

8. ZMĚNY A KOLÍSÁNÍ KLIMATU

- **změna klimatu** – klimatické výkyvy se zřetelně vyjádřeným dlouhodobým trendem (ochlazování, oteplování) v časovém intervalu 10^3 roků a více, podmíněným změnou základních klimatotvorných faktorů
- **kolísání klimatu** – klimatické výkyvy s nejasným dlouhodobým trendem v časovém intervalu 10^0 - 10^2 roků, podmíněné vnitřní variabilitou klimatického systému a kolísáním klimatotvorných faktorů

8.1 ZÁKLADNÍ ÚDAJE PRO STUDIUM ZMĚN A KOLÍSÁNÍ KLIMATU

- **přístrojové údaje (systematická meteorologická měření)**
nejobjektivnější zdroj informací – relativně krátké řady (do 10^2 let) – nerovnoměrné pokrytí Země meteorologickými stanicemi – krátké řady speciálních údajů (např. chemismus atmosféry)
- **dokumentární údaje**
přímé a nepřímé údaje o počasí a klimatu související s činností člověka (narativní prameny, ekonomické údaje, epigrafické záznamy, korespondence, vizuální denní záznamy počasí, noviny aj.) – časově a prostorově nehomogenní – subjektivita a problémy s kvantifikací – pokrývají maximálně období 10^2 až 10^3 let
- **paleoklimatické údaje**
nepřímé (proxy) údaje o počasí a klimatu z období přesahující 10^2 let – informace o klimatu je „zakódována“ v podobě nějaké měřené charakteristiky (letokruhy, jezerní sedimenty, ledovcová jádra aj.) a musí být získána na základě nalezení vztahu mezi takovou charakteristikou a parametrem klimatu – časově homogenní záznam – problém možné časové změny předpokládané vazby

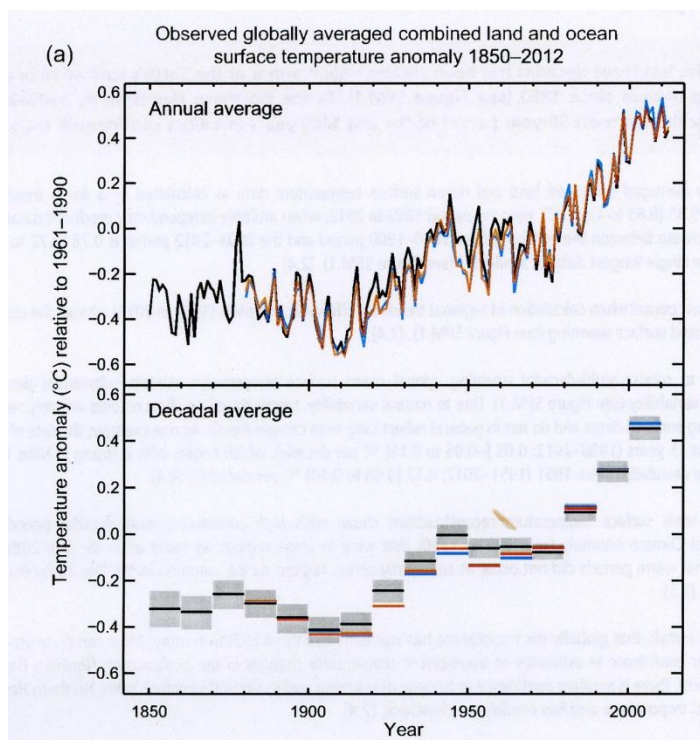
8.2 KOLÍSÁNÍ KLIMATU OD 19. STOLETÍ

- globální teplotní řada na Zemi počítaná od roku 1850 na základě existujících teplotních měření

8.2.1 Pozorované změny v klimatickém systému podle přístrojových pozorování – IPCC 2013

- vyjádření kvalitativního stupně **spolehlivosti** výsledku (velmi nízká až velmi vysoká) podle typu, množství, kvality a existence existujících svědectví
- kvantifikace **pravděpodobnosti** (plyne ze statistické analýzy):
 - prakticky jisté – 99-100% pravděpodobnost, velmi pravděpodobné – 90-100%, pravděpodobné – 66-100%, pravděpodobně ano i ne – 33-66%, nepravděpodobné – 0-33%, velmi nepravděpodobné – 0-10%, výjimečně nepravděpodobné – 0-1%
- dodatečné:
 - extrémně pravděpodobné – 95-100%, pravděpodobnější než ne ->50-100%, extrémně nepravděpodobné – 0-5%
- Lineární trend 1880-2012: 0,85 °C (0,65 až 1,06)
- Rozdíl teplot v obdobích 1850-1900 a 2003-2012 je 0.78 °C (0,72 až 0,85)
- Každá ze tří posledních dekád byla teplejší než předchozí dekády od roku 1850.

