



# Globális környezeti problémák és fenntartható fejlődés modul

## Környezeti elemek védelme I. Levegőtisztaság védelme

KÖRNYEZETGAZDÁLKODÁSI AGRÁRMÉRNÖKI MSC  
TERMÉSZETVÉDELMI MÉRNÖKI MSC



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg



# A léghő pH-ja A légköri ülepedés

10. Előadás  
28.-30. lecke



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg



# A légkör egyensúlyi pH-ja – az ok. Légköri pH alakító vegyületek, átalakulások

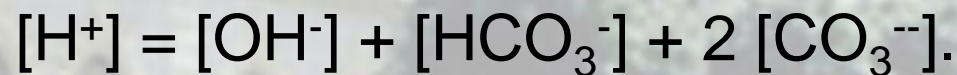
## 28. lecke



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg



- A légkörben lévő gázok a szintén itt tartózkodó vízben feloldódnak. Az oldódás intenzitását a gáz parciális nyomása mellett (Henry törvény) a légkör pH-ja is meghatározza. A légköri semleges pH-át a mindenhol (tengerek és óceánok felett is) jelenlévő CO<sub>2</sub> gáz alakítja; melyben egyetlen H<sup>+</sup> az alábbi anionokkal tart egyensúlyt:



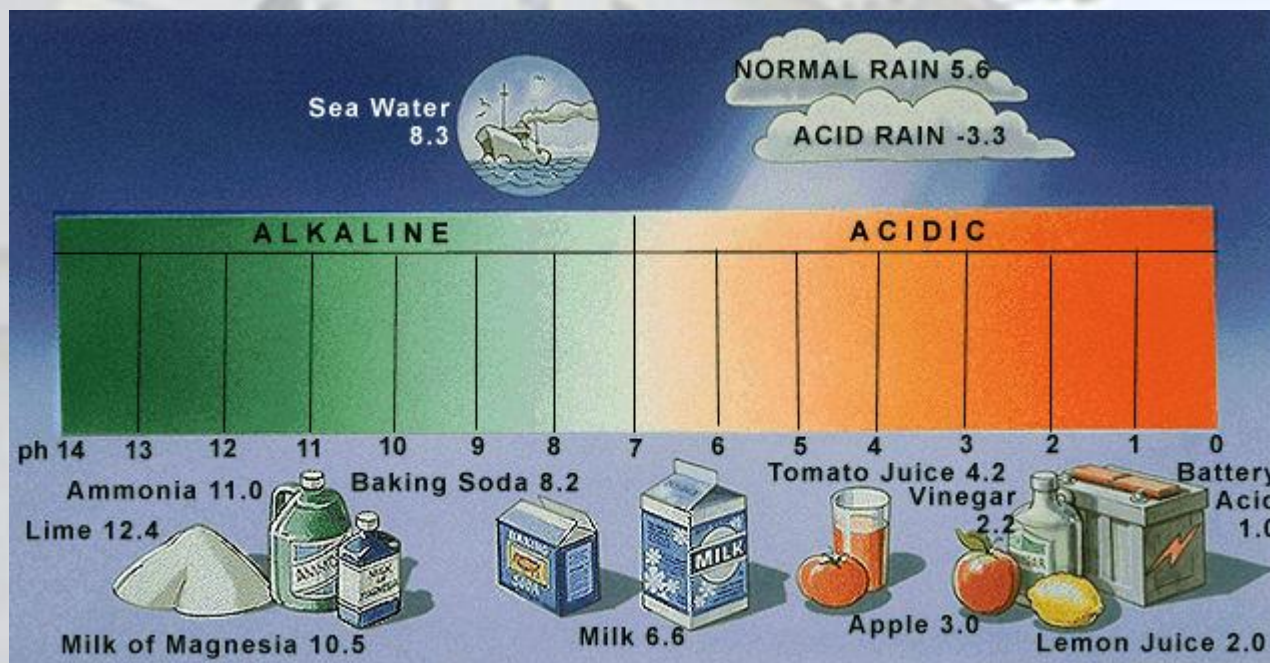
(bármely anyag pH-ja a hidrogén ionok koncentrációjának tízes alapú logaritmusának negatív előjellel:

$$pH = - \lg [H^+]$$



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

# 58. ábra Néhány anyag pH-ja a környezetünkben



[http://www.thecanadianencyclopedia.com/media/1528\\_10.JPG](http://www.thecanadianencyclopedia.com/media/1528_10.JPG)



