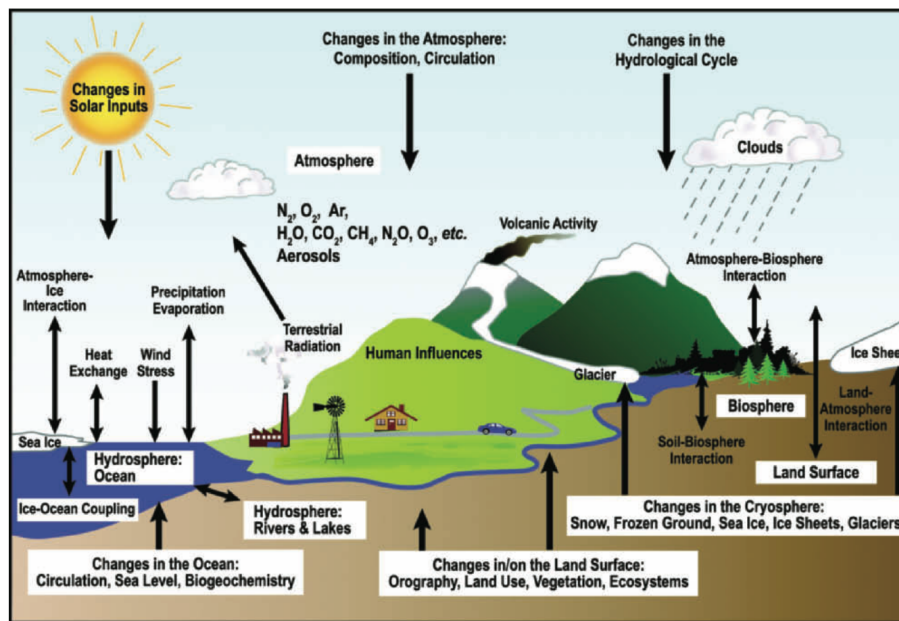


# 1 Co to jest klimat?

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 1: Czynniki definiujące i wpływające na klimat

Na klimat najbardziej wpływają czynniki:

- **Zmiany w promieniowaniu słonecznym** - "Changes in Solar inputs"
- **Promieniowanie ziemskie** - naturalne promieniowanie ziemskie
- **Zmiany w składzie gazowym atmosfery** -  $N_2, O_2, CO_2$  itp. + aerozole.

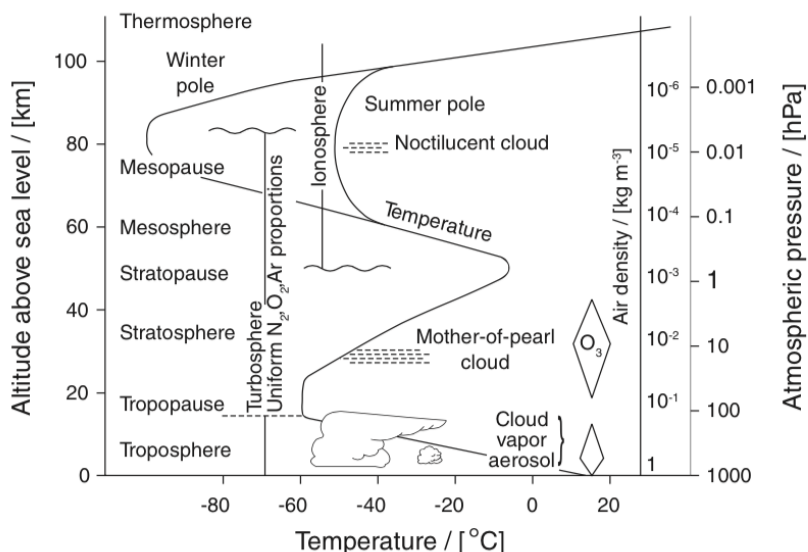
Powyższe występują głównie w atmosferze. Ich zmiany prowadzą do zmiany klimatu. Nierównomiernie padające promieniowanie słoneczne oraz rotacja i pofałdowana powierzchnia lądów i oceanów powoduje poziomy transport energii przez wodę i powietrze. Obecnie obserwowana zmiana klimatu jest połączeniem naturalnej wariacji oraz wpływu człowieka.

**Ciekawostka 1.** Naturalne zmiany klimatu można obserwować poprzez analizę okresu sprzed rewolucji przemysłowej (1750). - brak wpływu człowieka.

