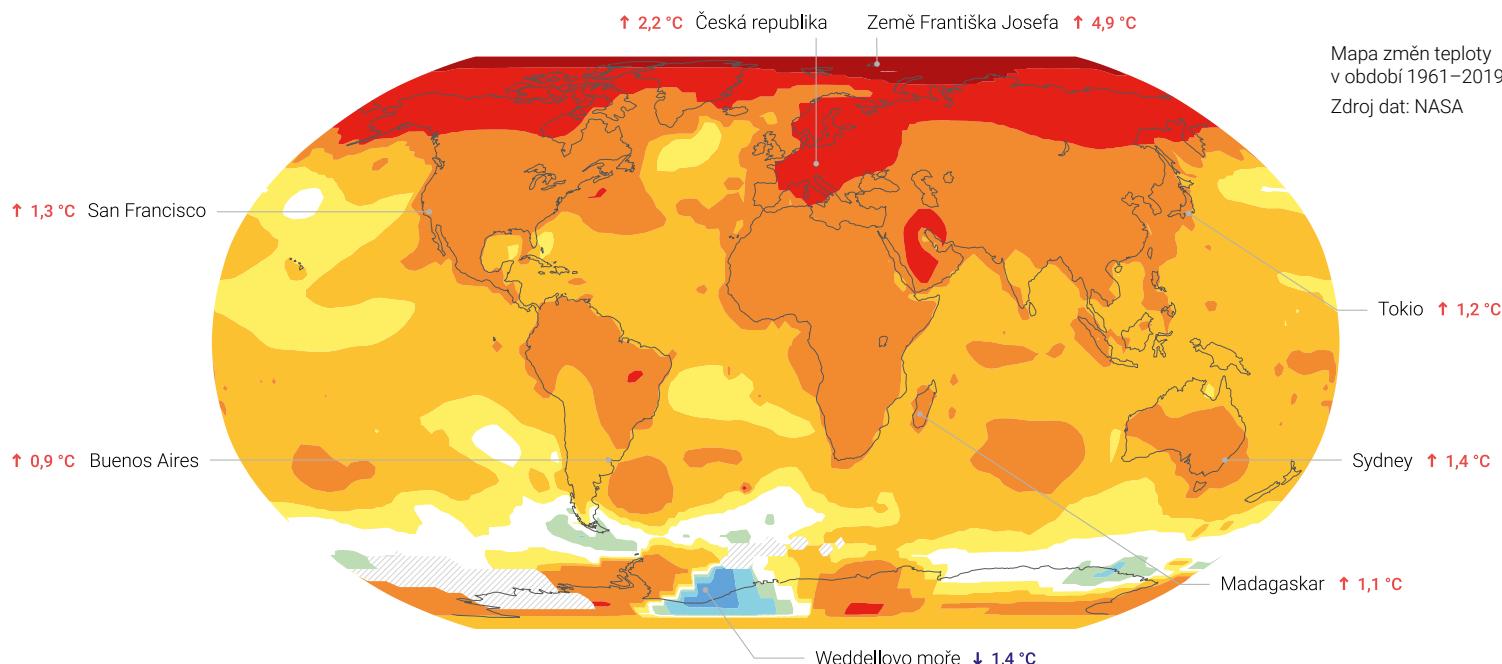


ATLAS KLIMATICKÉ ZMĚNY

Změny v atmosféře a rizika oteplování



ATLAS KLIMATICKÉ ZMĚNY

Změny v atmosféře a rizika oteplování

Ondřej Přibyla, Kristína Zákopčanová, Ondřej Pechník

Atlas klimatické změny. Změny v atmosféře a rizika oteplování

Recenzovali:

Mgr. Michal Žák, Ph. D., Katedra fyziky atmosféry Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy

RNDr. Radim Tolasz, Ph. D., klimatolog, Český hydrometeorologický ústav

Ing. Jiří Dlouhý, Centrum pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy

Jan Labohý, CEO World from Space, odborný konzultant ASITIS s. r. o.

Mgr. Romana Březovská, M. A., ministerský rada, Ministerstvo životního prostředí ČR

Poděkování:

Ke vzniku tohoto Atlasu přispěli významně svou dobrovolnickou prací v týmu faktaklimatu.cz: Martin Ukrop, Jan Krčál, Kateřina Kolouchová, Tomáš Protivínský, Oldřich Sklenář, Martin Křivánek, Martin Zahradník, Jakub Zamouřil a další členové týmu.

Za odbornou či lidskou inspiraci chceme dále poděkovat: Jirkovi Vorlíčkovi, Lence Kopáčové, Petru Danišovi, Janu Krajhanzlovi, Mycu Riggulsfordovi, Lucii Smolkové, Veronice Ambrozyové, Haně Mikulicové a Tadeáši Žďárskému.

© Lipka – školské zařízení pro environmentální vzdělávání Brno, příspěvková organizace, 2020

ISBN 978-80-88212-36-2

ČÍM CHCEME PŘISPĚT KE KULTIVOVANĚJŠÍ DEBATĚ O KLIMATICKÉ ZMĚNĚ?

Kvalitní debata o klimatické změně je z mnoha důvodů komplikovaná, ať už pro složitost tématu nebo pro silné emoce, které do ní vnáší někteří politici, publicisté nebo aktivisté. *Atlas klimatické změny*, který právě držíte v ruce, je výsledkem práce skupiny lidí sdružené okolo projektu Fakta o klimatu – naší snahou je zprostředkovat aktuální a ověřená data týkající se klimatické změny a podpořit tak právě onu kvalitní debatu.

Přáli bychom si, aby se tato publikace dostala do rukou nejen lidem s hlubším zájmem o téma klimatické změny, ale i učitelům a studentům, kteří ji mohou použít jako zdroj informací a dat. *Atlas* si lze sbalit jako čtení do vlaku, je snadné vzít pár jeho výtisků do výuky a použít ho pro žáky či studenty jako výchozí materiál při práci s různými klimatickými tématy. Ačkoli na sebe jednotlivé texty navazují, snažili jsme se o to, aby zároveň fungovaly samostatně. Za cenu opakování některých informací tak čtenář může otevřít kteroukoliv stránku a začít číst, aniž by příliš postrádal kontext.

Informace, se kterými pracujeme, jsou pečlivě ozdrojované a pocházejí pouze z veřejných a transparentních zdrojů, jako jsou například NASA, Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) či renomované vědecké časopisy Nature a Science. Odkazy na původní zdroje uvádíme ve zkrácené podobě přímo v grafech a mapách, dostat se k původním článkům a podkladovým datasetům můžete přímo ze stránek www.faktaoklimatu.cz.

Ve snaze udržet publikaci přístupnou i studentům jsme byli nutni hledat rovnováhu mezi úplností a zjednodušováním. Na tato zjednodušení upozorňujeme a vysvětlujeme je dále v textu.

Kultivace diskuse o klimatické změně je dlouhodobé úsilí. Tento *Atlas*, zaměřující se na popis změn v atmosféře a rizika oteplování, je prvním dílem zamýšleného cyklu o klimatické změně – další díly plánujeme zaměřit na emise skleníkových plynů, možné scénáře budoucího vývoje a opatření, které nějakým způsobem řeší klimatickou změnu.

Vedle přípravy dalších dílů počítáme také s průběžnými úpravami tohoto dílu na základě nejnovějších dat. Aktuální verze *Atlasu klimatické změny* bude dostupná na webu www.faktaoklimatu.cz.

Za celý náš tým Vám přejeme inspirativní čtení a objevné zkoumání grafů a map!

Ondřej Přibyla

OBSAH

SCHEMATICKÁ MAPA KLIMATICKÉ ZMĚNY

Klimatická změna není jen nárůst teploty, ale celá síť vzájemně provázaných jevů. 6-7

HISTORIE VÝZKUMU SKLENÍKOVÉHO EFEKTU

Princip oteplování vlivem CO₂ je znám přes 120 let. Od té doby vědci upřesňují své předpovědi a celé lidstvo je v praxi ověřuje. 8-9

HISTORICKÝ VÝVOJ KONCENTRACE CO₂ V ATMOSFÉŘE

Střídání dob ledových a meziledových v posledních 800 000 letech odpovídá změnám koncentrace CO₂. Nyní ale křivka jejího růstu míří mnohem výš. 10-11

CYKLY KONCENTRACÍ CO₂ A O₂ V ATMOSFÉŘE

Globální koncentrace oxidu uhličitého a kyslíku se během roku cyklicky mění. Dlouhodobě ale CO₂ přibývá a O₂ ubývá. 12-13

VÝVOJ SVĚTOVÉ TEPLITNÍ ANOMÁLIE

Současnost je o 1,2 °C teplejší než doba před průmyslovou revolucí. To číslo odpovídá vědeckým předpovědím. 14-15

MAPA ZMĚN TEPLOTY V OBDOBÍ 1961-2019

Teplota se mění na různých místech různě. Na kontinentech roste rychleji než v oceánech, nejvíce se otepluje na severu, nejméně na jihu. 16-17

SVĚTOVÁ TEPLITNÍ ANOMÁLIE ZA 22 000 LET

Stabilní klima posledních 10 000 let, kdy vznikla lidská civilizace, máme za sebou. 18-19
Nyní se Země otepjuje mnohem rychleji, než když tehdy, před 10 000 lety, končila doba ledová. ..

PRŮMĚRNÁ ROČNÍ TEPLOTA V ČR

V České republice vzrostla průměrná teplota za posledních 60 let o 2 °C. Důsledky oteplení pocítujeme v každodenním životě. 20-21

PROČ JE OTEPLENÍ O VÍCE NEŽ 1,5 °C PROBLÉM?

Nárůst teploty nad určitou hranici může vést k bodům zlomu – pak už nebude možné zabránit radikálním změnám a kolapsům řady planetárních systémů. 22-25

EMISNÍ SCÉNÁŘE PRO NAPLNĚNÍ PAŘÍŽSKÉ DOHODY

Nárůst teploty pod 1,5–2 °C znamená naději na zachování planetárních ekosystémů. Je pro to třeba dosáhnout uhlíkové neutrality v letech 2050–2070. 26-27

EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNU V ČR PODLE SEKTORŮ

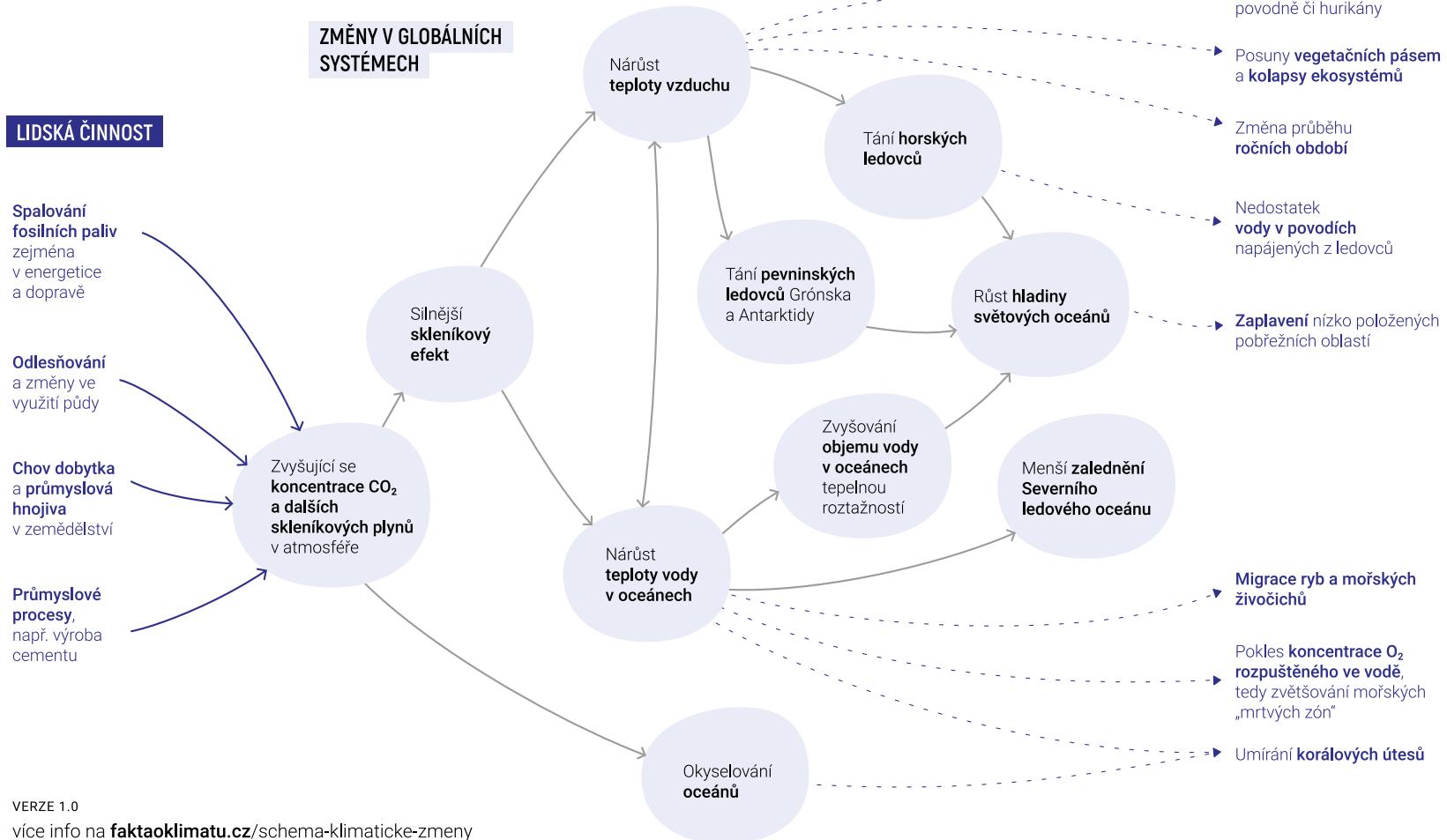
Jeden obyvatel ČR vyprodukuje v průměru dvojnásobek skleníkových plynů, než je světový průměr. Největší naší zátěží je energetika závislá na uhlí. 28-29

POUŽITÁ ZJEDNODUŠENÍ 30

DALŠÍ ZDROJE SERIÓZNÍCH INFORMACÍ O KLIMATICKÉ ZMĚNĚ 31

SCHEMATICKÁ MAPA KLIMATICKE ZMĚNY

Klimatická změna je mnohem víc než jen nárůst teploty.



