

Meteorológia és klimatológia

(*állandóan frissülő vázlatos kísérőszöveg az előadások anyagához*)

Irodalom

Makkai G. – Imecs Z. (2006) Meteorológia. Presa Universitara Clujana

Szász G.–Tőkei L. [szerk.] (1997) Meteorológia mezőgazdáknak, kertészeknek, erdészeknek. Mezőgazda Kiadó, Budapest

A légkör kialakulása és fejlődése

A jelenlegi állapotában megfigyelhető földi légkör nagyon hosszú fejlődési folyamat (4,5–4,6 milliárd év) eredményeként jött létre, és ez is csak „pillanatnyi” helyzetkép, mivel a légkör állandó változásban és alakulásban van. Számos tényező befolyásolja azt, hogy a különböző légköri gázok, egy adott időpontban milyen mennyiségben fordulnak elő az atmoszférában: mennyi gázolt ki a Föld belsejéből, mennyi oldódott tengervízben, mennyi épült be a kőzetekbe és mennyi szökött el az űrbe (Bérczi 2002).

4,5 milliárd éve az *ősbolygó* (vagy protoplanéta), illetve az őt körülvevő *őslégkör* egyáltalán nem hasonlított a maihoz, és a Földi rendszerek általában teljesen másként néztek ki.

A modellek alapján arra lehet következtetni, hogy a bolygó kialakulása után létrejött a szilárd kéreg nélküli Földet burkoló forró *elsődleges* (vagy eredeti) *őslégkör*. Az első légkört alkotó gázok – *hidrogén* (H_2), *hélium* (He), *metán* (CH_4), *ammónia* (NH_3), *kén-hidrogén* (H_2S), *nitrogén* (N_2), *vízgőz* (H_2O), *szén-dioxid* (CO_2) – eredete két fő forrásból származtak (Bérczi 2002): a becsapódások során megolvadó kőzetek kigőzölgéseiből, illetve a napszél atomjaiból.

A Naphoz közeli bolygók ősi légkörének könnyen illanó gázait (H_2 , He) a napszél és a meteorbecsapódások „szele” elfújta (még nem volt magnetosféra). Csak azok a gázmolekulák maradtak meg, amelyek nehezebbek voltak, kondenzálódtak vagy a Föld anyagának szilárd alkotóelemeivel kémiai reakcióba léptek.

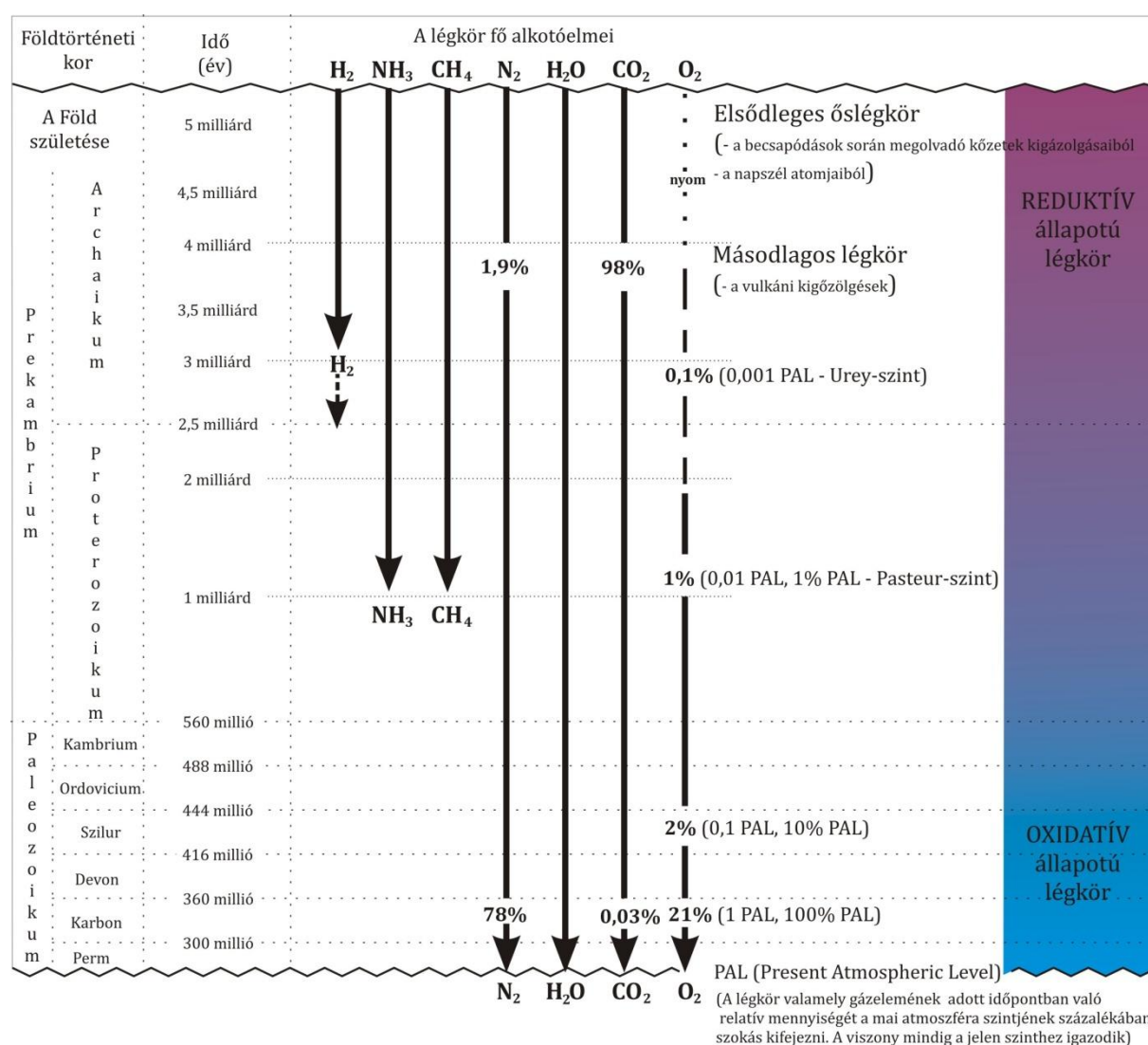
Az elillanás (szétszóródás, disszipáció) során eltűnt a bolygónk elsődleges atmoszférája, és Földünk – a mai Holdhoz hasonlóan – légkör nélküli égitesté vált (Károssy 2004).

A *másodlagos légkör* gázai a szilárd kéregből kipárolgó illó anyagokból jöttek létre. 4 milliárd éve a mainál sokkal intenzívebb *vulkáni működéssel járó magmatizmust kísérő kigázosodás nyomán*, a Föld körül egy vékony, nagyon sűrű és reduktív légkör alakult ki (Czelnai 2004). Ez a második légkör nagy mennyiségű *vízgőzt* (H_2O) és *szén-dioxidot* (CO_2) tartalmazott, illetve kisebb mennyiségben *hidrogént* (H_2), *metánt* (CH_4), *ammóniát* (NH_3),

kén-hidrogént (H_2S), nitrogént (N_2), kén-dioxidot (SO_2) és csak elenyésző mennyiségben oxigént (O_2), ez főként különféle vegyületekben fordult elő).

A másodlagos légkör kialakulását követően, a Föld felszíni hőmérséklete $-10^\circ C$ körül ingadozhatott. Mivel a légkör nagy mennyiségű vízgőzt és szén-dioxidot tartalmazott a földfelszín hőmérséklete fokozatosan emelkedni kezdett és kb. 3,5 milliárd évvel ezelőtt elérte a $0^\circ C$ -ot. A felmelegedés annak tulajdonítható, hogy az üvegházhatású gázok (szén-dioxid, vízgőz, metán stb.) átengedik a Napból érkező rövidhullámú sugárzást, ellenben elnyelik és visszatartják a Föld által kibocsátott hosszuhullámú sugárzást.

A légkör vízgőztartalma fokozatosan kicsapódott táplálva az ősóceánok vizeit. A víz légköri körforgása nyomán hatalmas esőzések voltak és a folyékony víz egyre nagyobb területeket hódított meg (Bérczi 2002).



1. ábra. A földi légkör fejlődése (Molnár 1984, Báldi 1991, Bérczi 2001, Kerényi 2006 és mások nyomán módosítva)

A korai időszakában (4–2 milliárd éve) a másodlagos légkör redukzív (oxigénszegény) állapotú volt és nagyon gazdag lehetett *metánban* (CH_4), *ammóniában* (NH_3) illetve *hidrogénben* (H_2) (Oparin 1924 in Báldi 1991). Ez a redukáló légkörű környezet kedvező feltételeket teremtett az egyre bonyolultabb szerkezetű szerves molekulák kialakulásához (valószínűleg a ultraibolya sugárzások és a villámlások hatására alakultak ki) és fejlődéséhez.

Megkezdődik a szerves vegyületek abiogén (a szerves anyag több százmillió év alatt élő anyaggá szerveződik az evolúció folyamán) szintézise, ami 3,5–4 milliárd évvel ezelőtt az élet megjelenéséhez vezetett.

Itt kiemelnénk azt, hogy az élet megjelenése előtt a földi légkör oxigén koncentrációja elhanyagolható volt, az atmoszféra vegyi összetétele nagyon hasonló volt a szomszédos bolygókéhoz (a Vénuszéhoz és a Marséhoz).

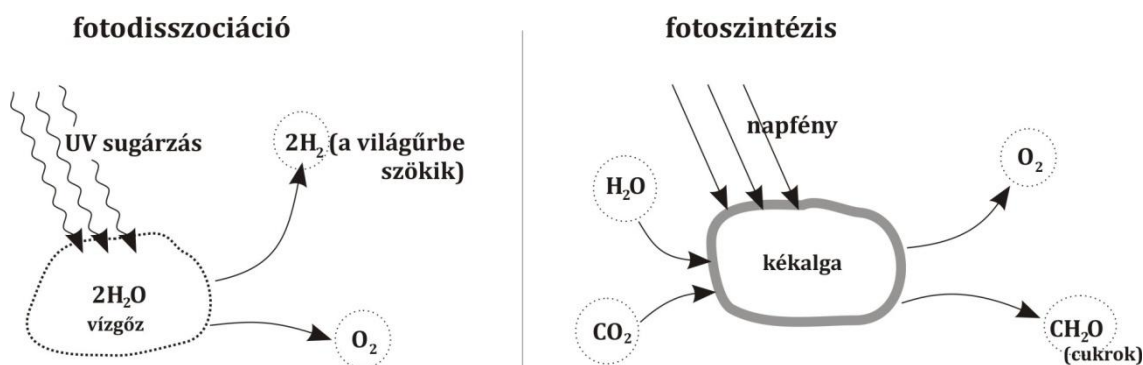
Az élet megjelenését követően ez az egyensúlyi állapot felborult. A redukzív jellegű légkör a fotoszintézis során oxigénben gazdag oxidatív típusú atmoszférává alakult. A mai oxigéndús légkört a bioszféra termékének tarthatjuk, illetve a légköri gázok jelenlegi arányát is az élővilág szabályozza (Gaia-elmélet).

A **Gaia-elméletet** Lovelock J. (1979) alkotta meg és vezette be a köztudatba. Szerinte a Föld egy hatalmas élőlény, és az élővilág nemcsak elszenvedője a környezeti feltételeknek, hanem azok aktív alakítására is képes.

táblázat. A Vénusz, a Föld (mai és egykori élet nélküli), és a Mars légkörének összetétele, felszíni hőmérséklete és nyomása (Mészáros 2001)

paraméter	Vénusz	Föld, élettal	Föld, élet nélkül	Mars
szén-dioxid (%)	98	0,03	98	95
nitrogén (%)	1,9	78	1,9	2,7
oxigén (%)	nyom	21	nyom	0,13
hőmérséklet (°C)	477	13	290	-53
nyomás (hPa)	90 000	1 000	60 000	6,4

Oxigén két módon juthatott a légkörbe: az ultraibolya (UV) sugárzás hatására a H_2O disszociációja következtében, illetve a növényi fotoszintézis során a H_2O -ból való lehasadásból.

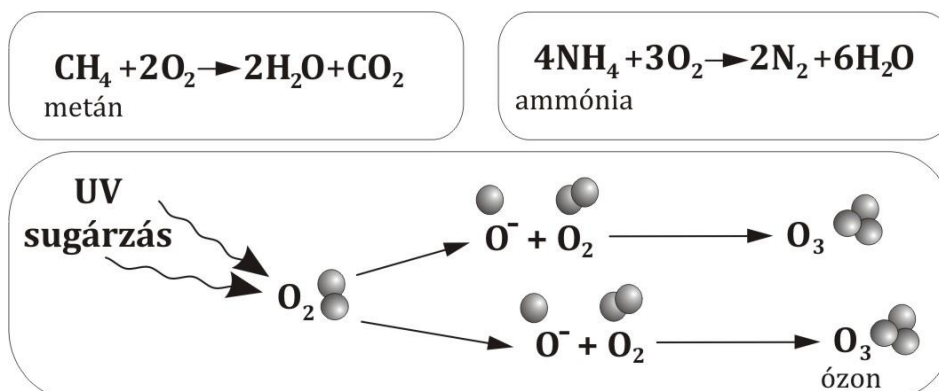


1. ábra. Az oxigén keletkezése fotodisszociáció és fotoszintetizáció során (több szerző nyomán módosítva)

Az vulkáni eredetű vízgőz (H_2O) **disszociációja** során keletkező H^+ elszökik a világűrbe, az oxigén molekulák, pedig a Föld közelében maradnak.

A frissen keletkező oxigén reakcióba lép a metánnal (CH_4), illetve ammóniával (NH_3), és a folyamatok során víz (H_2O), szén-dioxid (CO_2) és nitrogén (N_2) keletkezik. A metán és az ammónia így fokozatosan beépül a kialakuló bioszférába.

Az oxigén molekulák egy részéből az UV sugárzás hatására ózon (O_3) keletkezik.



