

# Modelowanie klimatu

Axel Zuziak, Marcin Węglarz

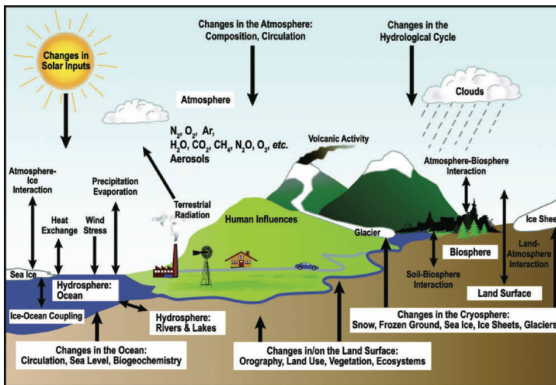
AGH WFiIS  
Fizyka Techniczna

9 marca 2015

# Co to jest klimat?

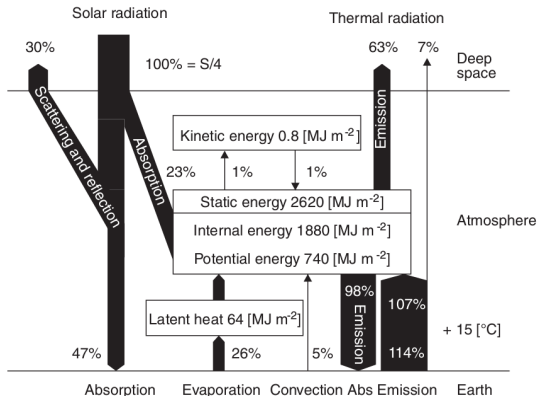
Klimatem nazywamy średnie warunki pogodowe obserwowane w danym miejscu na przestrzeni lat. Przykładowe czynniki: temperatura, opady, zachmurzenie, wilgotność. Modele klimatu są uproszczonym opisem skomplikowanych procesów. Klimat dzielimy na pięć części:

- **Atmosfera** Gazowa część ponad powierzchnią ziemi.
- **Hydrosfera** Wszystkie formy wody nad i pod powierzchnią ziemi.
- **Kriosfera** Wszystkie formy wody w postaci lodu.
- **Powierzchnia lądowa**
- **Biosfera** Organizmy żyjące w hydrosferze oraz na powierzchni lądowej.



Rysunek : Czynniki definiujące i wpływające na klimat

# Zerowymiarowy model cieplarniany



Rysunek : Zerowymiarowy model bilansu promieniowania

# 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

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

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.)

# Hipotetyczne przykłady

- *Współczesna Ziemia.* ( $a = 0,30$ ,  $T_s = 288K$ )
- *Biała Ziemia.* ( $a = 0,50$ ;  $T_s = 268K$ )
- *Zima nuklearna.* ( $a = 0,35$ ;  $T_s = 284K$ )

# Wymuszenie radiacyjne i sprzężenie zwrotne.

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

Wzory do ilościowego opisu zmian temperatury

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

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

# Przykłady zjawisk wpływających na globalne ocieplenie

## Zjawiska mogące wzmacniać globalne ocieplenie:

- 1 Topienie się lodów i śniegów.
- 2 Zwiększenie ilości pary wodnej w powietrzu. ( $t'_a \nearrow$ ;  $a'_a \searrow$ ).
- 3 Wzrost zachmurzenia.
- 4 Wzrost  $CO_2$  (mniejsza absorpcja przez oceany, szybszy rozkład materii).
- 5 Szybszy wzrost roślin i zmiana albedo.



# Przykłady zjawisk wpływających na globalne ocieplenie

## Zjawiska mogące osłabiać globalne ocieplenie:

- 1 Wzrost zawartości pary wodnej (średni spadek temperatury z wysokością maleje).
- 2 Wzmożony rozwój alg we wszystkich wodach (użycie  $CO_2$  do fotosyntezy).

# Opóźnienie czasowe ze względu na obecność oceanów

- Wysoka pojemność cieplna wody.
- Duża powierzchnia wód na Ziemi.
- Powolne zmiany temperatury.

Zmiana temperatury w wyniku wymuszenia radiacyjnego

$$\Delta T_s(t) = G_f \Delta I$$

Ta sama zmiana po uwzględnieniu opóźnienia czasowego

$$\Delta T_s(t) = G_f \Delta I (1 - \exp^{-t/\tau_e})$$

$$\tau_e \approx 50 - 100 \text{ lat}$$

## Model 3D - atmosfera v2.0

Prawa 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

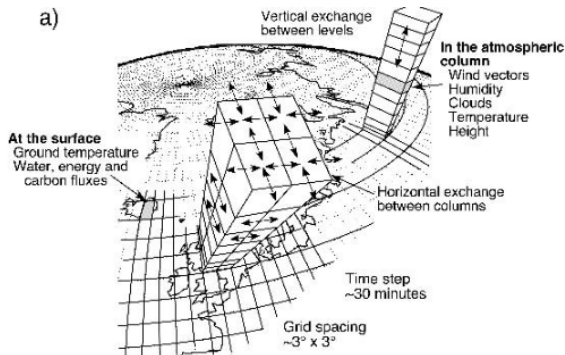
$$\frac{DI}{Dt} = -p\frac{D\rho^{-1}}{Dt} + Q$$

Równanie stanu gazu doskonałego

$$p = \rho RT$$

# Implementacja

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



Rysunek : Model podziału atmosfery na pudła.

# Multiple Columns

## Heading

- ① Statement
- ② Explanation
- ③ Example

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Integer lectus nisl, ultricies in feugiat rutrum, porttitor sit amet augue. Aliquam ut tortor mauris. Sed volutpat ante purus, quis accumsan dolor.

# Theorem

Theorem (Mass–energy equivalence)

$$E = mc^2$$

# References



John Smith (2012)

Title of the publication

*Journal Name* 12(3), 45 – 678.

The End