Klimatická změna není jen nárůst teploty – jde o souhrnný pojem pro řadu vzájemně provázaných jevů. Změna jednoho faktoru, například zvýšení koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře, má několik příčin a řadu různých následků.

Lidská činnost v čele se **spalováním fosilních paliv** (uhlí, ropy a zemního plynu) vede ke zvyšování koncentrace oxidu uhličitého (CO_2) v atmosféře. Ročně se ho v energetice, dopravě a průmyslu vyprodukuje asi 35 miliard tun, odlesňování přidá dalších 5 miliard tun. Na průměrného obyvatele planety tedy připadá asi 5 tun CO_2 ročně. Lidská činnost tak vede k **nárůstu koncentrace CO_2 v atmosféře** (viz Cykly koncentrací CO_2 a O_2 v atmosféře na s. 12–13).

Mezi skleníkové plyny patří kromě CO_2 také metan (CH_4) a oxid dusný (N_2O). Metan vzniká v zemědělství (chov dobytka, pěstování rýže) či při těžbě ropy nebo břidlicových plynů. Oxid dusný se uvolňuje při používání průmyslových hnojiv a v některých spalovacích procesech.

Vyšší koncentrace CO_2 a dalších skleníkových plynů v atmosféře **vedou k silnějšímu skleníkovému efektu**. Tepelné záření, které by jinak planeta Země vyzářila do vesmíru, je skleníkovými plyny pohlceno a část vrácena zpět k povrchu. Země se proto otepluje.

Častým argumentem zpochybňujícím lidský vliv na klima je, že nejsilnější skleníkový plyn je vodní pára. To je sice pravda, ovšem lidská činnost má vliv i na množství vodní páry v atmosféře, byť nepřímý. Cyklus vodní páry řídí teplota a tu ovlivňují ostatní skleníkové plyny vypouštěné člověkem. Ve výpočtech sily skleníkového efektu a citlivosti klimatu [viz Historie výzkumu skleníkového efektu na s. 8–9] se vliv vodní páry započítává.

Od průmyslové revoluce **narostla teplota vzduchu** v průměru o $1,2^\circ\text{C}$, ale většinu tepla pohltila voda v oceánech, jejíž teplota také dlouhodobě narůstá. Změna se liší v různých místech – severní polární oblasti se oteplují čtyřikrát rychleji než oceány. (viz Mapa změn teploty v období 1961–2019 na s. 16–17)

Atmosférický CO_2 se částečně rozpouští v oceánu, kde vytváří kyselinu uhličitou.

To vede k poklesu pH, neboli **okyselování oceánů**. To je nebezpečné pro korály a jiné mořské živočichy (viz Proč je oteplení o více než $1,5^\circ\text{C}$ problém? na s. 22–25).

Vyšší teplota mořské vody způsobuje zmenšování plochy a tloušťky mořského zámrzu v Severním ledovém oceánu. V září 1979 zde byl objem ledu asi $17\,000\text{ km}^3$, v září roku 2017 již jen $5\,000\text{ km}^3$. Očekává se, že kolem roku 2050 přijdou první léta, během kterých oceán rozmrzne prakticky celý.

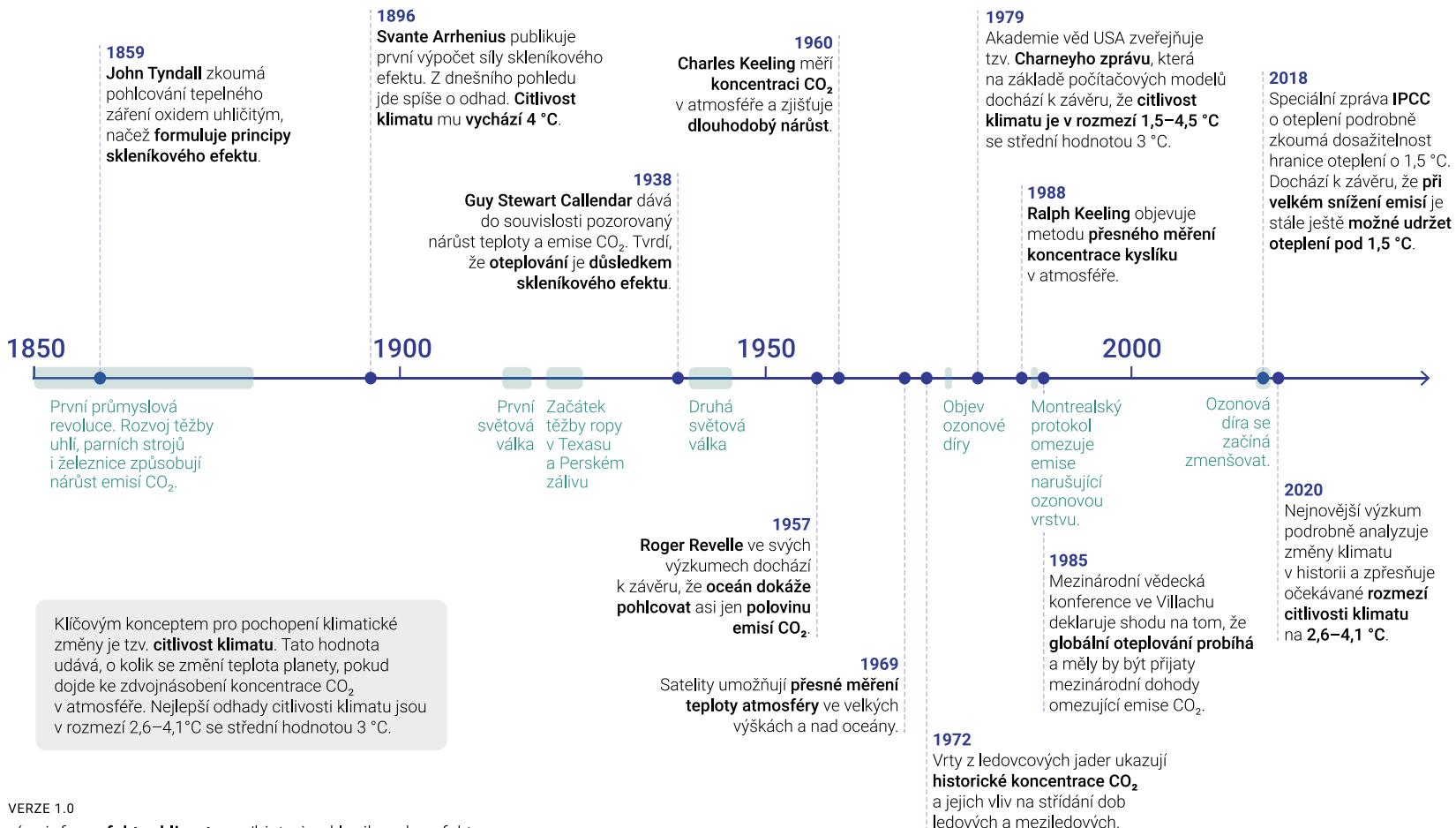
Oteplení planety vede k častějším vlnám veder, silnějším hurikánům, závažnějším a delším suchým obdobím, ale také k silnějším deštům a povodním – tedy k **častějšímu výskytu extrémních meteorologických jevů**.

Hladina světových oceánů se zvyšuje rychlostí $3,3\text{ cm}$ za desetiletí. Z toho asi polovinu způsobuje tání pevninských ledovců, tu druhou pak oteplování mořské vody. Jako většina materiálů, i mořská voda zvětšuje s teplotou svůj objem.

Zvyšující se teplota stojí rovněž za **táním horských ledovců** v Alpách, Himálaji, Andách a dalších světových pohořích. To bude mít zásadní dopad na zemědělství a zásoby vody, neboť v mnoha oblastech světa jsou řeky napájeny z tajících horských ledovců.

HISTORIE VÝZKUMU SKLENÍKOVÉHO EFEKTU

O klimatické změně způsobené emisemi CO₂ víme už více než sto let.



VERZE 1.0

více info na faktaoklimatu.cz/historie-sklenikoveho-efektu

Současné výpočty a počítačové modely pouze zpřesňují více než 100 let starý odhad síly skleníkového efektu. Při zdvojnásobení koncentrace oxidu uhličitého dojde k oteplení planety o 3 °C.

Během devatenáctého století věda pokročila natolik, že lidé byli schopni zjistit složení atmosféry (79 % dusíku, 21 % kyslíku a malá množství dalších plynů). Také věděli, že CO₂ pohlcuje tepelné záření. Zároveň v této době probíhala průmyslová revoluce a uhlí se těžilo a spalovalo jako nikdy předtím. Někteří vědci proto začali přemýšlet o tom, zda se nemůže zvyšovat množství CO₂ v atmosféře a zda to nemůže mít vliv na teplotu planety.

S prvním výpočtem síly skleníkového efektu přišel roku 1896 Svante Arrhenius. Kromě efektů CO₂ započítával i efekt vodní páry, která také působí jako skleníkový plyn a jejíž množství v atmosféře záleží na teplotě – teplejší atmosféra pojme více páry, a když se ochladí, pára se sráží na vodu a prší. Arrhenius došel k odhadu, že zdvojnásobení koncentrace CO₂ v atmosféře a s ním souvi-

sející zvýšení koncentrace vodní páry povede k oteplení planety asi o 4 °C.

Citlivost klimatu je hodnota, o kterou se planeta otepší po zdvojnásobení koncentrace skleníkových plynů. Nejlepší současné odhady citlivosti klimatu jsou v rozmezí 2,6–4,1 °C, s očekávanou střední hodnotou 3 °C.

První počítačové modely planetárního klimatu začaly vznikat v **sedmdesátých letech 20. století**. Nejprve jen zhruba simulovaly teplotu a proudění vzduchu nad pevninou a oceány, později začaly přidávat simulace oceánských proudění, deště, sněhu, ledovců i vegetace. Fyzici, kteří modely vytvářeli, již znali přesné koncentrace i tempo jejich růstu (viz Cykly koncentrací CO₂ a O₂ v atmosféře na s. 12–13). Jejich modely zpřesnily Arrheniův odhad: zdvojnásobení koncentrace CO₂ v atmosféře povede k oteplení planety asi o 3 °C. Modely zároveň přesněji ukázaly, že **oteplení bude výrazně silnější nad Severním ledovým oceánem**.

Shrnutí výsledků několika počítačových modelů **předložili vědci světu v tzv. Charneyho zprávě v roce 1979**. Tehdy již upozorňovali na **očekávané negativní důsledky** takové kli-

matické změny a na potřebu snižovat emise CO₂. Zajímavé je, že ke stejnemu výsledku dospěly tou dobou i ropné společnosti. V interní zprávě z roku 1982 ExxonMobil podrobň rozebírá závislost teploty planety na koncentraci CO₂ – se stejným odhadem citlivosti klimatu.

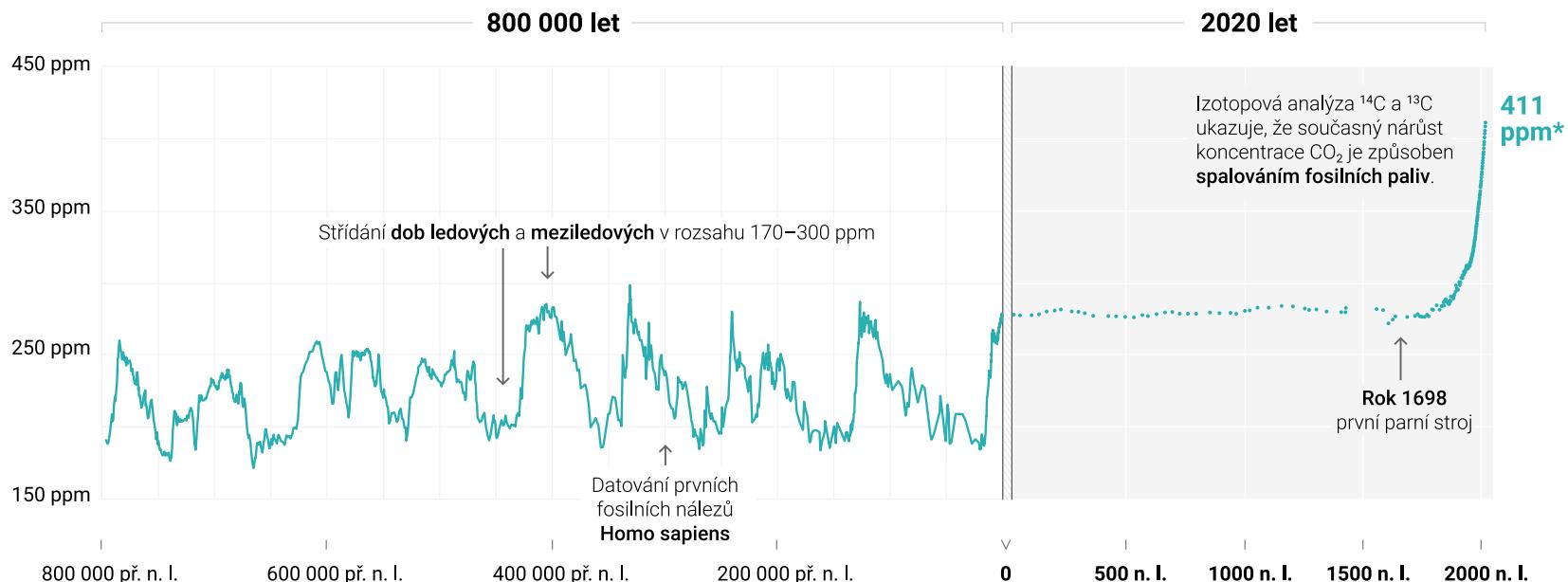
Současné nejlepší počítačové modely podrobň simuluují teplotu, vlhkost a proudění vzduchu v mnoha vrstvách, proudění oceánu na povrchu a v hloubce, berou v úvahu geografii i charakter vegetace, mraky v různých výškách, zamrzání oceánu, vývoj horských ledovců a mnoho dalších proměnných. Dovedou vytvořit tak přesnou simulaci klimatu v historii, že je i pro meteorologa těžko rozeznatielná od skutečného historického průběhu – tlakové výše a níže se pohybují jako ve skutečnosti. I tyto nejlepší současné modely docházejí k výsledku, že zdvojnásobení koncentrace skleníkových plynů povede k **oteplení planety přibližně o 3 °C**.

