

Stabilitás

Kondenzáció

(a felhők kialakulása)

Csapadékképződés

A felhők kialakulása

Miért keletkeznek a légkörben néha
stratus (St) felhők,
máskor *cumulus* (Cu), vagy / és
cumulonimbus (Cb) felhők?

A felfelé emelkedő és a lefelé süllyedő légrészecske hőmérséklete változik

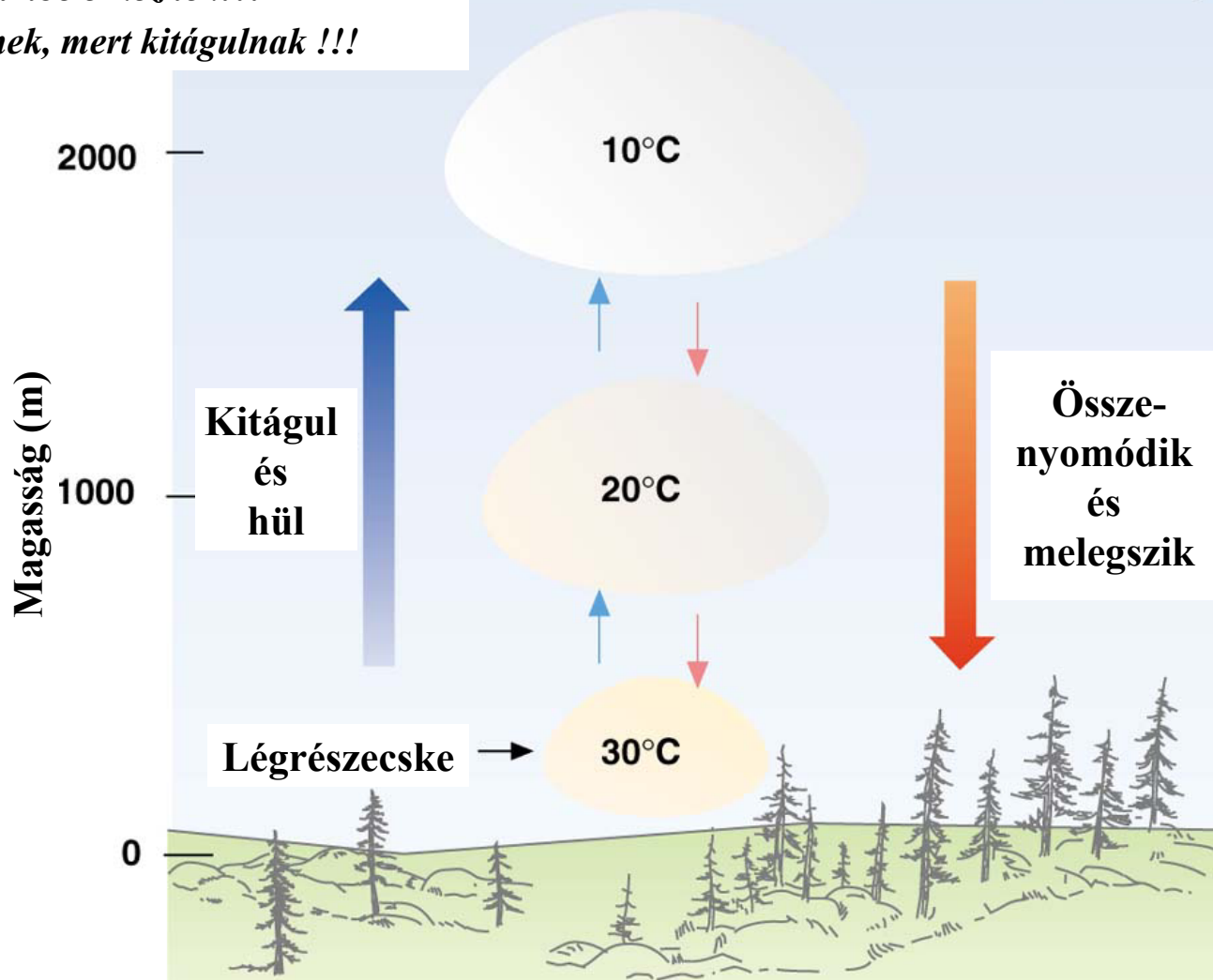
Emlékezzünk, hogy a troposzférában felfelé haladva a hőmérséklet átlagos csökkenésének mértéke: 6.5°C/km.

Formulával felírva ezt a csökkenést (hőmérsékleti gradiens):

$$\Delta T / \Delta z = - 6.5 \text{ (}^\circ\text{C/km)}$$

FONTOS: A felfelé emelkedő levegő részecskék NEM azért hűlnek, mert hidegebb rézsimbe érkeznek!!!

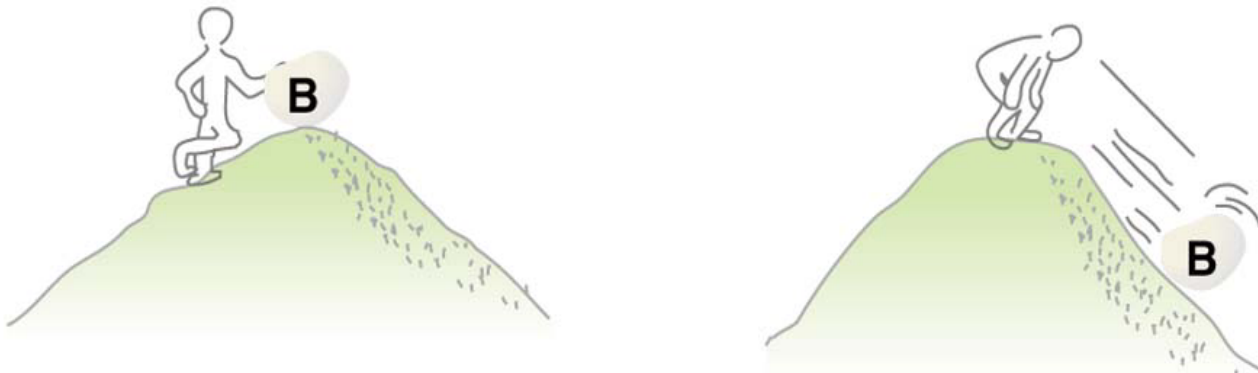
Azért hűlnek, mert kitágulnak !!!



Stabilitás és instabilitás



Stabil egyensúlyi állapot



Bizonytalan egyensúlyi állapot

A léggör stabil és instabil állapotai

Stabil léggör:

a függőlegesen elmozdított légrészecske spontán módon visszatér az eredeti állapotába.

Instabil léggör:

a függőlegesen elmozdított légrészecske spontán módon folytatja a megkezdett mozgást, ezzel eltávolodva eredeti pozíciójától.

Semleges stabilitású léggör:

a függőlegesen elmozdított légrészecske sem nem tér vissza eredeti állapotába, sem nem mozog tovább.

A hőmérsékleti gradiens értéke függ a levegő nedvességtartalmától

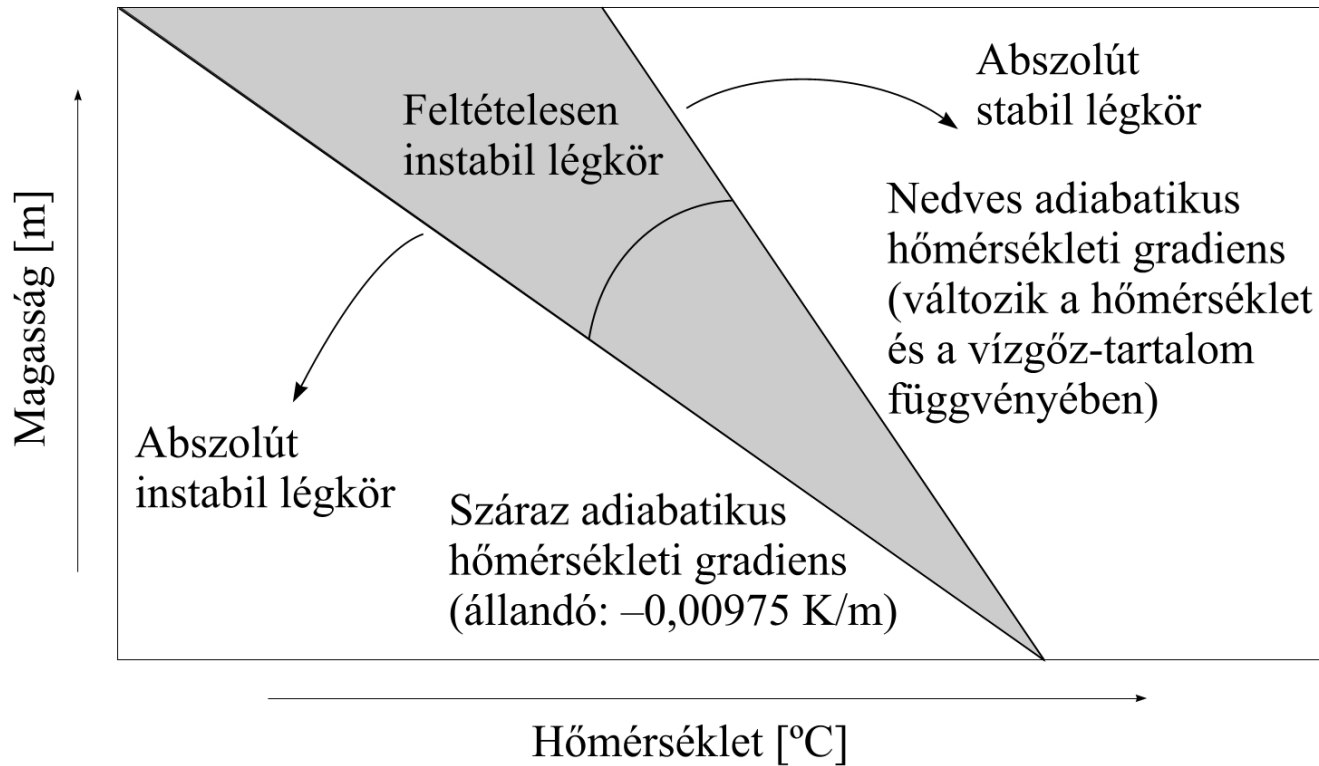
Teljesen száraz levegő esetén:

$$\Delta T / \Delta z = -10 \text{ °C/km}$$

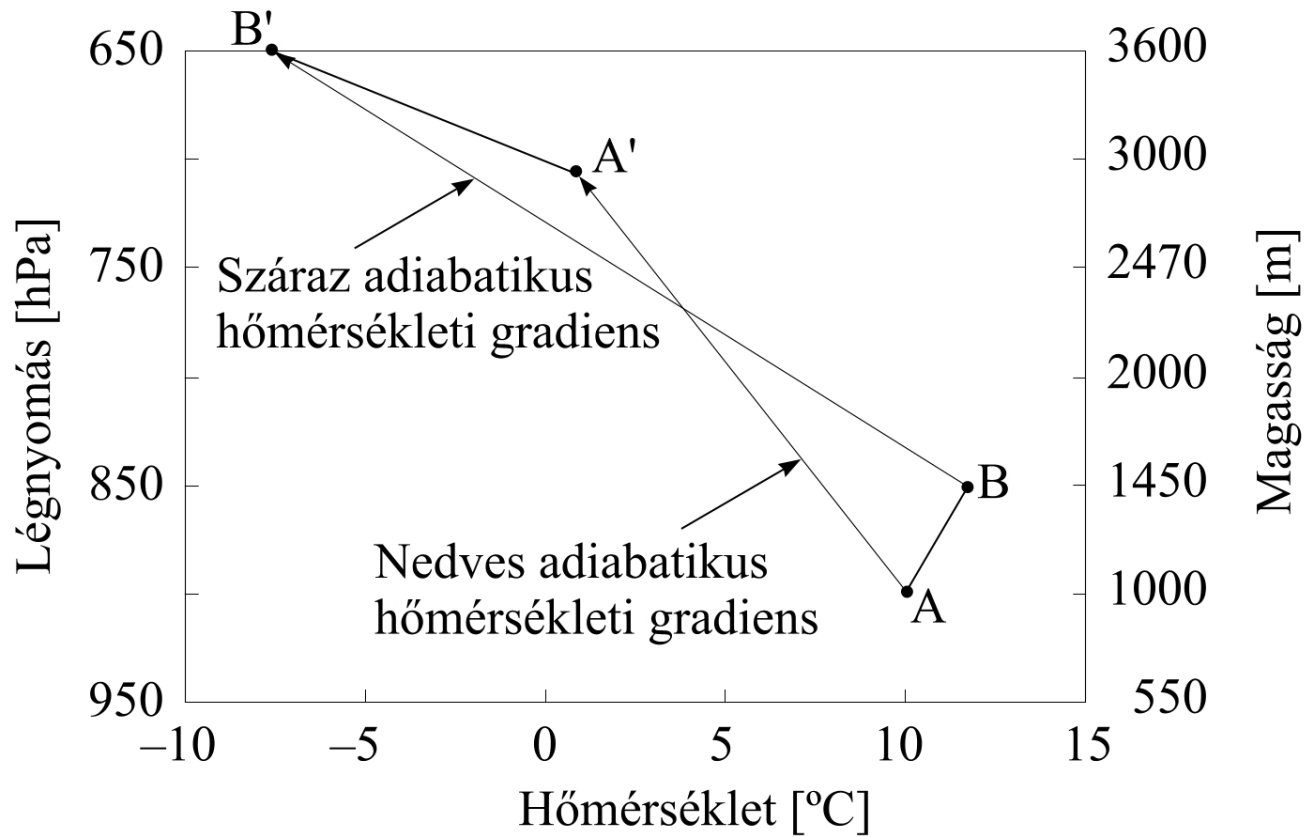
Nedves levegő esetén:

$$\Delta T / \Delta z = (-4) - (-9) \text{ °C/km}$$

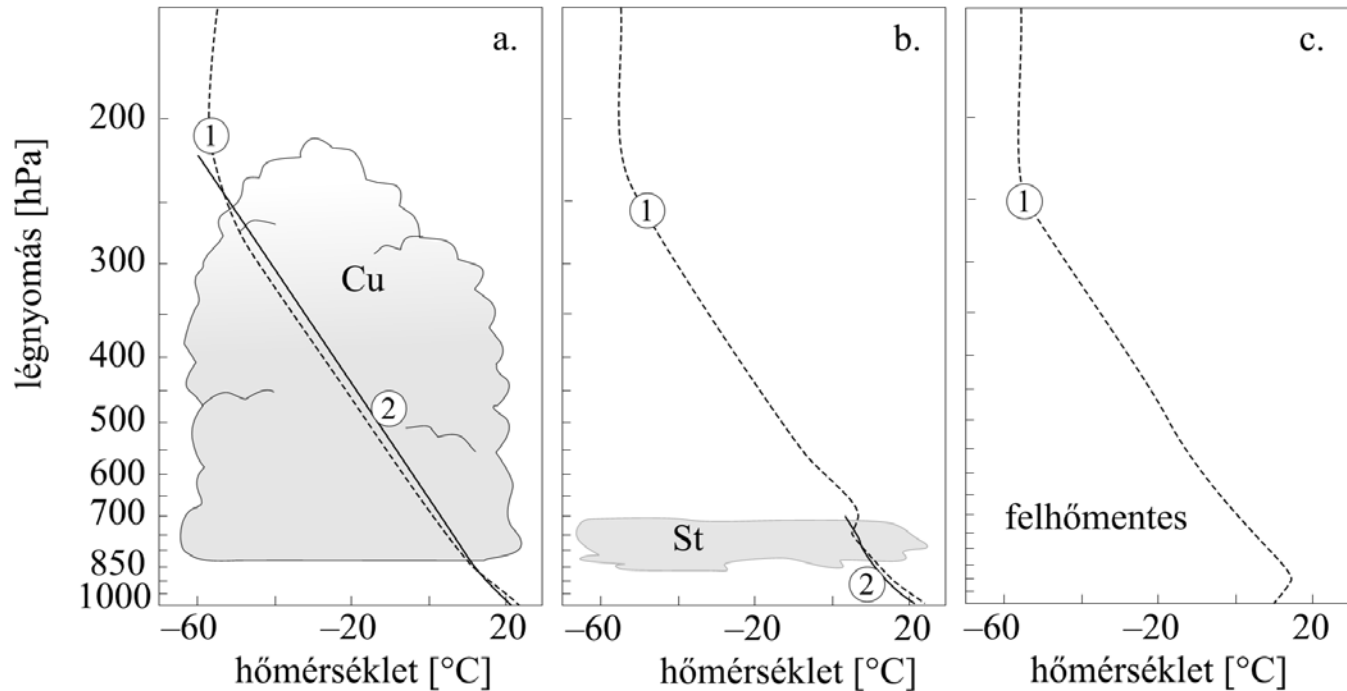
Stabilitás és instabilitás



Stabilitás és instabilitás



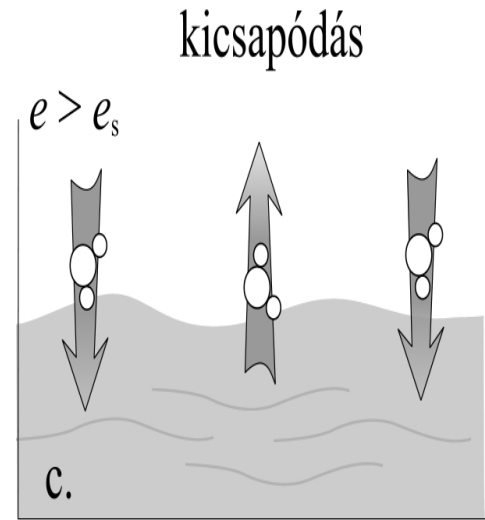
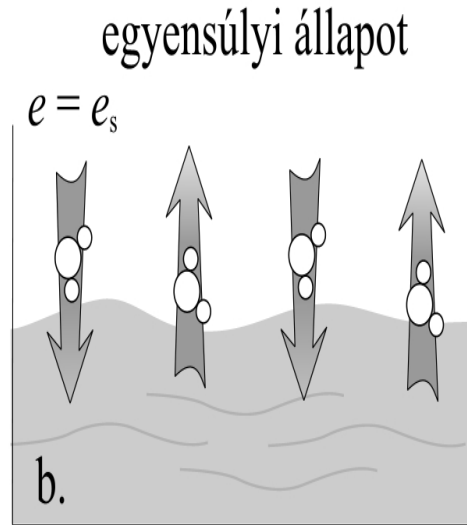
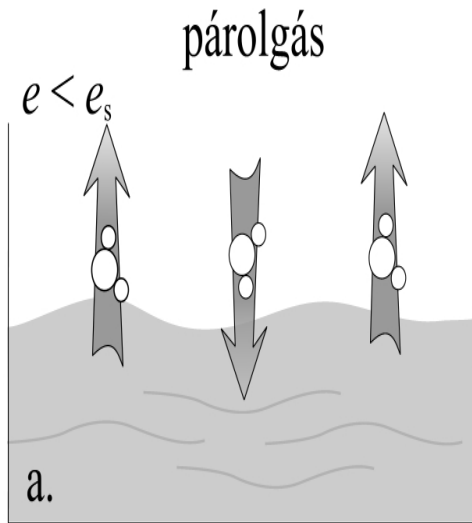
Stabilitás és instabilitás



----- száraz adiabatikus emelkedés (1)

———— nedves adiabatikus emelkedés (2)

Légköri egyensúlyi állapotok (párolgás, kicsapódás)



Túlsúlyban:

Párolgás (e_s)

egyik sem

kicsapódás (e)

II.

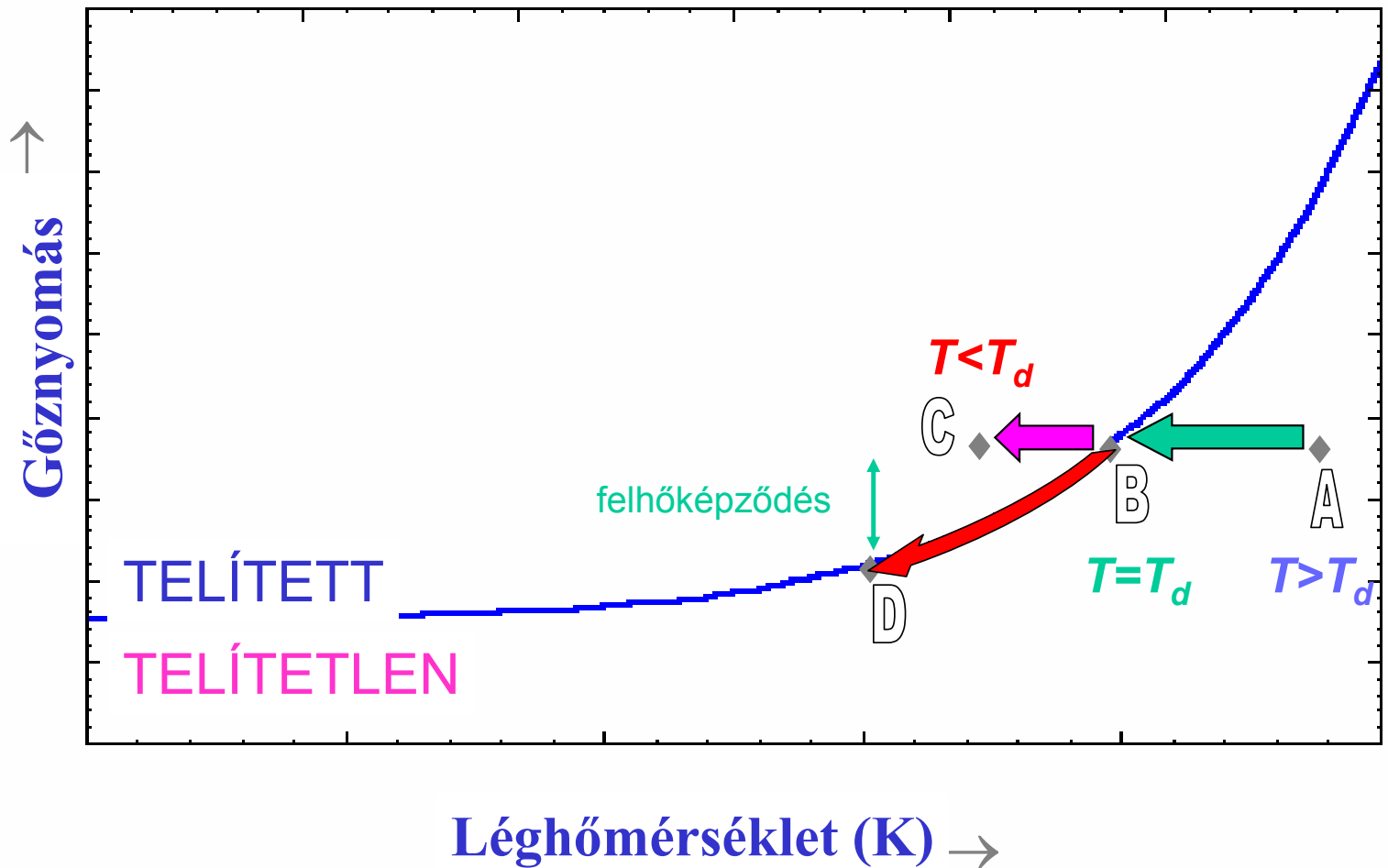
Harmat, köd és felhőképződés:

a légköri víz kicsapódása

Kondenzáció (vagy kicsapódás): mely során a vízgőz harmattá, zúzmarává, felhővé, köddé alakul



A vízgőz többlet kondenzációja (kicsapódása)



T : léghőmérséklet

T_d : harmatpont

Quiz kérdés: Mikor nincs esélye a fűszálakon a harmat, illetve a zúzmara képződésnek ?

- **éjszaka;**
- **egy szeles, száraz napon;**
- **szélcsendes időben;**
- **mikor az égbolt derült;**

Quiz kérdés: Mikor nincs esélye a fűszálakon a harmat, illetve a zúzmara képződésnek ?

- **éjszaka;**
- **egy szeles, száraz napon;**
- **szélcsendes időben;**
- **mikor az égbolt derült;**

A kondenzáció (párakicsapódás) emberi eredetű is lehet

9-4-1994,
07:10:
STS-59 launch



A repülők „kondenz” (kondenzációs) csíkjai



Köln felett

Frankfurt felett (7 csík)



A repülőik kondenz (kondenzációs) csíkjai

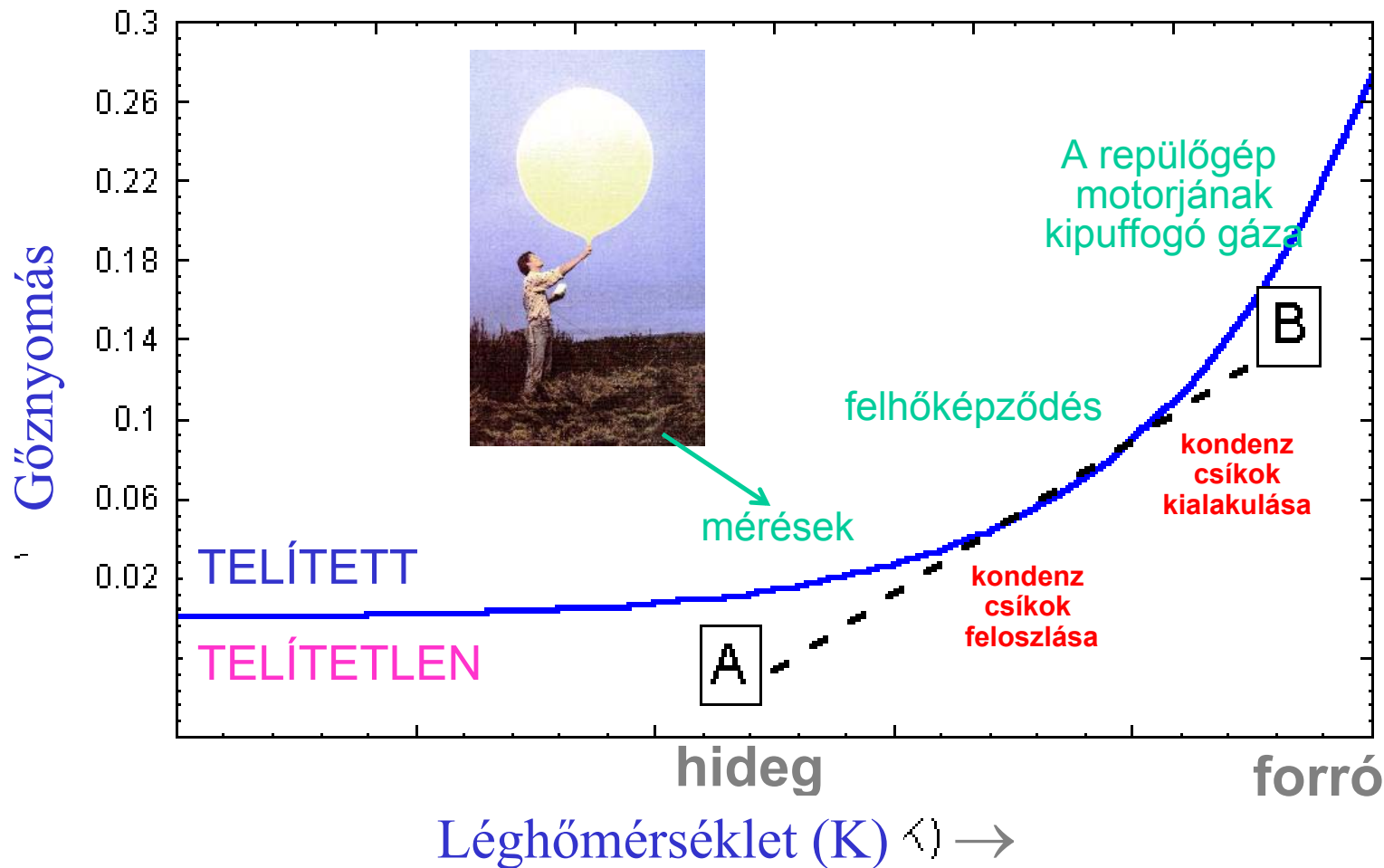
A szárnycsúcsok keltette örvények



A repülők kondenz (kondenzációs) csíkjai



A „kondenz csíkok” kialakulásának háttérében elsősorban a forró és a jeges levegő keveredése áll



