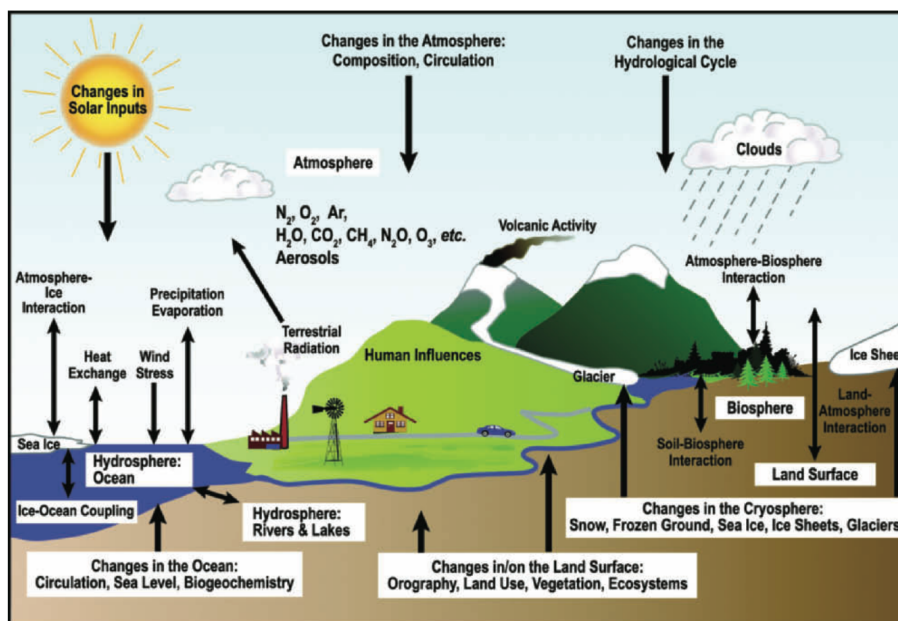


1 Co to jest klimat?

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.

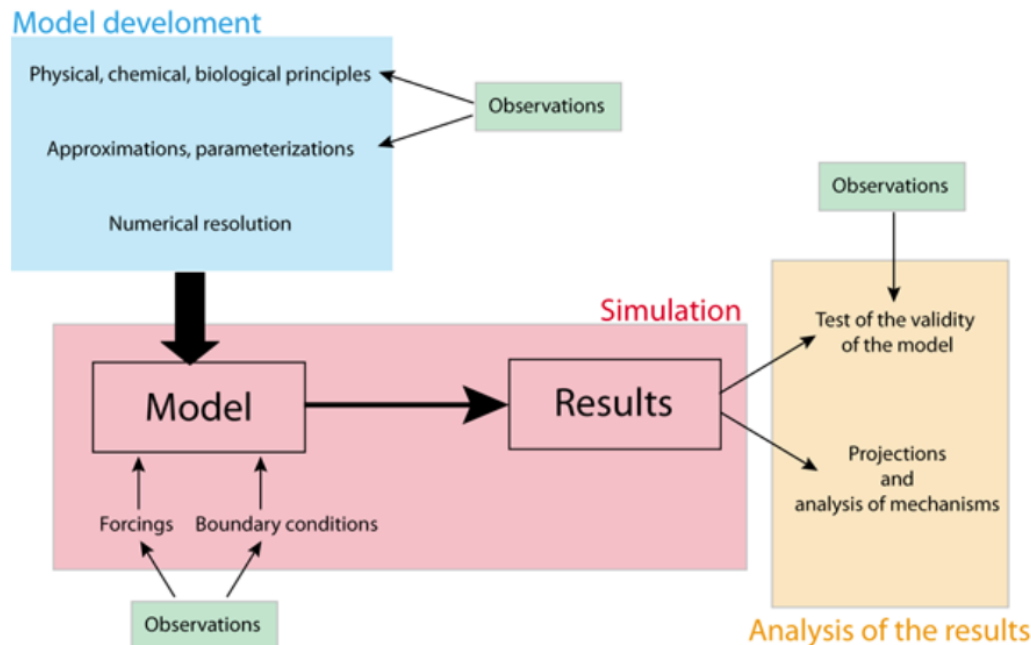
Powyższe występują głównie w atmosferze. Ich zmiany prowadzą do zmiany klimatu. Nierównomiernie padające promieniowanie słoneczne oraz rotacja i pofałdowana powierzchnia lądów i oceanów powoduje poziomy transport energii przez wodę i powietrze. Obecnie obserwowana zmiana klimatu jest połączeniem naturalnej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

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

Ciekawostka 2. IPCC - *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.

1.1 Model klimatu

Ogólnie model klimatu jest zdefiniowany jako matematyczna reprezentacja klimatu oparta na fizycznych, biologicznych i chemicznych zasadach. Dane dostarczone są tak złożone, że muszą być rozwiązane numerycznie. Konsekwencją tego faktu jest dyskretyzacja przestrzeni i czasu. (Modele odnoszą się do danego regionu, którego rozmiar zależy od rozdzielczości).



Rysunek 2: Proces tworzenia i weryfikowania modelu klimatu

2 Pionowa struktura atmosfery

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

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

3 Modelowanie Atmosfery

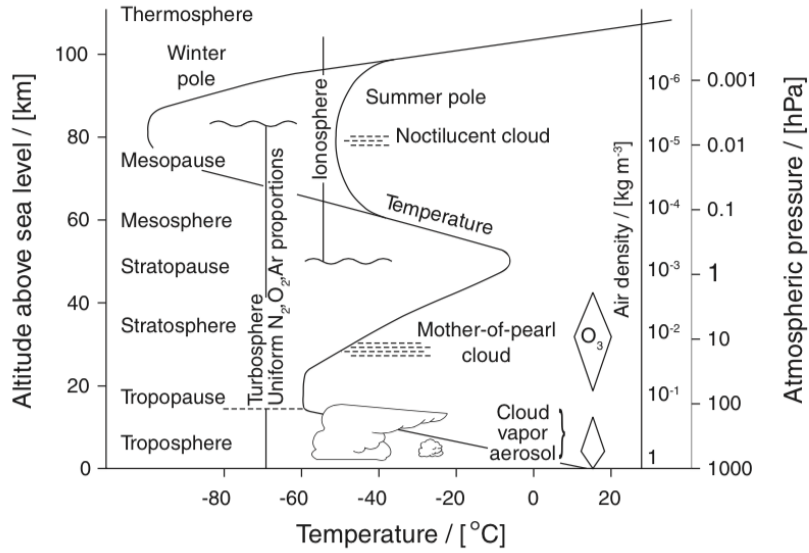
AGCMs - (atmospheric) General Circulation Model - **Model ogólnej cyrkulacji** Rozwiązanie tych równań daje:

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

Atmosferę opisuje siedem zmiennych opisanych za pomocą siedmiu równań. ($\vec{v} = (u, v, w)$, ciśnienie - p , temperatura T , wilgotność q , gęstość - ρ).

Zachowanie pędu (z II zasady dynamiki Newtona):

$$\frac{D\vec{v}}{Dt} = -\frac{1}{\rho}\vec{\nabla}p - \vec{g} + \vec{F}_{tarcia} - 2\vec{\Omega} \times \vec{v} \quad (1)$$



Rysunek 3: Pionowa struktura atmosfery

Ω - prędkość kątowna wektora Ziemi - siła Coriolisa. F - siła tarcia

Zasada zachowania masa:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\vec{\nabla} \cdot (\vec{\rho} \vec{v}) \quad (2)$$

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 sześciąt zaczęto używać 20-stościanów.

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

$$\Delta t \leq \Delta x / c \quad (3)$$

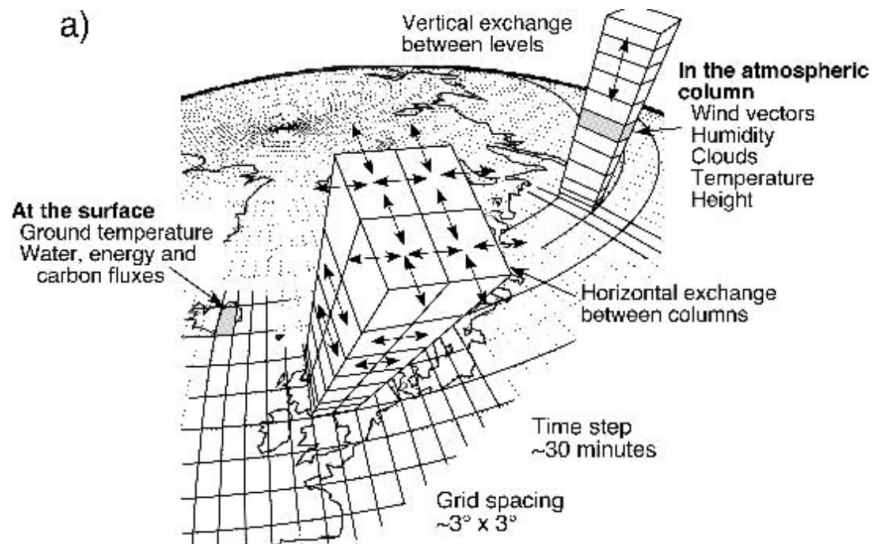
Gdzie Δx jest szerokością pudeła. Taki model jest używany zazwyczaj w OGCM, ale pierwszy model atmosfery był wykonany w ten sposób. Powszechnie używa się modeli spektralnych.

