

# A LÉGKÖRI AEROSZOL

---

---

---

---

---

---

---

---

## A légkörben nem csak gázok vannak!

**Aeroszol:** gáznemű közeg és benne finoman diszpergált (eloszlott) szilárd vagy cseppfolyós részecskék együttes rendszere

gáznemű közeg: levegő

szilárd vagy cseppfolyós részecskék: aeroszol részecskék

---

---

---

---

---

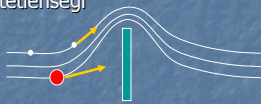
---

---

---

## Az aeroszol részecskék jellemzői:

- 1) Gravitációs ülepedésük lassú (a turbulencia hosszú időn keresztül a levegőben tartja a részecskéket)
- 2) A részecske mozgását a tehetetlenségi erő helyett a viszkozitásból származó erő dominálja (a részecske közelítőleg az áramvonal mentén halad)
- 3) Jellemző mozgásformája a Brown-mozgás, amelyet a gázmolekulákkal való ütközés vált ki (impulzus átadás)
- 4) Felületi rétegének tömege nagy a teljes tömegen belül (felületi kémiai reakciók)



Aeroszol részecskékről csak vízgőzben telítetlen levegőben beszélünk. A köd-, felhő-, csapadékcsepp nem tekintjük aeroszol részecskének.

---

---

---

---

---

---

---

---

### Az aeroszol részecskék mennyiségének jellemzése:

- darab-koncentráció db/cm<sup>3</sup>, db/m<sup>3</sup> N
- felület-koncentráció μm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup> 4·r<sup>2</sup>·π·N
- térfogat-koncentráció μm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> 4/3·r<sup>3</sup>·π·N
- (tömeg-)koncentráció μg/m<sup>3</sup> 4/3·r<sup>3</sup>·π·ρ·N

részecskeméret nagyon különböző lehet →  
→ méret szerinti eloszlás

$$\frac{dN}{dr} \quad \frac{dm}{dr}$$

hány darab/mennyi tömeg van  $r \pm dr$  mérettartományban

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Aeroszol részecskék mérete:

- legkisebb: molekulacsoport (~ 1 nm)
- legnagyobb: 10-20 μm (gravitációs ülepedés!)

max. esési sebesség; nehézségi erő = közegellenállás

$$\frac{4}{3} r^3 \pi \rho g = 6 r \pi \mu v$$

$10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$       $18 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$   
 $\sim \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$       $\sim \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$

$10^3 r^2 = 10^{-5} v$   
**max. 10-20 μm**

$r = 0,1 \mu\text{m} = 10^{-7} \text{m} \rightarrow v = 10^{-6} \text{m/s}$   
 $r = 1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{m} \rightarrow v = 10^{-4} \text{m/s}$   
 $r = 10 \mu\text{m} = 10^{-5} \text{m} \rightarrow v = 10^{-2} \text{m/s} = 1 \text{cm/s} !$   
 $r = 100 \mu\text{m} = 10^{-4} \text{m} \rightarrow v = 10^0 \text{m/s} = 1 \text{m/s} !!$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Aeroszol részecskék kiülepedése:

- nedves ülepedés (mint a gázok)
- száraz ülepedés (mint a gázok)
- gravitációs ülepedés (szedimentáció, minél nagyobb egy részecske, annál gyorsabb)

Minél nagyobb egy részecske, annál rövidebb a légköri tartózkodási ideje

### Koaguláció (részecskék összetapadása):

aeroszol részecskék jellegzetes folyamata

koaguláció sebessége ~ 1/r → minél kisebb egy részecske, annál gyorsabban olvad össze egy másikkal

Minél kisebb egy részecske, annál rövidebb a légköri tartózkodási ideje

---

---

---

---

---

---

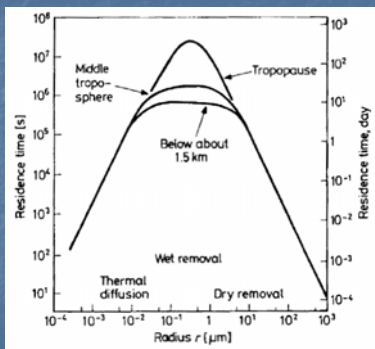
---

---

---

---

## Aeroszol részecskék légköri tartózkodási idejének méretfüggése:



koaguláció      száraz/nedves ülepedés      szedimentáció

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Aeroszol részecskék keletkezése: méretfüggő

finom részecskék < 1 µm < durva részecskék  
 döntően kondenzációval      döntően a felszín mállásával