Mějme na paměti, že jakákoli hodnota globálního oteplení je průměrem různých oblastí – například pevnina se otepuje zhruba dvakrát rychleji než oceány (viz Mapa změn teploty v období 1961–2019 na s. 16–17).

HISTORICKÝ VÝVOJ KONCENTRACE CO₂ V ATMOSFÉŘE

Dnešní koncentrace CO₂ dosahuje hodnoty, která na Zemi nebyla za celou dobu existence lidstva.

Konzentrace 400 ppm (parts per million) CO₂ v atmosféře znamená, že v jednom milionu molekul vzduchu je 400 molekul CO₂.



* V květnu 2020 dosáhla koncentrace CO₂ dosavadního maxima: 417 ppm.

Hodnoty koncentrace CO₂ pocházejí z **analýzy ledovcových vrtů EPICA** v Antarktidě a z **přímých měření** na Mauna Loa, Havaj.

Atmosféra měla podobné složení jako dnes naposledy asi před čtyřmi miliony let. Planeta tehdy byla asi o 3 °C teplejší, mořská hladina o 20 metrů výše, po Evropě se proháněli sloni nebo šavlozubí tygři a v Africe první hominidé opouštěli stromy.

Co vidíme v grafu?

Levá část grafu ukazuje vývoj koncentrace CO₂ od doby před 800 000 lety do současnosti. Je vidět **kolísání koncentrace v dobách ledových a meziledových** – typické koncentrace v dobách ledových jsou 170 ppm, v dobách meziledových 280 ppm.

Pravá část grafu, která má jiné měřítko časové osy, ukazuje detailně vývoj koncentrace CO₂ v průběhu posledních 2000 let. **Koncentrace se drží na hodnotě 280 ppm až do doby průmyslové revoluce**, kdy začínají stoupat.

Jak se měří složení vzduchu v minulosti?

Zjistit, jaké složení měl vzduch před půl milionem let, by bylo snadné, kdybychom našli nějakou „konzervu“, v níž se takto starý

vzduch zachoval. Jednoduše bychom ji v laboratoři otevřeli a změřili složení vzduchu současnými metodami. Vědci takové „konzervy“ starého vzduchu skutečně našli: jsou to **bublinky v ledovcích**. Když z ledovce vytáhneme kus ledu a v laboratoři jej rozpustíme, můžeme analyzovat složení vzduchu z doby, kdy led zmrzl. Čím hlouběji do ledovce se vrtá, tím starší jsou vzorky vzduchu. V Grónsku a Antarktidě jsou ledovce s takovou možností, že jsme z nich schopni získat vzorky staré asi 800 000 let – je pro to nutné vrtat asi tři kilometry hluboko.

Není současná změna klimatu jen součástí přirozeného cyklu?

Střídání koncentrace CO₂ a teploty v dobách ledových a meziledových potvrzuje současné výpočty citlivosti klimatu, tedy že **zdvojnásobení koncentrace CO₂ v atmosféře vede k oteplení planety okolo 3 °C**. Nyní žijeme v době meziledové a přirozeným pokračováním cyklu by bylo pomalé ochlazování, snížování koncentrace CO₂ a během pár desítek tisíc let přechod do doby ledové.

Přirozené přechody mezi dobami ledovými a meziledovými jsou spouštěny změnami v natočení zemské osy, takzvanými Milankovičovými cykly. To nastartuje složitý systém vzájemně provázaných změn, ve kterých

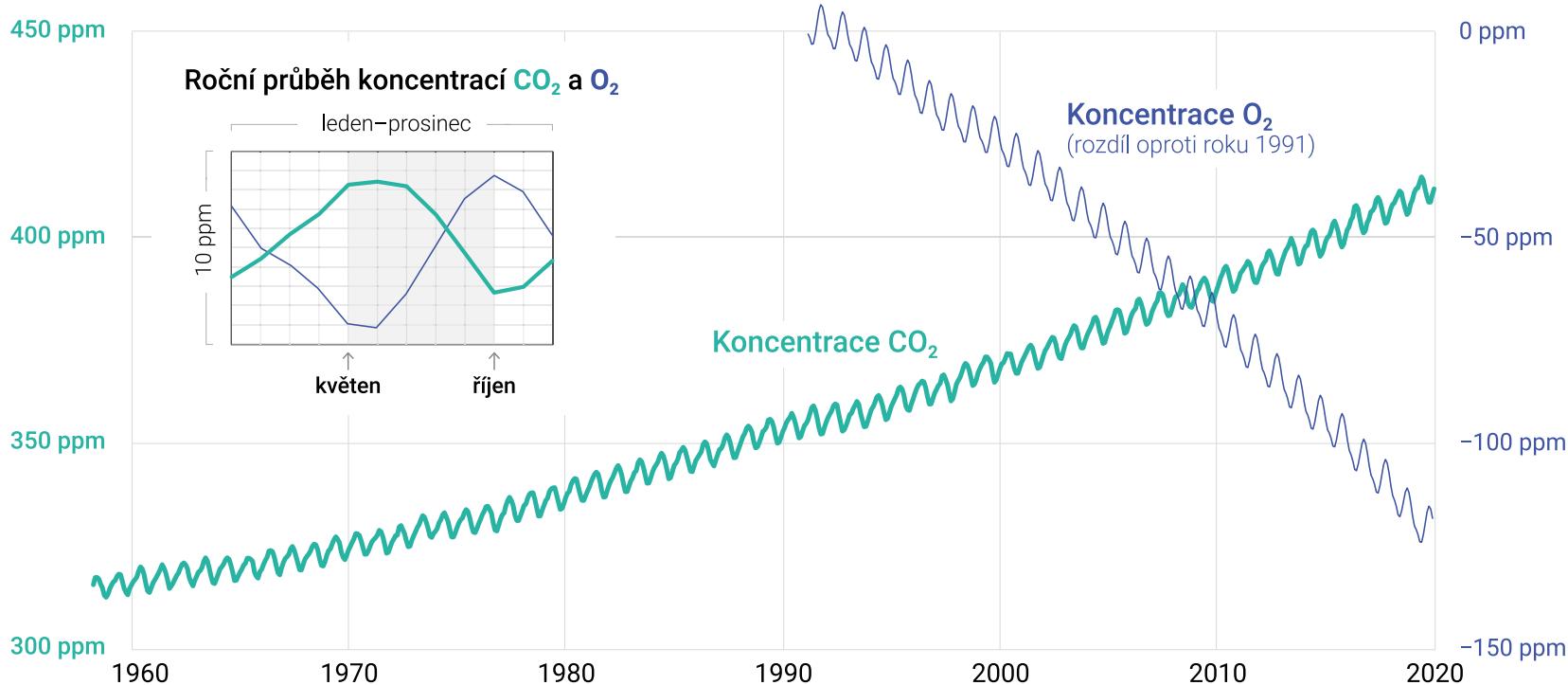
hraje podstatnou roli CO₂ jako skleníkový plyn a způsobí přechod z doby ledové do meziledové nebo naopak.

Probíhající **klimatická změna prokazatelně nesouvisí s přirozeným střídáním dob ledových a meziledových**, protože současná koncentrace CO₂ razantně převyšuje rozmezí hodnot, s nimiž je toto střídání přirozeně spojeno, a zároveň oslunění dané Milankovičovými cykly v této době nevykazuje žádný trend. Spalování fosilních paliv navíc koncentraci CO₂ stále zvyšuje (viz Cykly koncentrací CO₂ a O₂ v atmosféře na s. 12–13) a současným tempem dosáhneme zdvojnásobení koncentrace oproti období před průmyslovou revolucí, tedy hodnoty 540 ppm, někdy v letech 2060–2080. Planeta by se tedy do konce století měla oteplit o více než 3 °C, což může mít obrovské důsledky. Více o tom dále: Proč je oteplení o více než 1,5 °C problém? na s. 22–25.

CYKLY KONCENTRACÍ CO₂ A O₂ V ATMOSFÉŘE

Časový průběh koncentrací oxidu uhličitého a kyslíku ukazuje **roční cykly dýchání a fotosyntézy i dlouhodobé důsledky spalování fosilních paliv.**

Vzduch obsahuje 78,1 % dusíku, **20,9 % kyslíku**, 0,9 % argonu a přibližně **0,04 % CO₂**. Koncentrace se měří v jednotkách **ppm (parts per milion)**. 400 ppm CO₂ v atmosféře znamená, že v jednom milionu molekul vzduchu je 400 molekul CO₂, což odpovídá koncentraci 0,04 % CO₂ v atmosféře. U koncentrací kyslíku graf zobrazuje jejich pokles, který je od roku 1991 okolo 140 ppm, tedy asi 0,014 %.



Dlouhodobý nárůst koncentrace oxidu uhličitého a pokles koncentrace kyslíku ukazují, že složení atmosféry se mění v důsledku lidské činnosti – především spalováním fosilních paliv.

Co vidíme v grafu?

Koncentrace CO₂ se mění během roku, dlouhodobě roste tempem okolo 20 ppm za desetiletí. V roce 1960 byly hodnoty okolo 315 ppm, v roce 2020 okolo 415 ppm – to je nárůst přibližně o 30 %.

Graf také ukazuje vývoj koncentrace kyslíku (O₂), konkrétně o kolik se v daném roce změnila oproti referenčnímu roku 1991.

Také koncentrace O₂ se mění během roku, dlouhodobě klesá asi o 40 ppm za desetiletí.

V absolutních číslech nemusí nárůst koncentrace CO₂ v řádu desítek molekul působit zásadně. I takto malá změna však může mít velký vliv – připomeňme si, že dvojnásobné zvýšení koncentrace CO₂ vede k dlouhodobému zvýšení teploty na planetě o 3 °C.

Jak se měří koncentrace CO₂ a O₂?

Přesnou metodu měření koncentrace CO₂ s přesností 0,1 ppm (tedy 0,00001 %) vyvinul teprve Charles Keeling v roce 1952. Nejprve byl výsledky svých měření překvapen, protože se koncentrace chaoticky měnila podle toho, odkud foukal vítr. Došlo mu, že jeho měření v San Franciscu ovlivňují okolní lesy (photosyntéza) a továrny (spalování) a že potřebuje měřit na místě, které bude od takových vlivů hodně vzdálené. Přesunul se proto doprostřed Tichého oceánu na Mauna Loa na Havaji. Tam jeho měření začalo dávat smysl – koncentrace zůstávala stabilní. Po několika měsících viděl, že hodnoty kolísají během roku – od května do října klesají a po zbytek roku zase stoupají. Pochopil, že pozoruje dýchání celé planety.

Při photosyntéze rostliny spotřebovávají oxid uhličitý z atmosféry a vydávají kyslík. Při dýchání naopak kyslík spotřebovávají a vydechují oxid uhličitý.



Většina světových lesů se nachází na severní polokouli. V létě mají listnaté stromy listy a převažuje photosyntéza – rostliny odčerpá-

vají CO₂ z atmosféry a ukládají uhlík do svých kmenů a listů. Na podzim stromy shazují listy, které hnijí a uvolňují CO₂ zpátky.

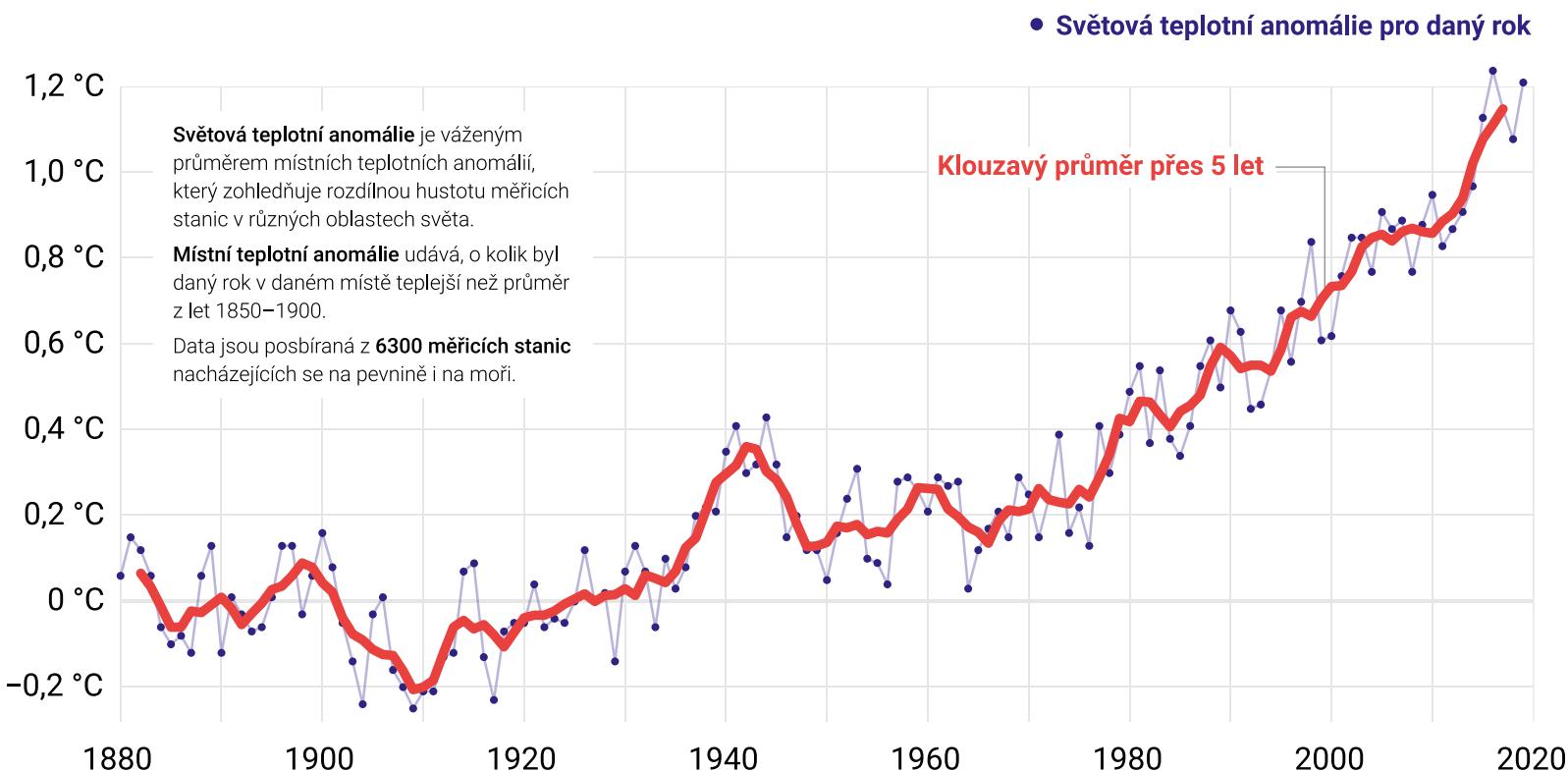
Kromě tohoto kolísání mezi létem a zimou viděl Keeling také dlouhodobý nárůst koncentrace CO₂, který přičítal spalování uhlí, ropy a zemního plynu.

