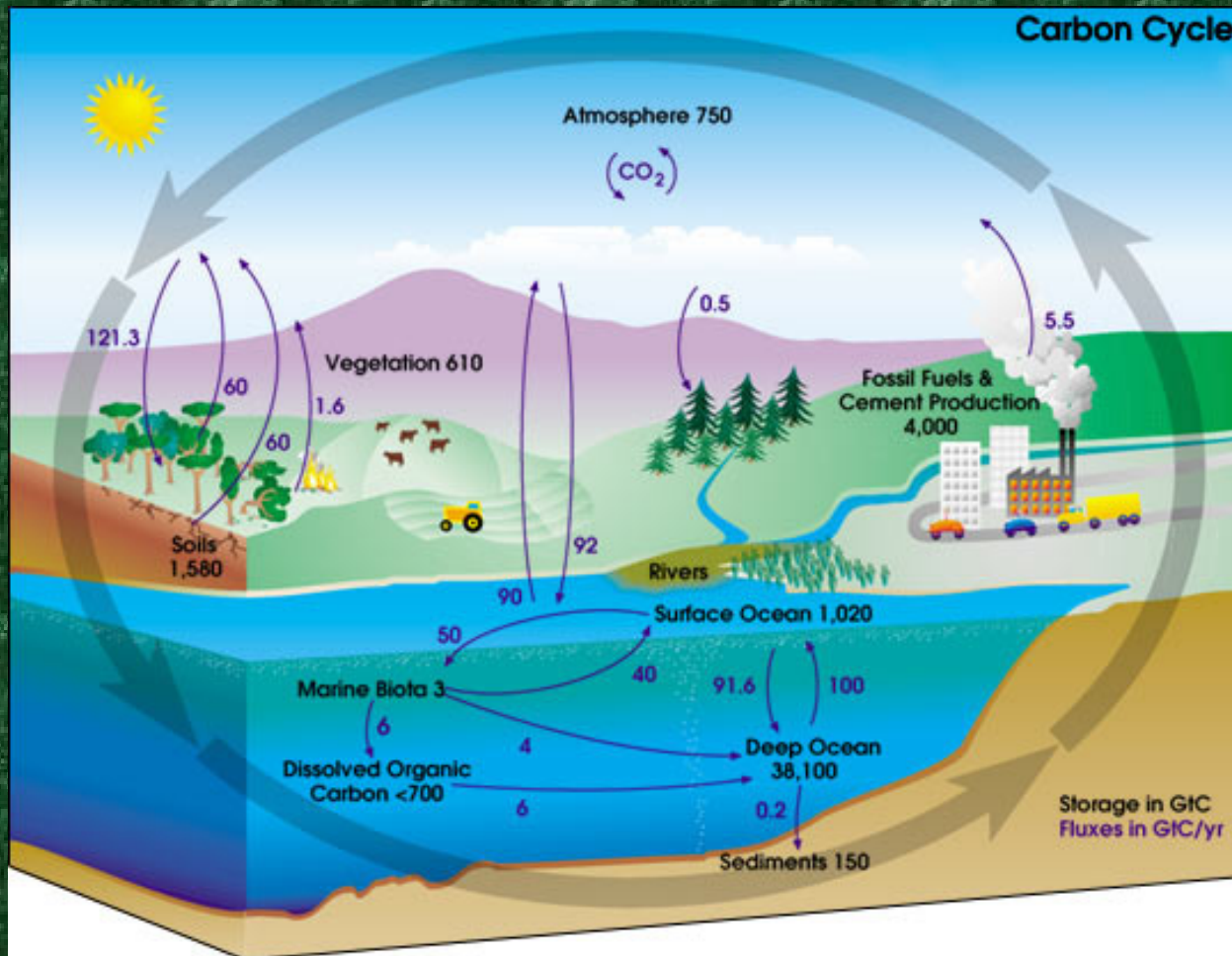


# A LÉGKÖRI NYOMANYAGOK FORRÁSAI ÉS NYELŐI

# A légkör fejlődéstörténetéből:

szoros kapcsolat a légkör és az egyes szférák között  
állandó kölcsönhatás

bioszféra – litoszféra – hidroszféra



**A légkör stabilitása:** kvázi egyensúlyi állapot, dinamikus egyensúly, a ki- és belépő anyagmennyiségek egyensúlya a kibocsátó és a befogadó szféra lehet eltérő kényes egyensúly – **megjelenik az EMBER**