- 1983-2012 je nejteplejší 30-letí za posledních 1400 let.
- Prakticky jisté, že se troposféra oteplila od poloviny 20. století.



Obr. 1 Pozorovaná průměrná globální odchylka celkové teploty vzduchu a oceánu 1850–2012

Tab. 1 Zhodnocení změn jevů a trendů od roku 1950 a přispění člověka na pozorované jevy

Phenomenon and direction of trend	Assessment that changes occurred (typically since 1950 unless otherwise indicated)	Assessment of a human contribution to observed changes
Warmer and/or fewer cold days and nights over most land areas	<i>Very likely</i> {2.6}	<i>Very likely</i> {10.6}
Warmer and/or more frequent hot days and nights over most land areas	<i>Very likely</i> <i>Very likely</i>	<i>Likely</i> <i>Likely</i>
Warm spells/heat waves. Frequency and/or duration increases over most land areas	<i>Medium confidence</i> on a global scale <i>Likely</i> in large parts of Europe, Asia and Australia {2.6}	<i>Likely</i> ^a {10.6}
Heavy precipitation events. Increase in the frequency, intensity, and/or amount of heavy precipitation	<i>Medium confidence</i> in many (but not all) regions <i>Likely</i>	Not formally assessed <i>More likely than not</i>
Increases in intensity and/or duration of drought	<i>Likely</i> more land areas with increases than decreases ^c {2.6}	<i>Medium confidence</i> {7.6, 10.6}
Increases in intense tropical cyclone activity	<i>Low confidence</i> on a global scale <i>Likely</i> changes in some regions ^d {2.6}	<i>Medium confidence</i> ^f <i>More likely than not</i>
Increased incidence and/or magnitude of extreme high sea level	<i>Medium confidence</i> in some regions <i>Likely</i> in many regions, since 1970 ^e {2.6}	<i>Low confidence</i> ⁱ {10.6}
	<i>Low confidence</i> in long term (centennial) changes <i>Virtually certain</i> in North Atlantic since 1970 {2.6}	<i>Low confidence</i> <i>More likely than not</i>
	<i>Low confidence</i> <i>Likely</i> (since 1970) {3.7}	<i>Likely</i> ^a {3.7}
	<i>Likely</i> (late 20th century) <i>Likely</i>	<i>Likely</i> ^b <i>More likely than not</i> ^g

- Vysoká spolehlivost tvrzení, že jarní (březen-duben) rozsah sněhové pokrývky na severní polokouli se zmenšil.
- Existuje vysoká spolehlivost tvrzení, že rozsah mořského ledu v Arktidě se zmenšil.
- Prakticky jisté, že svrchní vrstva oceánu (0-700 m) se oteplila od 1971 do 2010 a pravděpodobně se oteplila mezi 70. léty 19. století a rokem 1971.
- Rychlost vzestupu hladiny světového oceánu od poloviny 19. století byla větší než v předchozích dvou tisíciletích – vysoká spolehlivost. V letech 1901-2010 činil vzestup 19 cm (17-21 cm).

