

# Globální oteplování, změny krajiny a ztráty biodiverzity

**Globální oteplování a jiné změny klimatu jsou dnes většinou považovány za neoddiskutovatelnou skutečnost. Stále se však ještě setkáváme s řadou neinformovaných tvrzení, podle kterých nejsou tyto změny primárně zaviněny naší civilizací. Uplynulo už ale více než jedno století od doby, kdy byl mechanismus oteplování objeven. Na základě rozboru energetické bilance Země dnes víme, že k průměrnému vzrůstu teploty a častějším teplotním extrémům dochází kvůli pozitivnímu radiačnímu působení antropogenních skleníkových plynů. Důsledků je mnoho – ubývání ledovců, stoupající hladina moře, extrémní sucha, požáry a jiné kalamity, pokles biodiverzity. Náprava nebude snadná.**

O tom, že žijeme na jedné z osmi planet naší sluneční soustavy, víme už dlouho. Dnes už také víme o tisících dalších planet ve vesmíru. Některé z nich jsou podle astronomů potenciálně „obyvatelné“. Zatím však víme jen o jediné, na níž život existuje. Je to planeta Země, která byla po dlouhou dobu pro život mnoha druhů, včetně *Homo sapiens*, velice příznivá. Většinou jsme to považovali za naprostou samozřejmost, o které nebylo třeba přemýšlet. Tato jedinečná situace se ale koncem 20. století změnila. O detailech výpočtů je možno diskutovat, ale nevyvratitelným důsledkem naší globální stopy v životním prostředí je překročení nosné kapacity Země (např. Hoekstra a Wiedmann 2014). Výrazy jako klimatická krize nebo klimatická katastrofa už neznějí nikterak nadneseně.

O globálním oteplování a jiných změnách klimatu dnes už téměř nikdo nepochybuje. Je dokonce pravděpodobné, že větší porozumění pro tyto změny nemají vzdělaní lidé ve městech, ale ti, kteří žijí

po generace na jednom místě, v bezprostředním kontaktu s přírodou. Můj student Clark Richter pracoval jako učitel přírodopisu v Mírových sborech (Peace Corps) několik let na Filipínách. Když tam začínal, obával se, že bude velice obtížné místním obyvatelům něco o změnách klimatu vykládat. Ke svému překvapení ale brzy shledal, že právě tento úkol byl snadný. Vzrůstající frekvence mimořádných klimatických situací jim byla zcela zřejmá, a to jak z jejich vlastní zkušenosti, tak na základě vzpomínek starších generací.

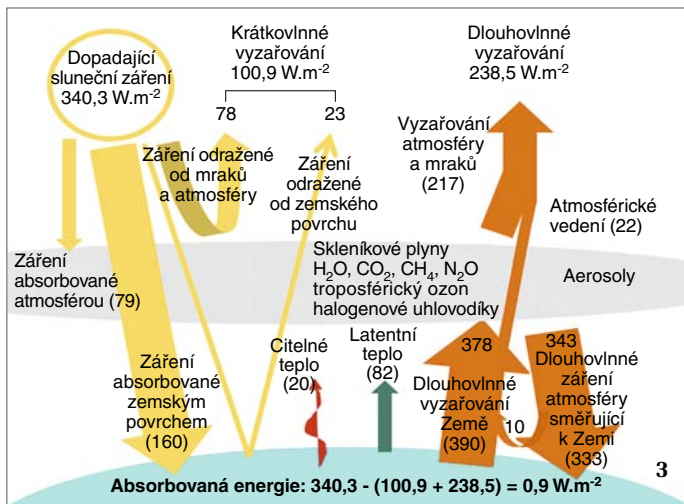
## Co víme a kdy jsme se to dověděli

Jaká je příčina současného globálního oteplování a souvisejících změn klimatu? Stále se ještě setkáváme s řadou neinformovaných (a dezinformovaných) tvrzení, podle kterých nejsou tyto změny primárně zaviněny naší civilizací, ale námi neovlivnitelnými procesy, např. změnami sluneční aktivity. Kdy začali lidé tušit, že se změnou klimatu mohou mít něco společ-

ného? První teoretické úvahy o vlivu stavu atmosféry na teplotu zemského povrchu najdeme v publikacích francouzského matematika a fyzika Josepha Fouriera z let 1824 a 1827. První velmi jednoduchý pokus však provedla v polovině 19. století soukromá badatelka Eunice Footeová, která jako první testovala schopnosti různých plynů pohlcovat teplo. Do několika skleněných válců s teploměry napustila vzduch s různou hustotou, vlhký vzduch a oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ). Nejprve je nechala na slunečním světle, a když je pak dala do stínu vychladnout, zjistila, že lahve s  $\text{CO}_2$  a vlhkým vzduchem se ohřály více než normální vzduch a zůstaly také ve stínu déle teplejší. Oxid uhličitý a vlhký vzduch se ukázaly být plyny pohlcujícími teplo. V článku, který v r. 1856 publikovala v časopise *The American Journal of Science and Arts*, o  $\text{CO}_2$  napsala „atmosféra tohoto plynu by dala naší zemi vysokou teplotu“. Dnes hovoříme o skleníkovém efektu oxidu uhličitého v atmosféře. (Pro jistotu je třeba připomenout, že „skleníkový efekt“ je jen metafora: k ohřívání ve skleníku dochází především díky omezenému proudění tepla, nikoli zabráněním ztrátě tepla dlouhovlnným vyzařováním.) Pravdou je, že zahřívání plynů v pokusech Footeové se nedělo ani tak dlouhovlnným vyzařováním ze zemského povrchu, ale díky blízkému infračervenému (0,8–3  $\mu\text{m}$ ) záření dopadajícím ze Slunce. E. Footeová jako první rozeznala radiační význam  $\text{CO}_2$  a nyní, byť s velkým zpožděním, se jí dostává titulu „matka změny klimatu“.