Spalování spotřebovává kyslík a uvolňuje oxid uhličitý. Při spalování uhlí je reakce jednoduchá:
$$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$$
. Spalování zemního plynu spotřebovává ještě více kyslíku, protože při něm vzniká vodní pára:
$$\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$$

Důkaz, že je nárůst koncentrace CO₂ v atmosféře skutečně způsobený spalováním, přinesl Keelingův syn Ralph. Ten v roce 1988 objevil způsob, jak velmi přesně měřit koncentraci kyslíku. Jeho měření ukazují na dlouhodobý nepřirozený pokles koncentrace kyslíku v atmosféře. Dnes existují i další vědecké práce, založené mimo jiné na zkoumání izotopových stop, které potvrzují, že oxid uhličitý, který v atmosféře přibývá, pochází ze spalování fosilních paliv. Je proto jisté, že nárůst koncentrace CO₂ je skutečně způsobený člověkem.

VÝVOJ SVĚTOVÉ TEPLITNÍ ANOMÁLIE

Svět je nyní o **1,2 °C teplejší** než v letech 1850–1900.



Měřený trend oteplování v důsledku zvyšující se koncentrace CO₂ přesně kopíruje předpovědi počítačových modelů.

Od roku 1900 se koncentrace CO₂ zvýšila z 295 ppm na 410 ppm, tedy skoro o 40 %. Jestliže zdvojnásobení koncentrace má podle klimatických simulací vést k oteplení o 3 °C, nárůst o 40 % by měl způsobit oteplení o 1,2 °C. Výsledek měření skutečných teplotních anomalií je stejný: 1,2 °C oproti předindustriálnímu období (více o něm dále v textu). Toto srovnání je zjednodušené – nezahrnuje další skleníkové plyny (metan CH₄ a oxid dusný N₂O) ani setrvačnost klimatu, ale dobře ukazuje, že pozorovaný nárůst teploty rámcově odpovídá předpovědím.

Co vidíme v grafu?

Graf nám ukazuje, jak se vyvíjela **teplotní anomálie v uplynulých 140 letech**. Rok 2016 byl nejteplejším rokem v historii měření, jako druhý následuje rok 2019. V první dvacítce nejteplejších let je pouze jeden (1998) z minulého století, všechny ostatní nalezneme ve století jednadvacátém. **Pět nejvyšších příček v žebříčku za celou historii měření obsazuje**

pětice posledních let v tomto pořadí: 2016, 2019, 2015, 2017 a 2018.

Co je to referenční období?

Když chceme říct, o kolik se svět oteplil, musíme si nejdřív vyjasnit, k jakému období bude me toto oteplení vztahovat. Tomu se říká referenční období. Například rok 2016 byl o 1,2 °C teplejší než průměr z let 1850–1900, ale jen o 0,6 °C teplejší než průměr z let 1981–2010.

V klimatologii se jako **referenční období často používá období 1850–1900**, označované jako předindustriální. Není to zcela přesné, neboť průmyslová revoluce v té době již probíhala, nicméně koncentrace CO₂ v atmosféře se pohybovaly okolo 280–300 ppm – teplota planety ještě nebyla příliš ovlivněna zesilujícím se skleníkovým efektem.

Proto všechny hodnoty oteplení, o kterých v tomto atlase mluvíme, vztahujeme k témtoto předindustriálnímu rokům 1850–1900. Když v jiných zdrojích uvidíte jiné hodnoty, podívejte se, s jakým referenčním obdobím jsou porovnávány.

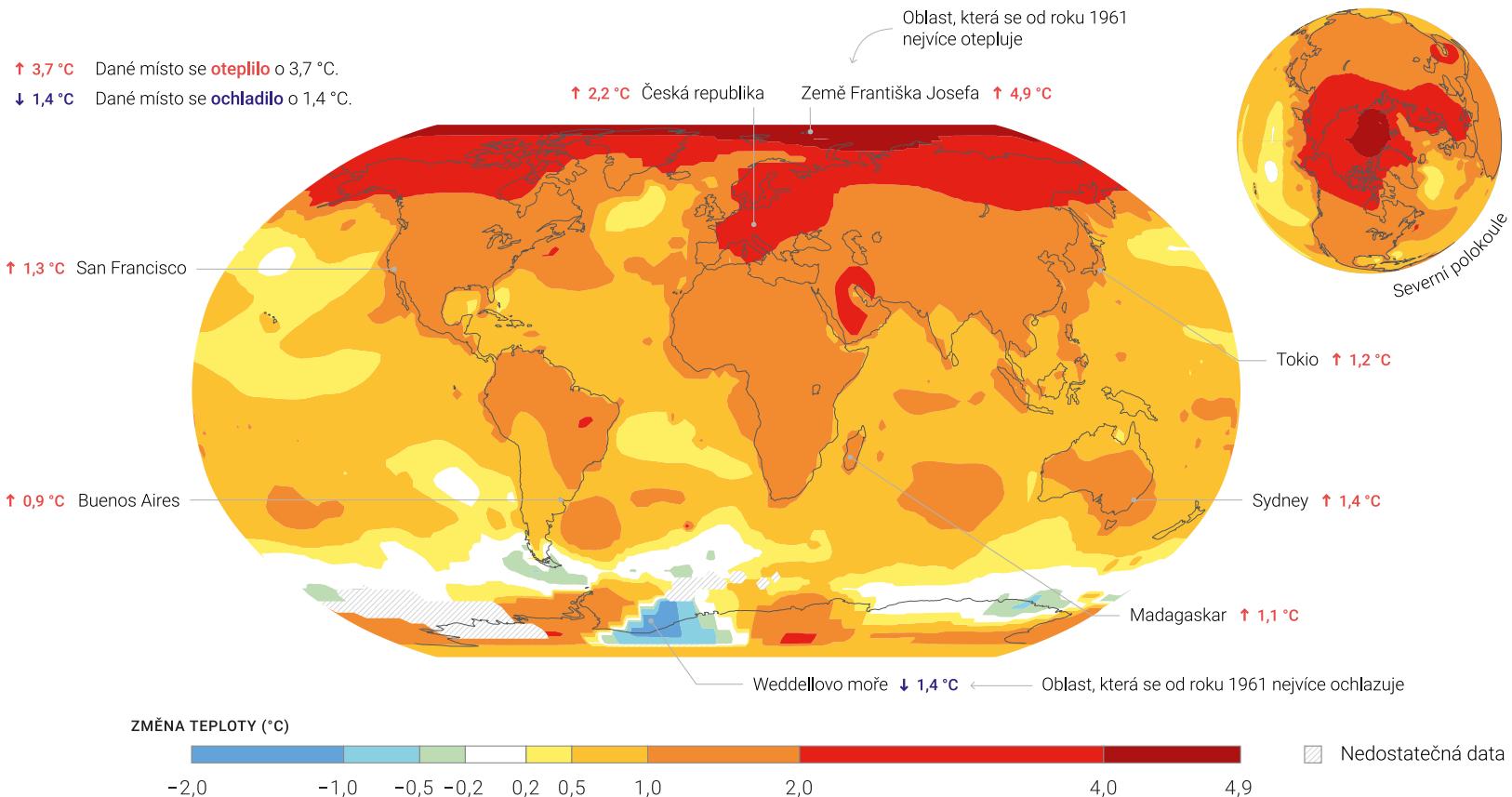
Co je to teplotní anomálie?

Příseme-li v této publikaci, o kolik se otepluje planeta Země, záměrně k tomu **nepoužíváme její průměrnou teplotu**. Počítat průměrnou teplotu u tak nehomogenního celku, jakým je Země, přináší spoustu metodologických i praktických problémů. V celoplanetárním měřítku je vhodnější pracovat s takzvanou teplotní anomálií. Průměrnou roční teplotu má smysl sledovat u menších celků, jako jsou města nebo malé státy.

Teplotní anomálie pro daný rok udává, o kolik byl svět teplejší než průměrná teplota ve vybraném referenčním období. Teplotní anomálie pro rok 2016, který je v době vydání této publikace zatím nejteplejší v historii, byla 1,2 °C – to znamená, že v celoplanetárním průměru byl rok 2016 o 1,2 °C teplejší než období 1850–1900. Různá místa na planetě však v různých měsících zažívala různé teploty. Třeba listopad roku 2016 byl v Kanadě o více než 5 °C teplejší, pro většinu Ruska o 4 °C chladnější a v Evropě jen slabě nadprůměrný. Tato chladnější a teplejší místa se při průměrování vyrovnaní, celoplanetární a celoroční průměr pro rok 2016 vyšel 1,2 °C.

MAPA ZMĚN TEPLITRY V OBDOBÍ 1961-2019

Změna klimatu probíhá různě na různých místech planety. Například **kontinenty se oteplují přibližně dvakrát rychleji než oceány**.



VERZE 1.0

více info na faktaoklimatu.cz/mapa-zmen-teploty

zdroj dat: NASA Goddard Institute for Space Studies

Počítačové modely předpovídají, že se různá místa na planetě budou oteplovat různým tempem – a vývoj v posledních šedesáti letech tyto předpovědi potvrzuje. Díky tomu můžeme také do budoucna odhadnout, která místa na planetě se budou oteplovat nejvíce a jak moc se na nich klimatická změna projeví.

Co vidíme v mapě?

Mapa změn teploty v období 1961–2019 ukazuje podrobně, jak se změnila teplota na jednotlivých místech planety. Je vidět, že kontinenty se otepplují rychleji než oceány a že k největšímu oteplení dochází nad Severním ledovým oceánem – některé ostrovy za polárním kruhem se za posledních 60 let oteplily skoro o 5 °C.

Existují ale oblasti planety, které se neotepují, některé se dokonce mírně ochlazují.

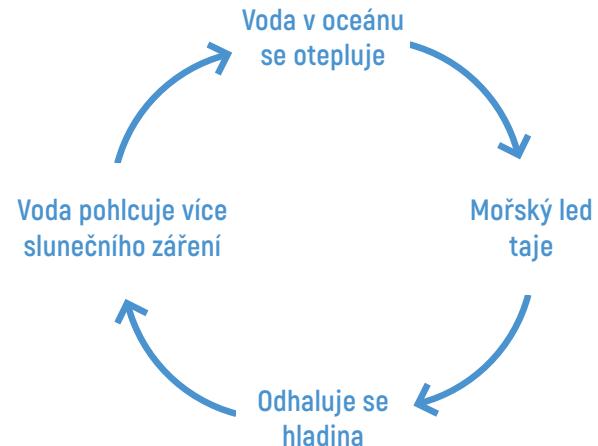
Proč se sever otepjuje nejrychleji?

Zesílené oteplení v Severním ledovém oceánu souvisí s rozdílnými fyzikálními

vlastnostmi ledu a vody. Voda pohltí skoro všechno sluneční záření, které na ni dopadne, protože je tmavá. Zato bílý led většinu dopadajícího slunečního záření odrazí – této vlastnosti říkáme odrazivost povrchu.

Zvýšení teploty v Severním ledovém oceánu vede k tání mořského ledu. Tím se odkrývá hladina, která pohlcuje více slunečního záření, a to vede k dalšímu ohřívání oceánu, dalšímu zvyšování teploty a dalšímu tání.

Na jižní polokouli k takové řetězové reakci nedochází, protože led v Antarktidě leží na pevnině a má mocnost několik kilometrů. Jeho částečné tání odhalí pouze další vrstvy ledu, a proto se nezmění odrazivost povrchu.

