

## 9. Klimatické scénáře

### 9.1 Klimatický scénář

- pravděpodobné vyjádření budoucího klimatu, konstruované pro explicitní použití při studiu potenciálních dopadů antropogenní klimatické změny
- musí zahrnovat antropogenně podmíněnou změnu klimatu a jeho přirozenou variabilitu
- je obvykle kombinací scénáře klimatické změny s popisem stávajícího klimatu (vyjádřeného pozorováním)
- nejde o předpověď budoucího klimatu, spíše o popis alternativ pravděpodobné budoucnosti se zřetelem na podmínky, za nichž se mohou vyskytnout
- objasnění nejistot při určení možných omezení klimatické změny s ohledem na různé vývojové cesty.

### 9.2 Požadavky na klimatické scénáře

- kolísají podle geografické oblasti, typu dopadů a účelu impaktních studií:
  - a) klíčové proměnné: maximální a minimální teploty, srážky, sluneční záření, relativní vlhkost, rychlost větru (dále: koncentrace CO<sub>2</sub>, mořský led, tlak, hladina moře, frekvence bouřlivých přílivů)
  - b) musí postihnout míru nejistoty – emise skleníkových plynů v budoucnosti, jejich konverze na koncentrace v atmosféře, odezva různých modelů na radiační působení, rozlišení modelů
  - c) konzistence mezi jednotlivými komponentami scénářů
  - d) vícenásobné scénáře k reflektování více zdrojů nejistot
  - e) scénáře pro impaktní studie - kombinace odhadu klimatické změny s „baseline“ klimatologií
  - f) prostorové a časové rozlišení.

#### Základní období (baseline period)

- jde o referenční období, od něhož se počítají odhadované budoucí změny klimatu (1961-1990 a jiné; ideální by bylo nějaké období v 19. století, kdy antropogenní efekt na klima byl zanedbatelný)
- modelové odhady budoucí změny se aplikují na klima základního období (diference, poměry)
- definuje současné klima, se kterým se obvykle kombinuje scénář klimatické změny.

### 9.3 Kritéria vhodnosti scénářů pro impaktní studie

#### 1. Konzistence na regionální úrovni s globálními projekcemi

- Scénáře změny regionálního klimatu mohou být mimo meze globálních změn, ale musí být v souladu s fyzikálními teoriemi a modelovými výsledky.

#### 2. Fyzikální věrohodnost a reálnost

- Změny klimatu musí být fyzikálně věrohodné, takže změny různých klimatických proměnných jsou vzájemně konzistentní a věrohodné.

### 3. *Vhodnost informací pro odhady impaktů*

- Scénáře musí prezentovat klimatické změny ve vhodném časovém a prostorovém měřítku pro dostatečný počet proměnných a zahrnovat vhodný časový horizont použitelný pro odhady impaktů.

### 4. *Reprezentativnost*

- Reprezentativnost potenciálního rozmezí budoucí regionální klimatické změny.

### 5. *Dostupnost*

- Informace poskytované klimatickými scénáři musí být snadno dostupné a snadno použitelné v impaktních studiích.

## 9.4 Typy scénářů

### 9.4.1 Přírůstkové (inkrementální) scénáře

- jednotlivé klimatické prvky se mění přírůstkově o předpokládané libovolné množství
- některé uvažují konstantní změnu během roku, jiné sezónní a prostorové kolísání změn nebo změny v průměru i variabilitě
- studium citlivosti exponované jednotky (systému) na široké spektrum kolísání klimatu před použitím scénářů založených na modelování
- jsou jednoduché, ale mohou vyjadřovat nereálné změny nebo fyzikálně nekonzistentní kombinaci změn klimatických veličin
- nemají přímou vazbu na působení skleníkových plynů na klima

### 9.4.2 Analogové scénáře

#### 9.4.2.1 *Prostorové analogony*

- oblasti, mající dnes klima, které je analogické předpokládanému klimatu ve studované oblasti v budoucnosti
- často chybí shoda mezi klimatickými a neklimatickými rysy studované oblasti a prostorového analogonu
- slouží spíše k ověření odhadu reakcí studovaného systému na změněné klima, které leží mimo změny dosud pozorované ve studované oblasti