Kondenzációs csíkok és a felhőzet



**Észak-Atlanti
folyosó,
Újfundlandtól
keletre**

**A felhőzet 10%-kal
növekedett**

**vékony, magassintű
felhők,
szignifikánsan
melegítik az
éghajlatot**

A legtöbb kondenzációs folyamat a Földön természetes eredetű



Porviharok a Földközi tenger felett (a Szahara homokja)



**2000. augusztus 25., TOMS szenzor SEAWIFS műhold
(a műholdképek alapján lehetséges a por koncentráció becslése)**

A földi szelek aeroszol szállítása ~ 200 tonna aeroszol /év

Műholdas megfigyelés:

Fényszennyezés

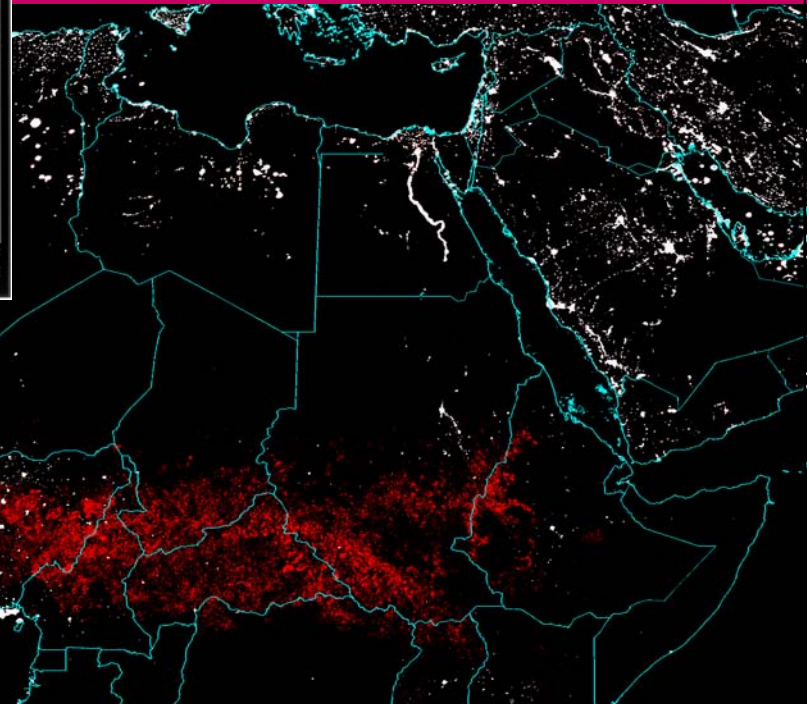
Biomassza égetés:

1994. október – 1995. március



Fények- fehér,

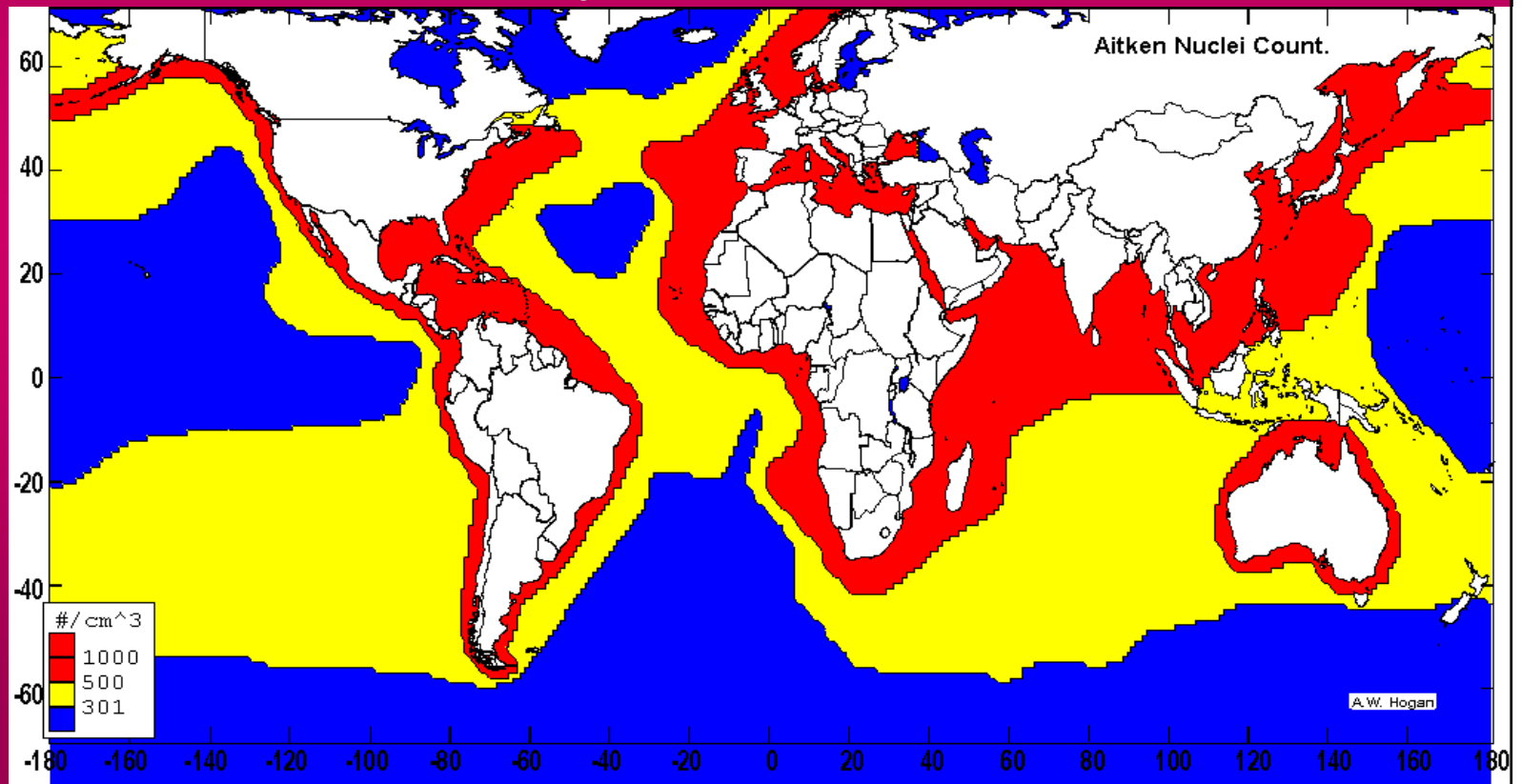
Tüzek - piros



A kondenzációs magvacskák eloszlása

1. A kondenzációs magvacskák száma nagy
2. Ezért, ha a RH eléri a 100%-ot akkor megindulhat a kondenzáció
3. A kondenzációs magvacskák száma nagyobb a kontinensek felett, így a szárazföldek feletti felhőkben több, de kisebb méretű kondenzációs magvacska található

Aitken részecskék koncentrációja



Köd: felhők a felszín közelében



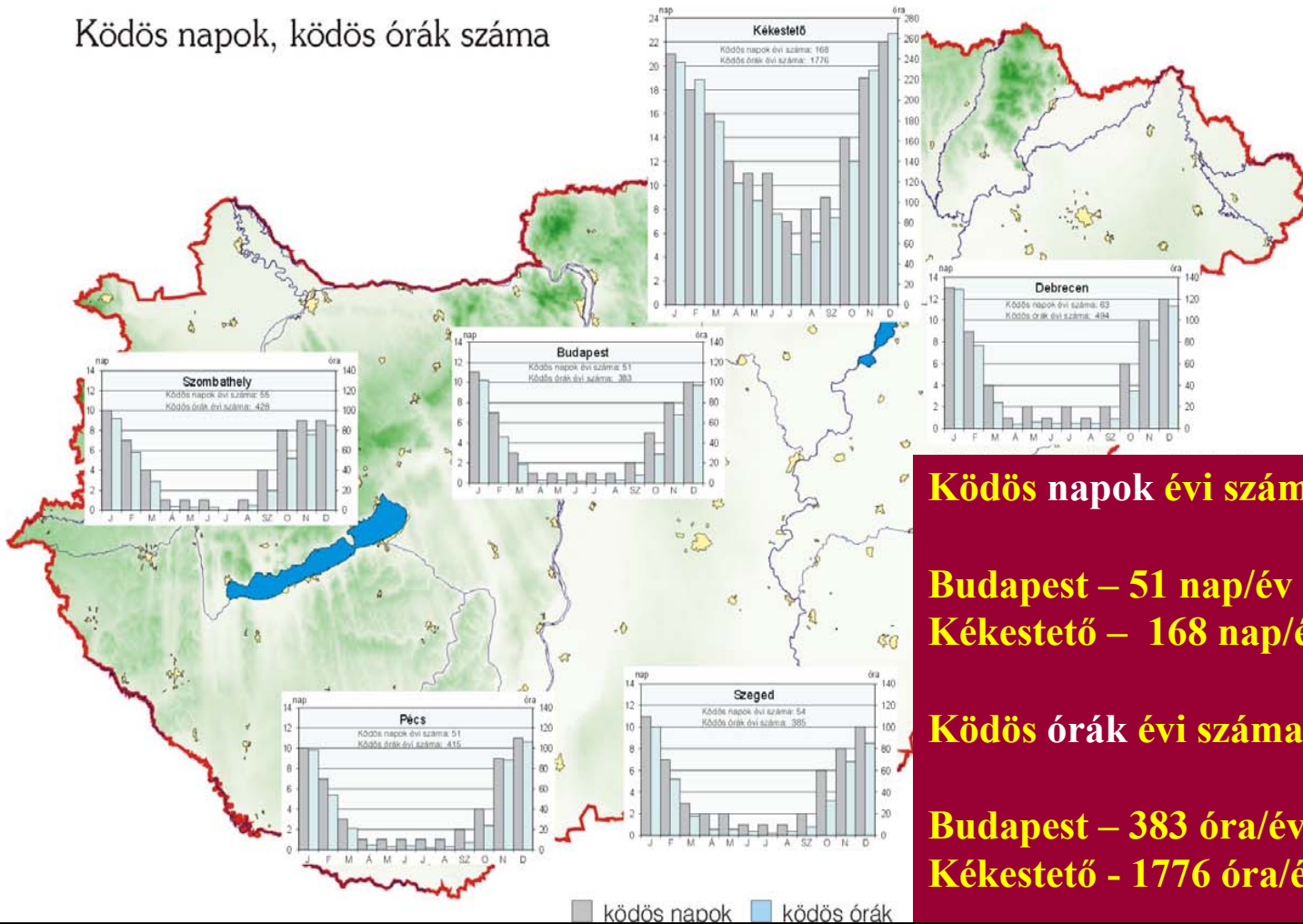
Köd definíció:
a látástávolság < 1 km



© 2003 Brooks/Cole Publishing
a division of Thomson Learning, Inc.

