

# Modelowanie klimatu

Axel Zuziak, Marcin Węglarz

AGH WFiIS  
Fizyka Techniczna

16 marca 2015

# Co to jest klimat?

## Klimat

Klimatem nazywamy średnie warunki pogodowe obserwowane w danym miejscu na przestrzeni lat.

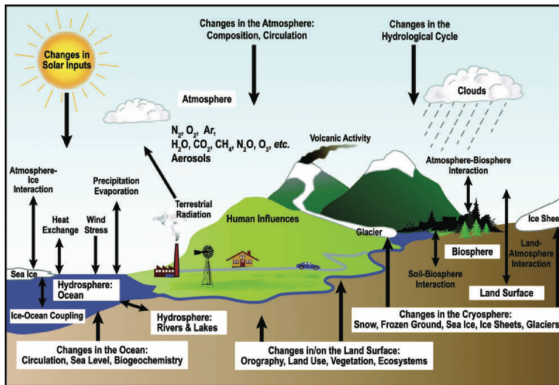
Modele klimatu są uproszczonym opisem skomplikowanych procesów.

### **Klimat dzielimy na:**

- Atmosfera
- Hydrosfera
- Kriosfera
- Powierzchnia lądowa
- Biosfera

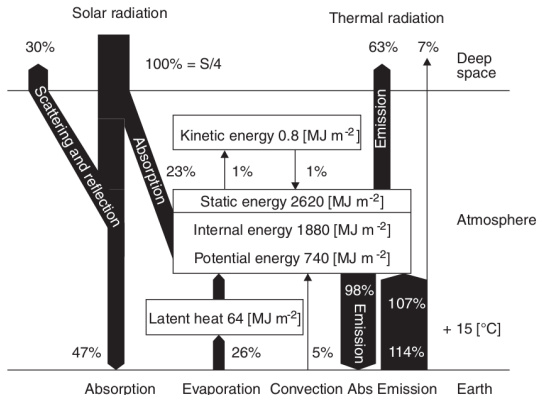
### **Składniki klimatotwórcze:**

- Temperatura
- Opady
- Zachmurzenie
- Wilgotność
- Wiatr



Rysunek : Czynniki definiujące i wpływające na klimat

# Zerowymiarowy model cieplarniany



Rysunek : Zerowymiarowy model bilansu promieniowania.[2]

# Matematyczne spojrzenie na bilans energetyczny

## Bardzo prosty model bilansu radiacyjnego

$$(1 - a) \frac{S}{4} = \sigma T_a^4 + t \sigma T_s^4$$

## Bilans dla powierzchni Ziemi

$$(-t_a)(1 - a_s) \frac{S}{4} + c(T_s - T_a) + \sigma T_s^4(1 - a'_a) - \sigma T_a^4 = 0$$

## Bilans dla atmosfery

$$-(1 - a_a - t_a + a_s t_a) \frac{S}{4} - c(T_s - T_a) - \sigma T_s^4(1 - t'_a - a'_a) + 2\sigma T_a^4 = 0$$

(Wartości z primem to wartości dla fal długich.)

# Wymuszenie radiacyjne i sprzężenie zwrotne.

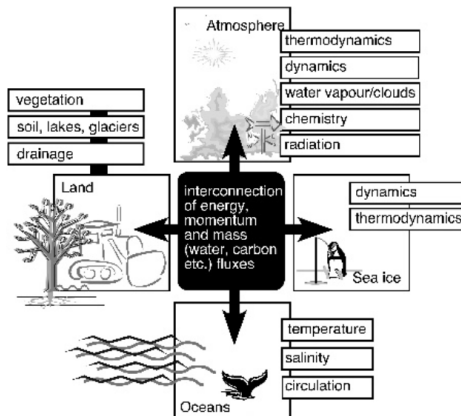
**Wymuszeniem radiacyjnym** nazywamy zjawisko zmiany temperatury na powierzchni Ziemi celem wyrównania bilansu radiacyjnego.

Wzory do ilościowego opisu zmian temperatury

$$\Delta I = \frac{\partial I}{\partial T_s} \Delta T_s$$

$$\frac{\partial I}{\partial T_s} = \frac{4}{T_s} (1 - a) \frac{S}{4}$$

# Trójwymiarowy model klimatu



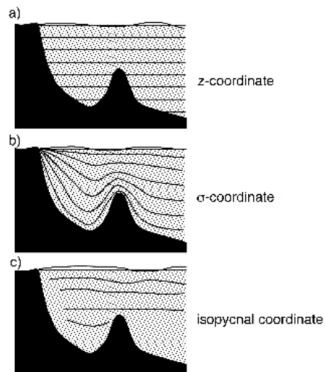
Rysunek : Wymiana wielkości fizycznych pomiędzy składowymi modelu

# Modelowanie oceanu

Na ocean wpływa:

- Siła mechaniczna wiatru
- Wypadkowy efekt gęstości i zasolenia wody
- Wymiana ciepła z atmosferą
- Wilgotność

Skutkiem ruchu obrotowego są prądy(pływy) oceanu.



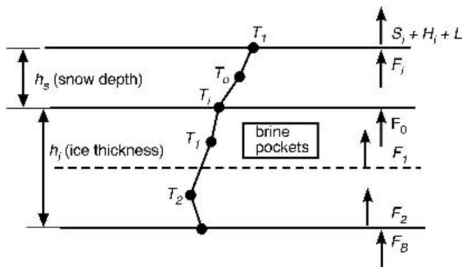
Rysunek : Opis



# Modelowanie kriosfery

Własności kriosfery:

- Śnieg i lód mają wysokie albedo - są istotne w globalnym bilansie ciepła.
- Zwiększają wymianę ciepła i gazów pomiędzy oceanami a atmosferą.