Ebben az időszakban (3–3,5 milliárd éve) fokozatosan csökkent a légkör hidrogén, ammónia és metán tartalma. Elkezdett növekedni az oxigén mennyisége, de a disszociáció nem ad kielégítő magyarázatot arra, hogy napjainkban miért ilyen nagy az oxigén aránya az atmoszférában. Ez annak tulajdonítható, hogy a fokozatosan vastagodó ózonréteg (vagy burok) védelme alatt korlátozódik a vízgőz további disszociációja, és az oxigén szint növekedése mérséklődik, illetve stagnál. Ezt nevezik **Urey-szintnek** (0,001PAL), ekkor éri el az oxigéntartalom (O_2) a jelenlegi szint 0,1%-át.

Mivel modellek szerint ekkor még nagyon ritka volt a légköri ózonburok, az első élőlények csakis a tengerekben alakulhattak ki, illetve léteztek. Ez annak tulajdonítható, hogy a földfelszínig akadálytalanul eljutó ultraibolya (UV) sugárzás, 10–12 méteres vízmélységben már ártalmatlanná vált.

Itt meg betenni a hozzávalókból a nikkel-éhínség fogalmát.....

Az légköri oxigéntartalom növekedése 2–3 milliárd éve kezdett meghatározóvá válni, a **fotoszintetizáló** cianobaktériumok és eukarióták megjelenésével és elterjedésével egyidőben, az oxigén mennyisége meghaladja az Urey-pontot.

A korai cianobaktériumok egyre több oxigént termelnek és juttatnak a levegőbe, de ebben az időszakban mégsem halmozódhatott fel nagyobb mennyiségben a légkörben, mivel minden szabad oxigén az ásványok oxidálására fordítódik. Valószínűleg a légkör oxigéntartalmának növekedése a kőzetek „kioxidálása” után kezdett felgyorsulni.

0,7–1,5 milliárd évvel ezelőtt, a légköri oxigéntartalom eléri a jelenlegi szint 1%-át. Ezt a küszöbértéket nevezik **Pasteur-szintnek** (0,01 PAL), a primitív szervezetek nagy része ekkor tért át a **fermentációról** (anaerob folyamat) a **légzésre**.

Ezzel a váltással az élővilág fejlődése is új lendületet kapott, mivel a cukrok légzéssel való oxidálása 14–50-szer több energiát szabadíthat fel és állíthat a szervezetek rendelkezésére, mint az anaerob tejsavas erjedés (Báldi 1991).

Az ózonréteg ekkor már olyan vastag volt, hogy az UV sugárzás már 30 cm-es vízmélységig sem hatolt le. Az élőlények szinte a vízfelszínig benépesíthetik az óceánokat és tengereket.

600–700 millió éve haldhatta meg a légköri oxigéntartalom a Pasteur-szintet (1% PAL). A kambriumtól meggyorsult az oxigénképződés (1. ábra) és a szilur végére (kb. 400 millió éve) a jelenlegi szint 10%-ára (0,1 PAL) gyarapodott.

Ezt a küszöbértéket nevezik még **szárazföldi-szintenek**, mivel valószínű, hogy az ózonréteg ekkor már felemelkedett a 20–50 km-es magasságig és vastagsága is elérte az a értéket ami lehetővé tette az élőlények szárazföldi elterjedését.

A devon és különösen a karbon időszak hatalmas mocsaras erdőségei óriási mennyiségű oxigént juttatnak légkörbe (illetve nagy mennyiségű szén-dioxidot kötnek meg), és így a karbon időszak végére (kb. 300 millió éve) az oxigéntartalom elérte a **jelenlegi-szintet** (100% PAL, vagy 1 PAL) sőt időnként túl is léphette azt.

Az oxigén- és ózonkoncentráció növekedésével egyidőben a légkör szén-dioxid (CO_2) tartalma fokozatosan csökkent. A szén-dioxid (CO_2) szint csökkenése, elsősorban két tényezőnek tudható be.

Először is jelentős mennyiségű légköri szén-dioxid kötődött le az óceánok és tengerek karbonátos kőzeteiben mészkő (CaCO_3 , pl. a sztromatolitok, amelyek kék-zöld algák által épített lemezes szerkezetű mészkövek) és dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) formájában.

Másodsorban a szárazföldi növényzet széles körű megjelenésével és fejlődésével egyidejűleg a légkörből nagy mennyiségű szén-dioxid vonódott ki és kötődött le, oxigén felszabadulás mellett.

A légkör összetétele

<p>nitrogén (N₂)</p> <p>78,084 %</p>	<p>oxigén (O₂)</p> <p>20,946 %</p>
argon (Ar) 0,934 %	

~0,2 %

állandó összetevők	térfogatrész
neon (Ne)	18,18 ppm.
hélium (He)	5,24 ppm.
kripton (Kr)	1,14 ppm.
xenon (Xe)	0,087 ppm.

változó összetevők		
gáz neve	térfogatrész	Tartózkodási (kicserélődési) idő
szén-dioxid (CO ₂)	320 ppm	15 év
metán (CH ₄)	1,7 ppm	5 év
dinitrogén-oxid (N ₂ O)	0,3 ppm	8 év
ózon (O ₃)	0,01 ppm	2 év
halogénezett szénhidrogének (CFC)	0,003 ppm	60–120 év

erősen változó összetevők		
gáz neve	térfogatrész	tartózkodási (kicserélődési) idő
vízgőz (H ₂ O)	0,4–40000 ppm	10 nap
nitrogén-dioxid (NO ₂)	0–0,03 ppm	6 nap
ammónia (NH ₃)	0–0,02 ppm	7 nap
kén-dioxid (SO ₂)	0–0,003 ppm	4 nap
kén-hidrogén (H ₂ S)	0–0,003 ppm	4 nap

Alapgázok

- N₂ 78%, O₂ 21%, Ar 1%
- 80 km-ig érvényes
 - HOMOSZFÉRA
- ezen túl
 - HETEROSZFÉRA
- ha csak N₂ és O₂ alkotná a légkört az átlaghőmérséklet 33°-al lenne hidegebb

Nyomgázok, üvegházgázok

Vízgőz

Szén-dioxid 45%-ban járul hozzá az üvegházhatáshoz

- mennyisége állandó
- utóbbi 150-200 év, növekszik
 - 1/3 levegőben marad
- többi - óceán, bioszféra

Metán (CH₄)

- kevesebb mint a CO₂, de hőelnyelő képessége nagyobb (20*)
- évi 500-600 millió t.
- 70 %:
 - közvetve - állattenyésztés
 - közvetlenül - földgáz, szállítás
- oxidálódik → szén-monoxid és szén-dioxid
- XVIII sz. -tól nő a koncentrációja

Dinitrogén-oxid (N₂O)

- alacsony koncentráció, nagy hőelnyelő képesség (200* a CO₂-nak)
- forrása: trópusi erdőtalajok, óceánok, mérsékelt talajok
- + ember: műtrágyagyártás, katalizátoros gépkocsik
- konc. 0,25%-al nő

Halogénezett szénhidrogének (CFC – kloro-fluorokarbon)

- 0,7-1,0 ppb, 70-20000 év
- hőelnyelés 4*
- 13 % üvegházhatás
- emberi eredet: aeroszolos palackok ...
- az ózonpajzsot roncsolják
- 5-7 % növekedés

Nitrogén-trifluorid (NF₃) – az LCD képernyők gyártásához használják

- 17 ezerszer erősebb üvegházhatással bír, mint a szén-dioxid,
- 550 évig marad a légkörben.
- a gáz mennyisége a légkörben 11%-kal növekszik.
- üvegházhatását tekintve, már a legnagyobb szénérművek kibocsátásával vetekszik.

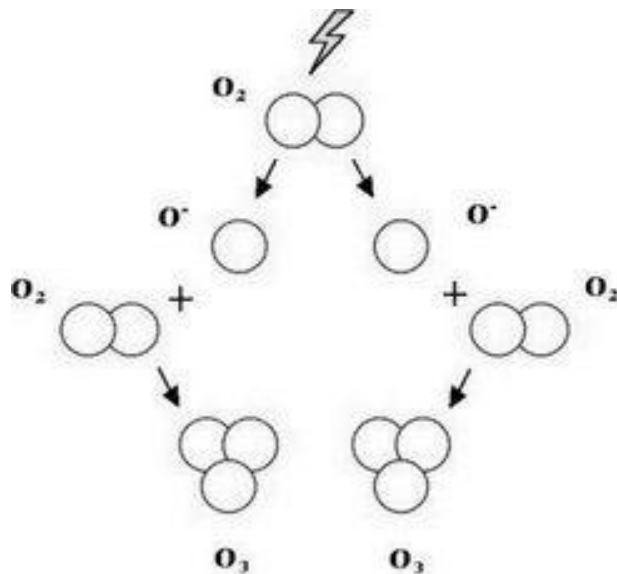
Ózon - O₃

- oxigén nagyon labilis változata
- Schönbein fedezte fel - elektromos kisüléseket kísérő, szúrós szagú (görög) gázt
- szűrő hatás: Hartly. 1881

- 1985, British Antarctic Survey
- Halley öböl, 1977-1984 40 %-os csökkenés - „egész légkörben jelen van
- 2 fontosabb réteg
- 15-50 km között, 80 % - sztratoszférikus ózon
- 3 mm-es réteg
- talajmenti - troposzférikus ózon, 10 %

Keletkezése:

- UV sugarak hatására az oxigénmolekula 2 oxigén atomra bomlik (disszociál)
- ezek aktívak - hármas ütközési reakció
- minden kezdődik előlről
- felemészti az UV sugárzást
- 12-14 km alatt nincs UV komponens



Aeroszolk

- szilárd és cseppfolyós részecskék
- természetes
 - vulkáni kitörés, kozmikus por, növényi eredetű
- mesterséges
 - üzemanyagok, szállítás, ipar
- sugaruk mérete alapján:
 - Aitken-féle részecskék: <0,1 mikron
 - nagy részecskék: 0,1-1 mikron
 - óriási részecskék: > 1 mikron
- higroszkopikus, kondenzációs magvak

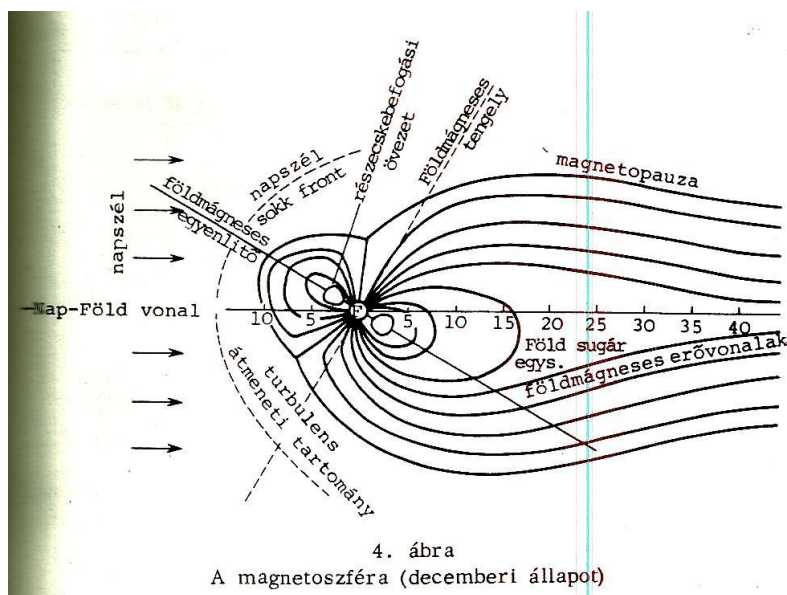
A légkör határai

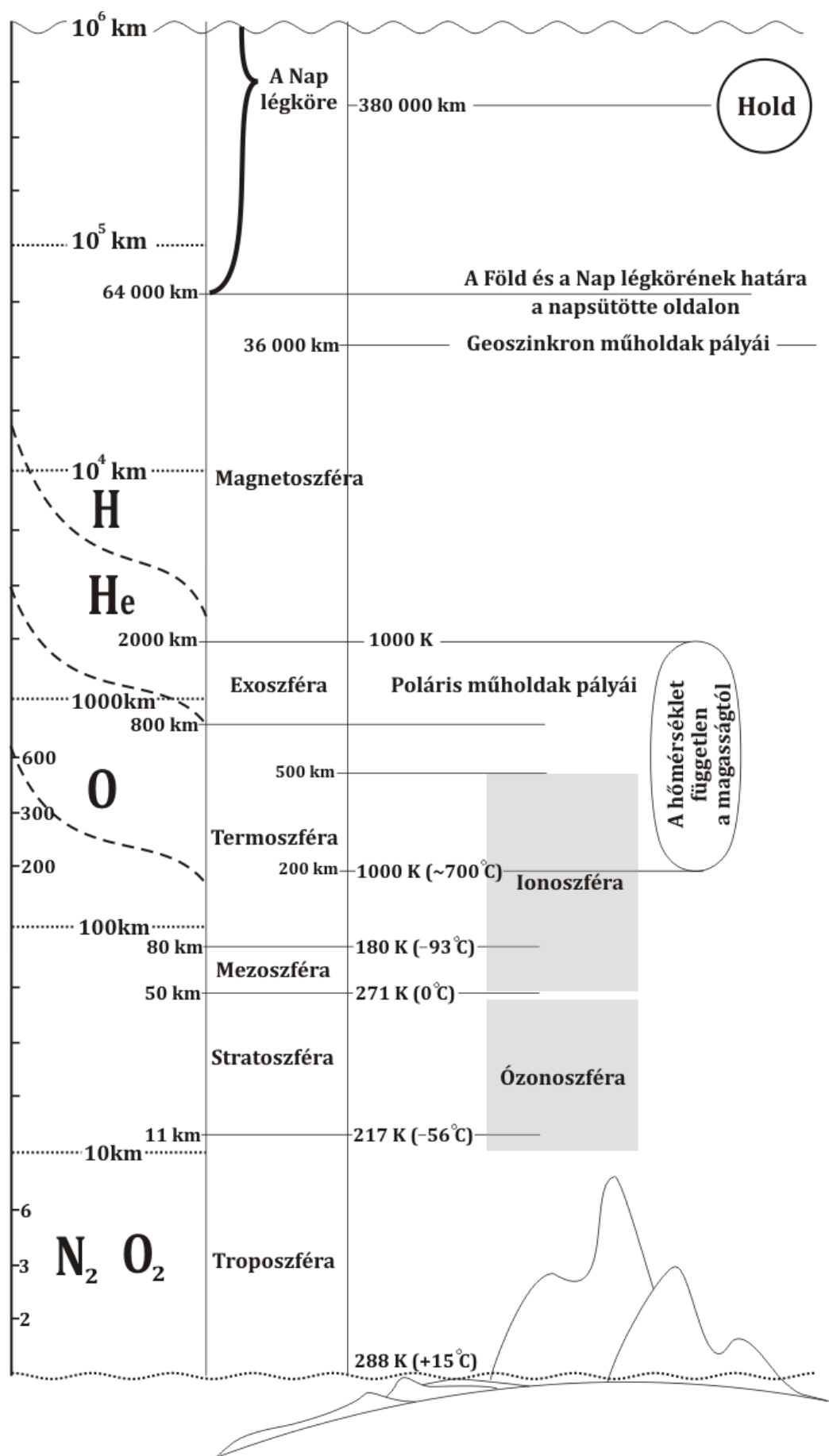
Alsó és felső határát nehéz meghúzni

- alsó határ: látszólag egyszerű
 - a talajrészecskék közötti gáz a légkör része
 - barlangi levegő
- felfelé haladva a levegő sűrűsége csökken
 - talajközeli: $2,7 \cdot 10^{25}$ molekula/m³
 - 1500 km-en: 10^{10} molekula /m³
- felső határ:
 - ahol a centrifugális erő és a nehézségi erő kiegyenlítik egymást
 - kb. 36000 km

gyakorlatilag a „levegő” felső határa 2000 km

- az alatta lévő rétegek együtt forognak a Földdel
- a gázburok alakját befolyásolja a Föld mágneses tere és a napszél is
- MAGNETOSZFÉRA
 - a Nap felőli oldalon behorpad
 - a túlsó oldalon 2-300000 m-re kinyúlik