**kondenzáció:** kondenzációra képes gőzökből  
 (ált. légköri viszonyok között: alacsony a telítési gőznyomásuk, kevésbé illékonyak)

kémiai reakcióval képződnek vagy közvetlenül kerülnek a légkörbe

**kondenzáció:** 1. lépés – nukleáció (gócképződés)

- homogén nukleáció: csak gőzök vannak jelen
- heterogén nukleáció: már meglévő részecske is részt vesz benne

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## A nukleáció típusai:

- **homogén homomolekuláris:** egyetlen gőz (csak túltelített gőzben)
- **homogén heteromolekuláris:** több gőz egyidejűleg
- **heterogén homomolekuláris:** egy gőz részecske felületén
- **heterogén heteromolekuláris:** több gőz egyidejűleg részecske felületén

## A nukleáció folyamata:

- néhány molekula összetapad, de szét is esik
- telítettség növekedésével, túltelítettség kialakulásával:  
 útközés/összetapadás valószínűsége nő  
 a molekulacsoport mérete elérheti a kritikus méretet:  
 gyorsabban fogja be az új molekulákat, mint ahogy a már befogottakat elveszíti

**a nukleáció sebessége:** a kritikus méret feletti molekula-klaszterek keletkezési sebessége

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Nukleáció:

**Energetikailag:**  $\geq$  kritikus méret = labilis állapot  
további növekedés nem igényel energiát  
(nő, amíg van miből)

**Kritikus méret:** túltelítettségétől függ  
nagyobb túltelítettségénél kisebb a kritikus sugár

**Más megközelítés:** görbült felszínre nagyobb a telítési gőznyomás



Minden befogott molekulával nő a sugár, csökken a telítési gőznyomás



nő a túltelítettség  $\rightarrow$  gyorsul a kondenzáció  
(amíg nem csökken a gőznyomás)

---

---

---

---

---

---

---

---

### Nukleáció:

**Homogén homomolekuláris nukleáció:** csak túltelített gőzben

**Homogén heteromolekuláris:** akkor is, ha az egyes gőzökre külön-külön  
a levegő nem túltelített

vízgőz mindig van  $\rightarrow$  gyakori nukleációs mód a troposzférában  
(vegyes molekula-klaszterek jönnek létre)

(pl. a vízgőzre vonatkozó telítettségétől függően a  $H_2SO_4$  kondenzációhoz szükséges  
gőznyomás akár 3 nagyságrenddel alacsonyabb is lehet, mint a homogén homo-  
molekuláris nukleációnál)

**Heterogén homomolekuláris nukleáció:** tipikusan a vízgőz  
(és a fémgőzök) kondenzációja

A levegő szinte sohasem túltelített vízgőzzel (homogén homomolekuláris nukleáció).  
Mindig vannak olyan részecskék (kondenzációs magok), amelyeken a kondenzáció a  
vízgőzre vonatkozó telítési gőznyomásnál alacsonyabb gőznyomáson megindul.

---

---

---

---

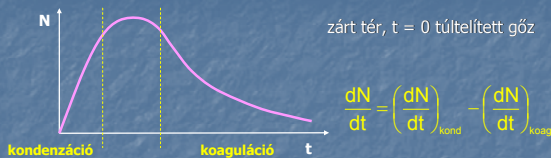
---

---

---

---

### A részecskék koncentrációjának változása:



- 1) gőz keletkezés – a kémiai reakciók sebességétől függ  
(kiindulási anyagok mennyisége, környezeti feltételek)
- 2) nukleáció – a gőznyomástól függ (gőzkeletkezés sebessége)
- 3) koaguláció – részecskék számától, méreteloszlásától függ