Rysunek : Najprostszy model to trójwarstwowy model termodynamiczny

# Modelowanie atmosfery

Prawo zachowania pędu

$$\frac{D\mathbf{v}}{Dt} = -2\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{v} - \rho^{-1}\nabla p + \mathbf{g} + \mathbf{F}$$

Prawo zachowania masy

$$\frac{D\rho}{Dt} = -\rho\nabla \cdot \mathbf{v} + C - E$$

Prawo zachowania energii

$$\frac{DI}{Dt} = -p\frac{D\rho^{-1}}{Dt} + Q$$

Równanie stanu gazu doskonałego

$$p = \rho RT$$

# Modele klimatu

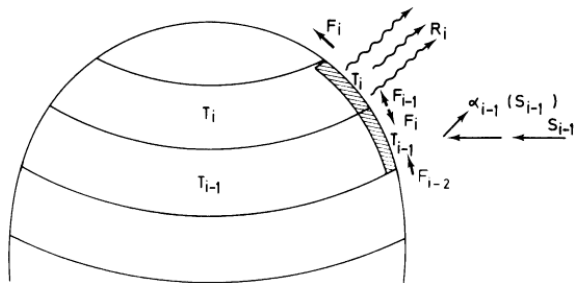
Ogólnie modele klimatu możemy podzielić na:

- zerowymiarowe
- 1-wymiarowe
- 2-wymiarowe
- 3-wymiarowe

Spośród powyższych najdokładniejsze są modele 3-wymiarowe, z których należy wyróżnić

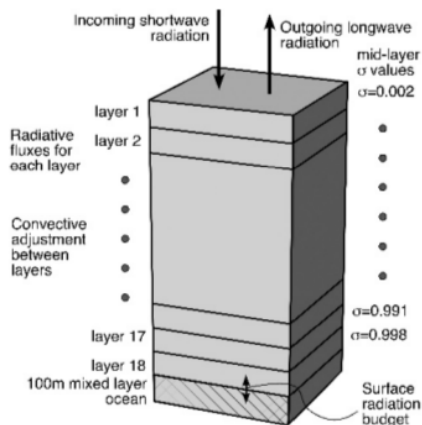
- GCM (general circulation model), AGCM, OGCM, CGCM lub AOGCM
- RCM (regional climate model)

# Jednowymiarowy EBM (energy balance model)



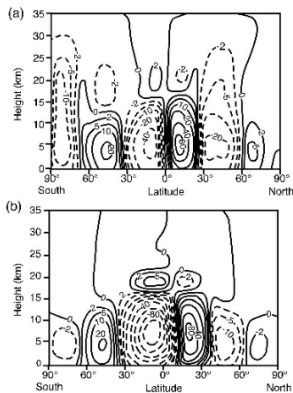
Rysunek : Schemat jednowymiarowego modelu bilansu energii.[3]

# Jednowymiarowy RCM(radiative-convective model)



Rysunek : Schemat jednowymiarowego modelu radiacyjno-konwekcyjnego.[1]

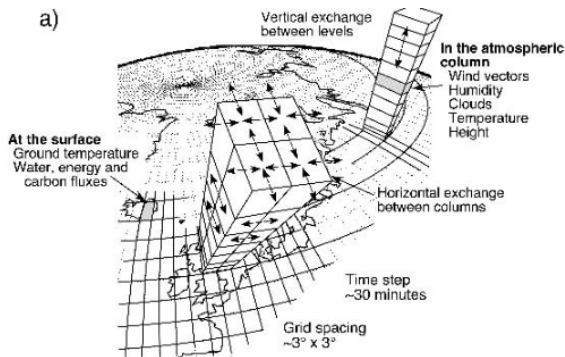
# Przykład dwuwymiarowego modelu SD



**Rysunek :** Rysunek przedstawia średni roczny przepływ masy. a) obserwowany, b) przewidziany modelem[1]

# Implementacja modelu GCM

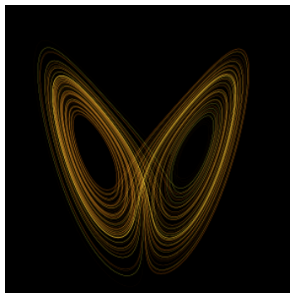
W celu implementacji naszych równań musimy im nadać wartości dyskretne. Modelujemy atmosferę, dzieląc ją na pudła.



**Rysunek :** Model podziału atmosfery na pudła. Dopuszczamy wymiany wertykalne i horyzontalne.[1]

# Teoria Chaosu na przykładzie układu Lorentza

$$\begin{cases} \dot{x} = \sigma(y - x) \\ \dot{y} = x(\rho - z) - y \\ \dot{z} = xy - \beta z \end{cases}$$



Rysunek : Trajektoria układu  
Lorenza



# References



[1] K.McGuffie, A. Henderson-Sellers

A Climate Modelling Primer

John Wiley & Sons, Chichester, wydanie trzecie, 2005



[2] E. Boeker, R. Grondelle

Fizyka środowiska

PWN, Warszawa, 2002



[3] <https://www.e-education.psu.edu>

The End