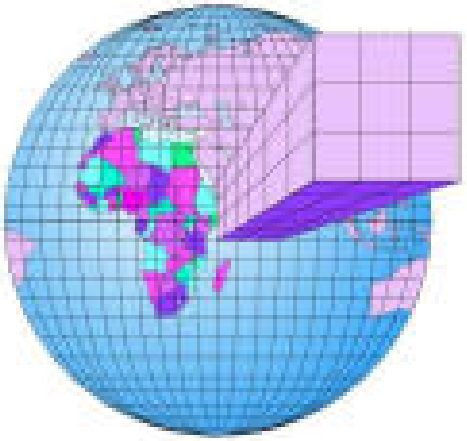
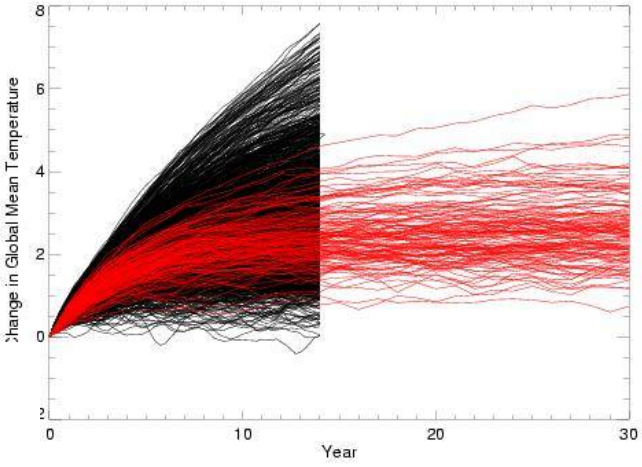
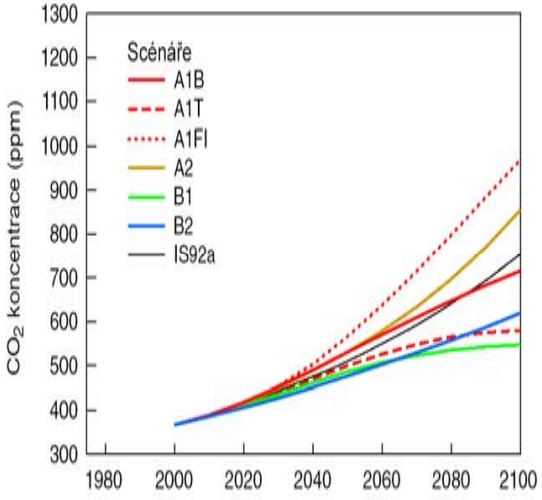
Klimatické modely a scénáře změny klimatu

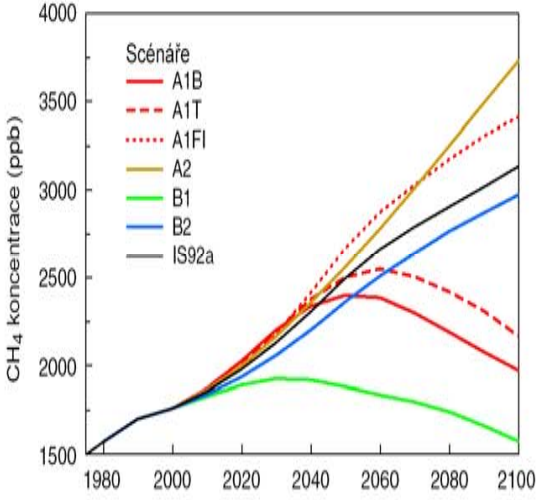
Jaroslava Kalvová, MFF UK v Praze



- Jak se vytvářejí klimatické modely
- Verifikace modelů
- V čem spočívají hlavní nejistoty modelových projekcí
- Kvantifikace neurčitostí
- Projekce budoucích změn



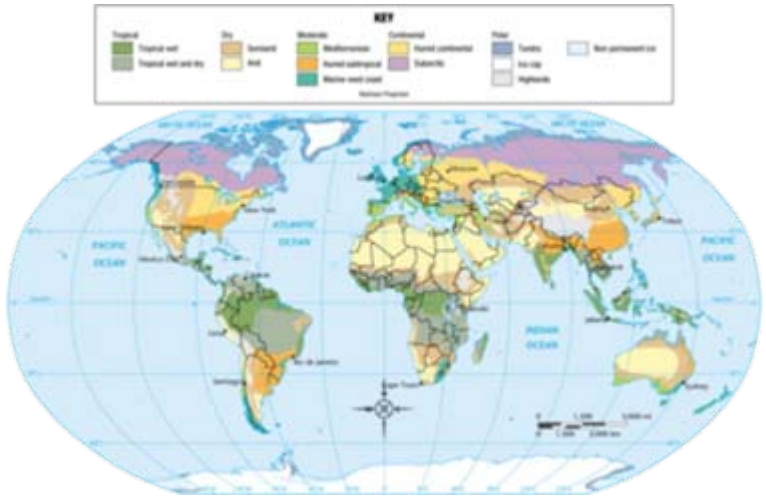




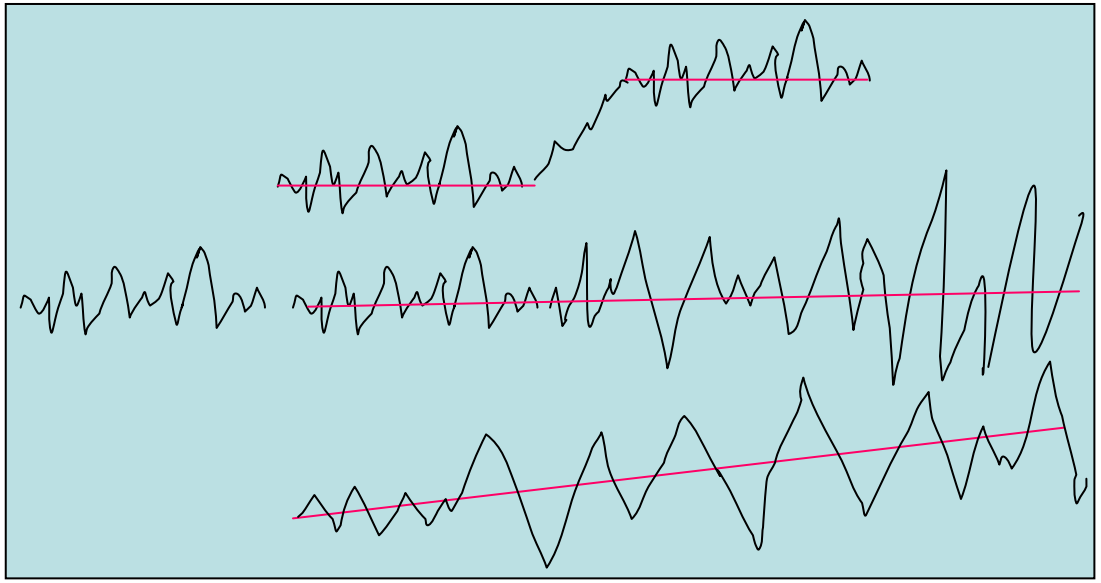
Počasí a klima

Počasí

Klima



Změna klimatu



Globální klimatické modely

(**G**lobal **C**limate **M**odels)

Modely všeobecné cirkulace atmosféry

(**G**eneral **C**irculation **M**odels)

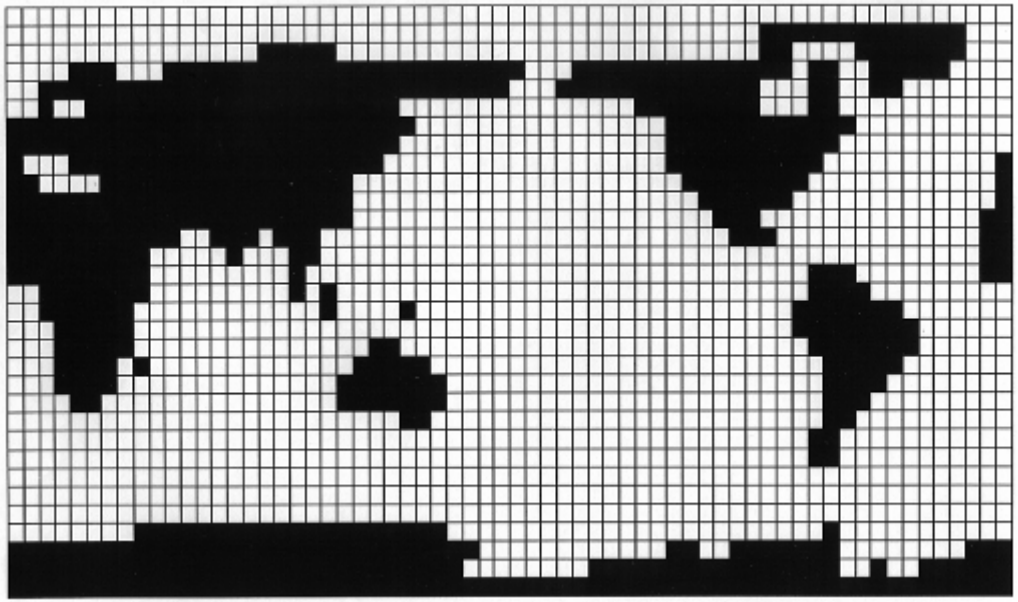
Globální klimatický model GCM

matematická reprezentace dějů probíhajících v klimatickém systému Země (atmosféra, oceán, kryosféra, pevný zemský povrch a biosféra) počítaná na celé kouli.

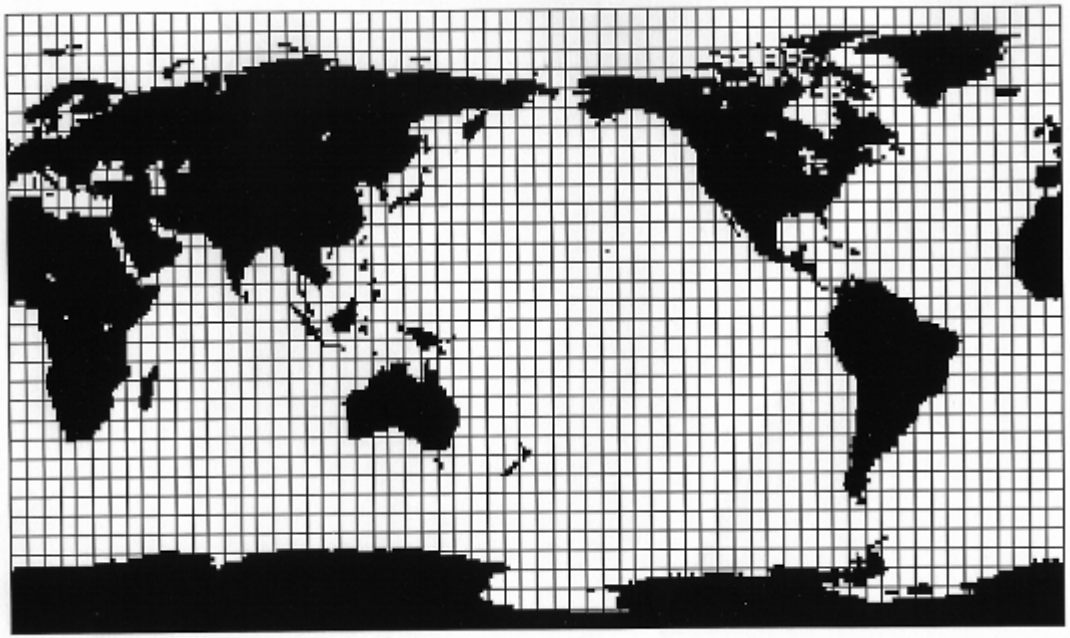
Tyto modely jsou v mnoha ohledech podobné numerickým modelům používaným k předpovědi počasí, stejně jako ony vycházejí ze základních fyzikálních zákonů zachování hmoty, energie a hybnosti.

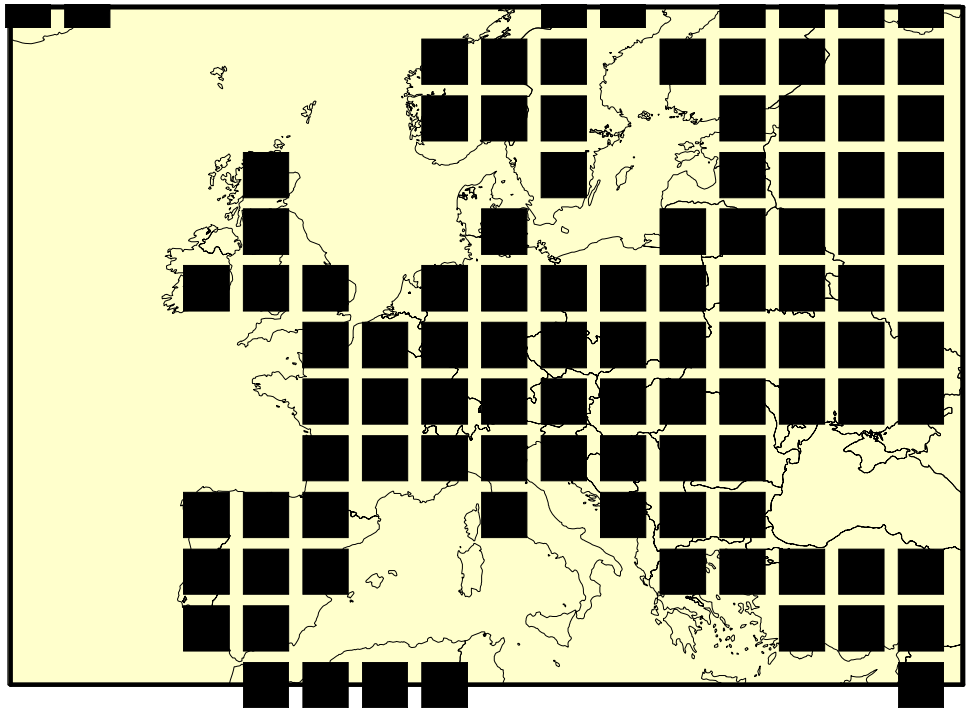
Dynamické jádro -řídící rovnice

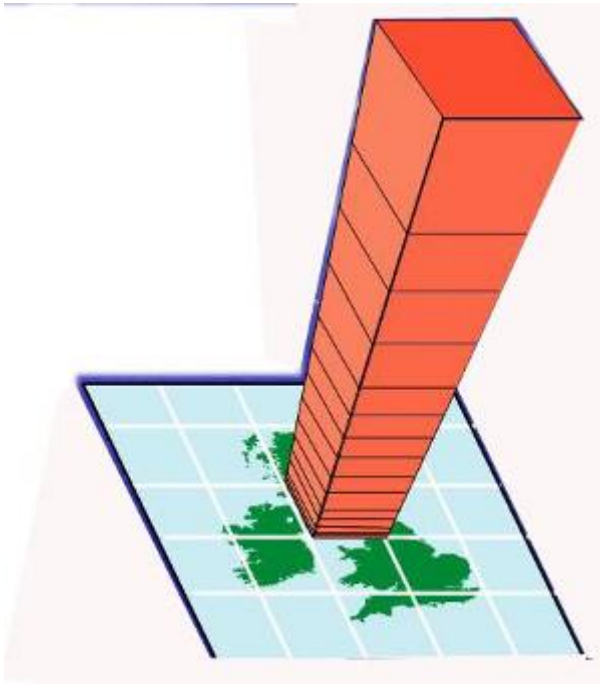
- 2. Newtonův zákon
- termodynamická rovnice (1.HVT)
- rovnice kontinuity
- stavová rovnice
- rovnice kontinuity vodní páry

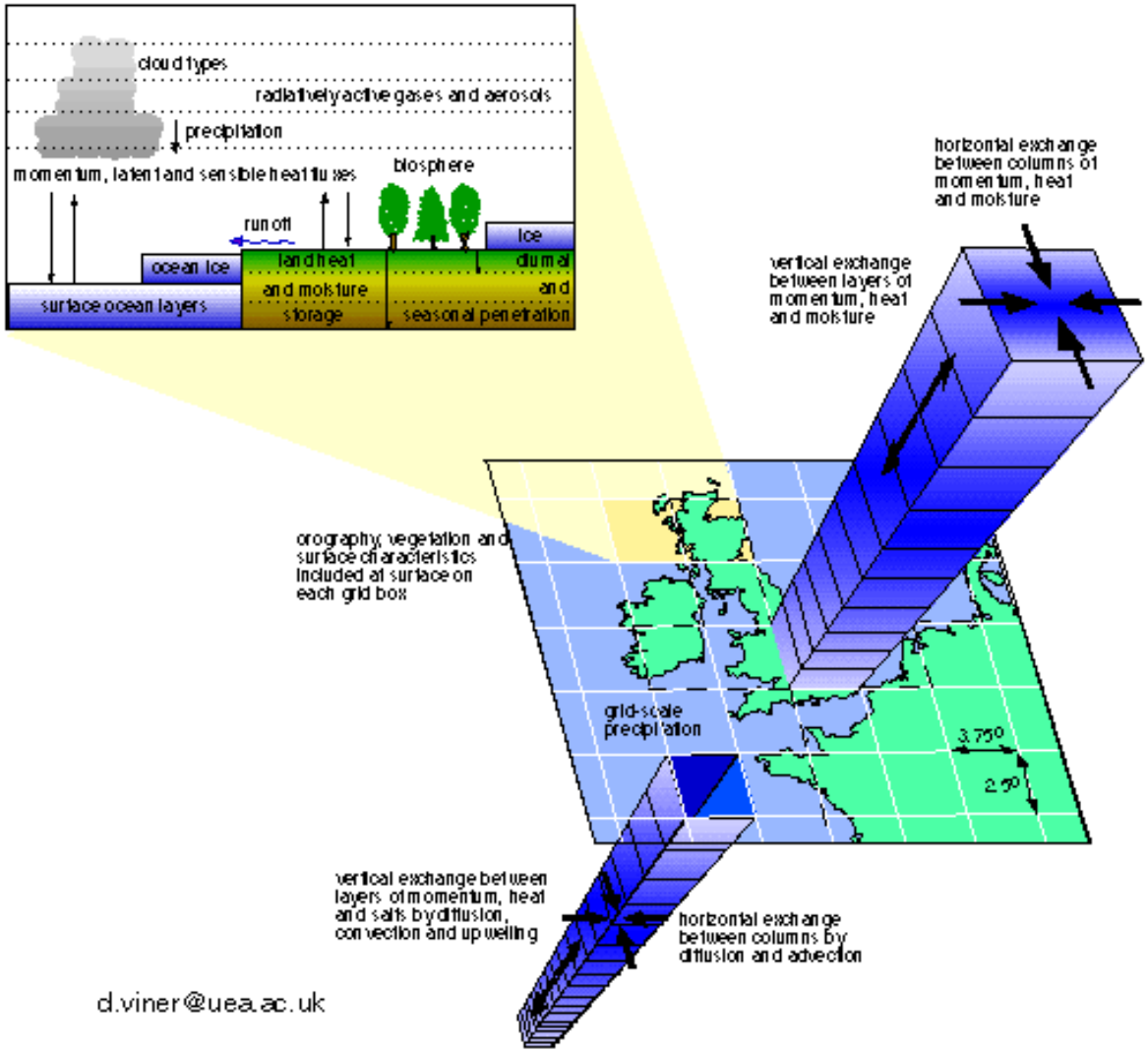


Horizontální rozlišení modelů



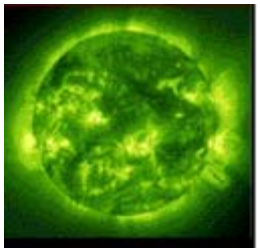






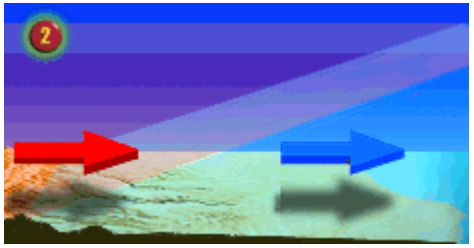
d.viner@uea.ac.uk

Parametrizace procesů subgridového měřítka

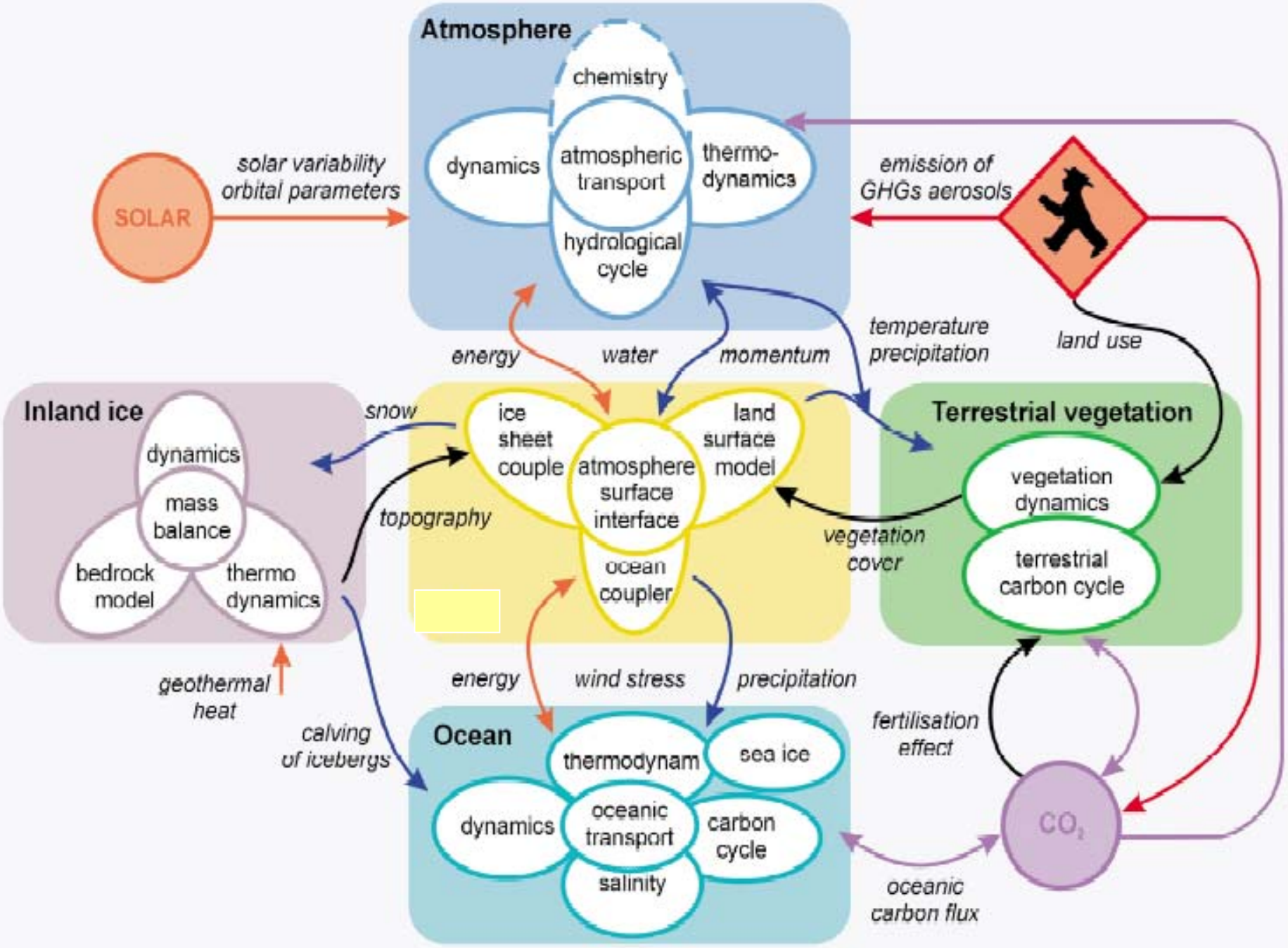


- krátkovlnná a dlouhovlnná radiace

- procesy na zemském povrchu a pod povrchem



- vznik oblačnosti a srážek velkého měřítka
- konvekce a konvekční srážky


Atmosphere
chemistry
dynamics
atmospheric transport
thermo-dynamics
hydrological cycle
SOLAR
solar variability
orbital parameters
emission of GHGs aerosols
energy
water
momentum
temperature
precipitation
land use
Inland ice
dynamics
mass balance
bedrock model
thermo dynamics
snow
topography
ice sheet couple
atmosphere surface interface
land surface model
ocean coupler
Terrestrial vegetation
vegetation dynamics
terrestrial carbon cycle
vegetation cover
geothermal heat
calving of icebergs
energy
wind stress
precipitation
Ocean
thermodynam
sea ice
dynamics
oceanic transport
carbon cycle
salinity
fertilisation effect
CO_2
oceanic carbon flux

Klimatické modely

GCM - globální klimatické modely

- model atmosféry AGCM
- model oceánu OGCM
- model kryosféry

AOGCM (AGCM + OGCM + model „ledu“)

RCM - regionální klimatické modely

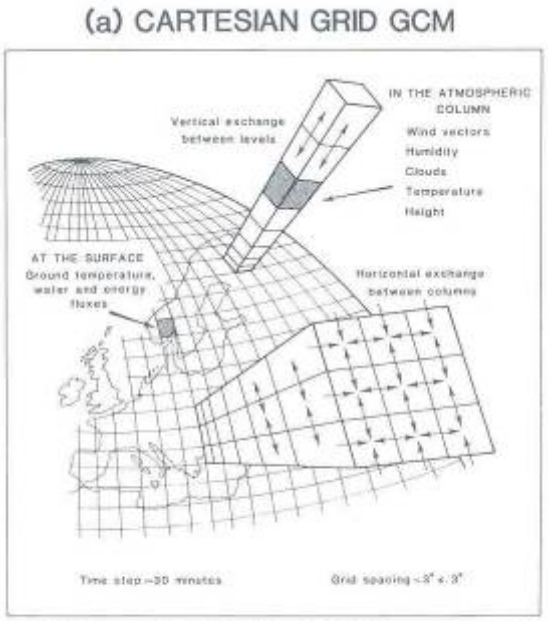
model atmosféry

- část dynamická (pohybové rovnice, transport hmoty suchého vzduchu a vodní páry, přeměny energie ve velkém měřítku)
- část fyzikální (radiační schémata, vznik a rozložení oblačnosti, atmosférické srážky, uvolňování latentního tepla)
- část doplňková (přenos hmoty, hybnosti, latentního a zjevného tepla mezi atmosférou a zemským povrchem, topografie povrchu, vegetace, ..)

Numerické řešení řídících rovnic AGCM

metoda diferenční

metoda spektrální



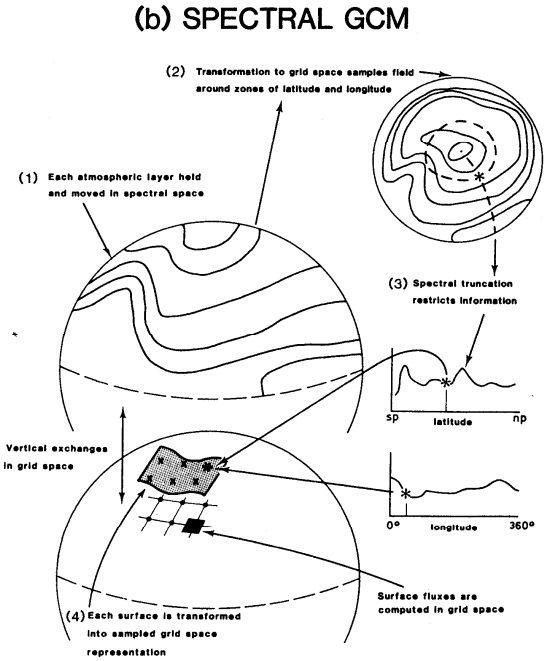
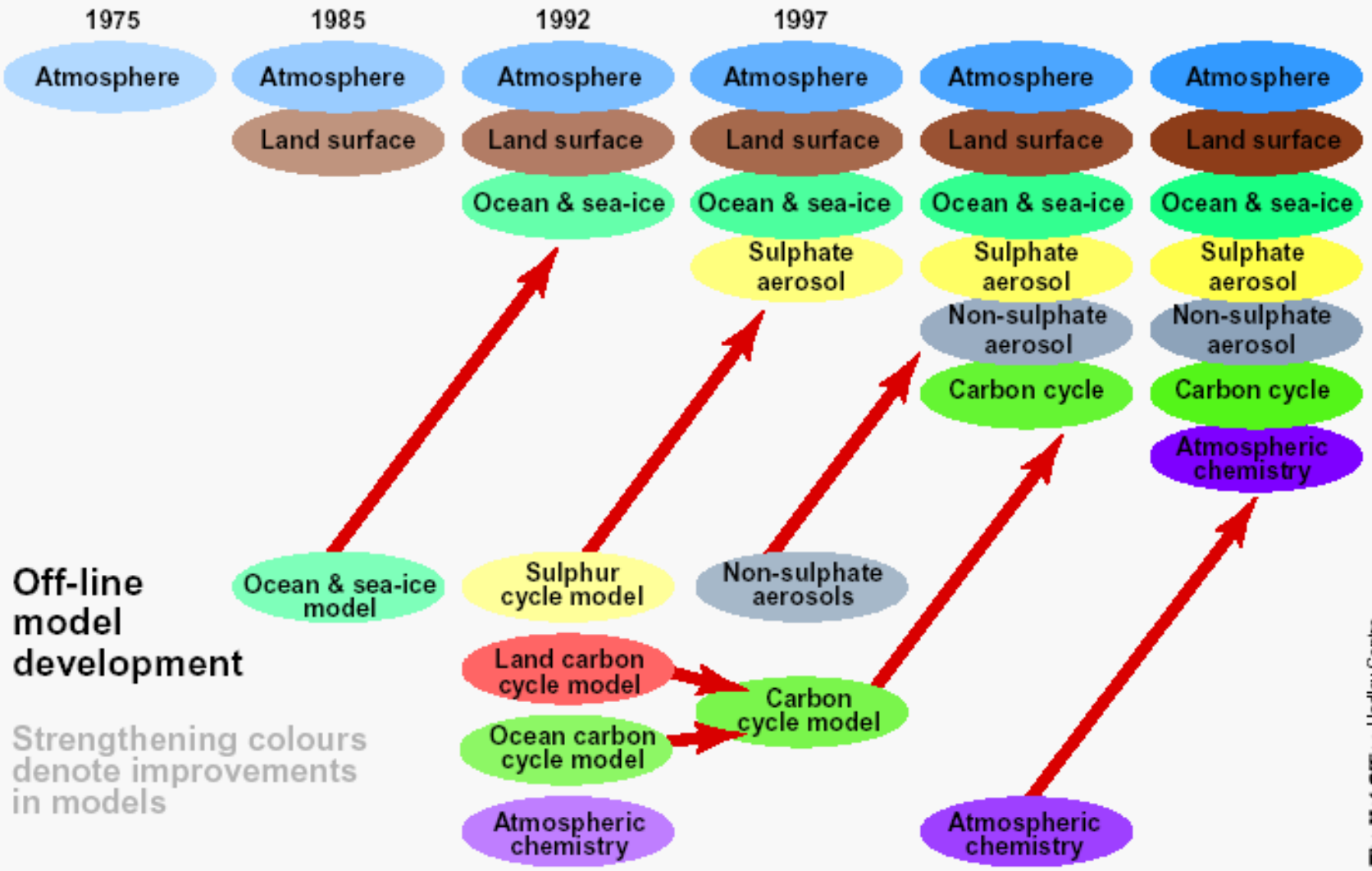


Figure 5.2 *Continued*

EARTH SYSTEM MODEL



Pokusy s klimatickými modely

kontrolní běh modelu

historický běh modelu (podle pozorovaného růstu koncentrací)

experimenty

a) **experimenty s postupnou změnou koncentrací skleníkových plynů, popř. dalších látek ovlivňujících radiační procesy v atmosféře**
b) stabilizační experiment

ekvivalentní koncentrace CO_2

Verifikace a nejistoty modelových simulací

Verifikace

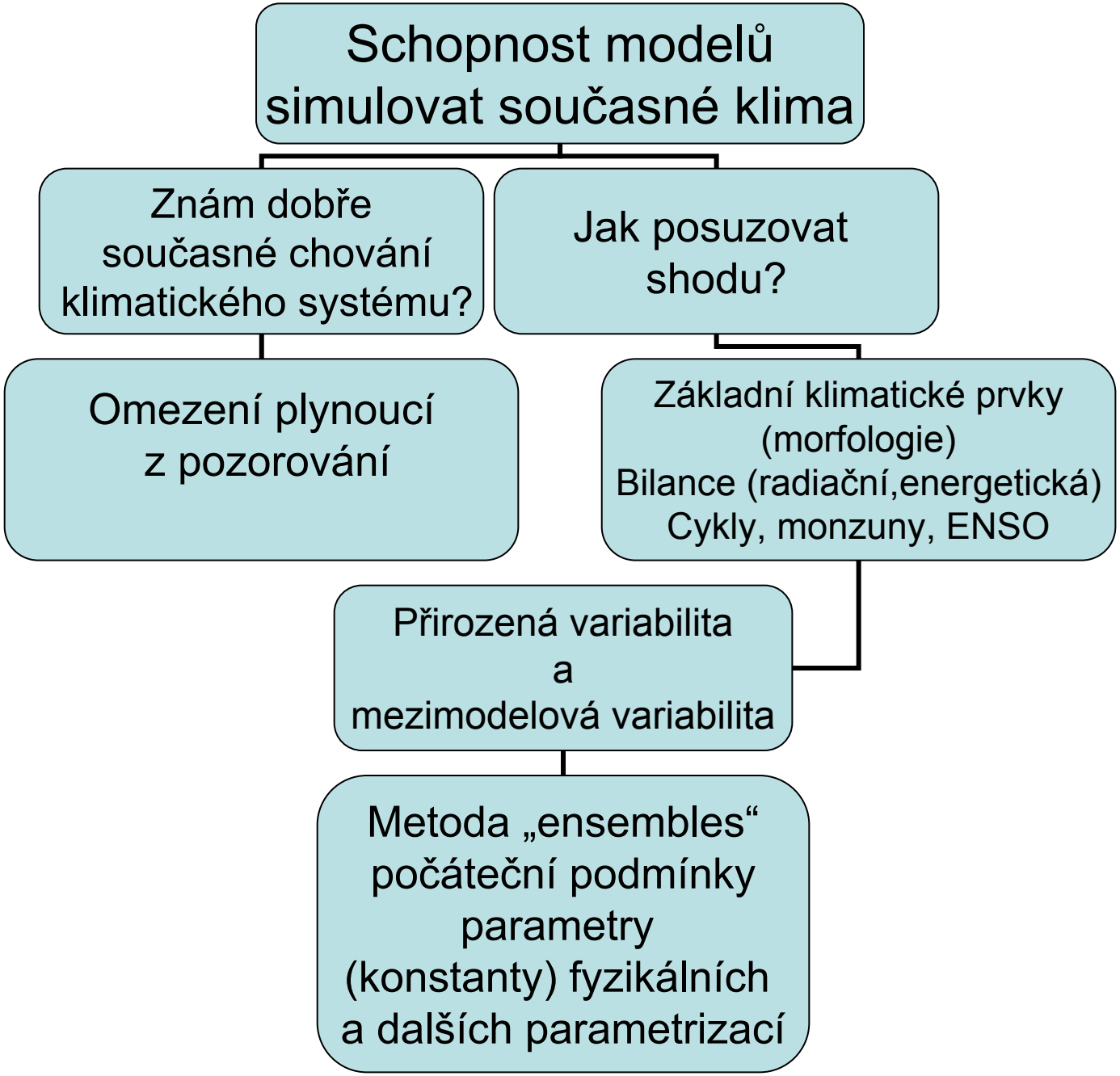
Schopnost modelů simulovat současné klima

? Chová se model jako reálný klimatický systém
? Co od modelu mohu očekávat – co model „vidí“
? Co je při posuzování klíčové

Jaké jsou základní zdroje neurčitostí?

? Mohu vycházet z jedné modelové simulace

Rozptyl výsledků různých klimatických modelů
Přirozená variabilita


Schopnost modelů simulovat současné klima
Znám dobře současné chování klimatického systému?
Jak posuzovat shodu?
Omezení plynoucí z pozorování
Základní klimatické prvky (morfologie)
Bilance (radiační,energetická)
Cykly, monzuny, ENSO
Přirozená variabilita a mezimodelová variabilita
Metoda „ensembles“ počáteční podmínky parametry (konstanty) fyzikálních a dalších parametrizací

Projekce budoucích změn

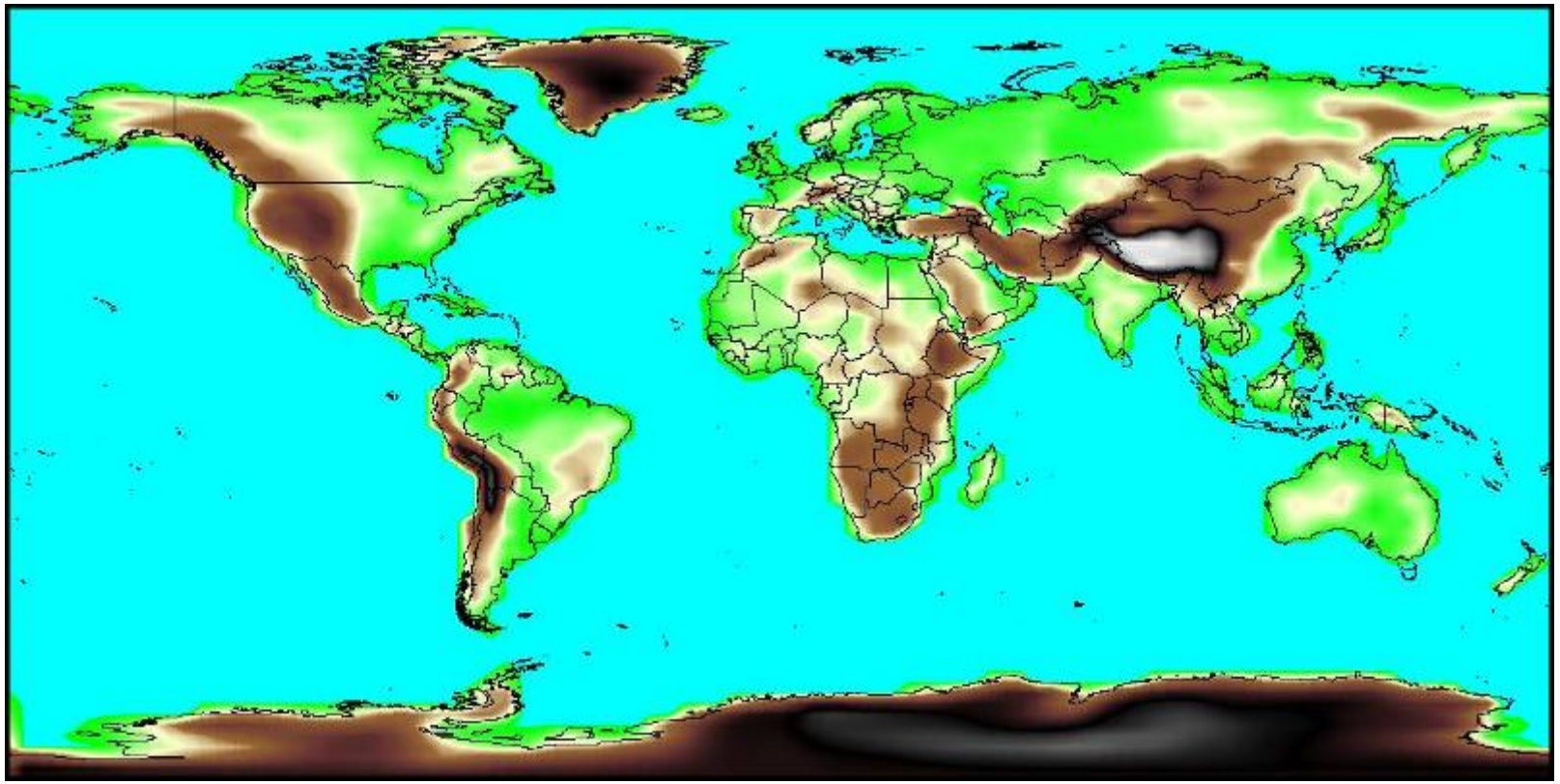
- **Nejistoty ve vývoji emisí skleníkových plynů a aerosolů v budoucnu**
  - použít širší rozpětí SRES emisních scénářů
- **Přirozená variabilita**

  - použít metodu „ensembles“ (provést řadu simulací vycházejících z různých počátečních podmínek)
- **Nejistota v odezvě klimatického systému**

  - použít více klimatických modelů, posoudit shodu modelových projekcí

  - perturbace konstant v parametrizacích

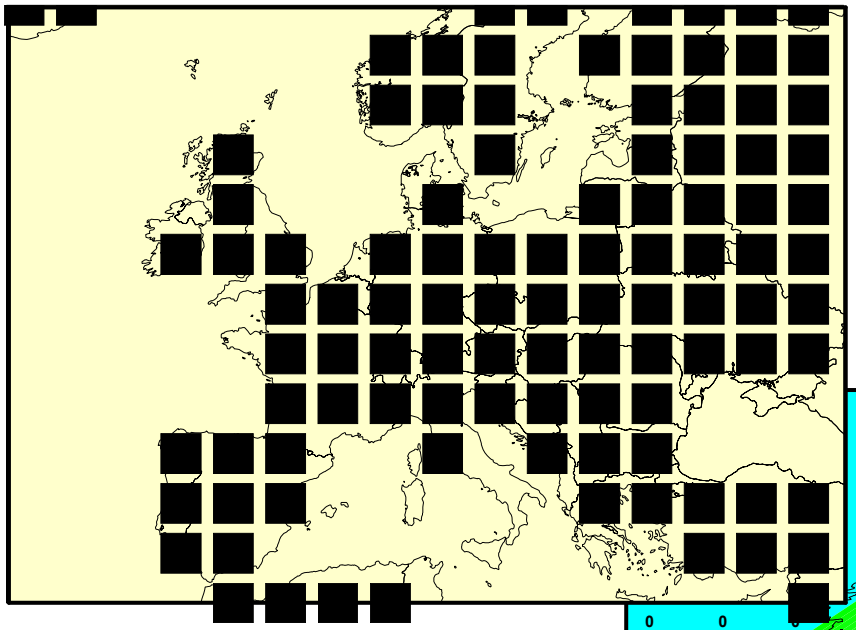
Reprezentace zemského povrchu v GCM



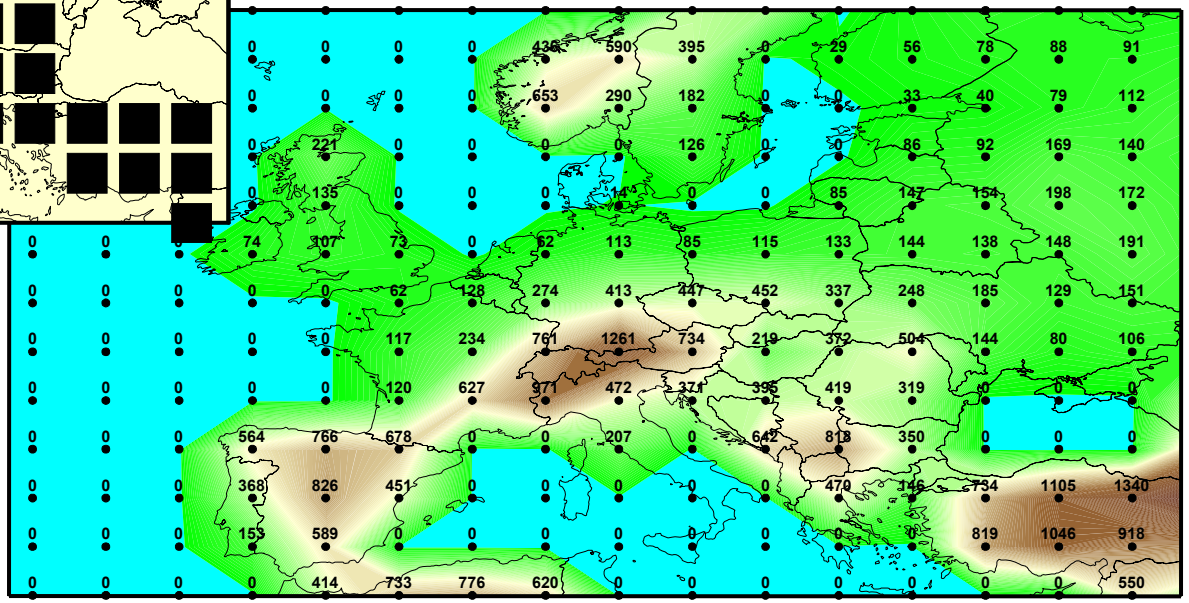
Modelová orografie HadCM3 (rozlišení modelu 3.75° x 2.5°)

ZDROJ DAT: CRU (www.cru.uea.ac.uk)

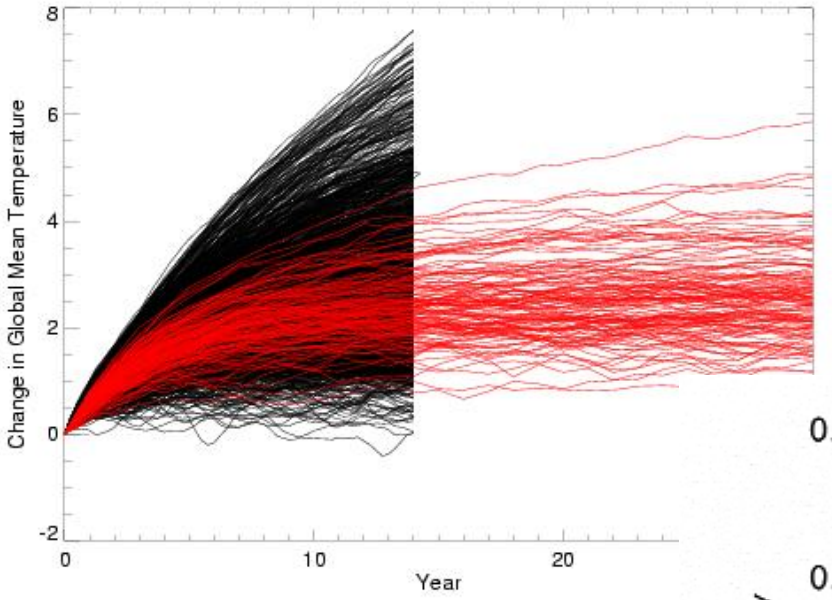
Rozlišení globálního modelu v regionálním měřítku

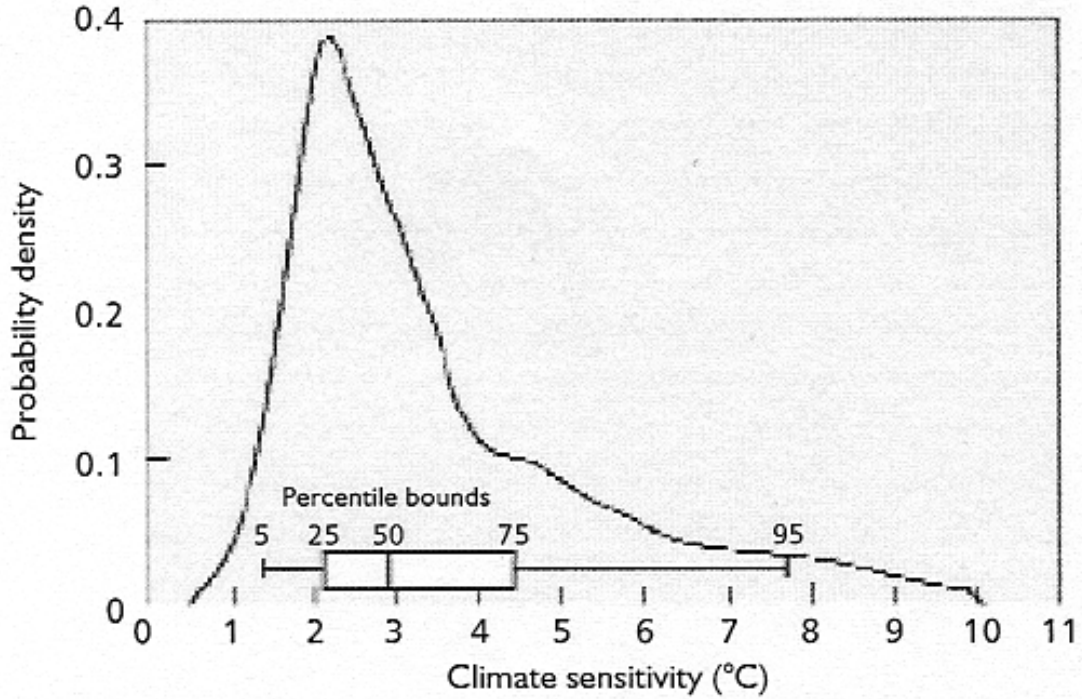


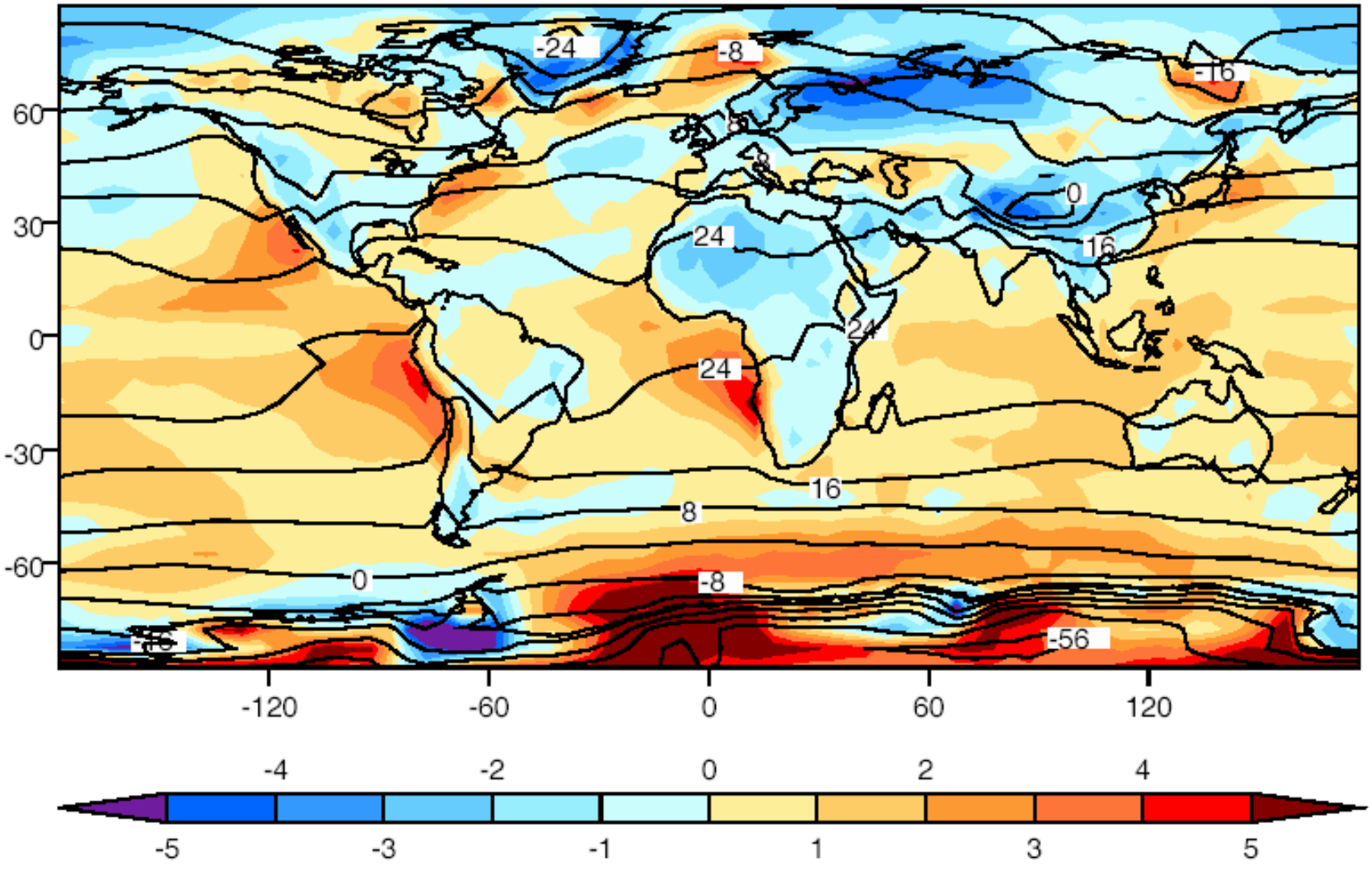
- Špatná reprezentace útvarů důležitých pro utváření klimatu na regionálních a lokálních měřítcích



ZDROJ DAT: CRU
(www.cru.uea.ac.uk)


Change in Global Mean Temperature
8
6
4
2
0
-2
0
10
20
Year


Probability density
0.4
0.3
0.2
0.1
0
Percentile bounds
5
25
50
75
95
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
Climate sensitivity (°C)

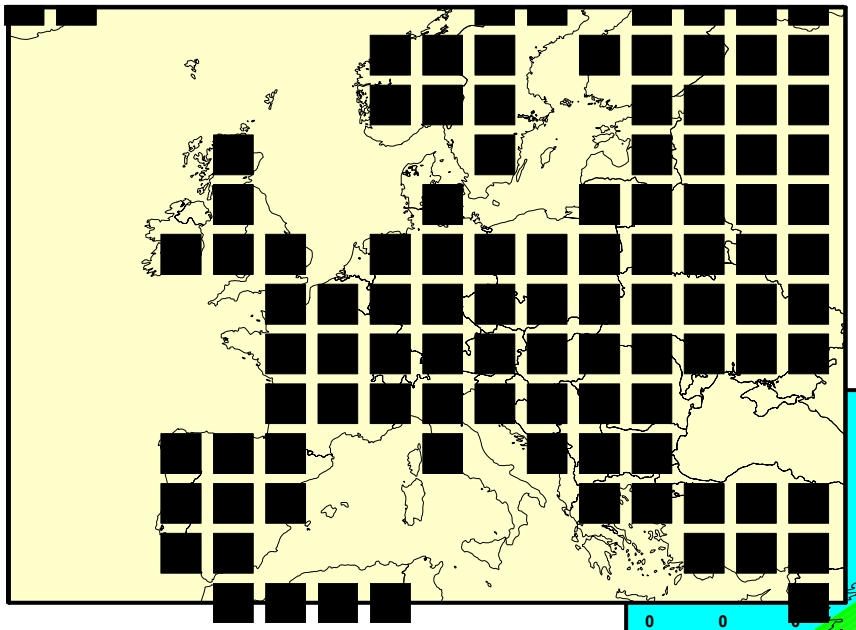


Pozorované roční průměry teploty vzduchu (1961 – 1990 CRU) a průměrná chyba modelů (simulovaná teplota – pozorovaná, období 1980-1999)

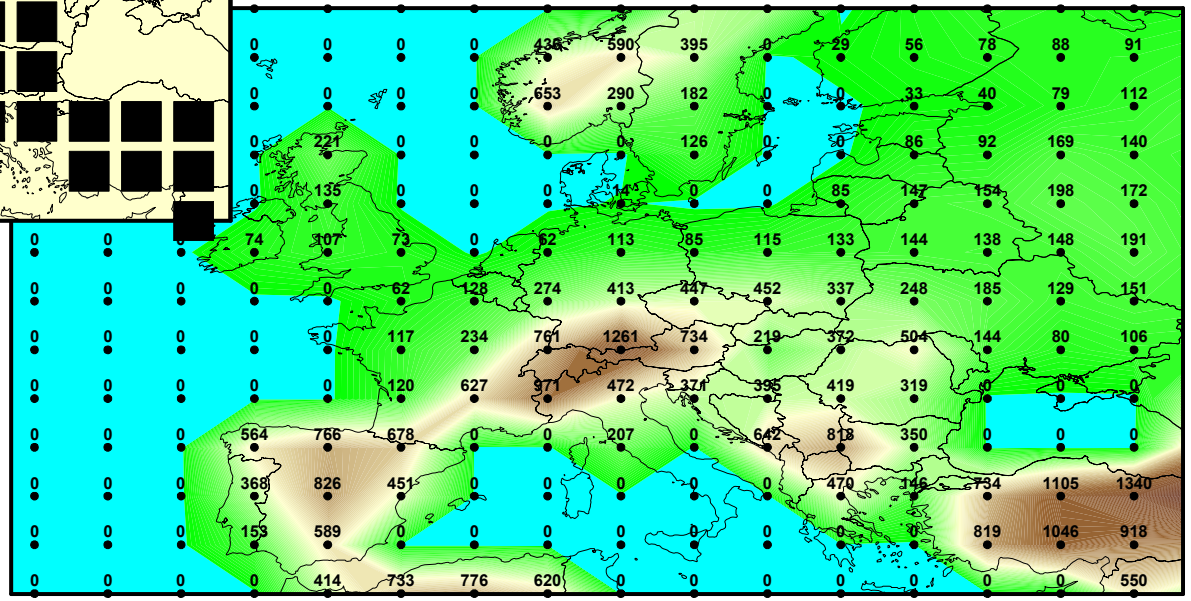
Regionální klimatické modely (RCM)

- simulace jen menší části planetárního povrchu, zato s větším prostorovým rozlišením než GCM
- okrajové podmínky, stav oceánu a podobně jsou přejímány z řídícího globálního modelu
- je možná kratší doba integrace, typicky v řádu desítek let
- RCM přenáší některé chyby řídícího globálního modelu

Rozlišení globálního modelu v regionálním měřítku



- Špatná reprezentace útvarů důležitých pro utváření klimatu na regionálních a lokálních měřítcích



ZDROJ DAT: CRU
(www.cru.uea.ac.uk)

Rozlišení a orografie regionálních modelů

- typické horizontální rozlišení kolem 50 km

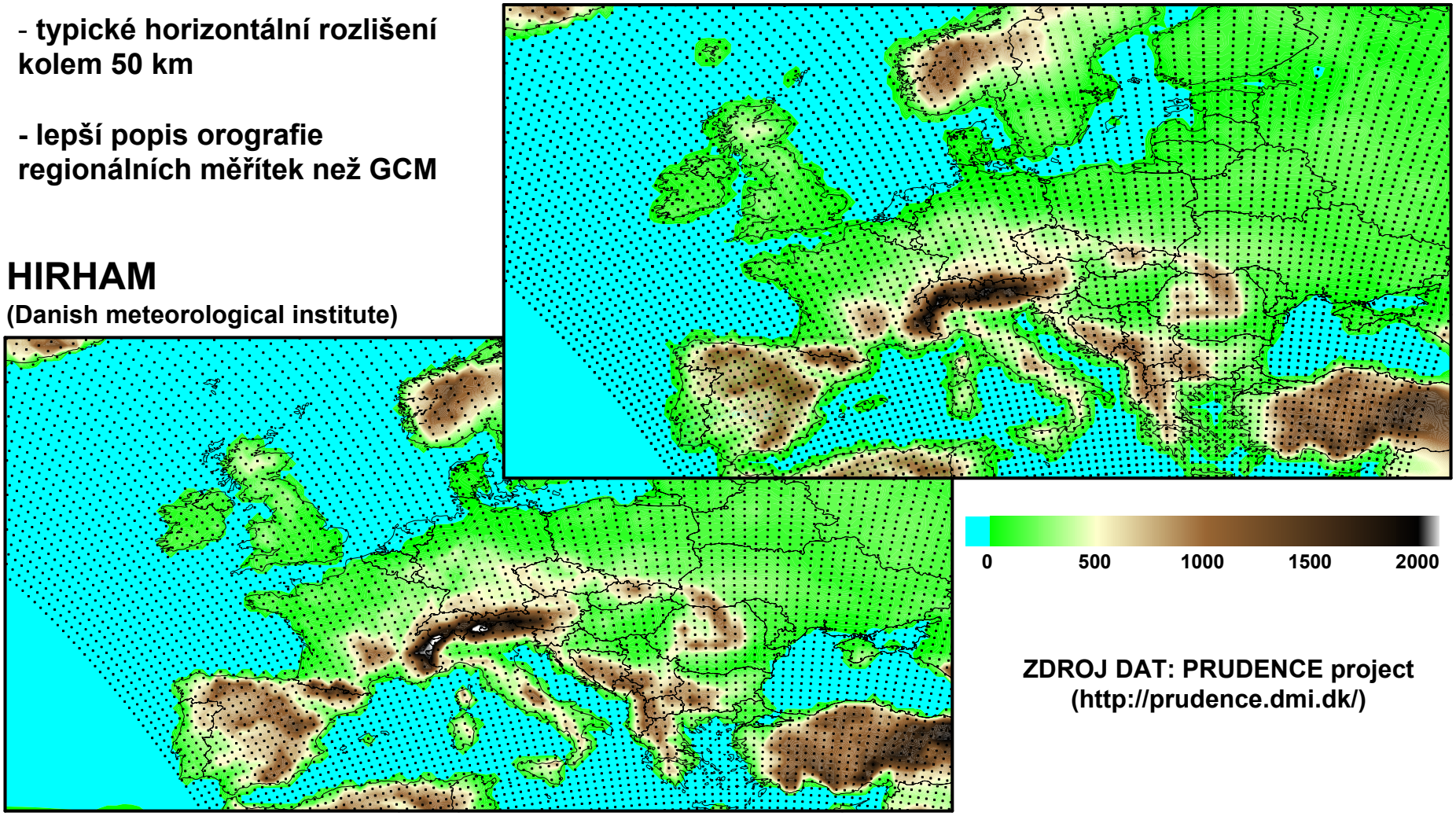
- lepší popis orografie regionálních měřítek než GCM

RCAO

(Swedish Meteorological and Hydrological Institute)

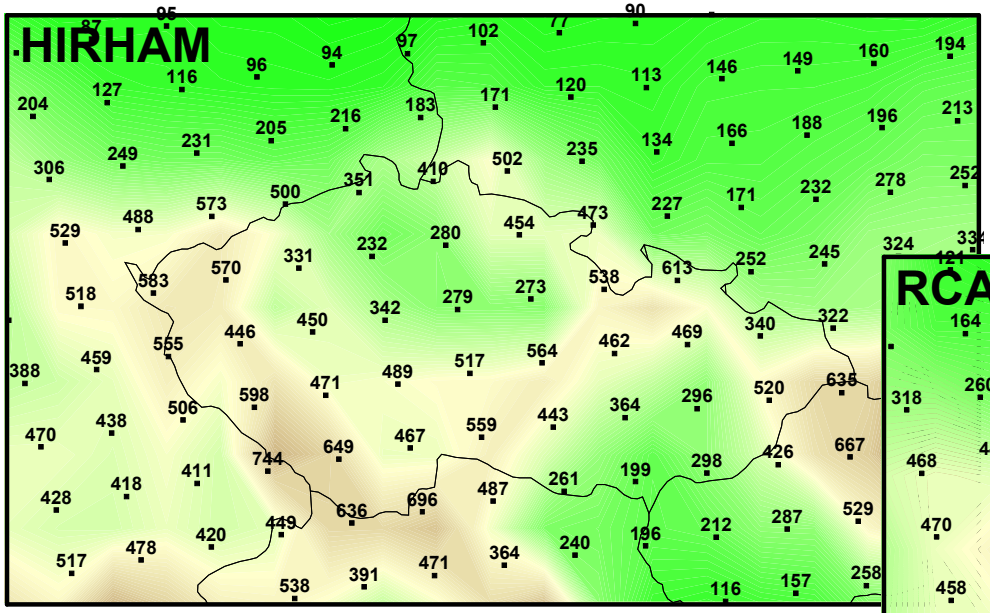
HIRHAM

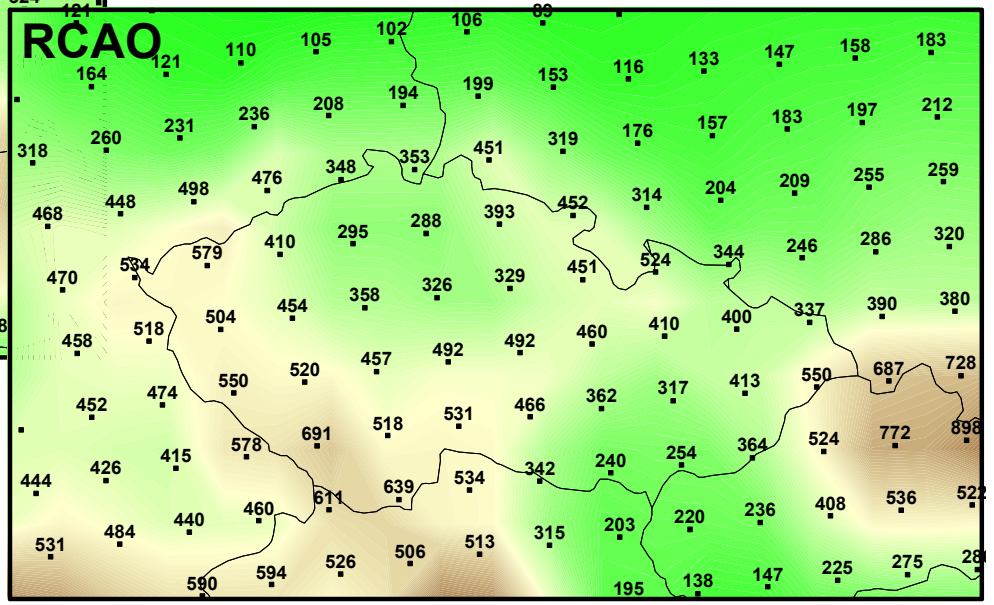
(Danish meteorological institute)



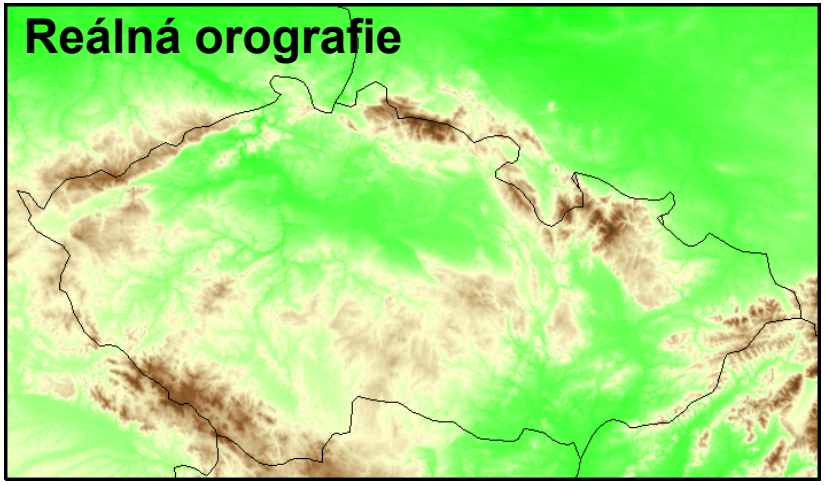
ZDROJ DAT: PRUDENCE project
(http://prudence.dmi.dk/)

Rozlišení a orografie regionálních modelů





- Některé důležité orografické útvary stále zanikají



ZDROJ MODELOVÝCH DAT: PRUDENCE project
(http://prudence.dmi.dk/)

Projekce a scénáře změny klimatu

Projekce budoucího klimatu

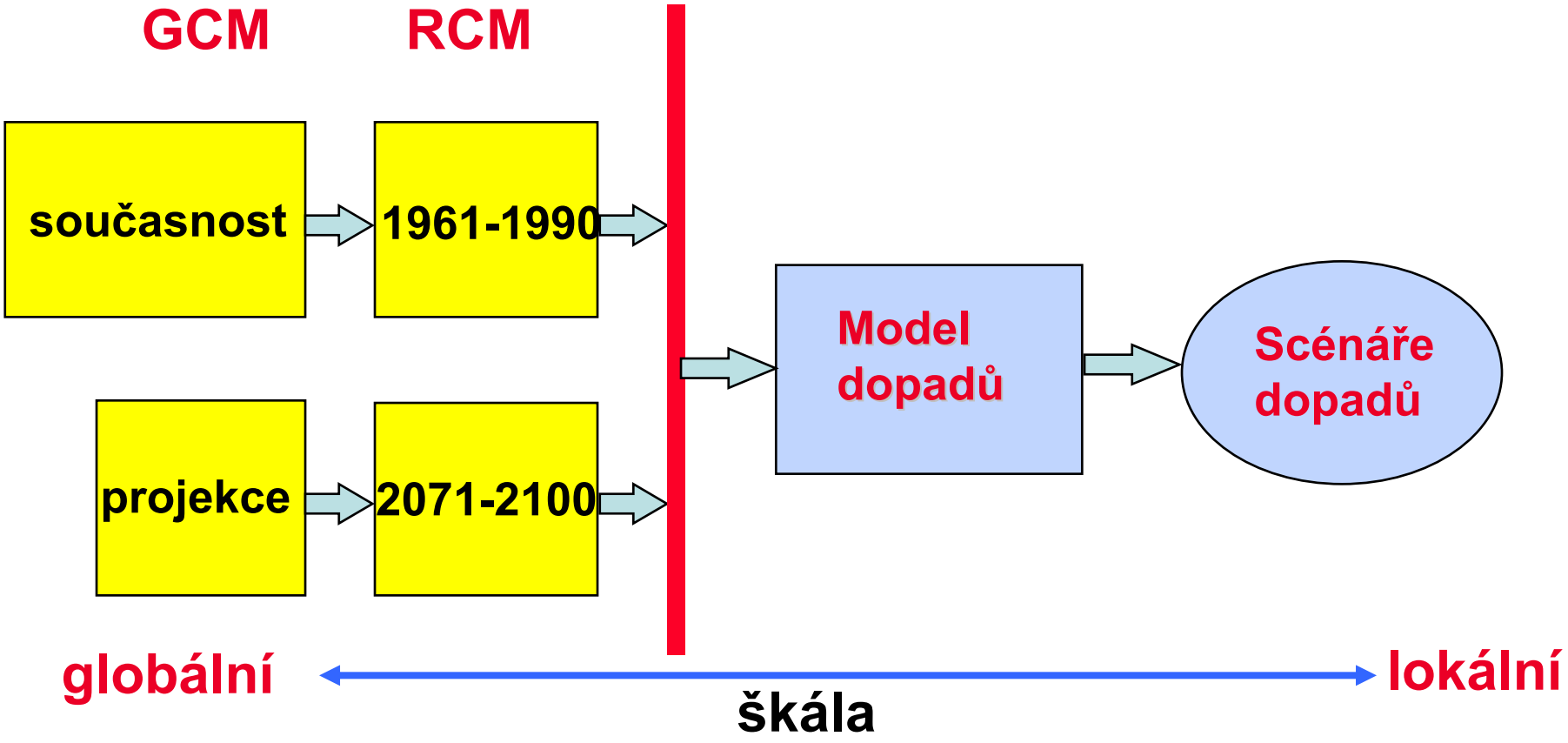
odezva klimatického systému na určitý scénář emisí počítaná klimatickým modelem

Scénář změny klimatu - **„rozdíl“** mezi **„současným“** např. historickým během modelu pro období 1961-1990 a **budoucím** modelovým klimatem (experimentem pro určitý časový horizont) **delta přístup**

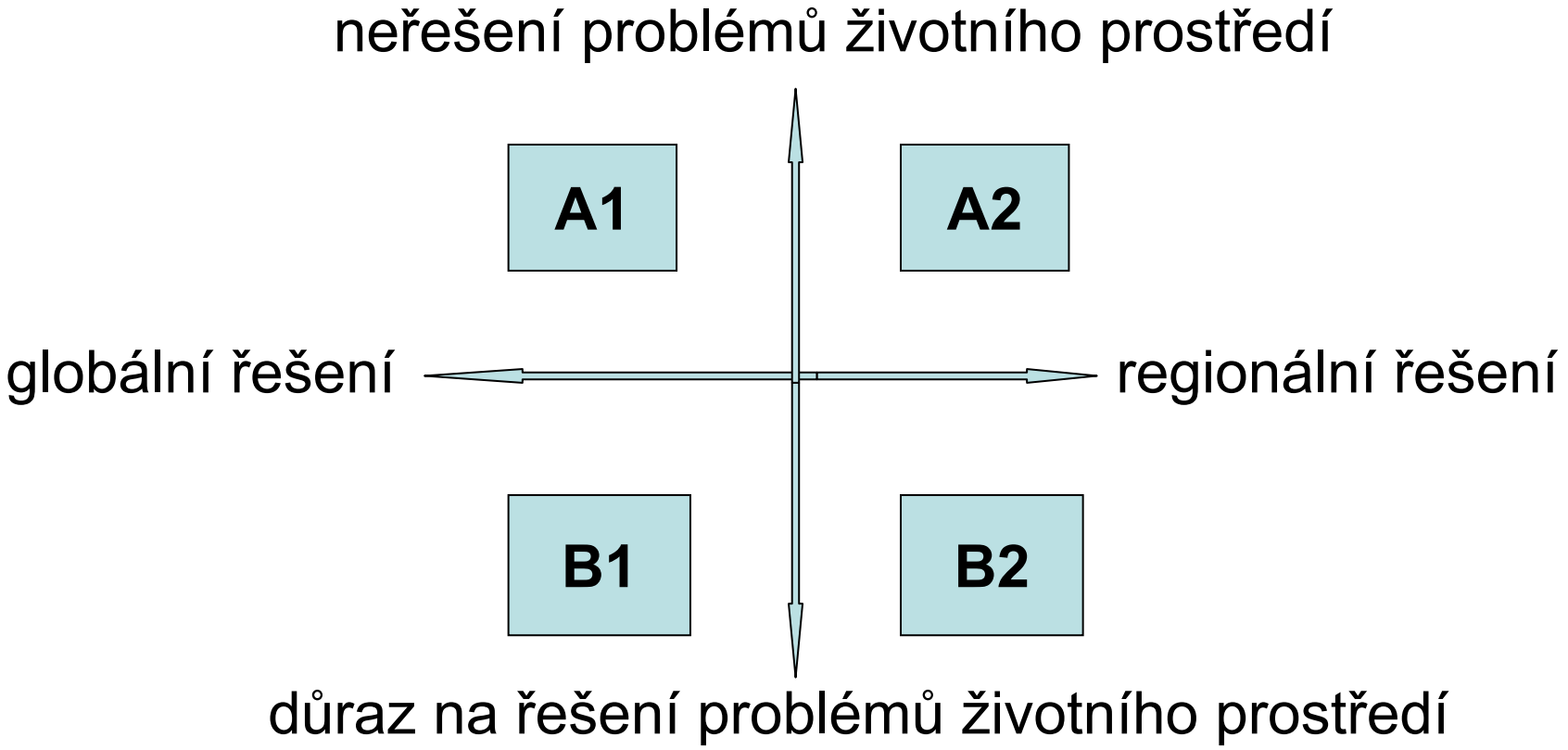
Scénáře nejsou předpovědi budoucích klimatických podmínek, popisují přijatelné alternativní stavy klimatu v budoucnosti, které mohou za předpokládaných okolností nastat. Účelem scénářů je osvětlit nejistoty budoucího vývoje, pomoci najít rámec či meze budoucího vývoje.

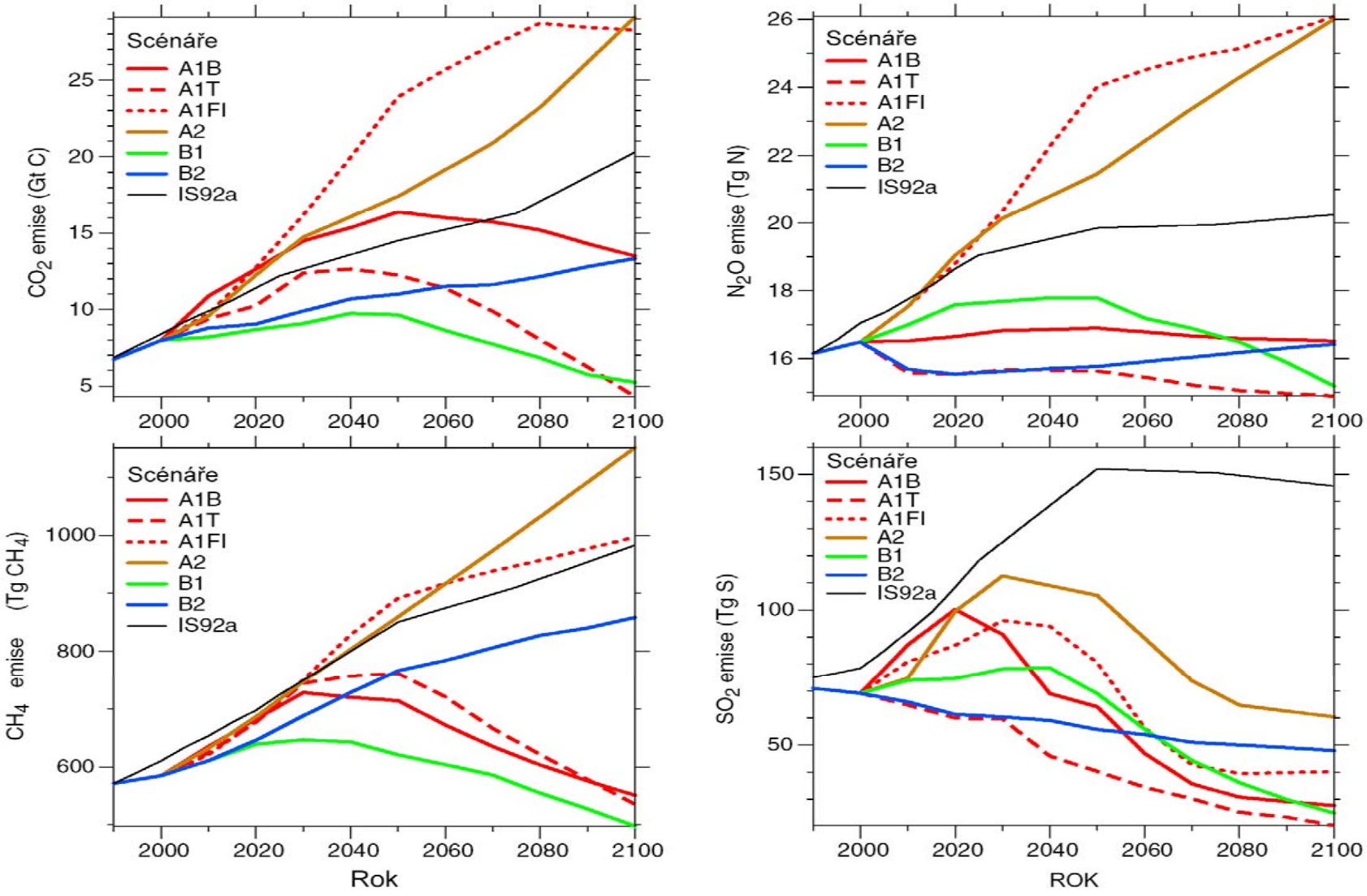
Impaktové scénáře

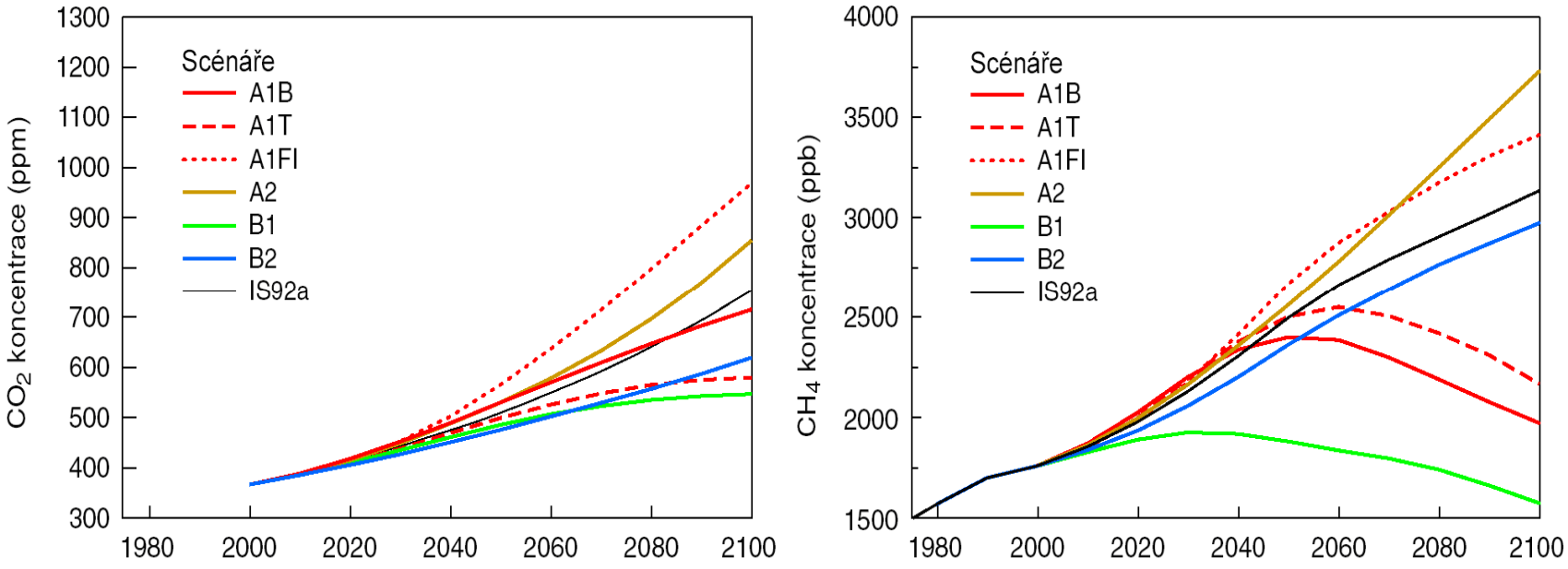
Delta přístup



Emisní scénáře SRES



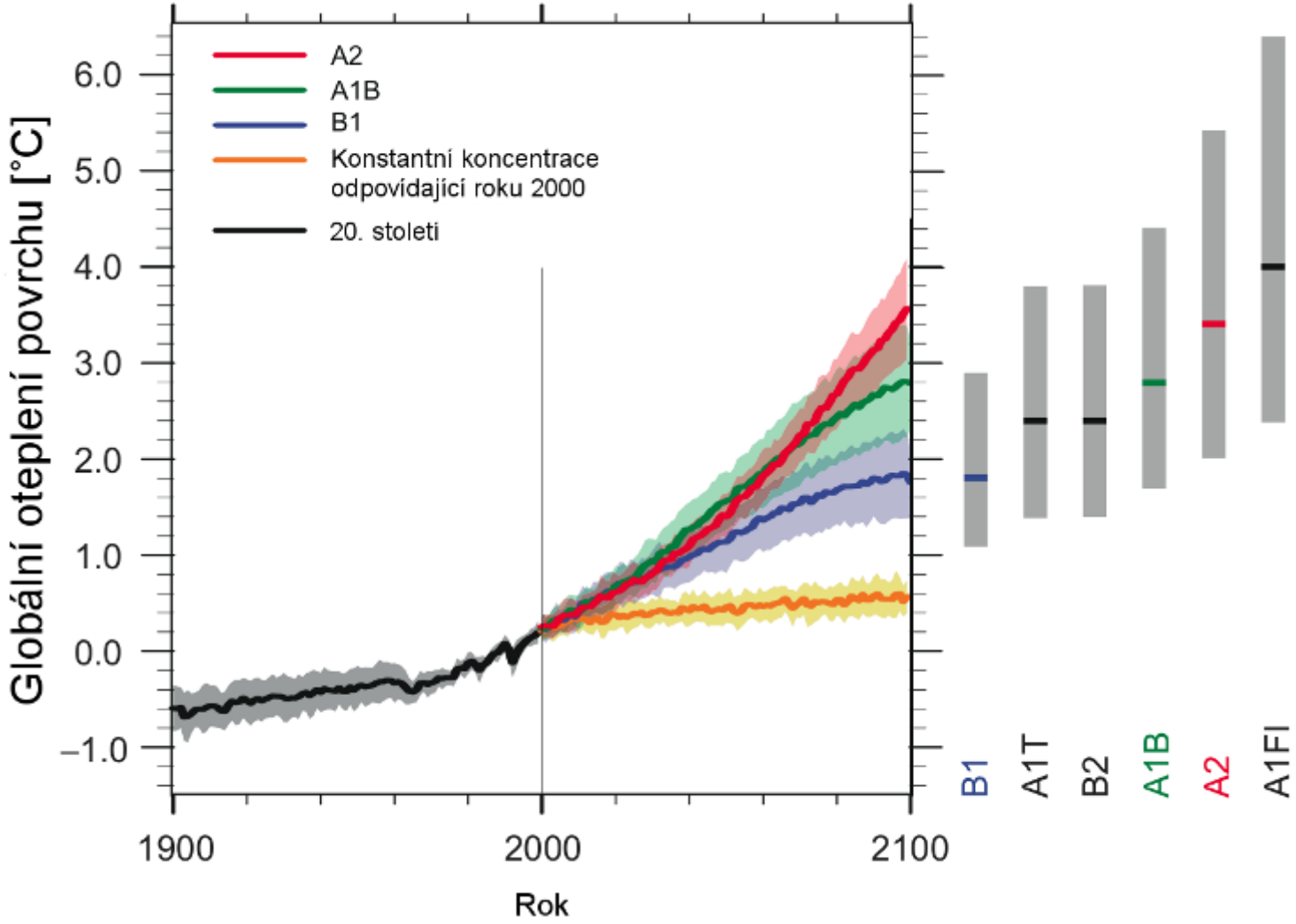

Scénáře
A1B
A1T
A1FI
A2
B1
B2
IS92a
CO_2 emise (Gt C)
N_2O emise (Tg N)
CH_4 emise (Tg CH_4)
SO_2 emise (Tg S)
Rok
ROK
2000
2020
2040
2060
2080
2100



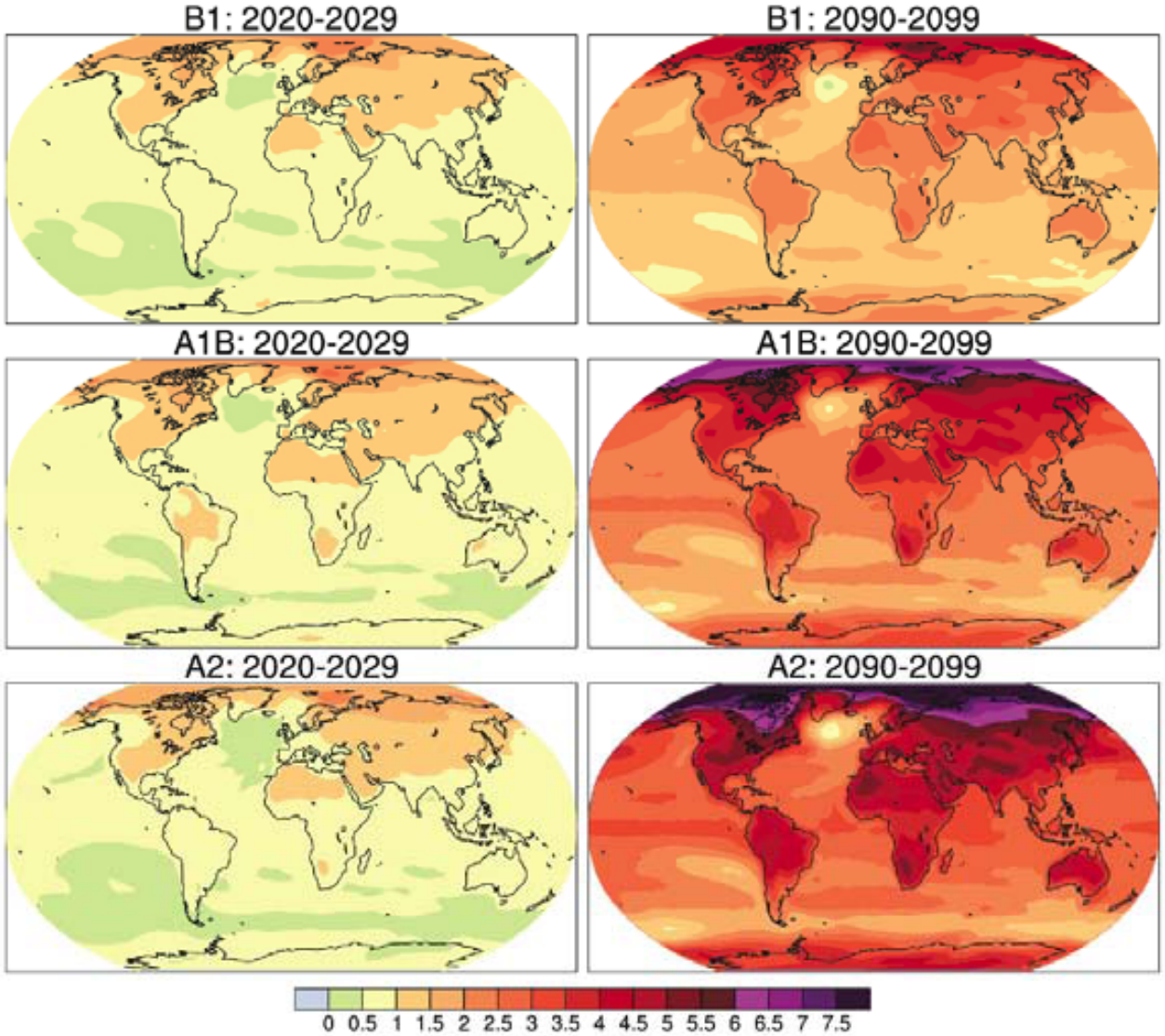
Růst koncentrací CO2 a CH4 odpovídající šesti ilustrativním SRES scénářům.

Tab.1: Změny globálního průměru teploty vzduchu při zemském povrchu a zvýšení hladiny oceánu na konci 21. století pro různé scénáře emisí (v období 2090-2099 ve srovnání s 1980-1999). Převzato z /1/.

	Změna teploty [°C]		Vzestup hladiny moře [m] (pravděpodobný rozsah)
Případ	Nejlepší odhad	Pravděpodobný rozsah	
Scénář B1	1,8	1,1-2,9	0,18-0,38
Scénář A1T	2,4	1,4-3,8	0,20-0,45
Scénář B2	2,4	1,4-3,8	0,20-0,43
Scénář A1B	2,8	1,7-4,4	0,21-0,48
Scénář A2	3,4	2,0-5,4	0,23-0,51
Scénář A2FI	4,0	2,4-6,4	0,26-0,59

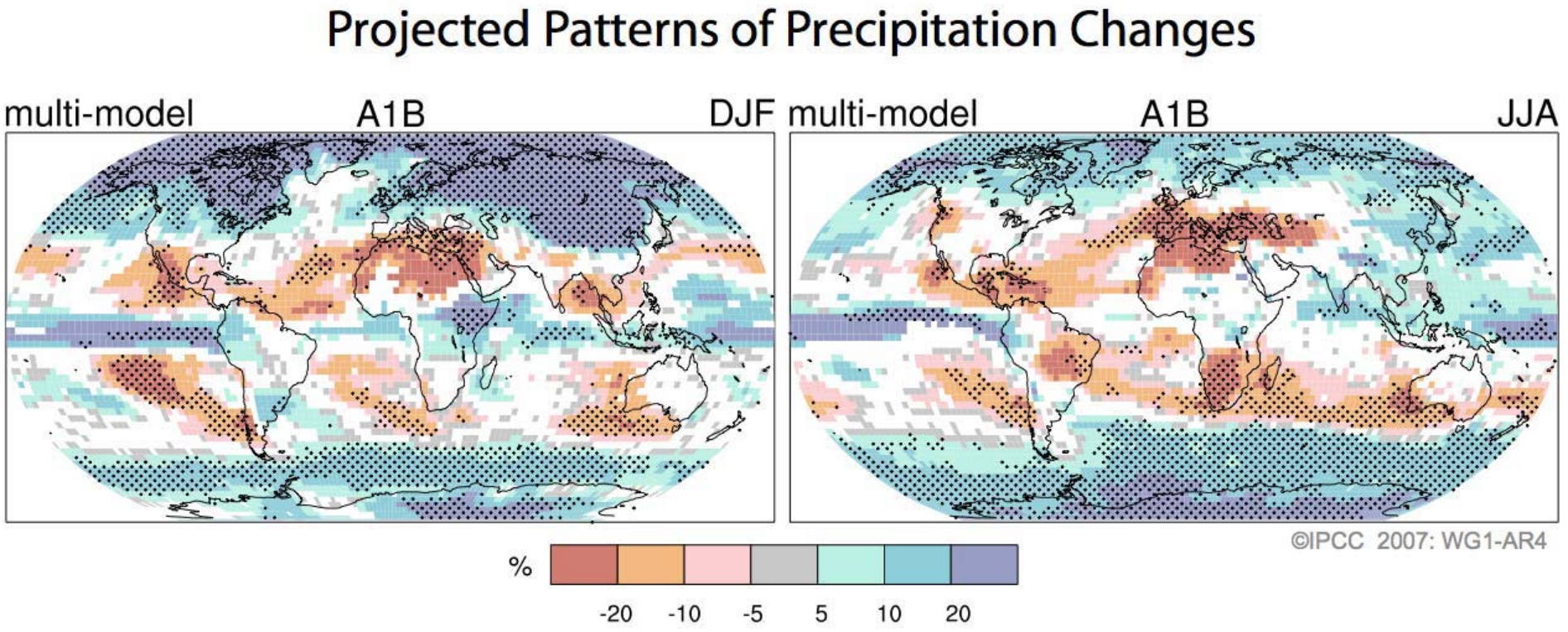


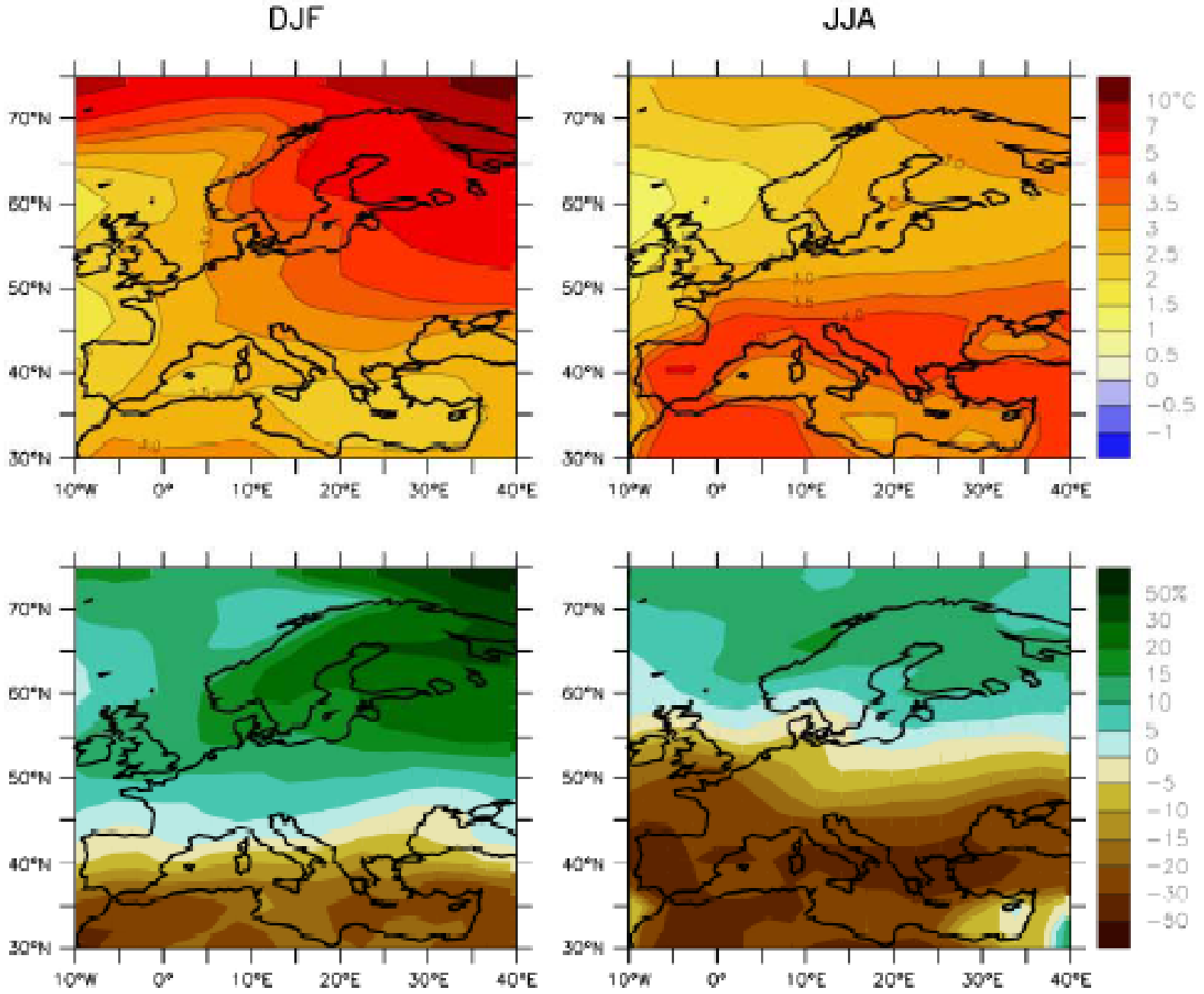
Růst ročního globálního průměru teploty vzduchu při zemském povrchu (ve srovnání s obdobím 1980-99) vypočítaný z mnoha klimatických modelů pro scénáře A2, A1B a B1 a znázorněné jako prodloužení simulací pro 20. století. Vybarvená oblast odpovídá rozsahu plus minus jedné směrodatné odchylky vypočítané z ročních průměrů pro jednotlivé modely. Oranžová čára představuje experiment, při kterém byly koncentrace udržovány konstantní na úrovni roku 2000. Upraveno z IPCC 2007.



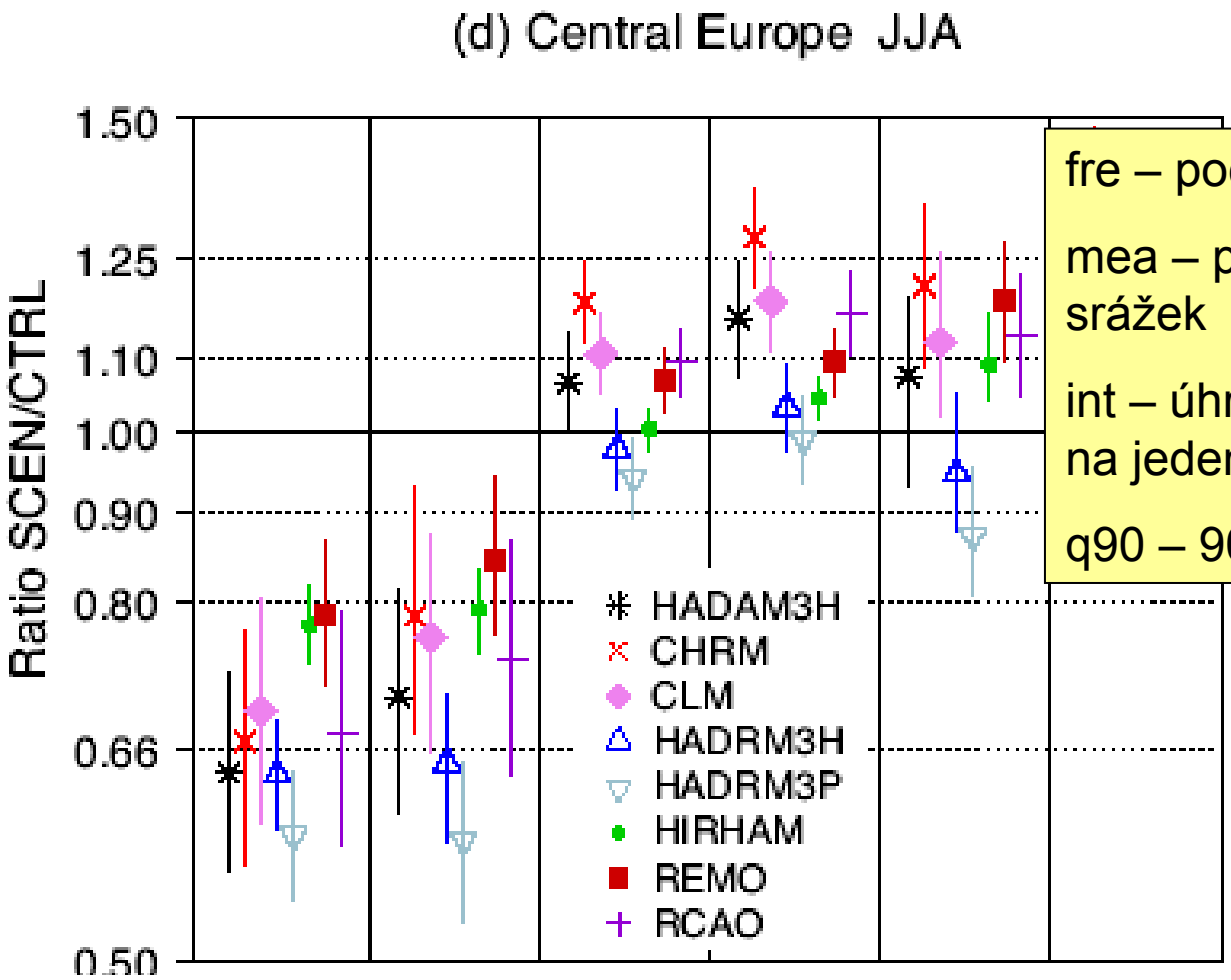
Změny teploty vzduchu při zemském povrchu ve srovnání s obdobím 1980-1999. Panely ukazují průměr založený na modelech typu AOGCM pro scénáře SRES B1 (nahoře), A1B (uprostřed) a A2 (dole), vypočítaný pro desetiletí 2020-2029 (vlevo) a 2090-2099 (vpravo). Upraveno z IPCC 2007.

Relativní změna srážek (%) pro období 2090-2099 ve srovnání s obdobím 1980-1999. Hodnoty představují vícemodelový průměr, bíle jsou znázorněny oblasti, kde se méně než 66 % modelů shoduje na znaménku změny; tečkovaně oblasti, kde se na znaménku změny shoduje více než 90 % modelů.





SRES A1B 1980-1999 versus 2080-2099



fre – počet dní se srážkami

mea – průměrný úhrn letních srážek

int – úhrn srážek připadající na jeden den se srážkami

q90 – 9055 kvantil

Scénáře pro ČR založené na GCM

projekty VaV MŽP

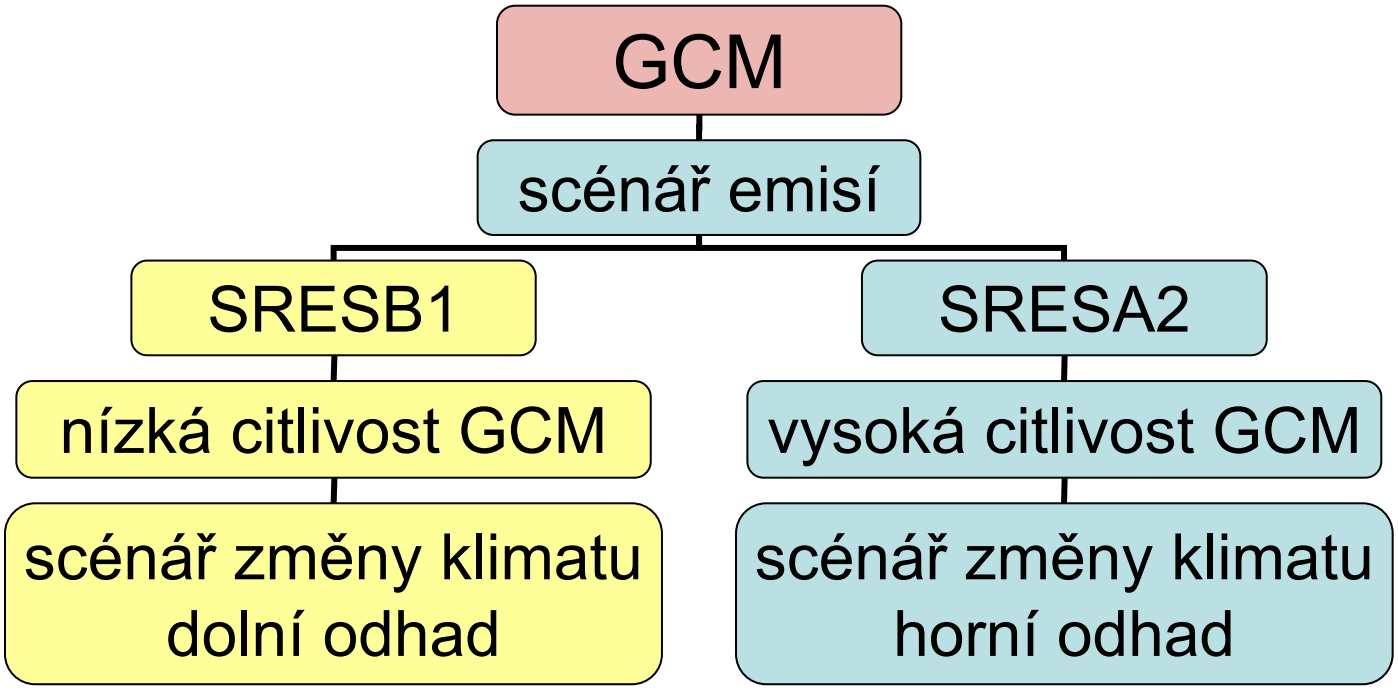
časový horizont 2050 (2036 – 2065)

scénář emisí SRES (dva a více)

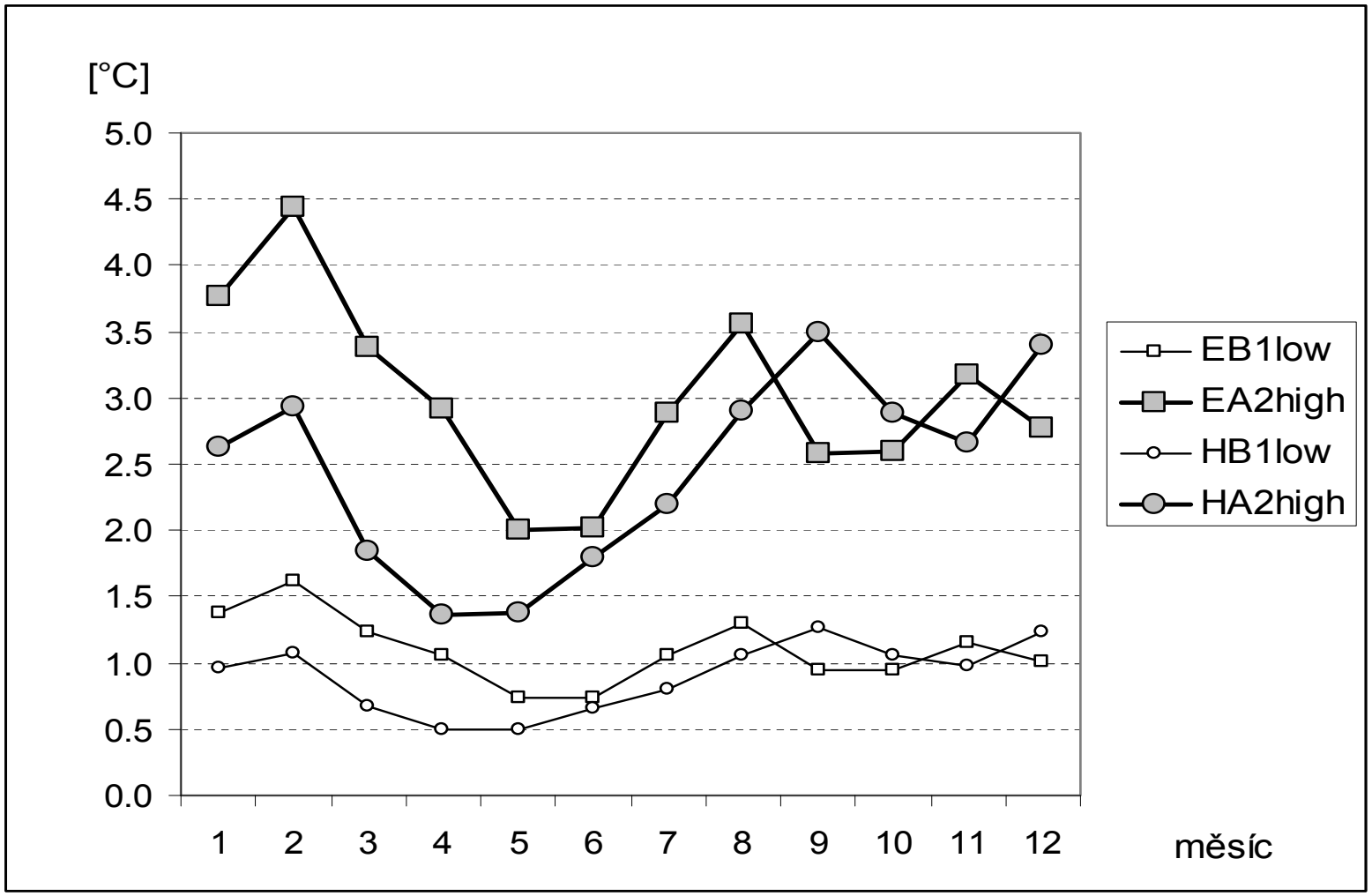
klimatický model ECHAM, HadCM

(prověřit, jak umí vystihnout současné klimatické podmínky)

teplotní citlivost GCM nízká, vysoká


GCM
scénář emisí
SRESB1
SRESA2
nízká citlivost GCM
vysoká citlivost GCM
scénář změny klimatu
dolní odhad
scénář změny klimatu
horní odhad

Změny průměrné denní teploty vzduchu v ČR pro rok 2050.



Teplota vzduchu

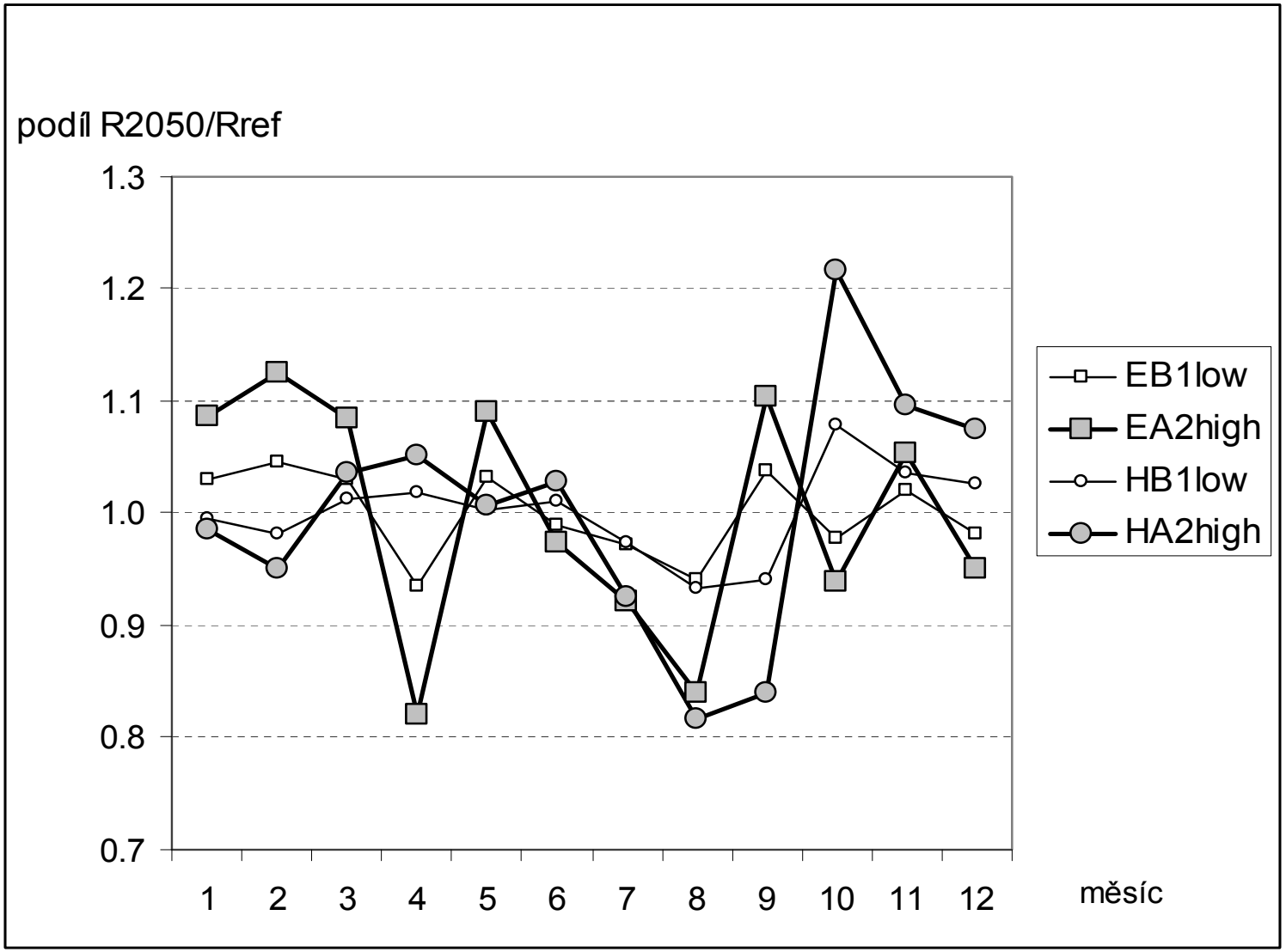
Změny průměrné roční teploty vzduchu

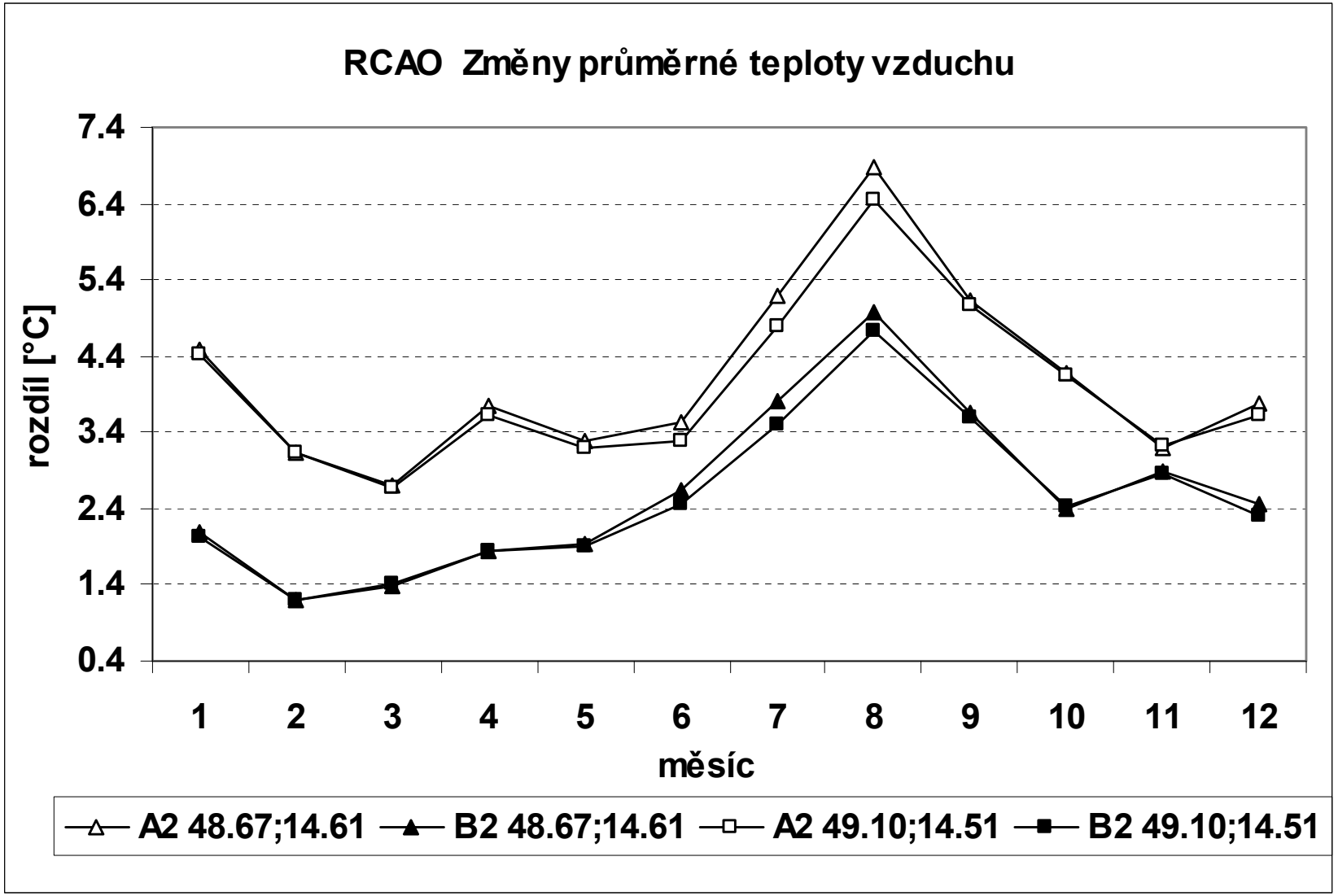
horní odhady	3,0 °C	a	2,5 °C
dolní odhady	1,1 °C	a	0,9 °C

Změny průměrných měsíčních teplot

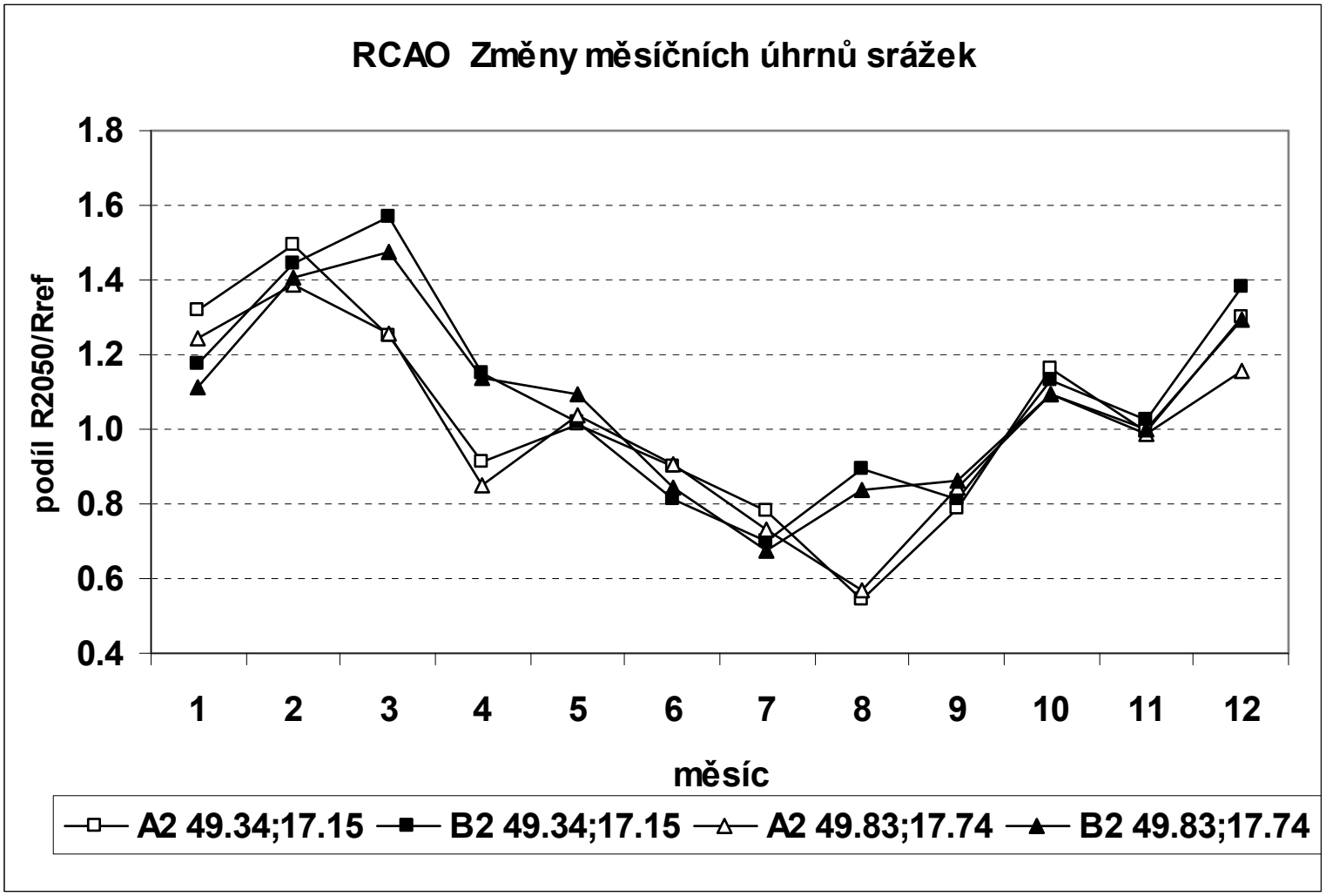
leden	horní odhady	2,6 °C	a	3,8 °C
	dolní odhady	1,0 °C	a	1,4 °C
červenec	horní odhady	2,2 °C	a	2,9 °C
	dolní odhady	0,8 °C	a	1,1 °C

Změny atmosférických srážek v ČR (2050)





Změny teploty vzduchu (rozdíly mezi měsíčními průměry pro období 2071 – 2100 a referenční období 1961 – 1990 ve dvou uzlových bodech modelu RCAO ležících v oblasti jižních Čech. A2 a B2 označují SRES scénáře.



Změny průměrných měsíčních úhrnů srážek (podíl nových srážek ku srážkám pro referenční období

Klima se měnilo, mění a měnit bude, výkyvy klimatu mohou být větší, než tomu bylo v době přístrojových pozorování

Klimatický systém je velmi složitý nelineární systém

Klimatický systém je chaotický systém

Změny v klimatickém systému mohou probíhat velmi rychle

Člověk zasahuje do klimatického systému

Skleníkové plyny jednou do atmosféry uvolněné tam zůstávají dlouhou dobu

Odhady změn klimatu mají nezanedbatelný stupeň nejistoty - SRES scénáře, klimatické modely

Vždy se rozhodujeme za nejistoty

Lidská společnost je anomáliemi a extrémy klimatu stále více zranitelná

??? Posadit na rozcestí a čekat????