**Az egyes szférák a légköri nyomanyagok forrásai és nyelői is lehetnek**

**Forrás:** szféra/hely/folyamat – ahonnan/amely révén nyomanyagok kerülnek a légkörbe

**Nyelő:** szféra/hely/folyamat – ahová/amely révén nyomanyagok távoznak a légkörből

# BIOSZFÉRA

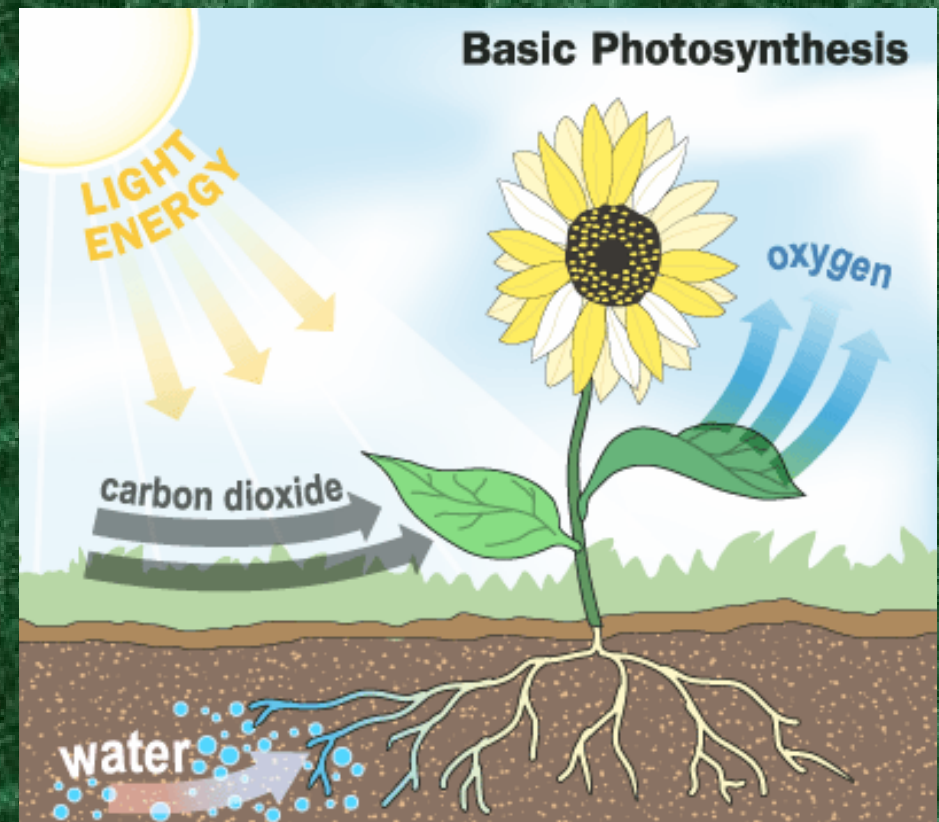
Legjellegzetesebb kölcsönhatás: fotoszintézis/respiráció



**Nappal:**  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{energia (napfény)} \rightarrow \text{szerves anyagok}$   
(pl. cukor) képződnek

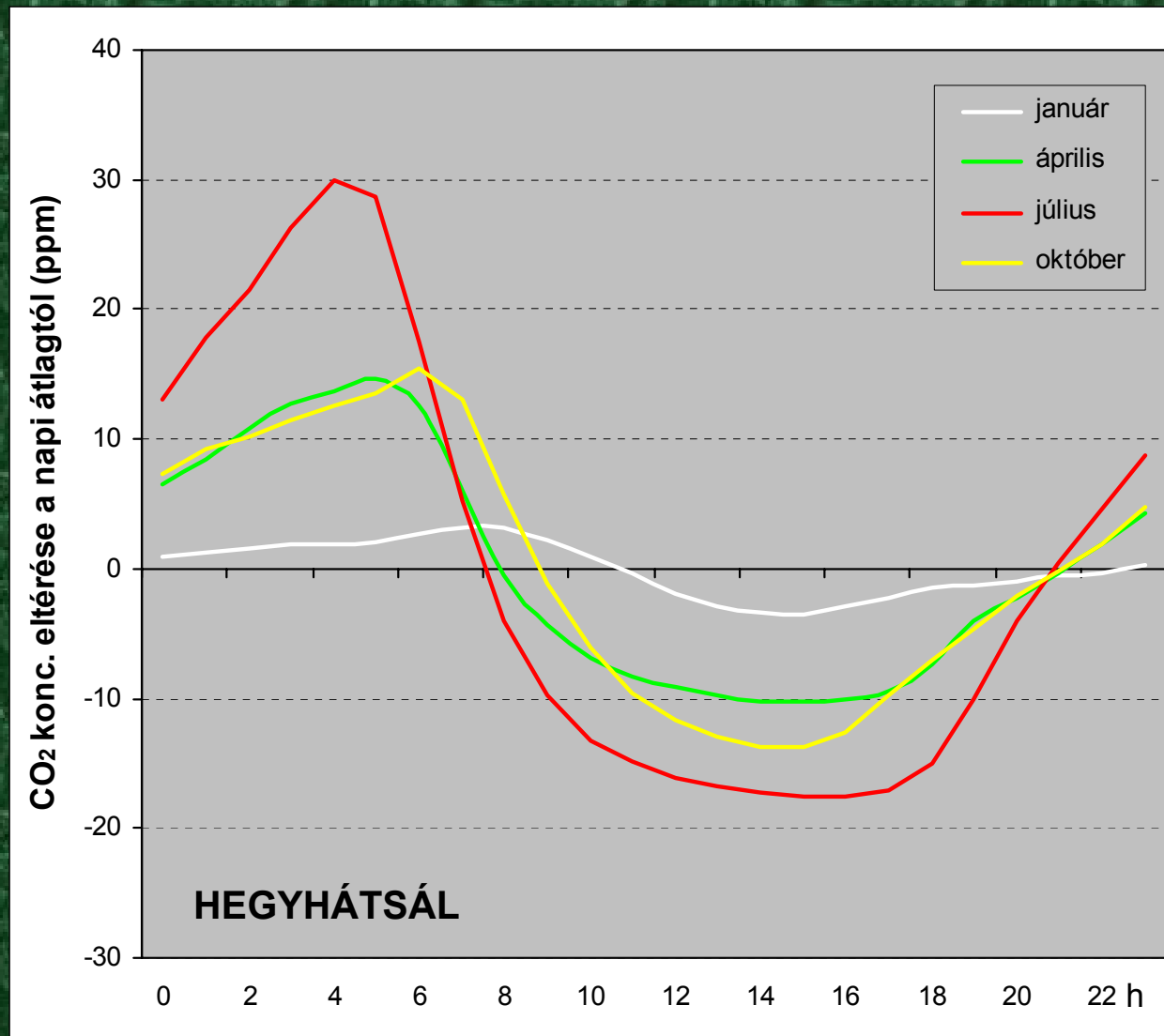
**Éjjel:** a létfenntartáshoz szükséges energia a szerves anyagok oxidációjából

Ciklikus  $\text{CO}_2 - \text{O}_2$  csere a bioszféra és a légkör között  
kvázi-egyensúlyi helyzet



# BIOSZFÉRA

Ciklikus  $\text{CO}_2$  –  $\text{O}_2$  cseré a bioszféra és a légkör között  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  napi menet a koncentrációban



# BIOSZFÉRA

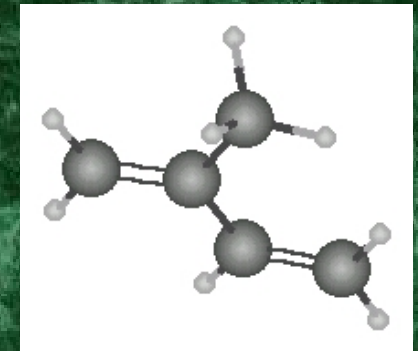
**Növények:** nem csak CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>!

**Füvek, (főleg) gyümölcsfák:** etén (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) *(függ a növény élelciklusától, állapotától)*

**Lomblevelűek:** izoprén (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>)

a fotoszintézis mellékterméke, a klorofil oxidációjával keletkezik

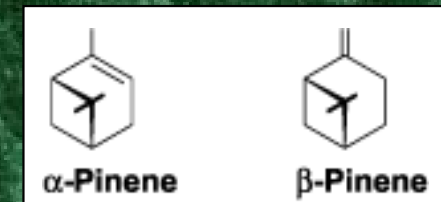
faj, fény és hőmérsékletfüggő kibocsátás  
(nyári maximum)



**Tűlevelűek:** terpének

fényfüggetlen, hőmérsékletfüggő kibocsátás

biokémiai folyamatok terméke



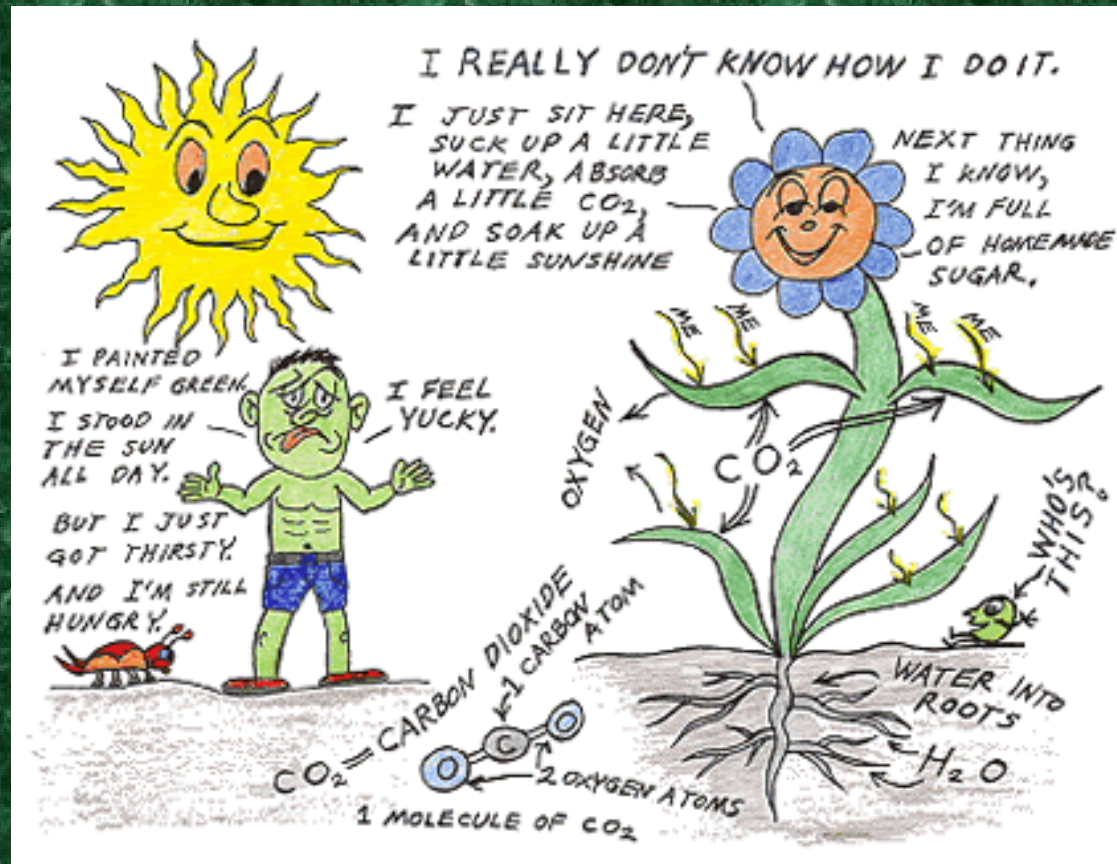
**Növények:** illatanyagok (bonyolult szerves vegyületek)  
nem csak C, O, H

# BIOSZFÉRA

Állatvilág: nem fotoszintetizál – energiaforrás a légzés ( $O_2 \rightarrow CO_2$ )  
(szerves anyagok oxidációja)

emésztőrendszer (szimbionta baktériumok)  $\rightarrow$  metán ( $CH_4$ )  
(különösen: kérődzők, természetek)

illatanyagok, jelzőanyagok – bonyolult szerves vegyületek



# BIOSZFÉRA

Oxigén-hiányos/oxigén-mentes környezetben:

anaerob mikroorganizmusok

elhalt szerves anyag anaerob lebontása

termék: elsősorban metán ( $\text{CH}_4$ )

forrásterületek: mocsaras területek, ár-apály területek  
elárasztott rizsföldek  
hulladék-lerakók  
egyes állatok emésztőrendszere,...

