

3. Změny klimatu

3.1. Příčiny změn klimatu v geologické minulosti

V geologické minulosti docházelo neustále ke změnám klimatu a podle dochovaných důkazů se patrně střídala období teplejší a chladnější, sušší i vlhčí. Srovnávání tehdejšího klimatu s dnešním je však poměrně problematické. Jednak proto, že počet datových řad k přesné rekonstrukci klimatu těch dob není doposud dostatečný a jednak proto, že geologické podmínky na Zemi se výrazně lišily od těch dnešních. Jiné rozložení pevnin a oceánů mělo za následek i jiný systém proudění vody v oceánu, a tím i jiné podmínky pro přenos tepelné energie z tropických oblastí do vyšších zeměpisných šířek. Doklady o změnách klimatu jsou v zásadě souvisle k dispozici na základě paleoklimatických údajů pro období tzv. fanerozoika, tj. posledních 542 milionů let. V jeho zatím posledním období, kvartéru (2,588 milionů let), bylo klima charakterizováno střídáním tzv. glaciálů (chladná období s výrazným nástupem zalednění) a interglaciálů (teplá období s ústupem zalednění), vnitřně ještě dále členěných. V postglaciálním období zvaném holocén (posledních asi 11 000 let), které nastoupilo po předchozím würmském glaciálu (s vrcholem ochlazení asi před 20 000 lety), právě žijeme.

Mezi tzv. přirozené příčiny změn klimatu lze zařadit:

- Postupné, ale zásadní změny v hlavních parametrech oběžné dráhy planety, slunečním výkonu a geobiochemických cyklech vedoucí ke změně klimatických podmínek v horizontu desítek až stovek milionů let.
- Pohyby desek zemské kůry a deskovou tektoniku působící změny klimatu v horizontu milionů let.
- Cyklické změny v oběžné dráze planety Země – Milankovičovy cykly – desítky až stovky tisíc let.
- Změny ve sluneční aktivitě – desítky až stovky let.
- „Jednorázové události“ – sopečné výbuchy, dopady meteoritů..., působící takřka okamžitě s následky trvajících od měsíců po tisíce let.

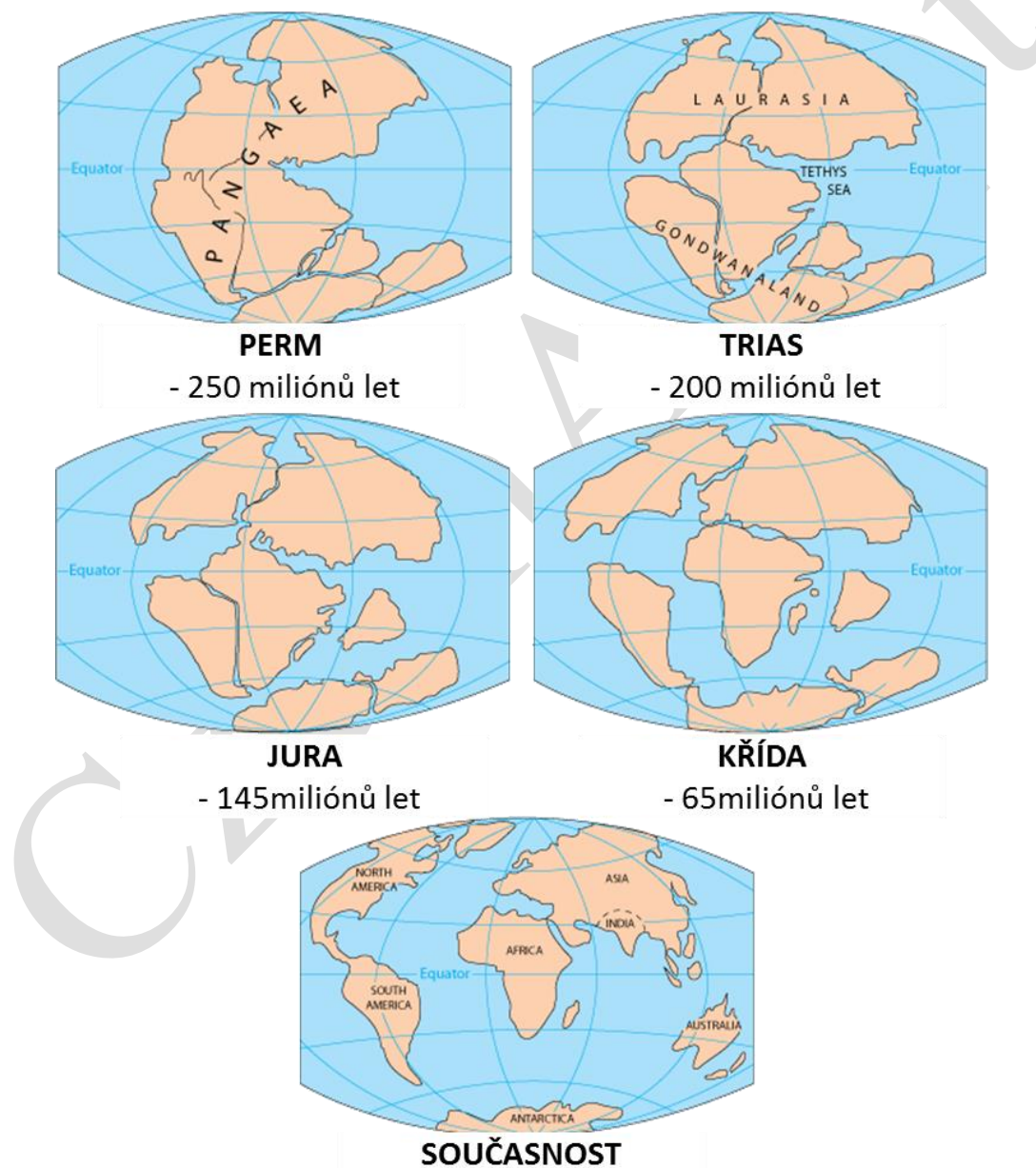
Klima planety Země je z určitého pohledu cokoliv jen ne stálé, vždy záleží právě na úhlu pohledu a toho, co považujeme za změnu. Většina klimatických změn, o kterých budeme hovořit v této učebnici, probíhá v horizontu stovek, tisíců až desetitisíců let, nicméně na úvod této kapitoly si dovolíme krátký exkurz do hlubší minulosti.

