

I. diel

otvorená
akadémia

otvorená
akadémia

ZMENA KLÍMY

I. diel

SLOVENSKÁ AKADÉMIA VIED



Zdroj: www.shutterstock.com

Obsah

Pavol Siman	Editoriál alebo čo by sme mali pochopiť v tejto hre?	6
Peter Báčik	V spektre klimatickej zmeny je strach oprávnený?	18
Kristína Blaženková	Prečo neveríme?	24
Pavol Kenderessy	Kolobeh uhlíka ako súčasť klimatickej zmeny	34
Aleš Kučera	Globálne otepľovanie a slnečná aktivita...	46
Pavol Nejedlík	Klimatická zmena, zodpovednosť atmosféry?	54
Tomáš Orfánus	Klimatická zmena v systéme pôda-vegetácia-atmosféra	62
Pavol Kenderessy	Vývoj krajinnej pokrývky, úloha lesov pri...	69
Ján Madarás	Vzostup morskej hladiny vplyvom klimatickej zmeny?	70
Richard Filčák	Socioekonomické perspektívy zmeny klímy a...	93
Mikuláš Huba	Čo je potrebné zmeniť v našom vzťahu ku klíme?...	100



Zdroj: www.shutterstock.com

Editoriál
alebo čo by sme mali pochopiť v tejto hre?

RNDr. Pavol Siman, PhD.
Ústav vied o Zemi SAV
geochemik, geológ; interpretátor problémov klimatickej zmeny

Zmena klímy sa stáva každodennou súčasťou a nespochybniteľnou otázkou našej existencie, hoci ju ešte stále podvedome či vedome odmietame.

Momentálne stojíme na prahu závažných zmien a krízy v životnom prostredí. Zmien prírodných – okysľovanie morí a oceánov, degradácia území, ohrozenie zdrojov pitnej vody, spotrebovanie surovinových zdrojov, znečistenie ovzdušia a strata biodiverzity v každom prostredí –, ale aj zmien nadväzujúcich – sociálnych, ekonomických –, a to v našom každodennom živote. Zastaviť katastrofické scenáre či predísť im môžeme len pri dokonalom poznaní minulosti, a hlavne realistickým hodnotením modelov budúcnosti.

S istotou však už môžeme povedať, že za ostatných 60 – 70 rokov sme spustili veľmi nebezpečnú hru s „dominovým efektom“, ktorá nám však prebieha pred očami veľmi, veľmi pomaly a relatívne.

To, že ani si neuvedomujeme alebo nevieme pochopiť vážnosť krízy poháňanej silami planéty, možno považovať za najväčšiu hrozbu, ktorej čelíme. Áno, z globálneho hľadiska a v mierke jednej generácie človeka sú zmeny pomalé, postupné, neviditeľné a väčšinou pre nás nepodstatné, ale pre našu planétu sú nepredstaviteľné a rýchle.

Možno až ďalšia generácia bude pripravená na pochopenie nových súvislostí, neprirodzeného príbehu či chaosu, ktorý sme vniesli do prirodzených procesov, aj nových možných vplyvov na to, že zaužívané postupy z minulosti nám stačiť určite nebudú. Osobne sa obávam, že na udržateľný „rozvoj“ už bude príliš neskoro a príde k zmene nezvratnej...

PLANÉTA ZEM JE NAŠA? KÚSOK Z OBJAVOV A HISTÓRIE VÝVOJA ZEME

Priame geologické záznamy uchované v mineráloch, horninách a súvrstviach či skamenených ostatkoch rastlín, živočíchov nám nielen dokumentujú všetky udalosti, ale dávajú nám aj jediný využiteľný model na pochopenie veľmi komplikovaných a komplexných systémov a funkcionalít našej planéty. Ešte stále však vieme o našej planéte, o Zemi príliš málo, stále máme čo objavovať a modelovať.

Vráťme sa však na začiatok, paradoxne, k najväčším objavom a poznaniam v geológii prišlo počas storočia hľadania fosílnych palív. Od začiatku 20. storočia sa pri hľadaní ložísk fosílnych palív rodí najvýznamnejší fenomén v tejto otázke, a to vedný odbor geofyzika, hlavne s metódami výskumu pôvodu, správania a šírenia vĺn spôsobených a vyvolaných otrasmi, zemetraseniami je to seizmológia, ktorá nám dáva prvé odpovede na možné zloženie jednotlivých vrstiev Zeme.

Už v roku 1909 si Andrej Mohorovičič všimol, že v hĺbke cca 40 km pod povrchom sa nápadne mení rýchlosť šírenia zemetrasných vĺn. Uvedenú plochu nespojitosti považujeme za rozhranie medzi tým, čo ako tak poznáme, a tým, čo by sme chceli poznať – kôra a plášť Zeme, respektíve pevná časť litosféra a časť, ktorá je čiastočne plastická, astenosféra. Medzitým v roku 1906 zistil iný vedec Richard D. Oldham, že hlboko vo vnútri Zeme je zóna, ktorá sa správa ako kvapalina. Tento objav potvrdil v roku 1914 Beno Guttenberg a hranicu medzi plášťom a jadrom Zeme určil v hĺbke 2 900 km. Ďalšími štúdiami sa iba potvrdilo, že väčšina geologických javov na povrchu je odrazom dejov vo vnútri Zeme.

Až potom a práve preto tak rád môžem Zem prirovnať k veľkej šťavnatej broskyni s jadrom – so zemským jadrom, s dužinou, čiže plášťom, a tenkou šupkou, čo je v podstate naša zemská kôra, alebo nám pani profesorka Jackie Caplan-Auerbach môže poskladať uteráky a vysvetliť, ako je vlastne tá naša planéta zložená (obr. 1).

Kráčame po horninách, ktoré vystúpili na povrch veľmi zložitými horotvornými pohybmi, no dlhodobým, najmä geofyzikálnym výskumom za pomoci matematických modelov sa už dá predpokladať, čo sa nachádza v hĺbke Zeme; na druhej strane si však musíme predstaviť, že zatiaľ vieme akoby iba „pichnúť mikrónovým hrotom špendlíka do šupky tej broskyne“, ktorá tu predstavuje zemskú kôru (najhlbší vrt dosiahol iba 12,262 km pri polomere Zeme 6 378 km), a zatiaľ nemáme žiadne vyhliadky, že by sa to zmenilo... Už sme naznačili, že hnacím motoržom geologických procesov je zemské jadro a plášť, respektíve prúdenie hmoty vo vnútri Zeme, čo je spôsobované predovšetkým vlastnými zdrojmi tepla a tepelnými zmenami, gradientmi. Planéta je poháňaná jej vnútornými silami vychádzajúcimi z interakcií jednotlivých vrstiev, čiže katastrofy, ako sú zemetrasenia, výbuchy sopiek, sú vlastne len povrchové prejavy tzv. platňovej tektoniky, čiže pohybu litosférických dosiek, veľkých cyklov Zeme, ktoré si idú svojou cestou bez zásahu človeka či organizmov. O nich si ešte povieme neskôr.

