



NYÍREGYHÁZI
EGYETEM

Nyíregyházi Egyetem
Turizmus és Földrajztudományi Intézet



Földtudományi alapismeretek

TO1006

Dr. Lenkey Gábor, PhD
adjunktus



Nyíregyháza

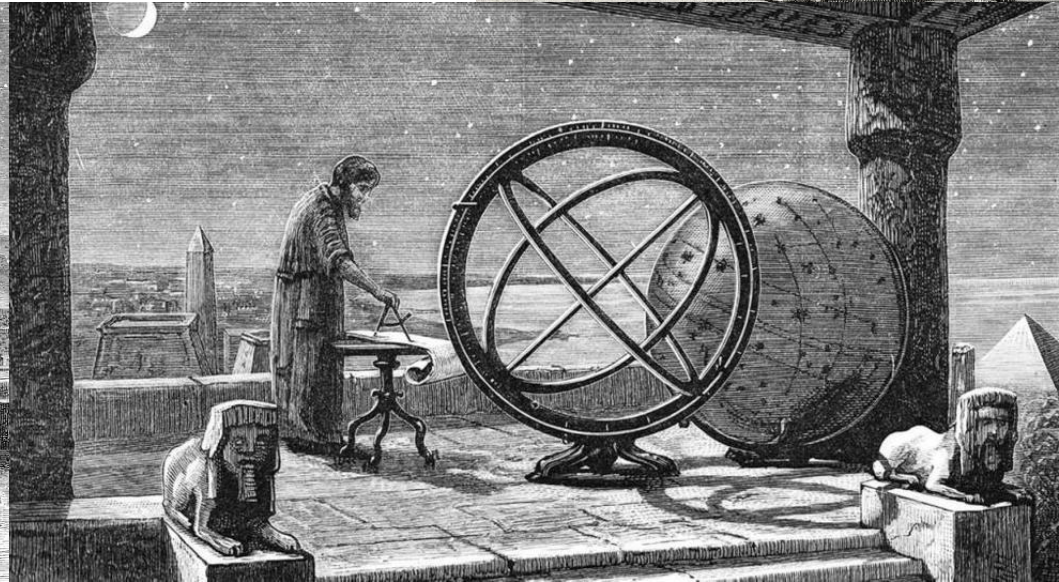
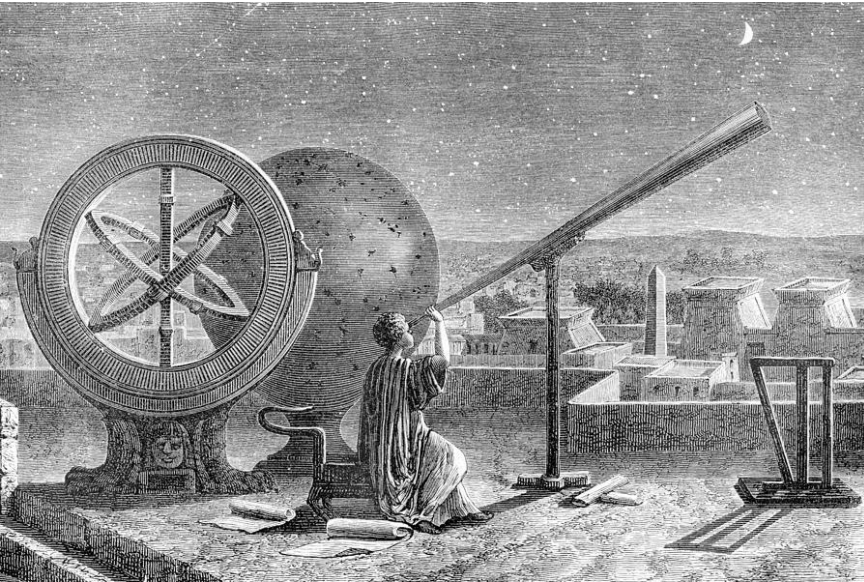
A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Bevezetés

- Az állandóságot tükröző **csillagos ég** háttere előtt elmozduló égitesteket már *évezredek óta figyelemmel követi az emberiség*. Minden jelentősebb kultúrában a helyi **istenekről nevezték el a bolygókat**, a Holdat és a Napot, és pontosan megfigyelték a mozgásuk jellegzetességét.
- A **csillagászat**, a **fizika**, a **műszertechnika** és a **földtudományok** fejlődése révén ezen égitestek felépítését és jelenségeit ma már sokkal jobban ismerjük, mint ősünk. A XX. század második felében megszületett egy **új tudományág**, a **planetológia**, amely a Naprendszer valamennyi égitestével foglalkozik – a Napot kivéve.



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

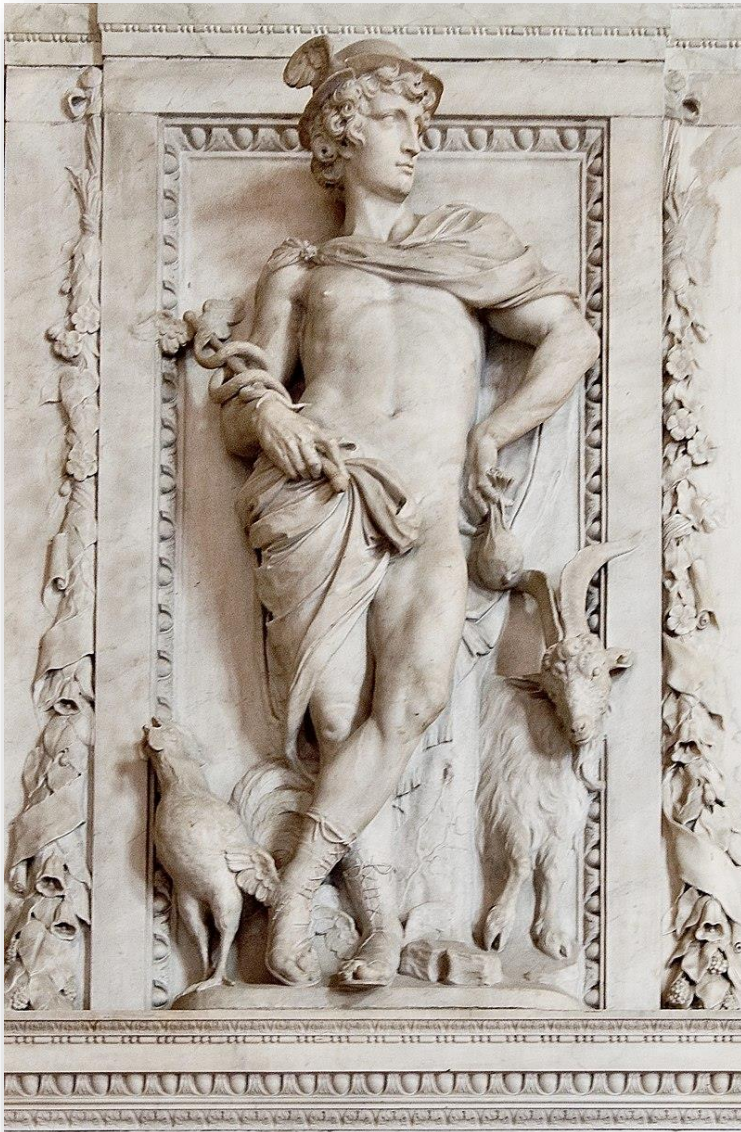
Bevezetés

- A **PLANETOLÓGIA** új **interdiszciplináris tudományág**, amely a **csillagászatból** és a **földtudományokból** fejlődött ki. Létét főleg a **robotika**, így az ember nélküli űrkutató eszközök fejlődésének köszönheti. A planetológia a bolygókat és holdjaikat, a Naprendszer égitestjeit, erőtereit és sugárzási tereit is tanulmányozza. Ténylegesen ma **a Naprendszer kutatása a planetológia tárgyköre**. Fő kutatási területét azonban **a bolygók és holdjaik** képezik.



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Bevezetés



◀ **Merkúr** a római mitológiában a kereskedelem istene. A rómaiak **Hermész**el azonosították, aki a görög mitológiában az istenek követe, az utasok oltalmazója, a holt lelkek vezetője.

▼ **Vénusz** a római mitológiában a kertek istennője. **Aphrodité**-vel azonosították, aki görög mitológiában a szépség és a szerelem istennője.



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Bevezetés

▼ **Mars** a római mitológiában (görögök-nél **Arész**) hadisten, akinek a városfalakon kívül, a Mars-mezőn emeltek templomot, mivel fegyveres hadak nem vonulhattak be a város területére. Neki szentelték a március hónapot, azaz a régi kalendárium első hónapját, amikor a télűző szertartásokat végezték.



▼ **Jupiter** a római mitológiában az ég, a nappali világosság, a vihar istene, az istenek királya, akit a görögök **Zeusszal** azonosítottak. Zeusz a görög mitológiában a legfelsőbb istenség, az istenek és emberek ura, az olümposzi isteni család feje; nevének jelentése "fényes égbolt".



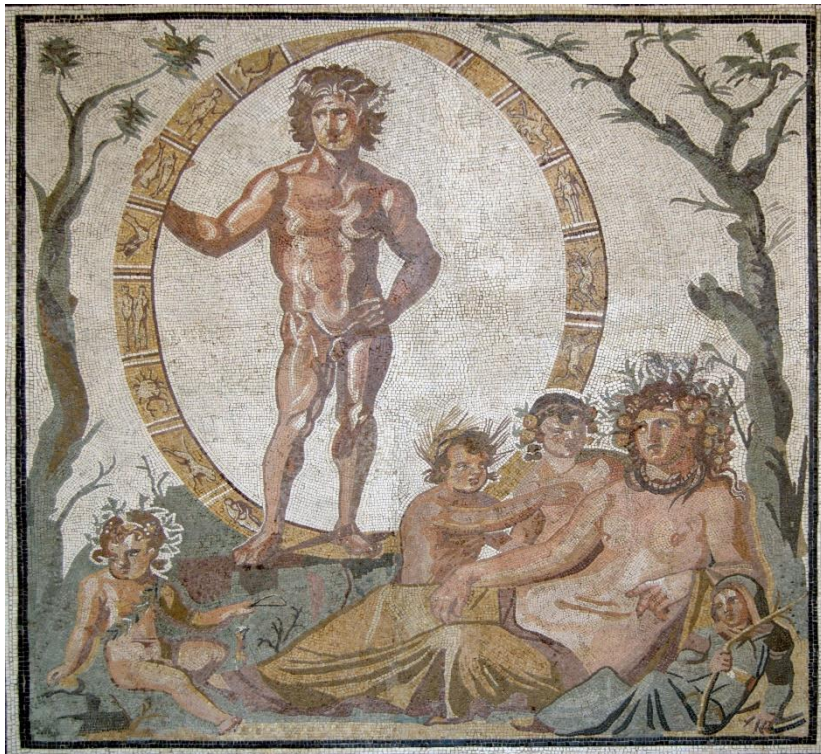
▼ **Szturnusz** az egyik legősibb római isten. A vetés, a vetőmag istene, a könnyörtelen idő jelképének tekintették. A görög mitológiaiabeli titánnal, **Kronosszal** azonosították (Zeusz apja); aki apját Uránoszt megcsonkítva, feleségül véve saját leánytestvérét Rheiát került az égi trónra; és akinek azt jósolták, hogy egyik fia fogja megfosztani a trónjától. Ezért valamennyi gyermekét alighogy megszülettek sorjában lenyelte, így akarván elkerülni a jóslat beteljesülését. Rheia azonban kijátszotta Kronoszt: megszülte legkisebb fiát Zeust, de egy bepólyázott követ adott át férjének. Zeust egy Kréta szigeti barlangban felnevelték, majd felnőve legyőzte apját, megmentette testvéreit.



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Bevezetés

▼ **Uránusz** (ógörögül: Οὐρανός) a görög mitológiában az eget megszemélyesítő isten, Gaia-Földanya férje, az első, legősibb istennemzedék képviselője. Kronosz (Szaturnusz), a titánok és a küklopszok apja.



▼ **Neptunusz** az egyik legősibb római isten. A provinciákban a helyi víz- és tengeristenekkel tartották azonosnak. A görög **Poszeidónnal** azonosították, aki a görög mitológiában az egyik olümposzi főisten, a tenger királya, Kronosz és Rheia egyik fia, Zeusz fivére.



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

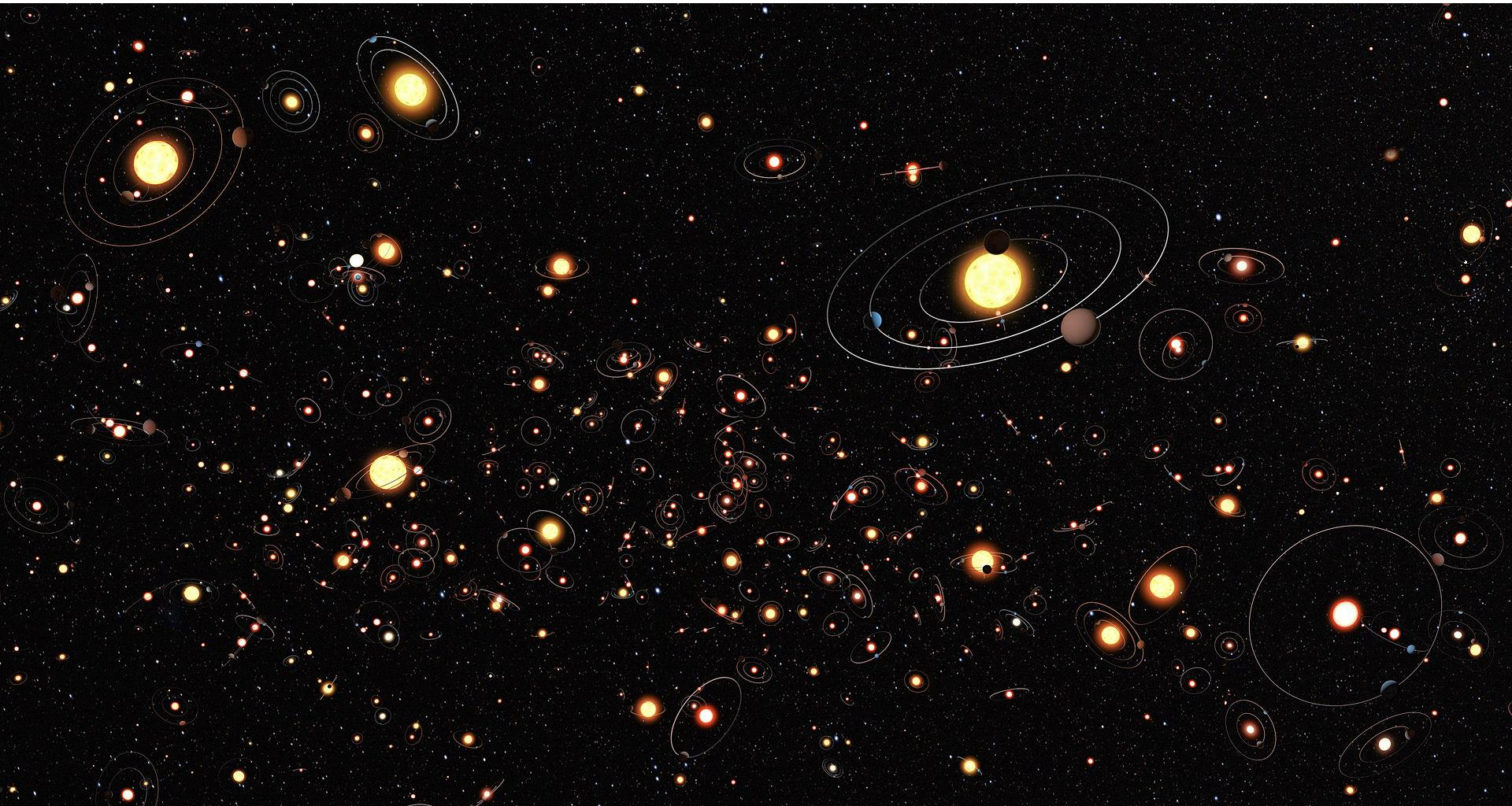
Bevezetés



- Fontos megemlíteni, hogy a **Naprendszer** kifejezés sokkal nagyobb területet jelöl, mint a **bolygórendszer** fogalom. Az előzőbe az a terület sorolható, ahol a Nap gravitációs tere erősebb, mint a szomszédos csillagoké. Ez kb. egy *két fényév sugarú gömbön belül* igaz. A bolygórendszer pedig csak a jelenleg ismert legtávolabbi nagybolygó, a Neptunusz távolságáig (*kb. 4,2 fényóra*) tart.

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Bevezetés



- Az utóbbi évtizedben más csillagok körül is felfedeztek bolygókat (**exobolygók**). Mára a közvetett és közvetlen módszerekkel kimutatottak száma már meghaladja a kétszázat. Ezek részletes tanulmányozása azonban a nagy távolság miatt egyelőre lehetetlen.

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

A Naprendszer kialakulása

- A ma leginkább elfogadott elmélet szerint a világegyetem anyaga a kb. **15 milliárd éve lezajlott ún. ősrobbanás** során jött létre. **Az óriási hidrogén- és héliumfelhőkből galaxisok, azokon belül csillagok, csillaghalmazok alakultak ki.** A **Naprendszer** a **Tejútrendszernek** nevezett galaxis egyik spirálkarjában foglal helyet. A Tejútrendszer egy kb. 100.000 fényév átmérőjű, mintegy 100 milliárd csillagot magába foglaló spirálgalaxis.



Ábra: A Naprendszer helye a Tejútrendszerben
Forrás: nasaimages.org alapján

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

A Naprendszer kialakulása

- A Nap és a körülötte keringő égitestek *egy porból és gázokból álló felhő összehúzódásával kezdődött*. Az összehúzódást valószínűleg egy közeleli csillag felrobbanása indította el. A szupernóvából származó magasabb rendszámú elemek „beszennyezték” a gázfelhőt, ennek köszönhetjük, hogy megtalálható lett a Naprendszerben pl. a testünket felépítő **szén**, a kőzetekben gyakori **szilícium**, az eszközeink anyagát adó **vas**, vagy az atomerőműveket fűtő **urán**.

Táblázat: Hőmérséklet, kondenzálódás és bolygókialakulás a szoláris ködben (Lewis, S. J. 1974 alapján)

Hőmérséklet (K)	Kondenzátum	Bolygótestek és becsült kialakulási hőmérsékletük (K)
1500	fémoxidok	
1300	fémvas, nikkel	Merkúr (1400)
1200	ensztatit	
1000	alkáliföldpátok	Vénusz (900)
680	troilit	
550	tremolit	Föld (600)
425	szerpentin	Mars (450)
175	vízjég	Jupiter-típusú bolygók (175)
150	ammónia-vízjég	
120	metán-vízjég	
65	argon-neonjég	Pluto (65)

- Ez a folyamat kb. **4,7 milliárd évvel ezelőtt** kezdődött. Ebben a *forgó, korong alakú felhőben lezajló folyamatok* határozták meg a **Naprendszer égitesteinek tulajdonságait**, így a mozgásukat, az anyagi összetételüket és az ettől függő felszíni alakzataikat is.
- Az ún. **Lewis-féle modell** szerint a kondenzációs folyamatokat és az anyagi összetételt nagyban befolyásolta a Naptól való távolság (táblázat).



◀ **Ábra:** Fantáziarajz a Naprendszer őskorából, amikor még csak formálódtak a bolygók, Forrás: csillagaszat.hu

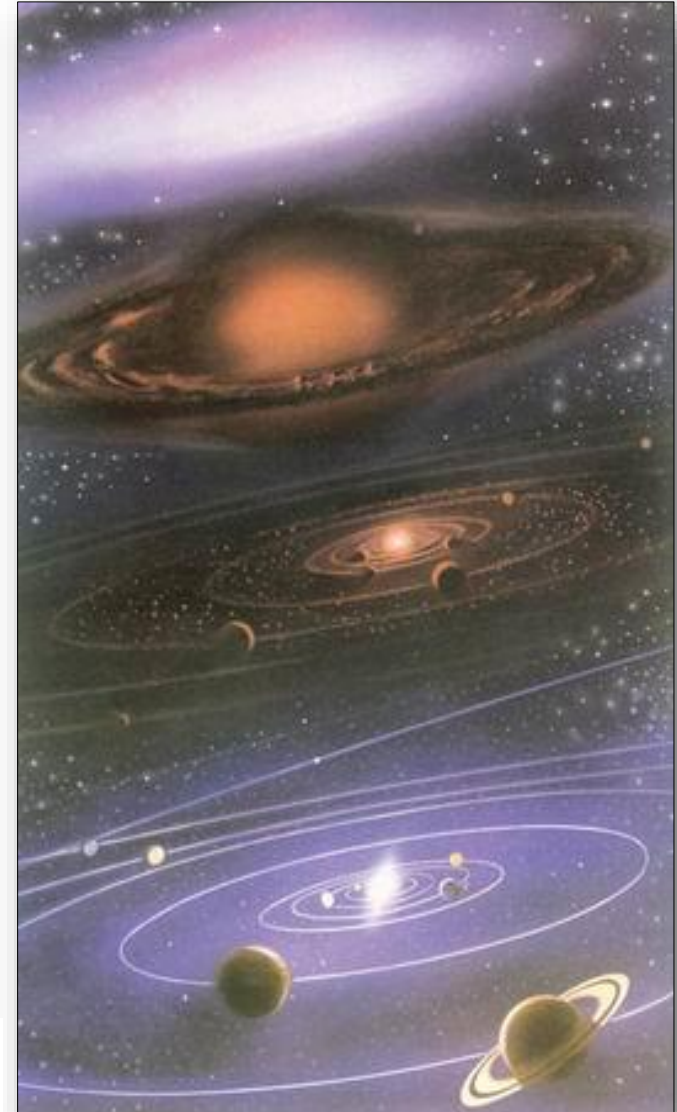
A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

A Naprendszer kialakulása

- Az ősnapban meginduló **magfúziós folyamat** jelentősen felfűtötte a felhő központi részét. A szoláris köd belső vidékeiről a **gázok**, illetve a porszemcsékből felszabaduló **illékony anyagok** a Napból áramló részecskesugárzás, a napszél segítségével **a külső területekre kerültek**. A Naphoz közelebbi területek tehát illó anyagokban nagyon elszegényedtek. A belső területeken tehát a bolygókezdemenyek, **bolygócsírák**, vagy más néven **planetezimálok** összeállásában csak szilárd szemcsék vettek részt. Ezért állnak főképpen szilikátokból, és ezért tartalmazznak kevés illó anyagot a Föld-típusú bolygók, a Hold, valamint a kisbolygók.



► **Ábra:** A Naprendszer kialakulásának fázisai
Forrás: <https://www.csillagaszat.hu>



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

A Naprendszer kialakulása

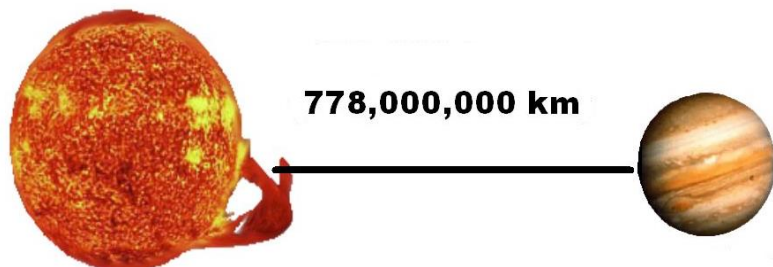
- Abban a távolságban, ahol már elég hideg volt a víz kicsapódásához, a vízjég-szemcsék száma ugrásszerűen megnőtt. Az ennél távolabbi tartományban így már a világegyetem leggyakoribb molekulája, a H_2O is részt vett a bolygókezdemények felépítésében. Ehhez a határhoz közel tudott kialakulni a legnagyobb bolygó, a Jupiter. Ettől kifelé a szemcsesűrűség és a belőlük felépülő planetezimál-méret ismét folyamatosan csökkent.



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

A Naprendszer kialakulása

- A szoláris ködből **jelentős mennyiségű gázt** csak az **óriásbolygók tudtak magukhoz kötni**, de azok is csak az összeállás későbbi fázisában, amikor már kellően nagy méretű és gravitációjú maggal rendelkeztek. A Jupiter-típusú bolygók nagy kiterjedésű gáz légköre azért tudott megmaradni, mert a Naptól távol (ábra) alacsonyabb a hőmérséklet (kisebb a gázok hőmozgása, nem szöknek el), illetve a napszél ereje is gyengébb.
- Fontos megemlíteni, hogy a bolygócsírák további növekedésében már nem a por- és gázgyűjtés jelentette a fő szerepet, hanem az egymással való összeütközés és összeolvadás. A ma leginkább elfogadott elmélet szerint a **Holdunk is egy** ilyen, Mars méretű planetezimál és a Földdel való összeütközésekor kidobott anyagfelhőből állt össze.



▲ **Ábra:** A Nap és a Jupiter távolsága

Forrás: <https://slideplayer.com/slide/8094202/>

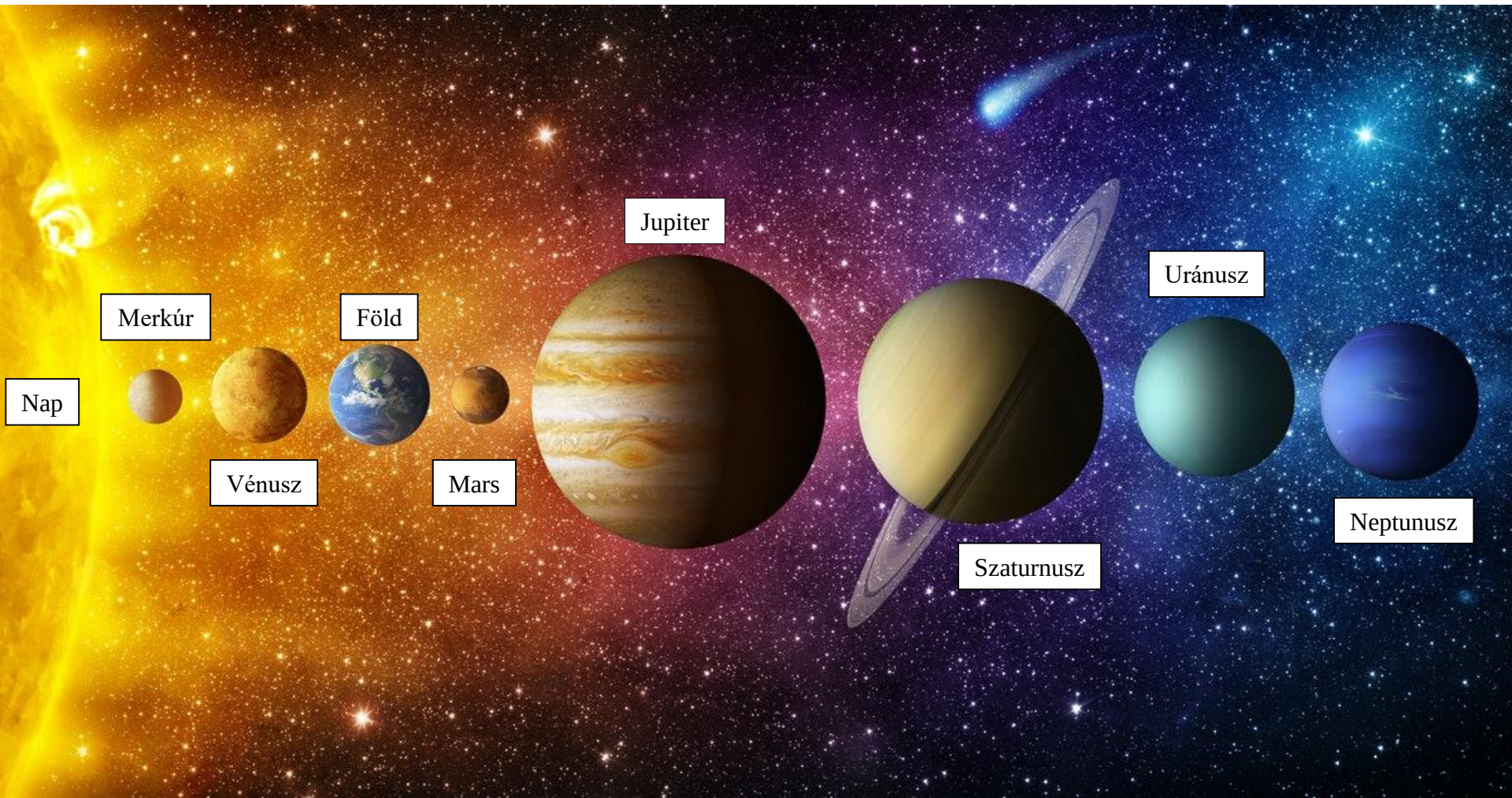
A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

A Naprendszer égitesteinek csoportosítása

- A Naprendszer égitesteit mozgásuk, alakjuk, valamint környezetükre gyakorolt hatásuk alapján – a jelenleg elfogadott osztályozás szerint – a négy nagy csoportba soroljuk:
 1. Az elsőbe maga a **Nap** tartozik, ami egy átlagos méretű, „középkorú” csillag.
 2. A második csoportba tartoznak a **nagybolygók**, melyekre jellemző, hogy a Nap körül keringenek, a belső hőtermelés miatt újraolvadtak és a gömb alakot vették fel, valamint gravitációs hatásuk révén tisztára söpörték a pályájuk környékét a kisebb égitestektől. Jelenleg nyolc objektum tartozik ide: **Merkúr, Vénusz, Föld, Mars, Jupiter, Szaturnusz, Uránusz és Neptunusz**.
 3. A **törpebolygók csoportjára** a fenti megállapítások igazak, kivéve az utolsó kitétele. Ebbe az újonnan kialakított osztályba jelenleg öt, a Naprendszer különböző övezetében keringő égitest tartozik: **Ceres, Pluto, Eris, Haumea, Makemake**.
 4. A negyedik, ún. **kis égitestek** kategóriába tartozik az összes egyéb objektum (holdak, kisbolygók, Kuiper-objektumok, üstökösök, stb.).

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

A Naprendszer égitesteinek csoportosítása



▲ **Ábra:** A Nap és a nagybolygók méretarányos képe
(a távolság nem arányos)

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

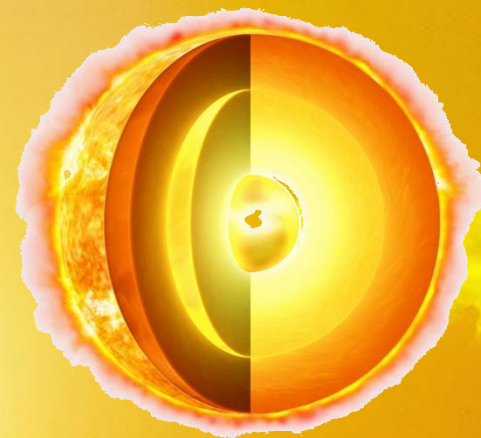
A Naprendszer égitesteinek csoportosítása



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Központi csillagunk: a Nap

- A **Nap** egy átlagos csillag a Tejútrendszer százmilliárd csillaga között.
- Mint minden csillag, **saját energiatermeléssel** (hidrogén-hélium fúzió) **rendelkezik**. Méretei jelentősen felülmúlják a többi Naprendszeren belüli égitestét (pl. tömege 750-szer nagyobb azok együttes tömegénél). A Földnél mintegy 109-szer nagyobb az átmérője és kb. 333.000-szer a tömege.
- A **belőle érkező elektromágneses sugárzás** nélkül nem működnének pl. *a légköri mozgások és a víz körforgása, vagy nem látnának az állatok, illetve nem fotoszintetizálnának a növények.*
- **Anyaga** elektromosan vezető magas hőmérsékletű gáz, amit **plazmának** nevezünk. Kb. 73 %-ban hidrogén, 25 %-ban hélium, 2 %-ban pedig nehezebb elemek alkotják. Átlagos sűrűsége csak 1,4 g/cm³.



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

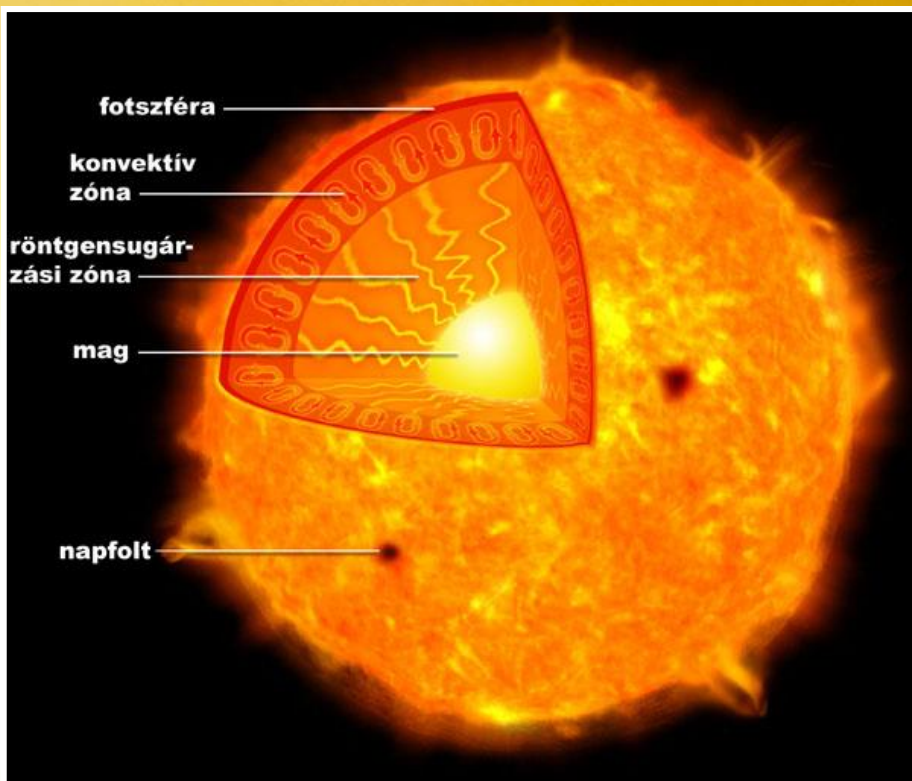
Központi csillagunk: a Nap

- A fúziós energiatermelés az ún. **centrális magban** zajlik, ahol a hőmérséklet mintegy 15 millió K. Innen különböző rétegeken keresztül jut el az energia a fotoszférába, amely számunkra is látható fény formájában bocsátja ki azt. Ez utóbbi, kb. 6.000 K hőmérsékletű réteg, amit egyszerűbb csillagászati távcsövekkel tanulmányozni lehet, megfigyelve rajta többek között a hűvösebb, sötétebb napfoltokat.

Átváltás (Celsius-fok / Kelvin):

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

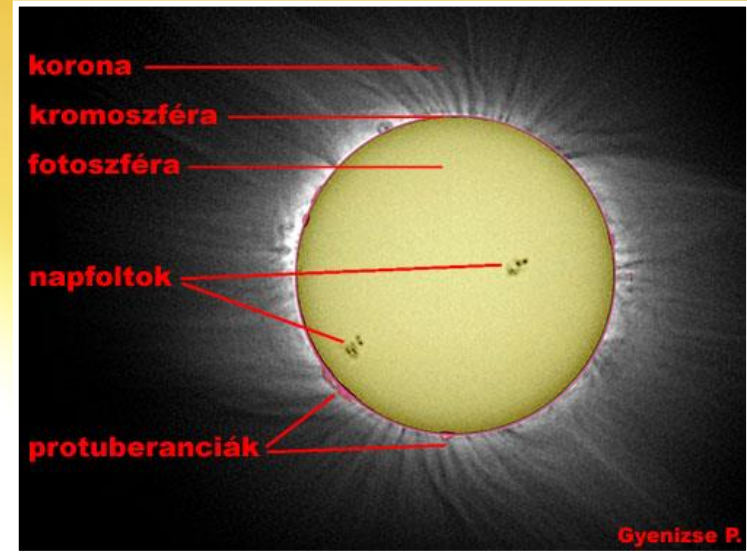


▲ **Ábra:** A Nap belső szerkezete – a fotoszféra a napfoltokkal már a légkör része, Forrás: nasaimages.org alapján

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Központi csillagunk: a Nap

- A Nap külső légköre (kromoszféra, korona) a bolygóközi térbe nagy távolságokra nyúlik ki. Legfényesebb része teljes napfogyatkozások alkalmával, vagy speciális távcsövekkel figyelhető meg.



▲ **Ábra:** A Nap légköri rétegei és fontosabb Jelenségei, Fotó és szerk.: Gyenizse P.

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

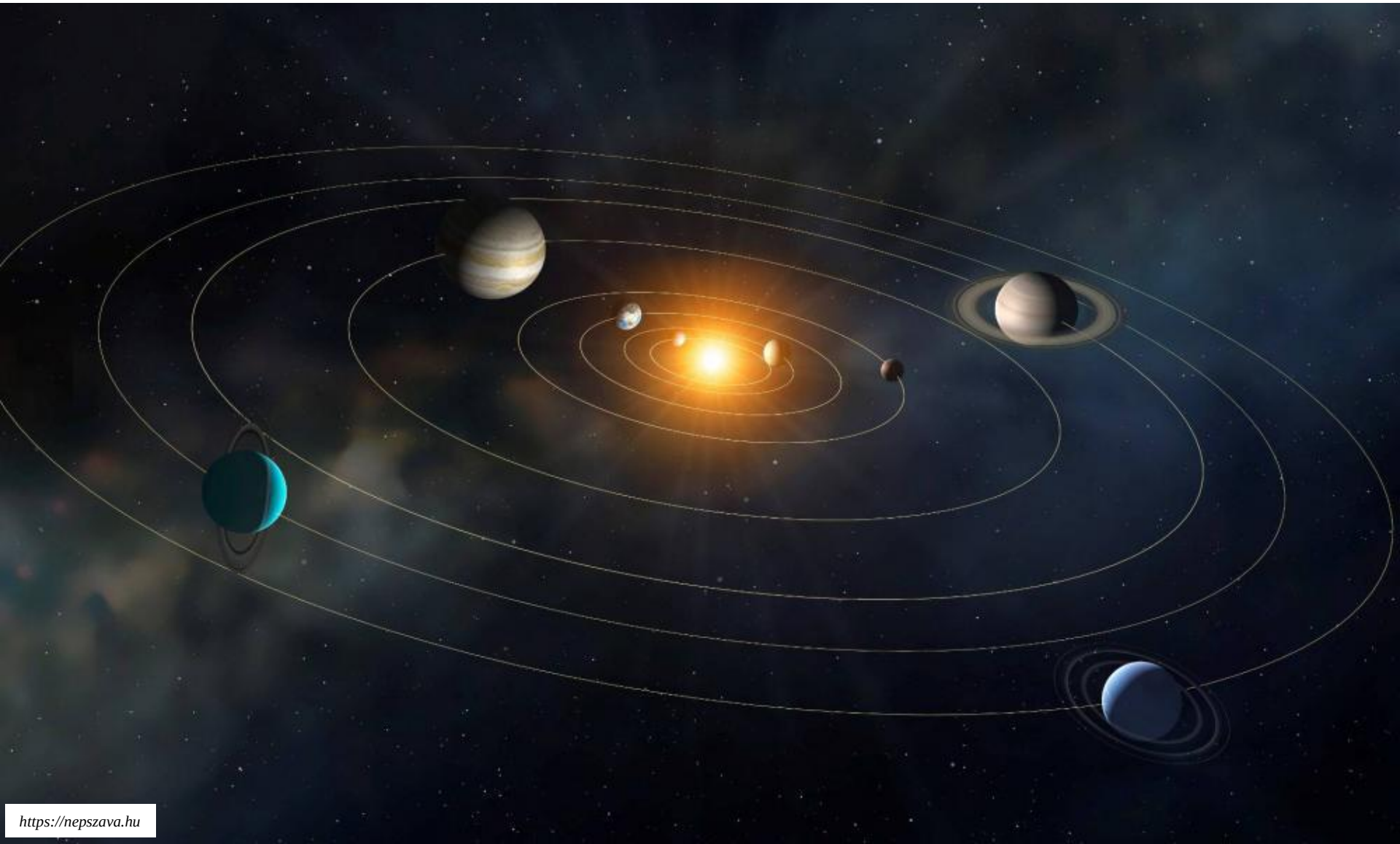
Központi csillagunk: a Nap

- A Napból nem csak elektromágneses, hanem *részecskesugárzás* is kiindul. Az ún. **napkitörések** alkalmával kidobott töltött részecskék a Földünk légkörét alkotó atomoknak és molekuláknak is nekiütközhetnek, létrehozva a *sarki fény jelenséget*.



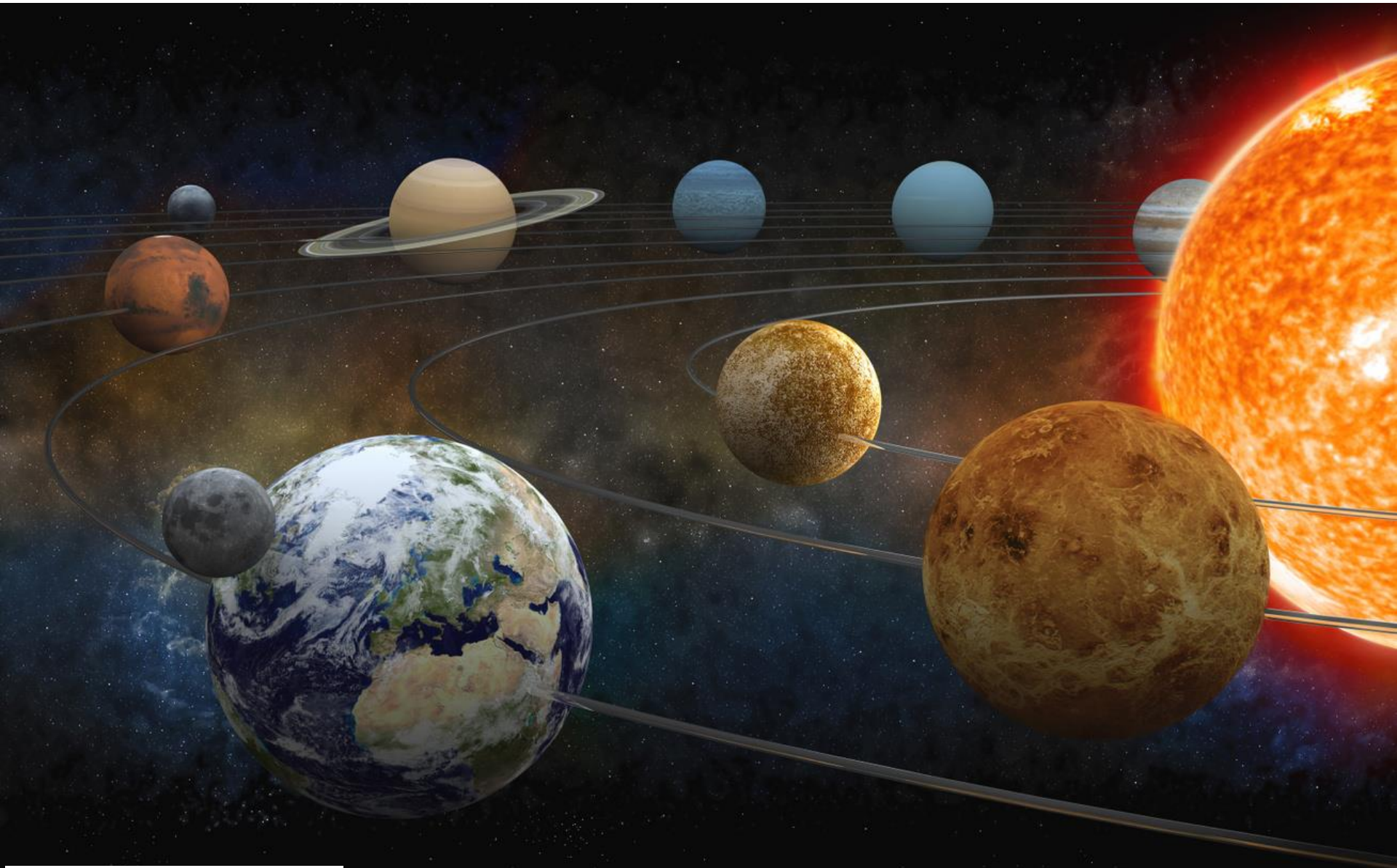
A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Nagybolygók



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Nagybolygók



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Nagybolygók

- A nagybolygók különbözőképpen csoportosíthatók. Jelen esetben anyagi összetételük alapján **Föld-típusú** és **Jupiter-típusú bolygókra** osztjuk őket.

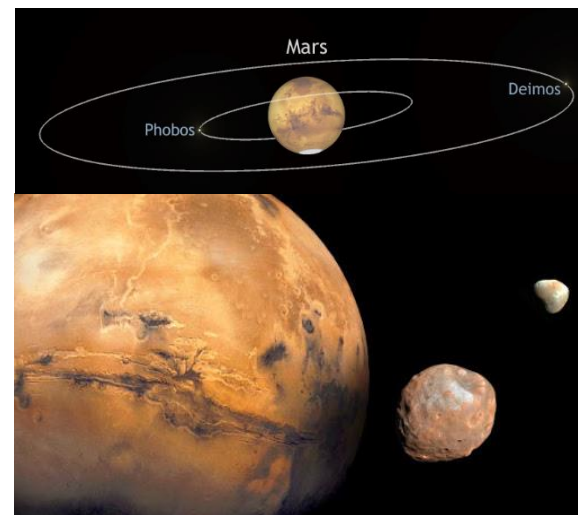
Az első csoportba soroljuk a **szilikát-vas** összetételű, **szilárd felszínnel** rendelkező **Merkúrt, Vénuszt, Földet és Marsot**.

A másodikba a **döntő mértékben hidrogénből és héliumból álló, szilárd felszínnel nem rendelkező gázbolygókat**: a **Jupitert**, a **Szaturnuszt**, az **Uránuszt** és a **Neptunuszt**.

- A **Föld-típusú bolygók** kisebb átmérőjűek, de **nagyobb sűrűségűek**, mint a másik csoport tagjai, továbbá **gyorsabban keringenek** a Nap körül, de **lassabb a tengelyforgásuk**.
- A **Jupiter-típusúaknak** sok holdja van (legtöbb a Jupiternek: 63 db), szemben a Föld típusúakkal, ahol ezek száma maximum 2 darab (Mars).



▲ **Ábra:** A Jupiter és négy legnagyobb holdja (Io, Europa, Ganymedes, Callisto)



▲ **Ábra:** A Mars és a holdjai

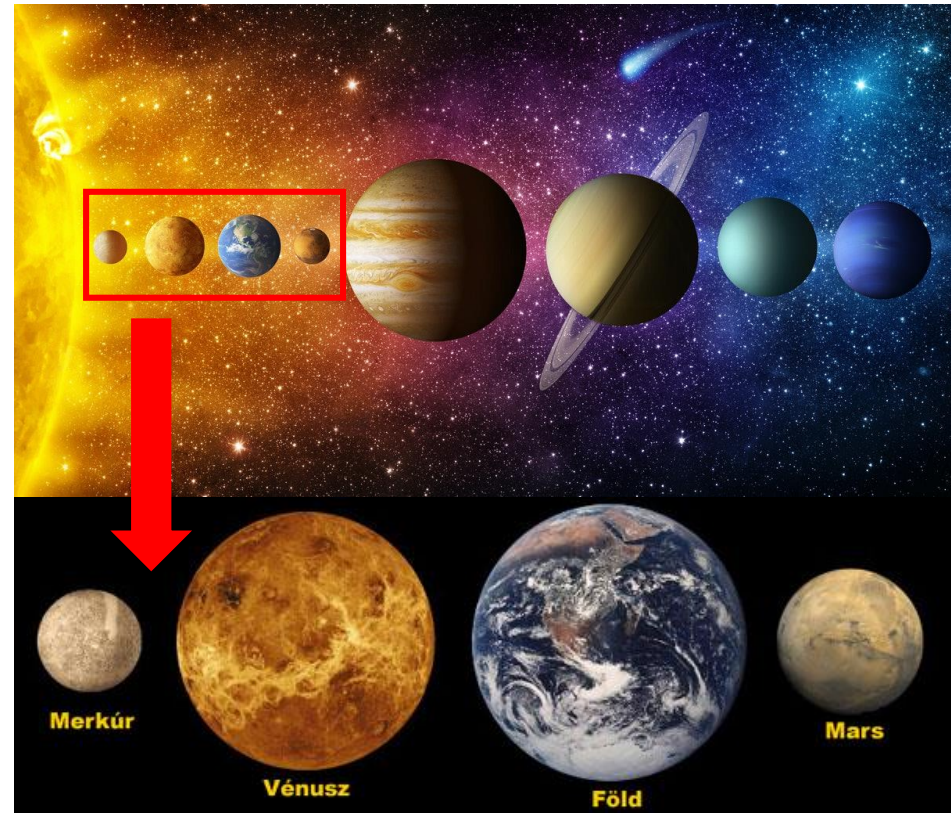
A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók

- A Föld-típusú bolygók legfontosabb összehasonlító adatai az alábbi táblázatban olvashatók.

Táblázat: A Föld-típusú bolygók legfontosabb összehasonlító adatai, Összeállította: Gyenizse P.

	Merkúr	Vénusz	Föld	Mars
Átmérő (Föld = 1)	0,38	0,95	1	0,53
Tömeg (Föld = 1)	0,06	0,82	1	0,11
Sűrűség (g/cm ³)	5,4	5,2	5,5	3,9
Átlagos naptávolság (Föld = 1)	0,4	0,7	1	1,5
Keringési idő (Föld = 1)	0,24	0,62	1	1,88
Tengelyforgási idő (földi nap, óra)	58 nap	243 nap	23,95 óra	24,4 óra
Holdak száma (db)	0	0	1	2

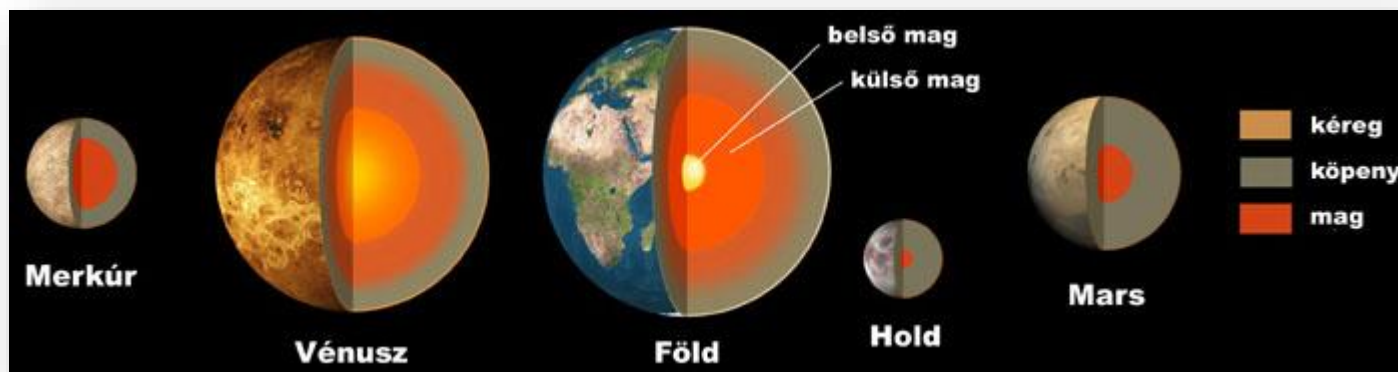


▲ **Ábra:** A Föld-típusú bolygók méretarányos képe
 Forrás: nasaimages.org

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók – Felépítés

- A bolygók belső szerkezetéről *mérések és modellszámítások segítségével alkotnak képet* a geológusok és planetológusok. **Rengésmérő műszerek segítségével** eddig csak a Föld és a Mars (valamint a nem ebbe a csoportba tartozó Hold) belső szerkezetéről kaptak képet, míg a többi égitest esetében csak modellek léteznek.



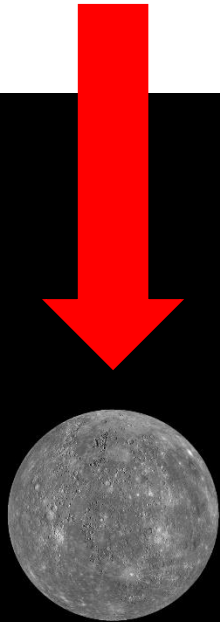
▲ **Ábra:** A Föld-típusú bolygók belső övezetei
Forrás: *nasaimages.org* alapján

- Ezek alapján elmondható, hogy a **Föld-típusú bolygók réteges belső szerkezettel rendelkeznek**, amelyek a korai, ún. differenciálódási időszakban alakultak ki a nehezebb elemek lefelé, a könnyebbek felfelé áramlásával. A valóságot leegyszerűsítve elmondhatjuk, hogy minden Föld-típusú bolygónál (és a Holdnál) **három fő gömbhéj (szféra) különíthető el**:
 - ✓ mag,
 - ✓ köpeny,
 - ✓ kéreg.

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók – Felépítés

- A **Merkúr** átlagos sűrűsége majdnem eléri a Földét ($5,4 \text{ g/cm}^3$), ami azt sugallja, hogy **fém tartalma igen magas**. Számítások szerint a **vas-nikkel mag teszi ki a bolygó sugarának háromnegyedét (kb. 1.800 km)**. Ez adja a bolygó össztömegének 80%-át! Ezt veszik körbe a többi Föld-típusú bolygóhoz képest **vékonyabb köpeny és kéreg**.



Merkúr



Vénusz



Föld

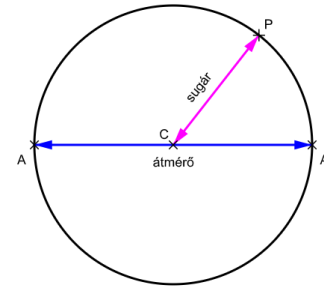


Mars

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

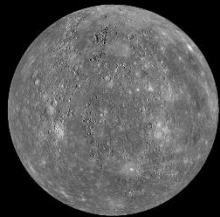
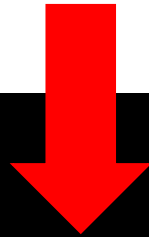
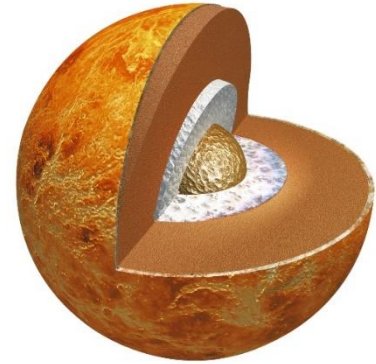
Föld-típusú bolygók – Felépítés

- A **Vénusz** belső szerkezete a Földétől csak kissé tér el. A **magja** arányaiban kicsit kisebb lehet, sugarát kb. 3.000 km-re teszik. A **köpeny** vastagsága szintén ennyi lehet, ami meghaladja a Földnél mért értékeket. **Kérge** átlagosan kb. 60 km vastag.



▲ Ábra: Átmérő; sugár

Forrás: <https://tudasbazis.sulinet.hu>



Merkúr



Vénusz



Föld

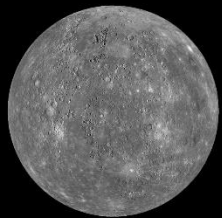
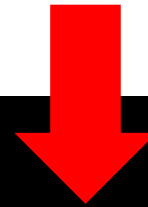


Mars

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók – Felépítés

- A bolygók közül – érthető módon – a **Föld** belső szerkezetét ismerjük a legjobban. Ennek „közepén” egy kb. 3.400 km sugarú, több, mint 4.000 K központi hőmérsékletű **mag** található. Ezt veszi körbe egy kb. 2.900 km vastag **köpeny**, majd egy 10-40 km vastag, 290-700 K hőmérsékletű **kéreg**. Az ezeket alkotó anyag **sűrűsége belülről kifelé** 13,6 g/cm³-ről 2,7 g/cm³-ig egyre **csökken**.



Merkúr



Vénusz



Föld

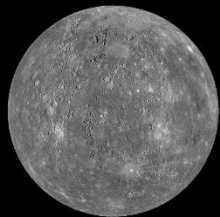
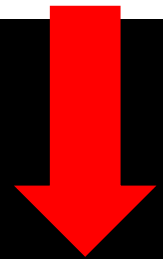
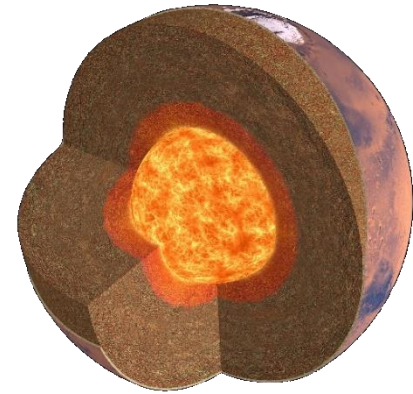


Mars

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók – Felépítés

- A **Mars** átlagos sűrűsége a Földnél mintegy 30%-kal alacsonyabb ($3,9 \text{ g/cm}^3$), tehát **nem lehet nagy méretű fémes magja**. A modell szerint kb. **1.500 km** sugarú, **vastartalmú vegyületekből álló magját** kb. **1.800 km** vastag **köpeny** és a földinél vastagabb (kb. **100 km**) **kéreg** veszi körbe. Ez utóbbi tartja meg a óriási vulkánok nagy tömegét besüllyedés nélkül.



Merkúr



Vénusz



Föld

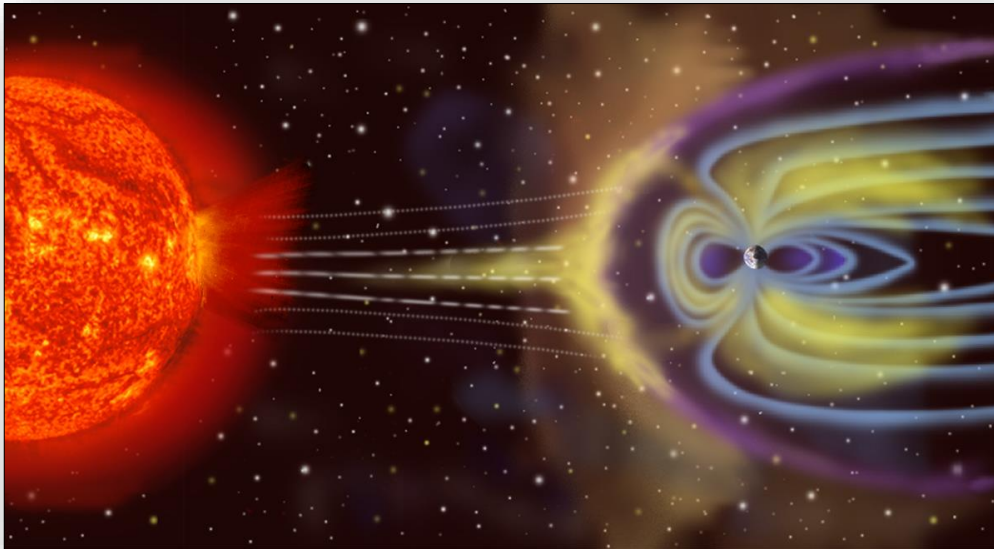


Mars

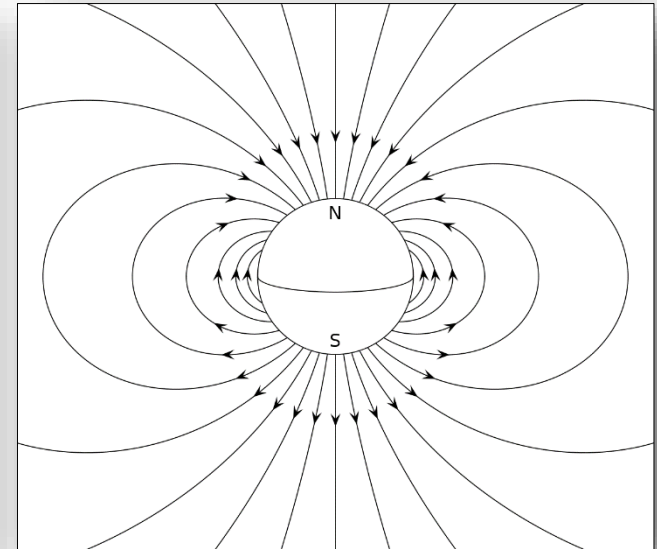
A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók – Felépítés

- A Föld-típusú bolygók közül **egyedül a Földnek van erős mágneses tere**. Ez **a folyékony halmazállapotú, elektromosan vezető, forgó magnak köszönhető**. Gyenge mágneses teret mutattak ki az űrszondák a **Merkúrnál** és a **Marsnál**. Ezek valószínűleg korábbi aktív időszakból maradtak fent, ma már nem működik belsejükben dinamóhatás.



▲ **Ábra:** A magnetoszféra megvédi a Föld felszínét a napszél töltött részecskéitől. A Nappal szembeni oldalon összenyomódik az érkező részecskék hatására, a túloldalon pedig elnyúlik.
Forrás: <https://hu.wikipedia.org>



▲ **Ábra:** Földi mágneses mező
Forrás: <https://hu.wikipedia.org>

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók – Felszín – (1.) Merkúr



▲ **Ábra:** Merkúr, az első bolygó a Naptól
Forrás: <https://solarstory.net/planets/mercury>

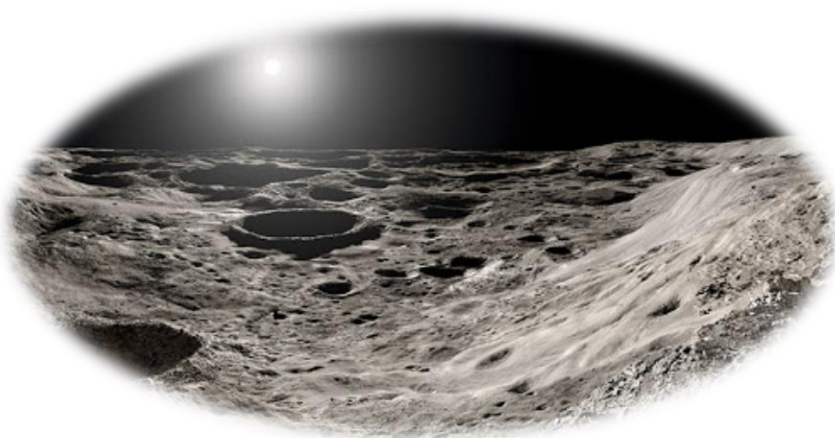
A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók – Felszín – (1.) Merkúr

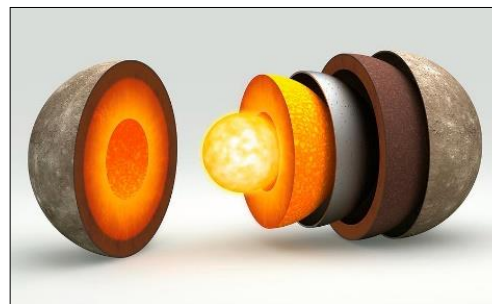
- A **Merkúr** a Naphoz legközelebb keringő, **légkörrel lényegében nem rendelkező bolygó**. A lassú tengelyforgása, valamint az előbb említett két tulajdonsága eredményezi, hogy felszínén hőmérséklet 750 K-os a nappali forróságtól, éjszaka 90 K-ra is lehűlhet. A **meteor becsapódások** mellett a nagy hőingadozásra vezethető vissza a **felszínt borító vastag törmeléktakaró**.
- A **felszínét** legnagyobb mértékben a becsapódások alakították, így a Holdhoz hasonlóan **kráterekkel sűrűn borított**. Szél, eső, folyóvíz és élővilág ezen a bolygón nincs, így nem pusztítják el, nem temetik be ezeket. Kisebb területeken fellelhetők **ősi, krátermentes területek** is, továbbá **lávával borított síkságok** is. A bolygótest **illó anyagainak jelentős részét elvesztette („kiszáradt”), magja és köpenye összehúzódott**, aminek következtében **kérge gyűrődött, vetődött** és ún. **párhányok** alakultak ki rajta.



▲ **Ábra:** Párhány a Merkúron
Forrás: *Mariner-10 felvétele, nasaimages.org*



▲ **Ábra:** A Merkúr felszíne
Forrás: <http://www.griffithobservatory.org>



Átváltás (Celsius-fok / Kelvin):

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$$



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók – Felszín – (2.) Vénusz



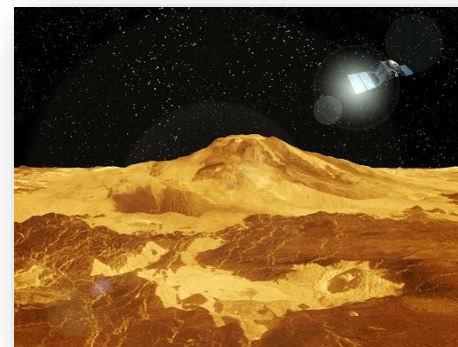
▲ **Ábra:** Vénusz, a második bolygó a Naptól

Forrás: <https://www.dkfindout.com/us/space/solar-system/venus/>

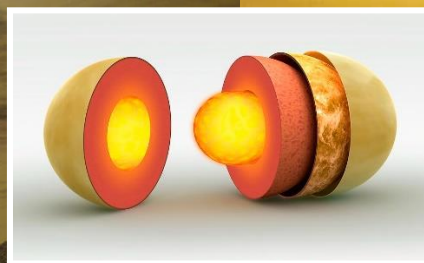
A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók – Felszín – (2.) Vénusz

- A *Vénusz felszíne már változatosabb*, mivel több külső és belső erő formálja. Az űrszondák csak radar segítségével tudnak adatokat gyűjteni róla az átlátszatlan légkör miatt. Felszíne kb. **70%-ban alacsony dombosság**, kb. **20%-ban mélyföld** és mintegy **10 %-ban magas hegység, felföld**. A bolygón időszakosan jelentőssé válnak a *kéregmozgások és vulkanizmus*.
- A felszínen számos múltban működő pajzsvulkánt és korábbi lávafolyást mutattak a radarfelvételek. Nyoma van felszín alá nyomuló kriptovulkáni formáknak is. A **Venyera szondák felvételei és mérései** alapján elmondható, hogy *a felszínt bazaltos és gránitos kőzetekből álló, forró kőszivacs borítja*. A *sűrű légkör miatt kevesebb a becsapódási kráter*, mint a Merkúron, viszont itt *időnként gyenge szelek* is végeznek kicsi pusztító és építő munkát. A magas hőmérséklet miatt folyóvíz és élőlények itt sem alakítják a felszínt.



▲ **Ábra:** A Vénusz felszíne
Forrás: <http://astro.u-szeged.hu>



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók – Felszín – (3.) Föld

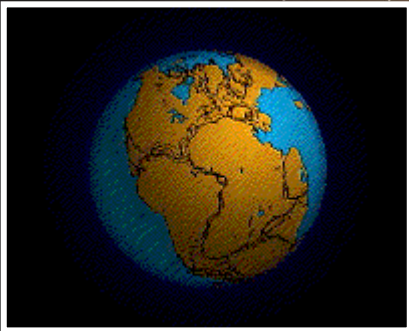


▲ **Ábra:** Föld, a harmadik bolygó a Naptól
Forrás: *internet*

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók – Felszín – (3.) Föld

- A legváltozatosabb felszínformák a **Földön** alakultak ki. Planetológiai értelemben ez a **legmagasabb rendű bolygótest a Naprendszerben**. Itt a belső erők kontinensvándorlást és vulkáni működést idéznek elő. Jól működnek a felszín-előkészítő folyamatok: aprózódás és mállás. A külső erők minden fajtája alakítja a felszínt: *becsapódások, folyadékok, jég, szél, élővilág*.



<https://hu.wikipedia.org>



<https://www.origo.hu>



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók – Felszín – (4.) Mars

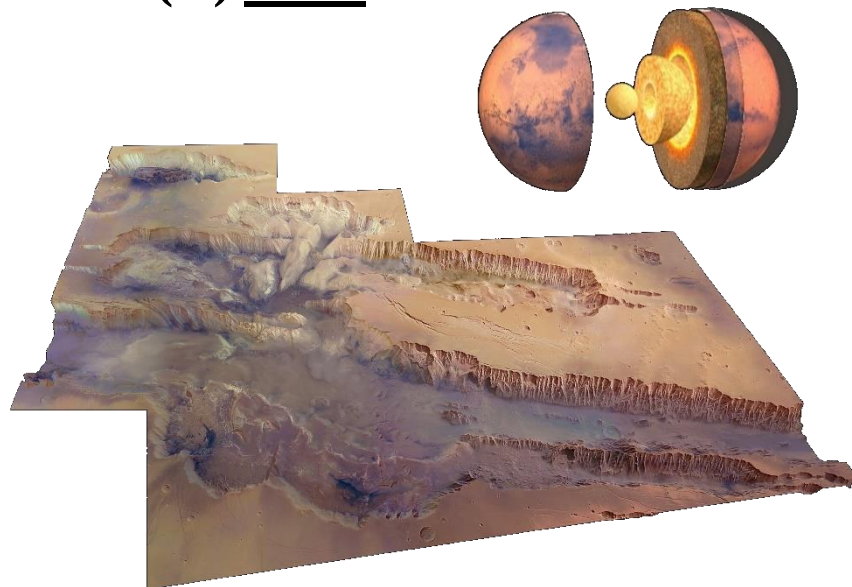


▲ **Ábra:** Mars, a negyedik bolygó a Naptól
Forrás: <https://space-facts.com/mars>

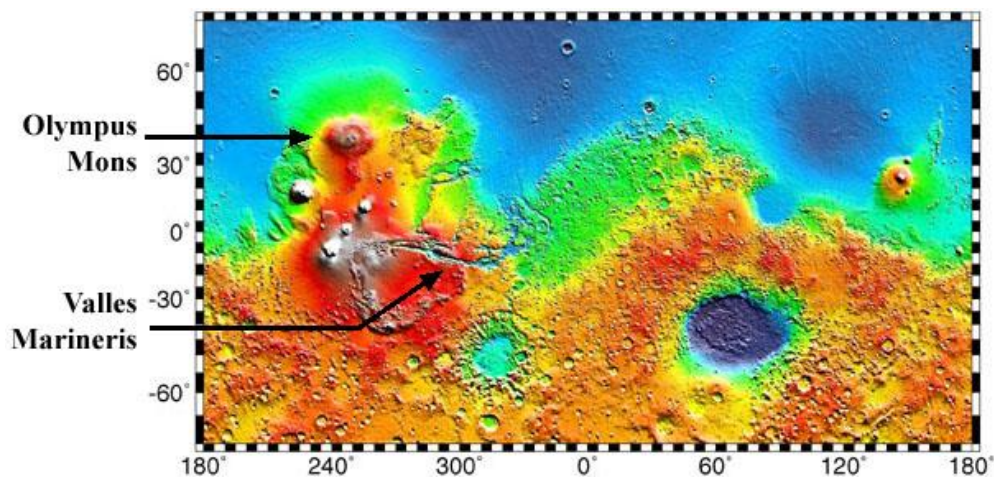
A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók – Felszín – (4.) Mars

- A **Mars** ma már **sivatagokkal borított, hűvös (átlagosan 230 K) bolygó**. 3-4 milliárd éve azonban sokban hasonlított a Földre. Mielőtt a belső erőket tápláló hő lecsökkent volna, a kérge a Földéhez hasonlóan megpróbált kontinensekre szakadni, de csak egy több ezer kilométer hosszú repedésvölgy jött rajta létre, a **Valles Marineris**.



