Az egyenletes krátereloszlás miatt úgy tűnik, hogy az egész felszín egységesen ilyen idős. Mi történt tehát kb. félmilliárd évvel ezelőtt, ami eltakarta az összes korábbi krátert, méghozzá úgy, hogy részben eltakarva szinte egyet sem hagyott? Ekkor az egész felszínre kiterjedő katasztrofális felszínújrapépződés (*catastrophic resurfacing*) következett be, azaz olyan globális vulkáni aktivitás, amelynek lávái mindent vastagon elborítottak (Nimmo és McKenzie, 1998). A nem globális, hanem véletlenszerűen, különböző helyeken és időben előforduló kisebb intenzitású vulkánosság hátrahagyta félig előntött krátereket és kráterekkel sűrűn borított „érintetlen” területeket is. A jelenség magyarázata szerint a Vénusz nem folyamatosan, hanem szakaszosan (oszillálva), globális aktív időszakok során szabadul meg a belső hőtől, amelyet nyugodt periódusok választottak el egymástól. Néhány százmillió évig a felszín nyugodt, de közben alatta gyülemlik a hőtöbblet. A szilárd kéreg a belső hő hatására alulról egyre jobban megolvad (termális erózió), elvékonyodik, s amikor elér egy kritikus határt, a „hőszigetelő” kéreg az alatta felgyülemlett belső hő miatt hirtelen „átfordul” (*overturn*) és vastag lávataróval borítja el a felszínt. Ezzel a bolygó egy időre a felesleges belső hőtől megszabadul, majd



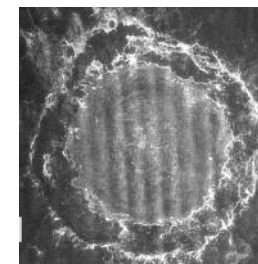
365. A 100 km-es Cleopatra krátert (régiben Cleopatra Patera) korábban vulkáni eredetűnek gondolták. Körülötte jól látható a környezeténél radarsötétebb terület. Ezt radarfényes terület veszi körbe, mely vidék a bolygó nagy magasságú területeinek jellemzője – ez a Maxwell-hegység (Magellan radar)



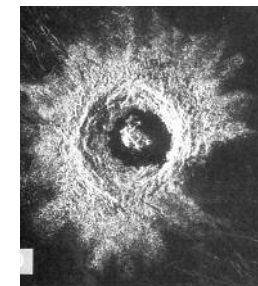
366. A 63 km-es Aglanoice kráter központi gyűrűre utaló szerkezetet mutat. Törmeléktaarója pereméről lávafolyásnyomok indulnak kifelé. Aljzatát sima láva önthette el (Magellan radar)

néhány százmillió évre felszíni geológiai aktivitása lecsökken, s újraindul a belső hőfelhalmozódás. Jelenleg ebben a fázisban lehet a bolygó. (Időben hasonló nagyságrendű ciklust feltételeznek a földi szuperkontinensek szétbomlására is.)

364. Vénuszi kráterek morfológiai jellemzői, kráterméret függvényében (Schaber et al. 1992 adatai alapján) A számok az adott kategória legkisebb és legnagyobb jellemző méretű kráterét jelzik



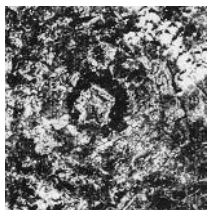
367. A Vénusz legnagyobb krátere, a gyűrűs, 275 km-es Mead. Egyedi gyűrűformát mutat



368. A 34 km-es Golubkina kráter szegmenshiányos törmelékterítője ferdeszögű becsapódásra utal. Központi csúcsa körül lávaelőntés nyoma látható. (Magellan radar)

## A FÖLD BECSAPÓDÁSOS KRÁTEREI Terrestrial impact craters

Lásd még: becsapódás vízbe, légkört hatása; földi kráterek adatai: 68. oldal



369. Erősen erodált kráter Brazíliában (Araguinha-dóm, 17°d, 53°ny), trópusi savanna (campos) vidéken. Először vulkáni benyomulásnak tartották. Földfelszíni vizsgálatok csak a központi 20 km átmérőjű szerkezetet azonosították, a teljes, 40 km átmérőjű gyűrű csak a LANDSAT felvételen mutatkozott meg. (LANDSAT 1089-13005, 1972). A közepén lévő sötét terület a csúcs lejtőit borító növényzet. Kora 244 millió év.

370. A legismertebb meteorokráter a Földön: az 1,18 km átmérőjű, 180 m mély, 30-60 m magas sáncú, kb. 50 ezer éves Barringer-kráter (Arizona, USA). A számítások szerint egy 60 m átmérőjű, 30 ezer tonnás vasmeteorit ütötte. Törmelékterítőjének anyaga ma is elkülöníthető a környezetétől. (Wright et al 2003)

A Föld felszínén 2004 novemberében 172 db bizonyítottan becsapódás okozta, 10 méter és 300 km közötti átmérőjű krátert tartottak számon. A Földön a légkör, az erózió és a lemeztektonika sajátos környezetet teremt a becsapódási krátereknek. A legtöbb, Földet eltaláló test el sem éri a felszínt, mert még korábban, a légkörben elég, vagy becsapódás előtt robban fel, ahogy az 1908-ban a Tunguz-eseménynél is történt.

A becsapódó test nagyobb valószínűséggel csapódik óceánba, mint a szárazföldre; s ekkor még kevésbé hagy maradandó nyomot, noha bizonyos esetekben utólag mégis következtetni lehet a becsapódás helyére és idejére. Utóbbira példa a 2,15 millió évvel ezelőtt a Csendes-óceánba történő Eltanin-becsapódás. A becsapódás helyét és idejét a mélytengeri üledékből vett minták elemzésével derítették ki az 1960-as években.

A becsapódási kráterek a Földön a légkör nélküli bolygótestekhez képest gyorsan erodálódnak. Ennek fő oka a szárazföldi kráterek esetén a jég, a víz és a szél eróziós hatása, a tengerfenéken létrejötték esetén pedig a lemeztektonika: az óceáni kéreg „futószalagja”, amely a 200–300 millió évnél idősebb krátereket a szubdukciós zónába betolja, és visszaolvasztja az asztenoszféra.

Amellett, hogy a krátereket mérettük és szerkezetük szerint morfológiai osztályokba soroljuk (ahogy azt más bolygótestek kráterei esetében is tettük), a földi meteoritkráterek besorolását ki kell egészítenünk az erózió mértékének figyelembevételével.

Az ősi, nagy kráterek a kontinensek legidősebb részein: pajzsterületein maradhattak meg (Sudbury, Vredfort). Az Észak-Amerikában és Európában lévő pajzsszerű területe a jégkorszakban erősen erodálódott,



emiatt látszik sok idős kráter a mai felszínén.

Jelenleg a műholdas technika nyújtja a legnagyobb segítséget a kráterek felsismerésében. Ezzel vált igazán lehetővé a lakott területektől távoli vidékeken is a kráterek könnyű felismerése és lakott, beépített területeken is könnyebb felismerni a krátereket. A kráterek becsapódási eredetének bizonyításában a sokk metamorfózis kőzetmikroszkópos felismerése lehet perdöntő.

A kráterek átmérőjét tekintve a legkisebbet 1990. május 17-én az urálbéli Sterlitamak közelében hullott meteorit ütötte (371. ábra). A 10 méteres tál alakú krátert a helyiek már jelentősen összejárálták, mire hat nap múlva az orosz Tudományos Akadémia kutatói megérkeztek. A becsapódás szerint 1 m-es vasmeteorit 45°-os szögben érkezett, és a kráterből egyirányban lökött ki nagyobb földmennyiséget. Beérkezéskori 15–18 km/s sebességéről 2–3 km/s-re lassította a légkör (v. ö.: Peekskill). A kráterben 12 m mélyen találták meg a vasmeteorit egy 315 kg-os darabját (Sky and Telescope 1992 aug. p. 126).

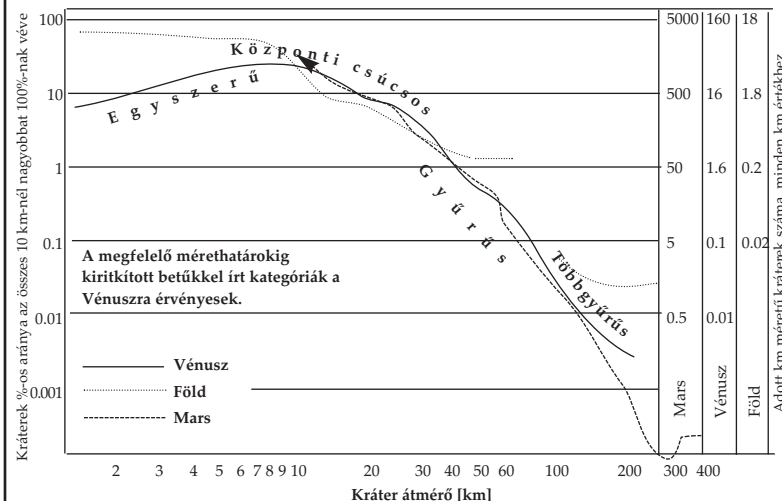
Szintén a legkisebbek között található a 15 méteres Haviland-kráter (Kansas, USA, 372. ábra), ami kevesebb mint ezer éve keletkezhetett. (Ha sokkal idősebb lenne, akkor az erózió miatt már nem volna felismerhető.) A további legkisebb kráterek a kb. 270 ezer éves, 27 méteres nyugat-ausztráliai Dargalanga-kráter és a 27 méter átmérőjű, Oroszországban található Sikhote Alin (a Szihote-aliny hegység nevével), ami 55 éves.

A legnagyobbak között az első helyen a 300 km átmérőjű és 2,0 milliárd éves dél-afrikai Vredfort-kráter áll, amit a 250 km-es és 1,85 milliárd éves Sudbury-kráter követ (Ontario, Kanada). A Chicxulub-kráter a Föld harmadik legnagyobb ismert krátere. Ez a 170 km átmérőjű kráter 65 millió éve jött létre. Felfedezése a térségbeli olajkutatásnak köszönhető.

A hozzánk legközelebbi, jól tanulmányozható becsapódásos kráter a németországi Ries-kráter.

Bizonyos becsapódások nagy hatással voltak a földi élet fejlődésére. A Mexikói-öböl alatt ma 1100 méter

371. A 10 m-es Sterlitamak kráter az Uralban (Oroszország)



vastagságú üledékekkel fedett Chicxulub-kráter létrehozó égitestet a jura időszak végi 65 millió évvel ezelőtti tömeges kipusztulással (illetve ahhoz való jelentős hozzájárulással) „vádolják”.

A Földön is található kráterláncok (lásd: kráterlánc, 30. oldal). A Callisto, Ganymedes és a Hold után a Föld a negyedik égitest, amelynek felszínén becsapódásnyom-sorozatot sikerült megfigyelni. Az USA területén, Illinois, Missouri és Kansas államokon ível át egy 8 kráterből álló kráterlánc, melyek szülőégitestjei egykoron egy objektumot alkotottak. Az egyes kráterek átmérője 3 és 17 km, koruk 320 millió év körüli.

Az USA krátereiről lásd Koeberl, Anderson (1996), a földi becsapódások és kutatási módszereik áttekintését pedig: Montanari, Koeberl (2000)

372. A mindössze 15 méter átmérőjű Haviland-kráter (Kansas, USA)



373. A kráterek nagyság szerinti gyakorisága a Marson, Vénuszon, Földön. A három görbe a kráterméretek statisztikus átlaga miatt szinte azonos lefutású, leszámítva a légköri levágás miatt a kis mérettartományt. A marsi minta 19300, a vénuszi 941, a földi 167 kráter adatai alapján készült. A Marsi adatok csak a 10 km-esnél nagyobb krátereket tartalmazták, a többi minden az adott égitesten ismert kráterét. A bal tengelyen a %-os arány olvasható, a jobb oldalon minden krátermérethez az abszolút szám (azaz pl. 24 és 25 km közötti méretű kráter a Marson kb. 500 db található. Ugyanekkora méretű a Vénuszon kb. 16, a Földön kb. 1 található.) Az adatok forrása: Vénusz: Herrick et al. 1997; Mars: Rodionova et al. 2000, Föld: Earth Impact Database 2003. A vénuszi krátertípus kategóriák forrása Schaber et al. 1992 adatai.

(Források: FGDC, solarviews.com, unbc, Kereszturi et al, 2003; Holl et al. 1997)

## AZ EUROPA BECSAPÓDÁSOS KRÁTEREI

A Jupiter Europa nevű holdjának fiatal felszínén 28 darab négy kilométernél nagyobb krátert találtak napjainkig (2005). A hold körül mért mágneses tér változásából és a felszíni alakzatokból (jégablák, káosz-területek, barnás-vörös foltok stb.) arra következtethetünk, hogy a 3138 km átmérőjű hold vízjégből álló kérgé alatt 80–170 km vastagságú egybefüggő vízóceán lehet. A felszínen megfigyelhető kráterek kialakulását, a Föld-típusú égitesteken látottaktól eltérő morfológiáját a szilikát kéregtől eltérő tulajdonságú vízjégkéreg és folyékony vízréteg okozza.

A hő- és anyagáramlási folyamatok révén a felszín állandóan megújul, így viszonylag kevés krátert találunk. A kráterszám arra utal hogy a jelenlegi felszín kb. 100 millió éves. A nagyobb krátereknél jól megfigyelhető az elsimulási (relaxációs) folyamat, amelynek következtében a

kráter ellaposodik (domborzata kiegyenlítődik). A kráter később repedések vághatják át.

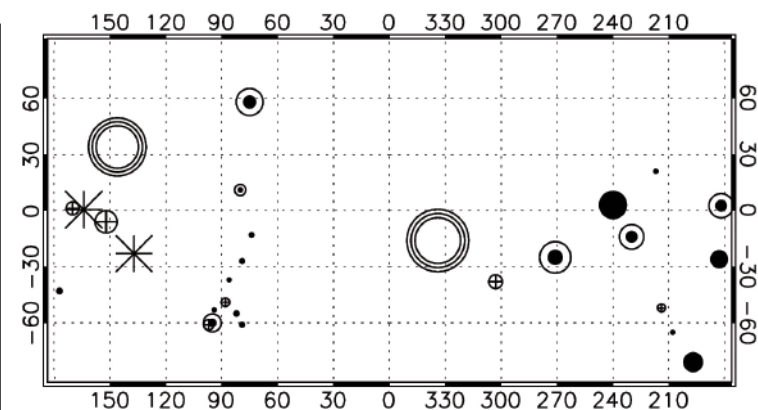
Az Európát a legrészletesebben a Galileo űrszonda fényképezte. Az általa megfigyelt legkisebb kráterek a 30–450 méter átmérőjű mérettartományba eső másodlagos kráterek voltak. A legtöbb másodlagos krátert a 23,7 km átmérőjű Pwyll kráter (377. ábra) környezetében figyelték meg.

A másodlagos kráterek egyszerű gödrök összetett alakzat nélkül. Ha a becsapódó test tömege és/vagy sebessége nagyobb, akkor az aljzat megemelkedik, és kiemelt helyzetben marad, a kráter közepén található részek központi csúcsot hozhatnak létre. Az Europa esetében azonban egy nagy becsapódás esetén a test már áttörheti a jégpáncélt, így különleges becsapódási alakzat jöhet létre.

A megfigyelések szerint kb. 10 km-nél nagyobb kráterátmérő felett a jégkéreg átszakad, a feltörő vízben oldott sók és egyéb vegyületek kiválása vörös színű kölcsonőz a kráternek, aminek aljzata izosztatikusan megemelkedik, így a kráter laposabb lesz és mélysége a nagy átmérő ellenére sem haladja meg az 500 métert. Több tíz kilométeres átmérő

esetén a nagy kráterek sok koncentrikus körből, körívvel állnak, melyek körülveszik a krátert. A morfológiai határokat nem lehet kizárólag a kráterátmérőhöz kötni, ugyanis a jégkéreg vastagsága helyről helyre változik és ez erősen befolyásolja a létrejött kráter morfológiáját.

Mivel a központi csúcs és a kör-sánc kiemelkedését és fennmaradását valamint a nagyobb kráterek ellapulását a jégkéreg vastagsága határozza meg, a kráterek



morfológiájának tanulmányozásából meg lehet becsülni a jégpáncél vastagságának alsó mérethatárát. A számítások 3–4 (Turtle és Pierazzo) és 19 km (Schenk) között mozognak. A jégkéreg vastagsága hosszabb időtávon a változó belső hő függvényében időben is változhat.

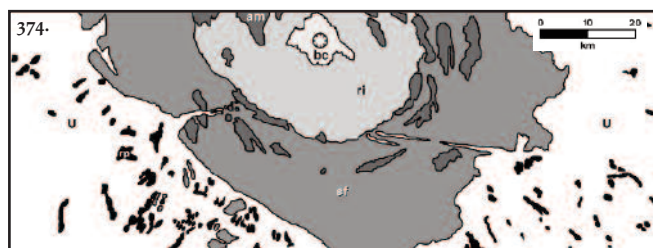
A Galilei-holdakon megfigyelt kráterek több mint 90 százalékát a Jupiter-család üstökösök becsapódása hozhatta létre. Ezen üstökösök (vagy azok egyes darabjainak) becsapódási sebessége átlagosan 26,5 km/s lehet (Turtle, 2004, Morrison, 1998, Turtle és Pierazzo, 2001).

