

# Atmosféra a hydrosféra Země

## Lekce 6

Klima Země a jeho vývoj,  
Klimatické klasifikace,  
Změny a kolísání klimatu



RNDr. Jiří Jakubínský, Ph.D. | 20. 4. 2022

## Klima Země a jeho vývoj

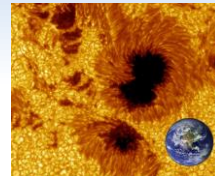
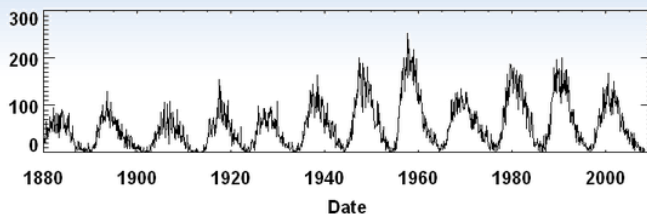
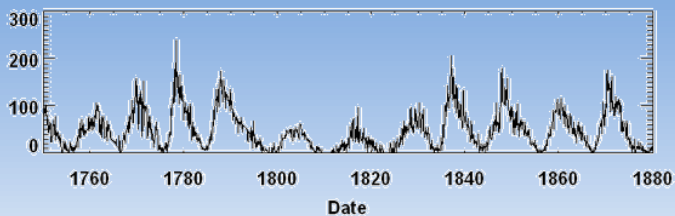
- **klima** (podnebí): **souhrn a postupné střídání všech stavů atmosféry** (podmínek počasí) **možných v daném místě**
- **atmosférický geosystém** – vzájemná interakce s ostatními geosystémy (litosféra, hydrosféra, kryosféra, pedosféra, biosféra, socioekonomická sféra)
- **klimatotvorné faktory:**
  - **astronomické** (tvar Země, sklon zemské osy, změny sluneční aktivity, složení atmosféry, uchylující síla zemské rotace)
  - **geografické** (zeměpisná šířka, rozdělení kontinentů a oceánů, orografické poměry, vzdálenost od moří a oceánů, vegetační kryt, atd.)
  - **cirkulační** (planetární a místní cirkulace atmosféry)
  - **antropogenní** (změny vlastností atmosféry a zemského povrchu vlivem člověka)

## Klima Země a jeho vývoj

- **astronomické faktory (AF)**
  - vliv na časoprostorové **změny bilance záření a energetické bilance** v systému AP – atmosféra
  - podmíněné **zenitovou vzdáleností Slunce** a jejími změnami v čase, **pohlcováním a rozptylem záření** v atmosféře
  - závislost zenitové vzdálenosti Slunce na insolaci a bilanci záření je v reálné atmosféře ovlivněna cirkulačními a geografickými faktory
  - důsledek vlivu AF: **šířková pásmovitost** planetárního geosystému
  - vznik regionálních geosystémů, tzv. **geomů**
- **cirkulační faktory (CF)**
  - vliv všeobecné cirkulace atmosféry a systému mořských proudů
  - změna vlastností klimatických prvků vlivem stálého transportu vzduchových hmot z oblastí svého vzniku do jiných oblastí

3

## Klima Země a jeho vývoj



Počet slunečních skvrn zaznamenaných pozorováním ze Země do r. 2008 (spaceweather.com)

4

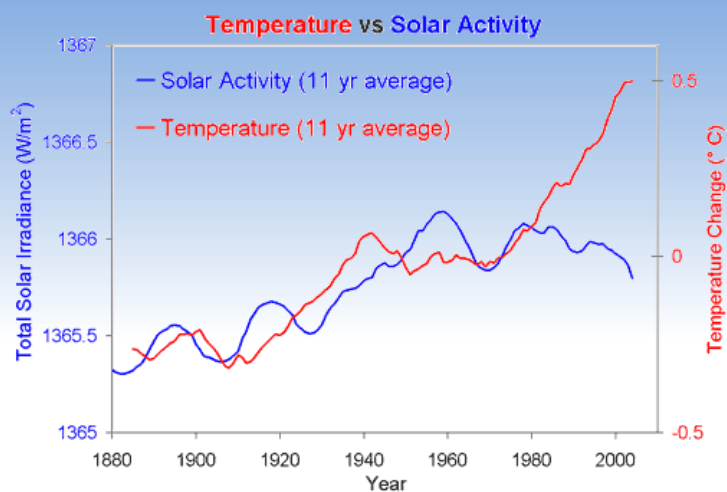
## Klima Země a jeho vývoj



„Maunderovo minimum“ – Temže, 1677 (Wikimedia Commons)

5

## Klima Země a jeho vývoj



Aktivita Slunce vs. průměrná teplota na Zemi (11-leté klouzavé průměry)  
(skepticalscience.com)

6

## Klima Země a jeho vývoj

- **geografické faktory (GF)**
  - rozložení pevnin a oceánů
  - druh, struktura a složení AP pevnin a jeho podloží
  - charakter reliéfu pevnin
  - teplota povrchové vrstvy vody oceánů
  - vliv na **zonální** a **meridionální rozdíly** bilance záření a energetické bilance v měřítku geomů
  - důsledek: existence **specifických klimat** (kontinentální vs. oceánské)
  - význam zejména na S polokouli
  - makrorelief pevnin podmiňuje **vertikální změnu geosystémů** (→ vertikální geomy, vertikální stupňovitost vegetace)
  - **výšková klimatická stupňovitost** – změny bilance záření s nadmořskou výškou, expozicí a orientací svahů (→ expoziční asymetrie)
  - intenzivnější **vertikální změny klimatických prvků** oproti změnám horizontálním (klimatické stupně jsou méně rozměrné než klim. pásy)

7

## Klima Země a jeho vývoj

- **antropogenní faktory (TF)**
  - ekonomická činnost lidské společnosti
  - produkce odpadní uměle vyrobené energie → **tepelné znečištění atmosféry**
  - lokální vliv na energetickou bilanci systému AP – A
  - „**tepelný ostrov města**“
  - emise znečištěnin do vysoké troposféry a spodní stratosféry, transport na značné vzdálenosti → **globální znečištění**
  - změny chemismu a fyzikálních vlastností atmosféry
  - **znečištění primární / sekundární** (→ smog)
  - vyšší obsah umělých aerosolů v atm. = zvýšený počet kondenzačních jader s hygroskopickou povahou

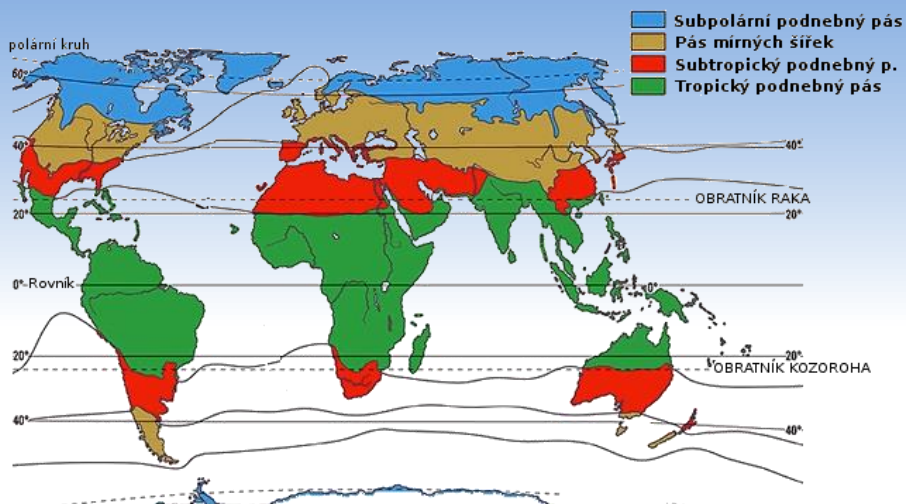
8

## Klimatické klasifikace

- podstata v existenci **zonality (pásmovitosti) klimatických podmínek** na Zemi
- základní faktor pro členění klimát Země = zeměpisná šířka, bilance slunečního záření během roku
- **klimatický pás**
  - společné základní rysy klimatických poměrů
  - zonální protažení
  - **hlavní klimatické pásy:**
    - **tropický pás** (kladná bilance záření)
    - **mírný pás S a J polokoule** (proměnlivá radiační bilance)
    - **polární pás** (arktický / antarktický, záporná bilance)
  - **přechodné pásy:**
    - **subtropický pás**
    - **subpolární pás**
  - oceánský / kontinentální / horský typ podnebí

9

## Klimatické klasifikace



10

## Klimatické klasifikace

- **cíl klimatických klasifikací:** vymezení základních klasifikačních jednotek a stanovení jejich geografického rozložení na Zemi
- prostorová generalizace
- **konvenční klasifikace**
  - vymezení a popis typů klimatu dle mezních, konvenčně stanovených hodnot meteorologických prvků
  - absence výkladu geneze klimatu jednotlivých typů
  - např. klasifikace A. Pencka (1910), W. Köppena a R. Geigera (1928), W. Gorczyńského (1948), ...
- **genetické klasifikace**
  - vycházejí z cirkulačních klimatotvorných faktorů
  - klasifikační metoda je zároveň metodou výkladu vzniku daného klimatického typu
  - větší důraz na geografickou zonalitu
  - např. klasifikace A. Hettnera (1930), B. P. Alisova (1950), A. N. Strahlera (1969)

11

## Klimatické klasifikace

- **Köppen-Geigerova klasifikace klimatu**
  - světově **nejrozšířenější konvenční klasifikace**
  - základem roční izotermy, délky trvání určitých teplot + nepřímé indikátory klimatu (flóra, fauna), později nahrazené kvantitativními charakteristikami
  - r. 1928: Wladimir Köppen spolu s Rudolfem Geigerem sestavují mapu klimatických oblastí Země
  - založena na **teplotním a srážkovém režimu a jeho vlivu na biotu**
  - **5 základních klimatických pásů (A–E)**
  - **klimatické typy** podle ročního režimu teploty a srážek:
    - **w** – suchá zima, **s** – suché léto, **f** – rovnoměrné rozložení srážek během roku, **m** – periodické srážky, **S** – step, **W** – poušť, **H** – horské klima
  - **klimatické podtypy:**
    - **a** – s horkým létem, **b** – s teplým létem, **c** – s chladným létem, **d** – s velmi chladnou zimou, **h** – horké klima nižších z. š., **k** – chladné klima vyšších z. š.

12

## Klimatické klasifikace

- **Köppen-Geigerova klasifikace klimatu**
  - **A – pás vlhkého tropického klimatu** (cca 36 % plochy Země)
    - bez chladných ročních období
    - průměrné měsíční teploty vzduchu **nad 18 °C**
    - velmi malá roční amplituda teploty (do 6 °C)
    - roční úhrn srážek **nad 750 mm**
    - srážky převažují nad výparem
    - velká pravidelnost v cirkulaci atmosféry
    - **typy:**
      - **Af** – klima vlhkých tropických pralesů s rovnoměrným rozložením srážek během roku
      - **Am** – monzunová varianta typu Af
      - **Aw** – klima savan s výraznou suchou periodou v zimě

13

## Klimatické klasifikace

- **Köppen-Geigerova klasifikace klimatu**
  - **B – pás suchého klimatu** (cca 11 % plochy Země)
    - nízké srážkové úhrny
    - vysoká výparnost
    - v několika měsících přesahuje prům. teplota 18 °C
    - hranice mezi pásem B a pásy A, C, D vymezeny tzv. hranicí suchosti
    - **typy:** **BS** – klima stepí, **BW** – klima pouští
  - **C – pás mírně teplého klimatu** (cca 27 % plochy Země)
    - výrazná proměnlivost počasí
    - vyvinutá cyklonální činnost
    - 4 roční období
    - relativně chladná zima bez sněhové pokrývky
    - izoterma +18 °C nejteplejšího a -3 °C nejchladnějšího měsíce
    - **typy:** **Cw** – mírně teplé klima se suchou zimou, **Cs** – mírně teplé klima se suchým létem, **Cf** – mírně teplé klima s rovnoměrným rozložením srážek během roku

14

# Klimatické klasifikace

- **Köppen-Geigerova klasifikace klimatu**

- **D – pás mírně studeného (boreálního) klimatu** (cca 7 %)

- izoterma -3 °C nejchladnějšího a +10 °C nejteplejšího měsíce
- relativně krátké léto
- srážky převyšují hranici suchosti
- pravidelná sněhová pokrývka
- vyvinut výrazně pouze na S polokouli
- **typy: Dw** – mírně studené klima se suchou zimou (zabajkalský typ), **Df** – mírně studené klima s rovnoměrným rozložením srážek během roku

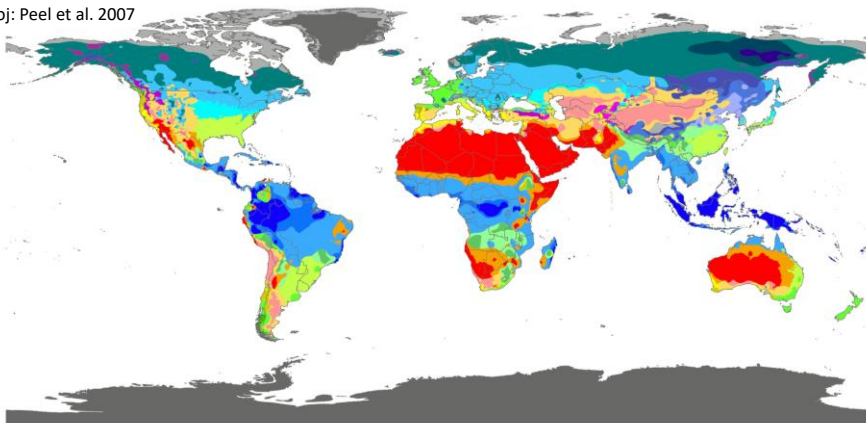
- **E – pás polárního (studeného, sněžného) klimatu** (cca 19 %)

- mírná až velmi studená zima
- obvykle záporná teplota
- nízké srážkové úhrny (většinou sněh)
- **typy: ET** – klima tundry (teplota nejteplejšího měsíce mezi 0° a 10° C), **EF** – klima věčného mrazu (teplota nejteplejšího měsíce nižší než 0° C), **EH** – klima vysokohorských oblastí mírných a nízkých z. š.