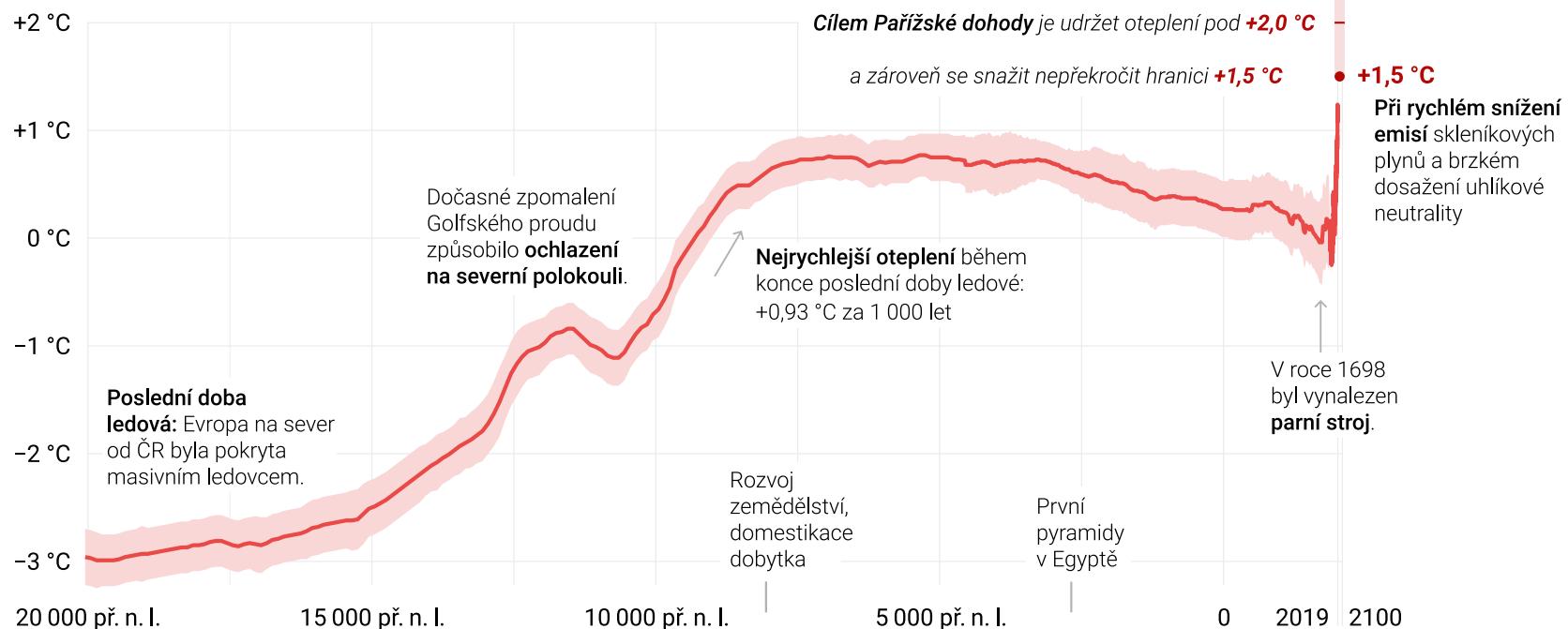


SVĚTOVÁ TEPLITNÍ ANOMÁLIE ZA 22 000 LET

Současné oteplování je více než **10krát rychlejší** než přirozené oteplení, které proběhlo na konci poslední doby ledové.

Průměrná anomálie včetně pásu nejistoty

Teplotní anomálie je odchylka vůči průměrné teplotě na Zemi ve zvoleném referenčním období. Zde se jedná o tzv. předindustriální období, tedy léta 1850–1900.



VERZE 1.0

více info na faktaoklimatu.cz/teplota-22000-let

zdroj dat: Shakun (2012): 22 050–4 550 př. n. l., Marcott (2013): 4 540 př. n. l.–1860, NASA GISS: 1880–2019

Argument, že klima se přece v historii měnilo vždy, v diskusi o současné klimatické změně neobstojí – oteplování, které pozorujeme v posledním století, se totiž svou rychlosťí zcela jednoznačně vymyká přirozeným procesům.

Co vidíme v grafu?

V historii planety byla období výrazně chladnější než současnost – doby ledové – i období výrazně teplejší – éra dinosaurů.

Klima se však vždy měnilo pozvolna.

Graf ukazuje, že změna teploty v posledním století je z historické perspektivy skoková, a to je ve vývoji klimatu nepřirozené.

Počítačové modely ukazují, že pokud radikálně neomezíme produkci skleníkových plynů, do konce století se planeta oteplí o 4,4 °C oproti hodnotám před rokem 1900.

Co znamená změna teploty pro člověka a co pro svět?

Během poslední doby ledové, tedy asi před 22 tisíci lety, byly Kanada i severní Evropa až k české kotlině pokryty masivním ledovcem a studená tundra dosahovala až k pobřeží

Středozemního moře. V pevninských ledovcích bylo shromážděno velké množství vody, proto byly hladiny oceánů o 120 metrů níž než dnes.

Během následujících deseti tisíc let teplota pomalu vystoupala o 3 °C, ledovce roztrály a postupně se přizpůsobila i příroda, včetně lidí – ti osídliли také do té doby nehostinné severní oblasti. Následovalo dlouhé období, ve kterém se teplota příliš neměnila, což umožnilo rozvoj civilizace.

Současný nárůst teploty je mnohem rychlejší než tehdy a poskytuje pozemskému životu málo času na adaptaci. To může mít dalekosáhlé důsledky pro život na planetě i pro naši civilizaci (viz Proč je oteplení o více než 1,5 °C problém? na s. 22–25).

Jak se měří historické teploty?

Měření pomocí spolehlivých teploměrů máme k dispozici někdy od osmnáctého století. Když chceme zjistit teploty z dávnější doby, využíváme toho, že mnohé přírodní procesy jsou závislé na teplotě. Známým příkladem je tloušťka letokruhů stromů – když najdeme kus dřeva při archeologických vykopávkách a určíme jeho stáří, můžeme z letokruhů usuzovat na teploty, které panovaly, když dřevo rostlo.

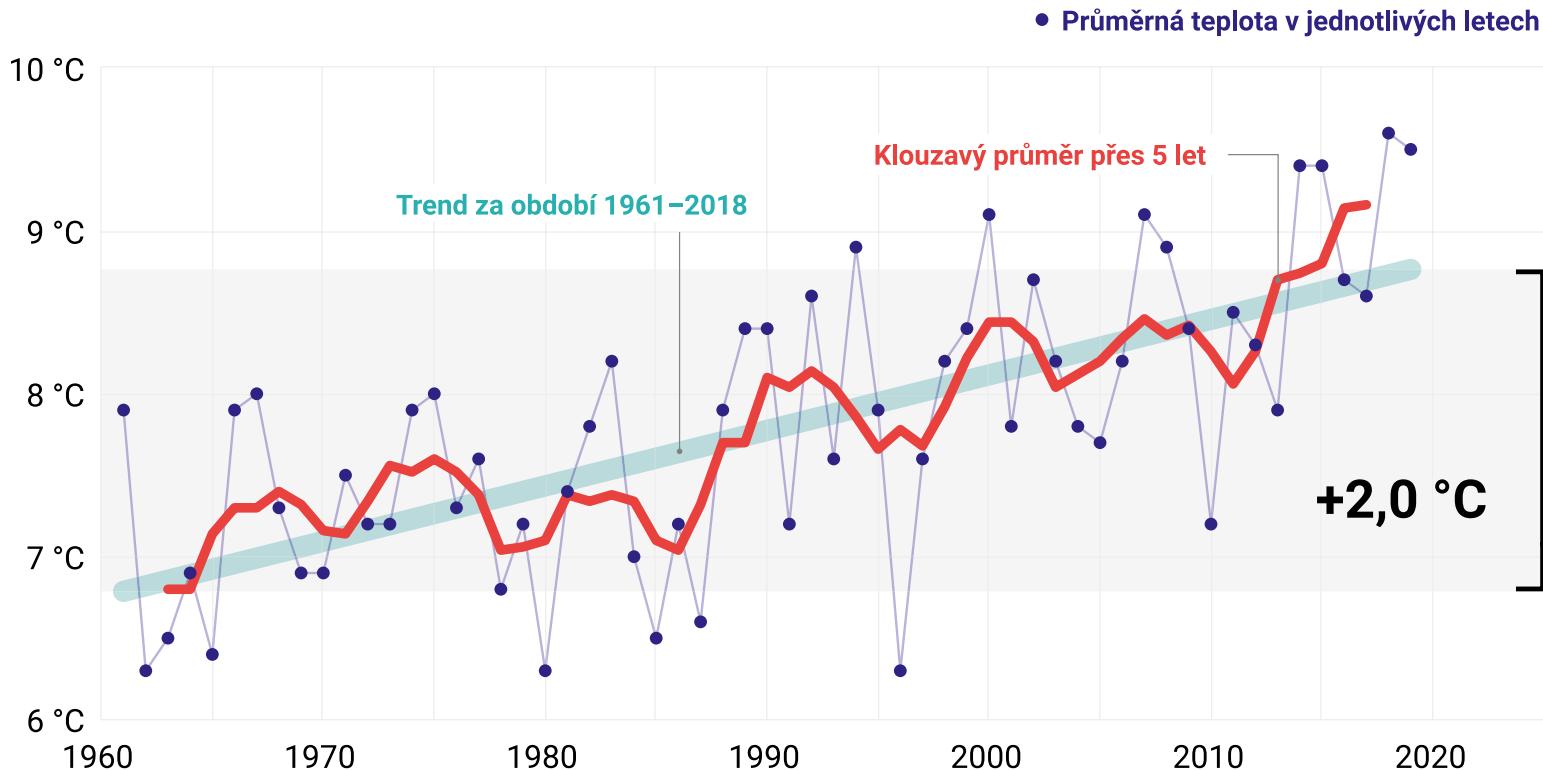
Jiným příkladem je analýza pylových zrn z jezerních usazenin – podle pylu poznáme, jaké rostliny u jezera rostly, a z toho usuzujeme na tehdejší teplotu.

Nejpřesnější údaje o historické teplotě poskytuje izotopová analýza mořských usazenin. V běžné vodě (H_2O) totiž nejsou všechny atomy kyslíku stejné – u většiny se jedná o izotop ^{16}O a přibližně jeden z pěti set je izotop ^{18}O , který má v jádře o dva neutrony více.

Přesný obsah izotopů ^{18}O závisí na teplotě planety a rozbor této izotopové stopy z usazenin z mořského dna nám umožňuje poměrně přesně zjistit teplotu planety v dávných dobách.

PRŮMĚRNÁ ROČNÍ TEPLOTA V ČR

Teplota se od roku 1961 **zvýšila o 2,0 °C**.



Možná jste si všimli, že Mapa změn teploty v období 1961–2019 na s. 16, která vychází z dat NASA, ukazuje pro ČR nárůst o 2,2 °C, zatímco data ČHMÚ zobrazená na této stránce udávají za stejné období nárůst pouze o 2 °C. Je to dánou rozdílnou metodou zpracování dat a rozdílným geografickým rozsahem. Oba přístupy k datům jsou korektní a oba údaje svědčí tom, že ČR se za posledních šedesát let otepnila přibližně o 2 °C.

VERZE 2.0

více info na faktaoklimatu.cz/teplota-cr

zdroj dat: ČHMÚ

Nárůst průměrné teploty, způsobený klimatickou změnou, je pozorovatelný i v České republice. Teplé zimy bez sněhu, častější přívalové deště i tropické letní dny, velké sucho, kůrovcové kalamity i rozšíření klíšťat – to vše patří mezi důsledky, na kterých se podílí zvyšující se koncentrace CO₂ v atmosféře.

Co vidíme v grafu?

Česká republika se za posledních 60 let oteplila o 2 °C. Nárůst světové teplotní anomálie za odpovídající dobu je přibližně 1 °C, lze tedy říci, že **ČR se otepluje dvakrát rychleji než svět** – je to dánou její vnitrozemskou polohou. Tento rámcový odhad platí i pro očekávané oteplení v budoucnosti – pokud se planeta oproti předindustriálnímu období oteplí o 1,5 °C, pro ČR to bude znamenat oteplení o 3 °C.

Nejteplejším rokem v historii ČR byl 2018 s průměrnou roční teplotou 9,6 °C. V pětici nejteplejších let v historii ČR dále následují roky 2019, 2014, 2015 a 2007. Rok 2016,

který byl zatím světově nejteplejší, zaujímá v žebříčku nejteplejších let ČR až 9. místo. Některé roky také z trendu oteplování vybočují – například roky 1996 nebo 2010 byly v ČR dost studené.

Jaké důsledky má oteplování v ČR?

Různé měsíce se oteplují různou rychlostí. **Nejrychleji se oteplují srpen, červenec, prosinec a ledn** – všechny o více než 2,5 °C za posledních 60 let. Tento fakt má své dalekosáhlé důsledky.

Oteplení úzce souvisí se suchem, kterého si u nás v posledních letech musel všimnout každý. Neplatí totiž zdánlivě jasná věc: že za sucho může nedostatek srážek. V daleko větší míře za něj může právě zvyšující se teplota, protože zvětšuje odpar vody z lesů, polí a rybníků. Srážkové úhrny se na našem území dlouhodobě nemění a ani do budoucna by neměly, ale **sucho se bude i tak citelně prohlubovat**.

Zvyšování průměrné teploty v zimních měsících znamená **méně sněhu**, který je důležitý pro doplňování spodních vod a pro dostatek vody v půdě, kterou zejména na jaře potřebují rostliny.

Vyšší teplota také vede k tomu, že **přežívá více škůdců**. Namísto dvou generací kůrovce

se za sezónu stihnu narodit tři či více a mírnou zimu také přežije více jedinců. Vyšší teplota nahrává i výskytu klíšťat. **Úhyb smrko-vých lesů** (způsobený společným působením sucha a kůrovce) je důsledkem klimatických změn, stejně jako **rozšíření klíšťat** a s nimi souvisejících nemocí.

Nárůst průměrné teploty vede obecně k více **extrémním meteorologickým jevům**: například častějším a teplejším tropickým dnům a nocím, kdy se člověk nevyspí, protože je příliš teplo. Zvyšuje se i pravděpodobnost přívalových srážek a povodní.

PROČ JE OTEPLENÍ O VÍCE NEŽ 1,5 °C PROBLÉM?

Oteplení nad určitou hranici může vést k překročení tzv. bodů zlomu a tím k nevratným změnám v podmírkách pro život na planetě. Poznání o bodech zlomu se promítlo i do mezinárodních jednání, například do cílů Pařížské dohody.