376. Az Europa krátereinek eloszlása E. P. Turtle és E. Pierazzo szerint.

Fekete kör: egyszerű kráterek  
Karikák belső fekete körrel: központi csúcsos kráterek

Körök + jellel: kráterek, amelyek csak gyenge felbontásban ismertek.  
Csillag: a Taliesin és Tegid nevű sajátos szerkezetű Gyűrűk: többgyűrűs kráterek

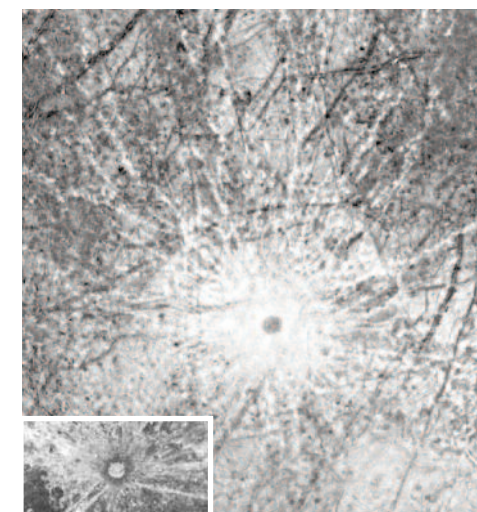
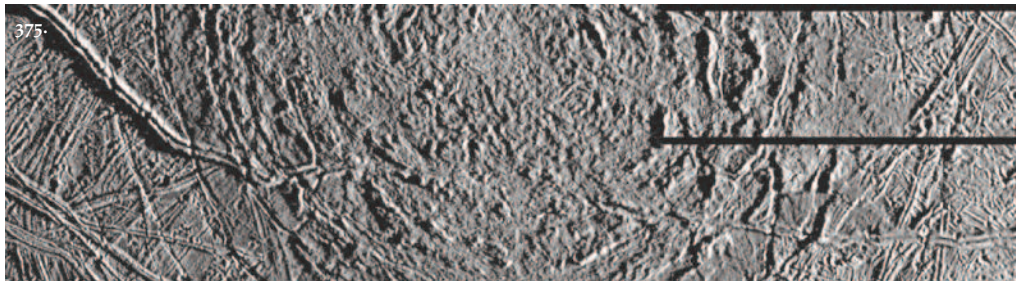
### GEOLOGIAI EGYSÉG KORRELLÁCIÓ



bc világos központi lebenyes egység  
sf Sima külső folyási legység  
rp Radiális gödrök és gödörláncok  
ri Érdess belső egység  
am Gyűrűhegységek  
u Korábbi felszín

374-375. A Callanish kráter (makula) déli részének fényképe és geológiai térkép vázlata.

Jól láthatók a kráter átmérőjéhez képest kis kéregvastagságú holdon a krátert körülvevő koncentrikus ívek (Europa, Galileo P48228 MRPS78070)



377. A Pwyll kráter az Europa egyik leglátványosabb krátere. Sugársáv szerkezete jól kivehető ezen az 1,2 km/pixel felbontású Galileo-fotón. A középső sötét kör kb. 50 km átmérőjű (a 23 km átmérőjű kráter sáncánál nagyobb). A felvétel egy kb. 1500x1700 km-es területet mutat. A bal alsó sarokban az albedóalakzatok összehasonlításaként a Tycho kráter (Hold).

## BECSAPÓDÁSOK ÉS BOLYGÓFEJLŐDÉS

A kráterek képződése és az azokat létrehozó becsapódások összetett módon befolyásolják egy égitest fejlődését. Az alábbiakban a legfontosabb ilyen hatásokat vesszük sorra.

– **Égitestek létrehozása:** a nagy becsapódások alkalmával kirepült anyagból később új égitest állhat össze. Így keletkezett a Hold is az ősi Föld és egy Mars méretű bolygócsíra (a „Theia”) ütközések kirepült anyagból, és valószínűleg hasonló folyamat hozhatta létre a Plútó–Charon rendszert is.

– **Égitestek szétrombolása:** a nagy becsapódások szét is darabolhatnak egy égitestet. Ilyen ősi, szétört, de hasonló pályán maradt töredékek alkotnak egy-egy kisbolygócsaládot – ilyenkor tehát egyben új égitestek is születnek. Ha egy bolygó holdrendszerében történt az ütközés, akkor a darabokból később akár újra is összeállhat az égitest (pl. egyes elgondolások szerint Miranda).

– **Pályaelemek és tengelyforgás módosítása:** a nagy becsapódások az égitestek mozgását is befolyásolják, pl. növelhetik a pálya excentricitását. A modellek alapján hatalmas ősi ütközések felgyorsíthatták vagy lefékezthették egyes bolygók forgását, vagy megváltoztathatták a forgástengely állását, pl. ezek billentették ki az Uránusz vagy a Plútó forgástengelyét a pályasíkjára állított merőlegeshez közeli állapotból, nagy szögű precessziós mozgásra is késnyserítve azt. A kisbolygóknál vagy üstökösökönél a kaotikus, több tengely körüli forgásért is valószínűleg a becsapódások a felelősek.

– **Légkör növelése:** megfelelő körülmények esetén egy becsapódó objektumból kiszabaduló gázok egy része a becsapódást elszenvedő égitest légkörében marad. Minél kisebb energiájú egy becsapódás, a felrobbanó test anyagának annál nagyobb része marad meg a célobjektum légkörében. A 100–500 méternél kisebb objektumok anyagának nagy része az eltalált bolygó őslégkörét gyarapíthatta (pl. Föld, Vénusz).

– **Légkör csökkentése:** a nagy becsapódások robbanásának lökéshulláma el is fújhatja egy

égitest légkörének jelentős részét. Ilyen a viszonylag kis tömegű és ezért gyengébb gravitációs terű égitestek fejlődése során többször előfordulhatott. Elméletileg ilyen becsapódás is véget vethetett a Mars korai nedvesebb éghajlatának (légkörelfújás) (Vickery és Melosh 1990). A kráterszámításos kormeghatározás alapján ilyen eseményt okozhatott a marsi Argyre-medencét létrehozó becsapódás, mert a marsi folyóvölgyek elsősorban az ennél idősebb felszíneken találhatók. A becsapódás után a légnymás erőteljesen lecsökkenhetett, és már csak igen szűk hőmérsékleti határok között létezhetett a Marson víz folyékony állapotban.

– **Kémiai átalakulások kiváltása:** a becsapódások a felszín és a légkör kémiai összetételét erősen megváltoztathatják. A mikroszkopikus becsapódások illékony gázokban szegényítik a légkör nélküli égitestek (pl. Hold, kisbolygók) felszíni regolitakaróját. A Japetus (Iapetus) szaturnuszhold vezető oldalának sötét színéért a korábbi elméletek a becsapódó szemcsék ütközése által kiváltott kémiai reakciókat teszik felelőssé. (A Cassini űrszonda képei alapján azonban inkább gejzírműködéssel magyarázható itt a jelenség [Illés 2005b].)

– **„Frisz” anyag szállítása:** a becsapódásokkal egy égitestre ott ritkának számító molekulák kerülhetnek, ilyen lehetett pl. a víz és szerves anyagok szállítása az ősi Földre becsapódó kisbolygók, üstökösök révén. Ugyanitt a légkörben elizzó objektum gyártotta nitrogén-oxidok megváltoztatnak egyes légköri reakciókat, a Földnél pl. elbontják az ózont.

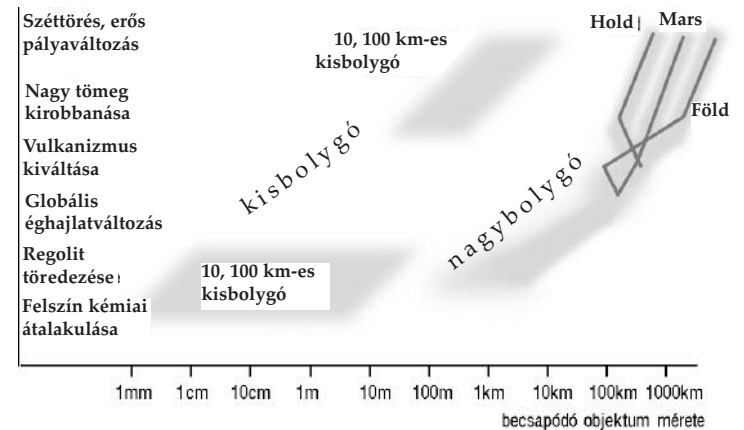
– **Éghajlati változások:** amennyiben a becsapódás jeget vagy vizet, esetleg magas széndioxid tartalmú kőzetet talál el egy légkörrel is bíró égitesten, a kipárolgó üvegházgázok megnövelhetik a felszíni átlaghőmérsékletet (ilyenek pl. a Mars fejlődésének elején az egyes nedves és meleg periódusok, vagy az ősi Földön az óceánokat elpárolgató és sűrű vízgőz atmoszférát létrehozó nagy becsapódások). Ugyanakkor ha a becsapódás sok mikroszkopikus port lövell a felsőlégkörbe, az évekig tartó globális jégkorszakba taszíthatja az égitestet. A becsapódás közvetlen környezete a becsapódási esemény után egy ideig melegebb környezeténél, itt sajátos mikroklíma alakul ki.

– **Tektonikus folyamatok:** a nagy becsapódások az égitestek szilárd külső burkában tektonikus folyamatokat indíthatnak el (pl. a Merkúron a

Caloris-medencét kialakító becsapódástól az égitest átellenben lévő vidékén keletkezett kaotikusan összetört régió a kiváltott szizmikus hullámok fókuszálódása következtében).

– **Vulkanikus aktivitás:** egy nagy becsapódás közreműködhet a felszíni vulkanizmus elősegítésében, részben beolvadást okozva az asztenoszféraiban, részben a magma emelkedéséhez szükséges repedéseket hozva létre a kőzetburokban (pl. a vulkáni aktivitás újraélése a Merkúron a Caloris-becsapódás után, vagy a mare bazaltok feljutásának megkönnyítése a Holdon a nagy medencék alatti repedéseken át).

– **Globális szerep:** a fenti folyamatok egymással összekapcsolódva, egymást befolyásolva komplex módon hatnak egy-egy égitest fejlődésére.



378. Eltérő méretű objektumok becsapódásának hatása különböző égitestekre. A vízszintes tengelyen a becsapódó objektumok mérete, a függőlegesen a becsapódás néhány jellemző következménye látható. A grafikonon szürkével egy 10, egy 100 km-es kisbolygón (bal, kisbolygó-oszlop), a Holdon, a Marson és a Földön (jobb, nagybolygó-oszlop) történt becsapódás következményei láthatók. A globális éghajlatváltozást csak a légkörrel rendelkező égitestekre értelmezzük. Érdeemes megfigyelni, hogy a vulkanizmust kiváltó becsapódó test mérete a célobjektum méretével fordított összefüggésben van: míg a kisbolygóknál ez nem is jön szóba (az üstökösökön a becsapódások aktív, anyagkiöbcsátást mutató területeket hozhatnak létre, de ezt nem sorolják a vulkanizmushoz), a nagyobb égitesteknél azok méretéből adódó kéregvastagságukkal és belső hőjükkel mutat kapcsolatot. Minél nagyobb és aktívabb és így vékonyabb szilárd kérgű egy égitest, annál kisebb becsapódás is elég ahhoz, hogy vulkanikusan aktív központot hozzon létre a felszínen. A mellékelt ábra az arányok szemléltetésére szolgál, a rajta feltüntetett értékek csak közelítőlegeselek.

## NAGYOBB BECSAPÓDÁS UTÓHATÁSAI A FÖLDÖN

Az alábbiakban a becsapódás utóhatásait a Föld, azaz egy légkörrel és étellel rendelkező bolygó példáján tárgyaljuk. Az itt bemutatott forgatókönyvek modellszámításokon alapszanak, mert a földfelszín ért becsapódásról nincsenek tapasztalati adataink, a földtani rétegek pedig nagyon korlátozottan (gyenge időbeli felbontással) adnak információt ilyen rövid ideig tartó eseményekről.

Az itt ismertetett eseményláncot a kréta és a harmadidőszak határán (K/T határ) Földre csapódott kb. 10 km átmérőjű test becsapódásának modelljei eredményezték.

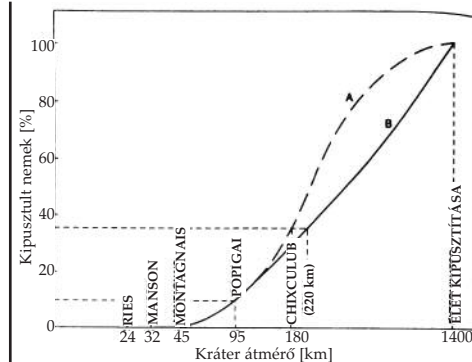
E modellek alapján arra a következtetésre juthatunk, hogy a becsapódás elsődleges, a kráter és közvetlen környezetében kifejtett hatásai mellett a másodlagos hatásoknak jóval nagyobb befolyása lehet az élővilágra.

A becsapódás közvetlen hatására a felszabaduló hő és a lökéshullám minden felszínen található anyagot

el párologtat. Törmelék dobódik ki a kráterből a környezetbe.

Közvetett hatásai tüzek, földrengések, szökőárok, a légköri folyamatok megváltozása, másodlagos becsapódások, amelyek további krátereket hoznak létre.

**Tüzek** Nagy becsapódás esetén az izzó törmelék akár az egész bolygó területére is eljuthat, s tüzeket hozhat létre. A visszahulló törmelék nem feltétlen éri el a felszínt – még a légkörben felrobban és lökéshulláma és a hő révén pusztít a felszínen (Toon, Zahnle 1996). A részben megolvadt törmelék - több ezer km távolságra is eljuthat. A Jupiterbe csapódó Shoemaker-Levy 9 üstökös Jupiter légkörében látható lökéshullámfrontját a Földre vetítve az üstökös egyetlen darabjának lökéshulláma is elérte volna a Föld egy féltékének minden pontját (192. ábra). Jones és Lim (2000) vizsgálatai a K/T határon azt mutatták, hogy az ott talált elszenesedett maradványok valószínűleg hónapokkal a növények elpusztulása után égtek el. A kutatók a elmúlt évszázadok meteorit hullásaihoz köthető erdőtüzekről kerestek írásos feljegyzéseket, de nem találták bizonyítékát ilyennek, még a Tunguz-esemény esetén sem – igaz, itt kráter nem keletkezett (és június végén történt, talán még nem elég „száraz” periódusban). Ezek nem



380. Krátermagyság és becsapódás által kipusztított nemek közelítő %-a (modell) (McGhee 1996, p.182)

bizonyító erejűek, hiszen jóval kisebb nagyságrendű események.

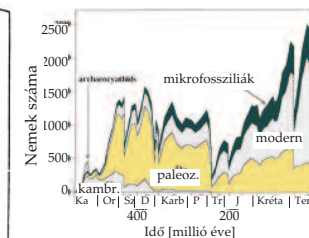
A modell szerint a felszín hőmérséklete elérhette a 400 °C -ot, a légkörben pedig 700 °C hőmérsékletet is kialakulhat. Ez az energia kb. 4 nap alatt oszolhat el a Földön. A globális tüzek ilyenkor a teljes biomassza nagy részét elemészthetik és mérgező gázokat hozhatnak létre (McGhee 1996 p. 162). A visszahulló törmelékek maguk is kelthetnek tüzeket, de a légkörbe került (elgőzölög) víz kicsapódása (esők) ezt hamar el is olthatják (Kring et al, 2005).

**Földrengések, szökőárok** Lásd: víz alatt képződött kráter és utóhatásai, 11. oldal

**Szelek** A szelek elérhetik a 255 m/s-t (közel hangsebesség).

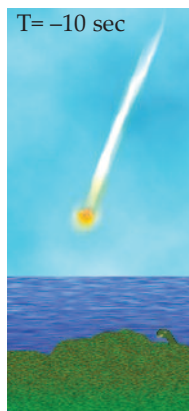
**Másodlagos kráterek** A nagyobb darabok egy ideig Föld körüli pályára kerülhetnek majd visszahullhatnak. A képződő olvadékcseppek (tektitek) vagy a kilökés hatására vagy a felemelkedő forró levegővel együtt a magasba kerülnek, és visszahullva nagy területű szórásmezőket alkotnak, amit a tektitmezők léte is igazol. A Chicxulub-becsapódás kidobta globális irídiumréteg igazolja, hogy a szelek az egész bolygón szétteríthetik a kráterből kidobott port.

**Légköri hatások** A rendkívüli hő hatására a légköri nitrogén és oxigén savakká alakulhat át (NO → NHO<sub>3</sub>) ami a vénuszéhoz hasonló, de ez esetben a felszínt el is érő savas esőket okozhat (globálisan 4–5 pH, a kráter közelében 0–1 pH). Ez a tengerek felső rétegét oly savassá teheti, hogy feloldhatja a mészvázú lények házát is (Ward, Brownlee 2000 p. 158 McGhee 1996 p. 162), de a szárazföldeken lerakott tojások héját is megfagyíthatja.