15

# Klimatické klasifikace

zdroj: Peel et al. 2007



Af	BWh	Csa	Cwa	Cfa	Dsa	Dwa	Dfa	ET
Am	BWk	Csb	Cwb	Cfb	Dsb	Dwb	Dfb	EF
Aw	BSh	Cwc	Cfc	Dsc	Dwc	Dfc		
BSk				Dsd	Dwd	Dfd		

DATA SOURCE : GHCN v2.0 station data  
Temperature (N = 4,844) and  
Precipitation (N = 12,396)

PERIOD OF RECORD : All available

MIN LENGTH : ≥30 for each month.

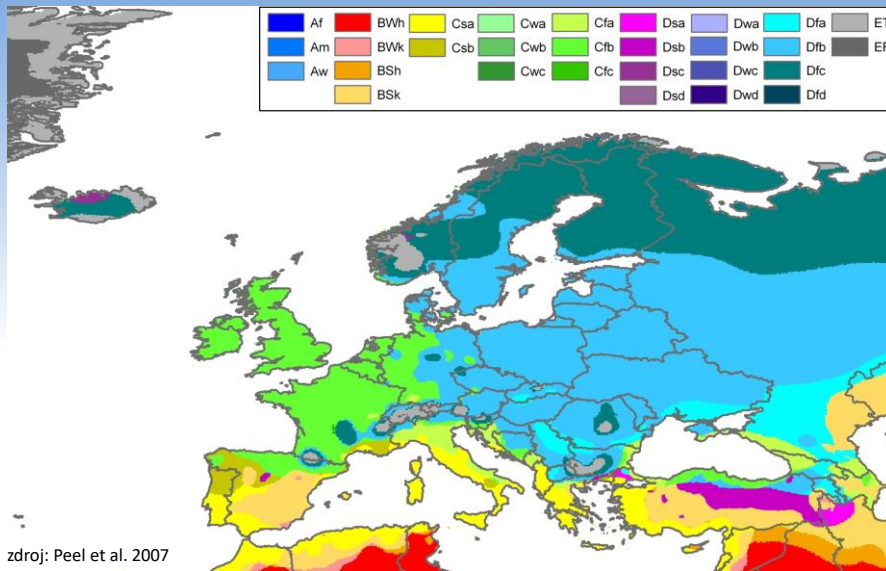
RESOLUTION : 0.1 degree lat/long

Contact : Murray C. Peel (mpeel@unimelb.edu.au) for further information

16



## Klimatické klasifikace



17

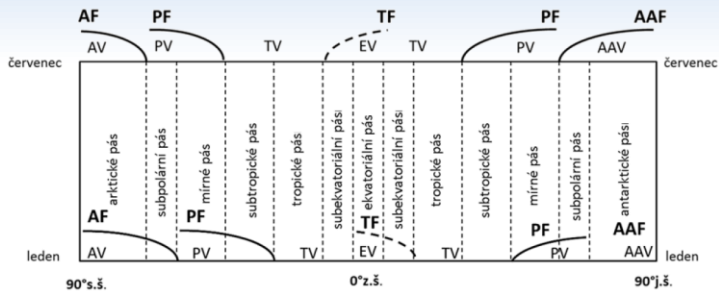
## Klimatické klasifikace

- **klasifikace klimatu podle B. P. Alisova**
  - **genetická klasifikace** vycházející z podmínek VCA
  - Boris Pavlovič Alisov ji zveřejnil r. 1940
  - **hlavní pásy** definovány dle průměrné polohy geografických typů VH během roku
  - **přechodné pásy** stanoveny dle sezónního střídání geografických typů VH v určité oblasti
  - 4 hlavní a 3 přechodné pásy na každé polokouli
  - hranice určeny polohou klimatických front
  - kontinentální a oceánský typ klimatu
  - typ klimatu západních / východních pobřeží pevnin

18

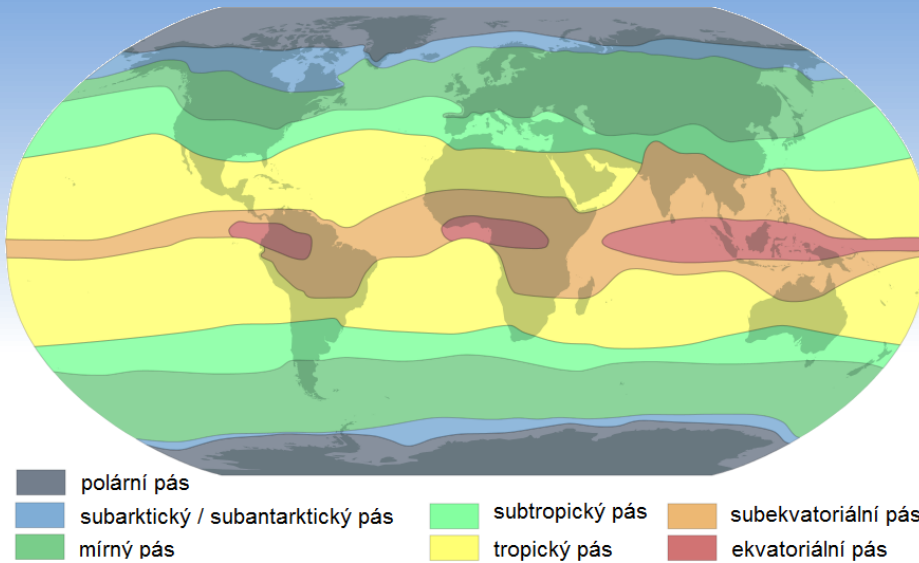
## Klimatické klasifikace

- **klasifikace klimatu podle B. P. Alisova**
  - ekvatoriální (rovníkový) pás
  - *subekvatoriální pás (rovníkových monzunů)*
  - tropický pás
  - *subtropický pás*
  - mírný pás
  - *subarktický (subantarktický) pás*
  - polární (arktický a antarktický) pás



19

## Klimatické klasifikace



20

## Klimatické pásy na Zemi

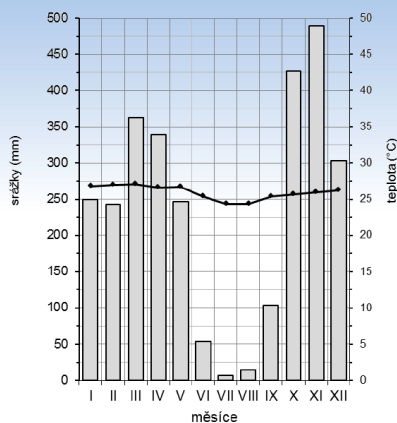
- **PÁS ROVNÍKOVÉHO KLIMATU (EKVATORIÁLNÍ PÁS)**
  - Köppen: Af
  - vyrovnaný teplotní režim během roku (amplituda max. 5 °C)
  - prům. měsíční teploty v rozmezí 24–28 °C
  - denní teplotní amplituda 10–15 °C
  - vysoký výpar → enormní absolutní vlhkost vzduchu
  - relativní vlhkost vzduchu nad 70 %
  - časté noční radiční mlhy a rosa (vysoký obsah vodní páry)
  - labilní teplotní zvrstvení (oblaka Cu, Cb)
  - prům. roční úhrn srážek 1000–3000 mm
  - srážky na pevnině ve dne, nad oceánem v noci
  - rovnoměrné rozložení srážek během roku (vyjma monzunových oblastí)
  - rozdíly mezi oceánským a kontinentálním klimatem jsou zanedbatelné

21

## Klimatické pásy na Zemi

- **PÁS ROVNÍKOVÉHO KLIMATU (EKVATORIÁLNÍ PÁS)**

Libreville  
0 m n. m.      26,0 °C  
2841 mm



všechny klimadiagramy převzaty z: Ruda 2014

22

## Klimatické pásy na Zemi

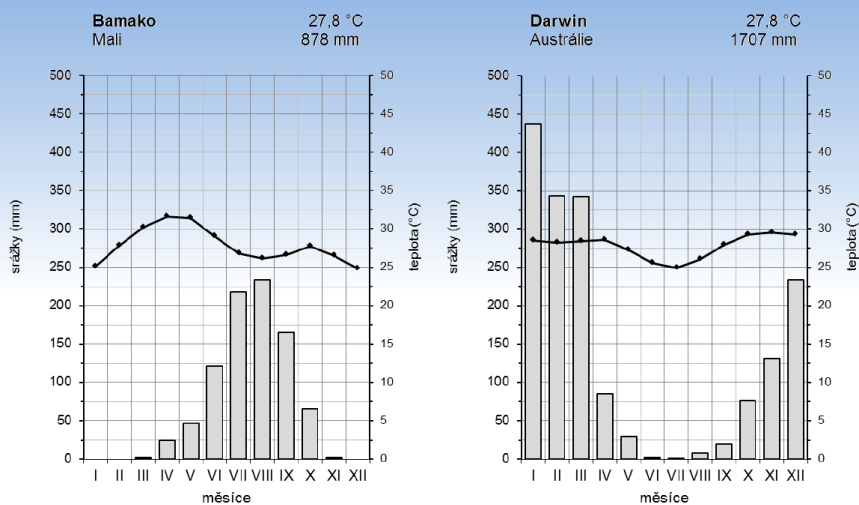
### • PÁS ROVNÍKOVÝCH MONZUNŮ (SUBEKVATORIÁLNÍ PÁS)

- Köppen: Af, Am
- **letní monzun:** vysoká vlhkost vzduchu na pevnině, malá denní amplituda teploty, intenzivní srážky
- **zimní monzun:** nízká vlhkost na pevnině, malé srážkové úhrny, vyšší denní teplotní amplituda
- maximální insolace obvykle v době mezi monzuny
- **kontinentální typ klimatu:**
  - vlhké léto, suchá zima
  - nejteplejší a nejsušší období = jaro
  - nejnižší teploty v zimě a v létě
  - konvekční lijáky – intenzita klesá se vzdáleností od rovníku
  - orografické zesílení srážek (Etiopská vysočina, Himálaj, atd.)
- **oceánský typ klimatu:**
  - zimní monzun – stabilní zvrstvení, letní monzun – labilní zvrstvení
  - srážky zejména v létě

23

## Klimatické pásy na Zemi

### • PÁS ROVNÍKOVÝCH MONZUNŮ (SUBEKVATORIÁLNÍ PÁS)



24

## Klimatické pásy na Zemi

- **PÁS TROPICKÉHO VZDUCHU (TROPICKÝ PÁS)**
  - anticyklóny nad oceány, termicky podmíněné cyklóny nad pevninami
  - tropický vzduch s malým obsahem vodní páry z důvodu nedostatku vláhý a přítomnosti pasátové inverze nad oceány
  - pouze malá oblačnost
  - AP ozářen intenzivněji než v ekvatoriálních oblastech
  - **kontinentální tropický typ klimatu** (Köppen: BWh, BSh)
    - extrémní sucho, horká léta, velká prašnost
    - denní teploty vzduchu až 40 °C
    - denní teplotní amplituda až 80 °C !
    - relativní vlhkost vzduchu v létě okolo 30 %, v zimě 50 %
  - **oceánský tropický typ klimatu** (Köppen: Aw, Cwa)
    - vysoká vlhkost
    - malá denní i roční amplituda teploty vzduchu
    - **rozdíly tropické klima západních vs. východních břehů pevnin**