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg



## A légkör pH-ja

- A mól-koncentrációk alapján a légkörben a semleges pH-t a CO<sub>2</sub> disszociációja alapján számított érték jelenti, mely 10°C-on 5,6. Ez a légkör folyékony halmazállapotú víz-részecskéire vonatkozik. Az érték az ún. egyensúlyi pH, mely alacsonyabb, mint a szokásos semlegesnek tartott pH=7-es érték. Az ok kizárólag a jelenlévő széndioxid gáz, mely ezzel 25-ször savasabb légköri csapadékot-vizet jelent, mint a pH = 7 értékel bíró folyadék. Ebben az állapotban a Henry állandó (H) vértéke egyezik az 5,6-el:

$$H = \frac{[CO_2]_{\text{légköri}}}{[CO_2]_{\text{vízcsepp}}}$$



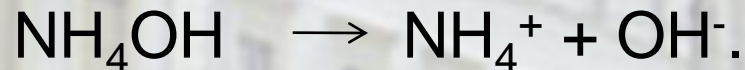
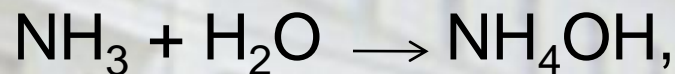


- A légkörben a szén-dioxidon kívül a pH-t meghatározó egyéb gázok is vannak, lásd. korábban S és N oxidjait, valamint az ammóniát. A kén-dioxidból kémiai átalakulásokkal (oxidáció során) szulfát ion képződik. A lehetőségek
  - az ózon a szulfit iont oxidálja
  - a hidrogén-peroxid az elnyelt kén-dioxidot szulfit, ill. hidrogén-szulfitból oxidálja szulfáttá. Magas, 6 feletti pH-nál az ózon szerepe dominál; alatta a hidrogén-peroxid játszik vezető szerepet.
  - Az erősen szennyezett területeken katalitikus oxidáció is lehetséges (Mn, Cu és Fe).





- A nitrát forrása a salétromsavgőz disszociációja.
- A légkörben található ammónia is oldódik vízben:



A keletkezett hidroxid-ionok semlegesíthetik a szulfát és a nitrát ionok savasságát. A csapadékvíz pH meghatározásánál ezért három ion hatásának számbavétele elkerülhetetlen:

- Szulfát-ion
- Nitrát-ion és az
- Ammónium-ion.



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg





- Pontosabb csapadékvíz analízis esetén azonban a fent felsorolt három ionon kívül egyéb ionok mérését is elvégezzük. Ezen további ionok az alábbiak:

### Anionok

Klorid-ion

Hidrogénkarbonát-ion

### Kationok a hidrogén-ionon kívül:

Hidrokarbonát-ion

Nátrium, kálium-ion

Kalcium, magnézium-ion



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

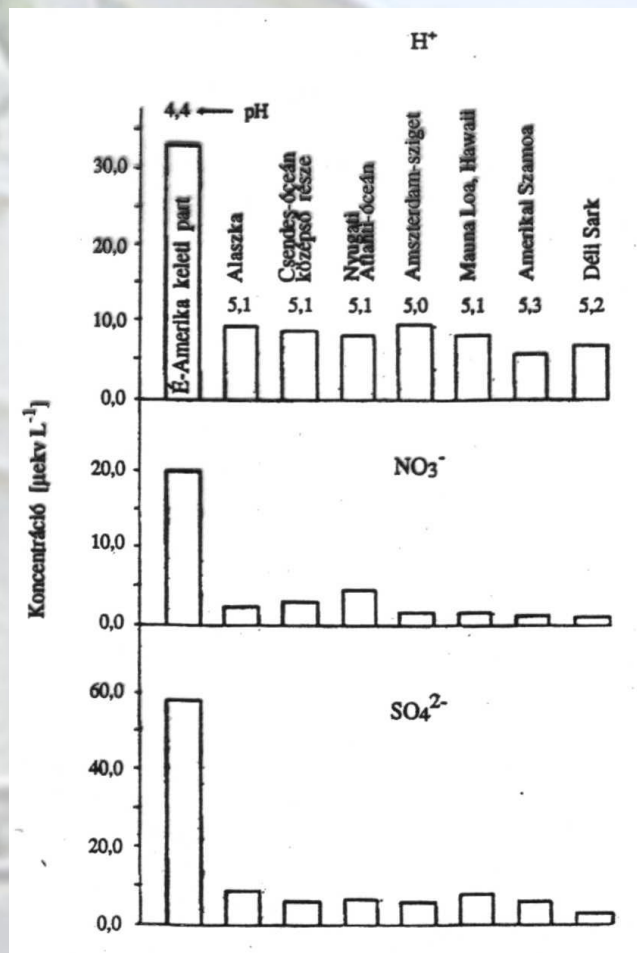


- A lakott településektől távolabbi területeken a légköri pH általában 5,1-5,2 körüli utalva arra, hogy nagyobb terület átlagában a CO<sub>2</sub>-on kívül is vannak a légkörben nem antropogén eredetű savasságot fokozó anyagok. Az esőerdők pl. hangyasavat, ecetsavat bocsátanak ki nagyobb mennyiségben, de egyéb szerves savak is megtalálhatók a légkörben. Az 5 körüli pH értéket tekinthetjük a légköri savasság természetes háttérének.
- Ezt az értéket vesszük kiindulási állapotnak a savas esők pH-jának meghatározásához, de az 5 alatti pH még mindig nem jelent savas ülepedést (esőt).





# 13. táblázat A légkör természetes pH-ja (Mészáros)



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg



## 14. táblázat Két eltérő helyszín csapadékvíz összetétele (Mészáros nyomán)

A csapadékvíz kémiai összetétele Dél-Svédországban és New Hampshire-ben  
Az értékek  $\mu\text{ekv L}^{-1}$ -ben vannak kifejezve

Ionok	Svédország	New Hampshire
$\text{H}^+$	52 (pH = 4,28)	74 (pH = 4,13)
$\text{Ca}^{2+}$	14	8
$\text{Mg}^{2+}$	8	4
$\text{K}^+$	3	2
$\text{Na}^+$	15	5
$\text{NH}_4^+$	31	12
<b>Kationok összege</b>	<b>123</b>	<b>105</b>
$\text{SO}_4^{2-}$	70	60
$\text{NO}_3^-$	31	23
$\text{Cl}^-$	18	14
<b>Anionok összege</b>	<b>119</b>	<b>97</b>



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg



A 14. táblázat két állomásának (Svédország és az USA-beli város) csapadék adatait a kationok és az anionok összevetésével tudjuk értékelni. A klorid ionok természetes forrása a tengeri sóból (NaCl) ered. Amennyiben a Cl-ion feltételezett forrása valóban a tengeri só, akkor a második állomás esetében valahol antropogén eredetű klorid forrásnak kell lennie, mivel ott 5 Na<sup>+</sup>-hoz [μekv l<sup>-1</sup>] 14 Cl<sup>-</sup> [μekv l<sup>-1</sup>] társítható. Ugyanez az érték az első állomáson rendre 15 [μekv l<sup>-1</sup>] és 18 [μekv l<sup>-1</sup>], vagyis csaknem teljesen kiegyenlítik egymást. Az USA-ban New Hampshire mellett sósavgyár működik, mely megadja rögtön a forrást.





# Ülepedés a légkörből. A száraz ülepedés folyamata, fajtái. Néhány vegyület nedves ülepedése ábrákon szemléltetve (Európa)

## 29. lecke



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg



## Ülepedés a légkörből

- A légkörbe került anyagok két módon távozhatnak a levegőből a felszínre:
  - száraz és
  - nedves ülepedéssel.

A száraz ülepedés folyamatosan történik, s általában a szennyező forrás közelében lép fel.

Meghatározásához az esési sebességet kell kiszámolni a Stokes törvény alapján (esési hosszúság/idő):

$$v_{\text{esési}} = \frac{2r^2 \rho g}{9\mu}$$





ahol

$r$ : a részecske sugara (mérete)

$g$ : gravitáció

$\rho$ : a levegő sűrűsége

$\mu$ : a levegő viszkozitása.

Ha elvégezzük a fenti számítást, akkor a nagyobb, tíz mikront meghaladó méretű aeroszoloznál eredményül azt kapjuk, hogy azok elég gyorsan akár 1 cm/s sebességgel is elhagyhatják a légkört. Ekkor a gravitáció juttatja ki az anyagot a levegőből.