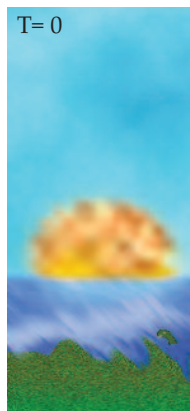


381. A földtörténet során élt nemek száma a paleontológiai adatok alapján számítva (a „Sepkoski-görbe”)

379. A Chicxulub-becsapódás és utóhatásai (modell)



65 millió évvel ezelőtt egy 5–10 km átmérőjű kisbolygó vagy üstökös mag lépett be a Föld légkörébe. Hasonlóra kb. 100 millió évente kerülhet sor



A robbanás óriási mennyiségű kőzetet párologtatott el és dobott a légkörbe. Hatalmas kráter formálódott és szökőárok keletkeztek



A robbanás következtében szökőárok, orkán erejű szelek és tűzvészek pusztítottak, a kőzetekből kipárolgó anyag miatt savas esők hullottak



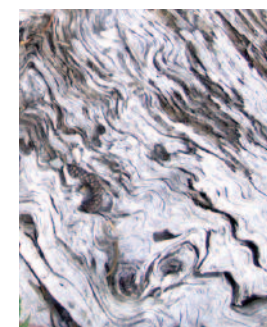
A légkörbe került por nem engedte át a Nap fényét, ezért állandó sötétségbe és folyamatos fagyba burkolózott a Föld (Kereszturi 2004)



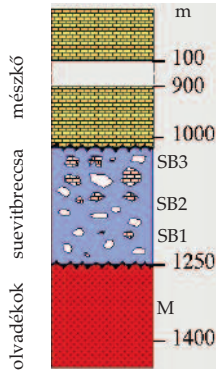
A sötétben a növények nem tudtak fotoszintetizálni, az élőlények jelentős része a vízben és a szárazföldön is elpusztult



Az ózonréteg elvékonyodott. Amint a por kihullott a légkörből, az ultraibolya sugárzás felerősödött. A megüresedett élőhelyeket új élőlények foglalták el



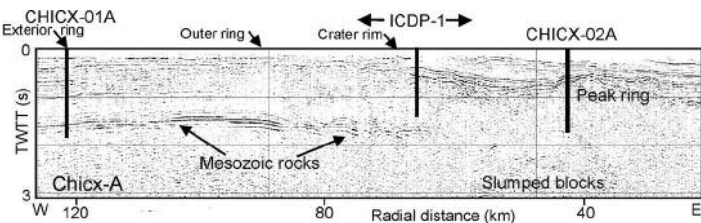
382–383. Fent: a Mt. St. Helens kitörésekor (1980) elpusztult fa oldalában 24 év után is látható a lökéshullámmal nyomuló torlóár hamuja, amely hozzávágódott a fához. Lenn: a fák kérgében sajátos „képlékenyen gyűrt” hullámos mintázat jött létre. (Fotó: Hargitai 2004). A Tunguz-eseményt átélte fákat a beágyazott törmelék szemcsék miatt vizsgálták.



384. A Chicxulub-kráter rétegsora mutatja, hogy ma 1000 m mélyű krátert fedti a kráter.

A Chicxulub-kráter megmaradt kráterkitöltő breccsájának a fúrásai (UNAM-5), 112 km-re a kráter központjától M: olvadékok; SB: (suevitbreccsa) klasztikus, olvadt és sokk-metamorfizált kőzetek elegye. SB1: kisebb törmelék, SB2: nagyobb törmelék SB3: olvadékgazdagabb, kisebb szilikáttörmelék.

385. A Chicxulub-kráter felszín alatti keresztmetszete feltárja a központi csúcs gyűrűs



Ezt az elméleti forgatókönyvet az eseményekről számos kutató túlzónak és nem kellőképp alátámasztottnak találja.

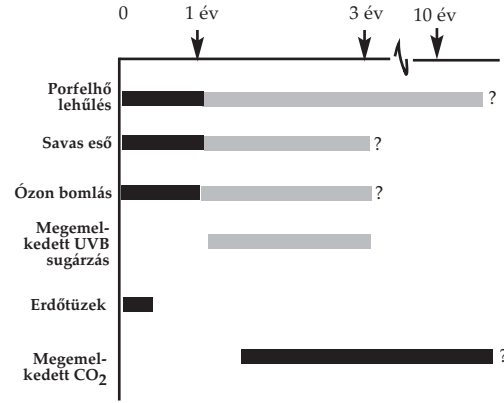
A légkörbe került apróbb törmelék por/hamu formájában a zonális szelek szárnyán terülhet szét az egész Földön. A felszabaduló energia kontinens méretű (10 km magasságú, 4000 km szélességű) területen felfűtheti a légkört, mind a becsapódás, mind az azzal átellenes ellenlábás (antipodális) terület fölött. A becsapódás helyétől a minden irányban elinduló forró szelek a bolygó túoldalán „ütköznek”, ami ott kompressziós fűtést okoz.

A becsapódás helyén a szél a tengeri sót, a talajt, (port), a tüzek hamuját és kormát (fallout) átfújhatja a troposzférra határára is, fel a sztratoszférába.

A becsapódó test anyagából származó törmelék szélben szálló porfrakciója, az elpárolgott kőzet anyaga, a hamu és a korom széterjedhet az egész Földön. A por képes lehet a napfényt teljesen elnyelésére ill. visszaverésére, mint ezt a Marson lejátszódó porviharok megfigyelése is bizonyítja.

A légkörbe került nagy mennyiségű por megzavarhatja a légköri cirkulációt és vele a csapadékhullás rendjét. A sötét albedójú por elnyeli a napfényt, így a légkör porgazdag rétegei felmelegsznek.

**Impakt tél** A felszínre érő napsugárzás nélkül a hőmérséklet a felszínen igen hamar lecsökkenhet, és a fotoszintézis lehetetlenné válhat. Ezzel az idáig „megkímélt” tengeri élővilág táplálékláncja is megszakadhat, így összeomolhat. Egy atomháború hasonló hatásai miatt a jelenséget nukleáris télnek („atomtél”) is nevezik. Magára a jelenségre először a Mariner-9 Mars-megfigyelésekor gondolt Carl Sagan, amikor a képeken látta a porviharba burkolódzó Marsot. Modellezték egy földi vulkánkitörésből származó por hatását (Pollack 1976), majd ennek tapasztalatai nyomán egy atombomba által levegőbe szórt por hatását is. Ekkor született az atomtél kifejezés. A becsapódásokra vonatkoztatva hasonló eredményekre juthatunk. A „becsapódási (impakt) tél” (globális és folyamatos, nappali-éjszakai) sötétsége néhány hónapig tarthat (hivatkozások: McGhee 1996 p. 163). A kontinenseken a hőmérséklet akár több évig is fagypontra maradhat. (A 4 milliárd évvel ezelőtti nagy bombázás időszakában a sok nagy becsapódás hasonlóan sötét „atomtél” körülményeket teremthetett több égitesten.)



386. Becsapódás utóhatásai Cockell, Blaustein (2002) alapján

**Ultraibolya tavasz** A több hónapos (esetleg éves) globális atomtél után, mikorra a légköri por kiülepedett, következik az „ultraibolya tavasz”, amikor a napsugárzás ismét lejut a felszínre. Eddigre azonban az intenzív hő és a nitrogén-oxidok hatására az ózonpajzs részben elbomlott (O’Keefe, Ahrens 1982), nem védi meg az amúgy is napfénytől elszokott élőlényeket a sejtekre, DNS-re káros UVB (280–315 nm) sugárzástól. Az ózonpajzs már az „impakt tél” alatt is hiányozhat, de akkor a légköri por nem engedi le a napsugárzást a felszínre (Cockell, Blaustein 2000).

A felszabaduló kén egyes elméletek szerint kéndioxidként a légkörben kén-savvá alakulna (ultraibolya sugárzás hatására, víz jelenlétében), ami savas esők formájában tovább pusztítaná az élővilágot.

Az erős napfényben a becsapódás hatására elpárolgott s így felszabadult CO<sub>2</sub> és vízgőz üvegházhatása a számítások szerint 2–10°C-os erős felmelegedést okozhat (Pálffy, 2000), mely 50–100 évig tarthat (Toon, Zahnle 1996). Az ilyen üvegházhatás lassan gyengül, mert a légköri CO<sub>2</sub>-t megkötni képes élő biomassza nagy része elpusztult. Másrészt a növények épp növekedésük idején kötnék le sok CO<sub>2</sub>-t. Az élővilág a megfigyelések szerint eltérő szélességeken eltérően reagálhatott: a legnagyobb kihalás a trópusokon történt, ahol az élőlények kisebb tűrőképességűek, mint a magasabb szélességeken, ahol a környezeti tényezők szélesebb spektrumú változásaihoz vannak hozzáedzve.

**Gyűrű** Egy 0–10° földrajzi szélességet érő óriási becsapódás jóval több törmelékot juttatna Föld körüli pályára, amelyek hatására akár egy időszakos gyűrű is kialakulhatna a Föld körül. Ez kitolná a becsapódás hatását akár több millió évre is, ameddigre a gyűrű darabjai is visszahullanak a felszínre (hivatkozások:

McGhee 1996 p. 165).

A fent tárgyalt utóhatásokat különböző modellek különböző időtartamúnak és erősségűnek mutatják. Egyes kutatók szerint például a CO<sub>2</sub> miatti felmelegedés elhanyagolható mértékű. Az elméleti modellek előrejelzéseit tapasztalat nem támasztja alá, a földtani bizonyítékokkal pedig ilyen kis időtávú változásokat nehéz vagy lehetetlen egyértelműen kimutatni.

**Izotópvizsgálat földi környezetben.** Az üledék <sup>12</sup>C és <sup>13</sup>C izotóp aránya információt ad az óceánok egykori állapotáról: az élőlények a <sup>12</sup>C-t építik szervezetükbe fotoszintéziskor, ezért az óceáni környezet a „maradékban”, a <sup>13</sup>C-ben feldúsul. A szerves anyag bomlásával a <sup>12</sup>C visszakerül a környezetbe. Ha nem bomlanak el, hanem pl. (üledékben) elraktározódnak, akkor kb. állandó <sup>12</sup>C/<sup>13</sup>C arányt tartanak fenn. A két izotóp arányát a δ<sup>13</sup>C indexszámmal jelzik. Ha ez pozitív, a <sup>13</sup>C van többségben (a <sup>12</sup>C-t kivonják az élőlények), ha negatív, az az élőlények bomlására utal.

A mai óceánok felszíni δ<sup>13</sup>C értéke +2, mélye kb. 0 értékű. A fitoplankton hiányát jelzi a δ<sup>13</sup>C 0 értéke, negatív értéke pedig a fitoplankton baktériumok általi elbontását jelzi. Mindez egy becsapódás kiváltotta globális katasztrófa is utalhat (Hsü 1985). (Ez az állapot a „Strangelove Ocean”, mely nevét Stanley Kubrick atomháborús filmjének tudósáról kapta.)

A globális lehülést a <sup>16</sup>O és <sup>18</sup>O arányát jelző δ<sup>18</sup>O index jelzi. A mészváz építéskor a könnyebb <sup>16</sup>O-t használják az élőlények, így a környezet <sup>18</sup>O-ban feldúsul. Hasonlóan, a jég képződésekor a H<sub>2</sub><sup>16</sup>O-ból könnyebben képződik jég. A pozitív δ<sup>18</sup>O érték hidegre, a negatív δ<sup>18</sup>O melege utal. Így egy becsapódás után bekövetkező lehülés megállapítható.

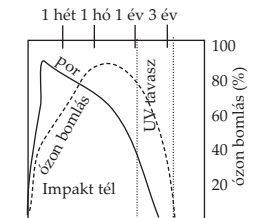
**Kihalás** Kérdés, hogy a becsapódások önmagukban vagy csak más folyamatokkal együttesen képesek-e kihalást okozni, illetve hogy önállóan mekkora becsapódás szükséges egy kihalási esemény kiváltásához. A negyedidőszaki kráterek (pl. a legnagyobbak: Popigai, Chesapeake 36, 35 millió éve) és a negyedidőszaki emlősök kihalásának vizsgálata nem mutatott összefüggést (Alroy 2003). Az egyes élőlények tulajdonságai és földrajzi elterjedtsége mellett sokak szerint a véletlenek, a szerencsének is jelentős szerepe lehetett abban, hogy az adott faj kipusztul-e vagy fennmarad. A becsapódás után néhány évig a megüresedett ökológiai fülkéket csak a korábbinál kevesebb növény- és állatfaj népesíti be, az azt megelőző diverzitás pedig csak évmilliók múlva áll vissza (lásd: Sepkoski-görbe 381. ábra).



387-388. A Mt. St. Helens 1980-as kitöréséből származó vulkáni hamufelhő és megjelenése a felszínen (Fotók (c) Douglas Miller)



389. A St. Helens kitörésben keletkező vulkáni hamu 0,001–2 mm méretű szemcsékből áll. Hasonló hamu keletkezhet becsapódáskor is. A hamu először kitérés felhő és torlóárat alkot, finomszemcsés részét a szél távolra fújja, és ez csak lassan ülepszik ki a légkörből (Volcanic Ash Fall).



390. Az impakt tél és ultraibolya tavasz összefüggése (modell-számítás). Az ózonpajzs bomlása hamar elkezdődik, de a káros UVB sugárzás a felszínre csak akkor jut le, ha a felszínre jutását meggátoló por már kiülepedett (Cockell, Blaustein 2000; Pálffy 2000).

## KISEBB KRÁTER MINT ÉLŐ- VAGY LELŐHELY

Becsapódás közvetlen környezetének biológiai hatásai és a kráterek hasznosítása

### A KRÁTEREK MINT ÖKOLÓGIAI FÜLKÉK (ÉLŐHELYEK)

**M**iközben a meteorikus testek becsapódása katasztrófális hatással jár a becsapódás helyén és környezetében élt élőlényekre, a kráter a későbbiekben sajátos fejlődési vonalú élőhelyként szolgálhat. Cockell és Lee (2002) három fázist különítenek el a kráter élőhelyként szolgáló időszakában:

#### 0. Becsapódás és sterilizálás

A becsapódás helyének sterilizálása. A korai Föld időszakában a sok nagy méretű becsapódás akár többször is sterilizálhatta a Földet.

#### 1. A termális anomália fázisa

A becsapódás keltette termális anomália határozza meg az élőhely jellemzőit ebben a fázisban. Jellemző a hidrotermális aktivitás. Elsősorban mikrobális élet fordul elő (algák, baktériumok). Ezt az állapotot impakt oázisnak is nevezik, mivel a hő különleges, az élet számára is kedvező körülményeket teremthet egy amúgy ellenségesen hideg környezetben (O'Brien et al. 2005). A hidrotermális aktivitás megszűntével az élőhelyet más élőlények népesítik be (pl. a Haughton-kráternél megfigyelt változások).

#### 2. A szukcesszió és klimax fázisa

Földi környezetben éghajlattól függően általában hamar létrejöhet egy krátertő (*intracrater lake*), melynek vízi környezete lassan betelepül. Egy ilyen környezetet „intrakráter oázisnak” is nevezhetünk. A krátertőben lévő élőlények közül sok endemikus (bennszülött) azaz csak az adott élőhelyen fordul elő. A New Quebec-kráter tavának vizsgálata azt mutatja, hogy többségük eredetileg szél útján érte el új élőhelyét.

A Földön eddig kráterben csak tavi környezetben találtak endemikus fajokat, szárazföldi kráterben nem. Tóval feltöltött kráterben szárazföldi endemikus fajok valószínűleg inkább egy nagyobb méretű, „friss” központi csúcsnál fordulhatnak elő de ilyen a Földön jelenleg nem található. Később a tó kiszáradhat, és a tavi üledékes és kráterperemi szárazföldi környezete újratelepülhet más élőlényekkel.

Ha nem alakul ki krátertő, a mélyedés miatt akkor is nedvesebb környezet alakulhat ki.

Példák tavi környezetre: New Quebec, Kanada; Brent-kráter; Kanada, Ny-Clearwater, Kanda; stb.

Ha a kráter olyan éghajlaton jön létre, ahol erőteljes a párolgás, belsejében sósvízi környezet jöhet létre (akár 10–40% sótartalommal, pl. Tswaing, Dél-Afrika).

#### 3. Az ökológiai asszimiláció fázisa

A harmadik fázisban a kráter geológiailag lepusztul, és a betelepülő élőlények révén nem lesz megkülönböztethető környezetétől.

### ÉLET ÁTVITELE METEORITOKBAN

Alitopánspermia elmélet szerint a becsapódáskor kirobant anyag darabjai a szökési sebesség elérése esetén elhagyhatják az égitestet, és más égitesten landolhatnak; így élőlények – akár pl. a kőzet pórusaiban élő extremofil endolit mikrobák – is átjuthatnak egyik bolygóról a másikra. Ideális esetben nem kizárt, hogy a kirepülést, űrbeli utazást, majd a becsapódást is túléljék. Ilyen meteoritek el is hagyhatják a Naprendszer (ill. más Naprendszerből is érkehetnek), ha egy elég nagy égitest gravitációs tere hatására felgyorsulnak (ezek a mi esetünkben: Jupiter, Szaturnusz) (Melosh 2002).

### EMBERI AKTIVITÁS KRÁTEREKBE

**Sólelőhely** A Tswaing (=Pretoria Saltpan, Dél-Afrika) kráter belsejében kőkorszaki (150–30 ezer éves) kőszekőket találtak. A krátert talán sólelőhelyként hasznosították. (Az utóbbi 200 ezer év éghajlatának lenyomatát is őrzi a krátertő üledéke.)

**Mezőgazdasági hasznosítás** A kráter medencéjének és az ottani paleolakusztin (tavi) üledékek kedvező vízgazdálkodása miatt gyakran mezőgazdasági tevékenységet folytatnak benne, pl. Ries (Németország) Bigach (Kazahsztán) Lappajärvi (Finnország).

**Víz tározás** A 15 m átmérőjű Haviland krátert (Kansas, USA) korábban itatóként használták a háziállatok számára. Víz tározónak használt kráterek: Bosumtwi (Ghana), Lonar-tó (India), míg a Manicouagan (Kanada) sáncának helyén lévő mesterséges tórendszerre vízierőmű-hálózat épült.

**Építészet** A Ries kráterben felépült Nördlingen városának sok épületét, köztük a templomát is könnyen faragható impakt (suevit-) breccsából építették. Hasonlóképp impakt breccsából készült kővekből építkeztek a franciaországi Rochechouart-kráter gazdasági épületei esetében.

A kráterek sík aljzata is szolgálhat kedvező környezetként, ha a körülötte lévő terület egyébként kevésbé alkalmas megtelepülésre. A Middlesboro-

kráter hegyes területen ad sík felületet Middlesboro városának.

A finnországi Lappajärvi sáncán síliftert üzemeltetnek, a város a krátert turistalátványosságként hasznosítja.

A Des Plaines-i 8 km átmérőjű becsapódásos szerkezetben található az O'Hare repülőtér (a becsapódásos eredetet a reptér építéskor tárták fel).