---

---

---

---

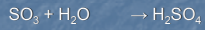
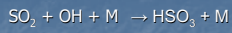
---

---

---

---

### Kondenzációra képes anyagok: kénsav (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)



telítési gőznyomása viszonylag alacsony,  $\sim 10^2$  Pa

jellemzően homogén heteromolekuláris nukleáció (vízgőzzel)  
sztratoszférában homogén homomolekuláris nukleáció is lehet

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> más anyagokkal **szulfát** sókat képez (pl. NH<sub>3</sub> → (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

tengerek felett: DMS → SO<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> → **szulfát**

iparosított területek felett: SO<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> → **szulfát**

sztratoszférában: COS → SO<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> → **szulfát**

korom felületén közvetlen SO<sub>2</sub> → szulfát transzformáció

sztratoszférában: ha nincs elég NH<sub>3</sub> → szabad H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> molekulák

---

---

---

---

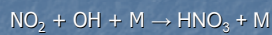
---

---

---

---

### Kondenzációra képes anyagok: salétromsav (HNO<sub>3</sub>)



viszonylag magas a telítési gőznyomása, csak részben kondenzálódik

jellemzően homogén heteromolekuláris nukleáció (vízgőzzel)

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> elbomolhat → nyáron több HNO<sub>3</sub> gáz fázisban (évi menet)

---

---

---

---

---

---

---

---

### Kondenzációra képes anyagok: szerves anyagok

- nem rég óta ismertek, de az aeroszol részecskék jelentős részét alkotják
- C-atomszám növekedésével csökken a telítési gőznyomás (illékonyág), könnyebben kondenzálódnak
- Nagy C-atomszámú (>10) alifás, policiklikus aromás, oxigént (esetleg mást is) tartalmazó policiklikus vegyületek
- egy részük vízben is oldódik, kondenzációs mag lehet

---

---

---

---

---

---

---

---

### Elsődleges és másodlagos aeroszol részecskék:

**Másodlagos aeroszol részecskék:** kémiai úton keletkeznek a légkörben (pl. szulfátok, nitrátok, számos szerves aeroszol részecske)

Van közvetlen szulfát bevitel is (pl. vulkáni tevékenység, tengeri só, stb.), de darabszáma nem jelentős. Tömegre igen (nagy részecskék)!

**Elsődleges aeroszol részecskék:** nem kémiai úton keletkeznek

Egy részük szintén kondenzációval képződik a közvetlenül kibocsátott gőzökből

---

---

---

---

---

---

---

---

### Elsődleges aeroszol részecskék:

#### Természetes források:

- biomassza égés – biomasszából és a talajból szerves anyagok, elemi szén (korom), fémek lehűlés során homogén/heterogén kondenzáció
- lösz erózió – finom por (<1 µm)

---

---

---

---

---

---

---

---

### Elsődleges aeroszol részecskék:

#### Antropogén források:

magas hőmérsékletű égés → fémgőzök →  
→ lehűlés, heterogén kondenzáció

- színesfém kohászat: Cu, Cd, Zn, Ni, V, Cr, Hg,...
- széntüzelés: As, Sb, Hg, elemi szén,...
- olajtüzelés: Ni, V, elemi szén,...
- hulladékégetés: Cd, Mn, Cu, Hg, szerves anyagok (PAH, Cl-tartalmúak)
- közlekedés: Pb, nehéz szénhidrogének, PAH, elemi szén,...

**Hg:** maradhat részben gáz halmazállapotban (illékony)

---

---

---

---

---

---

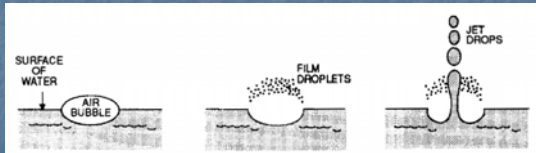
---

---

### Durva (>1 µm) aeroszol részecskék:

általában közvetlenül kerülnek a légkörbe

- **Tengeri só:** ~85% NaCl (+ MgCl, MgSO<sub>4</sub>, KCl, CaCl<sub>2</sub>, CaSO<sub>4</sub>,....)  
elsodort vízcsepp túl nagy, a felszínre érkező buborékok szét pattanása – buborékképződés ~ szélesebbég




