

Mikrobiální ekologie vody

5. Cyklus dusíku a transformace

PřFUK Katedra ekologie
Josef K. Fuksa, VÚV T.G.M., v.v.i.
josef_fuksa@vuv.cz



Cyklus a transformace N

- Mechanismy transformace **N** v přírodě.
- Vztahy mezi atmosférickým **N** a imobilizovaným **N*** - voda, půda atd.
- Podmínky pro odstraňování **N** v tocích.
- Nový mýtus (?):
Dusíková revoluce + Klimatická změna.

Cyklus uhlíku a dusíku - rozdíly

Rezervoár:

C – ↓ karbonáty (+ fosilní paliva).

N – ↑ atmosféra.

Vstup do cyklu:

C – abiogenně, pak primární produkce atd.

N – biogenně, abiotické transformace vzácné.

Zpět do rezervoáru:

C – bez problémů.

N - abiotické transformace vzácné.

Dvě formy: N_2 a N^*



$N \equiv N$

N^*

Vznik N^* z N_2 :

- Abiotický
- **Biologická fixace**



Abiotická transformace $N_2 \rightarrow N^*$

- Výboje v atmosféře
- Výroba - proces Haber-Bosch, 1914



Fritz Haber vymyslel něco velmi historického.

Fixace dusíku:

Fixace v půdě:

- Rhizobium,
- Azotobacter,
- Clostridium pasteurianum.

Fixace ve vodě:

- Cyanobaktérie (= sinice).

Kontroluje: Nitrogenáza – inhibice NH_4^+ , O_2 .

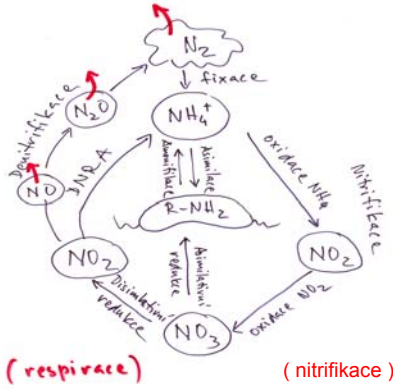
BILANCE fixace N:

65% terestrické ekosystémy

20 % moře

15 % (??) výroba hnojiv (Haber-Bosch).

Základní schéma



Co s fixovaným dusíkem:

Asimilace: Do buněčného materiálu >> R-NH₂.

Amonifikace: Produkce amonného iontu z bílkovin.

Oxidace:

Nitrifikace: N-NH₄ >> N-NO₂ >> N-NO₃.
Chemolithotrofní: Citlivá na světlo, kyselé pH.

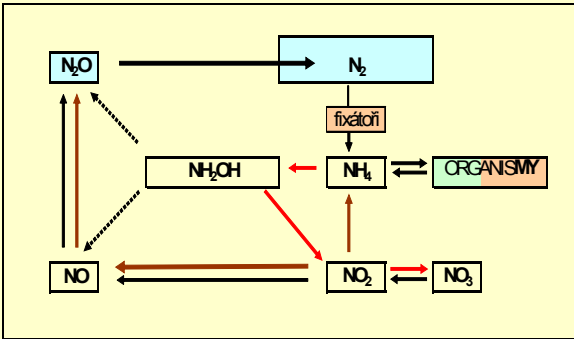
Regulace Asimilace / Amonifikace:

Poměr C/N (s rezervou na respiraci):

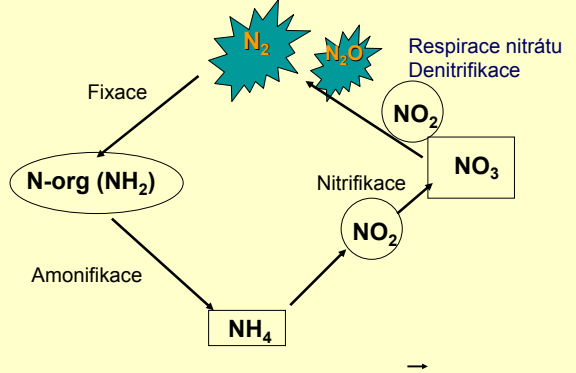
C / N > 20 ... asimilace

C / N < 20 ... amonifikace.