**Bányászat** A becsapódás következtében megbolygatott korábbi felszín átrendeződött kőzettömegei vonzhatják a bányászatot is. A Glover Bluff-kráterben (USA) ordoviciumi dolomitot fejtenek, a Sudbury-medence (Kanada) nikkell- és rézérc lelőhelye. Ezek a Föld legnagyobb nikkell- és réz-szulfid telepei. A dél-afrikai Vredefort szerkezet peremei a világ legnagyobb aranykészletét őrzik, melyek valószínűleg a kráterben folyó hidrotermális aktivitás révén halmozódtak fel. Az orosz Popigai-kráterben gyémántot találtak.

Földgáz is felhalmozódhat a becsapódáskor megbolygatott szerkezetekben. A kanadai Holleford-kráterben egy fúrás során robbanásszerűen szabadult ki a gáz.

Sokszor a krátertő üledékei adják a felhasználható nyersanyagot: olajpala (Boltis, Ukrajna), zeolit (Doulon, Kína), diatomit (Ragozinka, Oroszország) stb. (Reimold 1995b).

**Egyéb felhasználás** A texasi Odessa kráter medencéjét a helyi önkormányzat személtlerakóként hasznosítja. A Tswaing kráterben felhalozódó só ma is hasznosítják. (Valamennyi földi példa: Cockell és Lee, 2002, hivatkozások itt).

**Jövőbeli tervek** Már léteznek tervek kráterek hasznosítására más égitesteken, pl. a Holdon óriási rádiótvárcsövek antennáinak befogadjaként. Emellett lehetséges, hogy a Hold sarki krátereiben a regolitba keveredve kiaknázható vízjég készlet található.

391. Sókiválások a 870 m átmérőjű Wolfe Creek kráterben (Ausztrália)



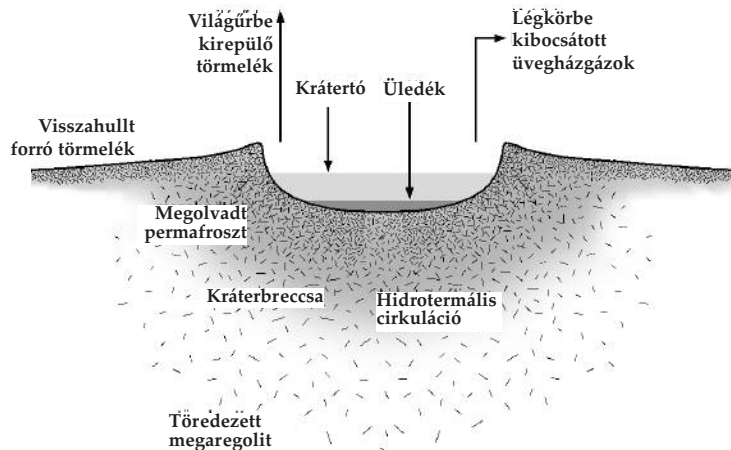


## A KRÁTEREK ÉS AZ ASZTROBIOLÓGIA

A kráterek és a becsapódásokhoz kapcsolódó folyamatok fontos szerepet játszanak az asztrobiológiai kutatásokban. Mindez leglátványosabb a Mars esetében, ezért ennek példáján mutatjuk be az összefüggéseket. Itt a becsapódásokhoz kapcsolódó alábbi folyamatok fontosak az asztrobiológiai kutatások szempontjából:

– **Kőzettöredezés:** a kráter fenekén keletkezett breccsalencse darabjai és a visszahullott anyag törmeléktagarójában lévő töredékek megnövekedett felülete a kémiai reakciók kiváltásában, a létrehozott repedések a hidrotermális cirkuláció kialakulásában segítenek. Emellett itt, valamint a nagy mélységben (*megabreccsa zóna*) a felszín alatti pórustér fogat megnövelése nem csak a víznek ad tározó helyet, hanem élethelyet is biztosíthat az esetleg itt létező extrémofil élőlényeknek.

– **Felszín alatti rétegek kihantolása:** a becsapódás révén a felszín alatt több 100 méter, esetleg több kilométer mélyen lévő rétegek is a felszínre bukkannak. Utóbbiak vizsgálata a mélységi körülményekre utalhat, ahol akár extrémofil élőlények is előfordulhattak / előfordulhatnak.



392. A kráterekhez kapcsolódó asztrobiológiai fontos jellemzők és folyamatok összefoglalása a Mars példáján

– **Jég olvasztása:** a becsapódás hője a felszín alatti permafroszt egy részét megolvasztja, a felforrósodott kőzetek pedig sokáig (10 km-es krátereknél száz-ezer, 100 km-es krátereknél százezer–millió évig) folyékony állapotban tarthatják a vizet a kráterben és a felszíne alatt (a felszíni hőmérséklettől függően különböző vastagságú jégkéreg is keletkezhet). Ugyanilyen hatást válthat ki a **visszahulló forró törmelék** is, ami nagy területen megolvasztja a felszíni fagyott regolitot, kémiai reakciókat kiváltva vagy átmeneti folyókat és tavakat létrehozva.

– **Éghajlatváltozás:** egy nagy becsapódás a légkörbe juttatott üvegházgázok és a fényvisszaverő por révén összetett módon befolyásolja az éghajlatot és ezen keresztül az életfeltételeket (lásd a *Becsapódások és bolygófejlődés* című fejezetet, 58. oldal).

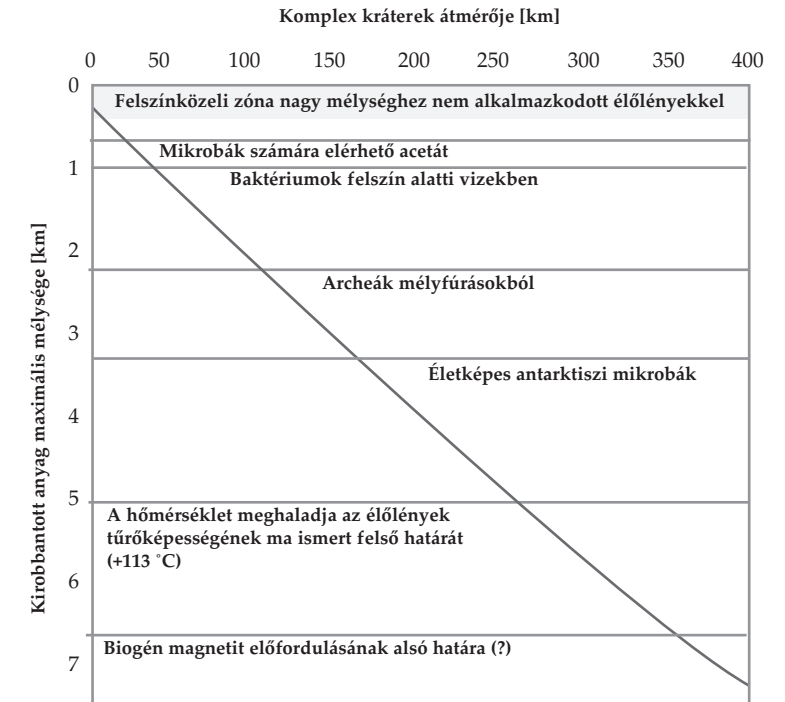
– **Hidrotermális cirkuláció:** a becsapódás során összetört és felforrósodott kőzetek repedéseiben forró víz illetve vízgőz áramlik, erősen átalakítva a környezetet.

– **Katalizált kémiai reakciók:** a kráterekben lévő impakt breccsa és a töredezett kőzetfelületek a meleg és vizes hidrotermális környezettel együtt változatos kémiai reakciókat tesznek lehetővé.

– **Üledécsapda:** a kráter belsejében mint üledécsapdában felhalmozódó anyagok a régmúlt rekonstruálásában segítenek, a felszíni mállással képződő molekulák és ásványok feloldulásának helyszíneként pedig a környezettől kémiaileg elütő területet alkothatnak.

– **Krátertó képződés:** a becsapódás nyomán megolvadt jég tartalmú permafrosztból a kiolvadt víz a kráterben halmozódhat fel, illetve később a felszín alatti repedéseken keresztül további víz érkezik a mélyedésbe vagy szivároghat el onnan. Az így keletkező tó tetején képződő jégkéreg sok ezer, tízezer évig megvédheti a párolgástól és a megfagyástól az alatta lévő vizet.

– **Esetleges élőlények „kihővelése”:** ideális esetben a krátert létrehozó becsapódáskor a felszíni rétegekből úgy repülhetnek ki kődarabok az űrbe, hogy nem mennek keresztül erős sokkhatáson, és nem melegszenek fel magas hőmérsékletre. A kísérletek szerint egyes extrémofil élőlények egy ilyen esemény és az ezt követő űrbeli tartózkodás után is életképesek maradhatnak.

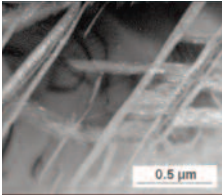


393. A különböző átmérőjű kráterek (vízszintes tengely) által a felszínre juttatott anyagok maximális mélysége (függőleges tengely) a Mars esetében (jobbra lefelé haladó ferde vonal). Az ábra belső területén a Földön néhány jellemző élőlény és életnyom előfordulásának e sorok írásakor ismert maximális mélysége látható. Utóbbiak esetleges marsbéli megfelelői az ottani kisebb geotermikus gradiens miatt arányosan mélyebben húzódnak (Cockell 2002 nyomán).

A Marson kívül más égitesteknél is fontosak a becsapódások, a fenti lista egy-egy elemének révén. A Földön a jég megolvasztása csak speciális esetben jelentkezik, de ettől eltekintve az összes, fent említett folyamattal számolhatunk. Az Európánál fontosak a becsapódások által szállított szerves anyagok, a becsapódástól a jégpáncélban sokkhatásra bekövetkező kémiai reakciók, és a jégkéreg egyensúlyi állapotának megbolygatása, amely felerősíti a jég és az alatta húzóóceán közti kölcsönhatást, anyagcserét.

## PLANÁRIS MIKROSZERKEZETEK

Planáris (lemez) törések és planáris (lemez) deformációs jelenségek  
Planar Fractures (PF), Planar Deformation Features (PDF)



399. Sokkolt kvarcsemece TEM-fényképe. A lamellák vastagsága kb. 200 nm, azaz viszonylag vastag. Érdekes megfigyelni a lamellák központi magjában megjelenő világos foltokat. Ezek újrakristályosodott apró kristálycsírák, melyek a sokk utáni hőmérséklet folyamatos csökkenése során képződhettek (Langenhorst után)



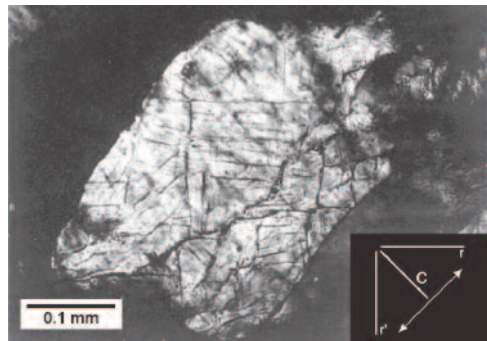
400. Földpát PDF-ek (mikroklin). A szemcse felső felében az eredeti iker megmaradtak, az alsó felében gyakorlatilag eltűntek vagy alig láthatóak a földpát ikrei. A PDF-síkok ún. „ladder” (létrás) szerkezetként jelennek meg, két ikersík között azokkal hegyesszöget bezáró módon. 40x-es nagyítás, keresztetett nikolos kép. A kép szélessége 500 µm (Fotó: Nagy Szabolcs)

394. Kvarc klivázs (PF) a Coconino Homokkő Formációból az arizonai Meteor-kráterből (French 1998 után)

A meteoritbecsapódások alkalmával a kőzetek felépítő ásványokban különleges jelenségek alakulnak ki a becsapódás során generált lökéshullám(ok) hatására. Kőzetmikroszkópos vizsgálattal két alaptípust lehet elkülöníteni: planáris töréseket (PF), és planáris deformációs jelenségeket (PDF).

A planáris (lemez) törések (PF) (394. ábra) nyitott repedések, melyek meghatározott kristálytani lapokkal párhuzamosak. Ezek a lapok alacsony Miller-indexszel jellemezhetőek, pl. (0001) és (1011). Egy-egy elhelyezkedési irányt szettnek nevezünk. A párhuzamos szettek egymástól való távolsága 20 µm vagy ennél nagyobb. Vannak esetek, amikor a planáris törések planáris deformációs lamellákat (vékony lemezeket) fognak közre. A jelenlegi elképzelések alapján a planáris törések a PDF-ek előtt keletkeznek. A PF-et megkülönböztethetjük a PDF-től mivel ez utóbbiak nem nyitott repedések a szemcse felületén. A PF-et mikrotöréseknek is nevezhetjük. PF-ek a becsapódásos eredetű kráterekben kívül kémiai és nukleáris robbantási kráterekben és sokk-kísérletek alkalmával is megfigyelhetők. A PF-ek hasonlóak továbbá a nem becsapódásos eredetű geológiai folyamatok során létrejövő repedéshez, az ún. klivázskozhoz. A két különböző eredetű repedés között az orientáltság megléte vagy hiánya tesz különbséget (Stöffler 1993). A PF-ek egyedüli jelenségként nem fogadhatóak el mint a becsapódás indikátorai, csak ha mellettük más becsapódást jelző jelenségek is megfigyelhetők, pl. PDF-ek. A PF-ek és a klivázskoz megjelenésükben hasonlóak, mivel mindkettő nyitott törés, repedés a szemcsében (394. ábra).

A planáris (lemez) deformációs jelenségek (PDF) (395. ábra) párhuzamos, több szettel jellemezhető



optikai diszkontinuitások, melyek néha optikai mikroszkópokban mint vékony lamellák figyelhetőek meg, vagy mint dekorált síkok, melyek apró fluidumok láncfüzéréként láthatók.

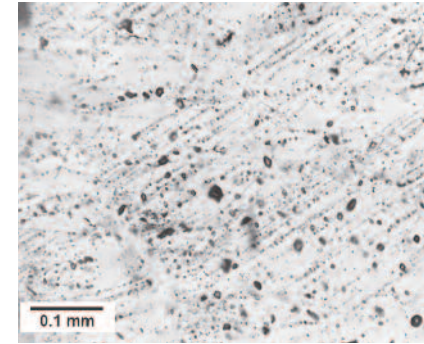
A PDF-ek anyaga amorf tulajdonságú. Képződésük után ún. relaxációs állapotban vannak, metastabilisak. Ezért idővel visszaalakulhatnak eredeti, rendezett állapotukba. Ha azonban a PDF-ek olyan környezetbe kerülnek, vagy olyan hatás éri őket, ahol a kőzet vizet vehet fel, akkor a fokozatos visszaalakulás során a víz-cseppek beépülhetnek a PDF síkjába. Esetenként a PDF amorf anyaga már teljesen hiányzik, de ezek a fluid cseppek kijelölik az eredeti sík irányát. Az ilyen PDF-eket hívjuk dekoráltknak, mivel kis apró fluid zárványok jelzik az eredeti amorf sík irányát. (397. kép)

A PDF-ek a következő fix kristálytani orientációkkal párhuzamosak: (1013), (1012), (1011), (0001) és más ritkább orientációkkal (396. ábra). Az egyes szettek közötti távolság 2-10 µm közötti, a lamellák szélessége 2 µm-nél kisebb. Nagyon ritka, de lehetséges, hogy a PDF-ek gyengén hajlottak, nem teljesen párhuzamos lefutásúak. A PDF-szettek intenzitása a növekvő sokk-nyomással növekszik. Maximális kifejlődés esetén 18 különböző irányú szett figyelhető meg. A PDF-eket Engelhardt és Bertsch (1969) alapján a következő altípusokra oszthatjuk: 1. homogén lamellák, 2. kitöltött lamellák (lamellák finomszemcsés kristályokkal kitöltve), 3. dekorált planáris elemek (fluidumokkal dekorált lamellák). A három altípus közül az első és a harmadik a leggyakoribb a kőzetekben. Dekorált lamellák másodlagos folyamatok során képződhetnek, pl. ha valamilyen okból a homogén lamellák fölfűtődnek. Ilyenkor ugyanis visszaalakulhatnak eredeti kvarc szerkezetű, amely folyamat kedvez folyékony fázisok síkba való beépüléséhez.

A PDF-ek leggyakrabban kvarc- és földpátásványokban alakulnak ki, de megfigyeltek már cirkon-, rutil-, piroxén- vagy olivinszemcsékben is ilyen jelenségeket. A PDF-ek orientációja sokk barométer vizsgálatokban is használható: a PDF-ek különböző orientációi csak bizonyos nyomás intervallumban jelennek meg.



395. Kvarcsemeceben megfigyelhető PDF-szettek, homogén lamellák, Colorado. A kép szélessége 0,2 mm (G. A. Izett után)



397. Dekorált PDF-ek a kanadai Sudbury szerkezetből. Az eredeti PDF-síkok fekete kereked fluidumok tarkítják (B.M. French 1998 után)



398. Kitöltött PDF-lemezek a Ries kráterből, Németország (Ries-kráter Múzeum, Nördlingen). A lemezek nagynyomású stishovit szemcséket tartalmaznak, melyek csak nagy nagyításokon mutathatók ki, TEM-felbontásokon.

A PDF-ek sűrűsége, egymástól való távolságuk, szélességük, szettjeiknek száma függ az őket létrehozó nyomástól. A lemezek ezen adatainak meghatározásával meghatározható a nyomás tartománya. Fontos, hogy ezek az értékek nyomás intervallumok, és a vizsgált kis kiterjedésű mintára vonatkoznak, azaz lokális értékek, regionális becslésre nem használhatóak. Pl. az (1013) orientáció közepes erősségű sokk-nyomáson, míg az (1013)+(1012) orientáció erős sokk-nyomáson alakulnak ki.

A PDF-ek szerkezetének vizsgálataiban újdonság hogy a PDF-ek vastagsága változik a nyomás értékével. 25 GPa alatti nyomásnál a PDF-ek vastagsága 100 nm-nél kisebb, míg 25 GPa felett kb. 200 nm vastagságot érnek el. A PDF-ek amorf anyaga a vizsgálatok alapján tiszta szilika, olyan, mint az őket tartalmazó gazda szemcse. A vékony PDF-ek (100 nm-nél vékonyabbak) gyakran nem egyöntetűen amorfok. Komplex alszerkezetek figyelhetőek meg. Magjukban kb. 20 nm vastagságú ún. központi lamella foglal helyet, melyet mindkét oldalról kristályos terület vesz körbe, majd ezután két amorf réteg következik. A központi lamella sem teljesen homogén, apró kristálykezdeményeik a sokk utáni hőmérséklet folyamatos csökkenése során képződhetnek (399. ábra).

Szimbólum	Miller index	Póluszszög
c	*(0001)	0°
α, α'	*(1013), (0113)	23°
π, π'	*(1012), (0112)	32°
r, z	*(1011), (0111)	52°
m	(1010)	90°
ξ	(1122), (2112)	48°
s	(1121), (2111)	66°
a	(1120), (2110)	90°
	*(2241), (4221)	77°
t	(4041), (0441)	79°
k	(5180), (6150)	90°
x	(5161), (6511)	82°
	(6151), (1561)	
—	(3141), (4311)	78°
—	(4131), (1341)	
—	(2131), (3211)	74°
—	(3121), (1231)	

396. A planáris mikroszerkezetek jellemző kristálytani orientációi és ezek szimbólumai (Stöffler és Langenhorst után 1994)

Miller index: Egy lap helyzetének térbeli meghatározása. Az index egyes számértékei azt jelölik, hogy egy adott kristálylap metszi-e a kristályon átmenő tengelykereszteket és megadja, hogy melyeket. Ott, ahol az indexben 0 van, az adott lap avval a tengellyel párhuzamos. A kvarcban a főtengelyhez viszonyítva a lapok helyzete háromféle lehet:

1. A lap merőleges a főtengelyre, párhuzamos a melléktengelyekkel, ez a bázislap (0001)
2. A lapok a főtengellyel párhuzamosak, negyedik indexük 0, ezek a prizma lapok.
3. A lapok szögben hajlanak a főtengelyhez, ezt véges távolságban metszik, negyedik indexük = 1 : ezek lehetnek piramis, dipiramis, romboéder, szkalenoéder, vagy trapezoéder lapok. A táblázatból tehát kiderül, hogy 1 bázislappal párhuzamos orientáció van, 5 prizmalap, a többi pedig a 3. csoportba tartozó lapok közül kerül ki.

Póluszszög: egy adott kristálytani lap pólusa és a kvarc c-kristálytani tengelye közötti szög értékek fokban kifejezett értékei. A kvarc hosszúkás kristály, a hosszitengely mentén van, az ún. főtengely vagy kristálytani tengely. A táblázatnak ennek a része azt számszerűsíti, hogy a kristálytani tengely póluspontja és a kimért PDF-sík póluspontja között mekkora a távolság a sztereografikus projekción, mely szögtartó és távolságtartó vetület egyben.



# TÁRGYMUTATÓ

A név- és tárgymutatóban szereplő kifejezések mögötti számok a kérdéses kifejezés előfordulás helyének oldalszámát jelentik, amennyiben ábrán szerepel, az adott ábra oldal-száma és közvetlen mögötte záró-jelben a kérdéses ábra *(kép)* sor-száma olvasható. A tárgymutatóban a fontosabb angol nyelvű kifejezések is szerepelnek, amelyek többnyire azok magyar megfelelőire, avagy a kifejezésről legtöbb információt adó magyar kifejezésre vonatkoznak. A színanimaként szereplő kifejezé-seknél utaló → található, amely a leginkább elterjedt változatra mutat.

**a**  
aerodynamically shaped tektit → hópajzs alak  
air fall bed → impaktoklaszt akkréción 5  
aktinoidák 14  
akusztikus fluidizáció 39  
albedopamaecs 45  
aljazat 19, 20  
allochton breccsa 13  
allochton crater → allochton breccsa  
allochtonous breccia → allochton breccsa  
allogenic unit → allochton kőzetek alapi torlóár 12  
amazoniszi kor 47  
annular basin → gyűrű alakú síkság  
annular trough → gyűrű alakú síkság  
anomalous dome crater → különlegs dömközpontú kráter  
antipodal focusing → túloldalón fókuszálódnva  
antipodális kaotikus terület 45  
anyagkiáramlás 9  
árokgyűrű → medencegyűrű  
asztrobiológia 63  
asztroléna → kráter  
átalakulás fázisa 8  
áthelyeződési zóna 9  
átmeneti kráter → tranzienzs kráter  
atombomba 7(39)  
atomtél 60  
ausztraliit 15(85)

**b**  
bányászhat 62  
base surge → alapi torlóár  
basin rim → kráterfal  
bathypelagic impact → vizalatti kráterképződés  
bediazit 15(85)  
behatolás mélysége 11  
beszakadós kor 10  
betemetett kráter 49  
big whack → óriás becsapódás  
breccsaodott alapközet 36, 37  
bolygóközi por 48  
bombatólcsér 9  
bowl-shaped crater → egyszerű kráter  
breccsalence 13, 19, 63  
bright ejecta → sugársáv  
bright ray → sugársáv  
bullseye crater → monoklis kráter  
buried crater → betemetett kráter  
buried basin → rommedence  
butterfly symmetry → lepkeszárny terítő

**C**  
caloris 5(27)  
Cameron-féle modell 27(163)  
Catalog of Large Martian Impact Craters 4  
catastrophic resurfacing → katasztrófális felszínújraképződés  
catena → kráterlánc  
circular meza → kerekasztal kráter  
central dome crater → dömközpontú kráter  
central mound crater → dombközpontú kráter  
central peak basin → központi csúscos komplex kráter  
central peak crater → központi csúscos komplex kráter  
central peak transition → egyszerű/komplex kráter átmenet  
central pit crater → gödörközpontú kráter  
central uplift → központi kiemelkedés  
central ring crater → peremi gyűrűs medence  
chaos → összetöredezett terület  
chaotic area → összetöredezett terület  
circular trough → gyűrű alakú síkság  
circumbasin materials → törmelékterítő  
coesit 16  
collapse pit → összeomlási gödör  
collapsed central peak → központi csúcskomplexum  
complex crater with internal ring → peremi gyűrűs medenc  
compression phase → összenyomás fázisa  
contact phase → érintkezés fázisa  
continuous ejecta → folyamatos törmelékterítő  
Copernicus-típus 3  
CPF → crater production function  
cracked floor crater → repedezett aljazatú kráter  
crater chain → kráterlánc  
crater cluster → krátermező  
crater fill deposit → krátert kitöltő törmelék  
crater fill sediment → krátert kitöltő üledék  
crater lake → krátertó  
crater production function → kráterkeletkezési függvény  
crater ray → sugársáv  
crater retention age → krátermegtartási kor  
crater rim → kráterfal  
crater suevit → suevit breccsa  
craterlet → egyszerű kráter  
crust overturn → kéreg átfordulás  
cunami 11  
cutoff size → levágási határ  
csillagközi anyag 48  
csipkézett fal 22  
csipkézettség 42  
csökkenő fluxus modell 5  
csúcskomplexum 21  
csúcsgyűrűs kráter 22  
csuszamlás 19(114), 21, 37

**d**  
dark mobile materials → előredobott olvadéksáv  
Dawes-típus 3  
declining flux modell → csökkenő

fluxus modell  
degradation → lepusztulás  
dekompressziós lökeshullám 8, 9, 14  
dekorált PDF 64(397)  
diaplectic glass → diaplektikus üveg  
diaplektikus üveg 14, 16  
diatomit 63  
differential erosion → differenciális erózió  
differenciális erózió 51  
Digital Lunar Orbiter Photographic Atlas of the Moon 4  
dimikt breccsa 14, 20(121)  
discontinuous ejecta → disztális törmelékterítő  
displace cone → áthelyetődési zóna  
disrupted comet → feldarabolódott üstökös  
distal ejecta → disztális törmelékterítő  
disztális impaktit 14  
disztális törmelékterítő 36  
DLE → double layer ejecta  
doublet crater → kettős kráter  
double layer ejecta → kétrétegű törmelékterítő  
double lobe ejecta → kétrétegű törmelékterítő  
double ring crater → peremi gyűrűs medence  
dombközpontú kráter 32  
dombos-onalás terület 45  
dome crater → dömközpontú kráter  
dömközpontú kráter 26, 32  
duplagyűrűs kráter → peremi gyűrűs medence  
duplagyűrűs medence → peremi gyűrűs medence  
dupla lebenyes → kétrétegű törmelékterítő  
dumbell → kutyacsont

**e**  
early heavy bombardment → korai intenzív bombázás időszaka  
early intense bombardment → korai intenzív bombázás időszaka  
Earth Impact Database 4  
éghajlat 59  
EIB → early intense bombardment  
ejecta blanket → törmelékterítő  
ejecta mobility → törmelék mozgékonyság  
ejection zone → kilökés zónája  
éghajlatváltozás 63  
égitest széttrös → óriás becsapódás  
egyreteggű törmelékterítő 39, 40(264), 30, 41(269), 42(278)  
egyszerű kráter 19  
egyszerű/komplex kráter átmenet 20, 20(122)  
elastic rebound → rugalmas visszapatnás  
elastic wave → szeizmikus lökeshullám  
elegyengetődés 46  
elfedett kráter → betakart, kitakart kráter  
elliptical crater → elnyúlt kráter  
elyüvli kráter 18  
elsőhály 61  
előredobott olvadéksáv 18  
elsődleges kráter 44  
equilibrium → telítettségű állapot  
eratoszthészi kor 38, 47  
érintkezés fázisa 8  
erózió 46  
előzdult kőzetek 36  
elsimult kráter → relaxálódott kráter

excavation wave → anyagkiáramlás  
exhumált kráter → kitakart kráter  
exposed crater → kitakart kráter

**f**  
fagymintás talaj 49  
fagypoligon 49  
fakula 53  
fallal övezett síkság → sík aljaztú kráter  
fallback → visszahullt törmelék  
fallback ejecta → törmelékterítő  
fallback suevit → suevit breccsa  
fallout ejecta → kidobott anyag  
fallout suevit → suevit breccsa  
fantomkráter 35, 46(306), 48  
fantomgerinc 35(230, 231, 232)  
feldarabolódott üstökös 30  
felezési idő 5  
ferdeszögű becsapódás 18, 18(101,103)  
FFC → floor fractured crater  
filipinnit 15(85)  
flat floor crater → sík aljaztú kráter  
floor → aljazt  
floor fractured crater → repedezett aljaztú kráter  
floor pit crater → gödörközpontú kráter  
fluidizált törmelékterítő 39, 40, 41, 42

folymatós törmelékterítő 36  
földreges 60  
fragmental breccia 14  
fresh crater → friss kráter  
freshness → lepusztulás  
friss kráter 46  
fröccsdóm 12(59)

**g**  
gammavillanás 48  
Ganymedes Crater Database 4  
gardening → miktometeorit-bombázás  
geomorfológiai inverzió 51  
ghost crater → fantomkráter  
ghost ring → fantomgerinc  
giant impact model 28  
glass shard → üvegszilánk  
gödörközpontú kráter 26, 32  
gyűrű alakú síkság 20  
gyűrűarok szerkezet 50  
gyűrűshegység → kráterfal

**h**  
half life → felezési idő  
hegy → sánc  
hegység → sánc  
hegységgyűrű → kráterfal  
HEL → hugoniot rugalmassági határ  
heliopauza 48  
helioszféra 48  
helybenmaradt breccsalence → breccsaodott alapközet  
heringsont alak 44  
hidrogénbomba 7(39)  
hidrotermális aktivitás 62, 63  
hilly and lineated terrain → dombos-onalás terület  
holdpor 16  
hólyagüregesség 14  
hópajzs alakú tektit 14  
Hugoniot elastic limit → hugoniot rugalmassági határ  
Hugoniot rugalmassági határ 13  
hulámos kiotlás 17  
hyalonit 14

**i**  
Integrated Crater Catalog 4  
imbríum kor 47  
impakt tél 60  
impact basin → körkörös medence  
impact breccia → impakt breccsa  
impact crater lake → krátertó  
impact erosion 12  
impact melt breccia → olvadékbreccsa  
impact melt flow → olvadékfolyás  
impact melt rock → kőzetolvadék breccsa  
impact oasis → impakt oázis  
impakt breccsa 13  
impakt → becsapódás  
impakt meza 51  
impakt oázis 34, 62  
impakt pszeudotachilit 14  
impaktit 13  
impaktoklaszt 15  
impactoclastic → impaktoklaszt  
impakt üveg 14, 15  
indichinit 15(85)  
intracrater lake → krátertó  
irídium 13, 16  
irídiumréteg 60  
irregular crater → szabálytalan kráter  
ívelt elvágződésű lebeny 41

**j**  
jardang → maradékgércinc  
javanit 15(85)  
jégsapka 52  
jégtöréss gyűrűs kráter 23

**k**  
kaldera 2  
katalogus 4  
katasztrófális felszínújraképződés 56  
kaotikus terület 45  
kéreg átfordulás 56  
kéreglefröccsenés 27  
kerekasztal kráter 51  
késői kataklizma modell 5  
késői nagy bombázás időszak 5, 6  
kétrétegű törmelékterítő 40, 40(264,263), 41, 41(267,269,270), 42(277)

kettős kisbolygó 29, 31  
kidobott anyag 19  
kihalás 60, 61  
kilökés zónája 9  
kisbolygó családok 27  
kisérő összeállása 28  
kitakart kráter 49  
kitörési felhő 10(50)  
kompressziós lökeshullám 14  
konszolidált disztális impaktit 14  
kopernikuszi terítő 18, 39  
korai intenzív bombázás időszaka 5, 6  
kozmosz erózió 48  
kozmosz kórákás kisbolygó 30  
körkörös medence 23, 24, 26  
Közél kerek mélyedés 54  
közepesen friss kráter 47  
közepesen lepusztult kráter 47  
központi csúc 10(50)  
központi csúcskomplexum 20  
központi csúcsos komplex kráter 20  
központi gyűrű 10(50)  
központi gyűrűs kráter 23  
központi gyűrűs medence 23  
központi kiemelkedés 20

kráterfürt 31  
kráterkeletkezési függvény 7  
kráterkitöltő breccsa → breccsalence  
kráterlánc 30  
kráterperem → kráterfal  
kráteroros → kráterlánc  
krátertó 34  
krátert kitöltő törmelék 36  
krátert kitöltő üledék 36  
kréta/harmadidőszak határ 3, 16  
kréta/harmadidőszak határ 3, 16  
K/T határ → kréta/harmadidőszak határ  
különlegs dömközpontú kráter → dömközpontú kráter  
kettős kráter 29  
kink banding → tördelt lemezek eltolódása  
kivájas 9  
klasztikus breccsa 13  
klasztikus mátrix breccsa 13  
klímax fázis 62  
kliváz 64(394)  
kompressziós lökeshullám 8, 9, 13  
kormeghatározás 7  
kozmosz sugárzás 48  
közétolvadék breccsa 13  
központi csúcs 20  
központi kiemelkedés → központi csúcs  
kráter alatti törmelék 36  
kráterfal 37  
kráterhalmaz 31  
krátermegtartási kor 7  
krátermező 31  
kráterrész 9, 37  
kráterterület 7  
krátertó 62, 63  
kriptovulkáni 2  
kristályszerű 15(86,87)  
kupéri 5(27)  
kutyacsont 28  
kürtő 2

**l**  
lágy terület 52  
lágyult kráter → relaxálódott kráter  
lamellás → lemez  
lamellák 64  
lapos aljazt 20  
late heavy bombardment → késői nagy bombázás időszaka  
lebenyes perem 41  
lebensésség 42  
lechatehierit 14, 16  
léggör 59  
léggörrelfűjás 59  
lemez deformáció 14, 46(395)  
lemez elválások 14, 16, 64  
lemezcs törések 14, 64  
lepkeszárnny terítő 18, 39  
lelőhely 61  
lepusztulás 46  
lepusztulási sorozat 46  
levágási határ 17, 56  
LHB → late heavy bombardment  
lithic breccia → litikus breccsa  
litikus breccsa 14, 16, 36  
litopánspermia 62, 63  
lökeshullám 8(46), 9  
Lybian desert glass 15(85)

**m**  
maar 2  
mágneses tér 48

magnetopauza 48  
magnetoszféra 48  
makula 53  
mansuri 5(27)  
maradandó kőzetelváltozás 12  
maradékgércinc 51(338), 44(326)  
maradványkráter → betakart, kitakart kráter  
mare 26  
Mars Crater Morphology  
Consortium 4  
marsi felföldek 46  
marsi kráterek katalógusa 4  
maskelinit 16  
maskelynite → maskelinit  
másodlagos kráter 44  
másodlagos kráterlánc 44(293)  
másodlagos krátermező 44(293)  
massif → kráterfal  
medence 26  
medencegyűrű → peremi gyűrűs medenc  
megbújó kráter → betakart, kitakart kráter  
melt breccia → kőzetolvadék breccsa  
melted crater → relaxálódott kráter  
megablokk 13, 36  
megabreccsa zóna 63  
megacunami 11  
megaturbidit 11  
Merkür 55  
mezőgazdaság 62  
microcryst 15  
microslag → mikrosalak  
mikroszferula 17  
mikrometeorit-bombázás 46  
mikrosalak 2(80)  
mikroszferula 14  
mikrotektit 14  
Miller index 64(396)  
MLE → többretegű törmelékterítő  
moderately fresh crater → közepesen friss kráter  
moderately subdued crater → közepesen lepusztult kráter  
modification phase → átalakulás fázisa  
moldavit 14, 15(82,83,84,88), 29  
monokli kráter 52, 53  
monomikt autochton breccsa 20(121)  
monomikt breccsa 13, 14  
montes → hegység  
morphometria 3  
multiple crater → krátermező  
multiple layer ejecta → többretegű törmelékterítő  
multiringed crater → körkörös medence  
Muong-Nong típusú tektit 14

