



CYKL AZOTU W BIOSFERZE

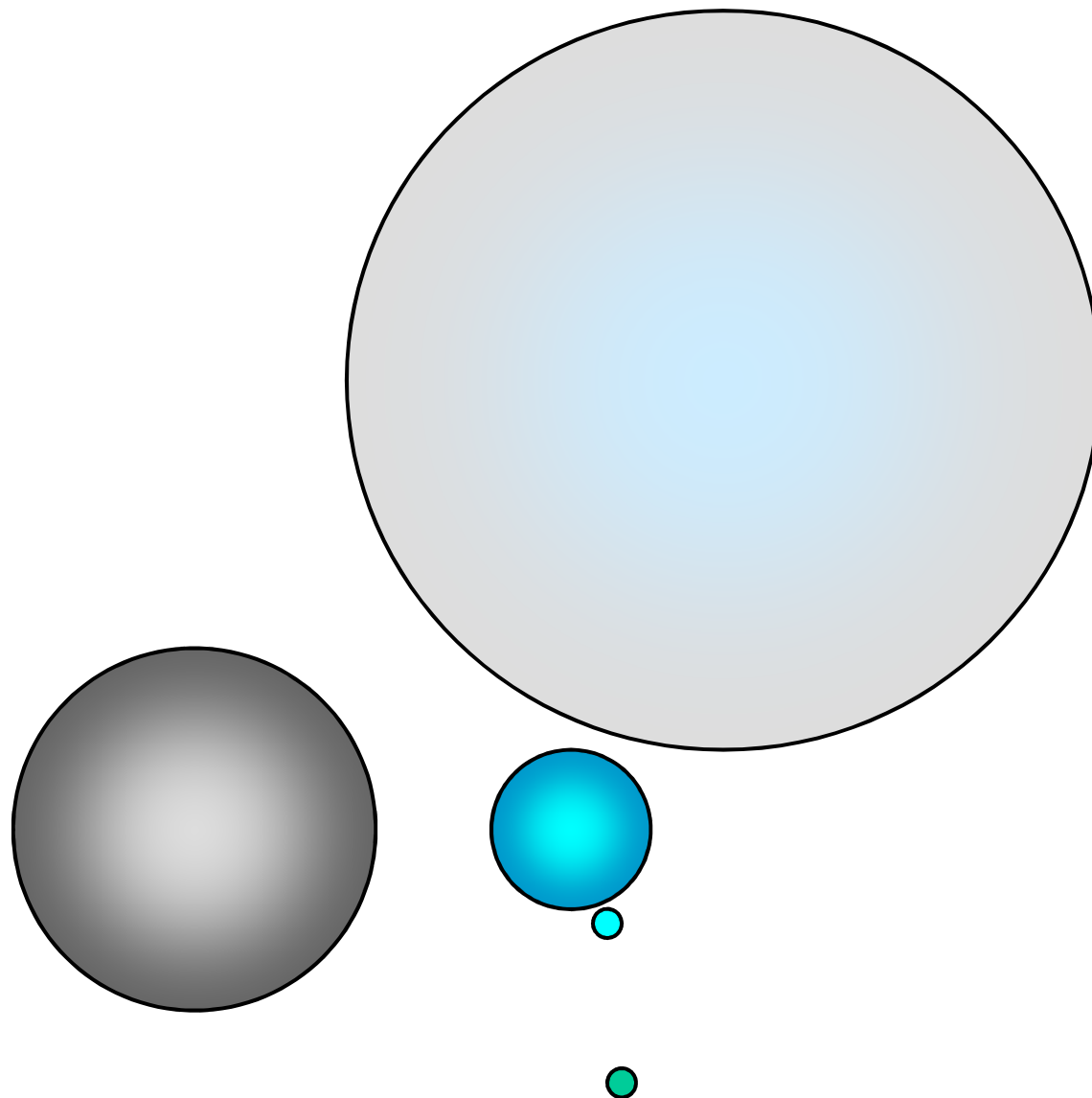


Stopień utlenienia	związek
+5	N_2O_5 HNO_3 , NO_3^-
+4	NO_2 N_2O_4
+3	HNO_2 NO_2^-
+2	NO
+1	N_2O
0	N_2
(-1, -2)	(NH_2OH, N_2H_4)
-3	NH_3 , NH_4^+ CH_3NH_2

Stopień utlenienia	związek
+5	N_2O_5 HNO_3 , NO_3^-
+4	NO_2 N_2O_4
+3	HNO_2 NO_2^-
+2	NO
+1	N_2O
0	N_2
(-1, -2)	(NH_2OH, N_2H_4)
-3	NH_3 , NH_4^+ CH_3NH_2

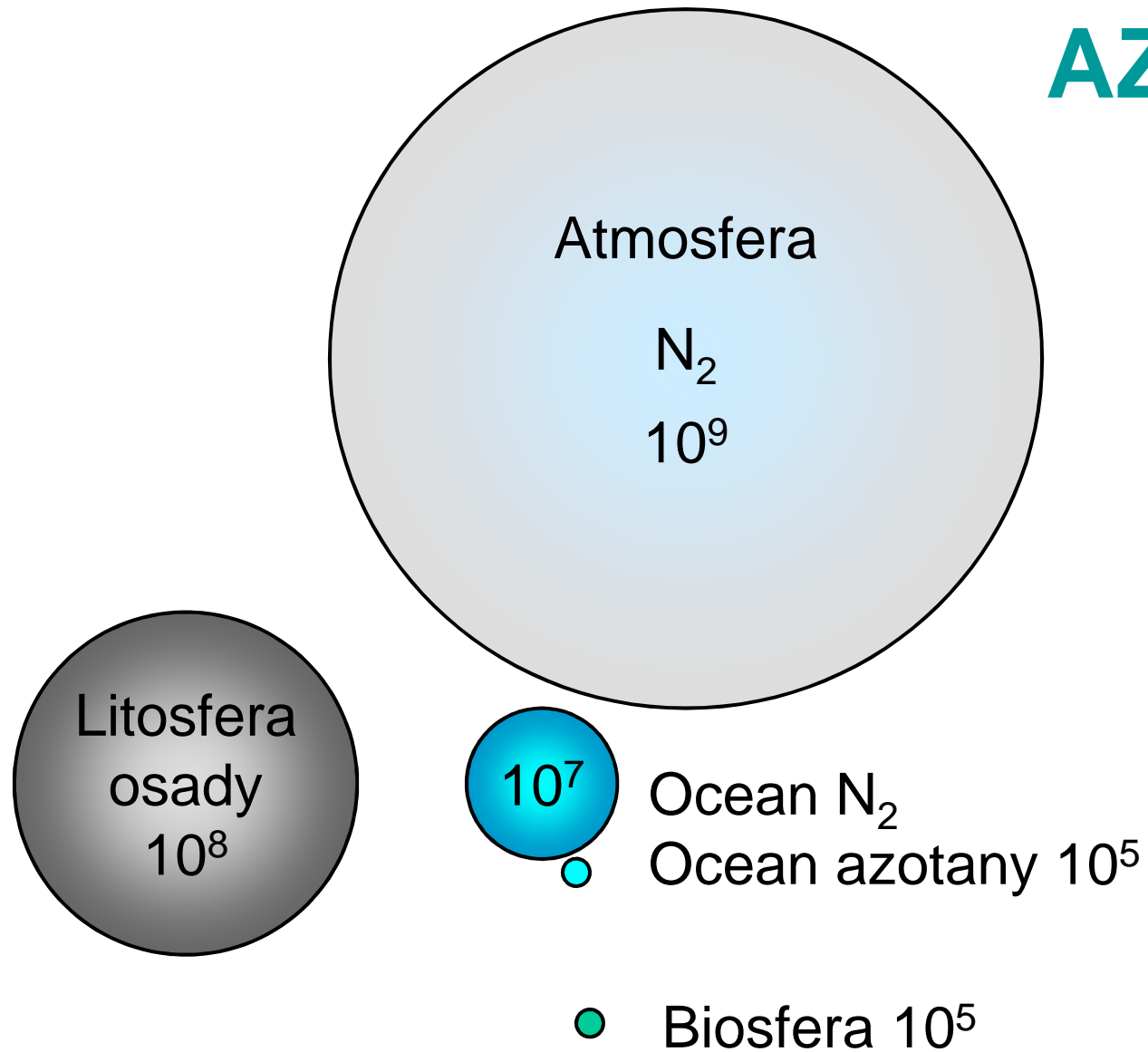
W organizmach
żywych zawsze w
formie zredukowanej
(-3)

AZOT



Pule azotu (mln t)

AZOT



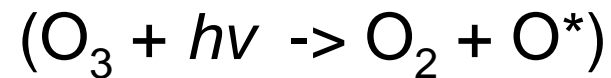
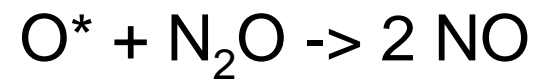
Pule azotu (mln t)

Azot w atmosferze

Główne formy azotu w atmosferze

forma	dopływ roczny 10⁹ kg N/rok	średnie stężenie	czas zatrzymania	źródło
N ₂	200	78%	10 ⁸ lat	denitryfikacja
N ₂ O	10	0,3 ppm	100 lat	denitryfikacja nitryfikacja
NO+NO ₂ (NO _x)	100	0,05 ppb	1 dzień	przemysł
NH ₃	50	<1 ppb	10 dni	biologiczne

Azot w atmosferze



tworzą się tlenki azotu NO_x

Azot w skorupie ziemskiej



saletra chilijska - NaNO_3

saletra potasowa, saletra indyjska - KNO_3

saletra norweska - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

Azot w wodach

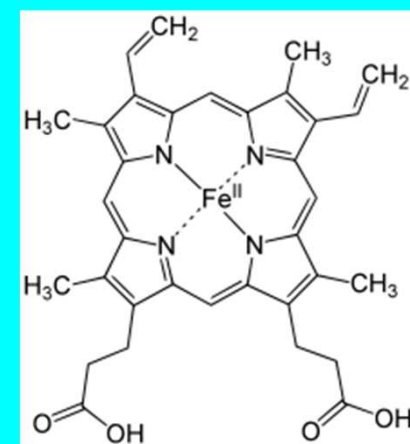
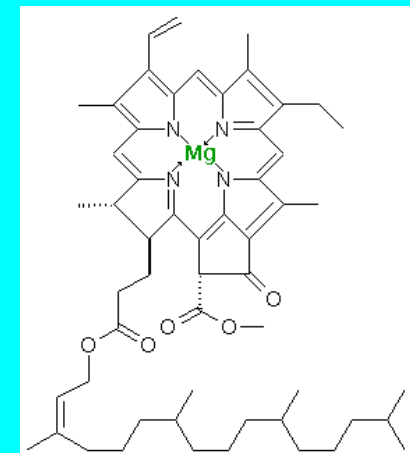
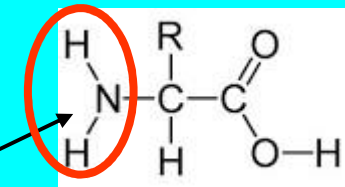
rozpuszczony N_2

azotany

Azot w biosferze

W organizmach żywych wchodzi
w skład:

- białek (grupa aminowa $-NH_2$)
- nukleotydów (DNA, RNA, ATP)
- witamin
- glikozydów, alkaloidów
- chlorofilu
- hemoglobiny



Azot w biosferze

W organizmach żywych wchodzi
w skład:

białek (grupa aminowa $-NH_2$)