25

## Klimatické pásy na Zemi

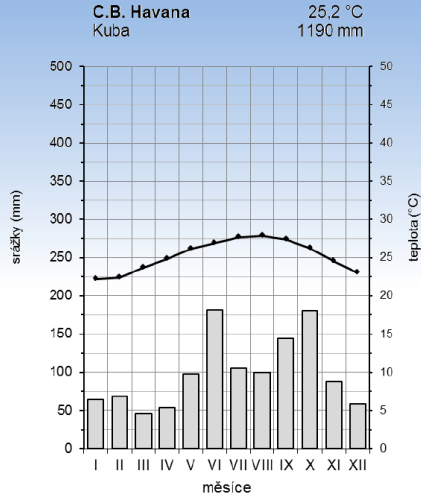
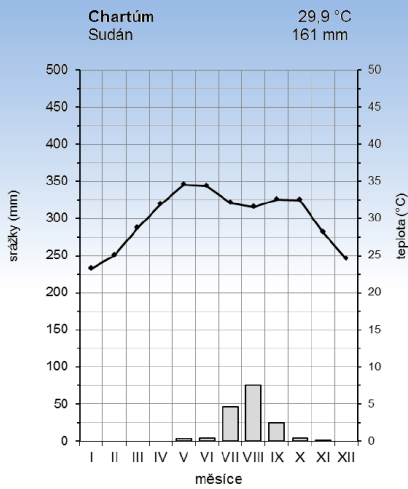
- **PÁS TROPICKÉHO VZDUCHU (TROPICKÝ PÁS)**
  - **západní břehy**
    - nižší teplota vzduchu (18–20 °C)
    - málo srážek, časté mlhy
    - vyvinutá brízová cirkulace
    - vysoká relativní vlhkost (80–90 %)
    - klima pobřežních pouští (Atacama, Namib)
  - **východní břehy**
    - vyšší teplota vzduchu
    - vyšší srážkové úhrny
    - pouze slabá pasátová inverze
    - výrazný vliv orografie



26

# Klimatické pásy na Zemi

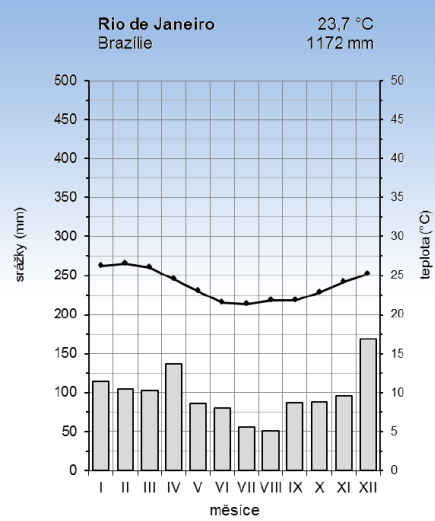
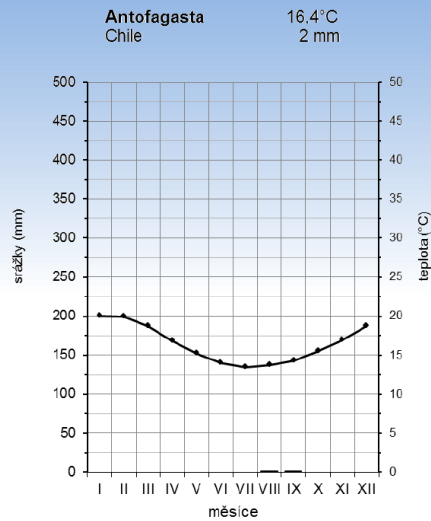
- PÁS TROPICKÉHO VZDUCHU (TROPICKÝ PÁS)**



27

# Klimatické pásy na Zemi

- PÁS TROPICKÉHO VZDUCHU (TROPICKÝ PÁS)**



28

## Klimatické pásy na Zemi

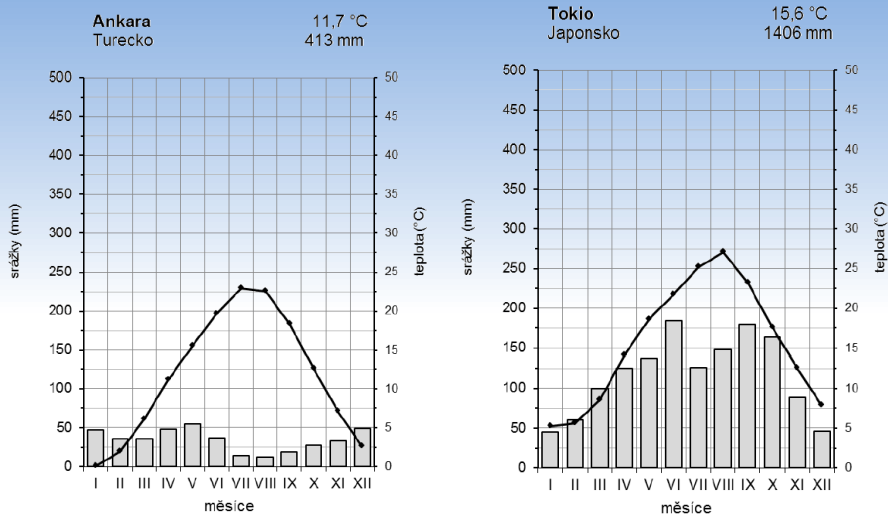
### • SUBTROPICKÝ PÁS

- nižší roční úhrny insolace oproti tropům (-20 %)
- vyšší sezónní rozdíly
- léto: tropický vzduch, suché a jasné počasí
- zima: vzduch mírných šířek, chladnější a deštivé počasí
- **kontinentální subtropický typ** (Köppen: BWh, BWk, BSh, BSk)
  - stejné hodnoty EB jako tropy
  - minimální tvorba oblak
  - prům. teploty okolo 30 °C
  - v zimě a na jaře cyklonální činnost – srážky (prům. roční úhrn 500 mm)
- **oceánský subtropický typ** (Köppen: Cfa, Csa, Csb)
  - vyrovnanější roční chod teploty vzduchu oproti kontinentu
  - **klima západních pobřeží** (středomořské klima) – teplé, suché, slunečné léto, teplá deštivá zima (vliv polární fronty)
  - **klima východních pobřeží** – monzunový typ, suché a chladné zimy, srážkově velmi bohaté léto

29

## Klimatické pásy na Zemi

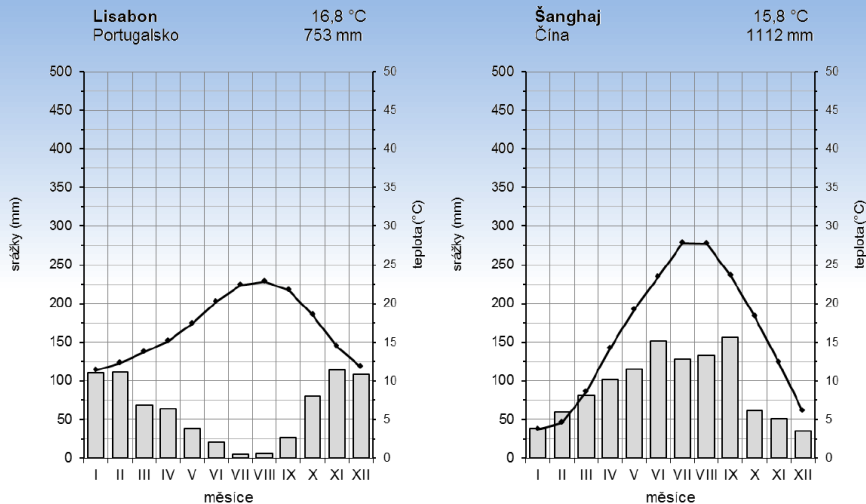
### • SUBTROPICKÝ PÁS



30

## Klimatické pásy na Zemi

### • SUBTROPICKÝ PÁS



31

## Klimatické pásy na Zemi

### • PÁS VZDUCHU MÍRNÝCH ŠÍŘEK (MÍRNÝ PÁS)

- výrazná cyklonální činnost podmiňuje meridionální výměnu vzduchu → vpády arktického a tropického vzduchu
- EB v zimě již záporná
- vyšší letní teploty
- výpar výrazně nižší oproti tropům
- velká proměnlivost počasí
- **kontinentální typ** (Köppen: BWk, BSk)
  - léto: vysoká teplota, nízká relativní vlhkost, labilní zvrstvení
  - zima: nízká teplota, vysoká relativní vlhkost, stabilní zvrstvení
  - vznik výrazných anticyklón (teploty až -40 °C)
  - vysoké roční amplitudy teploty vzduchu (50–60 °C)
  - roční úhrn srážek 300–600 mm
- **oceánský typ** (Köppen: Dfa, Dfb, Dwa, Dwb)
  - nízká denní a roční amplituda teploty vzduchu
  - teplejší zima, chladnější léto
  - rovnoměrně rozložené srážky během roku

32



## Klimatické pásy na Zemi

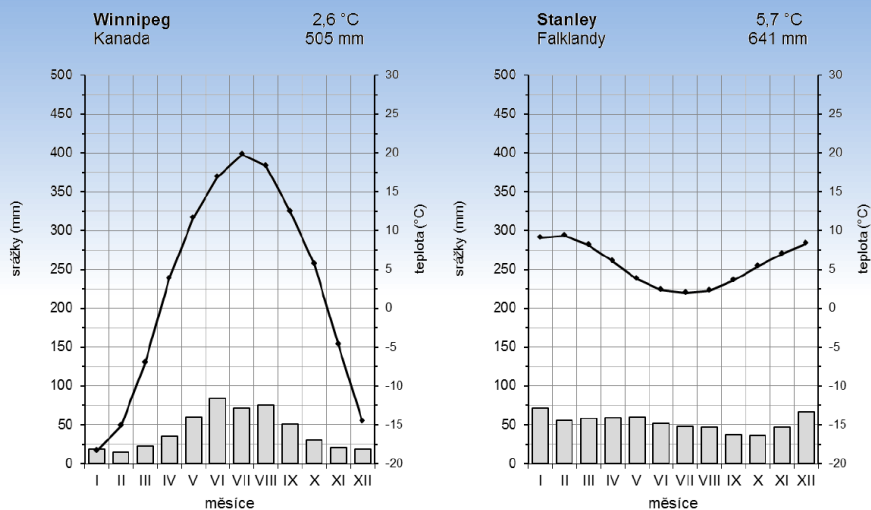
### • PÁS VZDUCHU MÍRNÝCH ŠÍŘEK (MÍRNÝ PÁS)

- **mírné klima západních pobřeží pevnin** (Köppen: Cfb, Cfc)
  - cyklonální činnost během celého roku
  - relativně teplá zima, chladné léto
  - maximum srážek na podzim a v zimě
  - roční úhrn srážek 600–700 mm
  - časté deštivé počasí s mlhami
- **mírné klima východních pobřeží pevnin**
  - monzunový ráz
  - zima: vliv SZ proudění (studené a suché počasí)
  - léto: cyklonální činnost (deštivé a chladné počasí)
  - roční úhrn srážek 500–700 mm

33

## Klimatické pásy na Zemi

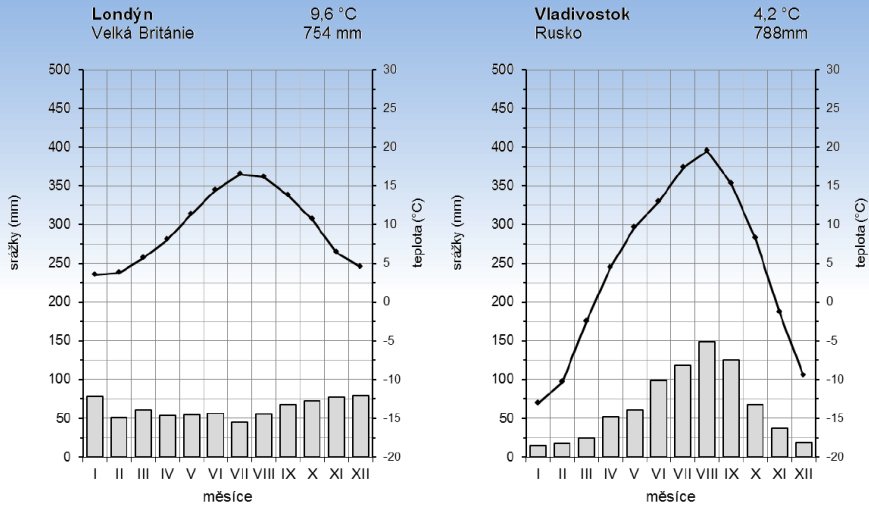
### • PÁS VZDUCHU MÍRNÝCH ŠÍŘEK (MÍRNÝ PÁS)



34

## Klimatické pásy na Zemi

### • PÁS VZDUCHU MÍRNÝCH ŠÍŘEK (MÍRNÝ PÁS)



35

## Klimatické pásy na Zemi

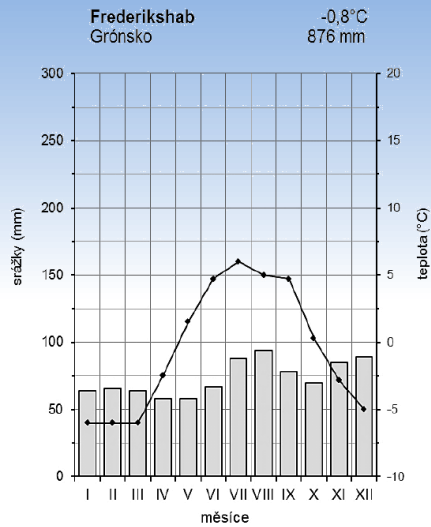
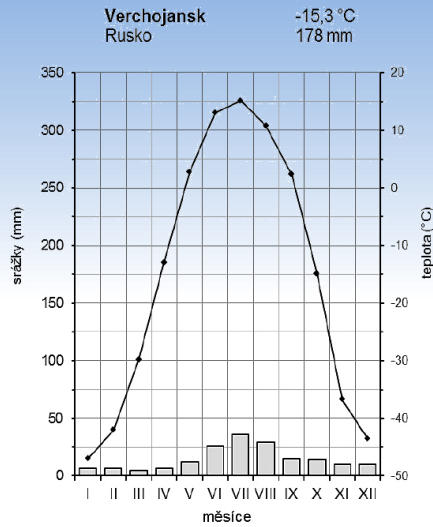
### • SUBARKTICKÝ PÁS