8.3 Přírodní proxy data a rekonstrukce klimatu

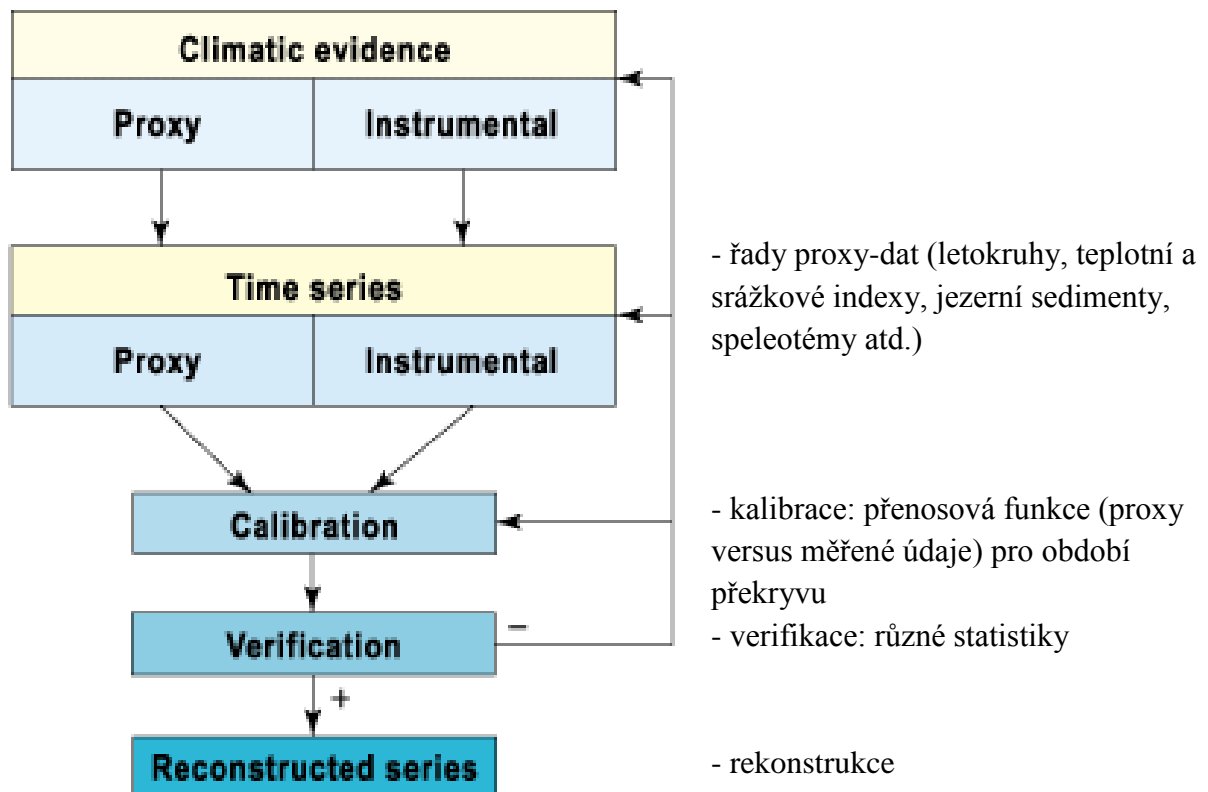
Tab. 2 Přehled možných informací získaných z přírodních proxy dat

Archive	Minimum sampling interval	Temporal range (order: yr)	Potential information derived
Historical records	day/hr	$\sim 10^3$	T, P, B, V, M, L, S
Tree rings	yr/season	$\sim 10^4$	T, P, B, V, M, S
Lake sediments	yr (varves) to 20 yr	$\sim 10^4$ – 10^6	T, B, M, P, V, C _w
Corals	yr	$\sim 10^4$	C _w , L, T, P
Ice cores	yr	$\sim 5 \times 10^5$	T, P, C _a , B, V, M, S
Pollen	20 yr	$\sim 10^5$	T, P, B
Speleothems	100	$\sim 5 \times 10^5$	C _w , T, P
Paleosols	100 yr	$\sim 10^6$	T, P, B
Loess	100 yr	$\sim 10^6$	P, B, M
Geomorphic features	100 yr	$\sim 10^6$	T, P, V, L, P
Marine sediments	500 yr ^a	$\sim 10^7$	T, C _w , B, M, L, P

T = temperature
P = precipitation, humidity, or water balance (P-E)
C = chemical composition of air (C_a) or water (C_w)
B = information on biomass and vegetation patterns
V = volcanic eruptions
M = geomagnetic field variations
L = sea level
S = solar activity

