

# 9. KLIMATICKÉ MODELKY

## 9.1 NUMERICKÝ MODEL ATMOSFÉRY

- **numerický model atmosféry** – popis základních dynamických a fyzikálních vlastností různých složek atmosféry a jejich interakcí ve vhodné počítačové formě s nutnými přiblíženími (aproximacemi)
- **parametrizace** - fyzikální proces je popsán nějakým zjednodušeným výpočetním schématem s pomocí jednoduchých parametrů obsažených v rovnicích
- **dynamické rovnice v modelu:**
  - druhý Newtonův pohybový zákon  
horizontální zrychlení určitého objemu vzduchu je ovlivněno horizontálním tlakovým gradientem, třením a uchylující silou zemské rotace
  - hydrostatická rovnice  
tlak v určitém bodě je dán hmotností atmosféry nad ním, vertikální zrychlení se neberou v úvahu
  - rovnice kontinuity  
zajišťuje zachování hmoty
- **fyzika modelu:**
  - a) stavová rovnice plynů
  - b) termodynamická rovnice (zákon zachování energie)
  - c) parametrizace vlhkostních procesů (např. výpar, kondenzace, tvorba a rozložení oblaků)
  - d) parametrizace radiačních procesů (absorpce a emise různých druhů záření)
  - e) parametrizace konvektivních procesů
- parametrizace výměny hybnosti, tepla a vodní páry na rozhraní atmosféry a vodních povrchů
- rovnice v modelu jsou **diferenciální**, tj. popisují procesy, ve kterých se veličiny (např. tlak, teplota) mění s časem a místem
- je-li známa velikost změny určité veličiny, lze počítat její velikost v následujícím časovém kroku – opakování tohoto postupu je integrace
- **integrace rovnic** – vypočítávají se nové hodnoty všech nezbytných veličin pro následné časové kroky – to vyjadřuje předpovědní schopnost modelu

## 9.2 TYPY KLIMATICKÝCH MODELŮ

**klimatický model** – simulace stavu, chování a vývoje úplného klimatického systému

- hlavní komponenty, které je třeba brát v úvahu u klimatických modelů:
  - a) záření (pohlcování záření, vyzařování)
  - b) dynamika (horizontální přenos energie, vertikální pohyby – konvekce)

- c) povrchové procesy (albedo, vyzařování, interakce povrch-atmosféra)
- d) časové a prostorové rozlišení
- typy modelů podle jejich komplexnosti:
  - a) jednorozměrné modely (záření nebo povrchové procesy)
  - b) dvourozměrné modely (povrchové procesy, dynamika)
  - c) trojrozměrné modely (záření, povrchové procesy, dynamika)

## 9.2.1 Jednorozměrné (jednoduché) klimatické modely

- uvažuje se několik základních procesů a zpětných vazeb, ve zvýšené míře parametrizace
- přehlednost (studium vazeb mezi několika procesy), poměrně snadná interpretace výsledků
- nižší požadavky na výpočetní čas
- silně potlačena dynamika atmosférických a oceánských procesů

### 9.2.1.1 Modely energetické bilance (EBMs - Energy Balance Models)

- vyjadřují rovnováhu mezi příjmem a výdejem energie ve vertikálním sloupci atmosféry, omezeném horní hranicí atmosféry a aktivním povrchem

$$Q_s (1 - \alpha_s) - I_s = A$$

$Q_s$  – sluneční záření dopadající na horní hranici atmosféry

$\alpha_s$  – albedo systému Země-atmosféra

$I_s$  – dlouhovlnné záření vydávané do meziplanetárního prostoru

$A$  – zisk nebo ztráta tepla v důsledku atmosférické či oceánské cirkulace (včetně redistribuce tepla při fázových změnách vody)

- postup výpočtu: rozdělení povrchu na zonální pásy šířky  $10^\circ$  → aplikace rovnice na vertikální sloupce nad těmito pásy ( $Q_s$  se počítá pomocí solární konstanty, ostatní členy rovnice se parametrizují podle teploty při zemi)
- příklad parametrizace mezišířkového transportu energie  $A$ :

$$A = k (T - T_g)$$

$T$  – teplota daného šířkového pásu

$T_g$  – průměrná globální teplota

$k$  – empirická konstanta

- role zpětné vazby mezi teplotou a albedem (rozsah sněhové a ledové pokrývky)

### 9.2.1.2 Radiačně-konvektivní modely (RCMs – Radiative-Convective Models)

- atmosféra rozdělena do několika vrstev a pro každou z nich se počítá rovnovážná teplota z bilance krátkovlnných a dlouhovlnných toků za předpokladu radiační rovnováhy

