

## A NITROGÉN-VEGYÜLETEK LÉGKÖRI KÖRFORGALMA

---

---

---

---

---

---

---

---

### Biogeokémiai körforgalom:

anyagforgalom a bioszférán és a geoszférán (léggör, földkéreg, óceánok) keresztül  
kvázistacionaritás → körforgalom

**Levegőkémia:** a biogeokémiai körforgalom légköri része  
források – átalakulások – kikerülés  
(az ózon körforgalma a légkörön belül zárul!)

### Tárgyalásra kerülő anyagok:

nitrogén-vegyületek  
kén-vegyületek  
szén-vegyületek

---

---

---

---

---

---

---

---

### Nitrogén a légkörben:

#### **legnagyobb mennyiségben:**

molekuláris nitrogén ( $N_2$ ) – 78,1% –  $2 \cdot 10^{21}$  g  
(*kémiailag stabil, lassú reakciók,  $\tau \approx 10^6$  év*)

#### **fontosabb oxidált vegyületek:**

dinitrogén-oxid ( $N_2O$ ),  
nitrogén-monoxid (NO),  
nitrogén-dioxid ( $NO_2$ ),  
salétromsav ( $HNO_3$ ),  
szerves/szervetlen nitrátok (pl. PAN,  $NH_4NO_3$  [szilárd])

#### *kisebb mennyiségben:*

salétromos-sav (HONO,  $HNO_2$ )  
nitrogén-trioxid ( $NO_3$ ),  
dinitrogén-pentoxid ( $N_2O_5$ ), stb.

#### **fontosabb redukált vegyületek:**

ammónia ( $NH_3$ )

---

---

---

---

---

---

---

---

- A nitrogén fontos tápanyag minden élő szervezet számára (pl. fehérjék). Forrása a légkör.
- $N_2$  csak néhány mikroorganizmus számára felvehető (pl. *Azotobacter croococcum*, *Clostridium pasteurianum*, Rhizobium-baktériumok, kék- és zöldalgák, stb.)
  - közvetlen felvétel a növények által a szimbióta baktériumok révén (pl. pillangósvirágúak + Rhizobium-baktériumok)
  - közvetett felvétel az  $N_2$ -megkötő baktériumok által termelt ammónia, ammónia-són keresztül
  - légköri oxidáció (villámlás, biomassza égés  $\rightarrow NO \rightarrow NO_3^-$ )
- ammonifikáció: szerves N-vegyületekből ammónia, ammónia-só
- oxigén környezetben: nitrifikáció ( $NH_3 \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$  - pl. Nitrobacteriaceae-család)

---

---

---

---

---

---

---

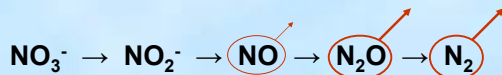
---

A mikrobiológiai folyamatok által termelt ammónia-sók ( $NH_4^+$ ), nitrátok ( $NO_3^-$ ), illetve közvetlen  $N_2$  felvétel



Növényi fehérjék, szerves nitrogén-vegyületek

**Nitrogén visszatérése a légkörbe:** denitrifikáció (talajbaktériumok pl. *Pseudomonas*, *Micrococcus*, stb.)




---

---

---

---

---

---

---

---

A denitrifikáció biztosítja a légkör állandó nitrogéntartalmát

A légkör és a felszín közötti évi  $N_2$  forgalom

**240 Tg N/év**  
(240 Mt N/év,  $240 \cdot 10^{12}$  g N/év)



**Emberi beavatkozás az  $N_2$  forgalomba:**

- pillangósvirágúak (pl. lucerna, bab, egyéb hüvelyesek, stb.) széles körű termesztése  $\rightarrow N_2$  megkötés fokozása
- közvetlen ammónia, nitrát bevitel a talajba műtrágyázással (forrása: légkör)  $\rightarrow$  denitrifikáció intenzitásának növelése

---

---

---

---

---

---

---

---

### Dinitrogén-oxid (N<sub>2</sub>O):

Szintelen, édeskés szagú gáz. „Kéjgáz” (altatás).  
Kémiaailag stabil, lassú reakciók,  $\tau \approx 120$  év

A 2. legnagyobb mennyiségben a légkörben lévő nitrogén-  
vegyület (~315 ppb)

Döntő része természetes vagy antropogén háttérű biológiai  
forrásokból (denitrifikáció)

---

---

---

---

---

---

---

---

### Dinitrogén-oxid (N<sub>2</sub>O)

#### Források (Tg N/év):

<i>Természetes források</i>	
nedves trópusi talajok	2,7-5,7
mérsékeltövi talajok	0,6-4,0
óceánok	1,0-5,7
légkör (NH <sub>3</sub> oxidáció)	0,3-1,2

**Természetes források  
összesen** **9 ± 3**

<i>Antropogén források</i>	
mezőgazd. talajok, műtrágy.	0,6-14,8
ipari források	0,7-1,8
állattenyésztés	0,2-3,1
biomassza égetés	0,2-1,0