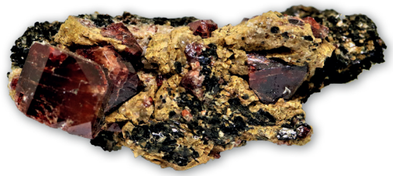
Existencia života na Zemi svedčí o tom, že jej energetická bilancia je v relatívnej rovnováhe. Viac ako 90 % povrchu Zeme má normálny tepelný tok na úrovni 60 mW/m^{-2}. Naša planéta je však na niektorých miestach až márnotratná, hýrivá. Tepelný tok na geologicky aktívnych miestach je niekoľkonásobne vyšší. Ten je znova produktom zdrojov tepla Zeme, predovšetkým prirodzenej rádioaktivity, rozpadových reakcií prvkov z minerálov a hornín.



Obr. 1:
Príklad modelu prierezu planéty Zem
Zdroj: J. Caplan-Auerbach

Inner core – vnútorné jadro;
outer core – vonkajšie jadro;
plastic mantle – plastický, tvárny, formovateľný plášť,
lithospheric (rigid) mantle – litosférický, pevný plášť;
oceanic crust – oceánska kôra,
continetal crust – kontinentálna kôra;
accretionary prism – akrečný klin – komplex nahrnutých usadenín pri kontakte litosférických dosiek.

a



b



Obr. 2:
Prírodný minerál zirkón
Zdroj: Zbierka autora

a) prírodný zirkón v granite, Pakistan,
b) prírodný drahokamový zirkón, Thajsko

VEK ZEME JE KAPITOLA SAMA OSEBE

K objavovaniu nám pomohol iný objav, a to prirodzenej a neskôr umelej rádioaktivity s následným základmi datovania Ernesta Rutheforda a Bertrama Boltwooda.

Veľmi stabilný prírodný minerál zirkón – silikát zirkónia ($ZrSiO_4$), ktorým sa mnohé slečny, dámy zdobia, či je číry, či modrozelený, alebo žltý, hnedastý, je na stanovenie veku veľmi dôležitý (obr. 2). Pretože vždy obsahuje malé množstvá rádioaktívneho uránu a tória. Ich prirodzený rozpad je možné odmerať a tak zistiť jeho vek aj vek okolitých hornín. A ak sa pýtate, tak áno, aj vaše prstene ich obsahujú, ak je ten zirkón prírodný.

Najstarší zirkón bol zistený a analyticky potvrdený v Jack Hills v Austrálii s vekom 4,4 miliardy rokov a minimálne takú starú máme stabilizovanú zemskú kôru. O metódach zisťovania by sa dala napísať aj celá samostatná kniha, ale nám nateraz postačí údaj, vek Zeme stanovený na 4,56 miliardy rokov.

ZEM Z DOSIEK ALEBO PLATNÍ?

Alfred Lothar Wegener, zakladateľ tzv. platňovej tektoniky, vyštudoval astronómiu na Humboltovej univerzite, venoval sa meteorológii a geológii. Prvý si dovolil spochybniť všetky teórie o pevnej Zemi, dovtedy statickej, v roku 1911 napísal prevratnú termodynamiku atmosféry Zeme a už v roku 1915 slávnu publikáciu Vznik kontinentov a oceánov (*Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*), no jeho teóriu vypískali a zbavili ho funkcie, aby nekazil vedeckú mládež, čo pretrvalo do konca 40. rokov minulého storočia. V roku 1929 však jeho teóriu zdokonalil Arthur Holmes a až na konci 60. rokov ju potvrdili výskumy oceánskeho dna iniciované Harrym Hessom z Princentonu.

Námorná výskumná loď Glomar Challenger od roku 1968 postupne zisťovala, ako sa oceánske dno posúva od oceánskeho chrbta a ako sa obrovské dosky pohybujú a navzájom do seba narážajú, podsúvajú sa jedna pod druhú. Dnes už nám je zrejmé, že je to vplyvom konvekčného prúdenia, ktoré vzniká pri rozdielnych teplotách vnútri Zeme a na jej povrchu.

John Tuzo Wilson, žiak Harryho Hessa, predstavil tzv. Wilsonov cyklus, ktorý je v platňovej tektonike zodpovedný za rast kontinentálnej zemskej kôry, ako ju vidíme dnes, za otváranie a zatváranie oceánov, za pohyb kontinentov v čase, za vznik pohorí, za rozmiestnenie rúd a iných minerálov v zemskej kôre. Vnútorné zloženie Zeme je omnoho hustejšie ako jej povrch – kovy sú „schované“ vo vnútri Zeme, o tom nám hovorí zase moment zotrvačnosti planéty.

O význame kovového jadra uvažujeme aj v prípade vzbudeného zemského magnetizmu ako výsledku prúdenia vodivej hmoty, hoci dipólový magnetizmus Zeme nie je dosiaľ dostatočne vysvetlený. Čo však ešte vôbec nevieme, je to, prečo dochádza k pomerne pravidelnému prepólovaniu „magnetu Zeme“. V súčasnosti svetové geofyzikálne záznamy už evidujú 140 reverzií magnetického poľa Zeme. Ich sledovaním vieme určiť rýchlosť pohybu alebo prírastku litosférických dosiek na oceánskom chrbte, čo môže byť až 10 cm za rok.

Už vieme, že Zem je dynamickým, aktívnym svetom chémie, fyziky so svojimi energetickými, termodynamickými zákonitosťami, ale aj prirodzenými, opakujúcimi sa udalosťami, cyklami. Musíme sa zamyslieť, čo robí Zem vlastne „zemou“ pre nás. Je to pestrosť, ktorá je výsledkom spolupôsobenia vnútorných geologických faktorov a vonkajších síl. Z tých vonkajších je to predovšetkým atmosféra a hydrosféra, čiže obehové cykly v jednotlivých zložkách Zeme. Je zrejmé, že atmosféra vo svojej podstate vznikla odplyňovaním Zeme, skvapalnením látok došlo k vzniku hydrosféry. Obe sú neustále vo vzájomnej interakcii s litosférou, pevným obalom Zeme. Dá sa povedať, že medzi nimi panuje určitá vyváženosť, čo sa týka prenosu hmoty a energie.

Samozrejme, aj zmena klímy v histórii vývoja Zeme dokázateľne prebehla niekoľkokrát. Predovšetkým ako dôsledok zmien celého bilančného systému sfér Zeme, ktoré zapadajú do seba ako veľké „puzzle“.