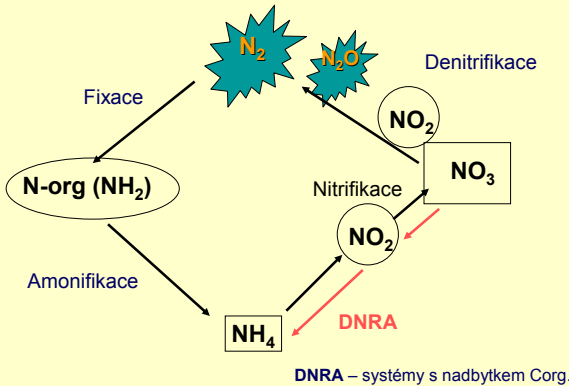
Bakterie a Archea :



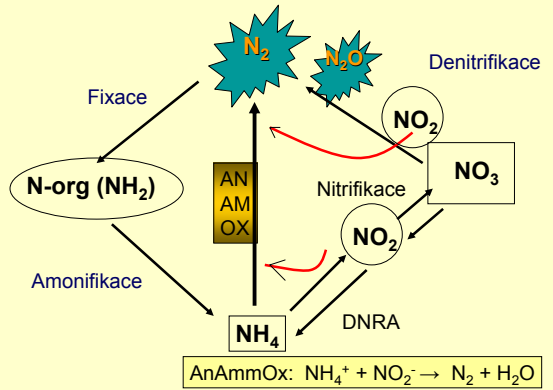
Cyklus dusíku – klasické schéma



Cyklus dusíku – nová klasika



Cyklus dusíku – nová překvapení



Redukce nitrátu:

Asimilativní:

- Zdroj N – imobilizace NO_3 do biomasy
- Nezávislá na konc. O_2
- Pro bakterie – preference $\text{NH}_4\text{-N}$.

Disimilativní:

- Fakultativně anaerobní bakterie,
- Mikroaerofilní / anaerobní podmínky
- Konsorcia
- NH_4 neinhibuje !!

Začíná to vždy redukcí $\text{NO}_3 \gg \text{NO}_2$

Redukce nitrátu:

Respirace nitrátu:

- $\text{NO}_3 \gg \text{NO}_2$
- $\text{NO}_2 \gg \text{NO} \gg \text{N}_2\text{O} \gg \text{N}_2$ **DENITRIFIKACE**

DNRA – disimilativní redukce na amoniak

- $\text{NO}_3 \gg \text{NO}_2$
- $\text{NO}_2 \gg \text{N-NH}_4$ TAE: org, látky

Regulace Denitrifikace/DNRA: Obsah C-org.

- Voda, půda: denitrifikace (limitace C-org).
- Bachor: DNRA (nadbytek C-org).

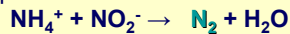
Akumulace NO_2^- :

- Denitrifikace – při nízké konc. NO_3
- DNRA – při nízké konc. C-org.

ANAMMOX

– anaerobic ammonia oxidation

- Základní proces:



- Zdroj uhlíku: CO_2
- Zdroj energie: oxidace N-NH₄
- TEA: NO_2^- ...
zdroj: nitrifikace (+ respirace NO_3)
- Organismy: 13 - Planktomycetales –
Brocardia, *Kuenenia*, *Scalindula*.
Specifické membrány, N_2H_4 , NH_2OH .
- Podmínky: striktně anaerobní, T > 20 dní.

Co ve vodě?

Přísun:

- Nebodové zdroje – většinou N- NO_3 .
- Bodové zdroje – N-org, N-NH₄, N- NO_3 .
- Fixace in situ u nás nevýznamná (opravdu ?).

Transformace:

- Amonifikace: N-org → N-NH₄.
- Nitrifikace: N-NH₄ → **N- NO_2** → N- NO_3 .
- Denitrifikace: N- NO_3 . → **N- NO_2** → **N_2O** → **N_2** .
- DNRA : N- NO_3 . → N- NO_2 → N-NH₄.
- Anammox: $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Dusíkový paradox v řekách

- Není znečištění, není substrát C-org.
- Není diverzita koryta - habitatů.
- Není tendence k anaerobním podmínkám.
- **Není denitrifikace.**
- **Stoupá podíl i koncentrace NO_3^- .**

- NO_3^- je problém eutrofizace moře.

