

IPCC - Fifth Assessment Report (2013)

Technical Summary

TS.1 ÚVOD

Hlavním cílem této zprávy je poskytnout souvislosti mezi rozsáhlou hlavní zprávou obsahující 14 kapitol a naopak zkrácenou zprávou pro politiky. Tato zpráva obsahuje odkazy na výše zmíněné zprávy. Nedílnou součástí této zprávy je vyjádření nejistoty pro dané výsledky výzkumu.

Rozdělení do 6 kapitol: *introduction, Observation of Changes in the Climate System, Drivers of Climate Change, Understanding the Climate System and Its Recent Changes, Projections of Global and Regional Climate Change, Key Uncertainties*

Stupeň spolehlivosti je vyjádřen dvěma způsoby, kvalitativně a kvantitativně.

Term*	Likelihood of the outcome
<i>Virtually certain</i>	99–100% probability
<i>Very likely</i>	90–100% probability
<i>Likely</i>	66–100% probability
<i>About as likely as not</i>	33–66% probability
<i>Unlikely</i>	0–33% probability
<i>Very unlikely</i>	0–10% probability
<i>Exceptionally unlikely</i>	0–1% probability

* Additional terms (*extremely likely*: 95–100% probability, *more likely than not*: >50–100% probability, and *extremely unlikely*: 0–5% probability) may also be used when appropriate.

Obr. 1 Vyjádření stupně spolehlivosti ve zprávě IPCC.

TS.2 VÝZKUM ZMĚN V KLIMATICKÉM SYSTÉMU

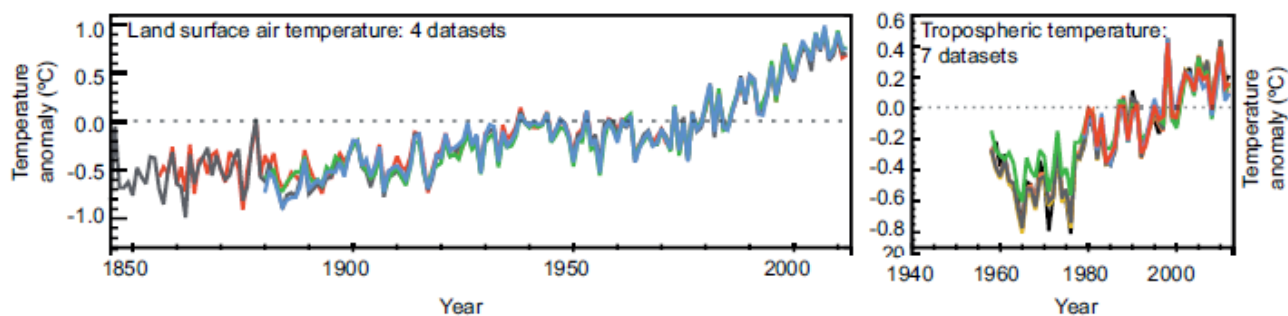
Změny v teplotě

Povrch

Všechny tři poslední dekády byly teplejší, co se zemského povrchu týče, než ty předešlé, přístrojově měřené. Dekáda po roce 2000 byla nejteplejší. Vzestup mezi intervaly 1850-1900 a 2003-2012 je 0,78 °C (HadCRUT4). Prakticky jisté také je, že minimální a maximální teploty na globální úrovni od roku 1950 vzrostly. Trend vzrůstu teplot je od roku 1998 nižší než trend od roku 1951. Ovšem u takto krátkých intervalů velice záleží na počátečním a koncovém roku. Potom se trend může velmi lišit. Je *nepravděpodobné*, že by tepelné ostrovy města či změna land use ovlivnily výsledky více jak 10 %. V případě severní polokoule bylo posledních 30 let *velmi pravděpodobně* nejteplejší za posledních 800 let a *pravděpodobně* i za 1 400 let.

Troposféra a Stratosféra

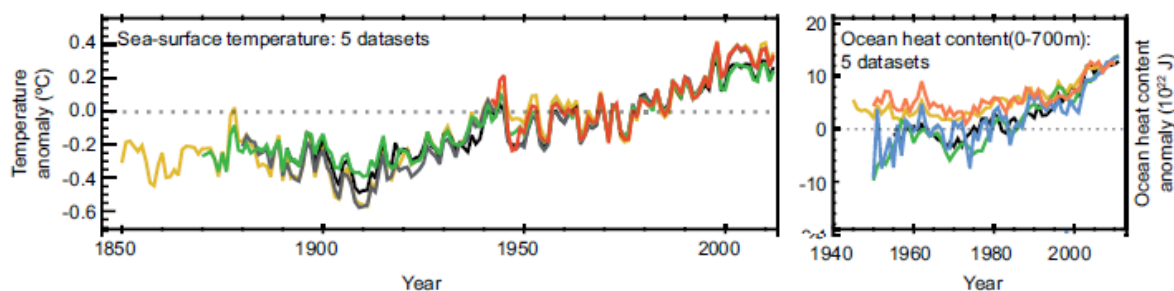
Na základě měření radiosond a satelitních měření je *prakticky jisté*, že globálně se troposféra oteplila a stratosféra ochladila od poloviny 20. St.



Obr. 2 Ukazatelé zobrazující vývoj teploty zemského povrchu od roku 1850 a troposféry (vpravo) od roku 1950.

Oceán

Je *prakticky jisté*, že se svrchní část oceánu (nad 700 m) oteplila v období 1971-2010, a *pravděpodobně* v období 70. léta 19. st. - 1971. Před rokem 1971 je nižší jistota uvedena především kvůli nižšímu počtu odebírání vzorků. Dále je *pravděpodobné*, že se oceán oteplil ve vrstvě 700-2000 m mezi roky 1957-2009, na základě 5-letých průměrů. Je také *pravděpodobné*, že se oteplil oceán pod 3000 m mezi roky 1992 a 2005, a to nejvíce v Jižním oceánu, zatímco oteplení v hloubce 2000 - 3000 m nebylo zaznamenáno.



Obr. 3 Ukazatelé zobrazující vývoj teploty oceánu od roku 1850 a obsahu tepla (vpravo) od roku 1950.

Změny v energetické bilanci a obsahu tepla

Země je v radiační nerovnováze alespoň od roku 1970. Je prakticky jisté, že v tomto období Země získala od Slunce značné množství energie. Toto zvýšení činilo přibližně 274×10^{21} J, s rychlostí ohřevu 213×10^{12} od průměru za toto období (1970-2010). Z tohoto ohřevu většina spadá na oceán, a to 93 %, dále 3 % připadají na tání ledovců, 3 % na ohřev kontinentů a 1 % na ohřev atmosféry. S pravděpodobností 33 - 63 % se vrchní vrstva oceánu (do 700 m) ohřívala mezi roky 2003 - 2010 pomaleji než v období 1993-2002.

Změny v cirkulaci a modech variability

S velkou pravděpodobností vedl nárůst západních větrů středních šířek a NAO indexu od 50. let do 90. let 20. st., a také oslabení Pacifické Walkerovy cirkulace v období konce 19. st. až po 90. léta 20. st., ke kompenzaci, která se projevuje v současné změně.

Je *pravděpodobné*, že se od 70. let 20. st. složky cirkulace posunuly směrem k pólům, což zahrnuje také rozšiřování tropického pásu, posun pásu bouří a jet streamu směrem do vyšších z.š. a zmenšení severního polárního vortexu. Tento trend je prokazatelnější na severní polokouli. Dle nových výsledků z korálových záznamu lze s vysokou pravděpodobností stanovit, že za posledních 7 000 let ENSO systém vykazuje značnou variabilitu. Dále je velmi pravděpodobné, že se subtropická cirkulace v severním a jižním Pacifiku rozšířila a zesílila. Co se týče cirkulace nad Atlantikem, není zde zjevný žádný trend. Dále také mezi lety 1950-2010 došlo k jižnímu posunu Antarktického cirkumpolárního proudu o 1° z.š. s střední pravděpodobností.

Změny ve vodní cirkulaci a kryosféře

Atmosféra

Změna srážek před rokem 1950 je určena pouze s nízkou jistotou, zatímco po roce 1950 se střední jistotou, a to zejména kvůli nedostatku dat ze začátku této řady. Vezmeme-li v potaz metodu rekonstrukce, časové řady vykazují *pravděpodobně* změnou úhrnu srážek zhruba od roku 1901, a to nárůst úhrnů srážek ve středních zeměpisných šířkách severní polokoule. Od 70. let 20. st. se *velmi*

pravděpodobně zvyšuje vlhkost při povrchu a v troposféře, což se ovšem nedá tvrdit o posledních letech, které vykazují znaky opačné.

Ocean a surfacefluxes

Je velmi pravděpodobné, že od roku 1950 došlo ke značným změnám v salinitě. Obecně se v Atlantickém oceánu salinita zvýšila a naopak v Pacifiku a Jižním oceánu se snížila. Kontrast mezi nejnižší a nejvyšší salinitou se zvýšil o 0,13 v období 1950-2010.

Mořský led

Je zde velmi vysoká pravděpodobnost, že množství Arktického mořského ledu se snížilo v období 1979-2012. Ročník úbytek se velmi pravděpodobně pohybuje mezi 3,5-4,1 %. Je pravděpodobné, že tání stálého mořského ledu se v tomto období prodloužilo o 5,7 dne. Pravděpodobně klesl led v Arktidě (Arcticbasin) mezi roky 1980-2008 o 1,3-2,3 m. V Antarktidě je naopak velmi pravděpodobné, že mořský led narostl mezi roky 1979 a 2012 o 1,2 - 1,8 %. Tyto oblasti v rámci Antarktidy jsou však velmi kontrastní a na některých místech led přibývá a na jiných ubývá.

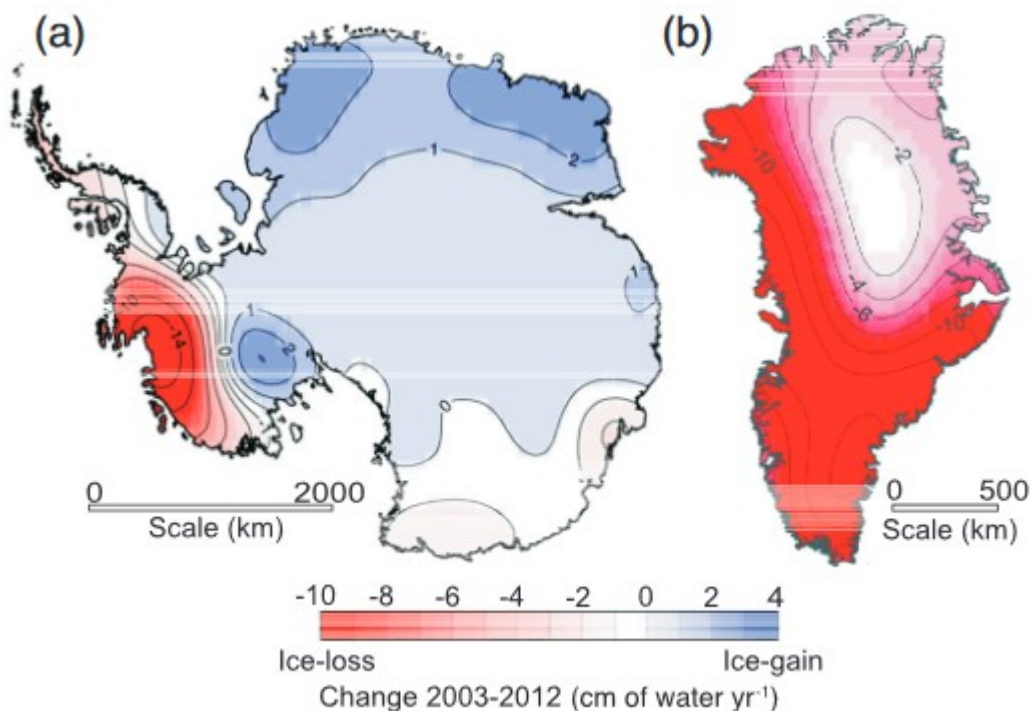
Ledovce a ledové příkrovy

Existuje velice vysoká pravděpodobnost, že se ledovce celosvětově zmenšují - jak v délce, ploše, objemu i hmotnosti. Množství z dat pochází ze satelitních snímků.

Je velice vysoká pravděpodobnost, že během posledního desetiletí se největší ztráty na ledovcích odehrály na Aljašce, v kanadské Arktidě, na periferii Grónska, v jižních Andách a v asijských velehorách. Společně tyto oblasti spolu zabírají víc jak 80% celkové ztráty ledovců.

Existuje také vysoká pravděpodobnost, že ledovce budou v budoucnu tát i v případě, že by se teplota dál nezvedala.

Velmi vysoká pravděpodobnost, že ledovec v Grónsku roztává hlavně v posledních dvaceti letech. Dálkovým průzkumem Země se zjistilo, že s vysokou pravděpodobností led odtává v několika sektorech, a že se tyto prostory rozšiřují. S vysokou pravděpodobností se akcelerace zvýšila po roce 1992 - průměrně došlo ke zdvihu ze 34 Gt/rok v letech 1992 - 2001 na 215 Gt/rok v letech 2002-2011. Úbytek ledu v Grónsku s vysokou pravděpodobností souvisí s roztáváním povrchu ledovce a odtokem vody.



Obr. 4 Rozložení ztráty ledu vyobrazen v cm/rok pro období 2003-2012 - a) Antarktida, b) Grónsko.

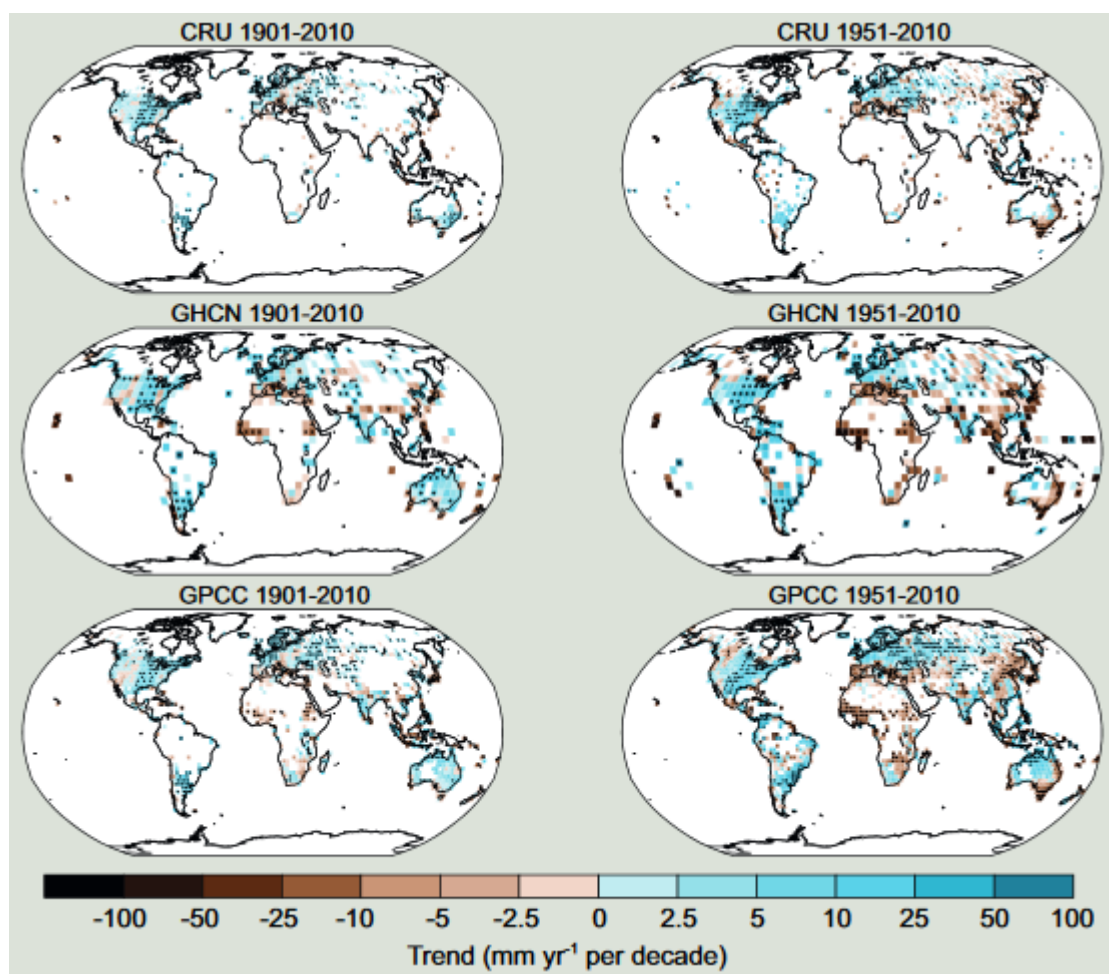
Za posledních dvacet let s vysokou pravděpodobností antarktický ledovec odtává. S velice vysokou pravděpodobností se tyto ztráty dějí především na severu Antarktického poloostrova a v Amundsenově moři v sektoru Západní Antarktidy a jsou výsledkem akcelerace odtoku vody z ledovců. Průměrná velikost ztráty ledovce se pravděpodobně zvedla ze 30 Gt/rok v letech 1992 - 2001 na 147 Gt/rok v letech 2002-2011. S vysokou pravděpodobností šelfové ledovce kolem Antarktického poloostrova ubývají ve svojí rozloze.

S velmi vysokou pravděpodobností se sněhová pokrývka na severní polokouli zmenšuje, hlavně na jaře. Satelitní snímky ukazují, že v období 1967 - 2012 sněhová pokrývka nejspíš ubývala - největší změna byla zachycena v červnu (-53 %). V delším období 1922 - 2012 jsou data dostupné jenom pro březen a duben a dle nich se jedná nejspíš o 7% pokles. Je pravděpodobné, že se na tomhle snižování sněhové pokrývky podílí od 70. let 20. století člověk. Na jižní polokouli je velice obtížné dospět k závěrům, jestli se nějaké změny odehrály.

S vysokou pravděpodobností se od 80. let 20. století zvedla teplota permafrostu ve většině regionů. S vysokou pravděpodobností došlo k těmto nárůstům v důsledku zvýšení teploty vzduchu a ubývání sněhové pokrývky.

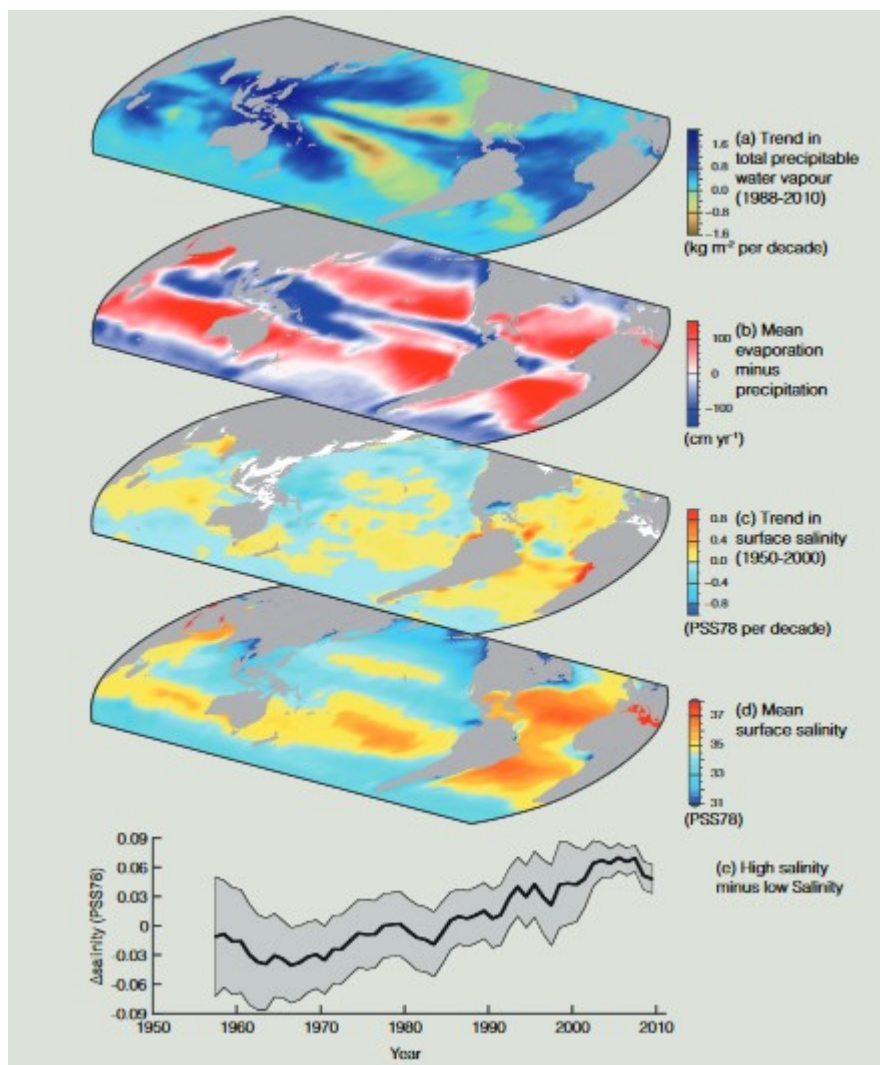
Změny v hydrologickém cyklu

Hydrologický cyklus opisuje celkový kontinuální pohyb vody přes klimatický systém ve všech skupenstvích. Tento pohyb vody je nutně potřebný pro udržení života na Zemi, pro lidstvo i přírodu. Dle pozorování cyklu vody v přírodě se dá říct, že nasycení vzduchu vodní parou roste se zvyšující se teplotou, a proto se očekává, že množství vodní páry ve vzduchu poroste s oteplováním se klimatem. Specifická troposférická humidita nejspíš narostla od 70. let 20. století. Takle změna množství vodní páry je se střední pravděpodobností přisuzována lidskému vlivu. Co se týče srážek, ty je těžší změřit, a proto jsou změny ve srážkách hůř hodnotitelné. V současnosti je střední pravděpodobnost, že člověk ovlivňuje průběh srážek v celosvětovém měřítku, což v sobě zahrnuje i zvyšování srážek od středních do vysokých zeměpisných šířek severní polokoule. Taky je pravděpodobné, že ve většině případů dochází i ke snižování množství sněhových srážek, a to na místech, kde vzrůstají zimní teploty.