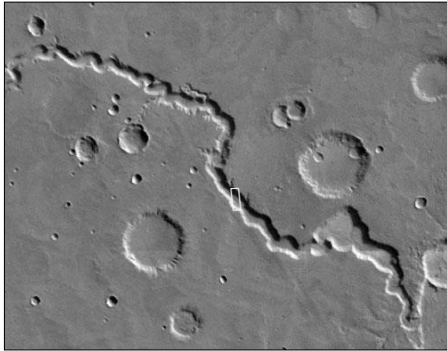
◀▲ **Ábra:** Valles Marineris
Forrás: <https://www.esa.int>



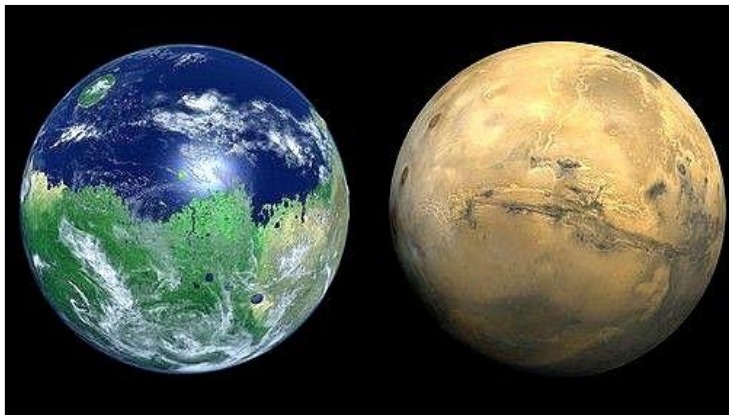
◀ **Ábra:** A Mars domborzati modelljén jól megfigyelhető, hogy a **déli félgömböt sűrűn kráterezett felföldek**, az északit fiatalabb, kevés krátert mutató **síkságok borítják**
Forrás: nasaimages.org alapján

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók – Felszín – (4.) Mars



◀ **Ábra:** Folyóvölgy a Marson, Forrás: nasaimages.org



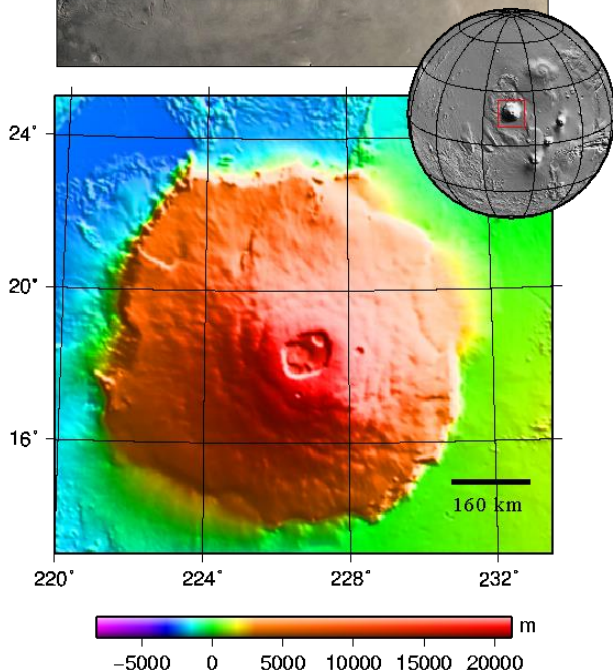
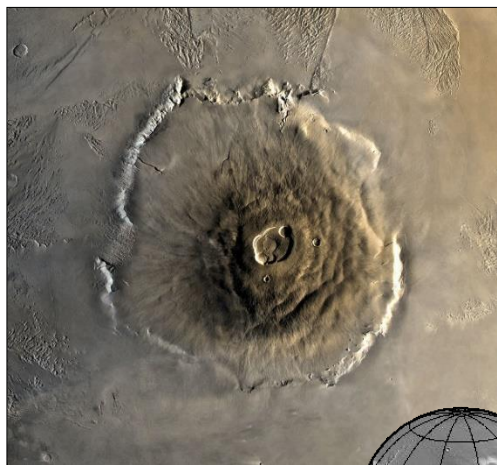
▲ **Ábra:** A Mars egykoron?
Forrás: <https://www.pinterest.ca>

- A később megvastagodó kérgre számos óriási, forró pontokból táplálkozó **pajzsvulkánt** tart meg. Itt található **a Naprendszer legmagasabb hegye**, az **Olympus Mons vulkán**, ami 26 km magas és aljánál kb. 600 km átmérőjű.
- Korábban magasabb volt a bolygó átlaghőmérséklete, ami lehetővé tette, hogy folyók, patakok szabdalják a felszínt (ábra), és az alacsonyabb északi félgömböt egy sekély tenger borítsa be (ábra).
- A **klíma lehülése miatt a víz ma a** (részben széndioxidból álló) **pólussapkákban és a talajban található fagyott állapotban**. A külső erők közül korábban itt is jelentős volt a becsapódások hatása, ma inkább a **nagy sebességű szelek formálják a felszínt**.



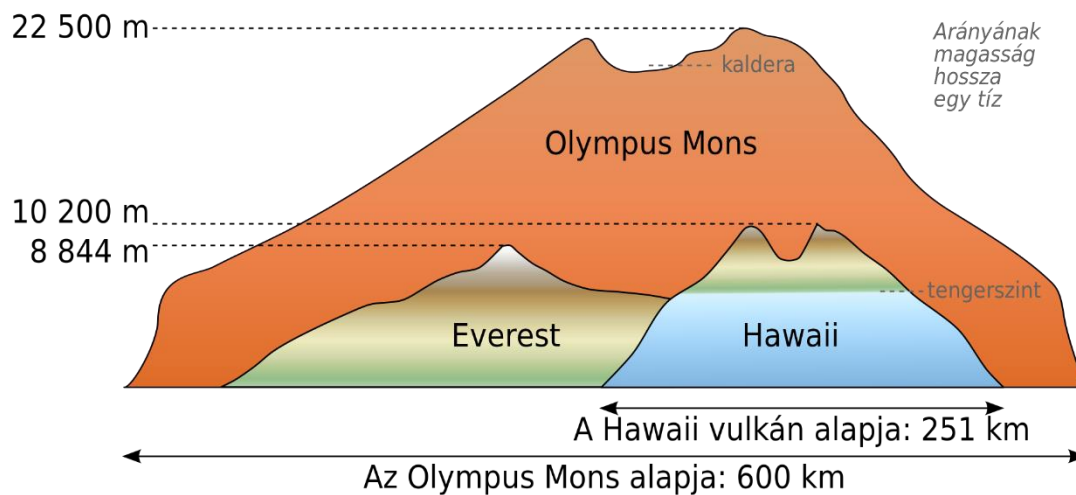
A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók – Felszín – (4.) Mars



- Az **Olympus Mons** (Olympus-hegy) a legnagyobb ismert hegy a Naprendszerben, a Marson található. Az Olympus Mons a Tharsis-régiótól, és „a három nővértől” nyugatra fekszik. Annyira kiterjedt, hogy a felszínről nehéz észrevenni. Az űrszondás vizsgálatok előtt **Nix Olympica** néven volt ismert. **A Mars lenyűgöző látványosságai közé tartoznak a hatalmas pajzsvulkánok, amik egyúttal a Naprendszerben a legnagyobb hegységek.** Mivel a Marson majdnem háromszor kisebb a gravitáció, mint a Földön, ezért az Olympus Monson kívül több olyan hegy is van, amely a Föld magaslatait meghaladja.

Az Olympus Mons, a Hawaii vulkán és a Mount Everest méretének összehasonlítása



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

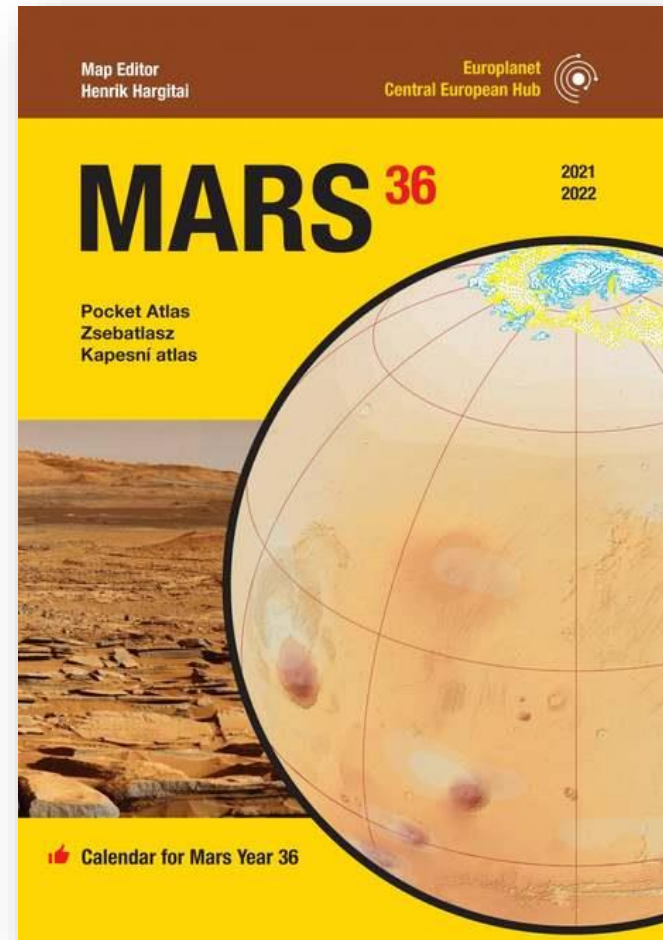
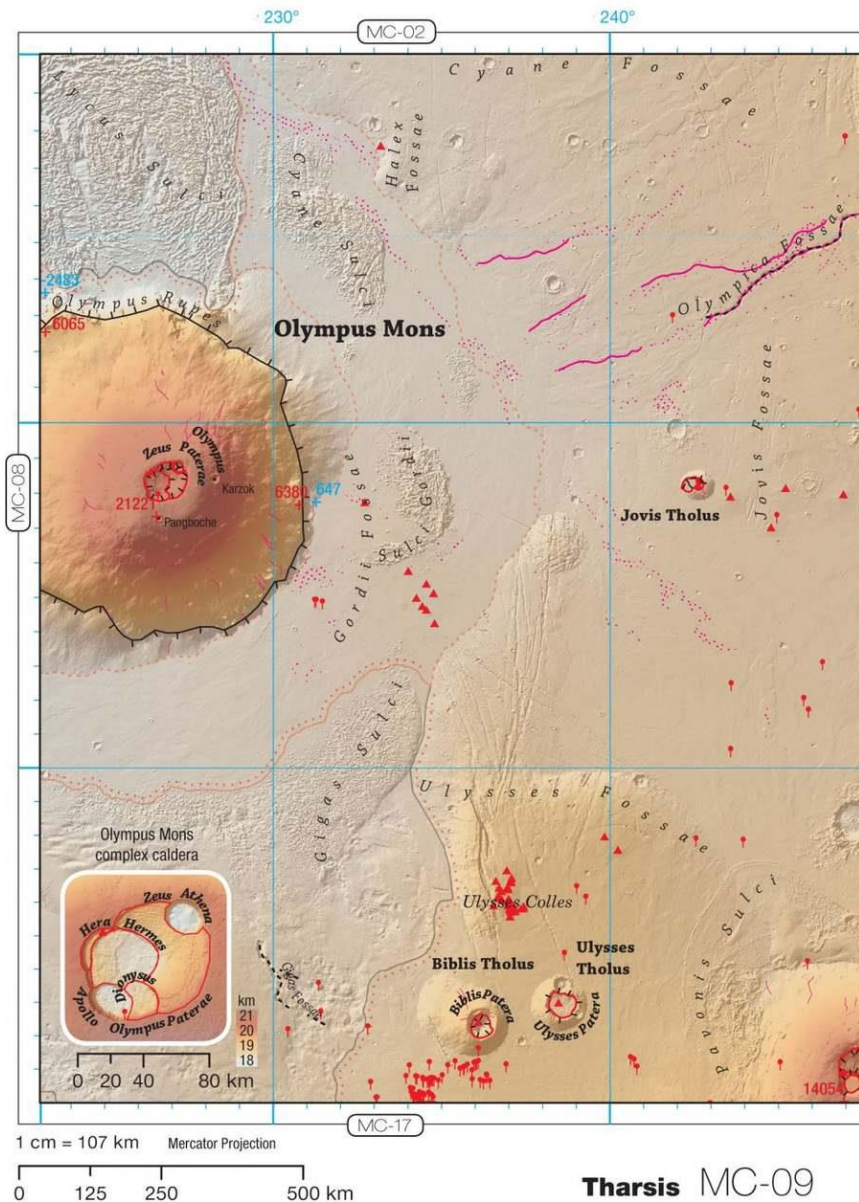
Föld-típusú bolygók – Felszín – (4.) Mars

Magyar atlasz készült a Marsról

A 36. marsi év alkalmából első ízben jelent meg földrajzi atlasz a Marsról a NASA volt kutatójának a szerkesztésében. A legújabb kutatási eredményeket összefoglaló atlasz lapjain életre kel a vörös bolygó felszínének története, a kiadványban Hargitai Henrik a domborzati, éghajlati viszonyok mellett bemutatja a vörös bolygóra küldött járművek eddigi és jövőben várható leszállóhelyeit is. A zsebatlasz domborzati térképein a világon első ízben látható a marsi völgyhálózatok, gleccserek, dűneterületek és további tucatnyi földrajzi alakzat elhelyezkedése. A 60 térképoldalon a korábbi és jövőbeli leszállóhelyek is megtalálhatók. A részletes, 1:10 milliós méretarányú térképek mellett külön oldalak mutatják be a Mars éghajlati és időjárási viszonyait klímadiagramok és térképek segítségével. Itt láthatók elsőként a Mars négy évszakának felhőtérképei. Az atlaszban megtalálható a 2021-22-es, azaz 36. marsi év kalendáriuma is, amely tartalmazza a legfontosabb helyi eseményeket. A csillagaszat.hu-n olvasható beszámoló szerint a Mars 36 zsebatlasz alapja a Hargitai Henrik által a NASA-ban létrehozott integrált adatbázis a planétáról. A kiadvány a strassbourgi székhelyű European Science Foundation támogatásával készült. A zsebatlasz magyar, cseh és angol kísérszöveggel jelent meg január végén a Lira Kiadónál és eddig mintegy 150 hazai, csillagászati szakkörbe járó diákhoz jutott el térítésmentesen. Mint a csillagászati hírportálon olvasható, az eddigi térképek fotómozaikok vagy különböző módszerrel létrehozott domborzati térképek, illetve földtani térképek voltak. A hagyományos természetföldrajzi atlaszok és térképek azonban számos földrajzi tematikát ötvöznek: alapjuk egy domborzati térkép, de szerepelnek rajtuk a vizek, jégborította területek, vulkánok, csúcsok is, és természetesen a topográfiailag elkülönülő névanyag. Mostanra már összegyűlt annyi tematikus információ a Marsról, hogy ezek együtt térképre vihetők. Bár az adatok még nem teljeseek, mégis kibontakozik egy sokszínű bolygó képe. Az atlasz előkészületei az ELTE TTK természetismeret tanár szakos diákjainak bevonásával folytak. A tervek szerint a 36. marsévi kiadást két év múlva követheti egy újabb, amely a marsi élet legesélyesebb helyeit mutatná majd be részletesen.

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók – Felszín – (4.) Mars



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók – Légkör

- A **Merkúr**nak jelenleg nincs légköre (megszökött), ami a kis tömegű bolygó **gyenge gravitációs vonzó hatásának**, valamint a gázatomok mozgását jelentősen felgyorsító **erős napsugárzásnak** köszönhető.
- A **Vénusz** légköre **96%-ban szén-dioxidból áll** (ábra). A Föld-típusú bolygók közül ennek van a **legsűrűbb légköre**, ami **a felszínre kilencvenszer akkora légnyomást gyakorol, mint a mi bolygónké**.
- Kb. 45-60 km magasságban **vastag**, főleg **kénsavcseppekből álló felhőréteg húzódik**. Ez akadályozza meg látható tartományban (is), hogy földi távcsövekkel, vagy űrszondákkal lefényképezzük a felszínét, ez csak radaral lehetséges.
- A kivételesen **erős üvegházhatás** miatt a felszín közelében **750 K hőmérséklet** mérhető az éjszakai és a nappali oldalon, továbbá az egyenlítőn és a sarkokon is.
- A kicsi hőmérséklet-különbség csak **gyenge szeleket** gerjeszt a sűrű légkörben (1 km/h).



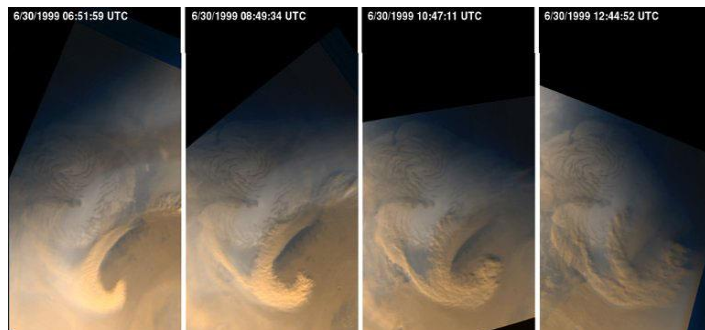
▲ **Ábra:** Fekvő V, vagy Y alakot mutat felhősávok a Vénusz felső légkörében, Forrás: nasaimages.org

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Föld-típusú bolygók – Légkör



- A **Föld** légkörének összetétele és egyéb tulajdonságai jelentősen eltérnek napjainkban a többi légkörrel rendelkező Föld-típusú bolygóétól (Vénusz, Mars). Részben ennek köszönhető az **élet fennmaradása**, és persze ez fordítva is igaz: az **élet megjelenésének** is köszönhető a különbség kialakulása.
- A **Mars** ritka, **96%-ban széndioxidból álló légköre** csupán **a földi légkör 5%-ának megfelelő nyomást gyakorol a bolygó felszínére**. A **gyenge üvegházhatás** miatt **szélsőséges felszíni hőmérséklet**. A legnagyobb hideget a pólusokon télen (135 K), a legnagyobb meleget az egyenlítőn mérték (300 K). A nappali és éjszakai félgömb közötti hőmérsékleti különbség a 60 fokot is elérheti.
- A **nagy hőmérsékletkülönbség** akár **300 km/h sebességű szeleket** is gerjeszthet. A légkör kis sűrűsége miatt ez azonban csak a porszemek mozgatásához, felkavarásához elég, amelyek így rózsaszínre színezik a légkört. Napközelség idején akár az **egész bolygót beborító homokviharok** is kialakulhatnak (ábra). A Mars légkörében ritkán képződik felhő.



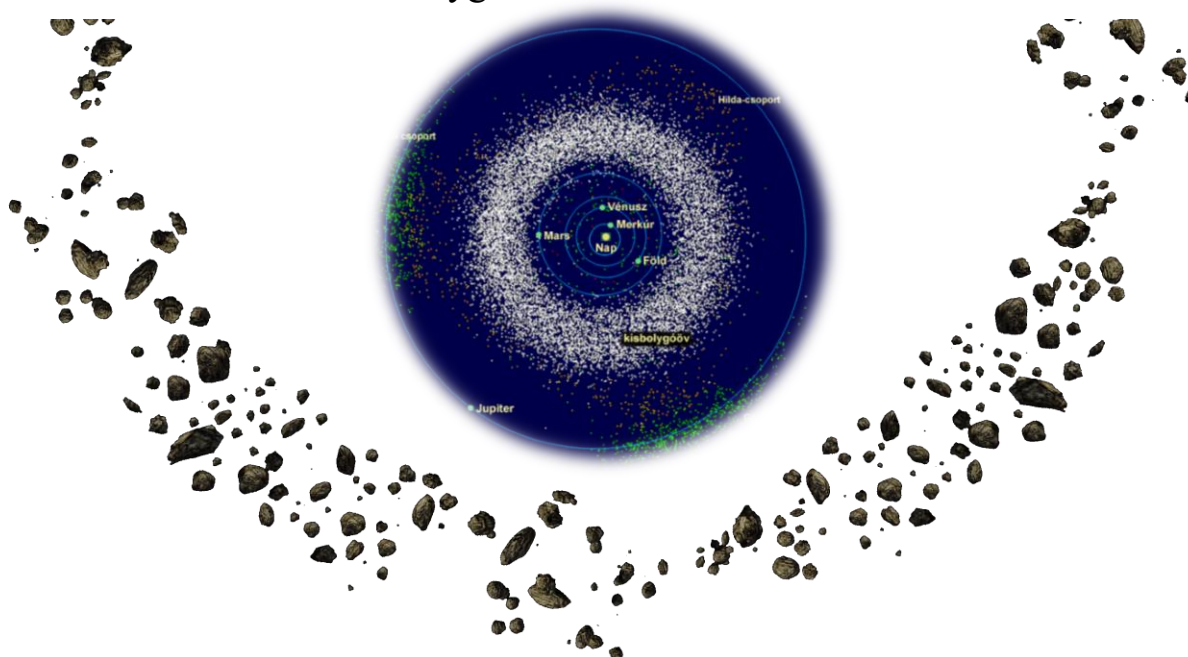
◀ **Ábra:** Homokot is szállító ciklon a Mars északi pólusa közelében
Forrás: nasaimages.org



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Kisbolygóöv (aszteroidaöv)

- A **kisbolygóöv** vagy **aszteroidaöv** a Naprendszerben a Mars és a Jupiter pályája közötti, nagy mennyiségű kisbolygót tartalmazó területe. A Naprendszer bolygói egy síkban keringenek a Nap körül. Ugyanebben a síkban található a kisbolygóöv is.
- A csillagászok feltételezése szerint **a bolygók a csillagok kialakulásával együtt jönnek létre**. A frissen kialakult csillag körüli protoplanetáris korongban még nagy mennyiségű anyag kering, melyek ütközéseik közben összetapadhatnak, vagy ütközve felaprózódhatnak. Ezek ugyanolyan irányban, egy síkban keringenek a csillag körül, belőlük előbb-utóbb nagyobb objektumok is létrejönnek, melyek még jobban vonzzák a többi anyagot. A kellően nagyra növvő objektumok aztán a pályájuk környezetében szinte minden más objektummal előbb-utóbb ütköznek, amelynek eredménye az, hogy az égitest kisöpri a pályáját. Így keletkeznek általában a bolygók.



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Phaeton – az egykor volt 9. (5.) bolygó?

- Egyes tudósok úgy vélik, hogy az ősidőkben Naprendszerünkben létezett egy kilencedik bolygó is, melynek **Phaeton** volt a neve. *Nos, ha valóban létezett, vajon mi történt ezzel a bolygóval? Kozmikus katasztrófa áldozatául esett? Vagy valami másról lehet szó?*



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Phaeton – az egykor volt 9. (5.) bolygó?



- A Phaetonról és halálos kirándulásról szóló legenda a **mítoszok korába nyúlik vissza**: **Phaeton** már ifjúként szorgalmasan gyakorolta a **kocsihajtás** tudományát, mivel isteni *atyját, Hélioszt akarta utánozni*, aki nap mint nap végighajtott szekerével az égbolton, és így gondoskodott az idő egyenletes múlásáról a Földön.

◀ **Ábra:** Rubens így festette meg a halálos zuhanást
Peter Paul Rubens (1577-1640) a Phaeton lezuhanása című olajfestményén mutatja be, hogyan veszíti el Héliosz napisten sarja az uralmát az apjától lopott napszekér felett, és zuhan a halálba. Forrás: <http://www.tudtad.com>

- Ámde Epaphosz, Jupiter (Zeusz) egyik fia gúnyolta az ifjút, és kételkedett isteni származásában. Hogy véget vessen a rágalmozásoknak, Phaeton azt kérte apjától, hogy egy napig ő irányíthassa a Nap szekerét. Apja megtagadta kérését, mivel még nem találta elég felkészültnek a fiút, aki azonban egy óvatlan pillanatban ellopta a napszekeret. Ám amint a lovak észrevették, hogy nem gazdájuk tartja a lószerszámot, letértek az idő és tér jól megalkotott égi pályáiról. A Nap szekere túlságosan közel került egyes csillagképekhez, és olyan erősen felmelegítette azokat, hogy elhagyták az univerzumban kijelölt pályájukat.

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Phaeton – az egykor volt 9. (5.) bolygó?

- Phaeton ekkor a Föld felé menekült, ez viszont bolygónkon okozott hatalmas forróságot. A növény- és állatvilág elégett, a Föld lángok martalékává vált.
- Az istenek **Jupiterhez** fordultak segítségért, aki *villámait a napszekerre hajította*. Ekkor Phaeton elveszítette egyensúlyát, az Eridanusz folyóba zuhant és meghalt.
- A Földön csak lassan újjult meg az élet. Végül Jupiter kijavította a megrongált égboltot és földet, a fájdalomtól megtört Héliosz pedig kocsihajtóként ismét munkába állt.



<https://www.pinterest.ca>



<http://mohalibrahim.blogspot.com/>

▲ **Ábra:** Jupiter

◀ **Ábra:** Héliosz



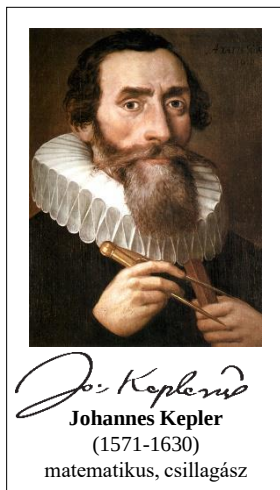
<https://www.thinglink.com>



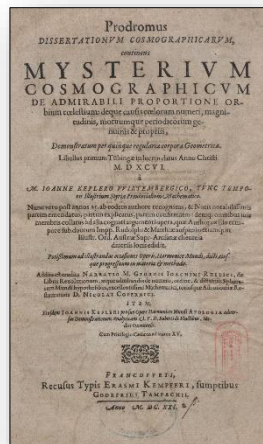
A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Phaeton – az egykor volt 9. (5.) bolygó?

- A monda mellett már az antik szerzőkre is az a feltevés gyakorolta a legnagyobb hatást, miszerint **egykor egy tüzes üstökös hullott a Földre**, hatalmas katasztrófát okozva.
- Egyes csillagászok szerint hajdan egy nagybolygó – a Phaeton – keringett a Mars és a Jupiter pályája között. A térségben található aszteroidákat ennek feldarabolódásából származtatják. Szerintük a bolygó széthullását a Jupiter erős gravitációs hatása okozhatta. Ám ennek az eseménynek a Naprendszer nagyon korai időszakában, milliárd évekkel ezelőtt kellett bekövetkeznie.
- Mások szerint éppen a Jupiter zavaró hatása miatt az itt keringő anyag sohasem tudott nagyobb bolygótestté összeállni. Valószínűbb, hogy nekik van igazuk, és a Phaeton sohasem létezett.



- Az első, akinek feltűnt, hogy a Naprendszerben egy „hézag” mutatkozik a bolygópályák között, a német csillagász, **Johannes Kepler** volt. Hitt abban, hogy Isten valamiféle geometriai elv szerint teremtette meg a világegyetemet.



- Megállapította, hogy a bolygók egymás közötti távolsága matematikai összefüggések szerint alakul. Ennek alapján 1596-ban kiadott **„Mysterium Cosmographicum”**-ban megfogalmazta, hogy Mars és Jupiter között léteznie kell egy addig még fel nem fedezett bolygónak.

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Phaeton – az egykor volt 9. (5.) bolygó?

- Kepler és követői számára rejtély maradt a Mars és a Jupiter között tátongó űr, amelyet csak kisbolygók egy csoportja, a jelenlegi aszteroidaöv tölt ki.



➤ *Elképzeltető-e, hogy itt valaha egy bolygó keringett, mielőtt ismeretlen körülmények között felrobbant vagy darabjaira esett, óriási kőtömbökből álló romhalmazzá hagyva maga után?*

- Egy másik érdekes csillagászati szabályszerűség is erre látszik utalni. Ez a **Titius-Bode-féle sor**. 1772-ben **Johann Daniel Titius** fogalmazta meg elsőként, hogy a bolygópályák méretei milyen szabályszerűség szerint növekszenek a Naptól való távolság függvényében. Ezt öntötte matematikai formába később **Bode**, a berlini csillagvizsgáló igazgatója.
- A Titius-Bode-féle matematikai összefüggésnek azonban nincs elfogadható égimechanikai magyarázata, a bolygópályák kialakulását a keringési idő rezonanciái határozzák meg. A Titius-Bode-féle számsor „véletlen” összefüggésben van a bolygópályák méretével, és ezek közül is csak a Naphoz közelebb keringőkre igaz.
- Az azonban kétségtelen, hogy a Mars és a Jupiter közötti távolság kétszer akkora, mint amekkora a szabályszerűség szerint lehetne. **Hiányzik tehát egy bolygó, mint ahogy azt már Kepler is megállapította. Talán a Phaeton volt az.**

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

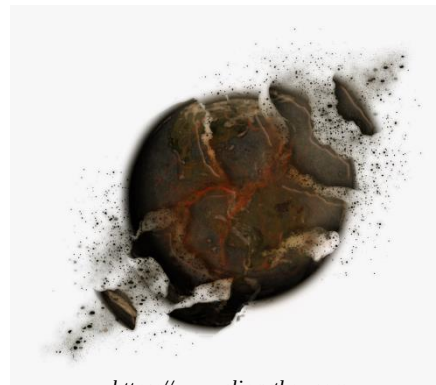
Phaeton – az egykor volt 9. (5.) bolygó?

- Ha a Phaeton itt keringett 300-350 millió km-nyire a Naptól, akkor **helyzete nem volt túl kedvező az élet kialakulása és fejlődése szempontjából**. **Annak az ökoszférának a szélén helyezkedett el ugyanis, amelyet a Naprendszerünk élettónájaként tartanak számon**. A földihez hasonló evolúció csupán ezen a sávon belül lehetséges, ugyanis a Napnál ennél távolabb túlságosan hideg, közelebb pedig túlságosan meleg van. Ha létezett is valaha itt egy nagyobb méretű bolygó, bizony, elég mostoha állapotok uralkodhattak a felszínén.
- Távcsővel szemlélve a Holdat, rengeteg krátert látunk a felszínén. Ezek hatalmas kozmikus bombázások nyomai: a Holdba csapódó meteorok, aszteroidák és üstökösök hozták létre őket. Hasonló a helyzet valamennyi szilárd felszínű bolygó esetében is. A Naprendszer keletkezését követően ugyanis nagyon sok törmelék keringett a bolygópályák között. Ezek csapódtak be a már kialakult nagyobb égitestekbe.



<https://hu.trashplanetdiy.com>

- Gigantikus ütközések is történhettek, valószínűleg egy ilyen esemény szakította ki Földünk testéből a Holdat, illetve zúzott szét nagyobb égitesteket. *Talán a Phaeton is egy ilyen katasztrófa áldozata lett?*



<https://www.clipartkey.com>

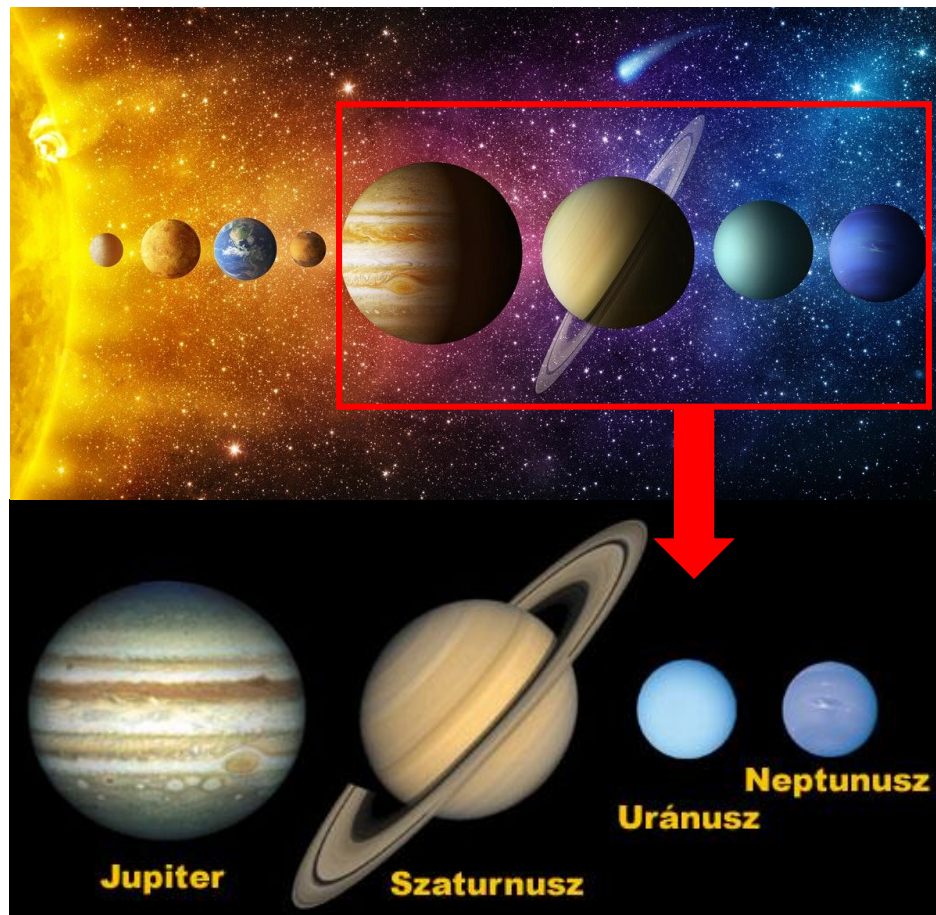
A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Jupiter-típusú bolygók

- A **Jupiter-típusú bolygók** legfontosabb összehasonlító adatai a táblázatban olvashatók.

Táblázat: A Jupiter-típusú bolygók legfontosabb összehasonlító adatai, Összeállította: *Gyenezse P.*

	Jupiter	Szaturnusz	Uránusz	Neptunusz
Átmérő (Föld = 1)	11,2	9,4	4	3,9
Tömeg (Föld = 1)	318	95	14	17
Sűrűség (g/cm ³)	1,3	0,7	1,3	1,6
Átlagos naptávolság (Föld = 1)	5,2	9,6	19,1	30,2
Keringési idő (Föld = 1)	11,8	29,5	84	164,8
Tengelyforgási idő (földi nap, óra)	9,8 óra	10,2 óra	10,7 óra	15,8 óra
Holdak száma (db)	63	61	27	13



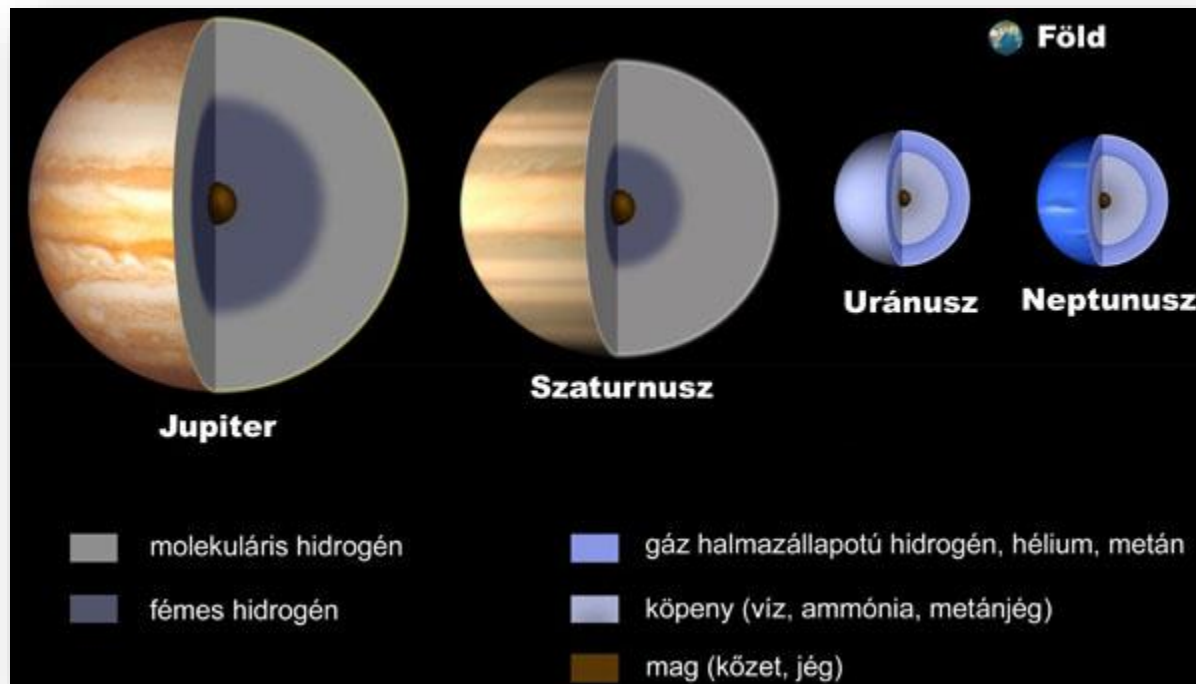
▲ **Ábra:** A Jupiter-típusú bolygók méretarányos képe

Forrás: *nasaimages.org*

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Jupiter-típusú bolygók – Felépítés

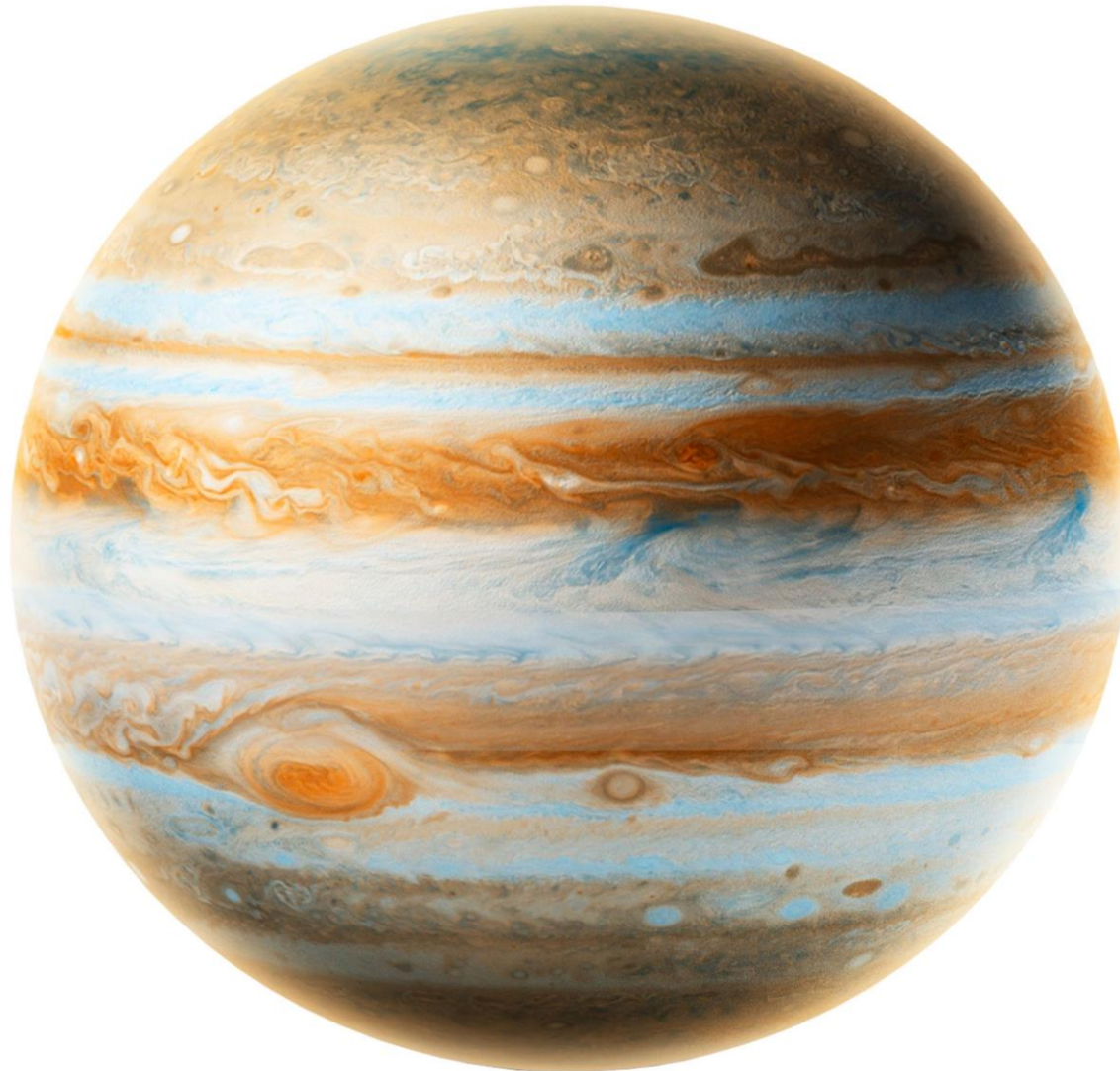
- A Jupiter-típusú bolygók belső felépítéséről nincs közvetlen mérés, csak *modellszámítások* (ábra). Ezek a bolygók is **réteges szerkezetűek**, azonban **kis átlagsűrűségükből következik**, hogy a felépítésükben **a kőzetek és fémek alárendelt szerepet játszanak a gázokhoz képest**.



▲ **Ábra:** A Jupiter-típusú bolygók belső szerkezete
Forrás: *nasaimages.org* alapján

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Jupiter-típusú bolygók – Felépítés – (5.) Jupiter



▲ **Ábra:** Jupiter, az ötödik bolygó a Naptól

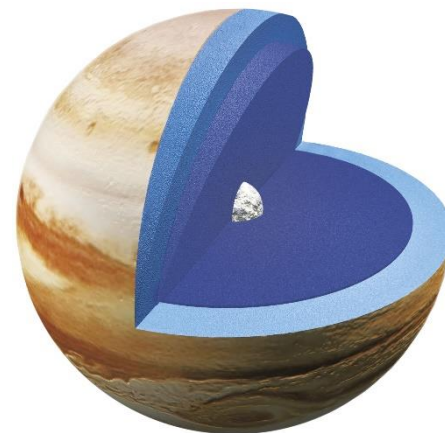
Forrás: <https://www.dkfindout.com/uk/space/solar-system/jupiter>

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Jupiter-típusú bolygók – Felépítés

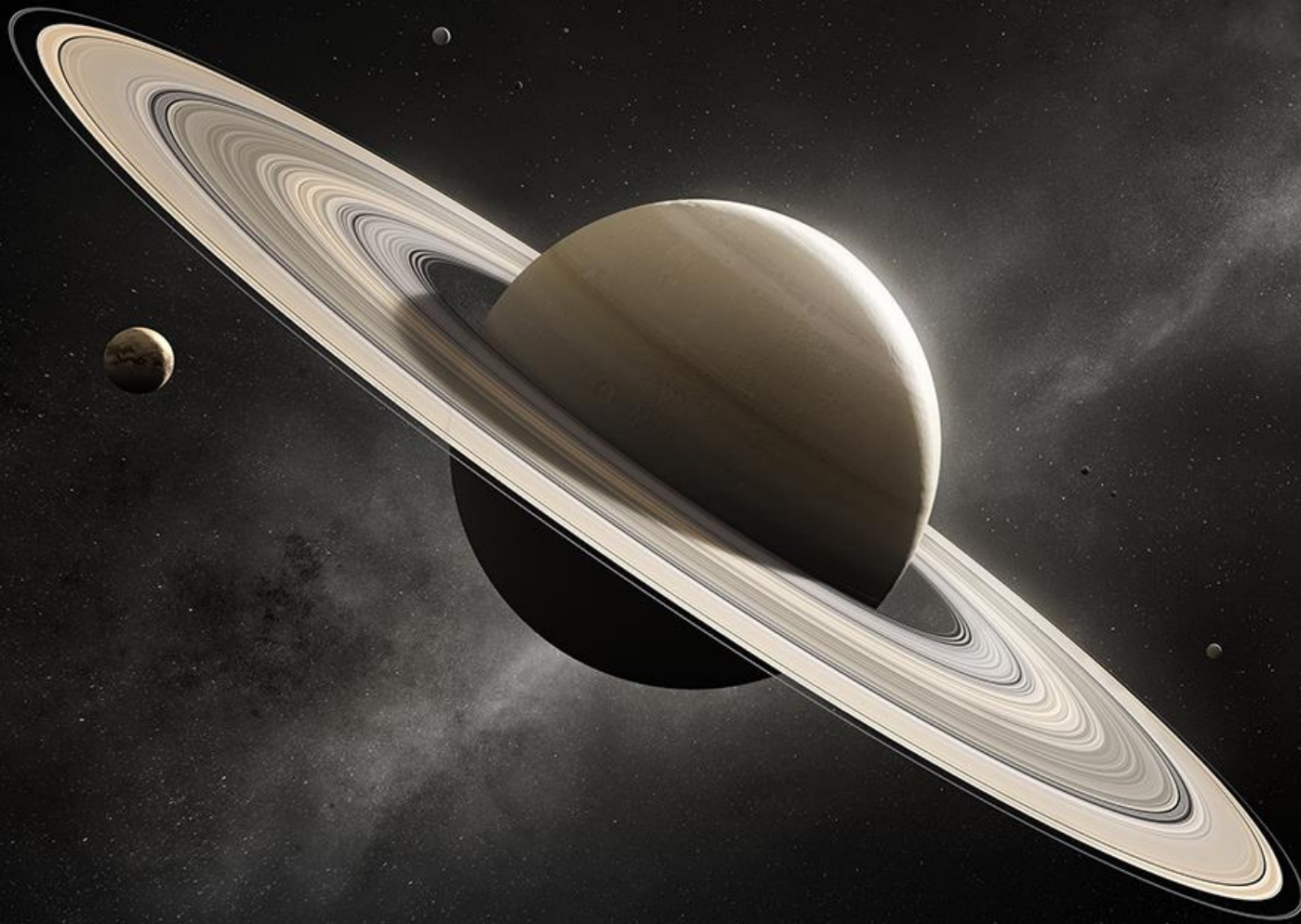


- A *Jupiter* a Nap után a második legnagyobb tömegű és átmérőjű égitest a Naprendszerben. Ha összegyűrnánk az összes többi nagy-, törpe-, kisbolygót, holdat, üstököst stb., akkor sem kapnánk még egy ekkora égitestet. A kis átlagsűrűsége alapján valószínűsíthető, hogy **anyagának döntő része gáz**, mégpedig *hidrogén* és *hidrogéntartalmú vegyületek*, valamint *hélium*.
- A legkülső rétege egy kb. **1.000 km vastag gáz halmazállapotú légkör**, ami a Földről is jól megfigyelhető. Ennek hőmérséklete 140-230 K. Alatta, a légnyomás fokozódása miatt *cseppfolyós állapotú*, kb. **24.000 km vastag molekuláris hidrogén övezet** húzódik. A nyomás és a hőmérséklet további emelkedésével a hidrogén molekulák szétszakadnak, az elektronjaik szabadon áramlanak. Mivel itt a folyékony gáz elektromosan vezetővé válik, ezért ennek **30-35.000 km vastag rétegnek az anyagát fémes hidrogénnek** nevezzük. A bolygó középpontjában egy kb. **10-30 földtömegű vas-szilikát mag** foglal helyet, melynek hőmérséklete a 30.000 K-t is eléri.
- A Jupiter a mérések szerint mintegy **kétszer annyi hőt bocsát ki, mint amit a Naptól kap**. Ezt a keletkezése óta megőrzött plusz hővel, vagy a bolygótest nagyon lassú összehúzódásával szokás magyarázni.
- A Nap után a Jupiter rendelkezik a **legerősebb mágneses térrel**, ami a gyorsan forgó bolygó fémes hidrogén zónájában lejátszódó, **dinamóelvű folyamattal magyarázható**.



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

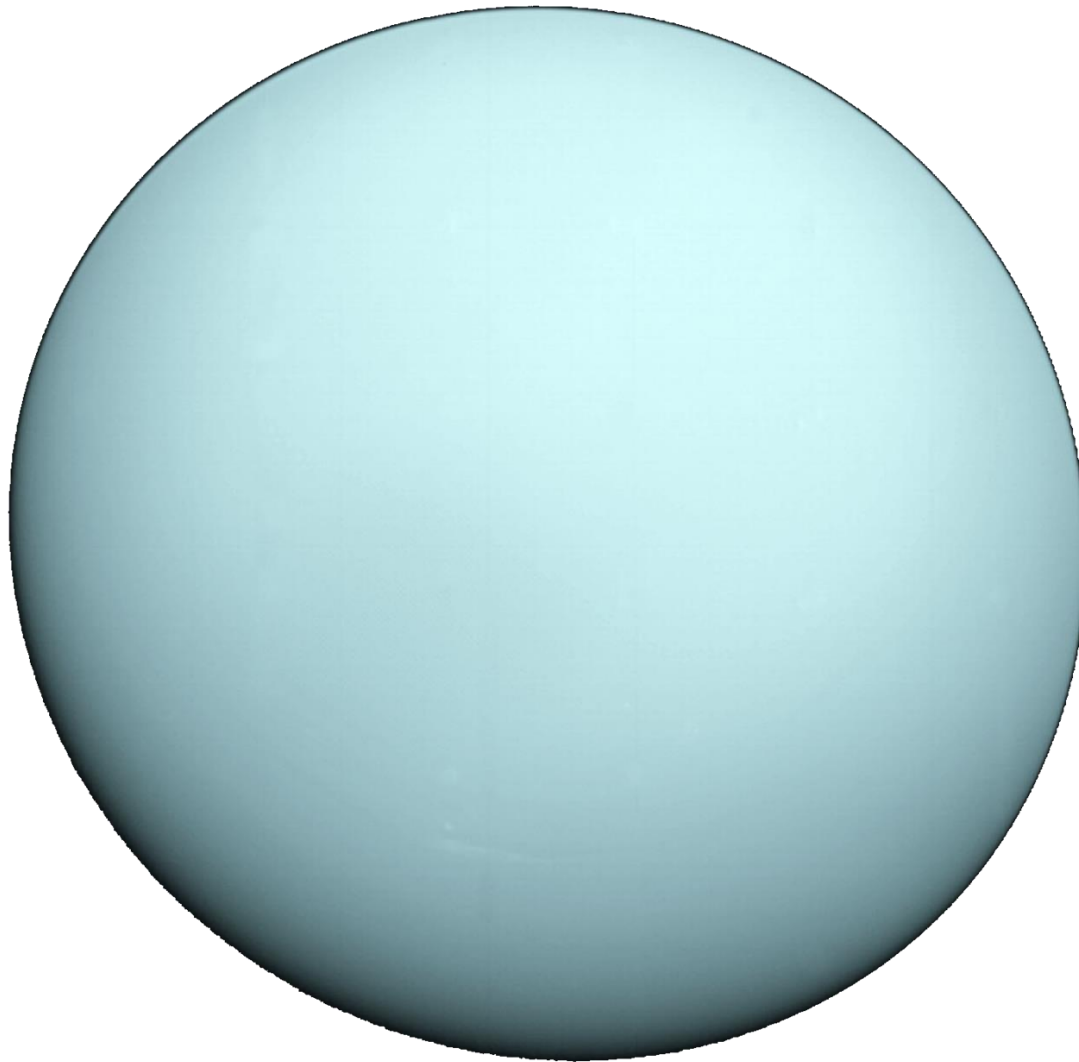
Jupiter-típusú bolygók – Felépítés – (6.) Szturnusz



▲ **Ábra:** Szturnusz, a hatodik bolygó a Naptól
Forrás: <https://science4fun.info/jupiter>

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Jupiter-típusú bolygók – Felépítés – (7.) Uránusz



▲ **Ábra:** Uránusz, a hetedik bolygó a Naptól
Forrás: <https://en.wikipedia.org/wiki/Uranus>

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Jupiter-típusú bolygók – Felépítés – (8.) Neptunusz

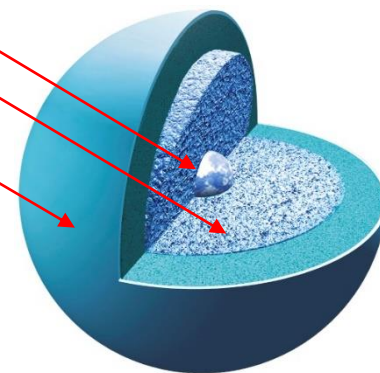
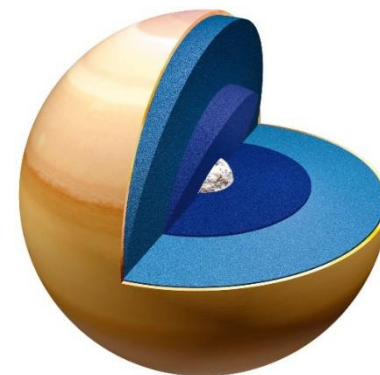
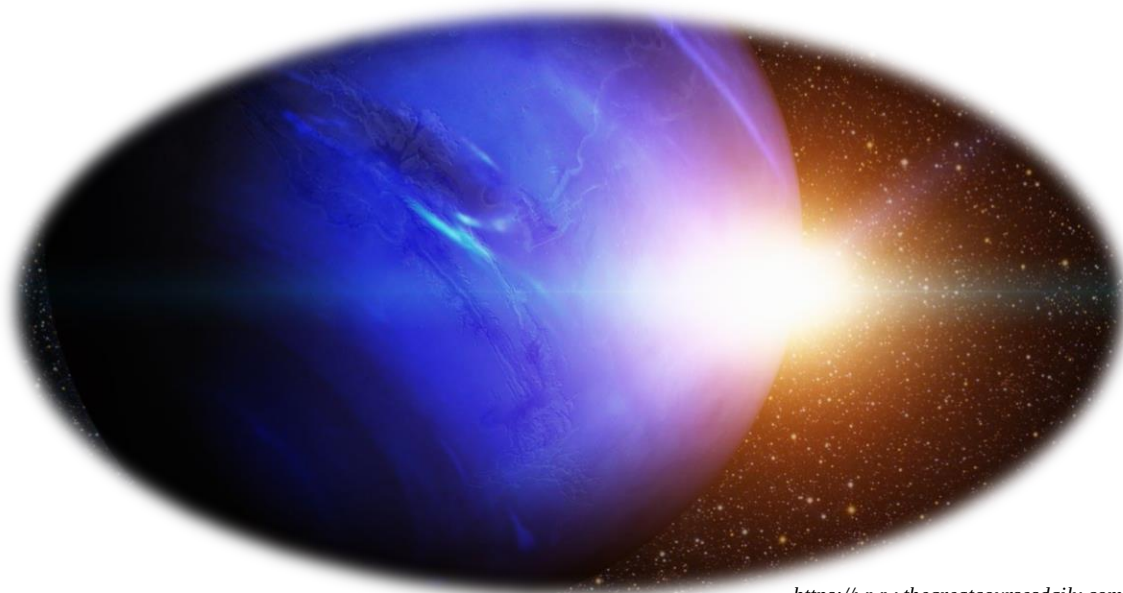


▲ **Ábra:** Neptunusz, a nyolcadik bolygó a Naptól
Forrás: <https://remnantsofearth.fandom.com/wiki/Neptune>

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Jupiter-típusú bolygók – Felépítés

- A **Szturnusz** felépítése lényegében megegyezik a Jupiterével. Egyedüli jelentős különbségként a központi **vas-szilikát mag** **kisebb méretét és tömegét** kell kiemelni, ami azt eredményezi, hogy **bolygó sűrűsége kisebb, mint a vízé** ($0,7 \text{ g/cm}^3$).
- Az **Uránusz** és a **Neptunusz** egy kicsit más belső felépítéssel rendelkezik. Valószínűleg **mindkettőnek kb. 3 földtömegű vas-szilikát magja van**, amit **vastag víz-, metán- és ammóniajégből álló burok** vesz körbe. Ez utóbbi adja a bolygók fő tömegét. A gáz halmazállapotú **légkörük** **elsősorban hidrogénből, héliumból és metánból áll**. A modellek szerint a mag és a jégkéreg között nincs éles határ, sőt ezek részben folyékonyak lehetnek.

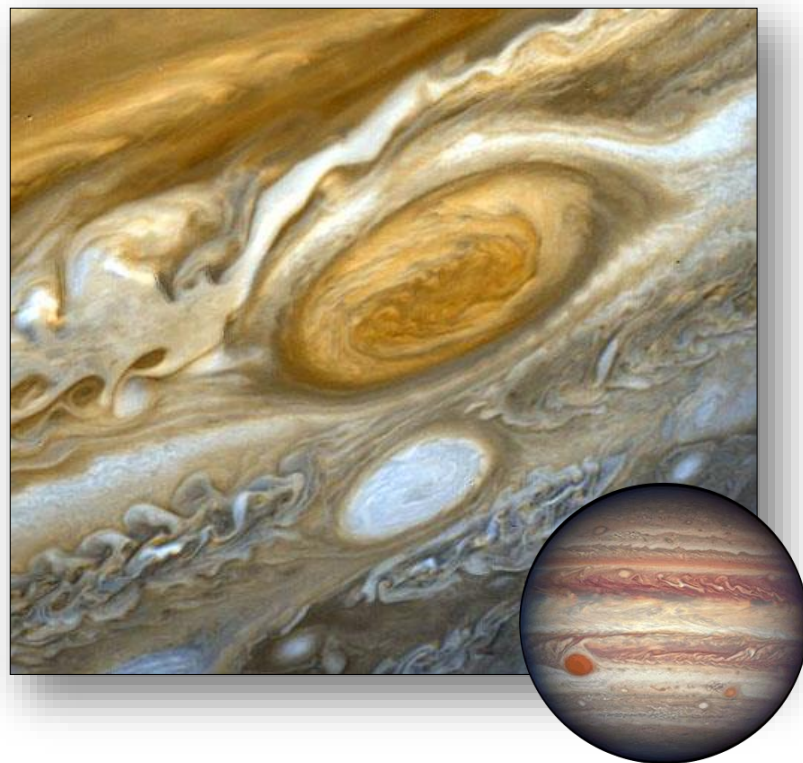


A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Jupiter-típusú bolygók – Légköri képződmények

- A Jupiter-típusú bolygóknak csak a *légkörük felső rétegéről készültek megfigyelések* az elmúlt évszázadokban. A legtöbb részlet a Jupiter és a Szaturnusz légkörében látható.
- A **gáz égitestek** (Jupiter-típusú bolygók, csillagok) fontos jellemzője, hogy nem egyenletes sebességgel, hanem **az egyenlítőtől a pólusok felé haladva egyre lassabban forognak a tengelyük körül** (ez az ún. *differenciális rotáció*). Ez a különbség pl. a Jupiter esetében mintegy 5 percet tesz ki, ami hosszú távon **elősegítette a légkör sávos szerkezetének kialakítását**. Az egyenlítővel párhuzamosan sávok és övek váltják egymást. A **sávok** sötétebbek, **kéntartalmú vegyületek miatt barnás színűek**. Az **övek** az **ammónia kristályok miatt fehérek**.
- Elsősorban a Jupiter légkörében figyelhető meg, hogy **állandóan örvénylik**, állandóan **összekavarodik a gáz a sávok és övek határán**. Ezt a mozgást nagyrészt a belső energiatermelés gerjeszti. A legnagyobb légköri örvény a Jupiter déli félgömbjén évszázadok óta látható **Nagy Vörös Folt**. Ez a Földünkénél 2,5-szer nagyobb ovális anticiklon-szerű képződmény hat nap alatt fordul meg a tengelye körül (ábra).

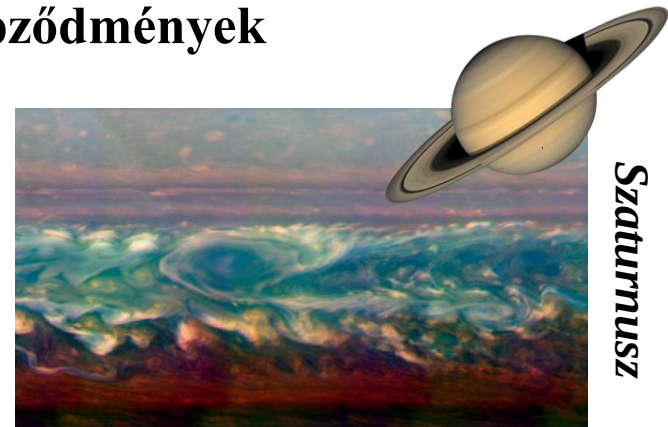
► **Ábra:** A Nagy Vörös Folt és további örvények a Jupiter légkörében (nineplanets.org)



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

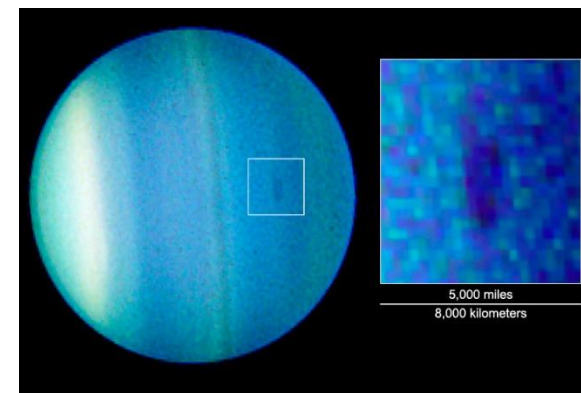
Jupiter-típusú bolygók – Légköri képződmények

- A **Szturnusz** sávos felhőrendszerében csak kevesebb és kisebb örvény látható, mint a Jupiterében. Az űrszondák mérései alapján azonban elmondható, hogy a **leggyorsabb szelek** (kb. 1800 km/h) itt fújnak **a Naprendszerben**.
- Az **Uránusz** légkörében a forgástengely nagy ferdesége miatt alig alakulnak ki az átlagos zöldes színű légkörtől elütő képződmények.
- A **Neptunusz** kékes légkörében szintén **kialakult néhány elmosódott sáv**. A bolygó legfeltűnőbb képződménye a világos felhőkkel keretezett **Nagy Sötét Folt**.



Szturnusz

<http://www.esa.int>



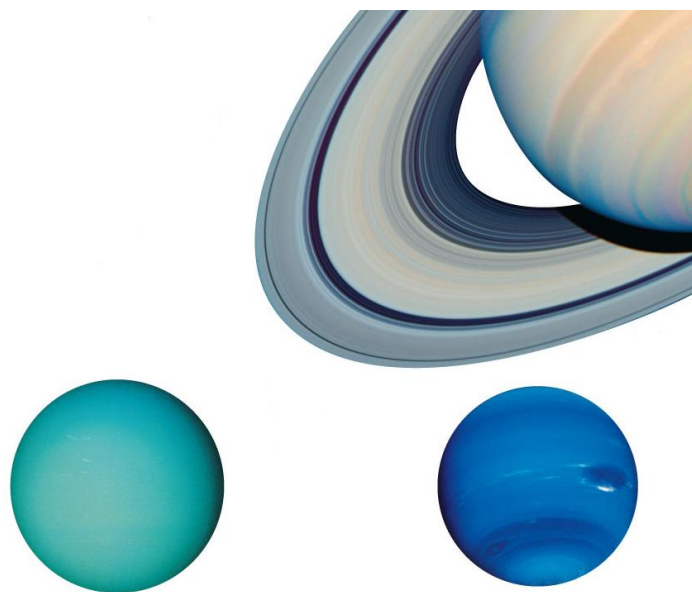
Uránusz

<https://www.universetoday.com>



Neptunusz

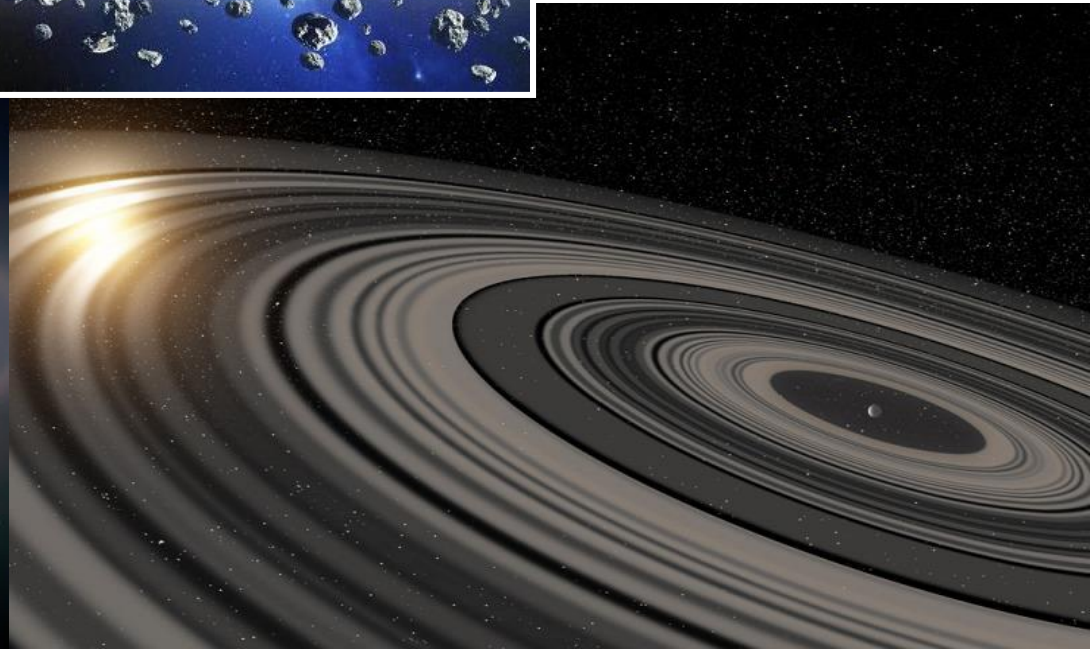
<https://www.space.com>



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Jupiter-típusú bolygók – Gyűrűrendszerek

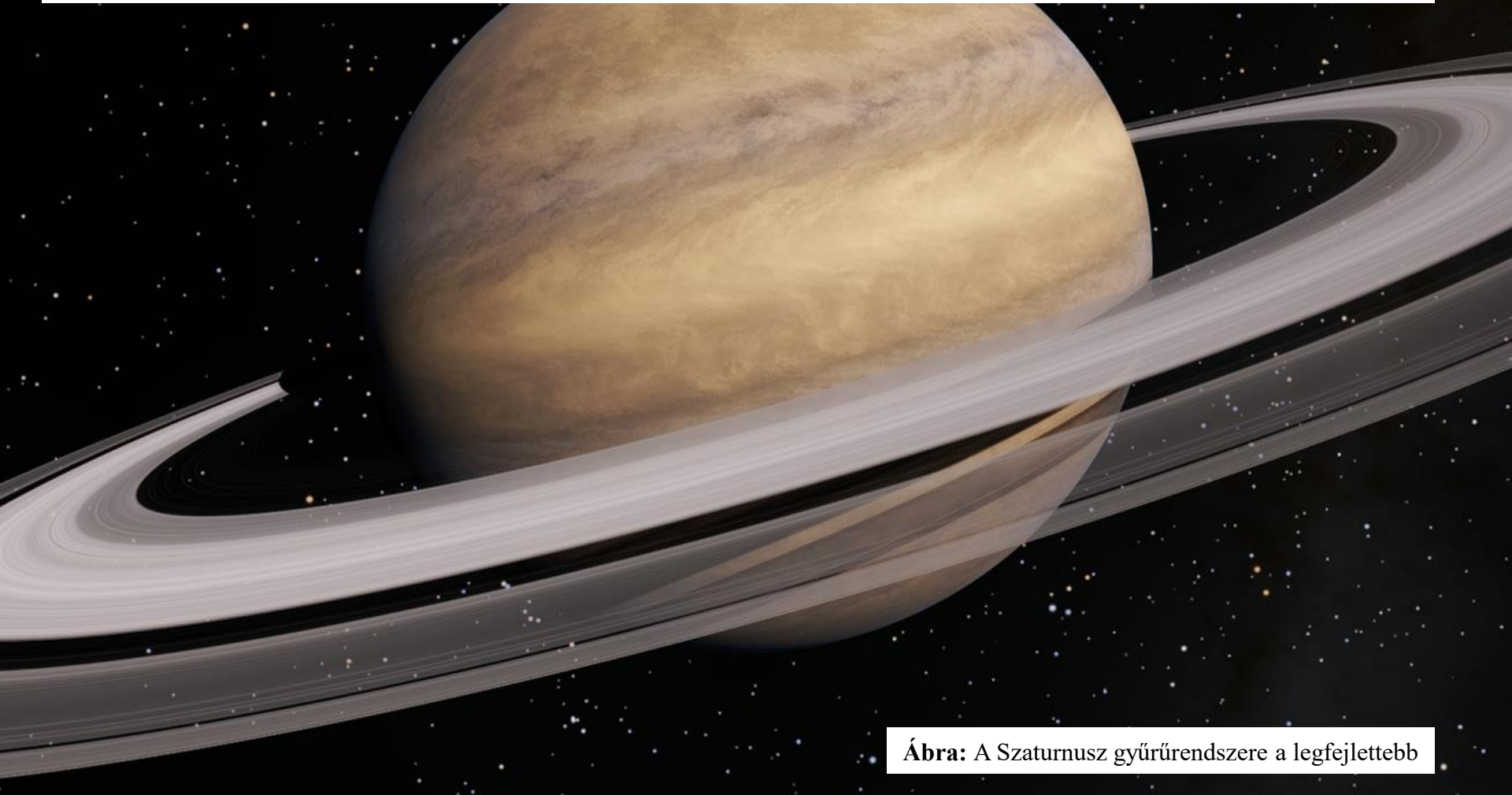
- A Jupiter-típusú bolygók mindegyikének van gyűrűrendszere. Ezek **kisebb-nagyobb törmelékek (kőzet, jég) és részecskék felhőjének tekinthetők**, amelyek *bolygó egyenlítőjének síkjában keringenek* körülötte.
- A gyűrűk csupán néhány **száz méter, esetleg 1-2 km vastagok**. Anyaguk származhat egy, a bolygóhoz túl közel kerülő *egykori hold széteséséből*, vagy a jelenleg is *ott keringő holdak anyagának szétszóródásából*.



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Jupiter-típusú bolygók – Gyűrűrendszerek

- A legtöbb anyagot a Szaturnusz gyűrűi tartalmazzák, amelyek hagyományos távcsövekkel a Földről is jól megfigyelhetők. A gyűrűrendszer *a bolygó középpontjától 500.000 km távolságig* követhető. Az egyes gyűrűcskéket *részek* választják el egymástól, melyeket sok esetben az ott keringő kis holdacskák (az ún. terelőholdak) söpörnek tisztára.



Ábra: A Szaturnusz gyűrűrendszere a legfejlettebb

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Törpebolygók

- Az elmúlt két évtizedben egyre több, a Plutóhoz hasonló méretű objektumot fedeztek fel annak tágabb környezetében, ezért hozta létre 2006-ban a **Nemzetközi Csillagászati Unió** ezt az **égitest-kategóriát**.
- Ide sorolták át a nagybolygók közül a **Plutót**, valamint az először felfedezett kisbolygót, a **Cerest** is.
- Az ún. **Kuiper-objektumok*** közül a 2003-2005 között felfedezett Eris, Haumeia és Makemake kapta meg eddig ezt a címet.

* A **Kuiper-öv** a Neptunusz pályáján kívül található kisbolygóöv (jelenleg kb. 800 objektuma ismert).

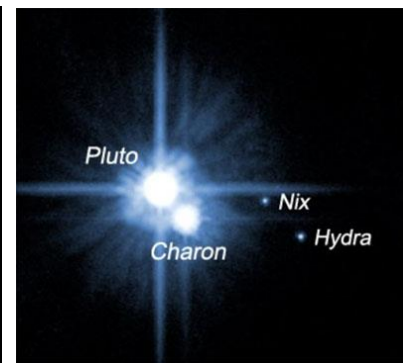


A Nemzetközi Csillagászati Unió (**International Astronomical Union, IAU**) a világ nemzeti csillagászati társaságait egyesítő nemzetközi szervezet. Az IAU biztosítja az égitestek (bolygók, csillagok, aszteroidák) és felszíni formáik egyöntetű, szabványos elnevezéseit. A Nemzetközi Tudományos Tanács tagszervezete. A fő célja a nemzetközi együttműködés segítése a csillagászatban.



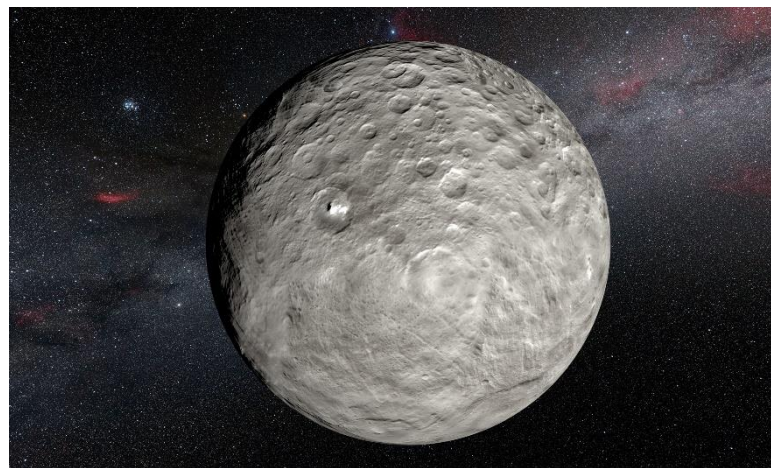
▲ Ábra: Pluto

<https://space.fandom.com/wiki/Pluto>



▲ Ábra: A Pluto és három holdja.

A Charont 1978-ban, a Nixet és Hydrát 2005-ben fedezték fel. Forrás: Hubble űrtávcső felvétele, nasaimages.org



▲ Ábra: A Ceres volt az először felfedezett kisbolygó. Ma már a törpebolygók közé tartozik.