3.2. Pohyby zemských desek a jejich vliv na klima

Země se od obou zmíněných planet liší přítomností deskové tektoniky a podle našich znalostí žádný jiný objekt (s možnou výjimkou ledových měsíců) ve Sluneční soustavě známky deskové tektoniky dnes nevykazuje. Nejsvrchnější vrstva Země tzv. litosféra je rozlámána na několik částí, které se vůči sobě mohou pohybovat díky plastické astenosféře, která je pod nimi. Na tzv. středo-oceánských hřbetech vzniká nová oceánská kůra, stará se naopak zanořuje do zemského nitra v místech tzv. subdukcí. Kontinentální kůra je zřejmě víceméně stabilní, ale i u ní dochází ke kolizím (např. mezi Indií a Asií díky níž vznikly Himaláje, které opět zásadně ovlivnily a ovlivňují klima v celé Asii). Pohyb tektonických desek je v rozmezí 0 až 100 mm.rok⁻¹, jednotlivé desky se ale pohybují různými směry i rychlostmi. Desková tektonika je také velmi účinný proces pro ochlazení planety, což umožňuje generování silného geomagnetického pole kolem Země.

Tektonické desky se mohou pohybovat proto, že zemská litosféra má vyšší pevnost a nižší hustotu než spodnější astenosféra. Jejich pohyb je způsobován výstupem teplejšího materiálu v plášti. Rozdíly v hustotě v plášti vedou k plášťové konvekci, která se projevuje v pohybu tektonických desek jako

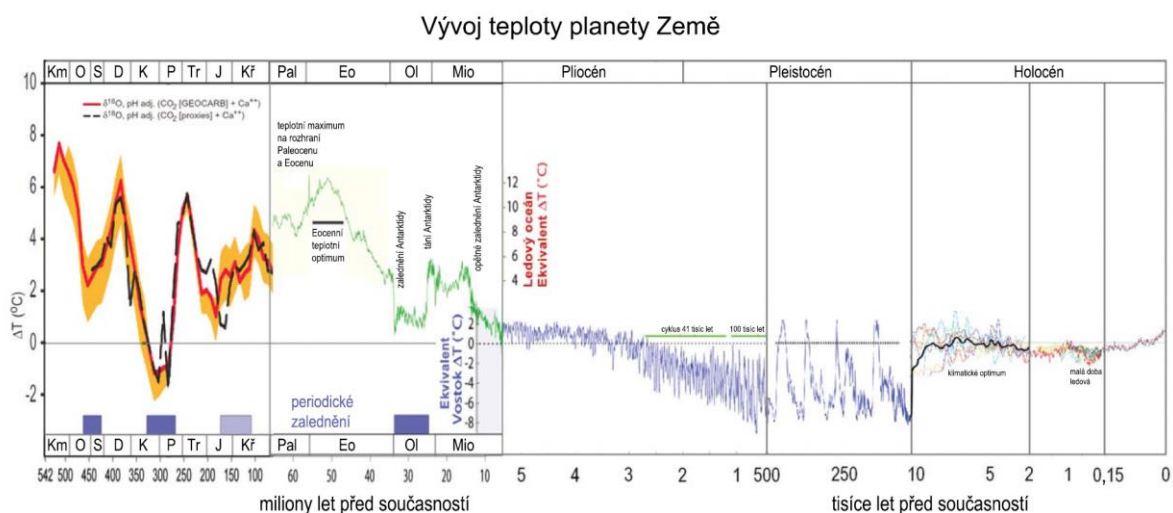
kombinace tahu, sestupného nasávání v subdukčních zónách a variace topografie a hustoty kůry, což vede k rozdílům gravitační síly působící na Zemi. Pohyby zemských desek po téměř celou geologickou historii výrazně přispívají k modifikaci klimatických podmínek změnou rozložení pevnin a oceánů na zemském povrchu. Změny poloh kontinentů, jak ukazuje obr. 3.1, se značně lišily, stejně tak jako se lišila velikost a poloha oceánů. Změny polohy a koncentrace pevnin je velmi důležitá pro relativní radiační bilanci s ohledem na náklon Zemské osy a tedy sezonalitu v sumě dopadajícího záření ve vyšších zeměpisných šířkách. Současně je evidentní, že desková tektonika ovlivňuje směr a charakter mořských proudů. Podobně má vliv i na vznik a setrvalost polárních ledových příkrovů. Bez pevnin v oblasti Arktidy – tj. Grónska, a zejména Antarktidy, které umožňují vznik stabilních a mocných ledových štítů s životností miliónů let, by charakter klimatu byl výrazně odlišný. Ostatně doby ledové formovaly zemské klima nikoliv pouze ve čtvrtohorách.



Obr. 3.1: Přibližná poloha kontinentů od mladších prvohor do současnosti (zdroj: <http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/historical.html>)

3.3. Klima mezi pozdními prvohorami a počátkem čtvrtohor

Ačkoliv pod termínem “ledové doby” rozumíme sérii klimatických výkyvů v kvartéru (čtvrtohorách), k významným ochlazením docházelo i v jiných obdobích geologické minulosti, např. v mladším proterozoiku, v průběhu prvohor pak v ordoviku a na rozhraní karbonu a permu. Přesnější průběh klimatických změn v takto vzdálené minulosti je však obtížně zjištělný, ačkoliv některá tato zalednění byla pravděpodobně mnohem výraznější než ta z relativně nedávné minulosti. První zdokumentovanou ledovou dobou je tzv. huronské zalednění, ke kterému došlo před 2,3 miliardami let. Ve velmi starých horninách z doby před 700 miliony let jsou nacházeny ledovcové uloženiny, a to i z oblastí, které se tehdy nacházely v blízkosti rovníku. Rozšíření těchto uloženin bylo tak rozsáhlé, že jejich interpretace vedla ke vzniku tzv. teorie Země - sněhová koule. Předpokládalo se, že průměrná teplota povrchu Země byla hluboko pod bodem mrazu a celou planetu měly pokrývat kontinentální ledovce a vrstva mořského zalednění. Ukázalo se ale, že zalednění přesto nemohlo být tak úplné, jelikož život by v takových podmínkách přežil jen stěží. K dalšímu významnému ochlazení došlo na konci prvohorního období ordoviku před 440 miliony let, což je ochlazení patrné i na obr. 3.3. Tehdejší doba ledová probíhala souběžně s velkým vymíráním organismů. Prostředí pro teplomilné organismy však zůstalo zachováno. Další známá doba ledová přišla na rozhraní prvohorních období karbonu a permu, tedy před asi 290 miliony let, kdy se v prostoru jižního pólu nacházela velká pevnina, kterou pokrýval velký kontinentální ledovec. Po dlouhém teplém období druhohor se ve druhé polovině třetihor začalo opět postupně ochlazovat. Pod pojmem ledové doby se obvykle myslí právě toto období klimatických výkyvů, které trvá do současné epochy (obr. 3.2). Rozsah zalednění ve čtvrtohorách pak ukazuje obr. 3.3.

