



# Ekologia

## Biogeochemia: globalne obiegi pierwiastków

Ryszard Laskowski  
www.cyfronet.edu.pl/~uxlaskow

1/35

---

---

---

---

---

---

---

---

## Biogeochemia

- Lata 1940. – Hutchinson i współpracownicy.
- Biogeochemia bada drogi przepływu pierwiastków chemicznych pomiędzy poszczególnymi składnikami ekosystemu oraz wymiany tych pierwiastków międzyżywioną częścią ekosystemu (biocenozą) i jej fizykochemicznym środowiskiem.
- Początkowo – obiegi biogenów w ekosystemach; obecnie – także drogi przemieszczania się zanieczyszczeń antropogenicznych.

2/35

---

---

---

---

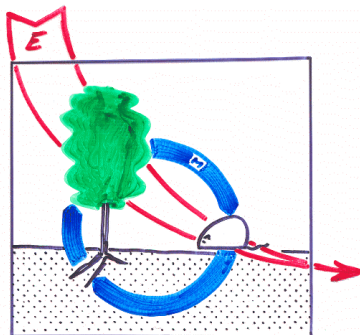
---

---

---

---

## Przepływ energii a obieg materii



3/35

---

---

---

---

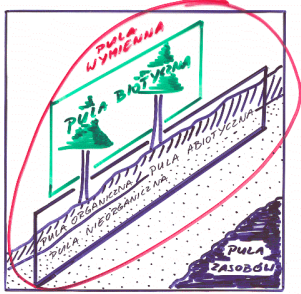
---

---

---

---

### Pule pierwiastków biofilnych w ekosystemie



4/35

---

---

---

---

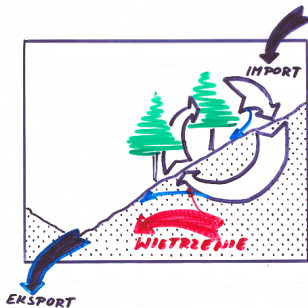
---

---

---

---

### Bilanse biogeochemiczne



5/35

---

---

---

---

---

---

---

---

### Bilans pierwiastków w ekosystemie

- Drogi importu pierwiastków do ekosystemu:
  - opady mokre (deszcz, śnieg)
  - opad suchy (pyły)
  - depozycja gazowa (np.  $SO_2$ ,  $NO_x$ )
  - intercepcja („wyczesywanie” – mgły, chmury)
  - imigracja organizmów
- Drogi eksportu (ucieczki) z ekosystemu:
  - odpływ powierzchniowy (strumienie)
  - ucieczka do wód gruntowych
  - erozja eoliczna (wietrzna)
  - emigracja organizmów

6/35

---

---

---

---

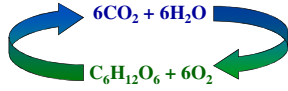
---

---

---

---

### Asymilacja versus mineralizacja



- **Punkt kompensacyjny:** natężenie światła, przy którym *fotosynteza = respiracja* →  $V_{O_2}/V_{CO_2} = 1$
- **Tempo obiegu pierwiastków:**
  - może być bardzo różne w zależności formy występowania pierwiastka w organizmach (np. materiały energetyczne / budulcowe / jony) i chemicznej mobilności pierwiastka

7/35

---

---

---

---

---

---

---

---

### Czas obiegu materii w różnych lasach (lata)

Typ lasu	materia organiczna	N	K	Ca	Mg	P
Borealne lasy iglaste	356	230,0	94,0	149,0	455,0	324,0
Borealne lasy liściaste	26	27,1	10,0	13,8	14,2	15,2
Lasy iglaste st. umiarkowanej	17	17,9	2,2	5,9	12,9	15,3
Lasy liściaste st. umiarkowanej	4	5,5	1,3	3,0	3,4	5,8
Lasy śródziemnomorskie	3	3,6	0,2	3,8	2,2	0,9
<b>ŚREDNIA</b>	<b>81,2</b>	<b>56,8</b>	<b>21,5</b>	<b>175,5</b>	<b>97,5</b>	<b>72,2</b>

8/35

---

---

---

---

---

---

---

---

### Retencja biogenów w poszczególnych pulach

- **Węgiel (C)**
  - asymilacja przez rośliny lądowe:
    - ok.  $1,05 \times 10^{17}g$  = 12% puli atmosferycznej  $CO_2$  rocznie
    - średni czas retencji atomu C w atmosferze =  $1/0,12 = \text{ok. } 8 \text{ lat}$
- **Tlen ( $O_2$ )**
  - produkcja przez rośliny lądowe jest proporcjonalna do asymilacji węgla – na 1 atom węgla przypadają 2 atomy tlenu
    - $2 \times 16/12 \times 10^{17}g \approx 1/4000$  atmosferycznej puli tlenu rocznie
    - średni czas retencji atomu tlenu w atmosferze = **ok. 4000 lat**