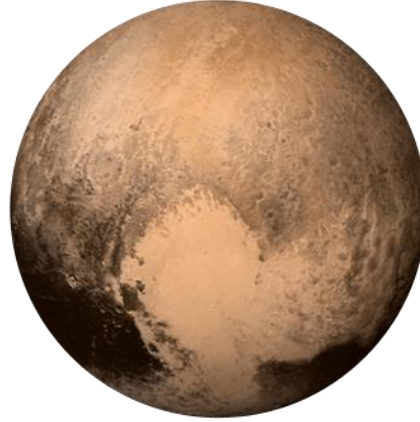
Forrás: <https://www.space.com>

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

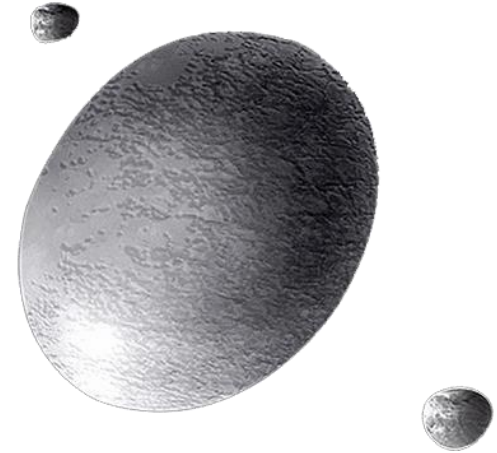
Törpebolygók



Ceres



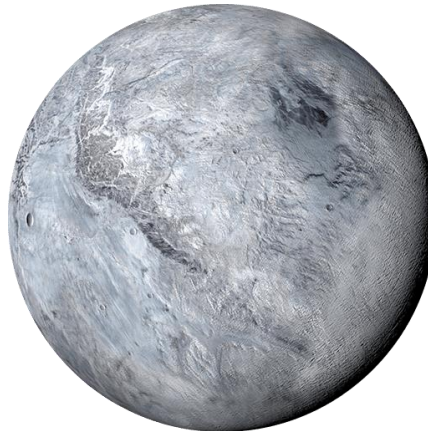
Pluto



Haumea



Makemake



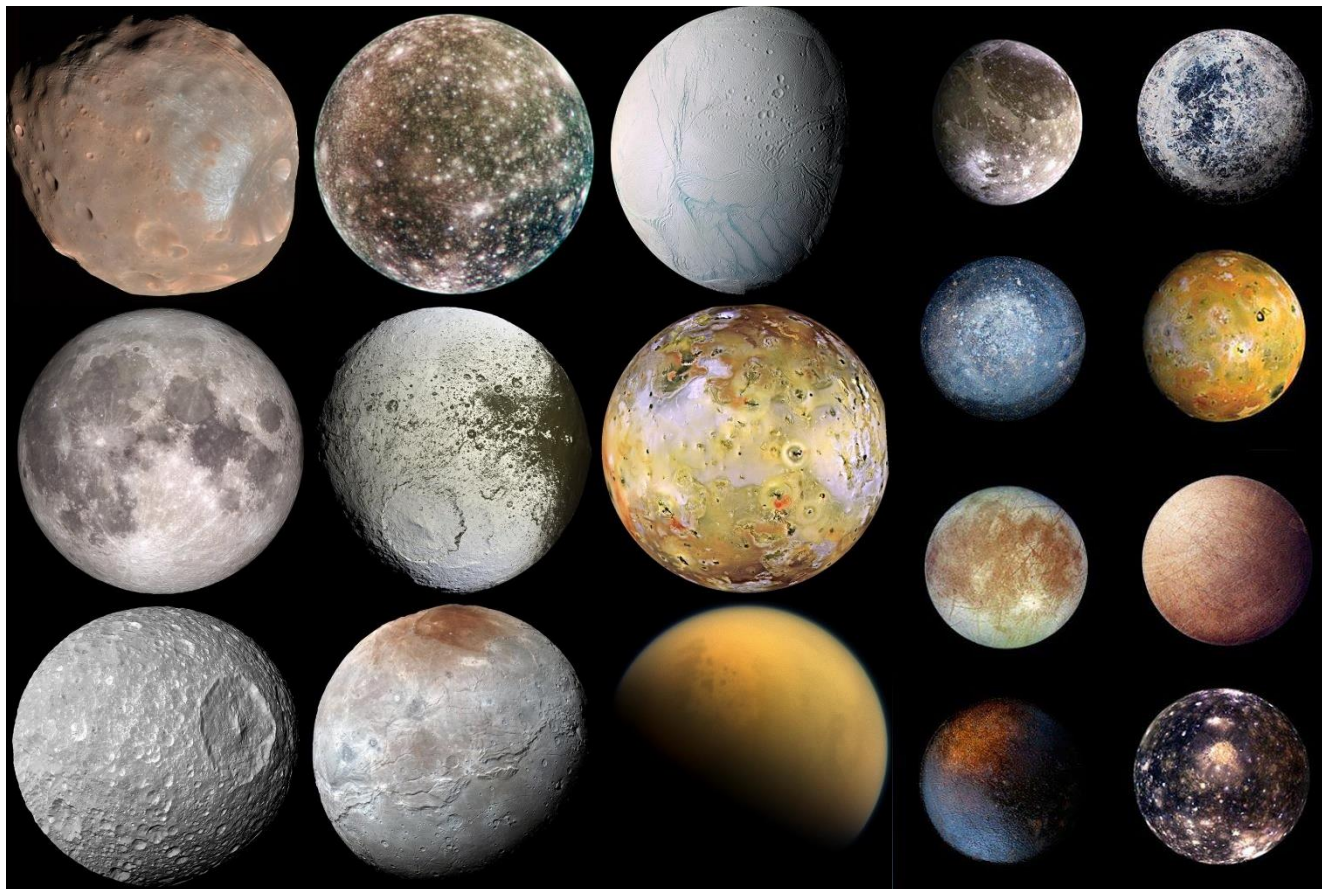
Eris



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Kis égitestek – Néhány érdekes hold

- Hagyományos értelemben **holdaknak** hívjuk **a bolygók körül** (pontosabban a közös tömegközéppont körül) **keringő, természetes eredetű, nagyobb méretű testeket**. A Naprendszer nagybolygói körül **167** számmal, vagy névvel ellátott **hold ismeretes**, de kis- és törpebolygók, valamint Kuiper-objektumok körül is fedeztek már fel ilyen objektumokat.



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Kis égitestek – Néhány érdekes hold

- Az emberiség által először megfigyelt hold a **Hold** (a Föld holdja az egyetlen, aminek nincs külön neve).
- Ez a Nap után a második legfényesebb égitest a Földről nézve, és feltűnő **29,5 napos periódusú „alakváltozása”** is van (újhold, első negyed, telehold, utolsó negyed).



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Kis égitestek – Néhány érdekes hold



▲ **Ábra:** Hold

Forrás: <https://scitechdaily.com>

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Kis égitestek – Néhány érdekes hold

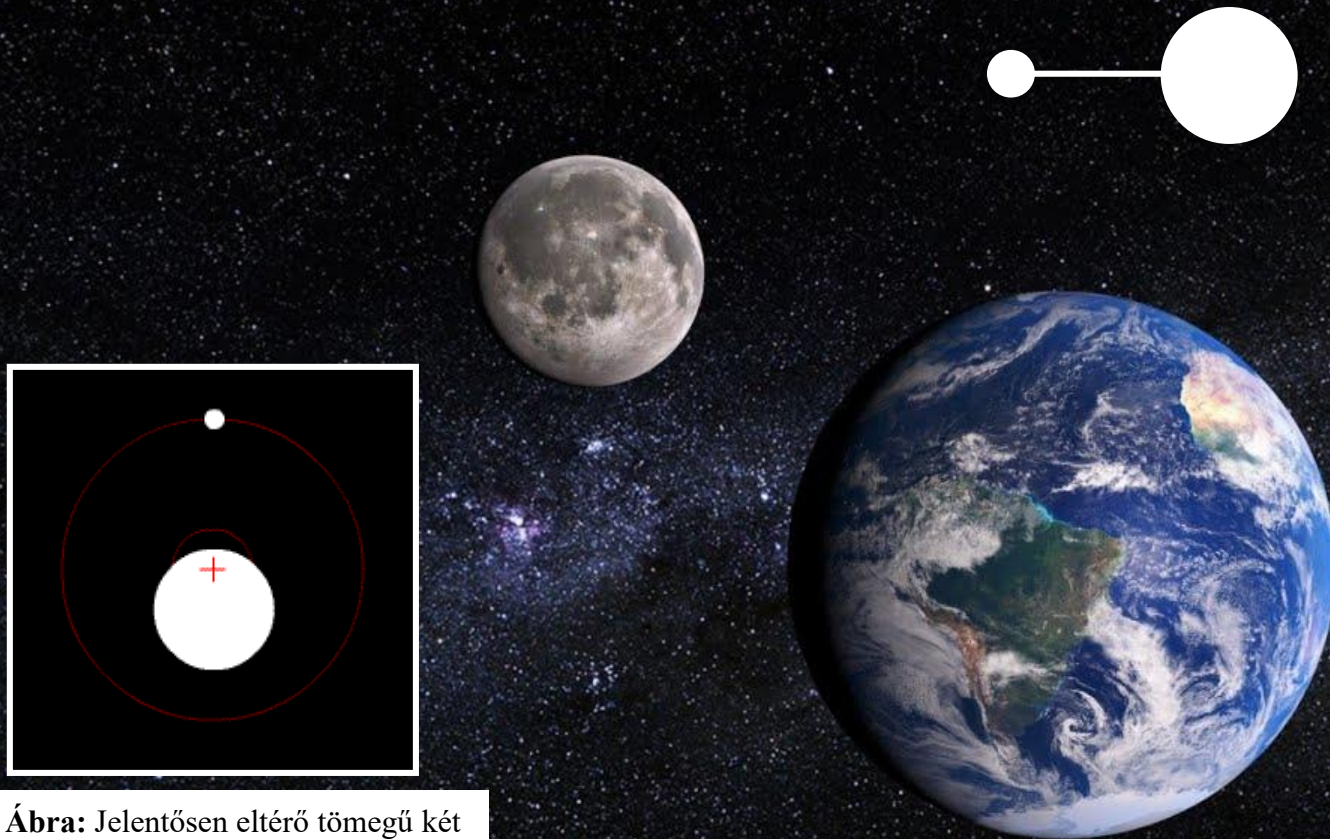
- Már valószínűleg az ősember is figyelembe vette az időszámításhoz ezeket a *fázisokat*, amelyek a naptárunkban hónapok formájában köszönnek vissza (ezeknek azonban ma már nincs köze a Hold járásához).
- A Hold és a Nap gravitációs hatása miatt alakul ki *a tengerek és óceánok periodikus vízszintingadozása*, ami hatással van különböző geológia szempontjából is érdekes jelenségekre (a tengeri élőlények életére, az eróziós és akkumulációs folyamatokra stb.).
- Az *ár-apály jelenség* *három égitest (Nap, Föld, Hold) kölcsönös vonzása*, illetve *egymáshoz viszonyított helyzete miatt* alakult ki bolygónkon.



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Kis égitestek – Néhány érdekes hold

- A két égitest (Föld-Hold) egy óriási, *egyenlőtlen eloszlású súlyzóra hasonlít*, ahol a nagyobb golyó (a Föld) 81-szer nagyobb tömegű. A közös tömegközéppontjuk (baricentrum) így jóval közelebb esik a bolygónk tömegközéppontjához (ábra). Voltaképpen ezen közös tömegközéppontot kerüli meg mind a két égitest. Helytelen tehát azt mondani, hogy a Hold a Föld körül kering!



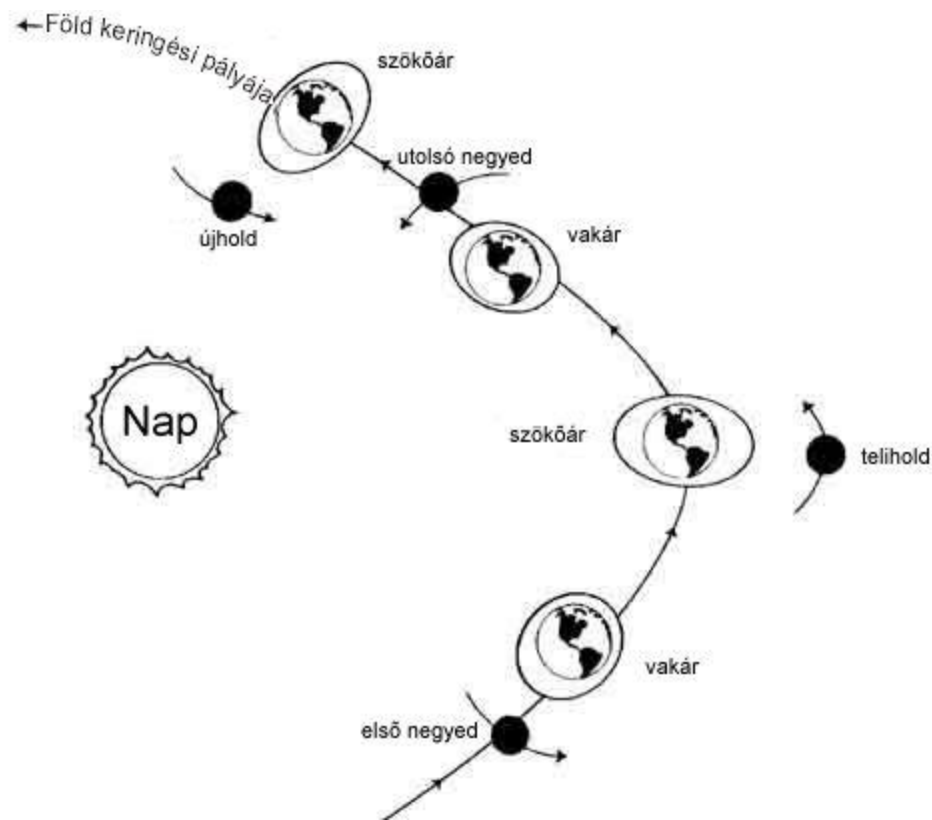
▲ **Ábra:** Jelentősen eltérő tömegű két test kering a közös baricentrum körül (hasonló a Föld-Hold rendszerhez),

Forrás: <https://hu.wikipedia.org>

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Kis égitestek – Néhány érdekes hold

- A földi tengerekben és óceánokban két **dagálypúp** alakul ki a bolygó két ellentétes oldalán a Hold pályasíkjában (köztük apály van). Az egyik dagálypúp a **Hold** felőli oldalon, annak **gravitációs vonzása** miatt jön létre. A Föld Holddal ellentétes oldalán, a bolygónknak a baricentrum körüli keringése miatt ébredő **centrifugális erő** „lendíti ki” a hidroszférát, dagálypúpot alkotva. Ha tehát csak a Föld–Hold rendszert vesszük figyelembe, akkor naponta két dagálynak és két apálynak kellene bekövetkezni, kb. hatóránként váltva egymást.



- Azonban a **Nap gravitációs hatása** ezt a folyamatot hol erősíti, hol pedig gyengíti. Amikor a **három** tárgyalt **égitest közel egy vonalban helyezkedik el (újhold, telehold), akkor erősíti (szökőár)**. Amikor a **Nap és a Hold iránya egymással közel 90°-ot zár be a Földről nézve** (első- és utolsó negyed), **akkor gyengíti (vakár)**. A leírtak elsősorban a két térítő között érvényesülnek.
- Meg kell említeni, hogy **a dagály késik a Hold deleléséhez képest**, tehát pl. **a legmagasabb vízállás a telehold delelése után kb. egy órával mérhető**. Ez a szilárd kéreg (tengerek és óceánok medencéje) és a hidroszféra között fellépő súrlódásnak köszönhető. A Föld ugyanis kelet felé forogva lassítja a dagálypúp nyugat felé való (a Hold napi látszólagos mozgását követő) haladását. Természetesen ez fordítva is igaz, azaz éves szinten a jelenség 0,0029 másodperccel lassítja a Föld forgását, ami kimutatható hatással volt az elmúlt földtörténeti korok élőlényekre is.

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Kis égitestek – Néhány érdekes hold

- A Hold átmérője a Földének kb. negyede (3.476 km), tömege pedig csak 1,2 %-a, ami miatt hamarabb **kihűlt és kigázosodott**. A korábbi aktív időszakra ma már csak a bazalt lávával előntött, tengereknek nevezett, sötét síkságok és a kis vulkáni dombok utalnak.
- Légkör, folyadékszféra és élet híján **felszínét 3 milliárd év óta már csak a meteorikus becsapódások alakítják**. Ennek köszönhetően **felülete kráterekkel sűrűn borított**, amelyek már egy kis távcsővel is könnyen megfigyelhetők.



▲ **Ábra:** A Hold felszínén szabad szemmel nézve is jól elkülöníthetők a sűrűn kráterezett, világos „felföldek” és a sötétebb, bazalt-lávával előntött „tengerek”. Fotó: Gyenizse P.

◀ **Ábra:** Ez az egyetlen égitest a Földön kívül, ahol ember járt (1969-1972 között 6 expedíció során 12 amerikai űrhajós).

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

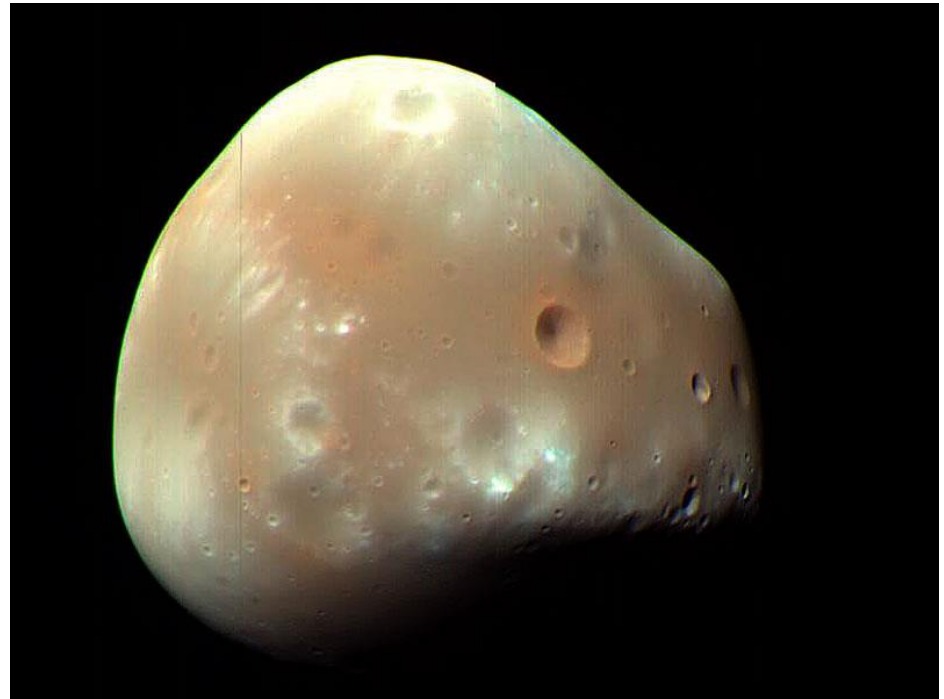
Kis égitestek – Néhány érdekes hold

- A Mars két kis holdacskája **eredetileg kisbolygó lehetett**, amit a nagybolygó a gravitációs erejével térített el, fogott be. A szabálytalan alakú, kráterekkel borított **Phobos** és **Deimos** csupán 28 km, illetve 16 km átmérőjűek.



▲ Ábra: Phobos

Forrás: <https://www.popularmechanics.com>

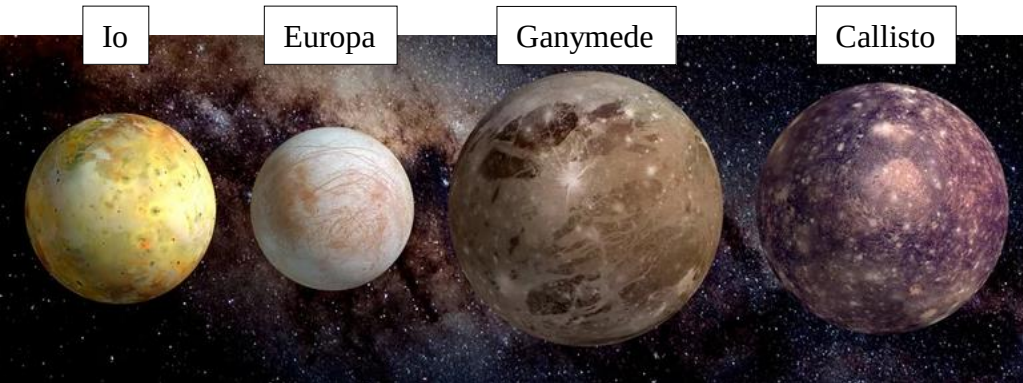


▲ Ábra: Deimos

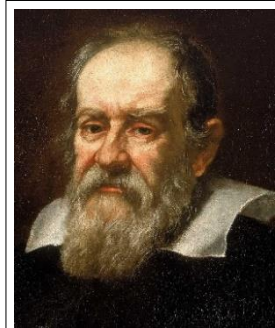
Forrás: <https://apod.nasa.gov>

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

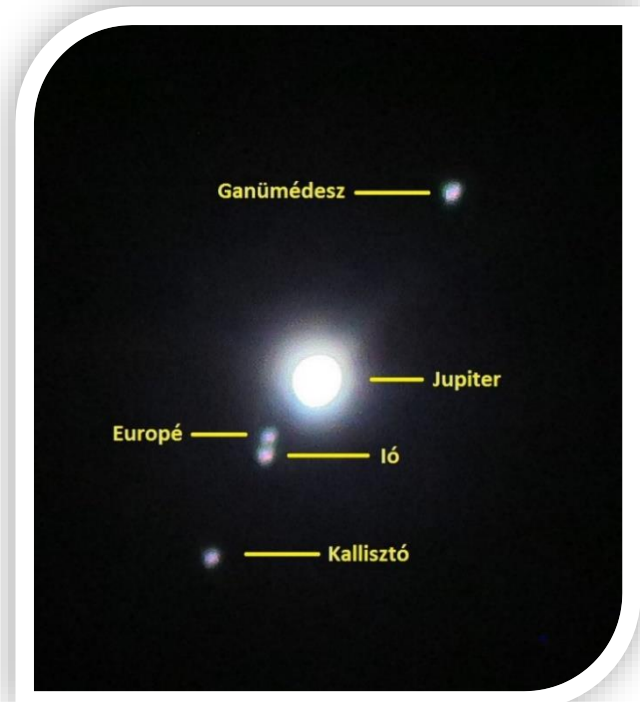
Kis égitestek – Néhány érdekes hold



- A Jupiter 63 db jelenleg ismert holdja közül az ún. **Galilei-féle holdak** (Io, Europa, Ganymedes, Callisto) a legnagyobbak.



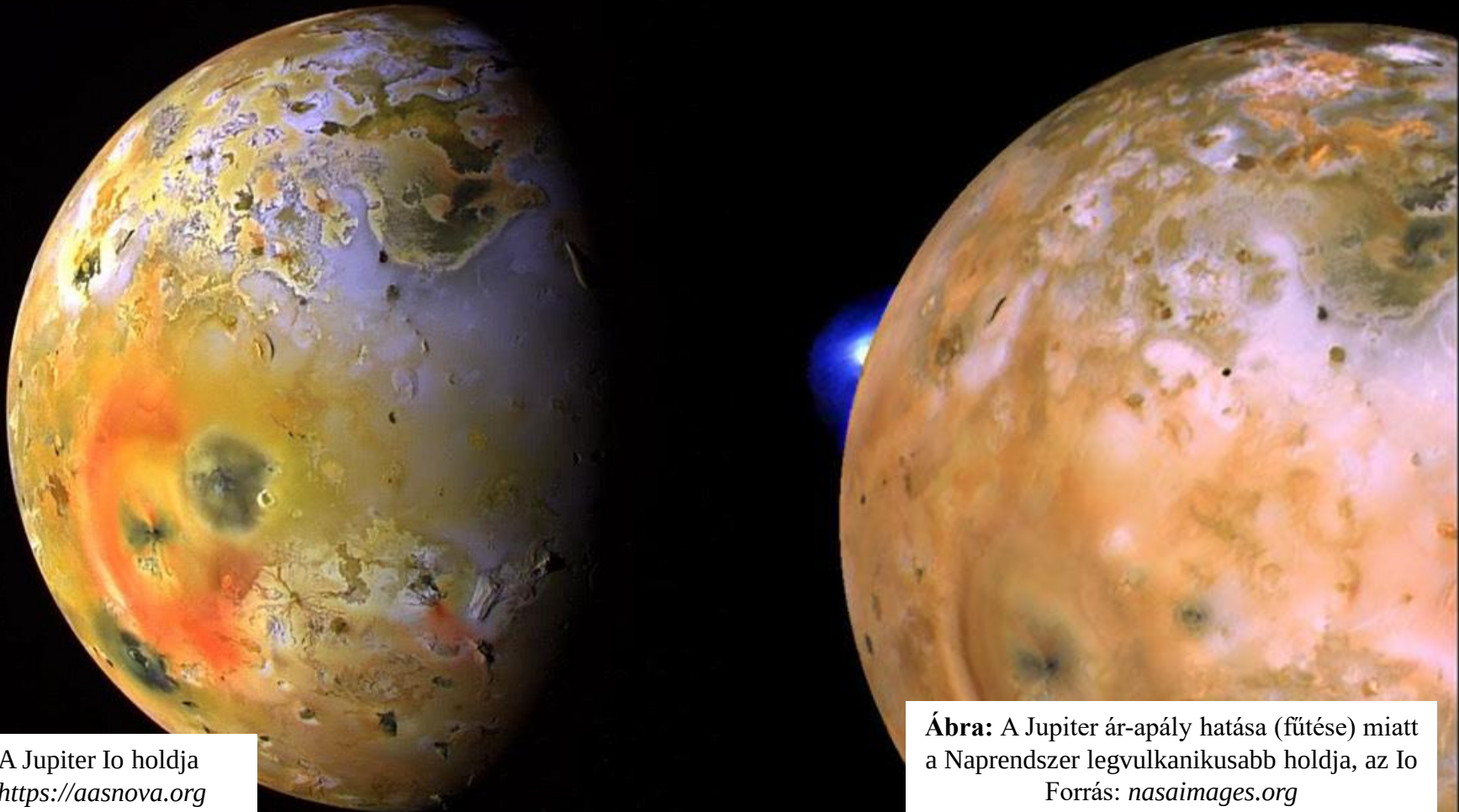
Galileo Galilei
(1564-1642)
Itáliai fizikus, csillagász,
matematikus,
természettudós.



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Kis égitestek – Néhány érdekes hold

- Az **Io** a **legvulkanikusabb hold a Naprendszerben**. A Jupiter árapálykeltő hatása felmelegítette a belsejét és ez a folyamat kénvegyületekben gazdag, illetve szilikátlávát felszínre hozó **vulkánokat működtet** a rajta.



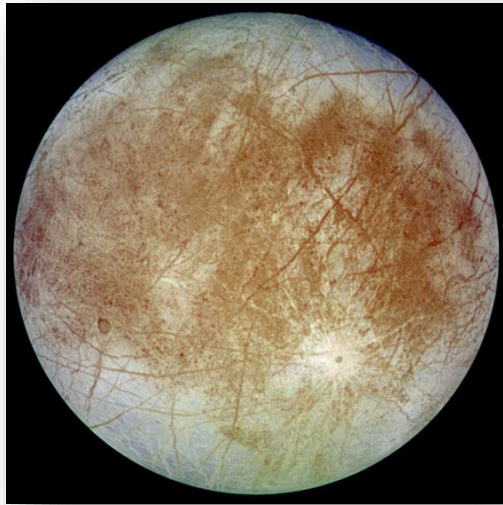
Ábra: A Jupiter Io holdja
Forrás: <https://aasnova.org>

Ábra: A Jupiter ár-apály hatása (fűtése) miatt
a Naprendszer legvulkanikusabb holdja, az Io
Forrás: nasaimages.org

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Kis égitestek – Néhány érdekes hold

- A másik három Galilei-féle hold szilikátos magját **folyékony víz és jég burkolja**. Az említett ár-apály hatás az **Europa** hold jégburkát is megolvasztotta a mélyben, így a 20-50 km vastag fagyott kéreg alatt kb. **200 km mély vízóceán** húzódik. Ezen a holdon **több folyékony víz van, mint a Földön**.

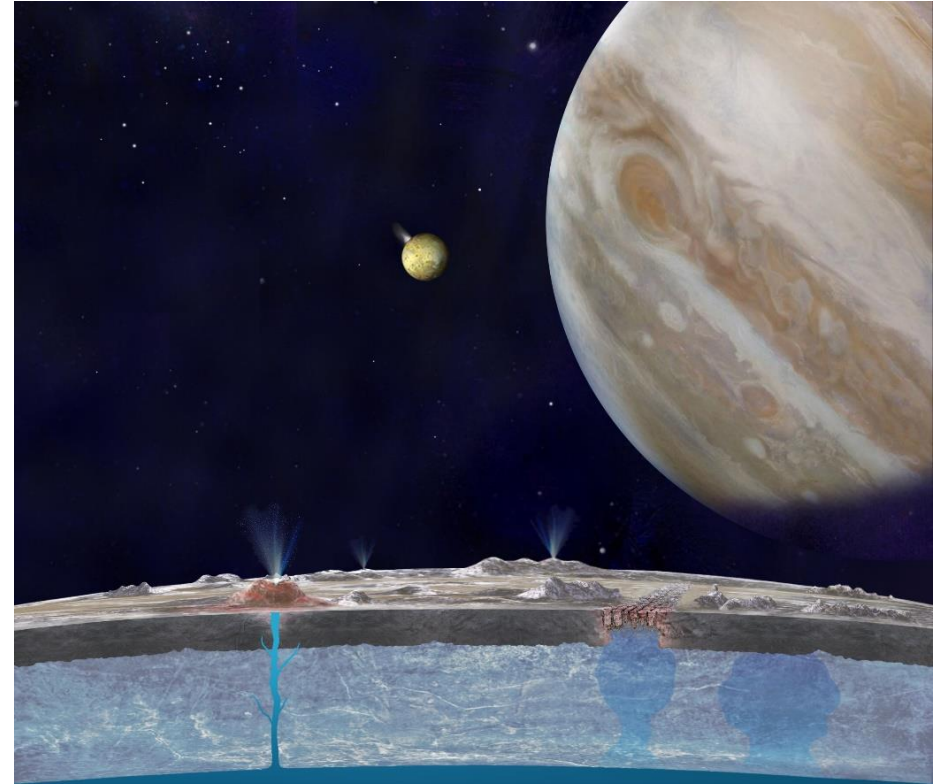


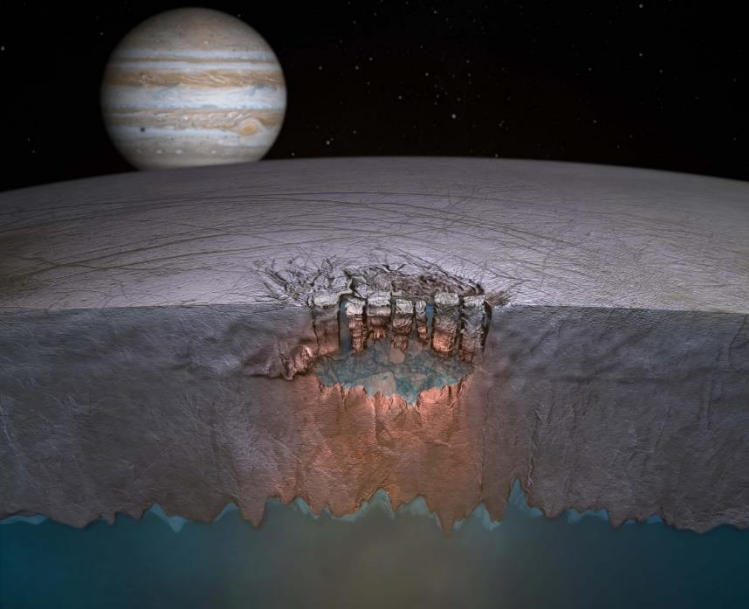
▲ **Ábra:** Europa

Forrás: <https://thenextweb.com>

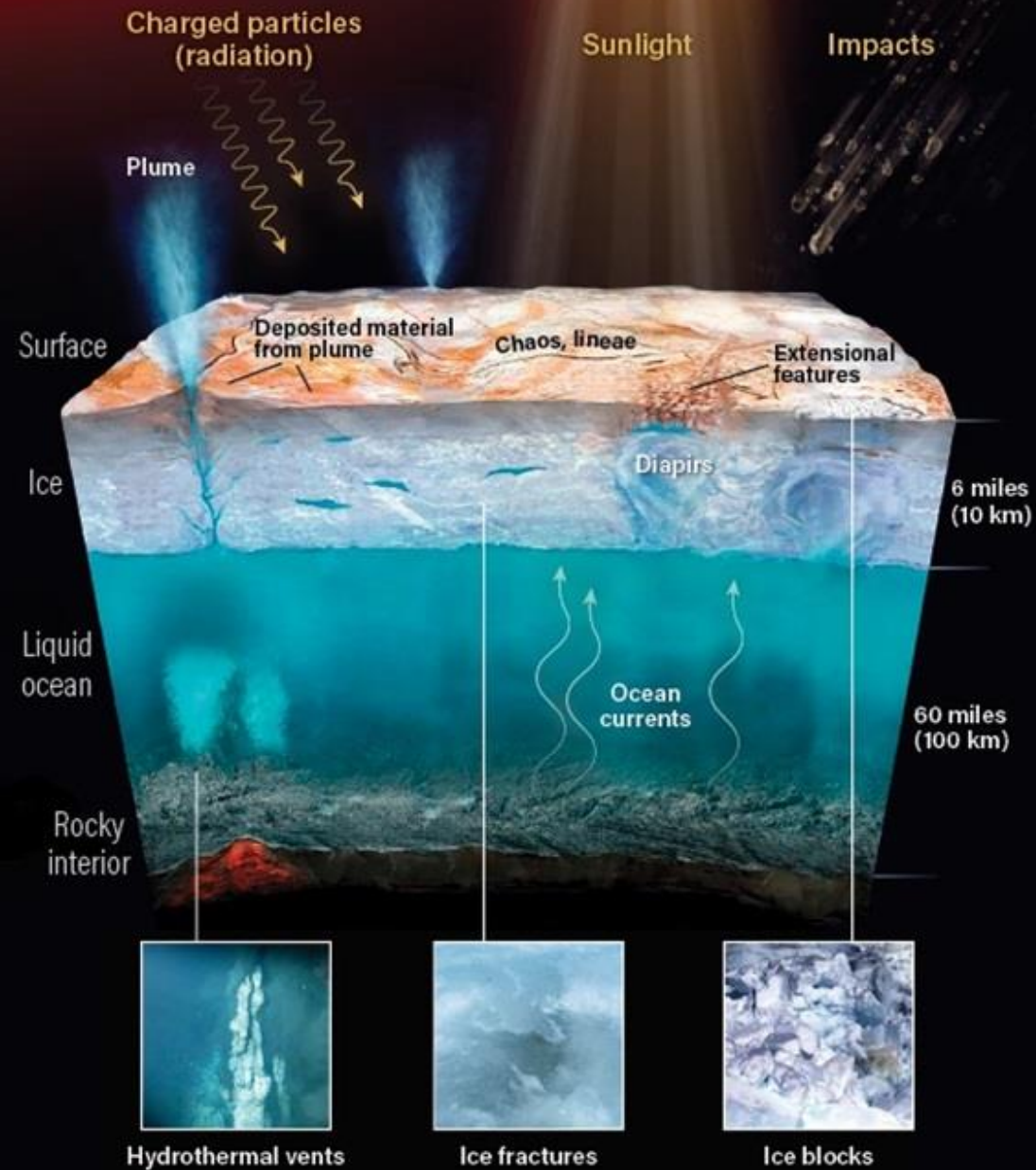


◀ **Ábra:** Az Europa jéggel borított felszíne alatt kb. 200 mély folyékony vízóceán lehet
Forrás: nasaimages.org





A PEEK INSIDE EUROPA



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Kis égitestek – Néhány érdekes hold



- A **Ganymedes** a **legnagyobb átmérőjű hold a Naprendszerben** (5.250 km). Az utóbbi holdakon ún. **jégvulkanizmus** is megfigyelhető, ugyanis időnként a jégkéreg repedésein keresztül kiáramlik, vagy szökőkútszerűen kitör a 170 K-os környezetéhez képest igen meleg, folyékony víz. Ezt a jelenséget azóta a más Jupiter-típusú bolygó holdján is megfigyelték.



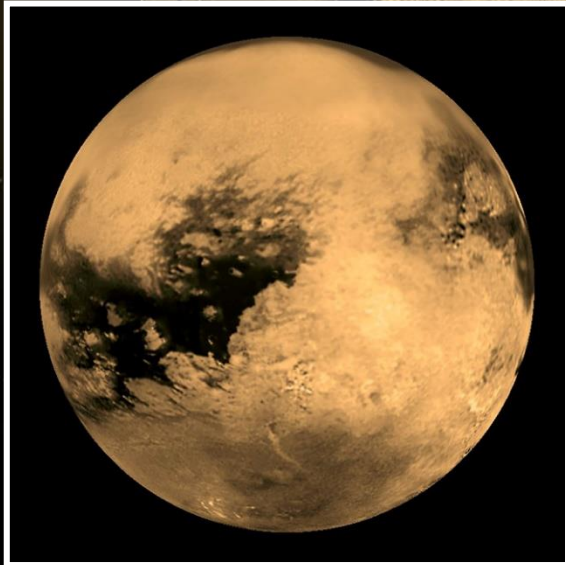
▲ **Ábra:** Ganymede

Forrás: <https://expanse.fandom.com>

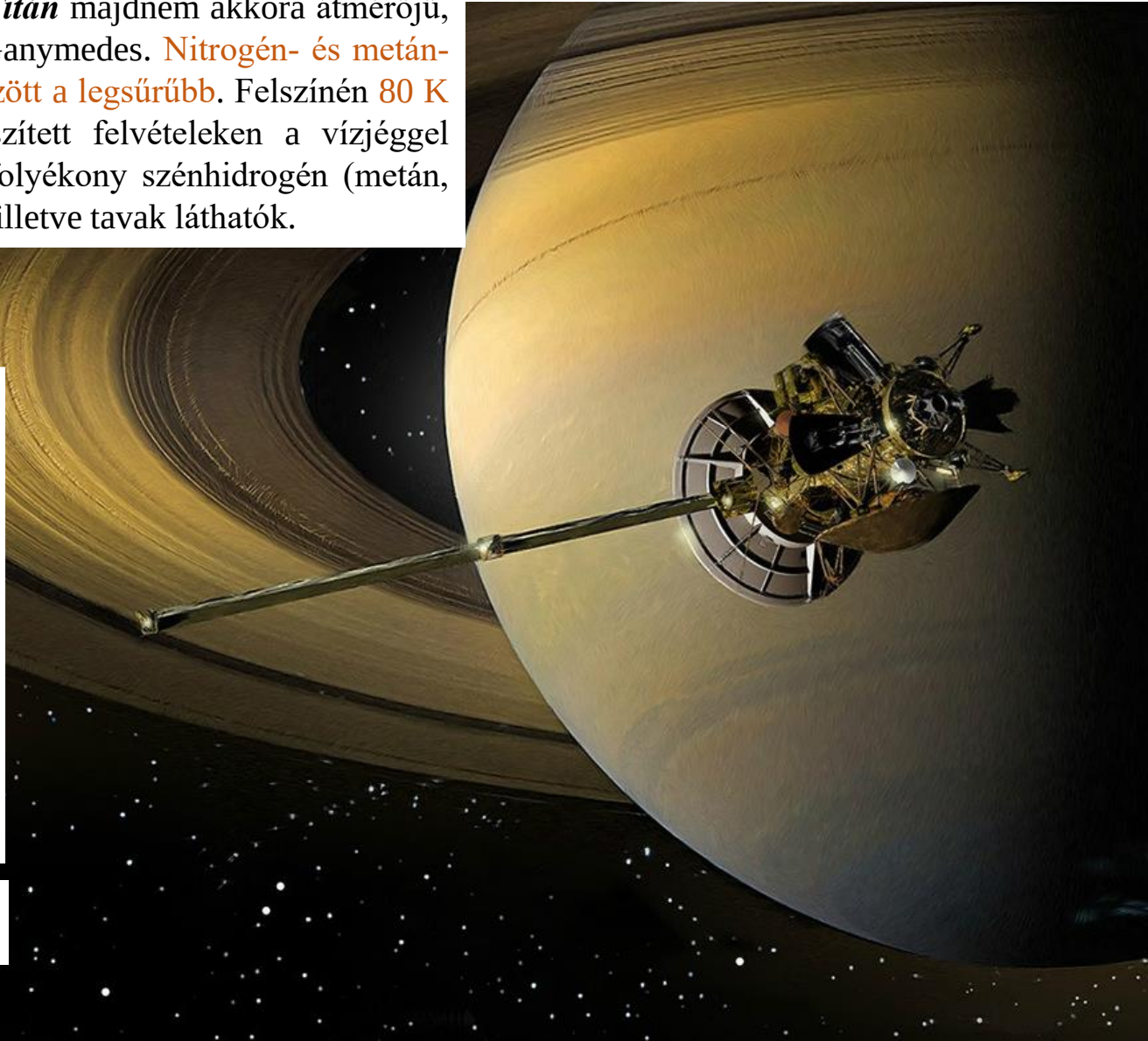
A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Kis égitestek – Néhány érdekes hold

- A Szaturnusz körül keringő *Titán* majdnem akkora átmérőjű, jéggel burkolt hold, mint a Ganymedes. Nitrogén- és metántartalmú légköre a holdak között a legsűrűbb. Felszínén 80 K van. Az űrszonda által készített felvételeken a vízjéggel borított felszínen kanyargó folyékony szénhidrogén (metán, etán) által vájt folyóvölgyek, illetve tavak láthatók.



▲ **Ábra:** Titán, a Szaturnusz legnagyobb holdja, Forrás: erdekesvilag.hu



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Kis égitestek – Kisbolygók



▲ **Ábra:** Az Ida kisbolygó és holdja
Forrás: *nasaimages.org*

- A kisbolygók jellemzően néhány kilométer átmérőjű, szabálytalan formájú, kráterekkel borított kőtömbök. **Felszínük planetológiai fejlettsége igen alacsony.**

- Az **első kisbolygót** (más néven aszteroidát, azaz csillagszerűnek látszó égitestet) **1801-ben fedezték fel** a korábban „üresnek” tartott Mars és Jupiter közötti térségben. Azóta több, mint 200.000 darabot ismertünk meg annyira, hogy nevet, számot kapjon.



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Kis égitestek – Kisbolygók

- Korábban úgy gondolták, hogy **egy nagybolygó szétesése után jöttek létre**. A ma elfogadott elméletek szerint eredetileg **több bolygócsíra is keringett** ebben **a Mars és Jupiter közötti övezetben, amelyek összeütköztek és feldarabolódtak**.
- Az elmúlt évtizedekben a Naptól távolabb is lefényképeztek kisbolygószerű égitesteket. Az ún. **Kentaurok a Jupiter-típusú bolygók között keringenek**. Valószínűleg **több „kiégett” üstökös** **mag is van köztük**.
- A digitális leképező eszközök fejlődésével fedezték fel az ún. **Kuiper-objektumokat a Neptunuszon túl**. Ezek összetételében már nagy szerepet játszanak a különböző jegek is. Egyes Kuiper-objektumok átmérője a kétháromezer kilométert is eléri (ezeket 2006-ban törpebolygó kategóriába sorolták).



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

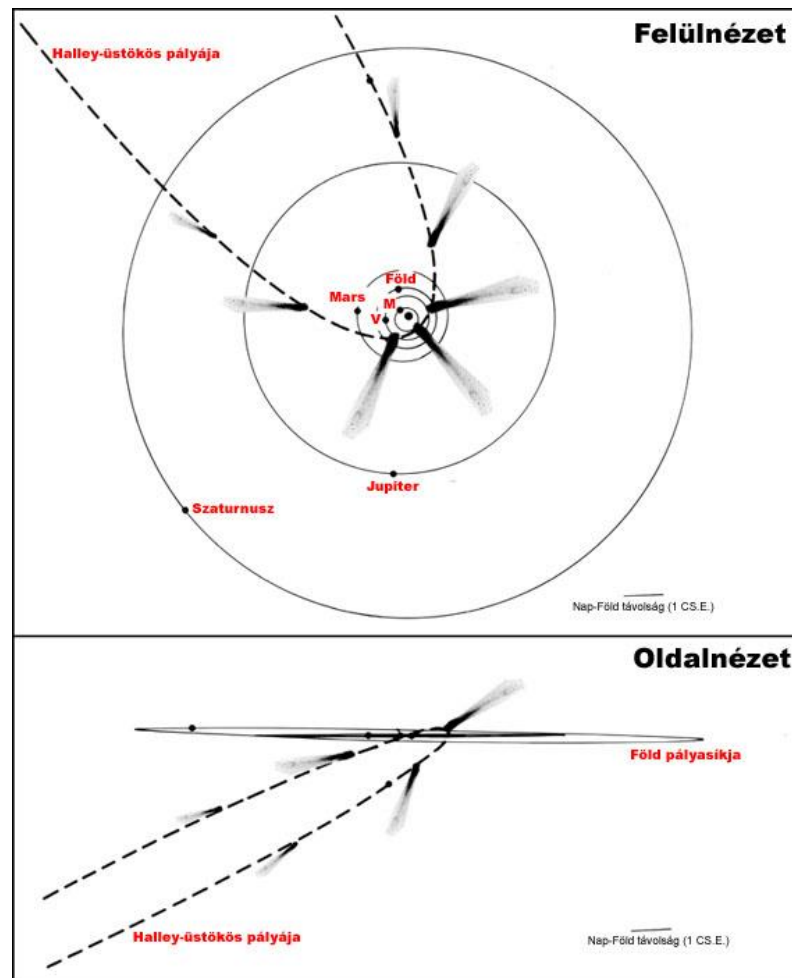
Kis égitestek – Üstökösök

- A korábbi évszázadokban, az égbolton időnként feltűnő „*hajás csillagok*” megrémítették az embereket, háborúk, járványok előhírnökének tekintették őket. Ma már tudjuk, hogy a Naprendszer külső vidékéről, az ún. **Oort-felhőből érkező objektumokról** van szó. Általában igen elnyúlt ellipszis-, parabola-, vagy ritkán hiperbola pályán mozognak. Az ellipszis pályával rendelkező üstökösök keringési ideje 3,3 évtől a több millió évig terjed.



▲ Ábra: Oort-felhő

Forrás: <https://avilagtitkai.com>



▲ Ábra: A Halley-üstökös pályája a földpálya síkjára merőleges és síkkal párhuzamos nézetben. Az üstökös csóvája mindig a Nappal ellentétes irányba mutat!

Forrás: nasaimages.org alapján

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Kis égitestek – Üstökösök

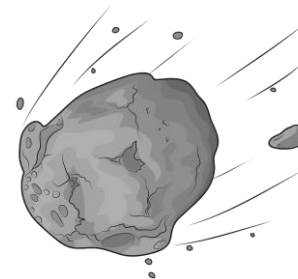
- Az **üstökösök magja** jellemzően **10-50 km** átmérőjű, **jég és por keverékéből álló szilárd test**.
- A jég a Nap közelébe érve szublimálni kezd. A gáz kiáramlik a mag repedésein, és szilárd részecskéket is magával sodor. A **gáz és por körbeveszi a magot**, ez az üstökös **feje**.
- A fejből a napszél és a sugárnyomás a Nappal ellentétes irányba sodorja el az anyagot, így alakul ki a **csóva**. A csóva időnként jól megfigyelhető módon két részre osztható: **gáz- és porcsóvára**.



▲ **Ábra:** Az üstökösök fontosabb látható részei
Forrás: *Hale-Bopp-üstökös*,
fotó: *Gyenizse P. 1997*



<https://csillagaszat.wordpress.com>



► **Ábra:** A Hale-Bopp-üstökös
(C/1995 O1) a Földről nézve
Forrás: <https://hu.wikipedia.org>



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Kis égitestek – Meteorikus és interplanetáris anyag

- A **bolygóközi tér** nem üres, **nagyon ritka anyag** tölti ki. A meteoritok nagyobb testekbe való csapódásakor, valamint az üstökösökből **por** szóródik szét, továbbá a Napból, a nagybolygók légköréből, valamint az üstökösökből **gázok** áramlanak ki. Ezek együtt alkotják az **interplanetáris (bolygóközi) anyagot**. A Föld környezetében a gáz sűrűsége kb. 2-5 atom/cm³.



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Kis égitestek – Meteorikus és interplanetáris anyag

- A bolygóközi térben nagyobb testcskék is mozognak. A milliméteres – méteres szemcséket **meteoroidoknak** nevezzük. Ezek *elsősorban üstökösök és kisbolygók szétesésével keletkeztek.*

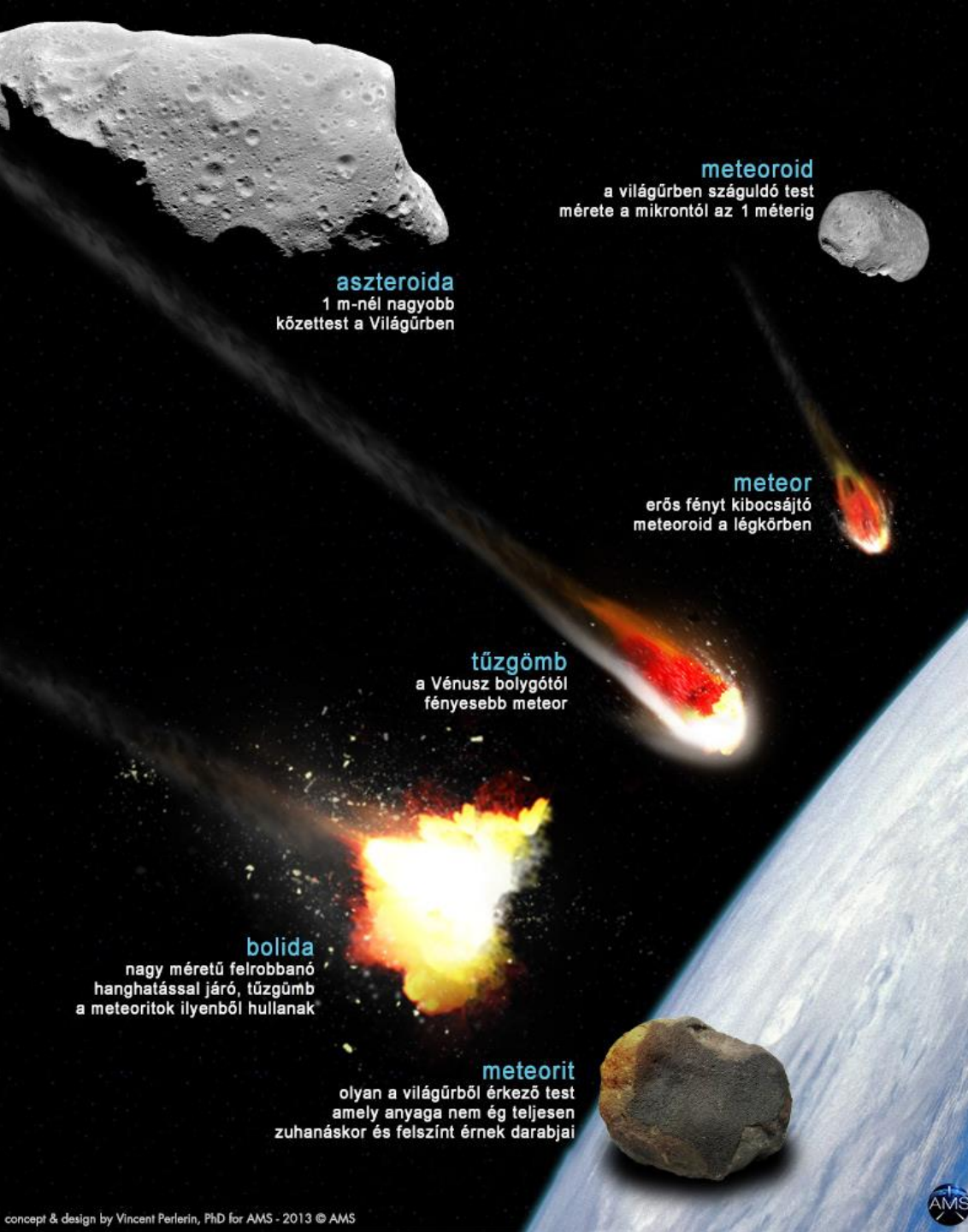


► **Ábra:** A Schwassmann-Wachmann 3-üstökös széteséséből is meteorraj született, Forrás: nasaimages.org



- **Anyaguk** lehet *szilikátos* (kőmeteorit), *vas-nikkel* (vasmeteorit), vagy *vegyes* (kő-vas-, vas-kő meteorit). Ezek egy része behullik a mi bolygónk légkörébe. A nagy belépési sebesség és légellenállás miatt anyaguk felmelegszik és fénylésre gerjesztik a környező légköri atomokat. Ezt látjuk mi „hullócsillag”, vagy meteorjelenség formájában.
- A nagyobb szemcsék nem semmisülnek meg, a földre is leeshetnek. Nevük ekkor már **meteorit**.

▲ **Ábra:** Meteorit a Mars felszínén
Forrás: nasaimages.org



meteoroid
a világűrben száguldó test
mérete a mikrontól az 1 méterig

aszteroida
1 m-nél nagyobb
közötttest a Világűrben

meteor
erős fényt kibocsájtó
meteoroid a légkörben

tűzgömb
a Vénusz bolygótól
fényesebb meteor

bolida
nagy méretű felrobbanó
hanghatással járó, tűzgömb
a meteoritok ilyenből hullanak

meteorit
olyan a világútból érkező test
amely anyaga nem ég teljesen
zuhanáskor és felszínt érnek darabjai



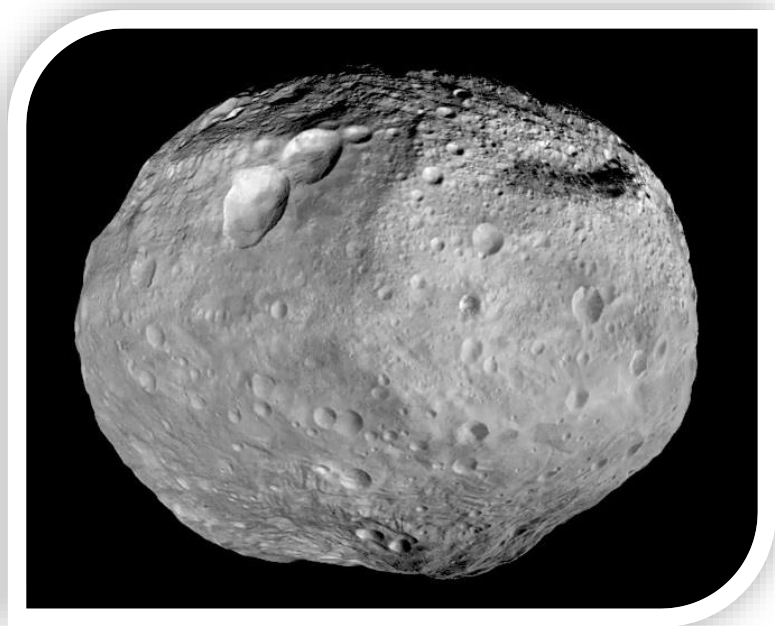
- A **meteorit** a világútból érkező természetes objektum, ami a Föld (vagy egy másik égitest, például a Hold, a Mars stb.) felszínével való ütközéskor nem semmisül meg, túléli a zuhanást és eléri a felszínt. Amíg az űrben mozog és 1 méteresnél kisebb, **meteoroid-nak** nevezzük.
- Amikor belép a légkörbe, a légellenállás okozta súrlódás hatására felforrósodik, plazma-csatornát és tűzgolyót létrehozva elektromágneses sugárzást, pl. fényt bocsát ki, esetleg hangot. A jelenséget magát **meteor-nak** vagy közismertebb nevén **hullócsillag-nak** hívjuk.
- A **tűzgömb** olyan meteor, melynek látszó fényessége meghaladja a Vénusz legnagyobb fényességét, ami -4 magnitúdó. Ezek általában kiemelkedő fényjelességgel, esetleg hangmorajlással járnak.
- A **bolida** olyan felrobbanó tűzgömb, ami jelentős, általában hangrobbanáshoz hasonló hang-hatással jár. A meteoritokat adó tűzgömbök, szinte minden esetben bolidák, fényességük kimagasló, általában jóval meghaladja a telihold fényességét -12 magnitúdót.

Forrás: <http://crbobs.hu/meteoritok>

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Felszínformáló erők bolygókon, holdakon

- A **Naprendszer szilárd felszínű égitesteinek morfológiáját** az ún. **külső (exogén)** és **belső (endogén) erők** összjátéka alakítja ki.
- Minél több felszínalakító folyamat hatása fedezhető fel egy-egy égitest formálódásában, fejlődéstörténete annál sokszínűbb. A jelenlegi megfigyelhető felszínformák csak „pillanatfelvételt” mutatnak az égitestek fejlődésből, *a felszínformáló hatások időben változhatnak.*
- Az égitestek ún. **planetológiai fejlettségi foka** annál magasabb, minél több planetáris szféra hatása érvényesül a felszínükön. A legfejletlenebb, általában kis átmérőjű égitesteken csak a kéreghez köthető aprózódási folyamatok és a becsapódási kráterképződés nyomai láthatók.



◀ **Ábra:** A Vesta kisbolygó a Dawn szonda felvételén
Forrás: <https://www.csillagaszat.hu>

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Felszínformáló erők bolygókon, holdakon

- Magasabb szintet képviselnek azon bolygók és nagyobb holdak, ahol már vulkanizmus, tektonizmus nyomai fedezhetők fel, sőt esetleg a légkör felszínalakító hatása is megfigyelhető.
- A legmagasabb szinten a *hidroszférával és bioszférával rendelkező égitestek* állnak.



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Felszínformáló erők bolygókon, holdakon – Becsapódási kráterképződés

- A következőkben röviden bemutatjuk *a kisebb égitestek becsapódása által kialakított felszínformákat*.
- Az űrkorszak fél évszázada világossá tette a planetológusok számára, hogy a Naprendszer története folyamán *a szilárd égitestek (a kisbolygókat és a holdakat is beleértve) felszínét elsősorban a becsapódások formálták*. Korábban csak a Hold felszínén láttak távcsövek segítségével becsapódási medencéket, krátereket, ma már számos nagybolygó és kis égitest morfológiai jellemzői ismerik.
- Ezek alapján elmondható, hogy az *impakt események* mindenütt lezajlottak, és képződési mechanizmusuk, illetve az általuk létrehozott formakincs többé-kevésbé azonos minden égitesten. Ez a külső erő elsősorban a Naprendszer életének kezdeti 1 milliárd évében működött erőteljesebben (nagy bombázási időszak).



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Felszínformáló erők bolygókon, holdakon – Becsapódási kráterképződés

- A becsapódásos kráterek *monogenetikus szerkezetek*, azaz **képződésük egyszeri esemény**. A krátert a későbbiekben számos folyamat módosítja.
- A becsapódás folyamatát általában három részre különítik el:
 1. érintkezés / összenyomás,
 2. kivájás,
 3. átalakulás.
- Az **érintkezés / összenyomás** egy kisebb égitest (kisbolygó, üstökös, meteorit) felszínbe való becsapódását jelenti.
- A **kivájás** során mindig tál alakú tranziens (átmeneti) kráter jön létre.
- A kráter végső megfigyelhető alakja a tranziens **kráter átalakulásával** (összeomlás, központi csúcs kiemelkedés stb.) jön létre, amit később további folyamatok (erózió, feltöltődés stb.) tovább alakítanak.



▲ **Ábra:** A kráterképződés folyamata
Szerk.: Gyenizse P.

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Felszínformáló erők bolygókon, holdakon – Becsapódási kráterképződés

- Modellszámítások alapján egy 10-20 km-es kráter kialakulása max. 10 percig tart.
- Egy égitestet érő becsapódás ütötte kráter átmérője értelemszerűen legfeljebb akkora lehet, mint amekkora az égitest átmérője (táblázat).
- Arányait tekintve a legnagyobb kráter a Vesta kisbolygón található, ami az égitest átmérőjének (530 km) kb. 87%-át teszi ki.

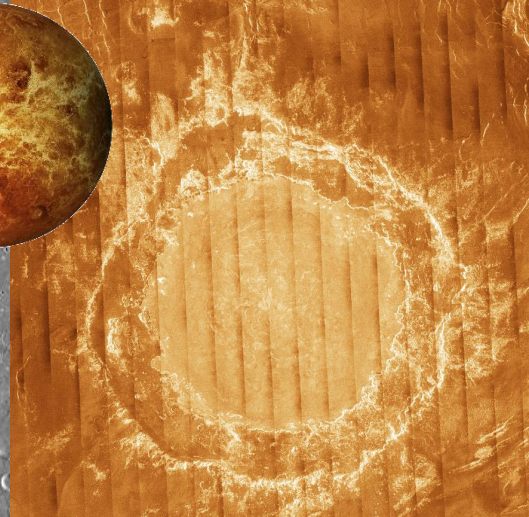
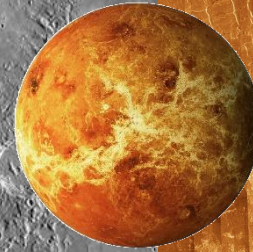
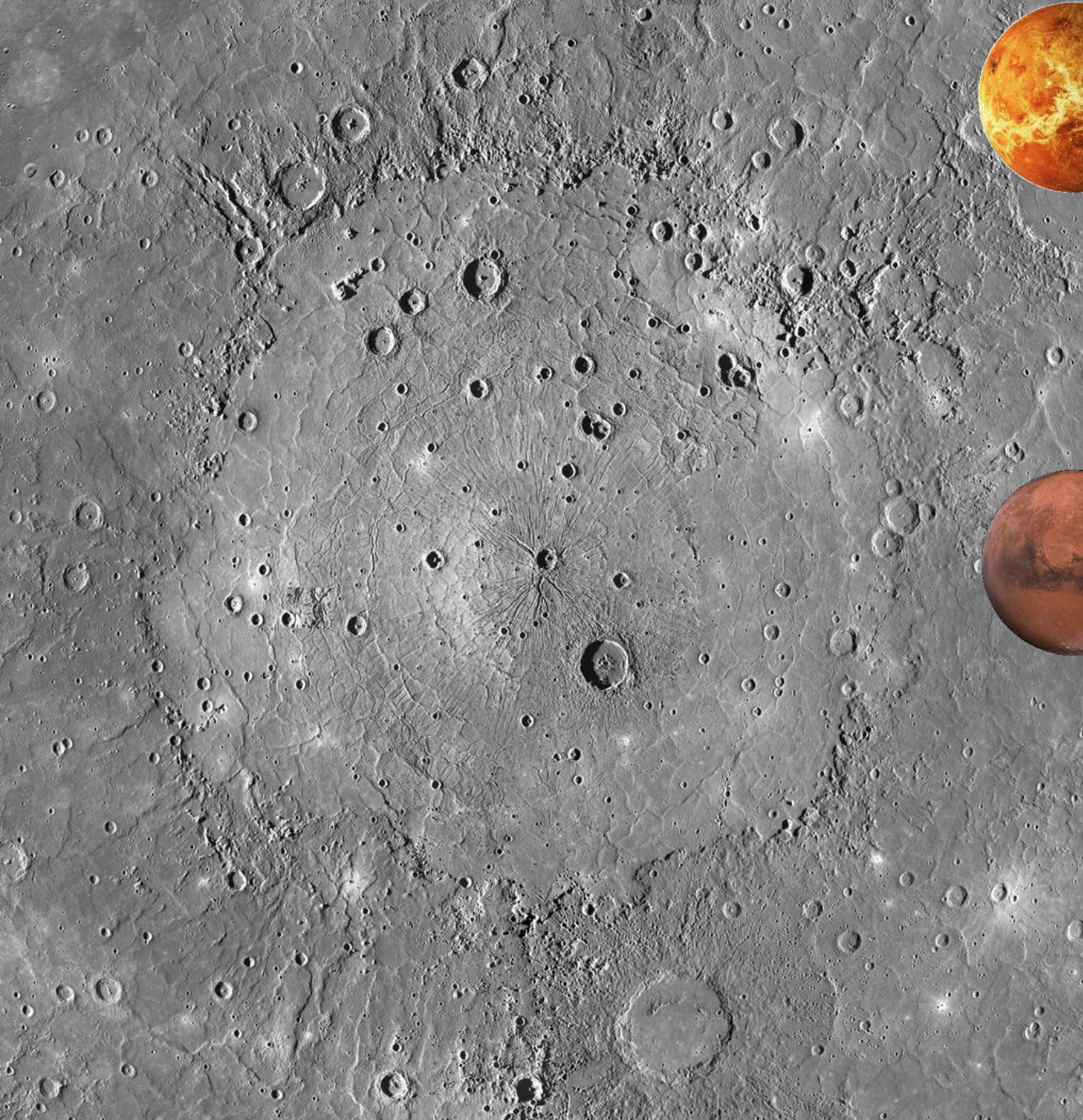


Táblázat: A Naprendszer legnagyobb becsapódási medencéi és kráterei
Összeállította: Gyenizse P.

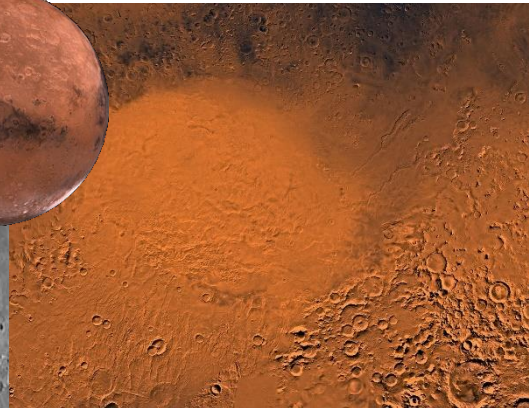
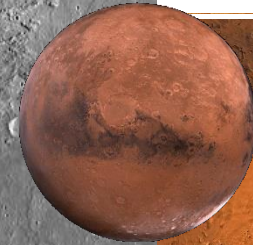
Név (égitest / kráter):	Átmérő (km):	Kora (milliárd év):
Merkúr: Caloris Planitia	1300	4
Vénusz: Mead-kráter	270	kb. 0,5
Föld: Chicxulub-kráter	200	0,065
Hold: Oceanus Procellarum	2600	4,5
Mars: Hellas Planitia	2200	3,9
Callisto: Valhalla-medence	2748	3,9



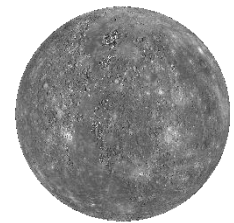
▲ **Ábra:** Chicxulub kráter
Forrás: <https://currentdesign.ca>



▲ **Ábra:** Mead kráter (Vénusz)
Forrás: <https://enacademic.com>



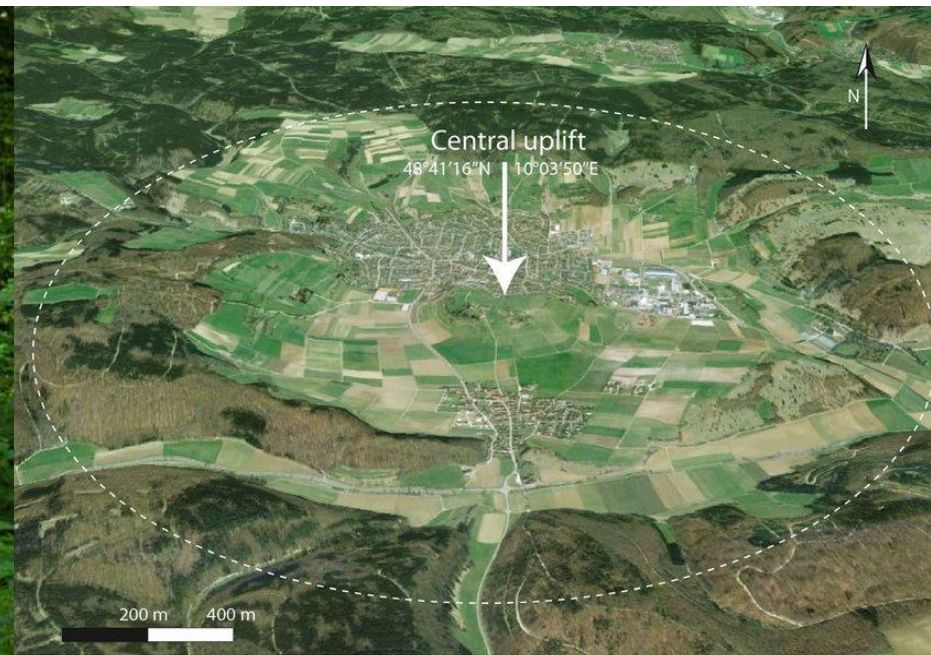
▲ **Ábra:** Hellas Planitia (Mars)
Forrás: <https://en.wikipedia.org>



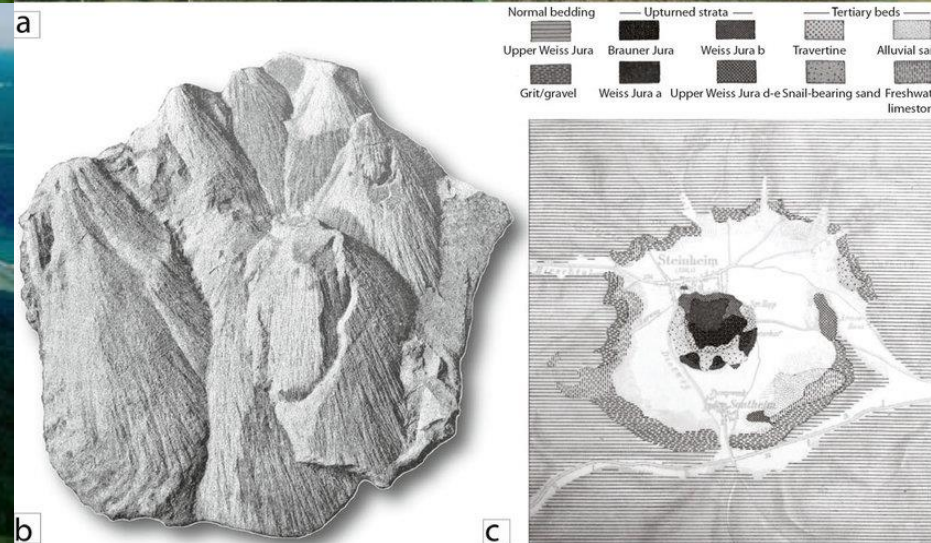
◀ **Ábra:** Caloris Planitia (Merkúr)
Forrás: <https://en.wikipedia.org>

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Felszínformáló erők bolygókon, holdakon – Becsapódási kráterképződés



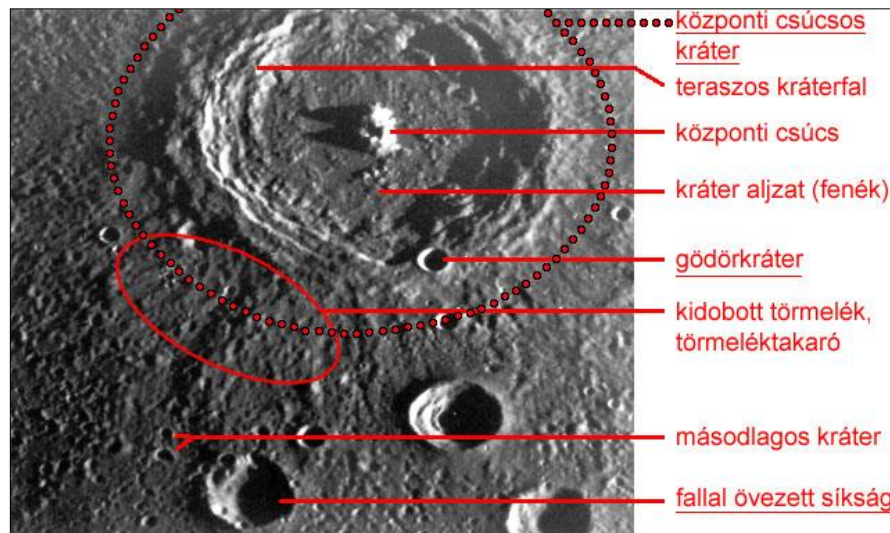
Steinheim kráter



A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Felszínformáló erők bolygókon, holdakon – Krátertípusok

- **Egyszerű (kis-, vagy gödör-) kráter** minden szilárd felszínű égitesten található, ezek a legáltalánosabban előforduló kráterek. Tál alakúak, kiemelt sáncuk és leggyakrabban sima, mély fenekük van (ábra).
- **Fallal övezett síkság:** ezek nagy, sík aljzatú kráterek, amelyek még nincs központi csúcsuk. Jellemzőjük lehet a suvadások miatt csipkézett kráterfal.
- A **központi csúcsos komplex kráterek** kiemelt sáncának belső lejtője meredek, néha teraszos. A sima kráterfenék megüllyedt, a középpontjuk viszont rugalmasan visszapattanva kiemelkedett, a felszínen központi csúcsot alkotva.
- Általában a 100-300 km-nél kisebb becsapódásos szerkezeteket még **kráternek**, az ennél nagyobbakat már **medencének** nevezzük.



▲ **Ábra:** Példa a kráterek főbb típusaira (aláhúzva) és a központi csúcsos kráter formakincsére (Brahms kráter és környéke a Merkúron)

Forrás: *Mariner-10 felvétel, nasaimages.org*

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Felszínformáló erők bolygókon, holdakon – Krátertípusok

- A **becsapódási formák** létrejöttékor fontos paraméter az égitesten mérhető felszíni **nehézségi gyorsulás** is. **Minél kisebb a nehézségi gyorsulás egy bolygótest felszínén, annál nagyobb lehet egy medence.**
- A **körkörös medencéknek** a Földön (elméleti számítások alapján) 100, a Holdon (tapasztalati úton) 400-600 km-esnél nagyobb szerkezetek tekinthetők. Ez persze azt is jelenti, hogy a Földön hatodakkora átmérőnél jelenik meg egy bizonyos tulajdonság (pl. központi csúcs, teraszok) a kráterekben, mint a Holdnál.
- **Törmelékterítőnek** vagy **törmeléktakarónak** nevezzük a *becsapódás nyomán kidobott majd visszahullt, a kráter mélyedésén kívül lerakódott törmelékek keverékét.* A törmelék annál távolabb jut el, minél kisebb az égitest gravitációja, de a légköri súrlódás erősen fékezheti a mozgását.
- A krátertől nagy távolságra, radiálisan elnyúló világos sávokat **sugársávoknak** nevezzük. A törmelék által ütött kisebb kráterek a **másodlagos kráterek**.