3.2 Modele spektralne

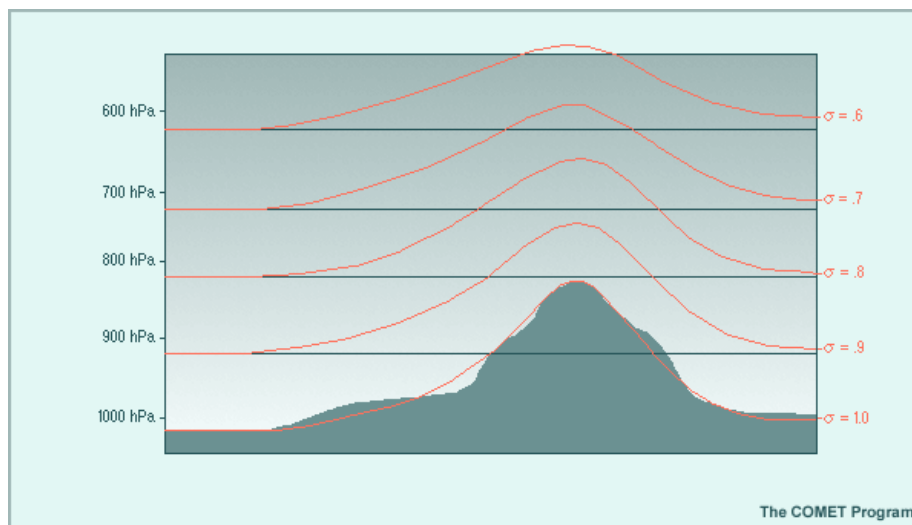
Znajdują zastosowanie w modelowaniu atmosfery, ponieważ przyjmuje ona kształt okrągłej powłoki powietrza, co sugeruje użycie współrzędnych sferycznych. Atmosfera jest podzielona na kawałki manipulowane jako fale. Co przyspiesza i ułatwia obliczenia. Taki sposób jest wykorzystywany tylko przy wymianie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

3.3 Opis równań

- Równanie gazu doskonałego
- Zasada zachowania masy
Materia nie może zostać



Rysunek 4: Konstrukcja siatki AGCM



Rysunek 5: Współrzędne sigma

4 Modelowanie oceanu

Ocean jest 'sterowany' przez:

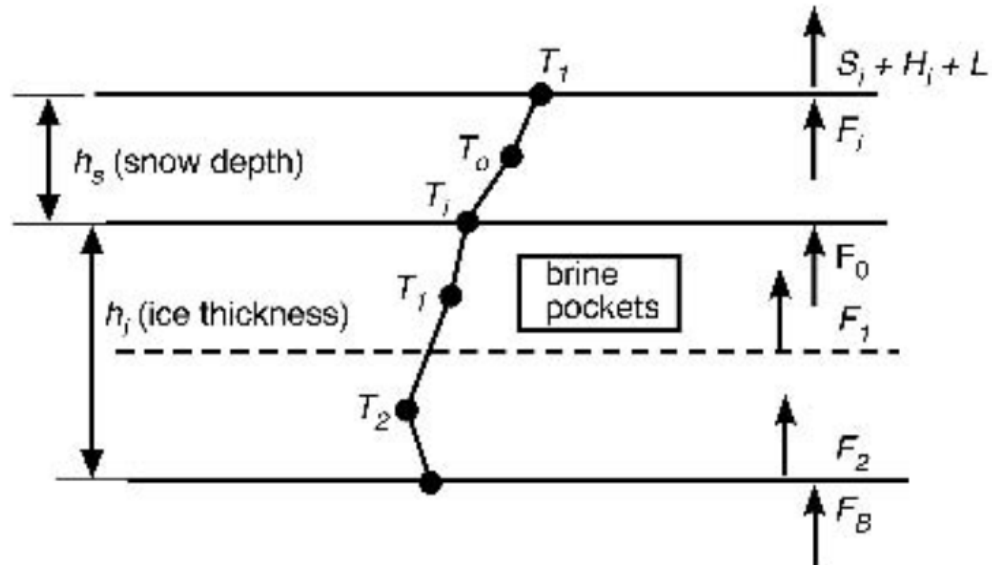
- Siła mechaniczna wiatru
- Wypadkowy efekt gęstości i zasolenia wody
- Wymiana ciepła z atmosferą
- Wilgotność

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 6: Najprostszy model to trójwarstwowy model termodynamiczny

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

5.1 Modelowanie powierzchni lądowej