- dobré výsledky pro vertikální rozdělení teploty ve stratosféře, ale teplotu v horní troposféře podhodnocuje a u zemského povrchu nadhodnocuje → modelový vertikální teplotní gradient je vyšší než suchoadiabatický (instabilní zvrstvení)
- **konvektivní přizpůsobení** – přesáhne-li modelový teplotní gradient určitou hodnotu  $\gamma_d$  (zpravidla  $0,65 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ ), teplota se při současném zachování energie přizpůsobí tak, aby gradient byl menší nebo roven  $\gamma_d$
- reakce klimatu na změny solární konstanty, změny ve složení atmosféry

## 9.2.2 Dvourozměrné klimatické modely (SDMs – Statistical Dynamical Models)

- výrazně komplikovanější modely než jednorozměrné
- reprezentují buď dva horizontální nebo jeden vertikální a jeden horizontální rozměr (kombinace šířkové dimenze EBM a vertikální RCM)
- realističtější parametrizace šířkového transportu energie
- spíše limitované pro budoucí projekce klimatu (špatné zonální rozlišení – nahrazeny GCMs)

## 9.2.3 Trojrozměrné klimatické modely (GCMs – General Circulation Models)

- numerické modely, které explicitně simulují vývoj velkoplošných dějů v atmosféře a obsahují parametrizace důležitých dynamických a fyzikálních procesů malých měřítek
- vycházejí z numerických modelů krátkodobé předpovědi počasí se zvláštním zřetelem na splnění zákonů zachování  
základní rovnice:
  - a) první věta termodynamická (zachování energie): vstup energie = zvýšení vnitřní energie + vykonaná práce
  - b) druhý Newtonův pohybový zákon (zachování hybnosti): síla = hmotnost x zrychlení
  - c) rovnice continuity (zachování hmotnosti při proudění kapaliny): suma gradientů součinu hustoty a rychlosti větru ve třech ortogonálních směrech je nulová
  - d) stavová rovnice plynů (zákon ideálního plynu): tlak x objem = plynová konstanta x absolutní teplota
- výpočet pro tzv. gridové body s různým krokem sítě a pro několik vrstev (hladin) v atmosféře
- některé fyzikální procesy nejsou popsány uvedenými rovnicemi – měřítko těchto jevů je menší než krok sítě (např. konvektivní procesy, vznik srážek) → do modelů se vkládá pouze jejich výsledný účinek (parametrizace)
- problém **propojení GCM s oceánskou cirkulací**:

- a) „swamp“ modely (modely s bažinou) – oceán jako pevný zemský povrch s neomezenou zásobou vody pro výpar
  - b) zadání teploty povrchu oceánu z klimatických pozorování
  - c) modely se směšovací vrstvou – uvažuje se tepelná kapacita a procesy ve vrstvě 30-70 m
  - d) modely oceánské cirkulace (OGCMs) – reakce hlubinných oceánských vod (problém odlišného časového měřítka procesů)
- spřažené modely atmosférické a oceánské cirkulace (AOGCMs)

### 9.3 POUŽITÍ GCMs K MODELOVÁNÍ ODEZVY NA RŮST KONCENTRACÍ CO<sub>2</sub>

- použití GCMs – zjištění odezvy klimatického systému na růst koncentrací skleníkových plynů
- **kontrolní klima:** na základě počátečních a okrajových podmínek odpovídajících současnému klimatu (tj. současné koncentrace CO<sub>2</sub> nebo ekvivalentního CO<sub>2</sub>, tj. koncentrace CO<sub>2</sub> odpovídající radiačnímu působení všech skleníkových plynů dohromady) se výpočet provádí pro několik modelových let až desetiletí, až se modelová cirkulace dostane do kvazistacionárního stavu → z hodnot proměnných odpovídajících tomuto rovnovážnému stavu se počítá „kontrolní klima“, též 1xCO<sub>2</sub> (mělo by co nejlépe odpovídat skutečnosti)
- **experimentální klima:** výpočet se opakuje pro změněné vstupní hodnoty CO<sub>2</sub> (např. 2xCO<sub>2</sub>) až se dosáhne rovnováhy modelové cirkulace → z odpovídajících hodnot proměnných se počítá „experimentální klima“, též 2xCO<sub>2</sub>
- rozdíl obou simulovaných stavů klimatu (2xCO<sub>2</sub> minus 1xCO<sub>2</sub>) představuje modelovou odezvu klimatického systému na radiační poruchu způsobenou růstem CO<sub>2</sub> v atmosféře
- **rovnovážné studie** – předpokládá se skoková změna koncentrace GHG (neodpovídá realitě)
- **přechodové (transientní) studie** – počítá se s kontinuálním nárůstem GHG, kdy modelové klima postupně prochází sérií rovnovážných stavů (menší realizovaná změna teploty oproti očekávané rovnovážné změně)
- v závislosti na **citlivosti modelu** (tj. reakce modelu na zdvojnásobení CO<sub>2</sub>) dosahuje realizovaný vzestup teploty kolem 50 % rovnovážného vzestupu při citlivosti 4,5 °C a kolem 80 % při citlivosti 1,5 °C