talaj-mikroorganizmusok: etán ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propán ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) is

Oxigénes környezetben: elhalt szerves anyag oxidációja ( $\text{CO}_2$ )

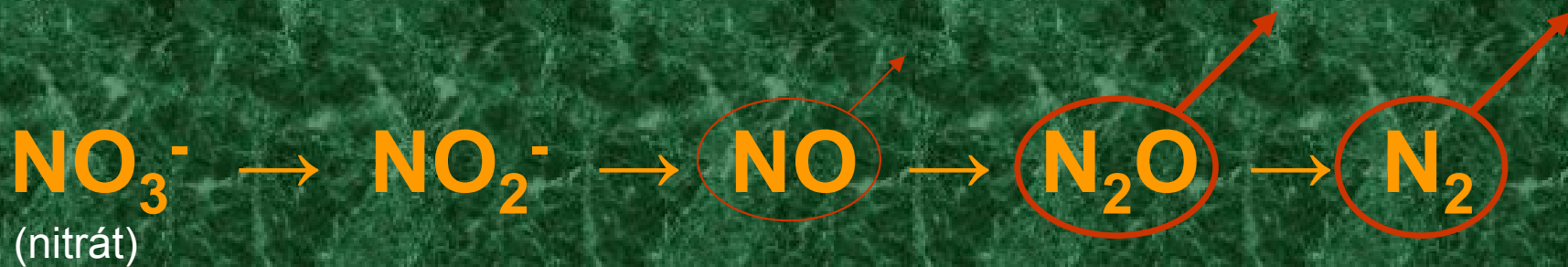


# BIOSZFÉRA

Az élő szervezetek nem csak szenet, hidrogén és oxigént tartalmaznak, hanem más elemeket is (pl. nitrogén, kén, foszfor, stb.). Ezek megjelennek a kibocsátásban is.

Magasabbrendű állatok vizelete → hidrolízis → ammónia (NH<sub>3</sub>)

Nitrát-lebontó mikroorganizmusok a talajban (denitrifikáció):



(a légkörből megkötött nitrogén visszajuttatása a légkörbe,  
a légköri nitrogén oxidációjának ellensúlyozása)

# BIOSZFÉRA

Az 1970-es évekig: honnan a sok kén a légkörben?

tengeri és talajlakó mikroorganizmusok anyagcseréje:

karbonil-szulfid ( $\text{COS}$ ), szén-diszulfid ( $\text{CS}_2$ )

tengeri és talajlakó mikroorganizmusok, fitoplanktonok anyagcseréje:

dimetil-szulfid ( $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ )

**Metiláció:** nem csak a kén eltávolítása az anyagcsere során

$\text{CH}_3\text{Cl}$ ,  $\text{CH}_3\text{Br}$ , fém-metilek

(klór, bróm, stb. az óceánok sótartalmából, talajból)

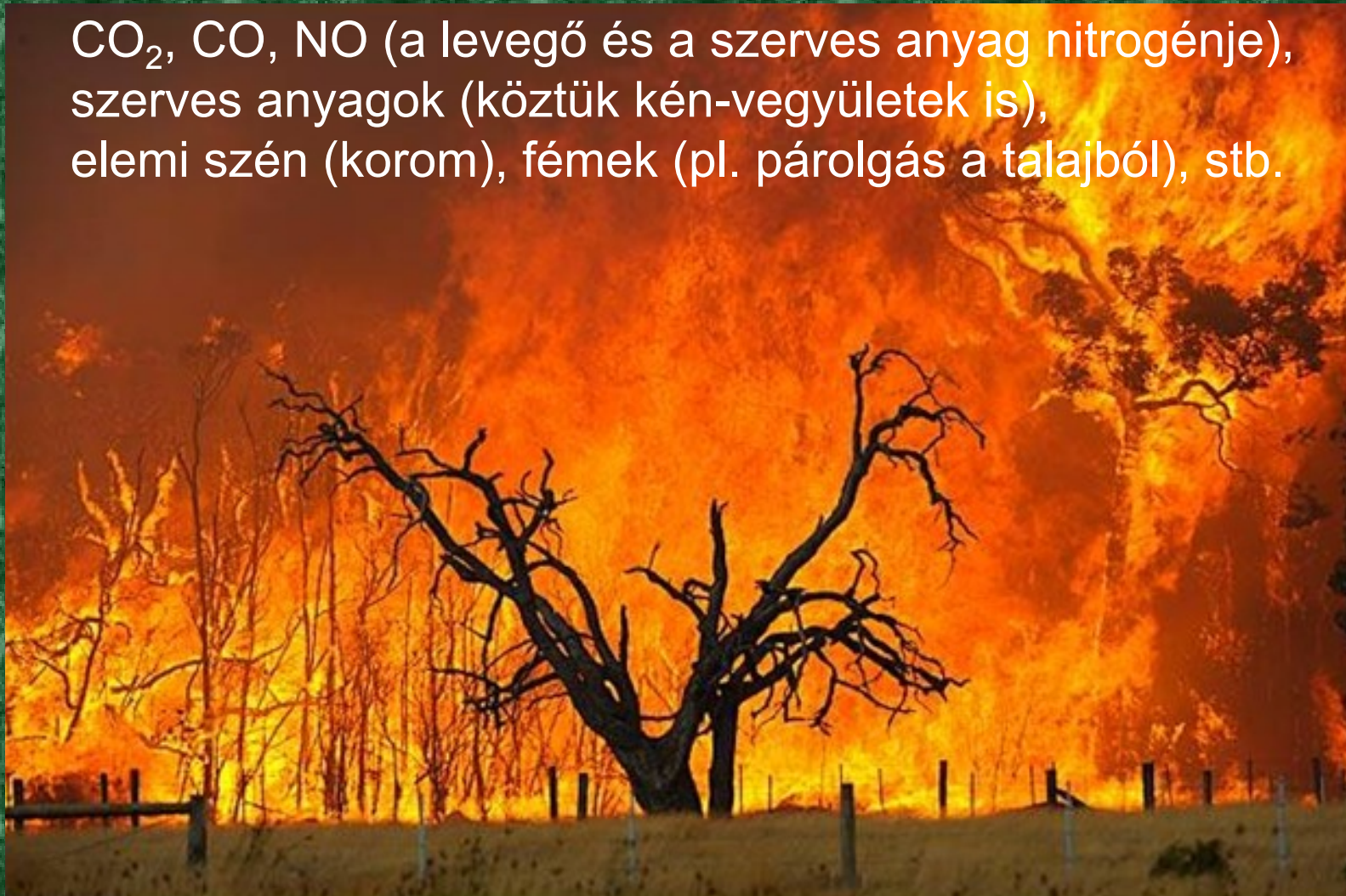
A foszfor-vegyületek levegőkémiai jelentősége csekély