Apróbb részecskénél, különösen 1 mikron alatt



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg



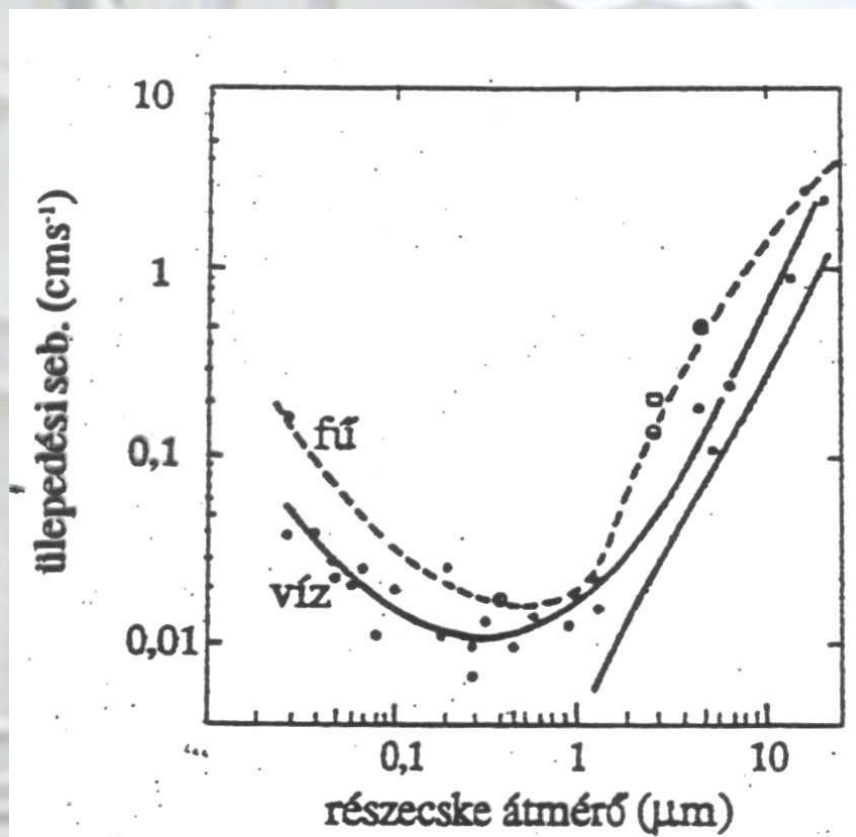


az esési sebesség olyan csekély (0,01 cm/s), hogy az nem elegendő a szennyezőanyag kikerüléséhez. Az így előálló folyamat hatékonyságát a turbulens diffúzió növeli, mely a szennyezőanyag meghatározott pontok közötti koncentráció különbségén alapul.

Az apró méretű szennyezőanyagok a felszín közelébe érve további segítséget kapnak, a felszín adszorpciós kapacitásától. Ennek értéke felszín típusonként változhat, melyre példát a következő ábra tartalmaz Mészáros nyomán. Az ábrán a vízfelszín és a gyepek felett kialakuló eltérő ülepedési sebességeket hasonlíthatjuk össze.



# 59. ábra Eltérő felszín felett mért ülepedési sebességek (Mészáros)



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg



A száraz ülepedés lépései a korábbiak alapján:

- A szennyezőanyag lekerülése a felszín közelébe
- A felszín adszorpciója, abszorpciója és adhéziója „kisegíti” a szennyezőanyagot a légkörből.

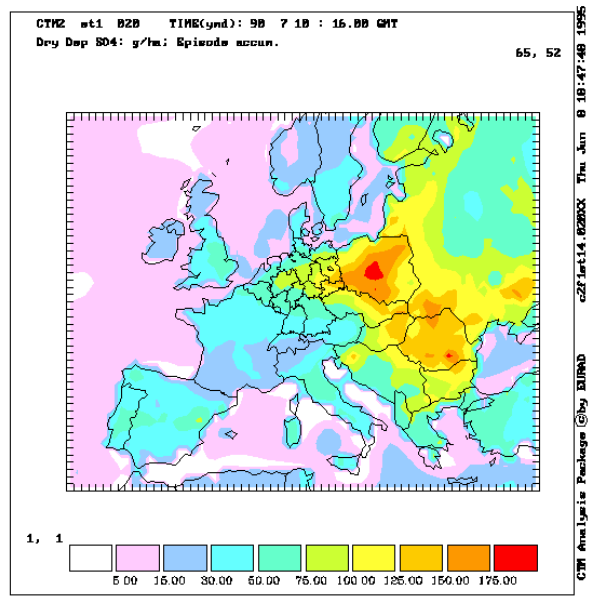
A kémény magassága hatással lehet a száraz ülepedésre. Kutatások szerint alacsony kéménynél az emisszió 10-20%-a az első 20 km-en kihullik a levegőből, mivel ezek közel vannak a felszínhez. Magas kéményeknél éjszaka benne marad a levegőben, majd nappal átalakul. Az anyagok 90%-a hosszabb ideig marad a légkörben. Hajnalban kezdődik a szennyezők talaj közelhez való eljuttatása.



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg



# 60. Ábra A szulfát száraz ülepedése Európában (1998; g/ha)



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg



A száraz ülepedést a meteorológiai tényezők is befolyásolják (stabilitás, szélesebesség).