**Ciekawostka 2.** *IPPC - Intergovernmental Panel on Climate Change* - organizacja założona w 1988 przez dwie organizacje Narodów Zjednoczonych – Światową Organizację Meteorologiczną (WMO) oraz Program Środowiskowy Organizacji Narodów Zjednoczonych (UNEP) w celu oceny ryzyka związanego z wpływem człowieka na zmianę klimatu.

## 2 Pionowa struktura atmosfery

Rozciąga się na całym obwodzie Ziemi (40000 km) i 100 km w górę.



Rysunek 2: Pionowa struktura atmosfery

**Ciekawostka 3.** Temperatura powyżej 80km rośnie, ponieważ  $O_2$  fotodysocjuje w  $O$ , które silnie pochłania promieniowania o  $\lambda \in (100, 200) \text{ nm}$ .

## 3 Modelowanie Atmosfery

AGCMs - (atmospheric) General Circulation Model - **Model ogólnej cyrkulacji** Rozwiązanie tych równań daje:

- ciśnienie atmosferyczne
- prędkość i kierunek wiatru
- temperaturę i wilgotność na różnych poziomach

### 3.1 Skończona siatka

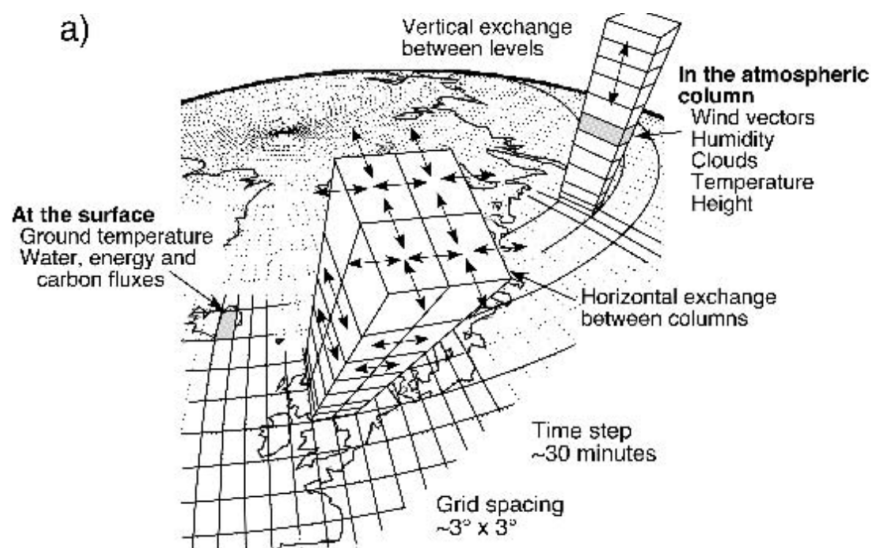
Nie można dokładnie (analitycznie) rozwiązać równań ruchu powietrza w ogólnym przypadku. Numeryczne (komputerowe) rozwiązania wymagają dyskretyzacji za pomocą różnych przybliżeń numerycznych, np. różnic skończonych, metod spektralnych lub elementów skończonych. Typowa rozdzielczość AGCM to 1-5 stopnia szerokości i długości geograficznej, czyli co około 100-500 km. Symulowanie za pomocą pudeł jest jedną z najprostszych metod. Atmosfera zostaje zredukowana do pewnych zbiorów zmiennych równo rozmieszczonych w danych pudełach. Każda kolumna jest podzielona na rzędy(layers). Kolejne rzędy mają kształt terenu, na którym stoi kolumna(współrzędne sigma)

**Ciekawostka 4.** Ostatnio w modelowaniu zamiast sześciątów zaczęto używać 20-stościanów.

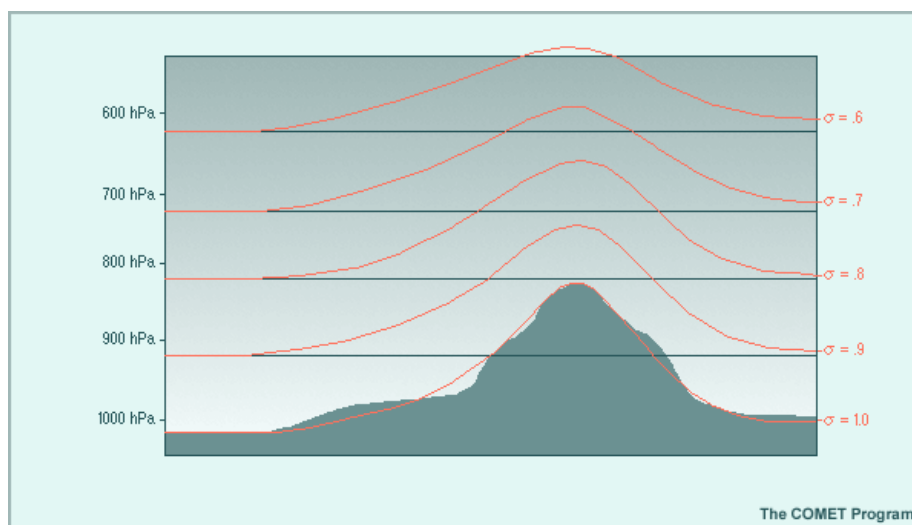
Odstępy czasu w takim modelowaniu muszą być wystarczająco krótkie, tak aby z jednego do drugiego pudeła nie przechodziły informacje:

$$\Delta t \leq \Delta x / c \quad (1)$$

Gdzie  $\Delta x$  jest szerokością pudeła. Taki model jest używany zazwyczaj w OGCM, ale pierwszy model atmosfery był wykonany w ten sposób. Powszechnie używa się modeli spektralnych.



Rysunek 3: Konstrukcja siatki AGCM



Rysunek 4: Współrzędne sigma

### 3.2 Modele spektralne

Znajdują zastosowanie w modelowaniu atmosfery, ponieważ przyjmuje ona kształt okrągłej powłoki powietrza, co sugeruje użycie współrzędnych sferycznych. Atmosfera jest podzielona na kawałki manipulowane jako fale. Co przyspiesza i ułatwia obliczenia. Taki sposób jest wykorzystywany tylko przy wymianie poziomej. Przy pionowej nadal wygodnie jest używać siatki.

## 4 Modelowanie oceanu

Ocean jest 'sterowany' przez:

- Siła mechaniczna wiatru
- Wypadkowy efekt gęstości i zasolenia wody

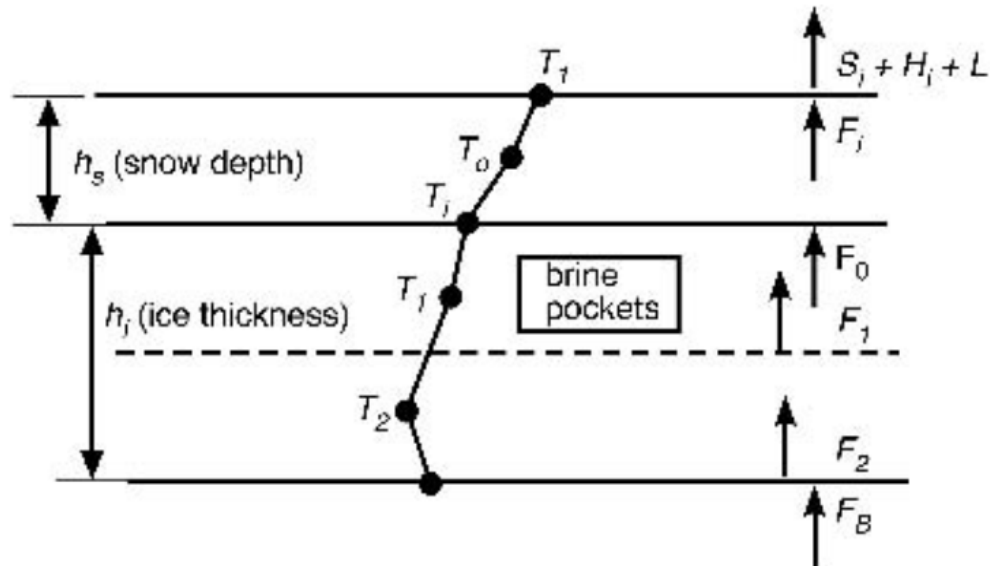
- Wymiana ciepła z atmosferą
- Wilgotność

Prąd(pływ oceanu) jest wynikiem powyższych oraz ruchu obrotowego Ziemi.(Silny na zachodnie stronie basenów oceanu). Temperatura, zasolenie mają swoje maksima właśnie w centrum tych prądów. Modele oceanu: dwuwymiarowe, trójwymiarowe.

## 5 Modelowanie Kriosfery

Najbardziej dynamicznym elementem są polarne lodowce. Taki model musi uwzględniać, pokrywę śnieżną, lodowce i lądolody. Słaba dokładność: procesy trwają kilkaset lat. Własności kriosfery:

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



Rysunek 5: Najprostszy model to trójwarstwowy model termodynamiczny

Przewiduje dwie temperatury lodu, temperaturę śniegu, natomiast temperatura oceanu pozostaje stała.