- Köppen: Dfc, Dfd, Dwc, Dwd
- zima: arktický vzduch / léto: vzduch mírných šířek
- plošně jen omezený rozsah
- **kontinentální subarktický typ**
  - zima: velmi chladná a dlouhá (teplota -50 – -60 °C)
  - léto: krátké a relativně teplé
  - největší roční teplotní amplitudy na světě (cca 65 °C)
  - malé množství srážek (cca do 200 mm/rok) – zejména v létě na frontách
- **oceánský subarktický (subantarktický) typ**
  - zima: mořský arktický vzduch (mírná zima)
  - léto: mořský vzduch mírných šířek (chladné počasí)
  - roční teplotní amplituda do 20 °C

36

## Klimatické pásy na Zemi

### • SUBARKTICKÝ PÁS



37

## Klimatické pásy na Zemi

### • ARKTICKÝ A ANTARKTICKÝ PÁS (POLÁRNÍ PÁSY)

- EB po většinu roku záporná (vysoké albedo sněhu a ledu)
- velmi krátká období kladné bilance – většina energie na tání sněhu a ledu
- velmi nízké teploty po celý rok
- mohutné inverze subsidenčního a radiačního typu
- malé srážkové úhrny (nízký obsah vodní páry)
- **kontinentální polární klima** (Köppen: EF)
  - typicky v Antarktidě
  - velmi chladné zimy, studená léta
  - průměrná teplota záporná po celý rok
  - stanice Vostok (21. 7. 1983: -89,2 °C)
  - silné proudění v okrajových částech kontinentu
  - srážkové úhrny 40–50 mm /rok (roste k okrajům kontinentu)

38

## Klimatické pásy na Zemi

### • ARKTICKÝ A ANTARKTICKÝ PÁS (POLÁRNÍ PÁSY)

#### – oceánské polární klima (Köppen: ET)

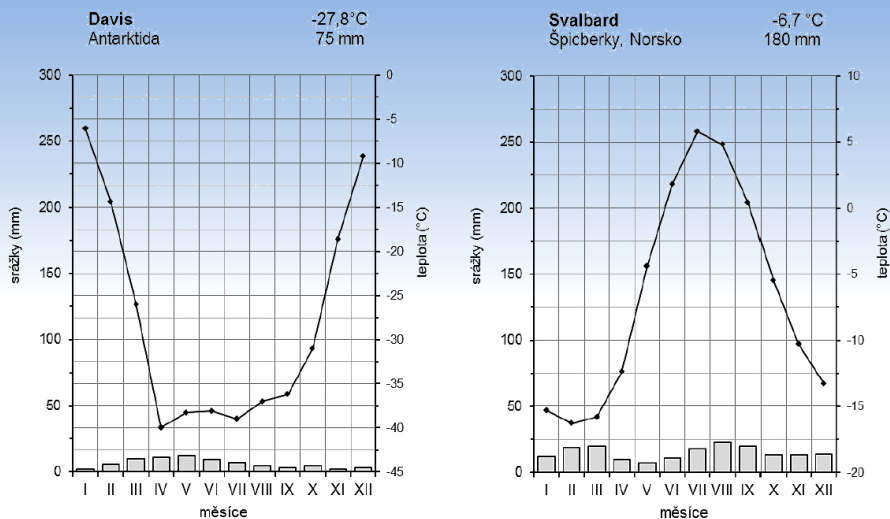
- oblast Arktidy (vyjma centrální části Grónska)
- v létě teploty nad 0 °C
- v zimě teploty mezi -40 a -55 °C
- oteplovací vliv Atlantského oceánu
- roční úhrn srážek 150–200 mm



39

## Klimatické pásy na Zemi

### • ARKTICKÝ A ANTARKTICKÝ PÁS (POLÁRNÍ PÁSY)



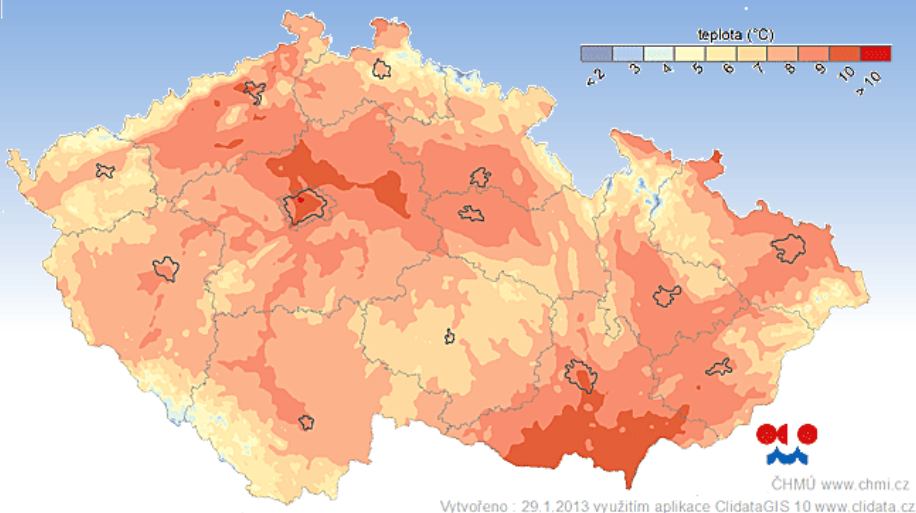
40

## Klimatické podmínky České republiky

- výrazný vliv nadmořské výšky
- vliv zeměpisné šířky a délky zanedbatelný
- nejteplejší měsíc: červenec ( $t_{\text{prům}} = 16,7 \text{ °C}$ )
- nejchladnější měsíc: leden ( $t_{\text{prům}} = -2,9 \text{ °C}$ )
- nejnižší průměrné roční teploty v horských oblastech – Sněžka ( $+0,2 \text{ °C}$ )
- historická minima a maxima teplot:
  - Litvínovice u ČB ( $-42 \text{ °C}$ , 1929)
  - Dobřichovice u Prahy ( $+40,4 \text{ °C}$ , 2012)
- prům. roční srážkový úhrn: 680 mm
- srážkově extrémní lokality:
  - návětrné svahy Jizerských hor, Moravskoslezských Beskyd, Hrubého Jeseníku a Šumavy (cca 1200 – 1600 mm)
  - oblasti ve srážkovém stínu Krušných hor (cca 300 – 500 mm)
  - maximální roční úhrn srážek: 2201 mm, Jizerka, rok 1926
  - minimální roční úhrn srážek: 247 mm, Velké Přítočno (okres Kladno), rok 1933

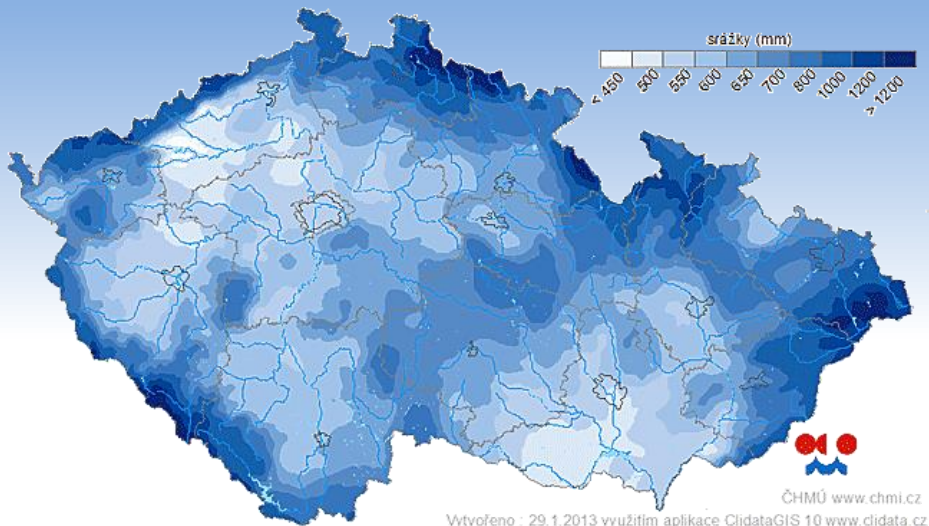
41

## Klimatické podmínky České republiky



42

## Klimatické podmínky České republiky



43

## Klimatické podmínky České republiky

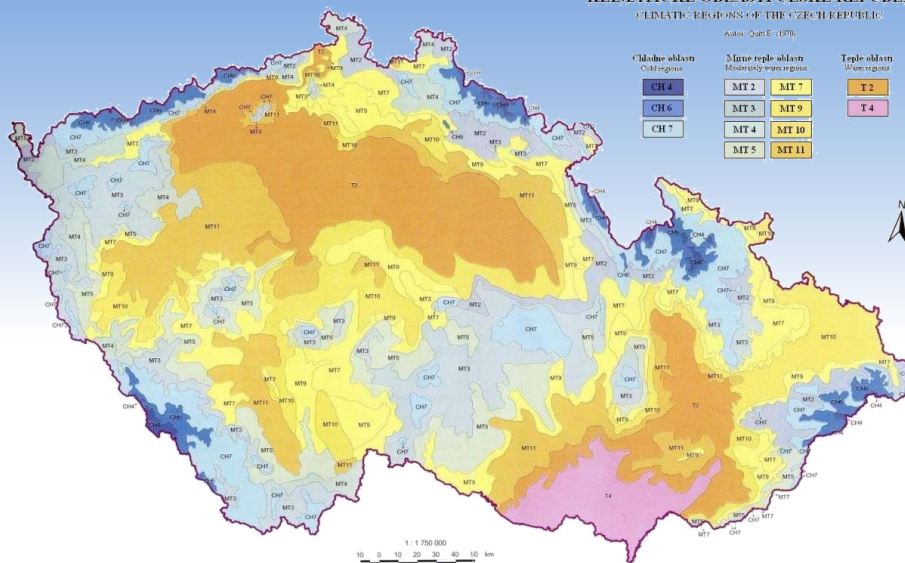
- **Köppen:**
  - mírně teplé klima bez suchého období s horkým létem (Cfb)
  - mírně studené klima bez suchého období s teplým létem (Dfb)
  - mírně studené klima bez suchého období s chladným létem (Dfc)
  - polární klima tundry (ET)
- **klasifikace klimatu podle E. Quitta (1971)**
  - dílo Klimatické oblasti Československa
  - vychází z průměrných teplot vzduchu, počtu letních dnů se specifickými teplotami (mrazové dny, atd.), dnů s určitým úhrnem srážek, počtu dní se zataženou oblohou, atd.
  - 3 hlavní klimatické oblasti:
    - **teplá** (rajony T1 – T5)
    - **mírně teplá** (MT1 – MT11)
    - **chladná** (CH1 – CH7)
  - na území ČR aktuálně pouze 13 jednotek
- **klasifikace z Atlasu podnebí ČSR (1958)**

44

# Klimatické podmínky České republiky

KLIMATICKÉ OBLASTI ČESKÉ REPUBLIKY  
CLIMATIC REGIONS OF THE CZECH REPUBLIC

Autorka: Quadt E. (1978)



45

## Změny a kolísání klimatu

- klimatický systém je časově proměnlivý
- sezónní / meziroční / sekulární proměnlivost
- **změna klimatu** jako projev sekulární nestálosti klimatického systému
  - příčinou je změna klimatotvorných faktorů
  - změna probíhá v dlouhých časových intervalech (geologické epochy)
- kratší intervaly – může jít o kolísání kolem střední hodnoty meteorologických prvků → **kolísání klimatu**
- místní / regionální / globální měřítko
- problém jednoznačného stanovení trendu změn hodnot meteorologických prvků

46

## Co je klimatická změna?

- „**Taková změna klimatu**, která je **vázána** přímo nebo nepřímo **na lidskou činnost** mění složení globální atmosféry a která je vedle přirozené variability klimatu pozorována za srovnatelný časový úsek“ (*Rámcová úmluva OSN o změně klimatu – UNFCCC, 1992*)
- „**Změna stavu klimatu**, kterou lze rozpoznat (např. využitím statistických testů) **ve změnách průměru a/nebo proměnlivosti jeho vlastností** a která přetrvává po **dosti dlouhých období**, typicky desítek let nebo déle“. „Změna klimatu **může být** následkem **přirozených vnitřních procesů** nebo vnějších sil nebo **důsledkem trvalých antropogenních změn** ve složení atmosféry nebo ve využití půdy“. (*4. hodnotící zpráva IPCC, 2007*)
- vs. **proměnlivost (variabilita) klimatu** - kolísání průměrného stavu a dalších statistik (jako standardní odchylky, výskytu extrémů atd.) klimatu na všech prostorových a časových měřítkách delších než jednotlivé povětrnostní události (*J. Hollan – amper.ped.muni.cz*)

47

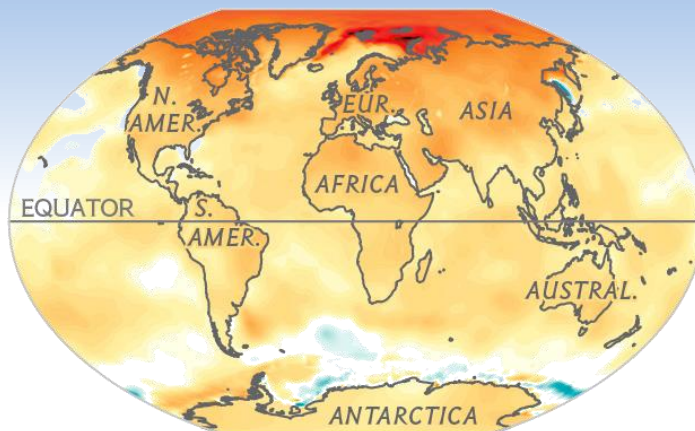
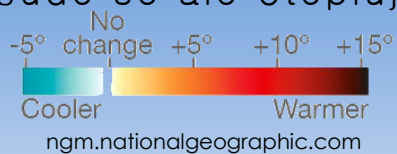
## A co globální oteplování?