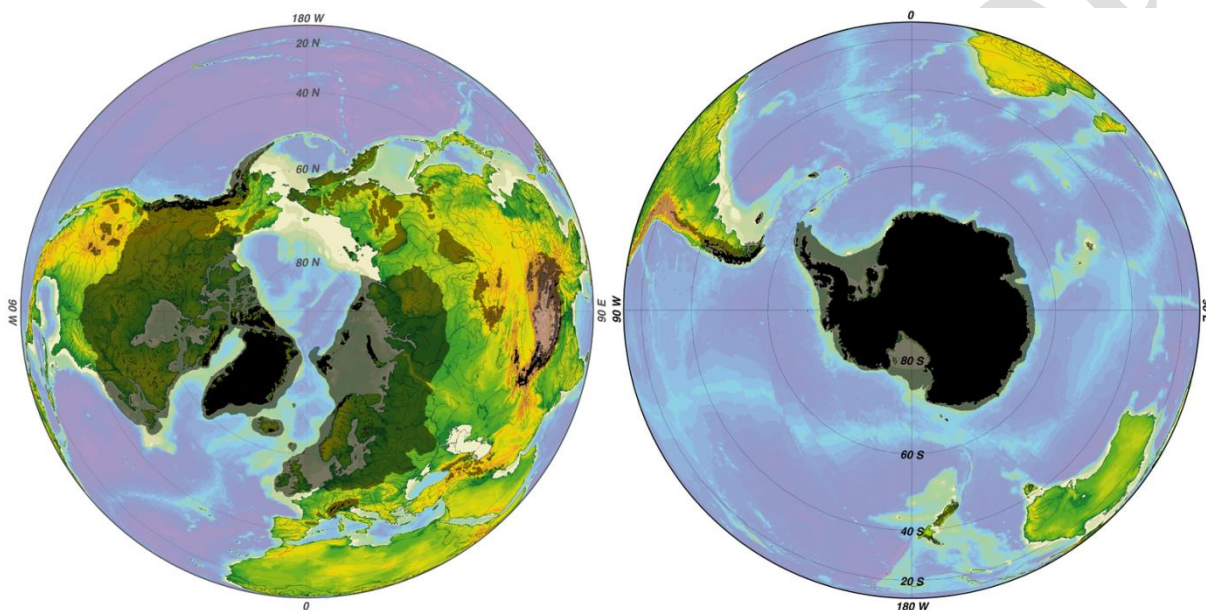


Obr. 3.2: Rekonstrukce průběhu teploty v geologické minulosti Země, nehomogenní časová osa. Poznámka: Km = Kambrium, O = Ordovik, S = Silur, D = Devon, K = Karbon, P = Perm, Tr = Trias, J = Jura, Kř = Křída, Pal = Paleocén, Eo = Eocén, Ol = Oligocén, Mio = Miocén. Zdroj: Zachos et al. (2001) podle Metelky a Tolasze (2009).

3.4. Střídání dob ledových a meziledových ve čtvrtohorách a jeho příčiny

Střídání glaciálů a interglaciálů ve čtvrtohorách bývá dáváno nejčastěji do souvislosti se změnami parametrů zemské dráhy, s kterou poprvé přišel skotský vědec James Croll na konci 19. století. V jeho době se tato myšlenka neujala, nicméně byla výrazně rozpracována a dnes je známa jako tzv. Milankovičova teorie (v anglosaské literatuře někdy uváděná jako Croll-Milankovičova teorie). Proč

ale takové velké proměny atmosféry i povrchu Země nastávaly a proč se během čtvrtohor střídaly dlouhé ledové doby a kratší meziledové, velmi dobře vysvětlují ve svém textu Milěř a Holan (2014). Popudy k tomu, aby ledu začalo ubývat nebo přibývat, jsou překvapivě jednoduché. Jde o to, zdali ve vysokých severních šířkách roztaje v létě více sněhu, než tam za rok napadlo, či naopak. V prvním případě krajina postupně tmavne a taje i led, ve druhém případě se zbylý sníh naopak na led proměňuje a narůstá ledový příkrov. Narůstání příkrovů se týká arktických pevnin. Rozhodující pro jejich bilanci je intenzita tamního letního oslunění. Podle našich současných poznatků byly veškeré přechody mezi chladnými a teplejšími obdobími ve čtvrtohorách spuštěny právě změnou letního oslunění v oblastech kolem 65° severní šířky. Změna sněhové a ledové pokrývky vyvolala změnu albeda krajiny, což je velmi zesilující zpětná vazba, stejně jako prakticky okamžitá (v řádu dní) změna koncentrace vodní páry s teplotou. Setrvale změněné teploty postupně vedly i ke změně koncentrace tří přírodních skleníkových plynů s dlouhou životností v ovzduší, totiž oxidu uhličitého, metanu a