#### 9.4.2.2 *Časové analogony*

- klimatické informace z minulosti jsou využity jako analogon možného budoucího klimatu

##### a) *Paleoklimatické analogony*

- odlišné příčiny změn klimatu v minulosti v porovnání se současností (regionální a sezónní změny klimatu mohou být odlišné)
- nejistoty v paleoklimatických rekonstrukcích
- citlivost na náhlé (abrupt) klimatické změny a minulé extrémy ENSO – informace o zranitelnosti ekosystémů

##### b) *Analogony založené na přístrojových pozorováních*

- **metoda historických analogů** – rozdíl mezi teplými a chladnými obdobími

- **metoda historických korelací** – vztahy mezi globálními teplotami a klimatickými charakteristikami v dané lokalitě
- **metoda cirkulačních typů (modů)** – analýza vztahů cirkulace v teplých a studených obdobích k teplotě a ke srážkám
- výhoda: tyto podmínky byly již pozorovány, jsou vnitřně konzistentní a fyzikálně věrohodné, citlivost a adaptace na dopady v minulosti
- nevýhody: malá změna teploty, pozorované výkyvy souvisely s přirozenou variabilitou klimatu, nikoli s růstem koncentrací skleníkových plynů

### 9.4.3 Scénáře založené na výstupech klimatických modelů

- klimatické modely různých měřítek a úrovní komplexity
- lépe simulují velkorozměrná pole veličin ve volné atmosféře než lokální proměnné při zemském povrchu

#### A) Scénáře založené na GCMs

- GCMs - nejrozvinutější prostředky simulace odezvy globálního klimatického systému k měnícím se atmosférickým podmínkám
- přechodové studie počítající s kontinuálním růstem koncentrací skleníkových plynů s použitím AOGCM
- informace o změně jsou odvozeny z matematicko-fyzikálních modelů – reakce klimatického systému na zásahy do radiačních procesů v atmosféře se přímo počítá
- omezení výstupů z AOGCM:

- a) velké zdroje nutné pro provádění experimentů a uchování výsledků, omezující rozsah experimentů
- b) hrubé prostorové rozlišení s ohledem na měřítko impaktů
- c) těžkosti s odlišením antropogenního signálu od šumu souvisejícího s přirozenou vnitřní variabilitou modelu
- d) odlišná citlivost různých modelů.

#### B) Scénáře založené na jednoduchých modelech

- jednoduché klimatické modely - zjednodušené modely, které umožňují reprodukovat velkoměřítkové chování AOGCM
- výhoda: mnohonásobné simulace mohou být provedeny velmi rychle, což dovoluje studovat klimatické efekty alternativních scénářů radiačního působení, citlivosti klimatu a jiné parametrizační nejistoty.

### 9.4.4 Jiné typy scénářů

a) **extrapolace** stávajících klimatických trendů pozorovaných v určitých oblastech, které se zdají být konzistentní s modelovými odhady klimatické změny (problém trendů)

b) **expertní odhad**, kdy odhady budoucího klimatu se požadují od klimatologů a výsledky se zpracují do funkce hustoty pravděpodobnosti budoucí změny (subjektivita, výběr expertů)

## 9.5 Scénáře s větším časovým a prostorovým rozlišením

- nesoulad mezi rozlišením GCMs (stovky km) a měřítkem regionálních impaktů

Tři hlavní techniky sestavení klimatických scénářů s větším rozlišením:

### a) AOGCM časové řezy (AOGCM time-slice)

- zvýšení rozlišení bez podstatného zvýšení nároků na výpočetní techniku
- počítá se pro vybrané časové úseky modelem s vyšším rozlišením, počáteční a okrajové podmínky se berou z jiného experimentu
- další alternativou je nepravidelná výpočetní síť uzlových bodů s největší hustotou v zájmové oblasti