Évi ködgyakoriságok/tartamok Magyarországon

Ködös napok, ködös órák száma



Ködös napok évi száma:

Budapest – 51 nap/év

Kékestető – 168 nap/év

Ködös órák évi száma:

Budapest – 383 óra/év

Kékestető - 1776 óra/év

Ködök fajtái

- **Kisugárzási kód**
(“talajmenti kód”)
- **Advekción kód**
- **Lejtő kód**
- **Bepárolgási kód**

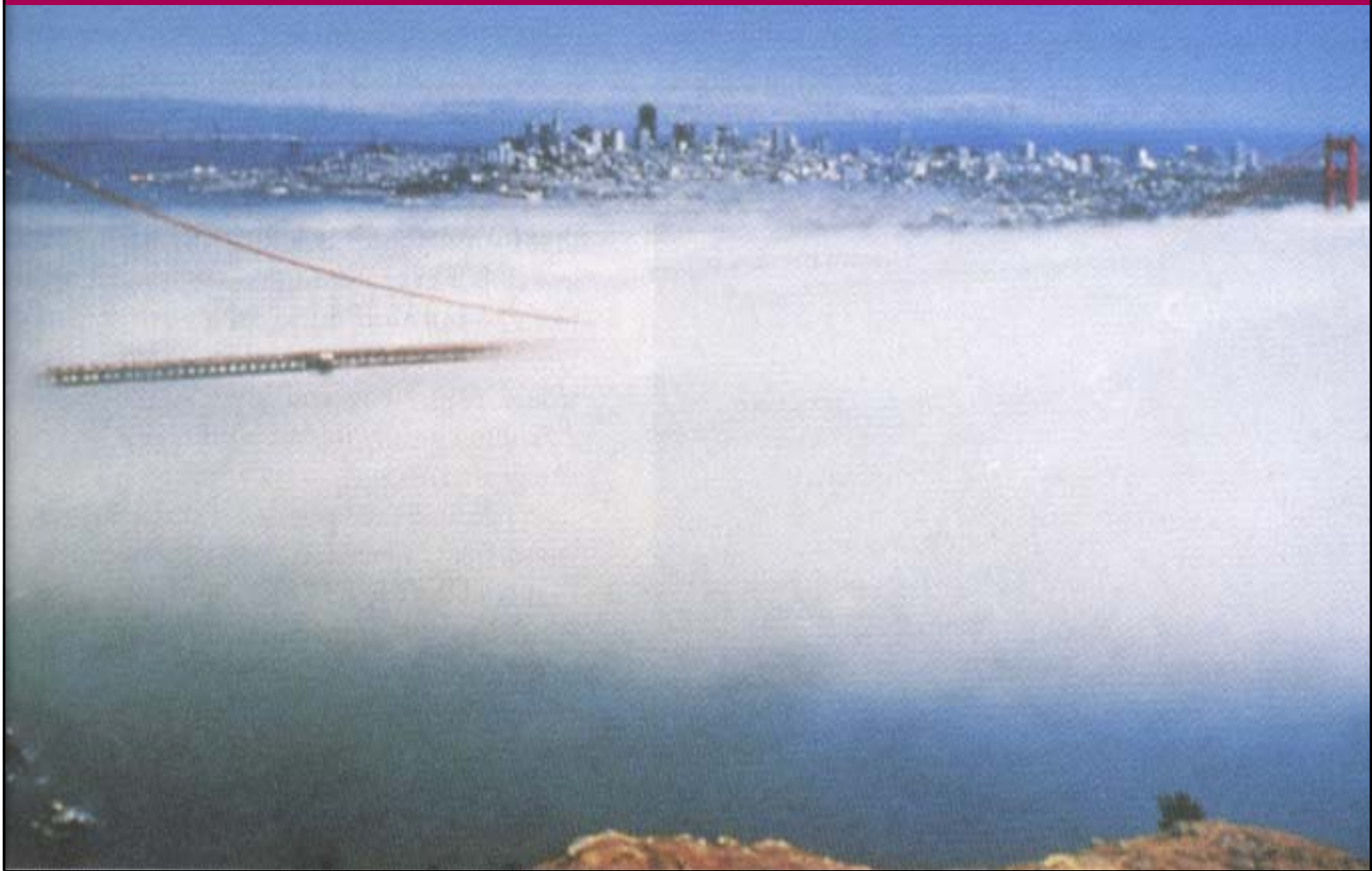
Ködképződés lehűlés útján: Kisugárzási köd



Kisugárzási köd (“talajmenti köd”)

- **Derült éjszakán, gyenge szellő, s egy relatíve nedves légtömeg jelenlétében alakul ki.**
- **A felszínközeli ködök gyakran benn rekednek (bezárulnak) a völgyekbe: miért ?**
- **A ködréteg gyakran megvastagszik (mivel a kisugárzás révén felülről is hűl a ködréteg).**

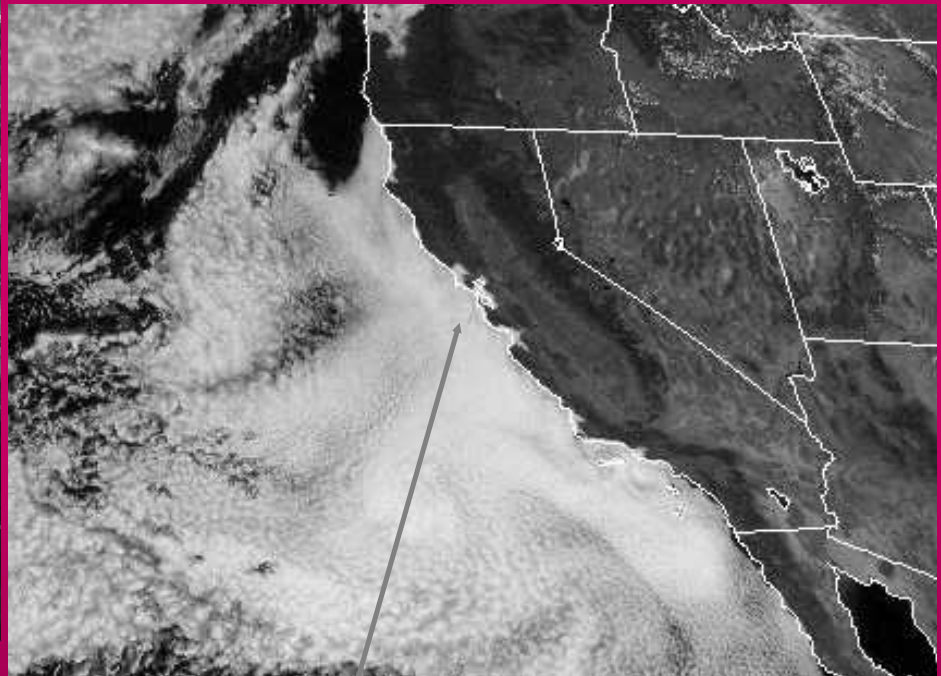
Advekcións köd



Kisugárzási és advekciós köd (műholdfelvételek alapján)



**Téli kisugárzási köd a
California-i központi
völgyben**

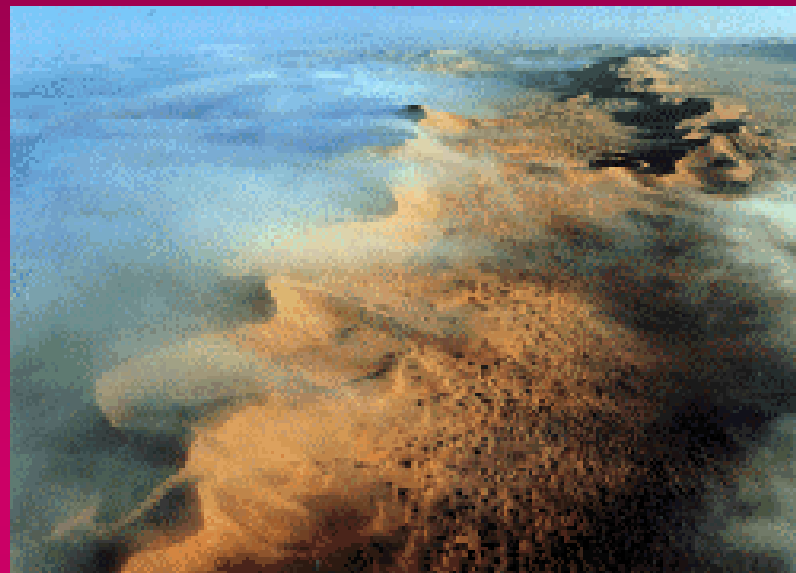


**Nyári advekciós köd a kaliforniai
partok mentén**

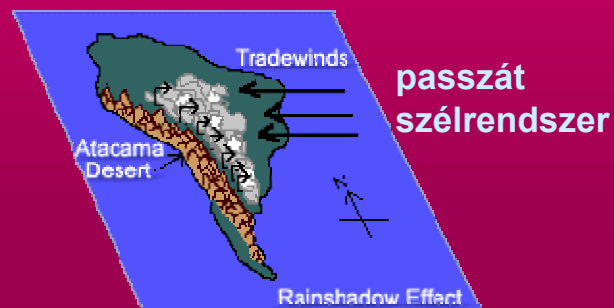
Advekcációs ködök szinte állandóan jelen vannak bizonyos területeken



Az afrikai Namíbiai sivatagban élő *Welwitschia mirabilis* növény életben maradása csak az advekcációs ködtől függ.



A dél-amerikai Atacama sivatag élővilága is advekcációs köd függő



Lejtő köd



Lejtő köd

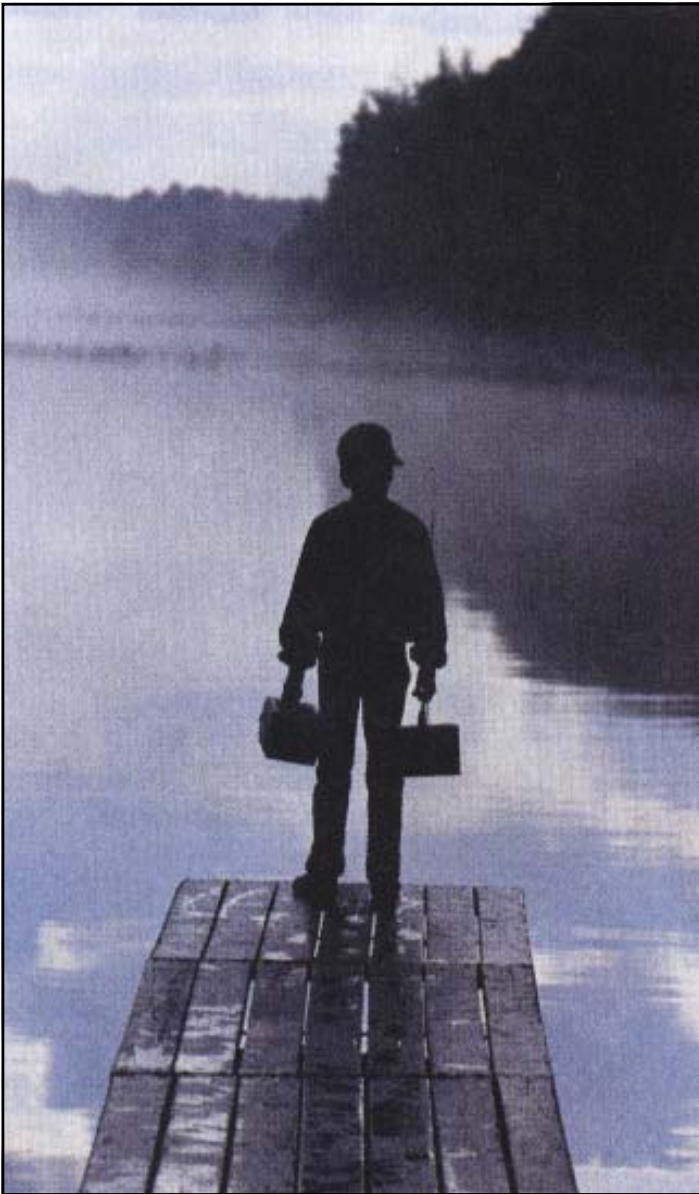
©2001 Brooks/Cole - Thomson Learning



LEJTŐ KÖD

- Felemelkedés: lehűléssel (a tágulás miatt).
- Egészen a kondenzációs szintig.
- A telített levegő minden további emelkedése során köd keletkezik

Bepárolgási köd



© 2003 Brooks/Cole Publishing
a division of Thomson Learning, Inc.



©2001 Brooks/Cole - Thomson Learning

Bepárolgási köd



A felhők túlhűlt cseppecskéi nagy veszélyt rejtenek a repülés számára....

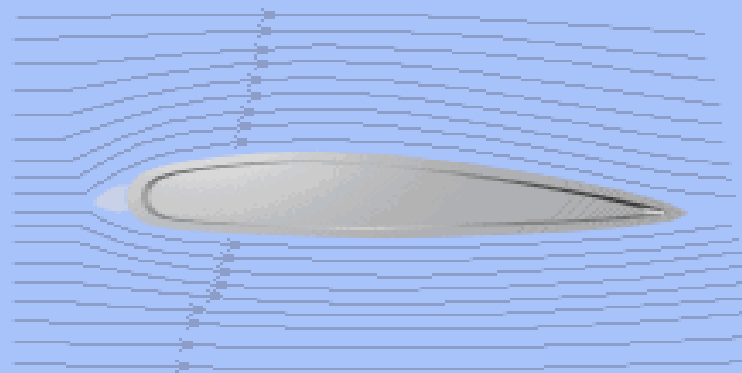


A sima jég képződése a repülőgépen komoly veszélyt jelenthet. (Ez akkor alakulhat ki, ha a repülő túlhűlt cseppecskéket tartalmazó felhőn repül át.)

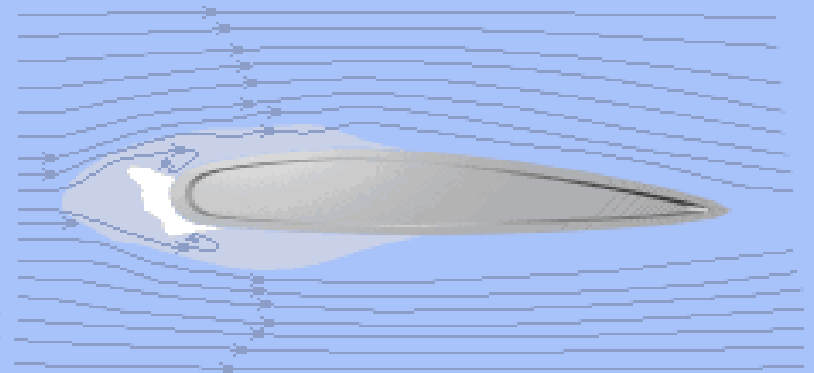
Miért?

Mit csinálnak a képen?

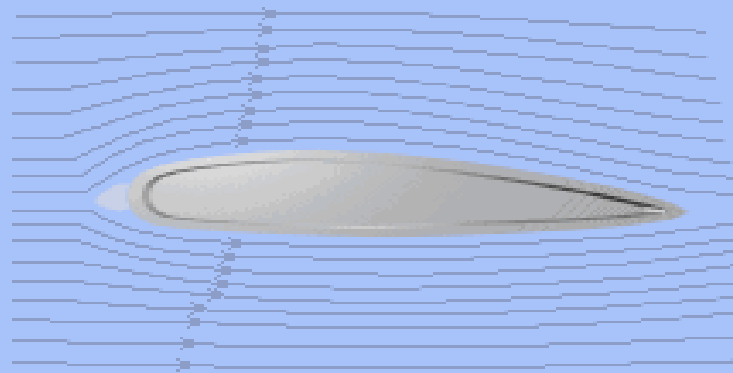
A szárnyakon kialakuló jég csökkenti a levegő emelő hatását! Esetleges asszimetria!