9/35

---

---

---

---

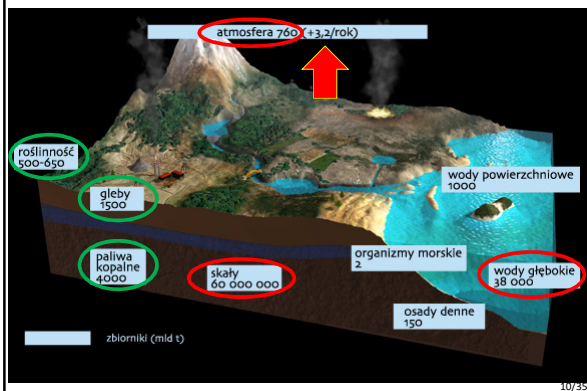
---

---

---

---

### Globalny obieg węgla – pule (mld ton)




---

---

---

---

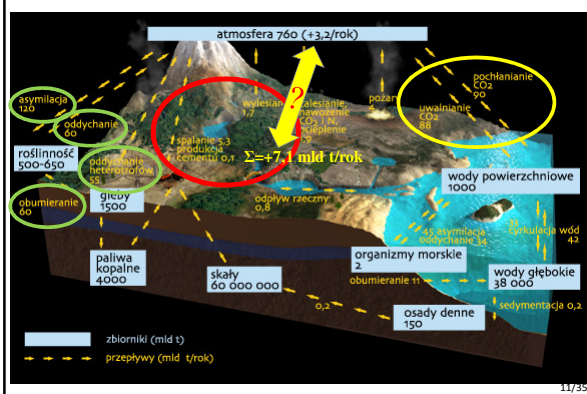
---

---

---

---

### Globalny obieg węgla – przepływy (mld t/rok)




---

---

---

---

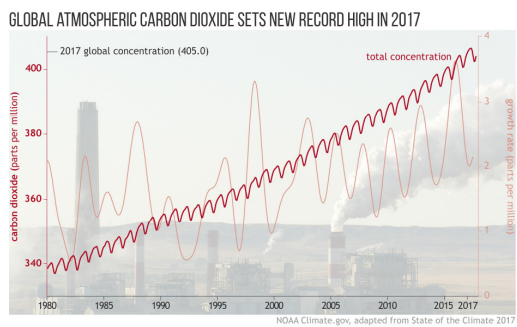
---

---

---

---

### Stężenie CO<sub>2</sub> w atmosferze wciąż rośnie




---

---

---

---

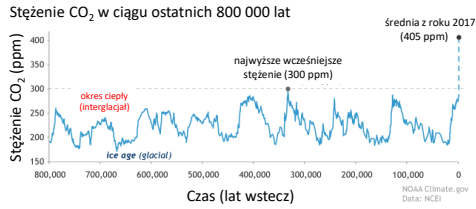
---

---

---

---

## Wahania stężenia CO<sub>2</sub> – dane historyczne



13/35

---

---

---

---

---

---

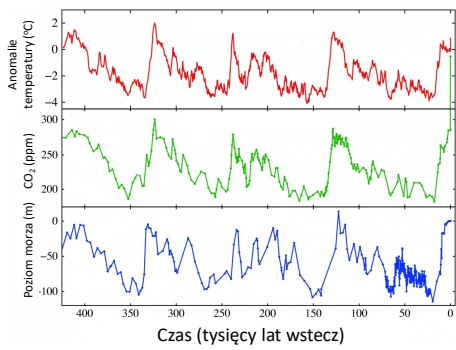
---

---

---

---

## Wzrost stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze: anomalie temperatury i zmiany poziomu mórz



14/35

---

---

---

---

---

---

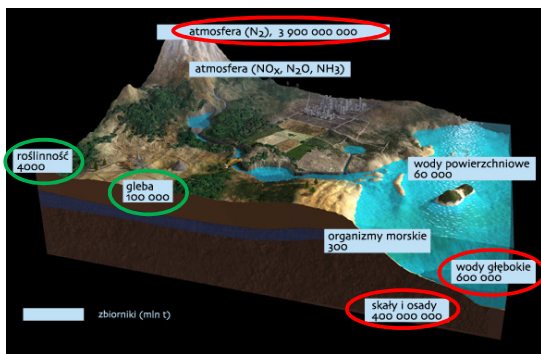
---

---

---

---

## Globalny obieg azotu – pule (mln ton)



15/35

---

---

---

---

---

---

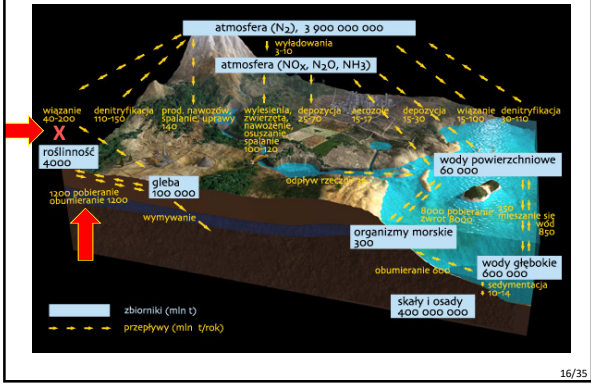
---

---

---

---

### Globalny obieg azotu – przepływy (mln t/rok)




---

---

---

---

---

---