- **jednoznačný a pokračující růst průměrné teploty klimatického systému Země**
- vybrané závěry 5. hodnotící zprávy IPCC, 2014:
  - vliv člověka je zcela zřejmý minimálně od 50. let 20. st.
  - příčinou (jistota 95-100 %) jsou zvýšené koncentrace skleníkových plynů
  - minimálně 40% nárůst koncentrací CO<sub>2</sub> je důsledek spalování fosilních paliv od počátku průmyslové revoluce
  - od počátku 20. století došlo k nárůstu průměrné teploty vzduchu a povrchových vod oceánu o 0,8 °C
  - cca 2/3 nárůstu nastaly po roce 1980
  - hladina světového oceánu se v průměru zvyšuje
  - rozloha pevninských i horských ledovců v průměru klesá

48



## Ne všude se ale otepluje ...



49

## Změna klimatu neovlivňuje jen člověka ...



zdroj: Ecological Society of America

50

## Změny a kolísání klimatu

- **METODY STUDIA ZMĚN A KOLÍSÁNÍ KLIMATU**
  - **přístrojová meteorologická měření a pozorování**
    - od poloviny 19. století, spolehlivá měření od r. 1880
    - málo stanic na oceánech, omezené provádění specializovaných pozorování
  - **písemné prameny o počasí a klimatu**
    - 2–3 tisíce let před přístrojovými měřeními
    - zápisy kronik, lodních deníků, staré rukopisy, literární díla, ...
    - zmínky o výjimečných meteorologických jevech (extrémní zimy, sucha, ...)
    - problém subjektivity
    - význam pro studium regionálních výkyvů klimatu
  - **paleoklimatické metody studia**
    - **paleoklimatologie** – rekonstrukce minulého klimatu, objasnění přirozeného trendu klimatických změn a nástin budoucího vývoje klimatu na základě paleogeografických údajů
    - princip aktuálnosti
    - **proxy data** – nepřímé údaje umožňující rekonstrukci klimatu z minulosti Země

51

## Změny a kolísání klimatu

- podklady pro fungování klimatických modelů
- **zdroje proxy dat:**
  - ledovcová jádra (koncentrace prachových částic, síranových iontů, analýza poměrů izotopu kyslíku)
  - letokruhy (dendroklimatologie)
  - pyl (rekonstrukce vegetace)
  - koráli
  - geotermické vrty (analýza anomálií teplotních profilů prostřednictvím nízkofrekvenčního signálu)
  - geologické / geomorfologické vlastnosti a tvary (morény, kary, mrazové klíny, spraše, varvy, fosilní půdy, ...)



52

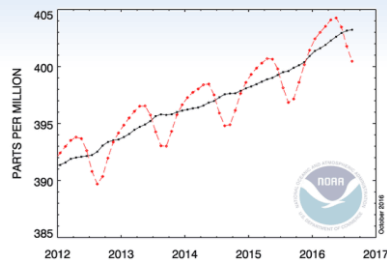
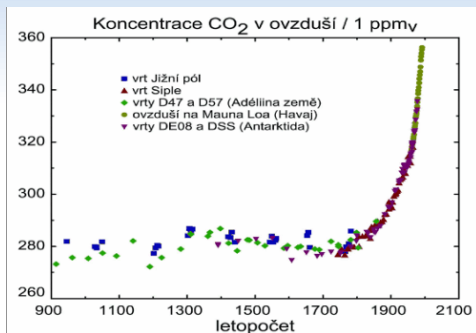
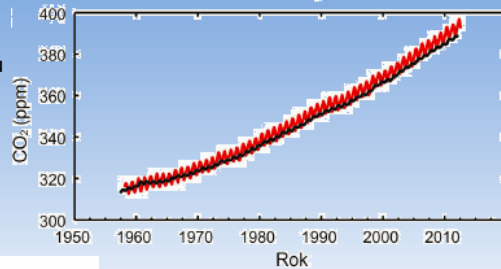
## Příčiny klimatických změn

- **dlouhodobé kolísání solární konstanty**
- **kolísání sluneční aktivity**
- **terestrické příčiny**
  - nižší propustnost atmosféry v obdobích vulkanické činnosti (Krakatoa 1883)
  - změny magnetického pole Země (rozložení pevnin a oceánů, ...)
  - charakter AP (albedo povrchu, ...)
- **astronomická hypotéza**
  - změny orbitálních parametrů Země podle Milutina Milankoviče
  - sklon ekliptiky / délka perihelia / excentricita zemské orbity
  - graf ekvivalentních šířek ( $\pm 1$  mil. let)
- **orografická hypotéza**
  - vliv tektonických pohybů zemské kůry na nestálost geografických klimatotvorných faktorů
  - teplá období = málo členitý reliéf, studená období následujíc po zdvihu pevniny

53

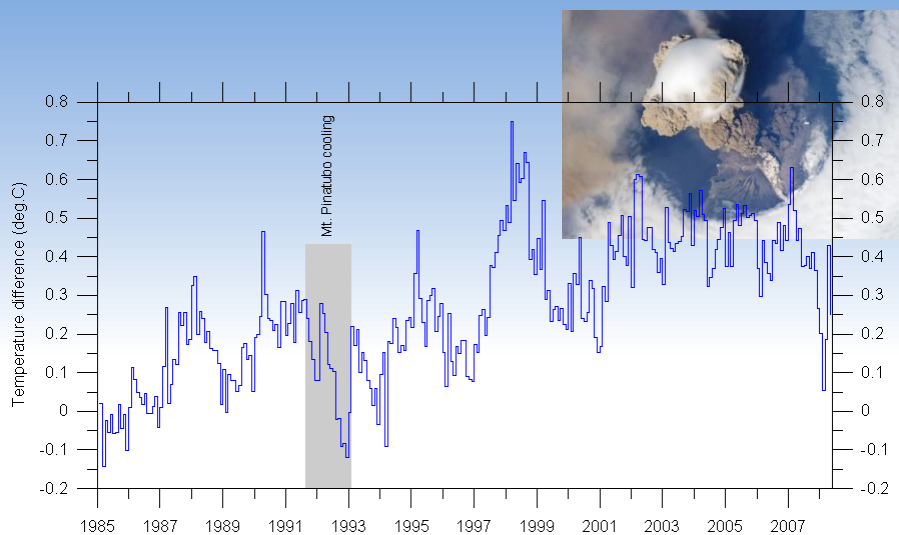
## Příčiny klimatických změn

- **antropogenní faktory**
  - nárůst koncentrace plynů
  - úbytek ozónu
  - znečišťování atmosféry



54

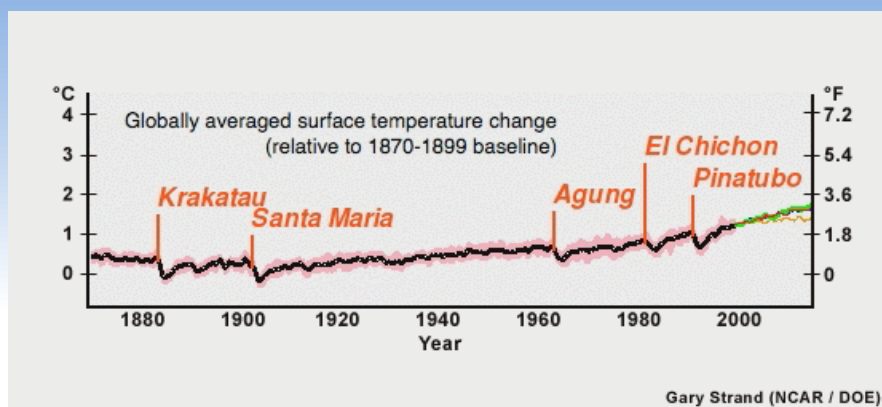
## Příčiny klimatických změn



Změny teploty vzduchu následující po sopečné erupci

55

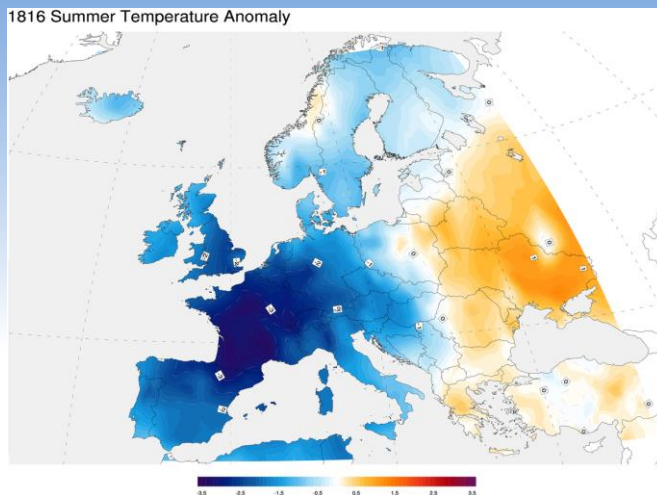
## Příčiny klimatických změn



Změny teploty vzduchu následující po sopečné erupci v delší historii

56

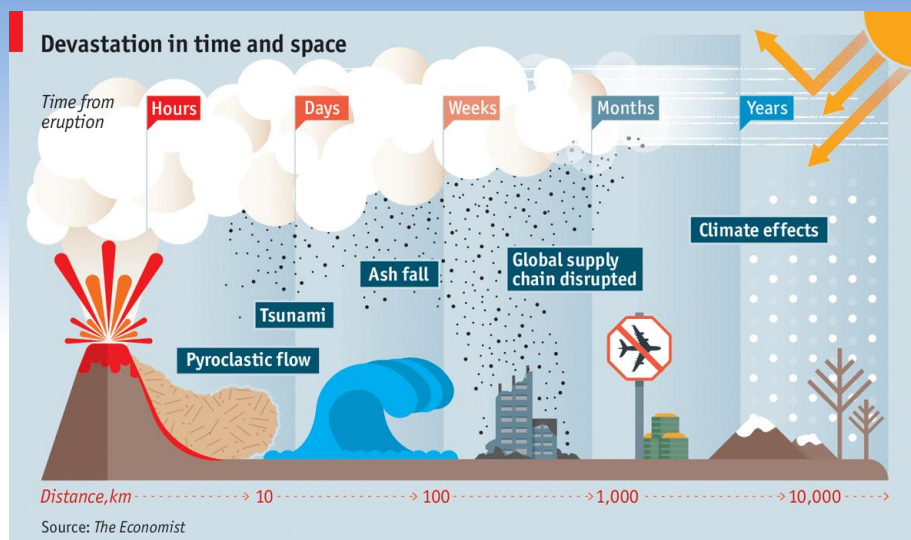
## Příčiny klimatických změn



„Rok bez léta“ (1816) jako dopad erupce sopky Tambora,  
ostrov Sumbawa, Indonésie

57

## Příčiny klimatických změn

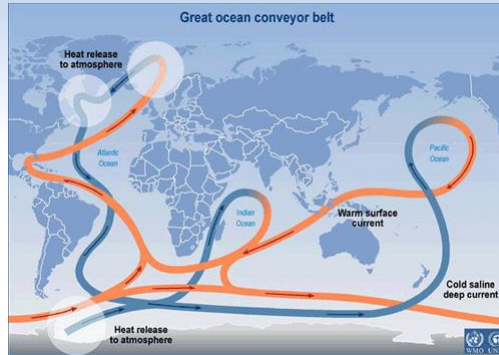
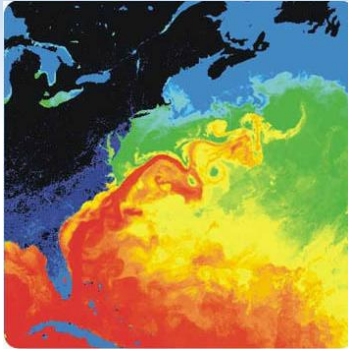