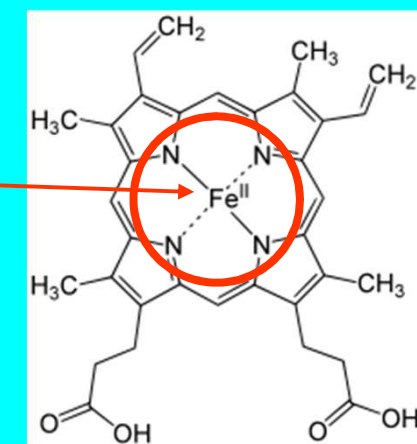
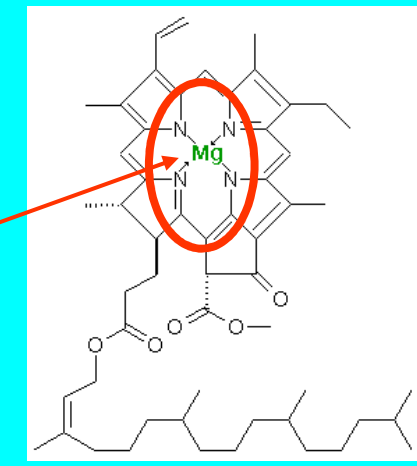
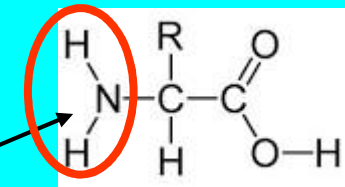
nukleotydów (DNA, RNA, ATP)

witamin

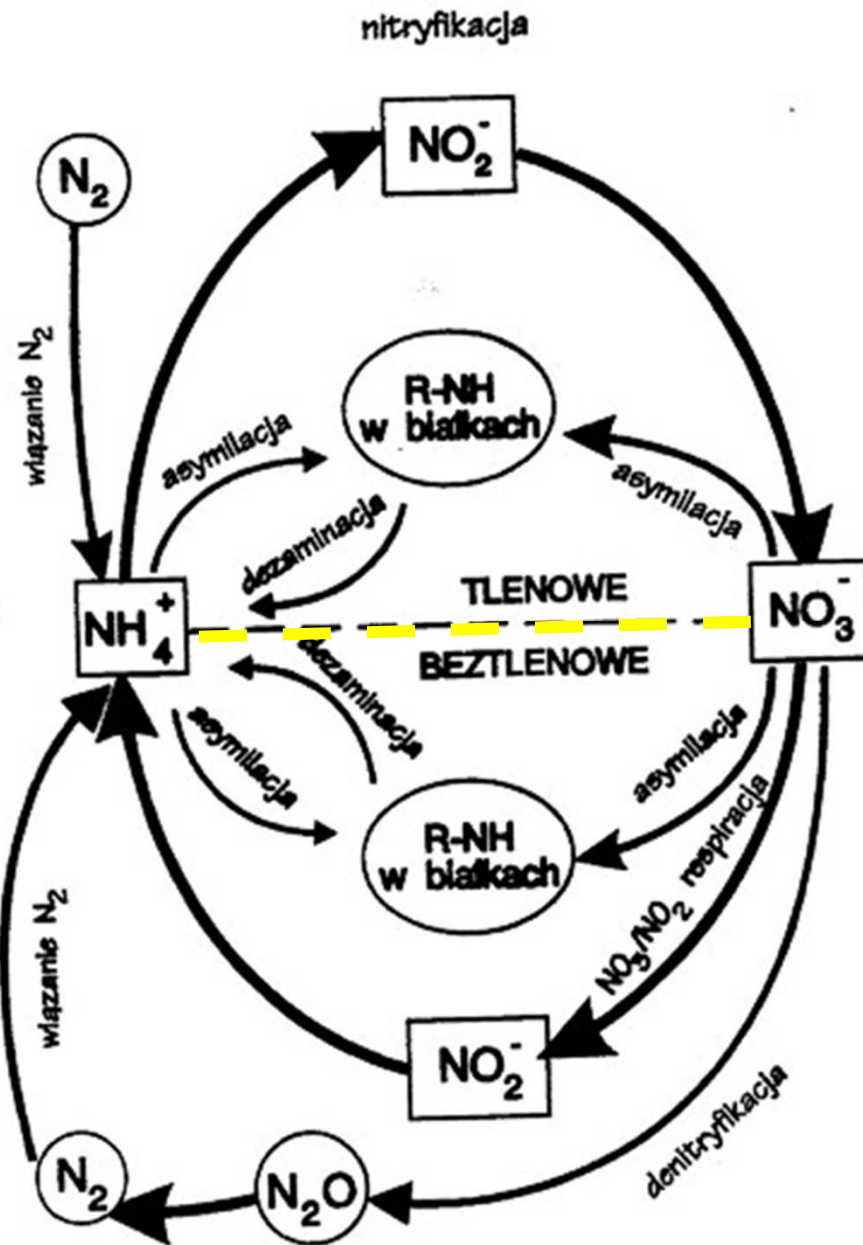
glikozydów, alkaloidów

chlorofilu

hemoglobiny

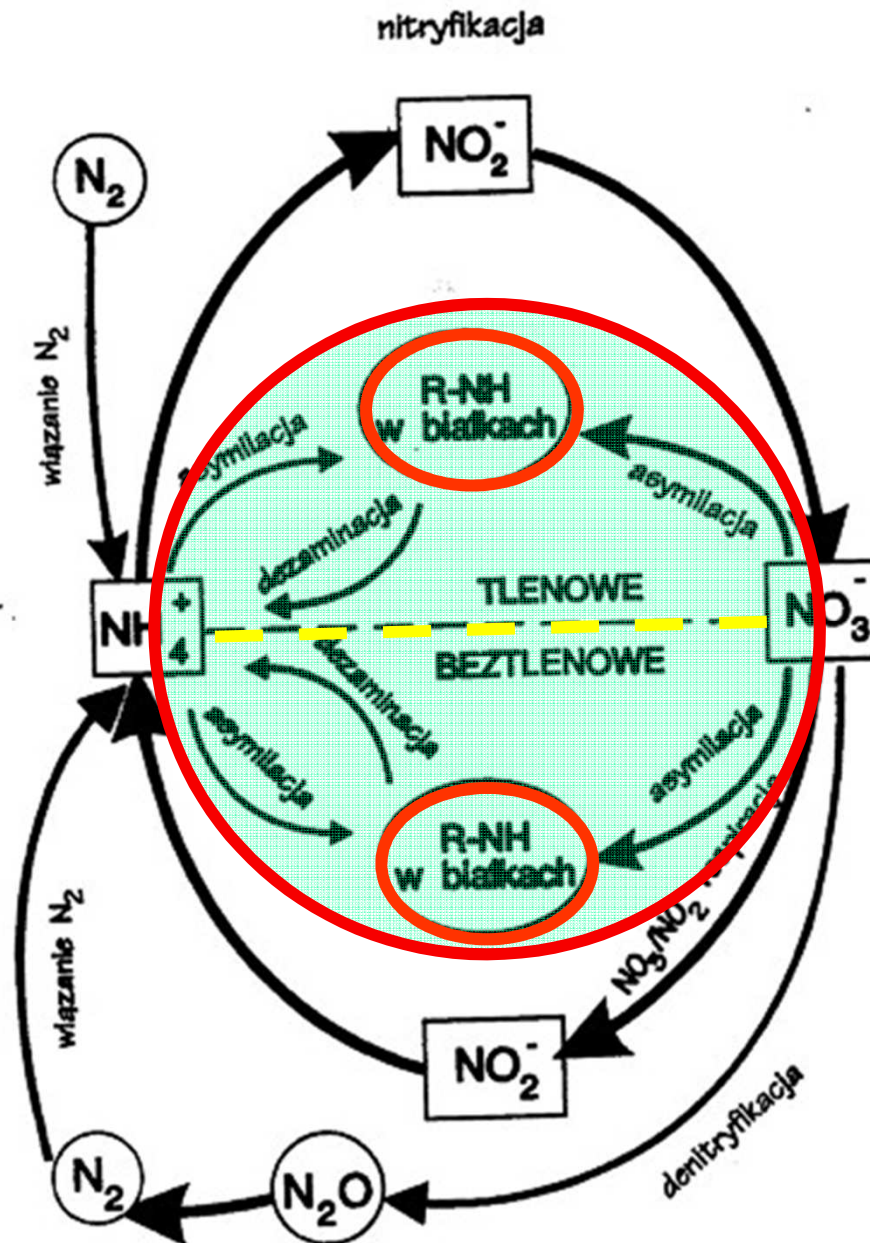


Cykl azotu



Cykl azotu

Cykl azotu
pobieranie i
wydalanie
przez
organizmy



Azot w biosferze

Pobieranie przez organizmy

Zwierzęta: **aminokwasy**

Rośliny: **azotan** (asymilacyjna redukcja)
rzadko: **amon** (mikoryza; rośliny
owadożerne)

Mikroorganizmy: w różnych formach

Wiązanie azotu: symbioza

Azot w biosferze

Wydalanie przez organizmy

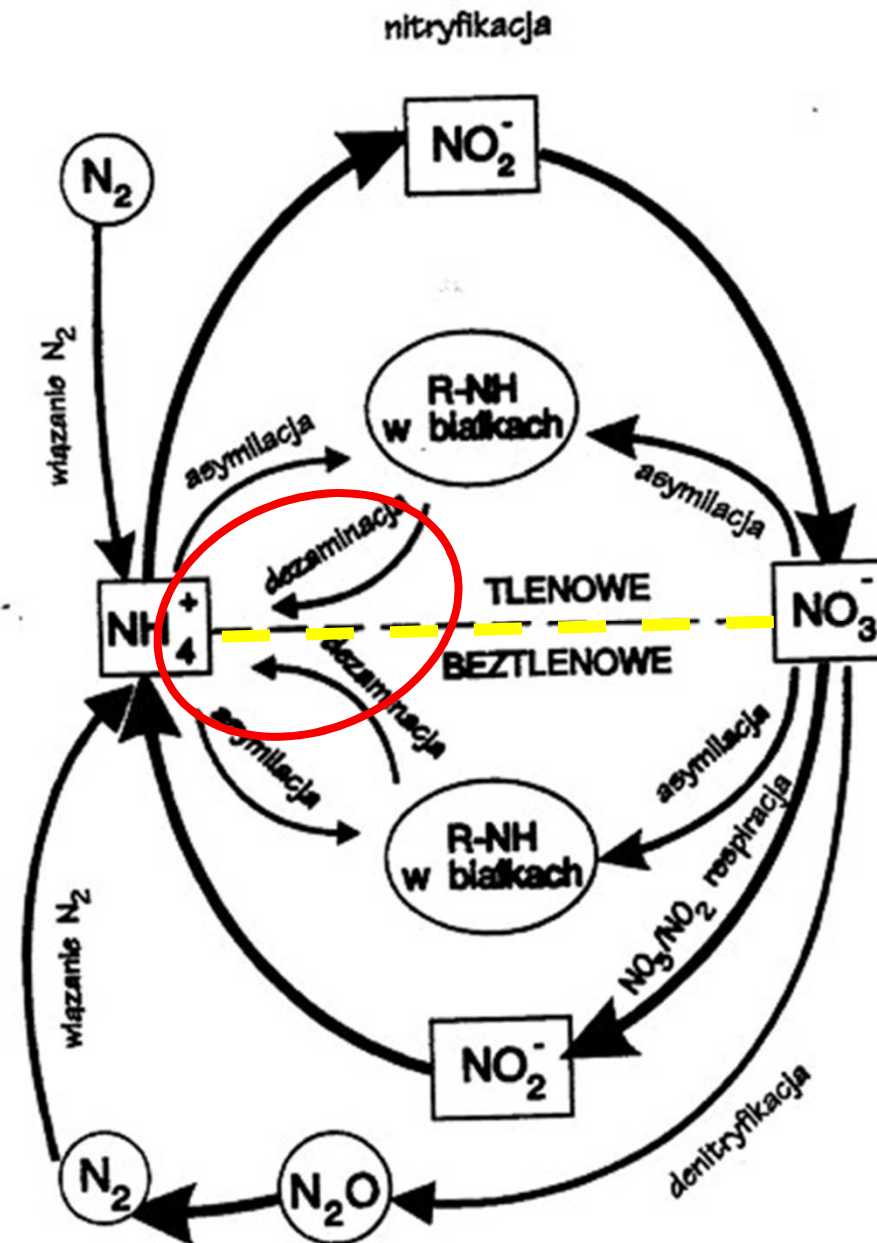
Ryby kostnoszkieletowe, płazy, inne zwierzęta wodne: **amoniak** („*amonioteliczność*”)

Ssaki, ryby chrzęstnoszkieletowe: **mocznik** („*ureoteliczność*”)

Owady, gady, ptaki: **kwasy moczowe** („*urikoteliczność*”)