Co jsou body zlomu?

Co je bod zlomu, tuší intuitivně každý, kdo někdy lezl na strom. **Větev snese jen určité zatížení – a pak praskne.** Podobně funguje i většina planetárních systémů (ekosystémy, oceánská proudění, koloběh vody apod.) – dlouho se přibývajícím změnám přizpůsobují, pak ale i malá změna překročí pomyslnou hranici pružnosti a celý systém zkolaže.

Vidíme to na příkladu českých smrkových lesů: odborníci desítky let upozorňovali, že nejsou na většině našeho území přirozené. **V minulosti lesy kůrovcové kalamity zvládaly.** Když se ale v posledních letech zkombinoval vliv sucha a několika teplých zim, při kterých přežilo velké množství kůrovce, **většina z nich během krátké doby zkolaovala.**

Pařížská dohoda je vyústěním dlouhodobých snah OSN o společný postup proti klimatické změně. Státy se v ní zavázaly udržet nárůst globální průměrné teploty výrazně pod 2 °C a usilovat o to, aby nepřekročil 1,5 °C oproti rokům 1850–1900. Dále slíbily posílit odolnost vůči změně klimatu a přizpůsobit finanční toky nízkoemisní ekonomice, tedy například zavést uhlíkovou daň či přestat investovat do hledání dalších nalezišť uhlí a ropy.

Body zlomu v ekosystémech

Klimatickou změnou jsou ohroženy jak malé lokální ekosystémy (například tůrky a mokřady, které mohou vyschnout), tak velké planetární ekosystémy jako brazilský deštný prales, severská tajga nebo korálové útesy. U tropických deštných pralesů může kácení spolu se změnou teploty narušit vodní cyklus a vést k **proměně pralesa ve vyschlou savanu.** U korálových útesů dochází vlivem zvyšování teploty vody a kyselosti oceánu k umírání korálů.

Je prakticky jisté, že korálové útesy jako ekosystém nepřežijí ani oteplení o 1,5 °C – a to se týká i krásně barevných ryb, sasanek a dalších živočichů, kteří jsou na nich závislí. Důsledky pocítí hlavně obyvatelé tichomořských ostrovů, neboť přijdou o zdroj obživy.

Body zlomu v kryoféře

Pojem kryoféra označuje oblasti planety, ve kterých se voda nachází ve zmrzlé stavu. Tání obrovských mas ledu v Grónsku nebo Antarktidě je pomalý proces trvající stovky let a jeho důsledky jsou dalekosáhlé. Zvýšení hladiny světových oceánů o jednotky metrů dopadne na stovky milionů lidí žijících v nízko položených pobřežních oblastech.

Body zlomu v systémech oceánských a atmosférických proudění

Při větším oteplení mohou tyto systémy přejít do radikálně odlišného stavu oproti dnešku a změnit tak režim počasí na celé planetě. **Například zastavení Golf-ského proudu** by do Evropy a Severní Ameriky přineslo **velké ochlazení srovnatelné s dobou ledovou.** Monzunové deště v Indii možná ztratí svůj pravidelný charakter a nastanou povodně i rozsáhlá sucha.

BODY ZLOMU V EKOSYSTÉMECH

Zatímco při oteplení do 1,5 °C jsou z velkých planetárních systémů ohroženy pouze korálové útesy, při oteplení nad 2 °C se blížíme pravděpodobným bodům zlomu mnoha velkých planetárních systémů.

01 KORÁLOVÉ ÚTESY

Korálové útesy jsou **ohniska biodiverzity**

– je na ně vázáno 25 % všech druhů mořských živočichů. Zároveň poskytují efektivní ochranu před rozbořeným mořem, pohltí 97 % energie mořských vln. V posledních letech způsobily nebývale teplé oceány zánik 50 % Velkého bariérového útesu.

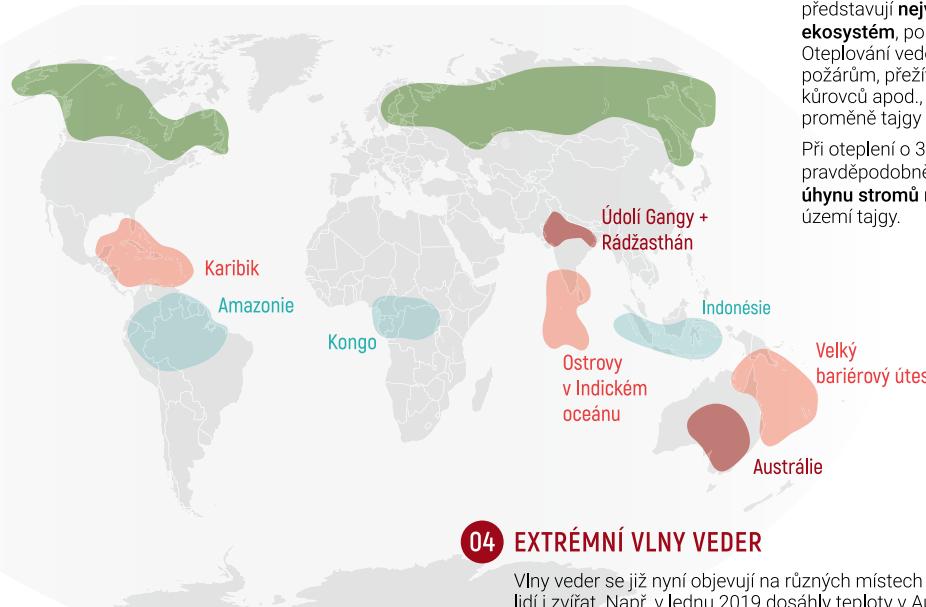
Při zvýšení teploty nad 1,2 °C nepřejíží téměř žádné ze současných korálových útesů.

02 TROPICKÉ DEŠTNÉ PRALESY

V tropických deštných lesích Amazonie, Afriky a Indonésie žijí přibližně **dvě třetiny rostlinných a živočišných druhů planety**.

Jsou ohroženy nejen kácením a požáry, ale i změnami srážek v důsledku oteplení.

Při oteplení o 3 až 4 °C dojde pravděpodobně k **masivnímu úhynu stromů** na většině území deštných pralesů. Nezávisle na teplotě mohou tyto ekosystémy zkolaovat také při 40% odlesnění.



Hodnoty oteplení jsou uváděny vzhledem k předindustriální době. Současná hodnota oteplení je přibližně 1 °C.

03 SEVERSKÉ JEHLIČNATÉ LESY

Severské jehličnaté lesy (tajga) představují **největší planetární ekosystém**, pokrývají 11 % souše. Oteplování vede k většímu suchu, požárům, přežívání místních kůrovců apod., a tedy k postupné proměně tajgy v severskou step.

Při oteplení o 3 až 4 °C dojde pravděpodobně k **masivnímu úhynu stromů** na většině území tajgy.

04 EXTRÉMNÍ VLNY VEDER

Vlny veder se již nyní objevují na různých místech planety a ohrožují populace lidí i zvířat. Např. v lednu 2019 dosáhly teploty v Austrálii 45 °C, což vedlo k úhynu stovek tisíců kaloňů – vymřela přibližně třetina populace. Ztráta druhů rostlin či živočichů může vést ke **kolapsům regionálních ekosystémů**.

Zvýšení světové teploty o 2 °C povede v některých oblastech ke každoročnímu opakování smrtících vln veder. Další zvyšování teploty může způsobit, že se velké části lidmi obývaných území stanou trvale neobyvatelné.

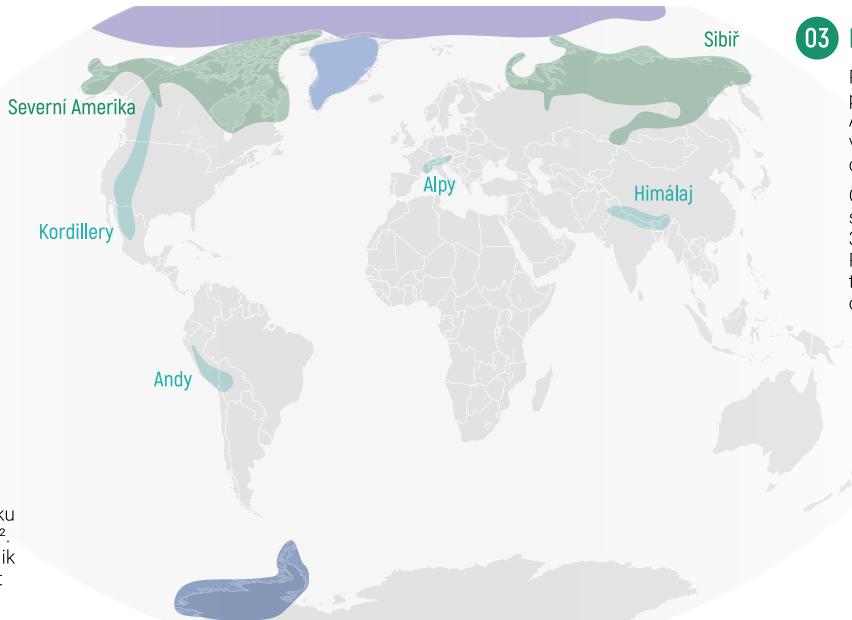
BODY ZLOMU V KRYOSFÉŘE

Kryosféra označuje veškeré oblasti planety, ve kterých se voda nachází ve zmrzlém stavu. Některé horské ledovce, např. v Alpách, již bodu zlomu dosáhly a jejich zánik je nevyhnutelný i bez dalšího oteplení. Jiné velké systémy kryosféry mohou bodů zlomu dosáhnout při oteplení jen o málo vyšším než 1,5 °C. Jejich tání sice trvá desítky či stovky let, ale změny kryosféry mají celoplanetární dopady – zvyšování hladiny oceánů, změny albeda a uvolnění metanu do atmosféry. Tyto změny následně přispívají k dalšímu oteplení.

01 SEVERNÍ LEDOVÝ OCEÁN

Rozsah mořského zámrzu Severního ledového oceánu rychle klesá – objem letního ledu v posledních letech klesl přibližně na třetinu typického objemu v 80. letech. Tání ledu **odkryvá vodní hladinu**, která více pohlcuje sluneční záření, což vede k dalšímu **zesílení oteplení**.

Při oteplení o 2 °C bude severní pól v létě bez ledu, zatímco při oteplení do 1,5 °C pravděpodobně zůstane alespoň část oceánu zamrzlá.



02 GRÓNSKÝ LEDOVEC

Grónský ledovec pokrývá 80 % Grónska – má průměrnou tloušťku 2000 m a rozlohu 1,7 milionu km². Jeho úplné roztátí by trvalo několik století a způsobilo celkový nárůst hladiny oceánu o 7 m.

Zvýšení teploty o 1,5 až 2 °C pravděpodobně nastartuje **nevratné tání** Grónského ledovce, které může vést ke **zvýšení hladiny oceánu až o 2 m** během příštích dvou století.

05 ZÁPADOANTARKTICKÝ LEDOVÝ ŠTÍT

Západoantarktický ledovec má celkový objem 2,2 milionů km³. Není dobře fixován pevninou a hrozí jeho „**sklouznutí do moře**“. Jeho kolaps by vedl k rychlému zvýšení hladiny oceánu až o 5 m. Zvýšení teploty o 1,5 až 2 °C pravděpodobně nastartuje **nevratné tání** Západoantarktického ledovce.

03 PERMAFROST

Permafrost je dlouhodobě zamrzlá půda, pokrytá velké oblasti Sibiře a Severní Ameriky a jeho tání uvolní do atmosféry velké množství metanu (skeletonový plyn), což **dále urychlí globální oteplování**.

Oteplení o 2 °C povede k roztáti 28–53 % světového permafrostu. Oteplení o 2 až 3 °C může vést ke kolapsu permafrostu. Roční emise metanu v důsledku jeho tání se odhadují na 4–16 GtCO₂eq, což odpovídá 10–30 % ročních emisí lidstva.

04 HORSKÉ LEDOVCE

Horské ledovce zásobují vodou mnoho velkých řek a ve většině horských oblastí rychle tají.

Další zvyšování teploty a ústup ledovců povede k **nedostatku vody k zavlažování** ve velkých oblastech Ameriky a střední a jižní Asie.

Hodnoty oteplení jsou uváděny vzhledem k předindustriální době. Současná hodnota oteplení je přibližně 1 °C.

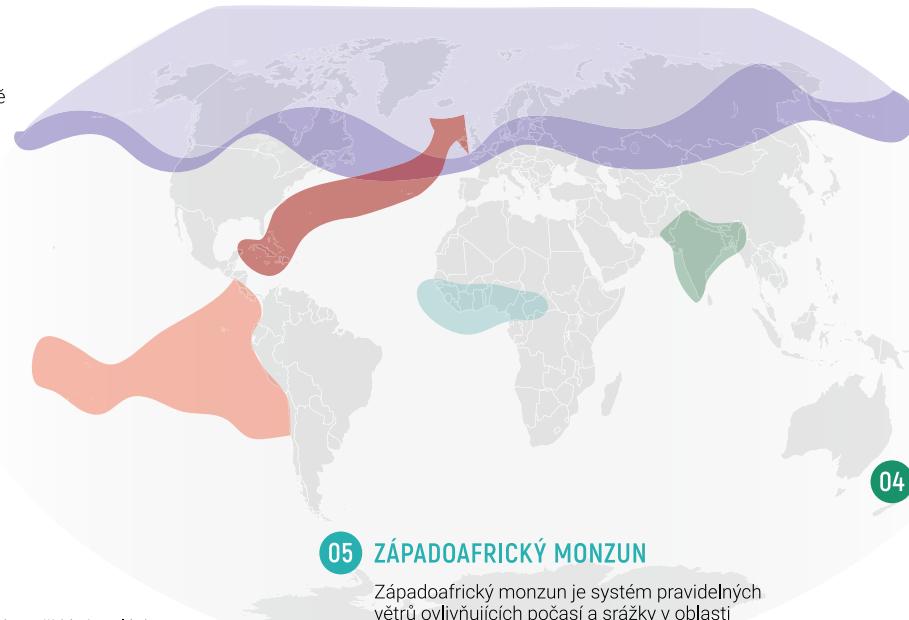
BODY ZLOMU V ATMOSFÉRICKÝCH A OCEÁNSKÝCH PROUDĚNÍCH

Oteplování může významně narušit systém oceánských a atmosférických proudění a vést k výrazným a nepravidelným změnám charakteru počasí na většině kontinentů. Atmosférická a oceánská proudění nejsou snadno a přesně lokalizovatelná, masy vzduchu a vody se dynamicky pohybují, a proto je vyznačení na mapce spíše symbolické.