Economist.com

58

## Příčiny klimatických změn

- **cirkulační faktory**
  - vliv všeobecné cirkulace atmosféry a systému mořských proudů
  - změna vlastností klimatických prvků vlivem stálého transportu vzduchových hmot z oblastí svého vzniku do jiných oblastí

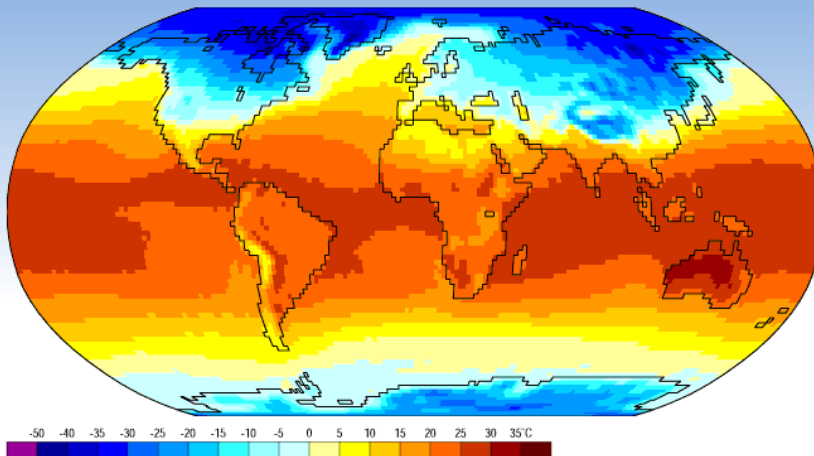


59

## Příčiny klimatických změn

Air Temperature

Jan



Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies

60

# Změny a kolísání klimatu v geologické minulosti

– starší období (prekambrium) / mladší období (fanerozoikum)

ERATÉM	ERATÉM	UTVAR	ODDĚLENÍ	STUPĚN	ERATÉM	UTVAR	ODDĚLENÍ	STUPĚN	ERATÉM	UTVAR	ODDĚLENÍ	STUPĚN			
FANEROZOIKUM	KENOZOIKUM	Kvartér	Holocén	holocén	Kvartér	Kvartér	Pleistocén	maastricht	MEZOZOIKUM	Křída	Svrchní	campan			
			Pleistocén	pleistocén				campan							
			Neogén	Pliocén				pliocén				pliocén	Křída	Svrchní	barrem
								Miocén				miocén			barrem
												Oligocén			oligocén
				Paleogén											Eocén
		Paleocén			paleocén	alb									
					Trias	trias	alb								
			Paleozoikum			Devon	Svrchní	svrchní		Křída	Svrchní	apt			
		Střední						střední				apt			
					Spodní			spodní				apt			
				Silur			Svrchní	svrchní				Křída	Svrchní	barrem	
		Střední						střední						barrem	
					Spodní			spodní						barrem	
			Ordovik			Svrchní	svrchní	Křída		Svrchní	hauteriv				
		Střední					střední				hauteriv				
					Spodní		spodní				hauteriv				
				Kambrium		Kambrium	Svrchní				svrchní	Křída	Svrchní	valangin	
		Střední									střední			valangin	
					Spodní						spodní			valangin	
			Perm				Perm	Svrchní		svrchní	Křída			Svrchní	berrias
		Střední								střední					berrias
					Spodní					spodní					berrias
				Karbon		Karbon		Svrchní		svrchní		Křída	Svrchní		stion
Střední	střední	stion													
	Spodní	spodní			stion										
		Silur	Silur		Svrchní		svrchní	Křída	Svrchní	kimmeridž					
Střední							střední			kimmeridž					
	Spodní						spodní			kimmeridž					
				Devon	Devon	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	oxford			
Střední							střední					oxford			
	Spodní						spodní					oxford			
		Ordovik	Ordovik			Svrchní	svrchní	Křída	Svrchní			callov			
Střední							střední					callov			
	Spodní						spodní					callov			
				Kambrium	Kambrium	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	bathon			
Střední							střední					bathon			
	Spodní						spodní					bathon			
		Perm	Perm			Svrchní	svrchní	Křída	Svrchní			bajok			
Střední							střední					bajok			
	Spodní						spodní					bajok			
				Karbon	Karbon	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	aalen			
Střední							střední					aalen			
	Spodní						spodní					aalen			
		Devon	Devon			Svrchní	svrchní	Křída	Svrchní			toark			
Střední							střední					toark			
	Spodní						spodní					toark			
				Silur	Silur	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	plensloch			
Střední							střední					plensloch			
	Spodní						spodní					plensloch			
		Ordovik	Ordovik			Svrchní	svrchní	Křída	Svrchní			spnemur			
Střední							střední					spnemur			
	Spodní						spodní					spnemur			
				Kambrium	Kambrium	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	hettang			
Střední							střední					hettang			
	Spodní						spodní					hettang			
		Perm	Perm			Svrchní	svrchní	Křída	Svrchní			maet			
Střední							střední					maet			
	Spodní						spodní					maet			
				Karbon	Karbon	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	nor			
Střední							střední					nor			
	Spodní						spodní					nor			
		Devon	Devon			Svrchní	svrchní	Křída	Svrchní			cam			
Střední							střední					cam			
	Spodní						spodní					cam			
				Silur	Silur	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	ladin			
Střední							střední					ladin			
	Spodní						spodní					ladin			
		Ordovik	Ordovik			Svrchní	svrchní	Křída	Svrchní			anis			
Střední							střední					anis			
	Spodní						spodní					anis			
				Kambrium	Kambrium	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	scyth (warfen)			
Střední							střední					scyth (warfen)			
	Spodní						spodní					scyth (warfen)			
		Perm	Perm			Svrchní	svrchní	Křída	Svrchní			thuring			
Střední							střední					thuring			
	Spodní						spodní					thuring			
				Karbon	Karbon	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	basen			
Střední							střední					basen			
	Spodní						spodní					basen			
		Devon	Devon			Svrchní	svrchní	Křída	Svrchní			aufun			
Střední							střední					aufun			
	Spodní						spodní					aufun			
				Silur	Silur	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	stephan			
Střední							střední					stephan			
	Spodní						spodní					stephan			
		Ordovik	Ordovik			Svrchní	svrchní	Křída	Svrchní			westphal			
Střední							střední					westphal			
	Spodní						spodní					westphal			
				Kambrium	Kambrium	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	namur			
Střední							střední					namur			
	Spodní						spodní					namur			
		Perm	Perm			Svrchní	svrchní	Křída	Svrchní			visé			
Střední							střední					visé			
	Spodní						spodní					visé			
				Karbon	Karbon	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	tournai			
Střední							střední					tournai			
	Spodní						spodní					tournai			
		Devon	Devon			Svrchní	svrchní	Křída	Svrchní			frasn			
Střední							střední					frasn			
	Spodní						spodní					frasn			
				Silur	Silur	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	givet			
Střední							střední					givet			
	Spodní						spodní					givet			
		Ordovik	Ordovik			Svrchní	svrchní	Křída	Svrchní			skid			
Střední							střední					skid			
	Spodní						spodní					skid			
				Kambrium	Kambrium	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	emse			
Střední							střední					emse			
	Spodní						spodní					emse			
		Perm	Perm			Svrchní	svrchní	Křída	Svrchní			frag			
Střední							střední					frag			
	Spodní						spodní					frag			
				Karbon	Karbon	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	pridoli			
Střední							střední					pridoli			
	Spodní						spodní					pridoli			
		Devon	Devon			Svrchní	svrchní	Křída	Svrchní			lydlov			
Střední							střední					lydlov			
	Spodní						spodní					lydlov			
				Silur	Silur	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	landover			
Střední							střední					landover			
	Spodní						spodní					landover			
		Ordovik	Ordovik			Svrchní	svrchní	Křída	Svrchní			ashgill			
Střední							střední					ashgill			
	Spodní						spodní					ashgill			
				Kambrium	Kambrium	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	caradoc			
Střední							střední					caradoc			
	Spodní						spodní					caradoc			
		Perm	Perm			Svrchní	svrchní	Křída	Svrchní			landelo			
Střední							střední					landelo			
	Spodní						spodní					landelo			
				Karbon	Karbon	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	llanvirn			
Střední							střední					llanvirn			
	Spodní						spodní					llanvirn			
		Devon	Devon			Svrchní	svrchní	Křída	Svrchní			aregig			
Střední							střední					aregig			
	Spodní						spodní					aregig			
				Silur	Silur	Svrchní	svrchní			Křída	Svrchní	tramadoc			
Střední							střední					tramadoc			
	Spodní						spodní					tramadoc			

61

# Změny a kolísání klimatu v geologické minulosti

– fanerozoikum:

- převážně teplé klima, slabá sezónnost, různé úrovně zavlážení
- vyšší teploty oproti současnosti zejm. v mírných a vysokých z. š.
- větší rozsah tropické flóry
- méně vyjádřená klimatická pásmovitost
- od 1H výrazný rozvoj organismů
- výskyt relativně **krátkodobých ochlazení** (hranice ordoviku a siluru, permokarbonské zalednění)
- výrazné ochlazení na přelomu křídý a paleogénu (dopad asteroidu v oblasti Mexického zálivu)
- **globální ochlazování** od poloviny oligocénu (zhruba do pleistocénu) → navazují 4H glaciály
- **pleistocén: střídání glaciálů a interglaciálů**
- 4 glaciály (a 3 interglaciály) v Alpách: günz / mindel / riss / würm
- později doplněn starší glaciál – donau
- glaciály děleny na **stadiály** (chladnější) a **interstadiály** (relativně teplejší)

62

## Změny a kolísání klimatu v geologické minulosti

### – glaciály

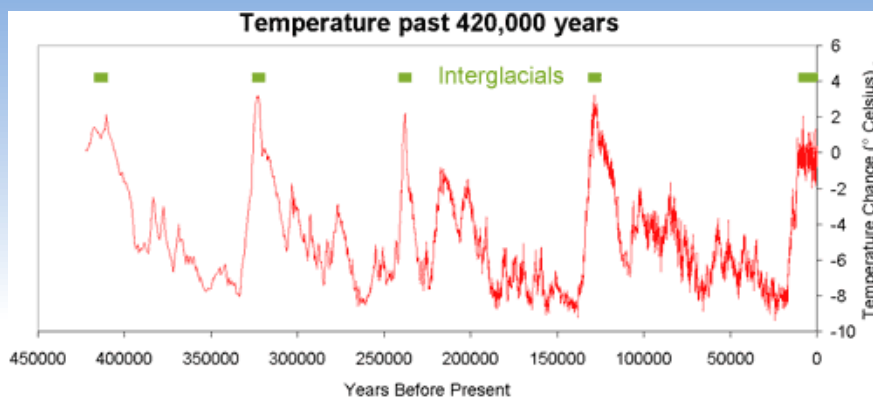
- výrazný rozsah pevninských ledovců v době zalednění (až 30 % plochy souše, mocnost stovky metrů)
- mořské ledy posunuty až o 10–15° z. š. k rovníku
- pokles klimatické sněhové čáry
- nárůst rozlohy permafrostu
- výrazné kolísání hladiny světového oceánu (až 200 m !)
- výrazný pokles teploty vzduchu (5 °C pro celou Zemi, až 12 °C ve vyšších šířkách)
- posun fyzikogeografických zón (arktické klima až po 40-50° s. š.)
- poslední glaciál před 20 000 lety (würmský stadiál)
- ČR: zalednění až po Moravskou bránu

### – interglaciály

- nárůst teploty vzduchu o 1–3 °C (až 5 °C v létě) oproti současnosti
- řádově 5x kratší než glaciály
- poslední interglaciál od 11 000 BP do současnosti

63

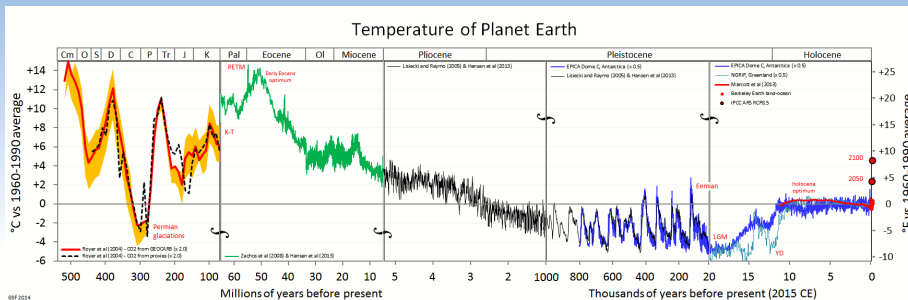
## Změny a kolísání klimatu v geologické minulosti