Obr. 5 Pozorování srážkové změny nad pevninou v období 1901 - 2010 (nalevo) a 1951 - 2010 (napravo).

I když se nedá úplně přesně odměřit vývoj trendu srážek a výparu, s jistotou můžeme ale říct, že povrchová salinita oceánů, která závisí od rozdílu mezi srážkami a výparem, má výrazně stoupající trend. Tenhle trend se se střední pravděpodobností zvýšil od 50. let 20. století a je velice pravděpodobné, že se na změnách povrchové i podpovrchové salinity významně podílí člověk.



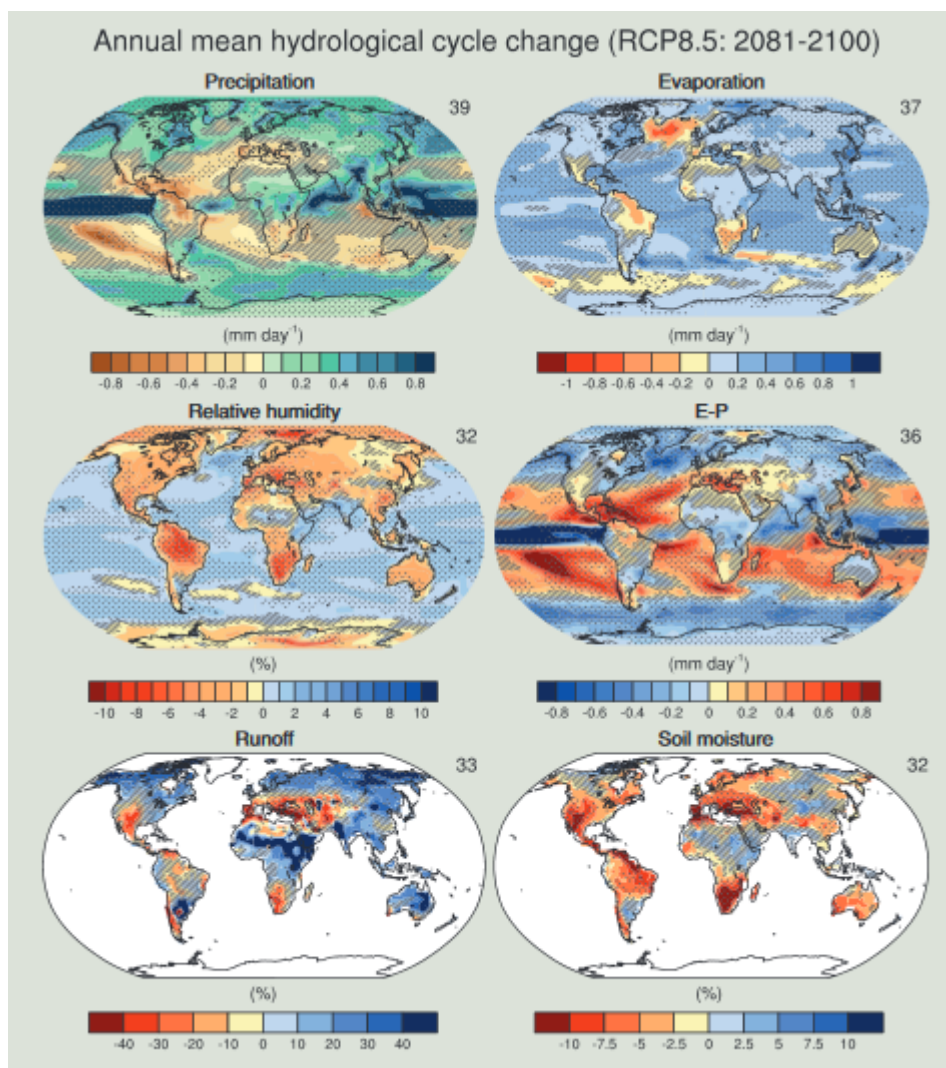
Obr. 6 Změny salinity povrchu oceánů - a) Lineární trend srážkové vody (1988-2010), b) Rozdíl průměrné evaporace a srážek (1979-2005), c) Trend povrchové salinity (1950-2000), d) Průměrná míra povrchové salinity, e) Rozdíl salinit (high/low - povrchová salinita je vyšší/nížší než průměr celosvětové povrchové salinity).

Projekce budoucích změn

V celosvětovém měřítku jsou srážky naprojektovány na zvyšování v průběhu 21. století. Zvyšování srážek je ale naprojektováno (očekává se) v menší míře nežli projekce nárůstu vodní páry v nižší troposférické vrstvě, která se výrazně zvyšuje. Pevniny vyšší zeměpisné šířky budou v budoucnu pravděpodobně zažívat zvětšení počtu srážek právě kvůli vyššímu obsahu vodní páry v oteplující se atmosféře. Subtropické aridní oblasti a regiony středních zeměpisných šířek budou v budoucnu pravděpodobně mít méně srážek. Největší změny srážek se očekávají v severní Eurasii a Severní Americe v průběhu zimy.

Co se týče vlhkosti půdy a sucha, je pravděpodobné, že bude docházet k vysychání v Mediteránu, na jihozápadě USA a v regionech jižní Afriky, což souvisí se stoupajícím trendem nárůstu teploty.

Hodnoty odtoku budou pravděpodobně poklesávat na jihu Evropy a Středním Východě, naopak růst by měly ve vyšších zeměpisných šířkách.

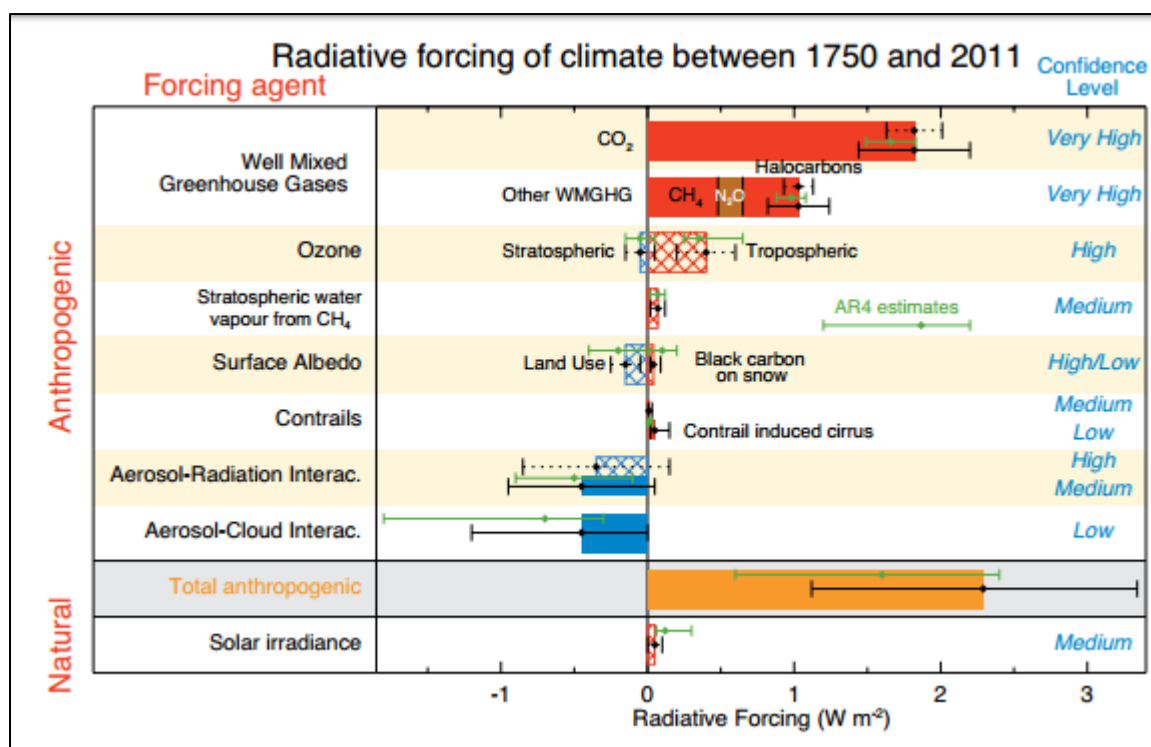


Obr. 7 Roční průměrné změny ve srážkách, výparu, relativní humiditě, rozdílu výparu a srážek, odtoku a vlhkosti půdy pro období 2081-2100, vztaženo k 1986-2005.

TS.3 HLAVNÍ OVLADAČE KLIMATICKÉ ZMĚNY

Lidské aktivity změny a stále mění povrch Země a složení atmosféry. Některé z těchto změn mají přímý či nepřímý dopad na energetickou bilanci Země a jsou tedy hlavními poháněči klimatické změny. Rozhodující silou, která o energetické bilanci rozhoduje je radiační působení. Pokud je kladné, tak se Země otepluje a pokud záporné, tak se ochlazuje.

Klimatická změna ale závisí i na přímých vlivech ze Země. Jedná se o změny povrchu, jak v lokálním, tak i regionálním měřítku. Velkou měrou se podílejí i lidské aktivity, jelikož mění složení atmosféry (ať už přímo – skleníkové plyny či nepřímo). Radiační bilance se totiž nejvíce změnila mezi lety 1750 – 2011, což je období industriální éry. Historické koncentrace skleníkových plynů a **obsahu CO₂** jsou totiž známé z výzkumů ledovcových jader a při srovnání se současností je patrný rozdíl. Jen za industriální éru se podíl CO₂ zvýšil o 1,82 Wm⁻². Podíl CO₂ se zvyšuje každou dekádu asi o 0,3 Wm⁻² a přispívá tak ke zvyšování radiačního působení. Dalším skleníkovým plynem je **CH₄**, který je v současnosti jedním z nejdůležitějších a zřejmě působí na radiační bilanci nejvíce ze všech dalších zkombinovaných skleníkových plynů. S lidskými aktivitami jsou také spojeny **ozon** a stratosférický **výpar vody**. Nárůst ozonu v atmosféře byl patrný především v 90. letech v mnoha oblastech a v poslední dekádě pokračuje hlavně v Asii a v Evropě. Změna radiačního působení díky O₃ je 0,35 Wm⁻². Ozon ale není přímo vyslán do atmosféry, vzniká díky fotochemickým reakcím v atmosféře. Stejnou měrou na radiační bilanci mají vliv i **antropogenní aerosoly**.



Obř. 8 Radiační působení na klimatické změny skřz industriální éru.

Je potvrzeno, že **antropogenní změny** využívání půdy jako odlesňování zvýšily albedo Země. Jak velkou změnu tyto přeměny způsobují, je stále diskutováno. Nicméně změny povrchu způsobují i další proměny, které mají vliv na teplotu, drsnost povrchu, odtok vody apod. Tyto proměnné je těžké kvantifikovat, ale měli by ovlivňovat albedo povrchu v globálním měřítku. Většina se ale projevuje hlavně lokálními změnami, jakými je i vyšší koncentrace skleníkových plynů např. díky změně land-use (jakým je právě odlesňování).

Přírodními silami, které se rovněž podílejí na radiačním působení, je **solární a vulkanické působení**. Od roku 1978 je možno sledovat víceméně 11letý cyklus solárního záření, což dokazují satelitní data. Stejně jako u ostatních proměnných se předpokládá, že se radiační působení díky tomu nepatrně změnilo přes industriální éru. Ve sledovaných satelitních datech se ale nacházejí rozdíly, tudíž se udává několik různých údajů o změně radiačního působení (od $0,05 \text{ Wm}^{-2}$). Obecně změna solární aktivity ovlivňuje tok kosmického záření na hranici atmosféry, která se mění hlavně díky zvyšující se oblačnosti. Co se vulkanické činnosti týče, je dokázáno, že ta ovlivňuje atmosféru ještě několik let po erupcích. Je nutné zmínit, že obsah CO_2 z těchto erupcí je stonásobně menší než z antropogenní činnosti. Pokud dojde k větším erupcím (např. Mt. Pinatubo 1991), tak prachové částice ovlivňovaly atmosféru alespoň po dekádu. Ty menší ale nejsou pro atmosféru až tak zásadní, jako horší se stejně jeví antropogenní činnost.

Klimatické zpětné vazby

Klimatické změny mohou být také ovlivňovány zpětnými vazbami. Klimatické změny mohou totiž způsobit změny v uhlíkovém, vodním či jiném biochemickém cyklu, které následně buď zesilují (**pozitivní zpětná vazba**) nebo zeslabují (**negativní zpětná vazba**) předpokládaný nárůst teploty.

Zpětná vazba albeda **sněhu a ledu** je pozitivní, vede ke zvyšování teploty. Pokud se Země otepluje, dochází k tání ledovců a tím i ke snížení albeda a ke zvýšení množství absorbovaného slunečního záření, což vede k oteplování podnebí. Velmi pravděpodobně způsobují změny **vodní páry** v atmosféře pozitivní zpětnou vazbu. Při oteplování klimatu se zvýší výpar, který má za následek vyšší koncentraci vodní páry v atmosféře, která pak způsobí další oteplení skleníkovým efektem. Tento jev však ovlivňují také typy **oblaků**. Vyšší oblaka zpravidla pohlcují více slunečního záření a ovlivňují tak oteplování pozitivní zpětnou vazbou, naopak nízká oblaka spíše záření odráží zpátky do vesmíru a dochází tak k negativní zpětné vazbě. Dalším důležitým faktorem, jehož zpětné vazby ovlivňují klima, je **uhlíkový cyklus**. Jedná se však o velmi komplikovaný proces. Zvyšující se koncentrace CO_2 v atmosféře přispívají ke zvyšování teploty, což může v určitých oblastech zapříčinit pozitivní zpětnou vazbu zintenzivněním půdní respirace (která opět vede k vyšším koncentracím atmosférického CO_2). Může však také docházet k negativním zpětným vazbám, a to spotřebováváním CO_2 rostlinami. Při zvýšených teplotách se může prodloužit doba, kdy rostou rostliny, které pak více absorbují atmosférický oxid uhličitý a tím mohou utlumit globální oteplování atmosféry. Je tedy velmi obtížné určit, jaký dopad má uhlíkový cyklus na klima, jaká zpětná vazba převažuje v globálním měřítku. V oceánech převažuje pozitivní zpětná vazba uhlíkového cyklu. Teplejší voda v oceánech a mořích rychleji rozkládá organický uhlík, který přetváří v CO_2 unikající do atmosféry. V atmosféře je tedy oxidu uhličitého více i díky tomu, že jej teplejší vody hůře rozkládají, a tak je ho v atmosféře více po delší dobu. Opět však existuje i negativní zpětná vazba, kdy s tajícími ledovci může přibývat planktonu, který naopak lépe spotřebovává atmosférický oxid uhličitý a zpomaluje tak nárůst teploty vzduchu.

TS.4 POROZUMNĚNÍ KLIMATICKÉMU SYSTÉMU A JEHO SOUČASNÝM ZMĚNÁM

Úvod

Pozorované a modelové změny, především vodního cyklu, energetické bilance, kryosféry a oceánů (včetně okyselování) ukazují na globální změny v klimatu v důsledku primárně antropogenního působení.

Povrchová teplota

V posledních letech byla značně věnována pozornost zlepšení modelů povrchové teploty, jak pro budoucí předpovědi, tak v rámci historické klimatologie. Pozorovaná data z období 1951-2010 potvrzují celkové oteplení většiny povrchu Země, především na kontinentech severní polokoule. Zde se také nachází nejhustší síť pozorovacích stanic a simulace zde také obsahují nejsilnější antropogenní vliv na změnu klimatu. Několik studií zkoumalo vliv Atlantské Multi-dekádní Oscilace (AMO) na průměrnou světovou povrchovou teplotu. Zatímco některé studie zjistily významný vliv AMO na průměrnou světovou povrchovou teplotu, trend mezi roky 1951 a 2010 odhalil oteplení pouze o méně než 0,1°C.

Je velmi pravděpodobné, že aktivita lidské společnosti měla významný vliv na zvyšování průměrné světové povrchové teploty za období 1951-2010. To potvrdilo mnoho studií s různými metodami výzkumu. Celková bilance v rámci antropogenního i přírodního působení, průměrné globální teploty povrchu Země za období 1951-2010 vzrostly o 0,6°C. Solární vliv na zvyšování průměrné teploty povrchu Země za období 1951-2010 byl vyhodnocen jako velice nepravděpodobný, protože Sluneční aktivita v letech 1986 až 2008 stále klesala. Nicméně je pravděpodobné, že Sluneční jedenáctiletý cyklus neovlivňuje dekádoovou oscilaci teploty.

Oteplování posledních 60 let ve značně větším rozsahu, než jaká byla klimatická variabilita v období před měřicími přístroji a je to rovněž značně mimo rozsah variability modelů simulujících klimatický vývoj. Přírodní vliv na změny klimatu za zmíněné období byl vypočten do rozmezí -0,1 až +0,1 °C a proto oteplení o 0,6°C nelze vysvětlit pouze přírodním přičiněním.

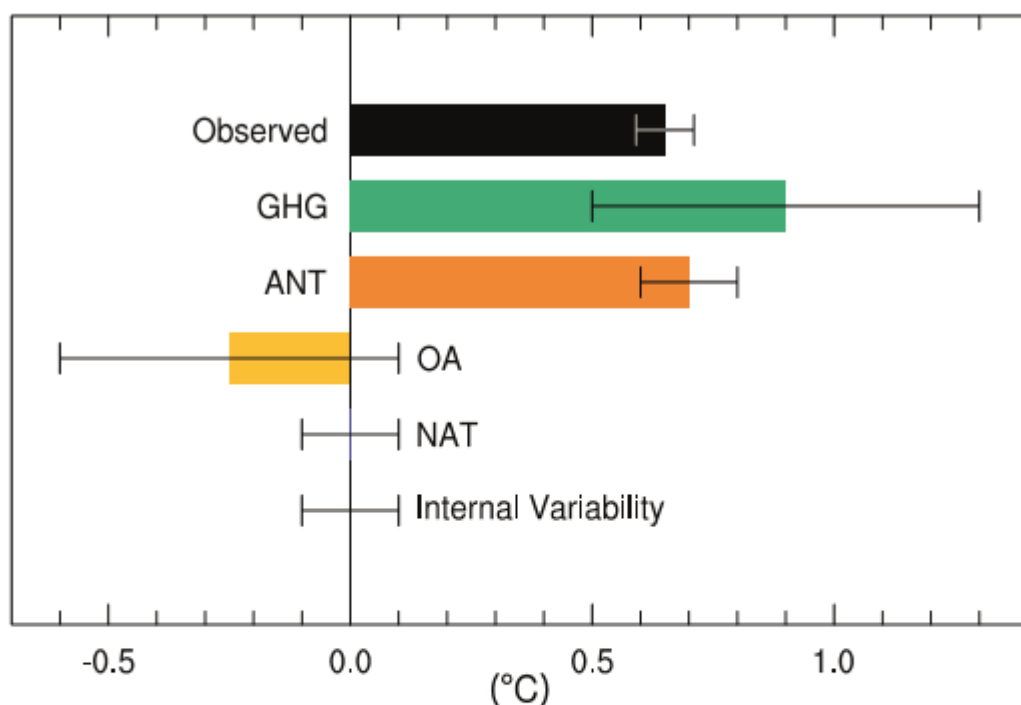


Figure TS.10 | Assessed *likely* ranges (whiskers) and their midpoints (bars) for warming trends over the 1951–2010 period due to well-mixed greenhouse gases (GHG), anthropogenic forcings (ANT) anthropogenic forcings other than well-mixed greenhouse gases (OA), natural forcings (NAT) and internal variability. The trend in the Hadley Centre/ Climatic Research Unit gridded surface temperature data set 4 (HadCRUT4) observations is shown in black with its 5 to 95% uncertainty range due only to observational uncertainty in this record. {Figure 10.5}

Obr. 9 intenzita vlivu jednotlivých faktorů na zvyšující se povrchovou teplotu Země.