Prvotná atmosféra bola bez O_2, podiel CO_2 bol odplyňovaním planéty veľmi vysoký, viac ako 17 %, v priebehu troch miliárd rokov sa väčšina CO_2 rozpustila v oceánoch, vstúpila do chemických väzieb novovznikajúcich schránok živočíchov, hornín, a hoci to bolo ako na hojdačke, nakoniec sa ustálila na hodnote okolo 0,003 %, dnes už stúpa nad 0,041 %.

Počiatky fotosyntézy prispeli k zmenám veľmi málo, prevládalo viac-menej stále silné redukčné prostredie, aj keď prvé organizmy kyslík, O_2, už produkovali, ten bol však okamžite viazaný; až pred približne 900 mil. rokov obsah O_2 stúpol nad 0,1 % a obsah CO_2 klesol na hodnoty veľmi blízko dnešných. Aj dôležitý ozón, O_3, sa začal vyvíjať až v prvohorách, čím sa mohol život vyvíjať aj na súši... Tým sa vytvorili priaznivé podmienky pre nastupujúci rozvoj života na planéte Zem.

Máme dostatok dôkazov o tom, že klimatické zmeny sú na planétach skôr pravidlom ako výnimkou. Klíma sa dá ľahko považovať za robustný systém, ktorý sa mení len ťažko. V mnohých ohľadoch je to pravda. V minulosti sa však vyskytli jej dramatické zmeny a všetko svedčí pre to, že rovnako „náhle“ môžu nastať aj v budúcnosti. Súviseli s tektonickými procesmi, vulkanickou činnosťou, zmenami magnetického poľa, čo sú tzv. endogénne faktory. Zároveň poznáme tzv. exogénne faktory, keď napríklad po výbuchoch sopiek sa zmenil obsah látok v atmosfére, čím sa následne menil slnečný osvit, ďalej kolísali hladiny morí, menila sa teplota, slanosť morí, menili sa morské prúdy, pH vôd a mnohé ďalšie faktory.

Nesmierne dôležité je prispôsobiť klimatické modely z minulosti vývoja Zeme dnešnému skutočnému rastu objemu produkovaných skleníkových plynov, ako aj stupňu znečisťovania atmosféry, krajiny a celého životného prostredia. Dôležitou sa stáva úroveň a forma hospodárenia s krajinou, spôsob produkcie potravín a v neposlednom rade planetárna populačná krivka. V tomto prípade je potrebné určiť rýchlosť zmeny a spomenúť aj to, že klíma na našej planéte dosiahla už niekoľkokrát extrémne hodnoty. Pred stovkami miliónov rokov bola celá Zem dokonca pokrytá ľadom a snehom až do oblasti rovníka. Podľa výskumov sedimentárnych hornín pravdepodobnou príčinou bola sopečná činnosť, postupný nárast množstva aerosólov a síry v ovzduší, ktoré spôsobili zvýšený odraz svetla a v konečnom dôsledku pomerne náhle ochladenie atmosféry. Po období snehu a ľadu nastalo opätovné naštartovanie fotosyntézy predovšetkým zásluhou rias a jednoduchých rastlín, ktoré sa dokázali množiť aj pod ľadovou pokrývkou. Neskôr znova vplyvom rozsiahlej sopečnej aktivity došlo k nárastu produkcie skleníkových plynov, akými sú CO_2 alebo CH_4, a Zem pokračovala vo svojom vývoji ďalej.

V súčasnosti sme približne v šiestom období veľkých klimatických zmien. Prvé, o ktorom vieme, bolo pred 460 až 440 miliónmi rokov, čiže aj z toho vidieť, aká bola zmena „pomalá“, trvala milióny rokov. Druhé bolo pred 375 až 360 miliónmi rokov, tretie pred 250 miliónmi rokov. To bolo najciteľnejšie, najsilnejšie, z pohľadu planéty aj najrýchlejšie. Štvrté bolo pred 230 až 210 miliónmi rokov a ostatné, piate pred 66 miliónmi rokov, to už po zrážke Zeme s vesmírnym telesom.

V súvislosti so spomínanými veľkými zmenami naša planéta prešla už minimálne piatimi tzv. hromadnými vymieraniami druhov. Bohužiaľ, boli sprievodným javom zmien klímy vedúcich doslova k otrave prírodného životného prostredia v rámci celej planéty (zvyšovanie koncentrácie plynov v atmosfére, predovšetkým CO_2, uvoľňovanie metánu CH_4 aj ďalších nežiaducich plynov ako oxid siričity SO_2, amoniak NH_3, nedostatok O_2, nárast teploty oceánov, zmeny pH). Každé z nich znamenalo dôkladný „reset biomasy“, vymazanie hlavnej časti života na Zemi. V každom vyhynulo minimálne 75 %, dokonca až do 95 % všetkého živého na Zemi. Hoci zmena bola vždy pomerne náhla a organizmy sa jej nevedeli prispôsobiť, život si vždy vedel nájsť cestu, ako pokračovať ďalej, tak sa dostal napríklad z oceánov na súš, no trvalo to milióny rokov. Teraz sa to, bohužiaľ, deje až neuveriteľne rýchlo.

Bez týchto prirodzených zmien by sme tu neboli ani my ľudia. Ale zmena, na ktorej prahu stojíme, je iná, hlavne neprirodzená.

CYKLUS OXIDU UHLIČITÉHO, FOTOSYNTÉZA I DIAMANT

V neposlednom rade je potrebné v súvislosti so zmenou klímy spomenúť nielen tzv. biochemický cyklus CO_2, čiže fotosyntézu a všetko, čo s ňou súvisí. Ale nemenej zaujímavý pre nás i planétu je geochemický cyklus CO_2, napr. jeho vchádzanie do hornín a organizmov. V moriach sa väčšina schránok mäkkýšov, koralov tvorí viazaním CO_2 a v plytkých teplých moriach sa vytvárajú obrovské množstvá sedimentárnych, usadených vápenatých hornín. Pri horotvorných pohyboch sa dostávajú do veľkých hĺbok, kde sa rozkladajú, a potom nám cez vulkány, sopečnú aktivitu, sopky vychádzajú všetky plyny aj CO_2 naspäť. Jedným z konečných produktov obehu organického uhlíka je aj diamant, o čom vo vedeckom svete existuje už nemálo dôkazov (predovšetkým termodynamické a izotopické štúdie). Hovoríme o neustálom cykle, preto je pri klimatických zmenách dôležité pozerať sa na javy komplexne ako na veľmi zložitý súbor rôznych vplyvov, ak to neurobíme, nikdy nepochopíme súvislosti a nikdy nebudeme prichádzať k presným záverom.