64



## Změny a kolísání klimatu v geologické minulosti



zdroj: NOAA/climate.gov

65

## Změny a kolísání klimatu v geologické minulosti

- **klimatické podmínky holocénu**
  - holocén = postglaciál
  - několik výrazných výkyvů klimatu
  - relativně chladné a vlhké klima po posledním zalednění
  - postupný ústup pevninských ledovců (cca od 10 800 let BP)
  - nárůst teploty vzduchu – kulminace před 8 000–5 000 lety (teplota vyšší o 2 až 3 °C oproti současnosti)
  - postglaciální klimatické optimum
    - subtropická oblast VT posunuta k severu
    - vlhčí klima v dnešních aridních oblastech
    - mírné klima v S Americe a Eurasii
  - následují další menší klimatické změny, s tendencí k ochlazení

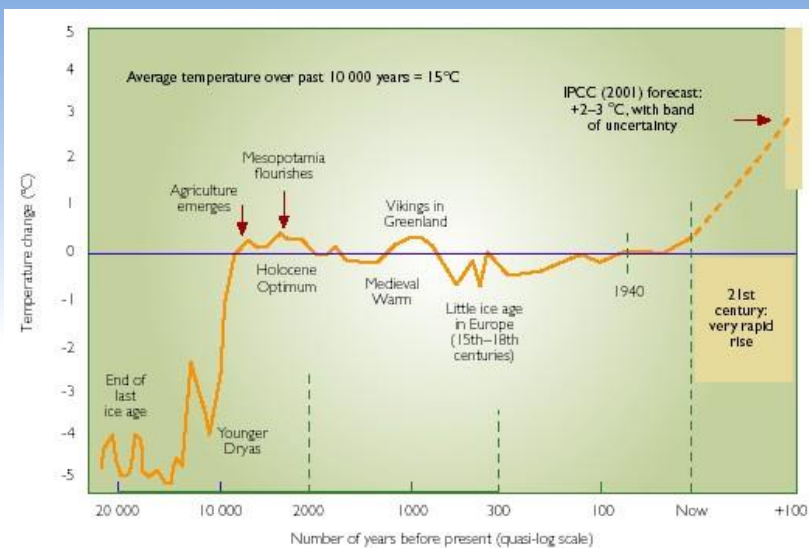
66

## Změny a kolísání klimatu v minulosti

- **klimatické podmínky od počátku letopočtu**
  - relativní stálost klimatotvorných faktorů
  - v Evropě teploty a srážky v prvních stoletích analogické současnosti
  - postupné **mírné oteplování do cca 8. století** (suché a teplé klima)
    - daleké plavby Vikingů
    - kolonizace Grónska (Gronland – Zelená země)
  - **středověké klimatické optimum** (950-1300 n. l.)
    - vinařství v Británii
  - **období deteriorace klimatu** (1300-1550 n. l.)
    - od poloviny 14. stol. ochlazování – vyšší proměnlivost počasí v Evropě
    - zánik grónských osad v 15. století
  - **tzv. malá doba ledová** (1550-1850 n. l.)
    - nejvýraznější ochlazení v 17. století
    - formace menších horských ledovců v Evropě
  - **současné oteplování** (po r. 1850)

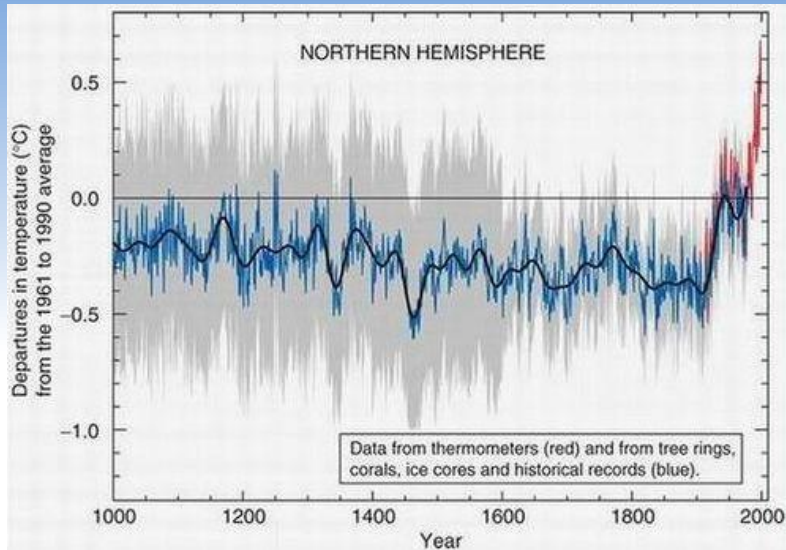
67

## Změny a kolísání klimatu v minulosti



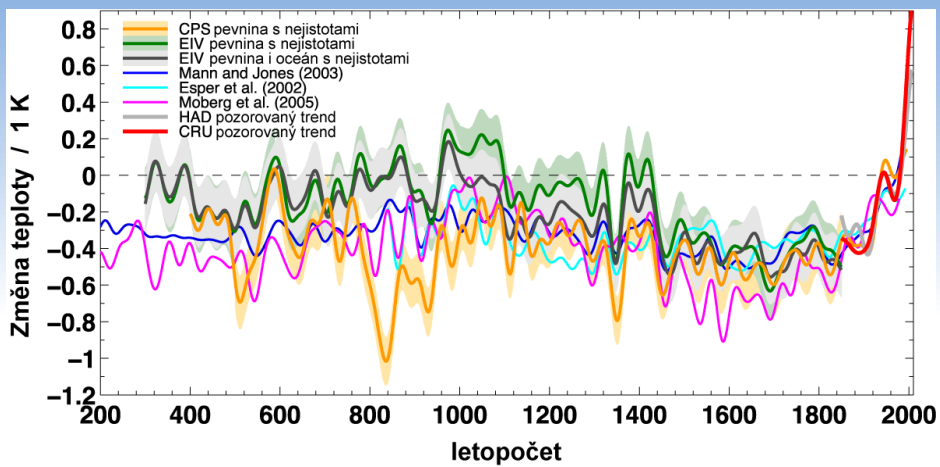
68

## Změny a kolísání klimatu v minulosti



69

## Změny a kolísání klimatu v minulosti



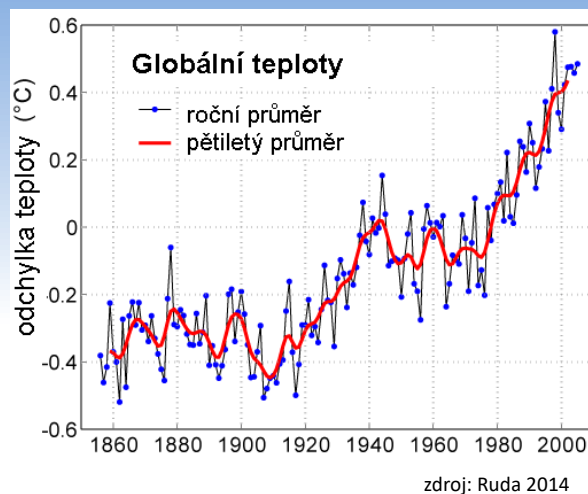
70

## Změny a kolísání klimatu

- **současný stav klimatu a jeho vývoj**
  - postupný trvalý nárůst teploty vzduchu
  - krátké období ochlazení zhruba mezi lety 1940–70
  - dopady kolísání (změny) nejvíce patrné ve vysokých z. š. v zimě (zmenšení rozlohy pevninských i horských ledovců)
  - chybně označováno jako **globální oteplování**
  - **příčiny změny klimatu:**
    - zesilování vlivu skleníkového efektu
    - růst obsahu antropogenních aerosolů v atmosféře
    - změny obsahu přirozených aerosolů v atmosféře (po vulkanických erupcích)
    - změny intenzity slunečního záření
    - změny v charakteru využití území (albedo, ...)

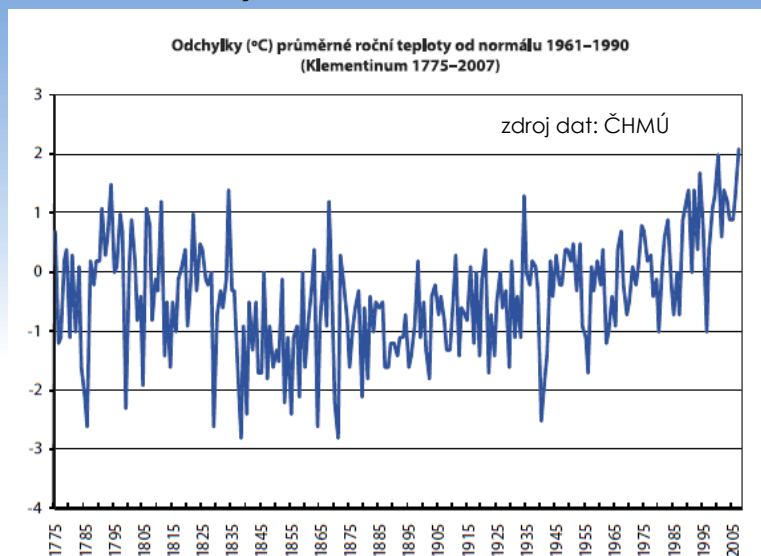
71

## Změny a kolísání klimatu



72

## Změny a kolísání klimatu



73

## Změny a kolísání klimatu



Josef Lada (1887–1957)



74

## Změny a kolísání klimatu

- **Mezivládní panel pro změny klimatu (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC)**
  - vědecké mezivládní uskupení zal. r. 1988
  - Světová meteorologická organizace (WMO) a Program OSN pro životní prostředí (UNEP), sekretariát v Ženevě (WMO)
  - vyhodnocování rizika změny klimatu – nikoliv vlastní výzkum, ale pouze publikace zpráv a analýza existujících podkladů
  - I. hodnotící zpráva (1990)
  - aktuálně V. hodnotící zpráva (2014) – 3 části (Fyzikální základy, Dopady, adaptace a zranitelnost, Mitigace)
  - Speciální zpráva o emisních scénářích (SRES, 2000)