A légkör szerkezete

Több egymásra helyezhető réteg alkotja

függőleges rétegződés

rétegződési szempontok:

a. Kémiai összetétel:

- HOMOSZFÉRA
- HETEROSZFÉRA

b. Speciális tulajdonságok:

- OZONOSZFÉRA (15-50 km)

IONOSZFÉRA (> 50 km)

IONOSZFÉRA (> 50 km)

- az UV és korpuszkuláris sugárzás hatására ionizált rétegek sorozata alakul ki
- legnagyobb elektronsűrűség a Nap felőli oldalon $10^{12}/\text{m}^3$
- a rádióhullámokkal szemben visszaverő vagy áteresztő felületként viselkednek
- 3 fő réteg:

D-réteg 80 km

E-réteg 100 km

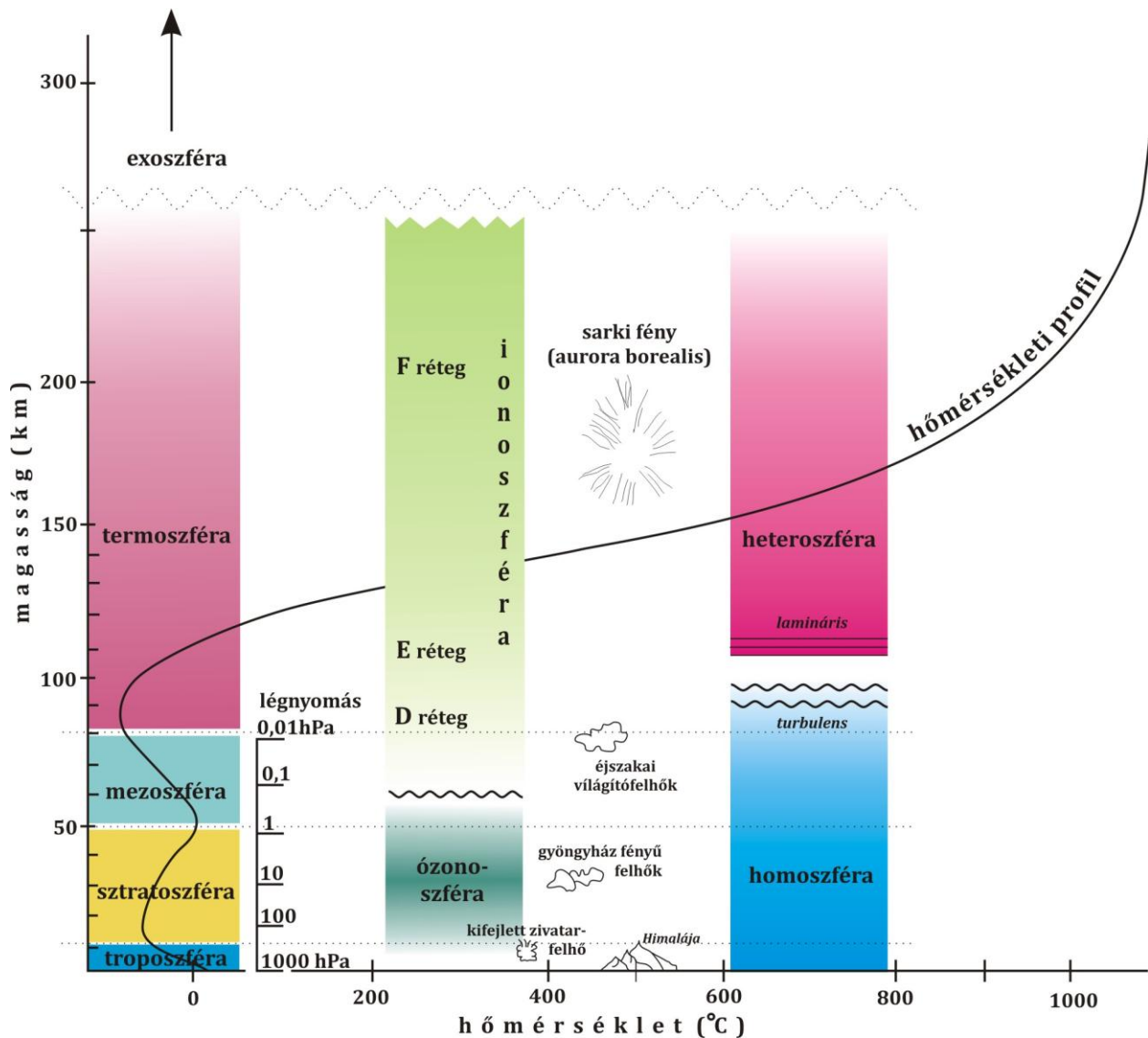
F₁-réteg 225 km

F₂-réteg 350 km

c. Függőleges hőmérsékleti rétegződés

Troposféra

- magassága az egyenlítőnél 12-18 km, a pólusnál 6-8 km, átlagosan 10-11 km
- átlagos függőleges hőmérsékleti gradiens $0,65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$
- a légkör tömegének 80 %-a
- alsó szintjén 15°C , felső szintjén -56°C
- a vízgőz jelentős része
- felhő- és csapadékképződés
- a felszín hatása alatt áll



A Troposzféra rétegei

- 1-2 m - talajmenti légréteg
 - mikroklimatikus légtér
- 1,5-2 m fölött gyengülnek a földfelszíni hatások
 - makroklíma
- alsó troposzféra (1-1,5 km) - planetáris határréteg -súrlódási réteg
- legalsó 10 - 100 m: turbulens határréteg (Prandtl réteg)
 - itt zajlik a felszín és a légkör közötti anyag és energia áramlat
- középső troposzféra (2-6 km)
 - legfontosabb időjárási folyamatok
- felső troposzféra (6 km fölött)

Tropopauza, megszűnik a hőmérséklet-csökkenés

- izotermia
- 30-50 szélességek között nagy sebességű áramlások - futóáramok - JET STREAM

Sztratoszféra (50 km-ig)

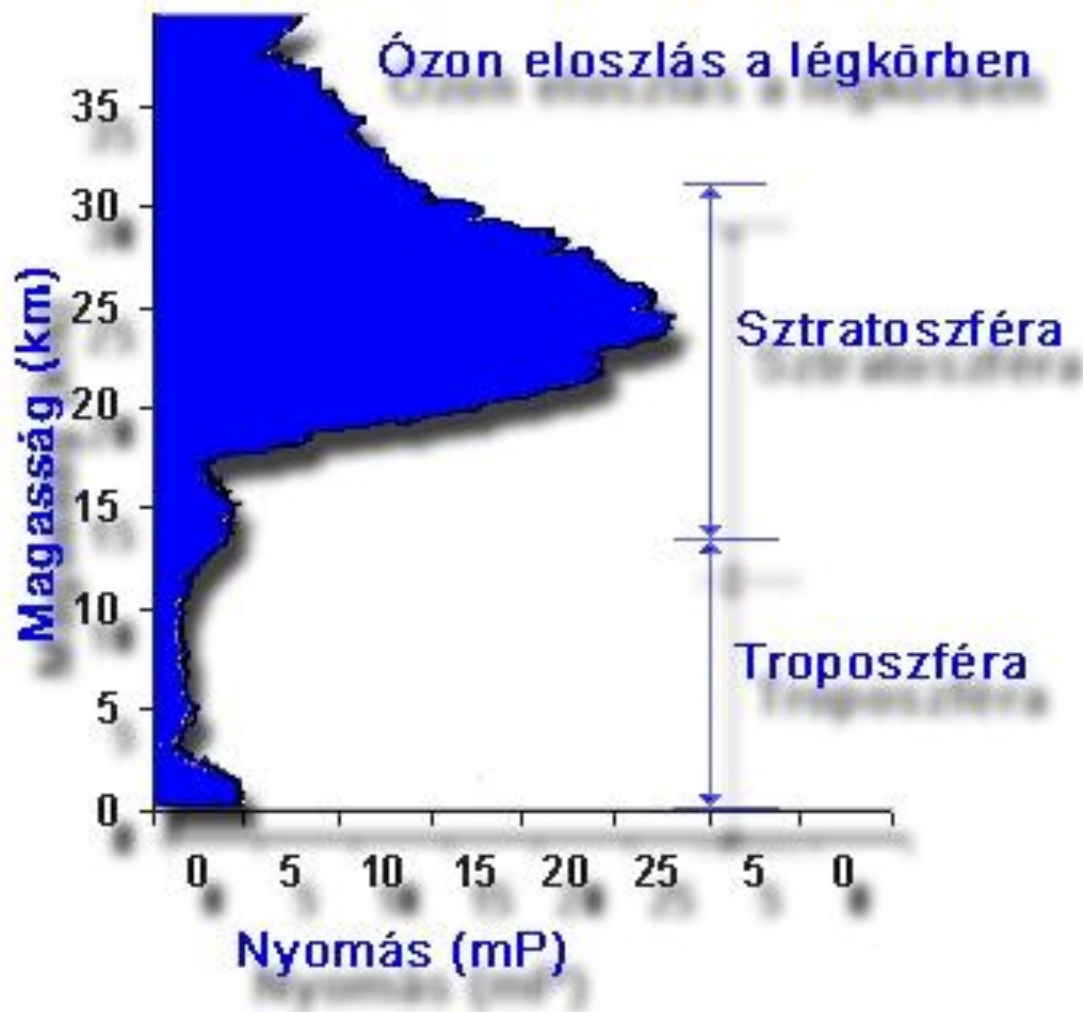
- 35 km-ig izoterm

- magassággal növekszik a hőmérséklet: 0°C felső határán

az ózonkeletkezés és UV sugárzás-elnyelés

- 10-50 km ozonoszféra

- maximális ózonkoncentráció 18-25 km



Mezoszféra (85 km-ig)

- a magassággal csökken a hőmérséklet: -94°C a felső határán
- ritka levegő
- vannak függőleges légmozgások
- van felhőképződés: éjszaka világító felhők

Mezopauza - a légkör leghidegebb tartománya

Termoszféra (400 km-ig)

- a magassággal a hőmérséklet növekszik: 1000°C a felső határán
- a ritka anyagi környezet – mozgásenergia formájában van jelen
- a mérhető hőmérsékletnek nincs értelme

- számított hőmérséklet

Termopauza

EXOSZFÉRA

- a földi gázok kiszökése a világűrbe
- becsült hőmérséklete 1000-1500°C

A légköri elemek

- Napsugárzás
- Hőmérséklet
- Légköri víz
- Légnyomás

Napsugárzás

A Nap egy viszonylag kis méretű és tömegű, sárgás fényű „közönséges” csillag, amelyik semmiben sem különbözik a többi csillagtól.¹ De számunkra rendkívül fontos, mert hozzánk ez van a legközelebb, és nélküle nem alakulhatott volna ki az élet a Földön.

A Nap – a többi csillaghoz hasonlóan – egy saját fénnel és hővel rendelkező izzó plazmagömb. Különböző hullámhosszú és jellegű sugárzásokat bocsát ki a röntgen-sugaraktól kezdve a rádiófrekvenciás sugárzásokig.

Plazma halmazállapotú *anyagának* túlnyomó részét könnyebb elemek alkotják, elsősorban *hidrogén* (~75 %) és *hélium* (~25 %),² a nehezebb elemek elenyésző mennyiségben vannak jelen.

A Nap *energiatermelését* az atommag-reakciók biztosítják, amelyek során másodpercenként 500 millió tonna hidrogén atommag alakul át héliummá, miközben óriási mennyiségű energia szabadul fel (mint például a fúziós atomerőművekben).

A Nap ellipszis alakú pályán *kering* a Tejútrendszer központja körül,³ és közben *tengelykörüli forgást* végez. Mivel az égitestet képlékeny plazma halmazállapotú anyag

¹ Életútjának körülbelül a felénél járó nem is kicsi – nem is nagy / nem is túl fényes – nem is túl halvány csillag. Átlagosnak mondható minden szempontból.

² Tömegarányokról van szó.

alkotja, a különböző szélességi körökön található övezetek eltérő sebességgel forognak, a forgási periódusa az egyenlítőtől (25 nap) a sarkok (30 nap) felé csökken. Az egyenlítői átlagos forgási sebessége 7 200 km/óra.