▲ **Ábra:** A Victoria-kráter a Marson
Forrás: <https://hu.wikipedia.org>

A Naprendszer helye, kialakulása és általános jellemzői

Felszínformáló erők bolygókon, holdakon – Krátertípusok



▲ **Ábra:** Kidobott porból és törmelékekből összecementálódott breccsa (suevit) a Ries meteoritkráterből, Forrás: Gyenizse P.

- A becsapódás által érintett kőzetek együttes elnevezése: **impaktit**. Ezek közé tartoznak a lehulló törmelékből összeálló **breccsák**, a kráter aljzatát alkotó kőzetben a nagy erőhatásra kialakult ún. **nyomási kúpok**, illetve a különböző átalakult ásványok. A Földön jelenleg kb. **200 becsapódási krátert** ismerünk. Bolygónkon a külső és belső erők ezek döntő többségét elpusztították. **Egyes vélemények szerint becsapódó üstökösök szállíthatták a Földre a víz egy részét, sőt talán az életet is egy másik bolygórendszerből.**

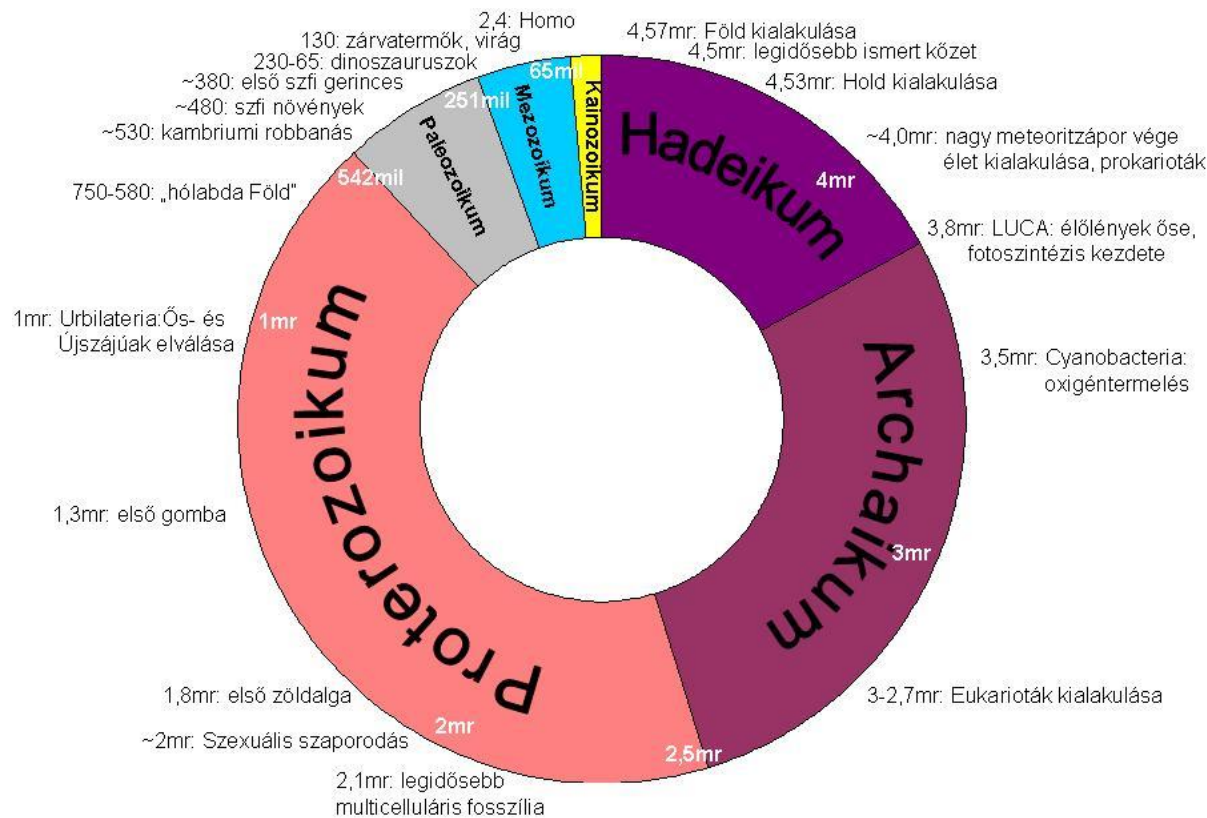


Élet a Földön – történeti földtan



Élet a Földön – történeti földtan

- A földtörténeti időskála egy átlátható rendszert alkotva *a földtörténetet kisebb egységekre bontja*, ezek határait földtörténeti események határozzák meg, melyek együtt jártak élőlények tömeges kihalásával és új csoportok megjelenésével.



Ábra: A bioszféra kiemelt eseményei

Élet a Földön – történeti földtan

Hadeikum (4,47mr-3,8mr)

- A **hadeikum** jelentése „pokolbéli”, mely a fiatal Földön uralkodó viszonyokra utal. (Hádész az alvilág görög istene). A planetáris differenciálódás során az eleinte gázokból és szilárd anyagokból álló **Protoföld** megolvadt, a nehezebb anyagok nagy része, mint pl. a nikkel és vas a Föld középpontjába kerülve **magot** alkottak, a könnyebb anyagok a felszín felé vándoroltak, kialakítva az **elsődleges kérget**.



▲ Ábra: Hádész

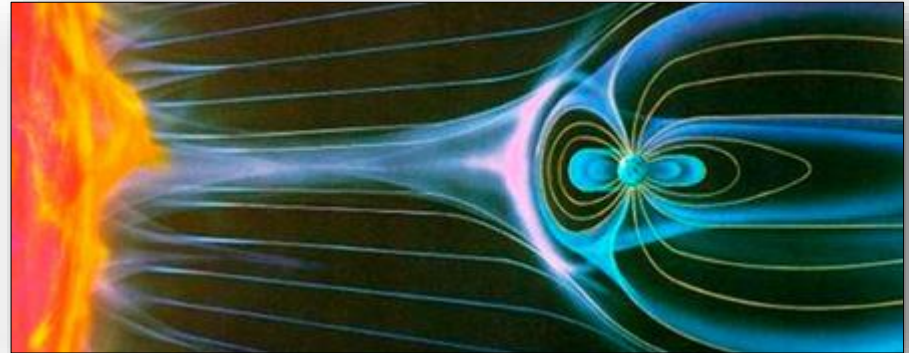
Forrás: <https://hu.wikipedia.org>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Hadean>

Élet a Földön – történeti földtan

Hadeikum (4,47mr-3,8mr)

- A **Föld mágneses mezeje** feltehetően a bolygó forgásával összefüggésben, a magban zajló áramlásoknak köszönhető, és a mag létrejötte óta létezik.
- A **magnetoszféra** eltéríti a töltött részecskékből álló napszelet, így **hozzájárult ahhoz, hogy az élet kialakuljon és fennmaradjon bolygónkon.**



▲ **Ábra:** Magnetoszféra

Forrás: <http://www.urvilag.hu>



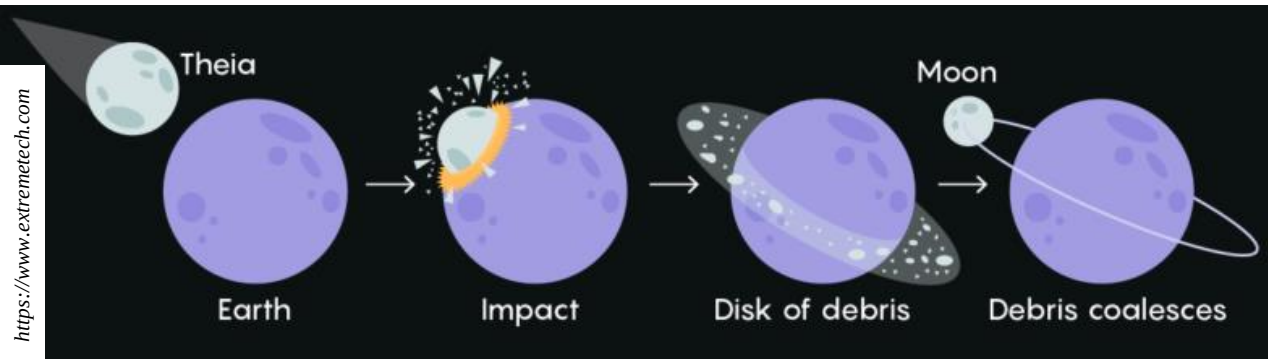
- A Föld legidősebb, 4,55-4,45 milliárd éves kőzetét **Kanadában, Baffin szigetén** találták 2010-ben. A köpeny eredetű vulkanikus kőzet **kialakulásakor a földfelszín még magmaóceán lehetett.** Korábbi eredmények alapján a Kanadai- és Ausztrál-pajzson is kimutattak több, mint 4 milliárd éves kőzeteket.

◀ **Ábra:** Acasta Gneisz, a legidősebb földi kőzet

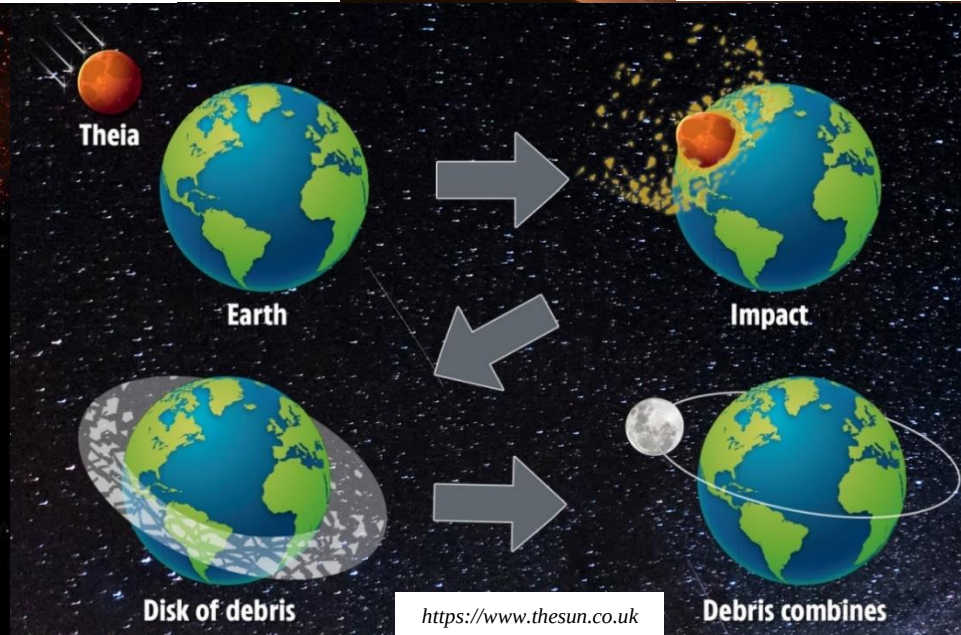
Forrás: <https://mttmuzeum.blog.hu>

Élet a Földön – történeti földtan

Hadeikum (4,47mr-3,8mr)



- A „*nagy becsapódás* vagy *gigant-hatás*” elmélete szerint körülbelül 4,533 milliárd éve egy Mars méretű bolygó a Földbe csapódott (Theia: a görög mitológiában az egyik női titán volt, ő szülte a Holdat), s a kiszakított anyaggal együtt kialakította a Holdat.



Élet a Földön – történeti földtan

Hadeikum (4,47mr-3,8mr)

- A **Hold kialakulása** után a **Föld lassan hűlni kezdett**, bár az aktív vulkáni tevékenység és a nagyfokú radioaktivitás következményeként felszabadult hő miatt jellemző volt még *a felszínen az olvadt anyagok dominanciája*.
- Az elemi összetétel fokozatosan változott; a nehéz elemek tömörültek, a gázok könnyebb fajsúlyukból adódóan kiszorulnak a kőzetekből.
- Létrejött a redukzív jellegű őslégkör: H_2 , Ne, H_2O , CH_4 , CO_2 , CO, NH_3 , H_2S tartalommal.

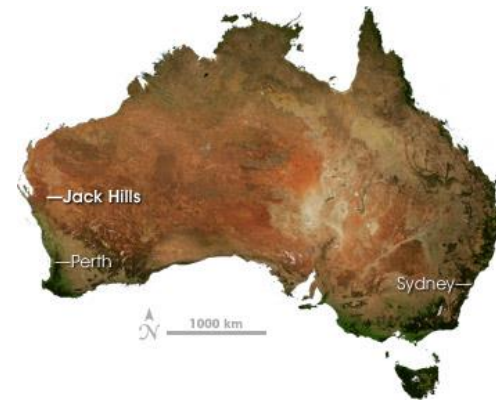


▲ Ábra: Őslégkör
Forrás: <https://docplayer.hu>

Élet a Földön – történeti földtan

Hadeikum (4,47mr-3,8mr)

- A Föld felszíni hőmérséklete 4,4 milliárd éve csökkent **100 °C alá**, így a meteoritok által szállított **víz már nem párolgott el a felszínéről, megkezdődött a nagy esőzések korszaka, a világóceánok kialakulása.**
- Erre a *Nyugat-Ausztráliában (Jack Hills)* talált 4,404 milliárd éves cirkónium-oxid tartalmú kőzetek utalnak, melyek **kialakulása feltételezi a folyékony víz és a szilárd felszín jelenlétét.**
- Számítások szerint az óceánok mai sótartalma kevesebb, mint 100 millió év alatt alakult ki, és azóta is folyamatosan szállítják a folyók a sót a tengerekbe. A kérdés tehát nem az, hogy miért sós az óceán, hanem az, hogy miért nem sósabb.



◀ **Ábra:** Kvarckavicsos metakonglomerát (Jack Hills Quartzite), az a kőzettípus, amely a Föld legrégebbi keltezésű ásványi szemcséit (detritcirkon) tartalmazza, Forrás: <https://en.wikipedia.org>

Élet a Földön – történeti földtan

Hadeikum (4,47mr-3,8mr)

- 4,2 milliárd éve alakultak ki a **mai kontinensek magjai (kraton)**.
- Az **őslégkör összetétele** is **változott**, a gázok egy része beoldódott az óceánokba. A hidrogén (igen könnyű) már korábban megszökött, csak vegyületeiben (H_2O , CH_4 , NH_3) maradhatott meg.
- A **korai ősóceán savas** volt, felszínét **vulkáni tevékenység** szabdalta. A **levegő forró** volt, szabad oxigént alig tartalmazott.
- A holdon talált, 100 km-nél is nagyobb átmérőjű több mint 1.700 becsapódás nyoma arra utal, hogy 4,1-3,8 milliárd éve **nagy meteorit eső zúdult a Földre** (*late heavy bombardment*).
- Hatására a korai őslégkör és ősóceánok is drasztikus változásokon mentek át. **Elképzelhető, hogy az élet már a Hadeikumban 4-3,9 milliárd éve kialakult.**

► **Ábra:** Illusztráció a Holdról a „késői nehéz bombázás” során (fent) és ma (lent),
Forrás: <https://en.wikipedia.org>





<https://www.nationalgeographic.com>



<https://hu.pinterest.com>



<https://www.space.com>



<https://www.nature.com>



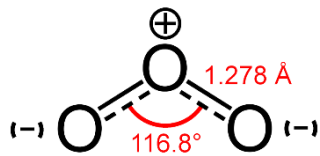
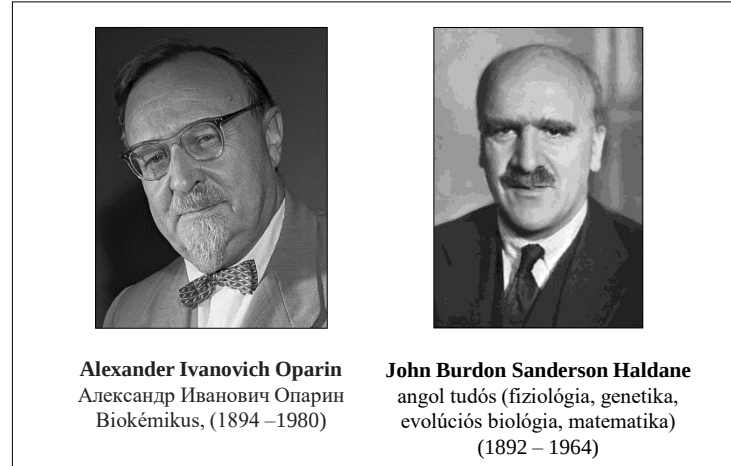
<https://www.universetoday.com>

DON DAVIS

Élet a Földön – történeti földtan

Archaikum (3,8mr-2,5mr)

- Először a szovjet **A. I. Oparin** 1924-ben, majd 1929-ben a brit **J. B. S. Haldane** jutott arra a következtetésre, hogy **az élet kialakulása a maitól teljesen eltérő környezetben történt**. Megállapították, hogy az élőlények legtöbb szerves vegyülete oxigén jelenlétében nem stabil, tehát az **élet keletkezése feltehetően oxigénmentes körülmények között történt**.
- A **szabad oxigén hiánya** nemcsak a kémiai, hanem a **fizikai állapotot is a maitól jelentősen különböztette**.



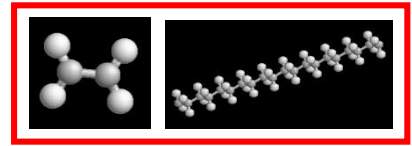
Forrás: <https://hu.wikipedia.org>

◀ Ábra: Ózon (O_3),
három oxigénatomból
álló instabil molekula.

- Az alsóbb, oxigénben dúsabb **troposzféra és a felette lévő sztratoszféra határán** a kétatomos oxigénmolekulákból **ózon keletkezik**, mely a 300 mikronnál rövidebb hullámhosszú ultraibolya sugarakat elnyeli.
- Oxigénmentes légkörben viszont ez a sugárzás akadálytalanul érte a Föld felszínét, sőt a vízbe is kb. 10 méterig hatolt. Ezáltal energiaigényes kémiai reakciók is végbemehettek.

Élet a Földön – történeti földtan

Archaikum (3,8mr-2,5mr)

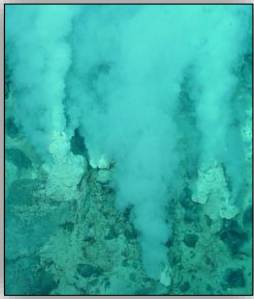


◀ **Ábra:** RNS ribozimokat kapszulázó zsírsavmembránból álló protocella (illusztráció). Forrás: <http://exploringorigins.org/protocells.html>

- A **szerves makromolekulák** (organikus monomerek) **abiotikus szintézise** történhetett az atmoszférában vagy mélytengeri hőforrások, füstölgők környezetében. A létrejött **monomerek polimereket képeztek** tengerparti szikláknál vagy agyagban vagy füstölgőknél; maguk a polimerek proteinek és/vagy RNS-ek voltak. A polimerek aggregálódtak (összeálltak) egy membránnal elhatárolt térben, ez a **protocell**. Ha az óceán felsőbb rétegeiben jött létre akkor **heterotróf**-, ha füstölgőnél vagy hőforrásnál, akkor **kemoautotróf** lehetett. **Amint a protocellben DNS gének vagy RNS van, az már valódi sejtnek** nevezhető.

A **kemoszintézis** az autotrófia egyik formája, olyan folyamat, amely során az élőlény szervesetlen anyagok (pl. ammónia) oxidálásából nyert energiával építi fel saját szerves anyagait

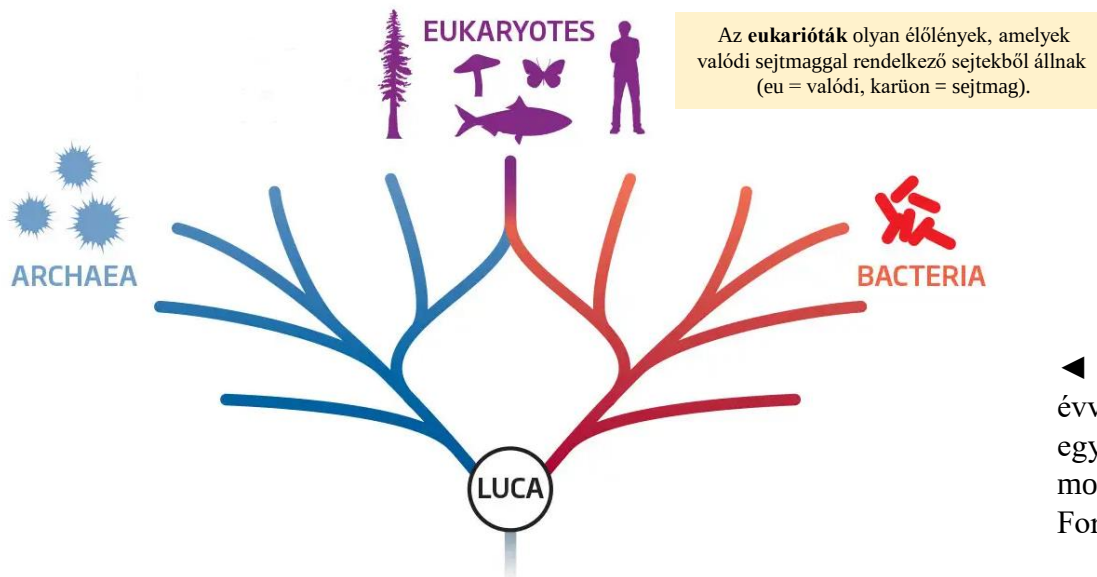
Heterotróf az az organizmus, amely szerves anyagokat használ a túléléséhez szükséges kémiai energia biztosításához.



Élet a Földön – történeti földtan

Archaikum (3,8mr-2,5mr)

- A legelfogadottabb elmélet szerint **az első organizmusok kemoautotróf baktériumok voltak**, mélytengeri hidrotermáknál alakultak ki.
- A légköri stabil **szén izotópok** közül a ^{12}C könnyebben épül be az élőlényekbe, mint a ^{13}C izotóp. A grönlandi Isua-csoport 3,8 milliárd éves üledékes és vulkáni eredetű kőzeteiben ^{12}C -ből többlet van a ^{13}C izotóphoz képest (ún. nyomfosszília), azaz **élőlényeknek, fotoszintézisnek kellett léteznie 200 millió évvel az után, hogy a fizikai kondíciók azt megengedték.**
- A mai élőlények közös őseiből (LUCA: last universal common ancestor – utolsó egyetemes közös ős) 3,8 milliárd éve alakultak ki a **valódi baktériumok** és az **ősbaktériumok** (Archaeák). Később alakult ki a fotoszintézis, mely eleinte nem termelt oxigént.



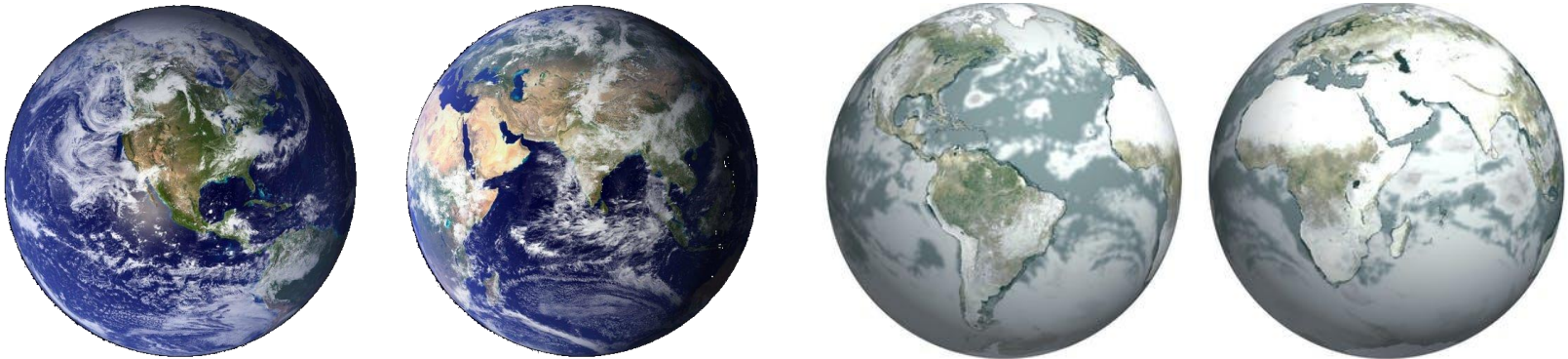
◀ **Ábra:** LUCA körülbelül 3,8 milliárd évvel ezelőtt jelent meg, és kétféle egyszerű sejtet eredményezett: baktériumok és archeák (ősbaktériumok)

Forrás: <https://www.newscientist.com>

Élet a Földön – történeti földtan

Archaikum (3,8mr-2,5mr)

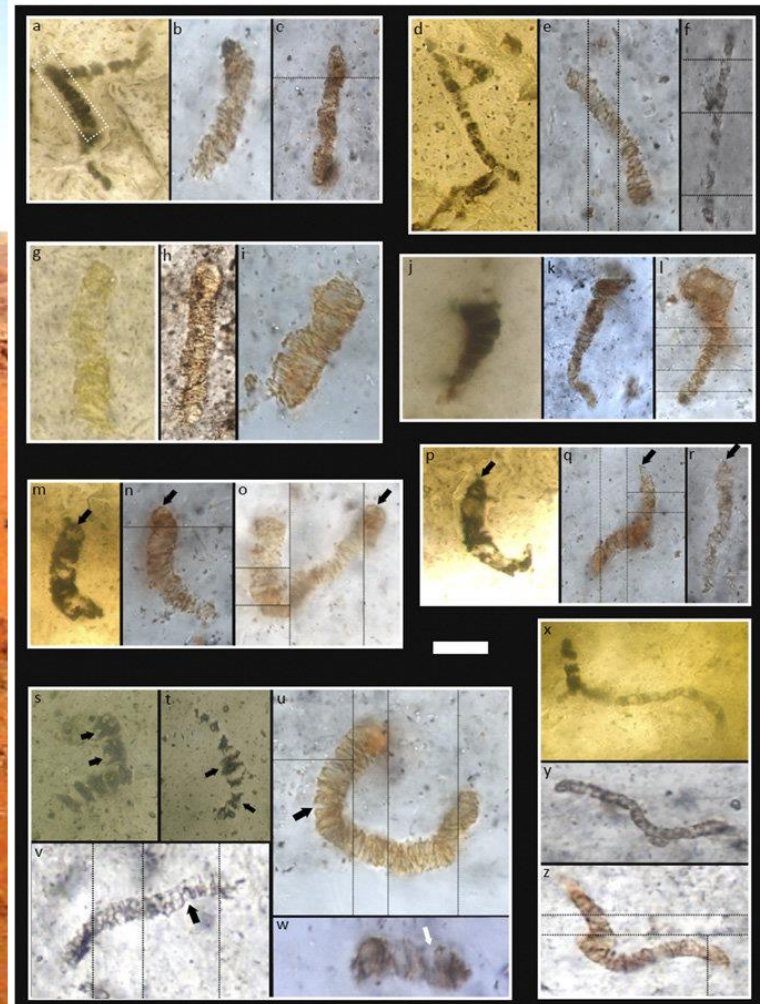
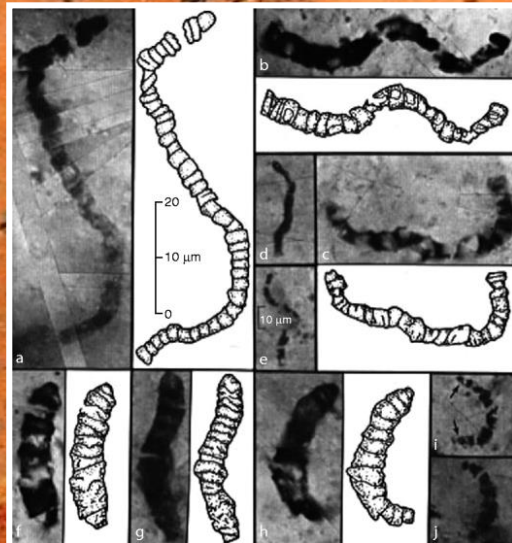
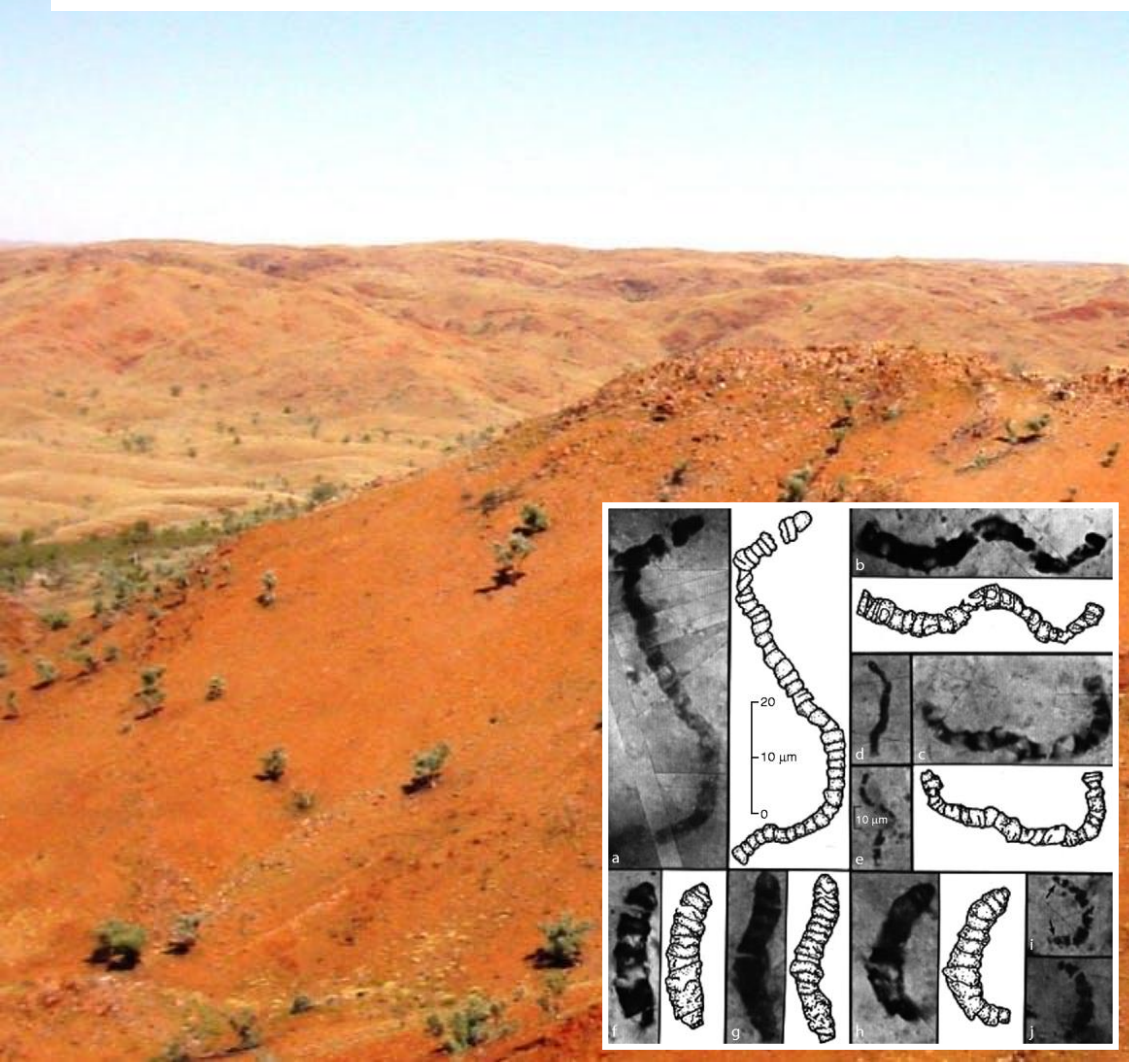
- A szénnek három izotópja fordul elő a természetben: a 12-es, a 13-as és a 14 tömegszámú, melyek közül a ^{12}C izotóp van túlnyomó mennyiségben.
- Paleoklíma:
- A ^{12}C és ^{13}C felhasználható az óceánok cirkulációját megmagyarázó hőmérséklet követésére. A növények könnyebben hasznosítják a kisebb tömegszámú (^{12}C) izotópot, miközben a napfényt és széndioxidot táplálékká alakítják, így a nagy **plankton-telepek** nagy mennyiségű ^{12}C -t juttatnak az **óceánokba**. Ha az óceánok rétegződnek (a felszínhez közel meleg, mélyebben hideg víz helyezkedik el), akkor a víz körforgása leáll, így ha a plankton elpusztul, a fenékre süllyed, és magával viszi a ^{12}C -t, ezáltal a felszíni réteg ^{13}C -ban viszonylag gazdaggá válik. Ahol a hideg víz feltör a mélyből (például az észak-atlanti térségben), ott magával hozza a ^{12}C -t. Ezért amikor az óceán rétegzettsége a jelenleginél kisebb mértékű volt, akkor a felszínen élő fajok váza sok ^{12}C -t tartalmazott. *A múlt éghajlatának további indikátorai közé tartozik a trópusi fajok jelenléte, a korallok növekedési gyűrűi stb.*



Élet a Földön – történeti földtan

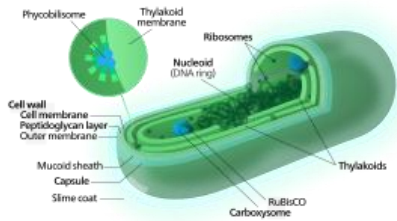
Archaikum (3,8mr-2,5mr)

- **Filamentózus (fonalas megjelenésű) mikrobákat** találtak Ny-Ausztráliában (ábra), a 3.465 millió éves *Apex Chert*-ben. Több mint tizenegy féle baktériumot írtak le. Mivel ezek már cellulárisak, pár százmillió éves evolúciónak már le kellett zajlania.



Élet a Földön – történeti földtan

Archaikum (3,8mr-2,5mr)



- Az **oxigéntermelés** kb. 3,5 milliárd éve kezdődött a fotoszintetizáló **Cyanobacteria** (korábban Cyanophyta - kékeszöld alga - néven a növényekhez sorolták) megjelenésével, fejlődésük csúcsát 1,5 milliárd éve érték el.

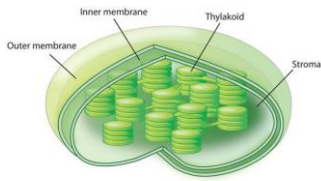


▲ **Ábra:** Alsó proterozoikumi sztromatolitok Boliviából
Forrás: <https://hu.wikipedia.org>

- Ide tartozó baktériumok okozták napjaink "vízvirágzását", ősi nyomaikat a megkövesedett **sztromatolit-szerű fosszíliák** őrzik. Az O₂ melléktermék volt, nagyobb mennyiségben mérgező. A képződött oxigént az oldott ásványok, elsősorban vasásványok kötötték meg, kialakítva a sávos vasérc formációkat.
- Az **eukarióták megjelenésével** kapcsolatos becslések között az időben legtávolabbi a 3-2,7 milliárd év, mely a metabolizmusukra jellemző bizonyos lipidek, szteránok nyomfosszíliáin alapul. A **biológiai történelemben** tehát a **prokarióta időszak 50 %-ot tesz ki**. Az **eukarióta átmenet több szakaszban zajlott le**, a sejtmag kialakulása külön történt az organellekétől: a kloroplasztizétól (szimbionta Cyano-bacterium) és mitokondriumokétól (szimbionta heterotróf baktérium).



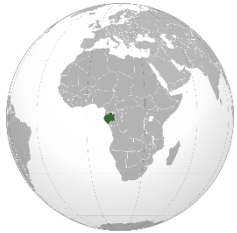
A **sztromatolit** (A görög στρώμα (*sztróma* – réteg), és a λίθος (*lithosz* – kő) szavakból) cianobaktériumok, azaz fotoszintetizáló kékbaktériumok által létrehozott üledékszerkezet.



Élet a Földön – történeti földtan

Proterozoikum (2,5mr-542mill)

- A **kloroplasztiszt** tartalmazó eukarióták hatékonyabb fotoszintézisre képesek, így több O_2 -t termelnek, kialakulásukkal a **fotoszintézis jelentősége megnőtt**. A folyamatos oxigenizáció miatt 2 milliárd éve az óceánban oldott vas mennyisége annyira lecsökkent, hogy már nem tudta megkötni a szabad oxigént, ami ökológiai katasztrófát okozott. **Az oxigént toleráló, majd hasznosító formákból új életformák jöttek létre**. A sávos vasérc képződése **1,8 milliárd éve** ért véget, **a légköri oxigéntartalom** ettől kezdve ugrásszerűen **nőni kezdett**.



- A legkorábbi **multicelluláris fossziliák** (Metazoa) 2,1 milliárd évesek, melyeket Gabonban találtak Franceville közelében. Bár a prokarióták is képesek pl. konjugációval gén-cserére, de a **szexuális szaporodás**, mely a variabilitás növelésével kb. **2 milliárd éve felgyorsította az evolúciót**, csak az **eukariótákra jellemző**.



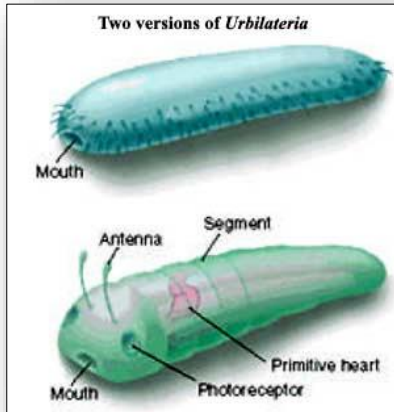
- Az eukariótákhoz tartozó **zöld algák** kb. **1,8 milliárd éve**, az **első gombák** **1,3 milliárd éve** jelentek meg.
- 1,2 milliárd éves ausztrál homokkőben mászásnyomokat találtak, egy „féregszerű” állat hagyhatta. Hasonló nyomfossziliát írnak le Indiából is, ahol akkoriban sekély tenger volt. Ez alapján **a többsejtű állatok kialakulása tehát több mint 1 milliárd éve történt**.

▲ **Ábra:** Zöld alga

Forrás: <https://hu.weblogographic.com>

Élet a Földön – történeti földtan

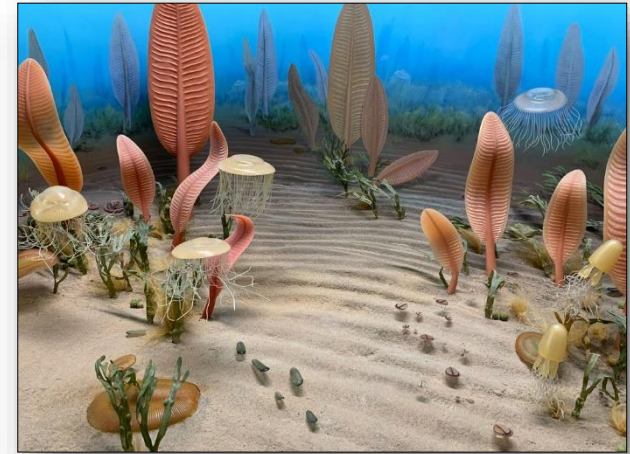
Proterozoikum (2,5mr-542mill)



- Ebben az időszakban élhetett egy szintén féregszerű állat, az **Urbilateria**, mely a mai ős- és újszájúak feltételezett közös őse volt.

◀ **Ábra:** Urbilateria

Forrás: <http://www.bio.miami.edu>



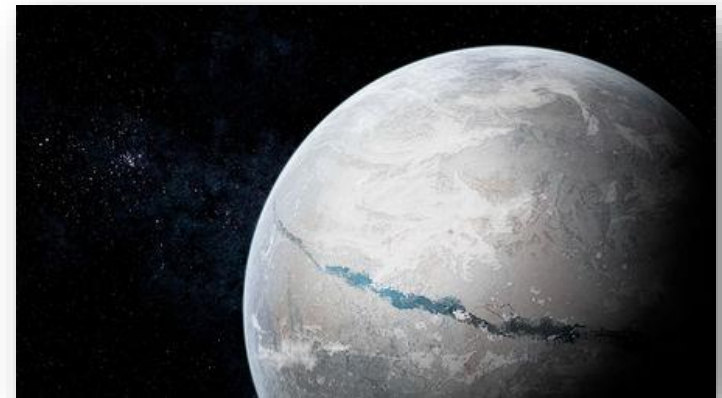
<https://www.priweb.org/blog-post/vanished-worlds>

- 750-580 millió éve volt a földtörténet legnagyobb eljegesedése „hólabda-Föld” vagy „**snowball Earth**” periódus, mely a legősibb szuperkontinens, a **Rodinia** feldarabolódásával kezdődött.



- A legkorábbi, 650 millió éves többsejtű (Porifera, szivacs) állatfosszíliákat Ausztráliában találták.

- A következő fontos fosszíliák először az ausztráliai **Ediacara lerakódásokból**, s a róla elnevezett korszakból (635-542 millió év) kerültek elő.



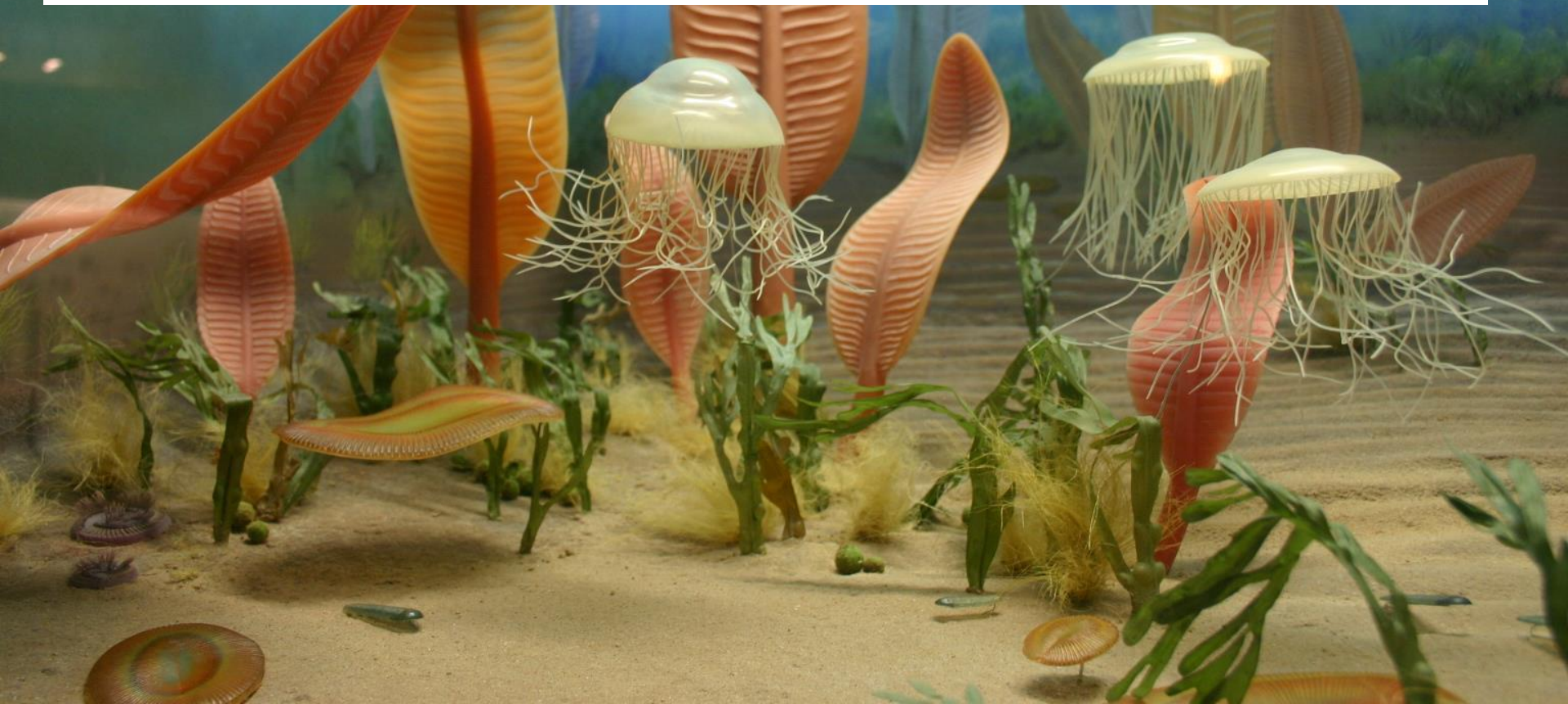
▲ **Ábra:** „Snowball Earth”

Forrás: <https://www.sciencemag.org>

Élet a Földön – történeti földtan

Proterozoikum (2,5mr-542mill)

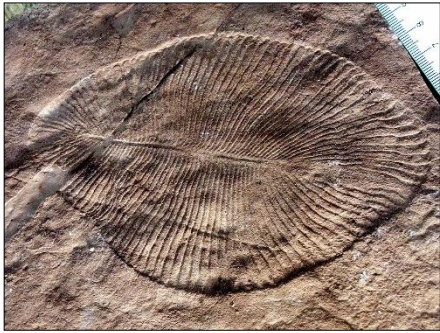
- Azóta mind az öt kontinens több mint 30 lelőhelyéről ismertek. Az **Eldiacara-fauna** tagjai **lágú testű vízi állatok** voltak (medúza és féregszerű benyomást keltenek), többségük kipusztult a kambrium előtt. (Mivel egyértelműen nem bizonyított, hogy állatok, mai összefoglaló nevük **Vendobionta**.) Három törzsük ismeretes. Az első ismert **Coelomata** a **Kimberella** talán puhatestű (Mollusca) volt, 600 millió éve élt. A legidősebb, egyértelműen bilateria állatfosszília, a **Vernanimalcula guizhouena** 600-580 millió éves, a kínai Doushantuo formációból került elő. Szárazföldi spóra (gomba) fossziliákat találtak 550 milliárd éves kőzetekben.



Élet a Földön – történeti földtan

Proterozoikum (2,5mr-542mill)

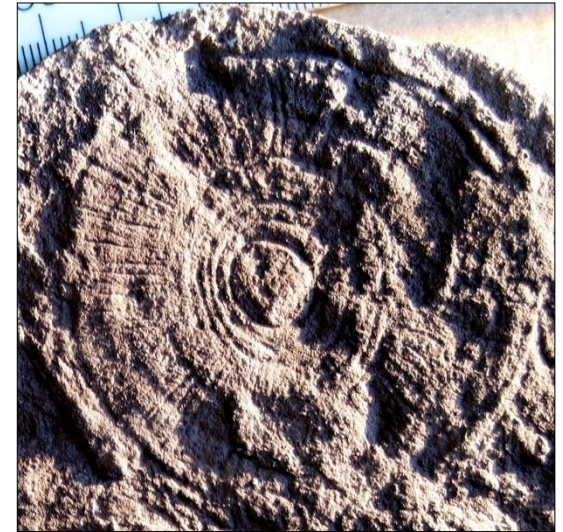
Ediacara-fauna tagjai



Dickinsonia costata



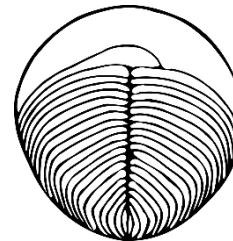
Charniodiscus



Cyclomedusa



Charnia



Yorgia



Mawsonites spriggi



Spriggina



Tribrachidium



Kimberella

Élet a Földön – történeti földtan

Kambrium (542-488)



- A kambrium (Wales római kori nevéből) a *fossilizáció* egyik legjelentősebb korszaka.
- 543-530 millió éve képződtek a *kis kagylós fossziliák*, melyek már *előrevetítik a következő fauna megjelenését*.
- A korai kambriumi hűvös időszakot felmelegedés követte. Az állatok első nagy radiációja (szétterjedés), a „*kambriumi robbanás*” (530-520) során a *diverzitás megnőtt*, már jelen volt az összes ma ismert állattörzs.
- Valószínűleg megjelentek a *dögevők* és a *ragadozók*, mely ellen a lágy test nem nyújt védelmet, így a *szilárd váz kialakulása* előnyt jelenthetett.



Élet a Földön – történeti földtan

Kambrium (542-488)

- A **Burgess-pala** (Kanadai Sziklás hegység, Brit-Kolumbia) a korszak és a földtörténet egyik legjelentősebb lelőhelye. A **több mint 200 fajt tartalmazó tengeri fossziliákban** megjelentek a **kemény részek, héjak** a puhatestűeknél (Mollusca), **vázak** az ízeltlábúaknál (Arthropoda) és tüskésbőrűeknél (Echinodermata). A gerinchúrosok (Chordata), a gerincesek (Vertebrata) és a Conodonták (Chordata rokonság) is megjelentek a kései kambrium folyamán. *Számos olyan faj élt, melyeket a mai törzsekbe nem lehet egyértelműen besorolni.*



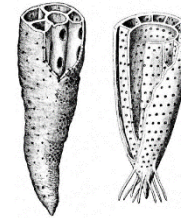
<https://hu.wikipedia.org/wiki/Burgess-pala>



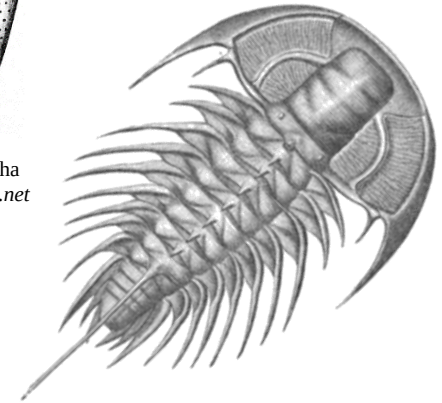
Élet a Földön – történeti földtan

Kambrium (542-488)

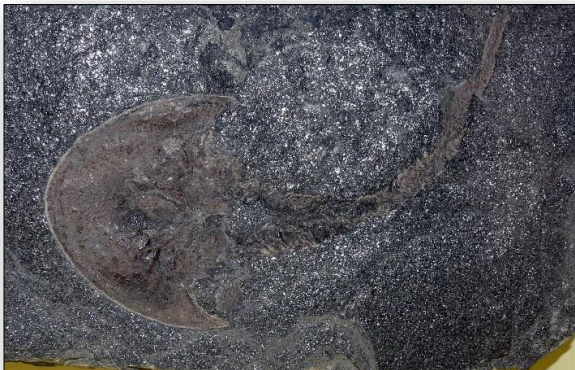
- A **Trilobiták** 530 éve jelentek meg, gyors elterjedésük után (diverzitási maximum), **dominánssá váltak**. A késő kambriumi fauna 60%-át teszi ki 4.000 fajjal, de felük a korszak végére kihalt (majd a Permben végleg eltűnnek). A talán szivacsokhoz tartozó **Archaeocyatha**-k (első zátonyképzők) elterjednek, majd kihalnak.
- A kambriumban már éltek **állkapocs nélküli** (Agnatha: Ostracodermi) **halak**: 530 éves fosszíliát találtak Kínában, 505 millió éveset Amerikában. (Ausztráliából előkerült egy 560 millió éves lelet, mely hal is lehet).



▲ Ábra: Archaeocyatha
Forrás: www.jsjgeology.net



▲ Ábra: Olenoides typicalis
Forrás: <https://hu.wikipedia.org>



▲ Ábra: Cserepesbőrűek (Ostracodermata)
Forrás: <https://hu.wikipedia.org>

- A kambrium során **az algák minden ma ismert törzse kialakult**, ezzel törzsfejlődésük lényegében lezárult.
- A középső-kambriumból **multicelluláris zöldalga** (ezekből alakulnak majd ki a szárazföldi növények) fosszíliát találtak.
- Elképzelhető, hogy az algáknak köszönhető magas oxigénszint hozzájárult a **kambriumi diverzitásrobbanáshoz**.

Élet a Földön – történeti földtan

Ordovícium (488-444)

- Az ordovíciumra jellemző a **meleg éghajlat**, feltehetően *üvegházhatás következtében*. Folytatódott az adaptív radiáció. A *tengerekben a gerinctelenek dominánsak* továbbra is.

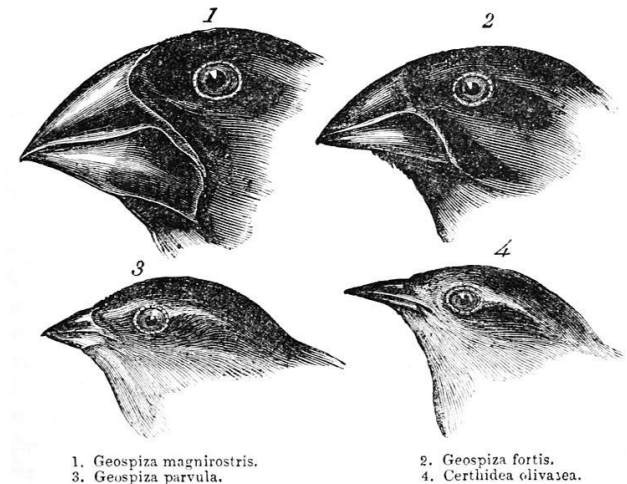


Élet a Földön – történeti földtan

Ordovicium (488-444)

Az adaptív radiáció evolúciós folyamat. Alkalmazkodó szétterjedésnek nevezzük azt a jelenséget, mikor az evolúció során egyetlen fajból egy egész sor különböző faj keletkezik, egymással párhuzamosan, evolúciós léptékben rövid idő alatt (tízezertől néhány millió évig).

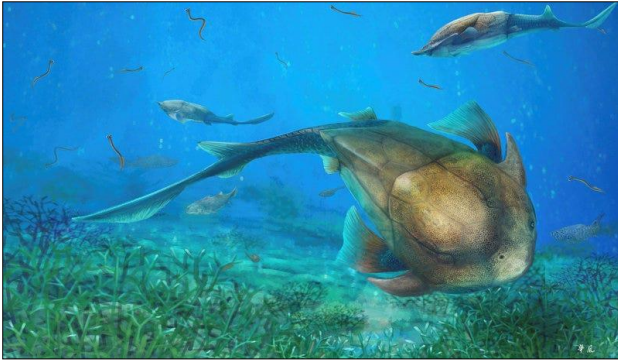
A folyamat oka az *ökológiai specializáció*: egy sor ökológiai fülkét (niche-t) egyetlen populáció leszármazottai foglalnak el, és közben új fajok alakulnak ki belőlük. A fajképződés útja a természetes kiválasztódás, a *szelekció*.



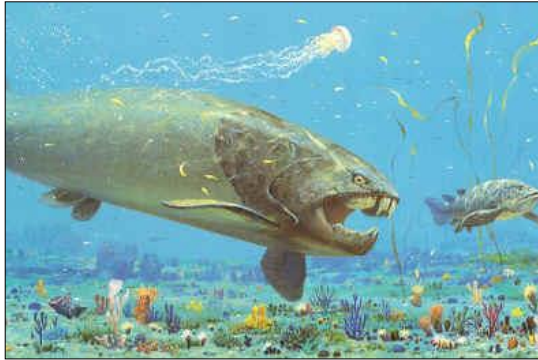
▲ **Ábra:** A Darwin-pintyek mint az adaptív radiáció klasszikus példái

Élet a Földön – történeti földtan

Ordovícium (488-444)

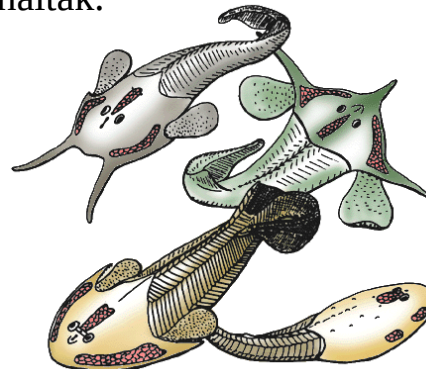


<https://www.businessinsider.com>

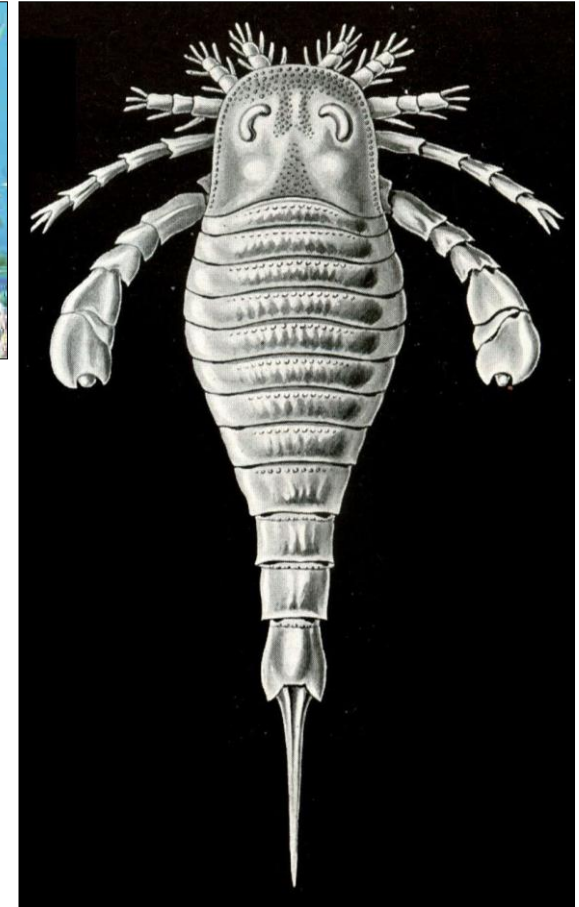


<http://palaeos.com>

- Ekkor jelentek meg az **Eurypteridák** („tengeri skorpiók”), melyek 2-3 méteres csáprágós ízeltlábúak voltak, félelmetes ragadozók (ábra).
- A középső-ordovíciumból kerültek elő a legrégebbi **csontos fossziliák**. 480 millió éve alakultak ki édesvizekben az első **állkapcsos halak (Gnathostomata)**, de igazán elterjedté csak a devonban váltak. Megjelenésükkel kezdetét vette az **Ostracodermi (cserepes-bőrűek) hanyatlása**, melyek a devonban kihaltak.



<https://en.wikipedia.org/wiki/Ostracoderm>



Ábra: Eurypteridák (tengeri skorpiók)
Forrás: <https://hu.wikipedia.org>

Élet a Földön – történeti földtan

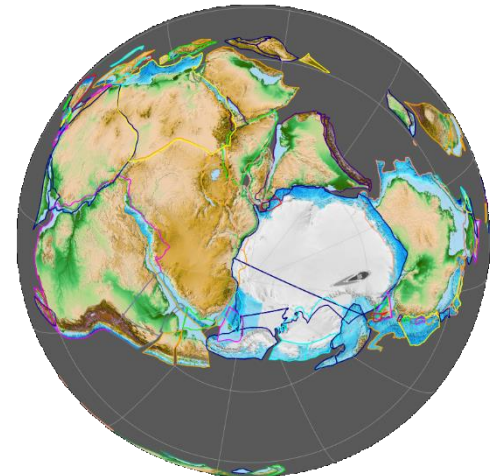
Ordovicium (488-444)



▲ **Ábra:** Csillárkamoszatok (Charophyta)
Forrás: <https://hu.wikipedia.org>

- Fejlődéstörténeti szempontból jelentős a **növényi szaporítószervek megjelenése**. Ennek első nyomait az ordoviciumból mutatták ki zöldmoszatoknál (zöldalga), melyek ekkor kőzetalkotó mennyiségben éltek. A **szárazföldi növények ősei** a zöldalgákhoz tartozó **csillárkamoszatok** (Charophyta). **Telepes formáikból alakultak ki az első szövetes, edényes növények, melyeknek még nem volt gyökére és levele.** A **májmohák** megjelenésével elkezdődött a szárazföld intenzív meghódítása, az első szárazföldi növényi életre utaló moha spórák 475 millió évesek. A sekély kontinentális tengerek nagy elterjedése lehetővé tette az **első korallzátonyok kialakulását**.

- A zöldalgák **aktív fotoszintetikus tevékenysége** hozzájárulhatott, hogy **a korszak végére a CO₂ szint 30%-kal esett, így csökkent az üvegházhatás.**
- A Gondwana kontinens délre vándorolt és eljegesedett. Feltételezhetően erős gamma-sugárzás érte a Földet és előbbiekkkel együtt hozzájárult, hogy a kor végén erős lehűlés következett be. Kialakult egy **jégkorszak**, mely a permi után **a földtörténet második legnagyobb kihalását okozta**: a **genusok 50%-a, a tengeri fajok 60%-a eltűnt.**



▲ **Ábra:** Gondwana, 420 millió évvel ezelőtt
Forrás: <https://en.wikipedia.org/wiki/Gondwana>

Élet a Földön – történeti földtan

Szilur (444-416)

- A szilur éghajlata meleg, kiegyenlített, jellemzőek a sekélytengerek, a sok korall, gerinctelenek uralma.

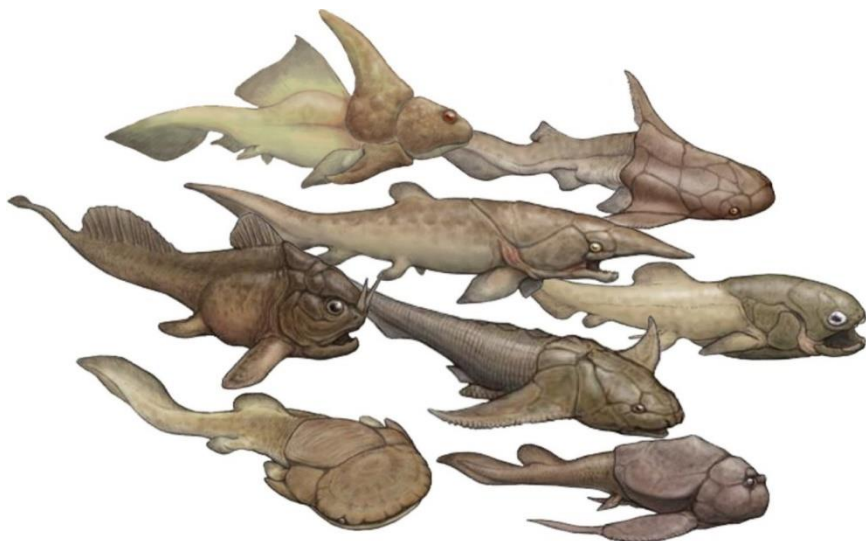


▲ **Ábra:** Szilur időszaki tengerfenék rekonstrukciója
(tengeri liliomok, ammoniteszek, trilobiták, szivacsok, korallok, tengeri skorpiók)

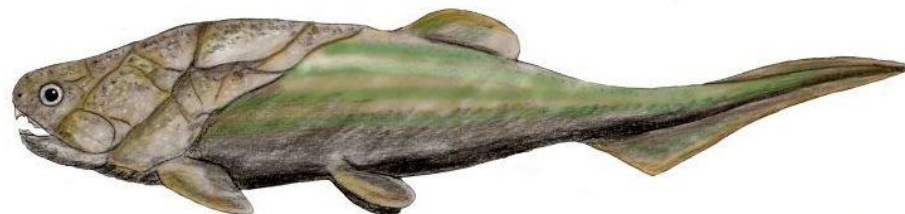
Forrás: <https://de.wikipedia.org>

Élet a Földön – történeti földtan

Szilur (444-416)



<https://tentacletheatre.com>

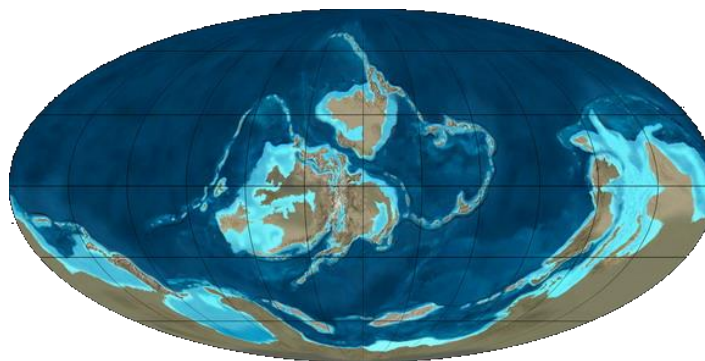


Ábra: Coccosteus decipiens
Forrás: <https://hu.pinterest.com>

- Ekkor alakultak ki az Ostracodermi csoportból a **páncélos őshalak (Placodermi)**, melyek nagyon elterjedtek, sikeresek voltak, de a devonban kihaltak. *Bordák nélküli porcos vázuk volt, külső csontos pikkelyekből álló páncél borította testüket.*



<https://alchetron.com/Placodermi>

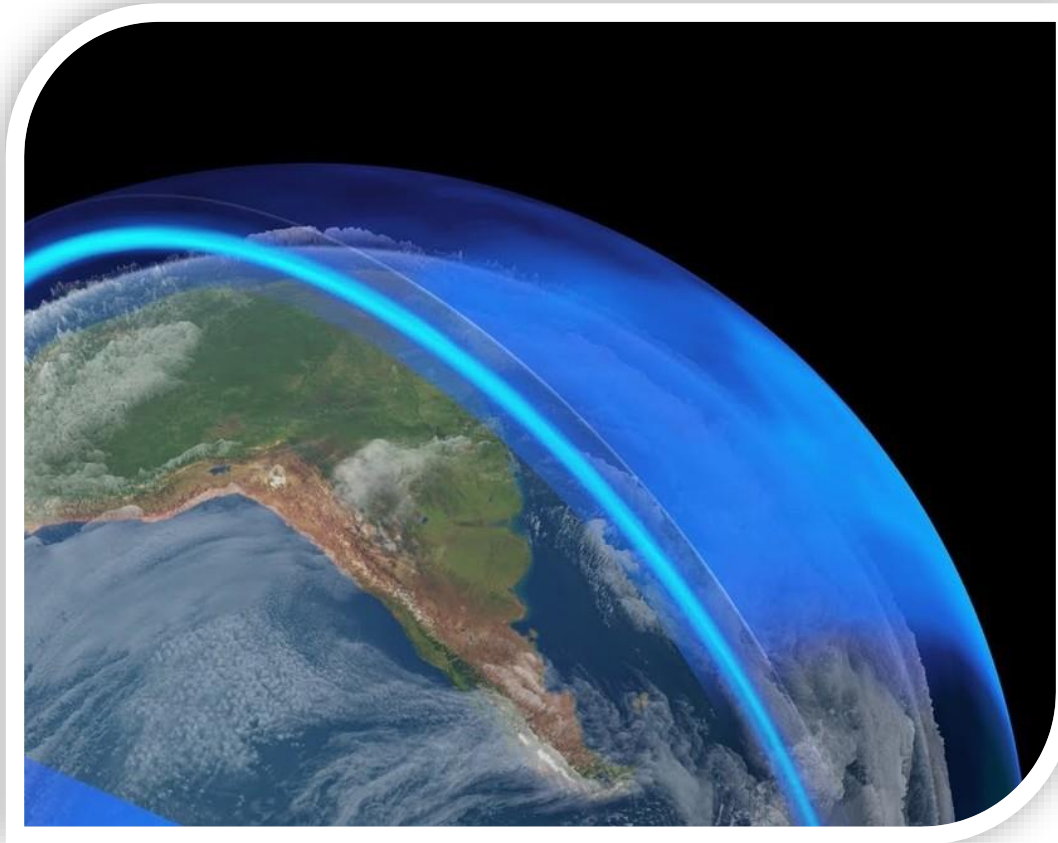


▲ Ábra: Szilur ősföldrajzi térkép, 430 millió évvel ezelőtt
Forrás: <https://www.origo.hu>

Élet a Földön – történeti földtan

Szilur (444-416)

- A korszak kezdetén a növényi fotoszintézis hatására a **légtörő oxigén szintje megnőtt** (mai érték 10%-a), lehetővé téve az **ózonréteg kialakulását**. Ennek következtében a Földet ért UV sugárzás jelentősen lecsökkent, így nyitva teret az élet szárazföldi radiációjához.



Élet a Földön – történeti földtan

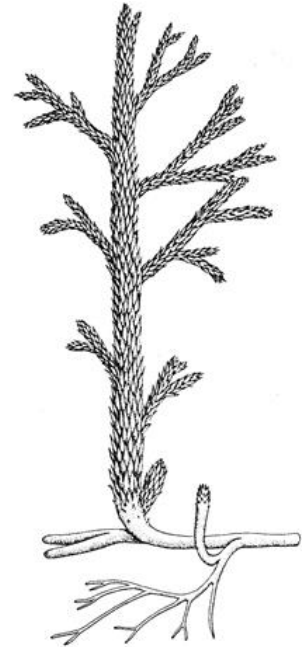
Szilur (444-416)

- A növények evolúciójáról általánosan elmondhatjuk, hogy „**egy irányba zajlik**”: **a haploid gametofiton redukálódik, míg a diploid sporofiton differenciálódik**. A fenti folyamattal párhuzamosan zajlik a **heterospória kialakulása**, aminek szélsőséges formája a **magképzés**.
 - A **nemzedékváltakozás (életfázis-váltakozás)**, esetleg kétszakaszos **egyedfejlődés (metagenezis, generatio alternans)** a növények – illetőleg a gombák és egyes Chromalveolata-csoportok (pl. kovamoszatok, barnamoszatok) – egyedfejlődésében széles körben felismerhető jellemző sajátosság.
 - Abban nyilvánul meg, hogy **az egyedfejlődés teljes ciklusa alatt többnyire szabályszerűen váltja egymást**:
 - **a spórából** (pontosabban meiospórából: meiózis útján létrejött spórából) **kifejlődő, haploid állapotú, ivarszerveket** (gametangium) és **ivarsejteket** (gaméta) **létrehozó ivaros nemzedék** (életfázis, szakasz), más néven **gametofiton**,
 - és a megtermékenyített petesejtből, a zigótából **kifejlődő, diploid állapotú, ivartalan szaporítószerveket** (spórákat létrehozó sporangiumok) **létrehozó ivartalan nemzedék** (életfázis, szakasz) vagy **sporofiton**.
 - Megjegyzendő, hogy a „nemzedék” szó használata nem túl szerencsés, hisz ezen a szón nem a genetikai értelemben vett nemzedéket értjük, hanem **egyetlen egyedfejlődési ciklus két szakaszát**, melyet egymástól élesen elválaszt a sejtek eltérő kromoszómaszerelvénye (**haploid gametofiton és diploid sporofiton**).

Élet a Földön – történeti földtan

Szilur (444-416)

- Az első hajtásos növények az ősharasztok (minden hajtásos növény ősei) és a **korpafüfélék**, melyek kb. 10 cm-esek voltak. Az első ismert edényes (vaszkuláris, tracheophyta) növény, a **Cooksonia ősharaszt** a késő-szilurból.
- Ezek a még gyökértelen, levéltelen növények, rövid (10 cm), felfelé álló hajtásaikkal fogták fel a napfényt, és ágaskodva eresztették szélnek spóráikat. A megnövekedett légköri oxigén következtében kialakultak az **első futótüzek**.



▲ **Ábra:** Korpafüfélék
(*Asteroxylon mackiei*)
Forrás: <https://regi.tankonyvtar.hu>

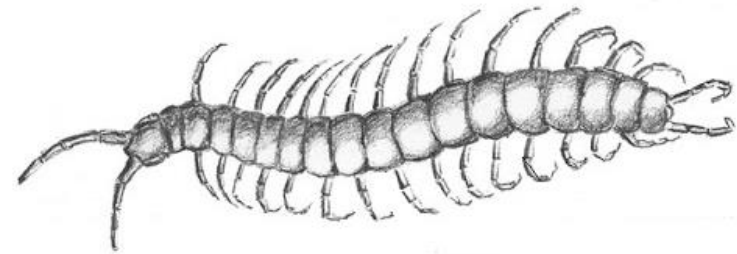
► **Ábra:** Cooksonia fosszíliák
Forrás: <http://tamop412a.ttk.pte.hu>



Élet a Földön – történeti földtan

Szilur (444-416)

- Az **első szárazföldi állatok ízeltlábúak** (Arthropoda) **voltak**: a **soklábúakhoz** (Myriapoda) tartozó **ősi százlábúak, őspókok** (pókszabásúak). Bár rovar fosszíliát nem találtak ebből a korból, valószínű megjelentek a **rovarok ősei** is (*Hexapoda*).
- A szilur végén jelentek meg az **ősi cápák** és az **első csontos halak** (Osteichthyes), melyek első képviselői a **Sarcopterigii** (húsos úszójúak) voltak. Valószínűleg a páncélos halak sósvízi dominanciája miatt az édesvizekben is elterjedtek. A csontos halak másik csoportja a sugaras-úszójúak (**Actynopterigii**) is kialakultak, melyekhez a mai halak többsége is tartozik.