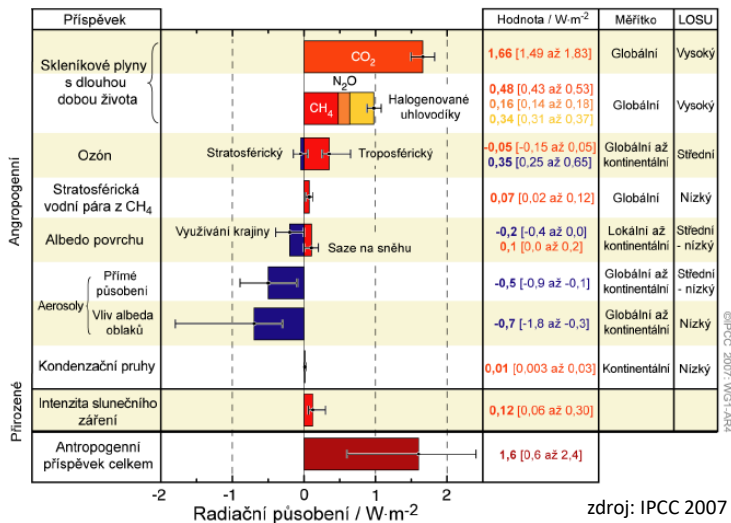


web IPCC: <http://www.ipcc.ch>

75

## Změny a kolísání klimatu

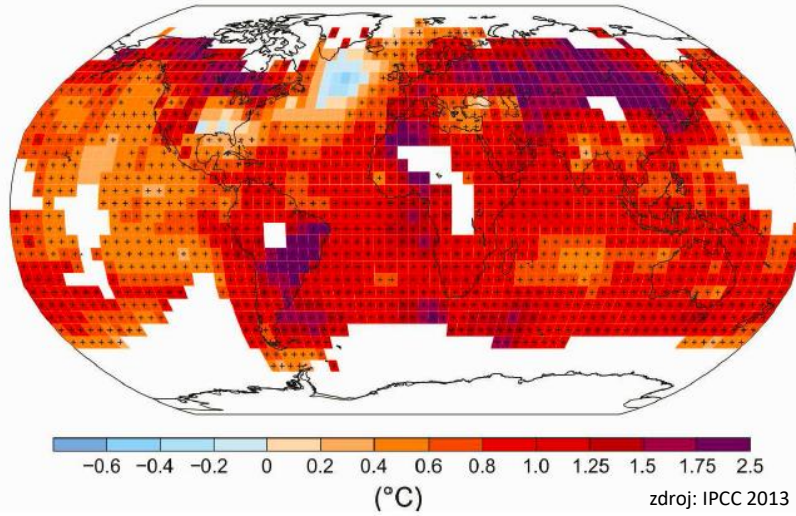
### Příspěvky k radiačnímu působení



76

## Změny a kolísání klimatu

Pozorované změny teploty vzduchu při povrchu, 1901-2012



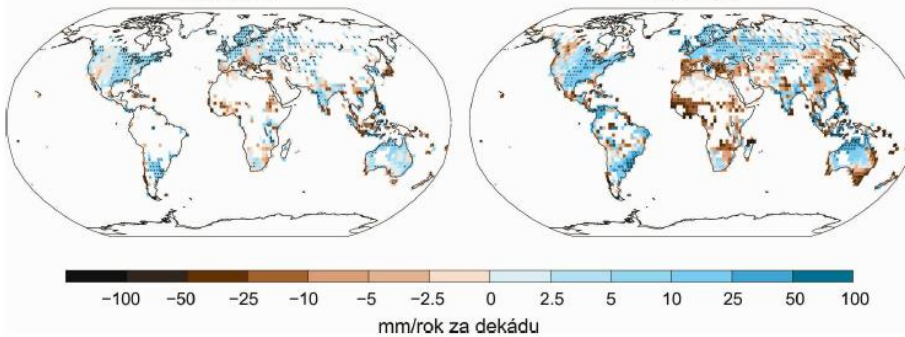
77

## Změny a kolísání klimatu

Pozorované změny ročních srážkových úhrnů nad pevninou

1901–2010

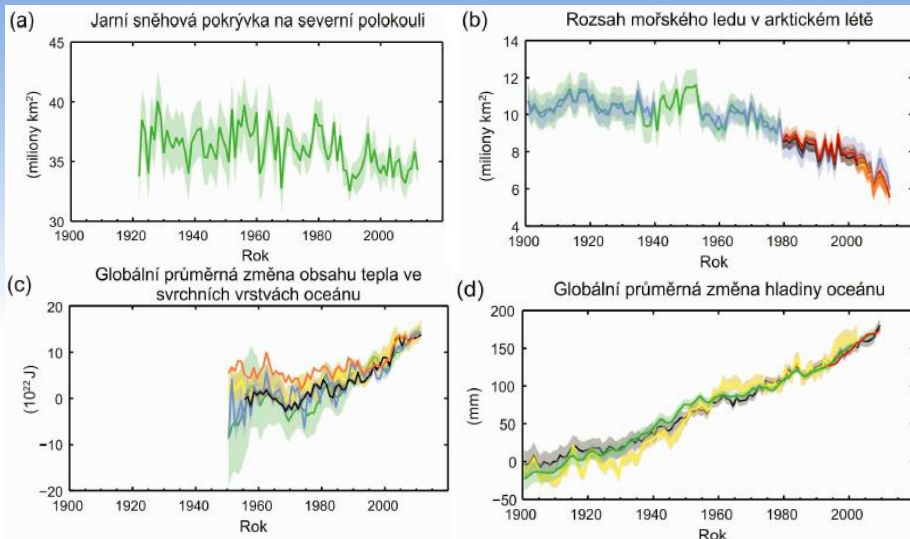
1951–2010



zdroj: IPCC 2013

78

## Změny a kolísání klimatu



zdroj: IPCC 2013

79

## Změny a kolísání klimatu

- **budoucí vývoj klimatu Země**
  - konstrukce **klimatických scénářů**
  - přijatelný popis klimatu při zahrnutí předpokládaných důsledků antropogenních vlivů
  - rozdíl mezi současným stavem (např. obdobím 1961–1990) a budoucím modelovým klimatem pro určitý časový horizont
  - **projekce klimatu** je odezva klimatického systému na určitý scénář emisí skleníkových plynů a aerosolů stanovená klimatickými modely
  - **globální klimatické modely** → konstrukce **regionálních scénářů změny klimatu**
  - použití více různých klimatických modelů s cílem zohlednění nejistoty v modelování
  - **emisní scénáře růstu emisí skleníkových plynů**, popř. antropogenních aerosolů
  - IPCC: **4 hlavní skupiny emisních scénářů** možného vývoje do konce 21. století (IPCC SRES)

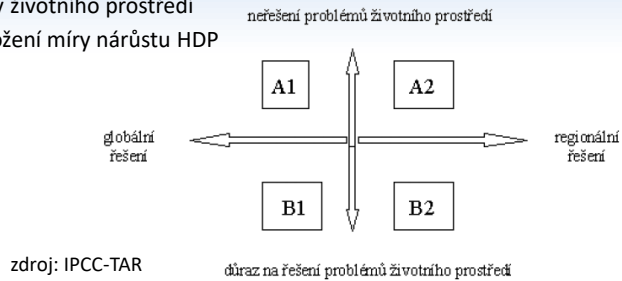
80



## Změny a kolísání klimatu

– emisní scénáře zohledňují **různé stupně socioekonomického vývoje světa**

- různou míru růstu ekonomiky
- způsoby a možnosti využívání palivo-energetických zdrojů
- regionální odlišnosti ekonomického rozvoje
- vývoj nových technologií
- populační vývoj
- způsoby globálního řešení ekonomických a sociálních problémů
- způsob ochrany životního prostředí
- regionální rozložení míry nárůstu HDP



81

## Změny a kolísání klimatu

scénář	stručný popis
<b>A1</b>	<b>rychlý růst ekonomiky a vývoj nových technologií</b>
<i>A1FI</i>	<i>intenzivní využívání fosilních paliv</i>
<i>A1T</i>	<i>bez fosilních paliv</i>
<i>A1B</i>	<i>vyvážené využívání všech zdrojů energie</i>
<b>A2</b>	<b>heterogenní svět, silný populační nárůst, přetrvávající regionální ekonomické rozdíly</b>
<b>B1</b>	<b>postupující globalizace, rychlý rozvoj informačních technologií, služeb, zavádění nových technologií</b>
<b>B2</b>	<b>důraz na udržitelný rozvoj, podpora regionálních ekonomik, různorodost technologických změn</b>

zdroj: IPCC-SRES

82

## Změny a kolísání klimatu

scénář	nárůst teploty (°C)		zvýšení hladiny oceánů (m)
	nejlepší odhad	rozpětí dolní/horní odhad	rozpětí dolní/horní odhad
<b>B1</b>	1,8	1,1 – 2,9	0,18 – 0,38
<b>A1T</b>	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,45
<b>B2</b>	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,45
<b>A1B</b>	2,8	1,7 – 4,4	0,21 – 0,48
<b>A2</b>	3,4	2,0 – 5,4	0,23 – 0,51
<b>A1FI</b>	4,0	2,4 – 6,4	0,26 – 0,59

zdroj: IPCC-AR4

83

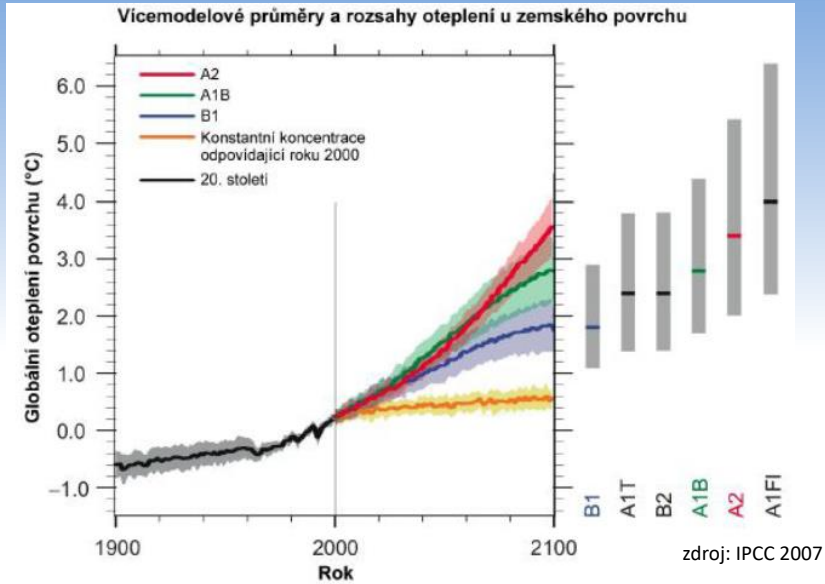
## Změny a kolísání klimatu

Scénář	Ekonomický růst	Populace	Technologický pokrok	Globálnost/lokálnost vývoje
A1	Rychlý	9 miliard v roce 2050, pak postupný pokles	Rychlý rozvoj nových technologií	Konvergentní svět, příjmy a způsob života se vyrovnávají, velká kulturní a sociální interakce mezi různými částmi světa
<i>Varianta A1FI (Fossil Intensive)</i>		<i>Důraz na spalování fosilních paliv</i>		
<i>Varianta A1B (Balanced)</i>		<i>Vyvážený důraz na různé energetické zdroje</i>		
<i>Varianta A1T (Technological)</i>		<i>Důraz na nefosilní zdroje energie</i>		
A2	Pomalejší	Postupně rostoucí	Pomalejší	Regionálně orientovaný, nízké tempo globalizace
B1	Rychlý (jako A1)	Jako A1	Důraz na ekologická řešení	Globální řešení problémů
B2	Střední	Postupně rostoucí, ale pomaleji než v A2	Střední, důraz na ekologická řešení	Regionálně orientovaný

Zdroj: Nakicenovic et al. (2000) a Solomon et al. (2007).

84

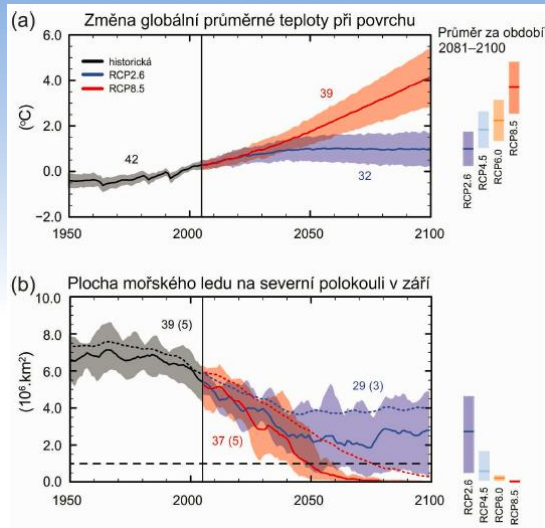
## Změny a kolísání klimatu



85

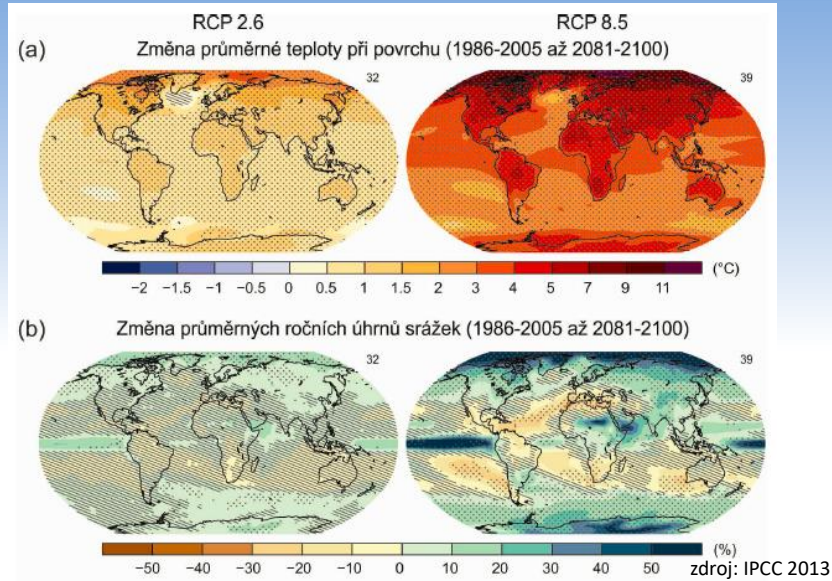
## Změny a kolísání klimatu

- nové scénáře RCP (Representative Concentration Pathways) využité v 5. hodnotící zprávě



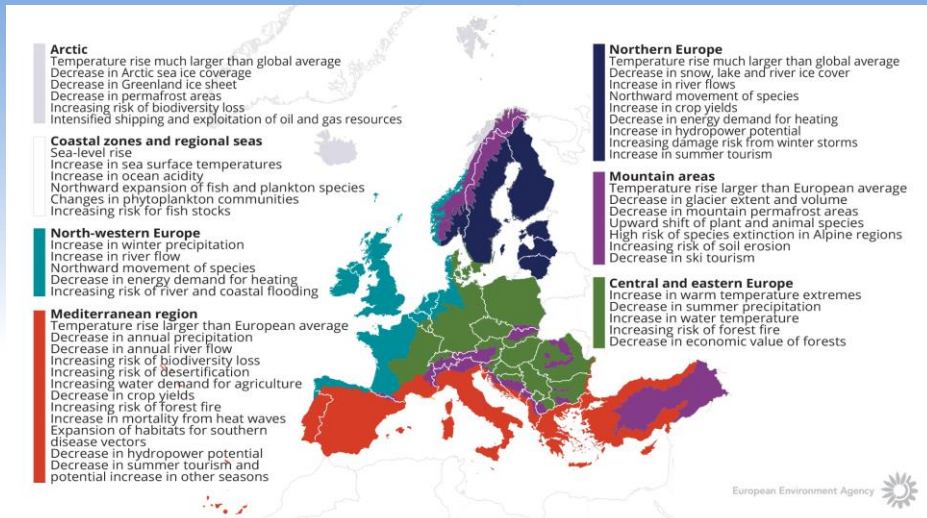
86

# Změny a kolísání klimatu



87

# Změny a kolísání klimatu









88

# Změny a kolísání klimatu

Climate change impacts around the world



- |   |   |  |
|---|---|--|
|  Species impacts |  Floods/Sea level rise |  Melting ice  |
|  Wildfires       |  Water stress          |  Crop changes |