Klimatické modely a mezera v průměrném globálním oteplení povrchu Země za posledních 15 let

V rámci pozorování změn klimatu bylo zjištěno v posledních 15 letech výrazné zpomalení zvyšování globálních teplot, než jaké zde bylo posledních 30 až 60 let. To vyvolalo dvě hlavní otázky: co to způsobilo a zda lze příčiny namodelovat. Celá tato pauza v globálním oteplení může mít tři příčiny: Vnitřní klimatickou variabilitu, nedostatečně, nebo nesprávně známá radiační bilance a chybovost předpovědního modelu.

Vnitřní klimatická variabilita

Výskyt pauzy v oteplení může mít jako jednu z příčin dekadovou variabilitu klimatu, jako vnitřní cyklus, kterým může někdy působit v opačných hodnotách, než je celkový trend. Tento 10-15 letý cyklus tak může v tomto časovém úseku celkový trend vzrůstajících teplot zpomalit. Zpomalení oteplení může mít také za příčinu intenzivnější výměnu tepla mezi atmosférou a přívodovou

vrstvou oceánu. Oceány tak reagují na energetickou rovnováhu a absorbují více tepla z atmosféry než v minulosti. Dle některých modelů, tato událost je spojena s velice silným El Niño v roce 1998.

Radiační působení

Vzrůstající efektivní radiační působení vykazuje stálý lineární trend. Jako odezva se zvyšuje průměrná globální teplota povrchu. Toto působení bylo stanoveno jako růst o 1% CO₂ vzroste dle modelu CMIP5 o 2 (1,3-2,7) Wm⁻²°C⁻¹. Mode energetické bilance za období 1998–2011 vykazuje vzrůst o 0,22 Wm⁻², což je méně, než za období 1984–1998 (0,32). Nicméně je nutné poznamenat, že v roce 1982 byla významná vulkanická aktivita, která mohla hodnoty za dané období ovlivnit.

Maximum Sluneční periody bylo v roce 2000, což zvýšilo přijaté záření asi o 0,15 Wm⁻², nicméně vulkanický aerosol ve stratosféře vedl ke snížení energetické bilance za období 1998 až 2011 o -0,06 Wm⁻².

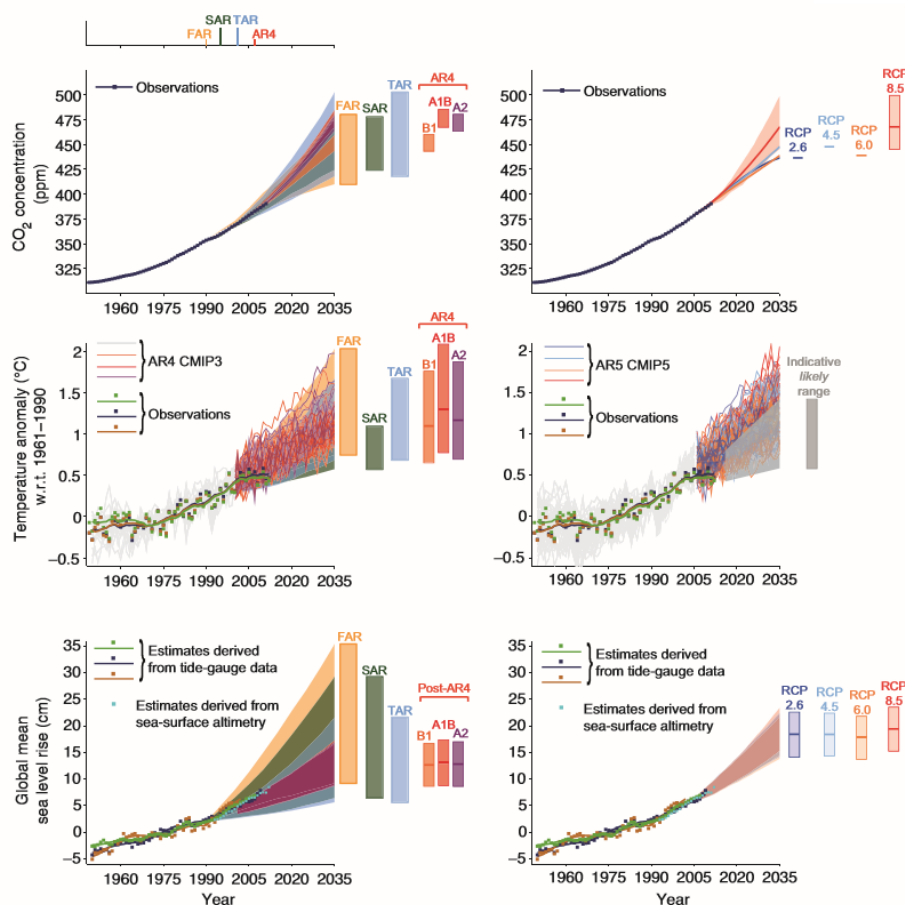
Chybovost modelu

Rozdíly mezi hodnotami modelů a pozorovanými hodnoty v období 1998–2012 mohou být vysvětleny tendencí některých modelů předpovídat silnější oteplení v reakci na zvyšující se koncentraci skleníkových plynů. Modely přecíslovali parametry antropogenních faktorů, proto by se aktuální hodnoty těchto parametrů měly přecíslovat dle aktuálních naměřených dat. Pro krátkodobé modely by to mělo být snížení až o 10%.

Další problémy modelů jsou především s koncentrací vodních par ve vysoké atmosféře. Zdá se, že množství vodní páry ve vysoké atmosféře se snižuje především po roce 2000 z důvodu dlouhodobého vyzařování. Snižování vodní páry ve vysoké atmosféře tam mohlo být modelem vyhodnoceno jako zanedbatelné, ale na celkové oteplování bude mít nejspíše větší vliv, než se zdálo. Po roce 2005 se ale koncentrace vodních par ve vysoké atmosféře znovu začala zvyšovat.

Vulkanická činnost a sluneční cyklus tak měly zpomalující účinek na oteplování zřejmě silnější, než se zdálo. Očekával se také rychlejší nárůst antropogenního vlivu na klima.

1. TFE.3 Porovnání předpovědí z předchozích zpráv IPCC s aktuálním pozorováním



TFE.3, Figure 1 | (Top left) Observed globally and annually averaged CO₂ concentrations in parts per million (ppm) since 1950 compared with projections from the previous IPCC assessments. Observed global annual CO₂ concentrations are shown in dark blue. The shading shows the largest model projected range of global annual CO₂ concentrations from 1950 to 2035 from FAR (First Assessment Report; Figure A.3 in the Summary for Policymakers (SPM) of IPCC 1990), SAR (Second Assessment Report; Figure 5b in the TS of IPCC 1996), TAR (Third Assessment Report; Appendix II of IPCC 2001), and for the IPCC Special Report on Emission Scenarios (SRES) A2, A1B and B1 scenarios presented in the AR4 (Fourth Assessment Report; Figure 10.26). The publication years of the assessment reports are shown. (Top right) Same observed globally averaged CO₂ concentrations and the projections from this report. Only RCP8.5 has a range of values because the emission-driven scenarios were carried out only for this RCP. For the other RCPs the best estimate is given. (Middle left) Estimated changes in the observed globally and annually averaged surface temperature anomaly relative to 1961–1990 (in °C) since 1950 compared with the range of projections from the previous IPCC assessments. Values are harmonized to start from the same value at 1990. Observed global annual temperature anomaly, relative to 1961–1990, from three data sets is shown as squares and smoothed time series as solid lines from the Hadley Centre/Climatic Research Unit gridded surface temperature data set 4 (HadCRUT4; bright green), Merged Land–Ocean Surface Temperature Analysis (MLOST; warm mustard) and Goddard Institute for Space Studies Surface Temperature Analysis (GISTEMP; dark blue) data sets. The coloured shading shows the projected range of global annual mean near surface temperature change from 1990 to 2035 for models used in FAR (Figure 6.11), SAR (Figure 19 in the TS of IPCC 1996), TAR (full range of TAR, Figure 9.13(b)). TAR results are based on the simple climate model analyses presented in this assessment and not on the individual full three-dimensional climate model simulations. For the AR4 results are presented as single model runs of the CMIP3 ensemble for the historical period from 1950 to 2000 (light grey lines) and for three SRES scenarios (A2, A1B and B1) from 2001 to 2035. For the three SRES scenarios the bars show the CMIP3 ensemble mean and the *likely* range given by –40 % to +60% of the mean as assessed in Chapter 10 of AR4. (Middle right) Projections of annual mean global mean surface air temperature (GMST) for 1950–2035 (anomalies relative to 1961–1990) under different RCPs from CMIP5 models (light grey and coloured lines, one ensemble member per model), and observational estimates the same as the middle left panel. The grey shaded region shows the indicative *likely* range for annual mean GMST during the period 2016–2035 for all RCPs (see Figure TS.14 for more details). The grey bar shows this same indicative *likely* range for the year 2035. (Bottom left) Estimated changes in the observed global annual mean sea level (GMSL) since 1950. Different estimates of changes in global annual sea level anomalies from tide gauge data (dark blue, warm mustard, dark green) and based on annual averages of altimeter data (light blue) starting in 1993 (the values have been aligned to fit the 1993 value of the tide gauge data). Squares indicate annual mean values, solid lines smoothed values. The shading shows the largest model projected range of global annual sea level rise from 1950 to 2035 for FAR (Figures 9.6 and 9.7), SAR (Figure 21 in TS of IPCC, 1996), TAR (Appendix II of IPCC, 2001) and based on the CMIP3 model results available at the time of AR4 using the SRES A1B scenario. Note that in the AR4 no full range was given for the sea level projections for this period. Therefore, the figure shows results that have been published subsequent to the AR4. The bars at the right hand side of each graph show the full range given for 2035 for each assessment report. (Bottom right) Same observational estimate as bottom left. The bars at the *likely* ranges (*medium confidence*) for global mean sea level rise at 2035 with respect to 1961–1990 following the four RCPs. Appendix 1.A provides details on the data and calculations used to create these figures. See Chapters 1, 11 and 13 for more details. (Figures 1.4, 1.5, 1.10, 11.9, 11.19, 11.25, 13.11)

Obř. 10 Grafy srovnávající předchozí předpovědi vývoje koncentrace CO₂, teplot a hladiny světového oceánu se skutečným pozorováním.

Změny oxidu uhličitého

V období 1950 až 2011 koncentrace CO₂ stále narůstala. Narůstala v mezích předchozích modelů.

Anomálie globální průměrné teploty

Oproti referenčnímu období 1961-1990 průměrná globální teplota povrchu od roku 2001 vzrostla v průměru o 0,25°C. Pozorovaná průměrná teplota sice leží v mezích předpovědních modelů, ale při nižších hodnotách, než se očekávalo. Celkové oteplování se tedy zpomalilo z různých důvodů, jako jsou vulkanická činnost (MtPinatubo – 1991) nebo silné El Niño (1997-1998) a následná silná La Niña (1999-2001). Předpověď výskytů různých fází pacifické cirkulace je velice náročná a nepřesná a nelze přesně odhadnout jejich dopady na globální systém.

Průměrná globální hladina oceánu

Na základě přímého měření i satelitních dat, hladina světového oceánu za období 1961–1990 stále rostla. Pozorování ukazují periodická období rychlejšího a pomalejšího růstu hladiny. Pozorování jsou v souladu s předpovědními modely.

Teplota atmosféry

Satelitní pozorování volné troposféry za období 1979–2012 naznačuje strmý trend oteplování především v tropické zóně troposféry. Analýzy prováděny jak satelitním měřením, tak radiosondami naznačují, že prudký vzrůst teplot ve vyšší troposféře je způsoben především absorpcí slunečního záření aerosoly, jejichž koncentrace v troposféře stále roste. Tyto aerosoly jsou především antropogenního původu. Studium nižší stratosféry naznačuje pomalé ochlazování, to je v rámci některých studií přisuzované přirozenému vývoji. Nicméně jiné závěry naznačují, že se jedná o důsledek snížení koncentrace ozonu, což vede k nižší absorpci slunečního záření v těchto výškách. Proto je pravděpodobné, že oteplování troposféry a ochlazování stratosféry je výsledek antropogenního vlivu.

Oceány

Především na přelomu 20. a 21. století je pozorováno značné oteplení v rámci přípovrchové zóny moří a oceánů. Simulace ukazují, že se jedná o důsledek dvou základních faktorů: antropogenní a vulkanická aktivita. V rámci antropogenního vlivu se jedná především o zvyšování průměrné globální teploty a zásadní změny v povodí. Je velice pravděpodobné, že člověk zásadně zvyšuje teplotu oceánů do hloubky 700 m. Toto oteplení přípovrchové vrstvy oceánů má za následek především kvůli tepelné roztažnosti, zvedání hladiny světového oceánu. Dlouhodobé trendy naznačují, že existuje silná korelace mezi změnou průměrné teploty oceánů a změnou salinity přípovrchové vrstvy oceánů. Změny salinity oceánů také významně mění termohalinní cirkulaci v oceánech. V

rámci salinity oceánů ale výzkum ukazuje, že se zvětšuje rozdíl v salinitě. „Sladší“ vody se stávají stále méně slané a slanější vody se stávají stále více slané.

Hloubky větší než 250 m ale vykazují minimální reakci na změny povrchové vrstvy oceánů, pouze v rámci změn přirozených. Významná změna oceánů se také týká poklesu pH o 0,0014 až 0,0024 ročně, což je s vysokou pravděpodobností přisuzováno absorbování zvýšené koncentrace antropogenního CO₂.

Kryosféra

Změny v kryosféře jsou spojeny s antropogenním působením, přičemž se jedná o redukcí rozlohy mořského ledu v Arktidě, redukcí rozsahu sněhové pokrývky na severní polokouli, širokosáhlý ústup ledovců a zrychlující se tání ledu v Grónsku.

Lidský vliv na změny rozsahu mořského ledu je detekován od raných 90. let 20. století. Antropogenní signál je detekovatelný i pro jednotlivé měsíce od května do prosince, přičemž se předpokládá, že je nejvyšší v pozdním létě a nově také v chladných měsících.

Antarktida: Krátkodobost instrumentálního pozorování vylučuje hodnocení, zda je pozorovaný nárůst plochy mořského ledu od r. 1979 důsledkem vnitřní klimatické variability. Největší ztráty ledu v Antarktidě od r. 2000 jsou podle odhadů na jejích okrajích. Oteplování oceánu a zrychlený transport tepla oceánskou cirkulací při Západní Antarktidě jsou zodpovědné za zrychlené tání. Nizká je kvůli malému vědeckému pochopení spolehlivost v příspěvcích příčin pozorovaných ztrát hmoty z Antarktického ledovcového štítu od r. 1993.

Grónsko: Současné hlavní periody tání odpovídající rekordním teplotám ve 20. století jsou spojeny s dlouhodobými změnami v atmosférické cirkulaci v raném létě (nejsilnější jsou vyjádřeny od r. 2007). Ztráty ledu jsou důsledkem pronikání teplé vody do hlavních fjordů. Je pravděpodobné, že antropogenní působení přispělo k povrchovému tání grónského ledovcového štítu od r. 1993.

Panuje vysoká spolehlivost v odhadech pozorovaných ztrát hmoty a v odhadech přírodních změn a vnitřní variability z dlouhodobých ledovcových záznamů. Vysoká je spolehlivost, že podstatná část ztráty ledovcové hmoty je pravděpodobným důsledkem lidského vlivu. Také je pravděpodobné, že existuje antropogenní komponenta u pozorovaných úbytků sněhové pokrývky na severní polokouli od r. 1970.

Nevratnost (ireversibilita) změn, náhlá změna

Náhlá klimatická změna

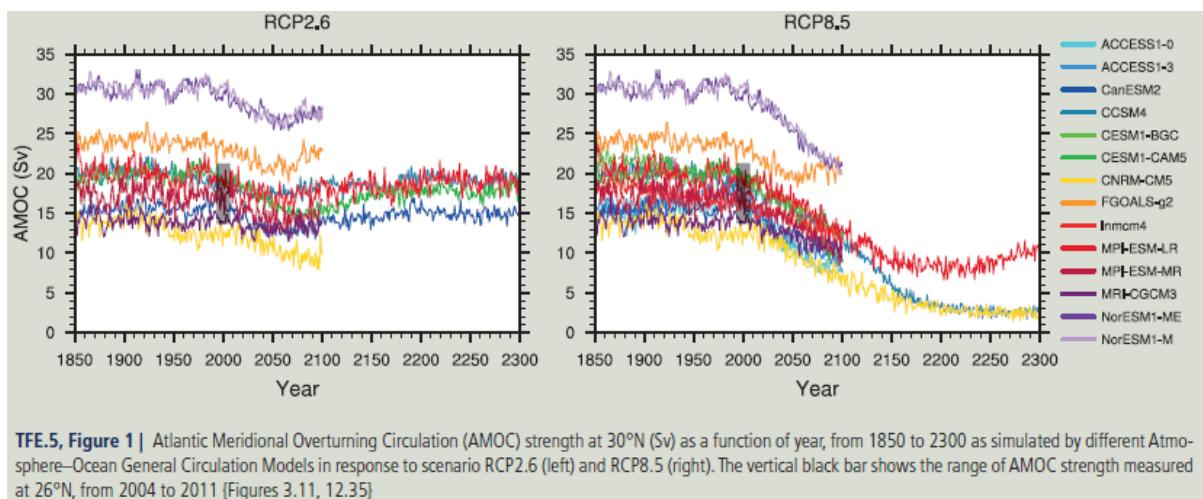
Jedná se o velkoměřítkovou změnu v klimatickém systému, která trvá nejméně několik dekád a způsobuje podstatná narušení v lidských a přírodních systémech. Panuje malá spolehlivost a malý konsenzus ohledně pravděpodobnosti takových událostí během tohoto století. Příklady komponent citlivých na takovou náhlou změnu jsou síla Atlantické meridionální cirkulace (AMOC – Atlantic Meridional Overturning Circulation), úniky metanu z klatrátů, odumírání tropického a boreálního lesa, mizení letního ledu v Arktickém oceánu, dlouhodobé sucha a monzunová cirkulace.

Nevratnost změny nastává, pokud je časové měřítko zotavení z tohoto stavu vlivem přírodních procesů významně delší než čas, který systému zabere dosáhnout rozrušeného (perturbed) stavu. Zatímco změny rozsahu letního ledu v Arktickém oceánu (Severním ledovém oceánu), dlouhodobá sucha a monzunová cirkulace jsou hodnoceny jako vratné během let až dekád, odumírání tropického nebo boreálního lesa může být vratné jen během staletí. Změny v klatrátech metanu a úniky uhlíku z permafrostu, kolaps Grónského a Antarktického ledovcového štítu mohou být nevratné během tisíciletí.

Změny AMOCu

Existuje vysoká spolehlivost, že silné změny v síle AMOC produkují náhle klimatické změny na globální škále v rozsahu a podle vzoru podobnému Dansgaard-Oeschgerovým oscilacím a Heinrichovým stadiálům během poslední doby ledové. Zvýšila se spolehlivost vztahu mezi změnami klimatu severního Atlantiku a srážkami v nízkých šířkách. Panuje velmi vysoká spolehlivost, že redukovaná síla AMOC a s ní spojené povrchové ochlazení v regionu Severního Atlantiku způsobily posuny Atlantické tropické zóny konvergence (AICZ – Atlantic Intertropical Convergence Zone) směrem k jihu a zasáhly obě Ameriky, Afriku a monzunu Asie. Interglaciální mód AMOC se s vysokou jistotou může zotavit z krátkodobých vstupů tavné vody do subpolárního severního Atlantiku.