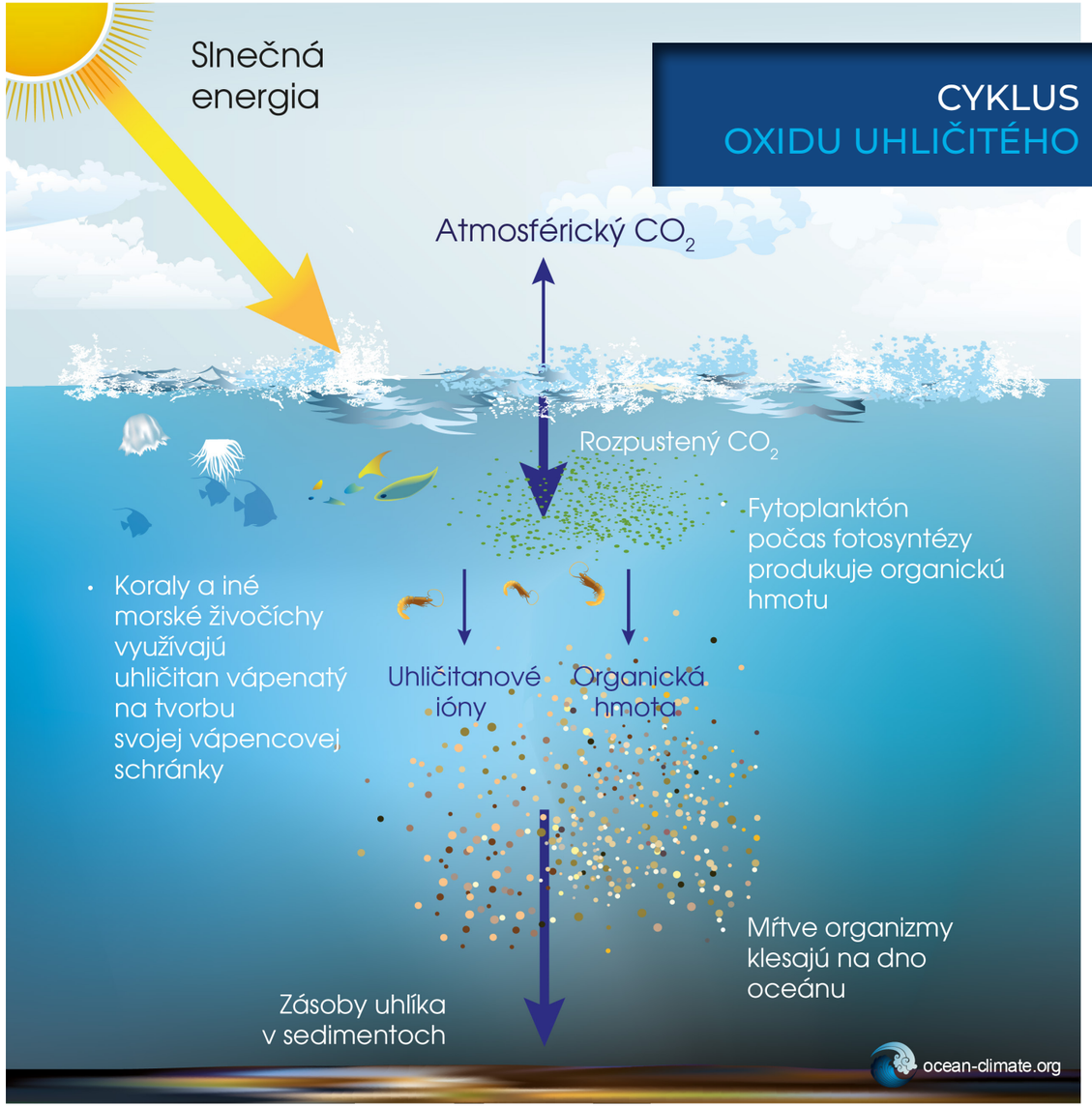
Pozorovanie a výskum udalostí z minulosti nám však umožňuje odhadnúť, čo sa môže stať, koľko škôd môže spôsobiť súčasný vývoj a podceňovanie jeho následkov.

Existuje nespočetné množstvo výskumov dokazujúcich veľmi úzky súvis súčasnej úrovne koncentrácie skleníkových plynov a ľudskej činnosti. Nástupom technológií a priemyselnej revolúcie, od začiatku globálneho spaľovania fosílnych palív v 18. a najmä v 19. storočí ich obsah neustále stúpa. Za posledných 50 – 70 rokov dosahujú už znaky exponenciálneho rastu. Observatórium Charlesa D. Keelinga na Mauna Loa (Havajské ostrovy) neustále od roku 1958 meria tzv. „dych planéty“, z meraní vyplýva, že priemerný obsah CO_2 rastie zrýchľujúcim sa tempom (tzv. Keelingova krivka). Až odvtedy sa začal vplyv CO_2 brať vážne.

Ďalším dôkazom tohto tvrdenia môže byť prítomnosť a datovanie izotopov uhlíka v atmosfére a oceánoch zavedené Hansom E. Suessom. Pokračujúce výskumy pri náraste obsahu CO_2 v dnešnej atmosfére poukazujú na relatívne stabilizovaný obsah izotopu ^{14}C, jeho život však trvá iba 5 730 rokov. Obsah rastlinami odmietaného izotopu ^{13}C je tak veľmi nízky, že nakoniec nám pomerne jasne prevláda a neustále pribúda izotop ^{12}C obsiahnutý v rastlinných tkanivách, a to aj v odumretých.

Prečo je to tak? Odpoveďou je jednoduchá otázka, čo je také staré (viac ako 5 730 rokov), že neobsahuje žiadny ^{14}C, veľmi málo ^{13}C a najviac ^{12}C?

E. Campbell,[1] publikoval v prestížnych Nature a Science pohľad na fotosyntézu súčasnosti, ktorá globálne rastie až o 30 % za posledných 200 rokov, nie však tak rýchlo, aby kompenzovala spaľovanie fosílnych palív.



1 CAMPBELL, J., BERRY, J., SEIBT, U. et al. (2017). Large historical growth in global terrestrial gross primary production. Nature 544, 84-87. https://doi.org/10.1038/nature22030

Satelitné systémy už viac ako 40 rokov monitorujú tepelné vyžarovanie Zeme a podľa frekvencií spektier merajú vplyv jednotlivých, tzv. skleníkových plynov na pohlcovanie infračerveného tepelného vyžarovania, ktoré – mimochodom – neustále klesá. Z pozorovaní je však zrejmé, že množstvo energie v atmosfére pribúda, a to sa prejavuje otepľovaním povrchu Zeme.

Pri predstave, že ľudstvo podľa dostupných údajov tvorí len 0,01 % všetkého živého na planéte, celej „biomasy Zeme“, prispeli sme veľmi výraznou mierou do rozkolísania všetkých jej podstatných premenných vrátane pretvorenia viac ako polovice jej povrchu.