Uniced Airfoil



Flow Disruption from Clear or Mixed Ice



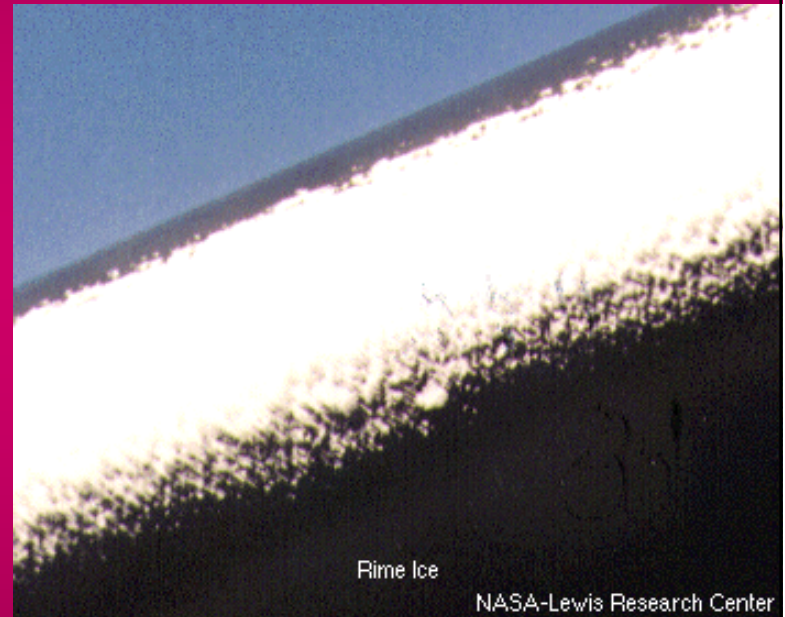
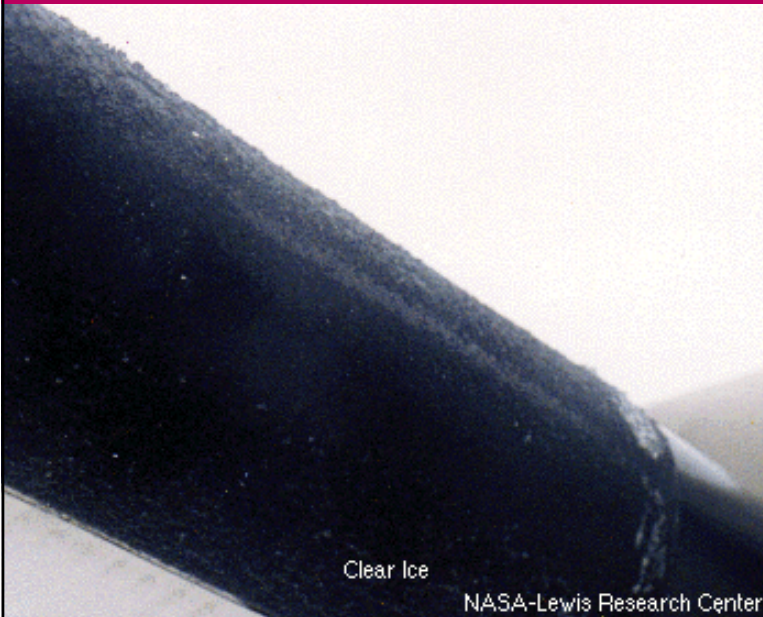
After De-Icing Boot is Activated

-  Turbulent or stagnant region
-  Clear or mixed ice accretion

A repülőgép szárnyainak jegesedése

Nagy túlhűlt cseppek

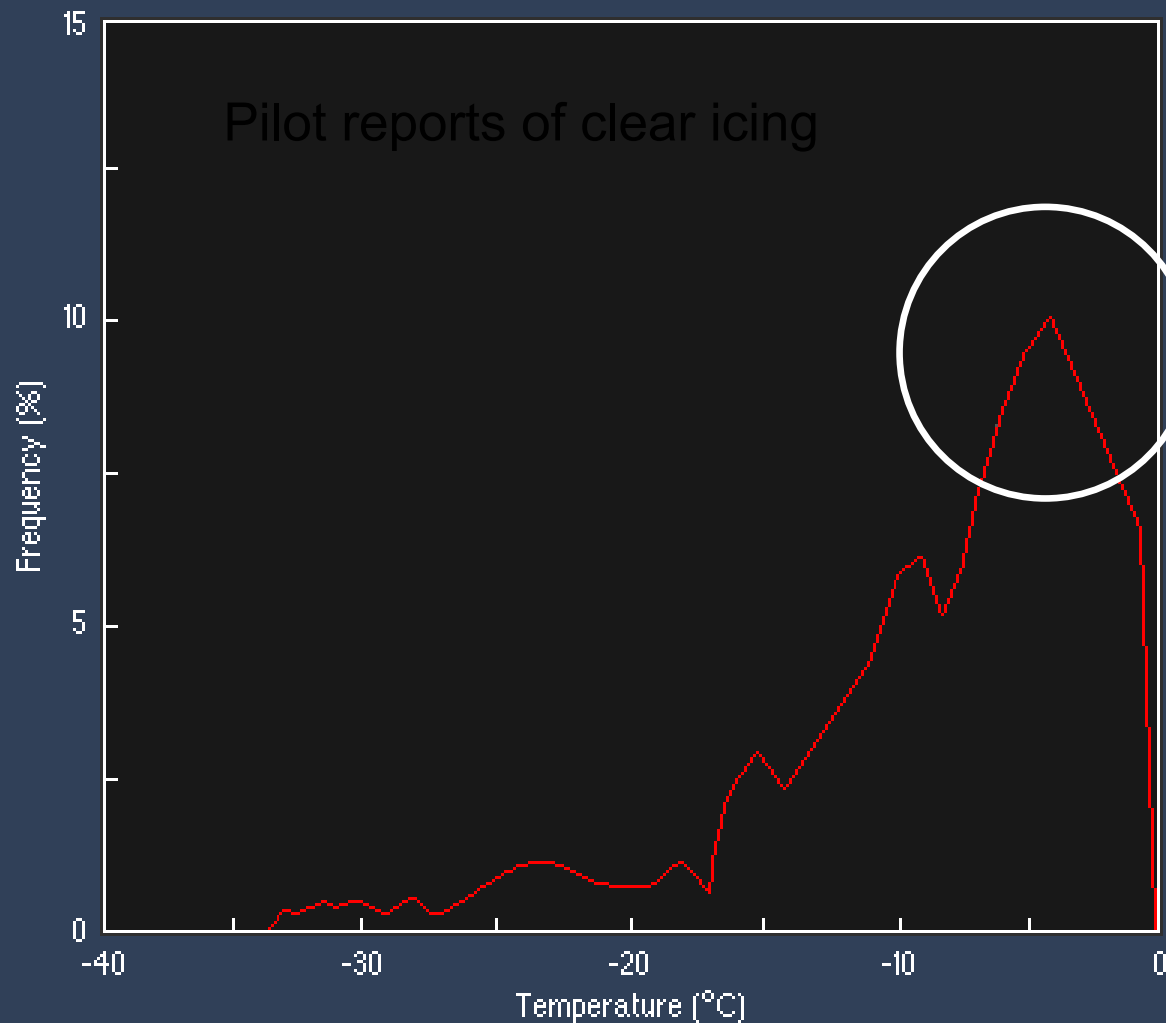
Kis túlhűlt cseppek



Sima jég

Zúzmara jellegű jég

Pilot reports of clear icing



Clear Icing PIREP Frequency vs Temperature

Modified from Politovich

**A jege-
sedés
gyako-
riság
hőmér-
séglet-
függése**

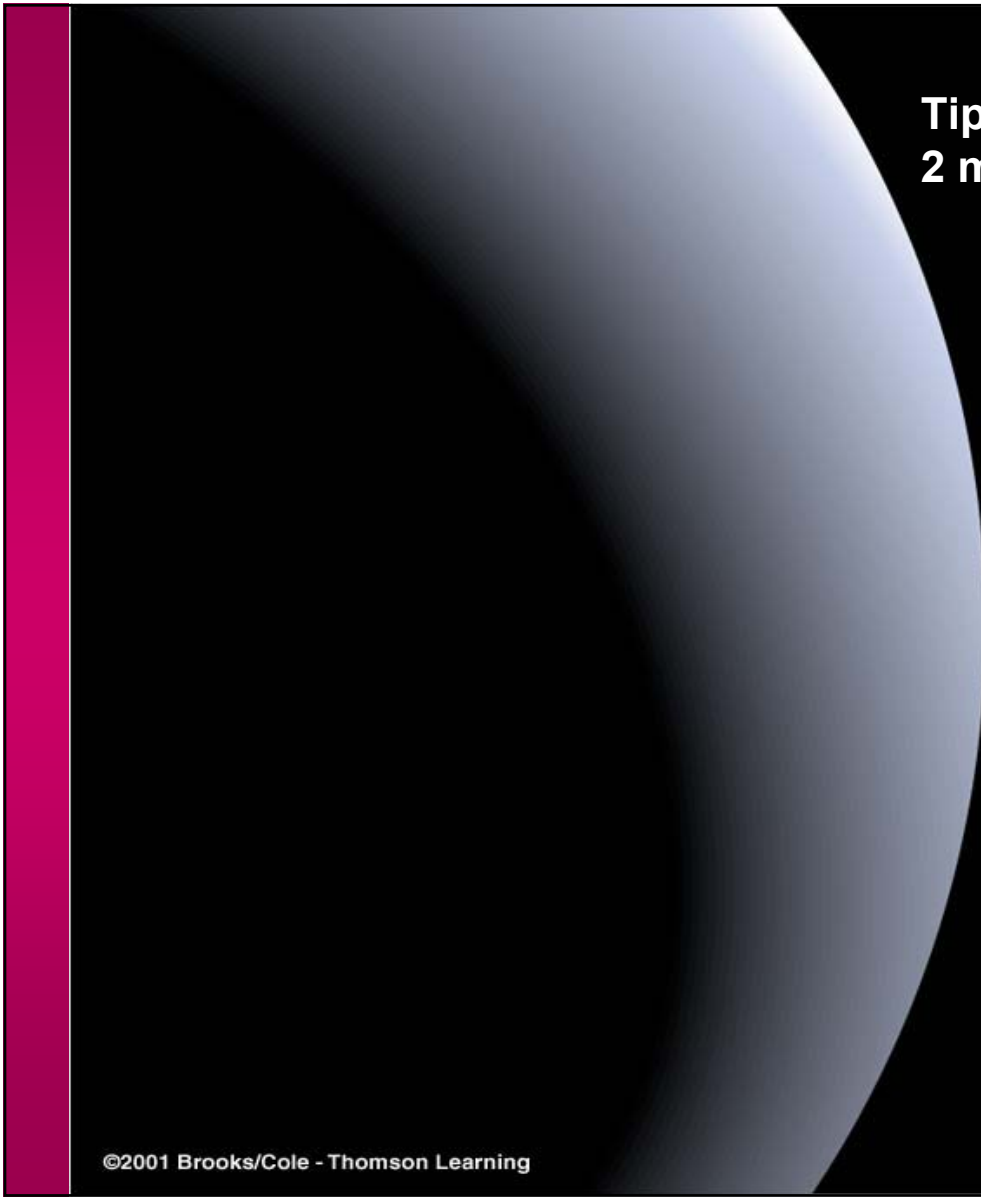
CSAPADÉK

HOGYAN KELETKEZIK A CSAPADÉK?

**MIÉRT HULLIK CSAPADÉK EGYES
FELHŐKBŐL, MÁSOKBÓL MEG NEM?**

**MILYEN TÉNYEZŐK BEFOLYÁSOLJÁK,
HOGY MILYEN FORMÁBAN HULLIK A
CSAPADÉK?**

Hogy megválaszolhassuk a fenti kérdéseket,
elemezzük a **felhőelemek** és az **esőcseppek**
méretét.