**n**  
napszél 48  
nagyövmánt 14, 16  
naparamics 14  
negatív gyűrűs kráter 50  
nektári 54  
nem konszolidált becsapódási törmelék 15  
nesesfém 14  
neokatasztrofizmus 3  
nevezéktan 4  
noachiszi kor 47  
noble metal → nesefém  
nyomásköz 14, 16(92), 16, 20(121)

olvadékbreccsa 13  
olvadékfolyás 13  
olvadéksíkság gyűrű → medencegyűrű  
olvadt kráter → relaxálódott kráter  
orange soil → narancs talaj  
maradványkráter → betakart, kitakart kráter  
mare 26  
Mars Crater Morphology  
Consortium 4  
marsi felföldek 46  
marsi kráterek katalógusa 4  
maskelinit 16  
maskelynite → maskelinit  
másodlagos kráter 44  
másodlagos kráterlánc 44(293)  
másodlagos krátermező 44(293)  
massif → kráterfal  
medence 26  
medencegyűrű → peremi gyűrűs medenc

**P**  
palacsinta tanúhegy 42  
pampaizt 15, 15(85)  
parautochton breccsa 13  
parautochton kőzet 9  
parabolcsóva 39  
palimpszeszt 26, 52, 53  
PDF → planáris deformációs jelenségek  
peak complex → csúcskomplexum  
peak ring crater → csúcsgyűrűs kráter  
pedestal ejecta 36  
penepalimpszeszt 26, 53  
peremes gomb 14  
peremi gyűrűs kráter/medence 23  
penetration depth → behatolás mélysége  
peripheral peak ring crater → peremi gyűrűs kráter  
permafroszt 63  
kuipéri 5(27)  
kutyacsont 28  
kürtő 2

platinacsoport  
PGE → platinacsoport  
pit crater 30  
planáris mikroszerkezetek 64  
planáris törések → lemezcs törések  
planáris deformációs jelenségek → lemezcs deformáció  
planetézimál 5  
planitia 26  
platina group → platinacsoport  
platinacsoport 14, 16, 13  
platinafémek → platinacsoport  
Plato-típus 3  
Pohn-Offield-féle lepusztulási skála 46, 46(308), 47(310)  
polimikt breccsa 13, 14  
polygonal patterned ground → fagymintás talaj  
porózus kisbolygó 37  
porhalo 39  
portócsa 19(116)  
post-accretionary vaporization → óriás becsapódás  
pre-nektári 5(27)  
primary impact → elsődleges kráter  
premaul lunar satellites 27  
precious metal → nesefém  
proximal ejecta → folyamatos törmelékterítő  
proximális impaktit 13  
PPR → peremi gyűrűs kráter  
pszeudotachilit breccsa 36

## Q

Quasi-Circular Depression → közél kerek mélyedés

QCD → Quasi-Circular Depression

## R

radar-dark feature (parabola) → parabolasóva, parabolahalo
radiális árok 41(269)
radiális barázdas kráter 41
radially lineated ejecta crater → radiális barázdas kráter
„rágott” peremű tanúhegy 42
ray system → sugársáv
rayed crater → sugársáv
regolit 15, 16, 46, 48
relaxálódott kráter 52, 53
release wave → dekompresziós lökéshullám
relict crater floor → kerekasztal kráter

repedezett aljzatú kráter 33
residual shock effect → maradóndó közetelváltozás
riánásos kráter → repedezett aljzatú kráter

rim → sánc

rim syncline → gyűrű alakú sikság
ring depression → gyűrű alakú sikság

ring mountain → gyűrűshegy
ring of mountains → központi gyűrűs medence
ritkaföldfémek 14
romkráter 54
romkráterek alkotta völgy 30
romkráterek láncolata 30
rommedence 54
Römer-típus 3
rubble-pile asteroid → kozmikus kőrákás kisbolygó
rugalmas visszapattnás 20

## S

SAI → Sternberg Astronomical Institute
SAI index 4
sánc 10, 10(50), 19, 20, 26, 36
sánchegység → sánc
sánctörmelek 36
sandblasting → miktometeorit-bombázás
satellite crater → másodlagos kráter
saturation → telítettségí állapot
saucer-shaped relics → kerekasztal kráter
savas eső 60, 61(386)
scalloped walls → csipkézett fal
Schmidt-típus 3
secondary crater → másodlagos kráter
secondaries → másodlagos kráter
seismic wave → szeizmikus lökéshullám
selfterület 11
Sepkoski-görbe 60
shatter cone → nyomáskúp
shock facies → sokk fációs
shock wave → ősszenyomó lökéshullám
shock zoning → sokk fációs
sik aljzatú kráter 22
sikság → sík aljzatú kráter
simple crater → egyszerű kráter
single layer ejecta → egyrétegű törmelékterít
SLE → single layer ejecta
softened crater → relaxálódott kráter

softened terrain → lágy terület
sokk fációs 14
sokk metamorfózis 13, 14
sólélelőhely 62
spraydome → fröccsdóm
Sternberg Astronomical Institute 4
sötét halós kráter 47(313,314)
spike modell → késői kataklizma modell
splash form → súlyzó alakú tömb
stealth crater → megbújó kráter
sterilizálás 62
stishovit 16
Strangelove Ocean 61
strewnfield → szórásmező
structural uplift → központi kiemelkedés
suevit 20(121), 36
suevit breccsa 13(69), 14(76), 36
sugársáv 38, 44(293)
súlyzó alakú kisbolygó 29
súlyzó alakú tömb 14
submarine impact → vizalatti kráterképződés
suवादs 44(293)
swirl → albedopamacs

## SZ

szabálytalan kráter 31
szabdalt perem 41
szakadozott törmelékterítő 36, 44(293)
szegmenshiányos törmelékterítő 39
szeizmikus lökéshullám 8, 9
szél 60
szeldelt perem → szabdalt perem
szferula 14
szinkron becspodás 31
szirmos elvégződésű lebeny 39, 41
szíromlebenyes törmelékterítés kráter 42
szórásmező 15(85)
szökőár 11, 60
szukcesszió fázisa 62
szupernóva-robbanás 48

## T

tachilit shard → üvegszilánk
tagolatlan lebenyterítő 40(264)
tagolt lebenyterítő 40(264), 41(266)
tanúhegy 51
tektit 2, 13, 15
telítettségí állapot 7
teljes széttrés 27
település 36(241)
TEM 64(399)
tengelyferdeség 28
tengelyforgás 28, 59
teraszgyűrűs kráter → peremi gyűrűs kráter
teraszos fal 21
termális anomália fázis 62
terminal bombardment → késői nagy bombázás időszak
terminal cataclysm → késői nagy bombázás időszak
terminológia 3
terraced walls → teraszos fal
tholin 48
tolsztoji 5(27)
topográfiai medence 54
torlóár 10(50)
többgyűrűs medence → körkörös medence
többbrétegű törmelékterítő 40, 40(264), 41, 41(271)
tördelt lemezek eltolódása 13(71,72)
töredezett aljzatú kráter →

repedezett aljzatú kráter
törmelék mozgékonyaság 42
törmelékhalom kisbolygó 30, 37
törmeléktakaró → törmelékterítő
törmelékterítő 17, 19, 20(121), 36, 37
tranzienis cavity → tranzienis kráter
tranzienis kráter 9, 10, 19
trinitit 2(8,9)
Trinity atomrobbantás 2(4,5,6,7)
tsunami →unami
túloldalon fókuszálódva 45
tűzek 60, 61(386)
two ring basin → peremi gyűrűs medence
Tycho-típus 3

## U, ü

ultraibolya tavasz 61
unconsolidated impactoclastic debris → nem konszolidált becspodási törmelék
üledék 46
üledécsapda 63
üveg bomba 14
üvegházhatás 63
üvegszferula 15(86,87)
üvegszilánk 14

## V

V-alakba rendeződő másodlagos kráterek 44(294)
Valhalla-típusú töbgyűrűs medence 24, 26
Valhalla class multiring basin → Valhalla-típusú töbgyűrűs medence
vallis 30
Venus Crater Database 4
világos halo 38
virágszíromterítés kráter 39, 42
visszahullt törmelék 13, 16(93)
viszkózus relaxáció 53
vizalatti kráterképződés 11
vizcsepp 11(51-56)
viztározás 62
vulkanizmus 59
vulkáni kráterek 2

## W

wall → kráterfal
walled plain → sík aljzatú kráter
Wilson-kondenzáció 12(60)

## Z

zagyár 11
zeolit 62

# NÉVMUTATÓ

Abufeda 46(308)
Acraman sós krátertó 34
Addams 22(132)
Adivar 39(259d), 41(276), 42
Aeneász (könyv) 4
Aglanoco 56(366)
Ahmad Baba 23(145), 30(194)
Albrittov, Claude 2
Alcott 56(363)
Alphonsus 33(220)
Amalthea 19
Amundsen-Ganswindt-medence 54
Antiope 29(175)
Aorounga (hátlap)
Appeninek 37(249)
Arabian Nights (könyv) 4
Araguainha-dóm 57(369)
Aristarchus 37(250), 46
Argyre-medence 25(150), 59
Asgard 25
Aurelia 39(259f)
Australe-medence 54
Bach 23(137)
Balo Miklós 3
Barringer, Daniel M. 2
Barringer 2, 4, 6(34), 8(45), 17, 19, 34, 46(307), 57(370), (hátlap)
Barrymore 23(138)
Barton 23(140)
Basin near Schiller → Schiller-Zucchini-medence
Baillly-medence 6(34)
Beer (személy) 4
Bessel 22(132)
Big Backside Basin → Déli-sark-Aitken-medence
Bigach 62
Boltis 62
Boom, John 2
Borelly 28
Bosumtwmi 62, (hátlap)
B.P. struktúra (hátlap)
Braille 28(165)
Brent 62
Buto Fakula 25, 53(349)
Callanish (makula) 25, 44, 58(374,375)
Callisto Crater Database 4
Caloris-medence 25, 55, 55(361)
Caloris-medence ellemlébasa 45, 45(298)
Caloris mountains terrain → Nereidum Montes
Callisto 4, 52(344)
Carl Sagan 60
Castalia 28(164)
Catherina 47(310)
Cerberus lávasikság 44
Charleriox 30(196)
Cheaspeake 49, 61
Chicxulub 5(29), 11, 12(64), 23, 49, 60, 61(384, 385)
Cholnoky Jenő 2
Ciolkovszkij 5(29), 22(129b), 35(237b), hátlap
Circus Maximus 4, 26, 26(155)
Clearwater 23(141), 29(178), 62, (hátlap)
Cleopatra 56(365)
Cleopatra Patera → Cleopatra
Cohran 39(259c)
Compton 23(142), 47
Conamara Chaos 44(292)
Coon-hegydég 2
Copernicus 3(10-15), 3(20), 5(29), 6(34), 37(254), 38(253), 44(294), 47
Copernicus másodlagos kráterei 44
Cordillera-hegység 25
Crater Lake 34
Crooked 30(196)
Crysiium-medence 6(34)
Cydonia-táblahegy 51
Davy kráterlanc 30(186)

Dawes 3(17), 22(133c)
Deep Impact 9(49)
Dione 4
Deimos 4
Déli-sark-Aitken-medence 27, 54, 54(353-354)
Des Plains 62
Dionysius 47
Diphantus 46(308)
Doh 32(216)
Doulon 62
Elegant 2(10-15), 3
Eltatin 12, 12(63)
Enceladus 4, 52(342)
Eratosthenes 47, 47(3310)
Eros 19, 29, 37
Esők tengere 7(38)
Euler 44(293)
Europa 4, 63, 58
Fauth kráterpáros 29(173)
Flynn 30(196)
Forrest Ray Maulton 2
Fra Mauro Formáció 36
Fuka-Kertész 3
Gale 34
Galileo Galilei (személy) 2
Galileo palimpszeszt 25
Galileo-Mariusus régió 25
Ganymedes 4, 52(343)
Gaspra 37
Gassendi 33(219)
Gertrude 27
Gilgamesh 25, 26(151)
Gilf Kebir 4
Gjupul catena 30
Glover Buff 62
Goalenius 33(220b)
Golubkina 56(368)
Gosses Bluff 47(311,312), (címlap)
Grimaldi (személy) 4
Groove Karl Gilbert 2
Guszev 29
Gweni Fada (hátlap)
Hammersley-medence 15
Har 32(215)
Harold Urey 2
Haughton 62
Haugen 5(29)
Haviland 62, 62(57)
Hédervári Péter 2
Helens, Mt. St. 8(42, 43, 45), 43(289), 60, 61(387,388,389)
Hellas-medence 37
Hellespontus 37
Heloise 35(230)
Hercules 27, 27(161)
Hevelius (személy) 4, 4(25)
Hevelius Formáció 36
Hollerfos 62
Hommel 54, 54(352)
Humboldt 33, 33(223)
Huynens 4
Hv → Vastitas Borealis
Hiperion (hátlap)
Ida 37
Ida-Dactyl 59
Io 4
Imbrium Antipódus 45
Imbrium-medence 47, 5(29), 6(34)
imbriumi kor 5(30)
Isabella 33
Ithaca chasma 27, 27(159)
Japetus 59
Kaluxa 30(196)
Kanadai pajzs 7(38)
Kárpátok-hegység, Hold 44(294)
Kara-Kul-krátertó 34, (hátlap)
Kasmenyszk 29
Kelet-Mariusus régió 25
Kepler 6(34)
Keushu 38(257)
Kilauaea 14, 15(81)
Kleopatra 28(167)

Koroljov 49(318)
Kuiper 38(256)
Langrenus (személy) 4, 4(24)
Langrenus 5(29)
Lappajotvi 62
Loki 34
Lonar-tó 62
Lópatkó-sziget 34(225)
Lowell 23(139), hátlap
Lunar Orbiter 3
Lybia Montes 37
Magelhaens 22(133d)
Maitner 26
Maja Valles 50
Manicouagan 5(29), 6(34), 50, 50(330,331,332,333), 62
Mare Imbrium 2
Mare Orientale 7(38)
Mariner-4 2
Mariner-10 2
Mare Igenii 45
Mare Mirginis 45
Markham 56(362)
Mars Crater Consortium 3
Mathilde 37
Maxwell-hegység 56
Mead 33, 56(367)
Meitner 33
Messier 18(104)
Messier A 18(107)
Memphis Facula 53(348)
Meteor-kráter → Barringer
Middlelesboro 62
Mimas 4, 27
Miranda 4, 27, 59
Mistastin-tó 34(225)
Mócs 43
Mona Lisa 23(135)
Montagnais 11(58), 49
Montes Appenninus 37
Montes Carpatius 27
Montes Rook 37
Montes Rook Formáció 36
Morte d Arhur (könyv) 4
Muskingum 49(320)
Mutus-Vacq-medence 52
Nectaris-medence 24(147)
Neith 32(217)
Nereidum Montes 37
Nervo Formáció 36
New Quebec-kráter 34(227), 62
Niarnh 19(111)
Nicholson régió 25
Nicolaï 46(308)
Noachis-föld 52
Nördlingen 62
Nyugalom tengere 7(38)
Oasis-kráter 4, (hátlap)
Odessa-kráter 2, 62
Odüsszeia (könyv) 4
Odysseus-Ithaca együttes 27
Odysseus 27, 28(159,160), 45
Orientale-medence 5(29), 6, 24(146)
Orientale antipodus 45
6s-Föld 6(31-33), 27(163)
6s-Hold 5(30)
Peekskill 31(202), 43(290b)
Perrine régió 25
Phobos 4, 27, 46(304,305,306) (hátlap)
Planck-medence 54
Plaskett 47
Plato 3(21), 22(133b), 35(237), 47
Plútó-Charon 59
Poincare-medence 54
Poona 41(268)
Popigai 61, 62
Proctor, Richard 2
Proto-Earth → 6s-Föld
Pulkova 29(77)
Pwylł 38, 44(292), 58, 58(377)
Rabbi Levi 46(308)
Ragoinzka 62
Regiomontanus 47(310)

Reimond 62
Reiner Gamma 45, 45(302)
Rhea 27
Rhyannon 37(249)
Ries 16(94), 29, 34, 40, 62
Riccoli (személy) 4, 4(26)
Rima Hyginus 30
Rio Cuarto 18(97, 98, 99, 100)
Robert Hijie 2
Rochechouart 62
Romer 3(18)
Rook-hegység 25
Roter Kamm (hátlap)
Saskia 21(125)
Schiaparelli 34(228)
Schiller-Zucchini-medence 54
Schordler Frigyes 3
Schmidt 3(16)
Schiller-C 44
Schródinger-medence 6(34), 23(138)
Schroter 2
Sedan atomrobbantás krátere 6(34)
Selenographia (térkép) 4
Serenitatis, Mare 24(148), 35(235)
Serpent Mount 2
Shoemaker (hátlap)
Shoemaker, Eugene (személy) 2
Shoemaker-Levy 9 30, 30(289,190,191), 60
Siljan 30(196)
Sikorsky-Rittenhouse-medence 54
South-Pole-Aitken Basin → Déli-sark-Aitken-medence
Soutpan → Tsingke
Steinheim 29
Sterlitamak 57(371)
Stickney 27
Strindberg 23(145)
Sudbury 5(29), 62
Sunset-kráter 2
Szent Anna-tó 34
Szili 3
Talemzane (hátlap)
Talesin 58(376)
Teague → Shoemaker
Tegid 58(376)
Tempel-1 9(49), 28(168), 52(345,346)
Tenoumer (hátlap)
Terhi krátermező 31
Tethys 4, 27
Theia 27(163), 59
Theysus 45
Tin Bider (hátlap)
Titan 26, 39(259a)
Titania 27
Tirawa 27
Toutatis 28(165), 29(174,176)
Triton 4, 27
Tsiolkovsy → Ciolkovszkij
Tswaing 34, 34(229), 62, hátlap
Tunguz-esemény 6(34), 43(297, 288), 60
Tycho 3(19), 5(29), 22(129), 38(257), 47, 47(310), 58(377)
Tyre-makula 25, 44, 53, 53(350,351)
Valhalla 25, 26(156,157)
Vallis Rheita 30
Van de Graaf 45(298)
Vastitas Borealis 54
Vénusz 56, 7(38), 39
Vesta 27, 27(158)
Vihar (könyv) 4
Voroncov-Veljaminov 3
Wargentin 22(133a)
Vredefort-dóm 2
Vredefort 5(29), 62
Wegener 2
Wheatley 23(134)
Wild 2 28
Wolfe Creek 62
Zond 3
Zunil 38, 44