A száraz ülepedés számolásánál az alábbi egyszerű egyenletet alkalmazzuk:

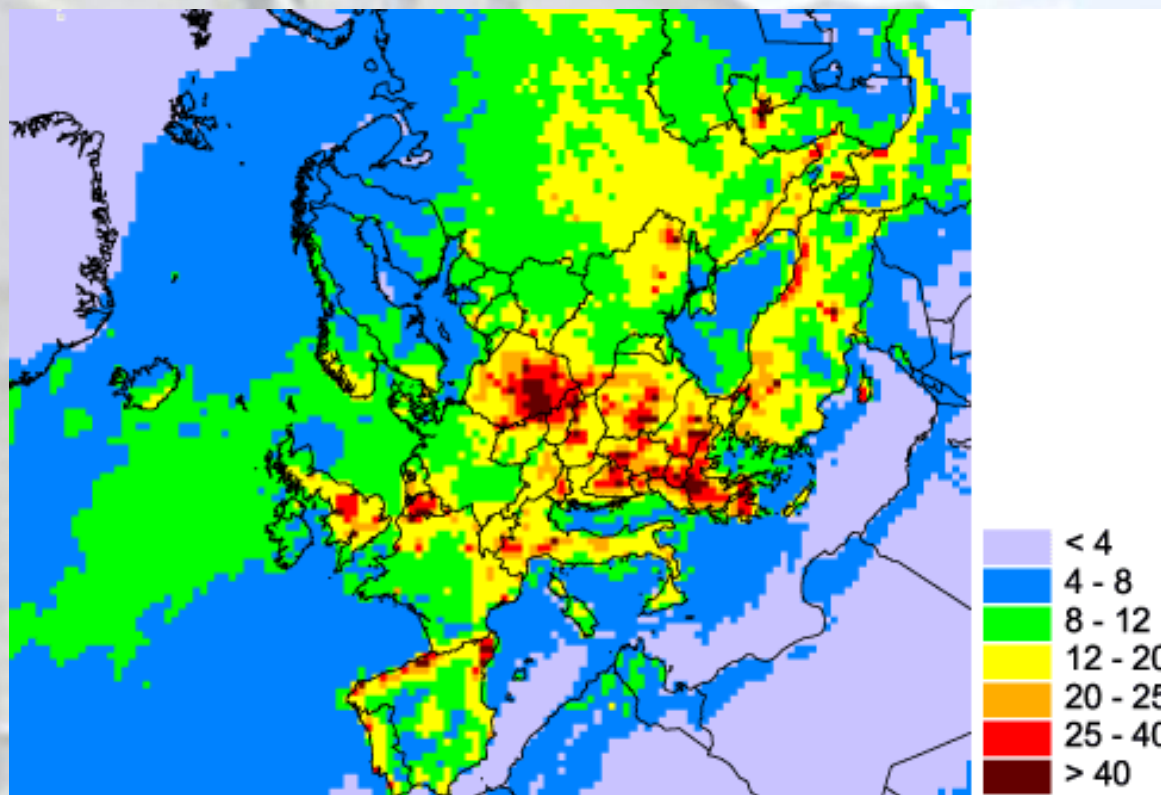
$$\text{Száraz ülepedés } [r < 1 \mu\text{m}] = v_{\text{esési}} \cdot C,$$

ahol a  $c$  a szennyezőanyag koncentrációja.