Momentálne je veľmi ťažké pre vyspelé krajiny sveta uvedomiť si, že musia zmeniť štýl života jednotlivcov aj spoločnosti. Tabuľky kumulatívneho množstva vypúšťaných skleníkových plynov vedú s prevahou práve najvyspelejšie krajiny sveta. Nepoznáme a zatiaľ nikto nevymyslel takú „zázračnú“ technológiu, ktorá by vedela zachytiť našu okamžitú produkciu prebytočného tepla a skleníkových plynov, hoci pokusy robíme (napr. CCS&U – zachytávanie a ďalšie využitie CO_2).

ZELENŠIA BUDÚCNOSŤ…
AK SI NEDÁME POZOR, BUDE VÔBEC?

Bude nevyhnutné nastaviť a posilniť globálne účinnú spoluprácu vo všetkých odvetviach hospodárstva, nie je naďalej možné posudzovať životné prostredie ako samostatnú jednotku, neviazanú alebo len minimálne viazanú na ďalšie oblasti nášho života. Zároveň **zdokonaliť integráciu údajov, pracovať s veľkým množstvom dátových prvkov, monitorovať a modelovať meniacu sa situáciu.** Posilniť pochopenie, porozumenie a previazanosť liniek a hodnotení medzi nebezpečenstvom, dôsledkami a udržateľnosťou, medzi environmentálnymi, socioekonomickými a zdravotníckymi údajmi.

Pri súčasných trendoch vývoja populácie ľudstva a rastu znečistenia atmosféry alebo už celého životného cyklu a prostredia nemáme veľa východísk. Musíme viac investovať do výskumov a vývojových iniciatív, podporovať integrované, multidisciplinárne riešenia, energetické, technologické či ekonomické inovácie ruka v ruke s benefitmi pre životné prostredie.

V skutočnosti však potrebujeme radikálnu zmenu globálneho premýšľania. Vyriešených máme máličko vecí. V roku 2018 dostali Nobelovu cenu za ekonomiku P. Romer a W. Nordhaus,[2] ktorí niekoľko rokov hovoria aj o investíciách predovšetkým do prírodovedného rozmýšľania ľudí. Upozorňovali na potrebu naštartovať novú technologickú ekonomiku ruka v ruke s ochranou životného prostredia. Potrebné budú obrovské investície do prírodovedného a racionálneho vzdelávania obyvateľstva aktívne prepojeného na problematiku životného prostredia. Znižovanie emisií vypúšťaných do atmosféry by sa pri súčasných modeloch hospodárstva okamžite prejavilo na zabrzdení ekonomického rastu, ľudstvo by sa malo globálne ekonomicky horšie. Inovatívne myšlienky pretavené do praxe potom môžu priniesť reštart ekonomiky, pretože budeme musieť investovať do ochrany pred očakávanými prírodnými javmi, ktoré už teraz prinášajú čoraz viac katastrofických dôsledkov pre spoločnosť vrátane nižšej úrody, produkcie potravín, zabezpečenia výživy a ohrozenia zdravia obyvateľstva tam, kde to považujeme za samozrejmosť.

2 A 2018 economics Nobel winner created an invaluable tool for understanding climate change. Umair Irfan, VOX (2018).

Dnes už vnímame, že nebude tak dôležitý ekonomický rast, ale vôbec udržanie prostredia, v ktorom žijeme.

Mimochodom, aj pri myšlienkach záchrany klímy máme často tendenciu zjednodušiť náš pohľad a len veľmi teoreticky si vytrhávame čiastočky zo systému, snažíme sa riešiť čiastkové problémy, čo v konečnom dôsledku môže vyznieť a, bohužiaľ, aj vyznieva úplne opačne.

Naozaj sa musíme veľmi dobre zamyslieť nad tým, či budúcnosť ľudstva bude zelenšia a akým spôsobom sa k nej postavíme, či budeme inšpirovať a presviedčať o potrebách zmien myslenia, zmien hodnotového rebríčka jednotlivcov a celé národy. Príklady môžeme nájsť ihneď pri využívaní elektrickej energie, ktorá je dnes vnímaná ako vstupná brána do zelenej budúcnosti. Iba elektrický pohon totiž môže byť pre planétu nemenej škodlivý ako súčasný uhoľný a ropný priemysel a vzniká tu problém. Pokrok a technológie určite budeme potrebovať, ale treba povedať aj to nepríjemné „B“ – dôležitá bude separácia, recyklácia, zdroje druhotných surovín, čiže nastavenie obehovej ekonomiky, hospodárenia, zavedenie prísnych pravidiel a zabezpečenia prostriedkov na návrat technologických zdrojov.

Ak sa v ostatných niekoľkých rokoch, hoci možno iba prechodne, pokúšame vyrábať luxusné elektromobily pomocou súčasného energetického mixu založeného neustále, a to hlavne v Európe, na spaľovaní fosílnych palív bez masívnych investícií do vybudovania potrebnej prevádzkovej infraštruktúry, bez výraznej diverzifikácie zdrojov, nesvedčí to o pochopení stavu klimatickej krízy a možného ohrozenia v blízkej budúcnosti.

Podľa štúdií publikovaných začiatkom roku 2020 v Science, napr. B. K. Sovacool et al.,[3] vychádzajúc z prijatých záverov pre udržateľný rast a medzinárodných dohovorov, predpokladajú zvýšenie spotreby niektorých surovinových zdrojov v období od 2015 do 2060, vhodných na výrobu batérií na zabezpečenie elektromobility až do 87 000 % (napr. kapacita batérií musí vzrásť zo súčasných necelých 0,5 GW za hodinu na min. 12 380 GW), pri materiáloch potrebných na získavanie veternej energie o 1 000 % a materiáloch potrebných na solárne články a fotovoltiku min. o 3 000 %. Problematickými

3 SOVACOOL, B. K., et al. (2020). Sustainable minerals and metals for a low-carbon future. Science 367 (6473), 30-33. DOI: 10.1126/science.aaz6003

sa javia hlavne zdroje prvkov vzácnych zemín, Li, Co, Ni, Va, In alebo minerály Ta, Nb – kolumbit, tantalit (COLTAN) (obr. 3.).



Obr. 3:
Súčasná ťažba Coltanu v DRC – Konžskej demokratickej republike
Zdroj: Eric Feferberg/ AFP/Global Witness

Hovoríme o udržateľných zdrojoch pre nové technológie, o materiáloch na nové typy batérií, energetických technológií a úložísk energie.

Problémom je, že ak nebudeme naozaj rozumní, neuvážená ťažba nových surovín povedie k ešte horším dôsledkom, aké sme dosiahli nekontrolovateľným využívaním fosílnych palív. Nie je možné pripustiť, aby sme si planétu zdevastovali a vyplienili ešte viac bez náhrady a možného návratu späť.