# BIOSZFÉRA

Természetes/antropogén erdő- és bozóttüzek:

alacsony hőmérsékletű, oxigén-hiányos/tökéletlen égés  
→ sok részlegesen oxidált anyag

CO<sub>2</sub>, CO, NO (a levegő és a szerves anyag nitrogénje),  
szerves anyagok (köztük kén-vegyületek is),  
elemi szén (korom), fémek (pl. párolgás a talajból), stb.



# HIDROSZFÉRA

Sok nyomanyag a biológiai aktivitás következtében (lásd bioszféra)

Óceán = híg vizes oldat

Vízben oldható anyagokra egyensúlyban a felette lévő léggörrel

$$C_{\text{oldat}} \sim p_{\text{léggör}}$$

Henry-törvény

Az oldhatóság hőmérséklet-függő  $\Rightarrow$  az óceán forrás és nyelő is lehet

Tengeri só részecskék (kloridok, szulfátok) befolyásolják a léggöri sugárzásátvitelt



# LITOSZFÉRA

A geokémiai források töltötték fel a légkört, ma is működnek

Domináns: vulkáni tevékenység

térben és időben koncentrált (esetenként a sztratoszféráig lövell)

**Kigőzölgések:** időben egyenletesebb, de csekély hozam

$\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HCl}$ ,... vízgőz



**Közetek:**

**Radioaktív bomlás:** nemesgázok (pl.  $^{40}\text{K} \rightarrow \text{Ar}$ ,  $^{226}\text{Ra} \rightarrow \text{Rn}$ ,...)

**Erózió:** szilikátok, alumínátok, oxidok

(csak a  $<10 \mu\text{m}$ -es részecskék maradnak tartósabban a levegőben)

# VILÁGŰR

Csekély anyagmennyiség a meteoritokból

csak a magaslégkörben van jelentősége  
(pl. alkáli fémek az ionoszférában)



# LÉGKÖR

A légkörben is keletkeznek nyomanyagok → erről szól a levegőkémia

# EMBERI TEVÉKENYSÉG

A régmúlt idők légkörének összetételét közvetett információk alapján ismerjük (pl. geológia)