### b) regionální klimatické modelování (vnořené neboli „nested“ modely, LAM – Limited Area Model)

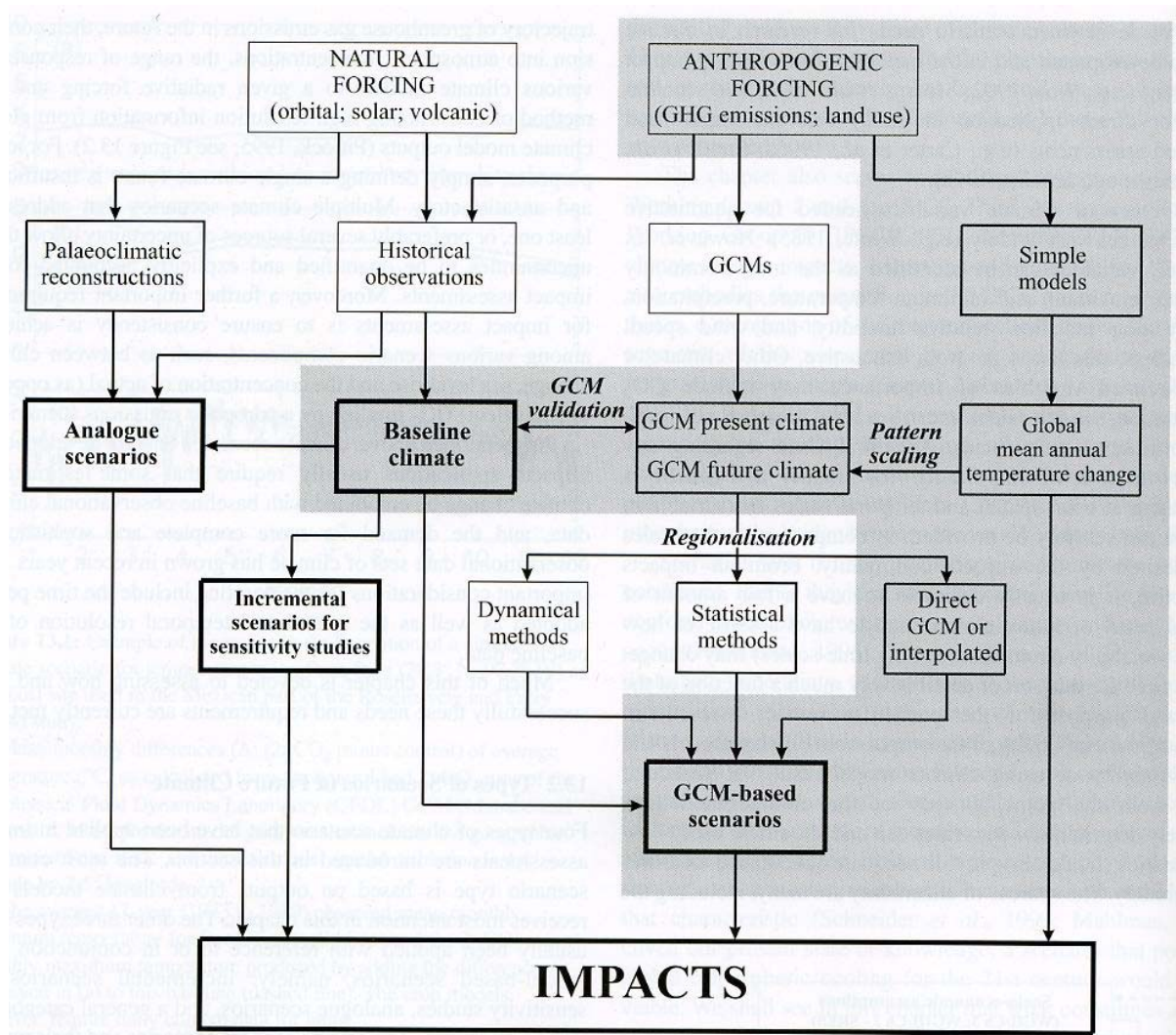
- výstupy z GCM představují počáteční a okrajové podmínky pro spuštění regionálního klimatického modelu (RCM) s rozlišením řádově desítek km (10-20 km), zatímco rozlišení GCM je o řád větší
- RCM modifikuje reakci planetárního až subkontinentálního měřítka tak, aby byly zachyceny fyzikální vlivy topografie a nehomogenit zemského povrchu, které jsou pod rozlišovací úrovní GCM
- regionalizace výstupů AOCGM – dynamický downscaling
- RCM neodstraňují systematické chyby GCM
- chybí zpětná vazba RCM – GCM, tedy působení procesů uvažovaných v RCM na GCM