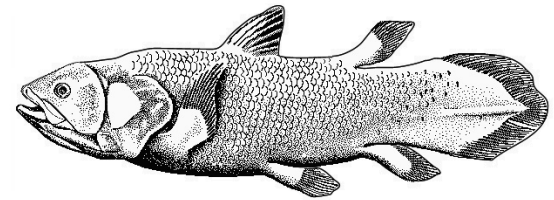
▲ **Ábra:** Myriapoda

Forrás: <http://www.quantum-immortal.net>



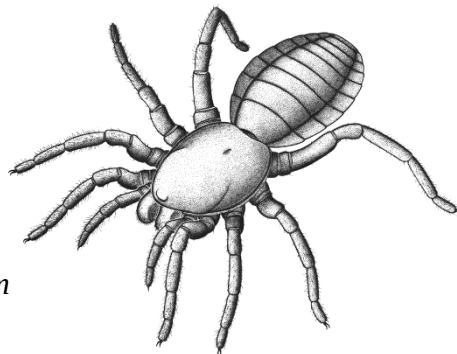
▲ **Ábra:** Hexapoda

Forrás: <https://hu.depositphotos.com>



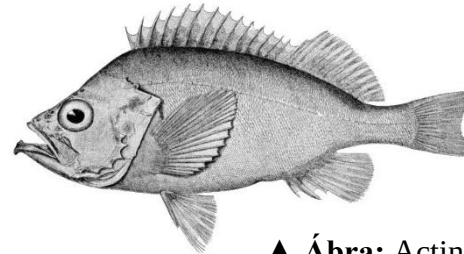
▲ **Ábra:** Sarcopterigii

Forrás: <https://simple.wikipedia.org>



► **Ábra:** Ős-pók

Forrás: <https://www.bbc.com>



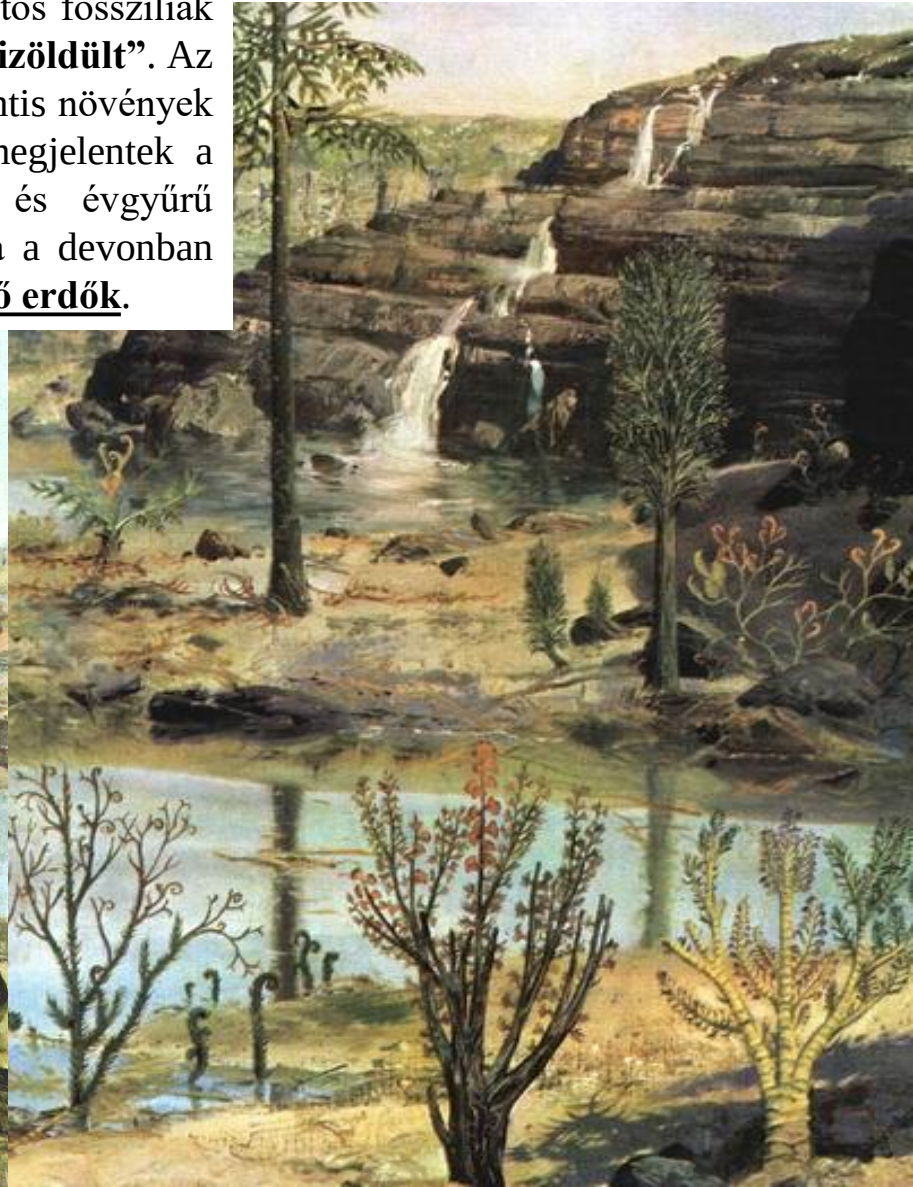
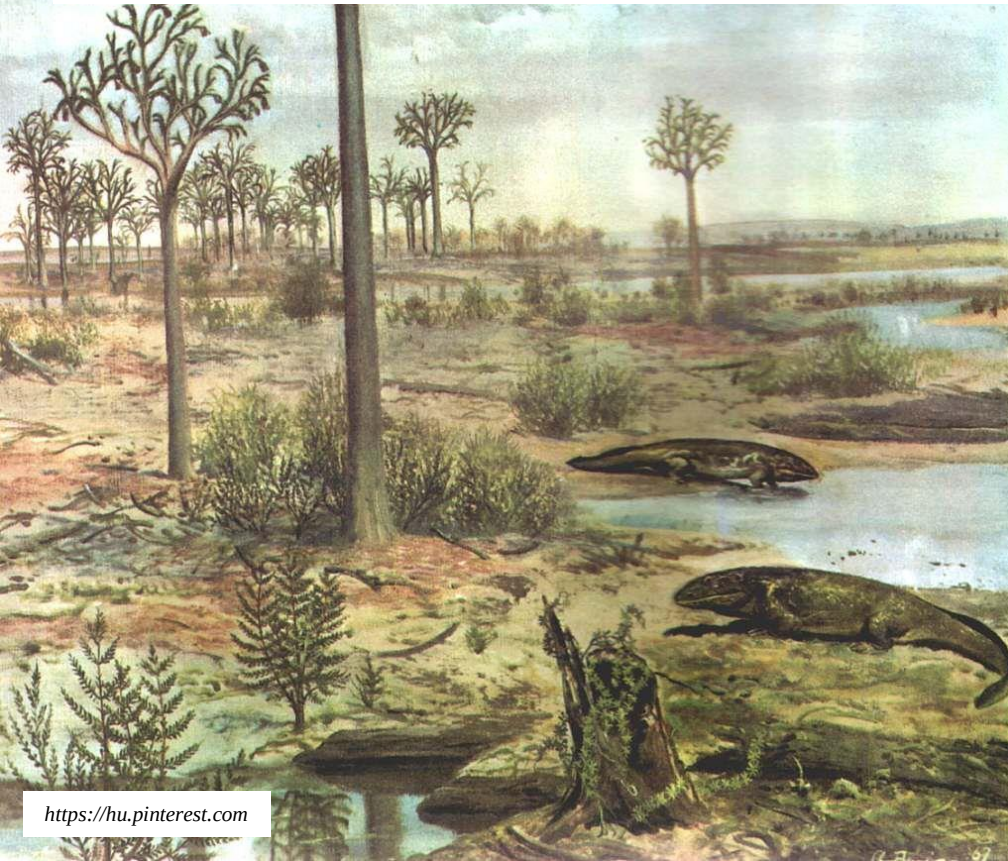
▲ **Ábra:** Actynopterigii

Forrás: <https://sco.wikipedia.org>

Élet a Földön – történeti földtan

Devon (416-360)

- A „**Devoni robbanás**”: ugrásszerűen megnőtt a jelentős fossziliák száma, *új, modern élővilág alakult ki*, a szárazföld „kizöldült”. Az algák, gombák, baktériumok és az eleinte csak pár centis növények hatására **kialakult az első talaj**. A növényeknél megjelentek a megaspórák. Devoniak az első levél-, gyökér- és évgűrű fossziliák. Az ősharasztok felvirágzása és hanyatlása a devonban volt, egyesek elérték a fa termetet, **megjelentek az első erdők**.



Élet a Földön – történeti földtan

Devon (416-360)

- A *Wattieza* a legkorábbi ismert **ősharaszt fa**, 20 millió évvel későbből az *Archaeopteris* (akár 50 m). A meleg párás éghajlat és a növényi biomassza tömege lehetővé tette az **első kőszénrétegek kialakulását**. 400 millió éve a **nyitvatermőkkel (Gymnospermatohyta)** jelentek meg az **első magvas növények** is, a magvas-páfrányok.



<https://dinopedia.fandom.com>



<https://www.gilboafossils.org>



<https://www.deviantart.com>

Élet a Földön – történeti földtan

Devon (416-360)

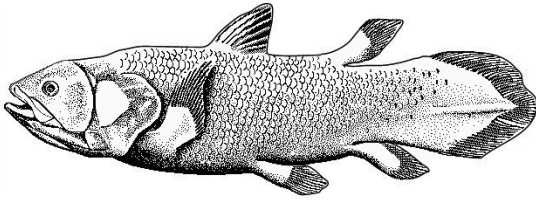


▲ **Ábra:** Archaeopteris

Forrás: <https://michalpytlik.artstation.com>

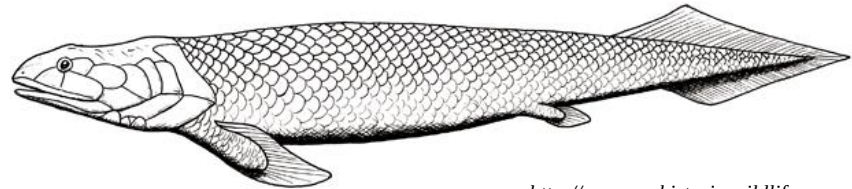
Élet a Földön – történeti földtan

Devon (416-360)



<https://simple.wikipedia.org/wiki/Sarcopterygii>

- A ***Panderichthys*** halnál már megfigyelhető a tetrapodaszerű fej. A **Tic**taalic izmosúszójú hal 375 millió éve élt.
- A hal és kételtűek közötti „**hiányzó láncszem**” után való céltudatos kutatás során, devonkori kőzetek vizsgálatával találták meg 20 példányát Kanadában a Grönlandhoz közeli Ellesmere szigetén 2004-ben.



<http://www.prehistoric-wildlife.com>



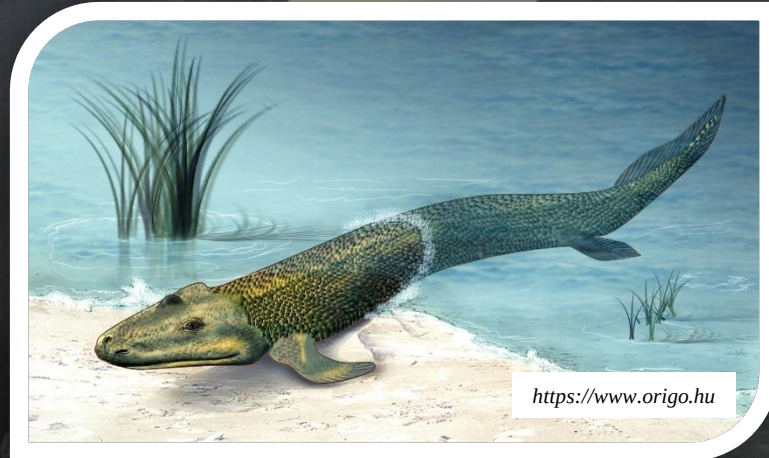
<https://en.wikipedia.org/wiki/Tiktaalik>



Élet a Földön – történeti földtan

Devon (416-360)

- Mivel felépítésében halakra és négy lábúakra emlékeztető jegyek egyaránt felfedezhetők, ezért egyik felfedezője, Neil Shubin „fishapod” („hal-lábú”) névvel jellemzi. A **Tiktaalik** ízig-vérig **átmeneti faj volt**, keveredtek benne a halakra (pl. még jellegzetes pikkelyei voltak) és a négy lábúakra jellemző tulajdonságok. A legfontosabb átmeneti tulajdonságot az úszók mutatják: ujjak még nem voltak megtalálhatók, de támasztékul szolgálhattak. A csuklószerű végtagok, az úszó felépítése és a feltételezett nagy izomköteg viszonylag gyors mozgást biztosított a számára a szárazföldön, **DE semmiképp sem tekinthető még szárazföldi állatnak**. Ugyan még volt kopolytúja, de azt már nem fedte csontos lemez, mint a ma is élő halfajok esetén, így képesek voltak fejüket oldalirányban is mozgatni. Ezt az először náluk megjelenő nyak is segítette. A nyakat a vállöv különítette el a koponyától. A sekély vízhez való alkalmazkodás során fejlődésnek indult a szegycsont, ami elősegíthette a szárazföldi élethez való alkalmazkodást és magának a szárazföldi életformának a kialakulását.



<https://www.origo.hu>

Élet a Földön – történeti földtan

Devon (416-360)

- Az *első valóban kétéltűnek* tulajdonítható 7 ujjú Ichtyostega foszília 375 millió éves. A 365 millió éve élt **Acanthostegának** pedig 8 ujjja volt végtagonként. Feltehetően édesvízben éltek, mint őseik. Az első szárazföldi kétéltűeknek fajtól függően 5-9 volt az ujjszáma.
- A devonban jelentek meg a *pókok, atkák, ikerszelvényesek, százlábúak, és a rovarok első, röpképtelen képviselői* (Rhynie kovakő, Skócia). Az intenzív fotoszintézis miatt nőtt a légköri CO₂ megkötése, amely **az üvegházhatást csökkenve erős lehűlést okozott**. Feltehetően ez okozta a földtörténet öt nagy kihalási korszaka közül a devonit, mely során a családok 20%-a, a genuszok 50%-a eltűnt. A nagy vesztesek a sztromatolitépítők, a rugosa és tabulata korallok, pörgekarúak, trilobiták, ammoniteszek, az állkapocs nélküli- és húsos úszójú halak.



<https://hu.wikipedia.org/wiki/Acanthostega>



<https://www.mozaweb.hu>

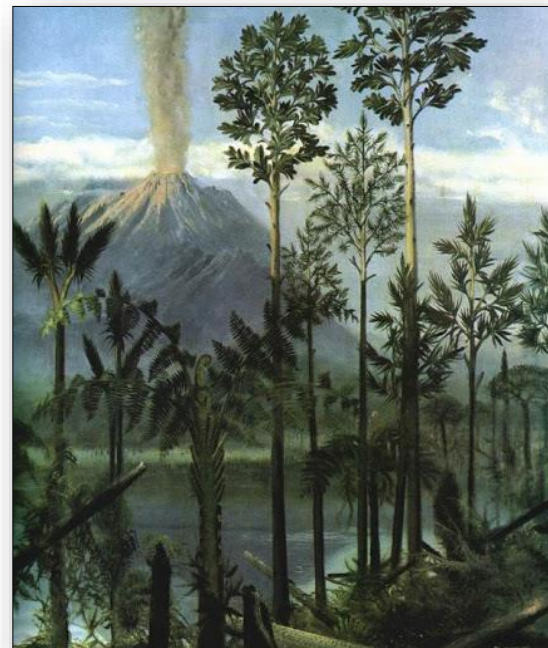


<https://www.mall.hu>

Élet a Földön – történeti földtan

Karbon (360-300)

- Éghajlatára eleinte a meleg, kiegyenlített klíma volt jellemző, melyre az évgyűrű nélküli, hatalmas levelű fák is utalnak. A nagy növényi biomassa lehetővé tette a **kőszéntelepek kialakulását**, melyek több mint **50%-a ekkor alakult ki**, a korszak is ezekről kapta a nevét.
- Először mutathatók ki flóraprovinciák. **Elterjedtek a repülő rovarok (kérészek, szitakötők), kialakultak a csótányok, poloskák, egyenes-szárnyúak, a korszak végén megjelentek a bogarak.** A mainál magasabb oxigénszint miatt **a korszakban élő rovarok hatalmasra nőttek.**



<http://www.vilaglex.hu>



<http://www.godivizinoveny.hu>

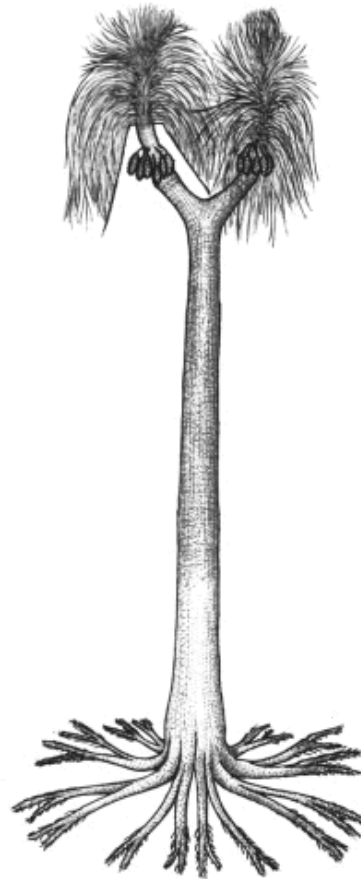


<https://index.hu>

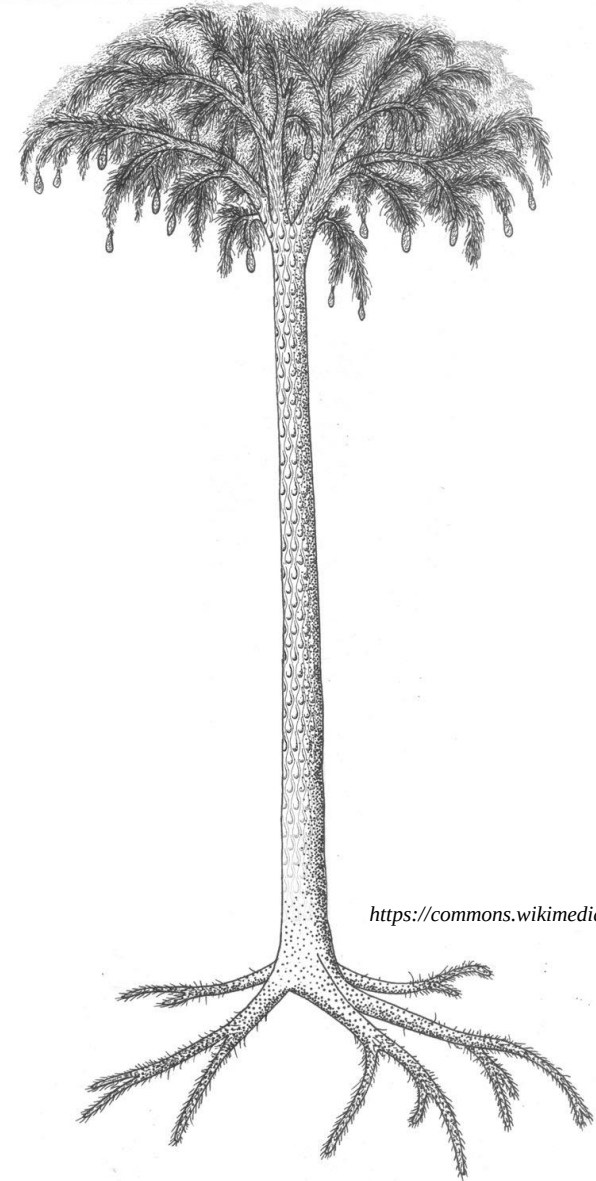
Élet a Földön – történeti földtan

Karbon (360-300)

- A késő-karbonban *megjelennek a cikászok, tobozos nyitvatermők, ősginkgok, és elterjedtebbé válnak a magvaspáfrányok*. A késői devon fái még a karbon elején is uralták a tájat. A **Sigillaria** és **Lepidodendron** korpafűfák elérték a 30-40 méteres magasságot. **Az erdők élővilága változatos volt.**



<https://steurh.home.xs4all.nl/engsig/esigilla.html>



<https://commons.wikimedia.org>

Élet a Földön – történeti földtan

Karbon (360-300)

- Kiüregesedett Sigillariák belsejéből kerültek elő az ott táplálék után kutató *első hüllők*.



▲ **Ábra: Pecsétfa (Sigillaria)**
Megkövesedett gyökér Durhamban (Anglia)
Evolúciós időszak: Karbon - kora perm
Forrás: <https://hu.wikipedia.org>



Élet a Földön – történeti földtan

Karbon (360-300)

- Jellemző rájuk a magzatburok (amnion) megjelenése. Az egész földi élet szempontjából döntő fordulat volt **a tojás kialakulása**, így nincs lárva stádium, az embrió védett a kiszáradás ellen és mechanikailag is. A pikkelyes kültakaró a kiszáradást gátló adaptáció.



▲ **Ábra:** Hylonomus

Forrás: <https://dinopedia.fandom.com>

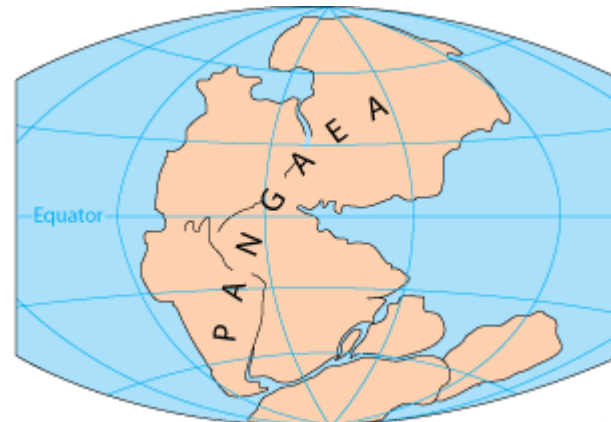
- A **Hylonomus** 320 millió éve élt és a hüllők Anapsida csoportjához tartozott (halántékukon nem volt nyílás). 300 millió éve vált ki belőlük a **Synapsida** (emlősök ősei, egy halántéknyílás) és a **Diapsida** (a mai hüllők ősei, két halántéknyílással) csoportok. **A karbonban a kétélűek diverzek, gyakoriak, van 6 méteres is.** A Trilobiták ritkulnak.



▲ **Ábra:** Archaeothyris, az egyik legrégebbi talált Synapsida

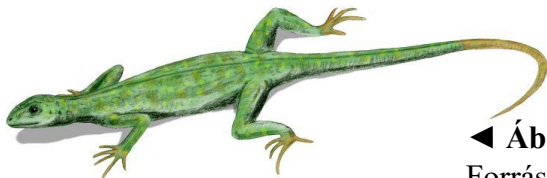
Forrás: <https://en.wikipedia.org/wiki/Synapsid>

- A korszak végére **a kontinensek újból összekapcsolódnak**, kialakul a **Pangea**.



◀ **Ábra:** Diapsida

Forrás: <https://en.wikipedia.org/wiki/Diapsid>



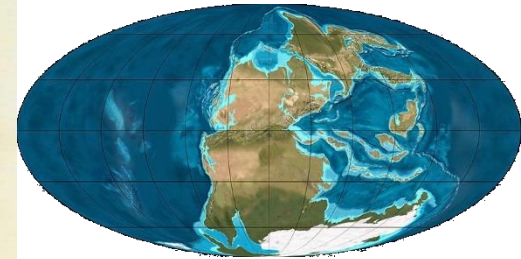
▲ **Ábra:** Pangea

Forrás: <http://spairoindia.blogspot.com>

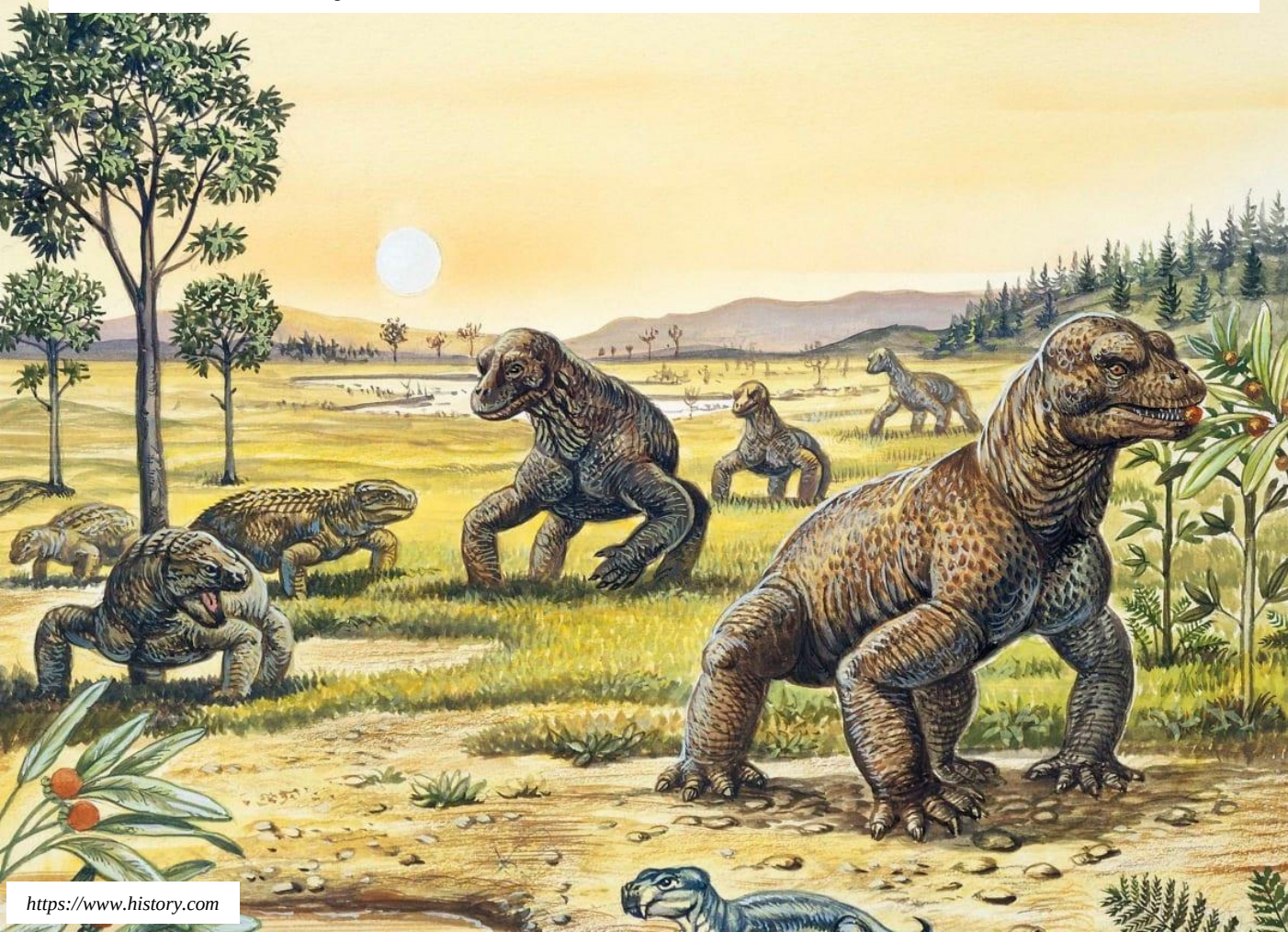
Élet a Földön – történeti földtan

Perm (300-251)

- A **perm** során **száraz** és **nedves** periódusok váltják egymást. A száraz periódusokban „**permi**”, **növényzet** alakul ki, a nedvesekben „**karbon**” **növényzet**. A nedvesebb időszakban a **kőszénképződés folytatódott**. A flórák szétválása kifejezett.



<https://www.geologypage.com>



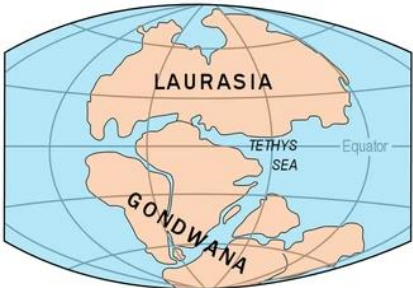
<https://www.history.com>

Élet a Földön – történeti földtan

Perm (300-251)

- A szuperkontinens belsejében lévő szárazulatokon **szélsőséges kontinentális klíma** alakulhatott ki.
 - Az **északi féltekét** forró, száraz klíma jellemezte (bepárlódás - sókőzetek képződése), gyakori a **Walchia** (magvaspáfrány).
 - A **déli féltekén (Gondwana)** a **Glossopteris** magvaspáfrányok jellemzőek.
- A szárazság nem kedvezett a harasztoknak, nagy részük kihalt, a magvaspáfrányok is hanyatlásnak indultak. Az ellenállóbb **nyitvatermők elterjedtté váltak**. A perm idején jelentek meg az **első mai típusú fák (fenyők, ginkgók, cikászok)**.
- A rovarok közül a permben jelennek meg az **álkérészek, kabócák**, valamint a **lepkék** és **tegzesek** közös őse. A kételtűek száma fogyatkozik, de a Gondwanán még csúcsragadozók is vannak közöttük.





Élet a Földön – történeti földtan

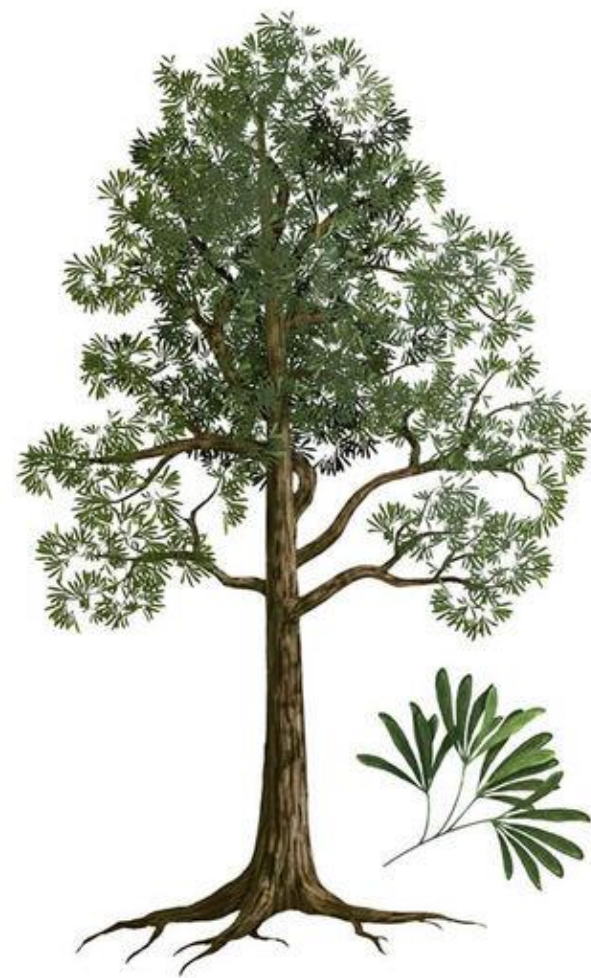
Perm (300-251)

<https://paleontology.fandom.com>



▲ **Ábra:** Walchia

Forrás: <https://theplutyanencyclopaedia.fandom.com/wiki/Walchia>



▲ **Ábra:** Glossopteris

Forrás: <https://prehistoricearth.fandom.com/wiki/Glossopteris>

Élet a Földön – történeti földtan

Perm (300-251)

- A klíma megváltozása elősegítette a **hüllők fejlődését**, megjelentek az első nagy szárazföldi növényevők és ragadozók. Nagy számban terjedtek el az *Anapsidák* és *Diapsidák* is.



▲ **Ábra:** Eusaurosphargis dalsassoi (Diapsida)
Forrás: <http://novataxa.blogspot.com>

► **Ábra:** Anapsidák
Forrás: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Anapsida>



Élet a Földön – történeti földtan

Perm (300-251)

- A középső-permtől dominánssá váltak az **emlősök ősei**, a ***Therapsidák***.
- Az ***Archosauromorpha* hüllők** (uralodógyík-formájúak, Diapsida) a Perm végén jelentek meg.



<https://hu.wikipedia.org/wiki/Archosauromorpha>



▲ **Ábra:** A Therapsida az emlősszerűek egyik csoportja volt, az emlősök ősei. Forrás: <https://en.wikipedia.org/wiki/Therapsid>

Élet a Földön – történeti földtan

Perm (300-251)

- A késő-permben legalacsonyabb az óceánok szintje. A korszak végén *meteorit csapódott a Földre*, az ellentétes póluson plató-vulkanizmus (mai Szibéria) alakult ki, amely a földtörténet legnagyobb kihalását okozta 251 millió éve.
- A tengeri állatok 95%-a, a szárazföldi gerincesek 70%-a kihalt. A tömeges kihalások közül ez okozott egyedül komoly veszteséget a rovarvilágban, 27 rendjükből 8 kihalt. A **perm vége „az ókori növényvilág temetője”**.



<https://www.popsoci.com>



<https://linseedling.tumblr.com>

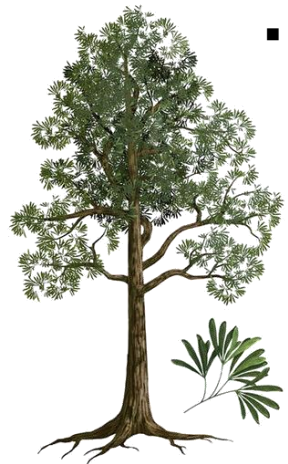
Élet a Földön – történeti földtan

Triász (251-200)

- A **triász** során a Pangea nagy része sivatagos.



- Jellemzőek a *primitív nyitvatermők*, *cikászok*. Megjelentek a modern *páfrányfák* és *zsurlók*, de *átütő változások* nem történtek a növényvilág evolúciójában.



- Növényföldrajzi szempontból **differentiálódtak az északi és egyenlítői flórák**, amit tetézett az, hogy már tengeri gát is kialakult közöttük. Az északi féltekére a **magvas növények** (*Spermatophyta*), a déli féltekére a **magvaspáfrányok** (*Glossopteris*) jellemzőek, melyek a kora-krétaig virultak.

▲ **Ábra:** Glossopteris

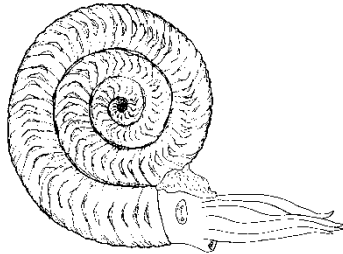
Forrás: <https://prehistoricearth.fandom.com>



<https://hu.wikipedia.org>

Élet a Földön – történeti földtan

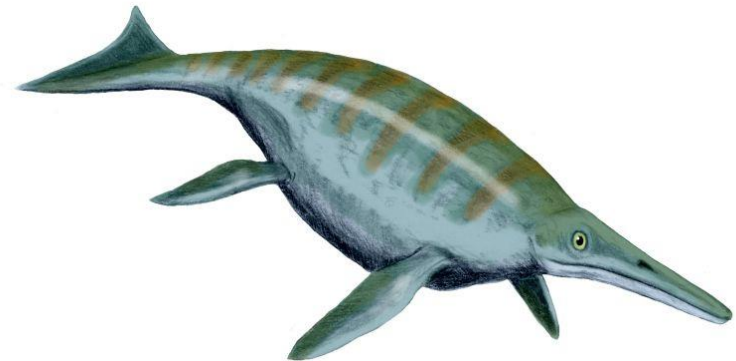
Triász (251-200)



▲ Ábra: Ophiceras

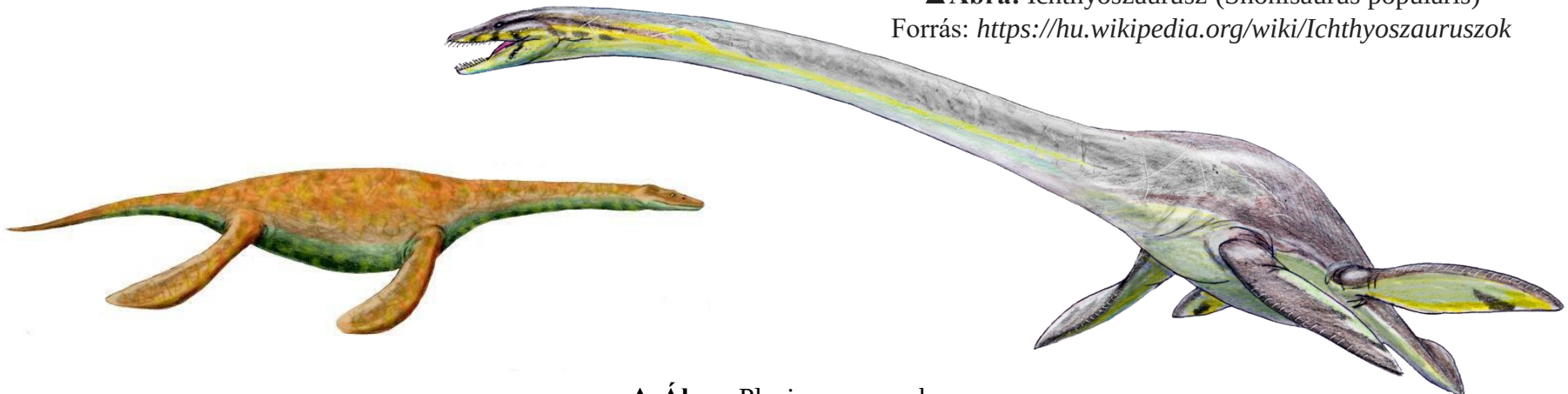
Forrás: <https://www.deviantart.com>

- Az **új csontoshal csoportok** egyre gyorsabb és könnyedebb típusúak. Az **Ammonitesek** hatalmas fejlődése történt meg a kevés túlélőből (mint **Ophiceras**). **Belemniteszek** (belső vázas Cephalopodák) kialakulnak, elterjednek, a Krétában kihalnak. **Kagylók** és **tüskésbőrűek** közül sokan beássák magukat - újfajta védekezés a ragadozók ellen.



▲ Ábra: Ichthyosaurusz (Shonisaurus popularis)

Forrás: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Ichthyosauruszok>



▲ Ábra: Pleiosauruszok

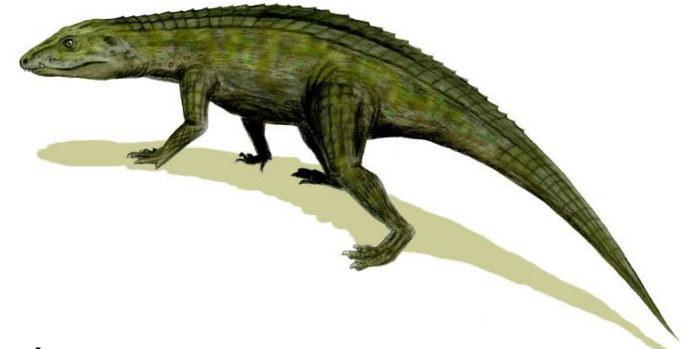
Forrás: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Pleiosauruszok> (bal oldali kép); <https://www.wikiwand.com/hu/Pleiosauruszok> (jobb oldali kép)



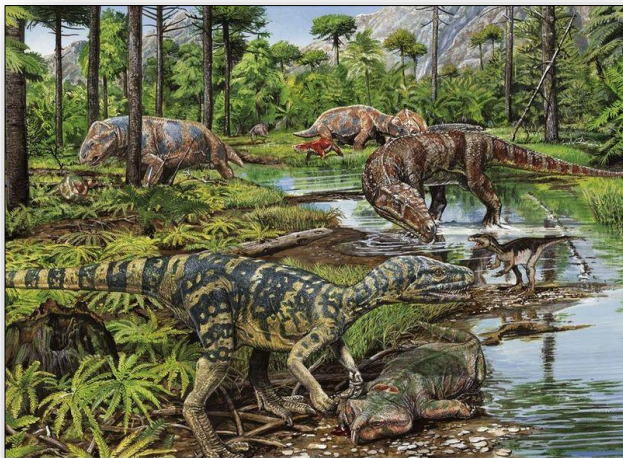
Élet a Földön – történeti földtan

Triász (251-200)

- A permben uralkodó **Therapsidák** a triásztól visszaszorultak, *éjszakai állatokká váltak*, amely *hozzájárulhatott a szőrzet és a szabályozott testhőmérséklet kialakulásához*. A perm végén kialakult **Archosaurus** hüllők dominánssá válnak, és mesés karriert futnak be. Ide tartoznak a **krokodilok**, **dinoszauruszok** és a **repülő őshüllők**, hogy csak a legnevezetesebbeket említsük.
- A középső-triásztól az Archosaurusok két irányba fejlődtek tovább:
 - ✓ az **Ornithosuchidák** (pteroszauruszok, dinoszauruszok, madarak)
 - ✓ és a **Crocodylotarsok** (krokodilszerűek) felé.

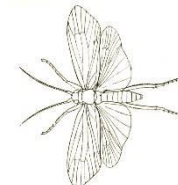
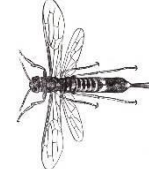


▲ **Ábra:** Protosuchus, egy korai crocodylomorpha
Forrás: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Crocodylomorpha>



<https://encyklopediapoznania.sk>

- A kor végére **a dinoszauruszok száma ugrásszerűen megnőtt**, a legidősebb fosszília 230 millió éves.
- A **Diptera**, **Hymenoptera**, **Trichoptera** rovar rendek megjelentek.



Forrás: <https://en.wikipedia.org/wiki/Fly>

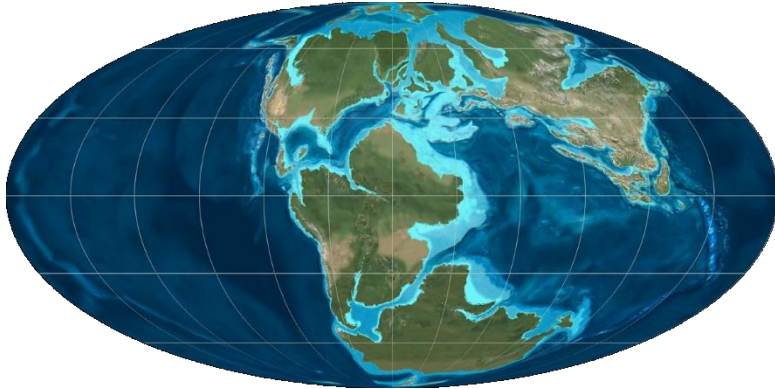
Élet a Földön – történeti földtan

Jura (200-145)



Élet a Földön – történeti földtan

Jura (200-145)



▲ **Ábra:** A Föld a jura időszak derekán
Forrás: <https://www.turistamagazin.hu>

- A **Jura** a földtörténet legkiegyenlítettebb időszaka. A Pangea 180 millió éve kezdett feltöredezni az északi **Lauráziára** és a déli **Gondwanára**.

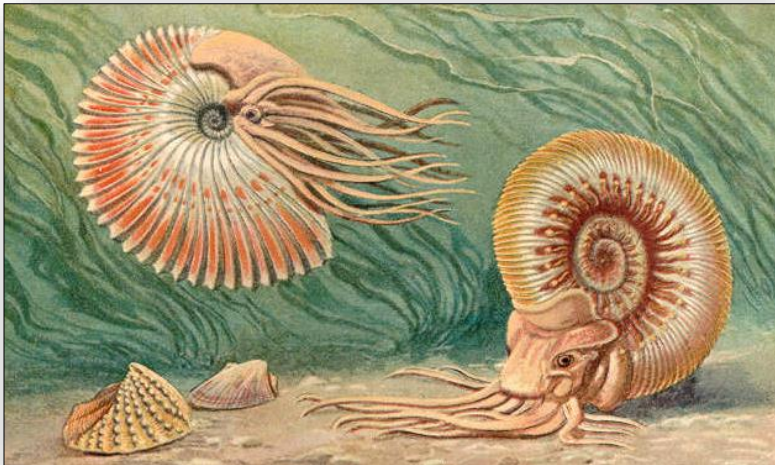


- Az **Egyenlítőtől távoli vidékek növényvilága mérsékeltövi jelleget öltött**. A legfontosabb fatermetű növények továbbra is a **nyitvatermők** (*Gymnospermatophyta*): **cikászok** és a **páfrányfenyők**.
- A nagytermetű cikászfajok akár 18 méteres magasságot is elértek, testes pálmafára emlékeztettek. A mai **fenyőfélék családjai** egyetlen kivételtől eltekintve (*Pinaceae* - erdei fenyő félék) a **kései triász-jura gyermekei**.
- A fenyőfélék a nyitvatermők leginkább fejlett képviselői. Pollenjük már tömlőt hajt az ovulához, így az eddigi módoknál – véletlen, vízen úszás – sokkal biztosabban odaér rendeltetési helyéhez.

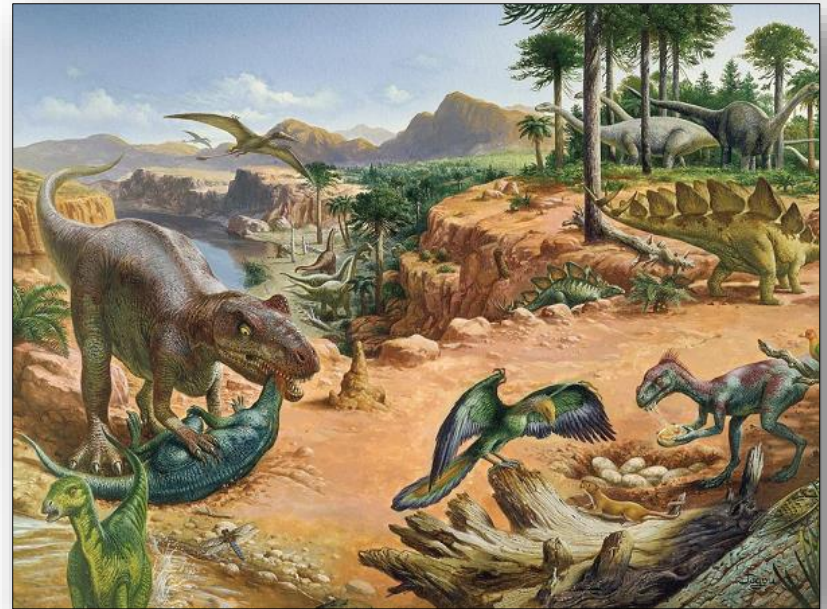
Élet a Földön – történeti földtan

Jura (200-145)

- A **tengeri fauna** igen diverz: az **Ammoniteszek virágkorukat élik**, a **tengeri hüllők elterjedtek** voltak, mint az evolúciójuk csúcsán álló **Ichthyosauruszok**, **Pleziosauruszok**, **Pliosauruszok** és **tengeri krokodilok**. Elterjedtek a **zátonyépítő kagylók** (rudisták) és **Belemniteszek**. A **csontoshalak** a maiakhoz hasonlóak, **kialakulnak a modern cápák és ráják**.



▲ **Ábra:** Jura kori életkép ammoniteszekkel és Trigonon kagylóval
Forrás: <https://hu.wikipedia.org>



<https://encyklopediapoznania.sk>



Élet a Földön – történeti földtan

Jura (200-145)

- A Jura a dinoszauruszok kora. A **szárazföldön** a nagytermetű növényevő **archosauruszok** éltek virágkorukat, a kréta elejére sokan kipusztultak. A sauropodák között voltak minden idők legnagyobb szárazföldi állatai.
- A közismert **Diplodocus** 27 méter hosszú volt, a Brachiosaurus 10 méter magasan hordta kisméretű fejét, az újabban felfedezett Super-, Ultra- és Seismosaurusok hosszát 40, magasságát 15 méterre, tömegét 100 tonnára becsülik.



- A jurában 150 millió éve jelentek meg az **első madarak** (Archeopteryx), melyek a dinoszauruszok egyetlen mai túlélői.
- A Jura végén megjelentek a **zárva-termők ősei**, valamint a **lepkék** és **bolhák**.



Élet a Földön – történeti földtan

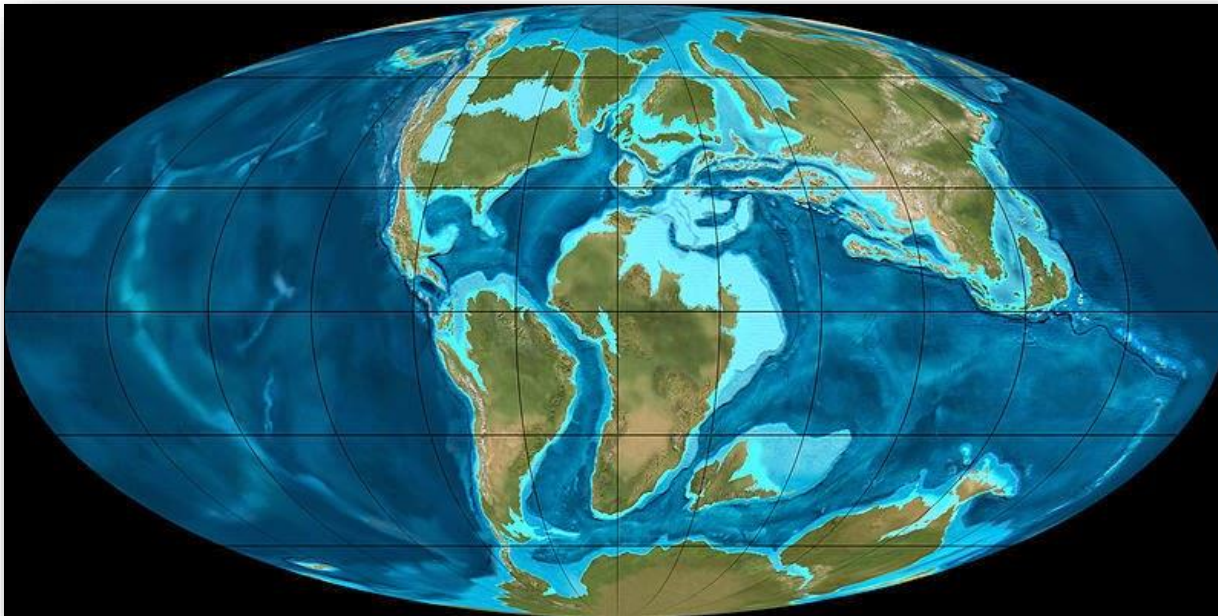
Jura (200-145)



Élet a Földön – történeti földtan

Kréta (145-65)

- **Kialakultak a mai kontinensek körvonalai: a Pangea legalább 12 részre töredezett**, amelyek állat- és növényvilága megalapozta a maihoz hasonlóan változatos szárazföldi élővilágot.
- A kéregmozgásokkal együtt járó nagymértékű **vulkánosság** miatt megnőtt a CO_2 mennyisége **üvegházhatást okozva**. A felmelegedés miatt a tengerek vízszintje folyamatosan emelkedett és elérte földtörténeti maximumát. A korábban sivatagos részekből árterület lett, és a korszak végére a szárazföldek legalább 40 %-át sekély víz borította, Közép-Európát is. **Hatalmas szénmezők és olaj-készletek alakultak ki.**



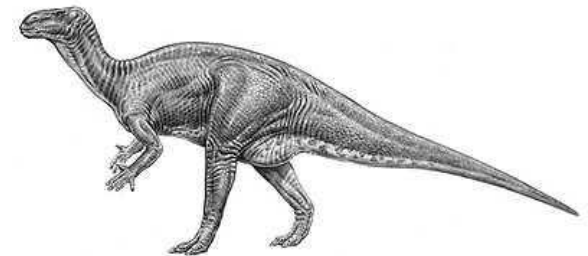
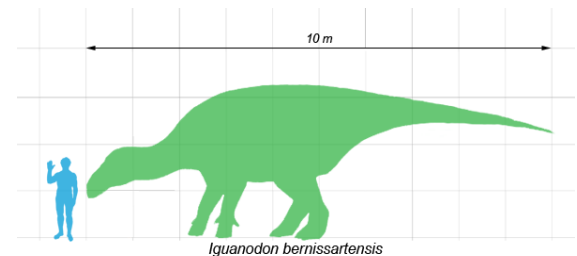
Élet a Földön – történeti földtan

Kréta (145-65)

- A virágos növények vagy zárvatermők megjelenése a földi élet szempontjából jelentőségében csak kevés dologhoz mérhető változásokat hozott. A korai krétában a *cikászok*, *gingkók* erősen **hanyatlóban voltak**, a *fenyők* viszont a **virágkorukat élték**.
- A tájat még a nyitvatermők határozták meg, de 120-130 millió évről **felbukkannak a zárvatermők** pollenjei. 100-120 millió évesek a legidősebb virág- és gyümölcs fosszíliák. Újdonságot hoztak a zárvatermők a rovarmegporzással is. Valószínű, hogy az első megporzók bogarak voltak, később csatlakoztak a **Dipterák**, **Hymenopterák**, és a **lepkék**. A krétában a szociális rovarok kialakulása (termeszek, hártýásszárnyúak) is nagy valószínűséggel összefügg a zárvatermők kiteljesedésével. A zárvatermők korán szétváltak az egy- és kétszikű ágra.
- A kora-kréta folyamán jelennek meg a **kígyók**, talán ásó életmódú gyíkokból vagy varánuszokból fejlődnek ki. E korai időszak domináns dinoszauruszai az ornithopodák (madárlábúak) közé tartozó **Iguanodonok** voltak. A kor legnagyobb ragadozója a **Tyrannosaurus rex** 14 m hosszú, 6 méter magas és 5 tonna volt.



<https://jurassic-world.fandom.com>

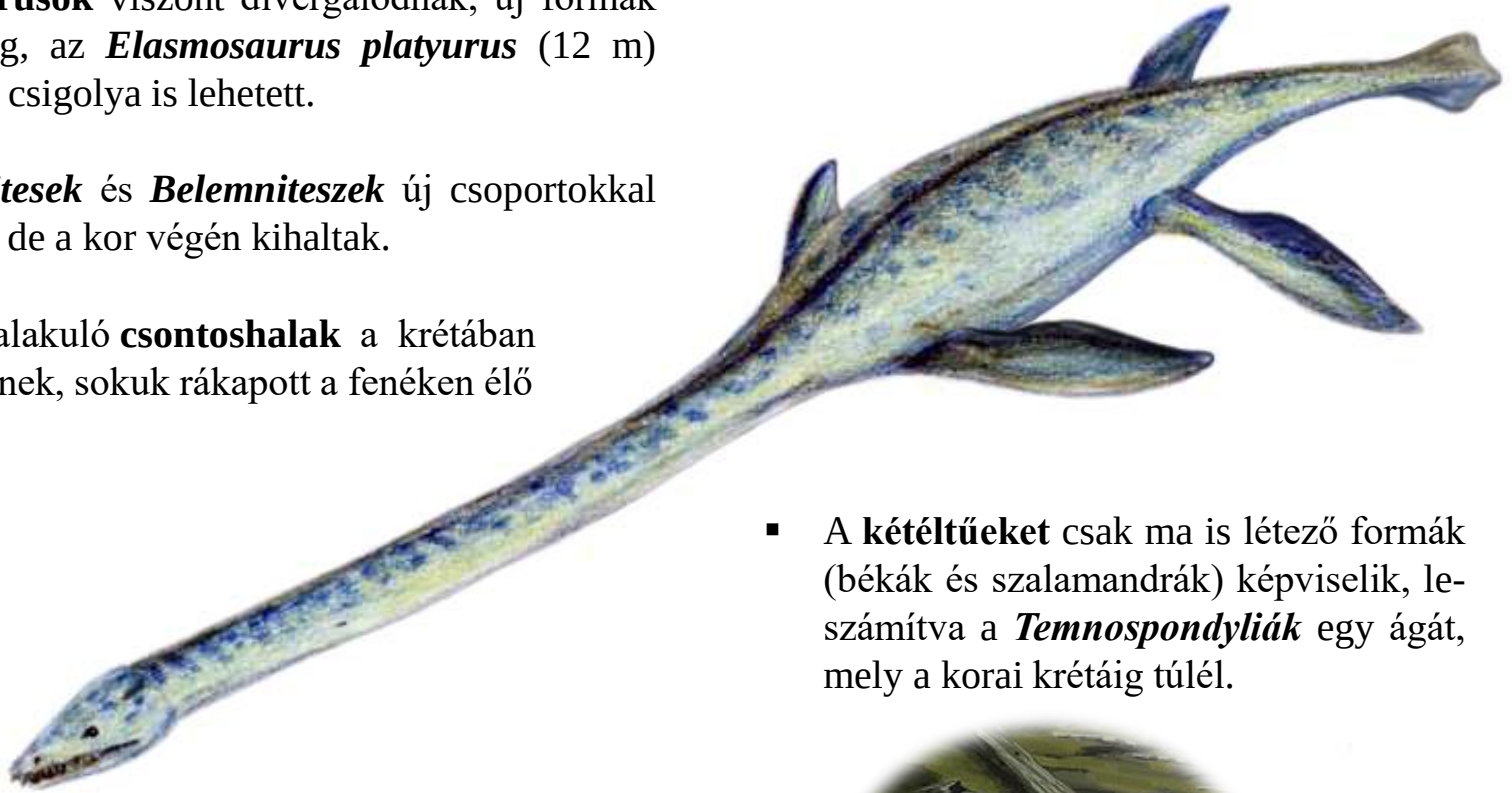


<https://www.nhm.ac.uk/discover/dino-directory/iguanodon.html>

Élet a Földön – történeti földtan

Kréta (145-65)

- A kréta végén az Ichthyosaurusok kihalnak, helyüket **csontos halak és cápák** vették vissza, amelyek között 1,5 tonnás is akadt.
- A **Plesiosaurusok** viszont divergálódnak, új formák jelennek meg, az **Elasmosaurus platyurus** (12 m) nyakában 70 csigolya is lehetett.
- Az **Ammonitesek** és **Belemniteszek** új csoportokkal jelentkeztek, de a kor végén kihaltak.
- A jurában kialakuló **csontoshalak** a krétában továbbfejlődnek, sokuk rákapott a fenéken élő kagylókra.



▲ **Ábra:** Elasmosaurus platyurus
Forrás: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Elasmosaurus>

- A **kétéltűeket** csak ma is létező formák (békák és szalamandrák) képviselik, leszámítva a **Temnospondyliák** egy ágát, mely a korai krétáig túlél.



◀ **Ábra:** Temnospondyli
Forrás: <https://en.wikipedia.org>

Élet a Földön – történeti földtan

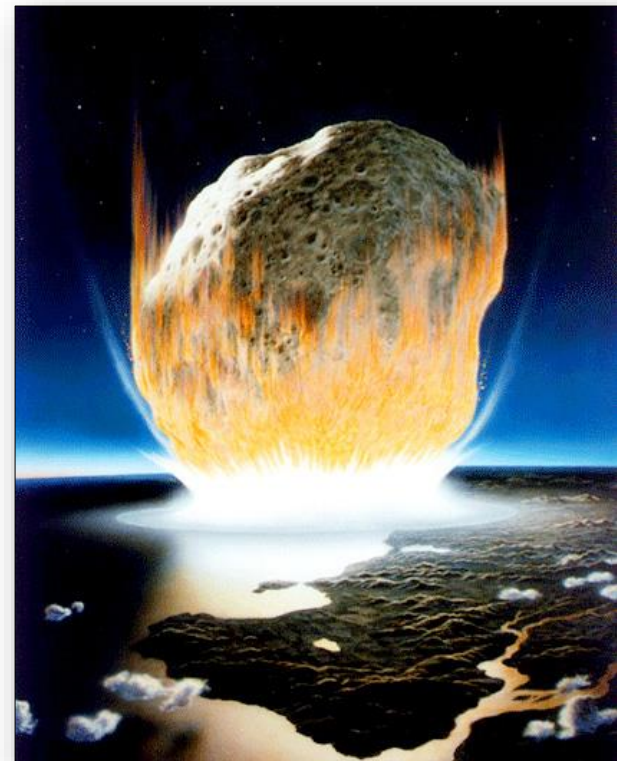
Kréta (145-65)



<http://www.sci-news.com>

- A kor végén **meteorit becsapódás** miatt tömeges kihalás történik, a tengeri állatok 70%-a kihalt, a dinoszauruszok közül csak a madarak éltek túl.

- **Emlősök ma élő 3 csoportja megjelenik:** méhlepényesek és erszényesek (125 millió éve különültek el), valamint a kloakások (a kihalt Multituberculata (sokgumósfogúak) csoporttal együtt). Az **első főemlősök** (Primates) 75, az **első füvek** 65 millió éve jelentek meg.

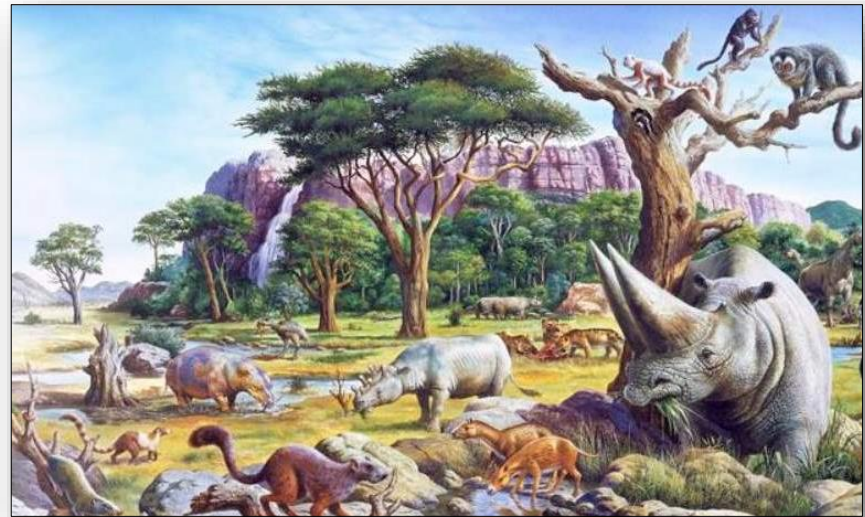


<https://hu.wikipedia.org>

Élet a Földön – történeti földtan

Paleocén (65-56)

- A **Paleocén** alatt viszonylag **egységes volt a klíma**. A trópusi-szubtrópusi éghajlat elérte a sarki régiókat. A **mai típusú esőerdők** ekkor jelentek meg először, melyek a nagytermetű állatok hiánya miatt sűrű volt. **Virágos növények radiációja**, jellemzőek a mai modern genusok; **kaktuszok, pálmák megjelenése**. A tengerekben a maiakhoz hasonló fajok jelentek meg. Az ammoniteszeket újabb csigák és kagylók váltották fel, a tengeri uborkák és likacsoshéjúak is virágzásnak indultak. A csontos halak és a cápák uralma a tengerekben jellemzővé vált.
- A szárazföldeken drámaibb fejlődés zajlott. A **kígyók és gyíkok** virágzásnak indultak, de a szárazföld igazi urai az **emlősök, madarak, rovarok és a virágos növények lesznek**. Kialakultak a modern lábatlan kétéltűek is.
- A **növényvilággal kapcsolatban** elmondható, hogy már **nincsenek nagy evolúciós lépések**, inkább **csak alkalmazkodás az éghajlathoz**, és a **földrajzi viszonyokhoz**. Az időszak speciális viszonyait jelzi, hogy **kialakul az ún. harmadidőszaki sarkvidéki flóra**.



▲ **Ábra:** Paleocén

Forrás: <https://www.elobolygonk.hu>

Élet a Földön – történeti földtan

Paleocén (65-56)

- A korszak elején, 63 millió éve vált szét a Primates az orrtükrösökre (félmajmokra) (Strepsirrhini) és az orrtükör nélküliekre (Haplorrhini), melyből 58 millió éve alakult ki a koboldmaki alkatúak és a majomalkatúak (Simiiformes).
- Bár az **emlőscsaládok száma 13-ról 41-re nőtt**, alig találunk köztük a maiakhoz hasonlóakat, a legtöbbjük rovar- vagy mindenevő volt, a *fogak még nem specializálódtak, agytérfogatuk kicsi*. A sűrű erdőségek a kis falakó állatoknak kedveztek, a **kistermetű emlősök radiációja** volt jellemző. Észak-Amerikában fejlődtek ki az oposszumszerű erszényesek. A mai ragadozók Carnivora rendje még nem jelent meg, rokona az akkor virágzó Creodonta rend azóta kihalt. A madarak közül viszont volt kifejezetten nagytermetű, pl. a ragadozó röpképtelen gyilokmadarak.



▲ **Ábra:** Orrtükrösök (Strepsirrhini)
Véznaujjú maki (*Daubentonia madagascariensis*)
Forrás: <https://hu.wikipedia.org>



▲ **Ábra:** Orrtükör nélküliek (Haplorrhini) – majomalkatúak (Simiiformes)
Keleti gorilla (*Gorilla beringei*)
Forrás: <https://a-z-animals.com>

Élet a Földön – történeti földtan

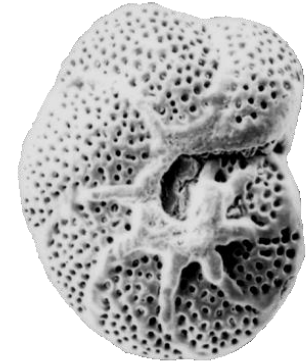
Eocén (56-34)



- A paleocén végén, **eocén** elején a klíma melegedett, kiegyenlítődött, a pólusokon is dzsungel tenyészett.
- A tengerekben kialakultak a **Nummuliteszek** (Foraminiferák: likacsosházú egysejtűek).

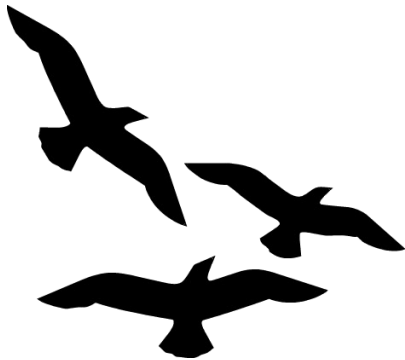
◀ **Ábra:** Nummulitesz
Forrás: <http://monstone.hu>

▶ **Ábra:** Foraminifera
Forrás: <https://www.ucl.ac.uk>



- A meleg miatt eleinte kistermetű, kb. 10 kg-os emlősök éltek. Az “eocén” jelentése: “új idők hajnala”. Az *emlősök körében evolúciós robbanás történt*, a **családok száma 41-ről 91-re nőtt**. Kialakultak a **páros- és páratlan ujjú patások, tevék, lovak, szarvasmarhák, szarvasok, cickányok, elefántok**. A Basilosaurusokból kialakultak a **bálnák**, **megjelentek a denevérek, macskák, kutyák, nyulak, ürgék, pelék, hódok, hörcsögök**.

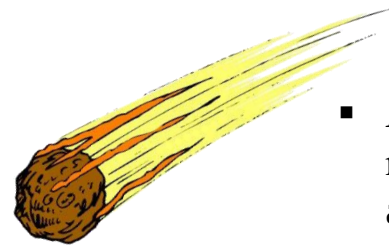
- A főemlősök csoportja 40 millió éve két rendre vált szét: orrtükrösökre és orrtükrő nélküliekre (nagyobb csoport, ide tartozik az ember is). Az eocén során világszerte **elterjedtek a madarak** változatos fajai. Már a késő-kréta óta jelen volt az összes madárrend, de az **igazi nagy radiáció** az eocénben történik.



Élet a Földön – történeti földtan

Eocén (56-34)

- A középső- és kései eocén **hidegebb és szárazabb** lett. A *trópusi erdők* az Egyenlítő felé maradtak csak meg, a magasabb szélességeken *mérsékeltövi kevert erdők* alakultak ki, fenyőkkel és lombhullató fákkal.
- A **páratlanujjú patások** jól alkalmazkodnak az egyre keményebb, szálasabb táplálékhoz, ami a kifejezettebb szezonális hozadéka. Nagyszámú *disznószerű mindenevő* és *szarvasszerű növényevő* jelenik meg.



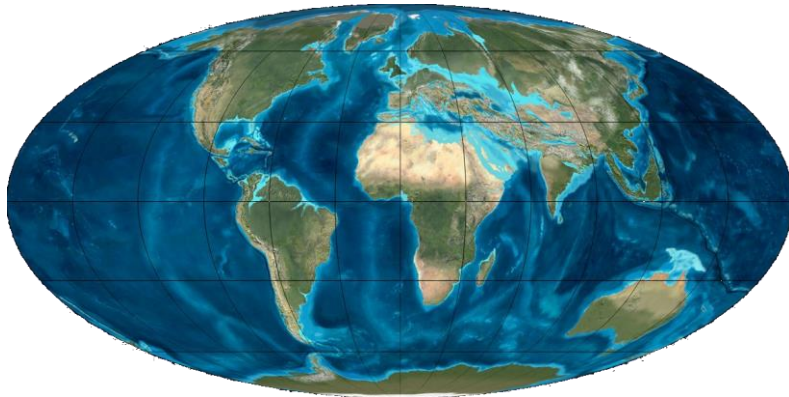
- Az eocén a „nagy törés” nevű kihalással ér véget, amit meteorit okozhatott.
- **Antarktiszi eljegesedése elkezdődik** (eocén-oligocén határ), a melegebb éghajlathoz alkalmazkodó emlősök közül sok kihalt.

◀ **Ábra:** Uintatherium, orrszarvúszerű emlős az eocénból
Forrás: <https://hu.wikipedia.org>

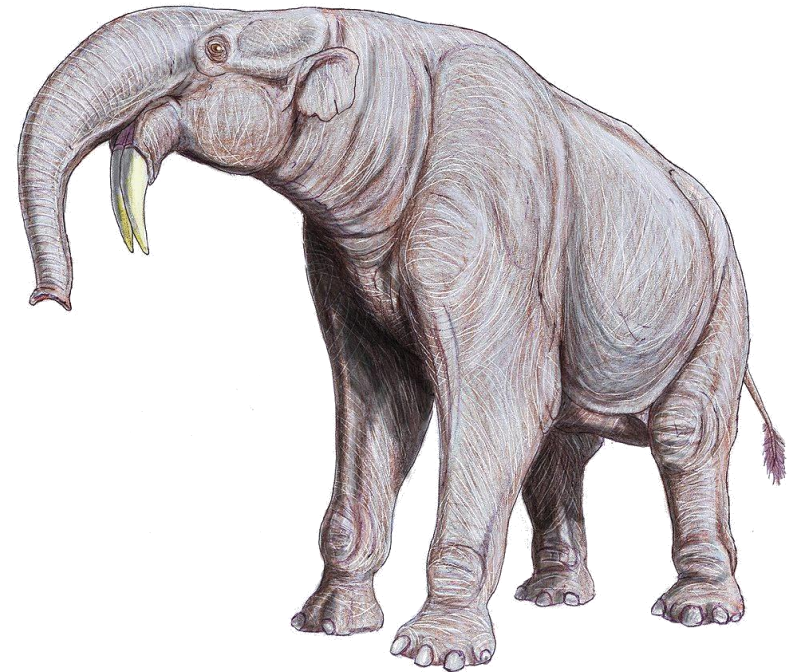
Élet a Földön – történeti földtan

Oligocén (34-23)

- A „nyugodt” **oligocén**-ban kevesebb a változás, **emlőscsaládok száma 91-ről 92-re nő**. A kor elején lehűlés kezdődött, az *évszakok élesebben elváltak egymástól*. A pólusok lombhullató erdei eltűntek, az Antarktiszat jégsapka borította, szélén tundraszerű vegetációval. A jégtakaró kialakulása miatt a tenger vízszintje csökkent, a csapadék kevesebb lett.
- A szárazabb klíma miatt az erdők folytonosságát megtörhették **bozótosok és tisztások**, ami **teret adtak nagyobb termetű emlősök kifejlődésének**. A kezdeti kihalások után az időszak igen kiegyensúlyozott volt minden tekintetben. A kontinensek között alig voltak vándorlások.