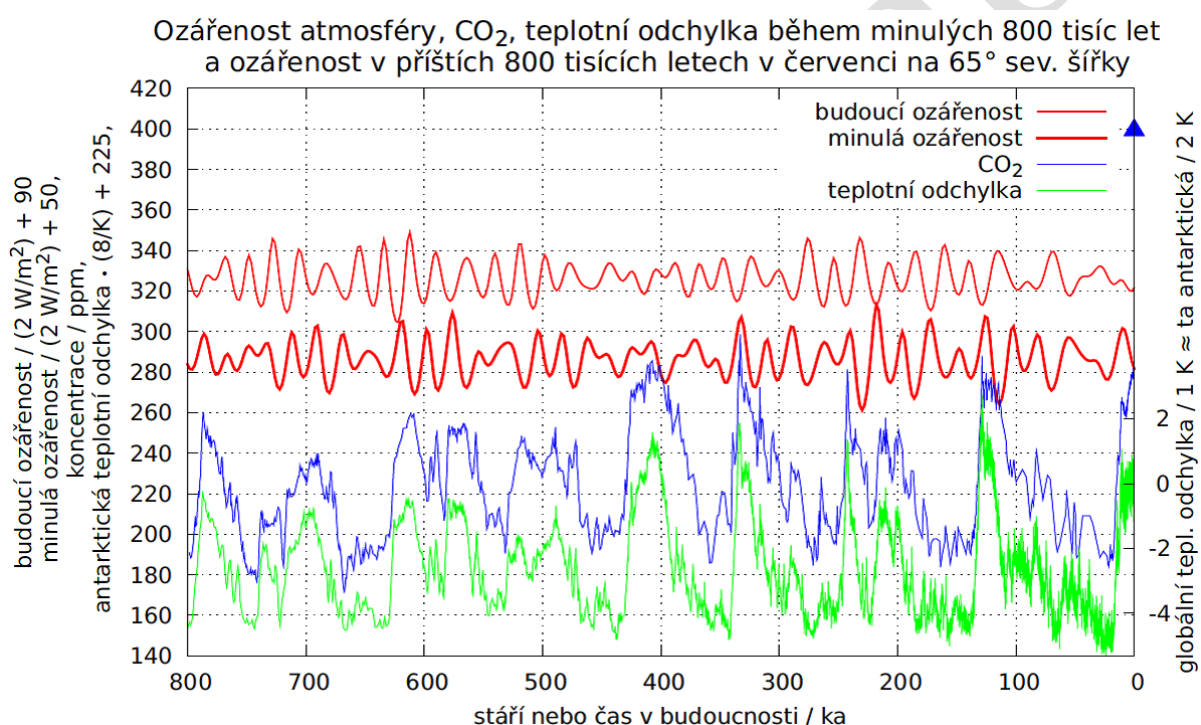


Obr. 3.3: Maximální rozsah zalednění ve čtvrtohorách (zdroj: Hannes Grobe a J. Ehlers & P.L. Gibbard: *The extent and chronology of Cenozoic global glaciation. Quaternary International*, 164-165, 6-20, 2007 doi:10.1016/j.quaint.2006.10.008)

oxidu dusného. Oxid uhličitý se uvolňoval z moří, neboť teplejší voda jej neudrží tak mnoho (vzpomeňme na teplající minerálku či pivo), metan z ohřívajících se arktických půd a mořského dna, a spolu s oxidem dusným pak vlivem zvýšené mikrobiální aktivity v půdách či mokřadech. Zvýšené koncentrace těchto tří skleníkových plynů vyvolaly změny teplot nejen ve vysokých severních zeměpisných šířkách během léta, ale po celé planetě a po celý rok. Globální změny teplot pak vedly i ke změnám albeda v jižních vysokých zeměpisných šířkách a na obou polokoulích i ke změnám albeda v nižších zeměpisných šířkách, vesměs změnám původní proces zesilujícím.

Ačkoliv Croll-Milankovičova teorie velmi dobře vysvětluje iniciaci dob ledových a meziledových, pro globální konsekvence těchto změn je nutná silná zesilující (pozitivní) zpětná vazba daná změnou velikosti skleníkového jevu. Důvod proč se v ledových jádrech změny koncentrace radiačně aktivních plynů opožďují za teplotním signálem (obr. 3.4) je tedy ten, že po prvotním astronomickém impulsu, který vedl k počátečnímu zvýšení/snížení teploty byla nastartována kaskáda pozitivních zpětných vazeb vedoucích ke zvýšení/snížení koncentrace radiačně aktivních plynů až do dosažení nového equilibria. Souhlas klimatických změn, jak je dnes známe ze zjištěného časového průběhu dle vrtných

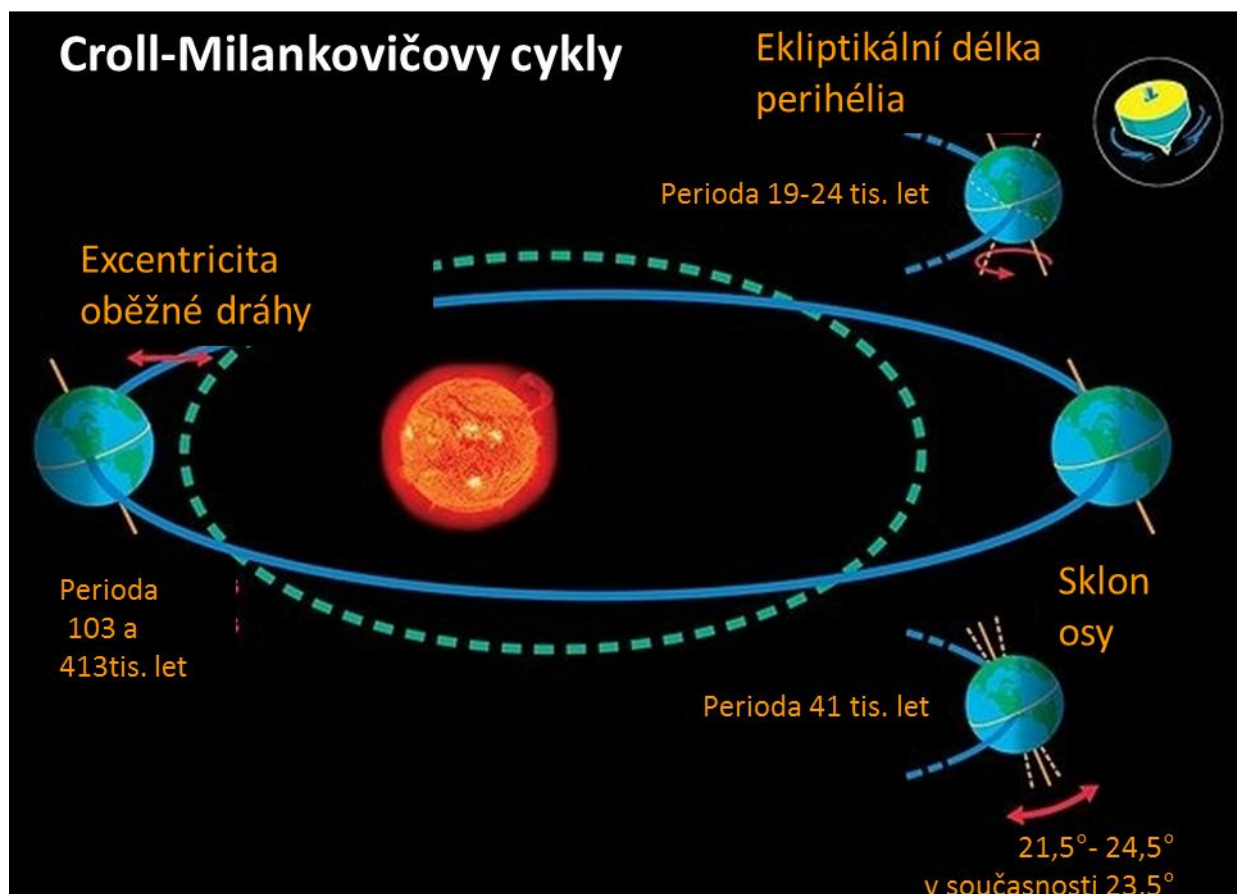
jader z grónského a antarktického ledového příkrovu i ze sedimentů ze dna hlubokých moří, je překvapující. Základ Croll-Milankovičových cyklů shrnuje obr. 3.5, který ukazuje změnu tří základních parametrů, totiž ekliptikální délky perihelia (bodu na ekliptice, kde je Slunce nejbliže), sklonu zemské osy a excentricity zemské orbity. Cykly jsou ve skutečnosti podstatně komplikovanější a zasahují do nich i perturbace způsobené gravitačním působením Jupiteru a Saturnu. Podstatný je až jejich výsledek, totiž intenzita ozáření vysokých severních šířek na jaře a v létě. Ta se na rozdíl od oslunění Země jako celku během tisíců a desetitisíců let výrazně mění, o desítky wattů na metr čtvereční, viz Obrázek 3.5. Maxima ozáření vedou k úbytku sněhu a objemu ledové masy ve vysokých severních šířkách, k poklesu albeda, oteplování a vzrůstu koncentrace oxidu uhličitého, minima k procesu opačnému. Jestli se ale projeví výrazně, to záleží také na momentálním stavu klimatického systému a jeho dynamice. Ukazuje se, že poslední oteplení na konci pleistocénu začalo táním ledu, které vedlo ke snížení slanosti povrchu severního Atlantiku, což potlačilo termohalinní cirkulaci, která dodává teplo z jižní polokoule na severní, čímž rostla teplota Jižního oceánu. Vzrostlo naopak proudění, při němž se vynořuje voda z hloubek na povrch Jižního oceánu. Z této vody se uvolňoval oxid uhličitý. Nárůst jeho obsahu v ovzduší pak vedl k velkému oteplení celé Země.