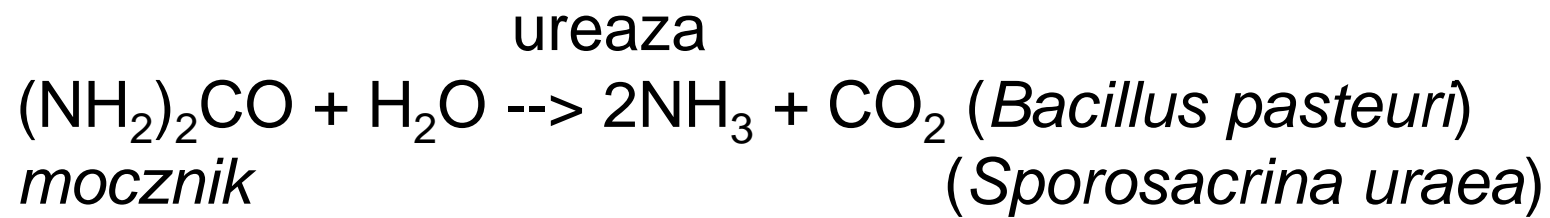
Cykl azotu

amonifikacja



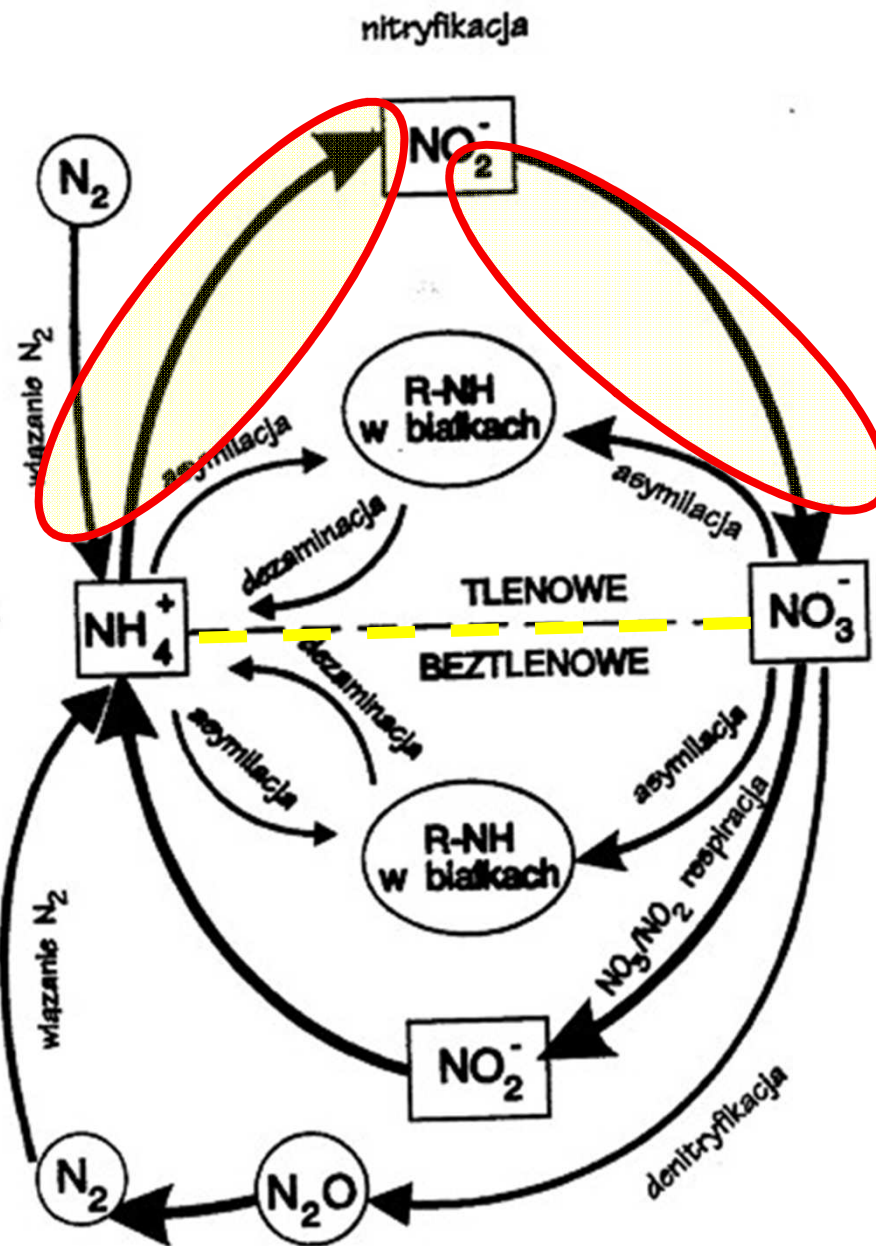
Cykl azotu

AMONIFIKACJA



Cykl azotu

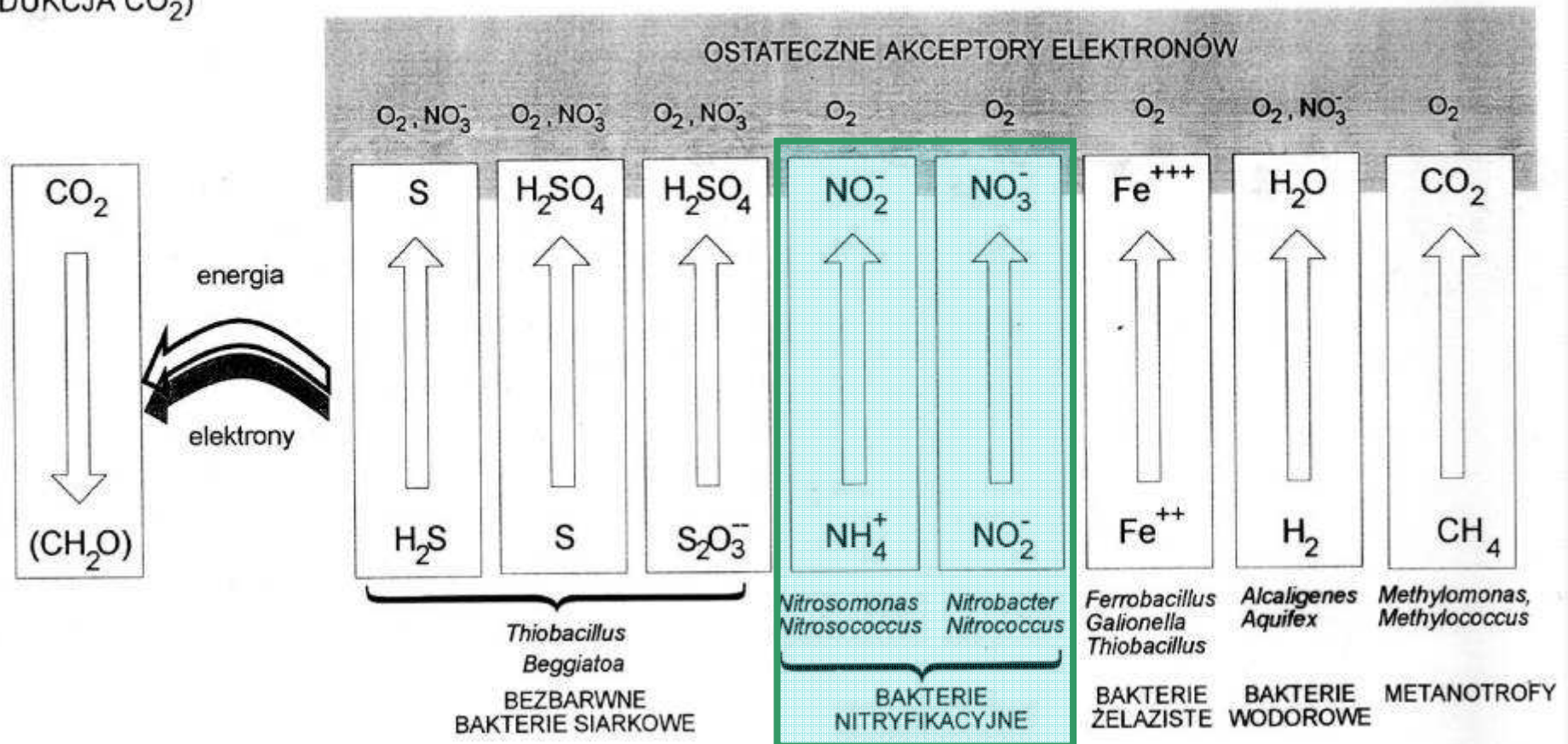
nitryfikacja



Metabolizm chemoautotrofów

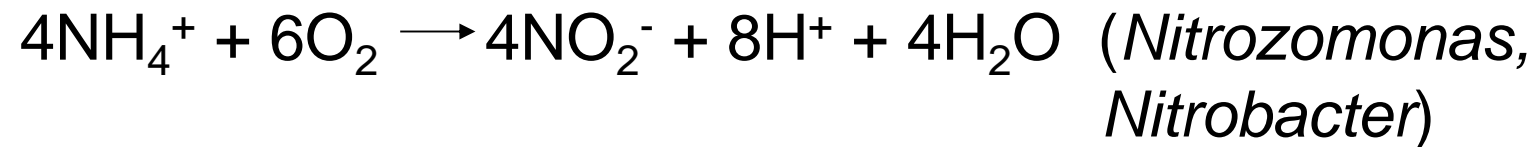
PRODUKCJA
BIOMASY
(REDUKCJA CO_2)

REAKCJE REDOKS DOSTARCZAJĄCE ENERGIĘ I ELEKTRONÓW
W RÓŻNYCH GRUPACH CHEMOAUTOTROFÓW



Cykl azotu

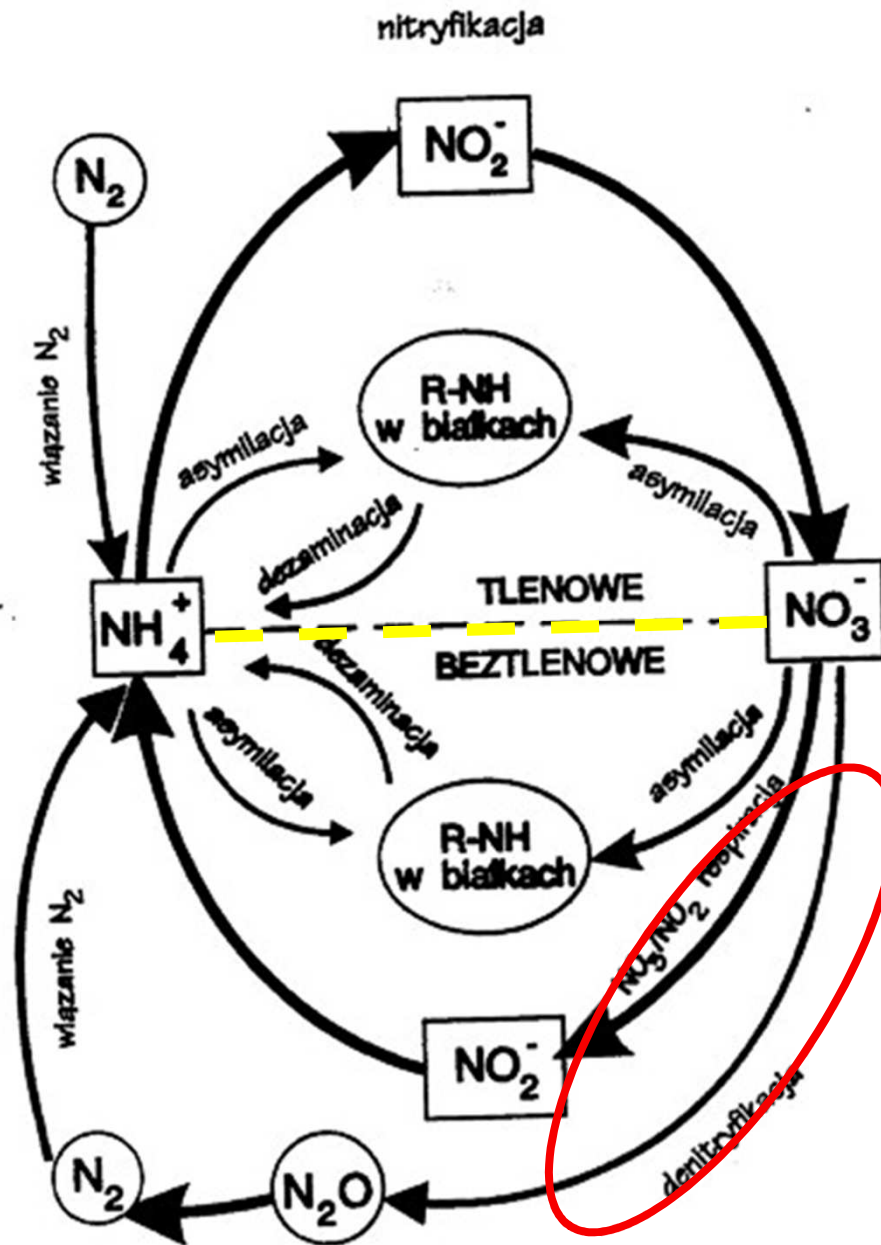
NITRYFIKACJA



bakterie nitryfikacyjne – obligatoryjne chemoautotrofy
 $10^3 - 10^5$ (10^8) osobników/1 g gleby

Cykl azotu

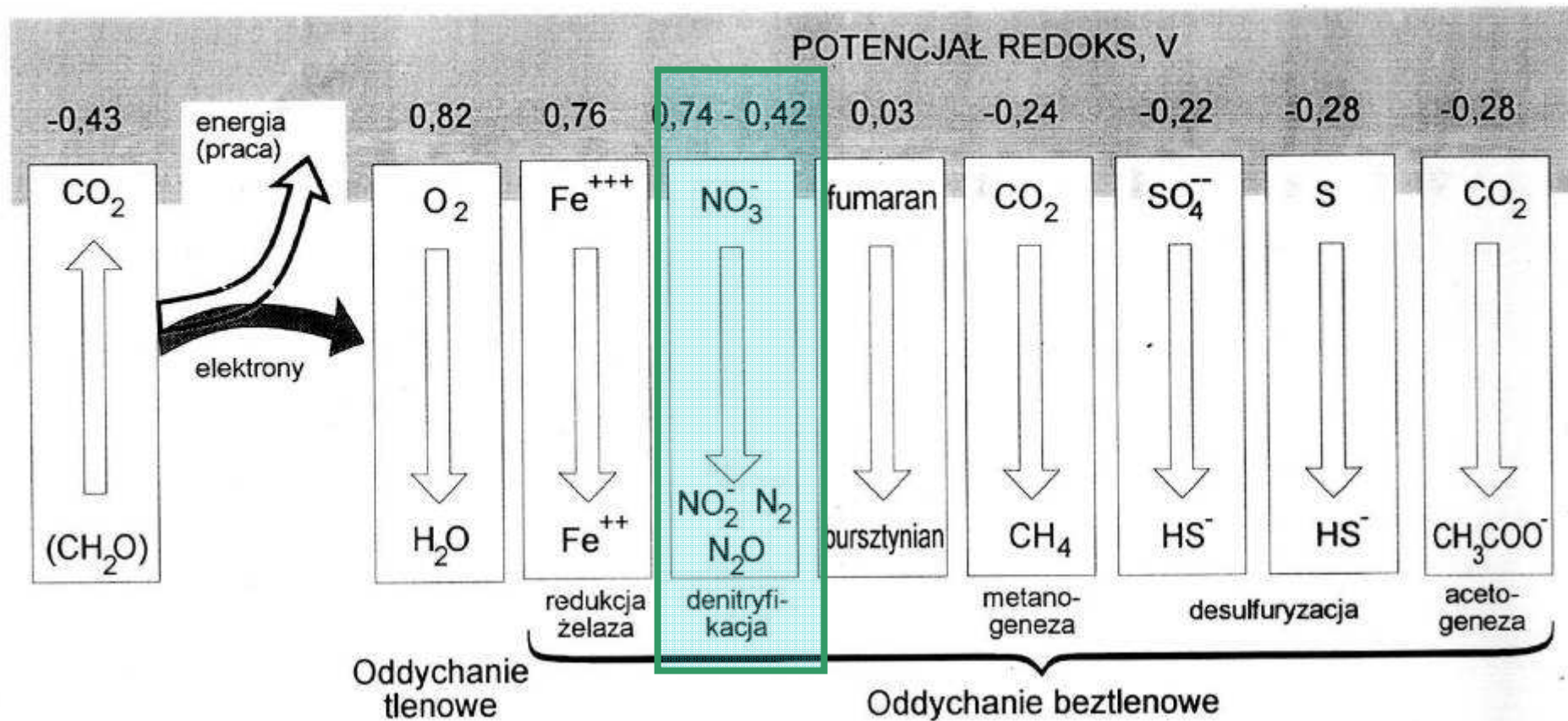
denitryfikacja



ODDYCHANIE

ODDYCHANIE
(UTLENIANIE
ZWIĄZKÓW
WĘGLA)