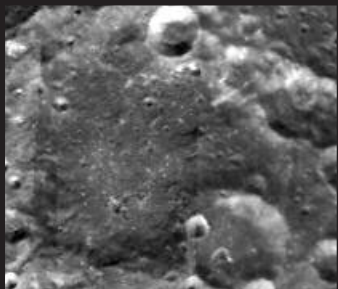
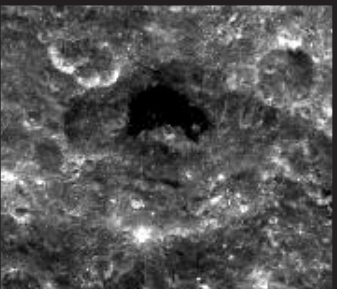
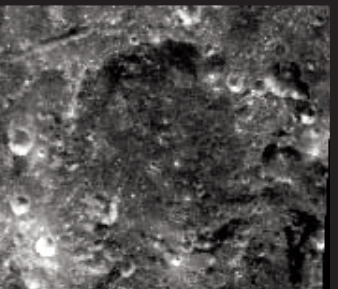
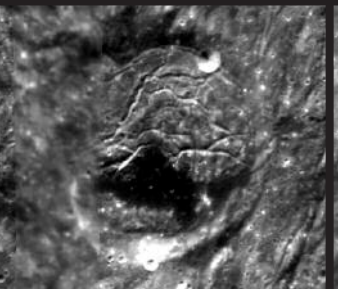
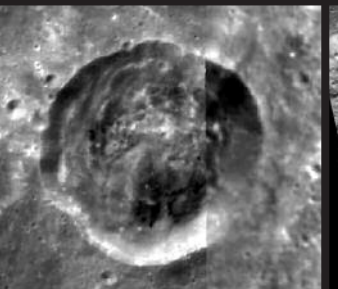

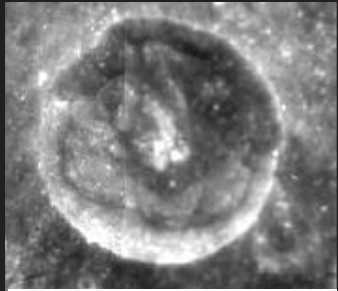
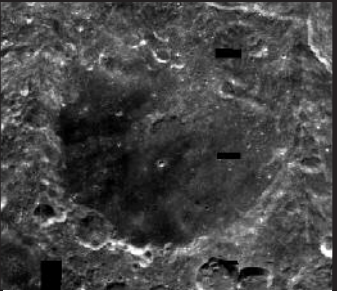
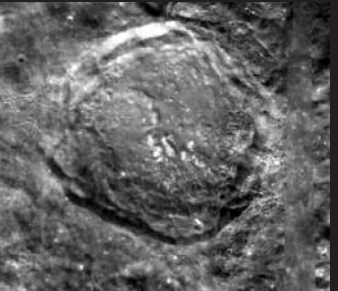


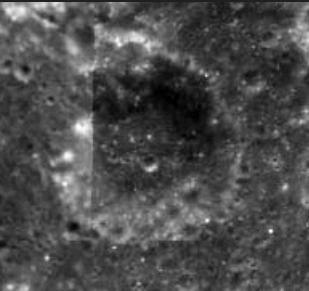
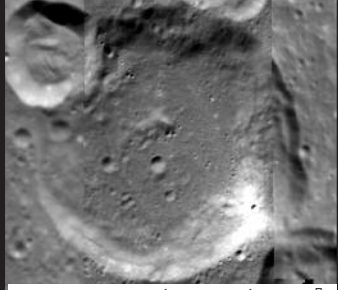
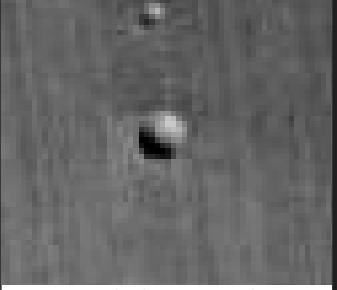

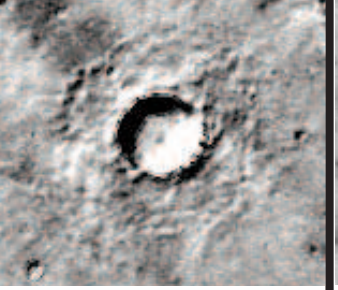
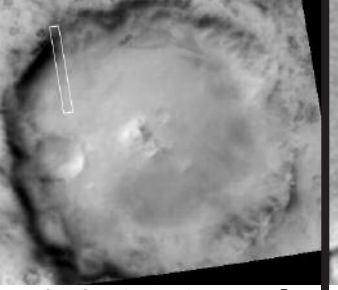



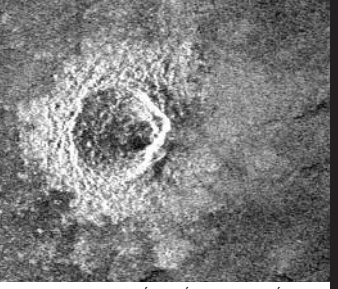
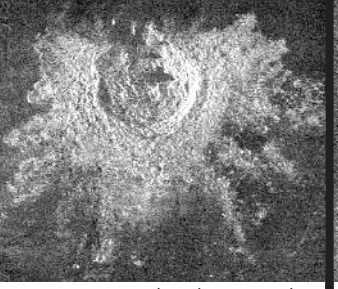
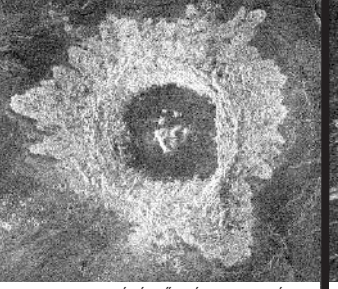

# FÖLDI BECSAPÓDÁSOS KRÁTEREK ADATBÁZISA

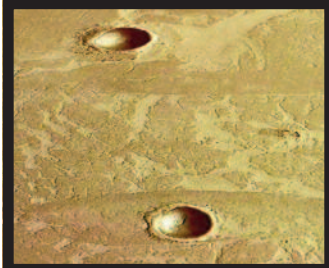
Kráter neve	ország	szélesség	hosszúság	átm.	kor (millió év)
Vredefort	D-Afrika	D 27° 0'	K 27° 30'	300	2023 ± 4
Sudbury	Kanada	É 46° 36'	Ny 81° 11'	250	1850 ± 3
Mexiculub	Mexikó	É 21° 20'	Ny 89° 30'	170	64,98 ± 0,05
Manicouagan	Kanada	É 51° 23'	Ny 68° 42'	100	214 ± 1
Popigai	Oroszo.	É 71° 39'	K 111° 11'	100	35,7 ± 0,2
Chesapeake Bay	USA	É 37° 17'	Ny 76° 1'	90	35,5 ± 0,3
Puchezh-Katunki	Oroszo.	É 56° 58'	K 43° 43'	80	167 ± 3
Morokweng	D-Afrika	D 26° 28'	K 23° 32'	70	145,0 ± 0,8
Kara	Oroszo.	É 69° 6'	K 64° 9'	65	70,3 ± 2,2
Beaverhead	USA	É 44° 36'	Ny 113° 0'	60	~ 600
Acraman	Ausztrália	D 32° 1'	K 135° 27'	55	~ 590
Tookoonooka	Ausztrália	D 27° 7'	K 142° 50'	55	128 ± 5
Charlevoix	Kanada	É 47° 32'	Ny 70° 18'	54	342 ± 15*
Kara-Kul	Tadzsiszkizs.	É 39° 1'	K 73° 27'	52	< 5
Siljan	Svédó.	É 61° 2'	K 14° 52'	52	368,0 ± 1,1
Montagnais	Kanada	É 42° 53'	Ny 64° 13'	45	50,50 ± 0,76
Araguainha	Brazília	D 16° 47'	Ny 52° 59'	40	244,40 ± 3,25
Saint Martin	Kanada	É 51° 47'	Ny 98° 32'	40	220 ± 32
Mjölafir	Norvégia	É 73° 48'	K 29° 40'	40	142,0 ± 2,6
Woodleigh	Ausztrália	D 26° 3'	K 114° 39'	40	364 ± 8
Carswell	Kanada	É 58° 27'	Ny 109° 30'	39	115 ± 10
Clearwater West	Kanada	É 56° 13'	Ny 74° 30'	36	290 ± 20
Manson	USA	É 42° 35'	Ny 94° 33'	35	73,8 ± 0,3
Shoemaker	Ausztrália	D 25° 52'	K 120° 53'	30	1630 ± 5
Slate Islands	Kanada	É 48° 40'	Ny 87° 0'	30	~ 450
Yarrabubba	Ausztrália	D 27° 10'	K 119° 50'	30	~ 2000
Mistastin	Kanada	É 55° 53'	Ny 63° 18'	28	36,4 ± 4*
Clearwater East	Kanada	É 56° 5'	Ny 74° 7'	26	290 ± 20
Strangways	Ausztrália	D 15° 12'	K 133° 35'	25	646 ± 42
Kamensk	Oroszo.	É 48° 21'	K 40° 30'	25	49,0 ± 0,2
Steen River	Kanada	É 59° 30'	Ny 117° 38'	25	91 ± 7*
Ries	Németo.	É 48° 53'	K 10° 37'	24	15,1 ± 0,1
Presqu'île	Kanada	É 49° 43'	Ny 74° 48'	24	< 500
Houghton	Kanada	É 75° 22'	Ny 89° 41'	24	23 ± 1
Boltysh	Ukrajna	É 48° 45'	K 32° 10'	24	65,17 ± 0,64
Rochechouart	Francia.	É 45° 50'	K 0° 56'	23	214 ± 8
Lappajärvi	Finnország	É 63° 12'	K 23° 42'	23	73,3 ± 5,3
Gosses Bluff	Ausztrália	D 23° 49'	K 132° 19'	22	142,5 ± 0,8
Obolon'	Ukrajna	É 49° 35'	K 32° 55'	20	169 ± 7
Logancha	Oroszo.	É 65° 31'	K 95° 56'	20	40 ± 20
Dellen	Svédó.	É 61° 48'	K 16° 48'	19	89,0 ± 2,7
Oasis	Líbia	É 24° 35'	K 24° 24'	18	< 120
Lawn Hill	Ausztrália	D 18° 40'	K 138° 39'	18	> 515
El gygytgygn	Oroszo.	É 67° 30'	K 172° 5'	18	3,5 ± 0,5
Ames	Oklahoma	É 36° 15'	Ny 98° 12'	16	470 ± 30
Suavjärvi	Oroszo.	É 63° 7'	K 33° 23'	16	~ 2400
Logosk	Fehéró.	É 54° 12'	K 27° 48'	15	42,3 ± 1,1
Kaluga	Oroszo.	É 54° 30'	K 36° 12'	15	380 ± 5
Gweni-Fada	Csád	É 17° 25'	K 21° 45'	14	< 345
Zhamanshin	Kazahszt.	É 48° 24'	K 60° 58'	14	0,9 ± 0,1
Jämsjärvi	Oroszo.	É 61° 58'	K 30° 55'	14	700 ± 5
Kentland	USA	É 40° 45'	Ny 87° 24'	13	< 97
Sierra Madera	USA	É 30° 36'	Ny 102° 55'	13	< 100
Spider	Ausztrália	D 16° 44'	K 126° 5'	13	> 570

Kráter neve	ország	szélesség	hosszúság	átm.	kor
Deep Bay	Kanada	É 56° 24'	Ny 102° 59'	13	99 ± 4
Marquez	USA	É 31° 17'	Ny 96° 18'	12,7	58 ± 2
Aorounga	Csád	É 19° 6'	K 19° 15'	12,6	< 345
Nicholson	Kanada	É 62° 40'	Ny 102° 41'	12,5	< 400
Wells Creek	USA	É 36° 23'	Ny 87° 40'	12	200 ± 100
Serra da Cangalha	Brazília	D 8° 5'	Ny 46° 52'	12	< 300
Vargeao Dome	Brazília	D 26° 50'	Ny 52° 7'	12	< 70
Avak	USA	É 71° 15'	Ny 156° 38'	12	> 95
Ternovka	Ukrajna	É 48° 15'	K 33° 30'	11	280 ± 10
Bosumtwi	Ghána	É 6° 30'	Ny 1° 25'	10,5	1,07
Flaxman	Ausztrália	D 34° 37'	K 139° 4'	10	> 35
Paasselkä	Finnország	É 62° 2'	K 29° 5'	10	< 1800
Upheaval Dome	USA	É 38° 26'	Ny 109° 54'	10	< 170
Karlar	Oroszo.	É 54° 55'	K 48° 2'	10	5 ± 1
Eagle Butte	Kanada	É 49° 42'	Ny 110° 30'	10	< 65
Kelly West	Ausztrália	D 19° 56'	K 133° 57'	10	> 550
Connolly Basin	Ausztrália	D 23° 32'	K 124° 45'	9	< 60
Mien	Svédó.	É 56° 25'	K 14° 52'	9	121,0 ± 2,3
Red Wing	Oroszo.	É 47° 36'	Ny 103° 33'	9	200 ± 25
Ragozinka	Oroszo.	É 58° 44'	K 61° 48'	9	46 ± 3
Lumparn	Finnország	É 60° 9'	K 20° 6'	9	~ 1000
Crawford	Ausztrália	D 34° 43'	K 139° 2'	8,5	> 35
Calvin	USA	É 41° 50'	Ny 85° 57'	8,5	450 ± 10
Ilyinets	Ukrajna	É 49° 7'	K 29° 6'	8,5	378 ± 5*
Couture	Kanada	É 60° 8'	Ny 75° 20'	8	430 ± 25
Serpent Mound	USA	É 39° 2'	Ny 83° 24'	8	< 320
Beyendime-Salaatin	Oroszo.	É 71° 0'	K 121° 40'	8	40 ± 20
La Moinerie	Kazahszt.	É 57° 26'	Ny 66° 37'	8	400 ± 50
Bigach	Kazahszt.	É 48° 34'	K 82° 1'	8	5 ± 3
Glover Bluff	USA	É 43° 58'	Ny 89° 32'	8	< 500
Des Plaines	USA	É 42° 3'	Ny 87° 52'	8	< 280
Vepriai	Litvánia	É 55° 5'	K 24° 35'	8	> 160 ± 10
Neugrund	Észto.	É 59° 20'	K 23° 40'	8	~ 470
Elbow	Kanada	É 50° 59'	Ny 106° 43'	8	395 ± 25
Lockne	Svédó.	É 63° 0'	K 14° 49'	7,5	> 455
Wanapitei	Kanada	É 46° 45'	Ny 80° 45'	7,5	37,2 ± 1,2
Crooked Creek	USA	É 37° 50'	Ny 91° 23'	7	320 ± 80
Piccaninny	Ausztrália	D 17° 32'	K 128° 25'	7	> 360
Kärdla	Észto.	É 59° 1'	K 22° 46'	7	~ 455
Wetumpka	Kanada	É 32° 31'	Ny 86° 10'	6,5	81,0 ± 1,5
Tin Bider	Algéria	É 27° 36'	K 5° 7'	6	< 70
Middlesboro	USA	É 36° 37'	Ny 83° 44'	6	< 300
Chukcha	Oroszo.	É 75° 42'	K 97° 48'	6	< 70
Decaturville	USA	É 37° 54'	Ny 92° 43'	6	< 300
Sääksjärvi	Finnország	É 61° 24'	K 22° 24'	6	~ 560
Pilot	Kanada	É 60° 17'	Ny 111° 1'	6	445 ± 2
Foelsche	Ausztrália	D 16° 40'	K 136° 47'	6	> 545
Maple Creek	Kanada	É 49° 48'	Ny 109° 6'	6	< 75
Kursk	Oroszo.	É 51° 42'	K 36° 0'	6	250 ± 80
Rock Elm	USA	É 44° 43'	Ny 92° 14'	6	< 505
Chiyl	Kazahszt.	É 49° 10'	K 57° 51'	5,5	46 ± 7
Söderfjärden	Finnország	É 63° 2'	K 21° 35'	5,5	~ 600
Goat Paddock	Ausztrália	D 18° 20'	K 126° 40'	5,1	< 50
Gow	Kanada	É 56° 27'	Ny 104° 29'	5	< 250
Gardnos	Norvégia	É 60° 39'	K 9° 0'	5	500 ± 10
Mizarai	Litvánia	É 54° 1'	K 23° 54'	5	500 ± 20
Riachao Ring	Brazília	D 7° 43'	Ny 46° 39'	4,5	< 200
Rio Cuarto	Argent.	D 32° 52'	Ny 64° 14'	4,5	< 0,1