Zda prominentní irský fyzik John Tyndall o článku Footeové věděl, se můžeme jen dohadovat. Jisté však je, že ho necitoval a v letech 1859 a 1860 se zabýval podobnými, ale mnohem propracovanějšími experimenty. Zrod kvantitativní vědy o antropicky podmíněných změnách klimatu lze datovat do let 1896–1906. V návaznosti na Tyndallovu pokusy a po roce náročných výpočtů došel švédský fyzik Svante Arrhenius (otec rostlinného ekologa Olofa Arrhenia) k závěru, že zdvojnásobení koncentrace  $\text{CO}_2$  v atmosféře by vedlo k průměrnému oteplení zemského povrchu o 4 °C. Byl to výsledek jen málo odlišný od





**1** Ustupující ledovce v národním parku Cocuy v Kolumbii. Plocha ledovců v tomto parku byla 39 km<sup>2</sup> v r. 1955, v současnosti zabírá méně než 16 km<sup>2</sup>. Obnaženou krajinu na snímku ještě před 50 lety zcela pokrýval led.

**2** Unikátní alpské mokřady s klejovkou *Espeletia grandiflora* v NP Cocuy jsou závislé na nepřetržitě napájení vodou z ledovců.

**3** Energetická bilance Země na počátku 21. století (obecné schéma globálních průměrných ročních toků energie).

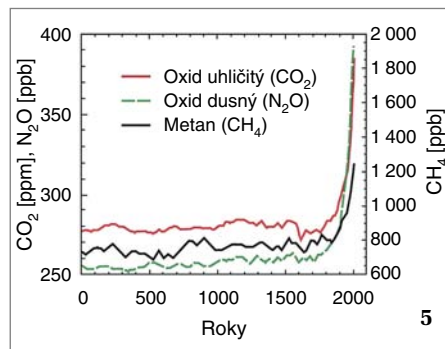
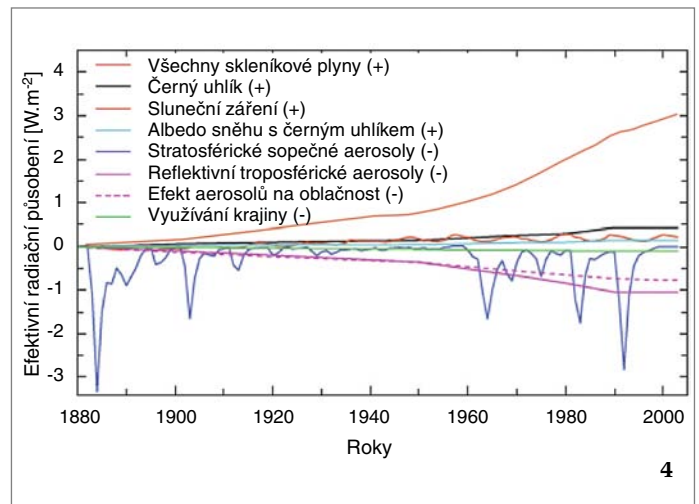
Veškeré hodnoty vyjádřeny ve watttech na metr čtvereční (W.m<sup>-2</sup>; 1W = 860 cal/h), toky energie uvnitř zemského systému zaokrouhleny na celá čísla. Díky zvýšené koncentraci skleníkových plynů, zejména CO<sub>2</sub>, vychází celková energetická bilance pozitivní (+0,9 ± 0,2 W.m<sup>-2</sup>), což je podstatou současného globálního oteplování. Přibližně 93 % akumulované tepelné energie je zachyceno v oceánech. Citelné teplo představují termické stoupavé proudy. Tok latentního tepla se uskutečňuje evapotranspirací. Orig. M. Rejmánek, podle: W. D. Bowman a kol. (2017), K. E. Trenberth (2020), M. Wild a kol. (2019)

**4** Rekonstrukce radiačního působení od r. 1880. První čtyři působení přispívají k celkové energetické bilanci Země pozitivně (+), další čtyři negativně (-). Pro výslednou bilanci je nejpodstatnější poměr působení skleníkových plynů (+) a aerosolů (-) v ovzduší.

Upraveno podle: J. Hansen a kol. (2005)

**5** Změny koncentrací atmosférických skleníkových plynů. Před r. 1958 byly stanoveny z ledovcových sond, od r. 1958 měřeny přímo. Současná koncentrace CO<sub>2</sub> přesahuje 410 ppm (parts per million); ppb – parts per billion. Upraveno podle: Mezivládní panel pro změny klimatu (IPCC, 2007) a W. D. Bowman a kol. (2017)

odhadů, které dostáváme ze současných hyperpočítačových modelů. V té době však přírodovědci nepředpokládali, že uvolňování CO<sub>2</sub> spalováním fosilních paliv by mohlo být tak významné, že by změnilo naše klima. Arrhenius předvídal, že změna klimatu následkem lidské činnosti je možná, ale očekával, že ke zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub> o 50 % by mohlo dojít teprve za 3 000 let. Ke zvýšení o 35 % však došlo během jediného století, které následovalo. Arrhenius dokonce spekoval, že růst



teploty kvůli zvýšené atmosférické koncentraci CO<sub>2</sub> by byl pro rychle se množící lidstvo blahodárný, neboť by umožnil pěstování plodin na větším území. Toto téma bylo pak na dlouhou dobu zapomenuto.