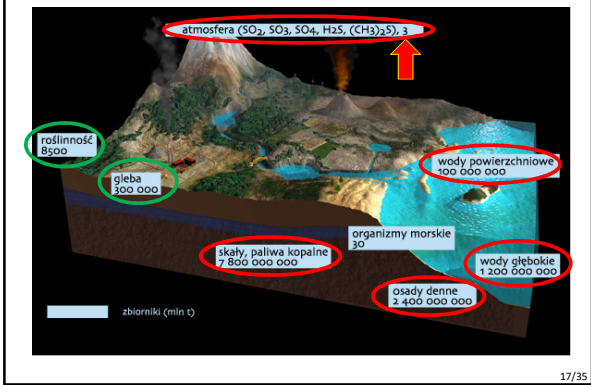
---

---

---

---

### Globalny obieg siarki – pule (mln ton)




---

---

---

---

---

---

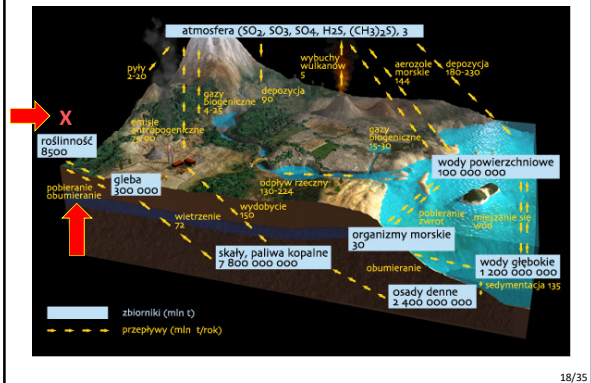
---

---

---

---

### Globalny obieg siarki – przepływy (mln t/rok)




---

---

---

---

---

---

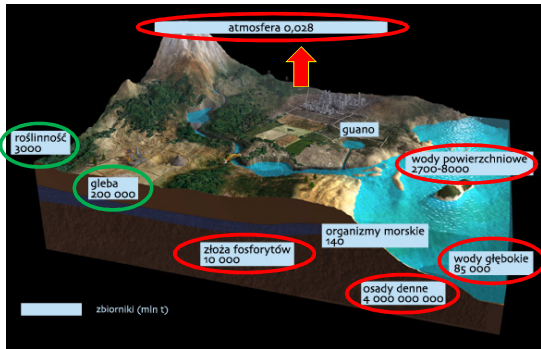
---

---

---

---

### Globalny obieg fosforu – pule (mln ton)



19/35

---

---

---

---

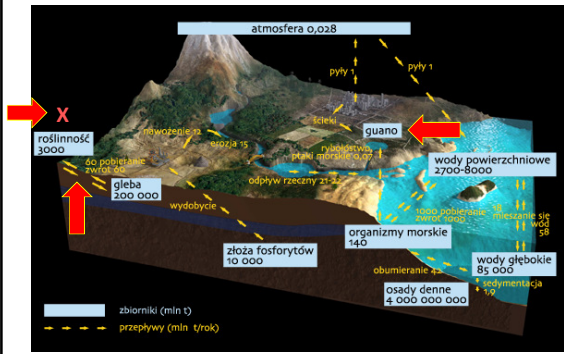
---

---

---

---

### Globalny obieg fosforu – przepływy (mln t/rok)



20/35

---

---

---

---

---

---

---

---

### Bilanse biogeochemiczne, eutrofizacja

- Dwa typy obiegu biogeochemicznych:
  - gazowe (np. C, O, N, S)
  - sedymentacyjne (np. P, metale)
- Nadwyżka importu do ekosystemu nad eksportem → eutrofizacja (= wzbogacenie w substancje odżywcze)
  - np. nadmierny dopływ P (czynnik limitujący) do zbiorników wodnych → gwałtowny wzrost produkcji materii organicznej przez glony (tzw. „zakwity”) → obumieranie biomasy → intensywny rozkład mikrobiologiczny → wyczerpanie zapasów tlenu → śnięcie ryb, śmierć zbiornika wodnego.