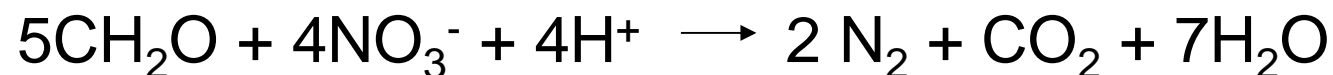
REAKCJE REDOKS PO STRONIE AKCEPTORA ELEKTRONÓW
W RÓŻNYCH TYPAH ODDYCHANIA



Cykl azotu

DENITRYFIKACJA

(dysymilacyjna redukcja azotanów)



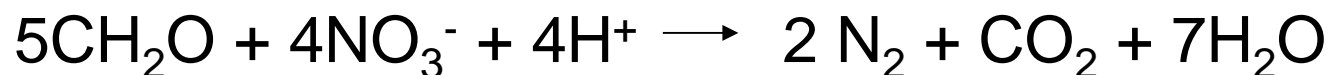
(Bacillus, Spirillum, Thiobacillus denitrificans)

Enzymy reduktazy zawierają Fe, Mo

Cykl azotu

DENITRYFIKACJA

(dysymilacyjna redukcja azotanów)

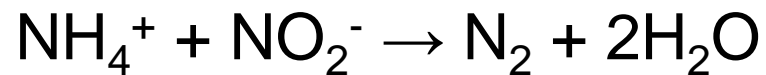
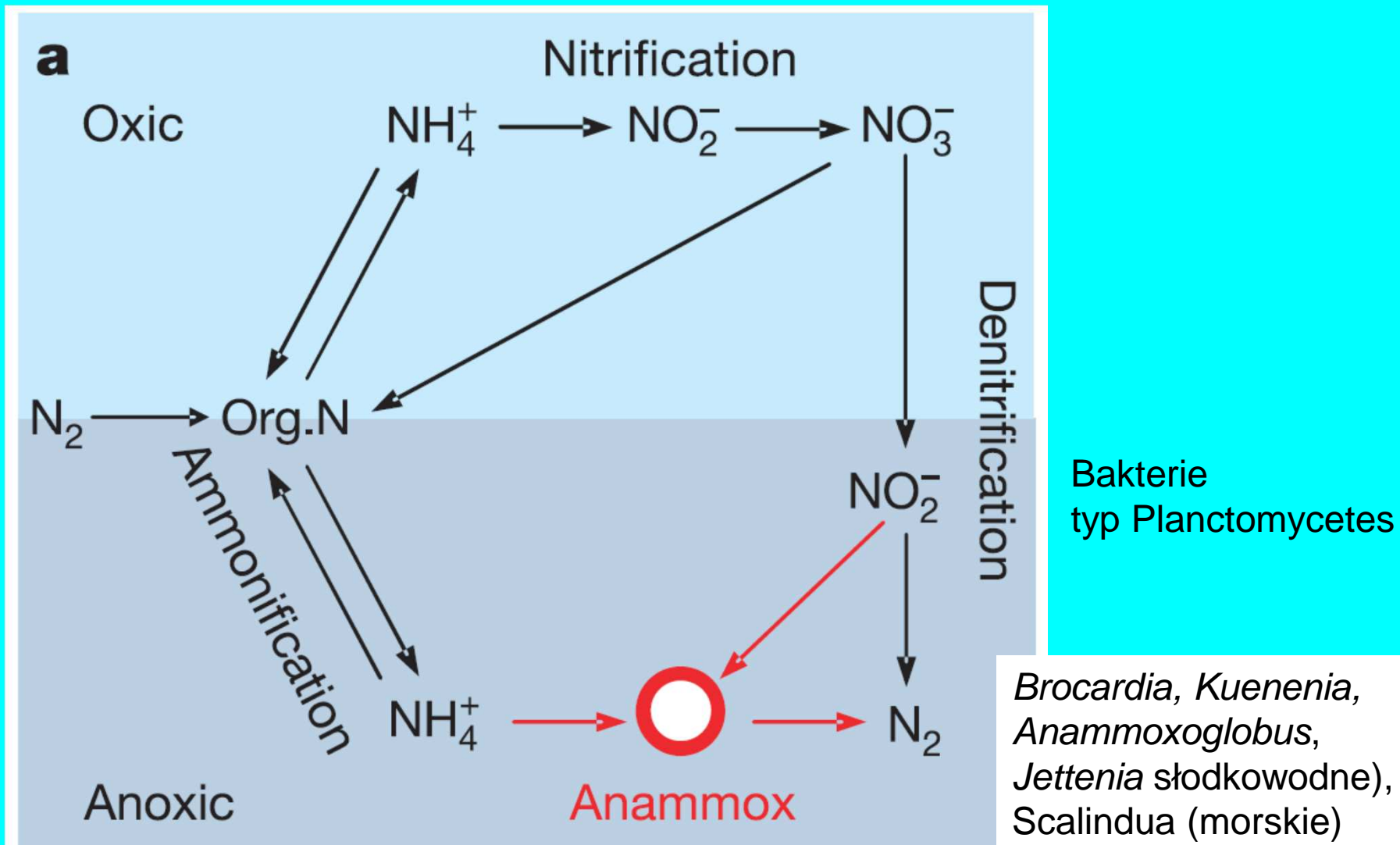


(*Bacillus*, *Spirillum*, *Thiobacillus denitrificans*)

Enzymy reduktazy zawierają Fe, Mo

OCEANY - anammox

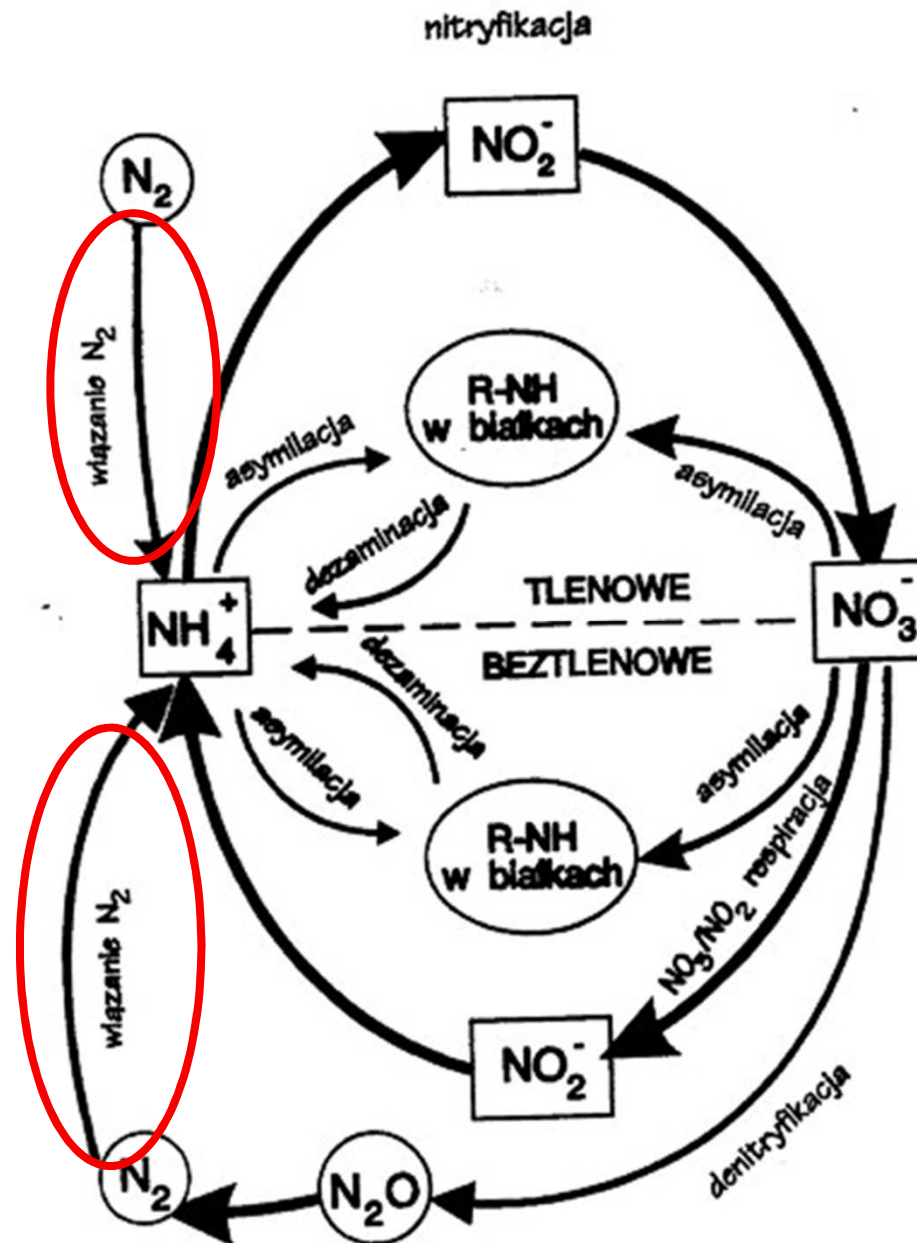
(anaerobic ammonium oxidation)



(oksydoreduktaza hydroksyloaminy)

Cykl azotu

wiązanie azotu
atmosferycznego



WIĄZANIE AZOTU ATMOSFERYCZNEGO (mln t/rok)

Przemysł (nawozy i inne)	50 -57
Spalanie	20
Wyładowania atmosferyczne	10
Razem nie biologiczne	80 – 87
Naturalne procesy na terenach uprawnych	89
Naturalne procesy w lasach i na nieużytkach	50 – 60
Morza i oceany	36
Razem biologiczne	175 – 185
RAZEM	255 - 272

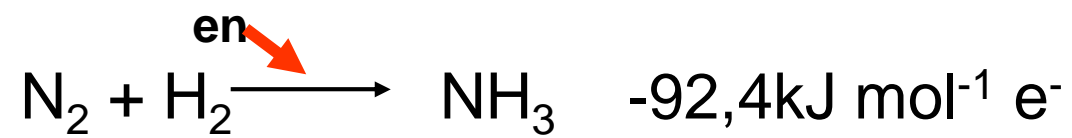
WIĄZANIE AZOTU ATMOSFERYCZNEGO

Abiotycznie:

- wyładowania atmosferyczne
- spalanie
- przemysł

WIĄZANIE AZOTU ATMOSFERYCZNEGO

Haber-Bosch



150-250 atm
300-550°C

Przykłady mikroorganizmów wiążących azot (* organizmy fototroficzne)

Wolno żyjące

Symbiozy z roślinami

tlenowe

beztlenowe

motylkowymi

**Innymi
roślinami**

Azotobacter
Beijerinckia
Klebsiella
sinice*

Clostridium
Desulfovibrio
purpurowe bakterie
siarkowe*
purpurowe bakterie
niesiarkowe*
zielone bakterie
siarkowe*

Rhizobium

Frankia
Azospirillum

Przykłady mikroorganizmów wiążących azot (* organizmy fototroficzne)

Wolno żyjące

Symbiozy z roślinami

tlenowe

beztlenowe

motylkowymi

**Innymi
roślinami**

Azotobacter
Beijerinckia
Klebsiella
sinice*

Clostridium
Desulfovibrio
purpurowe bakterie
siarkowe*
purpurowe bakterie
niesiarkowe*
zielone bakterie
siarkowe*

Rhizobium

Frankia
Azospirillum

Przykłady mikroorganizmów wiążących azot (* organizmy fototroficzne)