**Tipikus esőcsepp
2 mm**

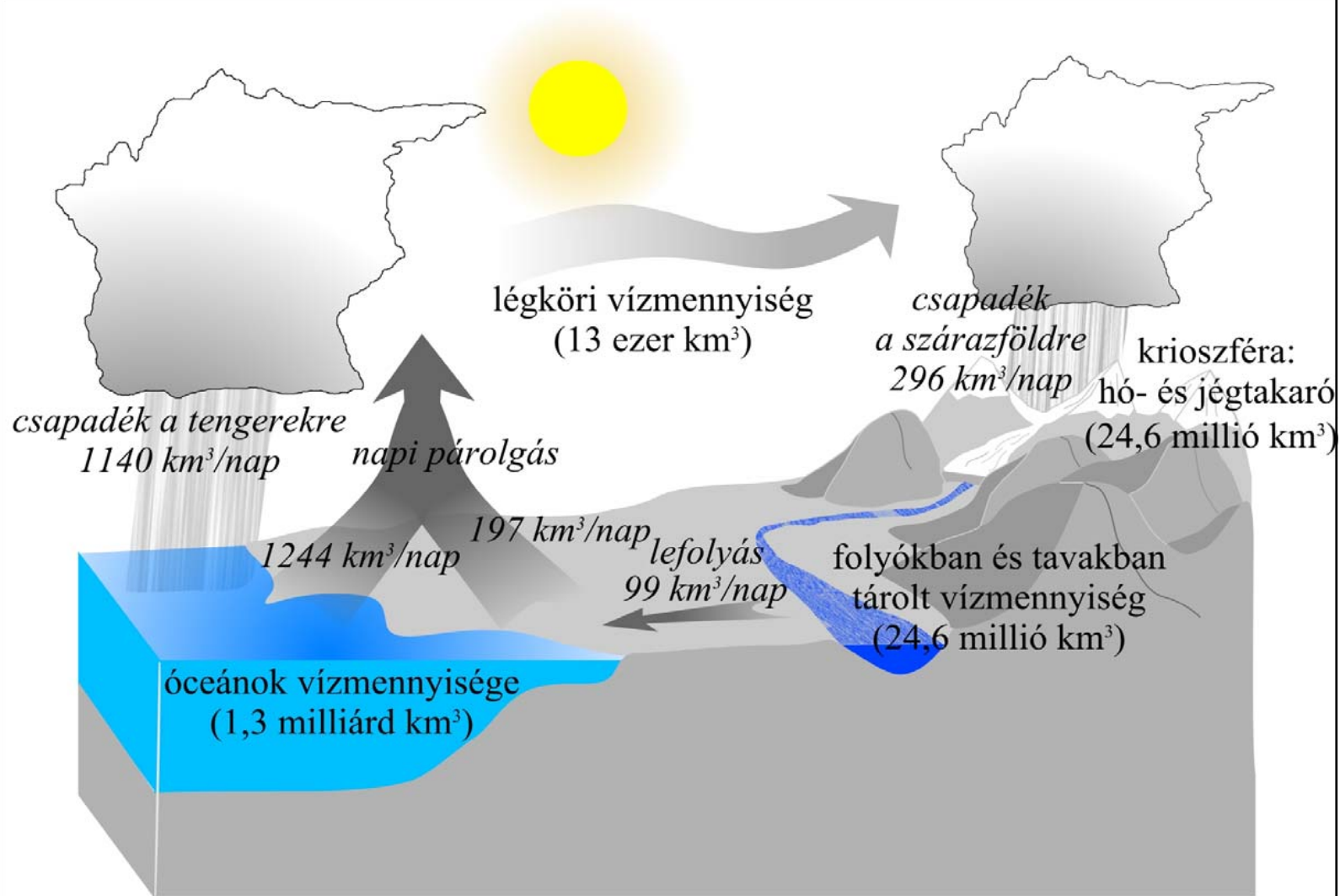


**Tipikus
felhőrészecske
0,02 mm**



**Tipikus kondenzációs
magvacska
0,0002 mm**

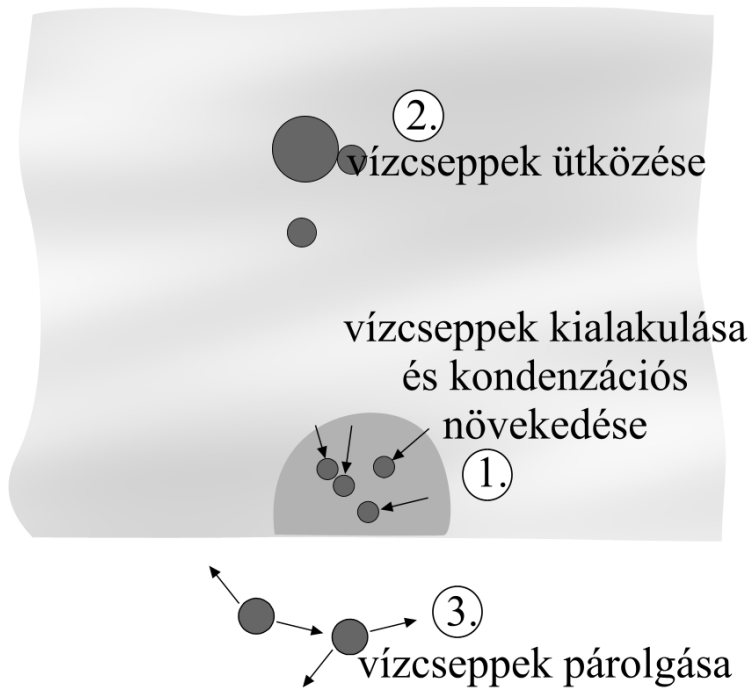
A víz körforgása



Csapadékképződés - 0°C feletti rétegfelhőkben

a.

0°C



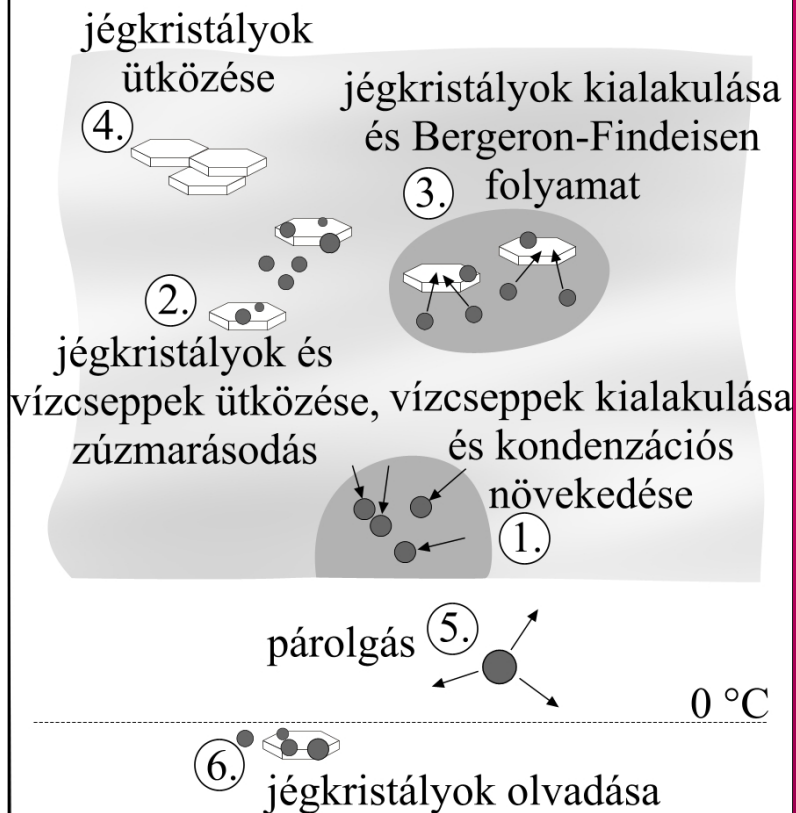
- **(1) vízgőz kondenzációja**
- **(2) vízcseppek ütközése**
 - hosszú élettartam
 - 1-2 m/s feláramlási sebesség

⇒ 100 µm-es vízcsepp is kialakulhat
- **(3) párolgás miatt cseppek mérete csökken**

⇒ nem biztos, hogy csapadék eléri a Földfelszínt

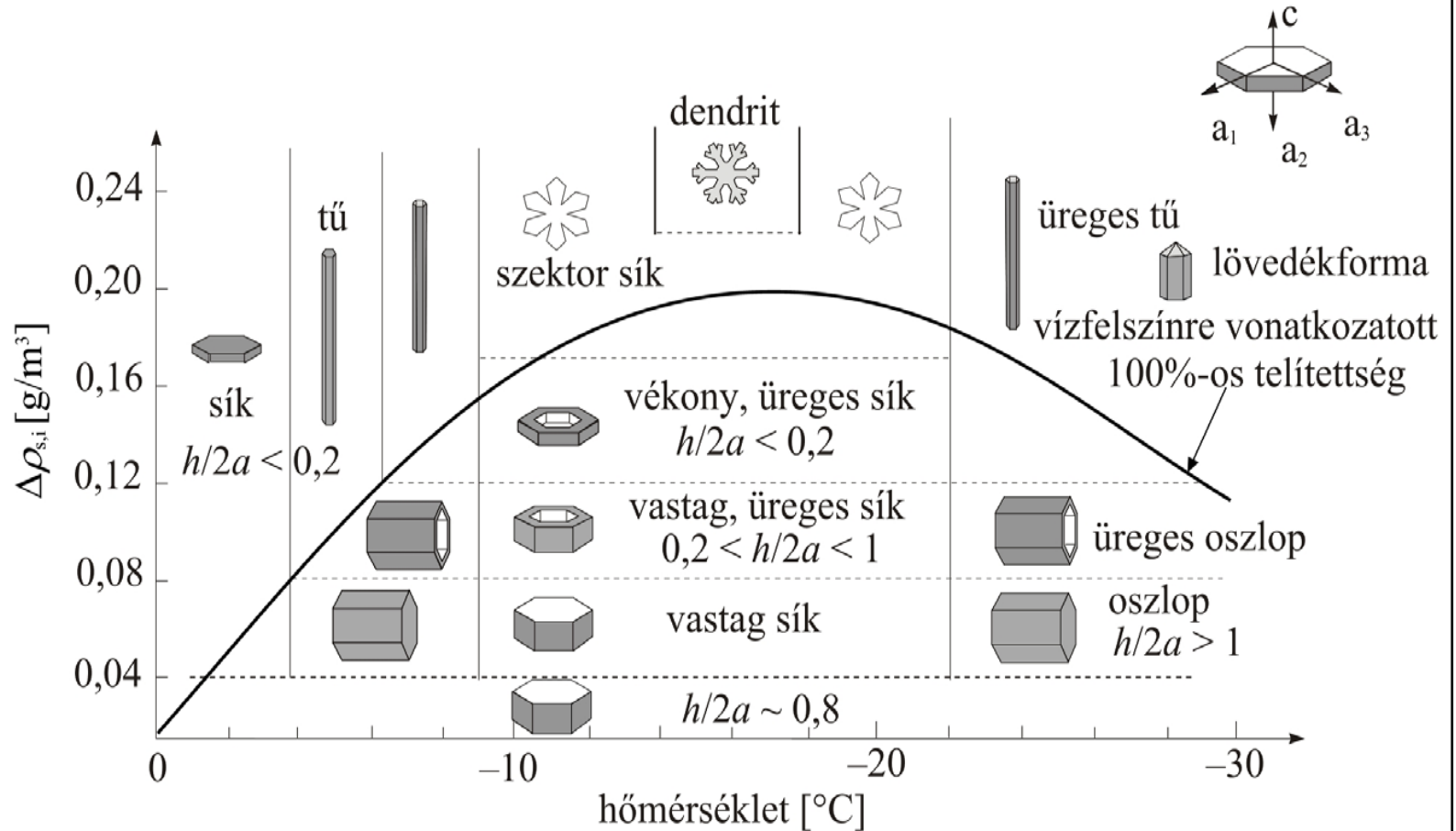
Csapadékképződés - 0°C alatti rétegfelhőkben

b.

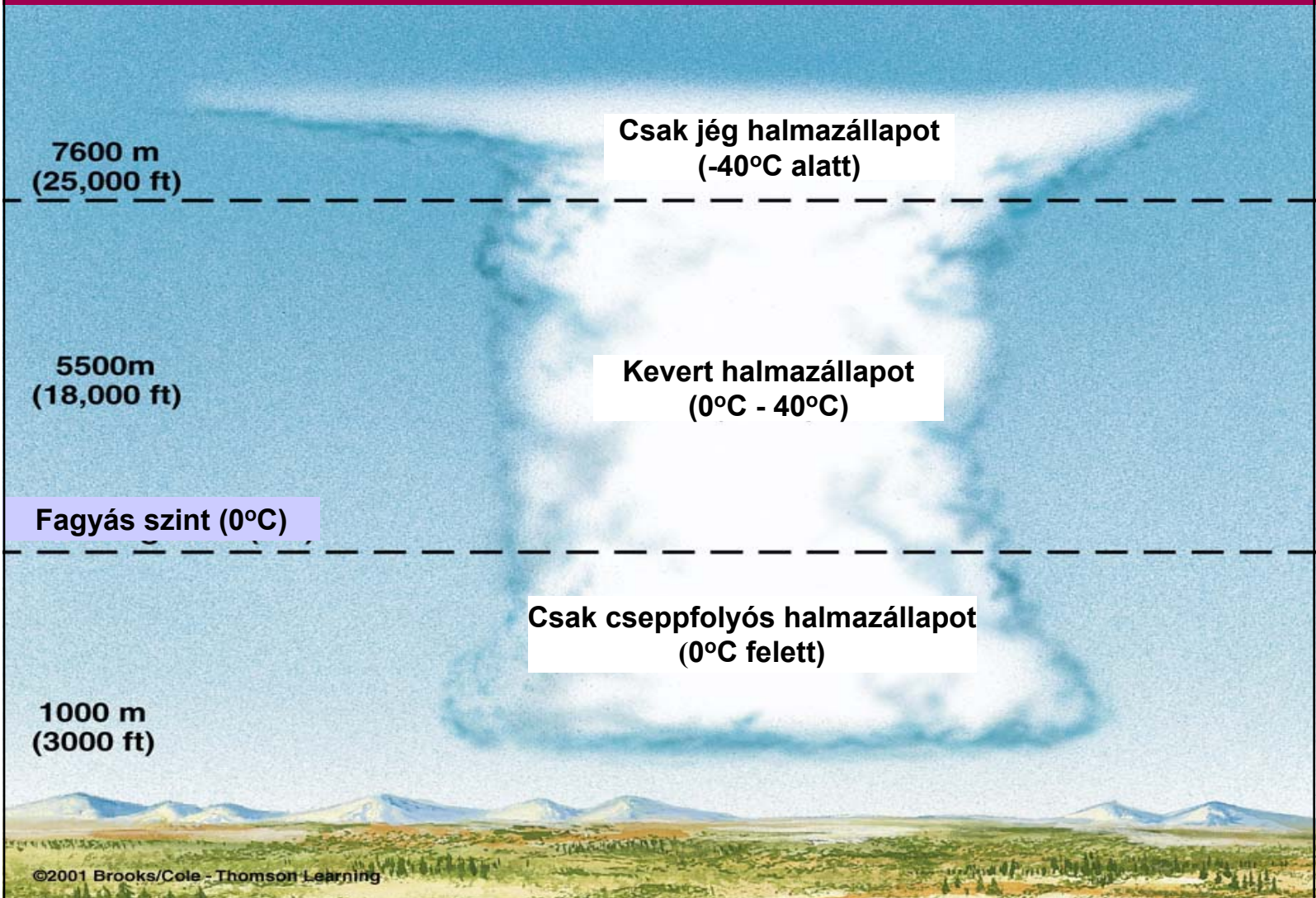


- (1) vízgőz kondenzációja
- (2) jégkristályok zúzmarásodása
- (3) Bergeron–Findeisen: vízcseppek párolgása => apróbb felhőrészecskék a kisebb telítési gőznyomású jégfelszín felé mozognak => jég szemek növekedése
- (4) ha 0°C közeli a hőm jégkristályok összetapadhatnak
- (5) kevés vízcsepp, alacsony feláramlási sebesség => 100 μm-nél nagyobb részecskék kihullanak