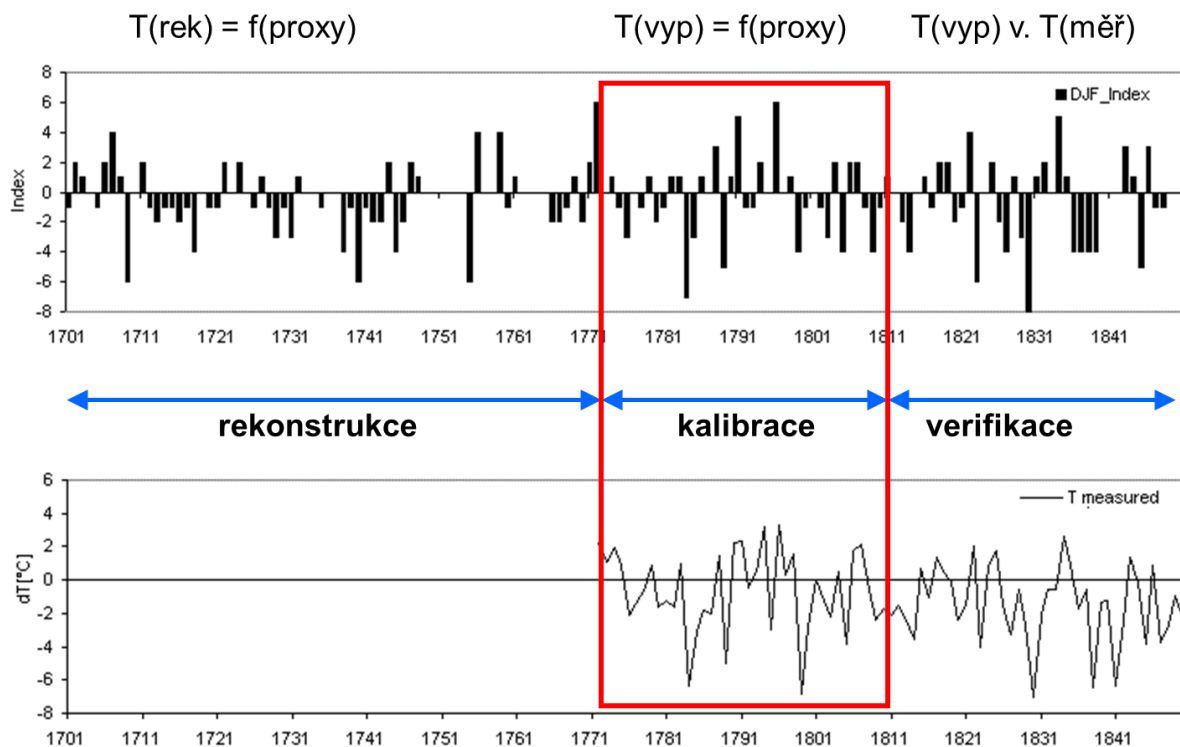
After Bradley and Eddy (1991).
^a In rare circumstances (varved sediments) ≤ 10 yr.

Paleoklimatická rekonstrukce



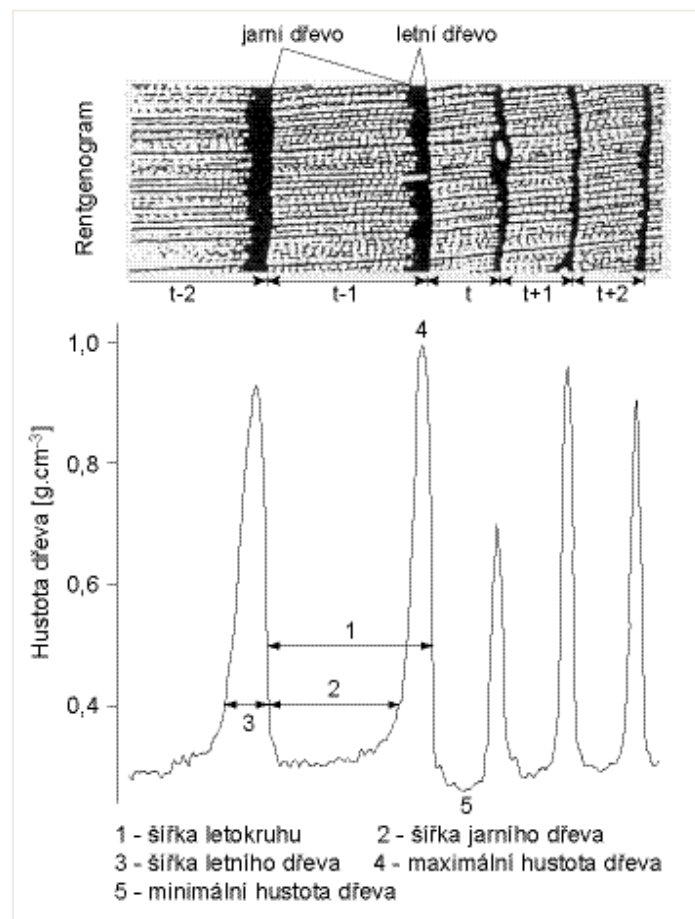
Obr. 2 Diagram kvantitativní paleoklimatické rekonstrukce

- **Přenosová funkce** je stanovena pro období překryvu a aplikována na proxy data předchozího období.