### Fyziku nelze zapřít

Co víme o globálním oteplování dnes? K plně informovanému pochopení musíme začít s energetickou bilancí Země (obr. 3). Čísla v diagramu jsou jen nepatrně odlišná od podobných obrázků v mnoha učebnicích. Po dlouhou dobu zde fungovala energetická rovnováha (dopadající sluneční záření = krátkovlnné vyzařování + dlouhovlnné vyzařování). Dnes tomu tak ale není. V systému země–atmosféra zůstává přibližně 0,9 W.m<sup>-2</sup>. Vlivem zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> a dalších skleníkových plynů produkovaných naší civilizací (obr. 5) je energie, především dlouhovlnné vyzařování Země, atmosférou zachycena a zpětně dlouhovlnné záření atmosféry přispívá k ohřívání oceánů a pevnin. Ve srovnání s hlavními toky energie (obr. 3) se energetická nerovnováha 0,9 W.m<sup>-2</sup> nezdá být tak významná. Jestliže ji ale přepočteme na povrch naší planety, dostaneme 430 TW (1 terawatt = 10<sup>12</sup> W). Je to hodnota 75krát vyšší než celosvětová produkce elektrické energie, ta byla totiž v r. 2019 odhadnuta na 5,7 TW.

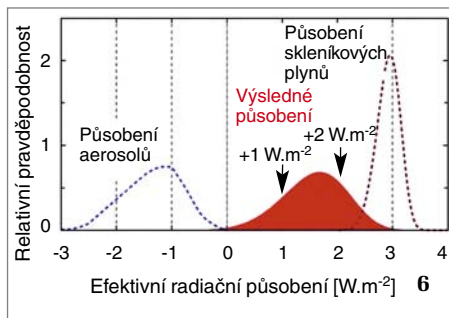
Termín skleníkové plyny má dnes spíše negativní konotaci. Nejhmotnějším přirozeným skleníkovým plynem je ale vodní pára, v průměru přibližně 2,5 % hmoty atmosféry. Bez ní v ovzduší by byla průměrná teplota na zemském povrchu přibližně -18 °C, na rozdíl od současného průměru +14 °C. Je tedy nezbytnou podmínkou života na Zemi, jak ho známe. Koncentrace vodní páry v atmosféře je především funkcí teploty a dosahuje rovnovážných

hodnot během několika týdnů. Zcela jinak se chová CO<sub>2</sub>, „životnost“ (průměrná doba, po kterou molekula zůstává v definovaném objemu) tohoto plynu je odhadována na 30–200 let, což znamená, že jeho koncentrace se přirozeně upravuje teprve během mnoha staletí. Před industriální érou byly zdrojem CO<sub>2</sub> především sopečné plyny, požáry, rozklad biomasy a dýchání aerobních organismů. Pozvolné vzrůsty koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře byly po dlouhou dobu (od teplotního maxima na počátku eocénu) vyvažovány karbonatizací během zvětvávání silikátových hornin (např. Foster a kol. 2017). To dnes už ale ani zdaleka nestačí. Současná rychlost vzrůstu koncentrace CO<sub>2</sub> neměla obdoby v posledních 50 milionech let a jeho koncentrace v atmosféře (412 ppm) nyní převyšuje hodnoty, kterých bylo na Zemi dosaženo během posledních nejméně 7 milionů let (Cui a kol. 2020). V souvislosti s vodní párou a CO<sub>2</sub> je zajímavé připomenout ještě jednu skutečnost, na kterou poukázal již Arrhenius. Spočítal, že díky zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub>, a tedy vyšší teplotě může vzduch udržet více vodní páry, která se tak stává jako skleníkový plyn ještě účinnější. Ke globálnímu oteplování přispívají i další plyny, např. metan (CH<sub>4</sub>), který se vedle jiných přirozených a antropogenních zdrojů vlivem oteplování uvolňuje z rozmrzajících permafrostů. Životnost CH<sub>4</sub> je přibližně 12 let. K významným patří také oxid dusný (N<sub>2</sub>O). Zhruba dvě třetiny N<sub>2</sub>O se do atmosféry uvolňují biochemickými procesy v půdě, zbývající třetina je výsledkem lidské činnosti. Jeho životnost dosahuje 120 let.

Skleníkové plyny jsou nejdůležitější pozitivní složkou radiačních působení (radiation forcings). Radiační působení je zjednodušeně definováno jako změna bilance energie záření (vstupující minus vystupující) v tropopauze, tedy na hranici troposféry a stratosféry. Průměrná rychlost vzrůstu klimatického působení všech skleníkových plynů je nyní odhadována na 0,035 W.m<sup>-2</sup> za rok.