Wolno żyjące

Symbiozy z roślinami

tlenowe

beztlenowe

motylkowymi

**Innymi
roślinami**

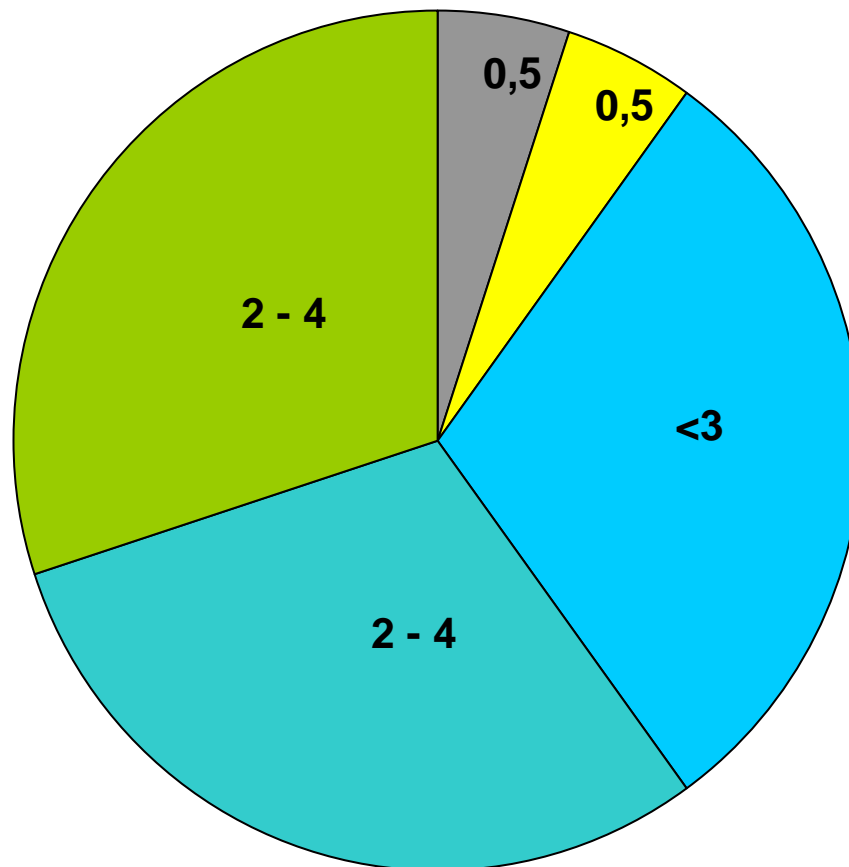
Azotobacter
Beijerinckia
Klebsiella
sinice*

Clostridium
Desulfovibrio
purpurowe bakterie
siarkowe*
purpurowe bakterie
niesiarkowe*
zielone bakterie
siarkowe*

Rhizobium

Frankia
Azospirillum

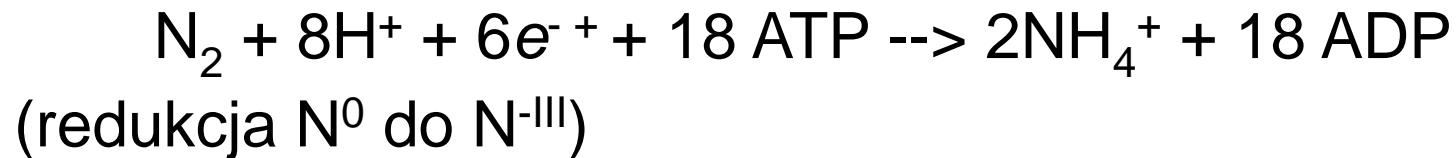
WIĄZANIE AZOTU ATMOSFERYCZNEGO (10kg/ha*rok)



■ porosty, burze ■ motylkowe ■ wolnozyjące bakterie ■ sinice ■ niemotylkowe

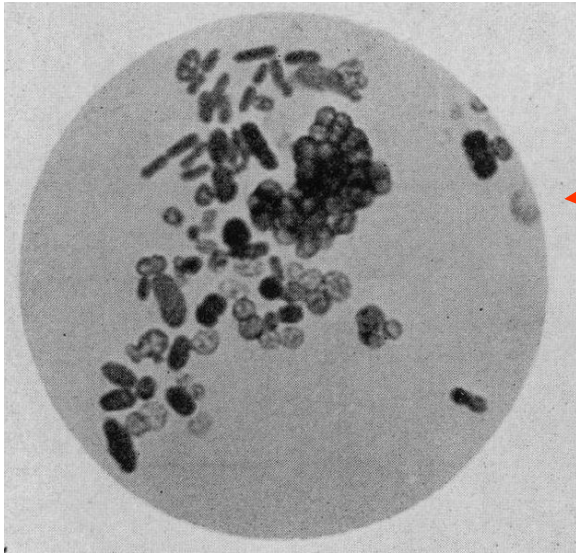
WIĄZANIE AZOTU ATMOSFERYCZNEGO

N N \equiv (diazot)
950 kJ/mol



nitrogenaza (Fe, Mo)
warunki beztlenowe!

Tlenowe mikroorganizmy wiążące azot



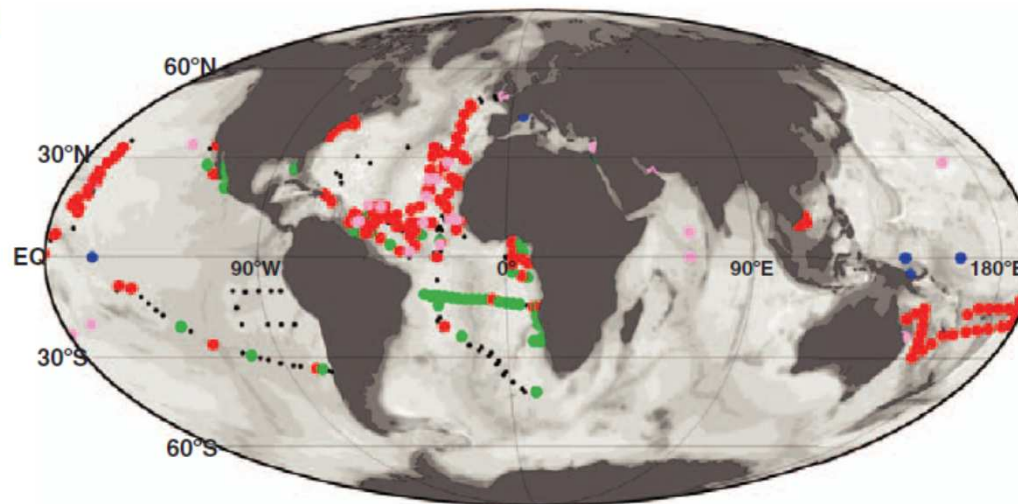
Azotobacter
Beijerinckia

Klebsiella

sinice*

Trichodesmium

(a)



Beztlenowe mikroorganizmy wiążące azot

Clostridium

Desulfovibrio

purpurowe bakterie siarkowe*

purpurowe bakterie niesiarkowe*

zielone bakterie siarkowe*

WIĄZANIE AZOTU PRZEZ SYMBIONTY

ROŚLINA W SYMBIOZIE	kg N × ha ⁻¹ × rok ⁻¹
Motylkowe	
Lucerna	138-224
Groch	169-189
Inne motylkowe	14-189
Niemotylkowe	
Olcha (symbiont: <i>Frankia</i>)	140-209
Kazuaryna [Senegal]	52
Inne drzewa	0.3-3
Rokitnik [wydmy]	2-58
<i>Azolla</i> (symb.: <i>Anabaena</i>) [pola ryżowe]	83-125
<i>Dryas drummondii</i> [tundra]	12

SYMBIOTYCZNE WIĄZANIE AZOTU ATMOSFERYCZNEGO



SYMBIOTYCZNE WIĄZANIE AZOTU ATMOSFERYCZNEGO



Olsza (Alnus glutinosa)



brodawki korzeniowe z Frankia



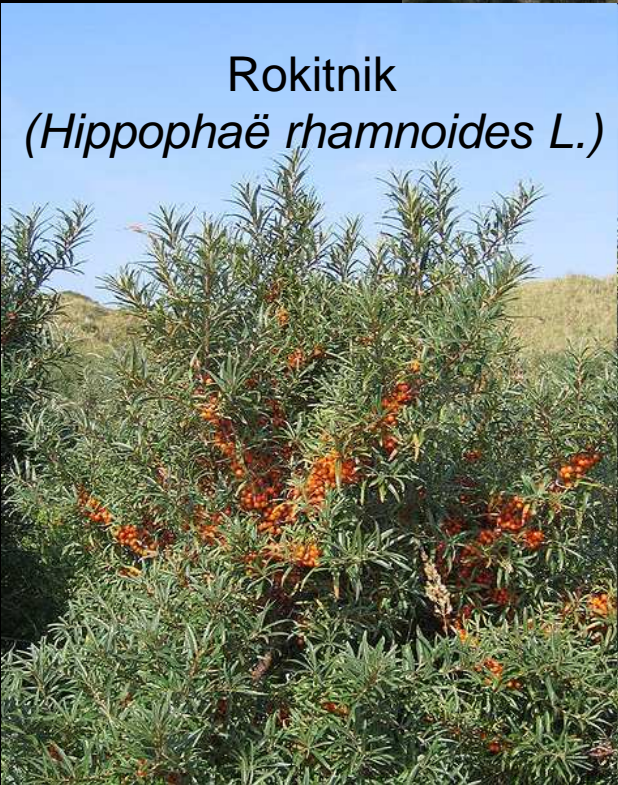
Azolla caroliniana



Anabaena



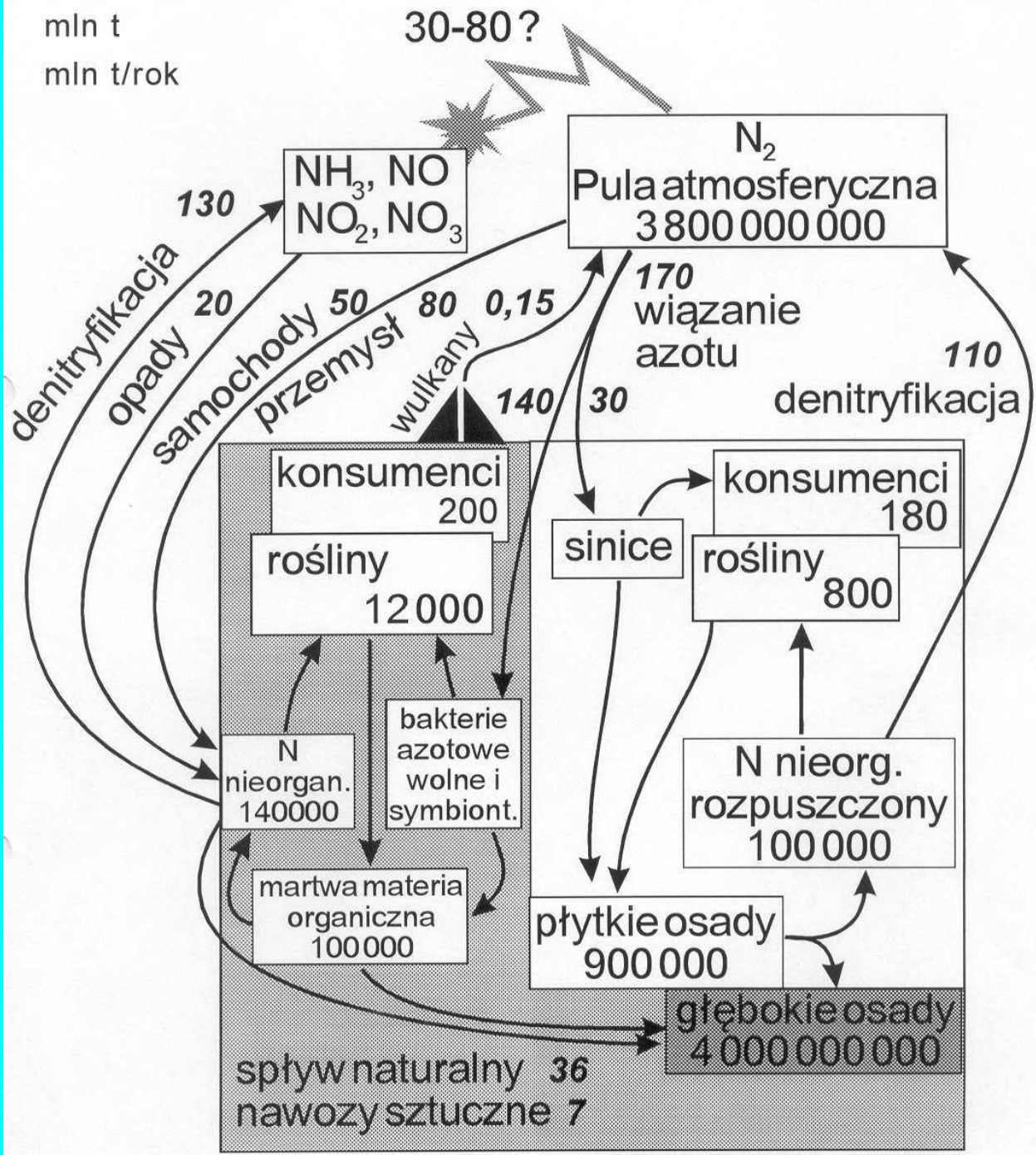
Kazuaryna



Rokitnik
(*Hippophaë rhamnoides* L.)