Je velmi pravděpodobné, že AMOC bude během 21. století zeslabovat vůči hodnotám let 1850–1900 (viz obr. 11), podle CMIP5 o 11 % (1–24 %) pro RCP2.6 a 34 % (12–54 %) pro RCP8.5, nicméně je malá spolehlivost rozsahu oslabení. Je velmi nepravděpodobné, že AMOC prodělá náhlý přechod nebo kolaps během tohoto století pro zvažované scénáře (vysoká spolehlivost).



Obr. 11 Síla Atlantické meridionální cirkulace (AMOC) na 30° s.š. (Sv) jako funkce roku, v období 1850–2300 podle simulací provedených různými modely AOGCM v odpovědi na scénáře RCP2.6 (vlevo) a RCP8.5 (vpravo). Černé sloupečky ukazují rozsah síly AMOC měřený na 26° s.š. v období 2004–2011.

Změny v permafrostu, úniky skleníkových plynů a změny pralesů

Tání permafrostu může indukovat dekompozici uhlíku akumulovaného ve zmrzlých půdách, což by mohlo trvat stovky až tisíce let a vést k nárůstu koncentrací atmosférického CO₂ anebo CH₄. Avšak pouze nízká je spolehlivost, že současný permafrost se stane přímým emitorem uhlíku během 21. století podle přijatelných scénářů oteplení (odráží to nedostatečné pochopení procesů změn v permafrostu). Naopak velmi pravděpodobné je, že antropogenní oteplování povede k zesíleným emisím CH₄ z pevninských i oceánských klatrátů.

S vysokou jistotou je velmi nepravděpodobné, že metan z klatrátů podstoupí během 21. století katastrofický únik, nicméně na multimileniálních škálách mohou emise metanu zapříčinit pozitivní zpětnou vazbu na antropogenní oteplování a mohou být nevratné. Pouze nízká je spolehlivost v projekcích kolapsu velkých ploch tropických anebo boreálních lesů.

Změny Grónského a Antarktického ledovcového štítu

V současnosti vykazuje Grónský i Antarktický ledovec pozitivní povrchovou hmotovou bilanci (sněhové srážky převyšují tání), ačkoliv u obou dochází ke ztrátám hmoty kvůli tomu, že výtok ledu do moře překračuje čistou povrchovou hmotovou bilanci. Pozitivní zpětná vazba způsobí to, že se bude redukovat objem ledu a jeho rozsah, pokud pokles nadmořské výšky ledovcového štítu indukují sníženou povrchovou hmotovou bilanci. To se děje obecně skrz zvýšené povrchové tání, a proto se uplatňuje v tomto století v Grónsku, ale nikoli v Antarkidě, kde je dnes povrchové tání velmi malé.

Existuje vysoká spolehlivost, že objemy Grónského a Západoantarktického ledovcového štítu se zmenšily během období posledních několika milionů let, a to v takových obdobích, které byly globálně teplejší než dnes. Západoantarktický štít je velmi senzitivní k oteplování oceánu a se střední jistotou zahrnuje ústup Západoantarktického ledovcového štítu, pokud atmosférické koncentrace CO₂ zůstávají v rozmezí (nebo nad) 350–400 ppm po dobu několika tisíciletí.

Dostupné důkazy indikují, že globální oteplování za určitý práh by vedlo k téměř kompletní ztrátě Grónského ledovcového štítu během jednoho tisíciletí nebo déle, což by způsobilo nárůst globální hladiny oceánu o přibližně 7 m. Studie beroucí v potaz fixovanou ledovcovou topografií indikují, že práh je větší než 2 °C, ale menší než 4 °C (střední spolehlivost) růstu globální průměrné teploty oproti industriálnímu období. Pokud by teploty poklesly ještě před tím, než by ledovec kompletně zmizel, mohl by ledovcový štít znovu narůst, nicméně určitá část ztráty hmoty by již byla nevratná.

Vodní cyklus

Panuje střední spolehlivost, že pozorované změny v přepovrchové specifické vlhkosti vzduchu od roku 1973 obsahují detekovatelnou antropogenní komponentu. Antropogenní příspěvek k nárůstu troposférické specifické vlhkosti je nalezen se střední jistotou.

Obecně existuje střední spolehlivost, že lidský vliv na globální změny srážkových vzorů je výrazný, což se projevuje mimo jiné i nárůsty úhrnů srážek od středních po vysoké šířky severní polokoule. Je pravděpodobné, že lidský vliv postihuje od r. 1960 globální vodní cyklus.

Klimatické extrémy

Byl detekován antropogenní vliv v pozorované rostoucí četnosti teplých dní a nocí a klesající četnosti chladných dní a nocí.

Je velmi pravděpodobné, že antropogenní působení přispělo k pozorovaným změnám ve frekvenci a intenzitě denních teplotních extrémů na globální škále od poloviny 20. století. Také je pravděpodobné, že lidský vliv významně zvýšil pravděpodobnost výskytu horkých vln na některých místech.

Panuje vysoká spolehlivost, že intenzita extrémních srážkových událostí naroste s oteplováním. Pro pevniny je střední spolehlivost, že antropogenní působení přispělo k celosvětové intenzifikaci vysokých srážkových úhrnů během druhé poloviny 20. století.

Globálně však panuje malá spolehlivost, že lidský vliv přispívá ke změnám aktivity tropických cyklon, protože existuje nedostatek důkazů z pozorování, nedostatečné fyzikální pochopení vztahů mezi antropogenními faktory klimatu a aktivitou tropických cyklon a nízká úroveň souhlasu mezi studiiemi v rámci relativní důležitosti vnitřní variability a antropogenního a přírodního působení. Je však střední spolehlivost, že v severoatlantském prostoru přispěla redukce působení aerosolů nad severním Atlantikem minimálně částečně k pozorovanému zvýšení tropické cyklonální aktivity od 70. let 20. století.

Vzhledem k nízké jistotě v pozorovaných velkoměřítkových trendech v suchosti kombinované s obtížnostmi v rozlišení dekádní variability sucha z dlouhodobých klimatických změn je nyní nízká spolehlivost ohledně antropogenního příspěvku ke změnám v suchu na pevninách od poloviny 20. století.

Z globálního na regionální měřítko

Je velmi nepravděpodobné, že teplotní variace na severní polokouli v období 1400–1850 mohou být vysvětleny pouze vnitřní variabilitou klimatu. Existuje střední spolehlivost, že vnější vlivy přispěly k teplotní variabilitě na severní polokouli v období 850–1400 a že vnější vlivy přispěly k teplotním variacím v Evropě během posledních pěti století.

Je pravděpodobné, že lidský vliv změnil globální vzory tlaku vzduchu při hladině moře. Se střední jistotou lze tvrdit, že zeslabení stratosférického ozonu přispělo k pozorovanému posunu hranice jižní Hadleyovy buňky směrem k jižnímu pólu během léta.

Je pravděpodobné, že zeslabení stratosférického ozonu přispělo k pozitivnímu trendu módu proměnlivosti jižní polokoule SAM (Southern Annular Mode – definice viz popis v obr. 12) od 50. let 20. století viděného během léta, což koresponduje s poklesem tlaku vzduchu při hladině moře ve vysokých šířkách a nárůstem tlaku v subtropích (viz obr. 4).

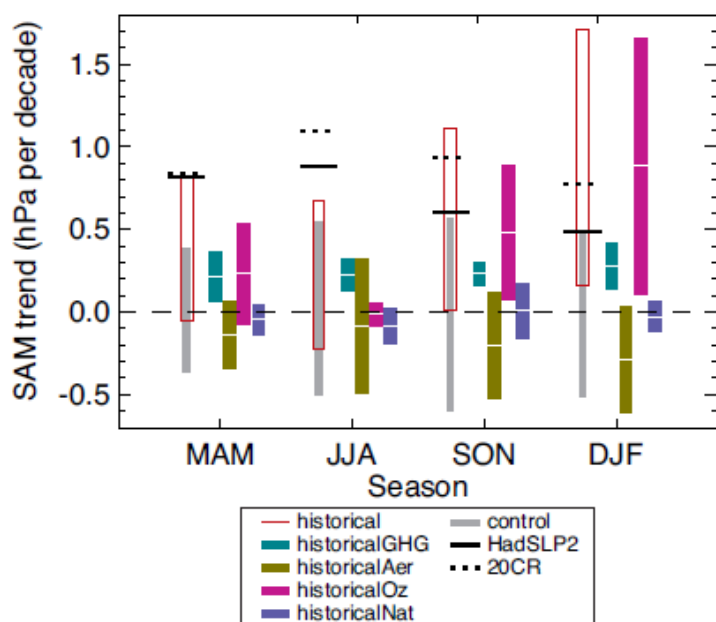


Figure TS.11 | Simulated and observed 1951–2011 trends in the Southern Annular Mode (SAM) index by season. The SAM index is a difference between zonal mean sea level pressure (SLP) at 40°S and 65°S. The SAM index is defined without normalization, so that the magnitudes of simulated and observed trends can be compared. Black lines show observed trends from the Hadley Centre Sea Level Pressure 2r (HadSLP2r) data set (solid), and the 20th Century Reanalysis (dotted). Grey bars show 5th to 95th percentile ranges of control trends, and red boxes show the 5th to 95th percentile range of trends in historical simulations including anthropogenic and natural forcings. Coloured bars show ensemble mean trends and their associated 5 to 95% confidence ranges simulated in response to well-mixed greenhouse gas (light green), aerosol (dark green), ozone (magenta) and natural forcing changes (blue) in CMIP5 individual-forcing simulations. (Figure 10.13b)

Obr. 12 Simulované a pozorované trendy v indexu SAM v období 1951–2011 pro jednotlivé sezóny.

Změny v přívěrchové teplotě vzduchu, teplotě ve volné atmosféře, teplotách oceánů a rozsahu sněhové pokrývky a mořského ledu na severní polokouli dohromady ukazují, že změny se nedějí jen v rámci globálních průměrů, ale existují také zřetelné regionální vzory konzistentní s očekávaným vlivem antropogenního působení a s očekávanými odpověďmi z vulkanických erupcí.

Je prakticky jisté, že lidský vliv oteplil globální klimatický systém, přičemž existuje silný důkaz, že lidský vliv od roku 1950 vytěšňuje solární faktor, sopky a vnitřní variabilitu jako nejsilnější faktory oteplování.

U každého kontinentu s výjimkou Antarktidy lidský vliv od poloviny 20. století pravděpodobně přispěl podstatnou měrou k nárůstu povrchové teploty vzduchu (viz obr. 13).

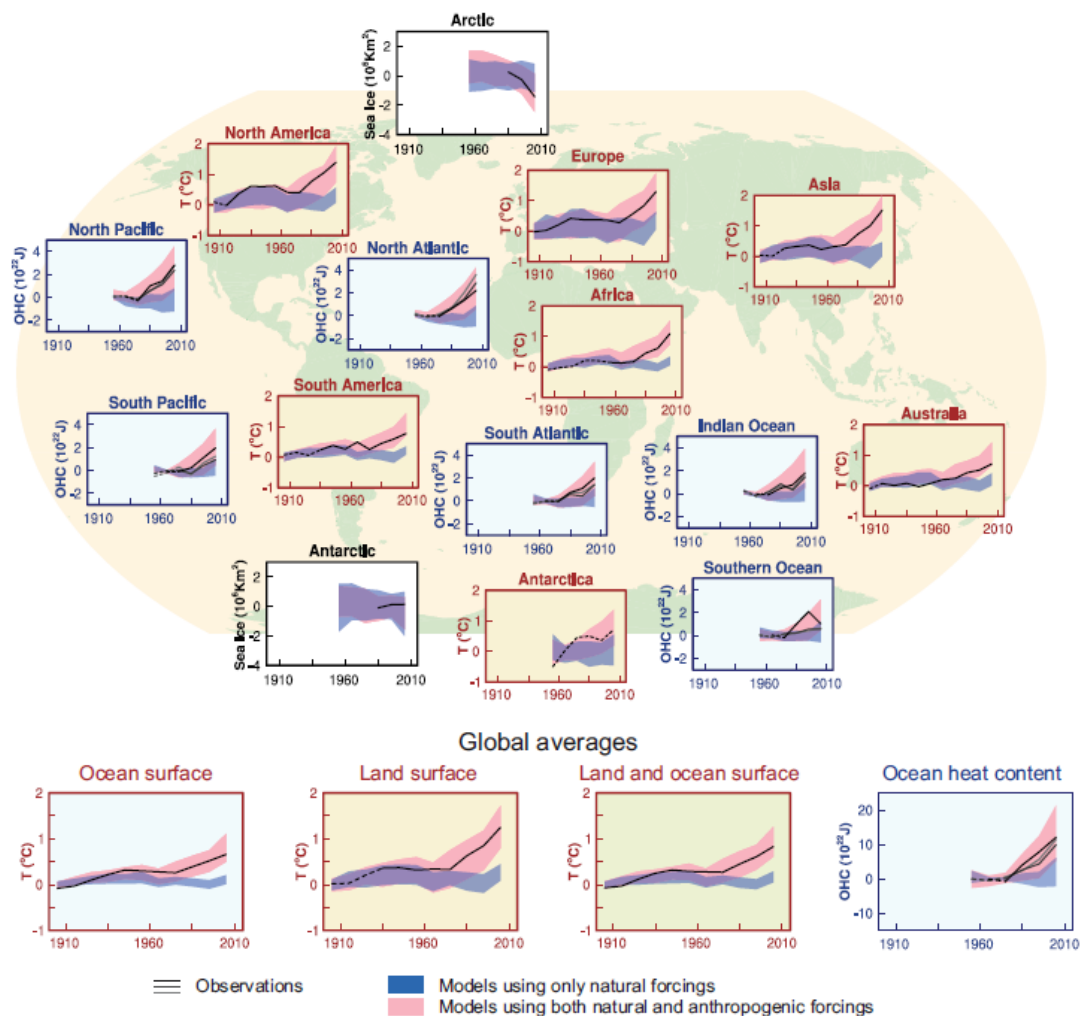


Figure TS.12 | Comparison of observed and simulated change in the climate system, at regional scales (top panels) and global scales (bottom four panels). Brown panels are land surface temperature time series, blue panels are ocean heat content time series and white panels are sea ice time series (decadal averages). Each panel shows observations (black or black and shades of grey), and the 5 to 95% range of the simulated response to natural forcings (blue shading) and natural and anthropogenic forcings (pink shading), together with the corresponding ensemble means (dark blue and dark red respectively). The observed surface temperature is from the Hadley Centre/Climatic Research Unit gridded surface temperature data set 4 (HadCRUT4). Three observed records of ocean heat content (OHC) are shown. Sea ice anomalies (rather than absolute values) are plotted and based on models in Figure 10.16. The observations lines are either solid or dashed and indicate the quality of the observations and estimates. For land and ocean surface temperatures panels and precipitation panels, solid observation lines indicate where spatial coverage of areas being examined is above 50% coverage and dashed observation lines where coverage is below 50%. For example, data coverage of Antarctica never goes above 50% of the land area of the continent. For ocean heat content and sea ice panels the solid observations line is where the coverage of data is good and higher in quality, and the dashed line is where the data coverage is only adequate. This figure is based on Figure 10.21 except presented as decadal averages rather than yearly averages. Further detail regarding the related Figure SPM.6 is given in the TS Supplementary Material. (Figure 10.21)

Obr. 13 Porovnání simulované změny v klimatickém systému na regionálních škálách.

Je pravděpodobné, že k velmi podstatnému zvýšení teplot na suchém (pevninském) povrchu Arktidy v posledních 50 letech přispěla antropogenní činnost. U Antarktidy je v důsledku značných nejistot v pozorování jen málo spolehlivé, že lidský vliv přispěl k pozorovanému oteplení zprůměrovanému z měření z dostupných stanic.

Detekce a příspěvek na regionální škále je komplikován větší rolí hranou dynamickými faktory (změny cirkulace), větším rozsahem vlivů, jež mohou být regionálně významné a větší obtížností modelování relevantních procesů na regionálních škálách.

Jak také ukazuje obr. 13, souvislost pozorovaných změn se simulacemi antropogenního a přírodního působení ve fyzikálním systému je pozoruhodná, a to zejména pro proměnné vztahené k teplotě vzduchu. Povrchová teplota a obsah tepla v oceánech ukazují vznikající antropogenní a

přírodní signály v obou záznamech a jasné oddělení od alternativních hypotéz řešících pouze přírodní odchylky. Tyto signály se objevují jak v globálním měřítku, tak na regionálním měřítku kontinentů a oceánských pánví v každé z těchto proměnných. Rozsah mořského ledu v Arktidě vzniká čistě na základě rozsahu vnitřní variability. Na subkontinentálních škálách lidský vliv pravděpodobně způsobil významný nárůst pravděpodobnosti výskytu horkých vln na některých místech.

Hodnocení modelů

Od vydání zprávy AR4 byly klimatické modely neustále upravovány (detailnější informace o schopnostech současné generace modelů viz obr. 6). Klimatické modely s velmi vysokou spolehlivostí reprodukuje pozorované velkoměřítkové časově zprůměrované (time-mean) vzory povrchových teplot. S vysokou spolehlivostí lze tvrdit, že na regionální škále je časově zprůměrovaná povrchová teplota simulována lépe než v době zprávy AR4, nicméně schopnost modelů je menší ve velkém (kontinentálním) měřítku.

Modely jsou schopny reprodukovat rozsah pozorované průměrné globální nebo severo-hemisféry teplotní variability v meziročním až stoletém měřítku; jsou také schopny reprodukovat velkoměřítkové vzory teploty během LGM (Last Glacial Maximum – kolem 21 ka), což indikuje schopnost simulovat stav klimatu značně odlišného od dnešního.

Je vysoká spolehlivost tvrzení, že modely reprodukuje obecné znaky globálních a ročních průměrných povrchových teplotních změn během historických období, což zahrnuje i oteplování v druhé polovině 20. století a ochlazení bezprostředně následující vulkanické erupce.

Většina simulací historických období nereprodukuje pozorované zpomalení globálního průměrného povrchového oteplovacího trendu v posledních 10 až 15 letech. Středně spolehlivé je tvrzení, že rozdílný trend mezi modely a pozorováními v letech 1998–2012 je podstatnou měrou způsobený vnitřní variabilitou, s možným příspěvkem působících nedostatků v modelech a u některých modelů nadhodnocením odpovědi na rostoucí působení skleníkových plynů.

Zlepšily se simulace velkoměřítkových vzorů srážek od doby AR4, ačkoliv modely stále zobrazují srážky méně dobře než teplotu vzduchu.

Existuje důkaz, že modely simulují poklesový trend rozlohy letního mořského ledu v Arktidě lépe než v době AR4. Pro Antarktidu většina modelů simuluje malý poklesový trend v rozloze mořského ledu.