Ve hře jsou ale další radiační působení: pozitivní – přispívající k akumulaci energie, a tedy ke zvyšování teploty v systému troposféra–oceány–pevniny, a negativní – působící v opačném směru. Odhadované a měřené změny intenzity nejdůležitějších radiačních působení od r. 1880 jsou zachyceny v dnes již klasickém diagramu (obr. 4). Jedním z negativních je albedo (odrazivost)





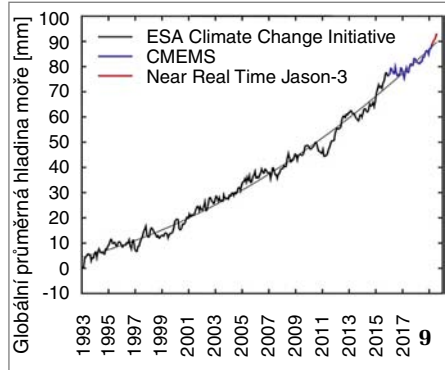
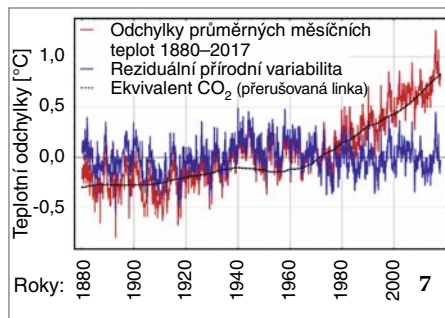
zemského povrchu pro sluneční záření (tab. 1). Povrchy různých substrátů a vegetace mohou svým albedem klima do určité míry ovlivnit. Nejvýznamnější negativní působení však vykazují aerosoly – směsi nepatrných pevných nebo kapalných částic (o velikosti 0,001–10 μm) v atmosféře. Podílejí se na radiální bilanci atmosféry buď přímo, rozptylem a absorpcí záření, nebo nepřímo, tvorbou kondenzačních jader oblaků. Nejdůležitější aerosoly v atmosféře představují sulfáty, nitráty a prašný aerosol. Stratosférické aerosoly jsou především produktem sopečné činnosti, a jsou tedy lidstvem zatím jen málo ovlivňovány. Troposférické aerosoly jsou stále častěji výsledkem průmyslových aktivit a požárů. Celkové antropogenní působení aerosolů na energetickou bilanci Země, včetně nepřímého vlivu kvůli účinku albeda mraků, je negativní, tedy zmírňující globální oteplování (obr. 6). Antropogenní aerosoly kompenzují pozitivní radiální působení antropogenních skleníkových plynů. Jde ale o kompenzaci jen částečnou a výsledné antropogenní radiální působení zůstává v tomto století pozitivní.

Počítače a moderní matematické metody analýzy časových řad umožňují klimatologům odečíst vliv antropogenních radiálních působení od naměřených teplot. Dostáváme tak odchylky globálních teplot (rezidua), které by byly jen čistým výsledkem přírodních procesů: změn sluneční aktivity a sopečné činnosti (obr. 7). Přibližně do poloviny 20. století převládá vliv antropogenních aerosolů a lidstvo tak přispívalo k mírnému ochlazení. Ke konci století se ale situace radikálně změnila a pozitivní radiální působení antropogenních skleníkových plynů, zejména CO<sub>2</sub>, převládá a určuje současný nárůst průměrné globální teploty.

### Ledovce, oceány, požáry a jiné kalamity

Naše planeta se nachází ve stavu energetické nerovnováhy, jejímž výsledkem je globální oteplování. Odchylky průměrných ročních teplot od r. 1850 a projekce do r. 2100 v porovnání s průměrem let 1961–1990 vykazují exponenciální trend (obr. 8). Mnoho důsledků tohoto procesu již dobře známe z populárních publikací. Od posledního zalednění zmrzlá zem na Špicberkách taje a domy v Longyearbyenu se sesouvají. Tající ledovce na Mount Everestu odhalují zmrzlá mrtvá těla horolezců. Tundra hoří v Grónsku a na severu Sibíře...

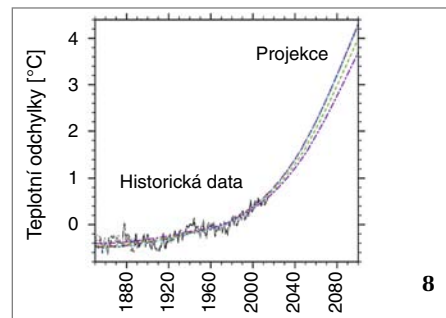
Ubývání ledovců ve většině světových pohoří máme dobře zdokumentováno (viz obr. 1). Ustupující ledovce sice poskytují ekologům mnoho příležitostí studovat primární sukcese, ale řada unikátních rostlinných společenstev a ekosystémů závislých



na kontinuálním napájení vodou z ledovců je dnes ohrožena (obr. 2). A co je důležitější, situace ohrožuje také závlahové zemědělství v podhůřích dříve zaledněných pohoří. Podívejme se na ubývání mohutných ledovců v Grónsku a na Aljašce. Přepočteno na obsah vody, celosvětová kumulativní hmotná bilance ledovců od r. 1980 do 2018 vyšla -21,7 m, což odpovídá odříznutí 24 m vysokého plátu z vrchu průměrného ledovce (World Glacier Monitoring Service). Nevyhnutelným následkem je stoupání hladiny moře (obr. 9), které se podílí na rychlém ubývání ploch pobřežních ekosystémů, bylinných mokřadů a mangrovů, zmírňujících účinek tropických cyk-

**Tab. 1** Příklady albeda různých substrátů a vegetace. Nižší albedo znamená vyšší absorpci záření, a tedy větší zahřívání. Podle: A. K. Betts a J. H. Ball (1997), J. Grace (2014) a M. Rejmánek (1971)

	Bez sněhu	Se sněhem
Vápenec	0,25–0,40	-
Písek	0,15–0,45	-
Holá půda	0,10–0,45	-
Žula	0,10–0,25	-
Travní společenstva	0,20–0,30	0,40–0,95
Tropická pastvina	0,17–0,19	-
Mokřad	0,16–0,18	0,70
Topol osikový bez listů	0,11	0,21
Topol osikový s listy	0,16	-
Tropická savana	0,13	-
Tropický deštný les	0,12–0,14	-
Borovice Banksova	0,09–0,14	0,12–0,15
Smrk černý	0,08	0,11 (0,05–0,20)
Oceán na rovníku	0,08	-
Les jeden rok po požáru	0,07–0,09	-
Čerstvý asfalt	0,04	-