A Nap szerkezete

A Nap szerkezetére, felépítésére, fizikai tulajdonságaira és egyéb jellemzőire vonatkozólag csak indirekt módon következtethetünk. A Nap két nagy részből áll: a belső övezetekből és légkörének övezeteiből. A fotoszférának nevezett és szabad szemmel is megfigyelhető „felszíni” réteg határolja el őket egymástól (32. ábra).

A Nap légköre megfigyelhető, a belseje már nem, ezért a belső szerkezetre vonatkozó ismereteink szinte kizárólag elméleti modellekre alapoznak.

A Nap belseje

a. A központi mag. A Nap tömegének megközelítőleg felét tartalmazó központi mag, a Nap sugarának „mindössze” 25%-át teszi ki. Csillagunknak ez a legforróbb része, a számítások szerint hőmérséklete elérheti a 15 millió K-t is. A magban játszódnak le az energia-utánpótlást fedező termonukleáris reakciók. Ugyanis a hihetetlenül magas hőmérsékleten lejátszódó magfúziós folyamatok (hidrogénmagok alakulnak héliummá) jelentős mennyiségű energiát termelnek,⁴ az így keletkezett energia pedig nagy teljesítményű sugárzás formájában szabadul fel. A Nap központi magjából kifelé történő energiaszállítás kizárólag sugárzás⁵ útján történik. A mostanihoz hasonló szinten még 6–7 milliárd évig sugározhat a Nap.

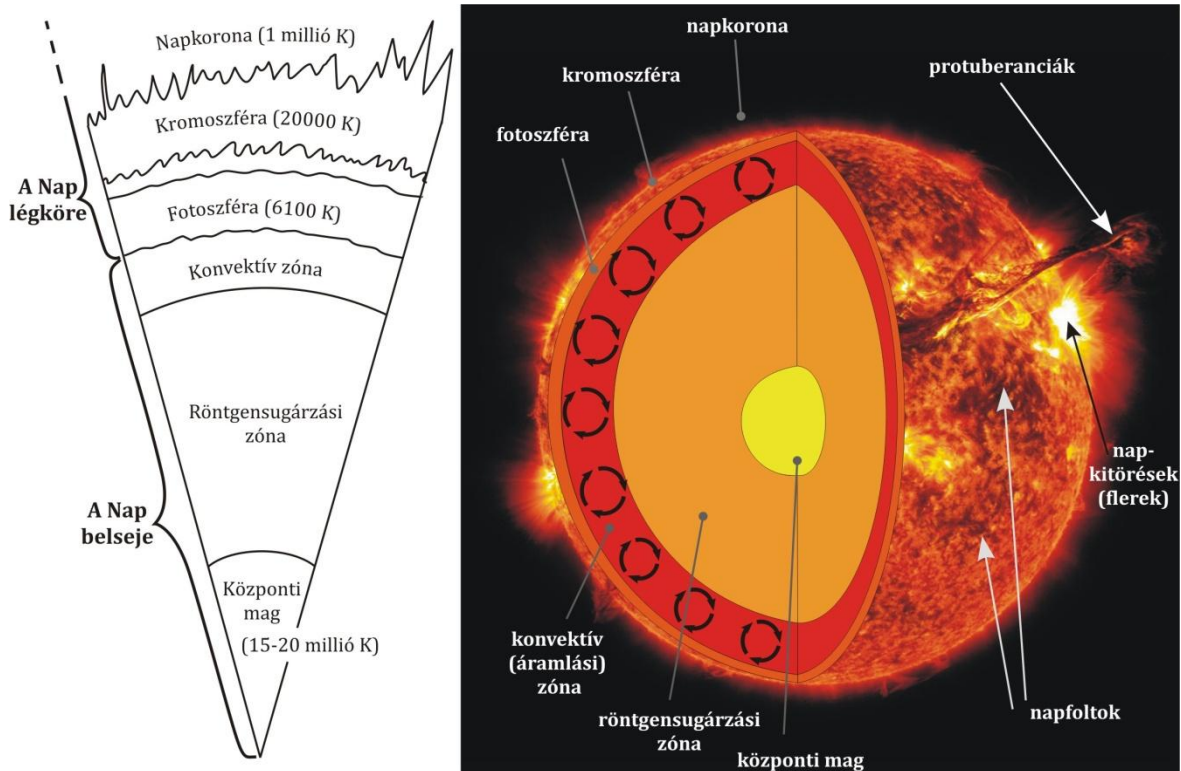
A rendkívül magas hőmérséklet hatására a Nap belsejét alkotó nagy sűrűségű (megközelítőleg az ólom sűrűségének 12-szerese) anyagot kavargó csupasz atommagok (protonok) és elektronok alkotják. Csak a Nap magjában tartózkodó protonoknak van esélyük, hogy a proton-proton folyamatban részt vehessenek, a külső rétegekben a magfúzió egyáltalán nem mehet végbe (Gribbin 2000). Az itt uralkodó magas hőmérséklet hatására a részecskék átlagsebessége nagyon megnövekszik, de ahhoz, hogy két proton egymással kölcsönhatásba lépjen, két feltételnek egyidejűleg kell teljesülnie: legalább az egyik protonnak az átlagsebesség ötszörösével kell száguldania, és az ütközésnek csaknem pontosan frontálisnak kell lennie. Az elméleti modellszámítások szerint a protonoknak átlagosan 14 milliárd évet kell várniuk, hogy a megfelelő partnerrel frontálisan ütközve deuteronná (nehézhidrogén) egyesüljenek. De mivel rengeteg proton van, az ütközések száma is nagy, és még ilyen hihetetlenül lassú ütemben is kellő számú reakció megy végbe.

³ A Nap galaktikus középpont körüli mozgásának sebessége 220–250 kilométer másodpercenként. Megközelítőleg 240 millió év alatt kerüli meg a Tejútrendszer központját, ezt nevezik egy galaktikus évnak. Eddigi élete során maximum 12 keringést tehetett meg.

⁴ Négy proton tömegének 0,7 százaléka szabadul fel energia formájában, miközben hélium-4 maggá alakul (ezt nevezik alfa-részecskének).

⁵ A Nap belsejében sehol sincs hővezetés útján történő energiaszállítás.

A magban termelt energia nagy energiájú fotonokból álló gamma-sugárzás formájában szabadul fel. A szélsőséges sűrűségviszonyok miatt a fotonok az egyik töltött részecskétől a másikig „pattannak”, és így csak kis távolságot tudnak egyszerre megtenni.



Átmérője: 1,4 millió km = 110 földátmérő

Tömege: $2 \cdot 10^{30}$ kg = 330 000 földtömeg

Átlagos sűrűsége: 1,41 g/cm³

Központi hőmérséklete: 15 millió K

Felületi hőmérséklete: 5800-6000 K

Forgási periódusa: 25-30 nap

32. ábra. A Nap szerkezete (www.nasa.gov és mások nyomán módosítva)

b. A röntgensugárzási zóna a központi magot veszi körül, és a sugár ~70%-áig tart. Ez az övezet továbbítja a magreakciók során felszabadult fotonokat a külső tartományok felé. A fényszecske állandó kölcsönhatásban van a Nap plazmaanyagával (elnyelés és kibocsátás), ezért nagyon sok időre van szüksége, hogy csillagunk felszínéig eljusson.⁶ A kifelé haladó fotonok a sorozatos ütközések miatt egyre kisebb energiájúak (a nagy energiájú gamma-sugárzás kisebb energiájú röntgensugárzássá alakul át), és ezért egyre nagyobb hullámhosszúak lesznek. A röntgensugárzási zóna felső határánál a részlegesen ionizált anyag már képes megkötni a sugárzási energiát – a fotonokat –, forró anyagtömegek formájában.

⁶ Mivel a fotonok fénysebességgel haladnak, 25 másodperc alatt elérhetnék a Nap felszíni rétegét, de az állandó ütközések és kölcsönhatások miatt ez a rövid út 10 millió évig is eltarthat (Gribbin 2002).

c. A konvektív (áramlási) zóna a fotoszféra alatt helyezkedik el, megközelítőleg 150 000–200 000 km mélységig tart. A felszínhez közeledve rohamosan csökken benne a hőmérséklet, és ezért a sugárzás egyedül már nem képes az energiaszállítást biztosítani. A belső és a külső plazmarétegek keveredése jellemzően konvekció⁷ útján megy végbe. Ezen a turbulens övezeten keresztül valósul meg az energia továbbítása a felszín irányába, és a konvektív áramlások képezik a szállítóközeget. A felszálló anyagtömegek a Nap felszínére érve látható fény formájában kisugározzák energiájukat.

A Nap légköre

a. *Fotoszférának* (a „fényburoknak”) nevezik a Nap szabad szemmel is látható és megfigyelhető „felszínét”, ami a választófelület a Nap „teste” és légköre között (a Nap középpontjától 696 000 kilométerre). Csak jelképesen, idézőjelben használják a „felszín” megnevezést, mivel a Nap belseje és légköre ugyanúgy plazmából áll, és valójában nincs felszíne. A fotoszférától kívülről befelé haladva jelentős mértékben fokozódik a napanyag sűrűsége, ugyanakkor a légköre átlátszó (viszonylag ritka).

A fotoszféra vastagsága 200–600 km, hőmérséklete kb. 5800–6100 Kelvin, és ebben a rétegben keletkezik a Földre eljutó sugárzás 90–95%-a.

A Nap sugárzása elektromágneses és részecskesugárzásból tevődik össze. Az *elektromágneses sugárzást* a fotonok árama jelenti, ennek legnagyobb részét a látható fény és az infravörös sugarak adják, kisebb részét az ultraibolya és a röntgensugarak. A *részecske* (korpuszkuláris) *sugárzást* nevezzük napszélnek, a részecskék lehetnek elektronok, protonok vagy neutronok.

A fotoszféra fényessége nem egyenletes, *szemcsés szerkezetet* mutat, amelyekben az anyag a felszín felé áramlik. Az átlagos szemcsék (vagy granulák) átmérője ~500–1000 kilométer. Viszonylag rövid életű képződményekről (5–10–20 perc) van szó, amelyek állandóan változtatják alakjukat, összekeverednek környezetükkel és aztán eltűnnek.

A fotoszférában keletkező *napfoltok* a napaktivitás legszembetűnőbb jelenségei, átmeneti képződmények, amelyek élettartama általában 6 nap (Herrmann 2000). Szinte szabad szemmel is látható a sötétebb foltok váltakozása a fényesebb tartományokkal (de azért nem ajánlatos, valószínűleg Galilei is ezért vakult meg öregkorára), ami arra utal, hogy a napenergia felszínre áramlását turbulens folyamatok kísérik. A nagyon változatos méretű (néhány m²-től több millió km²-ig) napfoltok sötétebbnek tűnnek a környezetüknél, mivel hőmérsékletük ~1000–1500 Kelvin-fokkal alacsonyabb a fotoszféráénál. Két részből állnak: az *umbrából* (a sötétebb belső mag) és a *penumbrából* (világosabb, szálas szerkezetű külső rész). A napfoltok általában csoportosan jelentkeznek (de magányosan is előfordulhatnak), és számuk idővel változik (tizenegy évenként a foltok nagyobb számban jelentkeznek).

A fotoszféra fölött elhelyezkedő *megfordító réteg* atomjai elnyelik, és minden irányba szétszórják a fotoszférából származó sugarakat. A megfordító réteg nagyon vékony

⁷ A konvekció az energiának a plazmaáramlás útján történő terjedését jelenti.

(maximum 500 km) ritkult gázburok, hőmérséklete 5000 Kelvin, a fotoszféránál hűvösebb. Csak teljes napfogyatkozás idején figyelhető meg egy nagyon rövid ideig (néhány másodpercig). Ilyenkor vizsgálható a Nap fordított színeképe.

b. *Kromoszférának („színes buroknak”)* nevezik a fotoszférát körülvevő színes gömbréteget. Megnevezését a teljes napfogyatkozáskor megfigyelhető jellegzetes vöröses-rózsaszínes fényéről kapta. A ritka és alacsony sűrűségű övezet vastagsága megközelítőleg 6–7000 km, hőmérséklete pedig elérheti a 20 000 Kelvint is. Szabad szemmel csak napfogyatkozáskor látható, amikor a Hold teljesen eltakarja a fotoszféra ragyogását. Leglátványosabb jelenségei a protuberanciák és a napkitörések.

A *protuberanciák* óriási plazmakilövellések (vagy lángnyelvek), amelyek hidak vagy hurkok formájában jól kiemelkednek a kromoszférából, és belenyúlnak a napkoronába is.⁸ Az említett két rétegénél alacsonyabb hőmérsékletű, de nagyobb sűrűségű képződmények kialakulásában jelentős szerepe van a Nap mágneses terének. Ezek az akár 250–500 ezer kilométer hosszú plazmalebenyek csak azért nem hullnak vissza a felszínre, mert a mágneses erővonalak fenntartják és lebegtetik őket.

Annak függvényében, hogy a protuberanciák milyen típusba tartoznak – *aktív* vagy *nyugodt* –, eltérő lehet az alakváltozás sebessége, illetve az élettartamuk is.

A rövid életűek *aktív protuberanciák* esetében gyors anyagáramlás figyelhető meg és ezek általában a Nap legerősebb és legaktívabb mágneses tereihez kapcsolódnak.

A *nyugodt protuberanciák* lassan változtatják alakjukat, és hetekig vagy hónapokig fennmaradhatnak.

A *napkitörések (erupciók, flerek)*⁹ a kromoszféra hirtelen kirobbanásai, illetve rövid ideig tartó (~10–50 perc) fényességnövekedései. Többnyire a napfoltok közelében képződnek, ezért arra gondolnak a szakemberek, hogy ezek mágneses terében bekövetkező változások miatt alakulnak ki.

c. A *napkorona* a Nap légkörének legkülső régiója. Ezüstfehér színű, nagyon ritka plazmából áll, és hőmérséklete elérheti az 1–2 millió Kelvint is. Magának a koronának százezerszer gyengébb a fénye, mint a fotoszférának, ezért a nappali égbolt háttérében nem figyelhető meg. A korona csak teljes napfogyatkozáskor válik láthatóvá. A bolygóközi térbe mélyen benyúló hatalmas kiterjedésű tartomány határai nem egyértelműen tisztázottak, megállapodás kérdése.