Pre nás je dôležité si uvedomiť, že planéta Zem nie je len naša. Dá sa povedať, že sme na jednej úsečke, v jednej rovnici, „rovnici života“. Človek je tu príliš krátky čas, a či tu bude aj ďalej, záleží na každom z nás, planéta ďalšiu klimatickú zmenu určite prežije...

Dovolím si použiť jeden z moderných výrazov – príroda a snaha o zachovanie prírodného, prirodzene sa vyvíjajúceho prostredia by sa mali stať „mainstreamom“ v každom sektore života, ekonomiky aj hospodárstva.



Prosím, čítajte v tomto príbehu Zeme ďalej, dozviete sa viac aj o úlohe Slnka, o kolobehu uhlíka, o význame vody, o správaní a reakcii oceánov, vegetácie, lesa, ale aj o tom, prečo neveríme...

Na otázku prežitia a možností človeka môže dať spoľahlivú odpoveď iba správanie človeka! Zmeny myslenia, hodnôt a vnímania ekonomickej stability. Chýba nám priorizácia hodnôt života.

V spektre klimatickej zmeny je strach oprávnený?

doc. Mgr. Peter Bačík, PhD.
Ústav vied o Zemi SAV
mineralóg

Je to s našou planétou naozaj také zlé, ako sa hovorí? Máme naozaj len tak málo času? Pomôžeme si citátom z Pána prsteňov (J. R. R. Tolkien). Jeho knižným pôvodcom je budúci kráľ Aragorn, ktorý sa vydeseného hobita Froda spýtal, či sa Saurona nebojí. Frodo odpovedal, že áno, na čo Aragorn kontroval: Nie dosť! Dá sa to aplikovať aj na túto situáciu – vedci síce strašia, ale nie dosť?

ČO JE TEPLO A TEPLOTA?

Teplo a teplota patria k tým pojmom, ktoré bežne používame, ale v skutočnosti sú oveľa abstraktnejšie, ako si myslíme. Podľa definície je teplo vnútorná energia, ktorú teleso prijme alebo odovzdá pri tepelnej výmene inému telesu. Veď aj hovoríme, že pri peci je nám teplo, takže oheň nám teplo odovzdáva. Čo je v skutočnosti to, čo nám pec odovzdáva? Prečo nám teplo odovzdáva pec a nie naopak? Na odpoveď na prvú otázku si ešte počkáme, na druhú je odpoveď to, že pec má vyššiu teplotu. A čo je teplota?

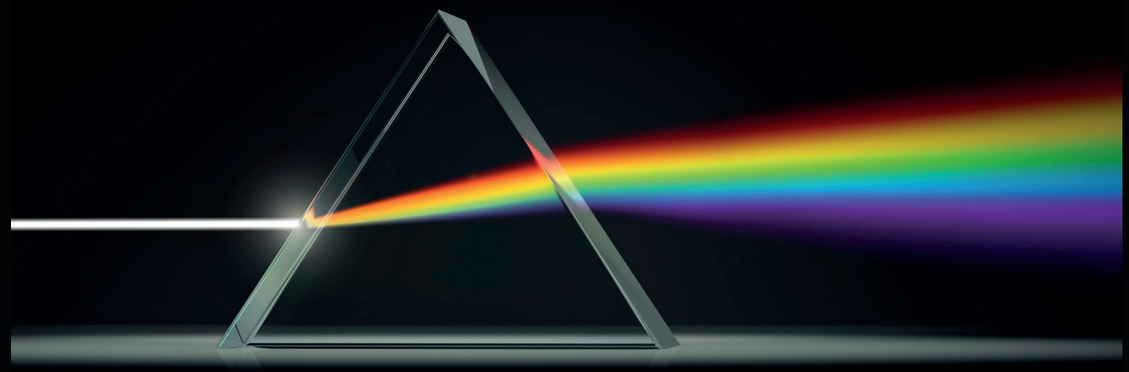
Teplota je podľa definície stavová veličina opisujúca strednú kinetickú energiu častíc. Čo to znamená? To vieme vďaka Viedenčanovi Ludwigovi Boltzmannovi. Ten si na vysvetlenie tepelných javov dobre známych z parných turbín pomohol pradávnou predstavou o atómoch. Atómy sa podľa neho mali hýbať rôznymi smermi a rýchlosťami. Vyššia rýchlosť pohybu atómov sa však neprejavovala ako rýchlejší pohyb predmetu, keďže atómy sú príliš malé. Rovnako malé sú aj dráhy ich samostatných pohybov a navyše ich pohyb je chaotický. Keď spočítame všetky pohyby atómov dokopy, dostaneme v prípade nepohybujúceho sa predmetu nulu. Pohyb atómov však predsa len nejaký prejav má. Je ním to, čo nazývame teplota – čím rýchlejšie sa častice pohybujú, tým je predmet teplejší. Platí to aj naopak, aj keď tam máme spodné obmedzenie, nič nemôže byť studenšie ako –273,15 °C. Dokonca podľa toho, čo vieme, nič nemôže mať ani teplotu –273,15 °C, tá je nedosiahnuteľná, ale to je iný príbeh.

Svojou predstavou Boltzmann vysvetlil súčasne teplotu, ale aj teplo. Niečo také abstraktné ako vnútorná energia vysvetlil niečím takým bežným, že sa s tým stretávame dennodenne – kinetickou energiou. Presun vnútornej energie telesa je vlastne presun kinetickej energie jeho častíc. Vďaka tomu dokážeme vysvetliť, prečo studenšie teleso neohreje teplejšie. Niečo pomalšie nemôže zrýchliť niečo rýchlejšie. Dôležité je však uvedomiť si, že rovnako, ako je chaotický pohyb jednotlivých častíc, je chaotické aj teplo. Je to fyzikálne nevyužiteľný typ energie, neprenáša žiadnu informáciu, len ohrieva. Paradoxne však toto pomerne primitívne ohrievanie dokážeme už oddávna veľmi prakticky využiť.

Ak už rozumieme teplote a teplu, mohli by sme pochopiť aj to, prečo je CO_2 skleníkový plyn.