▲ **Ábra:** Oligocén időszak
Forrás: <https://www.origo.hu>

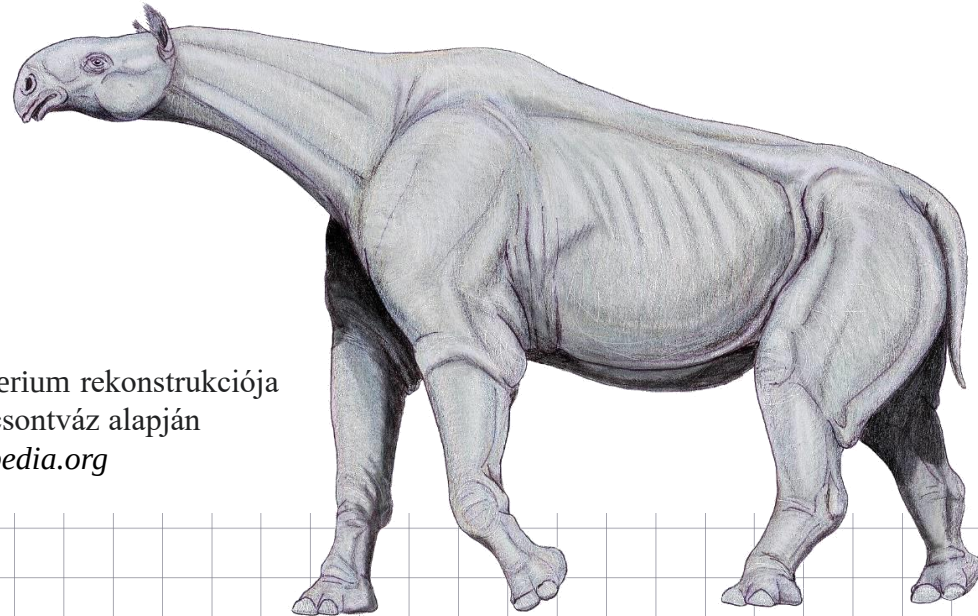


► **Ábra:** A Deinotherium giganteum rekonstrukciója
Forrás: <https://hu.wikipedia.org>

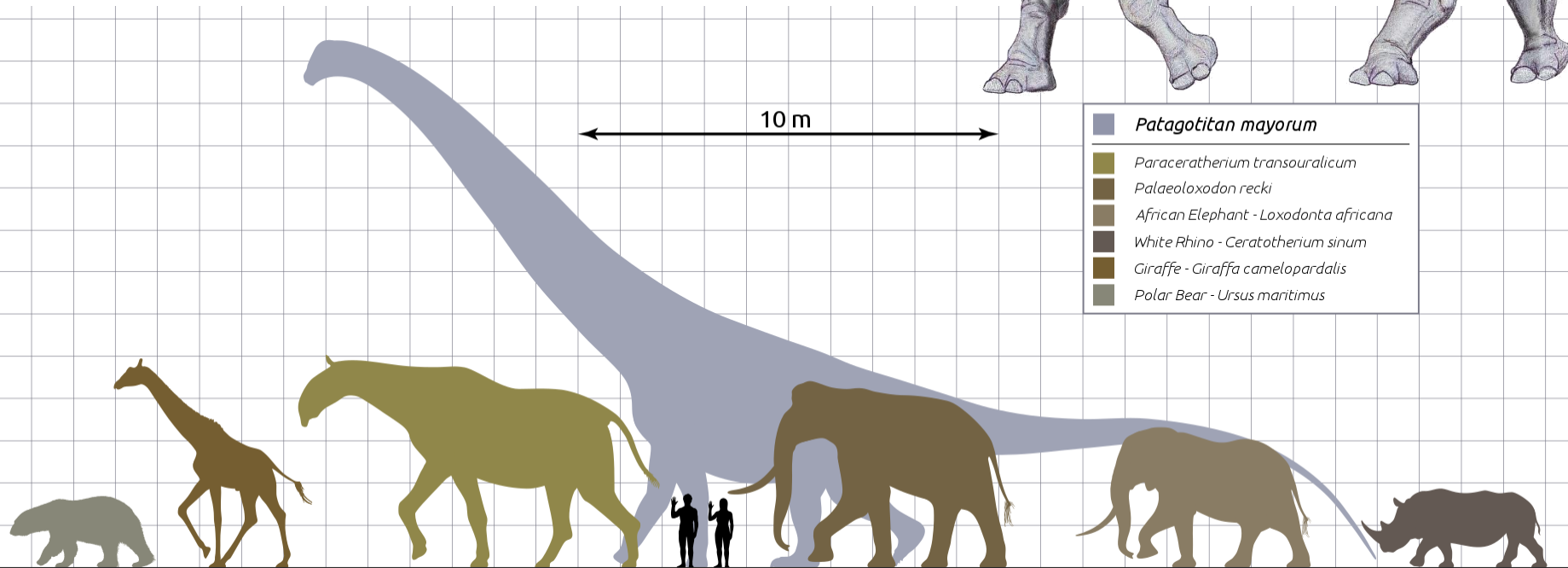
Élet a Földön – történeti földtan

Oligocén (34-23)

- Igazi különlegesség a minden idők legnagyobb szárazföldi emlőse, az **Paraceratherium**, a Hyracodontidae kihalt rinocéroszcsalád tagja.

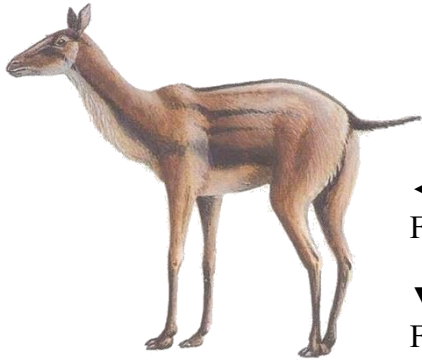


► **Ábra:** A Paraceratherium rekonstrukciója a legújabb felfedezett csontváz alapján
Forrás: <https://hu.wikipedia.org>



Élet a Földön – történeti földtan

Oligocén (34-23)



◀ **Ábra:** Stenomylus

Forrás: <https://nl.pinterest.com>

▼ **Ábra:** Miohippus

Forrás: <https://equineguelph.ca>



- Bár a legelterjedtebb legelő állatok birkaméretűek és disznóalkatúak voltak, sok volt az **óriási méretű emlős**. Észak-Amerikában éltek az igen **elegáns, gazellaalkatú tevék** (Stenomylus) és a **póni méretű** (pl. Miohippus) **lovak**.
- Valamivel több, mint 30 millió évvel ezelőtt az Simiiformes-ből kialakultak az **óvilági- (szélesorrú)** és az **újvilági (keskenyorrú) majmok**. Az óvilágiak közül kiemeljük az **Aegyptopithecust**, amely Egyiptomból került elő és az emberszabásúak (Hominoidea) előfutárának tartják, mely 25 millió éve különült el a cerkófszerűektől.
- Az oligocénban jelennek meg az első (talajlakó) **lajhárok** Dél-Amerikában. Ekkor bukkan fel a Carnivorák Pinnipedia alrendje, amelybe a **fókák** tartoznak. Megjelennek az első **plankton evő bálnák** is. A késő oligocénban volt egy **felmelegedési periódus**.

► **Ábra:** Az Aegyptopithecus zeuxis egy fosszilis majomfaj, mely 35-33 millió éve, az eocén földtörténeti kor végén és az oligocén elején élt Észak-Afrika területén. A modern paleontológia egy összekötő kapocsnak tartja a kezdetleges majomformák és a hominidák ősei között.

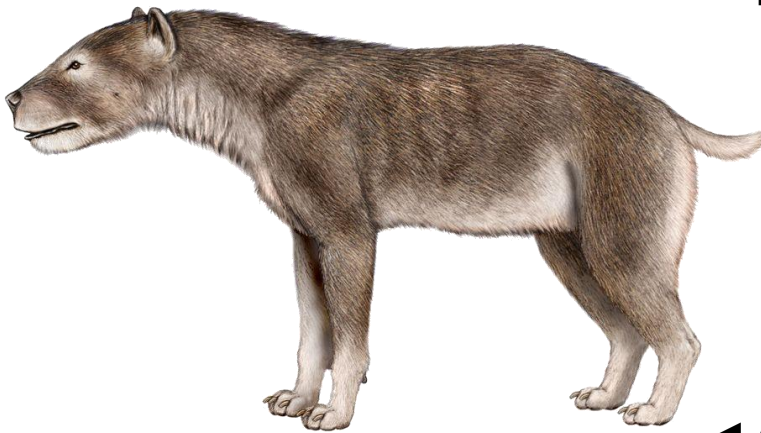
Forrás: https://hu.wikipedia.org/wiki/Aegyptopithecus_zeuxis



Élet a Földön – történeti földtan

Miocén (23-5,3)

- A **miocén**-ben a Föld tovább hűlt, a flóra szegényedett, nagy kiterjedésű bozótos társulások alakultak ki. Miocén jelentése: kevésbé új. Tíz emlőscsalád kihalt (sok növényevő is), új családok részesedése 27%. **Eurázsia kapcsolódott Afrikához**, megszűnt az afrikai fauna egyedisége. Nyitva áll az út Euráziába az *elefántfélék* és *emberszabásúak* előtt, Afrikába pedig a *nyulak*, *macskafélék* és modern *orrszarvúak* számára. A Hominoidea 18 millió éve vált szét a gibbonfélék és az emberfélék (Hominidae) családjára. Utóbbiból 15 millió éve alakult ki az orangutánok és a Homininae alcsalád.
- A sztyeppéket elsősorban *lovak*, *tevék* és *zsiráfyszerű állatok* lakták, de felbukkantak a *szarvasok elődei* is. A sokféle zsákmányállat megjelenése új *ragadozók* megjelenéséhez vezetett. A nagy húsevők közül a leggyakoribbak a *Hemicyonidák* (kutyamedvék) voltak amelyek a medvefélékhez tartoztak, de életstílusuk talán a kutyákhoz állt közelebb.



◀ **Ábra:** Hemicyonida
Forrás: <https://hu.pinterest.com>

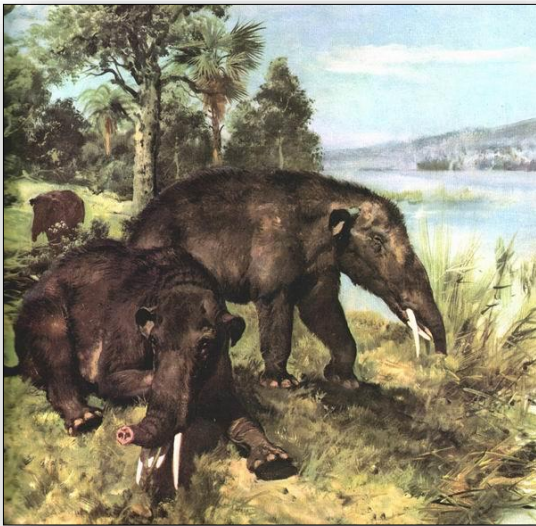
▶ **Ábra:** Smilodon
Forrás: <https://www.dkfindout.com>



Élet a Földön – történeti földtan

Miocén (23-5,3)

- A középső-miocén volt az utóbbi 35 millió év legmelegebb időszaka. Utána a Föld hidegebb és szárazabb helyé vált. Mindezen hatások eredőjeként jöttek létre *Észak- és Dél-Amerika szavannaszerű füves térségei*. Észak-Amerika elvesztette a levéllel táplálkozóknak döntő részét, például összes orrszarvúját, tevéiből is alig maradtak. A kutyamedvék kihaltak, a kardfogú formák virágzásnak indultak.
- A korai miocénben Dél-Amerika is új bevándorlókkal gazdagodott, elsősorban Afrikából. A ma jellegzetes újvilági majmok, a *selyemmajmok*, és az oly jellegzetesen dél-amerikai *vízi disznó* és *tengerimalac* is ekkor érkeznek, egyetemben *óriási, húsevő madarakkal*.



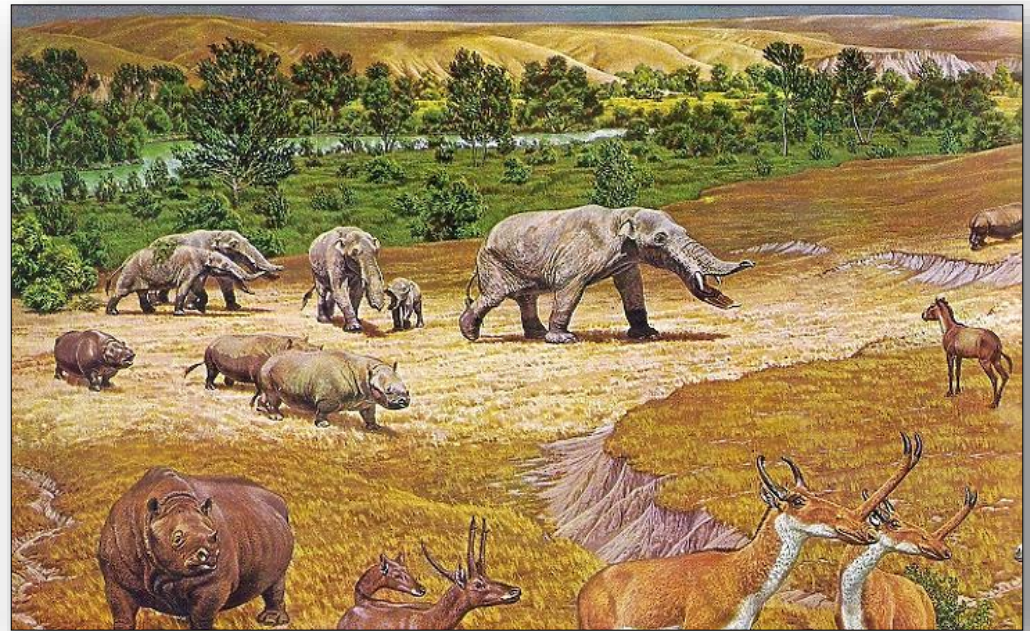
<http://www.vilaglex.hu>

- A Homininae alcsaládban 7 millió éve vált le a **gorilla**, míg az **ember** (Homo) és **csimpánz** (Pan) nemzetség 5 millió éve vált szét.
- A **Földközi-tenger** 5,7 millió évtől **többször kiszáradt** (Messinai-sókrízis), majd 5,3 millió éve végleg feltöltődött. A medence kiszáradása **szárazföldi összeköttetést teremtett a szigetek és a kontinensek között**; **vadlovak, elefántok, mamutok, antilopok** és **vízilovak** vándoroltak ezekre a korábban elzárt területekre. A medence feltöltődése után ezek a fajok a mai szigetek fogságába estek, és méreteik az izolált zsugorodás jelensége miatt erősen lecsökkentek.

Élet a Földön – történeti földtan

Pliocén (5,3-2,6)

- A kontinensvándorlások hatására **megváltoztak az óceáni áramlatok** a klíma még **hűvösebb, szárazabb** lett, ami ***nem kedvezett a biológiai változatosságnak.***
- A **fajok száma jelentősen csökkent**, különösen Észak-Amerikában, amelynek nem voltak trópusi kapcsolatai. **Kialakultak a mai éghajlati övek**, a **füves területek terjeszkedtek az erdők rovására**. A páratlanujjú patások hanyatlása folytatódott, a **párosujjúak** viszont **diverzifikálódtak**.
- A **nagytestű növényevők elterjedtek**, ezek jobban viselték az éhséget, a hűvösebb éghajlatot, a szegényes és durva táplálékot.
- Ragadozóik már specializáltabbak voltak, jellegzetes példái a **kardfogú tigrisek**.
- A pliocénban az **elefántok** (pl. az indiai elefánt rokona, a mamut) Euráziába jutnak, majd Észak-Amerikába. **A pliocén az első eljegesedésekkel ért véget.**



Élet a Földön – történeti földtan

Pleisztocén (2,6 mill-12 ezer)

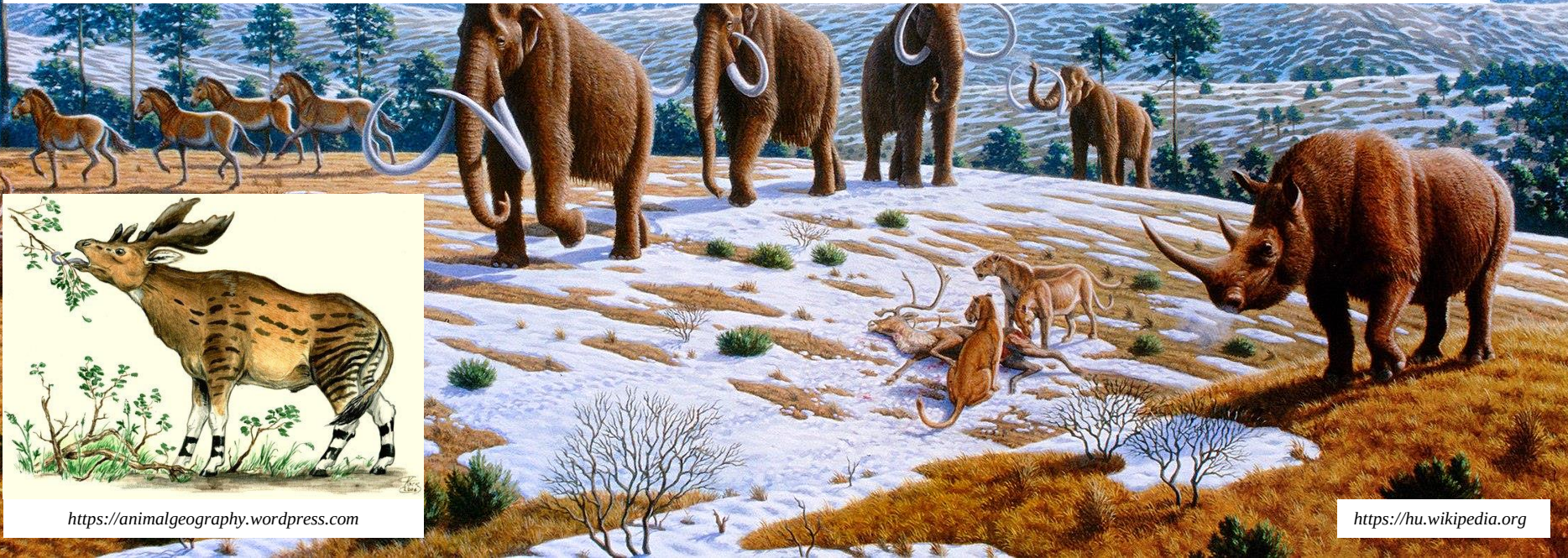


Interglaciális:
inter (közötti) + glaciális (jégkorszaki)



<https://hu.wikipedia.org/wiki/Megatherium>

- A **pleisztocén** során a magasabban fekvő szélességeken **mintegy húsz alkalommal történt eljegesedés-visszahúzódás**. Most is egy interglaciálisban élünk. A 12.000 éve kezdődött időszak 4-6 °C-kal melegebb, mint a jégkorszakban, de jóval hidegebb, mint a legtöbb interglaciális. A jégkorszak talán legjelentősebb hatása a **trópusok kiszáradása**. Oka a vízkészlet „kötöttsége” a jégsapkákba.
- A pliocént és pleisztocént gyakran jellemzik „**megafaunájával**”. Ausztrália kivételével mindenütt előfordultak **ormányosok**. Euráziában hosszú lábú- és szarvú **orrszarvúak** (Elasmotherium) éltek. Észak-Amerikában óriási **tevék**, Ázsiában és Afrikában jávorszarvasszerű, zsiráfokkal rokon **Sivatheriumok** éltek (ábra). Madagaszkár **óriási maki** és „**elefántstruccai**” a szó szoros értelmében napjainkig éltek (a legutóbbi 1.000 évben haltak ki.). Dél-Amerika **óriáslajhárjai** közül a Megatherium 3 méter magas, 3 tonna súlyú volt. A **kutyák, tevék, lovak**, Észak-Amerikából jöttek az Óvilágba.



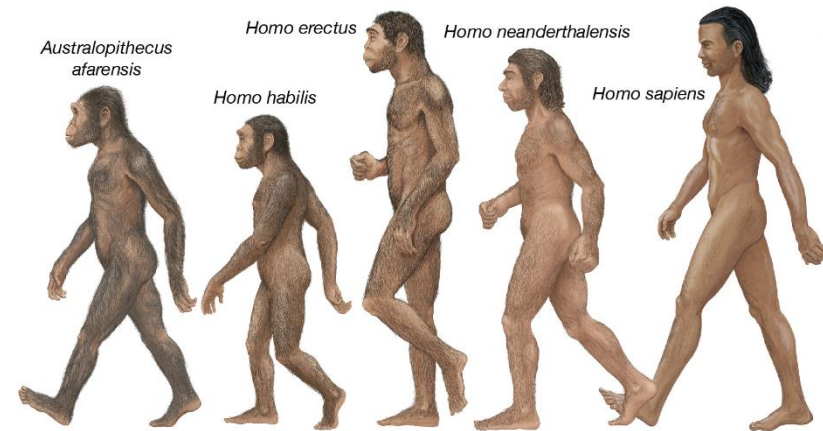
<https://animalgeography.wordpress.com>

<https://hu.wikipedia.org>

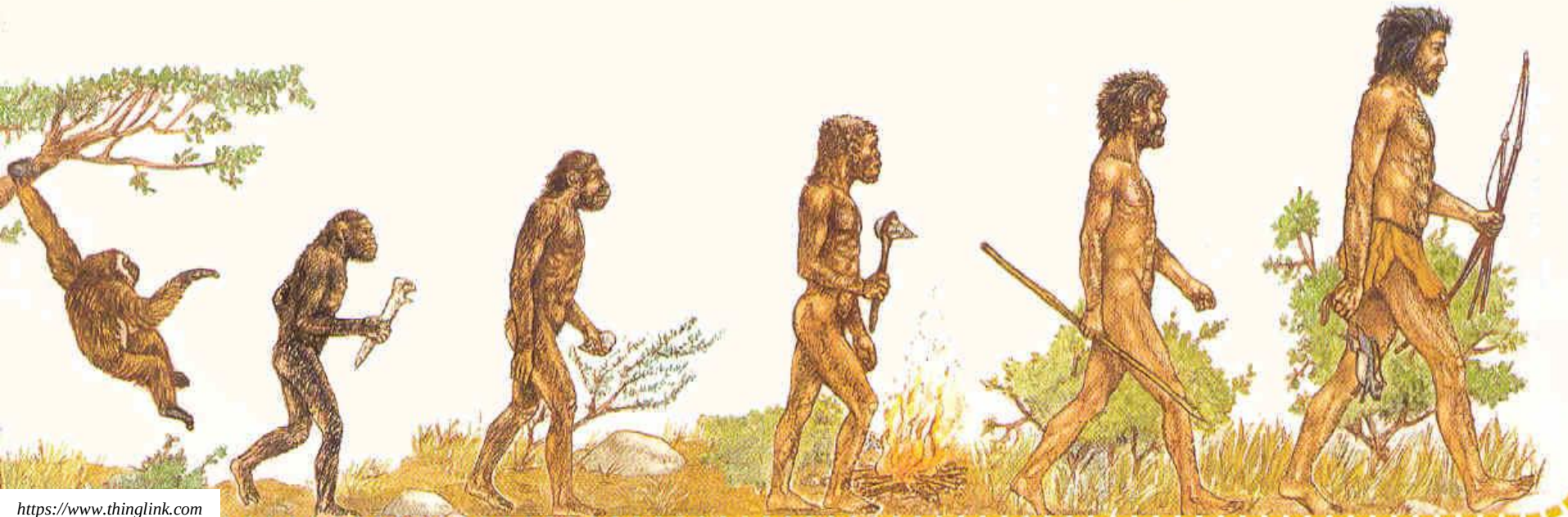
Élet a Földön – történeti földtan

Pleisztocén (2,6 mill-12 ezer)

- A **pliocén-pleisztocén** számunkra legfontosabb történése: **az emberré válás**. A folyamat Afrikában zajlott. (?)
- Az *Australopithecus*-ból 2,4 millió éve alakult ki az első ember, a *Homo gautengensis*, majd a *Homo habilis*. Az első vándor a *Homo erectus* volt 1,5 millió éve. A *Homo neanderthalensis* 30 ezer éve halt ki, közös ősünk kb. 465 ezer éve élt. A *Homo sapiens* **200.000 éve jelent meg**.



▲ **Ábra:** Australopithecus afarensis – Homo habilis – Homo erectus – Homo neanderthalensis – Homo sapiens
Forrás: <https://www.britannica.com>



A bioszféra





A bioszféra evolúciója

Alapvető ismeretek az evolúcióról

- Földünket élőlényfajok sokasága népesíti be. A fajok diszkrét populációkból állnak, melyeknek eltérő az összetétele. A **biológiai rendszerek különböző szintjein jelentkező változatosságot *variabilitásnak*, *polimorfizmusnak* vagy *diverzitásnak* hívjuk.**

Polimorfizmus: két vagy több, egymástól jól elkülönülő öröklődő, morfológiai, fiziológiai, viselkedési változat előfordulása egy-egy fajon belül.

- Az egyed szintje alatt ill. szintjén jelentkező ***polimorfizmus*** formái:
 - ✓ **genetikai variabilitás** (DNS: génváltozatok v. allélok, fehérjék: enzimpolimorfizmus)
 - ✓ **fenotípusos variabilitás** (morfológiai-, immunológiai-, viselkedésbeli-, metabolikus-)
- A genetikai- és fenotípusos variabilitást *vizsgálhatjuk egyedek között* (populáción belül), *populációk között* (fajon belül) és *fajok között* is. A faj feletti variabilitás vizsgálata elsősorban az ökológia tárgykörébe tartozik.
- A **biológiai evolúció** alatt azt a folyamatot értjük, mely során a populációk öröklődő tulajdonságai maradandóan megváltoznak és végeredményül új fajok kialakulásához vezethet. Az új tulajdonságok tehát csak akkor okoznak evolúciót, ha a következő generációkban bizonyos mechanizmusok hatására képesek fennmaradni és elterjedni.
- Az **evolúció mechanizmusai** (hatóerői):
 - ✓ szelekció,
 - ✓ genetikai sodródás (drift),
 - ✓ génáramlás (migráció).



A bioszféra evolúciója

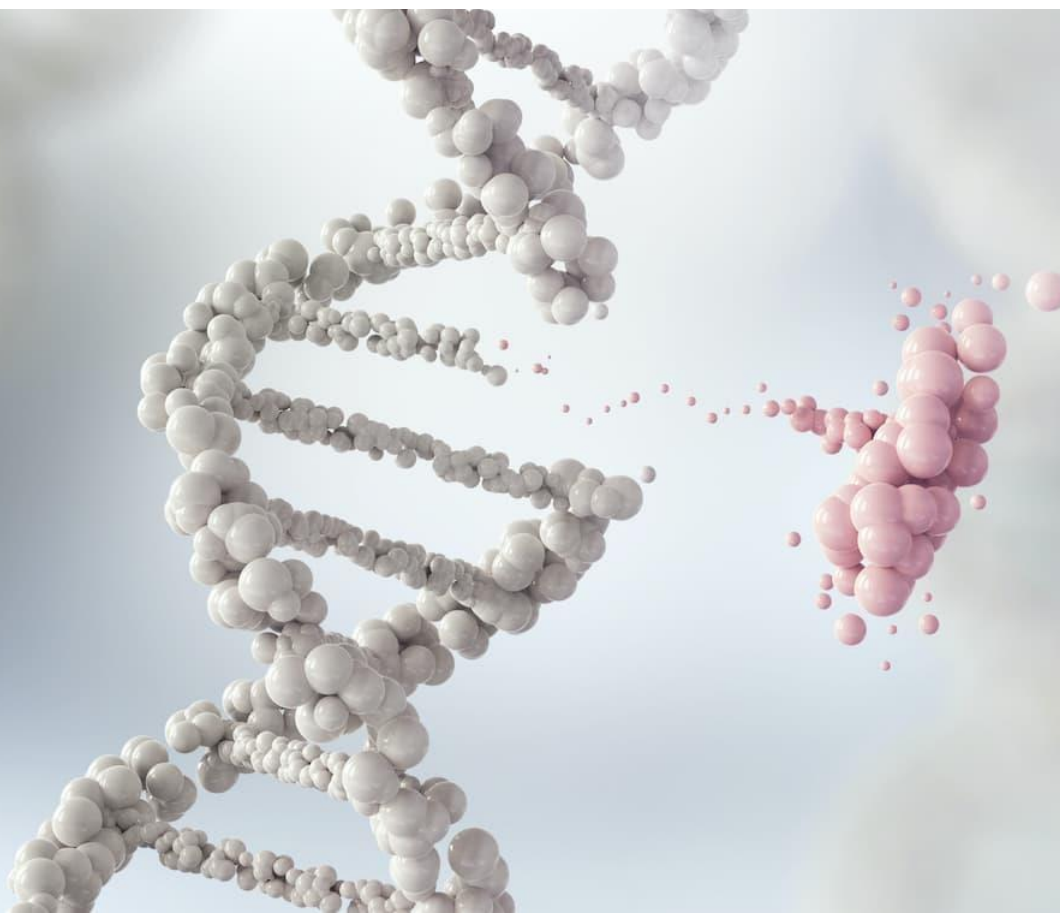
Az evolúció genetikai háttere

- A tulajdonságokat **gének** tárolják, melyek az élőlények információt kódoló, örökítőanyagának a DNS-nek (ritkán RNS-nek) adott szakaszai.
- A **genom** egy adott élőlény teljes génkészlete, a benne lévő **gének információja a *genotípus***, míg a **jellegek megnyilvánulása a *fenotípus***.
- A sejtek osztódása során **az információ (gének) másolása sokszor maradandó hibával történik**. Ezt a genetikai variabilitást növelő folyamatot hívjuk ***mutációnak***.
- **A mutációk kialakulása az evolúció elsődleges (primer) oka**. A szülő és utód közötti genetikai variabilitást megváltoztató folyamatok a ***mutáción*** kívül az ***átkereszteződés (crossing over)*** és ***rekombináció***, a ***horizontális géntranszfer*** valamint a ***hibridizáció***.

A bioszféra evolúciója

Mutáció

- A mutációk keletkezhetnek spontán, valamint mutagén anyagok, radioaktív sugárzás vagy vírusok hatására. **Pontmutációk** során egy génben történik változás, leggyakrabban egy bázispár megváltozik, beékelődik vagy elvész. **Kromoszóma**mutáció során *egy adott DNS szakasz elveszhet* (deléció), *beékelődhet* (inzerció), *megkettőződhet* (duplikáció), *áthelyeződhet* (transzlokáció), *megfordulhat* (inverzió). Poliploidia esetén egész kromoszómaállományok duplikálódnak. A termesztett növények nagy része így alakult ki.



A bioszféra evolúciója

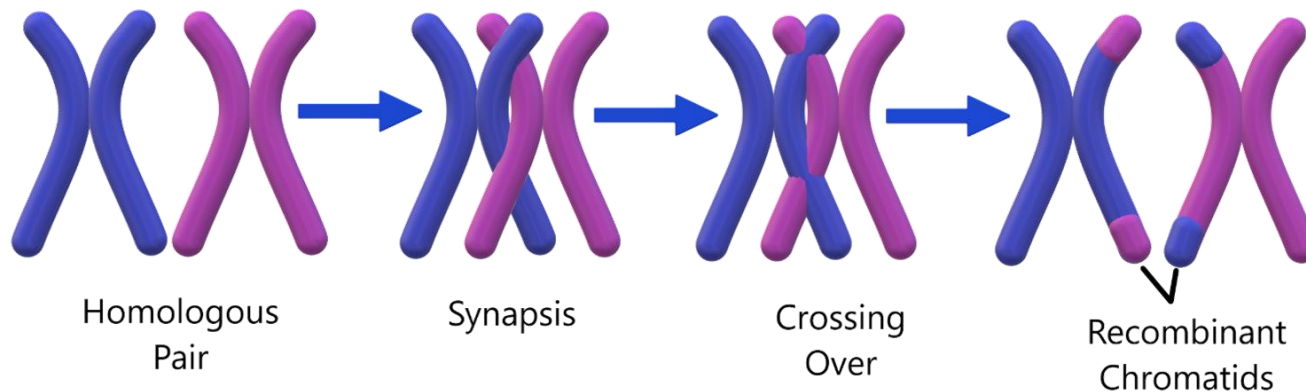
Mutáció

- A mutáció következtében fellépő **fenotípusos változás** lehet **halálos** (letális), ez esetben nem öröklődik tovább a hibás gén.
- Az „előnyös” **mutációk** **növelhetik az egyedek fitnesszét** (rátermettségét), ez a túlélőképesség javításában és/vagy az utódszám növekedésében mutatkozhat meg. Így az előnyös mutációk gyorsan elterjedhetnek.
- A „káros”, **de nem letális mutációk** **recesszív formában fennmaradhatnak** a populációban. Drasztikus egyedszám csökkenés esetén ezek a mutációk feldúsulhatnak és a populációk leromlását, végső soron kihalását okozhatják.
- Azokat a **pontmutációkat**, melyek **a genetikai kód degeneráltsága miatt nem okoznak aminosav változást** ***silent mutációknak*** hívjuk.
- Azokat a **mutációkat**, melyek **nem változtatják meg az egyed fitnesszét**, ***neutrális mutációnak*** hívjuk.

A bioszféra evolúciója

Crossing over és rekombináció

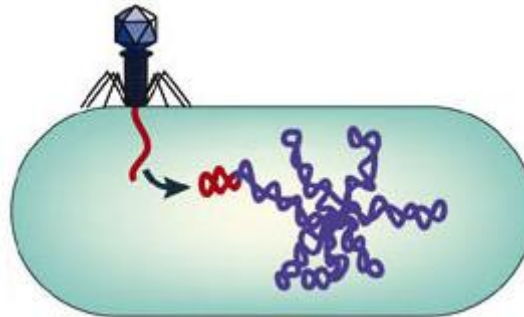
- **Nem ivarosán szaporodó egyedek** esetén a gének változatlan kombinációban öröklődnek, az utódok a szülők klónjai, másolatai.
- **Ivarosan szaporodó fajoknál** az ivarsejteket kialakító **számfelező osztódás** során (**meiózis**) az anyai és apai kromoszómák között **génkicserélődés** történik (**crossing over**), majd **az újonnan kialakult kromoszómapárok véletlenszerűen kerülnek (rekombináció) az egyes utódsejtekbe**. A két folyamat eredményeként egy ivarsejt sem tökéletes másolata a szülősejteknek.



A bioszféra evolúciója

Horizontális géntranszfer

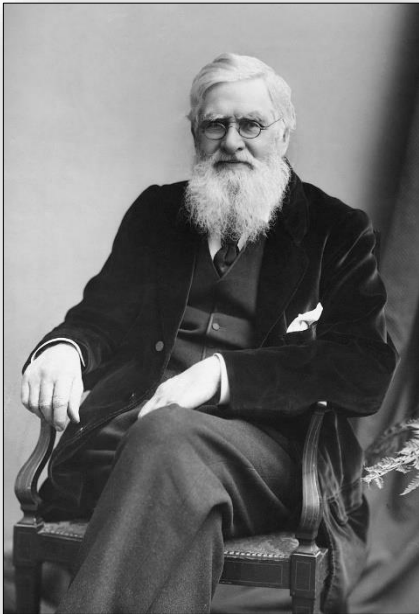
- **Vertikális géntranszfer:** a szaporodás során *a szülőkből az utódokba öröklődik az információ.*
- **Horizontális (v. laterális) géntranszfer** esetén *az információ* átadás nem szülő és utód között történik, hanem *egy külső vektor (pl. vírus) révén kerül a szervezetbe DNS vagy RNS.* Nem csak vírusokba és baktériumokba, de eukariótákba is kerülhet így DNS.



A bioszféra evolúciója

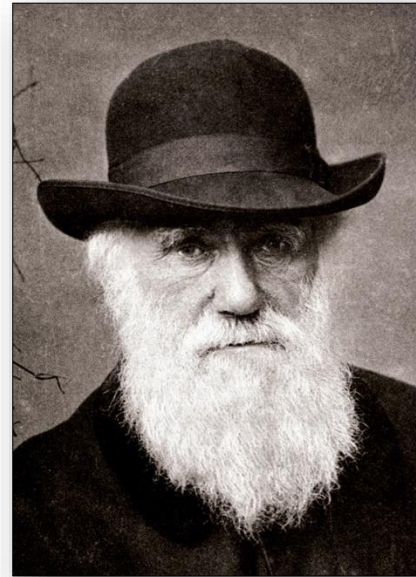
Az evolúció hatóerői

- **Darvin** és **Wallace** volt az első, aki a **fajokat** nem jól definiálható egyedek halmazaként, hanem **különböző példányokból felépülő populációk csoportjaként** értelmezte.
- Bár nem tudták, hogy honnét ered a **variabilitás**, világosan látták, hogy ez **az új fajok keletkezésének a feltétele**. A populációk variabilitásának megváltozását három fő hatóerő okozhatja.
- (A csoportszintű genetikai variabilitás vizsgálata a *populációgenetika* tárgykörébe tartozik.)



Alfred Russel Wallace

Alfred Russel Wallace
(1823 – 1913)
brit természettudós,
felfedező, geográfus,
antropológus, biológus



Charles Darwin

Charles Robert Darwin
(1809 – 1882)
angol természettudós,
az evolúcióelmélet egyik
kidolgozója és névadója

A bioszféra evolúciója

Szelekció

- A **szelekció** környezet által determinált differenciált túlélés.
- Az eltérő **egyedek különbözőképpen reagálnak a környezeti hatásokra**, ezáltal rátermettségük (fitness-szük) - túlélőképességük és utódszámuk - is differenciált.
- Azon tulajdonságok (és az értük felelős allélok) gyakorisága amelyek növelik a fitnesszt megnő a populációban, míg másoké csökken, **evolúciót** okozva.



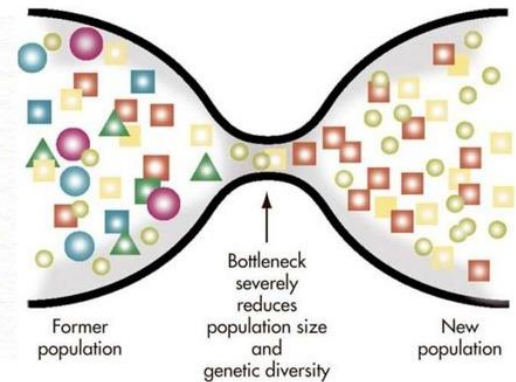
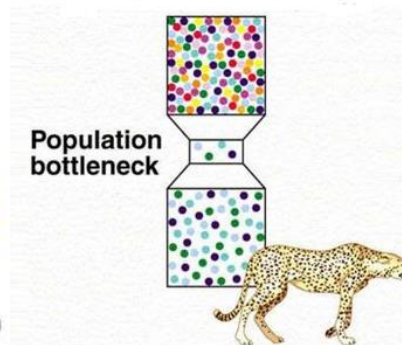
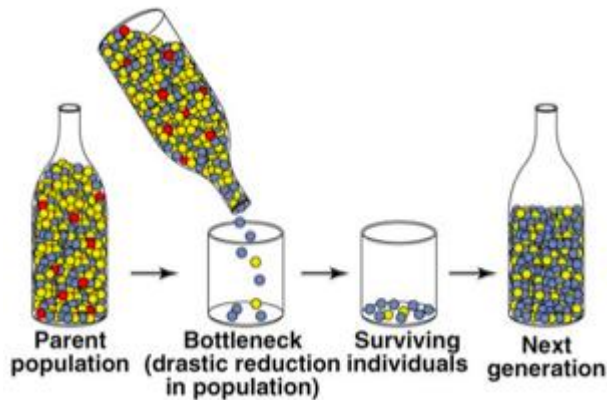
- A jelenséget **természetes szelekciónak** hívjuk. A szelekciónak nincs „célja”, az evolúció mindig egy generáció késésben van a környezethez képest.
- **Szexuális szelekció** (nemen belül és nemek közötti is) esetén az utódszám a nemhez köthető, reprodukcióval kapcsolatos tulajdonságok függvénye. Következménye az **ivari dimorfizmus**.
 - Valamely jellegzetességgel vonzóvá teszik magukat az ellenkező nem számára (nemek közötti, **interszexuális szelekció**).
 - Valamely jellegzetességgel elriasztják az azonos nemű vetélytársakat (nemen belüli, **intraszexuális szelekció**).

◀ **Ábra:** Az interszexuális nemi szelekció jó példája: nőstény és hím paradicsommadár

A bioszféra evolúciója

Genetikai sodródás

- A természetes populációkban többnyire eltérő az *egymást követő generációk genetikai diverzitása*. Ezt a véletlenszerű, sztochasztikus gyakoriságváltozást hívjuk **genetikai sodródás**-nak vagy **drift**-nek. Alapesete a **véletlenszerű sodródás (random walk)**, mely minden populációra jellemző.
- A kis egyedszámú populációk értelemszerűen nem hordozhatják a fajra jellemző minden gén összes változatát, így variabilitásuk általában kisebb mint a nagyobb populációké. Az **alapító hatásra** (founder effect) jellemző, hogy *pár egyed az eredeti élőhelytől távol új kolóniát alapít*.
- A **palacknyak hatás** (bottleneck) esetén *az eredeti nagy populáció létszáma drasztikusan lecsökken* (pl. katasztrófa hatására) (ábra).



A bioszféra evolúciója

Genetikai sodródás



Motoo Kimura
(木村 資生)
(1924 –1994)

- Kimura *neutrális evolúcióelmélete* (neutrális szelekció) szerint a mutáció által keletkezett új tulajdonságok nem a szelekció-, hanem genetikai sodródás miatt terjednek el a populációkban.

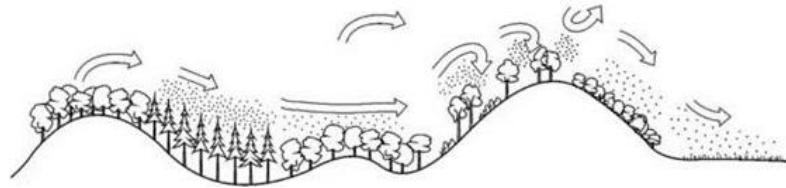
„A neutrális teória kimondja, hogy az evolúciós változások nagy többségét a molekuláris szinten - ahogy azt a fehérje- és DNS-szekvenciák összehasonlító vizsgálata mutatja - nem a darwini szelekció okozza, hanem szelektíven neutrális, vagy közel neutrális mutánsok véletlenszerű sodródása. Az elmélet nem tagadja a természetes szelekció szerepét az adaptív evolúció menetének meghatározásában, de feltételezi, hogy természetét tekintve csak a DNS változások apró hányada adaptív, míg a fenotípust nem érintő molekuláris szubsztitúciók nem fejtenek ki hatást a túlélésre és a szaporodásra, és véletlenszerűen sodródnak át a fajon.”

(Motoo Kimura)

A bioszféra evolúciója

Génáramlás

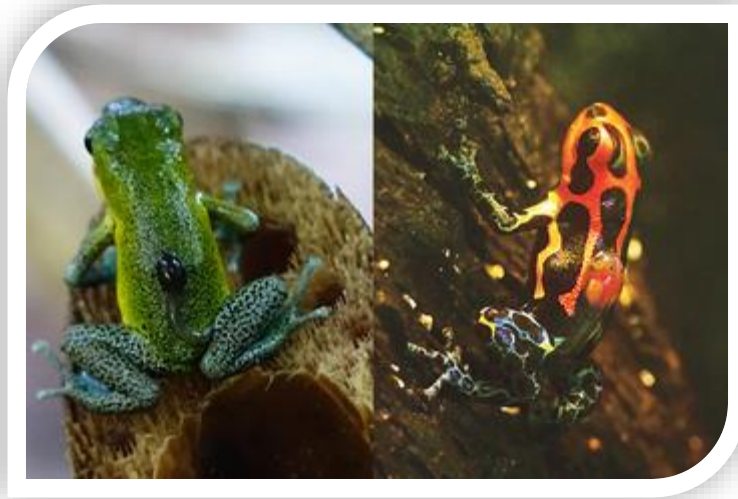
- Egy adott génváltozatú populációba nem csak mutációval, hanem **más populációkból érkező egyedek által is kerülhetnek új gének**. A jelenség neve **génáramlás** v. **migráció**.



A bioszféra evolúciója

Evolúciós változások

- A **mutációk** és elsősorban a **szelekció következtében** hosszú távon alapvetően megváltozhatnak a **populációk**. Ezeket a jelenségeket hívjuk *evolúciós változásoknak*.



A bioszféra evolúciója

Adaptáció

- **Adaptációnak** nevezzük azokat a jellegeket (tulajdonságokat), amelyek **természetes szelekció** következtében **maradhattak fenn és terjedhettek el a populációban**.
- Adott jelleg adaptív értékét nem könnyű bizonyítani. A lepkék szárnya például adaptáció, a rajta levő foltok színe és mintázata lehet drift és szelekció eredménye is.



A bioszféra evolúciója

Koevolúció

- Adott élőhelyen nem csak **abiogén tényezők** hatnak az egyedekre, hanem az ott élő **más fajba tartozó organizmusok** is.
- **Koevolúciónak hívjuk azt az evolúciós folyamatot, mely során egy adott faj előnyös tulajdonságai más faj/ok hatására maradnak fenn (így adaptációvá válnak!), terjednek el és változnak meg.**
- Az adaptív evolúció során az élettelen környezeti tényezők mellett a környezetben élő más fajok populációinak hatása igen fontos szerepet játszik.
- Sok esetben a rovarmegporzású növények virága és a megporzást végző állat csakis egymással szoros összefüggésben fejlődhetett.
- A paraziták és gazdáik, valamint a ragadozók és zsákmányaik evolúciója is párhuzamosan, egymással kölcsönhatásban zajlott. ***Az ilyen, egymás evolúcióját befolyásoló fejlődési folyamatokat koevolúciónak nevezzük.***

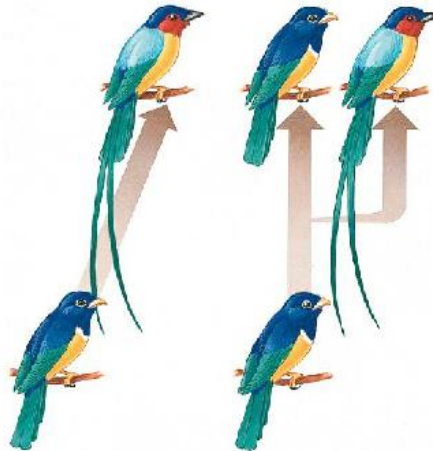


▲ **Ábra:** A kolibrik szívócsőre a virágkehely mélyén található nektár megszerzésére is alkalmas

A bioszféra evolúciója

Fajképződés

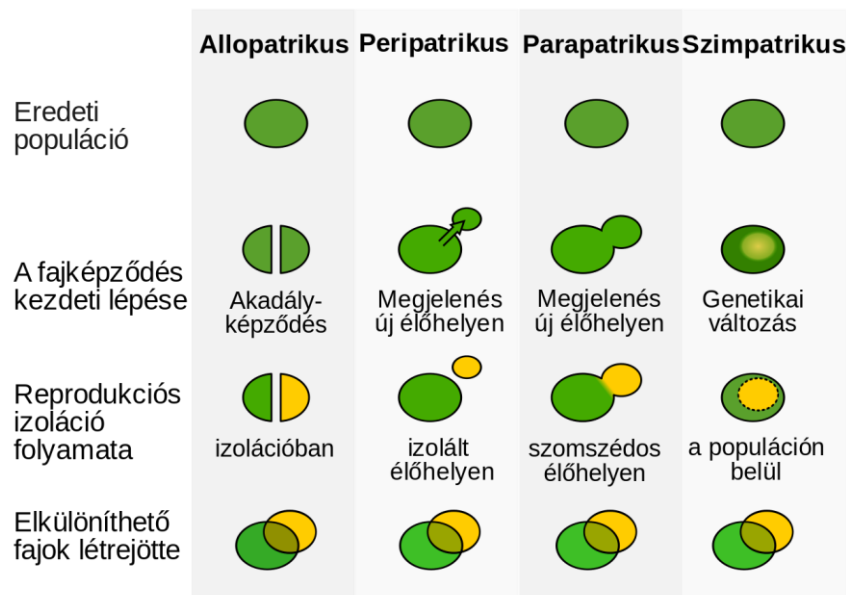
- A **fajképződés** (speciáció) folyamata során egy faj populációi olyan mértékben megváltoznak, hogy már nem tartoznak egy szaporodásközösségbe.
- A képződött fajok száma alapján elkülönítjük:
 - ✓ **anagenezist** (marad az egy faj, csak átalakul)
 - ✓ **kladogenezist** (egy fajtól több képződik, szorosabb értelemben ez a *speciáció*).



A bioszféra evolúciója

Fajképződés

- **Allopatrikus speciáció:** a **génáramlásnak** elsősorban nem biológiai, hanem **földrajzi okai vannak** (area differenciálódás).
- **Peripatrikus speciáció** esetén **egy peremhelyzetű populáció határolódik el**, tipikus esetei az alapító hatás (drift) következtében kialakult **szigeteken élő fajok**.
- **Parapatrikus fajképződésről** beszélünk, ha egy populáció az areán belül olyan élőhelyen él, amelynek ökológiai paraméterei a fajra jellemző élőhelyektől eltérnek, és elsősorban szelekció hatására **új faj képződik (lokális adaptáció)**.
- **Szimpatrikus fajképződés** esetén a faj elterjedési területén (area) belül **ökológiai hatásra változik meg a faj**.



Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

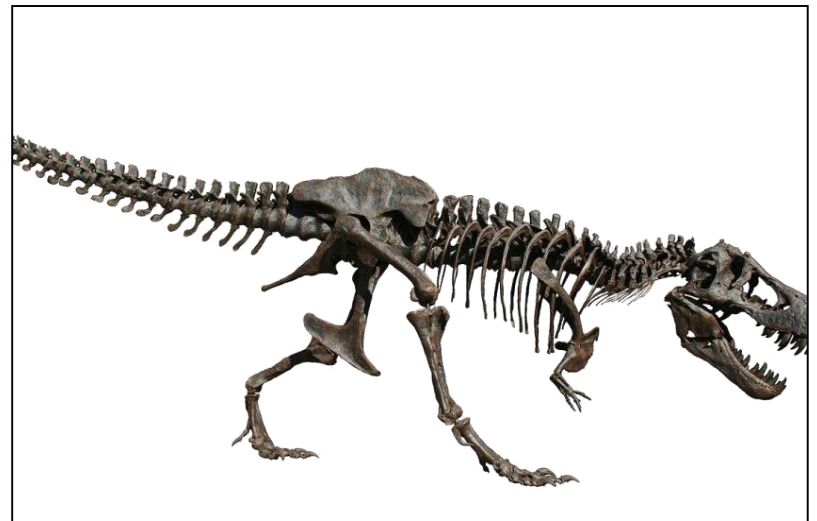
- A fossziliákkal foglalkozó **őslénytan** 1822-ben különült el a „szedimentekkel”, azaz a bezáró kőzetekkel foglalkozó geológiától.
- Nevét (paleontológia) 1831-ben **Brongniart**-tól kapta, de a tudományos őslénytan megalapozója valójában **Cuvier** volt. Az **őslénytan** – tárgyát tekintve – **a biológiához áll közel, alkalmazási területei azonban a geológiához kötik.**
- Az **őslénytan** legfontosabb alkalmazási területe a **biosztratigráfia**, vagyis **relatív kormeghatározás** és az **őskörnyezettan**. Évszázados tudományos tapasztalatok, sziszifuszi munka eredményeit hasznosítjuk. A látványos ősmaradványok ritkák, de van néhány világhírű előfordulás.



Alexandre Brongniart
(1770 –1847)



Georges Cuvier
(1769 - 1832)



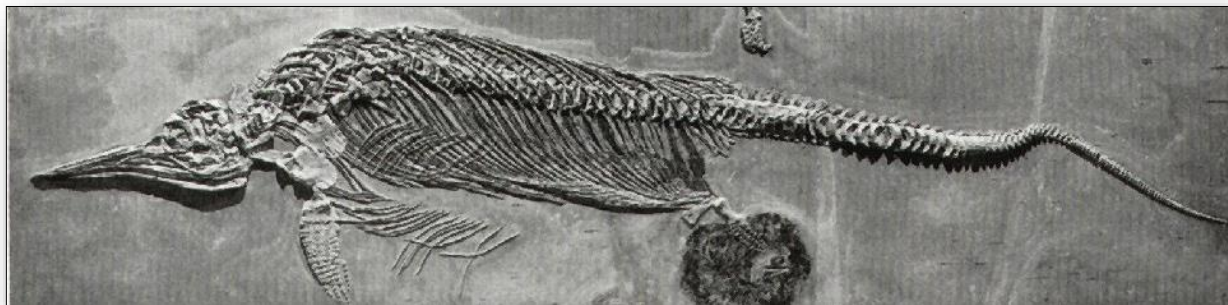
Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

- A 600-550 millió éves, vendi korszakbéli **Ediacara-hegység** kövületei (ábra) lágytestűek voltak, ezért különleges körülmények kellettek a fosszilizációhoz.
- Rendszertani besorolásuk nehézségekbe ütközik, mert látszólag nincsenek kapcsolatban a mai élővilággal.
- Legérdekesebb, hogy testnyílás nem található rajtuk, ezért egyesek azt feltételezik, hogy fotoszintetizáló lényekkel éltek belső szimbiózisban.
- Dél-Németország bővelkedik csodálatos jura időszaki fosszíliákban. Sok példánya került elő a tengeri ragadozó hüllő ***Ichthyosaurus***-nak (ábra).



▲ Ábra: Az ediacara-fauna rekonstrukciója

► **Ábra:** Tengeri ragadozó
hüllő (Ichthyosaurus)
maradványa az alsó-jura
holzmadeni posidoniás
palából



Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

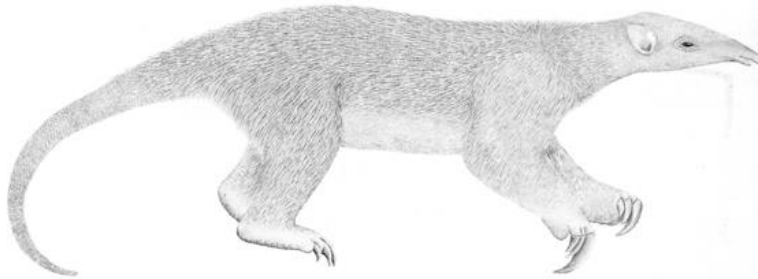


- A bajorországi Solnhofen-ben viszonylag ritkák a kőületek, viszont mindegyik rendkívül jó állapotú.
- Leghíresebb és a tudomány számára legfontosabb lelete az **Archaeopteryx**, az **ősmadár**.
- Első példányát néhány évvel a **darwini evolúcióelmélet** megjelenése után találták, annak fényes bizonyítékául szolgált.
- Az Archaeopteryx a **mozaikevolúció folyamatát példázza: felépítésében hüllő- és madárbélyegek egyaránt előfordulnak.**

◀ **Ábra:** Archaeopteryx, az ősmadár

Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

- Eocén emlősök csodálatos épségen megőrződött maradványait ismerjük a németországi messeli palából.



▲ **Ábra:** Eocén hangyász (80 cm) és sünszerű rovarvő (40 cm) rekonstrukciója
a jobb oldalon látható, rendkívül jó megtartású messeli fosszíliák alapján

Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya



- Magyarországon is találunk olyan lelőhelyeket, amelyek nemzetközi érdeklődésre is számot tartanak. **Ipolytarnócon** miocén vulkáni tufaszórás üledékei őrizték meg egy tóparti élővilág nyomait.
- A 4,2 millió éves Pulai Alginit nevű kőzetben – az egykori vulkáni krátertavakban leülepedett, főként algavázakból álló képződményből előkerült egy kitűnő megtartású **orrszarvú fosszília**, amelyet a **Zirci Múzeumban** őriznek. Világhírré tett szert a **bükkábrányi lignitbányászat során feltárt mocsárerdő** maradványa (ábra).



▲ **Ábra:** Ipolytarnóc

◀ **Ábra:** Megkövesedett késő-miocén mocsárciprus-erdő a bükkábrányi lignitfejtésben

Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

Rendszeres őslénytán

- Az évszázados kutatások során megismert számtalan *ősmaradványt rendszerezni kellett*. A biológiai rendszerezés alapja sokáig *tipológiai* volt, azaz *a megállapított közös vonás, tulajdonság, típus*. A ma használatos *filogenetikai osztályozás* a *tényleges rokonsági kapcsolatokra épül*. Ennek megállapítása a fosszíliák körében – elsősorban a lágytest hiánya miatt – gyakran nagy nehézségekbe ütközik. Vannak olyan maradványok, amelyek rendszertani besorolását még törzsi szinten sem tudjuk elvégezni!

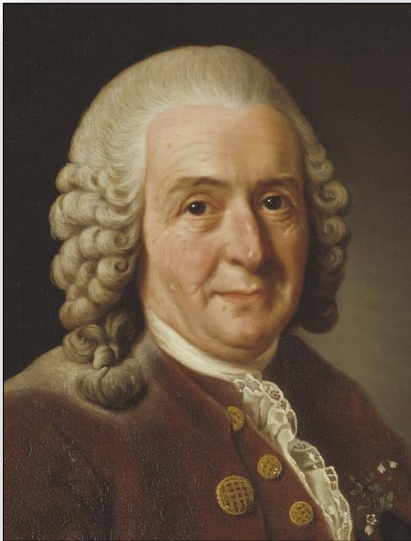
Az osztályozás

- Az *osztályozás elvével és módszereivel* a **taxonómia** foglalkozik. A rendszertan hierarchikus rendben kategóriákat (rendszertani egységeket), azokon belül taxonokat (csoportokat) különít el:
 - ✓ **Regnum** (ország, birodalom)
 - ✓ **Phylum / Divisio** (törzs)
 - ✓ **Classis** (osztály)
 - **Subclassis** (alosztály)
 - ✓ **Ordo** (rend)
 - ✓ **Familia** (család)
 - ✓ **Genus** (nemzetség – növényeknél és gombáknál; nem – állatoknál)
 - ✓ **Species** (faj)

Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

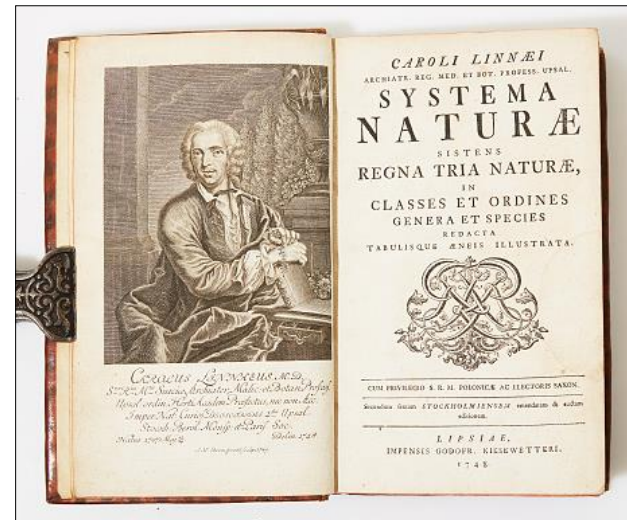
Nevezéktan

- Névadás, nevezéktan (*nomenclatura*) és rövidítések.
- Az érvényes nevezéktan Linné *Systema Naturae* című munkájának X. kiadásával (1758) kezdődik. Az előtte keletkezett nevek nem használhatók. A nevezéktan **kétnevű** (*binominális nomenklatura*). Minden állatfaj neve a nagybetűvel írt **nemzetség** (*genus*) és kisbetűvel írt **faj** (*species*) nevéből áll. Teljes névhasználatban ezt követi a leíró neve és a leírás évszáma: ***Balatonites balatonicus* (Mojsisovics 1873)** (► Ábra).



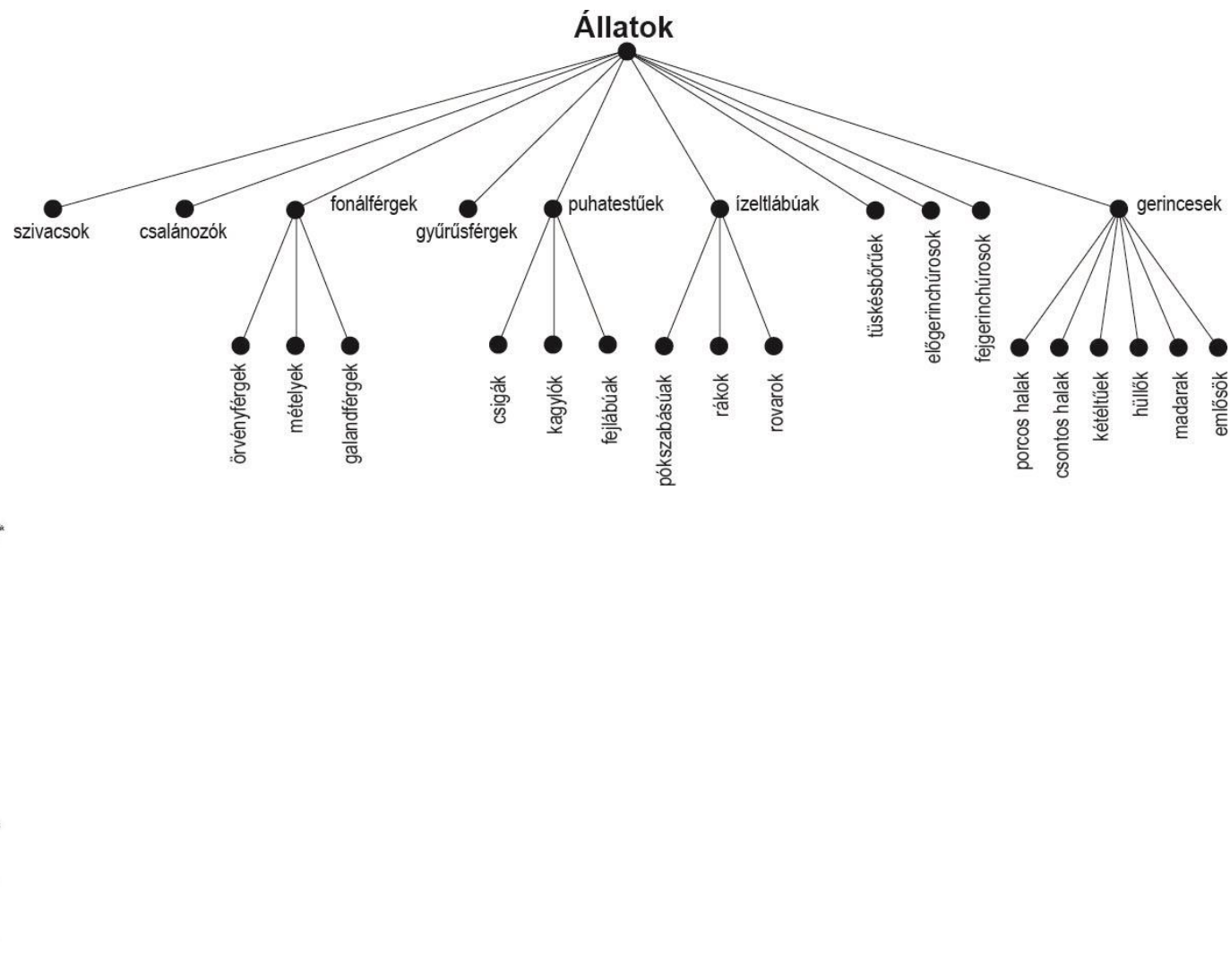
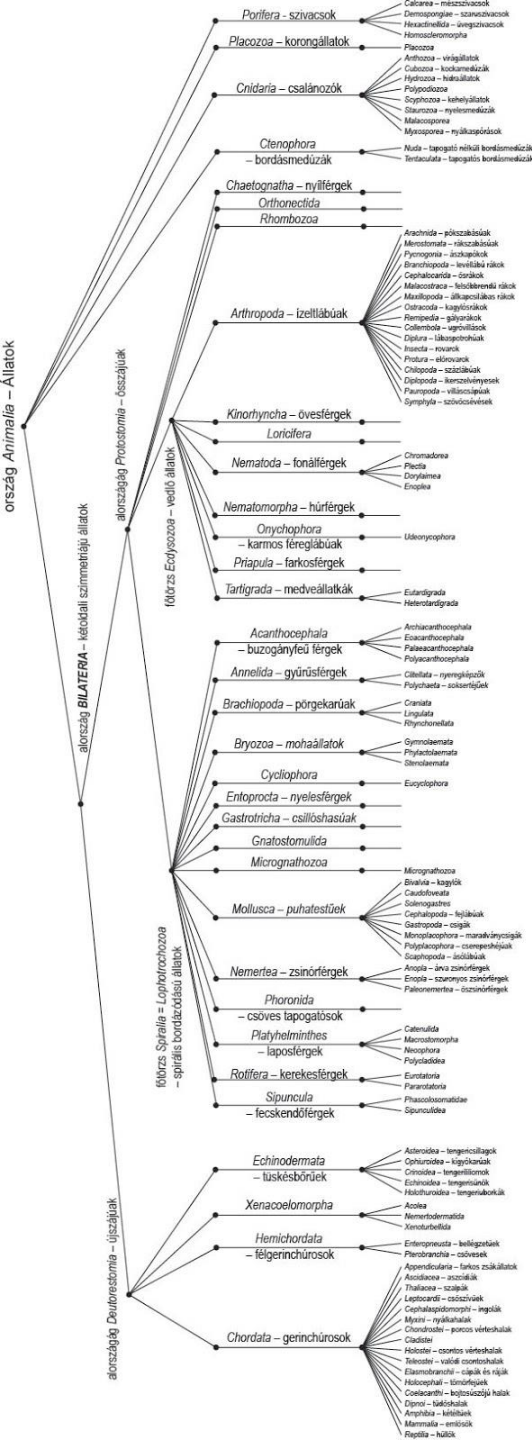
Carl v. Linné

Carl Linnaeus
(1707-1778)
svéd természettudós,
orvos és botanikus



Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

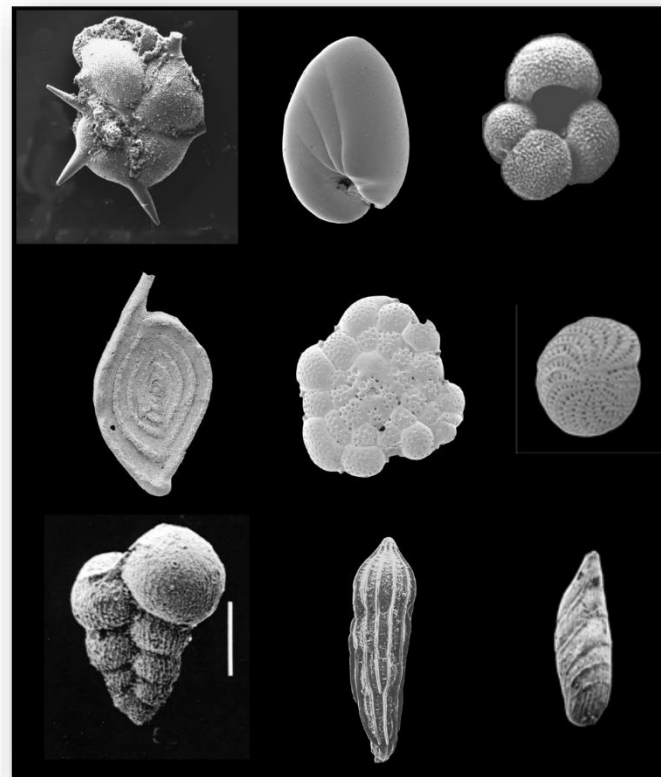
Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya



Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

Egysejtűek törzse, likacsoshéjúak osztálya (Foraminifera)

- Szilárd, kamrázott, nyílásokkal áttört váz.
- Általában mikroszkopikus méretűek, de az óriásforaminiferák közül a *Nummulites* a 10 centiméteres átmérőt is elérheti.
- Jellemzően normál sótartalmú, meleg, sekélytengeri bentosz lények, a planktoniak nyílttengeriek.
- Első megjelenésük a kambriumban volt.
- Minthogy a foraminiferák általában **szűktűrésű szervezetek**, **előfordulásukból következtetni lehet az egykori tengeri környezetre**: az aljzat jellegére, az üledékképződésre, a hőmérsékletre vagy akár a vízmélységre.



▲ **Ábra:** Különböző „kisfora-miniferák”,
a vázak mérete kb. 0,5-1 mm

Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

Csalánozók törzse, virágállatok osztálya

- A **korallok** egyedei (korallit) **külső mészvázat** választanak el, amely a *hengerszerű külső falból* (téka), és az azt erősítő *sugárirányú belső válaszfalakból* (szeptum) áll. A több egyedből álló telep a **korallum**, *változatos alakja függ a környezettől*. Szűktűrűsű szervezetek, ezért **kiváló környezetjelzők**: jellemzően meleg, normál sótartalmú, oxigéndús, sekély tengervízben éltek.



Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

Puhatestűek törzse

- Földtani szempontból a puhatestűek csoportja a **legfontosabb, mind rétegtani, mind öskörnyezeti elemzések szempontjából**. Földtani szempontból:
 - ✓ a *kagylók*,
 - ✓ a *csigák*
 - ✓ és a *fejlábúak osztálya* a legjelentősebb.

Kagylók osztálya

- A kagylók kétoldali részarányos felépítésűek, két teknőből álló vázuk van, amelyek a köpenyüreggel együtt a lágytestet védik. A kagylók **többsége fenéklakó**. Az édesvizektől a túlsós tengerekig, a parti vizektől a mélytengeri (abisszikus) régióig **mindenhol előfordulnak**, a szárazföldet azonban nem tudták meghódítani. A kagylók a **kambrium elején** jelentek meg, **virágkoruk a mezozoikumban** volt. **Jelentős kőzetalkotók, jó környezetjelzők**.

Csigák osztálya

- A csigák egy részből álló, spirálisan felcsavart, kamrázatlan vázat építenek. A váz anyaga általában aragonit. Többségük **sekélytengerekben** él (epibentosz vagy inbentosz), de alkalmazkodtak az **édesvízi** és (a puhatestűek közül egyedülként) a **szárazföldi élőhelyekhez** is. A csigák gyakran fordulnak elő **kőzetalkotó** mennyiségben. Jól **jelzik az egykori környezetet, a sótartalmat, hőmérsékleti viszonyokat**.

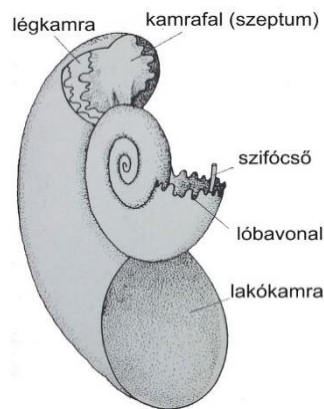
Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

Fejlábúak osztálya (Cephalopoda)

- A fejlábúak a **puhatestűek legfejlettebb csoportját alkotják**. Földtani szempontból a legfontosabb alosztályuk az **ammoniteszek**. Aragonit anyagú vázuk három részből áll: embrionális kamra, szeptumokkal tagolt kamrázott vázrész és lakókamra (ábra). A szeptumok által lezárt kamrák gázzal voltak telítettek, ami elősegítette a lebegést. A váz többnyire egy síkban felcsavaródó. A kamraválaszfal felépítése a törzsfajlódás során egyre bonyolultabbá vált (ábra).
- Az ammoniteszek **úszó életmódot folytattak**, a **nyílt tengereket népesítették be**. A **kora devonban** jelentek meg, **virágkoruk a jura időszakban volt**. A kréta végén kihaltak.
- Az ammoniteszeket – gyors evolúciójuk és széles körű elterjedésük alapján – a késő-paleozoikum és a mezozoikum biosztratigráfiai tagolására használják. Kitűnő szintjelzők, egy ammoniteszre alapozott zóna százezer év nagyságrendű időtartamot képvisel.



▲ **Ábra:** Ammonites (Villány, Villányi Formáció) metszete. A kamrákat a köztettévalás során részben vagy egészében kalcit töltötte ki



▲ **Ábra:** Az ammoniteszváz felépítése



▲ **Ábra:** A lóvonalak (kamra-válaszfalak) lefutásának bonyolultabbá válása az evolúció során. Balra devon Goniatites, középen triász Ceratites, jobbra jura Holcophylloceras lóvonalai láthatók természetes nagyságban

Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

Ízeltlábúak törzse

- Az ízeltlábúak **az állatvilág jelenlegi leggazdagabb törzsét alkotják**. Általános jellemzőjük a szelvényezett test, a **hármass testfelépítés (fej, tor, potroh)**, az **ízelt láb** és a **kitinváz**. Négy altörzsük közül a **trilobiták** és a rákfélékhez tartozó **kagylósrákok** a legfontosabbak földtani-öslénytani szempontból.

Háromkaréjos ősrákok altörzse (Trilobita)



▲ **Ábra:** Ordovíciumi *Asaphus trilobites* kb. kétszeres nagyításban

- Elliptikus vagy tojásdad alakú, szelvényezett test. A váz hosszanti irányban is három részre tagolódott (ábra). Nagyságuk 3 és 70 cm között változott.
- A trilobiták **kizárólag tengeriek**, a többségük az aljzaton mozgott. A **kambriumban** (esetleg már a prekambrium végén?) **jelentek meg**. **Virágkoruk a késő-kambriumban és az ordovíciumban volt**, fokozatos hanyatlásuk a szilurtól a perm végi kihalásukig tartott.
- A trilobiták **a kambrium legjobb szintjelzői**, emellett ősföldrajzi (paleobiogeográfiai) elemzésekre is alkalmasak.

Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

Pörgekarúak törzse (Brachiopoda)

- A brachiopodák váza két teknőből áll, amelynek anyaga az ősi típusok esetében kitinfoszfát, a fejlettebbeknél mész. A teknők legidősebb része a búb. A nyél kilépésének a helye a két teknő között, vagy a háti teknőn található (ábra).
- A brachiopodák többségére a *tengerfenéken, nyéllel* (egyes formáknál cementációval) *rögzített életmód jellemző*. Többnyire sziklára, szilárd aljzatra települnek, de előfordulnak lágy aljzaton is. Általában sekélytengeriek.
- A kambrium elején jelentek meg, virágkoruk a paleozoikumban volt. A jelentős kőzetalkotók és környezetjelzők, a paleozoikumban korjelzők is.