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Durva (>1 µm) aeroszol részecskék:

- **A felszín aprózódása** – szél erózió, talaj részecskék  
csak kevés részecske elég kicsi ahhoz, hogy tartósan a levegőben maradjon, de nagy az össztömegük
- **Kisebb források:** erdőtüzek  
vulkáni tevékenység  
biológiai eredet (baktériumok, spórák, pollenek, vírusok,...)  
meteorit por
- **Antropogén források:** ipari folyamatok (pl. cementgyártás)  
erózió (utakról, mezőgazd. területekről)  
felvert por, gumimorzsalék, fékbetét (korábban azbeszt), stb...  
építési folyamatok („por”)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Aeroszol részecskék anyagmérélege:

|                          | Természetes      | Antropogén         |
|--------------------------|------------------|--------------------|
| kénvegyületek → szulfát  | 150              | + 190 Mt/év        |
| NO <sub>x</sub> → nitrát | 30               | + 50 Mt/év         |
| VOC → szerves aeroszol   | 100-400          | + 10 Mt/év         |
| ipar, közlekedés         |                  | 110 Mt/év          |
| biomassza égetés         |                  | 90 Mt/év           |
| talajerózió              | 1500             | Mt/év              |
| tengeri só               | 1300             | Mt/év              |
| vulkáni por              | 30               | Mt/év              |
| biológiai anyag          | 50               | Mt/év              |
| meteorit por             | 1                | Mt/év              |
| <b>ÖSSZESEN</b>          | <b>3100-3400</b> | <b>+ 450 Mt/év</b> |

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Aeroszol részecskék koncentrációja:

óceánok felett: 10-100 db/cm<sup>3</sup>  
vidéki levegő, kontinentális háttér: 10<sup>3</sup>-10<sup>4</sup> db/cm<sup>3</sup>  
városi levegő: >10<sup>5</sup> db/cm<sup>3</sup>

### Lényeges a méret szerinti eloszlás!

ettől függ a kondenzációban játszott szerepük  
ettől függ a légköri optikában, energiaátvitelben játszott szerepük  
ettől függ az egészségügyi hatásuk

---

---

---

---

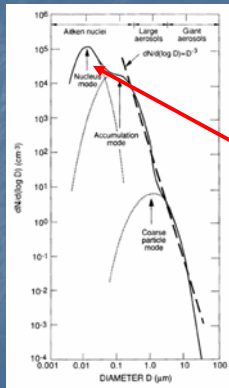
---

---

---

---

### Aeroszol részecskék méreteloszlása:



a méret szerinti eloszlás általában 3 lognormál eloszlás összege – arányuk helytől, időtől függ

**1. Nukleációs eloszlás:** nukleációval keletkező részecskék. A gőzforrás közelében jelentős. Gőzutánpótlás híján jelentősen csökken (koaguláció), a 0,1-1 μm tartományba kerül át.

Gőzképződésben fontos a fotokémiai-  
lag keletkező OH (napi menete van).  
Éjjel csökken a bioszféra VOC  
kibocsátása (fény, T), lassulnak a  
reakciók.

**A méret szerinti eloszlásnak napi menete van**

---

---

---

---

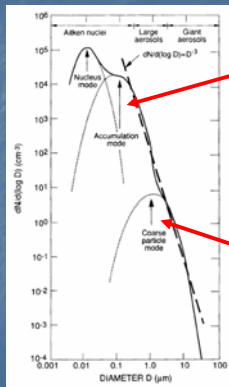
---

---

---

---

### Aeroszol részecskék méreteloszlása:



### 2. Akkumulációs eloszlás:

- a nukleációs eloszlásból „akkumulálódik” ide az anyag koagulációval

- ezekre a részecskékre kondenzálódik az anyag heterogén kondenzáció esetén.

### 3. Durva eloszlás: talaj és tengeri sós részecskék

---

---

---

---

---

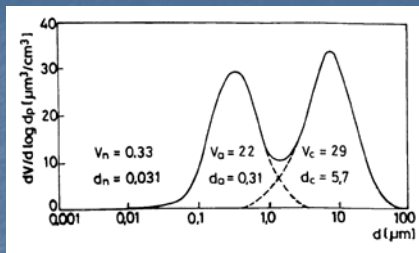
---

---

---



### Aeroszol részecskék méreteloszlása:



rengeteg kicsi, sok közepes, kevés nagy részecske,

**DE**

a tömeg/térfogat > 50% a durva és csak < 1% a nukleációs tartományban

$m \sim r^3$  -- 1 000 000 db 0,1 részecske tömege = 1 db 10 μm-es részecskéével

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

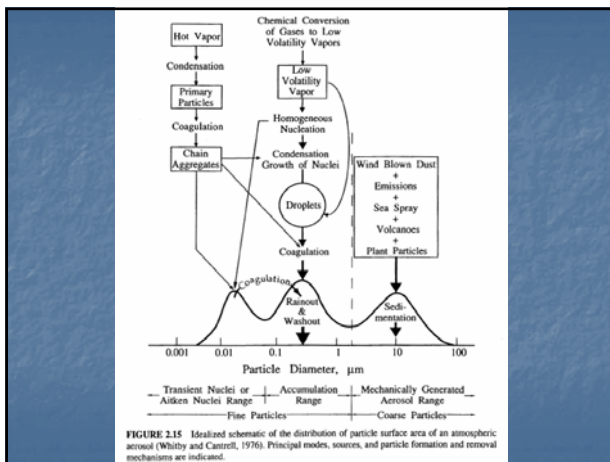


FIGURE 2.15 Idealized schematic of the distribution of particle surface area of an atmospheric aerosol (Whitby and Cassrell, 1976). Principal modes, sources, and particle formation and removal mechanisms are indicated.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Aeroszol részecskék kémiai összetétele:

- **Nukleációs tartományban:** a kondenzálódó gőzöknek megfelelő összetétel  
Jelentős részben  $(NH_4)_2SO_4$ . Sok a részleteiben alig ismert szerves anyag + elemi szén. Iparosított területeken jelentős lehet az  $NH_4NO_3$  mennyiség
- **Akkumulációs tartományban:** vegyes összetétel  
Nukleációs tartományból koagulációval. Nem változik az összetétel, de vegyes részecskék jöhetnek létre. A részecskékre heterogén kondenzációval kerül anyag (pl. fémek). C, S, N tartalom jelentős
- **Durva tartományban:** ásványi anyagok a kontinensek felett, tengeri só az óceánok felett.  
Talaj: Si, Al, Fe, Ca (oxidok)  
Óceánok: Na, K, Ca, Mg (kloridok, szulfátok, stb.)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Dúsulási tényező (Enrichment Factor):

**Dúsulási tényező:** referencia anyaghoz képesti relatív koncentráció  
Nem reaktív anyagok forrás-meghatározására. Hogyan viszonyul a mért összetétel a forrás összetételéhez?

$$EF(x) = \frac{([x]_{\text{aeroszol}}/[ref]_{\text{aeroszol}})}{([x]_{\text{forrás}}/[ref]_{\text{forrás}})}$$

x – a vizsgált anyag, ref – a referencia anyag (pl. óceánra Na, talajra Al)

Ha  $EF(x) \approx 1$ , akkor a minta valószínűleg a feltételezett forrásból származik (pl. óceáni eredet, szaharai homok, stb.)