NEVIDITEĽNÉ, A PREDSA HORÚCE

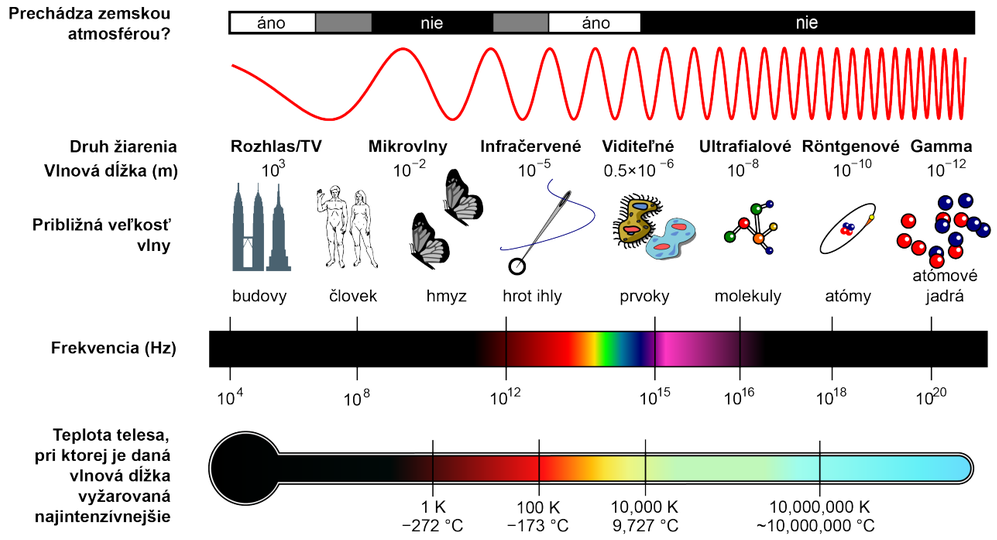
V roku 1800 anglický astronóm William Herschel, objaviteľ Jurajovej hviezdy, ktorú dnes poznáme ako planétu Urán, spravil nečakaný objav. Ako hrdý nasledovník veľkého Isaaca Newtona robil pokusy so slnečným svetlom a optickým hranolom. Vďaka Newtonovi sme vedeli, že biele slnečné svetlo je zložené z rôznych farebných zložiek, ktoré nazývame spektrum. Herschel prišiel pri pokusoch s farebnými filtrami na to, že červené svetlo produkuje veľa tepla. Preto sa rozhodol otestovať teplotu svetla všetkých farieb v spektre teplomerom. Na tienidlo vedľa spektra položil ďalší teplomer, ktorý mal merať teplotu miestnosti a slúžiť na porovnanie. S prekvapením zistil, že tam, kde nedopadalo žiadne viditeľné svetlo, nameral najvyššiu teplotu. Logicky teda odvodil, že tam dopadá nejaké neviditeľné žiarenie zo Slnka, ktoré, keďže je akoby pod viditeľným červeným svetlom, nazývame infračervené žiarenie. Herschel okrem iného dokázal, že vo svete je toho oveľa viac, ako vidia naše oči.



Zdroj: www.gettyimages.com

Prečo je infračervené žiarenie také horúce?

Je to paradoxné, pretože Planckova rovnica nám hovorí, že napríklad viditeľné svetlo alebo neviditeľné ultrafialové svetlo má vyššiu energiu ako infračervené. Vysvetlenie sa skrýva priamo v definícii tepla a teploty. Teplo je len jednou z foriem energie, niečo, čo má vysokú energiu, nemusí byť aj horúce. Napríklad keď ste v balóne vysoko v oblakoch, máte ohromnú potenciálnu energiu v gravitačnom poli dostatočnú na to, aby z vás pád spravil placku, ale nie ste o nič teplejší ako dolu na pevnej zemi. Práve naopak, ak sa dobre neoblečiete, budete drkotať zubami. Teplo súvisí s veľmi špecifickou formou energie – kinetickou energiou častíc hmoty. Keďže teplota je daná ich pohybom, dopadajúce žiarenie musí mať dostatočnú energiu na to, aby rozhýbalo častice, ale nie príliš veľkú, pretože vtedy sa nám častice rovno rozutekajú, hovoríme tomu ionizujú sa. Keď nám dopadne na kožu ultrafialové žiarenie, môže spôsobiť to, že atómy v našich bunkách stratia elektróny, čo môže viesť k nepríjemným dôsledkom ako spálenie kože, ale jeho energia je priveľká na to, aby ju tie častice vedeli zmeniť na pokojné kmitanie vnímané ako teplo. Preto svetlo, ktoré sa najviac približuje ultrafialovému – fialové a modré, voláme „studené“, hoci má vyššiu energiu ako „teplé“ červené. A práve takú energiu, ktorá je ideálna na povzbudenie kmitania atómov na mieste, má infračervené svetlo, resp. žiarenie.



Zdroj: https://commons.wikimedia.org

Vďaka infračervenému žiareniu je naša Zem planéta dostatočne teplá na život. Infračervené žiarenie vysvetľuje, ako Slnko dokáže zahrievať Zem, aj keď sa jej priamo nedotýka. Vyžaruje ho všetko, čo má teplotu aspoň 10 kelvinov, teda 10 °C nad teplotou absolútnej nuly. Takže aj my ľudia sme vcelku jasne žiariace infračervené lampy. Infračervené žiarenie sa rovnako ako viditeľné svetlo dokáže prenášať aj vákuom a jeho vyžarovanie je v podstate nezastaviteľné. Preto hoci Zem prijme každý deň obrovské množstvo tepla zo Slnka, úplne rovnaké množstvo tepla každú noc vyžiari do mrazu vesmíru. To by však platilo v prípade, keby Zem nebola planétou so životom, čo si vysvetlíme ďalej.

Tu sa dostávame k podstate veci. Príroda sa krásne postarala o to, aby sa Zem aj s nami neuvarila. Presnejšie, aby nás neuvarila. Teplotná rovnováha sa zachováva prijímaním a vyžarovaním tepla v podobe infračerveného žiarenia. Teda zachovávala by sa, keby...

SKLENÍKOVÁ ATMOSFÉRA

Teplotná rovnováha sa zachováva ako peniaze na účte. Bežný človek dostane výplatu, ktorú za mesiac minie, a je zas na nule. Na lokálnej nule. Tá však nemusí byť nulou totálnou, môžete si založiť aj sporenie, míňať len zvyšok výplaty a vtedy sa vaša lokálna nula síce zachováva, ale váš celkový majetok rastie. Môžete však aj zle investovať a váš majetok bude menší.

Tak je to aj s teplotou planéty. Výplata nechodí mesačne, ale každý deň. A míňanie sa deje v noci. Sporenie vykonávajú hlavne rastliny, ktoré dokážu časť svetla premeniť na chemickú energiu prostredníctvom chlorofylu. Podstatné však je to, že tá chemická energia uskladnená vo väzbách sa môže meniť okrem iných aj na tepelnú. Nazýva sa to metabolizmus a robí to každý živý tvor na Zemi. Ešte stále by to nebolo také zlé, pretože, ako sme si už povedali, aj živé tvory vyžarujú infračerveno, takže nakoniec všetko vrátime vesmíru.