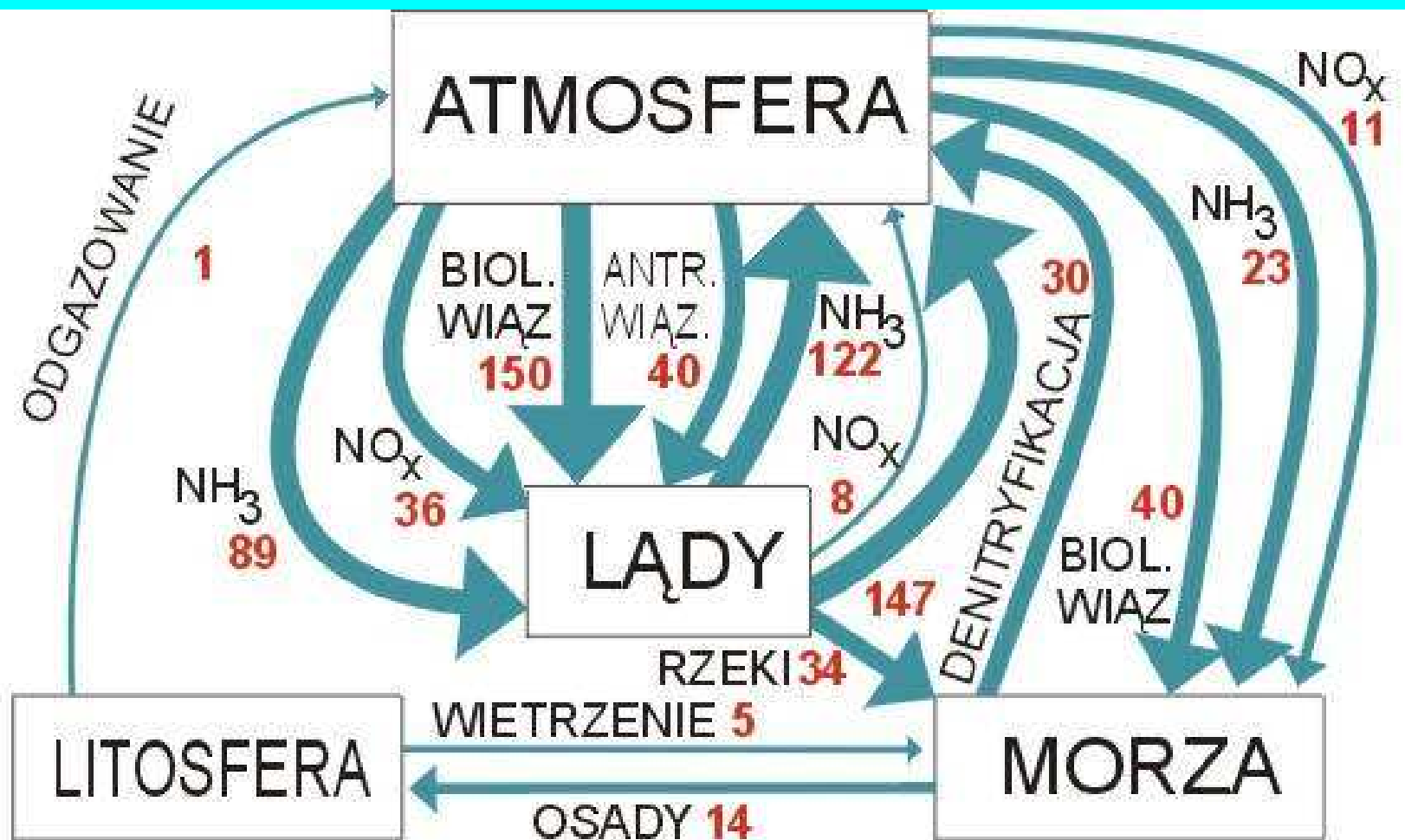


Dryas drummondii

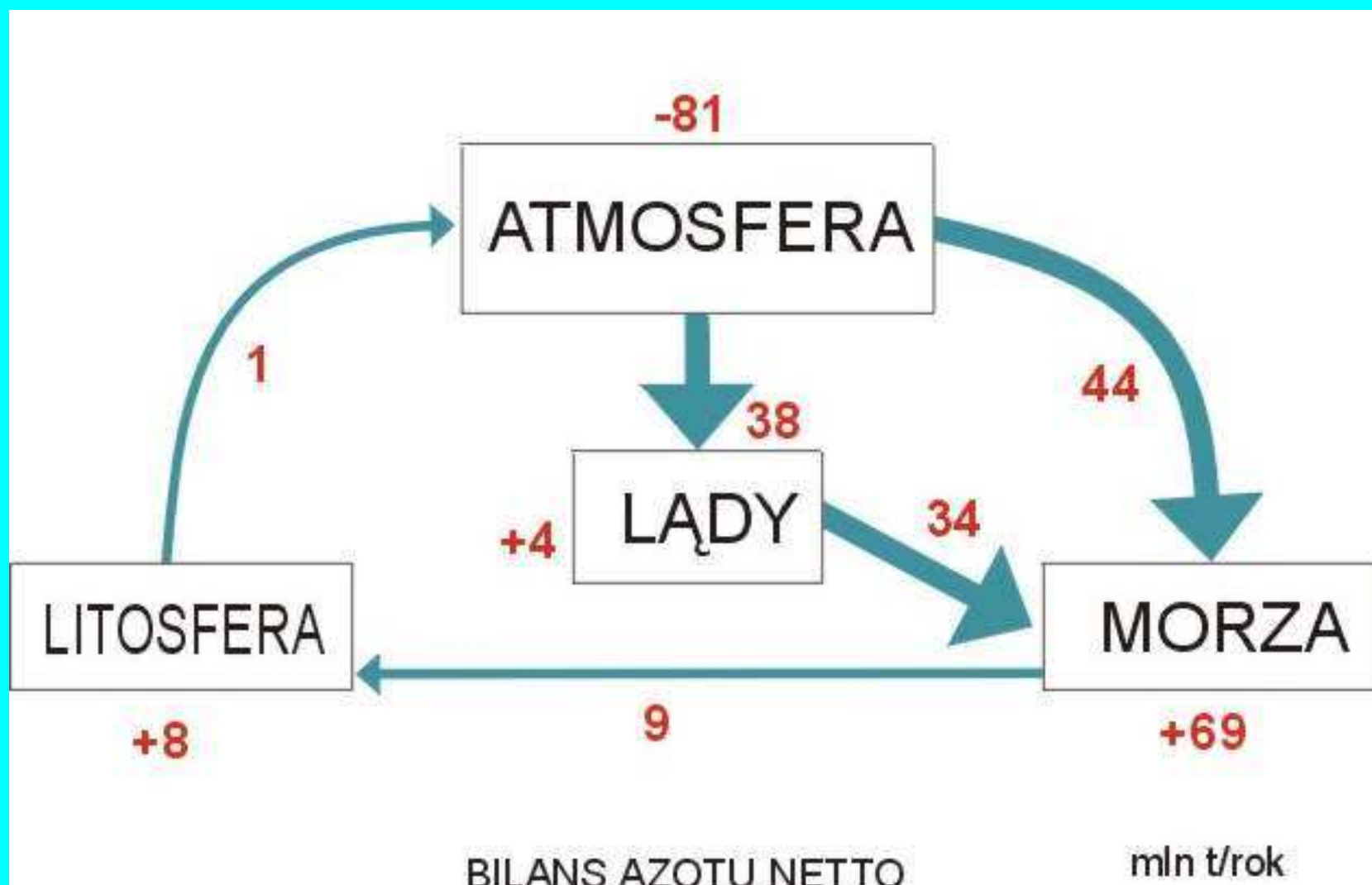


Obieg azotu (mln t/rok)

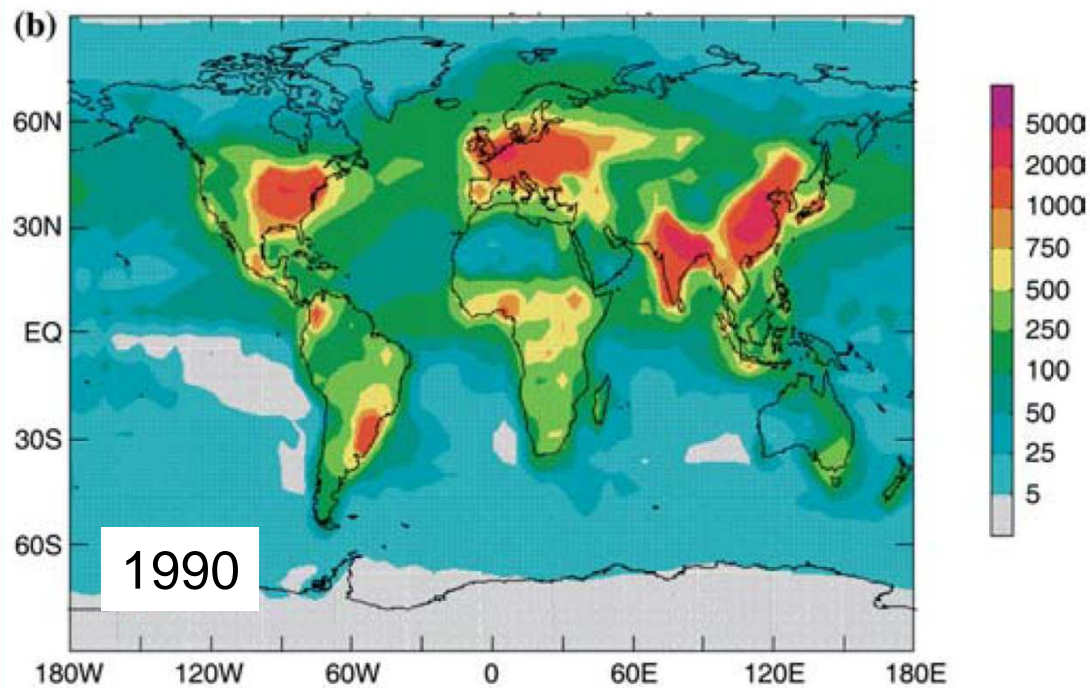
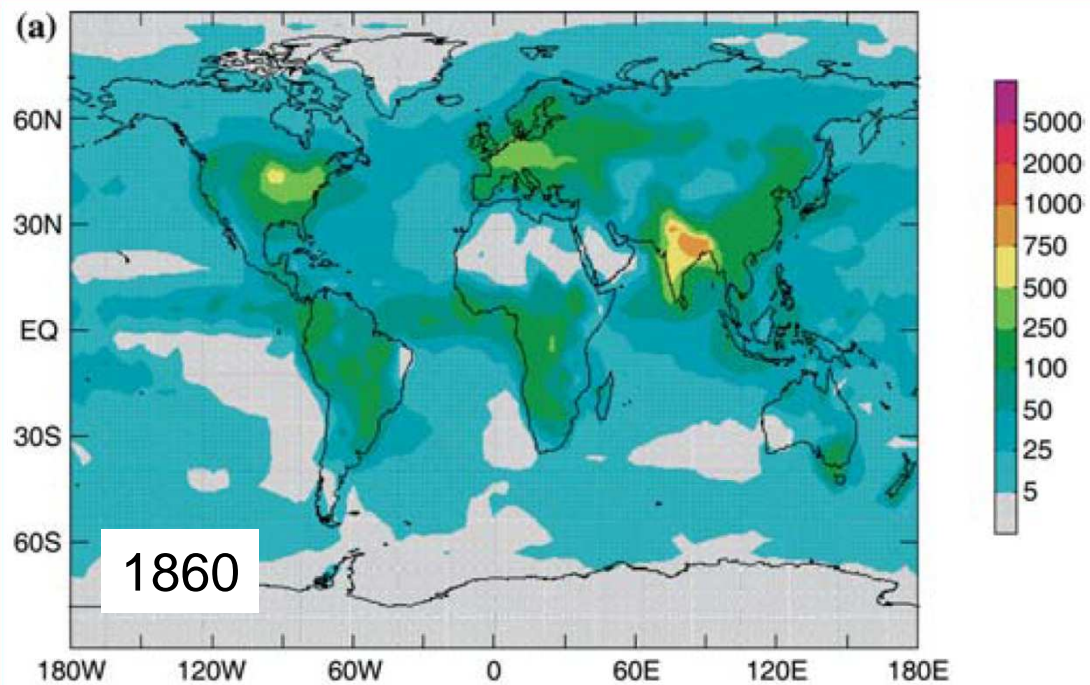
BILANS AZOTU (mln t/rok)