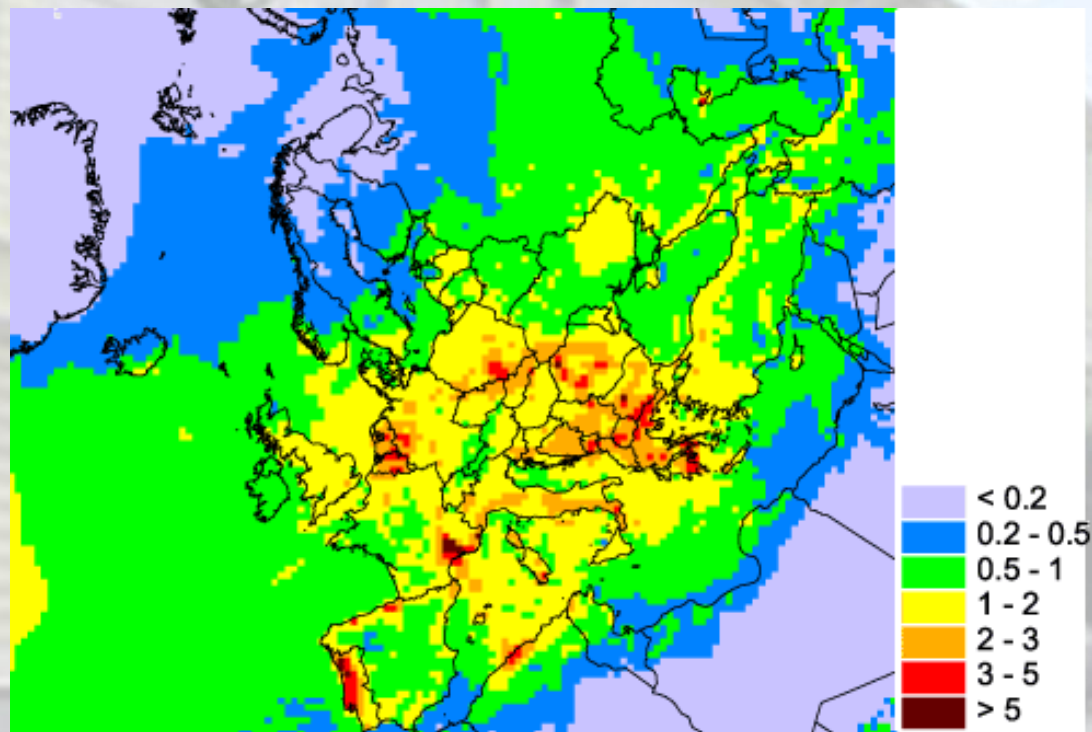
A száraz ülepedés értékeire szerzőnként jelentősen – nagyságrendileg is – eltérő eredményeket találunk. Valószínűleg a rendkívül komplex jelenségből fakad az eredmények sokszínűsége (időjárás, felszíni tulajdonságok stb.)



## 61. ábra Hígany száraz ülepedés 2004-ben [g/km<sup>2</sup>/év]

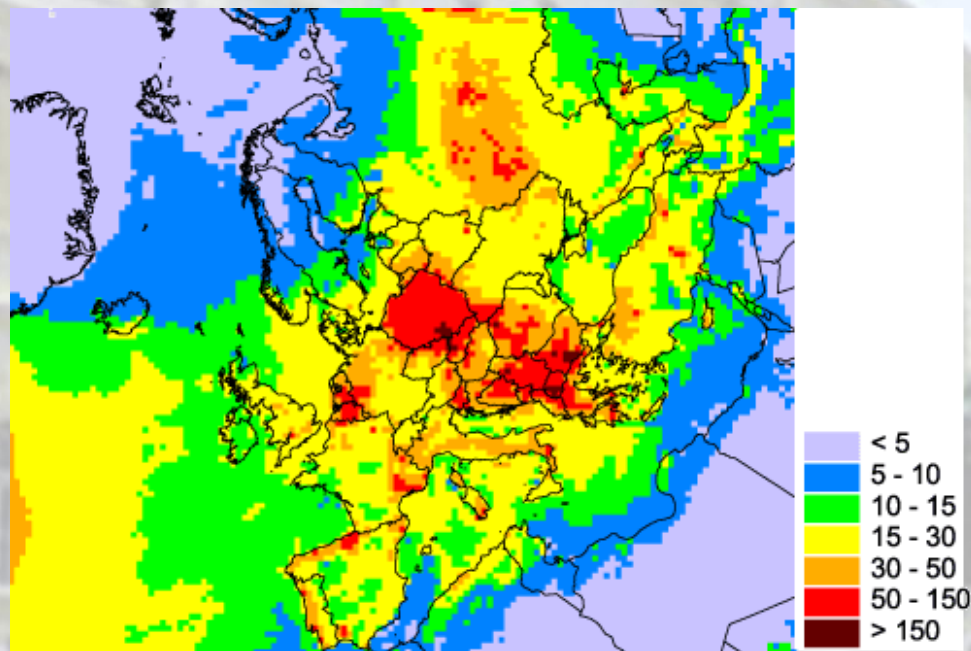


# 62. ábra Ólom száraz ülepedés 2004-ben [g/km<sup>2</sup>/év]



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

# 63. ábra Kadmium (olaj!) száraz ülepedés 2004- ben [g/km<sup>2</sup>/év]



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg





# A nedves ülepedés fogalma. A szennyezőanyagok kimosódásának részfolyamatai – okok és következmények

## 30. lecke



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg



## Nedves ülepedés

- A csapadékkal történő légköri szennyezőanyag eltávozást nevezzük nedves ülepedésnek. Alapfeltétele a csapadékképződés (felhőképződés). Ehhez ismeretes, hogy a levegőnek telítettnek kell lennie. Hazánkban a felhőkben nemcsak telítettség feltételei adóttak, hanem 0,5%-os túltelítés érhető tetten; vagyis több a benne lévő nedvességtartalom, mint amelyet adott léghőmérsékleten befogadni lenne képes.
- A csapadékképződés feltétele a fenti telítettség elérése, mely a légkörben lévő aeroszol részecskék felületére történő vízfilm kiválását jelenti.