01 GOLFSKÝ PROUD

Golfský proud je silný teplý proud, který ovlivňuje podnebí a zmírnuje zimy v západní Evropě a na východním pobřeží Severní Ameriky. Je součástí celoplane-tárního systému povrchových a hlubokomořských proudů (tzv. termohalinní cirkulace), který rozvádí teplo po celé planetě. Měření ukazují, že **Golfský proud od roku 1950 postupně slábne**. Kdyby do Atlantiku příteklo velké množství vody z tajících grónských ledovců, mohl by se úplně zastavit.

S oteplováním bude Golfský proud slábnout, různé scé-náře odhadují jeho oslabení o 11–54 % do roku 2100.



02 EL NIÑO – JIŽNÍ OSCILACE

V oblasti jižního Pacifiku dochází ke střídání teplých a studených období (El Niño a La Niña) s nepravidelnou periodou 3 až 10 let. Tato oscilace ovlivňuje vzdušná proudění a srážky na pobřežích Ameriky a Austrálie, způsobuje **extrémní počasí (povodně i sucha)** a ovlivňuje úrodu.

Oteplování vede k častějším a silnějším El Niño – při nárůstu teploty o 1,5 °C jich bude pravděpodobně dvojnásobek.

05 ZÁPADOAFRIICKÝ MONZUN

Západoafrický monzun je systém pravidelných větrů ovlivňujících počasí a srážky v oblasti Sahelu a západní Afriky.

Při oteplení o 2 až 3 °C může dojít k významnému **zesílení monzunu** v západní Africe, což může v důsledku vést k **obnově vegetace** v Sahelu a na západní Sahaře. Kvůli nepříznivé kombinaci teploty a vlhkosti se však nezlepší obyvatelnost této oblasti pro člověka.

03 TRYSKOVÉ PROUDĚNÍ A POLÁRNÍ VORTEX

Tryskové proudění (jet stream) a polární vortex jsou vzájemně související atmosférická proudění, které udržují studený arktický vzduch nad severním pólem. Slábnutí jet streamu vede k jeho většímu meandrování, tedy k častějším průnikům studeného arktického vzduchu směrem k rovinu a naopak velmi teplého tropického vzduchu směrem k polo. Následkem toho se objeví Evropy, Asii či Ameriky na několik dní či týdnů **prudce ochladi** (např. -30 °C v Chicagu v únoru 2019) **nebo oteplí** (evropské vlny veder posledních let).

Nárůst teploty pravděpodobně povede k dalšímu slábnutí tryskového proudění a tedy **častějším výkyvům do extrémních teplot**.

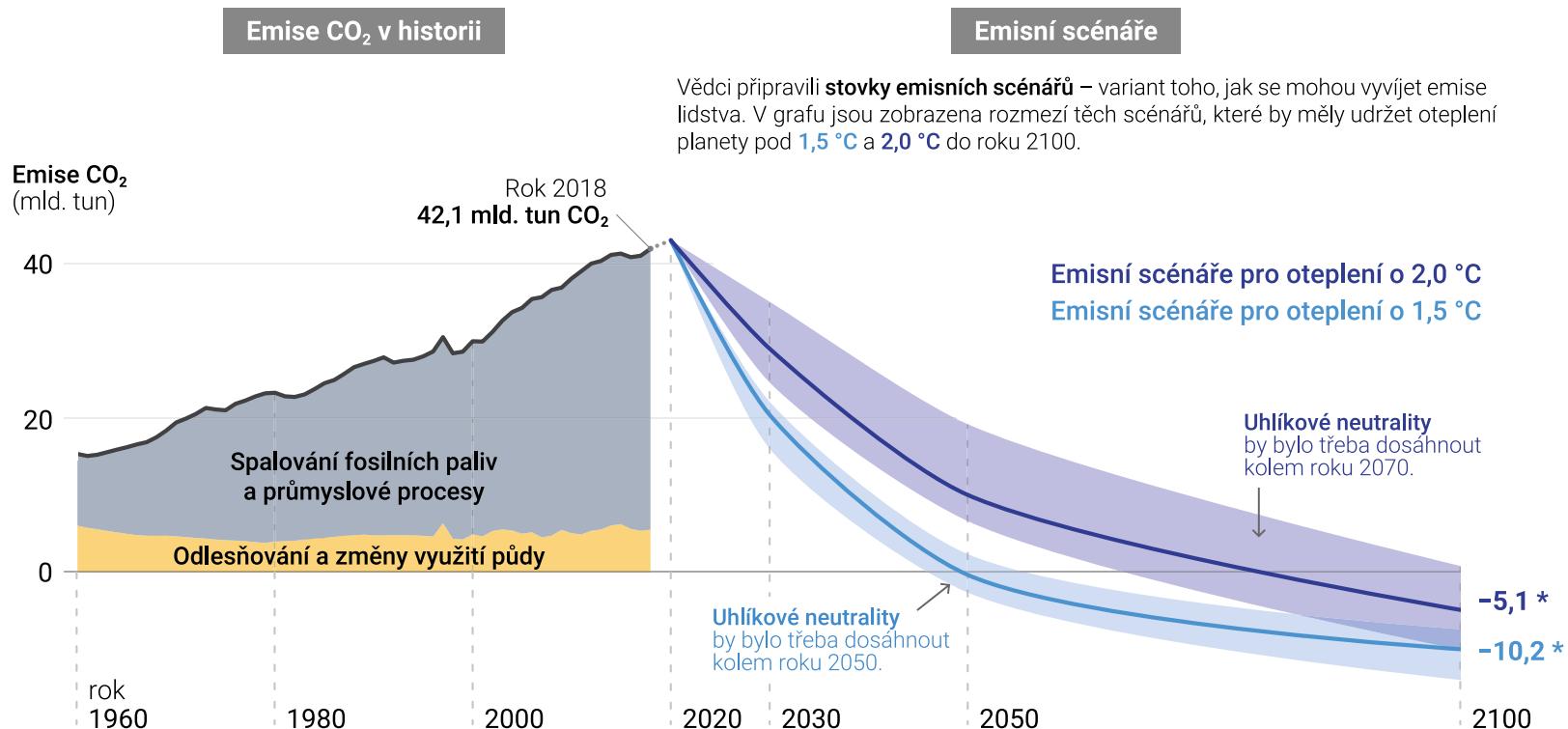
04 INDICKÝ MONZUN

V Indii přináší pravidelný letní monzun až 90 % srážek. Oteplení, změny v užívání půdy a množství vypouštěných aerosolů na indickém subkontinentu mohou vést k nestabilitě monzunu a střídání slabých a velmi silných monzunů, a tedy **střídání let extrémních povodní s roky velkého sucha**.

Hodnoty oteplení jsou uváděny vzhledem k předindustriální době. Současná hodnota oteplení je přibližně 1 °C.

EMISNÍ SCÉNÁŘE PRO NAPLNĚNÍ PAŘÍŽSKÉ DOHODY

Státy, které podepsaly Pařížskou dohodu, se **zavázaly udržet nárůst globální průměrné teploty** výrazně pod hranicí 2 °C a usilovat o to, aby nepřekročil 1,5 °C oproti období 1850–1900.



* Záporné hodnoty emisí označují, že technologie pro zachycování uhlíku jej z atmosféry odčerpají více, než kolik vyprodukuje lidská činnost.

**Udržet nárůst teploty v me-
zích, které nezpůsobí rozsáhlou
destrukci životního prostředí,
vyžaduje radikální snížení
emisí. Probíhající oteplování
můžeme omezit na „pouhých“
**1,5 °C, pokud dosáhneme nulo-
vých emisí CO₂ do roku 2050.****

Co vidíme v grafice?

Graf ukazuje vývoj emisí CO₂ za posledních 60 let a scénáře budoucího vývoje, které by umožnily udržet oteplování pod hranicí 1,5 nebo 2 °C a naplnit tak smysl Pařížské dohody.

Scénáře, které vedou k nárůstu teploty do 1,5 °C oproti předindustriálnímu období, počítají se snížením emisí CO₂ na polovinu do roku 2030 a dosažením uhlíkové neutrality do roku 2050. Kdybychom se spokojili s omezením **oteplení na 2 °C**, znamená to snížit emise CO₂ o čtvrtinu do roku 2030 a **uhlíkové neutrality dosáhnout kolem roku 2070.**

Co jsou emisní scénáře?

Emisní scénáře jsou možné varianty budoucího vývoje emisí lidstva, které počítají se

spoustou proměnných – od vývoje počtu lidí na planetě a poptávky po elektřině až po možné rozšíření větrných elektráren a dalších technologií. Tento vývoj emisí je pak zdrojem dat pro modelování budoucího vývoje klimatu.

Samozřejmě existují i jiné emisní scénáře než ty v grafu: například „business as usual“, který počítá s tím, že **emise CO₂ nebudeme nijak omezovat** a porostou dál dosavadním tempem. Do konce století bychom takto došli ke koncentraci CO₂ na úrovni **1000 ppm** a **průměrnému oteplení o témař 5 °C** (oproti předindustriálnímu období).

Další, v současnosti nejpravděpodobnější scénář, který zohledňuje naplánovaná a zatím nerealizovaná opatření, vede k oteplení o 2,8 °C v roce 2100. To dalece překračuje přijatelnou hranici 1,5–2 °C, jak o ni usiluje Pařížská dohoda.

Jak lze snížovat emise?

Základním způsobem, jak můžeme radikálně snížit emise CO₂, je přestat používat fosilní paliva (uhlí, ropa, plyn) v dopravě, průmyslu a energetice. Právě **výroba elektřiny a tepla se na celkové produkci emisí podílí nejvíce** a je v současnosti z velké části závislá na uhlí. Odklon od fosilních paliv vyžaduje

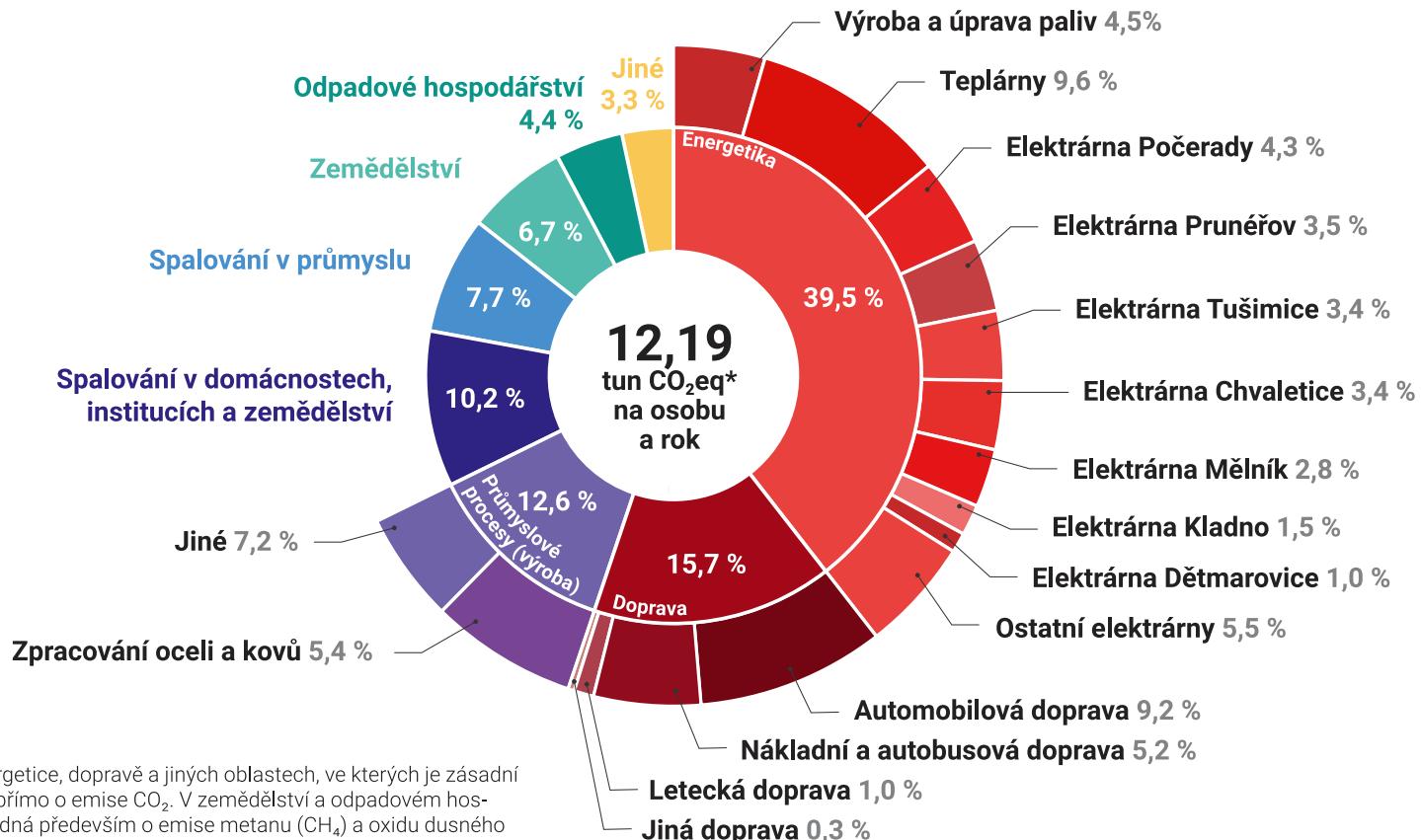
přechod na nízkoemisní výrobu energie, tedy využívání obnovitelných zdrojů nebo jaderné energie.