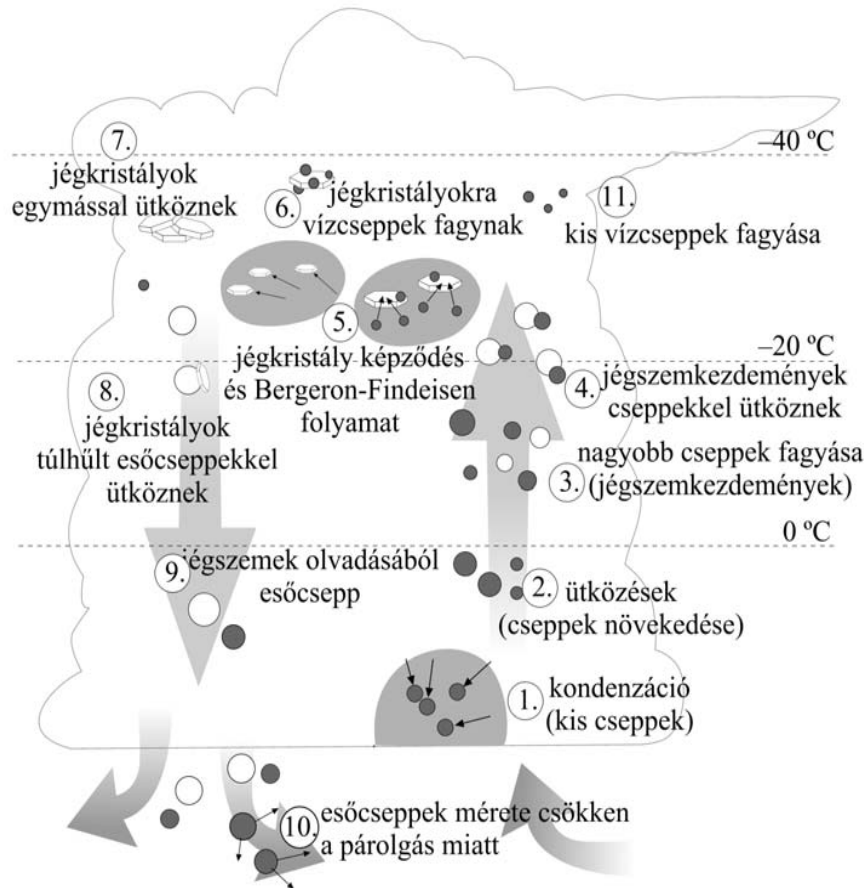
Jégkristályképződés



Felhőelemek halmazállapotának magasság szerinti eloszlása

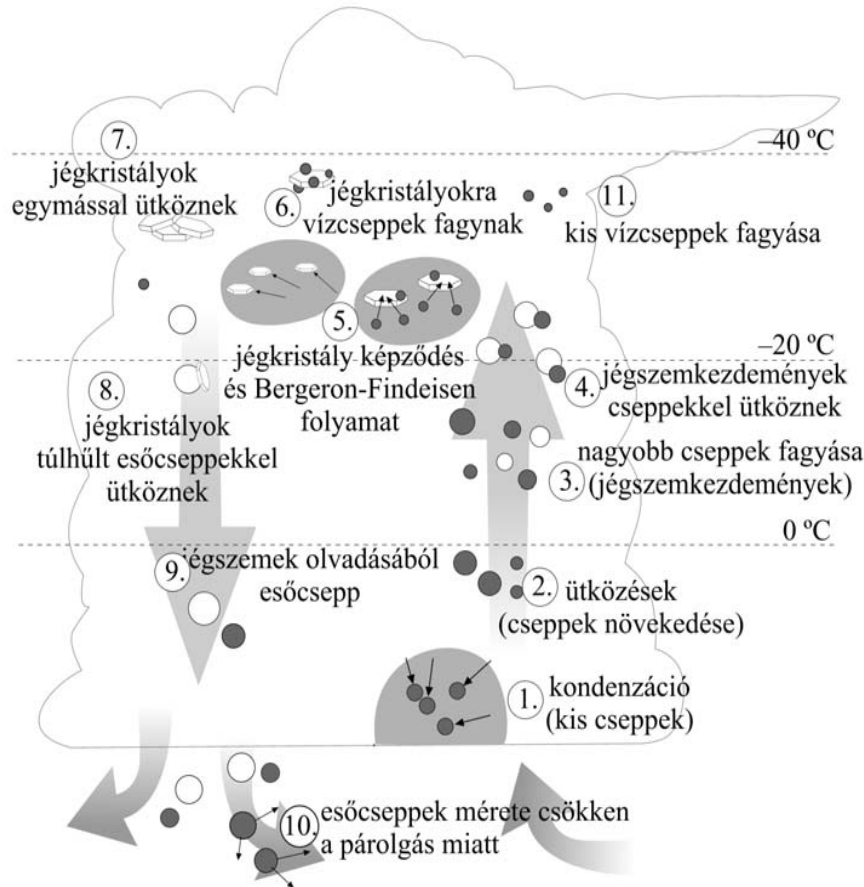


Csapadékképződés - zivatarfelhőkben



- (1) apró cseppek keletkezése, $20\mu\text{m}$ -ig csak kondenzációval
- (2) $20\mu\text{m}$ -nél nagyobb cseppek – kontinentális légtömegek esetén nem mindig
- (3) nagy cseppek fagyása; kisebb cseppek csak -35°C , -40°C -on fagnak meg (11)
- (4) jégszemkezdemény $>100\mu\text{m}$, vízcseppekkel ütközve gyorsan növekednek, réteges szerkezetű
- (9) lesodródó vízcseppek $\Rightarrow d > 100\mu\text{m}$ esőcseppek
- (10) párolgás és olvadás \Rightarrow hőelvonás \Rightarrow leáramlást erősíti

Csapadékképződés - zivatarfelhőkben



- **(5) jégszemkezdemény képződés másik típusa**
- **(6) $d > 100\text{ }\mu\text{m}$ jégszemkezdemények az apró vízcseppeket könnyen begyűjtik**
- **(8) ha jégszemkezdemény túlhűlt vízcseppekkel ütközik, azonnal megfagy**
- **(7) zúzmarsodott jégszemkezdemények ütközése => jégszemkezdemény**
- **Jégszemkezdemény => jégeső**

Felhőkből hulló csapadék fajták (makró csapadék)

- **Hóesés**
- **Hódara**
- **Jégdara**
- **Ónos eső**
- **Havas eső**
- **Eső**
- **Jégeső**

A HÓESÉS típusai (csapadékfajták)

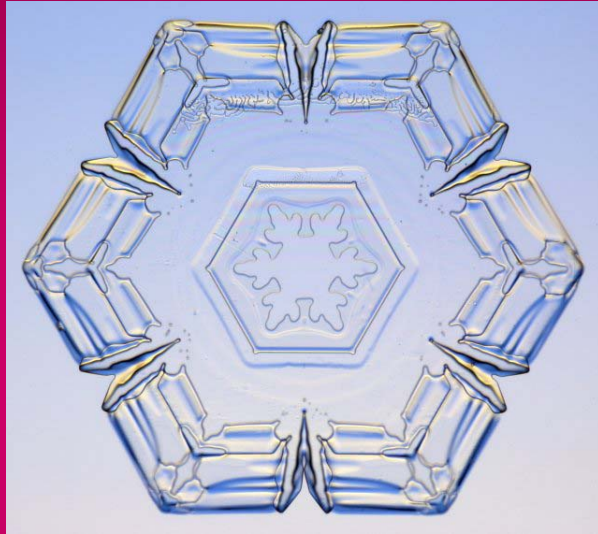
HÓSZÁLLINGÓZÁS: enyhe havazás, mely még növekedő fázisban lévő cumulus felhőből hullik.

HÓZÁPOR: heves hózápor, mely cumulus felhőből hullik.

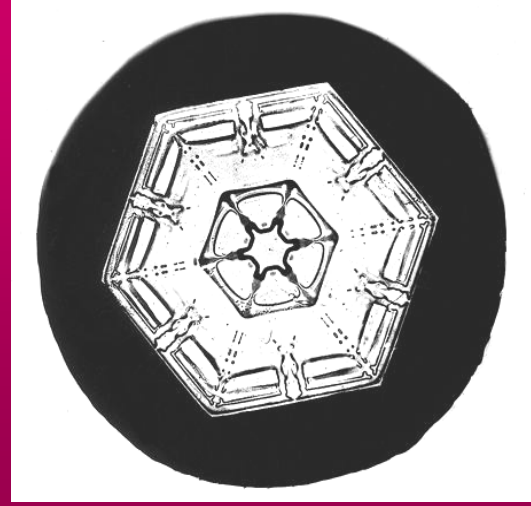
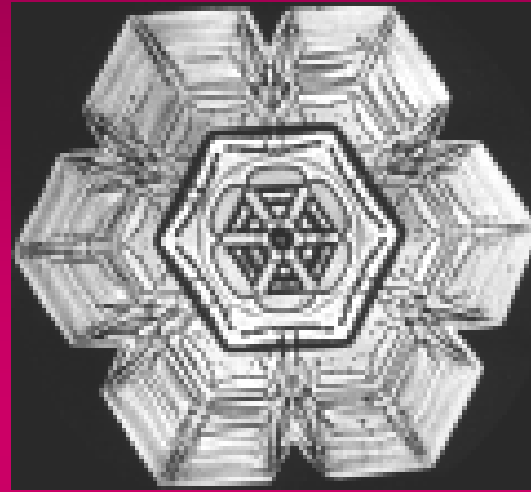
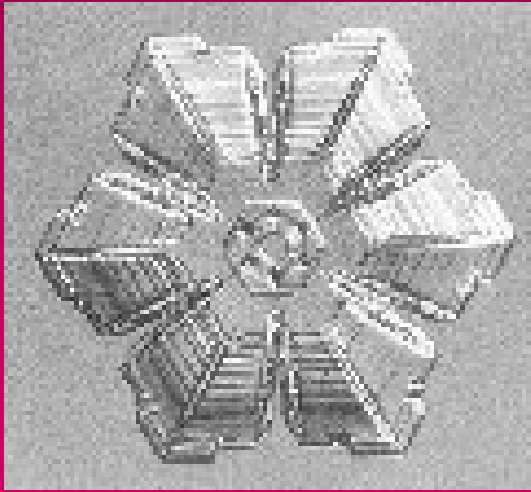
TARTÓS HÓESÉS: télen, nimbostratus felhőkből hullik.

HÓVIHAR: alacsony hőmérséklet, erős szél, nagy mennyiségű hó, illetve hófúvás jellemzi; gyakran kíséri kis látástávolság.