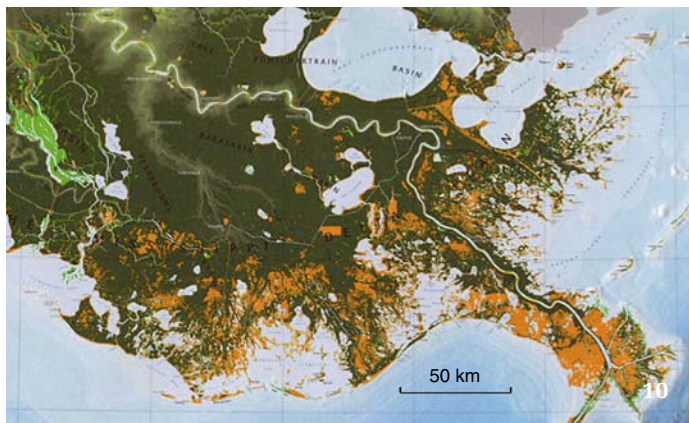


lonů (obr. 10 a 11). Slaná voda proniká do rýžových polí v Bangladéši. Lidé nejméně zodpovědní za globální změnu klimatu bývají postiženi jejími účinky nejvíce.

Přebytek vody se stal jedním z mnoha extrémních projevů globálních změn. Nodostatek vody v jiných oblastech – intenzivnější a déletrvajících sucha – je další, stále častější extrém. Kauzální souvislosti mezi globálním oteplováním a extrémními suchy jsou složité, ale jedno víme jistě: frekvence delších suchých období v mnoha oblastech stoupá a prediktivní modely ukazují, že se bude nadále zvyšovat (např. Naumann a kol. 2018). Vzrůstající frekvence a plochy požárů na západě USA jsou do značné míry výsledkem snižování zásob sněhu a dlouhých období sucha. Sezóna lesních požárů se od r. 1984 do r. 2018 prodloužila o 78 dnů a plocha spálených lesů vzrostla o 1 000 % (obr. 12). Jistě, dlouhodobá politika potlačování lesních požárů a výsledná akumulace paliva na tom mají podíl. Nejenže intenzivní (vysokoteplotní) požáry uvolňují více CO<sub>2</sub> do atmosféry, ale zanechávají často na dlouhou dobu zablokovaná keřová stadia – většinou monokultury druhů medvědice (*Arctostaphylos*) a latnatce (*Ceanothus*). Intenzivnější sucha v poslední době rovněž přispívají ke stále častějším požárům v tropických deštných lesích na Borneu, v Brazílii a jinde. Protože rostliny v těchto lesích nejsou na oheň adaptované, následky jsou daleko drastičtější. V posledních letech došlo i na Českou republiku. Řada sezon s podnormálními srážkami a nadprůměrnými teplotami měla za následek deficit půdní vláhy, usychání nebo oslabení mnoha jehličnanů hydraulickým stresem, kůrovcové kalamity a rozsáhlé nahodilé (kalamitní) těžby (obr. 14). Lze jen doufat, že monokultury smrku na nepůvodních stanovištích budou postupně nahrazeny původními listnatými stromy, odolnějšími vůči suchu. Vyšší albedo korun listnáčů je navíc z hlediska tepelné bilance jediné žádoucí.

### Ztráty biodiverzity

Co znamená globální oteplování a související změny klimatu pro biodiverzitu rostlin a živočichů? Jedním z možných přístupů je modelovat očekávané proporce druhů, jejichž chráněná území pro ně získávají, nebo ztrácejí klimatickou vhodnost (možnost přežívání na základě jejich současného rozšíření) za předpokladu různých klimatických scénářů (obr. 13). Je zcela logické, že se změnami prostředí se v průměru vyrovnají lépe druhy fenotypicky plastičtější a/nebo geneticky polymorfní. Takové druhy mají zpravidla větší areály a pravděpodobnost jejich přežití v měnícím se klimatu je větší (obr. 15).



**6** Antropogenní klimatické působení vlivem skleníkových plynů (+) a aerosolů (-) v r. 2005. Ostatní uvažovaná působení jsou buď relativně méně významná (např. využívání krajiny), nebo nárázová (sopečné aerosoly). Upraveno podle: J. Hansen a kol. (2011)

**7** Odchylky průměrných měsíčních globálních teplot od dlouhodobého průměru (červeně) spolu s trendem ekvivalentu CO<sub>2</sub> a reziduální přírodní variabilitou (modře). Ekvivalent CO<sub>2</sub> zahrnuje jak všechny skleníkové plyny, tak aerosoly s jejich ochlazujícím účinkem. Upraveno podle: L. D. Amador a S. Lovejoy (2019)

**8** Odchylky průměrných ročních teplot od r. 1850 a jejich projekce do r. 2100 v porovnání s průměrem let 1961–90. Upraveno podle: X. Zeng a K. Geil (2016)

**9** Vzrůst globální průměrné hladiny moře v období let 1993–2019, postupně měřené třemi způsoby. Upraveno podle: J. Hansen a kol. (2016), R. S. Nerem (2018)