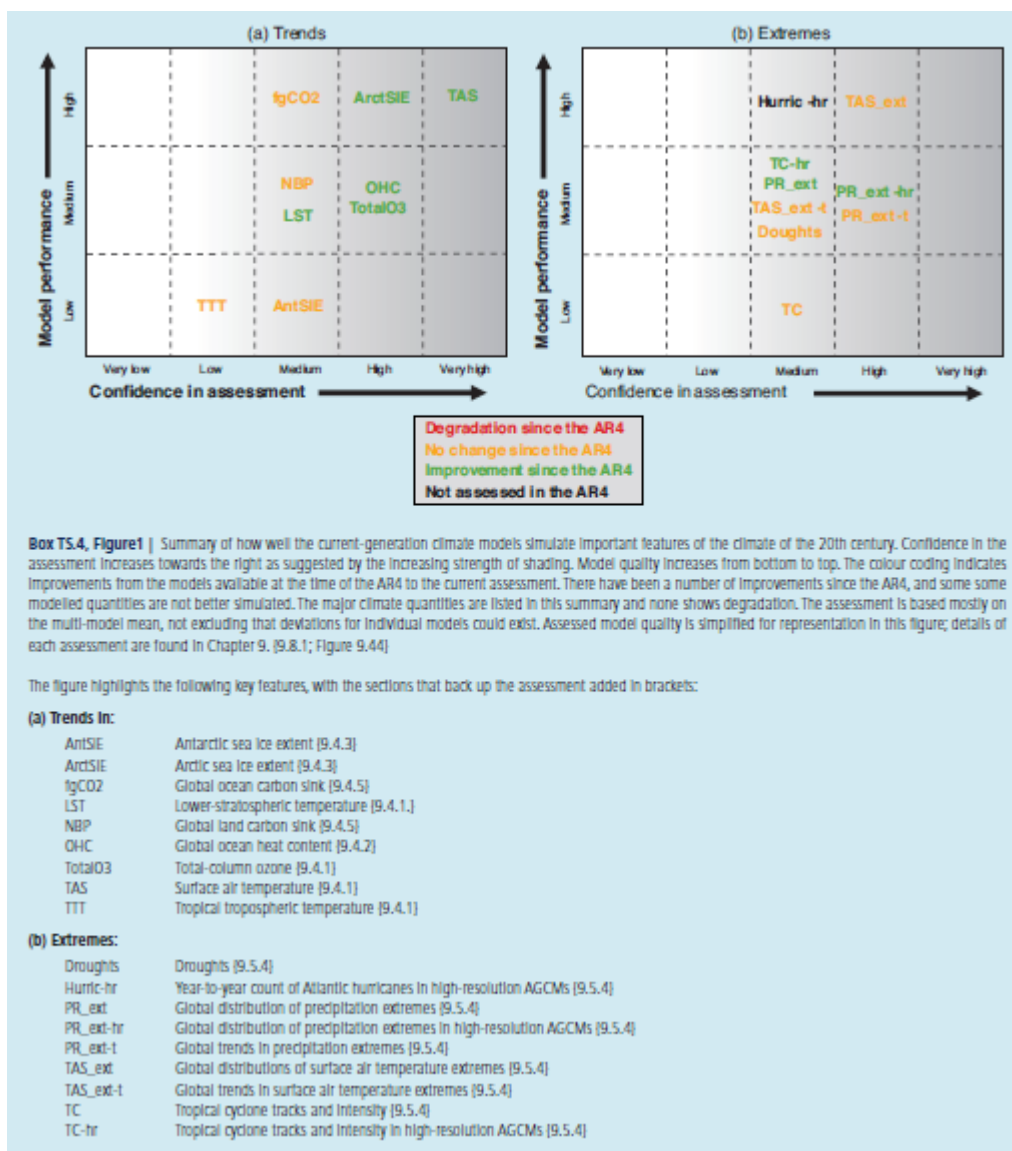
V rámci hodnocení extrémních událostí zaznamenaly modely oproti AR4 také podstatné zlepšení. Změny ve frekvenci extrémně teplých a chladných dní a nocí během většiny druhé poloviny 20. století jsou konzistentní mezi modely a pozorováními.

Metody regionálního downscallingu poskytují klimatickou informaci v menších měřítcích kvůli potřebě pro mnoho klimatických impaktových studií. Je vysoká spolehlivost, že downscalling přidává hodnotu jak v regionech s vysoce různorodou topografií, tak pro rozličné maloměřítkové jevy.

Modelové rozložení v rámci rovnovážné klimatické citlivosti je v rozmezí 2,1 °C až 4,7 °C a je velmi podobné hodnocení v AR4. S velmi vysokou spolehlivostí je primárním faktorem přispívajícím k rozložení v rámci rovnovážné klimatické citlivosti zpětná vazba oblaků. Toto je aplikovatelné jak pro moderní klima, tak pro LGM.

S velmi vysokou spolehlivostí modely ukazují pozitivní korelaci mezi troposférickou teplotou a vodní párou na regionálních až globálních škálách, což zahrnuje pozitivní zpětnou vazbu vodní páry jak v modelech, tak v pozorováních.

Některé prvky pozorované variability nebo trendů jsou dobře korelovány s vnitřními odchylkami modelu v modelových projekcích pro kvantitativní proměnné, jako jsou trendy letního mořského ledu v Arktidě, vazba sněh-albedo a ztráta uhlíku z tropické půdy.



Obr. 14 Shrnutí, jak dobře současná generace klimatických modelů simuluje důležité znaky klimatu 20. Století.

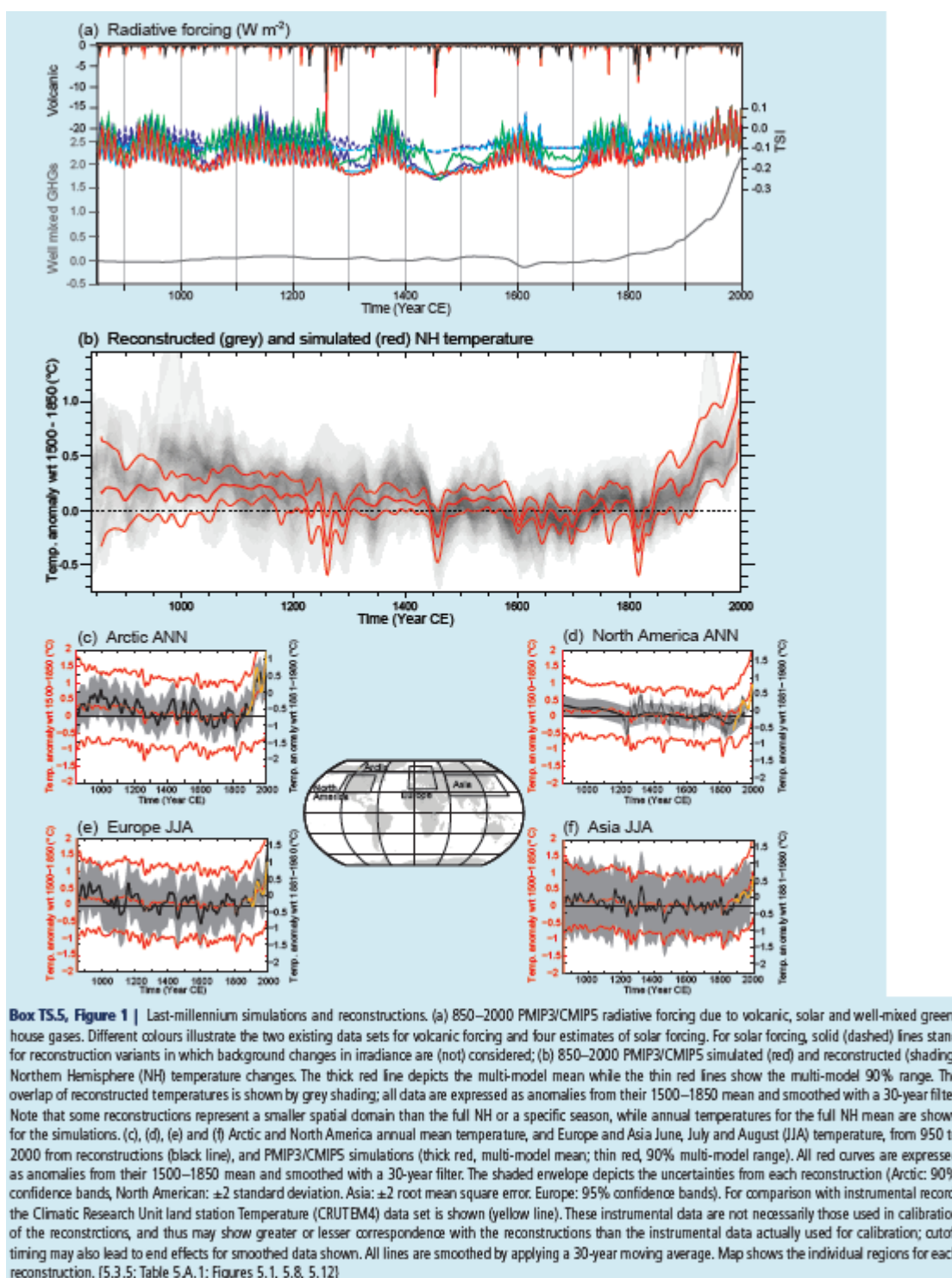
Paleoklima

Rekonstrukce z paleoklimatických archivů umožňují vytvářet projekce atmosférických proměnných, mořské hladiny a klimatu (včetně extrémních událostí) umístit do širší perspektivy variability minulého klimatu. Informace o minulém klimatu dokumentují chování pomalých

komponent klimatického systému zahrnující uhlíkový cyklus, ledové štíty a hluboký oceán, pro něž jsou instrumentální záznamy krátké v porovnání s jejich charakteristickými časovými škálami odpovědi na perturbace, a tudíž informují o mechanismech náhlých a nevratných změn.

Syntéza paleoklimatických dat spolu se znalostí minulých externích klimatických vlivů dokumentovala zesílené teplotní změny v Arktidě v porovnání s globálním průměrem (polaramplification), a to v odpovědi na vysoké nebo nízké koncentrace CO₂.

Obr.15 ilustruje porovnání mezi rekonstrukcemi a simulacemi PMIP3/CMIP5 (Paleoclimate Modelling Intercomparison Project Phase 3) spolu s asociovaným solárním, vulkanickým a WMGHG radiačním působením.



Obř. 15 Simulace a rekonstrukce provedené pro poslední tisíciletí.

V rámci průměrných ročních teplot severní polokoule bylo období 1983–2012 velmi pravděpodobně nejteplejším 30letým obdobím za posledních 800 let (vysoká spolehlivost) a pravděpodobně nejteplejším 30letým obdobím za posledních 1 400 let (střední spolehlivost).

V odpovědi na solární, vulkanické a antropogenní radiační změny simulují klimatické modely multi-dekadální změny teploty v posledních 1 200 letech na severní polokouli, které jsou obecně konzistentní v rozsahu a načasování s rekonstrukcemi (v rámci rozmezí jejich nejistot).

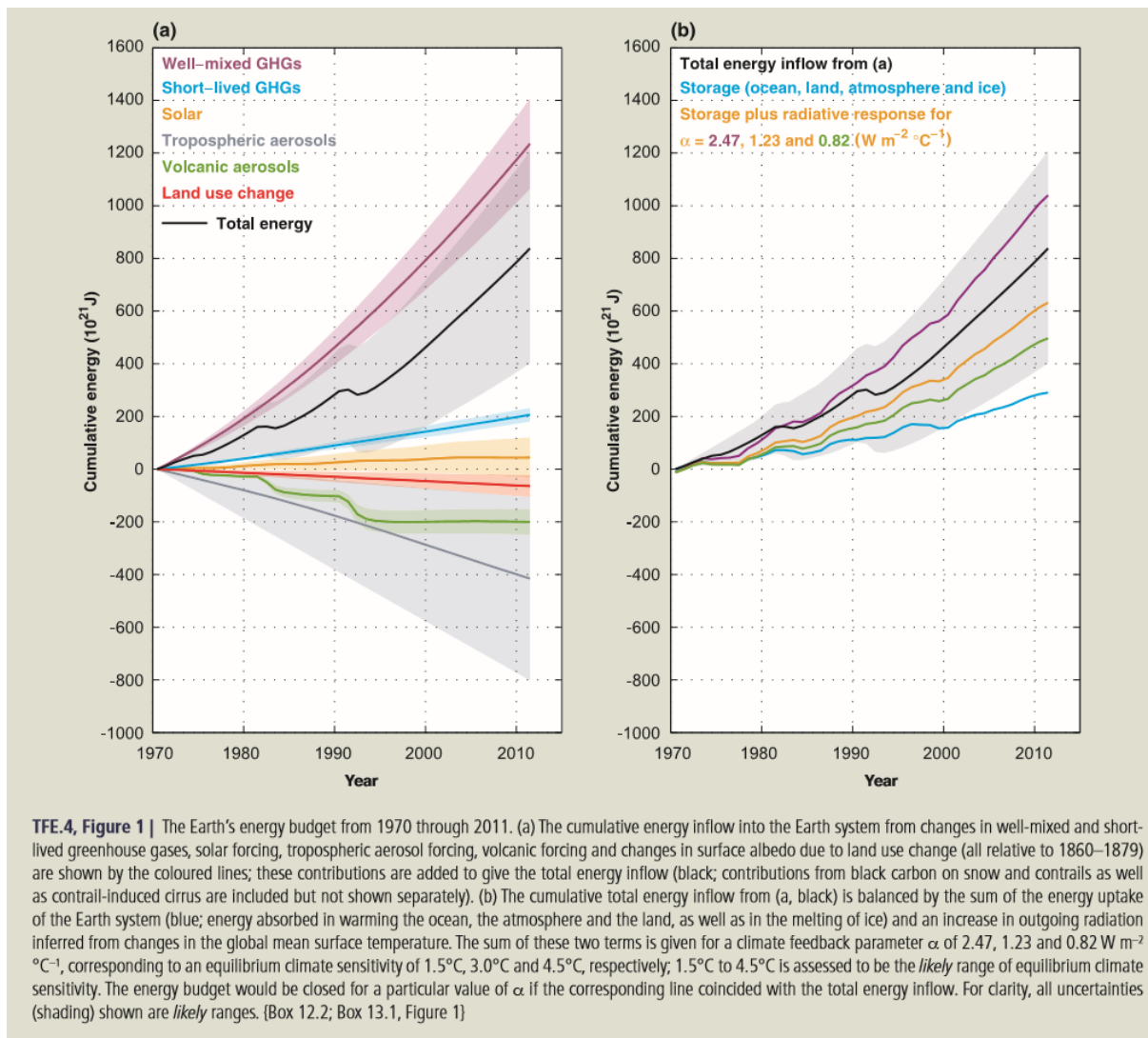
Teplotní rekonstrukce kontinentálního měřítka s vysokou spolehlivostí ukazují multi-dekádní období během Středověké klimatické anomálie/Středověké teplé periody (MCA – Medieval Climate Anomaly – asi 950–1250), která byla v některých oblastech stejně teplá jako kolem poloviny 20. století a v ostatních jako v pozdním 20. století. Tyto teplé periody nebyly s vysokou spolehlivostí tak synchronní v rámci regionů jako oteplování od poloviny 20. století.

Externí orbitální, solární a vulkanické působení, ale také vnitřní variabilita s vysokou spolehlivostí podstatně přispěly k prostorovému vzoru a načasování povrchových teplotních změn mezi MCA a Malou dobou ledovou (LIA – Little Ice Age – asi 1450–1850), nicméně kvantitativní odhady jejich relativních příspěvků jsou velmi málo spolehlivé. Skutečnost, že v období 1400–1850 byly teplotní variace způsobeny pouze vnitřní variabilitou klimatu, je velmi nepravděpodobná.

Externí působení se střední spolehlivostí přispělo k teplotní variabilitě severní polokoule v období 850–1400 a že externí působení přispělo k teplotním variacím Evropy v posledních pěti stoletích.

Změny v energetické bilanci globálního klimatu

Energetická bilance Země závisí na mnoha fenoménech. Kupříkladu v oceánech je uloženo kolem 93% energie z klimatického systému, která v posledních dekáдах vedla k teplotní expanzi a zvyšování hladin světového oceánu. Celková energetická bilance je závislá na různém výdeji a příjmu energie globálního systému. Významný je také různý přenos energie uvnitř systému. Celková energetická bilance Země je pozitivní z důsledku působení skleníkových plynů a zvýšené Sluneční radiaci. Změny v land use ale vedly také k tomu, že se zvýšilo albedo Země, což má naopak za následek snižování hodnoty energetické bilance. Energetická bilance se právě naruší tím, že se zvýší obsah energie v oceánech, což vykazuje pozitivní energetickou bilanci. To má velice silný vliv na změny klimatu.



Obr. 16 Časový vývoj jednotlivých faktorů energetické bilance a jejich celkový dopad na systém.

TS.5 PROJEKCE GLOBÁLNÍ A REGIONÁLNÍ KLIMATICKÉ ZMĚNY

Projekce změny klimatického systému zahrnují klimatické modely různé úrovně (jednoduché, středně pokročilé, rozsáhlé a ESMs – EarthSystemModels). Modely znázorňují změny, které jsou projektovány na scénářích antropogenního působení z RepresentativeConcentrationPathways (RCPs) – trajektorie dosažení koncentrací skleníkových plynů. Projekce klimatu jsou vztahovány k období 1986–2005. Projekce se člení na dlouhodobé (do konce 21. století) a krátkodobé (přibližně do poloviny 21. století). RCPs byly využity pro klimatické modelování v rámci Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5).

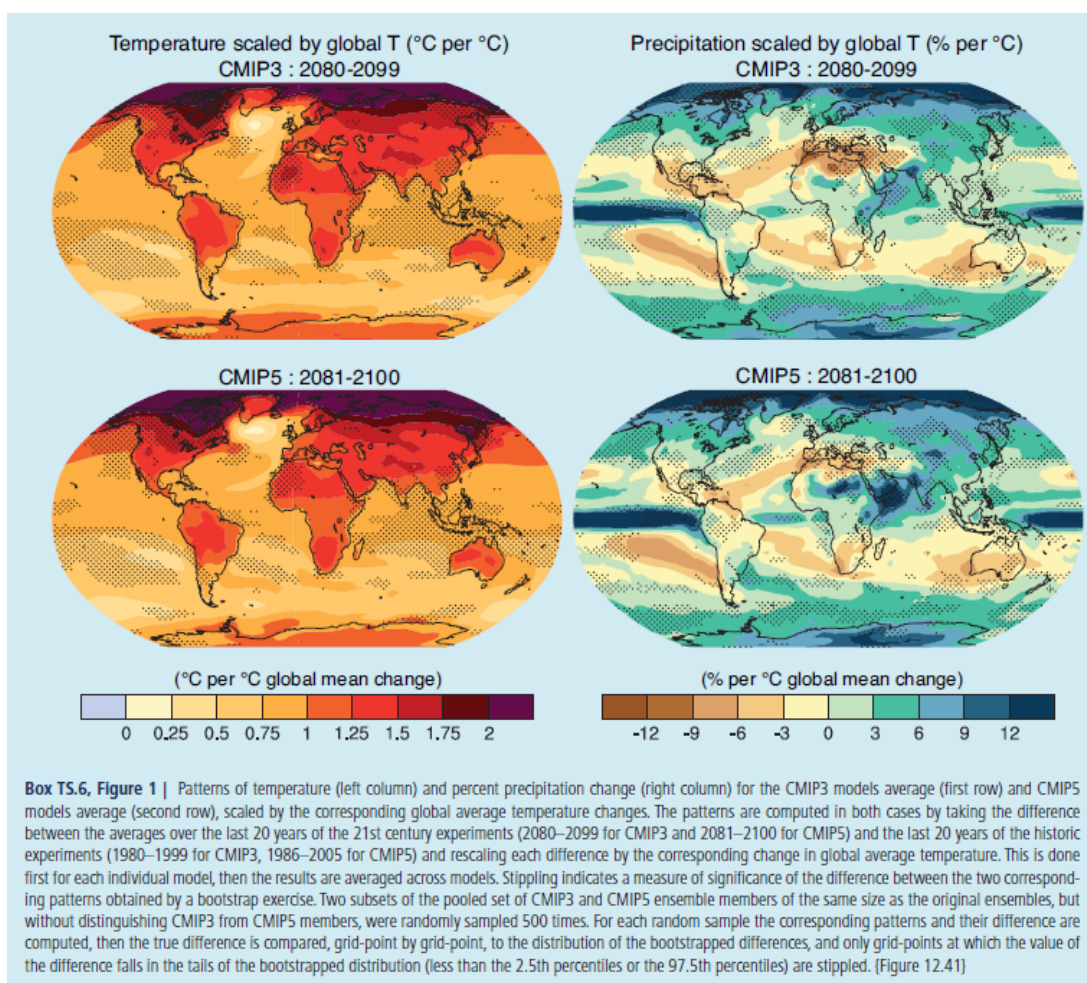
Nové scénáře RepresentativeConcentrationPathwayaCoupled Model Intercomparison Project Phase 5 Models

Socioekonomické faktory ovlivňují produkci antropogenních emisí skleníkových plynů (GHS) i aerosolové částic, dále pak změny land-use. Kontrolu emisí zajišťují globální geopolitické dohody. Pro charakteristiku vývoje koncentrace skleníkových plynů byly vytvořeny emisní scénáře – Special Report on EmissionScenarios (SRES). Čtvrtá hodnotící zpráva IPCC(AR4)nezahrnuježádné globální iniciativy (např. Kjótský protokol). RCPs byly vytvořeny na základě IntegratedAssessmentModels (IAMs). V těchto modelech jsou zařazeny klimatické komponenty, demografie, ekonomie a energetika (Obr. 1).