Obr. 3.4: Červené křivky udávají proměny intenzity ozáření (aneb ozáření) vodorovné plochy ovzduší poblíž polárního kruhu v červenci. Tlustě jsou vyznačeny hodnoty minulé, tenké budoucí. Koncentrace oxidu uhličitého i teplotní anomálie jsou zjištěné z ledových vrtných jader v Antarktidě; antarktické teplotní odchylky jsou zhruba dvojnásobkem anomálií globálních. Koncentrace CO₂ v r. 2015, 400 ppm, je vyznačena modrým trojúhelníkem. Poznámka: „ka“ je tisíc let, „a“ je značka pro rok z latinského annus; změní-li se antarktická teplota o dva kelviny, globální se změní jen o jeden kelvin. Zdroj: Miler a Hollan (2014) - Zdrojový skript je 800-800ka_cz65.gnp - amper.ped.muni.cz/gw/aktivity/grafy/sources/, kde jsou i zdrojová data. Online výpočet viz web “Computation of Various Insolation Quantities for Earth” 2013.

Ledové doby začínají a končí zpravidla tehdy, když je rozkmit mezi maximy a minimy zvláště velký. Nicméně i menší rozkmit nastartoval a ukončil dlouhé teplé období před 400 tisíci lety, jen o málo

větší rozkmit započal teplé současné období, v dalších tisíciletích začne zase růst, ale jen mírně, protože je nyní orbita Země téměř kruhová, a málo záleží na tom, v kterém ročním období je Země v perihéliu. Obavy z časných nástupů doby ledové vyvrací nedávná práce Tzedakiseho et al. (2012) která ukazuje, že taková situace nastat v příštích tisíciletích může, ale pouze za předpokladu, že koncentrace oxidu uhličitého nejdříve klesne pod 240 ppm, zatímco během holocénu byla vždy vyšší než tato hodnota. Ve skutečnosti koncentrace CO₂ postupně stoupla od 260 ppm do 280 ppm a žádný rychlý proces, který by ji bez velkého ochlazení snížil, v přírodě neexistuje.



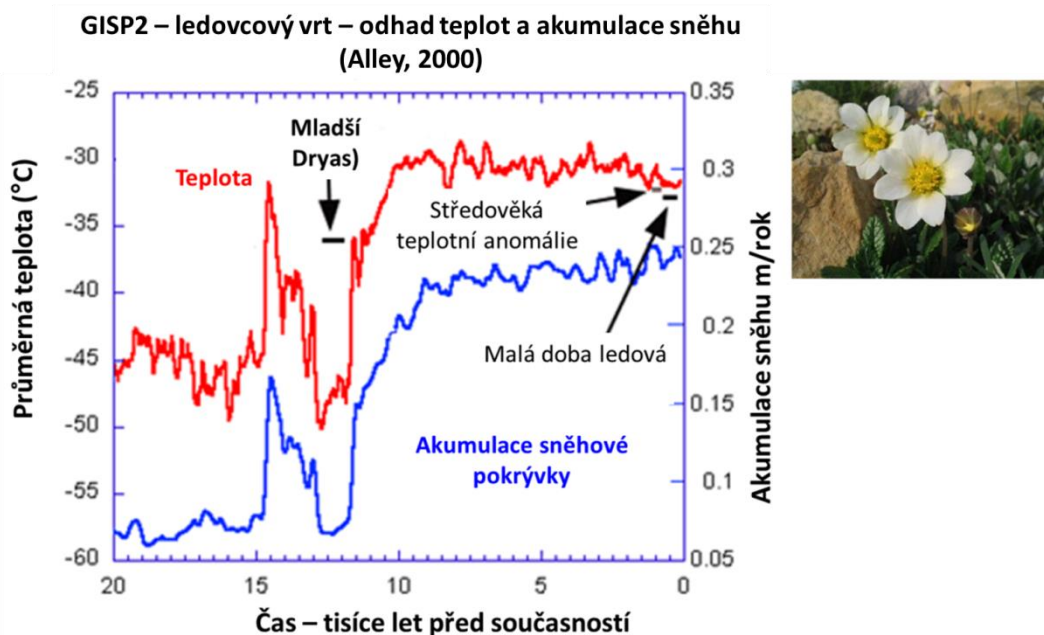
Obr. 3.5: Základní komponenty Croll-Milankovičových cyklů a jejich perioda. Tj. změna ekliptikální délky perihélia (tzv. precese), excentricity oběžné dráhy (z prakticky kruhové na mírně eliptickou) a změna náklonu zemské osy. Zdroj: Lee, J. (2012). Milankovitch cycles. <http://www.eoearth.org/view/article/154612>

Dostatečný pokles letního oslunění, který by bez přítomnosti lidstva mohl nastartovat zaledňování, nastane až za padesát tisíc let (Berger & Loutre 2002). Jak Miler s Holanem (2014) uvádějí, současné a dále rostoucí koncentrace oxidu uhličitého (popsané v kapitole 4), vylučují nástup nové doby ledové na nejbližších alespoň 130 tisíc let. Milankovičova teorie dobře vysvětluje střídání dob ledových a meziledových v posledních cca 3 milionech let. Pro budoucí vývoj klimatu ji však nelze použít, protože: Pro nastartování zaledňování je potřeba, aby trajektorie Země byla hodně excentrická, a aby v odsluní byla severní polokoule přikloněna. Chladná léta na severní polokouli pak umožní akumulaci ledu. Jelikož je v současnosti trajektorie blízka kružnici, tento mechanismus je „vypnutý“. Podmínkou pro zaledňování je kombinace letního oslunění a koncentrace skleníkových plynů. Lidstvo spalováním fosilních paliv změnilo atmosféru natolik, že zalednění z důvodu změn letního oslunění nepřipadá v úvahu nejméně v příštích 130 000 letech. Pro současné globální oteplování je relevantnější srovnání s

událostmi na přelomu Paleocén–Eocén (starší třetihory) před 55 miliony lety tzv. paleocenní-eocenní teplotní maximum zachycené i na obr. 3.2 jako mimořádně teplá izolovaná epizoda. Také v tomto případě za zvýšením teplot stála perturbace geobiochemických cyklů vskutku masivního rozsahu. Ačkoliv na obr. 3.2 vypadá jako gigantická a mimořádně krátká epizoda, ve skutečnosti trvala desítky tisíc let. Jde o unikátní příklad „náhlé“ změny, která mohla být vyvolána „náhlým“ uvolněním metanu nejspíše ve formě klatrátů (krystalický metan vzniklý za extrémního tlaku a nízkých teplot na mořském dně) pocházejícího z anaerobního rozkladu organické hmoty. Tento metan byl uvolněn např. náhlou vulkanickou aktivitou či jiným mechanismem, a ačkoliv komplexní teorie vysvětlující všechna dostupná data doposud neexistuje, na základě změn poměru izotopů uhlíku se jeví narušení uhlíkového cyklu jako jediné možné vysvětlení.

3.5. Poslední glaciál a mladší Dryas

Při posledním weichselském (würmském) glaciálu se Skandinávský ledovec zastavil poměrně daleko severně od českých hranic a glaciální maximum v nejstudenějším stadiálu bylo dosaženo před 27 - 22 tisíci lety. Přes rozsáhlé zalednění v Euroasii a Severní Americe zůstaly i v severských oblastech nezaledněná území, např. ve východní Sibiři nebo na Aljašce. Tím, že voda zůstávala celoročně vázána v kontinentálních ledovcích, došlo k poklesu mořské hladiny i přes 100 m oproti současnému stavu. Důsledkem bylo obnažení nových pevnin např. tzv. Beringie, což byl pás pevniny spojující Asii se Severní Amerikou. Došlo k oddělení Středozemního moře od Atlantického oceánu a k jeho následnému podstatnému vysušení. Významné pevninské mosty vznikly také v oblasti Indonésie, nebo též došlo ke spojení Austrálie a Tasmánie či Britských ostrovů a Evropy. Tyto pevninské mosty umožnily migraci fauny a flóry. Mezi Amerikou a Euroasií tak mohli migrovat např. velbloudi a koně, opačným směrem pak např. mamuti a lidé. Některé pevninské mosty zanikaly stovky až tisíce let po ústupu největších ledovců. Samotné pevninské ledovce v posledním stadiálu zabíraly plochu až 45 mil. km² a dosahovaly mocnosti až 2,5 km. Zatímco dnes ledovce zabírají 10 % povrchu pevniny, v době největšího zalednění to bylo 28 %. Po konci poslední doby ledové nastalo oteplování zachycené na obr. 3.6. Toto oteplení bylo přerušeno nástupem chladného období před 10800 až 9500 lety před naším letopočtem. Název pochází od dryátky osmiplátečné (*Dryas octopetala*), dnes vyhledávané skalničky, přičemž pro mladší Dryas je typická masivní přítomnost jejího pylu v pylových záznamech z velké části Evropy.



Poslední dramatické ochlazení v době těsně před počátkem neolitu. Všimněte si dramatického rozdílu ve variabilitě teplot odhadnutých z ledovcových vrtů.

*Obr. 3.6: Odhad akumulace sněhu a průměrné teploty v regionu na základě dat z ledovcových jader z vrtu GISP2 a to pro období 0 až 20 tis. let před současností. Obrázek vpravo zachycuje dryátku osmiplátečnou (*Dryas octopetala*), podle které je celá studená epizoda pojmenována. Zdroj: Alley RB, 2000 (<https://www.ncdc.noaa.gov/paleo/pubs/alley2000/alley2000.gif>)*

V mladším Dryasu došlo k rychlému návratu k podmínkám z poslední doby ledové v ostrém rozporu k doposud probíhajícímu oteplování. Je podivuhodné, že k této dramatické změně došlo dramaticky v řádu let až jedné dekády a data z Grónska ukazují, že teplota v období mladšího Dryasu byla přibližně o 15 °C nižší než dnes. Ve Velké Británii fosilní důkazy naznačují, že průměrná roční teplota klesla na pouhých -5 °C a periglaciální podmínky převládaly v nížinách, zatímco v horách se opět rozšířili horské ledovce. Převažující teorie je, že mladší Dryas byl způsoben výrazným snížením termohalinní cirkulace v Atlantiku (tzv. Atlantické meridionální cirkulace, jejíž součástí je i Golský proud). Dramatické zeslabení těchto mořských proudů závislých na gradientech v teplotě a salinitě bylo reakcí na náhlý příliv sladké vody z jezera Agassiz, které se nacházelo přibližně v oblasti dnešních velkých Kanadských jezer a na jihozápad a západ od nich. Geologické důkazy pro takové události však dosud chybí. Alternativní teorie pak uvažuje o změně dráhy tryskové proudění (jet-stream) směrem více na sever v reakci na měnící se topografii severoamerického kontinentu v důsledku tání ledového štítu, čímž se v severním Atlantiku výrazně zvýšily srážky, což vedlo ke zpomalení termohalinní cirkulace. Tato epizoda na obr. 3.6 je významná ze dvou důvodů. Předně naznačuje, že klimatický systém je schopen skutečně dramatických změn a ani současná úroveň vědeckého poznání není doposud schopna tyto změny vysvětlit, natož předpovědět, a současně obr. 3.7 ukazuje, že poslední cca 2 tisíce let se z pohledu dlouhodobé klimatologie vyznačovalo neuvěřitelně klidným a příznivým průběhem.

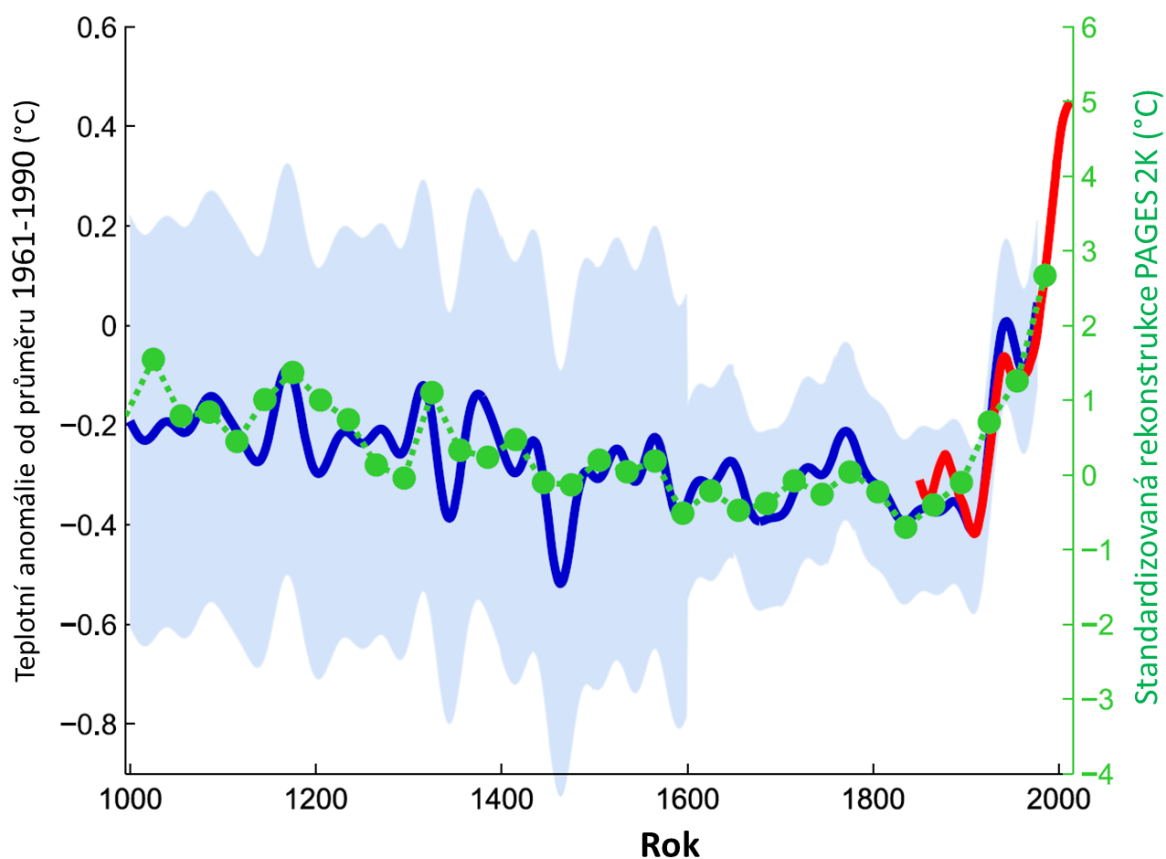
3.6. Průběh teplot v posledních dvou tisíciletích

V poslední části kapitoly se zmíníme o průběhu teplot v posledním tisíciletí, tak abychom poskytly kompletní pohled na vývoj teplot v geologické historii naší planety. Toto období bývá klasicky

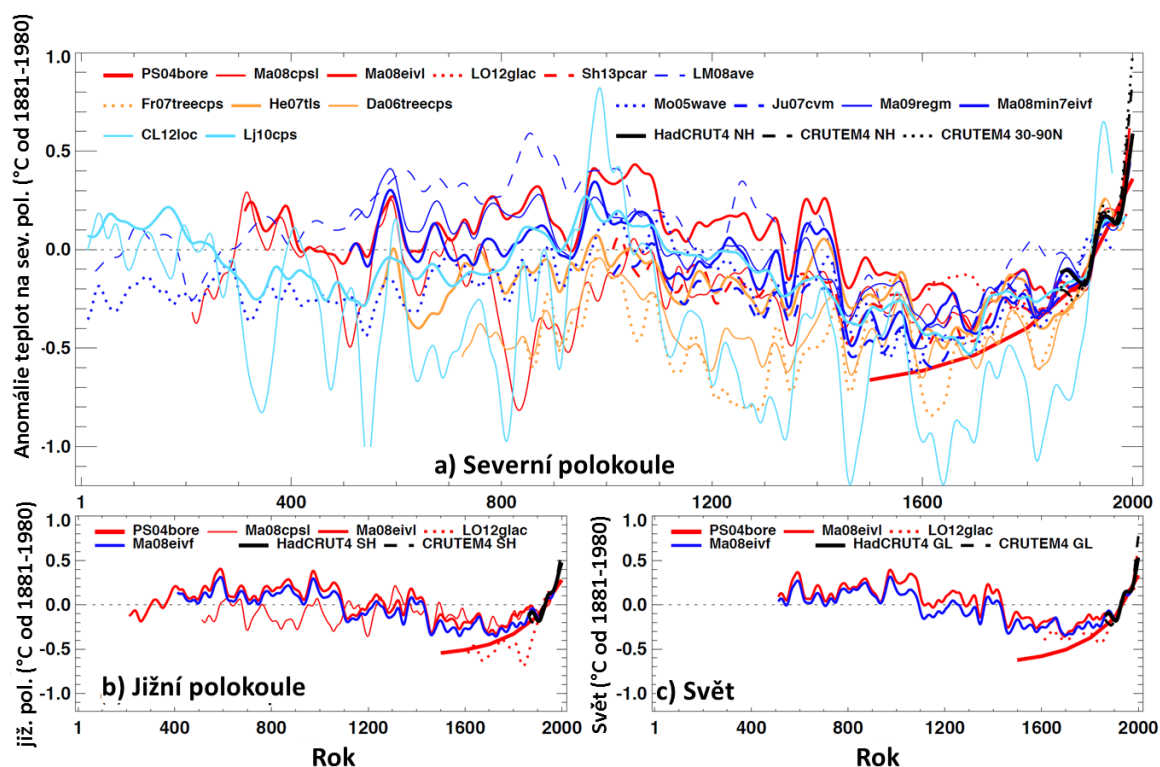
členěno (v návaznosti na práce anglického klimatologa H. H. Lamba) na Středověké klimatické optimum (nověji Středověká klimatická anomálie; přibližně 11.-13. století), Malou dobu ledovou (přibližně 1300–1850) a současné globální oteplování (od začátku 20. století). Pokud jde o středověké teplé období, zdá se jeho určení značně nejisté (Metelka, Tolasz, 2009). Teploty tehdy měly být v některých oblastech vyšší než v dalších stoletích, ale ne o více než 1–2 °C, a v měřítku polokouli nebyly vyšší než ve druhé polovině 20. století. Navíc nové výzkumy naznačují, že toto teplé období nezasáhlo celou planetu zároveň, šlo spíše o sérii lokálních nebo regionálních oteplení, která přicházela do různých oblastí v různém čase, vzájemně se lišícím až o několik staletí. Například v letech 900–1100 panovaly v severní části Atlantského oceánu poměrně příznivé podmínky (bez nebezpečí mořského ledu), které umožnily Vikingům prozkoumání a osídlení Islandu, jihozápadního Grónska, Labradoru a Newfoundlandu. Pojem Malá doba ledová původně označoval poslední období, kdy se horské ledovce na celém světě rozšířily. Ačkoliv nástup a ústup ledovců bývá nejčastěji spojován s kolísáním teploty vzduchu, jejich změny ovlivňují i různé další meteorologické faktory, např. změny režimu srážek. Průběh teplot v tomto tisíciletí na severní polokouli popisuje obr. 3.7 a nejnovější poznatky obr. 3.8.