Obr. 3 Schéma rekonstrukce řady

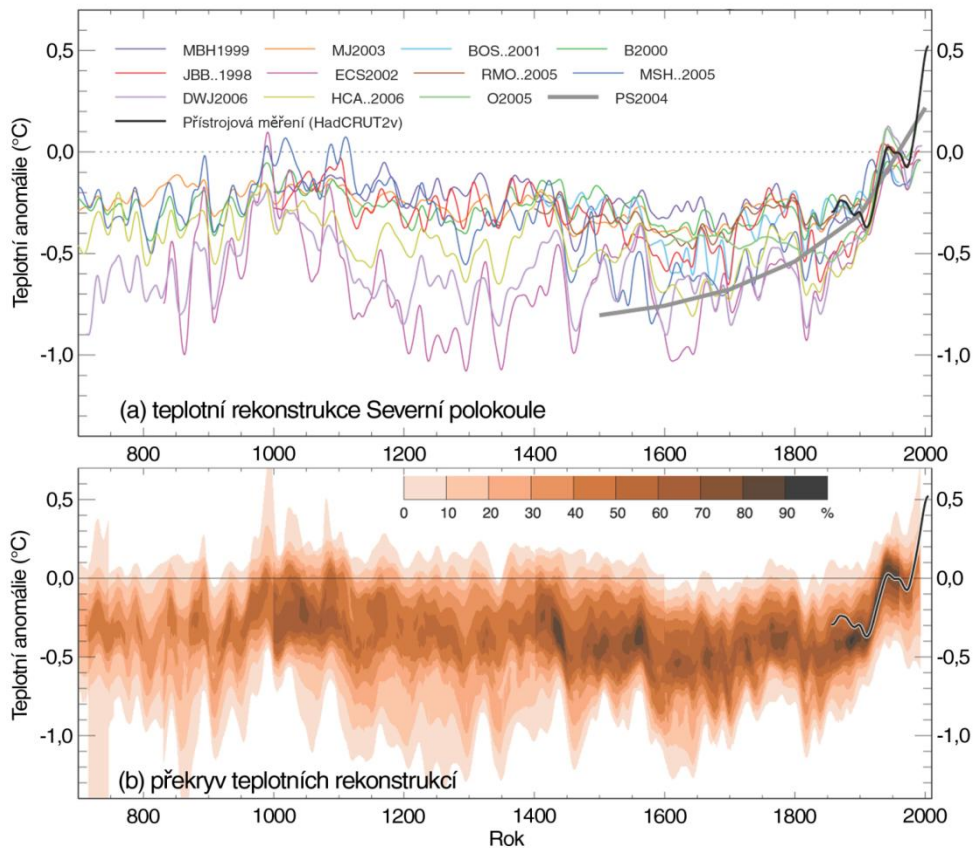
- **Analýza poměru izotopů kyslíku $\delta^{18}\text{O} = (\text{R} - \text{R}_0) / \text{R}_0$,**
kde R je poměr naměřených koncentrací v ledovcovém jádru
a R_0 je srovnávací poměr izotopů v oceánu,
přičemž R, resp. $\text{R}_0 = c(^{18}\text{O}) / c(^{16}\text{O})$
- Poměr $\delta^{18}\text{O}$ je nepřímo úměrný teplotě a vyjadřuje:
 - teplotu vzduchu při kondenzaci
 - atmosférické procesy mezi zdrojem vodní páry a místem depozice
 - místní podmínky během změny firnu v led
 - nadmořskou výšku a zeměpisnou šířku lokality
- **Izotopy** jsou dány kolísáním hmoty v atomech každého prvku. Každé jádro atomu je tvořeno protony (počet v jádře vždy stejný) a neutrony (počet může kolísat). Atomy kyslíku mají vždy 8 protonů, ale buď 8 ($^{16}\text{O} - 99,76\%$), 9 ($^{17}\text{O} - 0,04\%$) a 10 neutronů ($^{18}\text{O} - 0,20\%$).