**10** Americká Louisiana ztratila přes 5 000 km<sup>2</sup> mokřadů (oranžová barva) za posledních 80 let. Jedním z mnoha důvodů je stoupající hladina moře. Jen v několika místech, kde se sedimenty z řeky Mississippi dostávají k pobřeží (světle zelená barva), plocha země přibývá. Upraveno podle: United States Geological Survey

**11** Rozpadající se mokřady na pobřeží Louisiany. Snímky M. Rejmánka

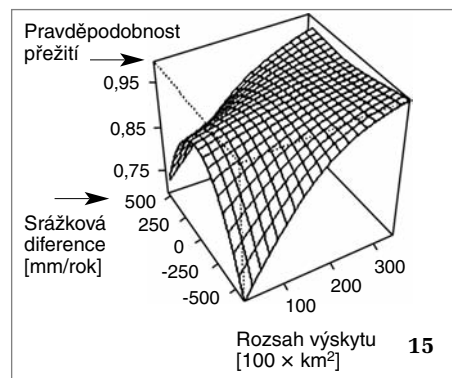
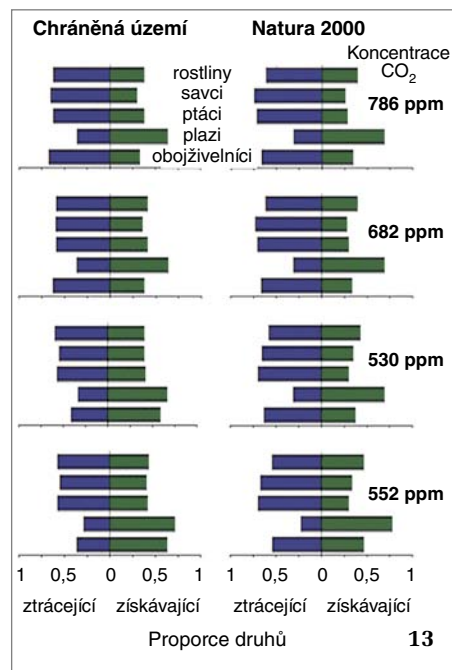
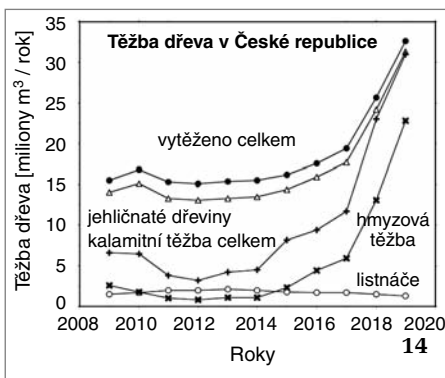
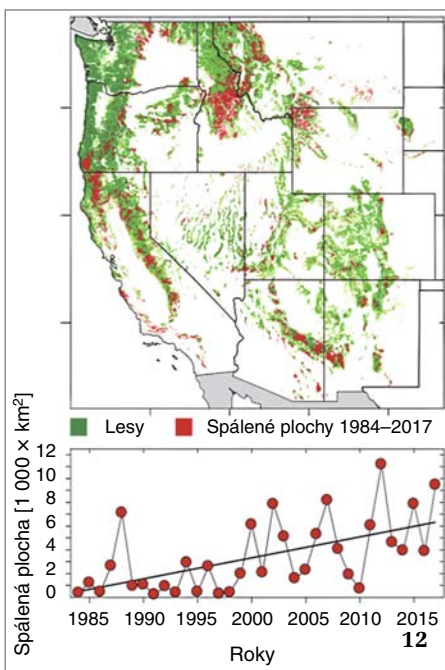
**12** Plocha spálených lesů na západě USA v letech 1984–2017. Upraveno podle: P. B. Duffy (2019)

**13** Očekávané proporce druhů získávajících (zelené sloupce) nebo ztrácejících (modré) klimatickou vhodnost (blíže v textu) v evropských chráněných územích za předpokladu čtyř klimatických situací (koncentrací CO<sub>2</sub>) v r. 2080. Upraveno podle: M. B. Araújo a kol. (2011)

**14** Celková a nahodilá (kalamitní) těžba dřeva v České republice. Orig. M. Rejmánek, podle Českého statistického úřadu – Lesnictví (2019)

**15** Přežívání 35 rostlinných druhů v botanických zahradách v závislosti na rozdílu ročních srážek mezi zahradou a původní lokalitou populace a na geografickém rozsahu výskytu ve Švýcarsku. Upraveno podle: H. Vincent a kol. (2020), viz též I. R. Staude a kol. (2020)

Globální oteplování a související klimatické změny jsou součástí mnoha jiných globálních změn prostředí (obr. 16). Vedle změny klimatu lidské aktivity zodpovídají za kyselou srážku, atmosférické hnojení du-