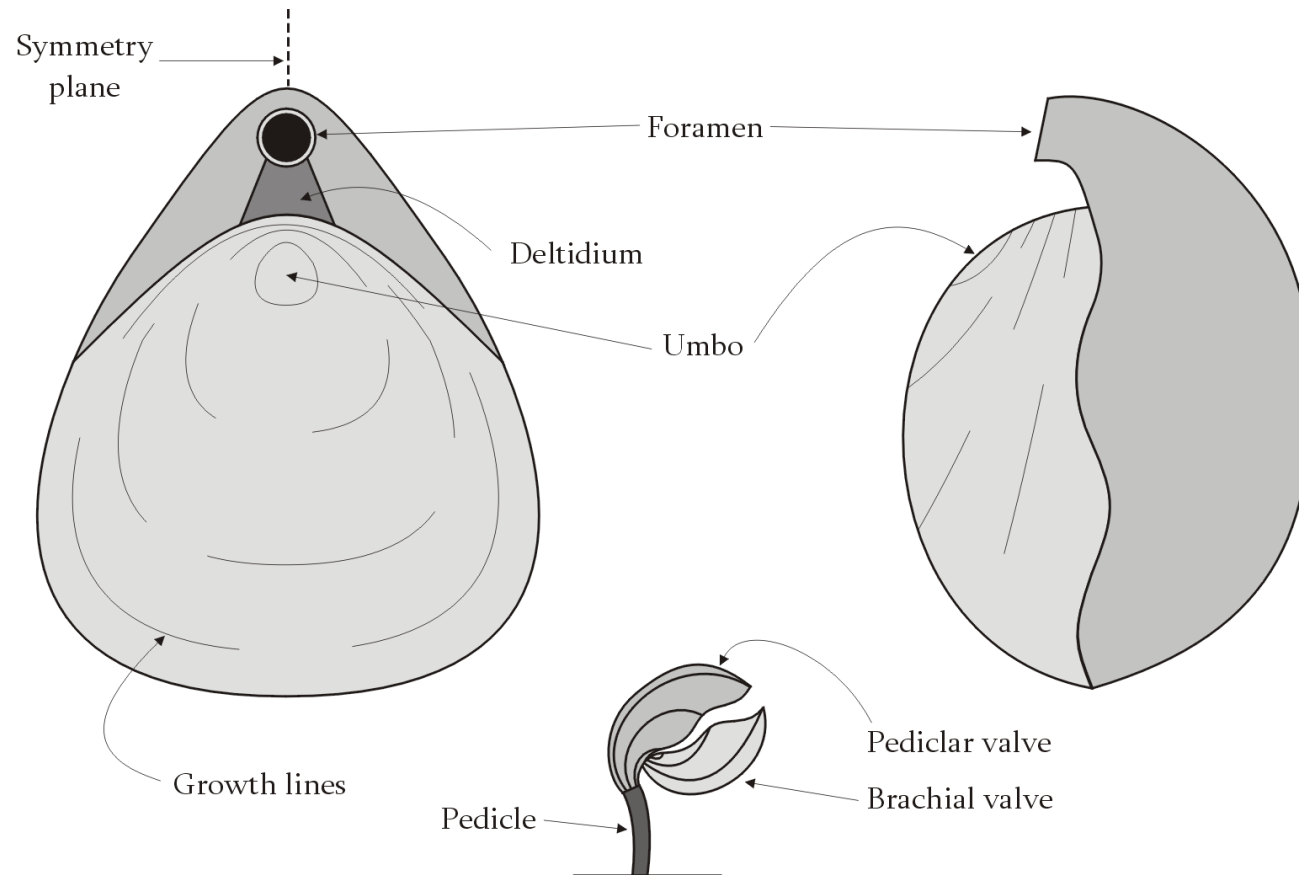


▲ **Ábra:** Pygope a bakonyi kréta időszaki képződményekből. A kép szélessége kb. 2 cm. Jól látható a búbon a brachiopodákra jellemző lyuk (foramen), ami a nyélkilépés helye.



◀ **Ábra:** *Cincinnetina meeki* pörgekarúak. A pörgekarúak gyakran fordulnak elő a kőzetekben tömegesen. A jelenség magyarázata az lehet, hogy a pörgekarúak lárvái a múltban sem távolodtak el nagyon a szülő egyedek kolóniájától

Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

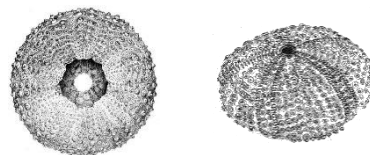


▲ **Ábra:** Pörgekarúház anatómiája. *Symmetri plane* = szimmetria tengely, *Foramen* = nyéllyuk, *Umbo* = búb, *Deltidium* = zár, *Growth lines* = növekedési vonalak, *Pedicle* = nyél, *Pediclar valve* = hasi teknő vagy nyeles teknő, *Brachial valve* = háti teknő vagy kartámasztó teknő. Megtévészto módon általában a hasi teknő helyezkedik el felül

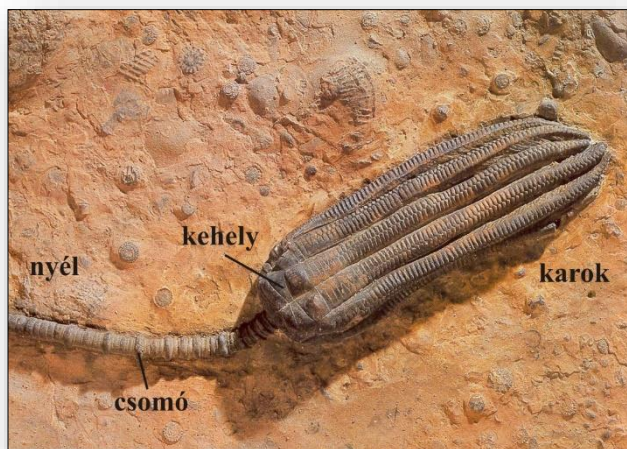
Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

Tüskésbőrűek törzse (Echinodermata)

- A tüskésbőrűek jellemzője a **vízedényrendszer** (ambulakrális rendszer), a kalcitlemezekből álló, ötsugaras felépítésű **belső (!) váz** és a tengeri, bentosz életmód. A vázelemeket kalcit egykristályok alkotják, amelyek a növekedés során kalcittűk összeolvadásával keletkeznek. Egyes egyedek vázelemeinek a száma a kétmilliót is elérheti. Legfontosabb két osztályuk a **tengeri liliomok** (Crinoidea) és a **tengeri sünők** (Echinoidea).

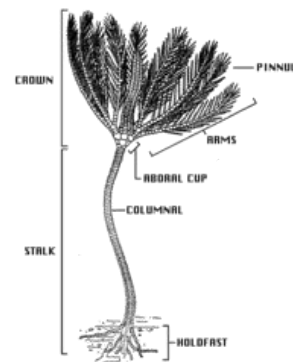


Tengeri liliomok osztálya (Crinoidea)



▲ **Ábra:** A tengeri liliomok (Crinoidea) felépítését egy németországi jura példányon mutatjuk be

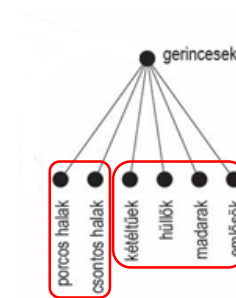
- A crinoideák kalcit anyagú belső váza három részből áll: **kehely**, a kehely alsó részéhez illeszkedő **nyél** és **gyökér** (ábra). A szilárd aljzaton, csendes vizű tengeri lagúnák, oxigénben gazdag környezetben, rögzült életmódot folytatnak. A tengeri liliomok az **ordovíciumban** jelentek meg, **virágkoruk a karbon volt**. A crinoideás mészkövek egyértelműen tengeri környezetre és sekély vízmélységre utalnak.



Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

Gerincesek törzse (Vertebrata)

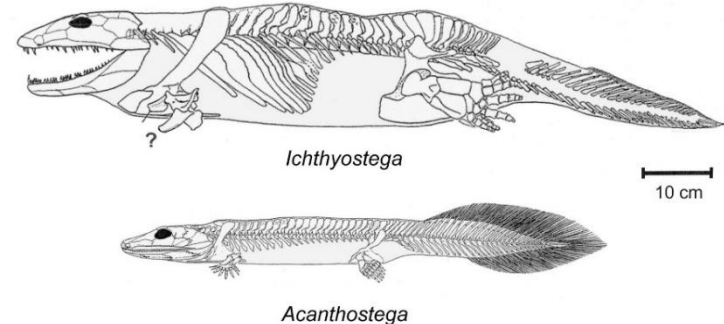
- A gerincesek törzsébe tartozó élőlények általános jellemzője a **porcos és csontos belső váz**, a **gerinchúr** illetve **gerincoszlop**, a **hátdoldali központi idegrendszer** és a **hasoldali emésztőrendszer**, valamint a **két részből álló koponya** (agy- és arckoponya).
- A gerincesek két nagy csoportra oszthatók:
 - ✓ **halak (Pisces)**,
 - ✓ **négylábúak (Tetrapoda)**.
- Utóbbiakon belül 4 osztály különíthető el:
 - **kétélűek (Amphibia)**,
 - **hüllők (Reptilia)**,
 - **madarak (Aves)**,
 - **emlősök (Mammalia)**.



Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

Kétéltűek osztálya (Amphibia)

- A **karbonban és permben virágkort élő** ősi formák a mezozoikum végén kihaltak. Legismertebb képviselőjük az ***Ichthyostega***, amely a csontoshalak és a négy lábuk közötti **evolúciós láncszem** (ábra).



Hüllők osztálya (Reptilia)

- A **gerincesek első igazi szárazföldi osztályát** a hüllők alkotják. Nincs lárvállapotuk és metamorfózisuk, a **tojásból kikelt hüllő kicsiny mása a kifejlett példánynak**. A tojás kialakulása tette lehetővé a víztől való függetlenedést.
- A hüllők rendszerezésében a **halántéklakok** száma és elhelyezkedése az egyik legfontosabb bélyeg.
- A hüllők földtani-paleontológiai jelentősége elsősorban az evolúció kutatásában mutatkozik meg. Emellett **környezetjelzők és utalnak a lemeztektonikai mozgások időbeliségére** (faunaprovinciák).

▲ **Ábra:** A késő-devonban élt ősi kétéltűek (*Ichthyostega* és *Acanthostega*) a grönlandi felső-devon rétegekből



▲ **Ábra:** A tudományos világban legismertebb magyar fosszília a bakonyi felső-triász rétegekből előkerült kavicsfogú álteknős

Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya



Madarak osztálya (Aves)

- A madarak a *két halántéklalakkal ellátott koponyájú, madármedencéjű* (ornitischia) *hüllőktől származnak*. Ritka leleteik szerint a *jura időszakban fejlődtek ki*. A kréta rendszerből származó példányokon már a mai madarak minden bélyege felismerhető.



◀ **Ábra:** Az egyik leghíresebb ősmaradvány a solnhofeni jura *Archaeopteryx*. Galamb méretű volt és *mind a hüllőkre, mind pedig a madarakra jellemző bélyegeket is hordozott*.

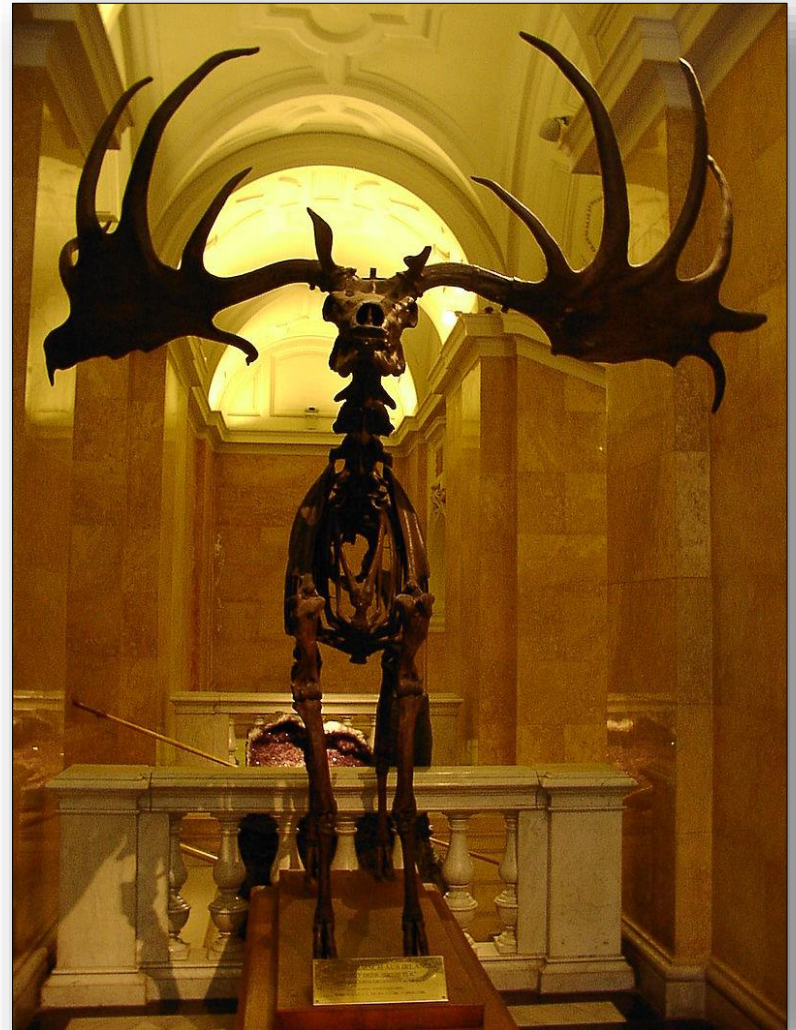
Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

Emlősök osztálya (Mammalia)

- Az emlősök fő jellemzője a **nagy agykoponya**, az **összetett őrlőfogak**, **egy csontból álló alsó állkapocs**, **korlátozott növekedés** az egyedfejlődés során, **melegvérűség** (endotermia), **szőrtakaró**, **elevenszülés**, **ivadékgondozás**.



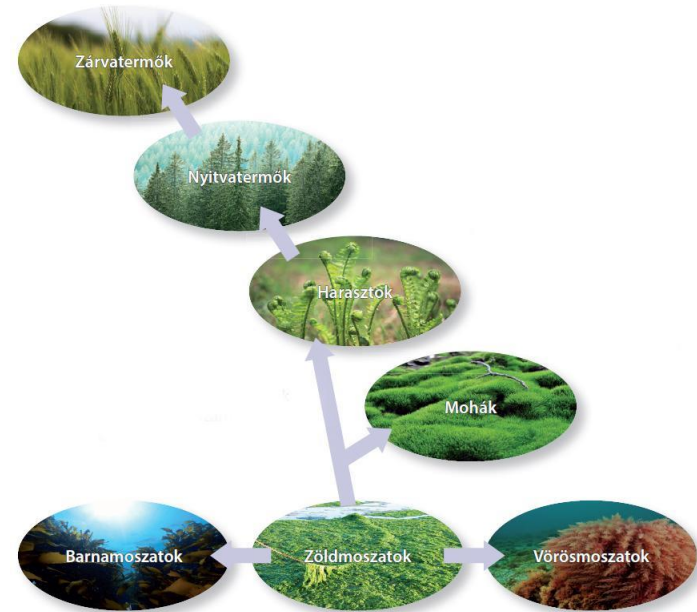
► **Ábra:** A Megaloceros giganteus óriásszarvas csontváza



Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

Növények országa (Plantae)

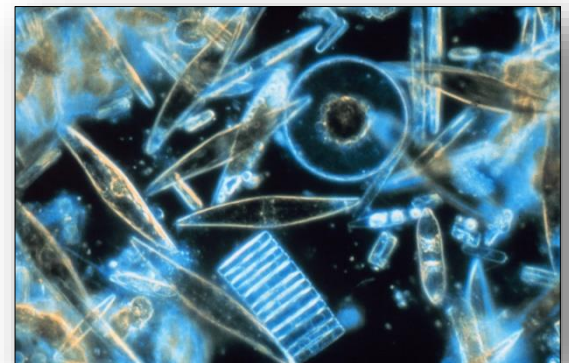
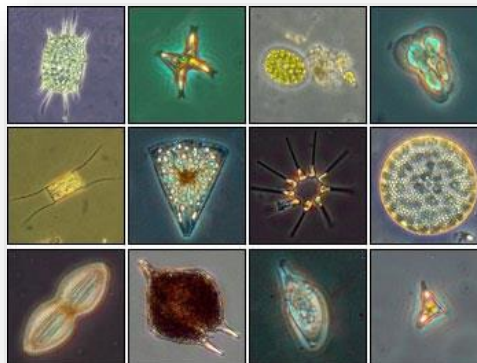
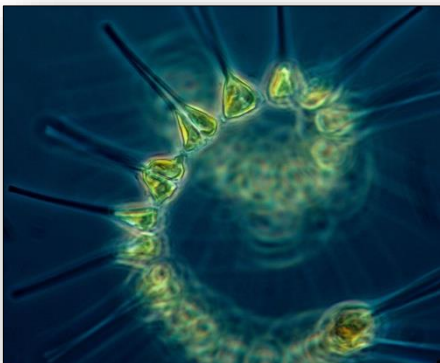
- A szerves anyag Földi körforgásában a *növények fontos láncszemet alkotnak*.
- A klorofiltartalmú autotróf növények a *szervetlenből szerves anyagot állítanak elő*, amellyel a növényevő, majd a ragadozó állatok táplálkoznak. A szerves anyagot azután a heterotróf baktériumok (és alárendeltebb mértékben a gombák is) az egyszerű ásványi molekulák szintjére bontják le (foszfát, nitrát stb). A növények szervesanyag-termelése fokozódott, és ezt az állatvilág egyre több lépcsőben, egyre áttételesebben hasznosítja.
- A *növények és az állatok törzsfejlődésének szoros kapcsolatát* különösen jól tükrözi a virágos növények és a rovarok törzsfejlődése (koevolúció).



Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

Növények országa (Plantae)

- A szerves élet kialakulásakor az ősóceán és az őslégkör oxigéntartalmát kizárólag a sekélytengeri növények, nagyrészt a lebegő életmódot folytató moszatok életműködése szabta meg. Azokban a törzsfajlódási szakaszokban, amikor **a fitoplankton feldúsult, az óceánok pH-értéke emelkedett, a CO₂-nyomás csökkent, több mészszip rakódott le**, és megnyílt a lehetősége a **kőolaj felhalmozódásának**.
- A **fitoplankton** működésének csökkenésekor viszont a CO₂-tartalom növekedett, a pH értéke alacsonyabb lett, és a karbonátos üledékek helyébe kovaüledékek léptek. Ilyenkor a zátonyalkotók és a ragadozók száma csökkent.
- **Az óceánokban a fitoplankton szabályozó szerepe ma is jelentős.** A szárazföldi növények szilurbeli elterjedés után **a légkör oxigéntartalmának szabályozásában növekvő szerepet játszanak**.



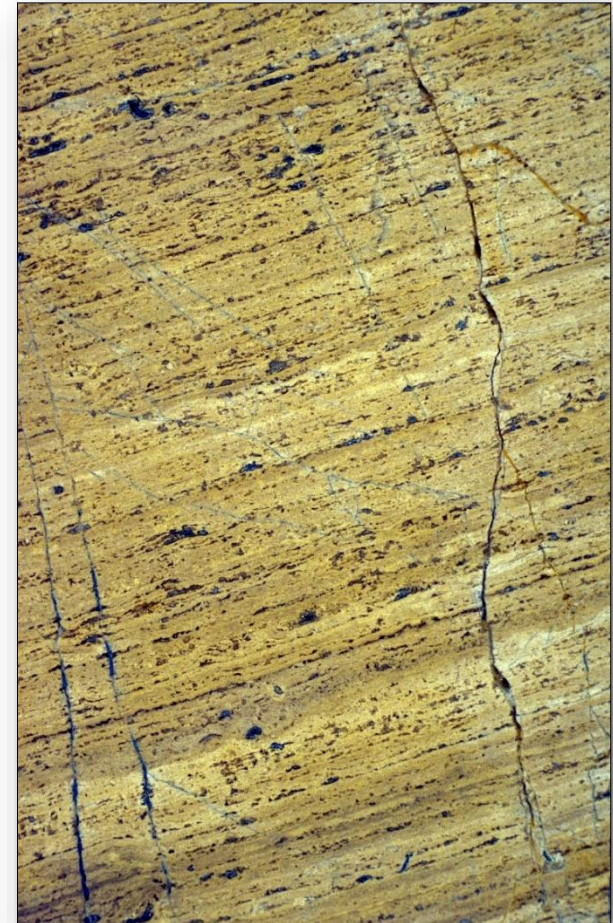
Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

Cianobaktériumok (Cyanophyta)



- 3,5 milliárd éve jelentek meg (Warrawoona Csoport, Ausztrália). Az általuk képzett bioszediment struktúrák a **sztromatolitok**, amelyek fosszilizálódnak.
- A **kékmoszatok** a **prekambrium** jellegzetes maradványai. Földtörténeti-evolúciós jelentőségük az **oxigéntermelés** miatt rendkívül nagy volt. Extrém, pl. túlsós körülmények között is megélnek.
- A sztromatolitok a magyarországi sekélytengeri karbonátos üledékekben meglehetősen gyakoriak. A Dunántúli-középhegység triász platformkarbonátokból felépülő, ciklusos, sekélytengeri rétegsorában az árapályövbén képződött sztromatolitok (lofer-ciklus B-tag) összvastagsága több száz méterre tehető (► Ábra).

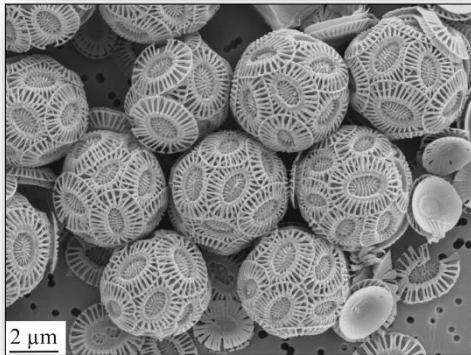
A **sztromatolit** (A görög στρώμα [sztróma, 'réteg'], és a λιθος [lithosz, 'kő'] szavakból) cianobaktériumok, azaz fotoszintetizáló kékbaktériumok által létrehozott üledékszerkezet.



Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

Moszatok törzse

- A **moszatok valódi sejtmaggal rendelkező vízinövények**, amelyek közül a szilárd vázat építőknak van földtani jelentőségük.
- A **sárgásmoszatok** közül egyedül a **mészpikkelyesek jelentősek földtani szempontból**. Ezek vázelemei a változatos alakú kokkolitok, amelyek kőzetalkotó mennyiségben dúsulnak fel egyes tengeri üledékekben (pl. a kréta korú írókréta anyagának 70%-a kokkolitokból áll).

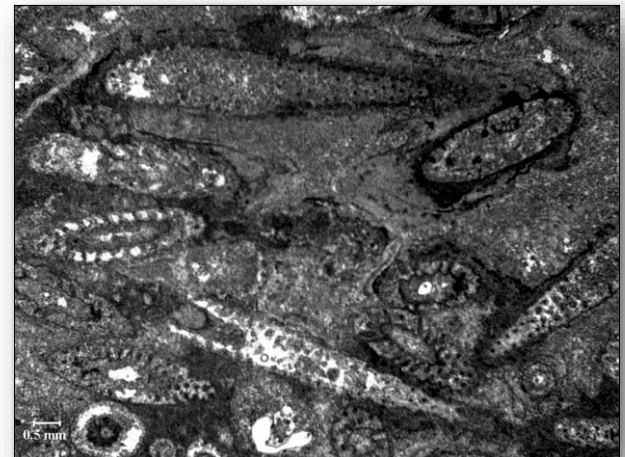


◀ **Ábra:** Kokkolitok
elektronmikroszkópos
felvétele

- A **zöldmoszatok** elterjedt, változatos környezetekhez alkalmazkodott csoportjai közül **földtani jelentőségük** azoknak van, **amelyek mészvázat választanak el**.



▶ **Ábra:** Zöldalgák (Diploporella)
vékonycsiszolati képe a bakonyi
Tagonyi Mészköben

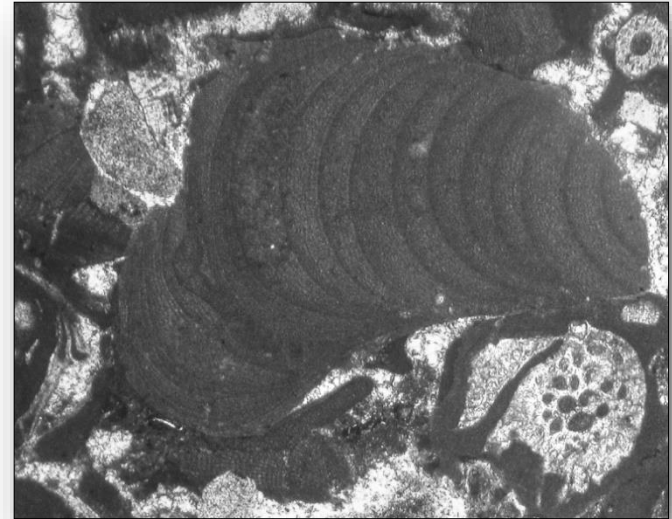


Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

- A *vörösmozzatok* túlnyomó részben *sekélytengeri környezetben élő, az aljzaton rögzült élőlények*. Jelentős szerepet játszanak a sekélytengeri zátonyok külső falának a felépítésében.



▲ **Ábra:** Vörösalga-gumó középső-eocén
vértesi nummuliteszes mészkőben



▲ **Ábra:** Vörösalga vékonycsiszolati képe

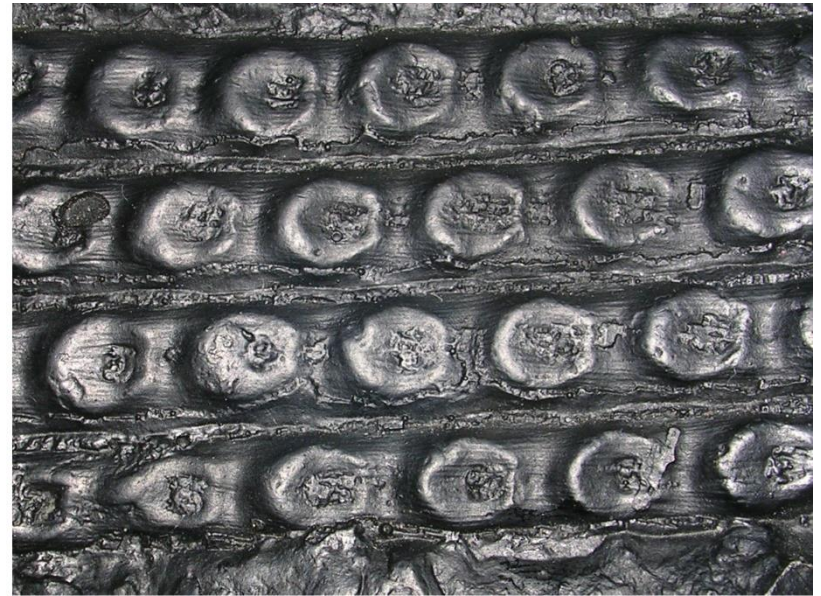
Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

Harasztok törzse

- A harasztok az első, szállítószövettel rendelkező magasabb rendű szárazföldi növények, amelyek szaporodása azonban még vízhez kötött. Megjelenésük a késő-szilurban, adaptív radiációjuk a devonban volt. Ide tartoznak az ősharasztok, a korpafüvek, a zsurlók és a páfrányok.

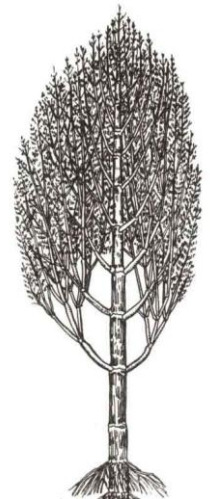


Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya



▲ **Ábra:** *Lepidodendron* (bal oldal) és *Sigillaria* (jobb oldal) jellegzetes levélripacsai

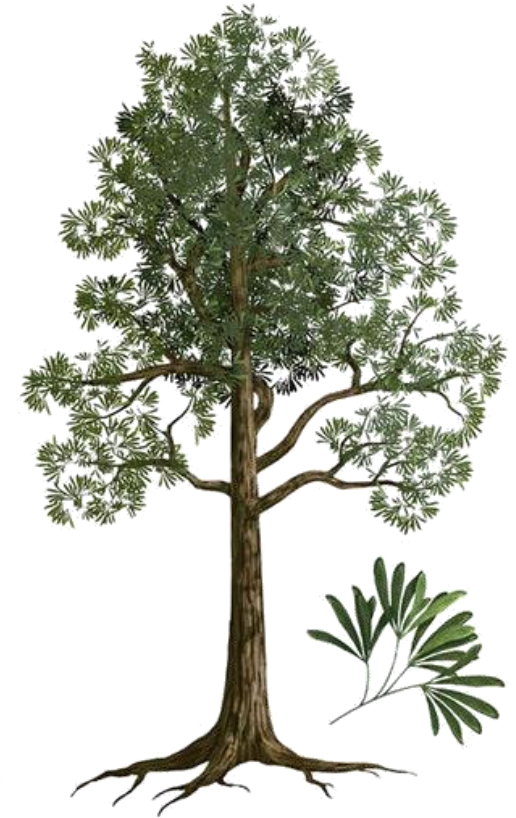
- Az **örvös felépítésű zsurlók** a **devonban** jelentek meg, **virágkoruk a karbonban volt**, de még a **triász időszakban is viszonylag gyakoriak** voltak. Legismertebb képviselőjük a **zsúrlófa (*Calamites*)**, amelynek maradványai a Mecsek környéki karbon üledékekből is előkerültek.



Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

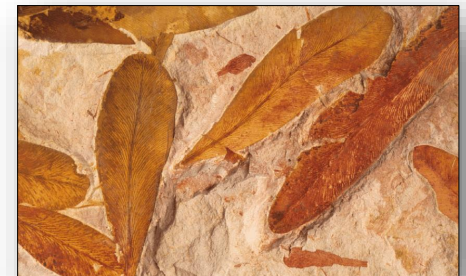
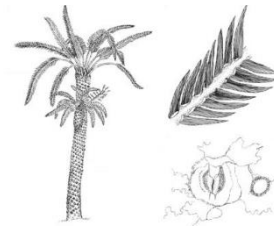
Nyitvatermők törzse

- Az **első magvas növények a nyitvatermők voltak**. A **devonban** jelentek meg, **virágkoruk a mezozoikum volt**. Lágyszárú formák nem alakultak ki közöttük. Nyolc osztályuk közül kettő földtanilag jelentéktelen. A kihalt **magvaspáfrányok** jól ismert képviselője a *Glossopteris* (► Ábra), amely valamennyi déli földrészen elterjedt jellegzetes, hidegtűrő növénytársulást alkotott a késő-paleozoikumban. A Gondwana nevű déli őskontinensnek létezésének éppen a *Glossopteris*-flóra elterjedése volt az egyik első bizonyítéka.
- A *cikászok* és *bennettiteszek* a karbonban jelentek meg, virágkoruk a mezozoikumban volt (a bennettiteszek a kréta végén kihaltak). A toboztermő tűlevelűek közé tartoznak a *ciprusok*, ezek képviselőit találták meg Bükkábrányban.



▲ Ábra: Megkövesedett késő-miocén mocsárciprus-erdő a bükkábrányi lignitfejtésben

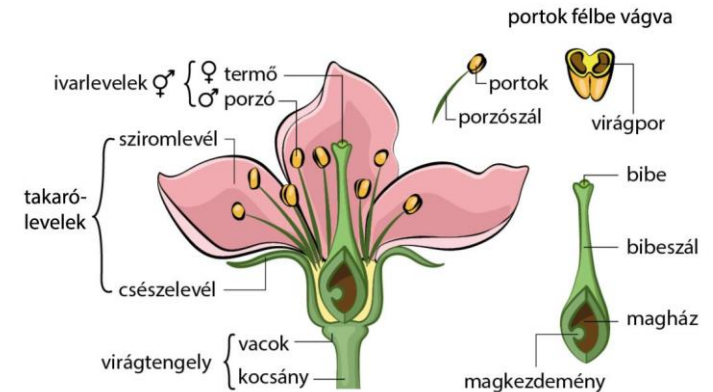
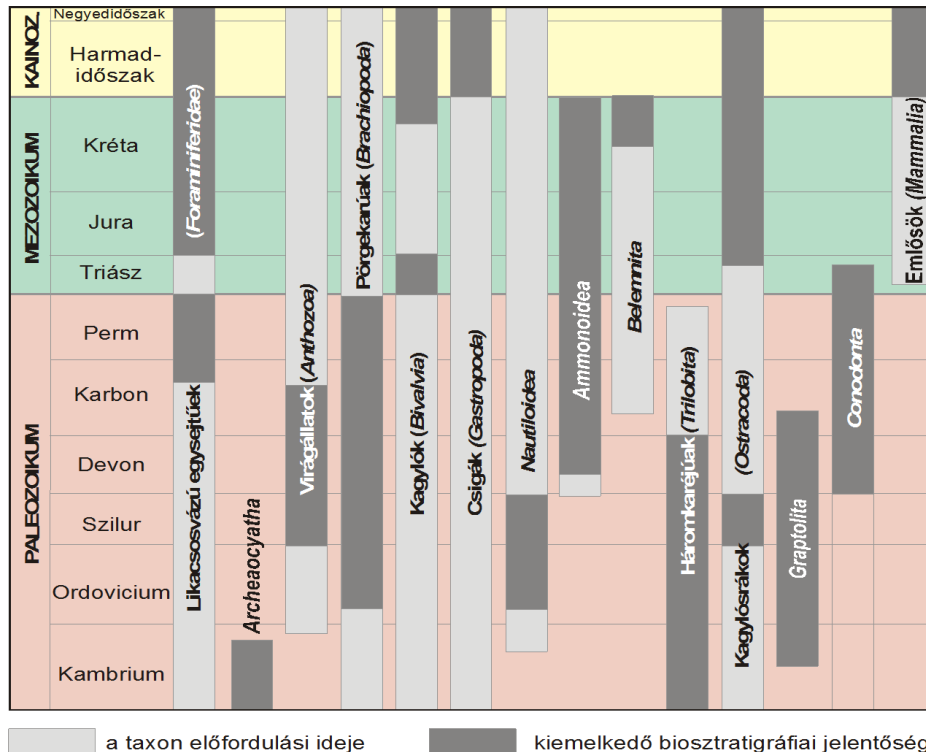
Bennettitesz



Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya

Zárvatermők törzse

- A zárvatermők a **legfejlettebb növények**. **Zárt magházból kialakult termésük van**. Közülük a lágyszárúak a fejlettebbek, csaknem az egész szárazföldet meghódították (pl. a fűfélék). Első biztos előfordulásuk a **kora-krétából** ismert.
- A növényvilág legutóbbi nagy átalakulása a mezozoikum végén történt, azóta új osztály nem jelent meg a Földön.



◀ **Ábra:** A legfontosabb korjelző fosszília-csoportok időbeli előfordulása.

A légkör

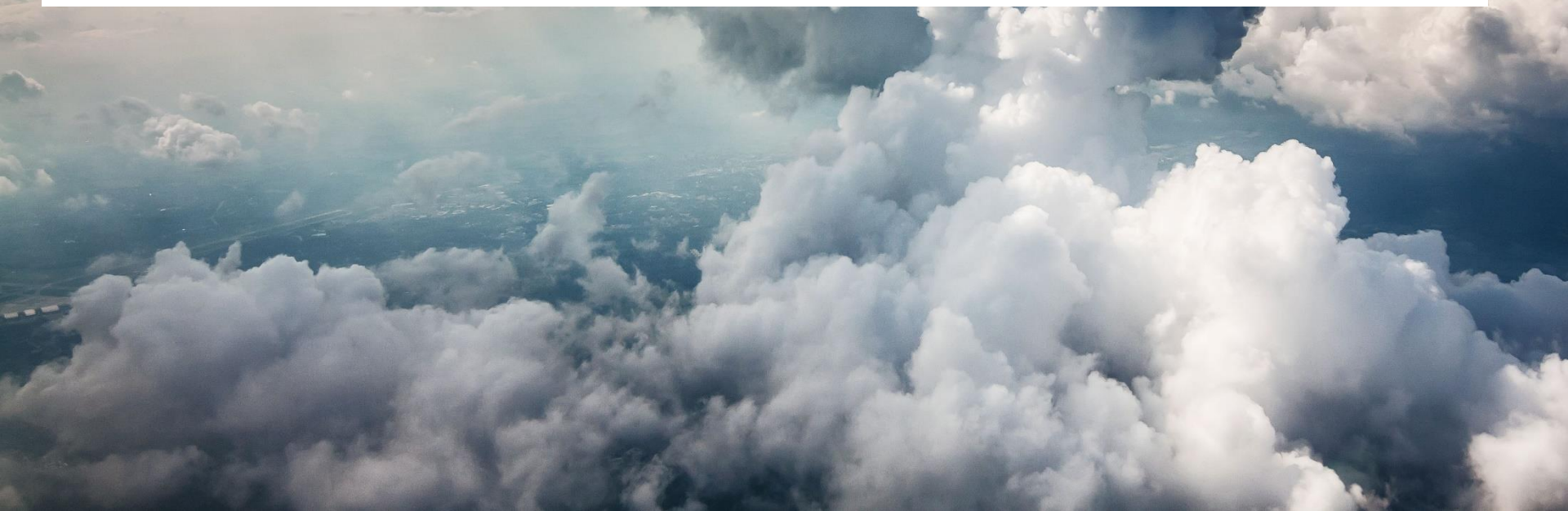




A légkör

A légkör fejlődése – Az elsődleges légkör

- Amikor egy gázfelhőből a gravitációs vonzás hatására összetömörödtek a Naprendszer bolygói, a maradék gázok lehűltek és a bolygók körül ***légkör alakult ki***. A **Föld elsődleges légkörében** csak a **nehezebb (nagyobb molekulasúlyú) gázok** tudtak megmaradni, mert a **kisebbek** elérték a szökési sebességet és **eltávoztak**. A Naprendszer leggyakoribb eleme a **hidrogén**.
- Az **elsődleges légkör** tehát feltehetően legnagyobbbrészt ***egyszerű hidrogénvegyületekből, metánból, ammóniából, vízgőzből, kénhidrogénből állhatott***. ***Héliumtartalma is jelentős lehetett***. A Föld fejlődésének kezdeti szakaszában **állandó volt a gázok kicserélődése a még folyékony kőzetolvadékból álló felszín és a légkör között**. Azok a gázok azonban, amelyeket a megszilárduló földkéreg nem volt képes megkötni (mint a nemesgázok: hélium, argon, xenon), elszöktek az űrbe. **A mai légkör összetétele a legkevésbé sem emlékeztet az elsődleges légkörére, mert annak gázai a földtörténet első egymilliárd éve során nyomtalanul eltűntek.**





A légkör

A légkör fejlődése – A másodlagos légkör

- Amíg nem volt élet a Földön, a tűzhányók voltak a légköri gázok fő forrásai. A mainál élénkebb vulkáni tevékenységből a következő gázok kerülhettek a légkörbe: elsősorban vízgőz és szén-dioxid (CO_2), kisebb mennyiségben kén-hidrogén (H_2S), szén-monoxid (CO), hidrogén (H_2), nitrogén (N_2), metán (CH_4), ammónia (NH_3), foly sav (HF), sósav (HCl) és argon (Ar). Oxigén gáz azonban ilyen módon nem keletkezhet, nem volt a redukáló jellegű légkörben.

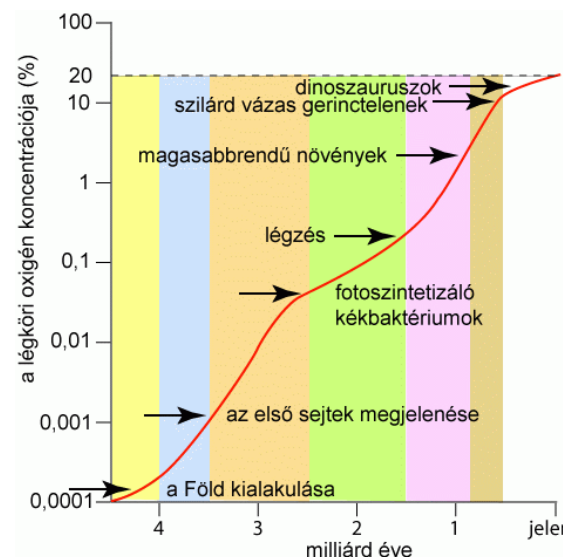




A légkör

A légkör fejlődése – A légköri oxigén eredete

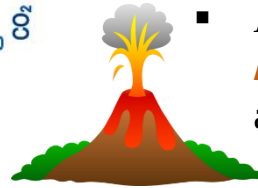
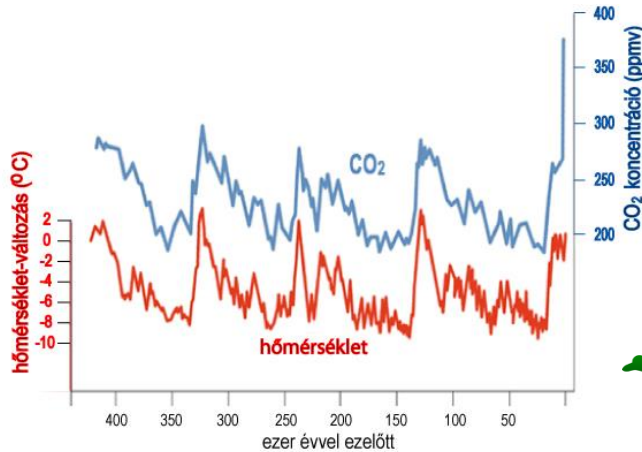
- Az **ultraibolya sugárzás** a légkör felső rétegeiben **oxigén- és hidrogénmolekulákra bontja a vizet (fotodisszociáció)**. Ezáltal a légkör oxigénkoncentrációja elérte a mai szint (present atmospheric level, PAL) 0,1%-át (ábra). A légkör az **élővilággal szoros összefüggésben fejlődött**. Az **oxigéntartalom megsokszorozásában a tengeri élővilág fotoszintézise játszott nagy szerepet**. A tengeri, majd jóval később a szárazföldi növények a **fotoszintézis** során **szén-dioxidból és vízből szőlőcukrot és oxigént állítanak elő**.
- A földtörténet második milliárd éve során keletkezett oxigén oxidálta a földkéreg üledékeinek vas- és mangánvegyületeit (ún. „sávós ércek” keletkeztek).
- Amikor ez kb. 2,5 milliárd éve megtörtént, megkezdődhetett az **oxigén felhalmozódása a légkörben**, az **oxidáló atmoszféra kialakulása**.
- 1,6 milliárd éve, amikor az **első eukarióta** (sejtmagot tartalmazó sejtekből felépülő) **élőlények megjelentek**, a légköri oxigén koncentrációja elérte a PAL 10%-át.
- A kainozoikumban, a legutóbbi 65 millió év során a **légkör oxigéntartalma** széles határok között ingadozott.



▲ **Ábra:** A légkör fejlődésének főbb szakaszai és az oxigénkoncentráció növekedése

A légkör

A légkör fejlődése – A légköri szén-dioxid mennyiségének változása



- Amikor az atmoszferikus oxigén kezdett felszaporodni, több százszor annyi CO_2 volt a légkörben, mint jelenleg.
- A CO_2 -koncentráció a földtörténet során a *hegységképződési fázisokban* növekedett meg, amikor megerősödött a *vulkánosság*.
- Amikor viszont *sok mészkő, kőszén és kovaüledék képződött*, csökkent a légköri CO_2 mennyisége.
- A légköri CO_2 – mint a legfontosabb üvegházhatású gáz – jelentősen **befolyásolta bolygónk légkörének hőmérsékletét**, ahogyan a grönlandi jég magfúrásainak elemzéséből kiderült (ábra).

▲ **Ábra:** A légkör CO_2 -tartalma és hőmérséklete a negyedidőszakban (legalábbis a legutóbbi 440 ezer évben) együtt változott

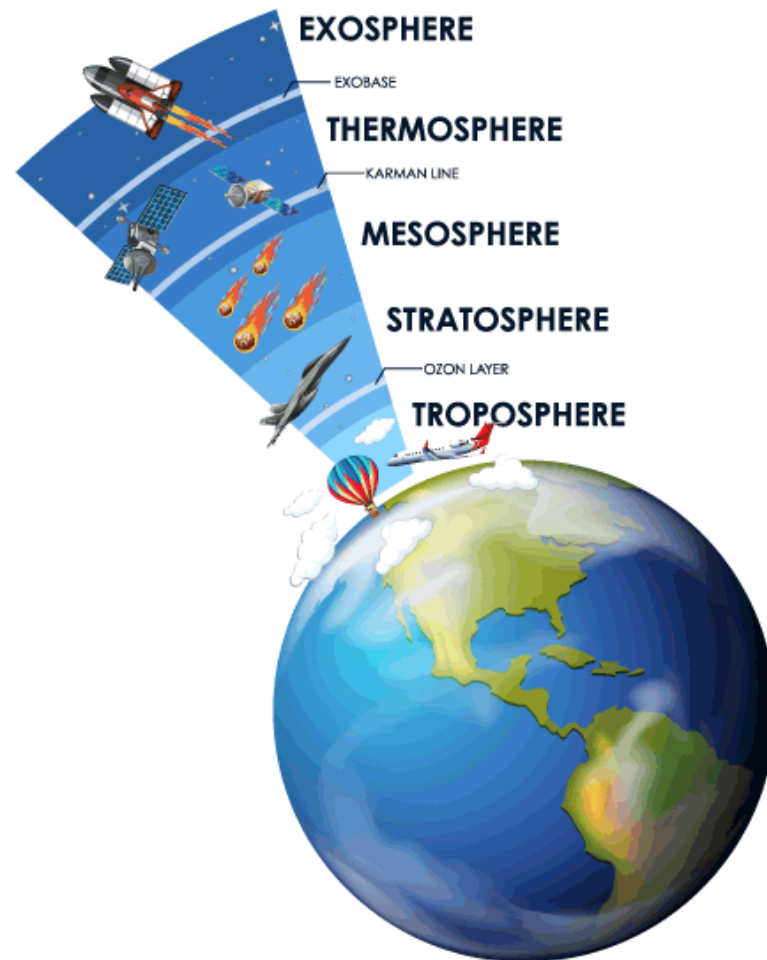
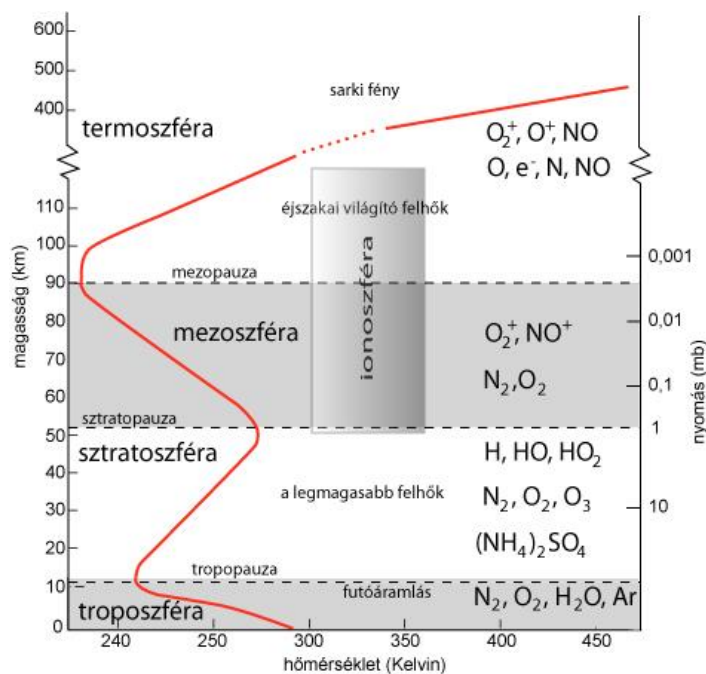




A légkör

A légkör szerkezete

- A Föld légkörében, az atmoszférában **a levegő sűrűsége a magassággal rohamosan és folyamatosan csökken**. A **hőmérséklet** viszont **bizonyos magassági tartományokban csökken, másokban emelkedik**. A légkört ezért általában a hőmérséklet változása szerint osztják egymás fölött elhelyezkedő rétegekre (ábra).



▲ **Ábra:** A hőmérséklet változása és a legfontosabb jelenségek a földi légkör alsó részének rétegeiben



A légkör

A légkör szerkezete – TROPOSZFÉRA



- A Föld légkörének legalsó, tehát **legsűrűbb rétege a troposzféra**. A légkör össztömegének 75-80%-a a troposzférára esik. A legtöbb **időjárási jelenség** (felhő- és csapadékképződés, szél stb.) a légkör legalsó rétegében zajlik le. Ennek az a magyarázata, hogy a troposzférában **éles hőmérséklet-különbségek jönnek létre**.
 - A napsugárzás ugyanis először a földfelszínt melegíti fel, a felszín adja át a hőt a troposzféra legalsó sávjának. Ezért a **hőmérséklet** a troposzférában **felfelé fokozatosan csökken**, 100 m-enként 0,6°C-kal. **A felszín közelében a felmelegedő levegő felszáll, helyében hűvösebb áramlik**. A földfelszín egyenetlenségei a felszín közvetlen szomszédságában, az ún. határrétegben erősen befolyásolják a felszínnel párhuzamos légmozgást, azaz a szelet.
- A diagram of Earth showing the jet stream as a wavy line of red and yellow over the North Atlantic and Europe.
- A legerősebb légmozgás a troposzféra legfelső sávjában fellépő **futóáramlás** (jet stream). **A futóáramlás a Földet hullámalakban, 400 km/h körüli sebességgel öleli körül**. Hullámaiból hatalmas, **magas nyomású légörvények (anticiklonok)**, ill. **alacsony nyomású képződmények (ciklonok)** válnak le. Ezek nagy hatással vannak a mérsékelt öv időjárására. Az anticiklonokban uralkodó leszálló légáramlás **száraz időt hoz**, a ciklonok érkezésével **csapadékképződés jár**.
- **Függőleges irányban a levegő sűrűsége és nyomása is csökken**, egészen a troposzféra felső határáig, a tropopauzáig. A **tropopauza tengerszint felett 7-17 km magasságban húzódik**. A tropopauza mindenkori helyzetét az adott hely földrajzi szélessége, valamint az szabja meg, milyen évszak és napszak van. Az Egyenlítő mentén van a legmagasabban, kb. 17-20 km-en.
 - A sarkok közelében és télen a legalacsonyabb a helyzete, kb. 7-8 km-en figyelhető meg. A mérsékelt övben átmeneti a helyzete. A tropopauzában már igen hideg van: **-55°C körüli hőmérséklet**.
 - Néha a sztratoszférából lejuthatnak légtömegek a tropopauzába, amit **lekeveredésnek** nevezünk.



A légkör

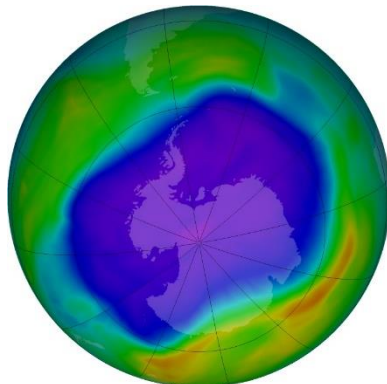
A légkör szerkezete – SZTRATOSZFÉRA

- A **sztratoszféra** alsó határa a tropopauza, és a sztratopauzáig, kb. 85 km magasságig tart. Már az alsó sztratoszférában is kb. ezerszer ritkább a levegő, mint a troposzférában, a tengerszinten.

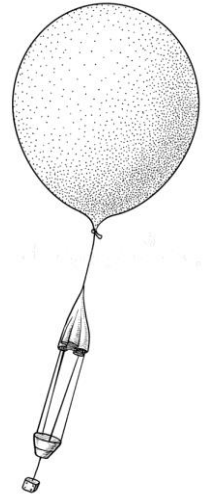


- A sugárhajtású repülőgépek ezért ott tudnak a leghatékonyabban előrehaladni.

- A troposzférával szemben a sztratoszférában a **hőmérséklet felfelé emelkedik**. A levegő rétegződése stabil, ezért **függőleges légmozgás nem alakul ki benne, vízszintes áramlások viszont előfordulnak**. A **légkicserélődés hiányának** hátrányos hatása is van. A korábban sztratoszférába jutott anyagok (pl. a szórófejekből kibocsátott hajtógázok, a halogénezett szénhidrogének) igen sokáig ott tartózkodnak, az egész Föld éghajlatát befolyásolhatják.
- A sztratoszféra száraz levegőjében **felhők se képződnek**, kivéve a **sarki sztratoszféra-felhőket**, amelyek 15-25 km magasságban jelennek meg, ha ott a hőmérséklet -78°C alá süllyed.
- A sztratoszférában a Nap ultraibolya sugárzás energiájának hatására **az oxigénmolekulák egy része felbomlik**. Újraalakulva **háromatomos oxigénmolekulák keletkeznek**. Így jön létre az **ózonréteg**, amely **megakadályozza a káros, rövid hullámhosszú sugárzás lehatolását, ezzel védi a földi életet**.



- A sztratoszféra-felhők azonban elősegítik az ózont pusztító kémiai folyamatokat, az „**ózonlyuk**” kialakulását. Az ózonréteg „kilyukadása” tulajdonképpen csupán **az ózonréteg kivekonyodását** jelenti, mégis káros. Az erős ultraibolya sugárzás ugyan az élőlényeknek csak a kültakarójába hatol be, de ott súlyos elváltozásokat, az emberek esetében bőrrákot okoz.

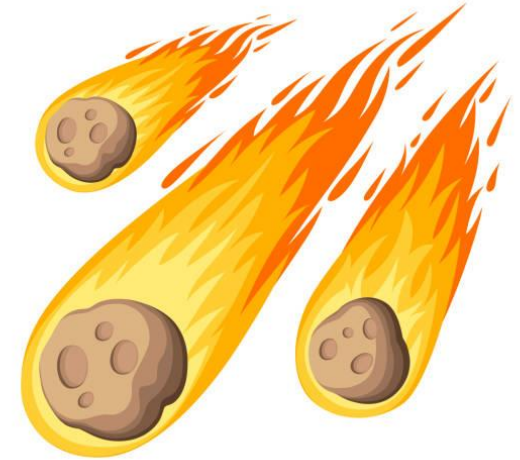




A légkör

A légkör szerkezete – MEZOSZFÉRA

- A mezoszféra a földi légkör 50-90 km közötti rétege. Felső határát a *mezopauza* jelöli ki. A meteorok nagy része a mezoszférába jutva ég el.
- A mezoszférában a **hőmérséklet felfelé csökken**, a tetején van a leghidegebb az atmoszférában: **-90°C is lehet**. Ugyanakkor ebben a rétegben is *jelentősek a hőmérséklet évszakos különbségei*. Az Északi- és a Déli-sark felett a mezoszférában néha világító felhők jelennek meg.
- A mezoszféra *a légkör legkevésbé ismert rétege*. Azért különösen nehéz tanulmányozni, mert a meteorológiai léggömbök oda már nem jutnak fel, az időjárási műholdak pedig magasabban keringenek.
- A mezoszféra titkainak kifürkészésére leginkább a rakétaszondák alkalmasak. Ezek rövid röppályán repülnek, nem állnak Föld körüli pályára.





A légkör

A légkör szerkezete – TERMOSZFÉRA

- A mezoszférát a felszíntől **kb. 90 km távolságban**, a **mezopauza felett** a **termoszféra** váltja fel. Az **alsó termoszférában a hőmérséklet ismét gyorsan nő**. A termoszféra *hőmérséklete egyébként időben változó*, erősen függ a Nap tevékenységétől.
- Nappal 200°C-kal melegebb, mint éjszaka. A napfolttevékenység csúcsán pedig akár 500°C-kal is forróbb lehet, mint máskor. A *felső termoszféra hőmérséklete így 500-2.000°C között ingadozik*. A magas értékek azonban félrevezetők: mivel **a légkör ebben a rétegben olyan ritka**, hogy a levegő molekulái alig ütköznek egymással, *hagyományos értelemben nem beszélhetünk hőmérsékletről*. A termoszféra felső határa, a termopauza erősen ingadozó magasságban, *500-1.000 km között található*.
- A nemzetközi űrállomás és számos műhold a termoszférában kering a Föld körül. A hőmérséklet-különbségek miatt a termoszféra **sűrűsége is erősen változó**. Ezek az eltérések befolyásolják a műholdak pályáit, amelyeket ezért állandóan ki kell igazítani.

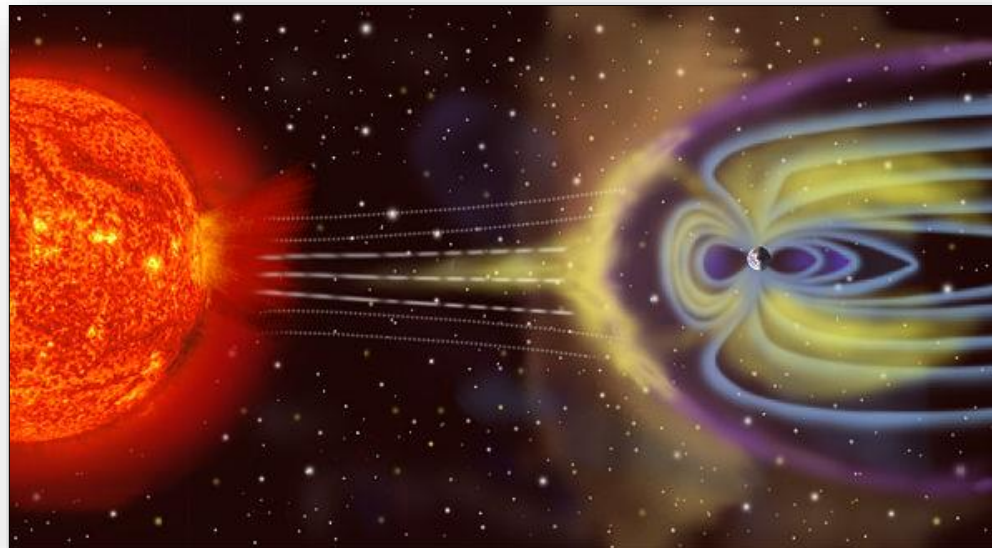




A légkör

A légkör szerkezete – EXOSZFÉRA

- A légkör legritkább, külső burka az exoszféra. A világűr felé tulajdonképpen nincs is határa, mert a könnyű légköri gázok, mint a hidrogén és a hélium, rendszeresen megszöknek belőle az űrbe, ill. érkeznek is onnan a napszéllel. Elméletileg mégis **kb. 2.000 km magasságban szokták meghúzni a földi légkör külső határát**.
- A Föld mágnesese tere azonban még több tízezer km-ig fogva tartja a részecskék egy részét, így keletkezik az aszimmetrikus alakú magnetoszféra.

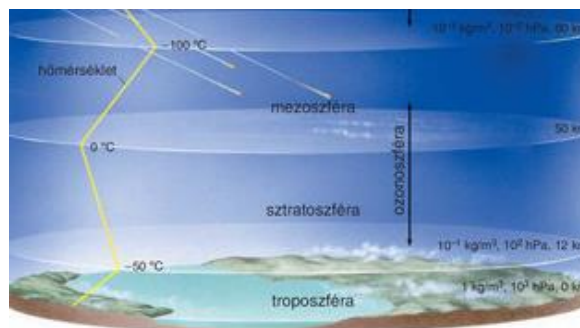




A légkör

A légkör szerkezete – HOMOSZFÉRA, HETEROSZFÉRA

- **Kb. 110 km magasság felett** a légkör anyaga már nem keveredik jól át. A gázok molekulatömegük szerint rendeződnek el: a nitrogén helyett először fokozatosan az atomos oxigén, majd a hélium, végül a legkönnyebb gáz, a hidrogén kerül túlsúlyba. Azokat a rétegeket, amelyekre ilyen gázösszetétel jellemző, együtt **heteroszférának** hívjuk.



- **A légkör összetétele** a troposzférában, a sztratoszférában és a mezoszférában állandó: **78% nitrogén, 21% oxigén és 1% egyéb gáz** (főleg argon) alkotja. Ezért ezt a három réteget összefoglalóan **homoszférának**, azaz ***azonos összetételű légburoknak*** nevezhetjük.



A légkör

A légkör szerkezete – IONOSZFÉRA

- A légkör legnagyobb részében a gázok semleges atomok, molekulák formájában fordulnak elő. A Nap ionizáló sugárzása hatására azonban **kb. 50 km felett több olyan réteg alakul ki, amelyeknek részecskéi elektromos töltéssel rendelkeznek**. Ezek a napszakosan változó, ionokban, szabad elektronokban feldúsuló rétegek alkotják az **ionoszférát**. Az ionoszféra rétegei sok energiát nyelnek el, ezért emelkedik a hőmérséklet a termoszférában. Ezeknek a rétegeknek gyakorlati jelentőségük is van: hatnak a Föld mágneses terére és befolyásolják a közepes és hosszú rádióhullámok terjedését is.



A Föld felépítése

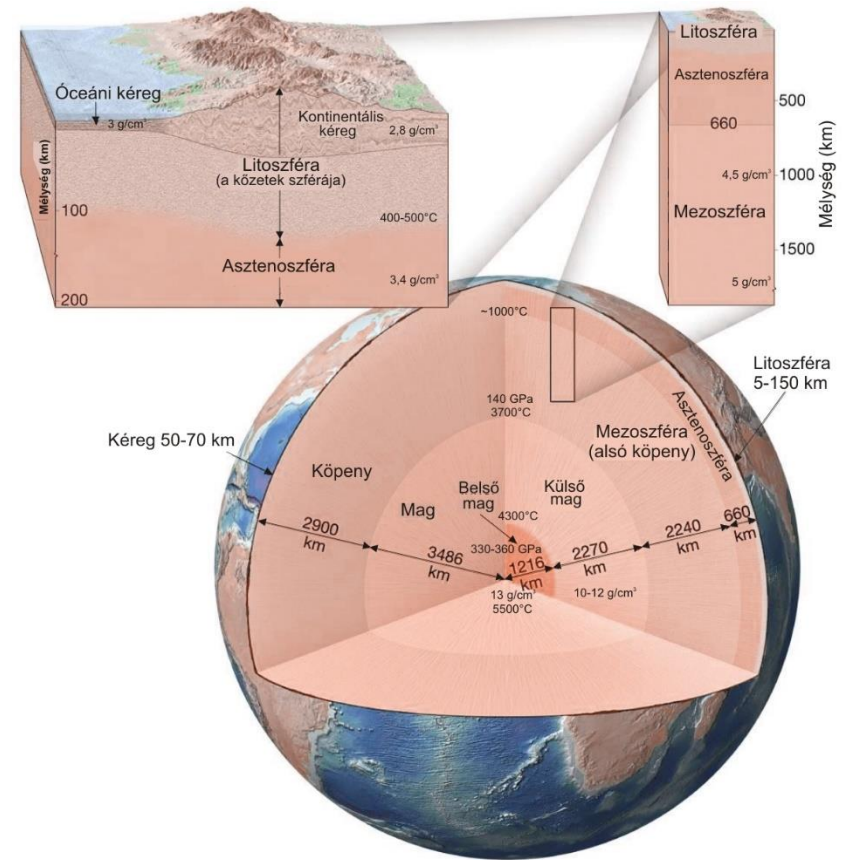




A Föld felépítése

Belső szerkezete

- A Föld belseje öves felépítésű (ábra), az **övek elhelyezkedése**, **kiterjedése**, sőt esetenként **mozgása** is jól ismert.
- Az **övek összetételét** illetően azonban még **feltételezésekre, elméletekre** kell hagyatkoznunk, mivel a legfelső 30–70 km-t leszámítva ez teljesen ismeretlen számunkra.
- A Föld szerkezetére vonatkozó **legismertebb elmélet** az úgynevezett **Goldschmidt-féle vasmagos modell**.
- Ez **kémiaileg inhomogén öveket** tételez fel, amelyben **egyszerű ülepedés hatására** a mélyebb rétegek a nagyobb fajsúlyú anyagokat tartalmazzák.
- Magyarázatot ad a felszíni kőzetek sűrűsége és a Föld átlagsűrűsége közötti eltérésre, valamint a mágneses mezőre.

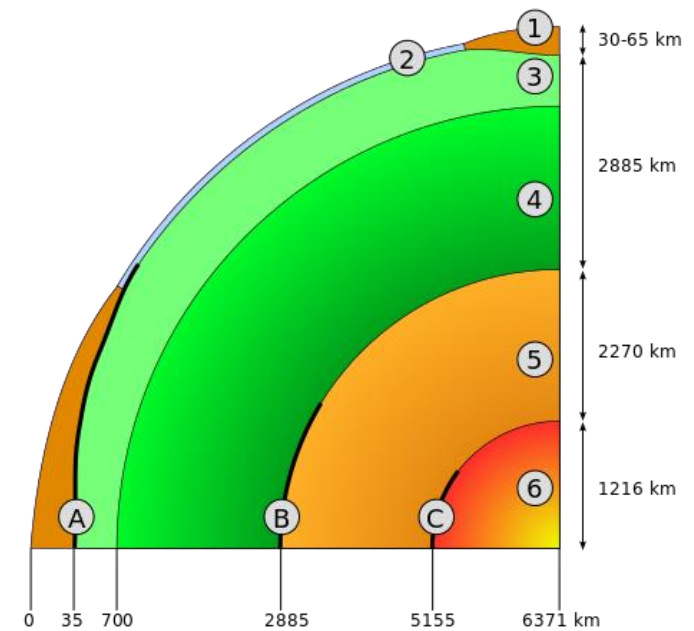
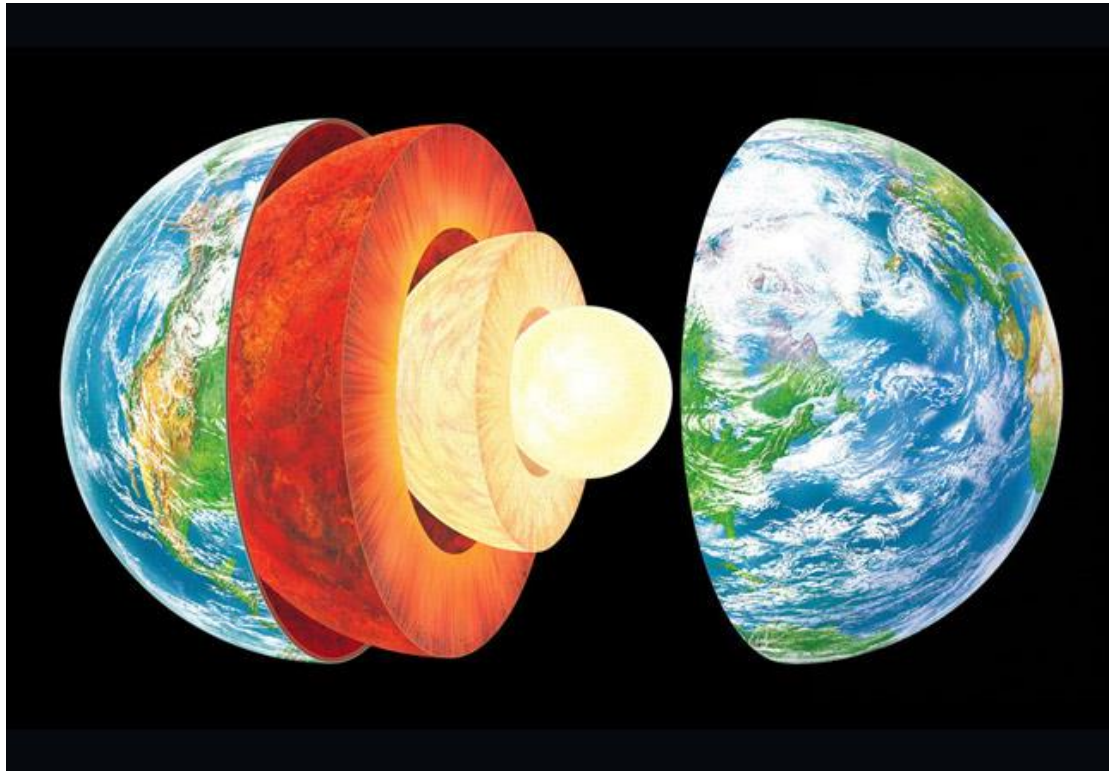


▲ **Ábra:** A Föld belső szerkezete
Forrás: Keller, 2007 után módosítva



A Föld felépítése

Belső szerkezete



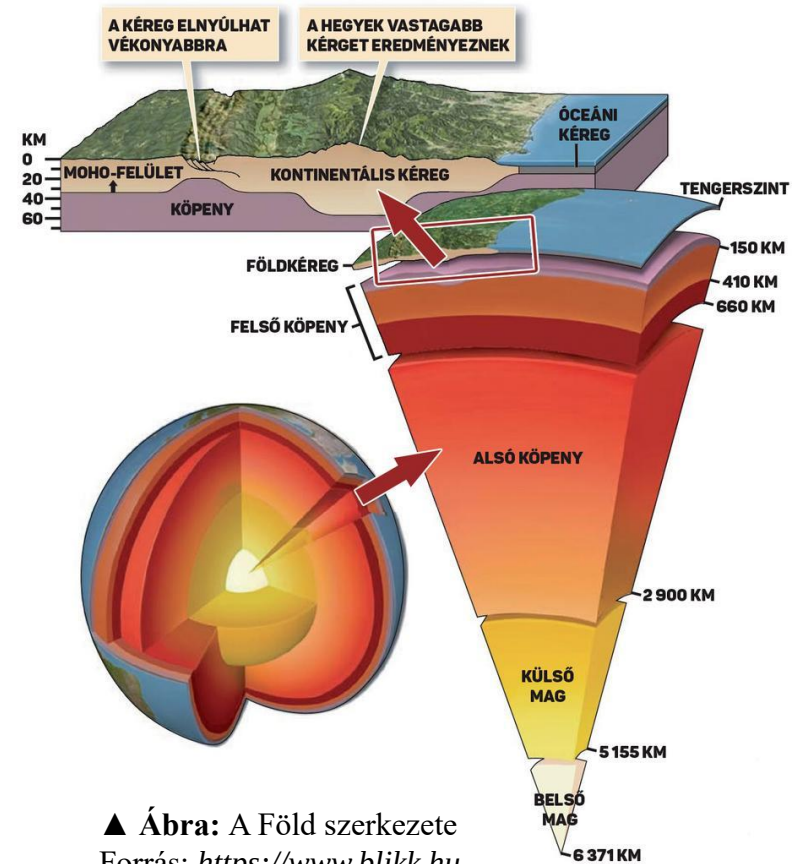
Forrás: <https://www.zmescience.com/other/science-abc/thinnest-layer-earth/>



A Föld felépítése

Földkéreg

- A földkéreg a Föld legkülsőbb kőzetburka. A földköpenytől az átlagosan 30–40 km mélységben található **Mohorovičić-felület** (vagy **Moho-felület**) választja el.
- A **Moho-felület** egy *ásványi fázisátalakulást jelző felület*, mely felett megjelennek a *földpátok*, és ennek megfelelően megjelenik a **gabbró** nevű magmás kőzet.
- A **gabbró** mellett a *felszínre kiömlő bazalt* – a gabbró finomkristályos-üveges kiömlési megfelelője – alkotja nagyrészt az **óceáni kérget**, melynek átlagsűrűsége 3 g/cm^3 , vastagsága pedig néhány (átlagosan 5) km.
- A kontinensek alatt a gabbró-bazalt kéreg helyett annál vastagabb (átlagosan 35 km vastag) **gránitos öv** alakult ki. Ennek neve **kontinentális kéreg**, melynek átlagos sűrűsége $2,8 \text{ g/cm}^3$.
- A kontinentális kéreg két részre – felső és alsó – osztható, melyet az ún. **Conrad-felület** (15–20 km mélyen) határol a szeizmikus hullámok alapján.



▲ Ábra: A Föld szerkezete
Forrás: <https://www.blikk.hu>



A Föld felépítése

Földkéreg

A **gabbró** a mélységi magmás kőzetek egy csoportja. Akkor keletkezik, ha a bazaltos összetételű magma megreked a mélyben és ott kristályosodik ki. A földi óceáni kéreg alsó része főleg gabbróból áll. Ezek az óceánközépi hátságok bazaltos vulkanizmusa során jönnek létre.

► **Ábra:** Gabbró kézipéldány a Rock Creek Canyonból, a keleti Sierra Nevada vidékről, Kaliforniából

Forrás: <https://hu.wikipedia.org>



A **feldpátok** a tekto- vagy állványszilikátok alosztályába tartozó ásványcsoport, melynek tagjai a földkéreg kőzeteinek mintegy 60 tf%-át alkotják, ezáltal a legfontosabb kőzetalkotó ásványok.

◄ **Ábra:** Feldpátok

Forrás: <https://hu.wikipedia.org>



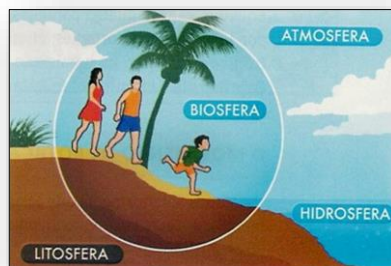
A Föld felépítése

Földkéreg

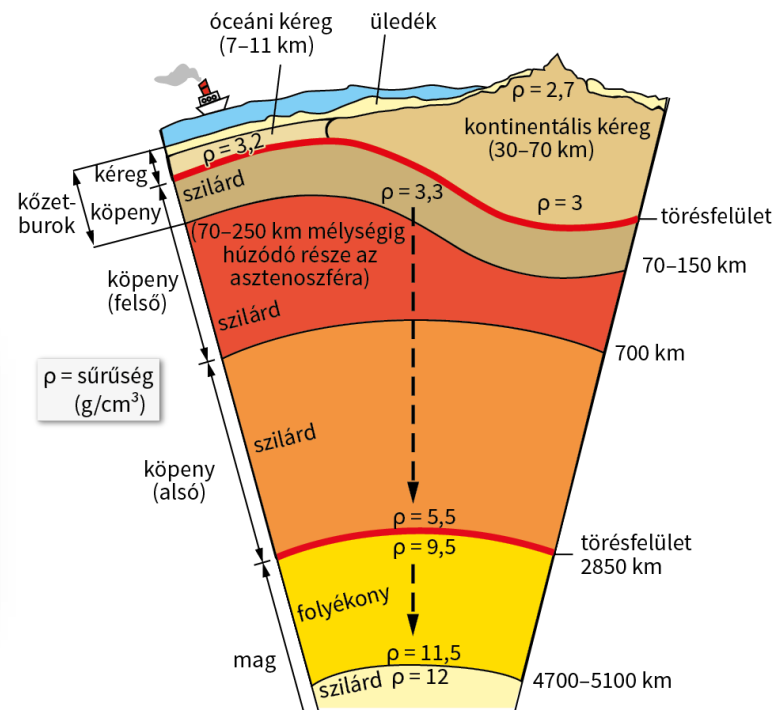
- A földkéreg hőmérséklete a mélységgel arányosan nő, és eléri az **500-1.000°C**-ot a köpeny határán.
- A **földkéreg** és az alatta levő **merev köpenyrész** alkotja a **litoszférát**. A kéreg főelem-összetételének megoszlását a táblázat szemlélteti.