Napszélnek nevezzük a koronát nagy sebességgel elhagyó, elektromosan töltött részecskék (elsősorban protonokból és elektronokból álló) áramlatát. A napszél különösen erős azokban az időszakokban, amikor a Nap aktivitása eléri a maximumát, illetve a napkitöréseket követően.

⁸ A protuberanciák felszállási sebessége elérheti akár a 700 km/s-ot is, és az eddig megfigyelt legnagyobb felszállási magasságok 1–2 millió kilométer között voltak.

⁹ *Fler* – jelentése az angol *flare* szóra vezethető vissza, ami *fellobbanást* jelent.

A napszél részecskéi 4–5 nap alatt érik el a Földet (az áramlási sebességük 400–800 km/s), ártalmas hatásaitól a *magnetoszféra* véd meg minket.

A Nap felől érkező hatások (elsősorban a napkitörések) szinte valamennyi földi folyamatra erőteljes hatással vannak, és hatalmas mágneses viharokat tudnak okozni bolygónk magnetoszférájában, illetve a felső légkörben. Ekkor a hatásait közvetlenül (saját bőrünkön) is érezhetjük: meghibásodhatnak az elektromos készülékeink (a műholdakat is károsíthatja), megváltozik az ionoszféra vastagsága (zavar a rövidhullámú rádió-összeköttetésben), megzavarhatja a távközlést és összeomlást okozhatnak a villamos energiát szolgáltató hálózatokban, a sarkvidékek közelében kimaradásokat okozhatnak a földi irányítószemélyzet és a repülőgépek közötti rádiókapcsolatban, több lesz a sarki fény, vagy akár egészségügyi hatásai is lehetnek (megnövekedhet a szívinfarktusok száma).

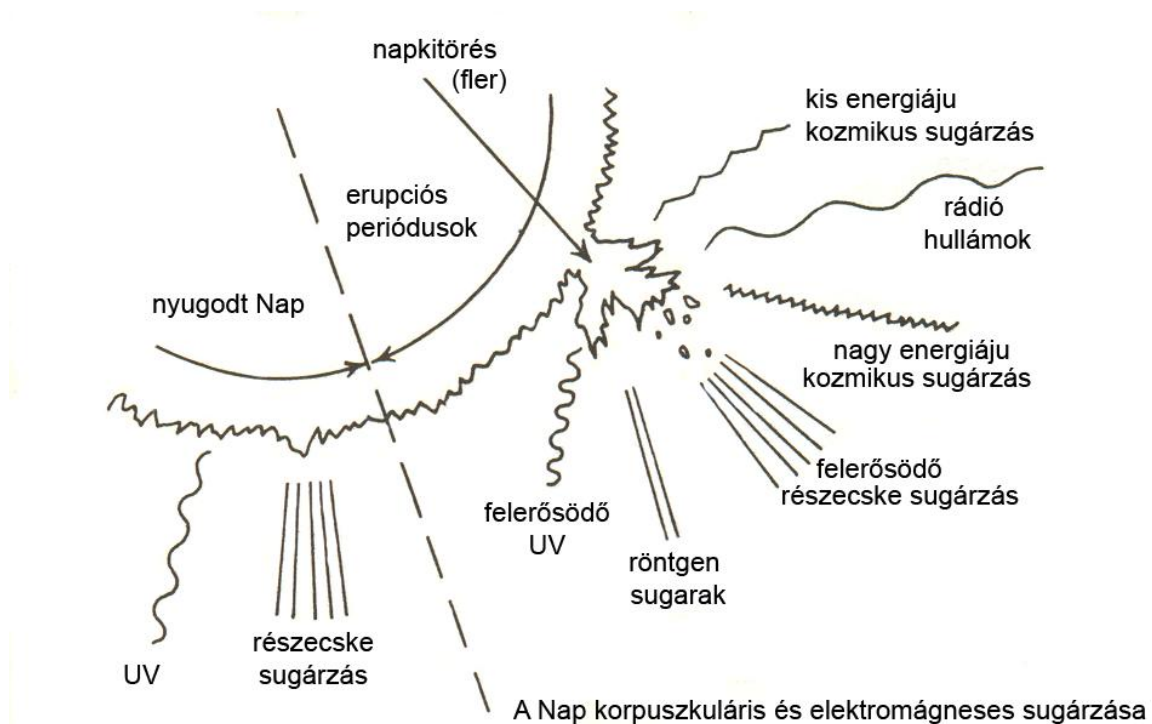
Az ionizált részecskék (plazma halmazállapot) folyamatosan lépnek ki a Napból és szétterjednek a bolygóközi térbe. A Naprendszer általuk kitöltött tartományát nevezik helioszférának.

A *helioszféra* nem más, mint a Nap mágneses burka, alakja a Föld magnetoszférájához hasonló, méretei azonban nagyságrendekkel nagyobbak. A helioszféra külső határa a *heliopauza*, amely a napszélplazmát elhatárolja a csillagközi szélről¹⁰ (57., 59. ábra). A heliopauza helyzetét a napszél és a csillagközi gáz ionizált részének nyomásviszonyai határozzák meg, megközelítőleg 100–150 CsE-re a Naptól a két nyomás egymással egyensúlyban van.

A helioszféra megóvja Naprendszerünket a csillagközi térből érkező ionizált sugárzás túlnyomó részétől, csak a heliopauzán áthatoló semleges összetevők (mint például a hidrogén-, oxigén-, neon- vagy héliumatomok) képesek eljutni a belső övezetekig.

¹⁰ A csillagközi gáz elektromosan töltött részecskéinek áramától.

A Nap korpuszkuláris és elektromágneses sugárzása



Spektrális összetétel

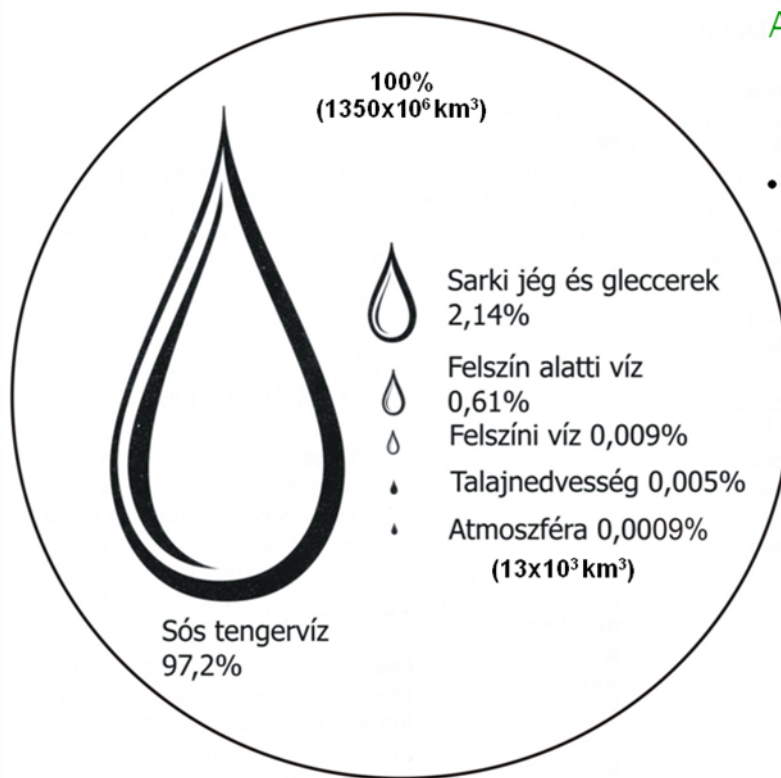
1. korpuszkuláris (részecske) sugárzás – „napszél” (protonok és elektronok)

- a részecskék gyorsan mozgó árama
- * ionok – elektromos töltéssel rendelkező szabad elektronok v. atommagok
- * neutronok
- elenyésző mennyiségű energiát szállít
- meteorológiai hatása csekély (ionoszféra)

2. elektromágneses (termikus) sugárzás – fotonok árama (fény és hő)

- tulajdonságai:
 - terjedési sebessége
 - hullámhossz (λ - egy rezgés ideje alatt megtett út); frekvencia (K - 1 sec alatti rezgések száma)
 - a sugárzás intenzitása vagy erőssége

Víz a légkörben



A Föld burkai között szoros a kölcsönhatás:

- a víz természetbeni körforgása
- a légkörben állandóan van bizonyos mennyiségű víz

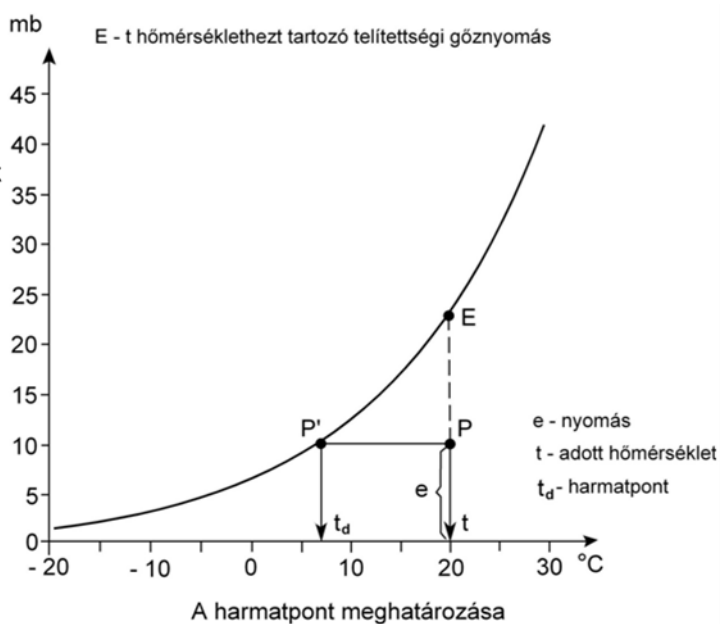
- cseppfolyós formában ~ 25 mm-es réteg
- troposféra, 95% vízgőz, többi folyékony és szilárd

- globális mennyiség állandónak tekinthető
- jelenléte hőmérsékletfüggő → éghajlati övek:
trópák felett 35 mm, sarkok felett 1-2 mm

A légnedvesség jellemzésére használt fogalmak:

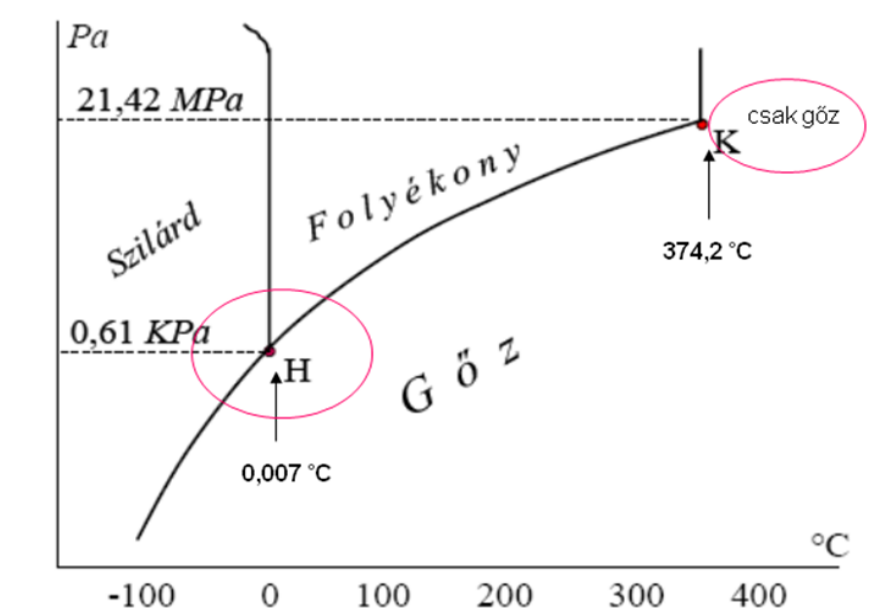
• **harmatpont (t_d)**

- az a hőmérséklet amelyen a levegő telítetté válik
- ha 0°C fölött \rightarrow cseppfolyós kicsapódási formák
- ha 0°C alatt \rightarrow szilárd termékek
- mindig kisebb a levegő hőmérsékleténél