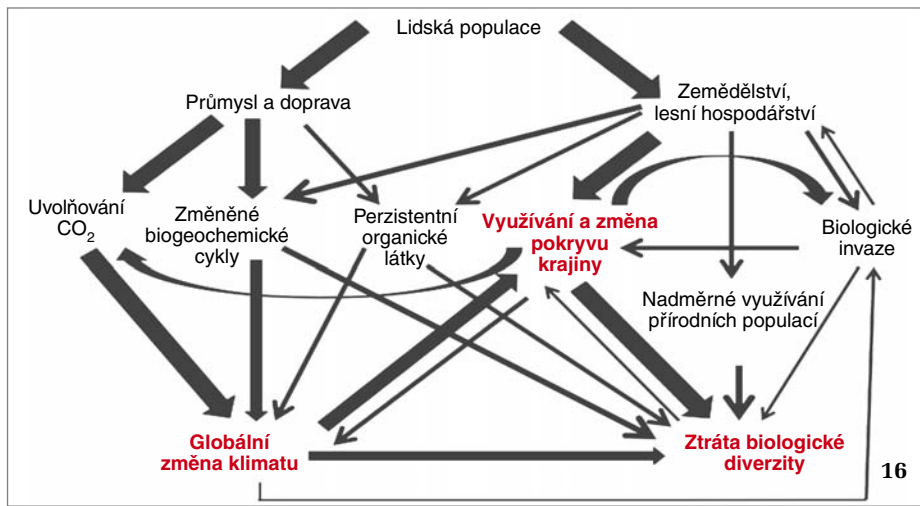
síkem, změny pokryvu krajiny (odlesňování/zalesňování, odvodňování/zavlažování, fragmentace přirozené vegetace / velké plochy polí či hospodářských lesů, paseníků, dolovny atd.), invaze škůdců, patogenů a rozsáhlé znečištění pesticidy. To je důvod, proč bývá často dokumentovaný úbytek původních druhů obtížné jednoznačně vysvětlit.

Tak např. řada studií změn flóry a entomofauny od poloviny 20. století dochází k závěru, že 15–70 % druhů dnes v listnatých temperátních lesích na srovnatelných plochách chybí (např. Homburg a kol. 2019, Prausová a kol. 2020). Navrhovaných příčin je mnoho, ale o pořadí jejich důležitosti se můžeme jen dohadovat. Existují však situace, kde známe několik málo nejdůležitějších faktorů mimo veškerou pochybnost:

např. stoupající teplota a klesající pH vody v oceánech (odumírání a kompletní destrukce korálových útesů), extrémní sucha a exploze populací kůrovců (odumírání jehličnanů v Evropě a na západě USA), bakteriální infekce umocněné mimořádně vysokou teplotou a vlhkostí (mortalita kriticky ohrožené antilopy sajgy – *Saiga tatarica*, v Kazachstánu).

Současné odhady rizika vyhynutí biologických druhů se značně liší v závislosti na specifických předpokladech a geografickém či taxonomickém zaměření jednotlivých studií. O syntézu všech dostupných dat se v r. 2015 pokusil Mark Urban – globální oteplování podle něj ohrozí existenci až šestiny všech druhů na Zemi, pokud bude současný trend pokračovat. Prof. Rachel Warrenová a její spolupracovníci





(2018) došli k neméně alarmujícímu výsledku. Při zvýšení průměrné teploty o 1,5 °C můžeme očekávat více než 50% ztrátu plochy areálu pro 6 % druhů hmyzu, 8 % rostlin a 4 % obratlovců. V případě zvýšení na 3,2 °C to ale pravděpodobně bude 49, 44 a 26 %. Analýza příčin lokálního vyhynutí přes 230 druhů rostlin a živočichů ukázala, že vzrůst extrémně vysokých ročních teplot hrál rozhodující roli – změny průměrných ročních teplot v místech lokálních vyhynutí však byly menší než v místech, kde druhy přežily (Román-Palacios a Wiens 2020). Jak nás už dávno učil prof. Emil Hadač, rostliny a živočichové žijí v „průměrném prostředí“, ale přežívají (nebo nepřežívají) extrémy. V citované práci autoři predikují, že 78–86 % ze studovaných 538 druhů rostlin a živočichů lokálně vyhyne v r. 2070, pokud zůstanou na svých současných lokalitách. Migrace a adaptace mohou vyhynutí snížit na 35–42 %. Co ale očekávat, když některé druhy nemají kam migrovat? Vrcholky pohorí mohou být jejich nejzazší hranicí (např. Freeman a kol. 2018).

V této souvislosti se dostávají do popředí zájmu ochranářů asistované migrace nebo relokace druhů (např. Schwartz a kol. 2012). Myšlenka asistovaných migrací činí některé invazní biologie nervózními. Jistě, přemísťování ohrožených predátorů a herbivorů může způsobit značné škody. Obávám se ale, že v řadě případů bude jedinou možností, jak zachránit vzácné, svou podstatou vesměs neinvazní druhy rostlin. Mnohé jsou na cestě k vymření kvůli změně klimatu, které jsme zavínili. Není naší povinností o ně pečovat?

### Jak napravit změny klimatu?

Vraťme se znovu na počátek (obr. 3–6). Je zcela zřejmé, že omezení produkce CO<sub>2</sub> a ostatních antropogenních skleníkových plynů zůstává nesporným imperativem. Zbývá ještě něco dalšího, co by mohlo pomoci? Vzhledem k tomu, že rostliny, jak již zdůraznil také Arrhenius, absorbují CO<sub>2</sub> a že největšími rostlinami jsou stromy, za lesňování odlesněných nebo nikdy stromy nezarostlých území se nabízí jako pomocné řešení. V této souvislosti se často hovoří o „negativních emisích“. Z toho, co dnes víme, je nesporné, že mýcení tropických lesů je třeba zastavit, nebo alespoň zpomalit a odlesněné plochy zalesnit domácími dřevinami. Nejen, že samotný proces