21/35

---

---

---

---

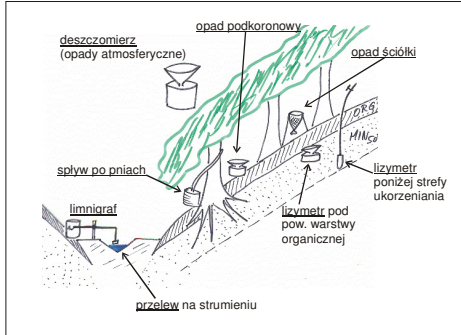
---

---

---

---

**Badanie obiegów biogeochemicznych:  
badania zlewniowe**



22/35

---

---

---

---

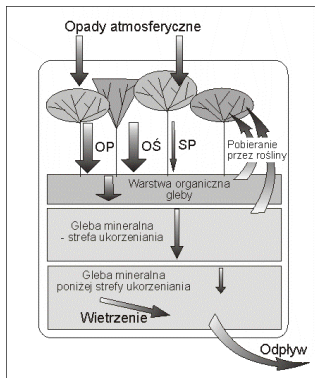
---

---

---

---

**Przeptyw pierwiastków przez ekosystem**



23/35

---

---

---

---

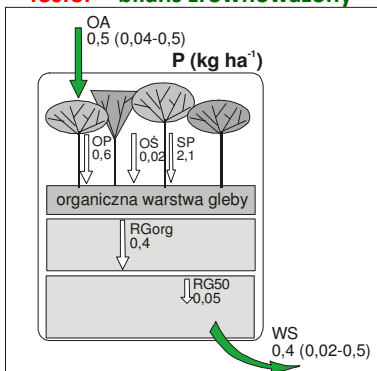
---

---

---

---

**Trzy biogeny – trzy bilanse (kg/ha rocznie):  
fosfor – bilans zrównoważony**



24/35

---

---

---

---

---

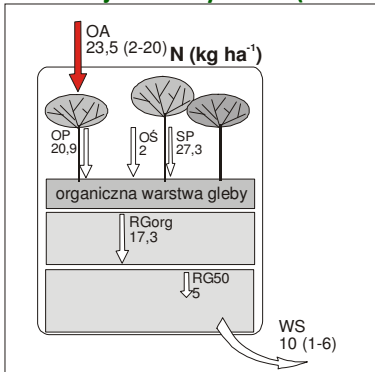
---

---

---



**Trzy biogeny – trzy bilanse (kg/ha rocznie):  
azot – akumulacja w ekosystemie (eutrofizacja?)**




---

---

---

---

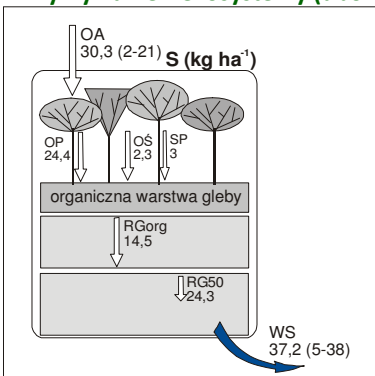
---

---

---

---

**Trzy biogeny – trzy bilanse (kg/ha rocznie):  
siarka – wymywanie z ekosystemu (ubożenie?)**




---

---

---

---

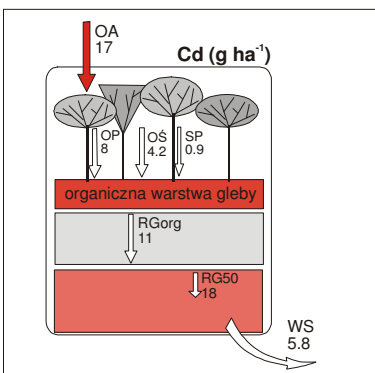
---

---

---

---

**Metale ciężkie: kadm (g/ha rocznie)**




---

---

---

---

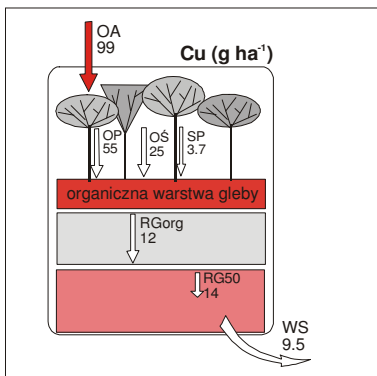
---

---

---

---

**Metale ciężkie: miedź (g/ha rocznie)**



28/35

---

---

---

---

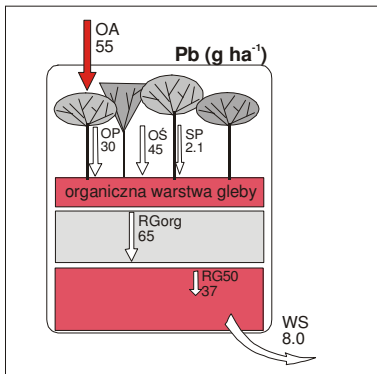
---

---

---

---

**Metale ciężkie: ołów (g/ha rocznie)**



29/35

---

---

---

---

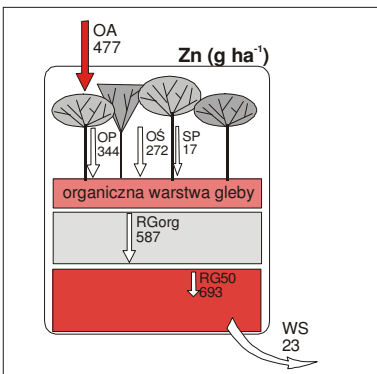
---

---

---

---

**Metale ciężkie: cynk (g/ha rocznie)**



30/35

---

---

---

---

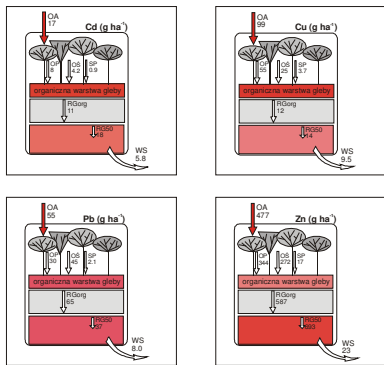
---

---

---

---

**Metale ciężkie akumulują się w ekosystemie**



31/35

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