Táblázat: A kéreg kémiai összetétele

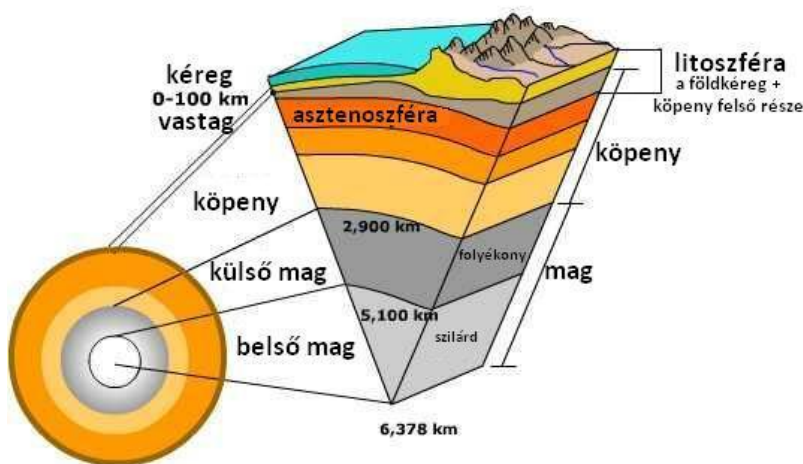
oxid	tömeg (%)
SiO ₂	60,6
Al ₂ O ₃	15,9
CaO	6,4
MgO	4,7
Na ₂ O	3,1
FeO	6,7
K ₂ O	1,8
TiO ₂	0,7
P ₂ O ₅	0,1



Forrás: <https://mind42.com>



▲ **Ábra:** A Föld szerkezete
Forrás: <https://www.nkp.hu>



◀ **Ábra:** A Föld belső szerkezete

Forrás: <http://docplayer.hu/109033420-A-fold-belső-szerkezete-vnutorna-stavba-zeme-litoszféra-kozetburok-kozetlemezek-litosfericke-dosky-kereg-kopeny-k-mag-b-mag.html>



A Föld felépítése

Földkéreg – A földkéreg eredete

- A tudomány jelen állása szerint a **Föld belső öveinek kialakulása** mintegy *100 millió éves folyamat* volt, mely a bolygó kialakulásakor, **4,6 milliárd évvel ezelőtt ment végbe.**
- A **kezdeti kéreg** rendkívül **vékony és forró lehetett**, és valószínűleg sokkal **intenzívebb lemez-tektonikai mozgásoknak**, illetve a **becsapódó meteoritok pusztító erejének** volt kitéve.

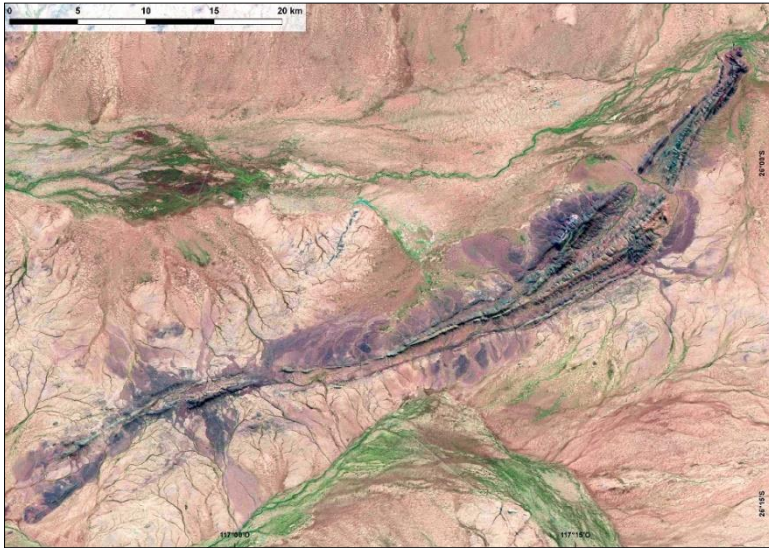


<https://astrobioloblog.wordpress.com>



A Föld felépítése

Földkéreg – A földkéreg eredete



https://en.wikipedia.org/wiki/Narryer_Gneiss_Terrane



<http://ccfs.mq.edu.au>

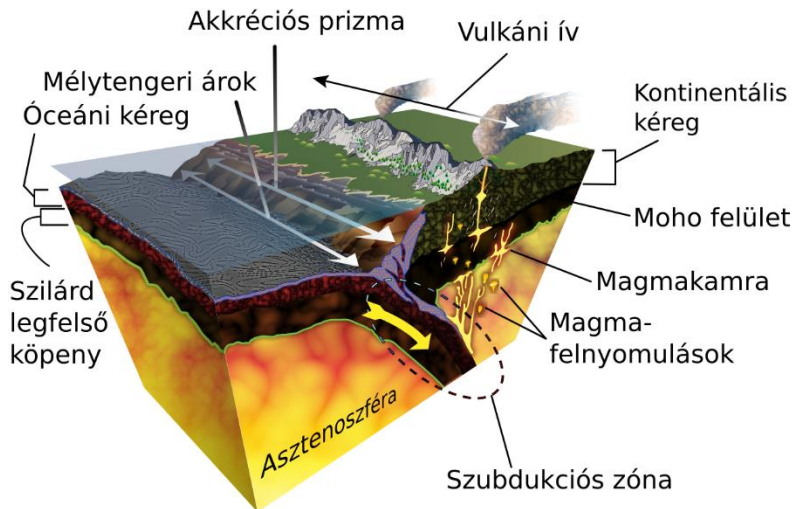
- Feltehetőleg a Föld **mindig is rendelkezett egyfajta bazaltos felépítésű óceáni kéreggel**, de bizonyítékok léteznek **kontinentális kéreg** jelenlétére is, mintegy 3,8–3,9 milliárd évvel ez előttről.
- A legrégebbi kéregmaradvány 3,9 milliárd éves, a **Narryer Gneisz Formáció** Nyugat-Ausztráliában (ábra).
- Ugyanakkor a **Kanadai-pajzs** és a **Fennoskandia-pajzs** egyes részei is ebből az időből származnak.



A Föld felépítése

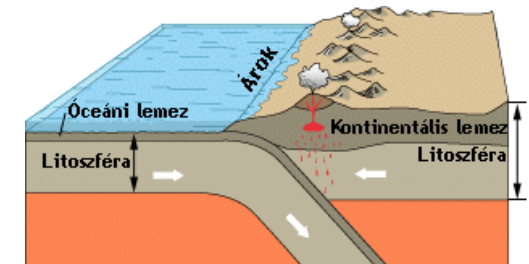
Földkéreg – A földkéreg eredete

- A **litoszféra** a Föld külső – a **kéregből** és a **legfelső köpenyből** álló – szilárd, merev kőzetburka, amely a köpeny **asztenoszféra** nevű, kvázipasztikus (képlékeny) része felett található.
- A **litoszféra szokásos vastagsága 70–150 km**: az óceánok alatt vékonyabb, a kontinensek alatt vastagabb. A litoszféra nem egységes réteg, hanem **több, különböző méretű kőzetlemez**ből áll. Ezek mozgásának természetével és okaival foglalkozik a **lemeztektonika**.



<https://hu.wikipedia.org>

- Az úgynevezett **konvekciós cellákban** felemelkedik a köpeny anyaga, és a litoszféra alja mentén továbbáramolva szétfeszíti, máshol pedig egymáshoz nyomja a litoszféralemezeket. Az ezek között felnyíló résben, az óceánközépi hátságok mintegy 75–80 ezer km hosszú, összefüggő vonulatán alakul ki a megszilárdult magmából az **új óceáni kéreg**, a régi pedig betolódik a kontinensek (vagy más óceáni lemezek) alá: ez a folyamat a **szubdukció**. Két kontinentális lemez ütközése és a köztük rekedt anyag feltorlódása a **kollízió**.



► **Ábra:** Szubdukció

Forrás: <https://hu.wikipedia.org>



A Föld felépítése

Földkéreg – A földkéreg eredete

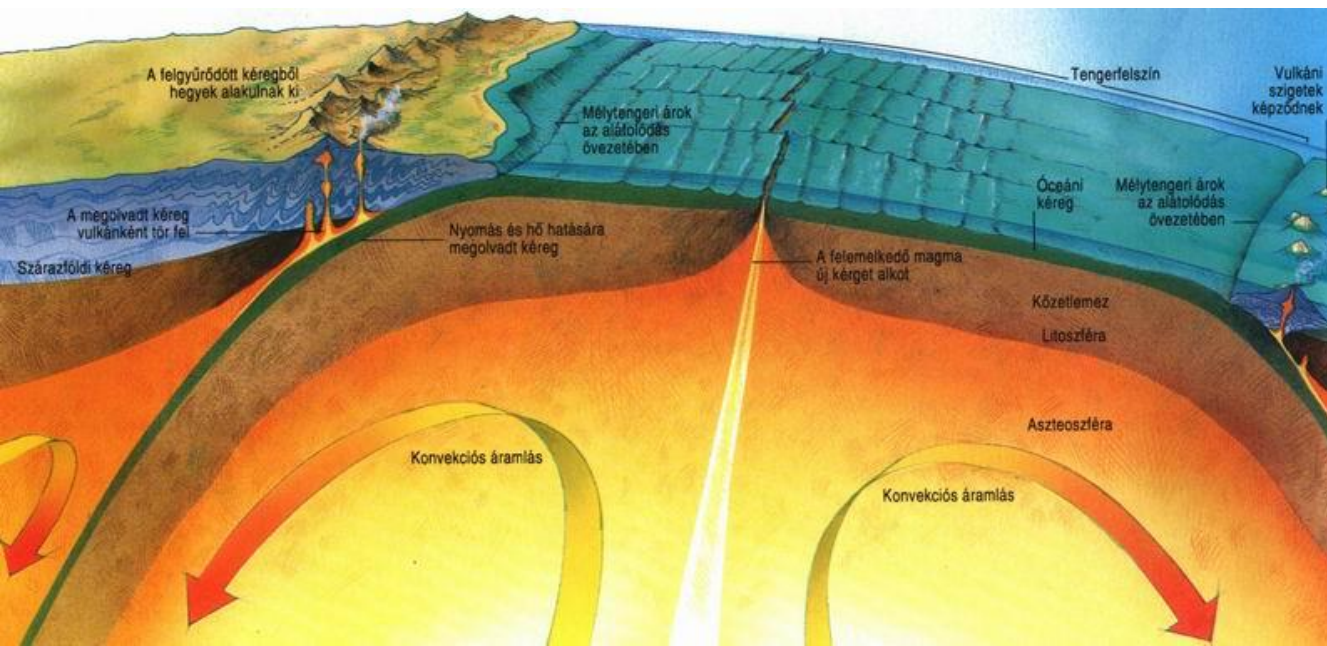
- A litoszféramezek között megkülönböztetjük az
 - ✓ *óceáni*
 - ✓ és a *kontinentális típusúakat*.
- Az óceáni litoszféra rendszerint **50–100 km vastag**, de az óceánközépi hátságok alatt nem vastagabb a földkéregnél.
- A kontinentális litoszféramez kb. **150 km vastag**, amiből mintegy *50 km a földkéreg, 100 km a földköpeny felső része*.
- Az óceáni litoszféramez rendszerint sűrűbb, mint a kontinentális, mert **mafikus (bázikus)**, illetve **ultramafikus (ultrabázikus)** kőzetekből áll.



A Föld felépítése

Földköpeny

- A **földköpeny** a Föld egy közel 2.900 km vastag szilárd halmazállapotú burka, mely a bolygó vasban gazdag magját burkolja be.
- A **földköpeny határfelületeit** (akárcsak a többi földburok esetében) a Föld belsejében terjedő földrengések okozta hullámok vizsgálata segítségével állapították meg. Ezek a hullámok mintegy átvilágítják a Földet. Az anyag hirtelen halmazállapot-, szerkezet-, sűrűségváltozási felületein sebességük és irányuk megváltozik, részben visszaverődnek.



Forrás: <http://www.aj-gallery.gportal.hu>

◀ **Ábra:** Földköpeny

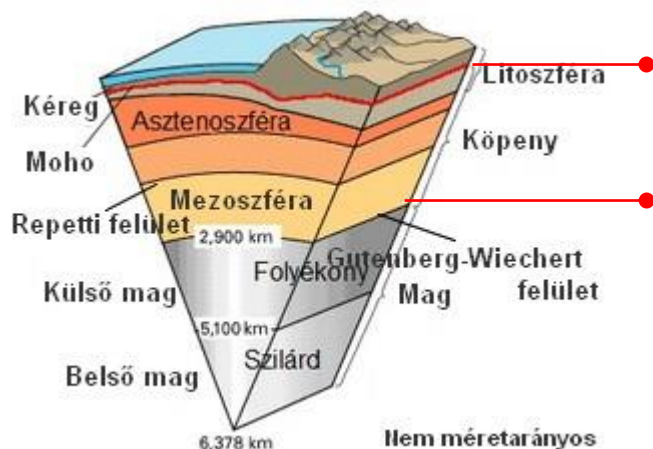
Forrás: <http://www.vilaglex.hu>



A Föld felépítése

Földköpeny

- A földrengéshullámok igen *éles határt* jeleznek **2.900 km mélységben**. Ezt nevezik **Gutenberg-Wiechert felület**-nek, mely **a földköpenyt határolja el a földmagtól**.
- A földköpeny és földkéreg közötti határfelületet ***Mohorovičić-felületnek*** nevezik. Ez átlag 30–40 km mélységben húzódik a felszín alatt. A **köpeny** **a Föld térfogatának 82%-át, tömegének pedig 68%-át adja**, noha **átlagsűrűsége** csak feleannyi, mint a magé (**4,5 g/cm³**).
- A földrengés-vizsgálatok szerint **a köpeny szilárd halmazállapotú, és főleg vasban és magnéziumban gazdag szilikátok építik fel** (peridotit).



▲ Ábra: Földköpeny

Forrás: <http://energiapedia.hu/foldkopeny>

- A köpeny sem teljesen egységes összetételű, benne is **több határfelület különíthető el**, mely feltehetően az **anyag ugrásszerű sűrűségváltozásait tükrözi**. Körülbelül **900-980 km mélységben** található a **Repetti-felület**, mely **az alsó köpenyt választja el a felső köpenytől**.
- A felső köpeny 1.000-400 km mélységek közötti részét gyakran **átmeneti övnek** nevezik, és **felső köpenynek** gyakorta csak a **400–30 km közé eső burkot** nevezik.
- Továbbá az **alsó köpeny – külső mag határon** található a **D-zóna**, mely **kb. 200 km vastagságú**, és **innen indulnak a fontos, nagy köpenyáramlatok**.



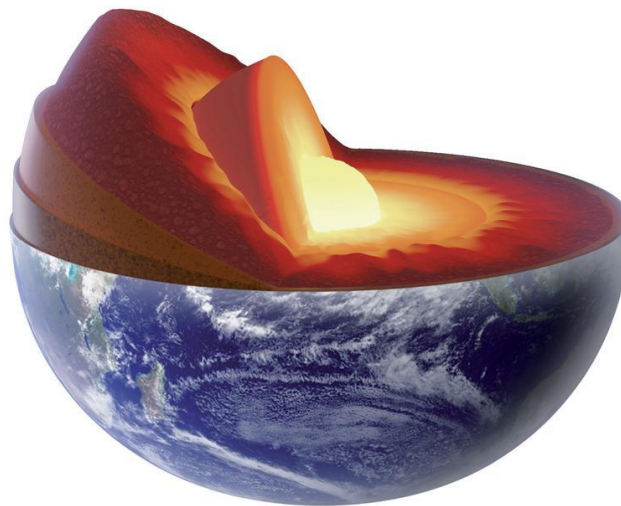
A Föld felépítése

Földköpeny

- A köpenyben jelentkező **határfelületek** és a **köpeny övessége** magyarázhatók a **rugalmassági tulajdonságok változásaival** ezeken a határokon, illetve magyarázhatók **a növekvő nyomás és hőmérséklet hatására beinduló fázisátalakulásoknak az ásványok szerkezetében**.
- A **lazább kristályszerkezetek** elveszítik stabilitásukat egy mélyebb, nagyobb nyomású zónában, ahol jobb térkihasználású, **sűrűbb szerkezetek** a stabilabbak. Például a földpátok 1 GPa-nál nagyobb nyomáson gránátokká alakulnak át, az ensztatit (piroxén) anyaga pedig nagyobb nyomáson olivinszerkezetet vesz fel. Ebből az következik, hogy **nem szükséges eltérő kémiai összetételt feltételezni a köpenyen belül** (táblázat), mivel **a sűrűség növekedését fázisátalakulásokkal, szorosabb illeszkedésű kristályszerkezetek létrejöttével is lehet magyarázni**.

Táblázat: A köpeny kémiai összetétele

oxid	tömeg (%)
SiO ₂	46
Al ₂ O ₃	4,2
CaO	3,2
MgO	37,8
Na ₂ O	0,4
FeO	7,5
K ₂ O	0,04
TiO ₂	0,1



Forrás: <https://www.blikk.hu>



A Föld felépítése

Földköpeny

- Az **alsó köpenyben** valószínűleg a:
 - ✓ spinell,
 - ✓ gránát
 - ✓ és jadeit ásványok lehetnek többségben,
- míg a **felső köpenyben**:
 - ✓ peridotitok (olivin és piroxén keveréke).
- A **köpeny hőmérséklete 500–900 °C** között mozog a felső határán, azonban eléri a **4.000°C**-ot is a mag felé haladva. Noha a magas hőmérséklet a köpeny és a földkéreg összes alkotó ásványának az olvadáspontját meghaladja, a magas nyomás meggátolja az olvadást.
- A köpeny alsó részében a nyomás közel **136 GPa**.



▲ **Ábra:** Spinell, vörös gránát, jadeit ásványok
Forrás: [Forrás: https://hu.wikipedia.org](https://hu.wikipedia.org)

▲ **Ábra:** Peridotit
Forrás: <http://asvanytan.nyf.hu/node/323>



A Föld felépítése

Földköpeny

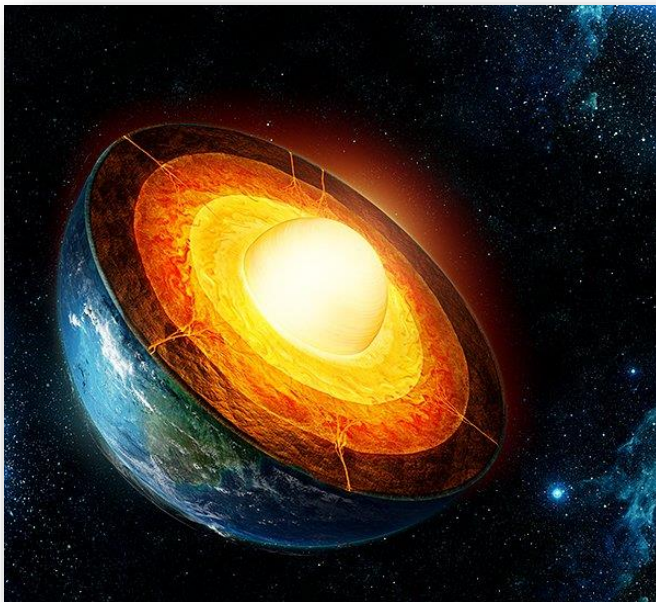
- A földköpeny *szilárdsági és viszkozitási viszonyokat* figyelembevevő osztályozása esetén **két rész** különíthető el:
- A **mezoszféra** – a földköpeny alsó része – az asztenoszféránál merevebb, de a földkéregnél könnyebben megfolyó öv (viszkózusabb), mely a földmag külső határától (2.900 km) 650 km-ig terjed, és magába foglalja a köpeny jelentősebb részét.
- Az **asztenoszféra** a Föld felső köpenyének alsó, képlékeny, közvetlenül a litoszféra alatt található része, a köpeny ún. B szintje. Felső határa értelemszerűen megegyezik a litoszféra alsó határával, és mintegy 100-150 km mélyen húzódik, alsó határa kb. 410 km mélyen van (Jeffreys-felület).
- Legfőbb jellemzője az anyagáramlás: mivel a Föld belsejéből kifelé áramló hőt egyszerű hőátadással nem tudja elvezetni, benne **áramlási, ún. konvekciós cellák alakulnak ki**. Ennek az anyagáramlásnak az eredménye egyrészt a *litoszféralemezek mozgása*, másrészt a *vulkánosság* és a tágabb értelemben vett **magmatizmus: a magmák több mint 90%-a az asztenoszférában olvad ki**. Az óceáni kőzetlemezek alatt értelemszerűen vékonyabb, mint a kontinentális lemezek alatt.
- Felső része kevésbé viszkózus és legkisebb sűrűségű, és ezért a burok leggyengébb része, ezt nevezik kis **sebességű övnek**. A **magmaképződés** nagyrészt ebben az övben megy végbe.



A Föld felépítése

Földmag

- A **földmag** a **Föld belső szerkezetének legbelső burka**, melyet a 2.900 km mélyen található *Gutenberg-Wiechert-felület választ el a felette levő földköpenytől*. Ezen a felületen a földrengéshullámok sebessége ugrásszerűen lecsökken.
- A földmagon belül egy további felület mutatható ki kb. 5.000 km mélységben, amely elválasztja a **belső magot a külső magtól (vagy maghéjt)**. Ennek neve *Lehmann-felület*. A földrengéshullámok vizsgálata során megállapították, hogy a **külső mag „folyékony”**, míg a **belső mag szilárd halmazállapotú**. A **külső mag hőmérséklete** kb. **4.000-6.000°C** közötti, míg a **belső magban** kb. **5.000–7.000°C** lehetséges. Ilyen magas hőmérsékletek mellett **óriási nyomással kell számolni**, ami elérheti a **330-360 GPa-t**.



<https://ipon.hu>

- A mag sűrűsége **10 g/cm³-nél nagyobb**, és a Föld középpontja felé növekszik, ahol valószínűleg **eléri a 14 g/cm³ értéket**.



- Erre a Föld átlagos sűrűségéből (5,5 g/cm³) és a felszínen ismert kőzetek átlagos sűrűségéből (2,6-3,0 g/cm³) következtetnek.



A Föld felépítése

Földmag

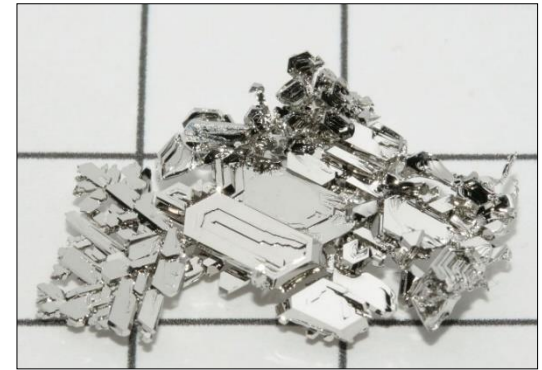
- Mivel a Föld felszíni körülményei között **csak néhány fémnél észlelhető hasonló sűrűségérték (ozmium és irídium 23 g/cm³, platina 21,5 g/cm³, arany 19 g/cm³, higany 19 g/cm³ stb.)** feltételezték, hogy a mag vegyi összetétele ezen elemekből állna (*Goldschmidt-elmélet*). A képek forrása: <https://hu.wikipedia.org/>



▲ **Ábra:** Ozmium (Os), rendsz.: 76.



▲ **Ábra:** Irídium (Ir), rendsz.: 77.



▲ **Ábra:** Platina (Pt), rendsz.: 78.



▲ **Ábra:** Arany (Aurum) (Au), rendsz.: 79.



▲ **Ábra:** Higany (Hg), rendsz.: 80.



<https://www.dkfindout.com>



A Föld felépítése

Földmag

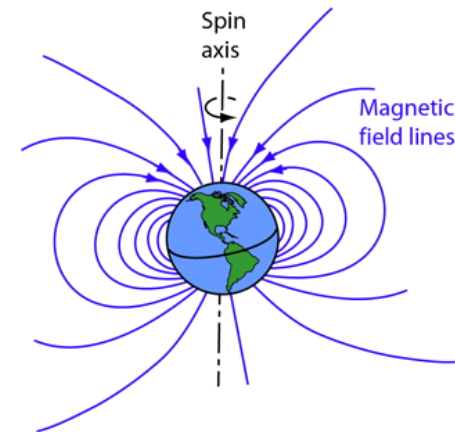
- A **vas-meteoritok** vizsgálata során, amelyek nagy részét **vas**, **nikkel** és **kobalt** alkotja, **jelenleg úgy tartják, hogy a földmag elsősorban vasból és nikkelből épül fel.** Konkrét bizonyítékok azonban nem léteznek. ***Összességében elmondható, hogy a földmag fémes, jól vezető anyagokból áll, melyek a maghéjban folyékony, a belső magban szilárd halmazállapotban vannak és extrém nyomás alatt állnak.***



▲ **Ábra:** Tamentit vas-meteorit, amelyet 1864-ben találtak a Szaharában, súlya körülbelül 500 kg.
Kiállítva Franciaországban.

Forrás: https://en.wikipedia.org/wiki/Iron_meteorite

- Feltehetően a **külső mag áramlásai** és a **Coriolis-erő** hozza létre a Föld **mágneses terét a dinamóelvnek megfelelően**, mely kimondja, ha vezetőt forgatunk mágneses térben, úgy elektromos áram indukálódik, minek következtében a mágneses tér folyamatosan regenerálódik.



▲ **Ábra:** A Föld mágneses tere

Forrás: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>

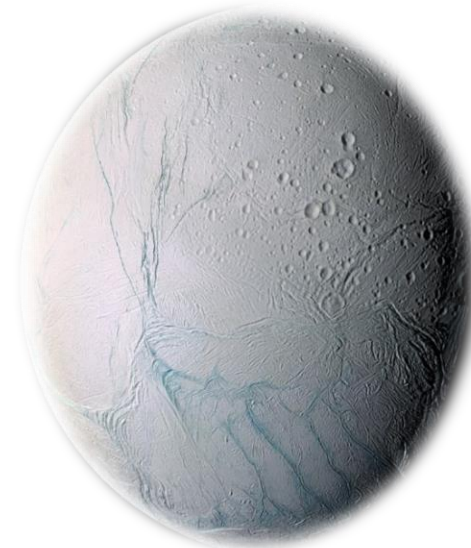
A vízburok



A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

A hidroszféra általános jellemzői

- A Föld az egyetlen bolygó a Naprendszerben, amelynek felszínén **jelentős mennyiségű, folyadék halmazállapotú víz** található. Azonban ne felejtsük el megemlíteni, hogy a kutatók valószínűsítik, hogy a Jupiter holdja, az **Europa**, valamint a Szaturnusz holdja, az **Enceladus** jégkérgé alatt létezik vízóceán. Az Europa esetében elképzelhető az is, hogy az óceán mélysége a 100 km-t is elérheti!

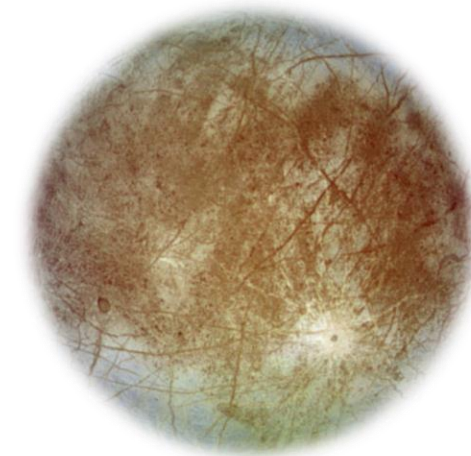


▲ Ábra: Enceladus

Forrás: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Enceladus>

▼ Ábra: Europa

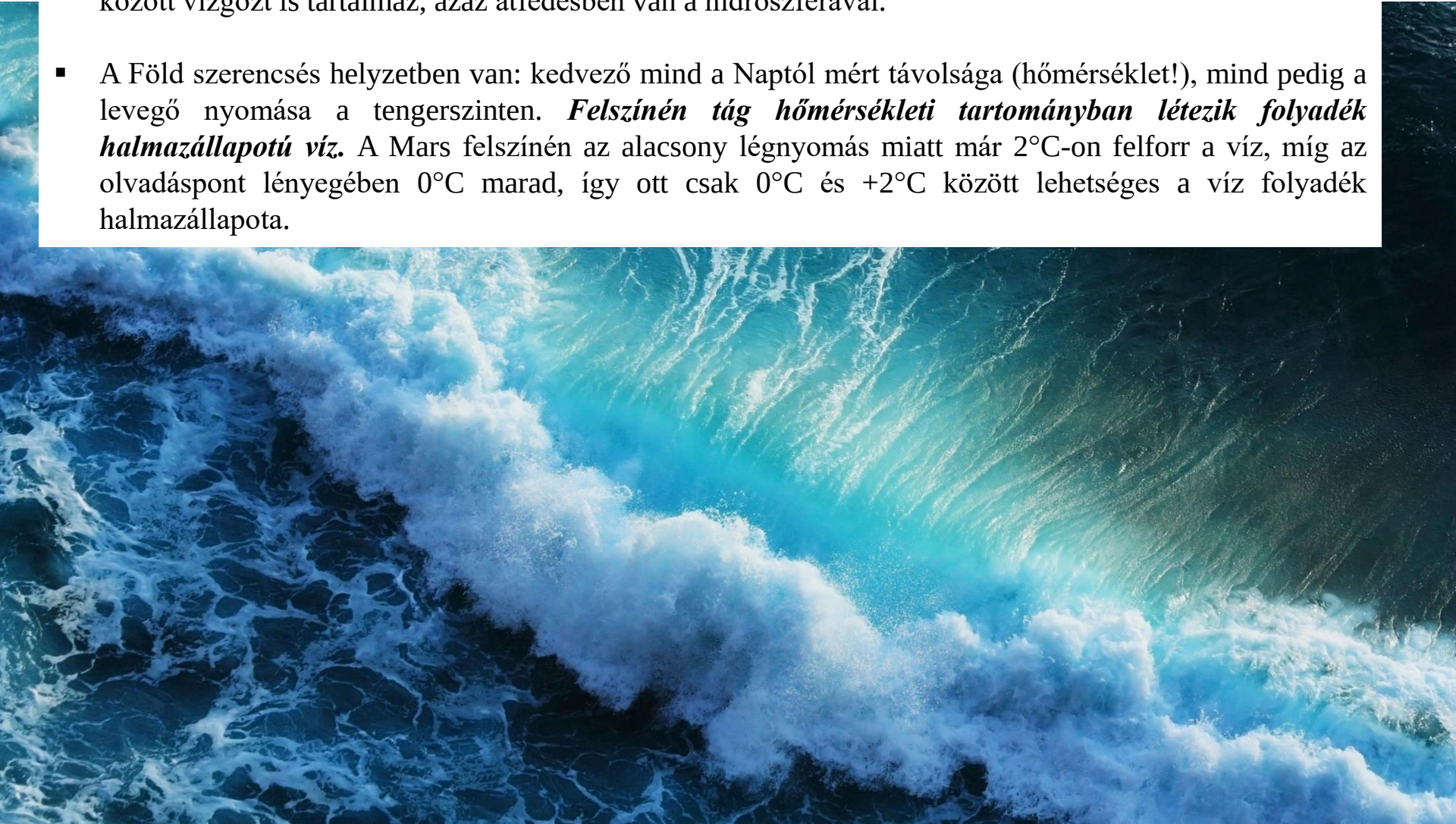
Forrás: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Europa>



A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

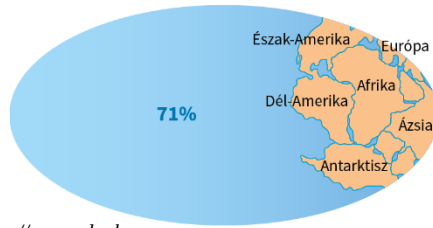
A hidroszféra általános jellemzői

- A Föld egyik geoszférája a **hidroszféra**, a **vízburok**, amely *tartalmazza az óceánokat, a tavakat, a folyókat, a gleccsereket és a felszín alatti vizeket*. A hidroszférát körülveszi az atmoszféra, amely többek között vízgőzt is tartalmaz, azaz átfedésben van a hidroszférával.
- A Föld szerencsés helyzetben van: kedvező mind a Naptól mért távolsága (hőmérséklet!), mind pedig a levegő nyomása a tengerszinten. ***Felszínén tág hőmérsékleti tartományban létezik folyadék halmazállapotú víz.*** A Mars felszínén az alacsony légnyomás miatt már 2°C-on felforr a víz, míg az olvadáspont lényegében 0°C marad, így ott csak 0°C és +2°C között lehetséges a víz folyadék halmazállapota.



A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

A hidroszféra általános jellemzői



<https://www.nkp.hu>

- A **vízburok** döntő tömege az **óceáni medencékben** található. A **körforgás** révén azonban a Föld vízkészlete állandó mozgásban van, **összekapcsolva a geoszférákat**. E hatalmas tömegű „vándorláshoz” az **energiát a napsugárzás biztosítja**.

- Az **510 millió km²-nyi földfelszín** 71 %-át, mintegy **361 millió km²** területet borít **víz**, valamint közel **15 millió km²-t** pedig **jég**. Földünk hatalmas vízkészletének (kb. 1,36-1,45 milliárd km³) **97,5 %-a a sós víz** és csak alig **2,5 %-a (kb. 36 millió km³) az édesvíz**. Az édesvíznek is döntő része, kb. **87 % jégtakaróként halmozódott fel**, elsősorban a Déli-sarkvidéken. Ez a víz-mennyiség **a Föld teljes tömegének** körülbelül **0,022 %-át** teszi ki. **Az emberiség rendelkezésére – elsősorban a folyókban és tavakban – az édesvízkészlet 1%-a, a teljes földi vízkészlet 0,03 %-a áll, ebből kell gazdálkodni!**

Ábra: A Földi vízkészlet aránya az egyes víztározókban



Táblázat: A hidroszféra vízkészleteinek eloszlása és aránya

	Térfogat (1000 km ³)	Az összes víz %-ban	Édesvíz %-ban	Tartózkodási idő (nap v. év)
Óceánok	1.370.000	97,61	-	3.100 év
Gleccserek	29.000	2,08	87,33	16.000 év
Rétegvizek	4.000	0,29	12,05	300 év
Édesvízü tavak	125	0,009	0,38	1-100 év
Sós tavak	104	0,008	-	10-1.000 év
Talajvíz	67	0,005	0,20	50-280 nap
Folyók	1,2	0,00009	0,0036	12-20 nap
Légkör	14	0,0009	0,042	9 nap

A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

A hidroszféra általános jellemzői

- A **teljes földi vízkészlet** (tehát a kőzetekben tárolt mennyiséget is beleértve) azonban már nehezen becsülhető. Ennek egyik lehetősége a *kiömlési magmás kőzetek víztartalmának meghatározása*. Az óceánközépi hátságokon keresztül a felső köpenyből felszínre kerülő magma viszonylag „száraz”, víztartalma mindössze 0,025%. Ez az alacsony érték valószínűleg a kipárolgás eredménye.



- A Hawaii-szigeteken található Kilauea vulkán (forró pont, ahol az alsó-köpenyből származó láva ömlik a felszínre) lavájában jóval magasabb, 0,1-0,2%-nyi víztartalmat mértek. Ebből a két eltérő számból az következik, hogy a gázok egy része (egy óceántömegnyi) eltávozott a felső köpenyből, viszont az alsó köpeny víztartalma feltételezhetően csak kis mértékben csökkent az idők folyamán (amennyiben nem volt jelentős vízcsera a köpeny két része között).
- Ez alapján egyes kutatók azt feltételezik, hogy **mintegy 3 óceántömegnyi** (OT, ami egyenlő a mai óceánokban található vízmennyiséggel) található az alsó köpenyben és 0,2 OT a felső köpenyben. Így **a Föld teljes tömegének mintegy 0,1%-a víz**.

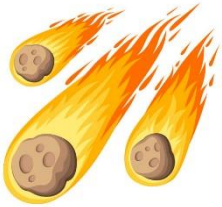
◀ **Ábra:** Kilauea vulkán (Hawaii)

Forrás: <https://en.wikipedia.org>

A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

A hidroszféra fejlődéstörténete

- A Földtörténet hajnalán bolygónk kihűlése során az **olvadék összetevői sűrűségük szerint elkülönültek, differenciálódtak**. – A *kőzetanyagok kialakulása* már e differenciáció eredménye.



- Az **ősi Föld valószínűleg olvadt kéreggel rendelkezett** az állandó meteor becsapódások és a radioaktív bomlások következtében. Az ősi Föld légköre (első légkör) valószínűleg hidrogénből és héliumból állt. Ezek a gázok a világűrbe távoztak (gyenge gravitációs vonzás és a napszél hatása).

- A legkönnyebb gázok egy része eltávozott a világűrbe, a maguk után hagyva a **másodlagos légkört**, amely a következő gázokat tartalmazta jelentős mennyiségben: H_2O , CO_2 , CO , H_2 , N_2 , HCl , SO_2 , Cl_2 , NH_3 , CH_4 , valamint nyomokban O_2 -t.

- A másodlagos légkört alkotó gázok döntően a vulkáni tevékenység során kerültek a légkörbe.



▲ **Ábra:** A Föld egykoron és most
Forrás: <https://theconversation.com>

A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

A hidroszféra fejlődéstörténete

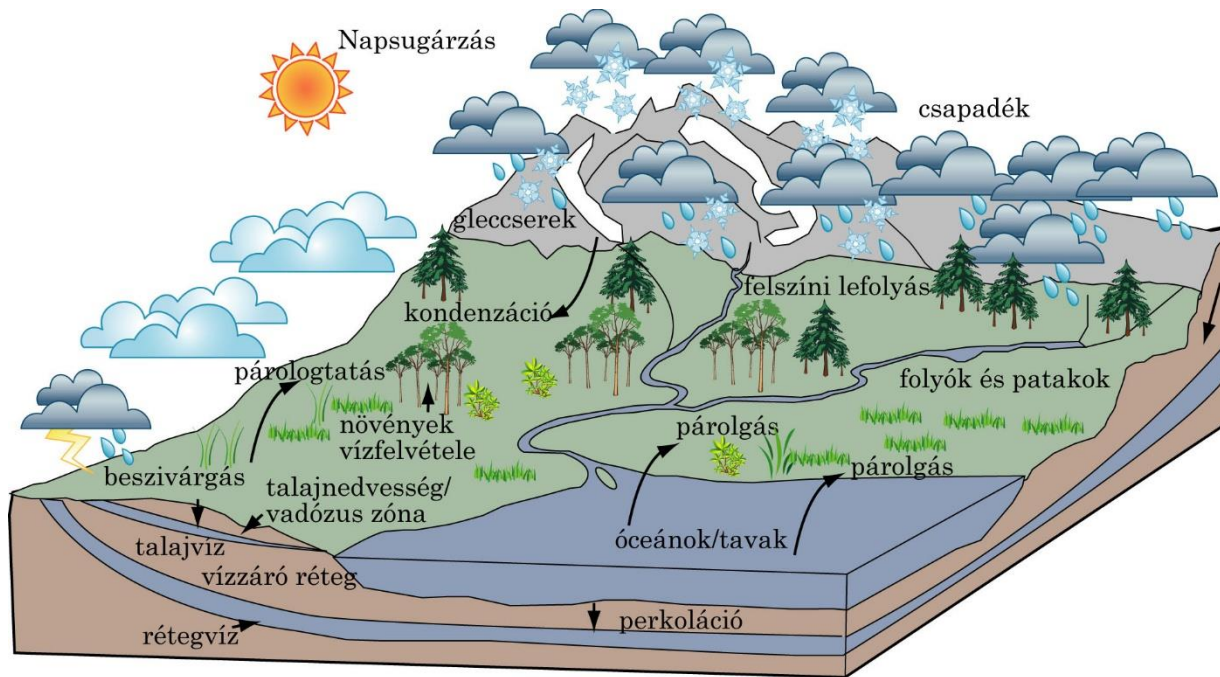
- Néhány kutató valószínűsíti, hogy a Föld kezdeti összetétele hasonló lehetett egyes meteoritokhoz, tehát akár **15-20% vizet is tartalmazott**, jóval többet, mint manapság (a fentiek ismeretében ez túlzásnak tűnik, azonban lehetséges, hogy a víz jelentős része a világűrbe távozott). **A víznek tehát egy része a légkörbe került, kondenzálódhatott, létrehozva az első óceánokat.** A gázok hatására csökkent a beérkező napsugárzás nagysága, lehűlt a felszín, s a folyamat az óceánok kialakulásához vezetett **kb. 600-700 millió évvel a bolygónk kialakulása után (mintegy 3,9 milliárd évvel ezelőtt).** A későbbi meteorbombázások és üstökösbechapódások tovább növelhették a földi vízkészletet.



A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

A víz körforgása

- A légkörben található vízgőz kicsapódásakor (kondenzáció) felhők keletkeznek. A Napból származó energia felmelegíti a légkört és a hidroszférát, és tulajdonképpen ez a mozgatórugója a víz körforgásának, a **hidrológiai ciklusnak**. Ez a körforgás a víz mozgását és halmazállapot-változásait jelenti az eltérő vízkészletek, mint az óceánok, légkör, gleccserek, folyók, tavak és felszín alatti vízkészlet között. Az ábra szemlélteti a víz globális szintű kicserélődését a légkör és a geoszférák között.

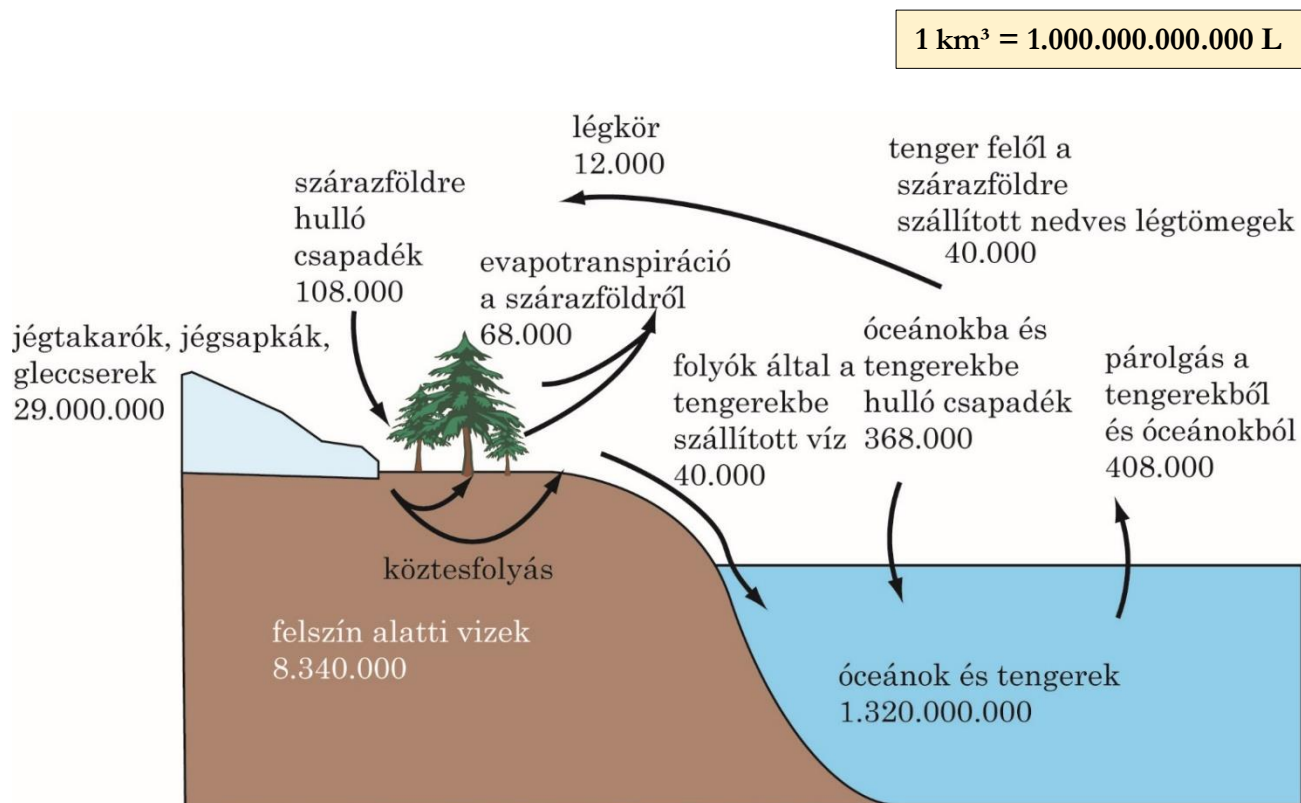


▲ Ábra: A hidrológiai-ciklus és elemei

A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

A víz körforgása

- Az ábra bemutatja, mennyi víz tározzódik a különböző készletekben, és mennyi áramlik közöttük. Az óceánokba a vízfolyásokkal visszajutó víz mennyisége mintegy 40.000 km³ évente (kb. 100 km³ naponta): ez pótolja az óceánfelszínekről történő párolgás és az oda visszahulló csapadékmennyiség közötti deficitet.



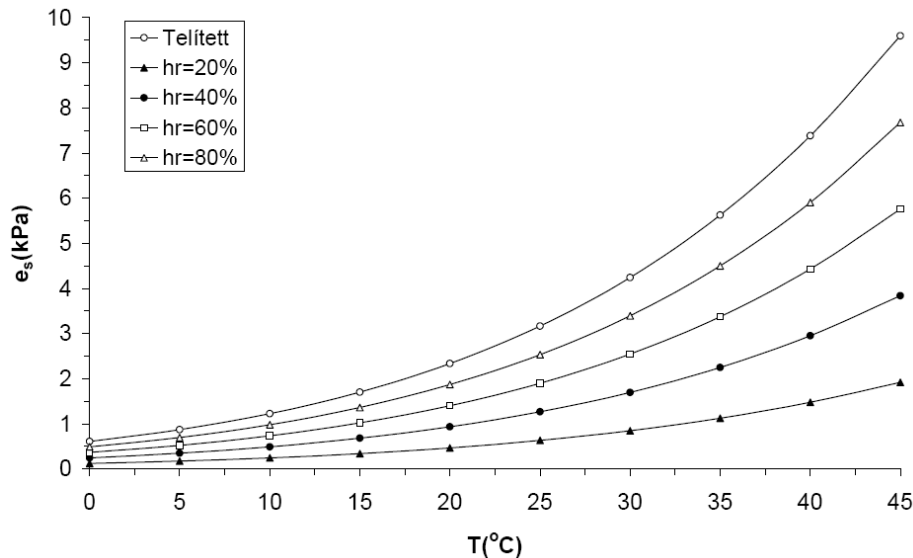
▲ **Ábra:** Az egyes víztározókban tárolt víz mennyisége km³-ben, valamint a víztározók közötti vízáram (fluxus) km³/év mértékegységben

A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

A víz körforgása



- A csapadék többféle formában (eső, hó, jégeső, ónoseső, havaseső stb.) hullhat. **Képződéshez a légtömeg lehűlésére és a vízgőztartalmának kicsapódására (kondenzációjára) van szükség.**
- A légkörben található vízgőz lehűlése következtében (vígőzre nézve) telítetté válik. A légtömeg leggyakrabban akkor hűl le, amikor felemelkedik.
- A légtömeg felfelé áramlását több tényező is okozhatja: frontok, helyi konvekció vagy domborzati (orografikus) okok. A vízgőztelítettség hőmérsékletfüggő, a hőmérséklet emelkedésével egyre nagyobb vízgőzkoncentráció kell hozzá (ábra).



◀ **Ábra:** A vízgőznyomás értékek vízgőztelítettség valamint 20, 40, 60 és 80%-os relatív páratartalom esetén

A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

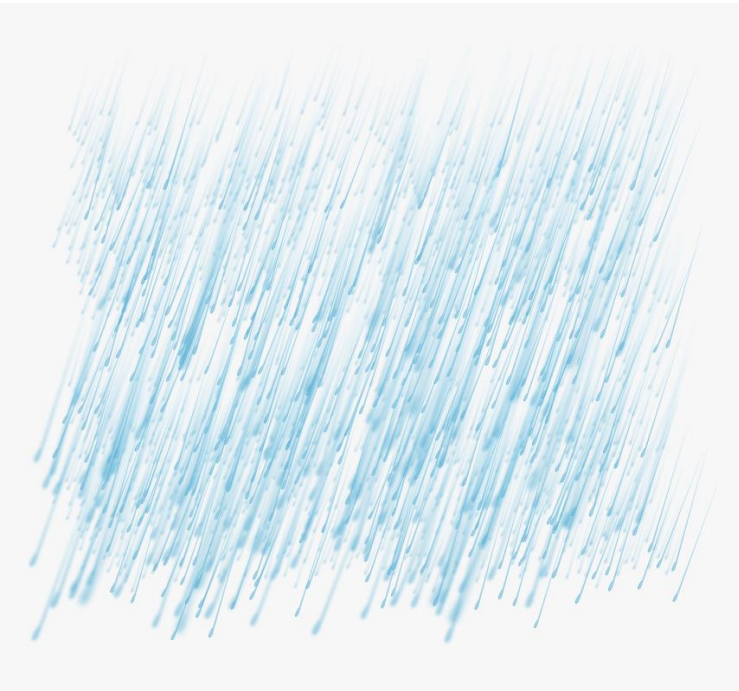
A víz körforgása

- **A hőmérséklet és a telített vízgőznyomás között exponenciális összefüggés áll fenn.** A vízgőz koncentrációja sokféle mértékegységben megadható (pl. g m^{-3}), az előző ábra kPa-ban mutatja.
- A telítettség értéke kiszámolható az ún. **Tetens-egyenlettel**: $e_s(T) = a \exp\left(\frac{bT}{T+c}\right)$
 - $e_s(T)$: adott T hőmérsékleten mért telített vízgőznyomás kPa-ban,
 - **exp**: a természetes alapú logaritmus alapját (e) jelöli, értéke kerekítve 2,7183,
 - **a, b, és c**: konstansok.
- Értékük **folyadék halmazállapotú víz feletti vízgőz** esetén
 - ✓ $a = 0,611 \text{ kPa}$, $b = 17,502$, $c = 240,97^\circ\text{C}$.
- A **jég felett létrejövő vízgőz** esetében
 - ✓ $b = 21,87$, $c = 265,5^\circ\text{C}$.
- Az abszolút vízgőznyomás (e_a) azonban önmagában keveset jelent. Komfortérzetünket sokkal inkább a **relatív páratartalom** szabja meg.
- Ezt %-ban adják meg, és az alábbi egyenlettel számolható ki: $h_r = \frac{e_a}{e_s(T)}$

A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

A víz körforgása

- Amikor a levegő vízgőzre nézve eléri az adott hőmérsékleti értéken lehetséges telítettséget, elkezdődik a kicsapódás (kondenzáció) a levegőben lebegő aeroszol részecskékre. **Azt a hőmérsékletet, amikor a légtömeg eléri vízgőz telítettségét *harmatpontnak* nevezzük.**
- Amikor a **vízcseppek ütközés** vagy a **Bergeron-Findeisen-féle átpárolgás** következtében (vegyes halmazállapotú felhőben a vízgőzkoncentráció különbsége a jégkristályok és a vízcseppek környezetében, ami vízgőz diffúziót eredményez a jégkristály felé) elég nagyra híznak, nem tudnak ellenállni a levegő felhajtó erejének, „engedelmeskednek” gravitációnak és elkezdenek lefelé hullani.



- Hirtelen felemelkedés esetén a felhajtó erő nagyon nagy lehet: ekkor a vízcseppek megfagynak, nagy méretűre híznak s az úgynevezett szupercellákban hatalmas jég szemcséket hozhatnak létre, melynek pusztító jégeső lesz az eredménye.



A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

A víz körforgása

- A **csapadék mennyisége** térben nagyon változó. Térbeli eloszlását többek között meghatározza az *óceánoktól való távolság*, a *domborzat*, de akár a *nagy víztestek* is (pl. a Michigan-tó közvetlen környezetében több hó hull, mint a tótól távolabb).
- Magyarországon** a **csapadék éves összege** általában **500 és 900 mm között** ingadozik.
- A csapadékhullás jellemezhető az intenzitásával is, mértékegysége leggyakrabban **mm/h**.
- A lehullott csapadék mennyiségét (tömegét) mm-ekben mérik, vagyis 1 mm csapadék (szilárd csapadéknál annak olvadékvize) a földfelszínen négyzetméterenként 1 liter vizet jelent.
- Magyarországon rendszerint ***nyáron nagyobb csapadékintenzítások mérhetők***, mint a téli félévben.



A csapadék

A lebegő felhőelemek idővel akkorára nőnek, hogy súlyuk révén kihullanak a felhőből (ekkor válnak csapadékelemmé). Ezután vízcseppek, hópelyhek, jégszemek stb. alakjában hullanak a felszínre.

A csapadék tehát a légköri páratartalomból folyékony, vagy szilárd halmazállapotban a felszínre hulló víz. A csapadék térben és időben rendkívül változékony meteorológiai elem.

A csapadék mérésének célja kettős:

- adott időtartamon belül (1 óra, 1 nap, 1 év stb.) a csapadék területi eloszlásának meghatározása,
- egy adott pontban a csapadék hullásának időbeli eloszlása (különös tekintettel a rövid időszak alatt lehulló, nagy mennyiségű csapadékra).

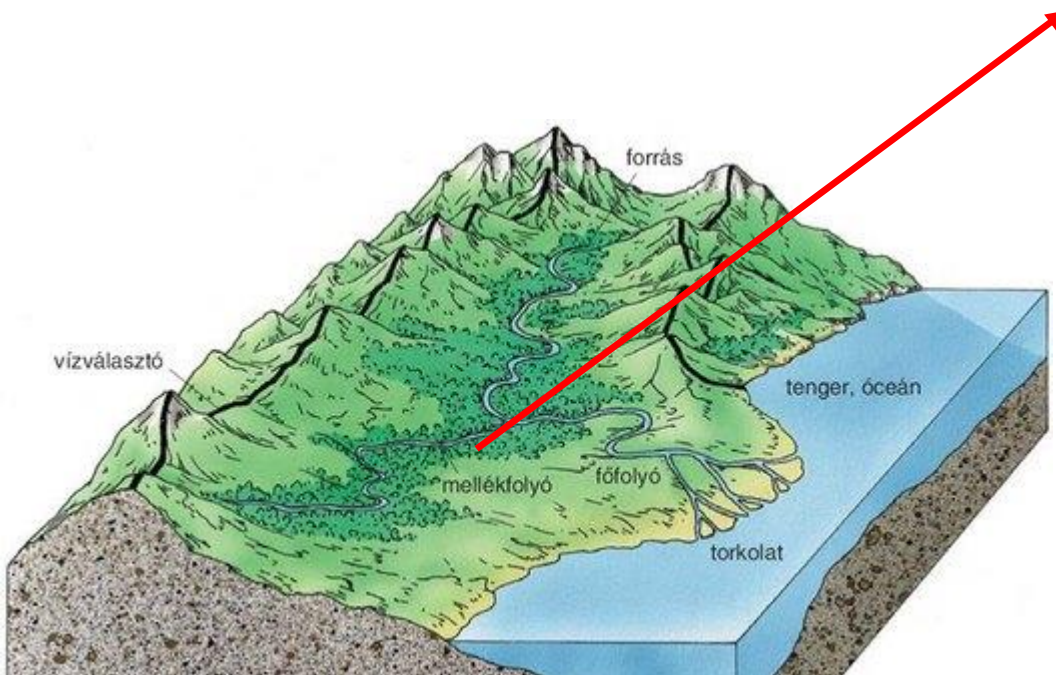
A csapadék mérése során a következő paramétereket határozzuk meg:

- A csapadék mennyisége:** annak a vízrétegnek a magasságával fejezzük ki, amely a teljesen sima, vízszintes felszínen állna a csapadékhullás után, ha abból semmi sem folya, párologna, szivárogna el. A csapadékmennyiség mérése 0,1 mm (egyes helyek 0,2 mm) pontossággal történik. 1 mm csapadék 1 négyzetméter felületen 1 liter víznek felel meg.
- A csapadékhullás időtartama.**
- A csapadékhullás intenzitása** (az időegység alatt lehullott vízmennyiség). Mértékegysége: mm/óra.

A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

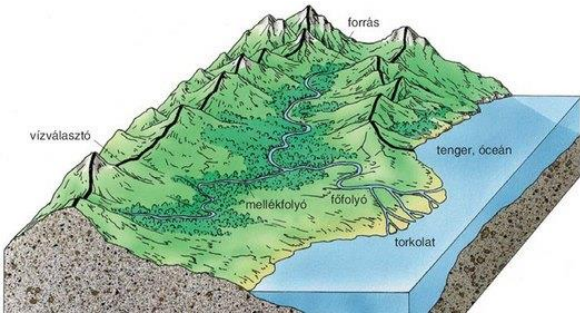
A víz körforgása

- A víz körforgása nem csak globális szinten tanulmányozható, hanem kisebb területeken, pl. *vízgyűjtőkön* is.
- Egy **vízgyűjtő vízmérlegét** leggyakrabban az alábbi egyenlettel szokták jellemezni (bár ennek az egyenletnek sok formája létezik): $P \pm E \pm \Delta S \pm Q = 0$
 - **P** : a csapadék,
 - **E** : a párolgás,
 - ΔS : a víztározásban fellépő változás,
 - **Q** : pedig az elfolyás.
- A földfelszínnek azt a részét, ahonnan egy vízfolyás vizeit összegyűjti, **vízgyűjtő területnek** nevezzük.
- A vízgyűjtő területeket a **vízválasztó vonal** választja el egymástól.



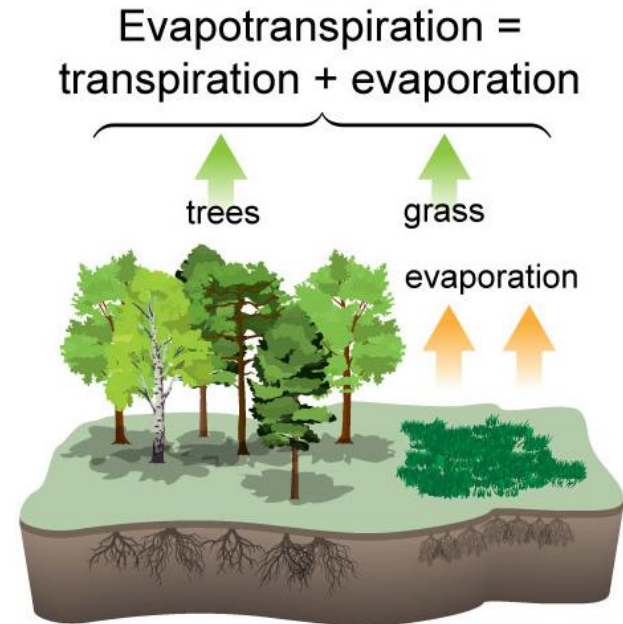
A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

A víz körforgása



- A vízgyűjtőn is, akár csak globálisan, lényegében három folyamat zajlik párhuzamosan:
 - ✓ párolgás,
 - ✓ csapadékhullás
 - ✓ lefolyás.
- Ez utóbbi folyamatok azonban további részfolyamatokra bonthatók.

- A párolgás (**evaporáció**) történhet *szabad vízfelszínről*, ill. a *talajról* és a *növényi szervek felületéről*.
- Ehhez társul még a **növények sztómáin keresztül lezajló párologtatás** (**transpiráció**).
- Mivel a két utóbbi folyamat egymástól nehezen különböztethető meg, ezért együtt szoktunk beszélni róluk, **evapotranspiráció** néven.



A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

A víz körforgása

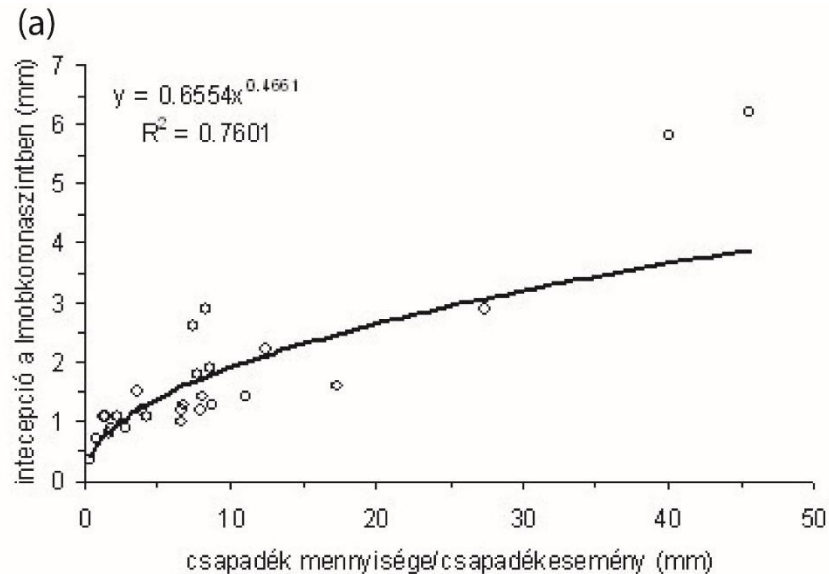
- Az összes csapadék nem jut le a növényzettel borított talajfelszínre. Az intercepció révén a vízcseppek (vagy hópelyhek) egy része fennmarad a lombozaton. Az **intercepció** fogalma **a lombozat általi vízvisszatartást jelöli**. Ez a víz újból elpárologhat és közvetlenül visszajuthat a légkörbe. A lombkorona feletti és a talajt elérő csapadék aránya nagymértékben függ a lombkorona fedettségétől, annak sűrűségétől, ill. attól, hogy milyen fajokból áll a növényzet. Az intercepció aránya nagyban függ az egy csapadékeseményből származó *csapadék mennyiségétől* is.



A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

A víz körforgása

- A növényzetről a víz egy része azonban mégis lejuhat a talajra, pl. a fatörzsek mentén. **A talajra érő csapadék sorsa változatos lehet:** *beszivárog a talajba, és ott raktározódik, elpárolog, felveszik a növények vagy elfolyik a felszínen.* A **beszivárgás (infiltráció)** sebességét több tényező is befolyásolja, többek között a csapadék intenzitása, a domborzat (lejtőmeredekség), a felszínborítottság jellege, a talajnedvesség tartalma és a talaj szövete (textúrája).



Ábra: (a) Az intercepció mértéke az egy csapadékesemény során lehullott összcsapadékmennyiség függvényében, (b) törzsminti lefolyás bükkön; Forrás: Gyenizse P.

A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

A víz körforgása

- A **beszivárgás mértékét** általában két paraméterrel, a **kumulatív beszivárgással (mm)** és annak idő szerinti deriváltjával a **beszivárgási sebességgel (mm s⁻¹)** szokták jellemezni.
- A legegyszerűbb empirikus beszivárgási modellek szerint az **infiltráció sebessége** exponenciális lefutást követ, pontosabban *exponenciálisan csökken az idő függvényében*.
- A beszivárgás **későbbi szakaszában már csak a gravitáció mozgatja a vizet** a nedvességkülönbségből származó mátrixpotenciál különbség már nem:

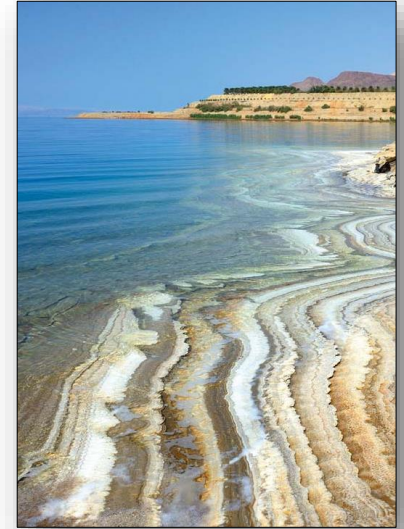
$$i = a \cdot t^{-b}$$

- **i** : a beszivárgási sebesség,
- **t** : az eltelt idő,
- **a** és **b** : pedig tapasztalati úton meghatározott állandók.

A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

A víz körforgása

- A **lefolyás** a víz horizontális (felszínnel párhuzamos) mozgása a felszínen vagy a felszín alatt.
- A lefolyás lehet lineáris (barázdás) időszakos vízfolyásonként, vagy lepelszerű. A felszín alatt folyik a **köztes lefolyás** (*interflow* vagy *throughflow*).
- Az időszakos felszíni és felszín alatti vízfolyások előbb-utóbb eljutnak egy állandó vízfolyásba, majd a végső erózióbázisba. A **végső erózióbázis** sok esetben a **tenger**, bár léteznek lefolyástalan területek is, amelyek nincsenek összeköttetésben a világóceánnal (pl. a Dzsungáriai-medence vagy a Holt-tenger).



▲ **Ábra:** Holt-tenger
Forrás: <https://afoldgomb.hu>

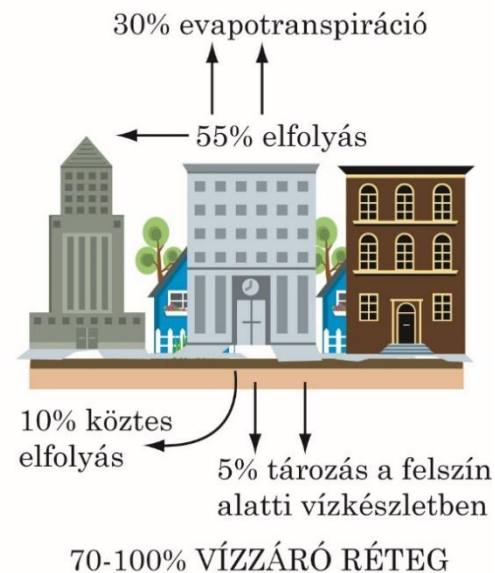
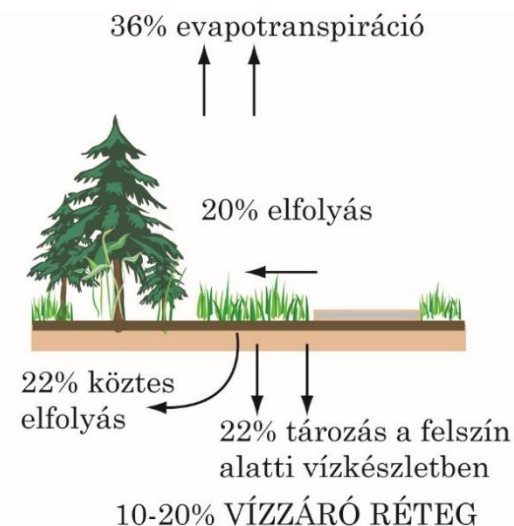
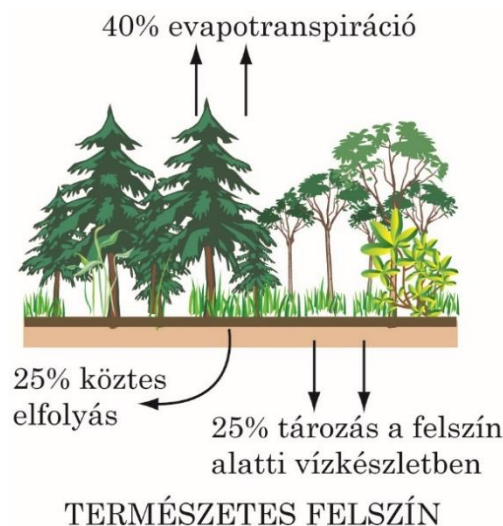
▼ **Ábra:** Dzsungária (準噶爾)
Forrás: <https://hu.wikipedia.org>



A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

A víz körforgása

- A felszíni elfolyás és a beszivárgás arányát meghatározza a *felszínborítás*, mely emberi hatásokra jelentősen megváltozhat.
- A manapság mind gyakoribb **városi árvizek okozói** a mind nagyobb területeket befedő, *vízzáró betonfelszínek*, valamint a korábbi *árterek nagymértékű leszűkítése* (ábra).

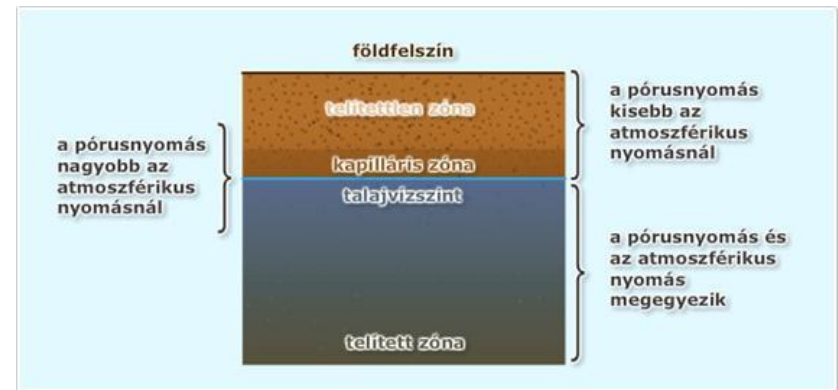
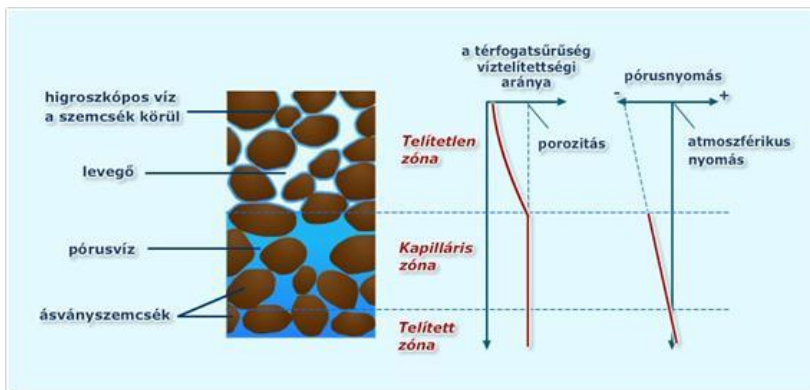


► **Ábra:** A hidrológiai ciklus elemeinek arányváltozása a vízzáró rétegek nagyságának függvényében

A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

A víz körforgása

- A talaj egyik alapvető funkciója a víz (pontosabban talajnedvesség) raktározása hosszabb időn keresztül. Így biztosítja a szükséges vizet a növények számára.
- A talaj a pórusok víztartalma alapján két zónára tagolható:
 - ✓ alsó, vízzel telített (freatikus vagy kétfázisú) zóna,
 - ✓ felső, vízzel telítetlen (vadózus vagy háromfázisú) zóna.
- A két zóna határán helyezkedik el a talajvíztükör. A vadózus zónában a kapilláris és tapadó erők tartják vissza a vizet, vízfilm formájában.
- A vízfilmben található vízmolekulák nagyon erősen kötöttek (a vízmolekulák nedvességpotenciálja erősen negatív), ezáltal a növények számára ez vízforma nem felvehető. A vízvisszatartás erőssége és a talajpórusok mérete (sugara) között fordított arányosság létezik.



A hidroszféra fejlődéstörténete és tulajdonságai

A víz körforgása

- Az összefüggést a **Young-Laplace-egyenlet** írja le:
$$\Delta P = \frac{2\gamma \cdot \cos \alpha}{r}$$
 - ΔP a szükséges szívóerő légköri nyomástól való különbsége (a nedvességpotenciál),
 - γ a felületi feszültség (értéke 20°C-os víz esetében 72.7×10^{-3} N/m),
 - α a kontakt szög,
 - r pedig a pórussugár.
- A pórusokban tárolt úgynevezett póruszöglet- vagy kapilláris víznek (talajnedvesség) általában az a része vehető fel a növények számára, amely az 5 és 50 mikrométer átmérőjű pórusokban található.
- Ez a víz közepesen erősen van visszatartva a talajban, itt a negatív nyomás (szívóerő) értéke -33 kPa és -1500 kPa között van. A növénytermesztésben elsőrangú fontosságú, **talajban tárolt vizet nevezzük a növények számára felvehető (diszponibilis) víznek.**



- A diszponibilis víz alsó határát (-1500 kPa, de növényfajonként változó) hívjuk **hervadáspontnak**: ekkor a növényi sejtek egy visszafordíthatatlan (irreverzibilis) folyamaton, a plazmolízisen esnek át és elhalnak, a növény elhervad.

Földtudományi Alapismeretek

Dr. Lenkey Gábor, PhD

**Online módszertani tananyag,
az ismeretek elsajátításának segítése érdekében.**

A tananyag a Pécsi Tudományegyetemen készített
elméleti tananyagok alapján került összeállításra:

Földtudományi Alapismeretek

(Készítette: Budai Tamás, Czigány Szabolcs, Vadkerti Edit, Gyenizse Péter, Halász Amadé, Halmai Ákos, Hoffmann Gyula, Konrád Gyula, Kovács János, Lóczy Dénes, Mátics Róbert, Szepesi János, Szűcs István, Halász Amadé, Halmai Ákos)

Online: <https://tamop412a.ttk.pte.hu/files/kornyezettan9/www/out/html-chunks/book.html>

KÖSZÖNÖM SZÉPEN
A FIGYELMET!



NYÍREGYHÁZI
EGYETEM