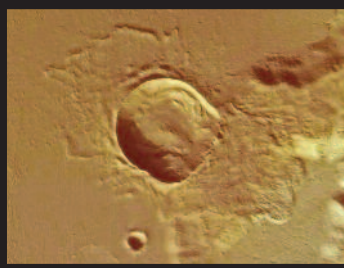
Kráter neve	ország	szélesség	hosszúság	átm.	kor (millió év)
Dobele	Lettország	É 56° 35'	K 23° 15'	4,5	290 ± 35
Mount Toondina	Ausztrália	D 27° 57'	K 135° 22'	4	< 110
Mishina Gora	Oroszo.	É 58° 43'	K 28° 3'	4	300 ± 50
Ile Rouleau	Kanada	É 50° 41'	Ny 73° 53'	4	< 300
Suvasvesi N	Finnország	É 62° 42'	K 28° 10'	4	< 1000
Glasford	USA	É 40° 36'	Ny 89° 47'	4	< 430
Flynn Creek	USA	É 36° 17'	Ny 85° 40'	3,8	360 ± 20
Steinheim	Németo.	É 48° 41'	K 10° 4'	3,8	15 ± 1
Brent	Kanada	É 46° 5'	Ny 78° 29'	3,8	396 ± 20*
Ouarkiz	Algéria	É 29° 0'	Ny 7° 33'	3,5	< 70
New Quebec	Kanada	É 61° 17'	Ny 73° 40'	3,44	1,4 ± 0,1
Zapadnaya	Ukrajna	É 49° 44'	K 29° 0'	3,2	165 ± 5
Newporte	USA	É 48° 58'	Ny 101° 58'	3,2	< 500
Goyder	É-Ausztrália	D 13° 9'	K 135° 2'	3	< 1400
Iso-Naakkima	Finnország	É 62° 11'	K 27° 9'	3	> 1000
Gusev	Oroszo.	É 48° 26'	K 40° 32'	3	49,0 ± 0,2
Granby	Svédó.	É 58° 25'	K 14° 56'	3	~ 470
Shunak	Kazahszt.	É 47° 12'	K 72° 42'	2,8	45 ± 10
Rotmistrovka	Ukrajna	É 49° 0'	K 32° 0'	2,7	120 ± 10
Roter Kamm	Namíbia	D 27° 46'	K 16° 18'	2,5	3,7 ± 0,3
Vierfield	Kanada	É 49° 35'	Ny 103° 4'	2,5	190 ± 20
Zeleny Gai	Ukrajna	É 48° 4'	K 32° 45'	2,5	80 ± 20
West Hawk	Kanada	É 49° 46'	Ny 95° 11'	2,44	100 ± 50
Bee Bluff	USA	É 29° 2'	Ny 99° 51'	2,4	< 40
Holleford	Kanada	É 44° 28'	Ny 76° 38'	2,35	550 ± 100
B.P. Structure	Líbia	É 25° 19'	K 24° 20'	2	< 120
Tvären	Svédó.	É 58° 46'	K 17° 25'	2	> 455
Tenoumer	Maurit.	É 22° 55'	Ny 10° 24'	1,9	0,0214 ± 0,0097
Barringer	USA	É 35° 2'	Ny 111° 1'	1,186	0,049 ± 0,003
Lonar	India	É 19° 58'	K 76° 31'	1,83	0,052 ± 0,006
Talemzane	Algéria	É 33° 19'	K 4° 2'	1,75	< 3
Liverpool	Ausztrália	D 12° 24'	K 134° 3'	1,6	150 ± 70
Karikkoselkä	Finnország	É 62° 13'	K 25° 15'	1,5	< 1,88
Saarijärvi	Finnország	É 65° 17'	K 28° 23'	1,5	> 600
Tabun-Khara-Obo	Mongólia	É 44° 6'	K 109° 36'	1,3	150 ± 20
Tswaing	D-Afrika	D 25° 24'	K 28° 5'	1,13	0,220 ± 0,052
Wolke Creek	Ausztrália	D 19° 10'	K 127° 48'	0,875	< 0,3
Kalkkop	D-Afrika	D 32° 43'	K 24° 34'	0,64	< 1,8
Monturaqui	Chile	D 23° 56'	Ny 68° 17'	0,46	< 1
Amguid	Algéria	É 26° 5'	K 4° 23'	0,45	< 0,1
Aouelloul	Maurit.	É 20° 15'	Ny 12° 41'	0,39	3,0 ± 0,3
Macha	Oroszo.	É 60° 6'	K 117° 35'	0,3	< 0,007
Boxhole	Ausztrália	D 22° 37'	K 135° 12'	0,17	,0540 ± 0,0015
Odessa	USA	É 31° 45'	Ny 102° 29'	0,168	< 0,05
Henbury	Ausztrália	D 24° 34'	K 133° 8'	0,157	,0042 ± 0,0019
Wabar	Szaúd-Ar.	É 21° 30'	K 50° 28'	0,116	0,00014
Kaalijärvi	Észtország	É 58° 24'	K 22° 40'	0,11	0,004 ± 0,001
Morasko	Lengyeló.	É 52° 29'	K 16° 54'	0,1	< 0,01
Veevers	Ausztrália	D 22° 58'	K 125° 22'	0,08	< 1
Ilumetsä	Észto.	É 57° 58'	K 27° 25'	0,08	> 0,002
Sobolev	Oroszo.	É 46° 18'	K 137° 52'	0,053	< 0,001
Campo Del Cielo	Argentína	D 27° 38'	Ny 61° 42'	0,05	< 0,004
Sikhote Alin	Oroszo.	É 46° 7'	K 134° 40'	0,027	0,000055
Dalgaranga	Ausztrália	D 27° 38'	K 117° 17'	0,024	~ 0,27
Haviland	USA	É 37° 35'	Ny 99° 10'	0,015	< 0,001
(Tunguz)	Oroszo.	É 60° 53'	K 101° 53'	—	1908. jún. 30.

Kövér betűkel szerepelnek a ma felszinen található kráterek, vékonyval a felszín alattiak. A kráter átmérője km-ben szerepel (Earth Impact Database 2003).

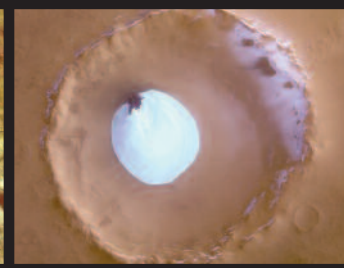
					
<b>BÉKÉSY</b> GYÖRGY FIZIKUS (1899[1972]) HOLD 51,9°É 126,8°K ÁTM.: 96 KM (LO)	<b>BOLYAI</b> JÁNOS MATEMATIKUS (1802[1860]) HOLD 33,6°D 125,9°K 135 KM (LO)	<b>EÖTVÖS</b> LORÁNT FIZIKUS (1848[1919]). HOLD 35,5°D 133,8°K 99 KM (LO)	<b>FÉNYI</b> GYULA CSILLAGÁSZ (1845[1927]), HOLD 44,9°D 105,1°NY ÁTM.: 38 KM (LO)	<b>HELL</b> MIKSA CSILLAGÁSZ (1720[1792]). HOLD 32,4°D 7,8°NY 33 KM (LO)	<b>HÉDERVÁRI</b> PÉTER PLANETOLÓGUS (1931[1984]). HOLD 81,8°D 84°K 69 KM (LO)
					
<b>IZSÁK</b> IMRE CSILLAGÁSZ (1929[1965]). HOLD 23,3°D 117,1°K ÁTM.: 30 KM (LO)	<b>VON KÁRMÁN</b> TÓDOR MÉRNÖK (1881[1963]). HOLD 44,8°D 175,9°K ÁTM.: 180 KM	<b>NEUMANN</b> JÁNOS MATEMATIKUS (1903[1957]). HOLD 40,4°E 153,2°K ÁTM.: 78 KM (LO)	<b>PETZVÁL</b> JÓZSEF OPTIKUS (1807[1891]). HOLD 62,7°D 110,4°NY 90 KM	<b>SZILÁRD</b> LEÓ FIZIKUS (1898[1964]). HOLD 34,0°E 105,7°K 122 KM (LO)	<b>WEINEK</b> LÁSZLÓ SZLOVÁK-M. CSILLAGÁSZ (1848[1913]). HOLD 27,5°D
					
<b>ZACH</b> FERENC XAVÉR CSILLAGÁSZ (1754[1832]). HOLD 60,9°D 5,3°K ÁTM.: 70 KM (LO)	<b>BAK</b> , TELEPÜLÉSNEV, MARS, 18,3°É 256,3°NY ÁTMÉRŐ: 3,2 KM (MARS GLOBAL)	<b>EGER</b> , TELEPÜLÉSNEV, MARS 48°D 51,9°NY (ARGYRE) ÁTM.: 13 KM (MGS)	<b>IGAL</b> TELEPÜLÉSNEV, MARS, 20,3°D 249,2°NY, ÁTMÉRŐ: 8,6 KM (VIKING)	<b>VON KÁRMÁN</b> TÓDOR MÉRNÖK (1881[1963]) MARS, 64,6°D 58,5°NY, 90 KM (MGS)	<b>PAKS</b> TELEPÜLÉSNEV, MARS, 7,7°D 42,1°NY ÁTMÉRŐ: 6,8 KM (VIKING)
					
<b>BARTÓK</b> BÉLA ZENESZERZŐ (1881[1945]) MERKÚR, 29,6°D 134,6°NY, 112 KM (M10)	<b>JÓKAI</b> MÓR ÍRÓ (1825[1904]). MERKÚR, 72,4°E 135,3°NY ÁTMÉRŐ: 112 KM (M10)	<b>ERIKA</b> (KERESZTNÉV), VÉNUSZ, 72,0°E 175,4°K ÁTMÉRŐ: 10,5 KM (MAGELLAN)	<b>MARGIT</b> (KERESZTNÉV), VÉNUSZ, 60,1°E 273,1°K ÁTMÉRŐ: 14 KM (MAGELLAN)	<b>ORCZY</b> (EMMA), ÍRÓNÓ, VÉNUSZ, 3,7°E 52,3°K ÁTMÉRŐ: 26,9 KM (MAGELLAN)	<b>TÜNDE</b> (KERESZTNÉV), VÉNUSZ, 76,8°E 193°K ÁTMÉRŐ: 18 KM (MAGELLAN)



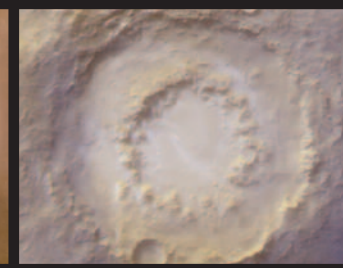
KRÁTEREK 5°É, 150°K, KB. 5 MILLIÓ ÉVES, PORFEDTE JÉGTÁBLÁS FELSZÍNEN. (MARS EXPRESS HRSC)



LEPKESZÁRNY-LEBENYES KRÁTER (12 KM, 5°D, 213°K) MEDUSAE FOSSAE (MARS EXPR. 174-291004-0917-6-CO-0)



VÍZJÉG EGY MARSÍ KRÁTER (35 KM, 70,5°É, 103°K) BELSEJÉBEN (MARS EXPRESS ESA 210-020705-1343-6)



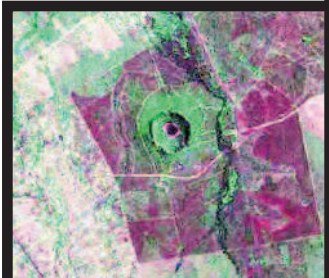
LOWELL GYÜRÜS KRÁTER VÉKONY DÉRBORÍTÁSSAL, 201 KM, MARS (MGS 2000)



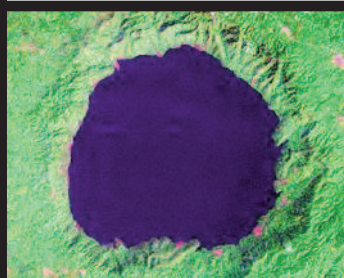
A RÉSZBEN LÁVAFEDTE CIOLKOVSKIJ KRÁTER (180 KM, A HOLD TULOLDALÁN) (LUNAR ORBITER-KÉP)



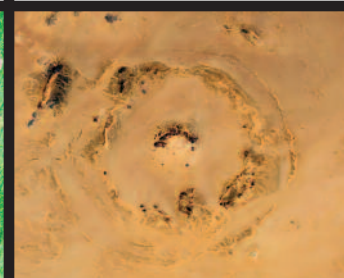
A HYPERION SZATURNUSZHOLD (CASSINI, PIA07740)



TSWAING (PRETORIA SALT PAN), DÉL-AFRIKA. 1,1 KM, 220 EZER ÉVES (HAMIS SZÍNES LANDSAT-KÉP)



BOSUMTWI, GHANA. 10,5 KM, 1 MILLIÓ ÉVES (HAMIS SZÍNES LANDSAT-KÉP)



B.P.-STRUKTÚRA, LÍBIA. 2 KM, >120 MILLIÓ ÉVES (QUICKBIRD-KÉP)



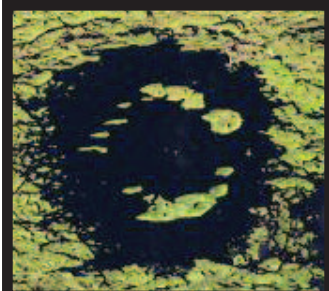
TEAGUE (SHOEMAKER), NY-AUSZTR. 28 KM, 1,685 MILLIÁRD ÉVES (ÜRREPÜLŐ-KÉP STS41D-42-039)



GWENI FADA, CSÁD. 14 KM, <350 MILLIÓ ÉVES (LANDSAT HAMIS SZÍNES KÉP)



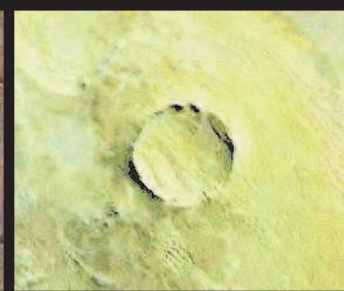
A PHOBOS MARSHOLD (ESA MARS EXPRESS 115-051004-0756-6-CO-02)



NYUGAT-CLEARWATER, KANADA, QUÉBEC. 36 KM, 290 MILLIÓ ÉVES (HAMIS SZÍNES LANDSAT-KÉP)



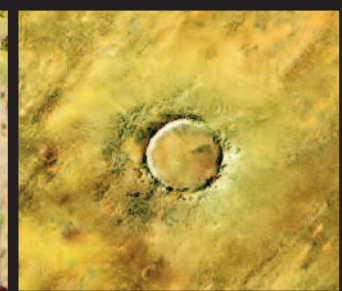
OASIS-STRUKTÚRA, LÍBIA. 11,5 KM, KB. 100 MILLIÓ ÉVES (LANDSAT HAMIS SZÍNES KÉP)



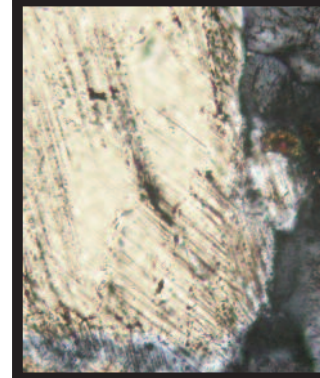
ROTER KAMM, NAMÍBIA, NAMÍB-SIVATAG. 2,5 KM, 3,7 MILLIÓ ÉVES (LANDSAT-KÉP)



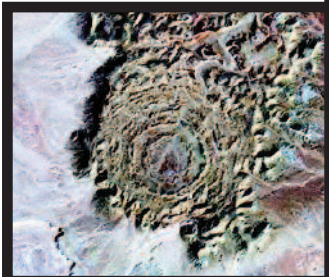
TALEMZANE/MAADNA, ALGÉRIA. 1,75 KM, KB. 0,5 MILLIÓ ÉVES (LANDSAT HAMIS SZÍNES KÉP)



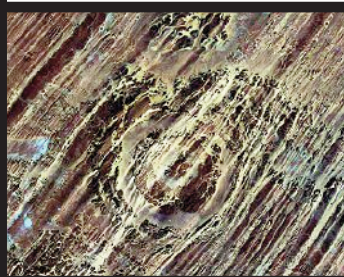
TENOUMER, MAURITÁNIA. 1,9 KM, 21 EZER ÉVES. (HAMIS SZÍNES LANDSAT-KÉP)



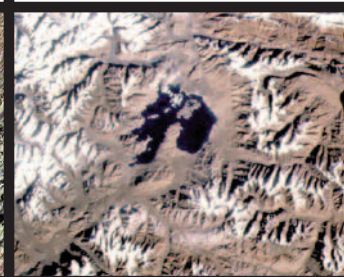
KVARCBAJN MEGJELENŐ HOMOGEN, ÉS DEKORÁLT PDF-EK A SÍKBA BÉEPÜLŐ FLUIDZÁRVÁNYOKKAL. 40x NAGYÍTÁS. KERESZTÉZETT NIKOL. A KÉP SZÉLESSÉGE 500 µm. FOTO: NAGY SZABOLCS JÁNOS



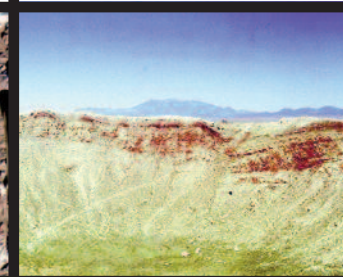
TIN BIDER, ALGÉRIA. 6 KM, 70 MILLIÓ ÉVES (LANDSAT HAMIS SZÍNES KÉP)



AOROUNGA, CSÁD. 12 KM, 345 MILLIÓ ÉVES (HAMIS SZÍNES LANDSAT-KÉP)



KARA-KUL, TÁDZSIKISZTÁN. 52 KM, KB. 5 MILLIÓ ÉVES (KÉZIKAMERÁS FELVÉTEL AZ ÜRREPÜLŐGÉP FEDÉLZETÉRŐL STS-73-717-60)



AZ ARIZONIAI BARRINGER (METEOR) -KRÁTER. A KB. 50 000 ÉVES, 1,2 KM ÁTMÉRŐJŰ KRÁTERBEN MEGTALÁLTÁK ÉS AZONOSÍTOTTÁK A SOKK METAMORFÓZIS ÁSVÁNYTANI JELLEMZŐIT (HÁTTÉR: A SAN FRANCISCO-HG.) FOTO: GUCSIK ARNOLD



SUEVIT AZ AUMUHLI FELTÁRÁSBÓL (RIES-KRÁTER, NÉMETORSZÁG), SOKK METAMORFIZÁLT SZÜRKE, OLVADT, ÜVEGES; ÉS A SOKK HATÁSOKTÓL MENTES CÉLKÖZET, A BIOTITGRÁNIT (FEHÉR FOLTOK) ANYAGÁVAL. FOTO: GUCSIK ARNOLD