Budoucí působení a scénáře

Emise antropogenních aerosolů mají velký vliv na krátkodobé klimatické projekce. Rychlé snížení sulfátových aerosolů, které souvisí se zlepšením kvality ovzduší, by mohlo směřovat se střední spolehlivostí k rychlému krátkodobému oteplení. Vliv emisí CH₄ a N₂O z RepresentativeConcentrationPathways je o 30 % vyšší než vliv koncentrace RCP při aplikaci CMIP5. CH₄ dosáhne pravděpodobně RCP8.5 s 520 ppb v roce 2100.

Působení přírodních (klimatotvorných) faktorů má nízkou spolehlivost. Nejistoty se vyskytují u sopečných erupcí i změn sluneční aktivity. Výjimku tvoří zřejmé působení těchto faktorů a 11-letý cyklus. Z tohoto důvodu nejsou přírodní faktory zahrnuty do krátkodobých ani dlouhodobých klimatických projekcí.



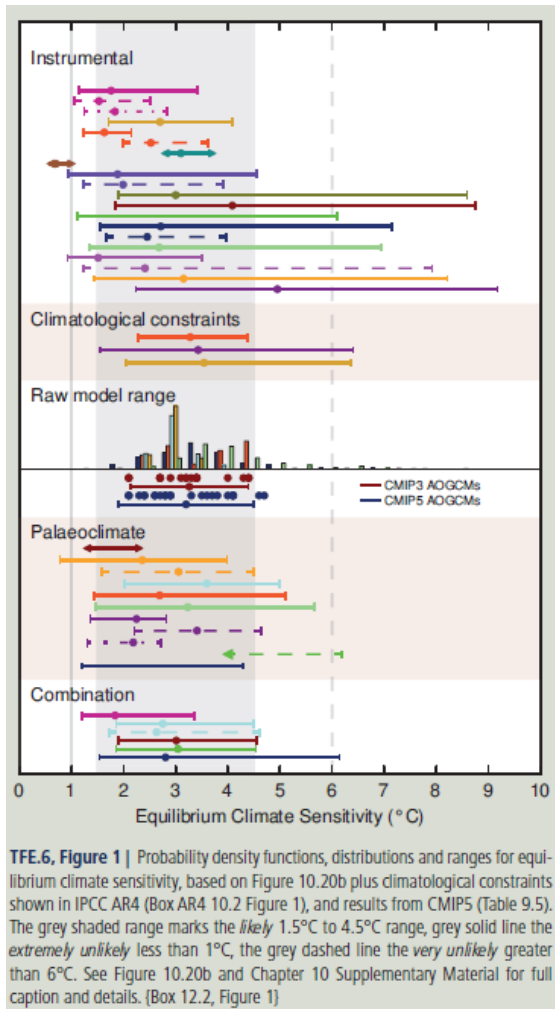
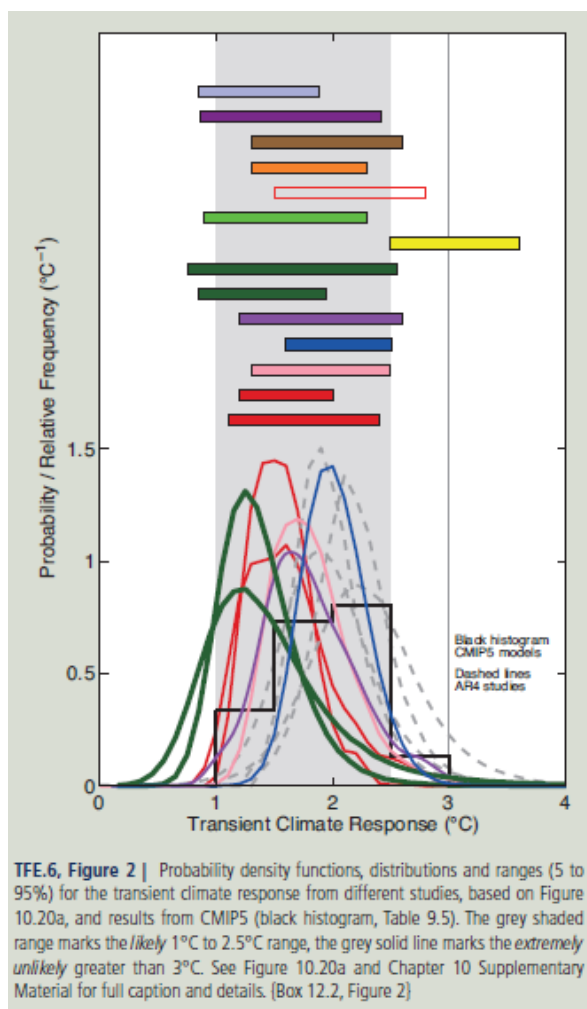
Obř. 17 Projekce teploty a srážek (STOCKER, DAHE, PLATTNERA kol., 2013, s. 80).

Citlivost klimatu a zpětné vazby

Zpětné vazby v klimatickém systému mají odlišná vnitřní časová měřítka, jsou rychlejší než oteplování zemského povrchu a závisí na „aktéru“ působení (např. sluneční aktivita nebo působení skleníkových plynů). Mezi nejdůležitější determinanty rovnováhy klimatické citlivosti patří albedo, rychlost změn skupenství vody a zpětné vazby oblaků. Výše zmíněné vazby jsou hodnoceny jako pozitivní s různých posouzením pravděpodobnosti (extrémně pravděpodobné nebo pravděpodobné). Naopak v odhadu působení vazeb mezi aerosolovými částicemi a oblaky se vyskytují nejistoty.

Důležité termíny globálního klimatického systému v odezvě na teplotní poměry představují rovnováha citlivosti klimatu (ECS) a přechodná změna klimatu (TCR). „Rovnováha citlivosti klimatu je definována jako rovnováha změn v globálních průměrných ročních teplotách zemského povrchu (GMST), za kterou následuje zdvojnásobení koncentrace atmosférického CO₂. Přechodná změna klimatu je popisována jako změna globálních průměrných ročních teplot zemského povrchu (GMST) v čase zdvojnásobení koncentrace CO₂, za kterou následují lineární nárůst koncentrace CO₂ působící přesperiodu 70 let. ECS popisuje eventuální oteplování v odezvě na stabilizaci složení atmosféry v časovém měřítku několika staletí. TCR charakterizuje oteplování v daném čase, za kterým následuje stálý přírůstek v časovém měřítku mezi 50 až 100 lety.“ (STOCKER, DAHE, PLATTNERA kol., 2013, s. 82).

ECS se pravděpodobně s vysokou spolehlivostí pohybuje v teplotním intervalu 1,5–4,5 °C. Tyto informace jsou stanoveny na základě paleoklimatu, klimatických modelů, pozorování oteplování klimatu během 20. století a analýzách zpětných vazeb. TCR předpokládá pravděpodobně s vysokou spolehlivostí teploty v intervalu 1–2,5 °C. TCR je zjištěna z pozorovaných změn na zemském povrchu a absorpce oceánského tepla. Pro změnu klimatu v budoucnosti je vhodnějším indikátorem než rovnováha citlivosti klimatu.



Obr. 18 Pravděpodobnost hustoty, distribuce a rozmezí rovnováhy citlivosti klimatu.

Obr. 19 Pravděpodobnost hustoty, distribuce a rozmezí pro přechodnou změnu klimatu (STOCKER, DAHE, PLATTNER a kol., 2013, s. 83, 84).

Krátkodobá klimatická změna

Krátkodobé oteplování je vázáno na setrvačnost tepla v oceánech. Nárůst oteplování je způsoben emisemi skleníkových plynů. Projektované krátkodobé změny klimatu vykazují v porovnání s modelovým rozšířením malou citlivost k emisním scénářům.

Anomálie globálních průměrných ročních teplot zemského povrchu pravděpodobně dosáhnou se střední spolehlivostí hodnot mezi 0,3–0,7 °C v období 2016–2035 (při vyloučení vlivu dlouhodobých změn sluneční aktivity a významných sopečných erupcí). K většímu oteplování přispívá zvyšování emisí skleníkových plynů a snižování sulfátových aerosolů. Významné vulkanické erupce (rozsahu erupce Mount Pinatubo v roce 1991) v budoucnosti způsobí náhlý pokles o 0,5 °C v globální

povrchové teplotě vzduchu během následujícího roku. Změny sluneční aktivity budou mít s vysokou spolehlivostí na globální průměrné roční teploty zemského povrchu malý vliv v porovnání se vzestupem koncentrace skleníkových plynů. Antropogenně podmíněný vzestup povrchových teplot vzduchu bude rychleji pokračovat nad pevninami než nad oceány v následujících desetiletích. Antropogenně podmíněné oteplování Arktidy během zimy bude významnější než globální oteplování. Antropogenně podmíněný vzestup teplot bude s vysokou spolehlivostí významnější v tropických a subtropických oblastech než v oblastech mírných zeměpisných šířek. V následujících dekadách se očekává nárůst frekvence výskytu teplých dnů, teplých nocí a horkých vln.

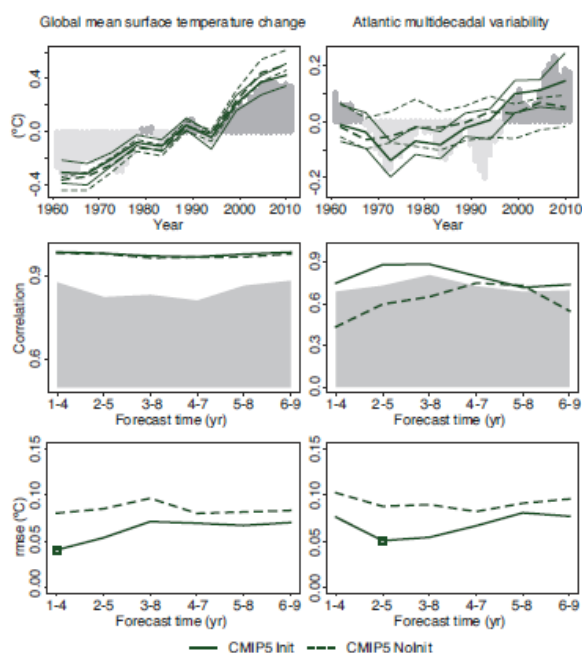


Figure 15.13 | Decadal prediction forecast quality of several climate indices. (Top row) Time series of the 2- to 5-year average ensemble mean initialized hindcast anomalies and the corresponding non-initialized experiments for three climate indices: global mean surface temperature (GMST, left) and the Atlantic Multi-decadal Variability (AMV, right). The observational time series, Goddard Institute of Space Studies Goddard Institute for Space Studies Surface Temperature Analysis (GISTEMP) global mean temperature and Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) for the AMV, are represented with dark grey (positive anomalies) and light grey (negative anomalies) vertical bars, where a 4-year running mean has been applied for consistency with the time averaging of the predictions. Predicted time series are shown for the CMIP5 Init (solid) and Noinit (dotted) simulations with hindcasts started every 5 years over the period 1960–2005. The lower and upper quartile of the multi-model ensemble are plotted using thin lines. The AMV index was computed as the sea surface temperature (SST) anomalies averaged over the region Equator to 60°N and 80°W to 0°W minus the SST anomalies averaged over 60°S to 60°N. Note that the vertical axes are different for each time series. (Middle row) Correlation of the ensemble mean prediction with the observational reference along the forecast time for 4-year averages of the three sets of CMIP5 hindcasts for Init (solid) and Noinit (dashed). The one-sided 95% confidence level with a t distribution is represented in grey. The effective sample size has been computed taking into account the autocorrelation of the observational time series. A two-sided t test (where the effective sample size has been computed taking into account the autocorrelation of the observational time series) has been used to test the differences between the correlation of the initialized and non-initialized experiments, but no differences were found statistically significant with a confidence equal or higher than 90%. (Bottom row) Root mean square error (RMSE) of the ensemble mean prediction along the forecast time for 4-year averages of the CMIP5 hindcasts for Init (solid) and Noinit (dashed). A two-sided F test (where the effective sample size has been computed taking into account the autocorrelation of the observational time series) has been used to test the ratio between the RMSE of the Init and Noinit, and those forecast times with differences statistically significant with a confidence equal or higher than 90% are indicated with an open square. (Figure 11.3)

Obř. 20 Predikce kvality předpovědi několika klimatických indikátorů (STOCKER, DAHE, PLATTNER a kol., 2013, s. 86).

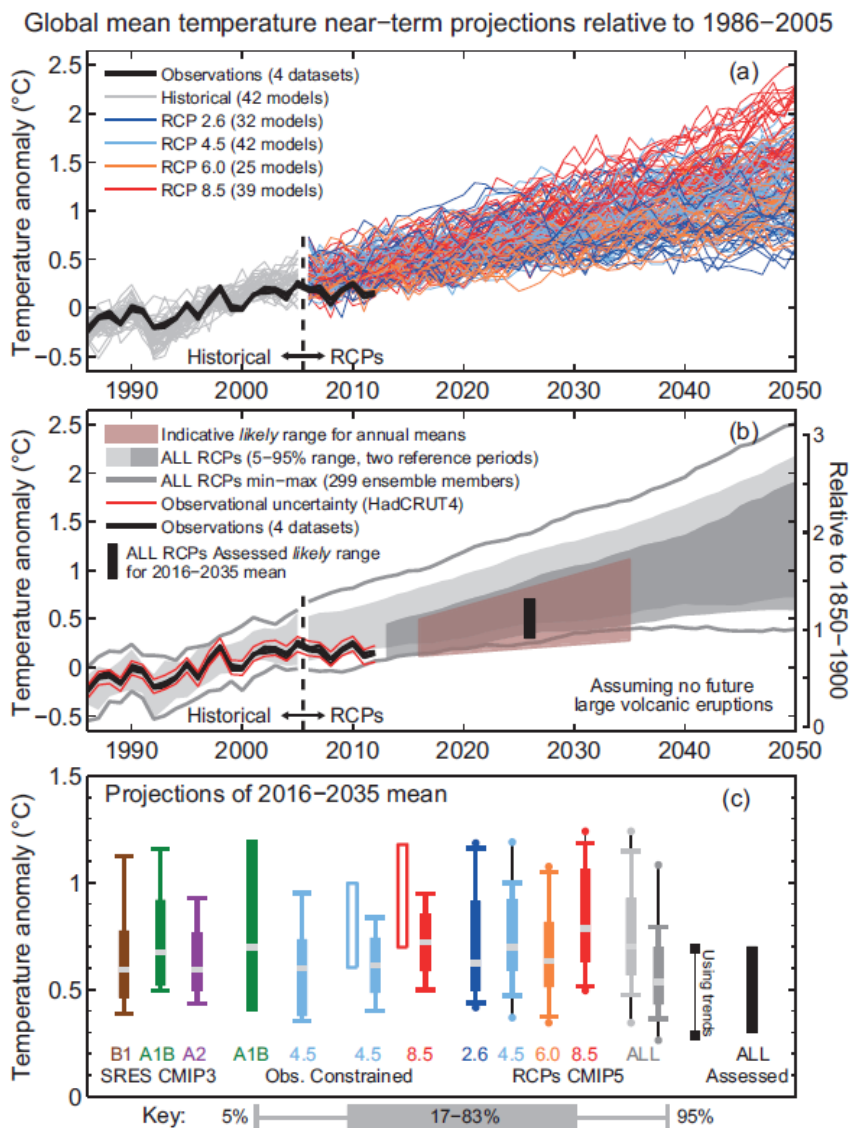


Figure TS.14 | Synthesis of near-term projections of global mean surface air temperature (GMST). (a) Projections of annual mean GMST 1986–2050 (anomalies relative to 1986–2005) under all RCPs from CMIP5 models (grey and coloured lines, one ensemble member per model), with four observational estimates (Hadley Centre/Climatic Research Unit gridded surface temperature data set 4 (HadCRUT4), European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) interim re-analysis of the global atmosphere and surface conditions (ERA-Interim), Goddard Institute for Space Studies Surface Temperature Analysis (GISTEMP), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)) for the period 1986–2012 (black lines). (b) As (a) but showing the 5 to 95% range of annual mean CMIP5 projections (using one ensemble member per model) for all RCPs using a reference period of 1986–2005 (light grey shade) and all RCPs using a reference period of 2006–2012, together with the observed anomaly for (2006–2012) minus (1986–2005) of 0.16°C (dark grey shade). The percentiles for 2006 onwards have been smoothed with a 5-year running mean for clarity. The maximum and minimum values from CMIP5 using all ensemble members and the 1986–2005 reference period are shown by the grey lines (also smoothed). Black lines show annual mean observational estimates. The red shaded region shows the indicative *likely* range for annual mean GMST during the period 2016–2035 based on the ‘ALL RCPs Assessed’ *likely* range for the 20-year mean GMST anomaly for 2016–2035, which is shown as a black bar in both (b) and (c) (see text for details). The temperature scale relative to 1850–1900 mean climate on the right-hand side assumes a warming of GMST prior to 1986–2005 of 0.61°C estimated from HadCRUT4. (c) A synthesis of projections for the mean GMST anomaly for 2016–2035 relative to 1986–2005. The box and whiskers represent the 66% and 90% ranges. Shown are: unconstrained SRES CMIP3 and RCP CMIP5 projections; observationally constrained projections for the SRES A1B and the RCP4.5 and 8.5 scenarios; unconstrained projections for all four RCP scenarios using two reference periods as in (b) (light grey and dark grey shades), consistent with (b); 90% range estimated using CMIP5 trends for the period 2012–2035 and the observed GMST anomaly for 2012; an overall *likely* (>66%) assessed range for all RCP scenarios. The dots for the CMIP5 estimates show the maximum and minimum values using all ensemble members. The medians (or maximum likelihood estimate; green filled bar) are indicated by a grey band. (Adapted from Figure 11.25.) See Section 11.3.6 for details. (Figure 11.25)

Obř. 21 Syntéza krátkodobých projekcí globálních průměrných ročních teplot zemského povrchu (STOCKER, DAHE, PLATTNER a kol., 2013, s. 87).

Velmi pravděpodobně dojde k nárůstu zonálních průměrných srážek ve vysokých a některých středních šířkách. Specifická vlhkost vzduchu u zemského povrchu bude velmi pravděpodobně narůstat. Pravděpodobně dojde k nárůstu intenzity a frekvence srážkových událostí z důvodu nárůstu obsahu vodní páry v atmosféře a změnám atmosférické cirkulace.

Pravděpodobný je opětovný nárůst stratosférického ozonu. Projekce změn intenzity a frekvence tropických cyklon mají do poloviny 21. století nízkou spolehlivost.

Globálně průměrované teploty povrchu a vertikálně průměrované teploty oceánu budou pravděpodobně růst. Salinita bude pravděpodobně růst v tropické a subtropické části Atlantského oceánu. Naopak během několika desetiletí bude salinita klesat v západní tropické části Tichého oceánu.

Podle RCP8.5 bude pravděpodobně se střední spolehlivostí Arktida během srpna bez ledu do poloviny 21. století. S velkou pravděpodobností budou růst globální průměrné roční teploty svrchní vrstvy permafrostu a bude pokračovat pokles jarní sněhové pokrývky ve vysokých zeměpisných šířkách.

Lokální emise a vysoké teploty při zemském povrchu budou se střední spolehlivostí ve znečištěných oblastech iniciovat chemické reakce, které způsobí nárůst O₃ a PM_{2,5}. Špatné rozptylové podmínky a lokální emise budou vytvářet podmínky pro vznik a akumulaci škodlivin na regionální a lokální úrovni.

Dlouhodobá klimatická změna

Průměrné globální teploty budou nadále vzrůstat v průběhu 21. století podle všech RCP. Vzhledem k průměrným podmínkám 1850-1900 se předpokládá, že průměrné teploty v období 2081-2100 budou vyšší než 1,5 ° C pro RCP4.5, RCP6.0 a RCP8.5. Dále také modely ukazují oteplení troposféry a ochlazení stratosféry v tropických oblastech a vyšších severních zeměpisných šířek. Dojde k vzestupu frekvence, doby trvání a velikosti teplých extrémů. Podle RCP8.5 se budou teplotní extrémy vyskytovat častěji v mnoha oblastech do konce 21. století. Jistý pokles nejspíše zaznamená množství oblačnosti v tropických a střední zeměpisných šířkách (Obr. 6).