Ha  $EF(x) > 1$ , akkor a minta nem csak a feltételezett forrásból tartalmaz anyagot

Ha  $EF(x) < 1$ , akkor rosszul választottunk referencia anyagot, nem kizárólag a forrásra jellemző

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Dúsulási tényező (Enrichment Factor) - példa:

**Többlet (excess) szulfát:** amit az óceáni eredetű szulfáthoz az antropogén források hozzáadnak

$$EF(\text{szulfát}) = \frac{[\text{szulfát}]_{\text{aeroszol}} / [\text{Na}]_{\text{aeroszol}}}{[\text{szulfát}]_{\text{forrás}} / [\text{Na}]_{\text{forrás}}} \quad \leftarrow \text{mért}$$

$$[\text{szulfát}]_{\text{aeroszol}} = [\text{szulfát}]_{\text{óceáni}} + [\text{szulfát}]_{\text{antropogén}}$$

$$[\text{szulfát}]_{\text{óceáni}} = \left( \frac{[\text{szulfát}]_{\text{forrás}}}{[\text{Na}]_{\text{forrás}}} \right) \cdot [\text{Na}]_{\text{aeroszol}}$$

$$EF(\text{szulfát}) = \left( \frac{[\text{szulfát}]_{\text{óceáni}} + [\text{szulfát}]_{\text{antropogén}}}{[\text{Na}]_{\text{aeroszol}}} \right) / \left( \frac{[\text{szulfát}]_{\text{forrás}}}{[\text{Na}]_{\text{forrás}}} \right)$$

$$EF(\text{szulfát}) = 1 + \frac{[\text{szulfát}]_{\text{antropogén}} / [\text{Na}]_{\text{aeroszol}}}{[\text{szulfát}]_{\text{forrás}} / [\text{Na}]_{\text{forrás}}}$$

$$(EF[\text{szulfát}] - 1) \cdot \left( \frac{[\text{szulfát}]_{\text{forrás}}}{[\text{Na}]_{\text{forrás}}} \right) \cdot [\text{Na}]_{\text{aeroszol}} = [\text{szulfát}]_{\text{antropogén}}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Forrás-analízis (source apportionment):

A mért összetétel a különböző források részecske-összetételének lineáris kombinációja

A különböző források jellemző összetételének ismeretében, a dúsulási tényező mérésével következtetni lehet az egyes források relatív hozzájárulására

$$\begin{matrix} m \text{ anyag } (c_i) & i. \text{ anyagra} & R_i = \left( \frac{c_i}{c_{ref}} \right)_{\text{levegő}} & r_j = \left( \frac{c_i}{c_{ref}} \right)_{j. \text{ forrás}} \\ n-1 \text{ forrás } (r_j) & & & \end{matrix}$$

$$R_1 = a_{11}r_{11} + a_{12}r_{12} + \dots + a_{1n}r_{1n}$$

$$R_2 = a_{21}r_{21} + a_{22}r_{22} + \dots + a_{2n}r_{2n}$$

⋮

$$R_m = a_{m1}r_{m1} + a_{m2}r_{m2} + \dots + a_{mn}r_{mn}$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} = 1$$

m+1 egyenlet, n>1

n (a<sub>i</sub>) + m (ε<sub>i</sub>) ismeretlen

∃!, amelyre ε<sub>i</sub>=0

R<sub>i</sub> > min(r<sub>ij</sub>, j=1,...,n-1)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Aeroszol részecskék kikerülése:

- **Száraz ülepedés:** felszíni adszorpció  
nagy részecskék – szedimentáció is  
(gravitációs ülepedés)
- **Nedves ülepedés:** vízben oldhatók kondenzációs magként  
kis részecskék - koagulációval a cseppekbe  
nagy részecskék - ütközéssel a hulló cseppekbe

---

---

---

---

---

---

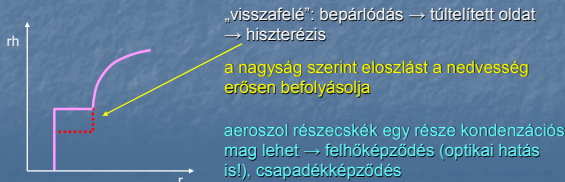
---

---

### Aeroszol részecskék hatása:

**A) Légkörfizikai hatás:** sugárzásátvitel - visszaver → hűt (pl. szulfát)  
- elnyel → fűt (pl. korom)  
- látástávolság csökkentése

- vízben oldható, higroszkópos részecskéken 100% rel. nedvesség alatt megindul a vízgőz kondenzációja, oldatcsepp keletkezik
- oldatcseppre a telítési gőznyomás alacsonyabb, mint a szilárd részecskére → a relatív túltelítettség megnő → a csepp (göbületi sugár) nő → a relatív túltelítettség nő → a csepp hígul → a relatív túltelítettség csökken → egyensúly