SUMARYCZNY BILANS AZOTU

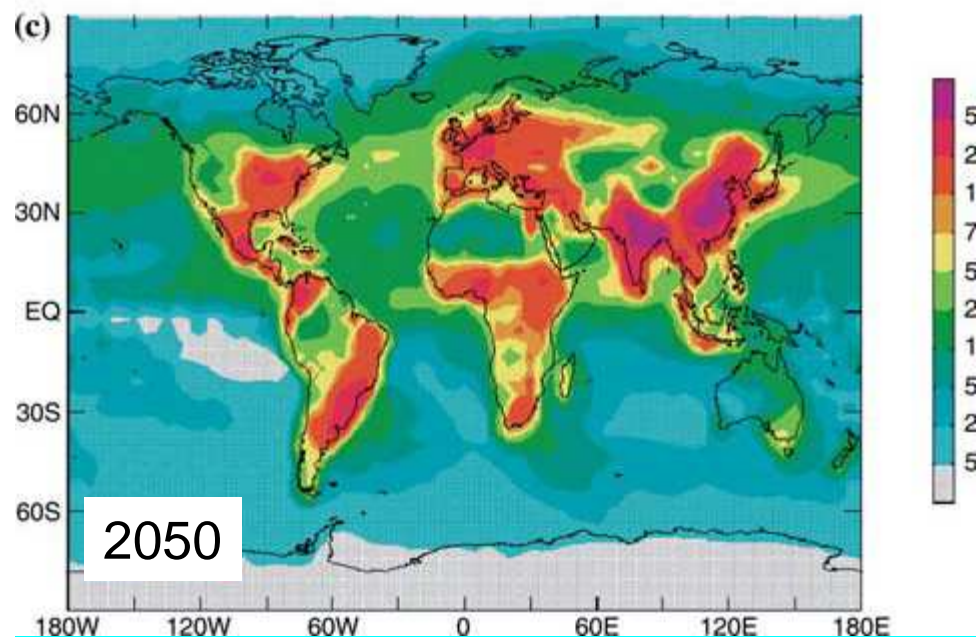
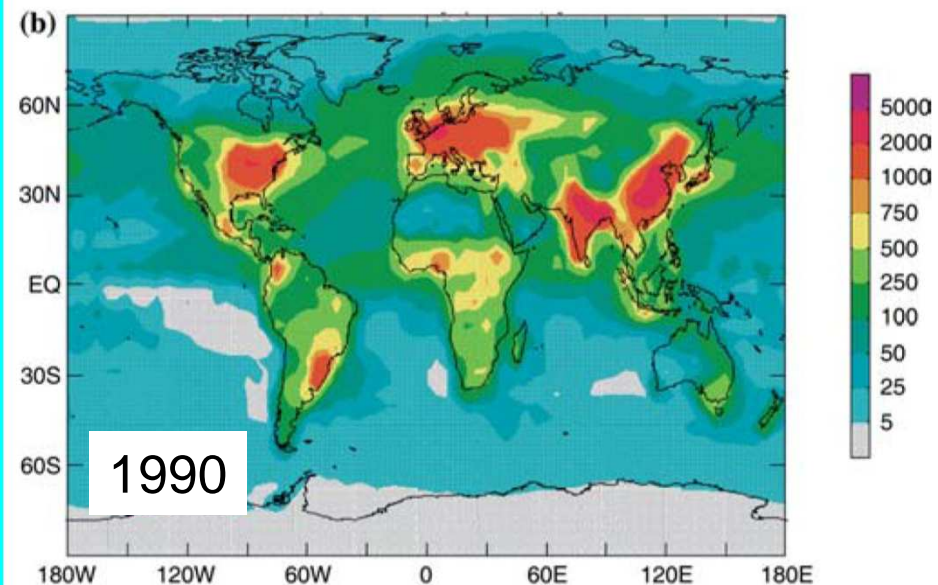
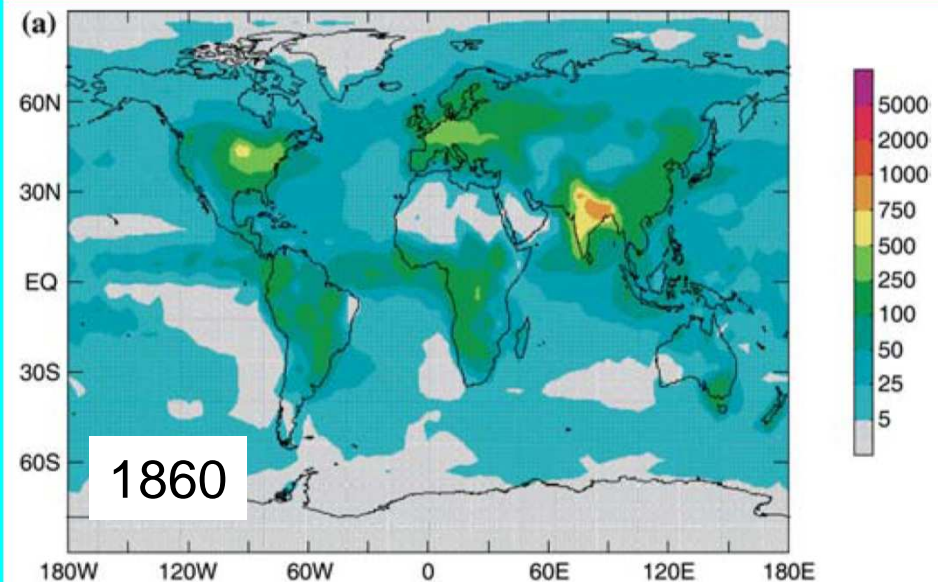


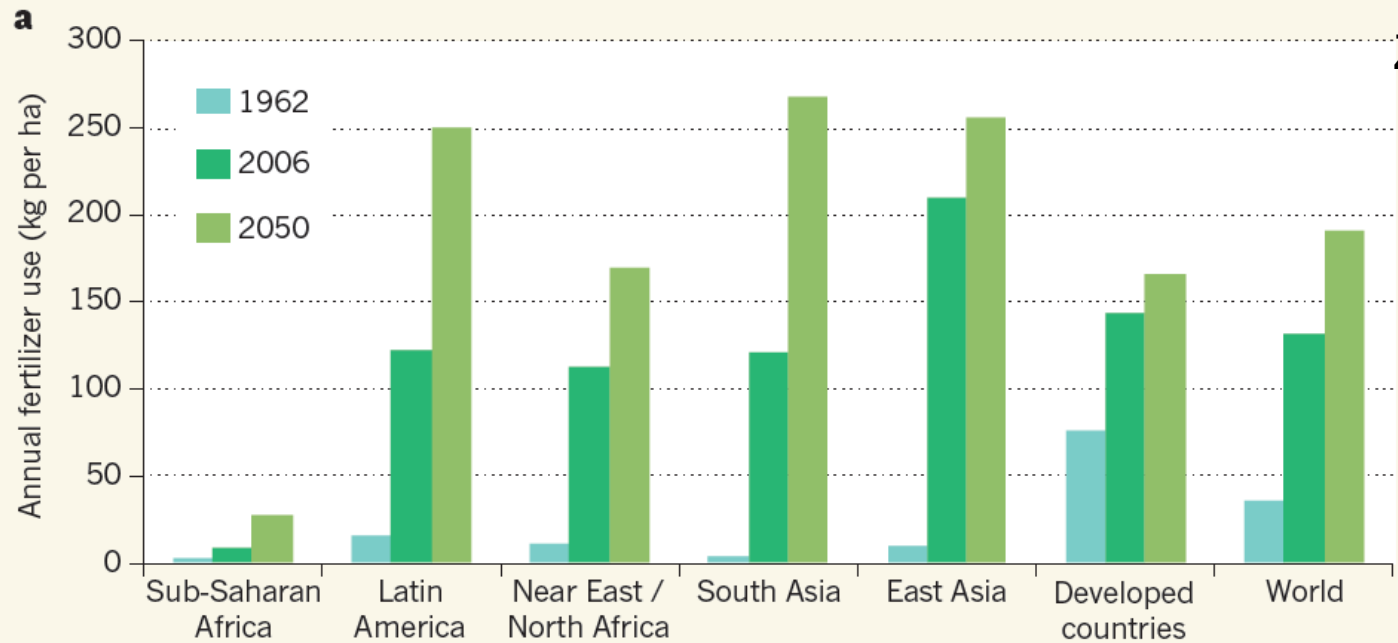
Depozycja azotu (mg/m²*rok)



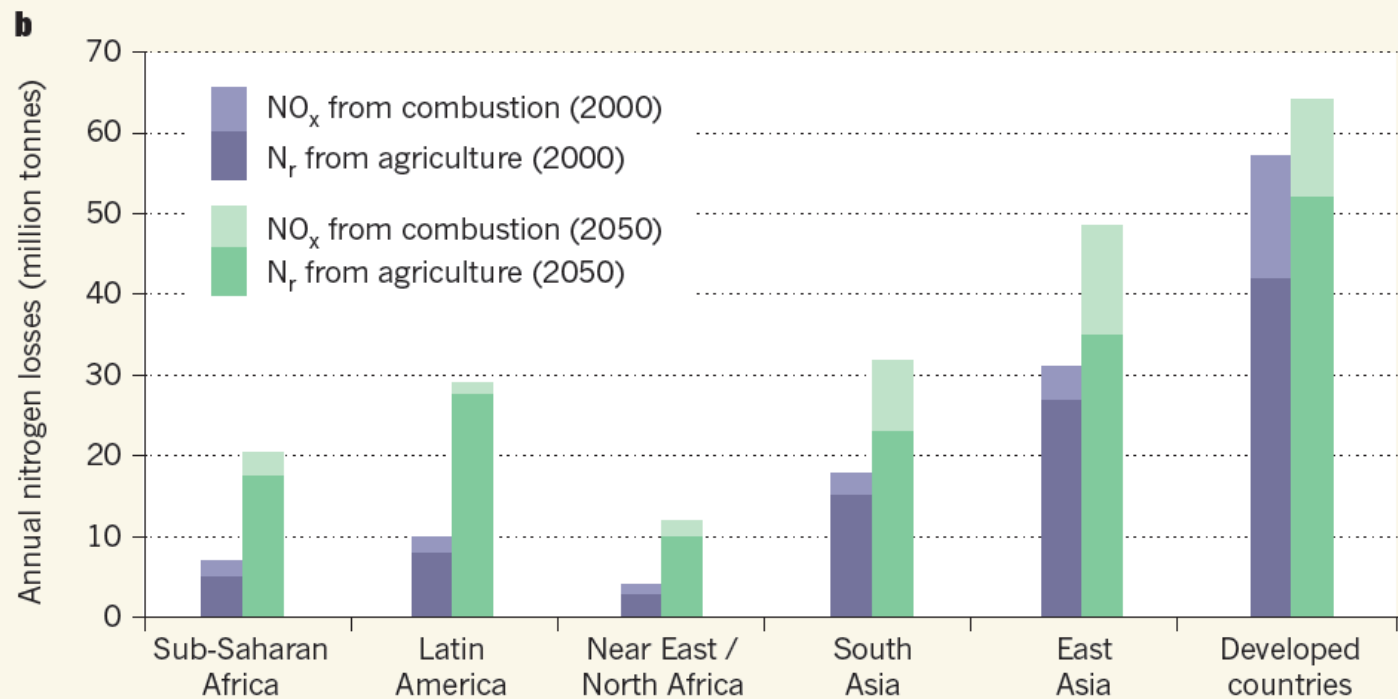
Galloway i in. 2004

Depozycja azotu (mg/m²*rok)