Díky vzestupu teplot v mírných šířkách dojde k poklesu tlaku nad mořem v oblastech vyšších zeměpisných šířek a vzestupu v mírných šířkách. Také dochází k zeslabení Hadleyové a Walkerové cirkulace v oblasti tropů a rozšíření cirkulace do vyšších zeměpisných šířek subtropických oblastí. Ve stratosféře dojde k zesílení cirkulace.

Relativní vlhkost zůstává téměř konstantní (v průměru pro Zemi), avšak vzroste specifická vlhkost podle scénářů. Při vzestupu teploty bude docházet i k vzrůstu úhrnu srážek (Obr. 7), a to především ve vyšších zeměpisných šířkách a tropických oblastech. Naopak subtropické aridní oblasti budou sušší. Samozřejmě vzrůst, či úbytek srážek bude lokálně odlišný, jak ukazuje následující obrázek. Nejspíše tedy vzrostou rozdíly mezi suchými a vlhkými oblastmi.

Se vzrůstem teploty nejspíše vzroste i evaporace, jak nad oceány, tak nad pevninou. Snížení povrchového odtoku je pravděpodobné v jižní Evropě, Blízkém východě a jihu Afriky, naopak vzestup průměrného povrchového odtoku bude pravděpodobně ve vyšších severních zeměpisných šířkách do konce 21. století podle RCP8.5. V regionálních i globálních měřících může nárůst sucha vyvolat problémy v zemědělství.

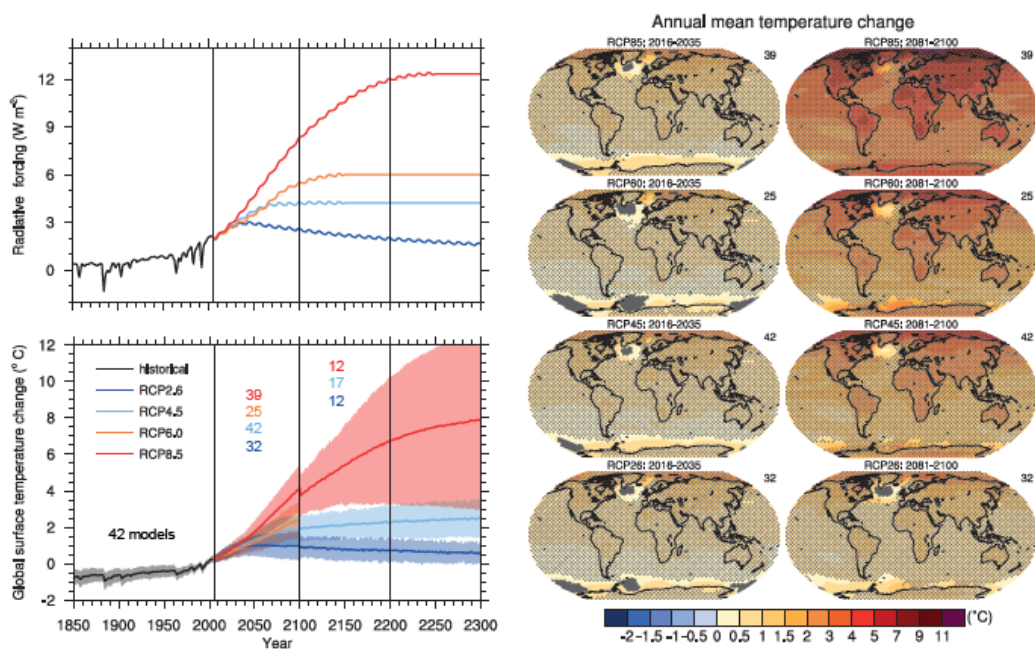


Figure TS.15 | (Top left) Total global mean radiative forcing for the four RCP scenarios based on the Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change (MAGICC) energy balance model. Note that the actual forcing simulated by the CMIP5 models differs slightly between models. (Bottom left) Time series of global annual mean surface air temperature anomalies (relative to 1986–2005) from CMIP5 concentration-driven experiments. Projections are shown for each RCP for the multi-model mean (solid lines) and ± 1.64 standard deviation (5 to 95%) across the distribution of individual models (shading), based on annual means. The 1.64 standard deviation range based on the 20 yr averages 2081–2100, relative to 1986–2005, are interpreted as *likely* changes for the end of the 21st century. Discontinuities at 2100 are due to different numbers of models performing the extension runs beyond the 21st century and have no physical meaning. Numbers in the same colours as the lines indicate the number of different models contributing to the different time periods. Maps: Multi-model ensemble average of annual mean surface air temperature change (compared to 1986–2005 base period) for 2016–2035 and 2081–2100, for RCP2.6, 4.5, 6.0 and 8.5. Hatching indicates regions where the multi-model mean signal is less than one standard deviation of internal variability. Stippling indicates regions where the multi-model mean signal is greater than two standard deviations of internal variability and where 90% of the models agree on the sign of change. The number of CMIP5 models used is indicated in the upper right corner of each panel. Further detail regarding the related Figures SPM.7a and SPM.8.a is given in the TS Supplementary Material (Box 12.1; Figures 12.4, 12.5, 12.11; Annex I)

Obr. 22 Celkové globální průměrné radiační vyzařování a průměrné roční změny teplot (STOCKER, DAHE, PLATTNER a kol., 2013, s. 89).

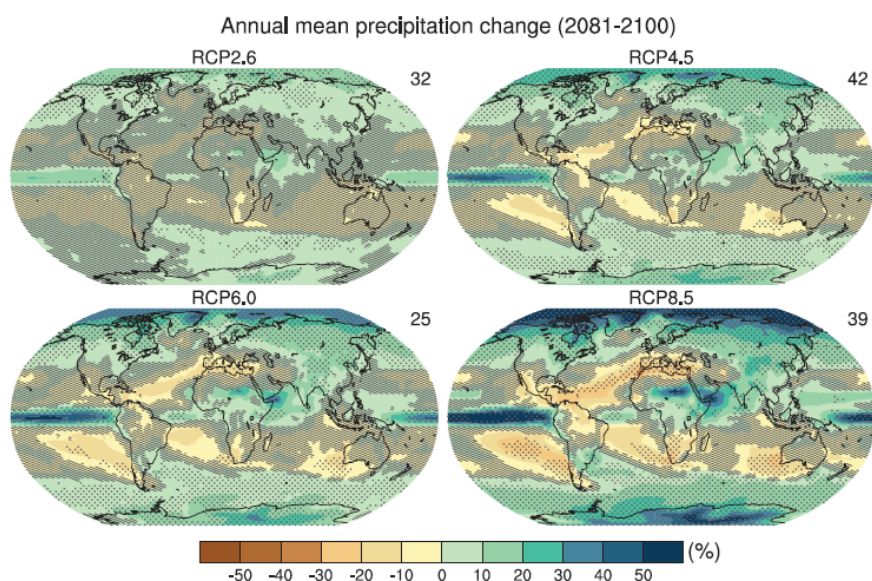


Figure TS.16 | Maps of multi-model results for the scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5 in 2081–2100 of average percent change in mean precipitation. Changes are shown relative to 1986–2005. The number of CMIP5 models to calculate the multi-model mean is indicated in the upper right corner of each panel. Hatching indicates regions where the multi-model mean signal is less than 1 standard deviation of internal variability. Stippling indicates regions where the multi-model mean signal is greater than 2 standard deviations of internal variability and where 90% of models agree on the sign of change (see Box 12.1). Further detail regarding the related Figure SPM.8b is given in the TS Supplementary Material. (Figure 12.22; Annex I)

Obr. 23 Mapa procentuální změny průměrných srážkových úhrnů pro scénáře RCP 2.6, RCP4.5, RCP6.0 a RCP8.5 pro 2081-2100 (STOCKER, DAHE, PLATTNER a kol., 2013, s. 91).

Je velká pravděpodobnost, že ledový zámrz v Arktidě se bude postupně ztenčovat, pokud se bude průměrná teplota povrchu Země (GMST) neustále zvyšovat. Podle stejného modelu také v Antarktidě dojde ke snížení mocnosti mořského ledu (Obr. 8). V těchto výsledcích se však objevuje velká míra nejistoty díky nedostatku dat. Snížení množství sněhové pokrývky i permafrostu je při zvýšení teplot téměř jisté.

RCP scénáře předpovídají oteplení světového oceánu. Nejvíce však v oblastech tropů a subtropů a také v Jižním oceánu. Nejdůležitější odhady jsou pro hloubku 100 m. Vzhledem k dlouhodobému přenosu tepla do hlubších částí oceánu, bude oteplování oceánu pokračovat i přes snížení emisí skleníkových plynů a podobně poroste i poloha hladiny světového oceánu.

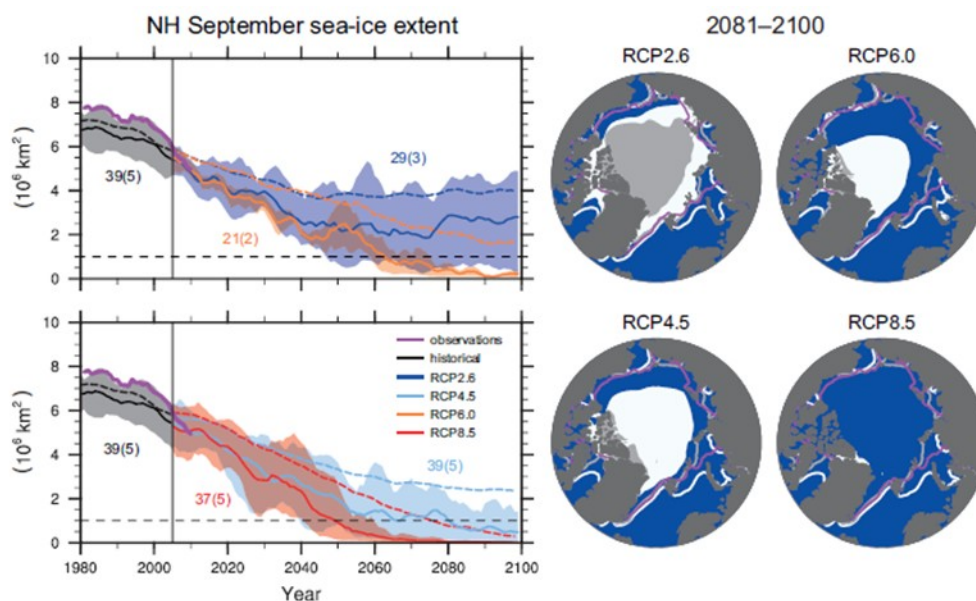


Figure TS.17 | Northern Hemisphere (NH) sea ice extent in September over the late 20th century and the whole 21st century for the scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5 in the CMIP5 models, and corresponding maps of multi-model results in 2081–2100 of NH September sea ice extent. In the time series, the number of CMIP5 models to calculate the multi-model mean is indicated (subset in brackets). Time series are given as 5-year running means. The projected mean sea ice extent of a subset of models that most closely reproduce the climatological mean state and 1979–2012 trend of the Arctic sea ice is given (solid lines), with the minimum to maximum range of the subset indicated with shading. Black (grey shading) is the modelled historical evolution using historical reconstructed forcings. The CMIP5 multi-model mean is indicated with dashed lines. In the maps, the CMIP5 multi-model mean is given in white and the results for the subset in grey. Filled areas mark the averages over the 2081–2100 period, lines mark the sea ice extent averaged over the 1986–2005 period. The observed sea ice extent is given in pink as a time series and averaged over 1986–2005 as a pink line in the map. Further detail regarding the related Figures SPM.7b and SPM.8c is given in the TS Supplementary Material. (Figures 12.18, 12.29, 12.31)

Obr. 24 Rozsah ledu na severní polokouli v září pro scénáře RCP 2.6, RCP4.5, RCP6.0 a RCP8.5 pro 2081-2100 (STOCKER, DAHE, PLATTNER a kol., 2013, s. 92).

Dlouhodobé projekce uhlíku a dalších biochemických cyklů

Všechny scénáře RCP využívají vzrůst koncentrace uhlíku. Dále předpokládají stejné využívání uhlíku v cyklu (využití přírodou) do roku 2100. Zde se předpovědi potýkají v nepřesnosti modelování změn uhlíku.

Existují regionální rozdíly mezi uhlíkem v zemi a atmosférickým uhlíkem v reakci na změny klimatu podle ESM CMIP5. Největší shodu ukazují modely pro tropické oblasti, které ukládají nejméně uhlíku v teplejším klimatu. Ve vyšších zeměpisných šířkách, podle průměrných shod, se zvýší ukládání uhlíku v půdě. Žádný z těchto modelů nepočítá s možností ukládání uhlíku v permafrostu, který by mohl pomoci k vyrovnání uhlíkového cyklu. Se ztrátou uhlíku ze zmrzlých půd (pozitivní radiační zpětná vazba) současné modely nepočítají.

Je velká pravděpodobnost, že nízká dostupnost dusíku omezuje ukládání uhlíku v půdě (i při zahrnutí antropogenního ukládání dusíku). Není jasné, jakou roli sehraje omezení fosforu.

Pomocí simulace ESM, které jsou primárně řízeny koncentrací CO_2 (reprezentující obsah uhlíku v zemi a oceánu) umožňují kvantifikovat emise fosilních paliv. Modely RCP2.6 předpovídají průměrné snížení emisí o 50% (v rozmezí 14 až 96%) do roku 2050 ve srovnání s rokem 1990.

Je jisté, že zvýšené ukládání uhlíku do oceánu zvyšuje kyselost vody. Celkové zvýšení acidifikace ukazují všechny RCP modely (do r. 2100).

V důsledku oteplování se sníží obsah kyslíku v oceánu o několik procent v průběhu 21. století (především ve středních šířkách).

Uhlíkový cyklus odpovídá a bude odpovídat klimatickým změnám a zvyšování atmosférického CO₂ v průběhu 21. století.

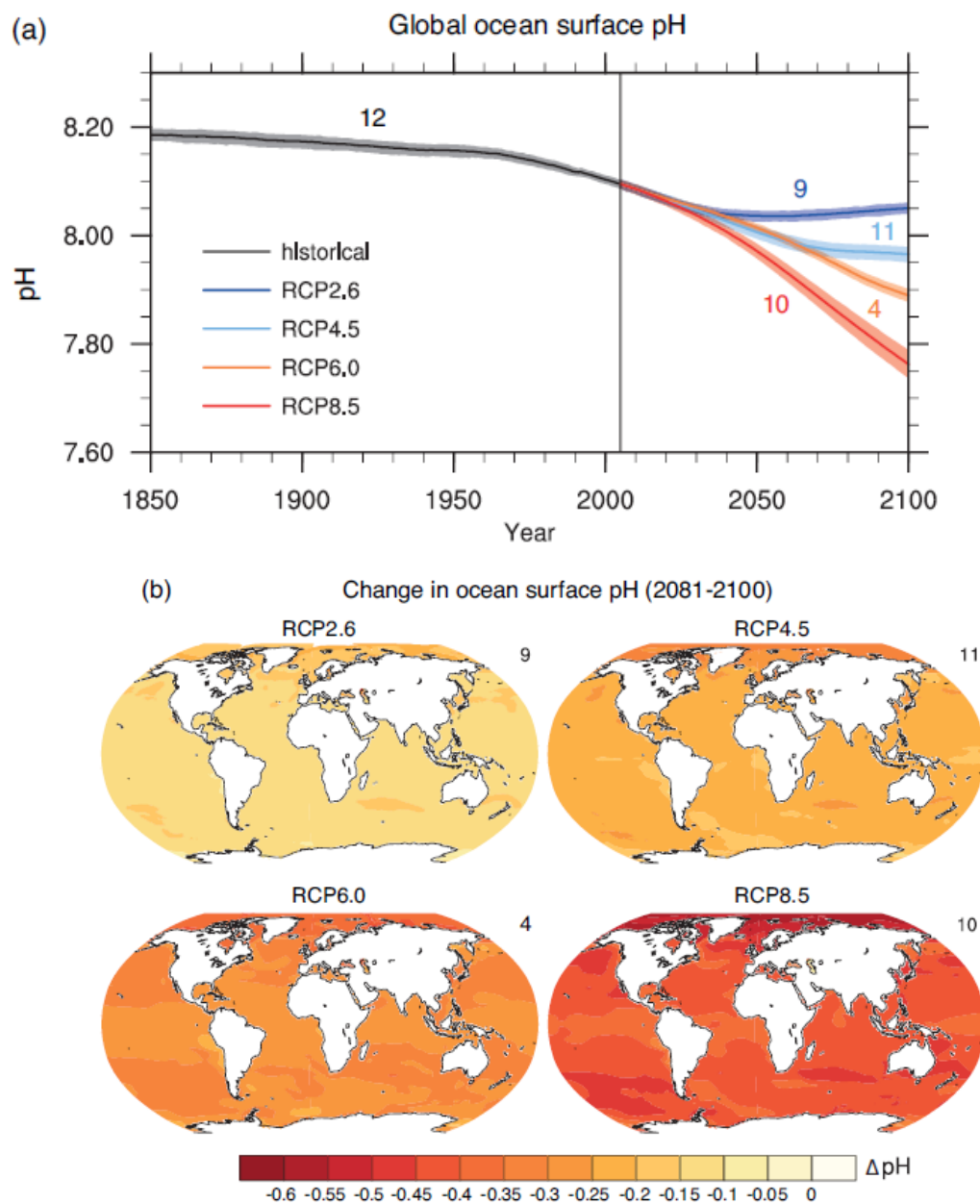


Figure TS.20 | (a) Time series (model averages and minimum to maximum ranges) and (b) maps of multi-model surface ocean pH for the scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5 in 2081–2100. The maps in (b) show change in global ocean surface pH in 2081–2100 relative to 1986–2005. The number of CMIP5 models to calculate the multi-model mean is indicated in the upper right corner of each panel. Further detail regarding the related Figures SPM.7c and SPM.8.d is given in the TS Supplementary Material. (Figure 6.28)

Obr. 25 Časový průběh vývoje pH v oceánu na povrchu a mapa povrchu oceánu pro scénáře RCP 2.6, RCP4.5, RCP6.0 a RCP8.5 pro 2081-2100 (STOCKER, DAHE, PLATTNER a kol., 2013, s. 95).

Metody klimatického geoinženýrství

Geoinženýrství je definováno jako záměrné velkoměřítkové zásahy do klimatického systému Země, prováděné za účelem potlačení nežádoucích dopadů klimatické změny na naši planetu. Geoinženýrskými metodami jsou metody Carbon Dioxide Reduction (CDR) a Solar Radiation Management (SRM). CDR má za cíl zpomalit předpokládané nárůsty koncentrací CO₂ v atmosféře, zrychlit přirozené odstraňování CO₂ a zvýšit ukládání uhlíku v zemi, oceánu a geologických rezervoárech. SRM má za cíl potlačit oteplování spojené s růstem koncentrací skleníkových plynů, čehož se snaží dosáhnout redukováním množství slunečního záření absorbovaného klimatickým systémem. Mezi metody SRM patří SRM through stratospheric aerosol injection, cloud brightening SRM a land albedo change SRM. Jak CDR tak SRM s sebou ovšem přináší vedlejší účinky a rizika. Například stratospheric aerosol SRM může v malé míře vést k úbytku stratosférického ozónu v polárních oblastech.