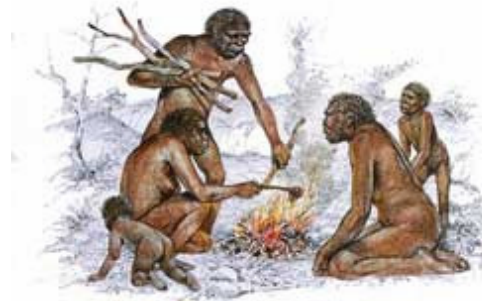
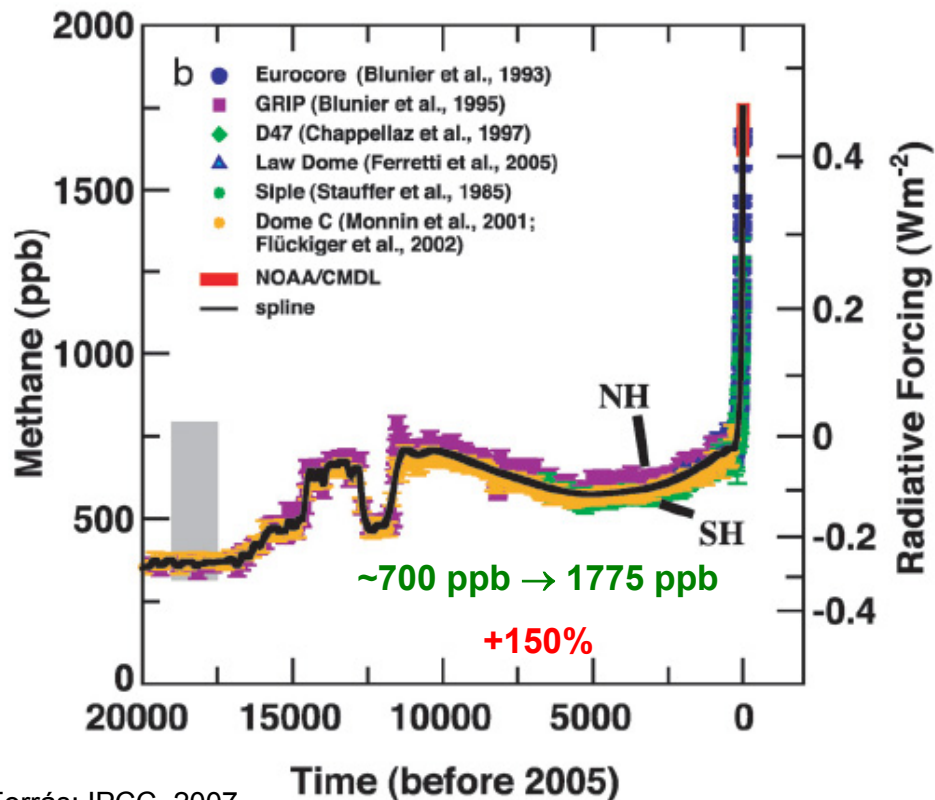
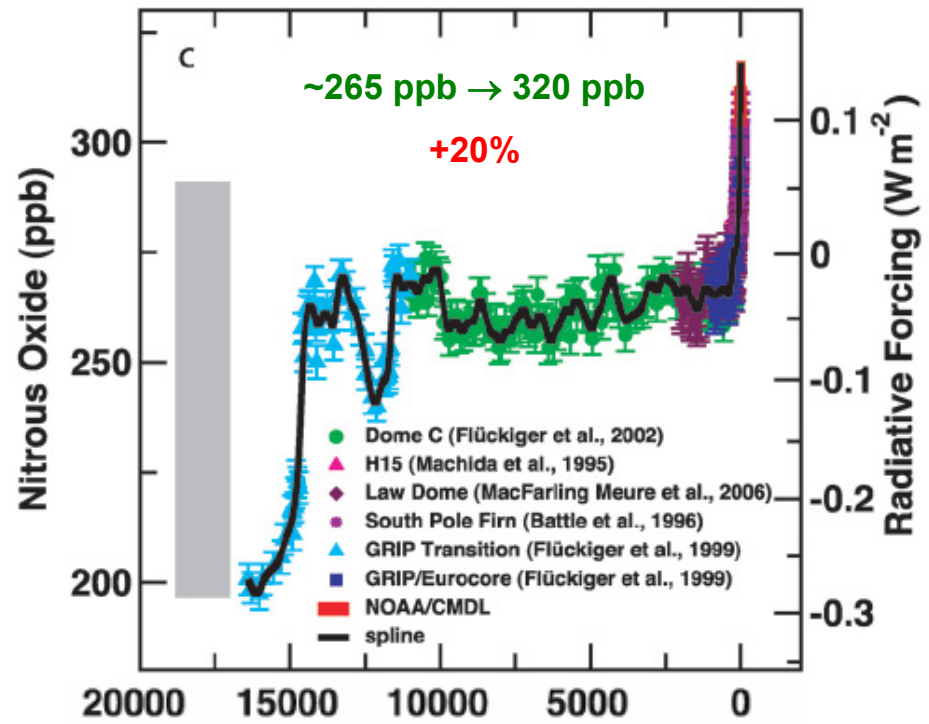
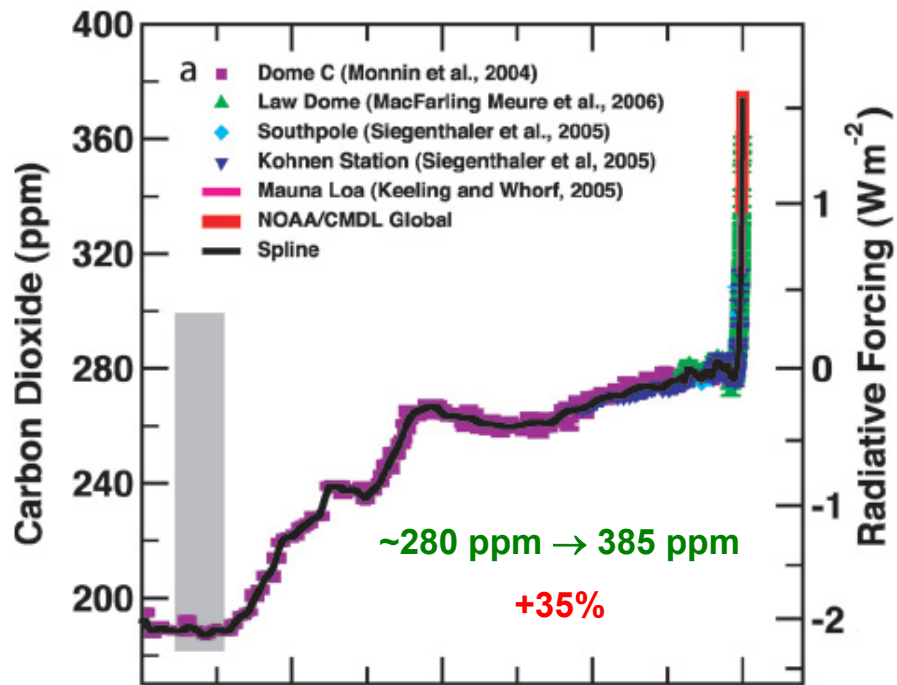
Az elmúlt ~800 ezer évről közvetlen adatok a jégmintákból (csak nem reaktív anyagokra)

Az elmúlt 200-300 évben látványos változások indultak a légkör összetételében

Új nyomanyag-forrás jelent meg, az **EMBERI TEVÉKENYSÉG**, amelyet nem vagy nem teljesen ellensúlyoznak a nyelők

A kibocsátás a légkör össztömegéhez képest csekély, de a ppb-s mennyiségeket, egyensúlyban lévő anyagmérlegeket képes befolyásolni