16 Hlavní komponenty globálních změn prostředí na Zemi a jejich kauzální souvislosti. Orig. P. M. Vitousek a M. Rejmánek

odlesňování přispívá k produkci CO<sub>2</sub>, ale zejména tropické deštné lesy se podílejí na lokálním i globálním ochlazení (Cohn a kol. 2019, McAlpine a kol. 2018). Způsobuje to transpirace stromů a tvorba oblaků s jejich vysokým albedem. Poněkud jiná může být ale situace v temperátních a boreálních oblastech. Při podrobnějším studiu obr. 4 nás může překvapit, že „využívání krajiny“ je kalkulováno jako mírně vzrůstající negativní radiační působení – tedy přispívající k ochlazení. Změna radiačního působení způsobená změnami krajiny během industriální éry (1750–2011) byla vypočtena jako negativní o hodnotě -0,15 (± 0,1) W.m<sup>-2</sup> (Stocker a kol. 2013). Může se to zdát kontraintuitivní natolik, že někteří autoři předpokládají opačný trend. Hlavním faktorem je vzrůst albeda, a tedy zvýšené množství odraženého krátkovlnného slunečního záření odlesněnými plochami, zejména po jehličnatých lesích. V zimním období ještě přistupuje skutečnost, že vysoké albedo sněhu není pod korunami jehličnanů plně reflektivně účinné. Lesy mají obvykle menší albedo než otevřená pole – očenstva, např. stepi, pastviny a mokřady (tab. 1). Nejnižší albedo vykazují celosvětově neopadavé jehličnaté lesy (Alibakhshi a kol. 2020). Nižší albedo lesů je jedním z důvodů, proč se recentní nadšení ze zalesňovacích projektů v mimotropických oblastech neseťká s bezvýhradnou podporou ekologů a klimatologů (např. Popkin 2019, Manning 2020). K zalesňování se často používají rychle rostoucí druhy stromů, které jsou však krátkověké a dochází jen ke krátkodobé sekvestraci uhlíku. V aridních a semiaridních oblastech (např. fynbos v Jihoafrické republice) se mohou vysázené, často exotické dřeviny spontánně šířit a narušit vodní bilanci krajiny. Znamená to, že výběr druhů a vhodných stanovišť pro zalesňování je třeba předem pečlivě uvážit.

Zalesňování, stejně jako navrhované klimatické inženýrství (např. vstříkávání reflexních aerosolů do stratosféry nebo hnojení oceánů železem) by v žádném případě nemělo sloužit jako odmluva za spalování fosilních paliv a produkci skleníko-

vých plynů. Lze jen doufat, že Spojené státy americké se v příštím roce opět přidají k Pařížské dohodě o změně klimatu a racionální, nesobecký přístup k přírodě se stane všeobecně uznávanou nezbytností. Dosavadní přístup (business-as-usual) je dlouhodobě neudržitelný. Společné úsilí by mělo směřovat k udržení nárůstu průměrné globální teploty výrazně pod hranicí 2 °C oproti hodnotám před průmyslovou revolucí a ke snaze, aby nárůst teploty nepřekročil 1,5 °C. Znamená to snížení produkce skleníkových plynů nejméně o 40 % ve srovnání s r. 1990. Nebude to snadné. Emise CO<sub>2</sub> stále vzrůstají. Během nejradiálnějšiho omezení průmyslu a dopravy kvůli šíření onemocnění covid-19 v dubnu letošního roku se celosvětové emise CO<sub>2</sub> snížily jen o 11–25 % (Le Quéré a kol. 2020).

### Ekologie naší planety z nás všech činí hříšníky

Ve chvíli, kdy dopisuji tento článek, hoří v kalifornských lesích a chaparralu přes 400 ohňů, zapálených většinou blesky během suchých bouřek. Roušky už neslouží jen k ochraně před virovou nákazou, ale také proti kouři. V národním parku Údolí smrti (Death Valley) byla neobvykle vysoká teplota naměřena před týdnem, 16. srpna 2020 – podle předběžných zpráv 54,4 °C, možná světový rekord. Letos byla zaznamenána rekordní teplota i za polárním kruhem v ruském Verhojansku – 38,0 °C. Tropické cyklony nad Atlantským oceánem se stávají intenzivnějšími. Takových jednotlivostí zažíváme mnoho a většinu z nich nelze přičíst jednoznačně výše diskutované energetické nerovnováze Země. Ve svém souhrnu a s elementární znalostí recentního vývoje naší atmosféry však nedávají důvod ke klidu. Největší obavou klimatologů nejsou pozvolné změny, ale možnost bifurkací, náhlých a nezvratitelných změn klimatu (např. Kypke a kol. 2020). Pokud bude současný trend pokračovat, náhlý zvrat k horkému, předpřiocennímu podnebí je reálnou možností ke konci tohoto století.

Nemohu než citovat jednoho z poněkud méně známých filozofů konce 20. století. Myslím, že k naší současné situaci se nevyjádřil nikdo jiný lépe než Hans Jonas (1903–1993): „Kdysi to bylo náboženství, které nám říkalo, že jsme všichni hříšníci kvůli prvotnímu hříchu. Nyní je to ekologie naší planety, která z nás všech činí hříšníky kvůli nepřiměřenému využívání naší inteligence. Kdysi to bylo náboženství, které nám vyhrožovalo posledním soudem. Nyní je to naše trpící planeta, která předpovídá příchod takového dne bez jakéhokoli nebeského zásahu. Poslední zjevení k nám nepřichází z hory Sinaj, v Kázání na hoře, nebo od Buddhova fíkovníku, ale je to výkřik němých věcí samotných. Musíme se sjednotit v potlačení své vlády nad stvořením, pokud nechceme zmizet v pustině, která stvořením kdysi byla.“

*Tyto řádky byly psány se vzpomínkou na mého učitele Vojena Ložka.*

Seznam citované a další doporučené literatury k jednotlivým tematickým okruhům uvádíme na webu Živý.