### c) statistický downscaling

- hledání vztahů mezi veličinami, které GCM lépe simulují (velkorozměrná pole ve volné atmosféře – prediktory) a veličinami potřebnými při studiu dopadů klimatických změn, které nejsou pomocí GCM spolehlivě simulovány (prediktanty)
- downscaling probíhá ve třech krocích:
  - nalezení vazby mezi prediktory a prediktanty v pozorovaných datech
  - vztahy jsou uplatněny na prediktory v běhu GCM reprezentující současné klima (validace)
  - vztahy odvozené z pozorování jsou uplatněny na prediktory v běhu GCM pro zesílený skleníkový efekt
- rozdíly ve scénářích aplikujících GCM výstupy a statistický downscaling mohou být dosti značné
- statistický downscaling předpokládá, že regionální nebo lokální klima závisí na velkoprostorových charakteristikách stavu atmosféry
- statistický downscaling musí splňovat tyto podmínky:
  - vztah prediktorů a prediktantů je dostatečně silný, tedy prediktory vysvětlují dostatečně velkou část rozptylu prediktantů
  - vztah mezi prediktory a prediktanty se s časem nemění a zůstane stejný i v podmínkách budoucího klimatu
  - použitý GCM je schopen dobře simulovat prediktor
  - prediktory plně reprezentují signál klimatické změny
  - samotný GCM neumí požadované veličiny reprodukovat s dostatečnou přesností

#### d) stochastické generátory

- jsou určeny ke generování jedné nebo více meteorologických charakteristik vztahujících se k jedné nebo více lokalitám
- neřídí se rovnicemi fyzikálních procesů, ale rovnicemi popisujícími statistickou strukturu řad
- nejčastěji jsou založeny na autoregresních modelech a Markovských řetězcích
- model generátoru je zvolen tak, aby byly co nejlépe reprodukovány nejdůležitější statistické charakteristiky
- rovnice modelu zahrnuje náhodný člen a parametry jsou odhadnuty z pozorování – následně se pomocí modelu a generátoru náhodných čísel generuje řada s podobnou strukturou jakou mají pozorovaná data
- pro generaci řady pro změněné klima jsou parametry generátoru modifikovány v souladu se scénářem změny klimatu (podle měsíčních aditivních nebo multiplikativních změn jednotlivých veličin)



**Pattern scaling:** regionální změny získané z určitého AOGCM se vydělí změnou průměrné globální teploty udávané tímto modelem a tyto standardizované změny se pak vynásobí změnou globálního průměru klimatických proměnných vypočítanou pomocí jednoduchých klimatických modelů pro široké spektrum scénářů emisí.

**Literatura:**

Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Xiaosu, D., eds. (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, 944 s.

Huth, R. (2001): Využití statistického downscalingu při konstrukci scénářů změny klimatu v České republice. Část I. Metodické studie. *Meteorologické zprávy*, 53, č. 5, s. 129-136.

Huth, R., Kyselý, J. (2001): Využití statistického downscalingu při konstrukci scénářů změny klimatu v České republice. Část II. Validace a konstrukce scénářů. *Meteorologické zprávy*, 54, č. 4, s. 97-104.

Huth, R., Metelka, L., Halenka, T., Mládek, R., Huthová, Z., Janoušek, M., Kalvová, J., Kliegrová, S., Kyselý, J., Pokorná, L., Sedlák, P. (2003): Regionální klimatické modelování v České republice – projekt ALADIN-Climate. *Meteorologické zprávy*, 56, č. 4, s. 97-103.

Kalvová, J. a kol. (2002): Globální klimatické modely a scénáře změny klimatu pro Českou republiku. In: *Národní klimatický program České republiky*, č. 32, Praha, s. 1-58.