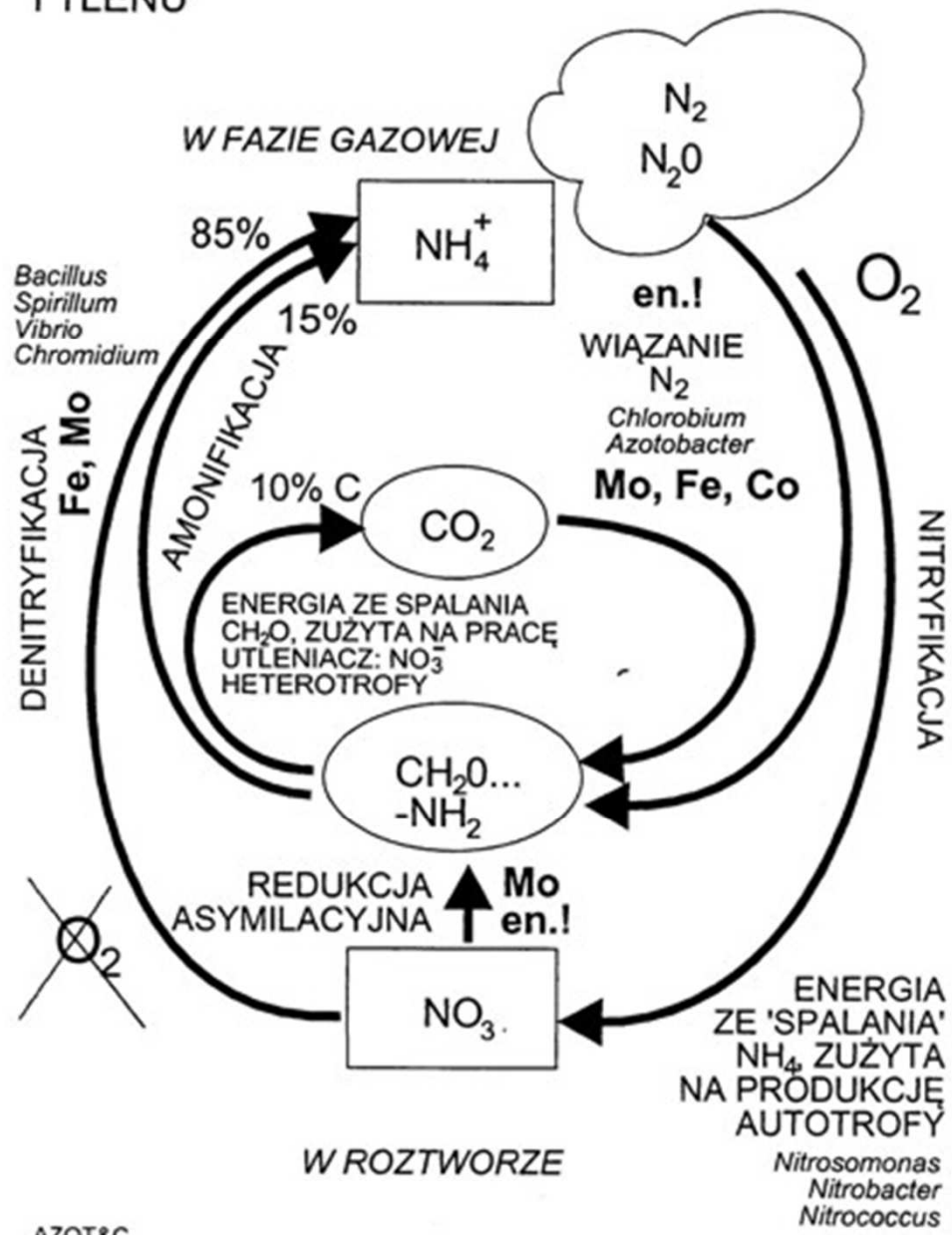


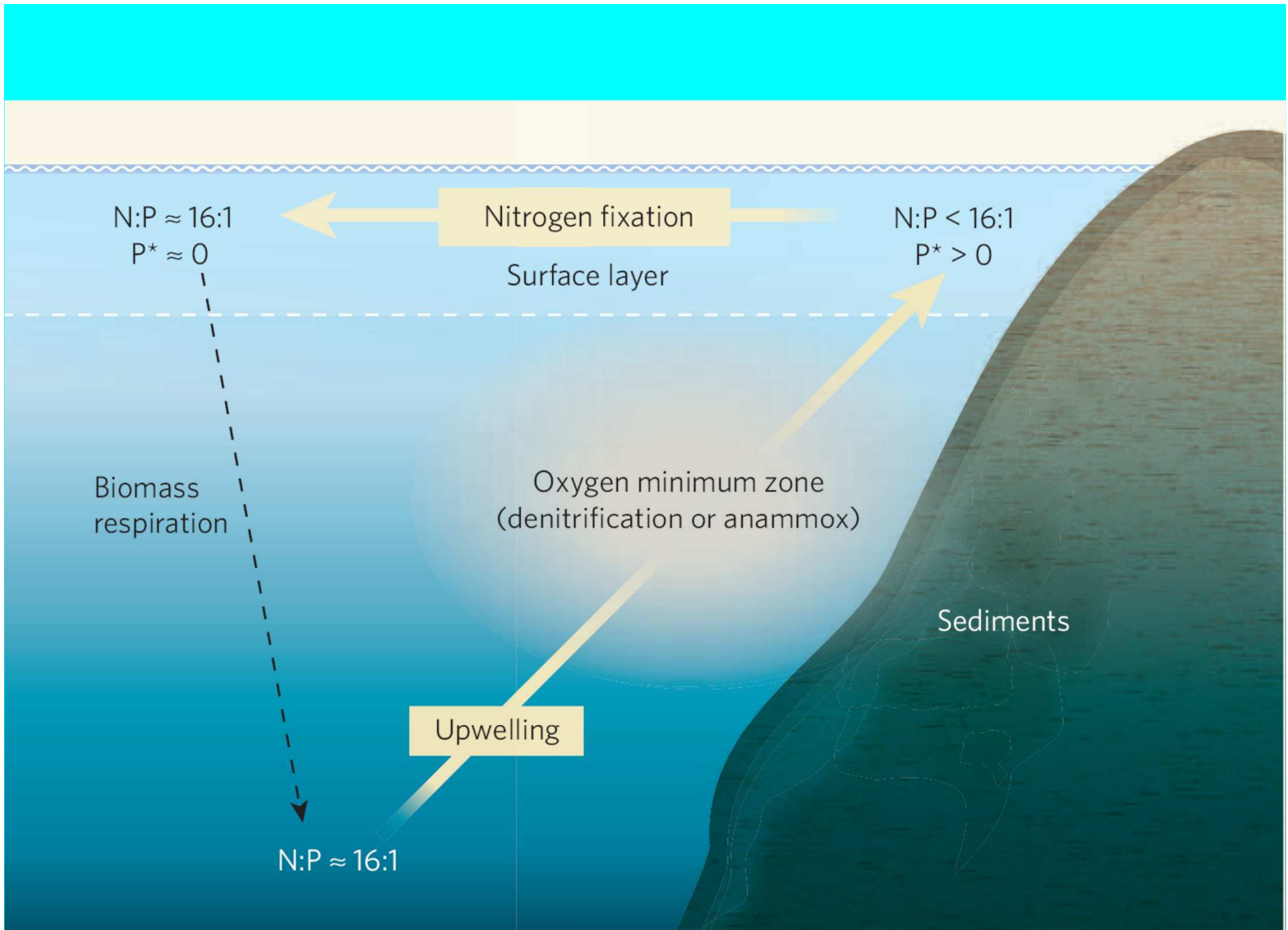
Zużycie nawozów sztucznych (kg/ha *rok)



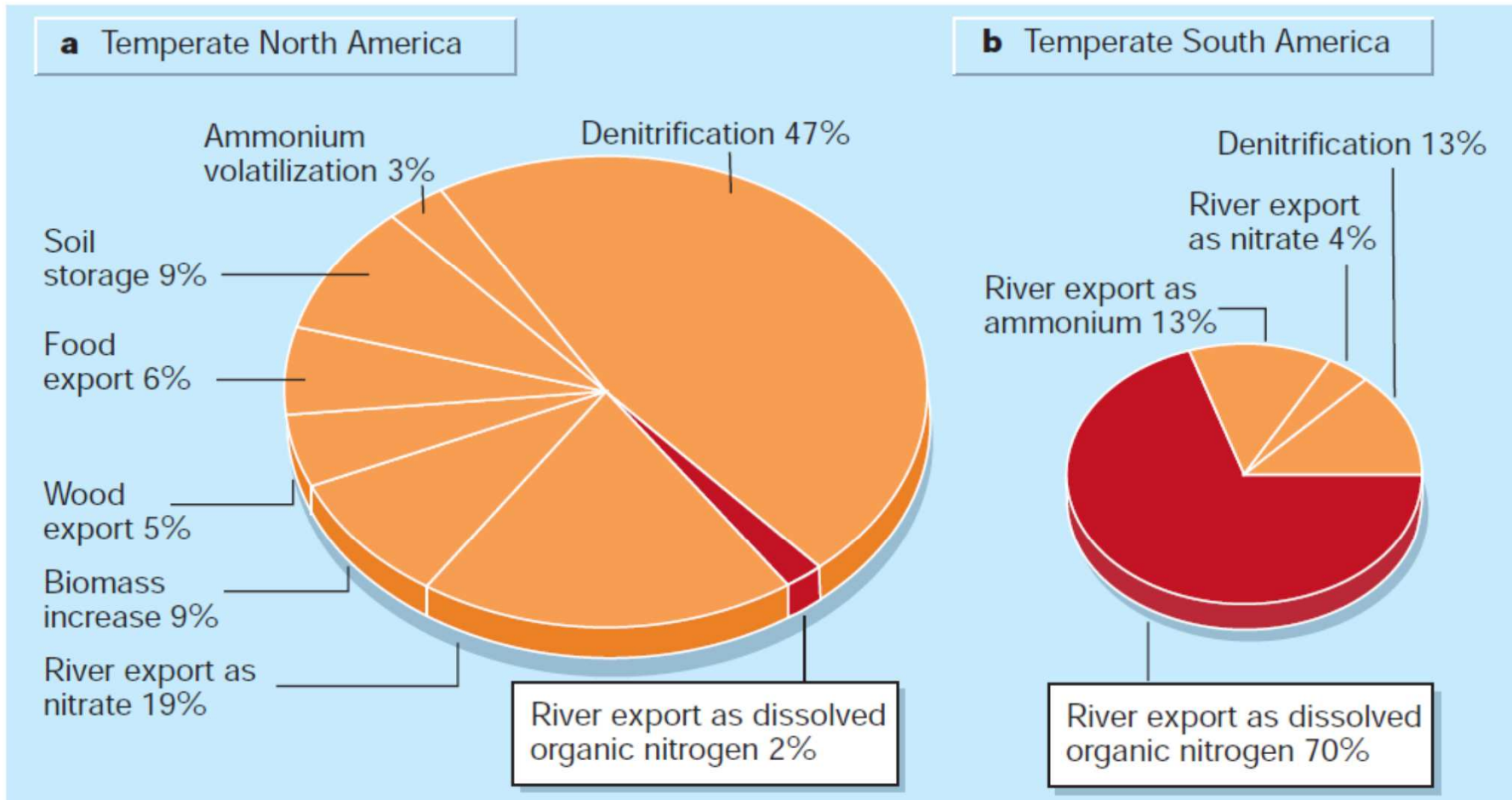
Utrata azotu (miliony ton/rok)

POWIĄZANIE OBIEGU AZOTU Z OBIEGIEM WĘGLA I TLENU





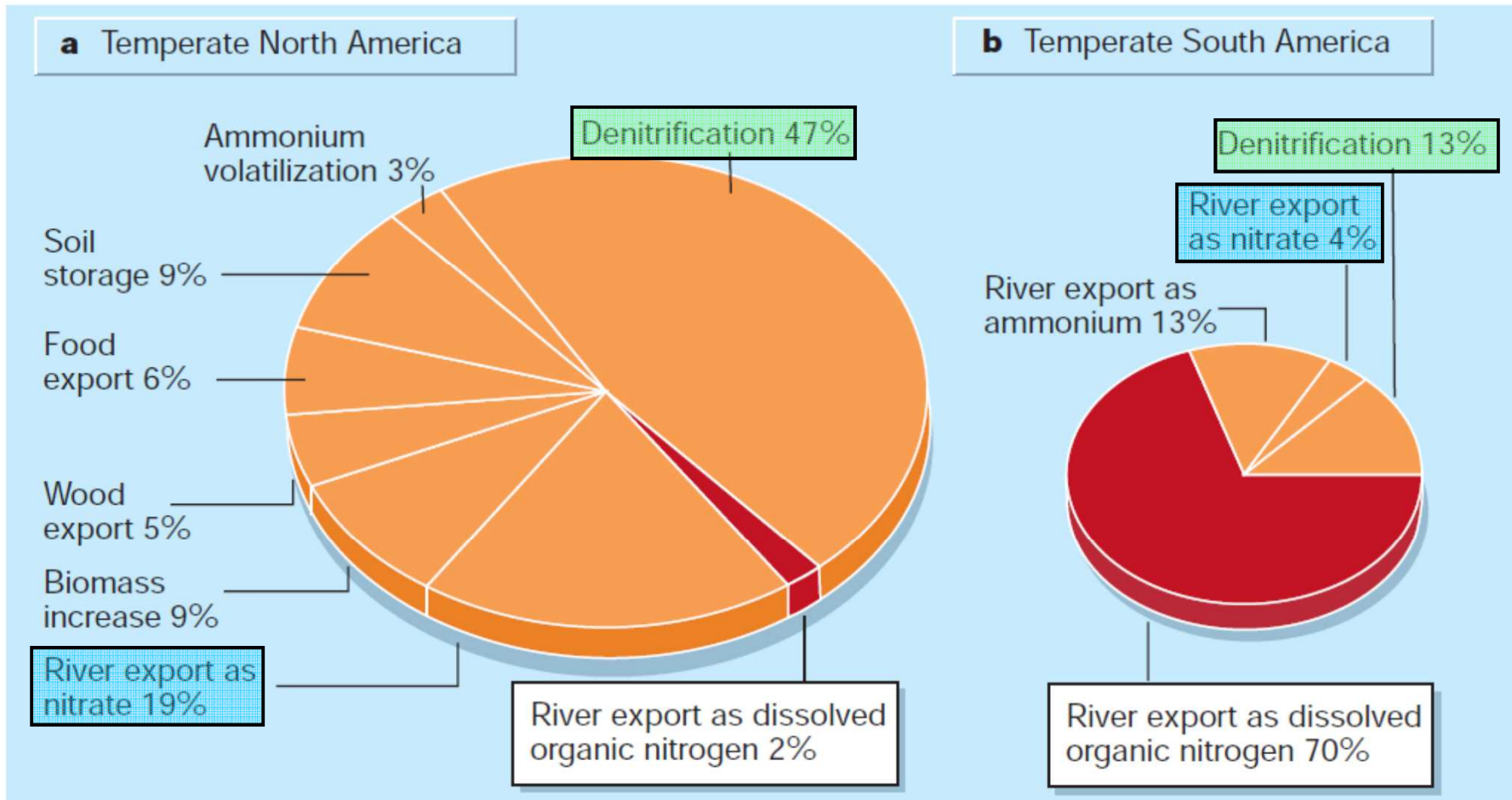
Formy eksportu azotu z ekosystemów leśnych



36,4 kg/ha*rok

0,4 kg/ha*rok

Formy eksportu azotu z ekosystemów leśnych



36,4 kg/ha*rok

0,4 kg/ha*rok