**Antropogén források  
összesen (IPCC, 2001)** **7 ± 2**

**Források összesen**  
(IPCC, 2001)

**16,4 Tg N/év**

$$\begin{aligned} M_n &= 14 & M_{n_o} &= 44 \\ 1 \text{ Tg N/év} &= \frac{M_{n_o}}{M_n} \text{ Tg N}_2\text{O/év} = \\ &= \frac{44}{14} \text{ Tg N}_2\text{O/év} = 3,14 \text{ Tg N}_2\text{O/év} \end{aligned}$$

---

---

---

---

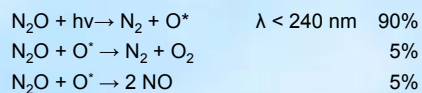
---

---

---

---

N<sub>2</sub>O a troposzférában csaknem inert ( $\tau \approx 120$  év) →  
→ feljut a sztratoszférába



**Teljes kémiai nyelő:**

**~12,6 Tg N/év**

---

---

---

---

---

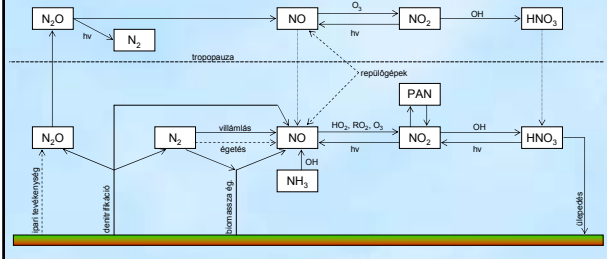
---

---

---



A troposzférikus NO egy kis része a sztratoszférából származik  
 Repülőgépek: közvetlen sztratoszférikus NO bevitel  
 $\text{NO}_2 \leftrightarrow \text{PAN}$  átalakulás  
 $\text{NO}_x$  kibocsátás dominánsan NO formájában történik




---

---

---

---

---

---

---

---

$\text{NO}_x$  fontos szerepet játszik az ózontépcsődésben,  
 áttételesen a csapadékképződésben is ( $\rightarrow \text{HNO}_3 \rightarrow$   
 kondenzációs magok)

Iparilag fejlett országokban:

közlekedés	40-50%
energia termelés	30-40%
ipari folyamatok	~20%

---

---

---

---

---

---

---

---

**Természetes források:**

villámcsapás	5 Mt N/év
kémiai forrás	1 Mt N/év ( $\text{NH}_3$ oxidáció)
sztratoszféra	<0,5 Mt N/év ( $\text{N}_2\text{O}$ bomlás)

**Részből természetes:**

denitrifikáció	6 Mt N/év
biomassza égés	8 Mt N/év

**Antropogén források:**

fosszilis tüzelőanyagok	33 Mt N/év
(repülőgépek)	0,7 Mt N/év

**Összesen**

~52 Mt N/év

ebből antropogén:

>70%

---

---

---

---

---

---

---

---

NO<sub>x</sub> kibocsátás növekedése



növekvő O<sub>3</sub> képződés → növénypusztulás  
 növekvő HNO<sub>3</sub> képződés → környezet-savasodás  
 növekvő nitrát-képződés → eutrofizáció

1988, Szófia: Európai egyezmény a nitrogén-oxid kibocsátás korlátozásáról (1987. évi szint befagyasztása)

1999, Gøteborg: Európai egyezmény a savasodás, eutrofizáció és a felszínközeli ózon-koncentráció csökkentéséről (differenciált NO<sub>x</sub> kibocsátás csökkentés)

<http://www.unece.org/env/lrtap>

---

---

---

---

---

---

---

---

NO, NO<sub>2</sub> erősen reaktív (szabad gyök) → τ ≈ 1-2 nap

koncentráció: forrásterületeken magas  
 antropogén források koncentráltak (városok, autópályák, erőművek, stb.)

természetes források egyenletesebb eloszlásúak (villámás, denitrifikáció, biomassza égés, stb.)

Koncentráció:  
 városokban 10-200 ppb  
 vidéken 0,1-10 ppb  
 óceánok felett 0,02-0,04 ppb (=20-40 ppt)

NO, NO<sub>2</sub> száraz ülepedés – lassú  
 kikerülés a légkörből: kémiai reakció (oxidáció)

---

---

---

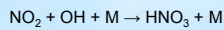
---

---

---

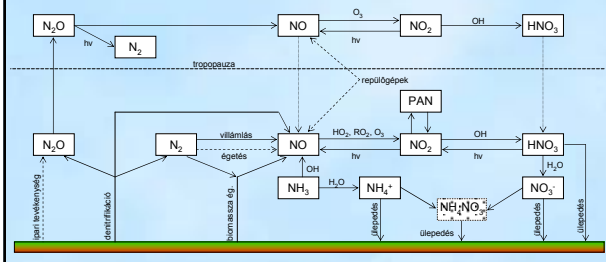
---

---



HNO<sub>3</sub>: reaktív, vízben jól oldódik, száraz/nedves ülepedés gyors

NH<sub>3</sub> jelenlétében NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-t képez  
 (kondenzálódik → szilárd részecske, vízben oldódik, kondenzációs mag)