---

---

---

---

---

---

---

---

### Aeroszol részecskék hatása:

**B) Egészségügyi hatás:** belélegezve egészségkárosító hatásuk lehet (méret- és anyagfüggő)

- > 10 µm: elakad a felső légutakban, viszonylag gyorsan kiürül
- < 1 µm: a tüdő mélyére is lekerülhet, nehezen távozik, hosszan tartó hatás
- vízben oldhatók: elnyelődnek a felső légutakban, viszonylag gyorsan távoznak
- fémek: mérgezési tünetek
- PAH: rákkeltő hatás
- korom: más anyagok (pl. SO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/szulfát) hordozója lehet

**Mit mérjük?** Darab-koncentráció, tömeg-koncentráció, kémiai összetétel, méret szerinti eloszlás (+kémiai összetétel)?

**Mindent nem lehet (pénz!)**

PM<sub>10</sub>: <10 µm tömeg-koncentráció (PM<sub>2,5</sub> és PM<sub>1,0</sub> is kellene)  
kívánatos lenne a kémiai összetétel is

---

---

---

---

---

---

---

---

### Aeroszol részecskék hatása:

**C) Környezeti hatás:** az antropogén eredetű részecskék többlet terhelésként jelentkeznek

- szulfát, nitrát: savasodás – növény- és halpusztulás, korróziós károk
- nitrát: eutrofizáció
- nehézfémek: oldható formában felszívódnak a vegetációban – mérgezés, beépülés a táplálékláncba
- elemi szén (korom): elősegíti a korróziót, esztétikai kár
- antropogén szerves anyagok: sok közöttük a karcinogén, mutagén, teratogén
  - PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons - policiklikus aromás szénhidrogének): sok rákkeltő
  - POP (Persistent Organic Pollutants – lassan lebomló szerves anyagok): növényvédőszer, klórtartalmú égési származékok és ipari melléktermékek – rákkeltő, mutagén, beépül a táplálékláncba (elsősorban a tengeri élővilágba)

---

---

---

---

---

---

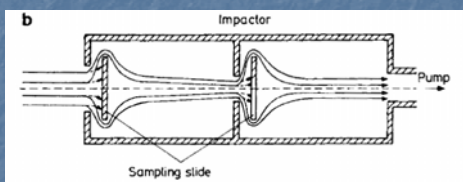
---

---

### Aeroszol részecskék mérése:

**Mintavétel:** többnyire szűrőn (teflon, papír, üvegszál, stb.)

**Nagyság szerinti eloszlás:** (kaskád) impaktőr



Szűrőkből: tömeg-koncentráció (aeroszol tömeg/átszívott légtérfogat) anyagösszetétel mérések

---

---

---

---

---

---

---

---

### Aeroszol részecskék mérése:

**Anyagi összetétel vizsgálata szűrőről:**

- szűrőről leoldott anyag kémiai analízise (spektrofotometria, kromatográfia [GC, IC, HPLC])
- szűrő elégetve → CO<sub>2</sub> analízis (elemi+szerves szén mennyiség)
- szűrő fényelnyelése – elemi szén (=korom)
- (elektron)mikroszkópos vizsgálat – morfológiai analízis (kristályok, spórák, stb.)
- nukleáris módszerek (PIXE, neutron aktiváció, röntgen-fluoreszcencia, stb.) – főleg fémek, ásványi anyagok kimutatása

---

---

---

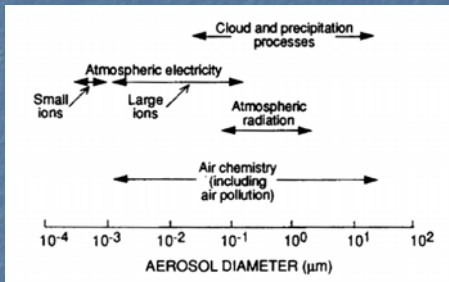
---

---

---

---

---




---



---



---



---



---



---



---