Obr. 4 Měřené charakteristiky letokruhů

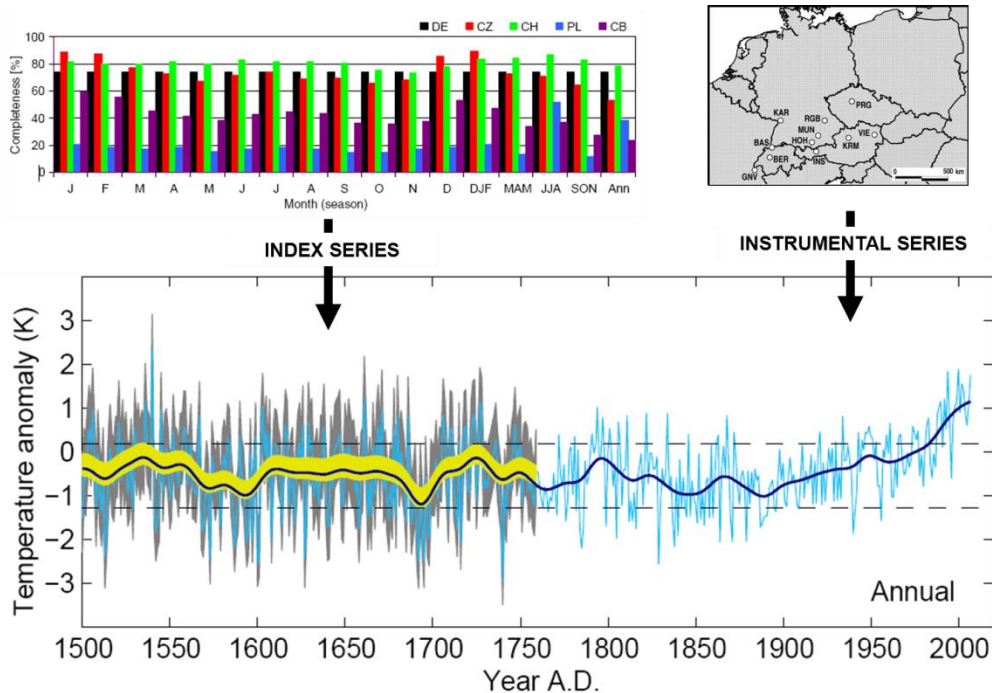
8.4 KOLÍSÁNÍ KLIMATU NA ZEMI V POSLEDNÍM TISÍCILETÍ

- tradiční členění klimatu posledního tisíciletí podle H. H. Lamba:
 - a) středověké klimatické optimum (Medieval Climate Anomaly) - (950)1150-1300
 - b) období zhoršování klimatu
 - c) malá doba ledová (Little Ice Age) - 1550-1850
 - d) současné globální oteplování (po roce 1850)



Obr. 5 Rekonstrukce anomálií teploty vzduchu (referenční období 1961–1990) pro Severní polokouli od různých autorů (a) a průnik rekonstruovaných teplotních řad (b) od 8. století do současnosti (upraveno podle obr. 6.19 in Solomon et al., 2007)

Středoevropská teplotní řada 1500-2007



Obr. 6 Středoevropská teplotní řada (s ohledem na referenční období 1961–1990) s odhadem nejistot (Dobrovolný et al. 2010)

- 1760-2007 – průměr 11 střeoevropských homogenizovaných stanic z Německa, Švýcarska, Rakouska a České republiky
- **1500-1759** – teplotní indexy interpretované z dokumentárních údajů, průměrované pro Německo, Švýcarsko a České země

8.5 ZMĚNY KLIMATU V GEOLOGICKÉ MINULOSTI ZEMĚ

- posledních 2,588 miliónů let se dělí na holocén (cca 11-12 tisíc let před současností - BP) a pleistocén
- 15-20 kvartérních klimatických cyklů – střídání glaciálů a interglaciálů
- holocén – současný interglaciál, jsme na rozhraní jeho druhé a třetí třetiny, silně ovlivněn činností člověka (antropocén)
- periodizace holocénu – postglaciální klimatické optimum (6000 – 8000 let BP)

8.6 Hypotézy klimatických změn

- za nejměrohodnější hypotézu objasňující kvartérní klimatické cykly je považována **Milankovičova astronomická hypotéza**, založená na změně parametrů oběžné dráhy Země kolem Slunce:
 - **sklon zemské osy ϵ** (úhel sevřený rovinou ekliptiky a rovinou světového rovníku): 22–24,5°, asi 41 000 let
 - **délka perihelu π** (úhlová vzdálenost přísluní od jarního bodu, pohybujícího se v důsledku precese): 21 000 let
 - **výstřednost zemské dráhy e** : 0,0007–0,0658, 100 000 let
- **Vhodné podmínky pro zalednění na Severní polokouli:**
 - relativně teplé zimní a relativně chladné letní období
 - nejmenší ϵ , největší e , π blízké 90° nebo 270°
- **graf ekvivalentních šířek pro 65° s.š.** (šířky, které dostávají v současnosti v tzv. letním kalorickém půlroce stejné množství slunečního tepla jako v minulosti 65°)
- růst ekvivalentní šířky – ochlazení a naopak