Megjelentek a természetes forrás nélküli nyomanyagok a légkörben





# EMBERI TEVÉKENYSÉG

## FOSSZILIS TÜZELŐANYAGOK (szén, kőolaj, földgáz) ÉGETÉSE

A légkörből évmilliók alatt megkötött szén felszabadítása és gyors ütemű visszajuttatása a légkörbe

**Cél:** főleg energiatermelés (elektromos áram, fűtés, belső égésű motorok üzemeltetése, stb.)  
vegyipari felhasználás (pl. műanyagipar)

Égés (oxidáció): szén/szénvegyületek  $\rightarrow$   $\text{CO}_2$

Tökéletlen égés: CO, korom, részlegesen elégett szénhidrogének

Magas hőmérsékletű égés: NO/NO<sub>2</sub> (a levegő nitrogénjének oxidációja)

Tüzelőanyagok szennyezettségéből: pl. SO<sub>2</sub>, fémek (Ni, V, As,...)

# EMBERI TEVÉKENYSÉG

## TERMÉSZET ÁTALAKÍTÁS / TERÜLETHASZNÁLAT VÁLTOZTATÁS

**Cél:** területszerzés mezőgazdasági terület, település, útépités, repülőtér, távvezeték, stb. céljára

**Megoldás:** égetés

**Következmény:** légszennyezés, gyorsuló talajoxidáció, erózió, csökken a bioszférikus nyelő kapacitása (pl. CO<sub>2</sub>)

**Biomassza égése:** alacsony hőmérsékletű, oxigén-hiányos/tökéletlen égés → sok részlegesen oxidált anyag

CO<sub>2</sub>, CO, NO (a levegő és a szerves anyag nitrogénje), szerves anyagok, elemi szén (korom), fémek (pl. párolgás a talajból), stb.

# EMBERI TEVÉKENYSÉG

## TERMÉSZET ÁTALAKÍTÁS / TERÜLETHASZNÁLAT VÁLTOZTATÁS

**Cél:** élelmiszer-termelés bővítése, élelmiszer-ellátás biztosítása

**Megoldás:** az állatállomány és a termőterület növelése, (mű)trágyázás

**Következmények:** légszennyezés, anyagmérlegek egyensúlyvesztése

**Pillangósvirágúak (zömmel takarmánynövények) termelésének növelése:**

nitrogén-megkötés növelése, denitrifikációs folyamatok erősítése  
(légköri nitrogén-forgalom módosítása)

**(Mű)trágyázás:** denitrifikációs folyamatok erősítése (N<sub>2</sub>O kibocsátás!)

**Rizstermelés:** metán-kibocsátás

**Állattenyésztés:** ammónia- és metán-kibocsátás

**Szerves hulladék:** metán-kibocsátás

# EMBERI TEVÉKENYSÉG

## IPARI TERMELÉS, TERMÉKEK *(az energiatermelésen túl)*

Kohászat: fémgőzök

Műtrágya-gyártás:  $N_2O$ ,...

Oldószerek (festékek, tisztítószer) párolgása: szerves anyagok

Üzemanyagok párolgási vesztesége: szerves anyagok

Vegyipar, gyógyszeripar, papíripar, élelmiszeripar: különböző szerves  
anyagok

Szénbányászat:  $CH_4$  (sújtólég)

Kőolaj- és földgáz-kitermelés:  $CH_4$ ,  $CO_2$  (kis mennyiségben egyéb szénhidrogének)

Földgáz-szállítás, -elosztás:  $CH_4$  (kis mennyiségben egyéb szénhidrogének)

# EMBERI TEVÉKENYSÉG

## IPARI TERMELÉS, TERMÉKEK *(az energiatermelésen túl)*

20. század elejétől speciális célokra természetben elő nem forduló anyagok  
(köztük illékonyak, légkörbe kerülők)

**Freonok, halonok** (anyagcsoportok, DuPont-márkanév, 1930-as évektől)

**FREONOK** (CFC-k, klorofluoro-carbonok, telített klórozott-fluorozott szénhidrogének)

**Előnyök:** egészségre ártalmatlan, **kémiaailag inert**, fizikai tulajdonságaik alapján sok célra kiválóan alkalmazható anyagok

**Felhasználás:** porlasztás (aeroszolos palackok), habosítás (műanyagipar), tisztító oldószer (elektronikai ipar), hűtőközeg (hűtőgépek, légkondicionálók)

**VESZÉLY** *(de ez csak fél évszázad után derült ki):* a troposzférában kémiaailag inert, hosszú légköri tartózkodási ideje miatt feljut a sztratoszférába, ahol az UV-sugárzás ózon-réteget roncsoló klór-atomokat szakít le róla

# EMBERI TEVÉKENYSÉG

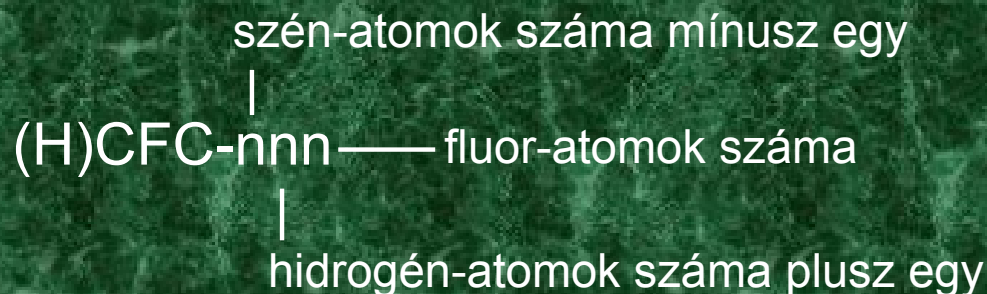
## IPARI TERMELÉS, TERMÉKEK *(az energiatermelésen túl)*