V této souvislosti stojí za to připomenout tzv. „spor o hokejku“ představený v práci Metelky a Tolasze (2009), který začal kolem roku 1999 a který názorně ukázal jak citlivé téma globálních změn klimatu je. S odstupem času jde o ukázkový případ toho, jak objektivní skutečnost ve vědeckém světě nakonec překoná snahy o tendenční výklad. Rovněž ilustruje to, jak debatu o klimatu ovlivňují různé fámy a nepochopení základním odborným výsledkům. Američtí vědci Mann, Bradley a Hughes v roce 1998 publikovali odbornou studii, kde prezentovali rekonstrukci průměrných teplot severní polokoule od roku 1400. Stejně jako obdobné výzkumy byla založena na analýze nepřímých indikátorů (tj. letokruhů, vzorků z ledovců, sedimentů a samozřejmě i dlouhých řad přístrojových pozorování). Autoři ukázali, že konec 20. století je nejteplejší za posledních 600 let. Výsledný graf se tvarem poněkud podobá hokejce – teplota nejprve od středověku velmi mírně klesá zhruba do konce 19. století, pak se prudce obrací a následuje výrazné oteplení. Tento jev začal být záhy nazýván „Mannova hokejka“. Krátce nato vyšlo několik dalších studií, které výsledky víceméně potvrdily, a další byly publikovány v následujících letech. Zpráva IPCC z roku 2007 podobných výstupů už cituje více než deset. Na Mannovu práci po čase reagovali mineralog McIntyre a ekonom McKitrick, kteří v ní údajně našli řadu chyb.

Reakci na Mannovu práci, ačkoli se věnuje klimatologii, kupodivu vydali v jednom ekonomickém časopise. Původně ji chtěli zveřejnit v prestižním časopise Nature, kde vyšla i původní práce Manna a jeho kolegů, v recenzním řízení však byli odmítnuti, protože text obsahoval řadu faktických chyb. McIntyre a McKitrick nejen kritizovali Manna, ale také „opravili“ jeho rekonstrukci teplot, aby ukázali, že žádná „hokejka“ v průběhu teplot vlastně není a že teploty ve středověku byly vyšší než dnes. Další klimatologové posléze analyzovali práce obou stran. Potvrdili, že Mannova rekonstrukce, i když obsahuje některé problematičtější partie, je v zásadě zpracována správně, že se výsledky nemění bez ohledu na použitou metodiku nebo při vynechání některých dílčích zdrojů dat, a že v době, pro kterou máme i údaje z přímého měření teploty, skutečné údaje a křivka podle nepřímých indikátorů souhlasí. Naopak v McIntyrově a McKitrickově rekonstrukci našli řadu i zcela zásadních chyb a problémů. Navíc McIntyrova a McKitrickova rekonstrukce končí rokem 1980. Pokud do ní ale doplníme data naměřená po roce 1980, zjistíme, že na počátku 21. století jsou globální průměrné teploty vyšší než hodnoty teplot během středověkého „klimatického optima“ podle McIntyry a McKitricka. Vlastně tím sami potvrdili, že současné teploty jsou nejvyšší za posledních nejméně 600 let. Přesto ji někteří novináři nebo politici dodnes citují a odkazují na ni jako na důkaz, že Mannova práce (a potažmo i ostatní podobné) byla odmítnuta či „diskreditována“.



Obr. 3.7: Konfrontace „diskreditovaného“ Mann, Bradleyho a Hughesova „hokejkového“ grafu (1999) – v modré barvě (plná linie značí průměrnou hodnotu a světle modrá pás nejistoty) - s nejnovější rekonstrukcí klimatu. Zelené tečky ukazují 30-leté průměry skupinou 2kPGES a červená křivka znázorňuje průměrnou globální teplotu, podle dat HadCRUT4 od roku 1850. Je evidentní, že i 15 let po publikaci v základních parametrech „hokejkový“ graf platí. Zdroj: Bitterman.<http://thinkprogress.org/climate/2013/07/08/2261531/most-comprehensive-paleoclimate-reconstruction-confirms-hockey-stick/>



Obr. 3.8: Rekonstrukce průběhu teplot v posledních 2000 letech na (a) severní polokouli (b) na jižní polokouli a (c) globálně. Graf obsahuje všechny hlavní rekonstrukce použité v poslední zprávě IPCC 2013, kap. 5). Barvy reprezentují zeměpisnou šířku, odkud pochází proxy data (červená: pouze pevnina a všechny zem. šířky; oranžová: pouze pevnina v extratropických oblastech; světle modrá: pevnina i moře v extratropických oblastech; tmavě modrá: pevnina i moře ve všech šířkách). Rekonstrukce na základě instrumentálních pozorování jsou uvedené černě. Všechny řady představují anomálie (°C) od 1881-1980 průměru (vodorovná přerušovaná čára) a byly zhlazeny filtrem snižujícím variabilitu s cyklem kratším než 50 let. Zdroj: (IPCC WGI, kap. 5, 2013) - http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGIAR5_Chapter05_FINAL.pdf.

Literatura:

Berger, Andre & M. F. Loutre. (2002) „An Exceptionally Long Interglacial Ahead?”. Science 297 (5585) (srpen 23): 1287–1288. doi:10.1126/science.1076120.
ftp://ftp.soest.hawaii.edu/engels/Stanley/Textbook_update/Science_297/Berger-02.pdf.

Metelka, L., Tolasz, R. (2009): Klimatické změny: fakta bez mýtů. Univerzita Karlova v Praze, Centrum pro otázky životního prostředí, Praha, 35 s.

Milř T., Holan J. (2014): Klima a koloběhy látek – Jak funguje klimatický systém Země, proč a jak se klima mění, MU v Brně, 84 p.

Tzedakis, P. C., J. E. T. Channell, D. A. Hodell, H. F. Kleiven & L. C. Skinner. 2012. „Determining the Natural Length of the Current Interglacial”. Nature Geoscience 5 (2): 138–141. doi:10.1038/ngeo1358.
http://www.deas.harvard.edu/climate/seminars/pdfs/Tzedakis_etal_2012.pdf.