- A nedves ülepedés első folyamata nem különbözik a csapadékképződés kondenzációs fázisától.

A kondenzáció intenzitása anyag-függő. Egyrészt függ a szennyezőanyag minőségétől; másrészt annak méretétől.

Minél nagyobb a részecske, ill. minél jobban oldódó anyagról van szó, a kritikus telítettsége annál alacsonyabb; annál gyorsabban történik a csapadékvízbe történő oldódása.

A fenti 0,5%-os tútelítettség a nagyobb méretű részecskék oldódásának kedvez.





- Ez azt jelenti, hogy a század mikronos, vagy annál nagyobb részecskék azonnal képesek feloldódni felhőinkben.
- A fentínél kisebb részecskék oldódásához másra van szükség. Minél apróbb méretű a részecske, azok Brown-féle mozgása annál nagyobb, mely megnöveli a részecskék találkozásának lehetőségét. A részecskék találkozva egymásnak ütköznek, koagulálódnak. E folyamat eredményeképpen a légkörben lévő részecskék darabszáma az idő előre haladásával fokozatosan csökken.





- A két fenti folyamat végül az összes szennyezőanyagot oldatba juttatja.

A kialakult részecskék mérete azonban még mindig nem biztos hogy elegendő ahhoz, hogy a feláramlás sebességét legyőzve a gravitáció kijuttassa azokat a felhőből. Az a méret, melynek esélye van a kikerüléshez legalább 100 mikront jelent.

- Ehhez további méret-növekedésnek kell bekövetkeznie, melyhez két eltérő folyamat vezet:
  - a gravitációs koaguláció és az
  - átpárolgással történő növekedés.





- A telítettségi párányomás az egyes felszínek felett eltérő. Állandó eltérés van a jégszemcsék és a vízrészecskék feletti telítettségi érték között. Mivel a jégszemek feletti telítési párányomás alacsonyabb, mint a vízrészecskék feletti érték, ezért a vízcseppecskék átpárolognak a jégszemcsékre növelve azok méretét.

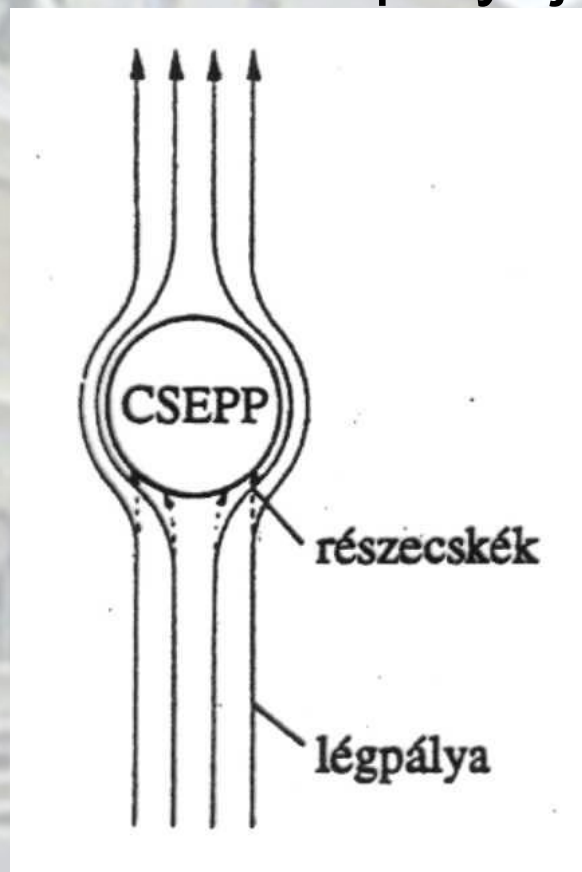




- A másik szemcseméret növelő eljárás gravitációs koaguláció azt jelenti, hogy a felhőben állandó mozgásban lévő felhőelemek útjuk során összeütköznek egymással, mely során összeolvadnak, s az így képződött részecske mérete meghaladja az eredeti cseppecskékét.