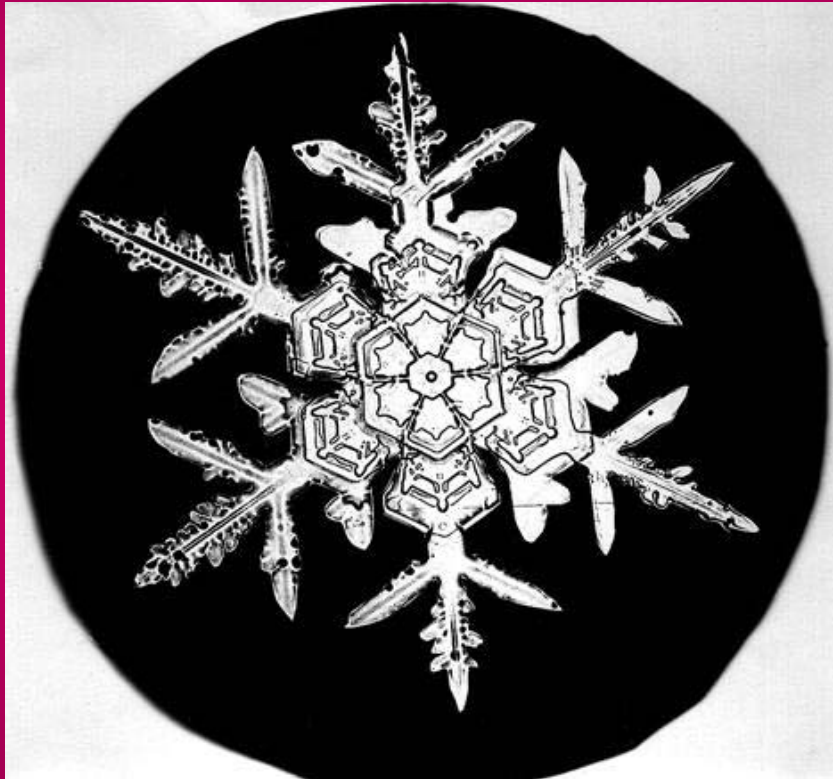
Jéglemezek



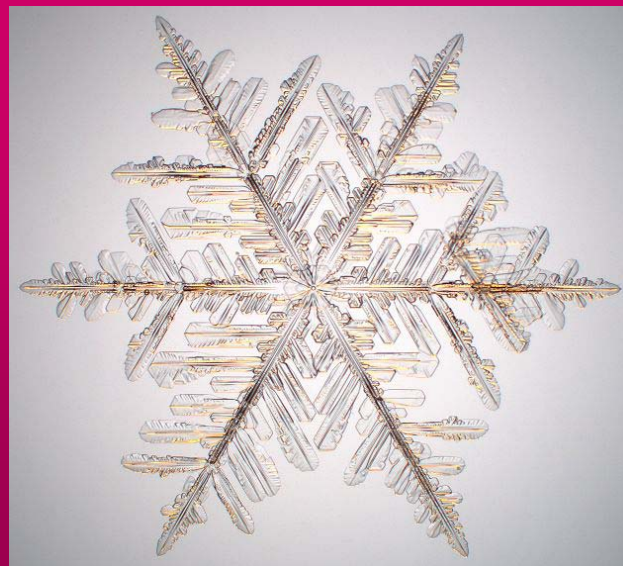
Jégglemezkék



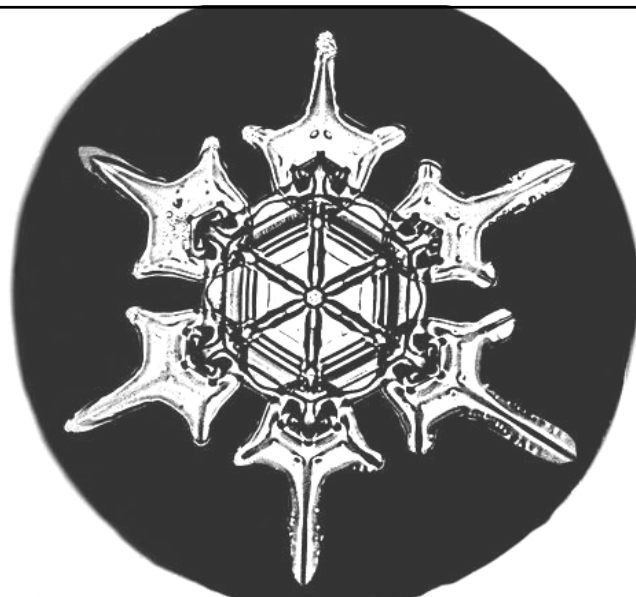
Dendritek



Dendritek



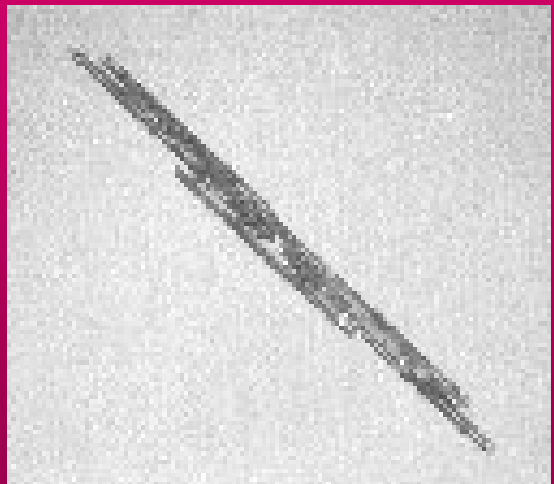
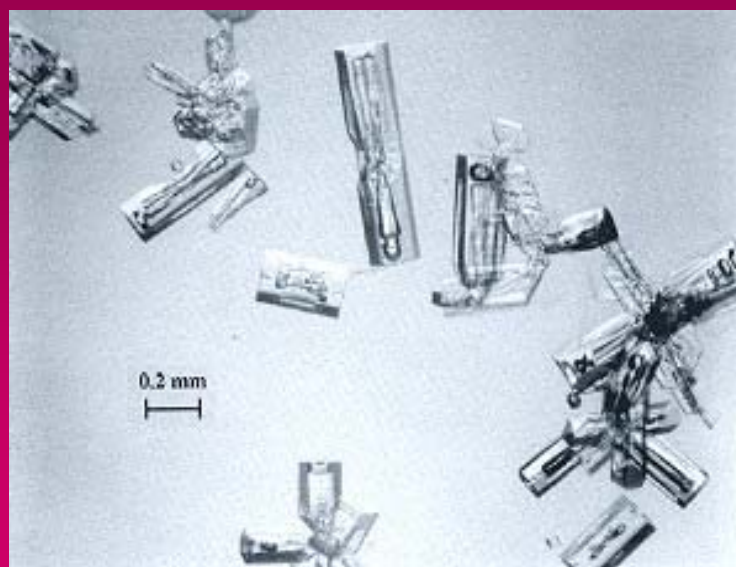
További dendritek



További dendritek



Jég oszlopok, tűk és jégrozetták



Jégrozetták



Rasmussen & Libbrecht, 2003

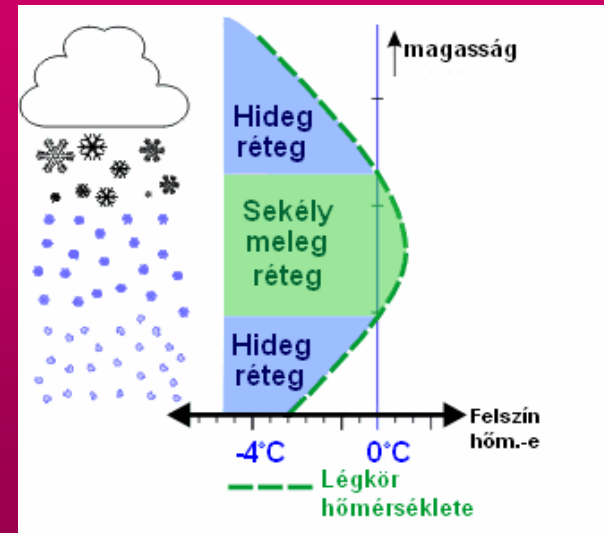
Csapadék fajták

- **Hódara**

- erősen zúzmarásodott jégkristályok ütközése
- átlátszatlan
- méret: 2 - 5 mm, gömb vagy kúpos
- felhő nagy részében jóval fagypont alatti a hőmérséklet => télen

- **Jégdara**

- hasonló a hódarához
- fagyott vízcseppből jön létre
- átlátszó, gömb alakú
- kora ősszel, késő tavasszal



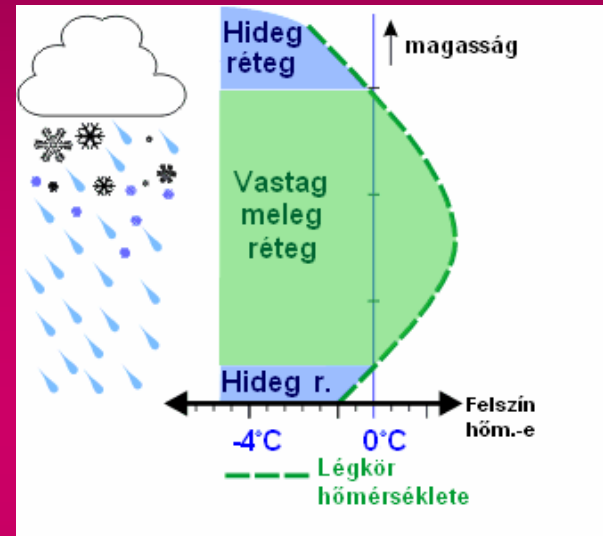
Csapadék fajták

- **Ónos eső**

- szilárd halmazállapotú csapadék megolvad
- felszín közeli kb. 100 m vastag fagypont alatti rétegben nem fagy meg => túlhűl
- tereptárgyhoz csapódva azonnal megfagy

- **Havas eső**

- vegyes halmazállapotú csapadék
- talaj feletti pozitív hőmérsékletű levegőben a hulló hókristályok, hópelyhek részben elolvadnak



ÓNOSESŐ



Csapadék fajták

- **Eső**
 - réteges felhőzetből (Nimbostratus)
 - folyékony halmazállapot
 - felhő alsóbb rétegeiben vagy a felhő alatt pozitív a hőmérséklet
 - cseppméret $> 0,5$ mm
 - egyenletes csapadék intenzitás (1-4 mm/h)
- **Szitálás**
 - zárt rétegfelhőzetből (Stratus, Altostratus)
 - egyenletes csapadék intenzitás, jelentéktelen csapadékmennyiség
 - cseppméret $< 0,5$ mm
- **Záporosó**
 - gomolyos, erősen fejlett Cumulus vagy zivatarfelhőkből
 - cseppméret akár 6-8 mm is lehet
 - térben és időben erősen változó intenzitás (1-100 mm/h)

Kisméretű jégdarabok



Óriás méretű jégdarabok

Jégeső Aurora városban
(Nebraska, 2003.06.25)

*National Weather Service
Hastings Nebraska*



*National Weather Service
Hastings Nebraska*



Átmérő: 18 cm;

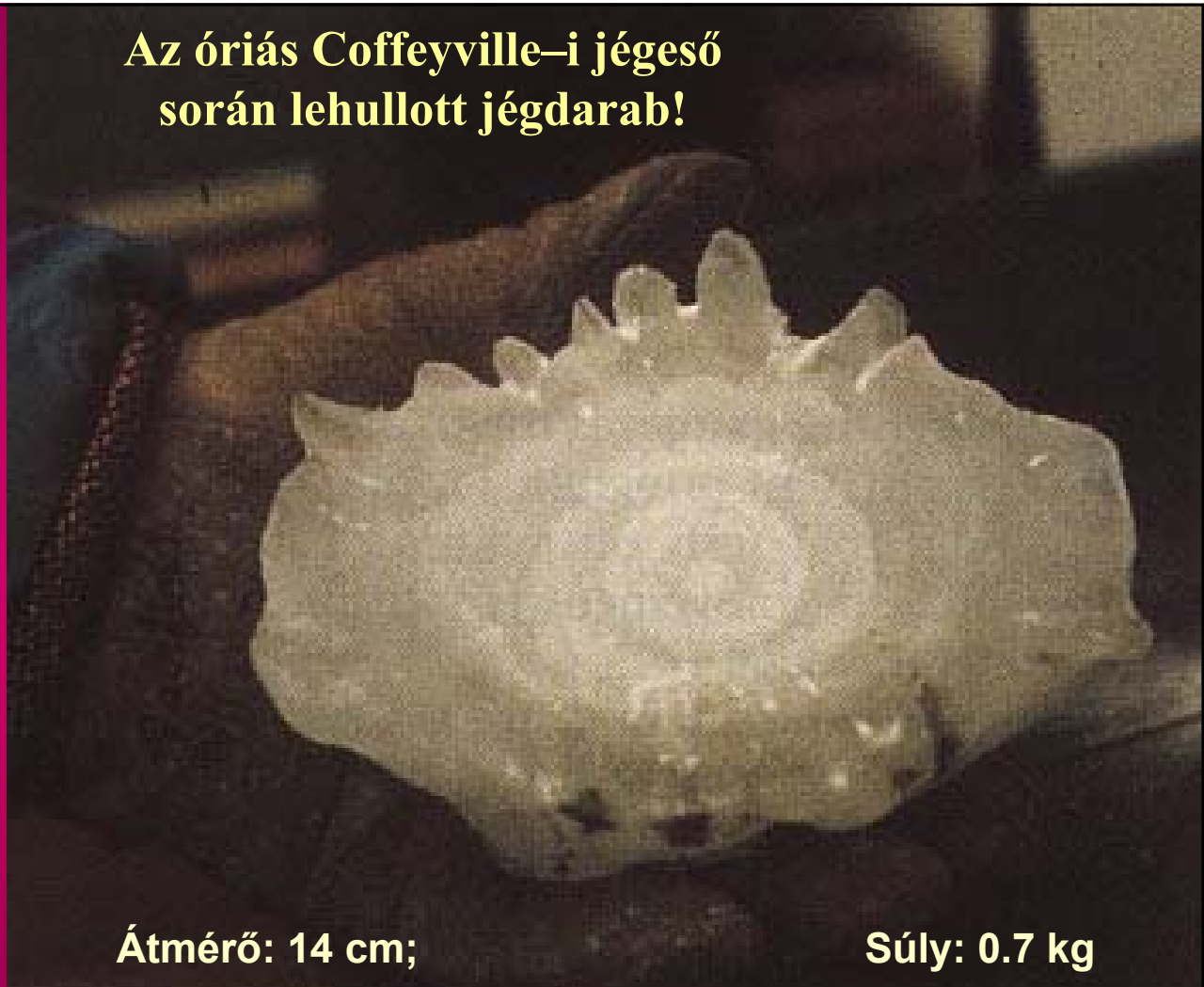
Kerülete: 48 cm;

Súly: 0.72 kg

CSAK a Cb (Cumulonimbus) felhőkben van annyira erős feláramlás, melyben jégeső keletkezhet.

**Óriás
méretű
jégdarabok**

**Az óriás Coffeyville–i jégeső
során lehullott jégdarab!**



Átmérő: 14 cm;

Súly: 0.7 kg

CSAK a Cb (Cumulonimbus) felhőkben van annyira erős feláramlás, melyben jégeső keletkezhet.



JÉGKÁR