**FREONOK** (CFC-k, klorofluoro-carbonok, telített klórozott szénhidrogének)

triklorofluoro-metán	$\text{CCl}_3\text{F}$	CFC-11
diklorodifluoro-metán	$\text{CCl}_2\text{F}_2$	CFC-12
triklorotrifluoro-etán	$\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$	CFC-113

Egy vagy több Cl/F atomot hidrogén helyettesít → lágy freon (HCFC)

reaktívabb, mint a CFC, gyorsabban elbomlik, nem jut fel a sztratoszférába, kevésbé roncsolja az ózonréteget **(de ezek is üvegházhatásúak!)**



# EMBERI TEVÉKENYSÉG

**IPARI TERMELÉS, TERMÉKEK** *(az energiatermelésen túl)*

**HALONOK** (bróm-tartalmú halogénezett szénhidrogének)

**Felhasználás:** motorok, hajtóművek, drága elektronikai berendezések oltása

az oxigén kiszorító nehéz gázok, hő hatására sem bomlik mérgező anyagokra, nem tesz kárt az eszközökben

**Probléma:** ugyancsak veszélyezteti az ózon-pajzsot (de nincs jó helyettesítő anyag)

## MONTREALI JEGYZŐKÖNYV (1987) és kiegészítései

A különböző halogénezett szénhidrogének termelésének és felhasználásának korlátozása, tiltása a sztratoszféra ózon-tartalmának védelmében

# EMBERI TEVÉKENYSÉG

Több ezer más anyag...





# A NYOMANYAGOK KIKERÜLÉSE A LÉGKÖR BŐL

A légkör kémiai összetételének stabilitása:

ami bekerül, annak ki is kell kerülnie

(nemesgázok halmozódnak, de nagyon lassan)

## NYELŐK:

Világűr felé: csak H, kevés He – nem jelentős

**Száraz ülepedés:** a nyomanyagok közvetlen megkötődése a felszínen (ad- és abszorpció). Oldható anyagoknál elősegíti, ha a felszín nedves.

**Nedves ülepedés:** a nyomanyagok a felhő- és csapadékelemekben kötődnek meg és a csapadékkal távoznak  $\Rightarrow$  csapadékkémia

# SZÁRAZ ÜLEPEDÉS

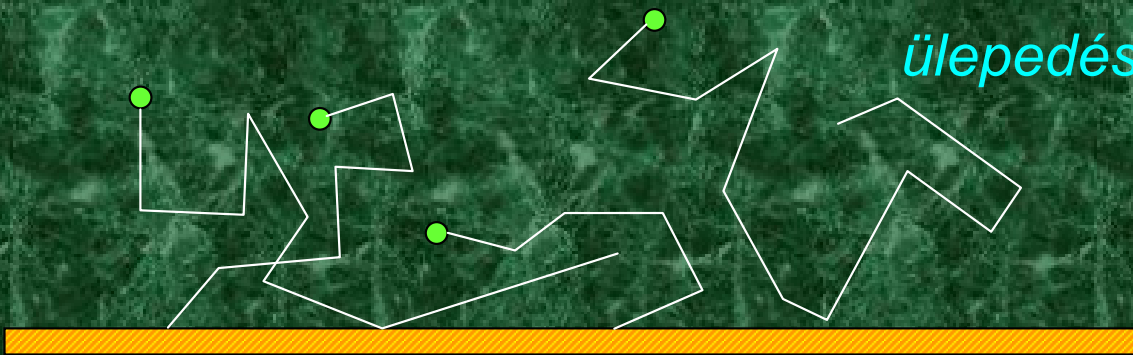
Rendezetlen mozgás → ütközés a felszínnel → megkötődés

$$F \left[ \frac{g}{m^2 s} \right] \sim c \left[ \frac{g}{m^3} \right]$$

arányossági tényező m/s dimenziójú



üledési sebesség ( $v_d$ )



$$D(\text{epozíció}) = F = v_d \cdot c$$

Síma, passzív felületen lassú, nagy aktív felületen (pl. növényzet) gyors,  
(különösen ha nedves, és oldható anyagról van szó)

# SZÁRAZ ÜLEPEDÉS

Száraz ülepedési sebesség mm/s nagyságrendű

gáz	ülepedési sebesség (mm/s)	felszín
Karbonil-szulfid (COS)	0,82	fű
Szén-monoxid (CO)	0,2-0,7	talaj
Kén-hidrogén (H <sub>2</sub> S)	0,15-2,8	talaj
Nitrogén-dioxid (NO <sub>2</sub> )	0,5-6	növényzet
Ózon (O <sub>3</sub> )	5	növényzet
Salétromsav (HNO <sub>3</sub> )	20-30	fű
Kénsav (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	1	fű
Kén-dioxid (SO <sub>2</sub> )	7-10	óceán

**Hatékony nyelő:**  $v_d=1$  cm/s esetén 1 nap alatt kb. 1 km magas légoszlopot tud „kiüríteni”

## **NEDVES ÜLEPEDÉS ⇒ csapadékkémia**

A vízgőz kondenzációja kondenzációs magon indul meg →  
→ a kondenzációs mag kimosódik

Az oldható gázok beoldódnak a cseppbe

Az aeroszol részecskék ütközéssel kerülhetnek a cseppbe

Felhőben és felhő alatti kimosódás (wash-out/rain-out)

Általában a talaj felé nő a koncentráció →  
→ a hulló cseppbe folyamatos a beoldódás

## **REJTETT ÜLEPEDÉS (a nedves ülepedés speciális esete)**

Talajjal/növényzettel érintkező felhő

Magasabb hegységekben jelentős lehet!