TEDY: Nutnost odstraňovat dusík u zdrojů:

- Bodové zdroje – technologie, peníze.
- Nebodové zdroje – problém.



**Snižená diverzita koryta.
Snižená diverzita proudění.
Snižená komunikace s podzemní vodou.**

Dusíková revoluce a Klimatická změna

1900 – 2000

- Růst počtu obyvatelstva.
- Růst zemědělské produkce.
- Růst produkce a spotřeby dusíkatých hnojiv ($N_2 \rightarrow N^*$).
- Růst biotické fixace dusíku:

sója + Rhizobium, rýže + sinice.

Vyšší produkce =

- vyšší posklizňové zbytky a recyklace v půdě,
- vyšší stavy hospodářských zvířat,
- vyšší spotřeba potravin → vyšší produkce N-org.
- vyšší přísun N-NO₃ do moře / oceánu.

Vyšší produkce N₂O a dalších GreenHouse Gases.

CYKLUS: Jak se vrací dusík do atmosféry?

Spálením biomasy, dřeva, uhlí, nafty.

POZOR: Vznikne ale také NO_x z N₂ !!

Biotickou cestou:

- Denitrifikace.

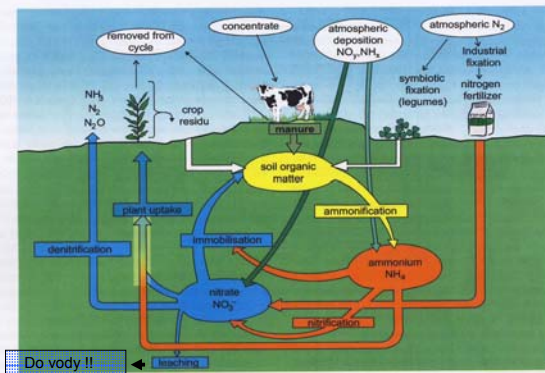
- Anammox.

POZOR: Vznikne N₂ a také podíl N₂O !!

V přírodě je biotická produkce N₂ z N* zásadní. Biotickou produkci N₂ z N* lze řídit v ČOV. Kromě Anammox (snad) vždy vzniká N₂O!

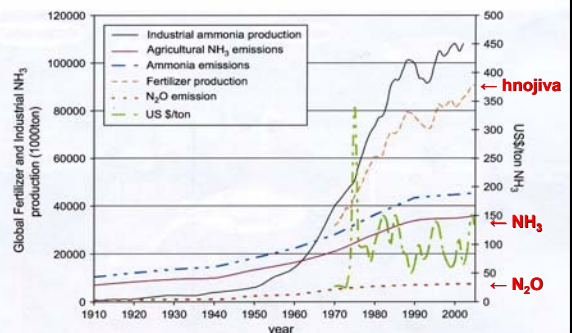
Kaskáda dusíku – část 1 „farma“:

J.W. Erisman et al. / Environmental Pollution 150 (2007) 140–149



Průmyslová produkce N* a emise

J.W. Erisman et al. / Environmental Pollution 150 (2007) 140–149



Vliv na vodstvo

Podstatná část transformací dusíku se koná v půdě. Do toků přichází:

- z nebodových zdrojů hlavně „přebytky přísunu nad sklizni – 10%??“ jako **N-NO₃**.
- z bodových zdrojů „všecko“.

Transformace N v tocích – (paradox?) potlačena „péčí o toky“.

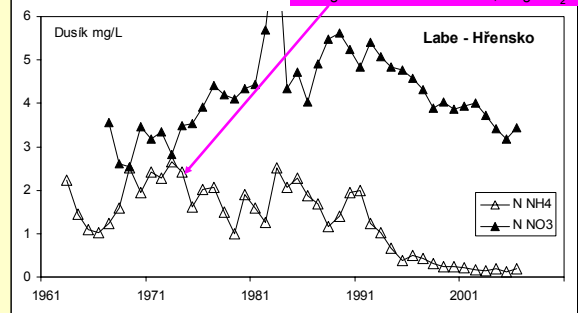
Podstatný dopad na mořské ekosystémy.