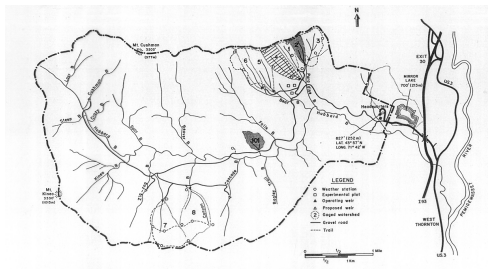
---

---

---

---

**Wpływ gospodarki leśnej na bilanse biogenów:  
doświadczenie z Hubbard Brook (USA)  
Bormann i Likens, 1974**



32/35

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

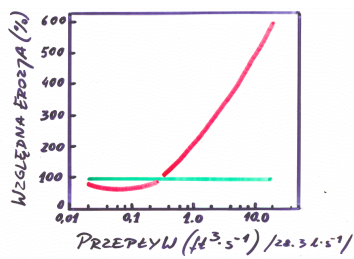
---

---

---

---

**Wzrost erozji w zlewni z wyciętym lasem**



33/35

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Roczny bilans biogenów dla dwóch zlewni w Hubbard Brook (kg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>)**

Biogeny	Zlewnia z lasem	Zlewnia ze zrębem
Ca	-9,0	-77,7
Mg	-2,6	-15,6
K	-1,5	-30,3
Na	-6,1	-15,4
Al	-3,0	-21,1
N-NH <sub>4</sub>	+2,2	+1,6
N-NO <sub>3</sub>	+2,3	-114,1
S-SO <sub>4</sub>	-4,1	-2,8
Cl	+1,2	-1,7

34/35

---

---

---

---

---

---

---

---

**Zmiany w obiegu azotu wskutek wylesienia**

Zlewnia kontrolna (las)	Zlewnia doświadczalna (zręb)
Powolna nitryfikacja	Bardzo szybka nitryfikacja
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> powstający w trakcie dekompozycji → kompleks sorpcyjny gleby	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> → NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> → wymywanie → powstawanie jonów H <sup>+</sup>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> niemal wyłącznie z opadów atmosferycznych	H <sup>+</sup> → wypieranie z kompleksu sorpcyjnego kationów (Ca <sup>+2</sup> , Mg <sup>+2</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> ) → wymywanie

35/35

---

---

---

---

---

---

---

---