Dlouhodobé projekce změny mořské hladiny

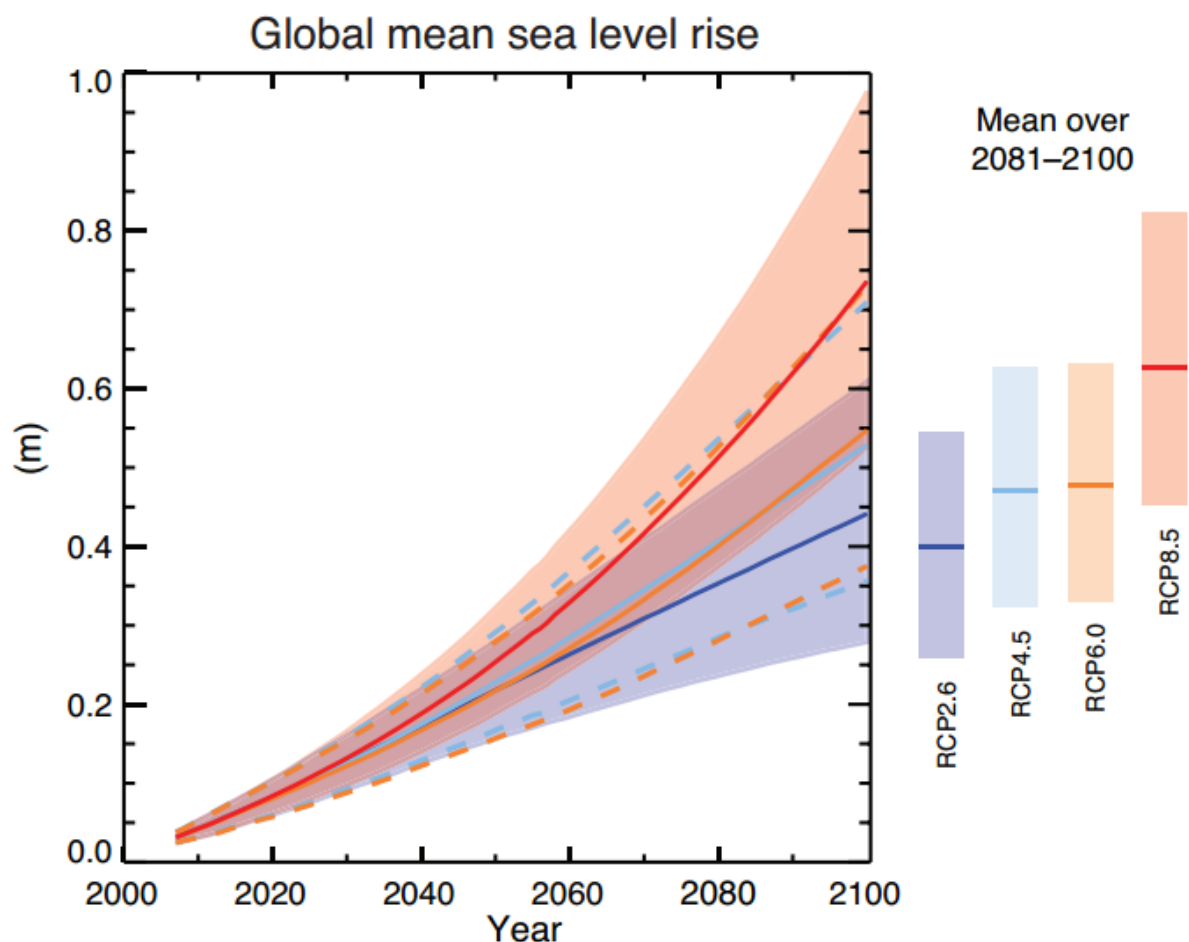
Projekce změny průměrné hladiny světového oceánu pro 21. století

Nárůst průměrné hladiny světového oceánu by měl podle Representative Concentration Pathways (RCP) scénářů v období 2081-2100 (vztažen relativně k období 1986-2005) dosáhnout následujících hodnot:

- 0,26 – 0,55 m pro RCP 2.6
- 0,32 – 0,63 m pro RCP 4.5
- 0,33 – 0,63 m pro RCP 6.0
- 0,45 – 0,82 m pro RCP 8.5

Uvedené hodnoty jsou pravděpodobnými (likely, medium confidence) intervaly spolehlivosti v rozsahu 5–95 % pro jednotlivé scénáře.

Do poloviny 21. století leží projektované střední hodnoty všech čtyř scénářů v rozsahu 0,05 m od sebe (viz Obr. 26). Scénáře se začínají rozcházet až po půlce 21. století. Největším příspěvkem k nárůstu hladiny světového oceánu bude podle všech scénářů mít tepelná roztažnost vody. Konkrétně se bude jednat o 30 – 55 % celkového nárůstu. Druhým největším přispěvatelem budou ledovce, které budou mít na svědomí 15 – 35 % nárůstu hladiny světového oceánu. Do roku 2100 se podle scénáře RCP 2.6 roztopí 15–55% a podle scénáře RCP 8.5 35–85%, současného objemu ledovců (střední spolehlivost, medium confidence).



Obr. 26: Projekce budoucího nárůstu průměrné hladiny světového oceánu vztažené relativně k období 1986 – 2005 pro RCP scénáře 2.6, 4.5, 6.0 a 8.5. Plné čáry představují odhady mediánů jednotlivých scénářů. Přerušované čáry představují pravděpodobné (likely) intervaly pro RCP 4.5 a 6.0 a stínování pravděpodobné (likely) intervaly pro RCP 2.6 a RCP 8.5. Průměrné hodnoty mediánů a pravděpodobných (likely) intervalů pro období 2081–2100 jsou zobrazeny vedle grafu formou vertikálních obdélníků.

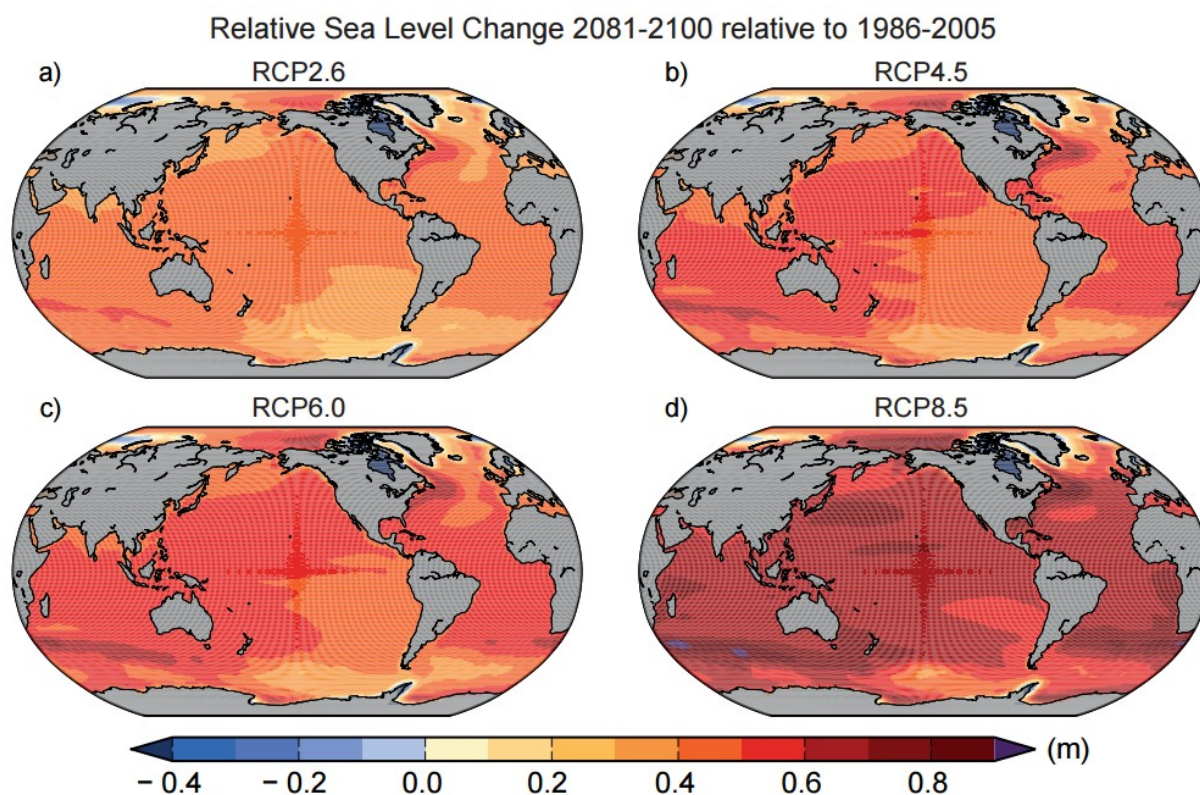
Projekce změny průměrné hladiny světového oceánu po 21. století

Je v podstatě jisté (virtually certain), že průměrná hladina světového oceánu bude narůstat i po roce 2100. Podle scénáře RCP 2.6 by měl v roce 2300 vůči preindustriálnímu období tento nárůst činit méně než 1 m (preindustriální období je definováno jako období, kdy byly koncentrace CO_2 v atmosféře rovny 280 ppm). Scénář RCP 2.6 předpokládá, že koncentrace CO_2 v atmosféře ve svém budoucím vývoji nepřekročí hranici 500 ppm. Oproti tomu scénář RCP 8.5 předpokládá v roce 2300 nárůst hladiny světového oceánu o 1 až >3 m vůči preindustriálnímu období. Scénář RCP 8.5 předpokládá koncentrace CO_2 v rozmezí 700–1500 ppm.

Projekce regionální změny hladiny moře

Na konci 21. století bude mít změna hladiny světového oceánu výraznou regionální proměnlivost. Je velmi pravděpodobné (very likely), že na více než 95% plochy oceánu dojde k nárůstu hladiny. Většina oblastí, v nichž dojde k poklesu hladiny moře, se bude nacházet v blízkosti přítomných a bývalých horských a kontinentálních ledovců. V Jižním oceánu a v okolí Severní Ameriky budou regionální změny mořské hladiny dosahovat hodnot až 30% nad globálním průměrem.

V rovníkových oblastech budou tyto změny dosahovat hodnot 10–20% nad globálním průměrem. Naopak v oblasti Arktidy a v některých oblastech Antarktidy budou změny mořské hladiny dosahovat hodnot až 50% pod globálním průměrem.



Obr. 27: Relativní změna výšky mořské hladiny mezi obdobími 1986–2005 a 2081–2100 pro scénáře RCP (a) 2.6, (b) 4.5, (c) 6.0 a (d) 8.5).

Projekce změny extrémů hladiny moře a vln během 21. století

Je velmi pravděpodobné (very likely) že koncem 21. století bude výskyt extrémů hladiny moře významně vyšší než dnes, přičemž k nárůstu četnosti těchto extrémů dojde pravděpodobně (likely) na počátku 21. století. Je pravděpodobné (likely, medium confidence), že v důsledku zvýšení rychlosti větru, vzroste průměrná výška vln v Jižním oceánu. Je velmi pravděpodobné (very likely), že v důsledku zmenšení rozsahu mořského ledu v Arktickém oceánu, se v této oblasti zvýší výška vln a prodlouží se roční doba, kdy bude docházet k vlnění.

Klimatické fenomény a regionální klimatická změna

Tato část hodnotí předpokládané změny klimatických fenoménů velkého měřítka, k nimž by mělo dojít během 21. století. Těmito fenomény jsou myšleny takové klimatické systémy, které určují regionální klima jednotlivých oblastí zemského povrchu.

Monzunové systémy

Je pravděpodobné (likely), že oblast dotčená monzuny a letní monzunové srážky ve 21. století vzrostou. Začátek monzunové sezóny bude pravděpodobně (likely) přicházet dříve nebo se příliš nezmění, zatímco konec monzunové sezóny bude pravděpodobně (likely) přicházet později. To bude mít za následek prodloužení monzunové sezóny v mnoha regionech. U letních monzunů východní a jižní Asie je očekáván nárůst průměrných srážkových úhrnů. Budoucí změny srážkových úhrnů v dalších monzunových regionech jsou předmětem příliš velkých nejistot, než aby mohly být spolehlivě odhadnuty.

Tropické fenomény

Se střední spolehlivostí (medium confidence) můžeme konstatovat, že v budoucnu dojde k nárůstu průměrných sezónních srážek na rovníkové straně tropické zóny konvergence. Středně spolehlivý (medium confidence) je také předpoklad, že v subtropických oblastech Severní, Střední a Jižní Ameriky, Karibiku, Afriky a západní Asie dojde k poklesu srážkových úhrnů.

Tab. 1: Přehled předpokládaných změn klimatu v jednotlivých regionech a jejich vztah k hlavním klimatickým fenoménům. (při přiblížení čitelné)

Regions	Projected Major Changes in Relation to Phenomena
Arctic {14.8.2}	Wintertime changes in temperature and precipitation resulting from the small projected increase in North Atlantic Oscillation (NAO); enhanced warming and sea ice melting; significant increase in precipitation by mid-century due mostly to enhanced precipitation in extratropical cyclones.
North America {14.8.3}	Monsoon precipitation will shift later in the annual cycle; increased precipitation in extratropical cyclones will lead to large increases in wintertime precipitation over the northern third of the continent; extreme precipitation increases in tropical cyclones making landfall along the western coast of USA and Mexico, the Gulf Mexico, and the eastern coast of USA and Canada.
Central America and Caribbean {14.8.4}	Projected reduction in mean precipitation and increase in extreme precipitation; more extreme precipitation in tropical cyclones making landfall along the eastern and western coasts.
South America {14.8.5}	A southward displaced South Atlantic Convergence Zone increases precipitation in the southeast; positive trend in the Southern Annular Mode displaces the extratropical storm track southward, decreasing precipitation in central Chile and increasing it at the southern tip of South America.
Europe and Mediterranean {14.8.6}	Enhanced extremes of storm-related precipitation and decreased frequency of storm-related precipitation over the eastern Mediterranean.
Africa {14.8.7}	Enhanced summer monsoon precipitation in West Africa; increased short rain in East Africa due to the pattern of Indian Ocean warming; increased rainfall extremes of landfall cyclones on the east coast (including Madagascar).
Central and North Asia {14.8.8}	Enhanced summer precipitation; enhanced winter warming over North Asia.
East Asia {14.8.9}	Enhanced summer monsoon precipitation; increased rainfall extremes of landfall typhoons on the coast; reduction in the midwinter suppression of extratropical cyclones.
West Asia {14.8.10}	Increased rainfall extremes of landfall cyclones on the Arabian Peninsula; decreased precipitation in northwest Asia due to a northward shift of extratropical storm tracks.
South Asia {14.8.11}	Enhanced summer monsoon precipitation; increased rainfall extremes of landfall cyclones on the coasts of the Bay of Bengal and Arabian Sea.
Southeast Asia {14.8.12}	Reduced precipitation in Indonesia during July to October due to the pattern of Indian Ocean warming; increased rainfall extremes of landfall cyclones on the coasts of the South China Sea, Gulf of Thailand and Andaman Sea.
Australia and New Zealand {14.8.13}	Summer monsoon precipitation may increase over northern Australia; more frequent episodes of the zonal South Pacific Convergence Zone may reduce precipitation in northeastern Australia; increased warming and reduced precipitation in New Zealand and southern Australia due to projected positive trend in the Southern Annular Mode; increased extreme precipitation associated with tropical and extratropical storms
Pacific Islands {14.8.14}	Tropical convergence zone changes affect rainfall and its extremes; more extreme precipitation associated with tropical cyclones
Antarctica {14.8.15}	Increased warming over Antarctic Peninsula and West Antarctic related to the positive trend in the Southern Annular Mode; increased precipitation in coastal areas due to a poleward shift of storm track.

El Niño – Jižní Oscilace

S vysokou spolehlivostí (high confidence) můžeme konstatovat, že El Niño-Southern Oscillation (ENSO) zůstane ve 21. století dominantním prvkem přirozené variability klimatu a dopady tohoto jevu budou nadále globální. S vysokou spolehlivostí (high confidence) můžeme konstatovat

také to, že regionální srážková variabilita vyvolaná tímto jevem se zintenzivní. Přirozené variace v amplitudě a prostorovém vzoru ENSO jsou tak velké, že spolehlivost projekcí jakékoliv změny těchto parametrů pro 21. století zůstává malá.

Cyklóny

Podle projekcí je pravděpodobné (likely), že tropické cyklóny se budou ve 21. století, v celosvětovém měřítku vyskytovat buď s nižší, nebo s nezměněnou frekvencí. Zároveň je také pravděpodobné (likely), že u tropických cyklón dojde ve 21. století k nárůstu maximální rychlosti větru a intenzity srážek. Je nepravděpodobné (unlikely), že by celkový počet mimotropických cyklón během 21. století klesl o více než několik procent. Také v případě bouří je pravděpodobné (likely), že budoucí změny budou malé.

Prstencovité a bipolární módy variability

Boreální zimní Severoatlantická oscilace (NAO) bude v budoucnu velmi pravděpodobně (very likely) projevovat velké přirozené variace, stejně jako tomu bylo v minulosti. NAO se pravděpodobně (likely) stane v průměru trochu více pozitivní, což bude mít dopady na zimní podmínky Arktidy, Severní Ameriky a Eurasie.

Klimatické extrémy

Teplotní extrémy, horké vlny a teplá období

Je velmi pravděpodobné (very likely), že maximální i minimální teplotní extrémy se od poloviny 20. století ve většině pevninských oblastí oteplily. U pevninských oblastí, pro něž je k dispozici dostatek dat, byl zaznamenán celkový nárůst v počtu teplých dní a nocí (warm days and nights¹). Ve shodě s tím byl zaznamenán pokles v počtu chladných dní a nocí (cold days and nights²). Většina pevninských oblastí, zaznamenala od poloviny 20. století také nárůst počtu horkých vln.

Dle krátkodobých (desetiletých) projekcí je pravděpodobné (likely), že dojde k dalšímu růstu teplotních extrémů. V podstatě jisté (virtually certain) je podle projekcí to, že k oteplování teplotních extrémů dojde také v dlouhodobém měřítku. Podle vysoko-emisních scénářů je pravděpodobné (likely), že ve většině pevninských oblastí se na konci 21. století frekvence současných 20-letých teplotních maxim nejmeně zdvojnásobí, přičemž v mnoha regionech se stane ročním nebo 2-letým teplotním maximem. Projekce očekávají růst jak maximálních tak minimálních teplot a to minimálně ve stejném tempu v jakém bude růst průměrná teplota.

¹ Warm days/warm nights - Days where maximum temperature, or nights where minimum temperature, exceeds the 90th percentile, where the respective temperature distributions are generally defined with respect to the 1961–1990 reference period (from IPCC, 2013- Annex III-Glossary).

² Cold days/cold nights - Days where maximum temperature, or nights where minimum temperature, falls below the 10th percentile, where the respective temperature distributions are generally defined with respect to the 1961–1990 reference period. For the corresponding indices (from IPCC, 2013- Annex III-Glossary).

Srážkové extrémy

Je pravděpodobné (likely), že od poloviny 20. století počet intenzivních srážkových epizod (heavy rain events) vzrostl ve více pevninských oblastech, než v nichž klesl. Krátkodobé i dlouhodobé projekce založené na modelu CMIP5 předpovídají nárůst počtu intenzivních srážkových epizod v globálním měřítku. Nad většinou kontinentálních oblastí středních šířek a nad vlhkými tropickými oblastmi budou, při vyšší průměrné teplotě, extrémní srážkové epizody velmi pravděpodobně (very likely) více intenzivní a více časté.

Povodně a sucha

V případě povodní se potýkáme s nedostatkem přístrojových pozorování. V důsledku toho nemůžeme spolehlivě určit, zda v globálním měřítku dochází od začátku období přístrojových pozorování ke zvyšování, nebo snižování velikosti a frekvence povodní (low confidence).

V případě sucha, máme přesvědčivé argumenty jak pro, tak proti významnému nárůstu plochy pevniny ovlivněné suchem od poloviny 20. století. Podle scénáře RCP 8.5, na konci 21. století pravděpodobně (likely, medium confidence) vzroste riziko sucha v současných suchých oblastech. Toto rostoucí riziko sucha bude vztažené k předpokládanému regionálnímu až globálnímu poklesu vlhkosti půdy. Snižování vlhkosti půdy je nejvíce výrazné v Mediteránu, jihovýchodním USA a jižní Africe.

Extrémy mořské hladiny

Je pravděpodobné (likely), že velikost událostí extrémně vysokých hladin moře, od roku 1970 vzrostla a že většina tohoto nárůstu byla způsobena nárůstem průměrné hladiny světového oceánu. Je velmi pravděpodobné (very likely), že v budoucnu dojde k významnému nárůstu četnosti extrémů mořské hladiny, přičemž také tento nárůst bude primárně způsoben nárůstem průměrné hladiny světového oceánu.

Tropické a extratropické cyklóny

Od začátku období družicového pozorování (cca od 70. let 20. stol.) byl s velmi vysokou spolehlivostí (very high confidence) zaznamenán výrazný nárůst četnosti a intenzity nejsilnějších bouří v severním Atlantiku. Podle projekcí je pravděpodobné (likely), že ve 21. století se budou tropické cyklóny v celosvětovém měřítku vyskytovat buď s nižší, nebo s nezměněnou frekvencí. Zároveň je také pravděpodobné (likely), že v tropických cyklónách dojde ve 21. století k nárůstu maximální rychlosti větru a intenzity srážek.

TS. 6 NEJDŮLEŽITĚJŠÍ NEJISTOTY

Jedná se o závěrečnou kapitolu Technical Summary, která prezentuje krátký přehled nejdůležitějších nejistot, s nimiž se potýkáme při snaze porozumět klimatickému systému a při snaze předpovídat změny způsobené antropogenním působením.