Nárůst toku N globálním cyklem → změny cyklu C a změny produkce N₂ (N₂O) a NO_x.

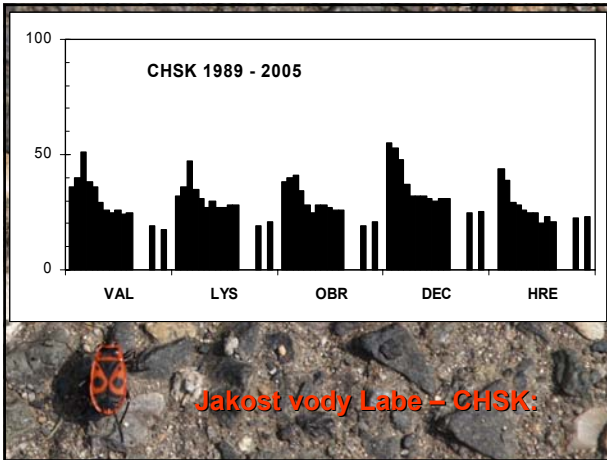
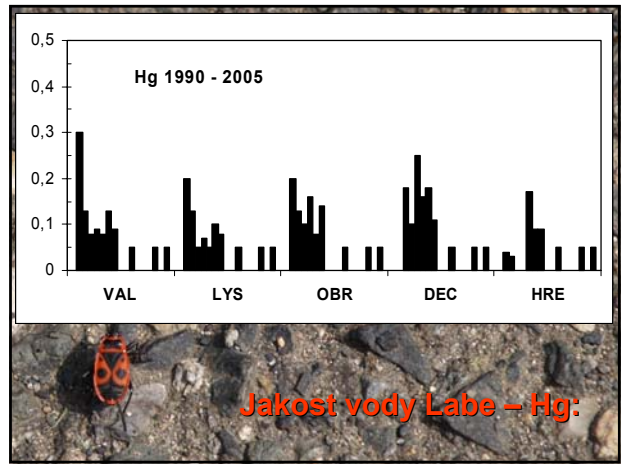
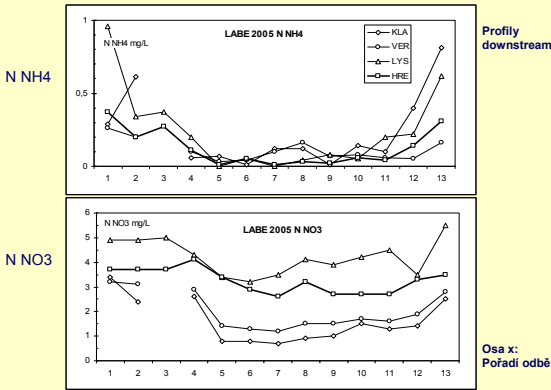
Dusík na odtoku z Čech (roční průměry):

1877: 0,087 mg/L N NH₄, 0,266 mg/L N NO₃

2 mg/L N NH₄ → N NO₃: 8,8 mg/L O₂



Sezónní průběh N podél Labe 2005



Poslání:

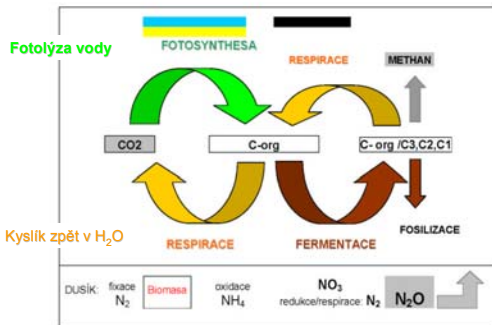
Dusík **je a bude** významnou složkou znečištění.
Schopnost toků odstraňovat dusík **už není a nebude** významná.

Kontrola je na straně vypouštění:

- Velké aglomerace – čištění.
- Malé celky – extenzivní způsoby a recyklace.
- Nebodové zdroje - ??

Technologie existují, chybí potřeba, peníze, vůle, enforcement atd.

Obecný cyklus produkce/degradace – energie, uhlík, akceptory



Cyklus uhlíku nelze odpojit od cyklu dusíku (a dalších).