---

---

---

---

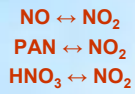
---

---

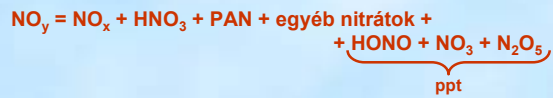
---

---

A reaktív oxidált nitrogén-vegyületek viszonylag gyorsan alakulnak át egymásba



A reaktív oxidált nitrogén-vegyületek összege:  $\text{NO}_y$



$\text{N}_2\text{O}$  nem tartozik az  $\text{NO}_y$ -ba – nem reaktív

---

---

---

---

---

---

---

---

**Forrásnál:** NO ( $\text{NO}_2$ )

**Városokban:**  $\text{NO}_x \approx 60\text{-}80\%$

**Távolodva:**  $\text{HNO}_3$ , PAN részaránya nő

**Óceánok felett:**  $\text{NO}_x \approx 15\%$  (visszabomlás PAN-ból)  
domináns: PAN

**Felfelé:** PAN/ $\text{HNO}_3$  arány nő  
( $T \downarrow$ , PAN bomlási sebesség  $\downarrow$ )

$\text{NO}_y$  tartózkodási ideje a troposzférában 2-10 nap



$\text{NO}_y$  kibocsátás lokális/regionális probléma

---

---

---

---

---

---

---

---

Egyetlen számottevő mennyiségű redukált nitrogén-vegyület a légkörben:

**ammónia ( $\text{NH}_3$ )**

(3. legnagyobb mennyiség: 1.  $\text{N}_2$ , 2.  $\text{N}_2\text{O}$ , 3.  $\text{NH}_3$ )

Nitrogén tartalmú szerves anyagok (anaerob) bomlása, amonifikáció

**Természetes források:**

- humusz amonifikáció
- óceánok N-tartalmú szerves anyagainak anaerob bomlása
- vadállatok vizeletének bomlása

**Antropogén források:**

- állattenyésztés 22 Mt N/év
- műtrágya gyártás, felhasználás 6,5 Mt N/év
- biomassza égetés 2 Mt N/év

**Összesen 15 Mt N/év      Összesen 30 Mt N/év**

**Az antropogén kibocsátás kétszerese a természetesnek!**

---

---

---

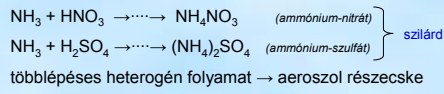
---

---

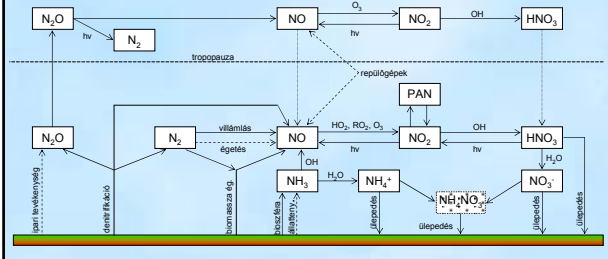
---

---

---



$\text{NH}_4\text{NO}_3, (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  – vízben jól oldódik, száraz/nedves ülepedés




---

---

---

---

---

---

---

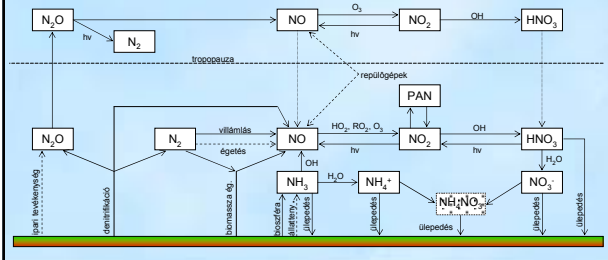
---

---

---

$\text{NH}_3$  vízben jól oldódik → nedves ülepedése gyors  
 talaj mikroorganizmusok közvetlen ammónia-felvétele → száraz ülepedés  
 ammónia-só részecskék – száraz/nedves ülepedés

komoly tápanyag-forrás  
 növekvő  $\text{NH}_3$  kibocsátás → eutrofizáció




---

---

---

---

---

---

---

---

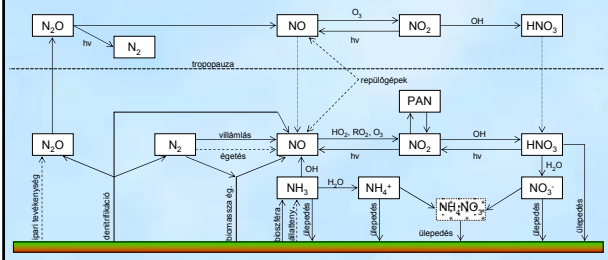
---

---

talajok, felszíni vizek hőmérsékletüktől, pH-juktól függően források és nyelők is lehetnek

ammónia erősen reaktív gáz →  $\tau = 1-2$  nap → nagy tér- és időbeli változékonyság

kontinentális háttér  $[\text{NH}_3] \sim 0,1-10$  ppb




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---