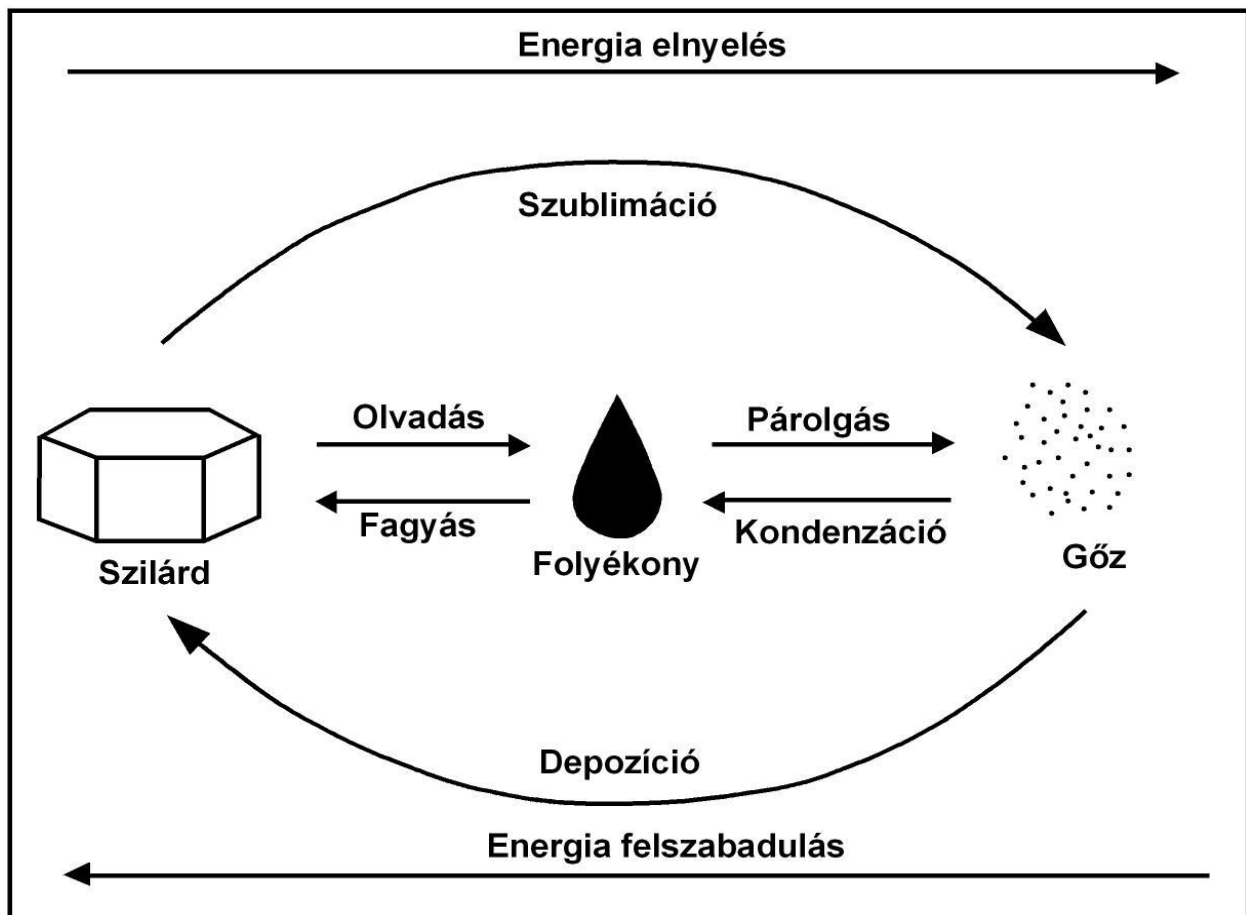


$$\text{Harmatpont-depresszió} = t - t_d$$

Halmazállapot-diagramm

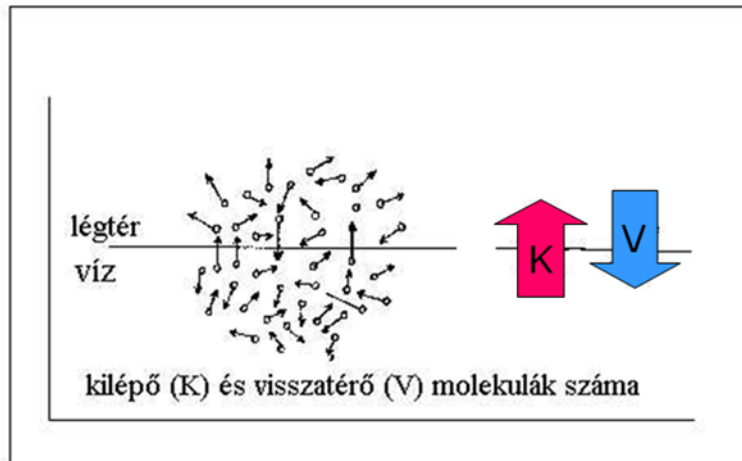


H – hármaspont; K – kritikus pont



Párolgás:

- a vízmolekulák hőmérsékletüknek megfelelő mozgási energiával rendelkeznek
- a nagyobb energiájúak kiszakadnak a víz v. jég felszínéről → párolognak - energiaigényes
- K - kilépő molekulák
- V - visszatérő molekulák



- $K > V$ – folyadék mennyisége csökken - **párolgás** - légtér telítetlen
- $K = V$ – dinamikus egyensúly - **telítési állapot** - megszűnik a párolgás
- $K < V$ – vízgőz mennyisége csökken - **kicsapódás** - túltelített légtér

Szublimáció:

- Szilárd halmazállapotból létrejövő vízpára

Kondenzáció és depozíció – párolgással ellentétes

- Telítettséget elérhetjük:
 - **párolgás** - ha a párolgó felszín hőmérséklete magasabb mint a levegőé
- talaj menti köd
 - **levegő lehűlése** - érintkezés, kisugárzás, keveredés, adiabatikus lehűlés
- felhő, csapadék

Kondenzáció

- feltétele a kicsapódásra alkalmas felület
- kondenzációs, kicsapódási magvak
 - higroszkopikus, nedvesedő anyagok
- kifagyási magvak
 - felületükön fagyás indul meg -jégcsira
- nem minden mikroméretű test lesz kondenzációs mag - **neutrális test**

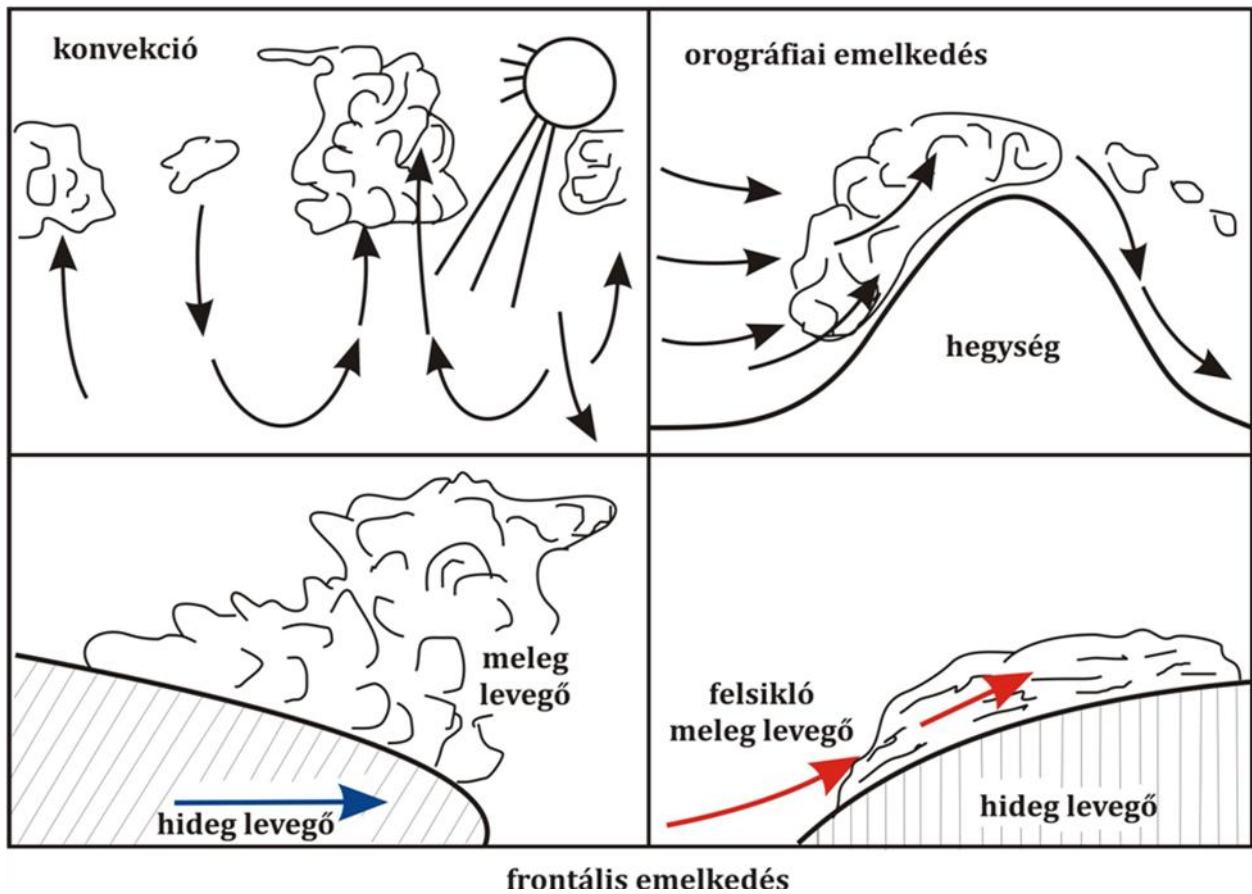
Felhő és ködképződés:

- feltétele: telítettség + kondenzációs/kifagyási magvak
- szerkezetileg hasonlóak – magassági különbségek
- látótávolság < 1 km - **köd**, > 1-10 km - **páráság**

Felhőképződéshez szükséges lehűlés:

- konvekció: labilis rétegződés - nyáron, koradélután,
- domborzat
- időjárási frontok

Felhő képződés:



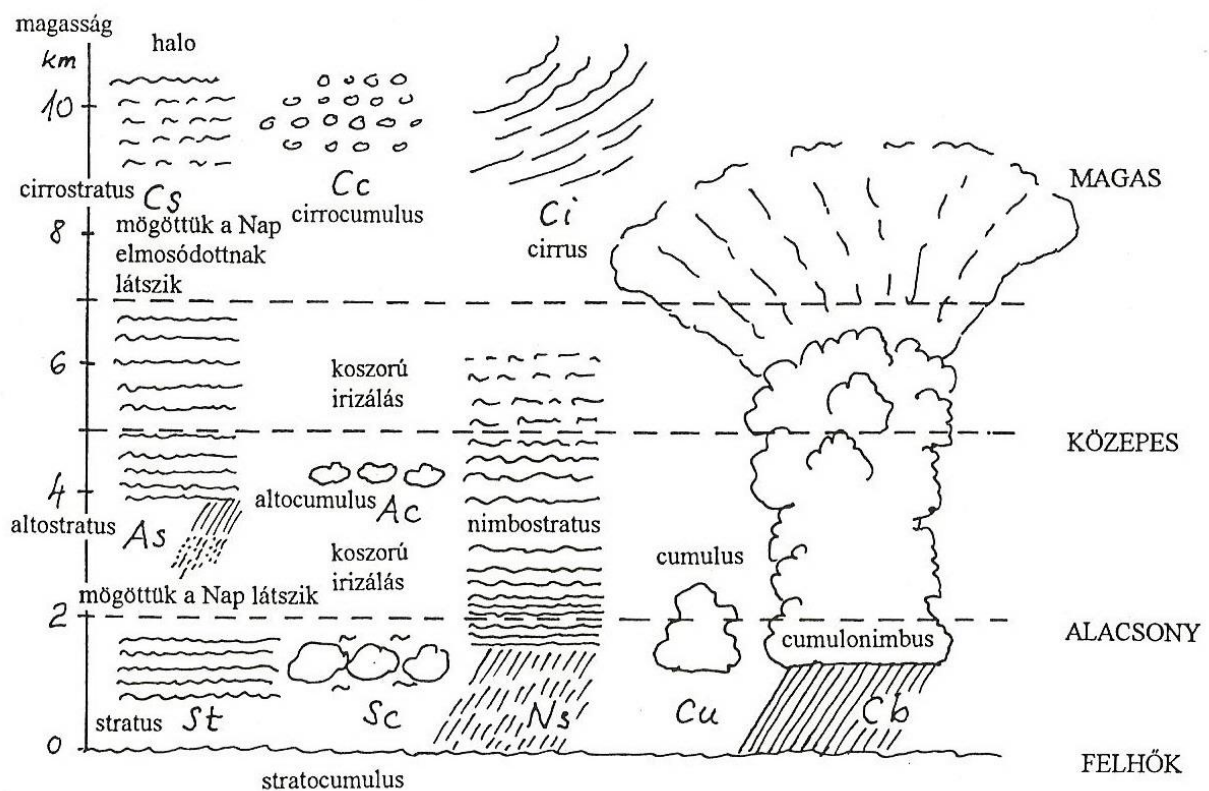
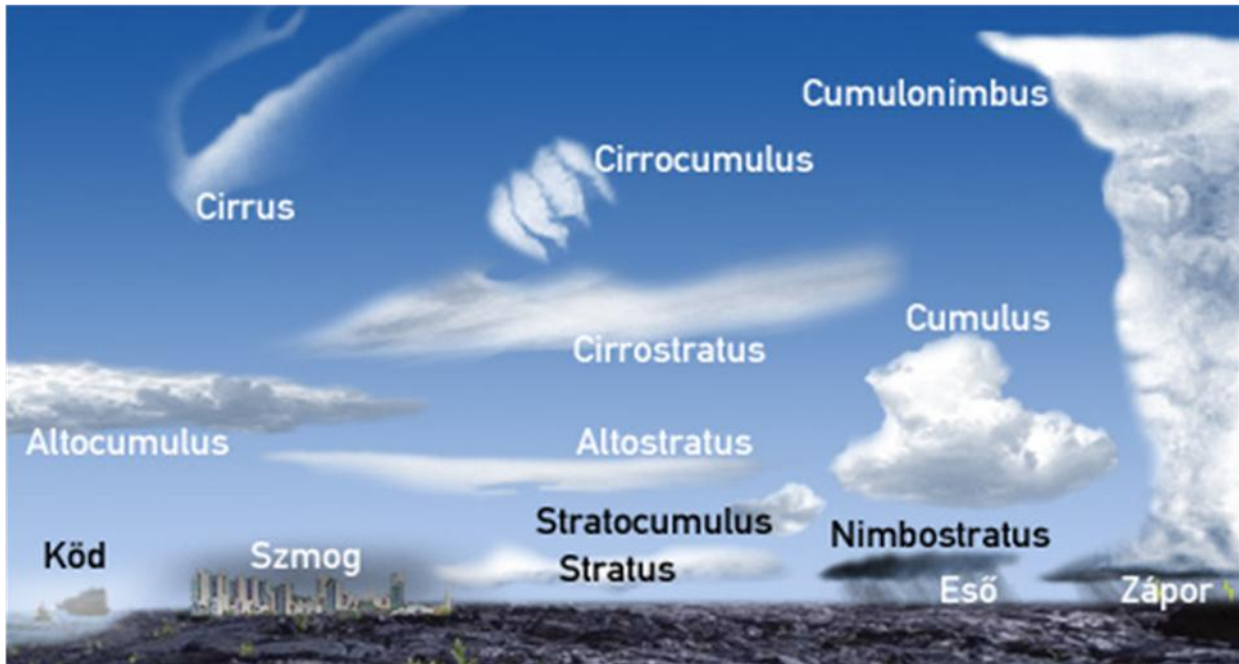
Felhő képződés:



Kondenzációs szint: az a magasság ahol a vízgőz telítetté válik

Felhők osztályozása:

- magasság szerint:
 - alacsonyszintű - < 2 km
 - középszintű - 2-6 km
 - magas szintű - > 6 km
 - függőleges felépítésű
- alak szerint:
 - réteges
 - gomolyos



Hulló csapadékok:

- szitálás: $< 0,5$ mm, ködszitálás, ónos szitálás
- eső: 0,5-3-6 mm, 4-8 m/s
- záporosó: 1,5-3-8 mm
- havazás: pelyhek, havas eső
- dara: szilárd, 2-5 mm, hódara, jégdara
- jégeső: 5-50 mm,
- ónos-, ólmos eső: túlhűtött állapotban levő csepp a felszínen megfagy
- zivatar: zápor+jég+villámlás+dörgés

Mikrocsapadékok:

- harmat - ha a harmatpont $+$
- dér - ha a harmatpont $-$
- évente összesen 10-30 mm csapadék
- zúzmara



Csapadékmennyiség

- mm - l/m^2 - $10\text{m}^3/\text{ha}$

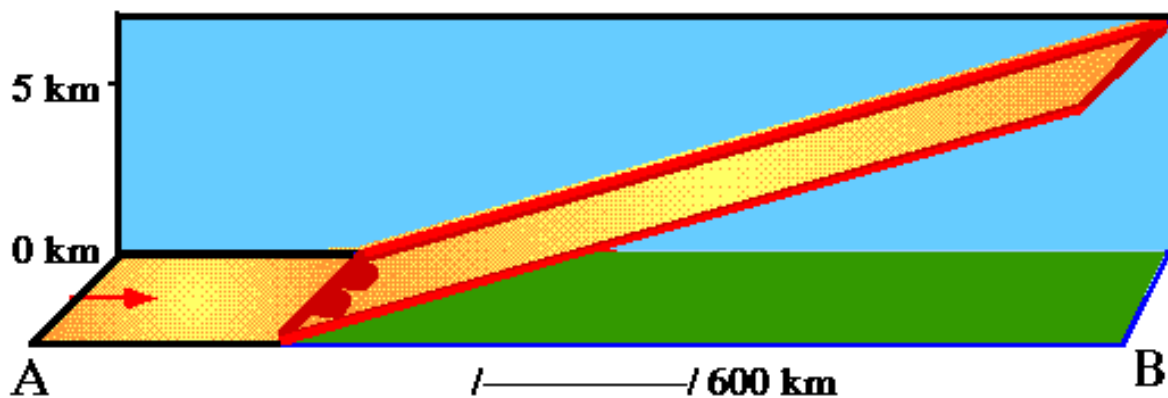
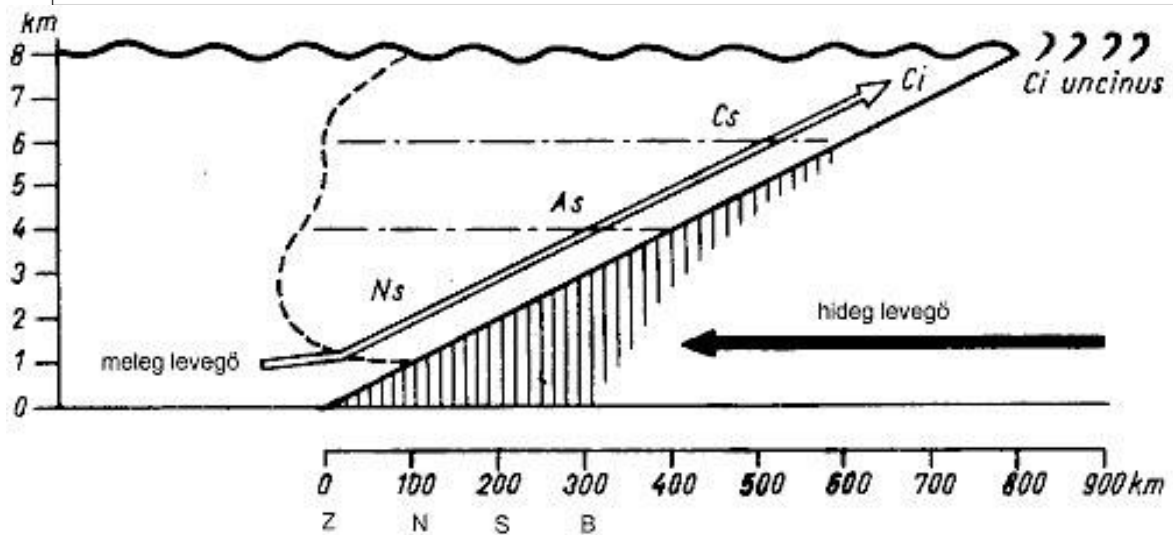
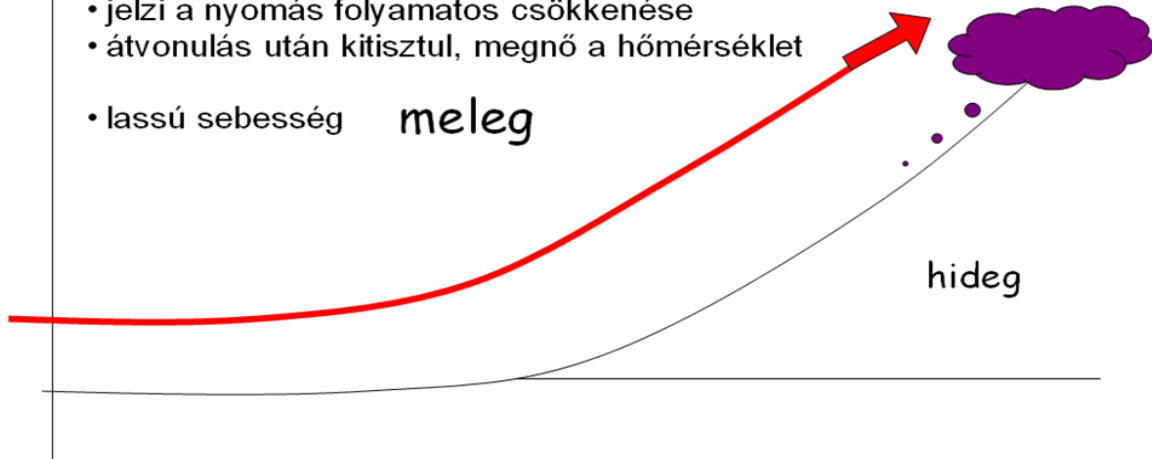
Csapadékintenzitás

- mm/óra, mm/perc



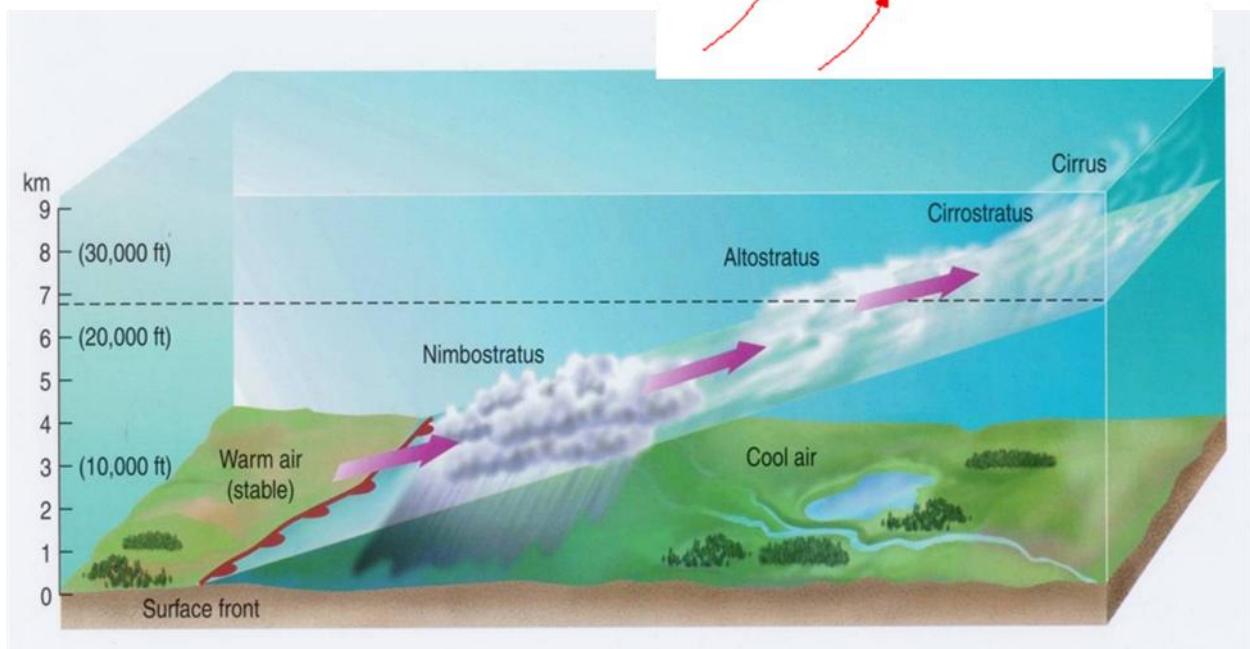
A melegfront

- a meleg levegő felsiklik a hideg levegőre – **anafront**
- adiabatikus lehűlés – felhőképződés a frontvonal előtt több 100 km
- pelyhefelhő, magas rétegfelhő, közepes rétegfelhő, esőrétegfelhő – csendes eső
- jelzi a nyomás folyamatos csökkenése
- átvonulás után kitisztul, megnő a hőmérséklet
- lassú sebesség **meleg**



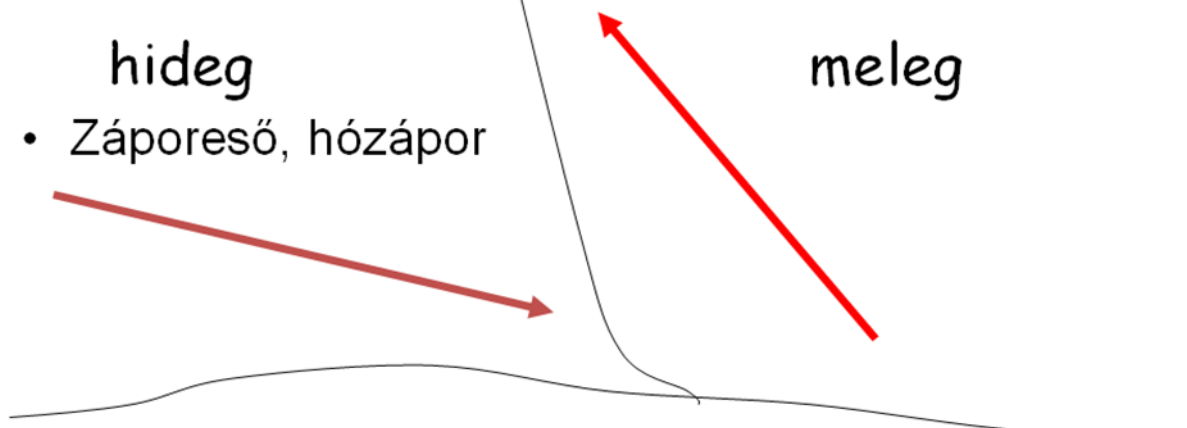
A melegfront

- Jelölése **piros** félkörös vonal



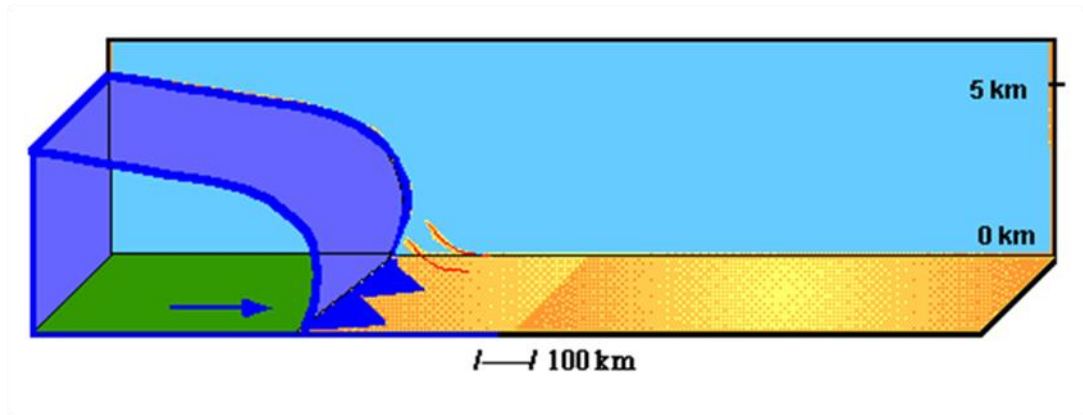
A hidegfront:

- A hideg levegő ékszerűen benyomul a meleg levegő alá
- Erőteljes feláramlás - gomolyos felhőzet, keskeny felhősáv



- Záporosó, hózápor

A hidegfront:

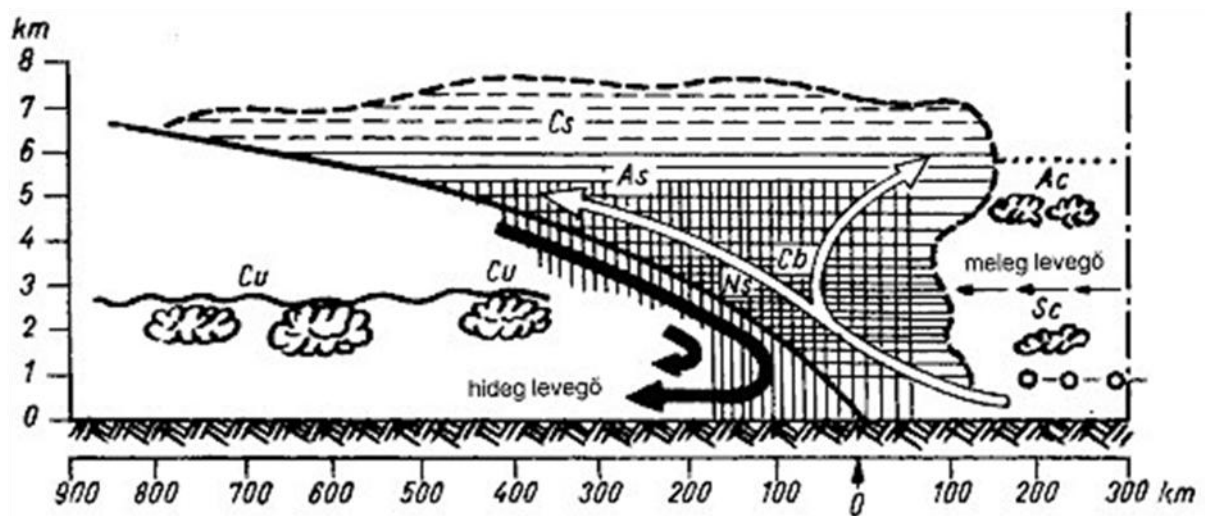


- A jelenség intenzitása és a felhőrendszer szerint:

- elsőfajú hidegfront
- másodfajú hidegfront

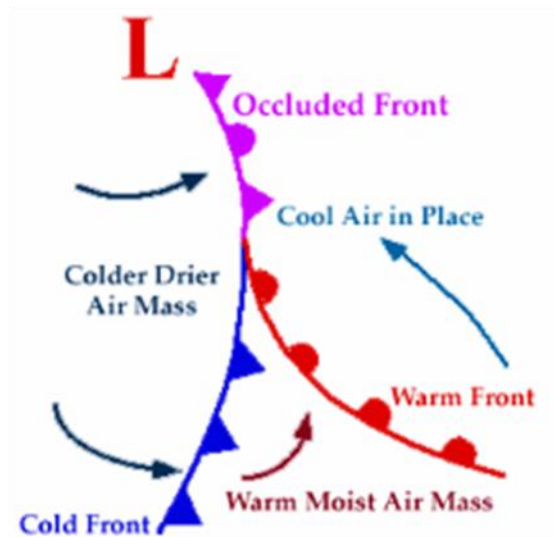
Az elsőfajú hidegfront:

- **Lassú mozgású, kevésbé heves**
- A meleg levegő alá benyomuló hideg levegő anafrontot képez – a felhőzet hasonlít a melegfrontra
- Előbb záporosó majd egyenletes eső

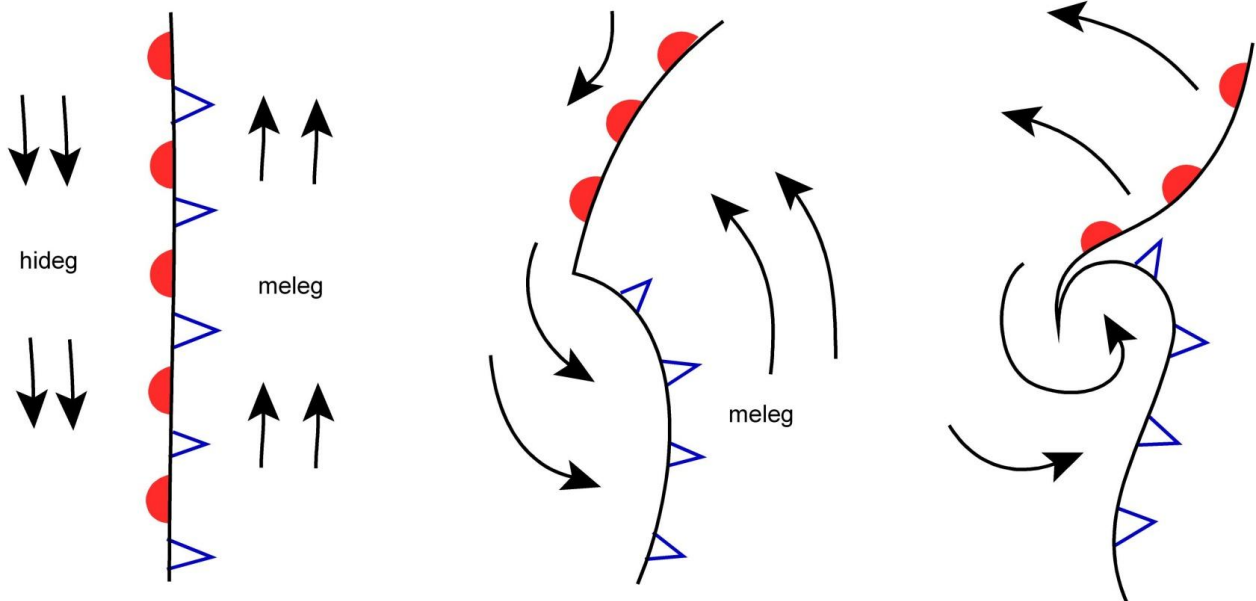


Okklúziós front:

- A frontok eltérő sebességűek, ezért a hidegfront utoléri a melegfrontot
- A két frontfelület összeér és a közöttük lévő meleg levegő felemelkedik



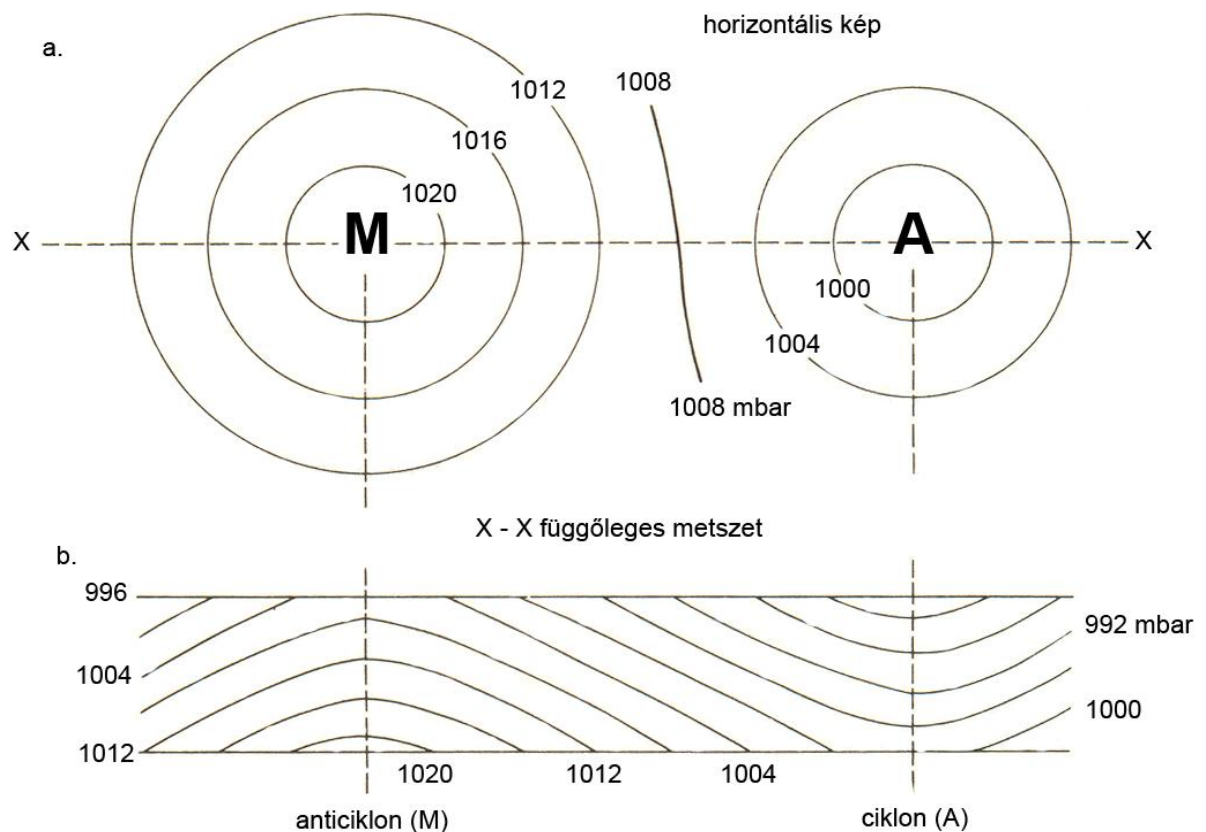
- Tulajdonképpen két hideg légtömeg találkozik

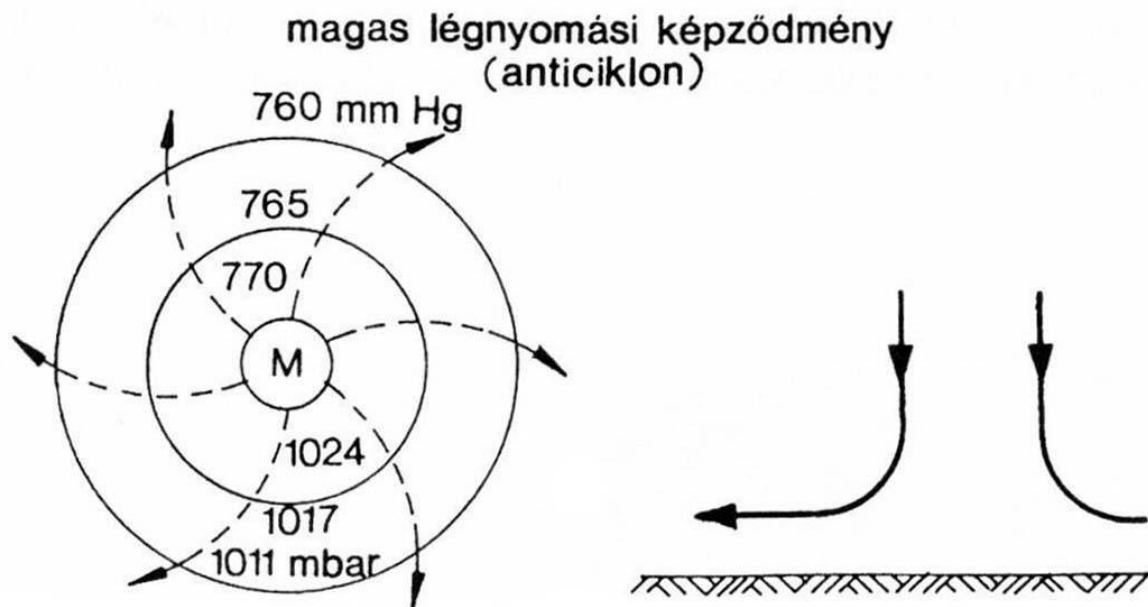


ANTICIKLON

Magas nyomású térség >> befelé a légnyomás növekszik >> nyomás 1050 mb

- É-i féltekén óra járásával megegyező irányba mozog a levegő az anticiklon közepéről a pereme felé
- közepén leszálló légmozgás alakul ki (divergencia)
- felhőoszlatás
- derült égbolt, nyugodt időjárás





Típusai:

1. Szubtrópusi meleg anticiklon:

- stabil
- Ny-K irányban elnyúlt

2. Hideg, téli kontinentális anticiklon:

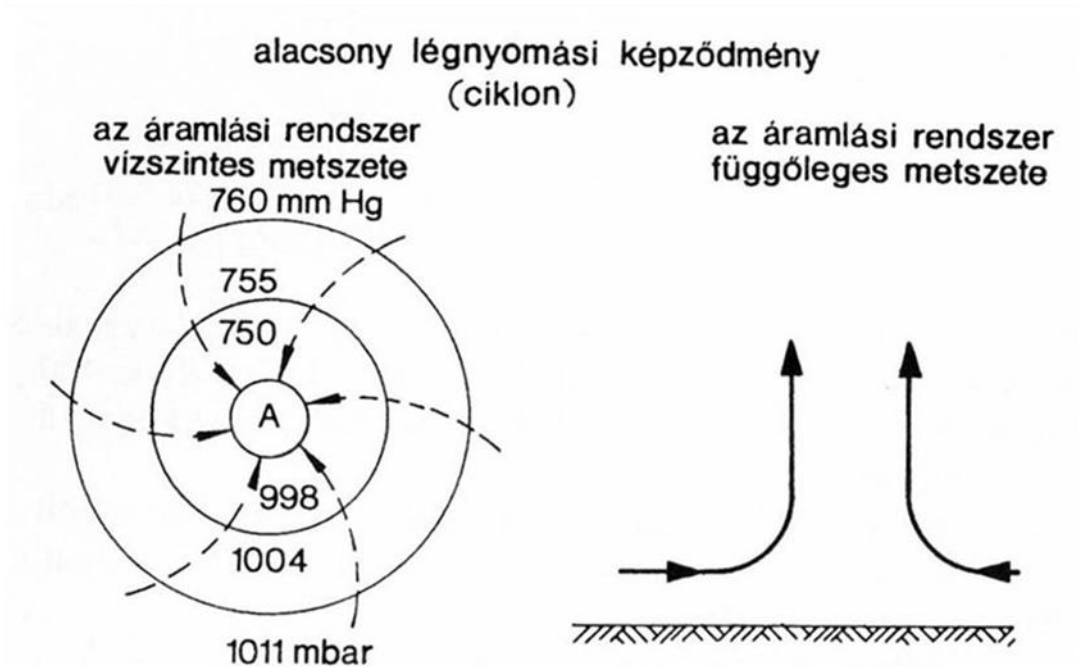
- orosz síkság, Szibéria

3. Köztes anticiklonok

- Izland magasságában, a ciklonsorozatok között alakulnak ki

CIKLON

- nagy kiterjedésű örvénylés
- É-i féltekén óra járásával ellentétes irányba mozog a levegő a ciklon pereméről a belseje felé



- alacsony nyomású térség >> befelé a légnyomás csökken
- középen felszálló légmozgás alakul ki

Alapvetően 2 féle lehet → **mérsékelt övi ciklon**
→ **trópusi ciklon**

1. Mérsékelt övi ciklon

- több száz km átmérő
- 995 mb vagy alacsonyabb
- van benne egy meleg és egy hideg front

Keletkezése:

- a sarkvidéki és mérsékelt övi (poláris) légtömegek határán >>
arktikus éghajlati front (60°-70°)
- ritkábban a mérsékelt övi és szubtrópusi légtömegek határán >>
poláris éghajlati front (30°-40°)

Ciklon