Důležitým **mechanismem pro přechod k nízkoemisní ekonomice je systém zpoplatnění produkce CO₂**, který vytváří ekonomicky výhodné podmínky pro nízkoemisní technologie. Příkladem je systém pro obchodování s emisemi (ETS = emission trading system), který zavedla Evropská unie v roce 2005. Tento systém ukládá uhelným elektrárnám, železárnám a dalším velkým producentům emisí CO₂ povinnost pokrýt svou produkci povolenkami. Část povolenek získají podniky bezplatně, část se na trh uvádí prostřednictvím dražeb. Množství každoročně vydaných povolenek je limitované a postupně se snižuje. S rostoucí cenou povolenky jsou tak firmy motivovány snižovat své emise. Spalování fosilních paliv se díky tomu přestává vyplácet a například některé uhelné elektrárny jsou odstavovány a nahrazovány šetrnějšími zdroji energie, jako jsou slunce nebo vítr. Firmy, které dokáží své emise snížit nejvíce, mohou také vydělat prodejem svých povolenek.

Podobný systém zavádí i řada dalších zemí včetně Číny, Austrálie nebo některých států USA.

EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNU* V ČR PODLE SEKTORŮ

Celkové emise ČR za rok 2018 – výroba elektřiny a tepla způsobuje téměř 40 % emisí.



*CO₂eq: V energetice, dopravě a jiných oblastech, ve kterých je zásadní spalování, jde přímo o emise CO₂. V zemědělství a odpadovém hospodářství se jedná především o emise metanu (CH₄) a oxidu dusného (N₂O) přepočtené na emise CO₂, které by měly stejný otepļující efekt.

A jak jsme na tom s emisemi v České republice? V přepočtu na osobu produkujeme dvojnásobek skleníkových plynů, než je světový průměr. Největší prostor pro jejich snížení máme v energetice.

Co vidíme v grafu?

Do emisí znázorněných v grafu jsou započítány také další skleníkové plyny, tedy metan (CH_4), oxid dusný (N_2O) a další, převedené na ekvivalentní množství CO_2 . V roce 2018 bylo jejich celkové množství 129 milionů tun CO_2eq . Při 10,6 milionech obyvatel v ČR tak připadá na obyvatele 12,2 tuny CO_2eq ročně. To je téměř dvojnásobek světového průměru a pětkrát více, než vyprodukuje běžný obyvatel Afriky nebo Indie.

Jak a kde produkujeme skleníkové plyny?

Energetika. Za největší část emisí ČR je zodpovědná výroba elektřiny a tepla, zejména kvůli hnědouhelným elektrárnám. Celkem na obyvatele připadá 4810 kg CO_2 ročně z energetiky. Jaderné elektrárny, které v ČR dodávají třetinu elektřiny, nejsou zobrazeny, protože jejich provozní emise jsou zanedbatelné.

Oblast energetiky, tedy **přechod od uhelných elektráren k obnovitelným zdrojům energie** (a případně jádru), je **největší příležitostí Česka pro snížení emisí**.

Doprava. V přepočtu na osobu vytvoří spalování benzínu a nafty v dopravě 1910 kg CO_2eq ročně, z toho přibližně 1100 kg připadá na osobní automobily, 640 kg na nákladní automobily a autobusy, 120 kg na leteckou dopravu a méně než 40 kg na vlaky. Emise CO_2 z dopravy je možné snížit především **používáním hromadné dopravy** a **snížením potřeby cestovat** – např. bydlením blíže práci nebo využíváním home office. Snížení emisí by mohla významně napomoci **elektromobilita**, pokud by šla ruku v ruce s transformací české energetiky.

Průmyslové procesy a spalování v průmyslu. V průmyslu vznikají emise dvěma způsoby: jednak chemickou reakcí při výrobě železa, cementu a jiných materiálů, jednak při spalování fosilních paliv ve výrobních procesech (tavení, sušení, destilace...). Celkem průmysl zodpovídá přibližně za 2500 kg CO_2eq ročně na osobu.

Emise v této oblasti je možné omezovat **snížením poptávky po materiálu** nebo **zvýšením efektivity procesu výroby**.

Spalování v domácnostech a institucích. Zde jde hlavně o vaření, ohřev vody a vytápění, které vytvoří ročně asi 1300 kg CO_2 na osobu. Snížit tyto emise může pomocí především **tepelná izolace domů**.

Zemědělství. V zemědělství vznikají emise metanu při chovu dobytka a emise oxidu dusného při průmyslovém hnojení, celkem asi 800 kg CO_2eq na osobu. K omezení emisí zemědělství by pomohlo **menší množství chovaného dobytka, správné nakládání s chlévkou mrvou a méně intenzivní hnojení průmyslovými hnojivy**.

Nakládání s odpadem. Emise odpadového hospodářství produkují především skládky, ze kterých do atmosféry uniká metan. Řešením je především odpad nevytvářet, dále **zákaz skládkování** nebo **zachytávání metanu** a jeho využívání jako paliva, například v dopravě.

Podrobnější přehled o situaci České republiky v kontextu klimatické změny lze získat na www.faktaoklimatu.cz.

POUŽITÁ ZJEDNODUŠENÍ

Jak se od složitých hypotéz a komplexních dat dostat k laicky srozumitelným sdělením

Snažili jsme se, aby byl tento *Atlas* srozumitelný, a proto jsme v některých oblastech na úkor úplnosti zjednodušovali. Jak a kde především? Toto jsou čtyři základní oblasti:

1. CO₂ není jediný skleníkový plyn

V tomto díle *Atlasu* se zaměřujeme na CO₂, jehož emise způsobují tři čtvrtiny pozorovaného oteplení. Kdybychom chtěli být důslední, měli bychom se podrobně věnovat i rostoucí koncentraci metanu, oxidu dusného a dalších skleníkových plynů v atmosféře, které se také podílejí na zesilování skleníkového efektu. V některých případech dává smysl převést všechny skleníkové plyny na ekvivalentní množství CO₂ – pak uvádíme jednotku CO₂eq. Často je ale důležité uvažovat o emisích a koncentracích jednotlivých skleníkových plynů zvlášť, a do toho jsme se nepouštěli, protože pro běžného čtenáře by se stala publikace příliš komplikovanou. Experti či laici, kteří chtějí vědět více, si údaje o efektu dalších skleníkových plynů snadno dohledají.

2. Fyzikální procesy v atmosféře jsou velmi složité

Tento *Atlas* také nemá ambice být učebnicí fyziky atmosféry nebo klimatologie. Nezábýváme se proto dynamikou atmosférických proudění ani popisem průchodu tepelného záření atmosférou. Zesílení skleníkového efektu vlivem zvýšené koncentrace skleníkových plynů prostě konstatujeme. Ty, kteří se chtějí dozvědět o fyzikálních aspektech více, nebo pochybují o správnosti výpočtů, odkazujeme právě na univerzitní učebnice fyziky atmosféry.

3. Výklad dat, statistika a interpretace

Odborné texty o teplotních měřeních věnují většinu svého rozsahu diskusi o vědeckých postupech – homogenizaci dat, statistice, metodologií měření apod. My tyto otázky pomíjíme a soustředíme se na výsledky výzkumů, které se snažíme vysvětlit a zasadit do kontextu. Pokud vás zajímají metody sběru zdrojových dat a jejich zpracování, můžete následovat odkazy v grafech a mapách nebo si třeba přečíst standardy Světové meteorologické organizace.

4. Vybíráme pro český kontext

Mnohé souvislosti klimatické změny zmiňujeme pouze povrchně, protože se nás v Česku dotýkají nepřímo – například změny v oceánech nebo kryosféře. Kdybychom žili v Kanadě nebo na tichomořských ostrovech, vypadala by naše publikace určitě jinak. Pro získání širšího přehledu může jako rozcestník posloužit třeba anglická Wikipedie.

Popis nebo řešení?

V tomto dílu *Atlasu klimatické změny* se zabýváme hlavně popisem již pozorované klimatické změny a základními souvislostmi. Při takovém čtení začne většina lidí přemýšlet, jaké to všechno má důsledky a co se s tím dá dělat. Na podobné otázky ovšem první díl poskytuje odpovědi jen náznakem – v posledních dvou grafech.

Připravujeme však další díly, které budou zaměřené na emise, transformace energetiky a scénáře budoucího vývoje. Data a rešerše, které jsme v těchto oblastech již zpracovali, můžete najít na webu faktaoklimatu.cz.

DALŠÍ ZDROJE SERIÓZNÍCH INFORMACÍ O KLIMATICKÉ ZMĚNĚ

Webové stránky:

- <https://www.klimatickazmena.cz/cs/>
Web Centra výzkumu globální změny AV ČR (CzechGlobe), prezentující data a modely klimatické změny v ČR. Obsahuje zejména podrobné mapy předpovědí klimatologických parametrů České republiky pro 21. století.
- <https://skepticalscience.com/>
Klimatické změny z pohledu skeptického empirismu. Najdete zde články psané ve třech úrovních obtížnosti a v nich vysvětlení mýtů, které se v oblasti klimatu a klimatické změny často vyskytují.
- <https://www.giss.nasa.gov/>
Web NASA, Goddard Institut for space studies – výzkumného centra, které se zabývá fyzikou atmosféry a modely klimatické změny. Je tu k dispozici velké množství datových sad a podrobný popis metodik měření teploty.
- <https://www.ipcc.ch/>
Web Mezivládního panelu pro změny klimatu (anglicky Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Najdete zde souhrnné a speciální zprávy Panelu, které shrnují výsledky výzkumu klimatické změny.
- <https://www.carbonbrief.org/>
Komentáře k aktuálnímu světovému dění v klimatologii, energetice i politice týkající se klimatické změny, a také články systematicky vysvětlující téma spojená s klimatickou změnou.

Knihy:

BERNERS-LEE, M. *There is no Planet B. A Handbook for the Make or Break Years.* Cambridge: Cambridge University Press, 2019.

Kniha koncipovaná jako série každodenních otázek týkajících se klimatické změny.

PIERREHUMBERT, R. T. *Principles of planetary climate.* Cambridge: Cambridge University Press, 2011.

Jedna z vhodných vysokoškolských učebnic zabývajících se fyzikou atmosféry.

FAKTA O KLIMATU je tým profesionálů v oblastech jako IT, vizualizace dat nebo komunikace, který chce přispět ke kultivaci společenské diskuse o klimatické změně a vhodných opatřeních. Skrze vizualizace vědeckých dat pomáhá poutat pozornost k relevantním tématům a dodává srozumitelné údaje novinářům i dalším organizacím. Funguje jako most mezi vědci a lidmi, kteří vědecké poznatky potřebují – přispívá k evidence-based rozhodování ve věcech týkajících se klimatu.

LIPKA – ŠKOLSKÉ ZAŘÍZENÍ PRO ENVIRONMENTÁLNÍ VZDĚLÁVÁNÍ BRNO je jednou z největších a nejstarších organizací v České republice, které se věnují environmentální výchově, vzdělávání a osvětě. Školám a školkám nabízí ekologické výukové programy a vzdělávání pro učitele, dětem ve volném čase kroužky a tábory, dospělým i celým rodinám akce pro veřejnost.

Ediční centrum Lipky vydává publikace, metodické materiály, výukové pomůcky i hry, určené školám i veřejnosti, dospělým i dětem.

www.lipka.cz/e-shop

Ondřej Přibyla, Kristína Zákopčanová, Ondřej Pechník

Atlas klimatické změny. Změny v atmosféře a rizika oteplování

Zpracování vizualizací: Kristína Zákopčanová

Redakce: Lenka Kopáčová

Jazyková korektura: Anna Novotná

Grafické úpravy: Jana Zbirovská

V roce 2020 vydala Lipka – školské zařízení pro environmentální vzdělávání Brno, příspěvková organizace, Lipová 233/20, Brno, www.lipka.cz

První vydání, 32 stran

Tisk: Quattro print, a. s., Heršpická 6, Brno

Vytištěno na recyklovaném papíře.

JAK SE MĚNÍ KLIMA NA ZEMI? A MŮŽEME TO JEŠTĚ OVLIVNIT?

Změna klimatu už není jen předpověď budoucnosti, **je to skutečnost**. Týká se nás s takovou závažností, že to téma nelze přenechat pouze vědcům a jejich odbornému zkoumání. Potřebujeme vědět více a o změně klimatu vést veřejnou debatu.

Pro kultivovanou veřejnou debatu jsou nezbytná **dobrá a především srozumitelně vysvětlená data**. Proto nabízíme jednoduché grafy a mapy, které si vaše oko zapamatuje. A vždy je doplňujeme komentářem, abyste si po přečtení byli jistí, co která barevná křivka, bod nebo pole znamenají.

V tomto prvním díle se věnujeme nárůstu globální teploty, vysvětlujeme, jak je propojena s koncentrací oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů a jak zvyšování teploty ovlivňuje celoplanetární systémy.

V křivkách uvidíte například střídání dob ledových a meziledových, strmý nárůst koncentrace oxidu uhličitého v současnosti, dýchání planety i její zvyšující se teplotu. V mapách spatříte, jak se změny projevují v různých částech světa a které ekosystémy hrozí dospět k bodům zlomu či ke kolapsu. Porozumíte tomu, jak skleníkové plyny ovlivňují teplotu a spolu s ní řadu dalších ekosystémově provázaných jevů. Zjistíte také, které emisní scénáře dávají naději, že by ke kolapsům celoplanetárních systémů dojít nemuselo. Letmo se seznámíte také s bilancí emisí a teploty v České republice.

Tahle příručka není čtením pro odborníky. Je to čtení **pro každého**, kdo se chce **stát poučeným laikem**.

jihomoravský kraj

Vznik této publikace podpořil Jihomoravský kraj.