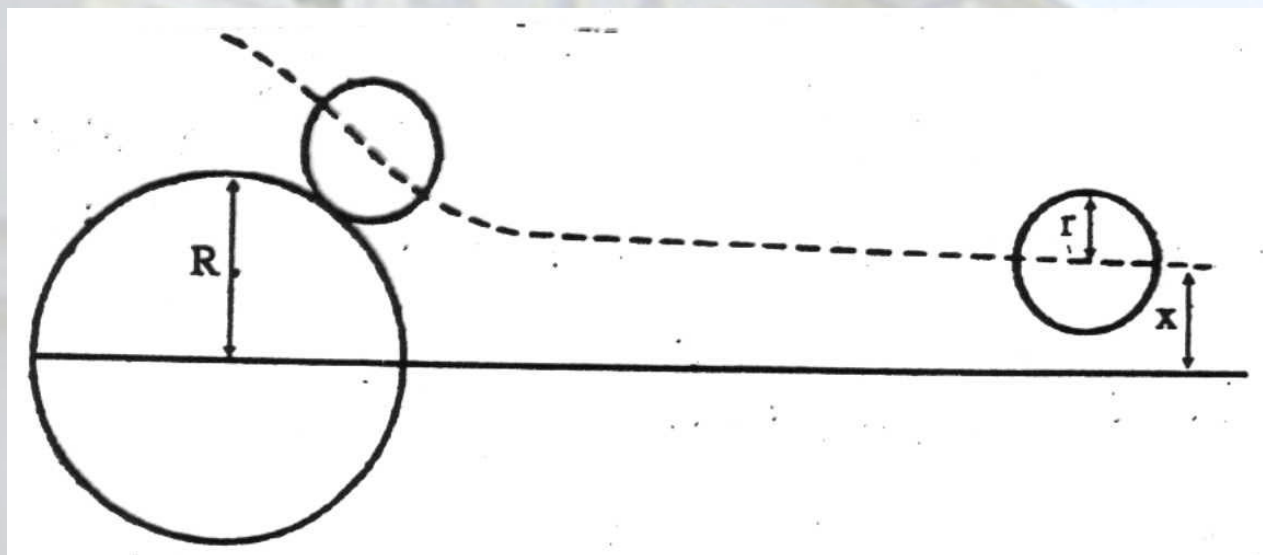
# 64. ábra A gravitációs koaguláció lehetősége; a részecske pályájával



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg



# 65. ábra A kritikus részecske méret-csepp kapcsolat (Mészáros)





## 66. ábra Nedves ülepedés mérő

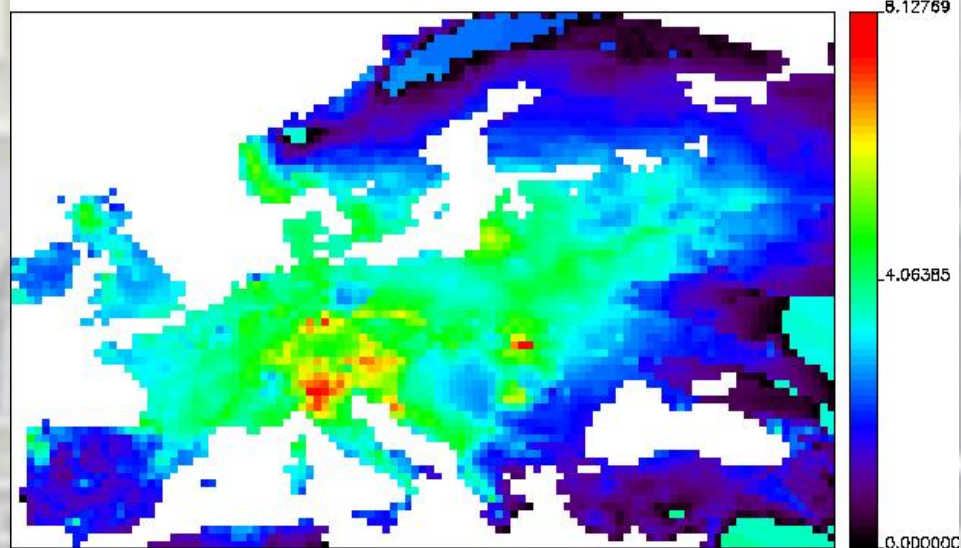


A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

# 67. ábra A légköri nitrát nedves ülepedése Európában

EMEP wet NO3 annual mean (kgN/ha/yr)

2.55837	mean deposition (kgN/ha/yr)
8.12769	max pixel value (land only) (kgN/ha/yr)
0.000000	min pixel value (land only) (kgN/ha/yr)
-9999.00	Missing value



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg



Debrecen Egyetem  
Mezőgazdaság- Élelmiszertudományi és  
Környezetgazdálkodási Kar



Pannon Egyetem  
Georgikon Kar



Köszönöm figyelmüket!



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg