

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
- od klimatického scénáře se liší **projekce klimatu** – odezva klimatického systému na určitý scénář emisí skleníkových plynů a aerosolů, počítaná klimatickými modely.

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 CO₂, 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 extrémní ENSO – informace o zranitelnosti ekosystémů

b) Analogony založené na přístrojových pozorováních

- **metoda historických analogonů** – rozdíly 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

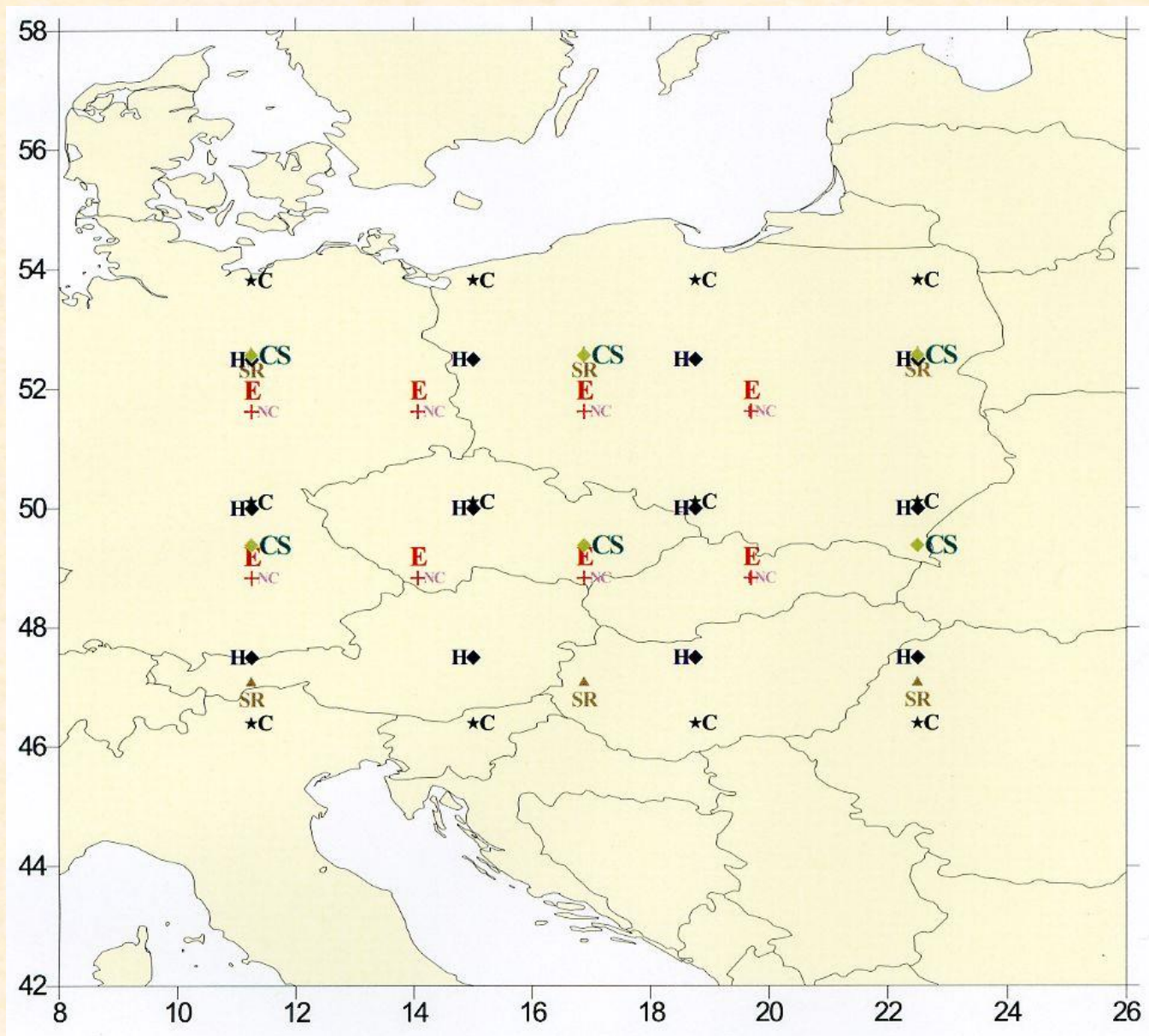
A) Scénáře založené na GCMs

- 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 uchovávání 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.



Uzlové body GCM: C – CGCM1 (Kanada), CS – CSIRO (Austrálie), E – ECHAM4 (Německo), H – HadCM2 (Velká Británie), NC – NCAR3 (USA), SR – CCSR (Japonsko)

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

Čtyři hlavní techniky sestavení klimatických scénářů s větším rozlišením:

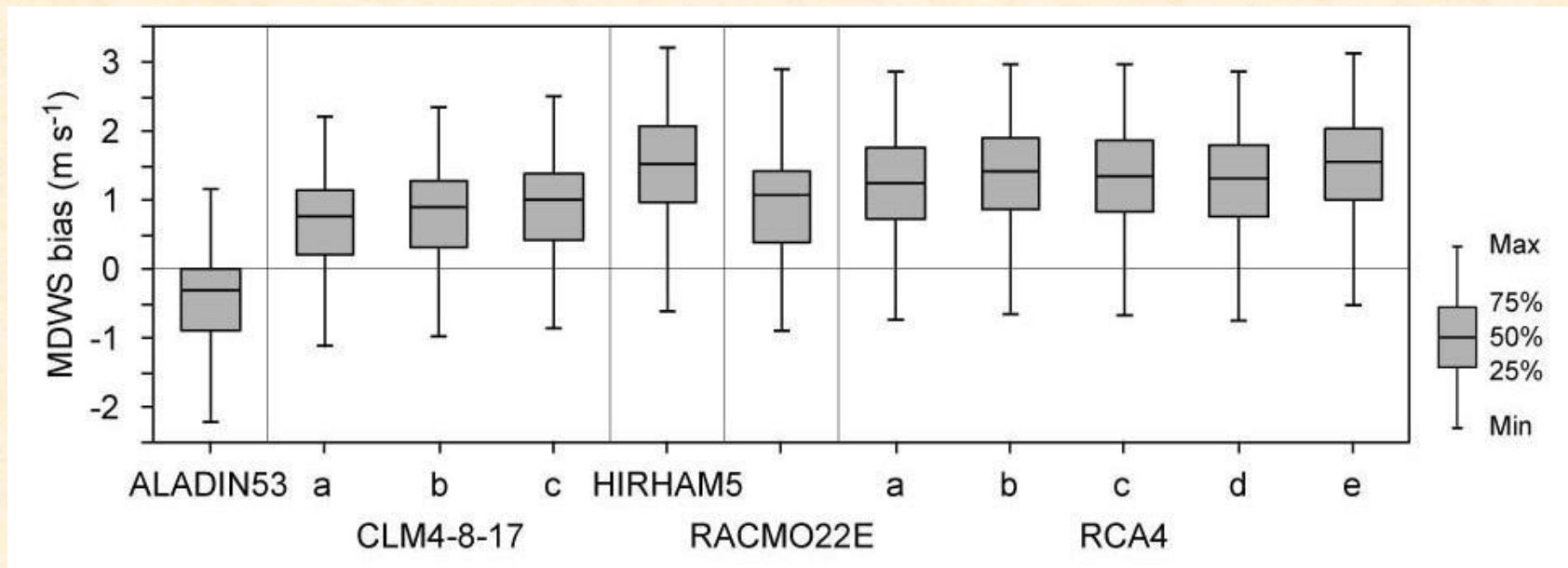
a) **AOGCM časové řezy (AOGCM time-slice)**

- 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

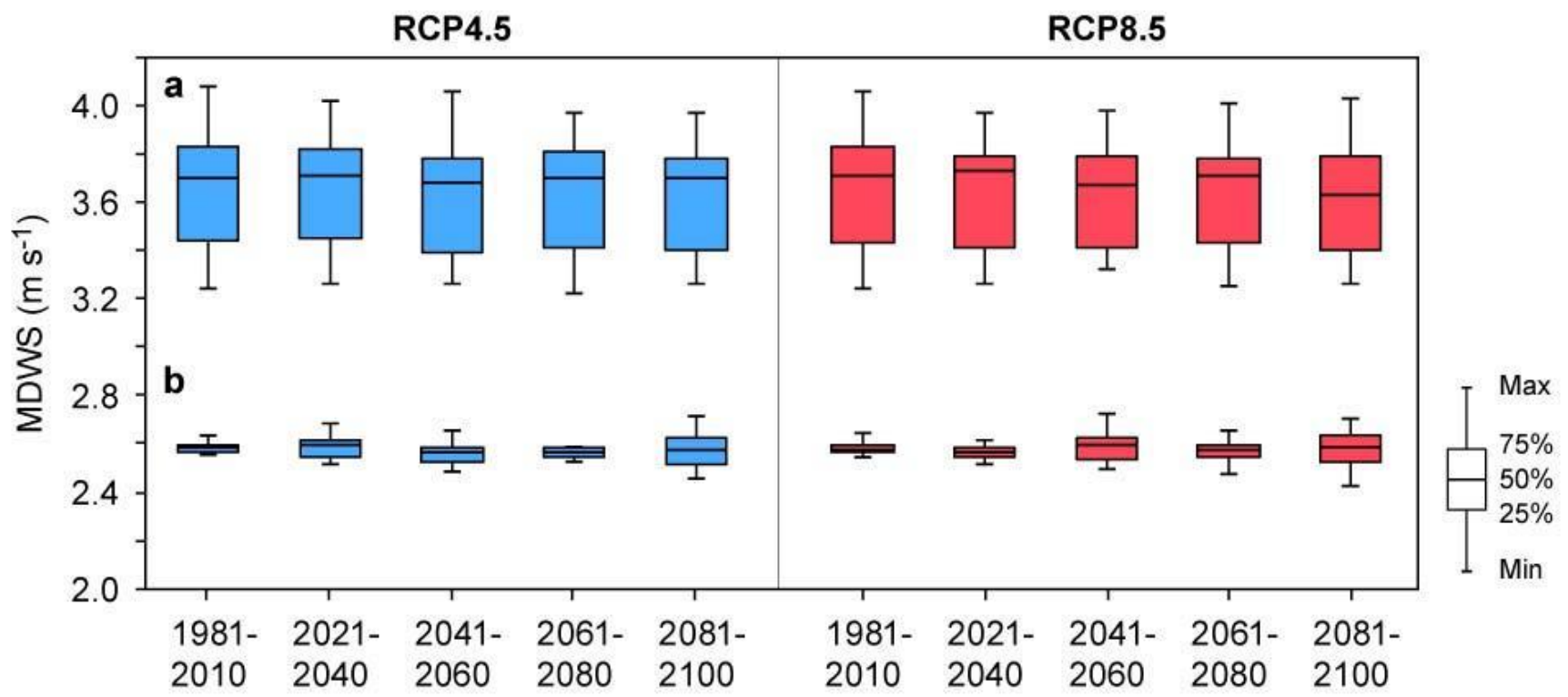
b) regionální klimatické modelování (vnořené neboli „nested“ modely, LAM – Limited Area Model)

- 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 měřítko 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

RCM	Driving GCM
ALADIN53	CNRM-CM5
CCLM4-8-17	a: CNRM-CM5, b: EC-EARTH, c: MPI-ESM-LR
HIRHAM5	EC-EARTH
RACMO22E	EC-EARTH
RCA4	a: CNRM-CM5, b: EC-EARTH, c: MPI-ESM-LR, d: HadGEM2-ES, e: IPSL-CM5A-MR

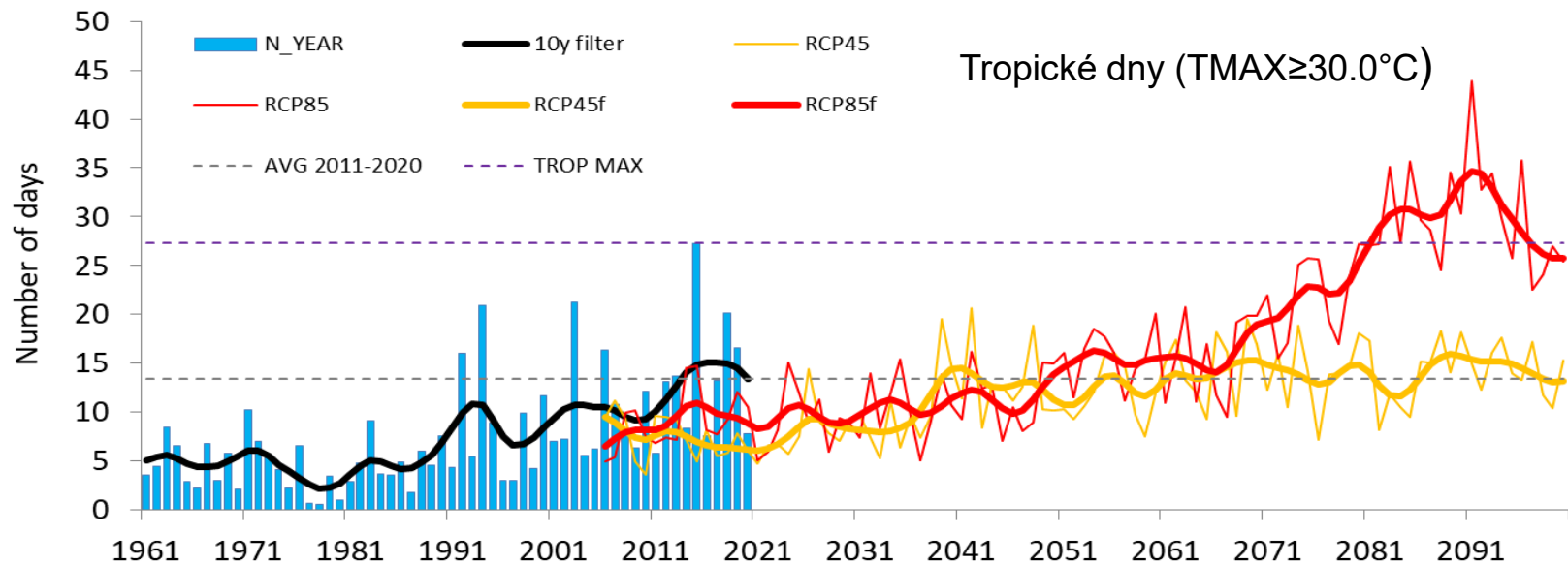


Korekce hodnot průměrných denních rychlostí větru (MDWS) pro 11 Euro-CORDEX RCM simulací v kontrolním běhu; průměrováno přes všechny gridy pro území ČR (identifikace RCM viz výše) (Brázdil et al., Climate Research, 2019)

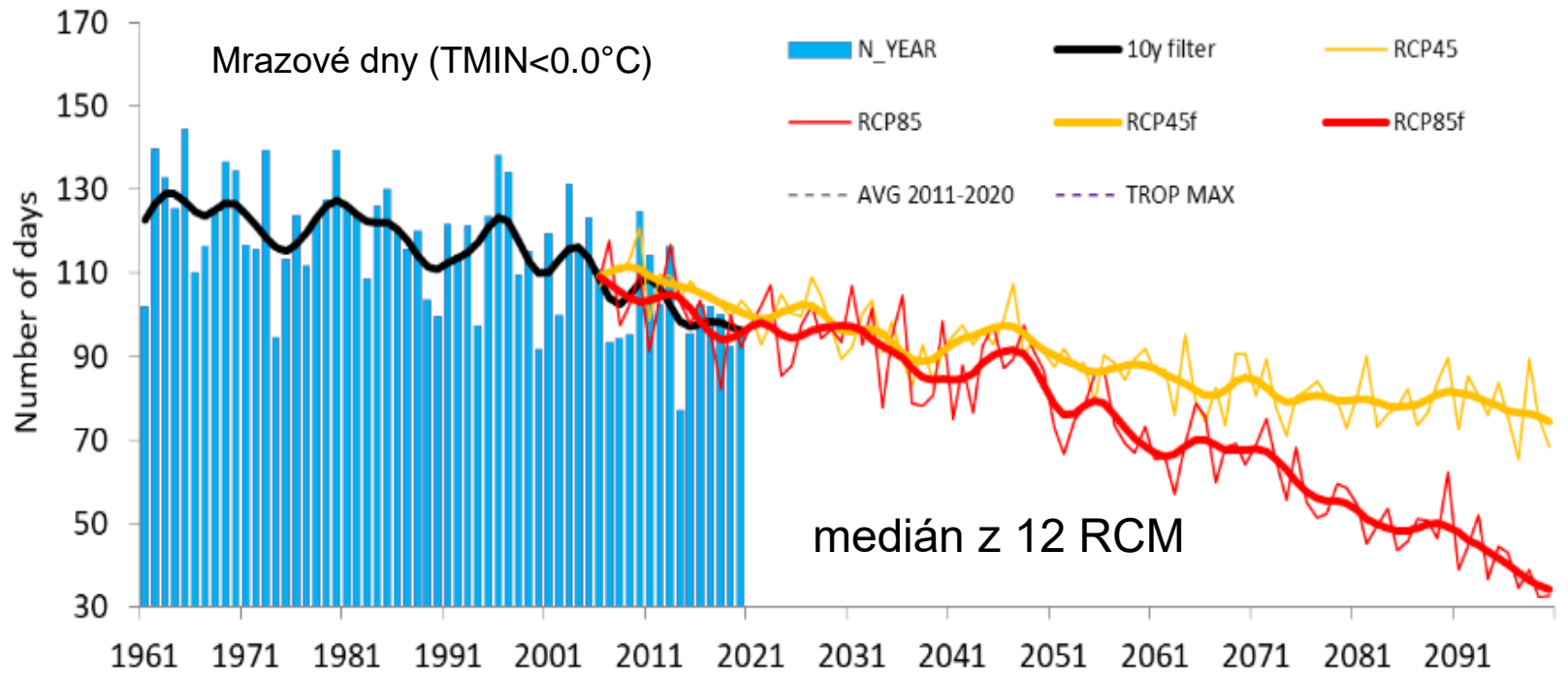


Porovnání dvacetiletých nekorigovaných (a) a korigovaných (b) modelových projekcí průměrných denních rychlostí větru (MDWS) pro emisní scénáře RCP4.5 a RCP8.5. Krabicové grafy ukazují meze hodnot pro všech 11 Euro-CORDEX RCM simulací (Brázdil et al., Climate Research, 2019)

Tropické dny (TMAX≥30.0°C)



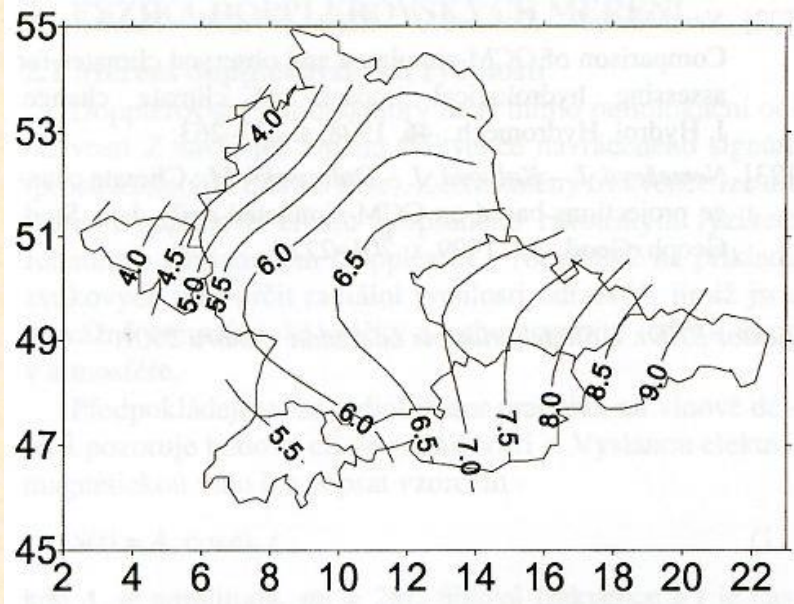
Mrazové dny (TMIN<0.0°C)



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
- 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
- rozdíly ve scénářích aplikujících GCM výstupy a statistický downscaling mohou být dosti značné

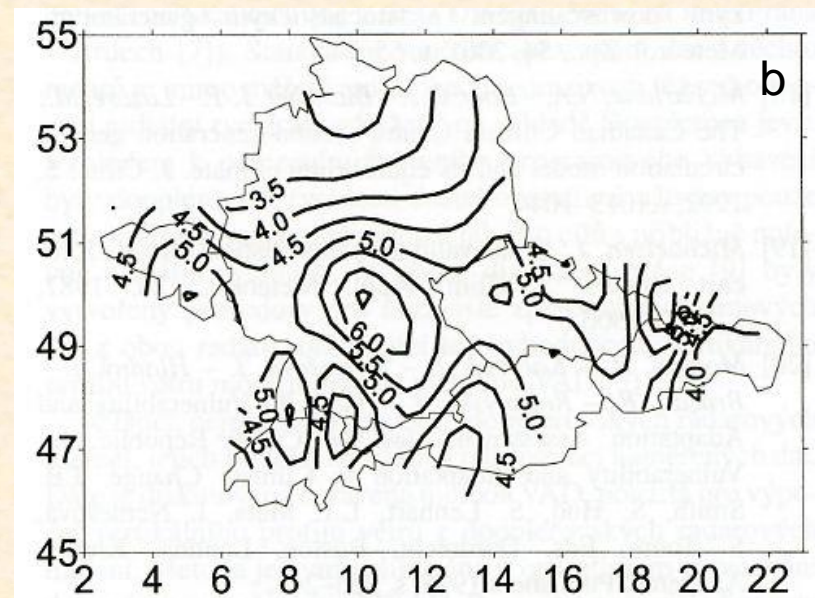
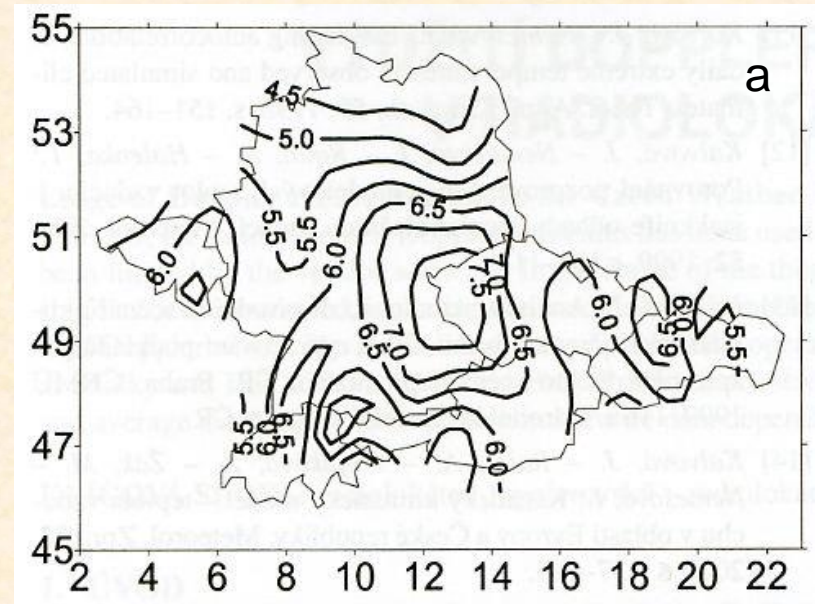


Přímý výstup z CCCM (Canadian Climate Center Model)

Očekávané oteplení (°C) pro průměrné denní teploty vzduchu v zimě (Huth, Kyselý, 2001)

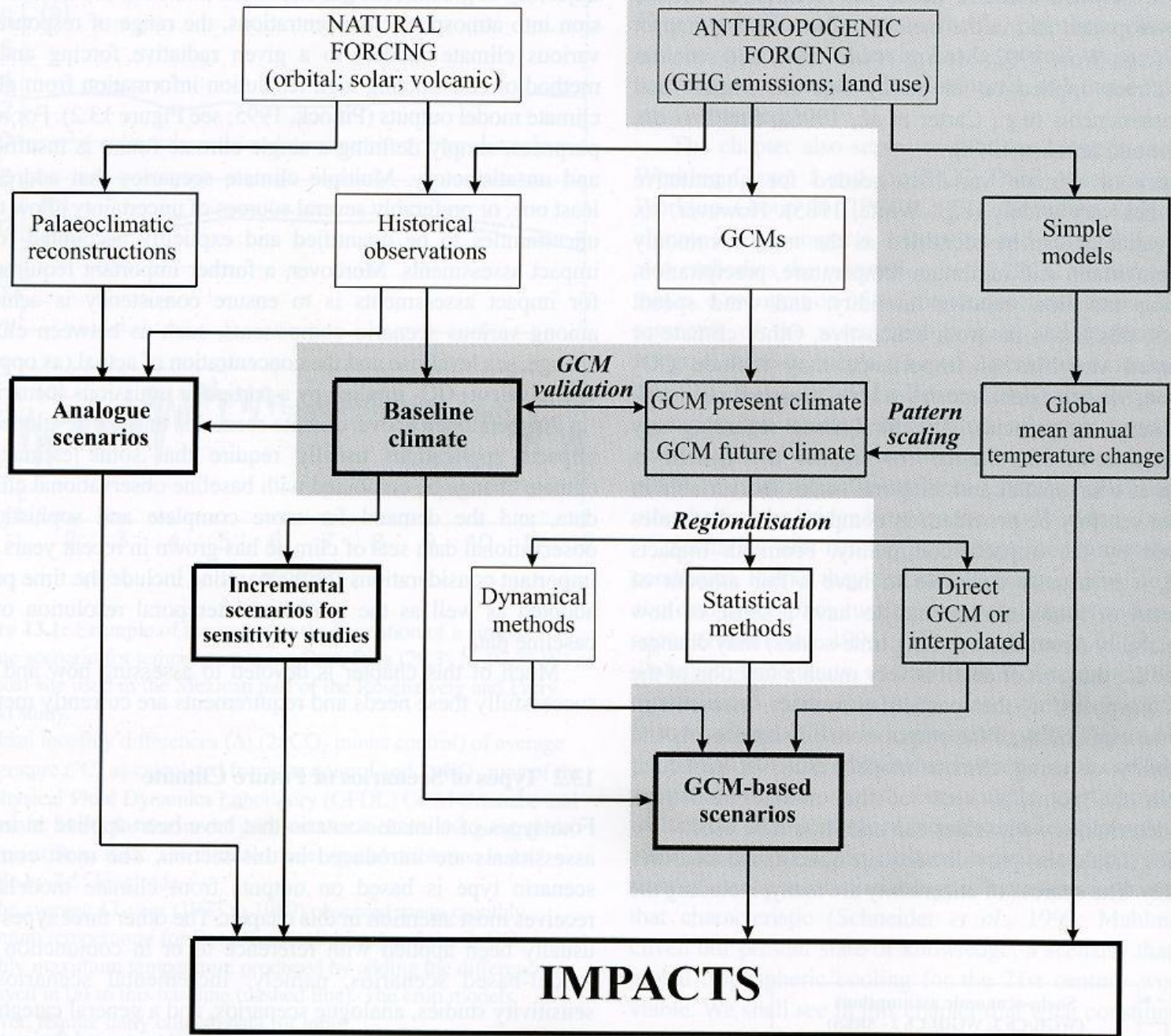
Downscaling: a) výšky hladiny 500 hPa a teploty v 850 hPa v modelu CCCM, b) výšky hladiny 500 hPa v modelu CCCM

Downscaling



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 multiplikatивních 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:

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.

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.

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.

Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M. M. B., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. M., eds. (2013): Climate Change 2013: The physical science basis. Working group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1535 s.

Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., et al. (2014): EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14, 563–578

Kotlarski, S., Keuler, K., Christensen, O.B., et al. (2014): Regional climate modeling on European scales: a joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble. *Geoscientific Model Development*, 7, 1297–1333

Štěpánek, P., Zahradníček, P., Farda, A., Skalák, P., Trnka, M., Meitner, J., Rajdl, K. (2016): Projection of drought-inducing climate conditions in the Czech Republic according to Euro-CORDEX models. *Climate Research*, 70, 179–193

Štěpánek, P., Zahradníček, P., Farda, A., Skalák, P., Trnka, M., Meitner, J., Rajdl, K. (2016): Climate projections for the Czech Republic based on Euro-CORDEX simulations. In: Vačkář, D., Janouš, D., eds.: *Global Change & Ecosystems. Climate change adaptation pathways from molecules to society*. Global Change Research Institute, Brno, Vol. 2, 38-48

Štěpánek, P., Trnka, M., Meitner, J., Dubrovský, M., Zahradníček, P., Lhotka, O., Skalák, P., Kyselý, J., Farda, A., Semerádová, D. (2019): Očekávané klimatické podmínky v České republice. Část I. Změna základních parametrů. Ústav výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, Brno (<https://www.klimatickazmena.cz/cs/o-nas/aktuality/ocekavane-klimaticke-podminky-v-ceske-republice-cast-i-zmena-zakladnich-parametru/>)