Je to tak naozaj? Najväčším problémom je, že nie. Časť toho tepla zo Slnka ostane doslova pochovaná na Zemi, presnejšie pod zemou v podobe fosílnych palív. A je tam už dávne roky. Fosílne palivá obsahujú zo všetkého najviac uhlík – životodarný prvok. Problémom je, že uhlík rád vytvára molekuly a jednou z tých najobľúbenejších je oxid uhličitý. Pokiaľ je uhlík pod zemou, je tam buď v molekulách najmä s vodíkom (zemný plyn, ropa), alebo pomerne čistý (uhlie). Ak ho vyťažíme a spálime, vytvorí molekuly CO_2.

SKLENÍKOVÝ PLYN

Aký je vzťah medzi oxidom uhličitým a teplom? Prečo je tento plyn skleníkový? V našom príbehu, tak ako v Pánovi prsteňov sa všetko nakoniec spojí. Povedali sme si, ako súvisí teplo s infračerveným žiarením. Už si len musíme povedať, ako súvisí s infračerveným žiarením, a teda aj teplom CO_2.

Oxid uhličitý, podobne ako voda a metán, je molekulou, ktorá má vysokú absorpciu infračerveného žiarenia. Jednoducho povedané – pohltí ho. Čo sa stane, keď ho pohltí? Aj to už vieme – zmení ho na pohyb molekúl, v tomto prípade najmä na vibračné pohyby. Ako sme si už povedali, rýchlejší pohyb častíc sa rovná vyššej teplote. Na tomto princípe je založená mikrovlnná rúra, ktorá rozkmitá molekuly vody. Energiu navyše molekula CO_2 skôr či neskôr stratí, ale už aj to zdržanie je dostatočne závažné. Nedokážu to v infračervenej časti spektra všetky plyny, zďaleka nie tak dobre kyslík a dusík, preto je ich skleníkový efekt zanedbateľný.

Takže čím je viac CO_2 v atmosfére, tým viac tepla v nej ostáva. Presne ako v skleníku. Ak to planéta preženie, skončí ako Venuša, ktorá zachytáva obrovské percento tepla zo Slnka, také veľké, že teplota povrchu Venuše stačí na roztavenie olova. My k tomu máme ešte ďaleko, na tavenie olova potrebujeme pece, ale na veľké problémy stačí aj jeden stupeň zvýšenia. Ak máme teplotu 36,5 °C, cítime sa dobre. Ak máme 37,5 °C, už pociťujeme diskomfort v podobe zvýšenej teploty. Náš problém je v tom, že neustále dodávame do atmosféry CO_2 z uhlíka, ktorý si „na sporiaci účet“ Zem odložila pred miliónmi rokov, takže za ten čas sa vytvorila úplne iná rovnováha CO_2, a teda aj tepla v atmosfére. Toto je najzákladnejší argument o ľuďmi spôsobenej klimatickej zmene. Ak by nebola spôsobená ľuďmi, tak fyzika by musela fungovať inak, ako si myslíme.

Je tu ešte jeden problém, ktorý priviedol vedeckú komunitu k premenovaniu *globálneho otepľovania* na *klimatickú zmenu*.

Ak je v atmosfére viac tepla, znamená to viac vnútornej energie, takže je v nej aj viac kinetickej energie. Platí tu rovnaký vzťah ako s látkou a časticami. Ak má atmosféra viac tepla, všetky procesy v nej majú viac energie k dispozícii, pretože aj tie procesy tvoria atmosféru. Preto máme silnejšie búrky, väčšie horúčavy, záplavy, ale rovnako máme aj rýchle ochladenia a krutejšie zimy. Dynamickejší systém atmosféry spôsobuje zmeny teploty o 10 a viac stupňov aj v priebehu dňa. Preto okrem toho, že sa atmosféra ohrieva, aj sa rýchlejšie mení.

Náš problém je v tom, že neustále dodávame do atmosféry CO_2 z uhlíka, ktorý si „na sporiaci účet“ Zem odložila pred miliónmi rokov, takže za ten čas sa vytvorila úplne iná rovnováha CO_2, a teda aj tepla v atmosfére.



Zdroj: www.shutterstock.com



Zdroj: www.shutterstock.com

Prečo neveríme?

Mgr. Kristína Blažeková, PhD.
Ústav výskumu sociálnej komunikácie SAV a Pedagogická fakulta TU
psychologička, lektorka mediálnej gramotnosti

Vedecký konsenzus je v súčasnosti taký, že klimatická zmena sa deje a je spôsobená činnosťou človeka.[1] Porozumenie tomuto konsenzu a schopnosť rozoznávať pokusy o jeho podkopávanie sú kľúčovými komponentmi (verejnej) klimatickej gramotnosti.

Napriek tomu, že väčšina Európanov je presvedčená, že svetová klíma sa mení a že táto zmena je z určitej časti priamo zapríčinená ľudskou činnosťou, výrazné obavy z následkov klimatických zmien má približne len jedna tretina z nich.[2]

Okrem toho existuje i skupina ľudí, ktorá klimatickú zmenu popiera úplne/neverí jej vôbec. To nasvedčuje tomu, že napriek dostupným vedeckým poznatkom a dnes už i badateľným zmenám klímy máme problém na aktuálnu situáciu reagovať, prípadne i veriť v jej existenciu.

Stručné vysvetlenie pojmov:

- **Vedecký konsenzus** je zhoda záverov/názorov/dôkazov významnej väčšiny vedcov či odborníkov pôsobiacich v danej alebo príbuznej oblasti
- **Vedecká gramotnosť** je schopnosť chápať a hodnotiť výsledky vedeckej práce, porozumenie princípom fungovania vedy
- **Klimatická gramotnosť** je porozumenie vplyvu človeka na klímu a naopak. Zahŕňa pochopenie základných princípov klimatického systému, schopnosť posudzovať dôveryhodnosť vedeckých

1 COOK, J. (2019). Understanding and countering misinformation about climate change. In Chiluwa, I. & Samoilenko, S. (Eds.) Handbook of Research on Deception, fake news and Misinformation Online, 281-306. Hershey, PA:IGI-Global. ISBN: 9781522585350

2 PORTINGA, W., FISHER, S., BÖHM, G., STEG, L., WHITHMARSH, L., OGUNBODE, CH. (2017). Postoj Európanov ku klimatickým zmenám a zdrojom energie: Výsledky Topline z ôsmeho kola Európskej sociálnej sondy. https://www.europeansocialsurvey.org/docs/findings/TL9_Climate-Change-Slovak.pdf

poznatkov o klíme, schopnosť zmysluplne o danej téme komunikovať, schopnosť robiť informované a zodpovedné rozhodnutia, ktoré môžu klímu pozitívne ovplyvniť.[3]

ABSENCIA SKÚSENOSTI

Pamätáte si, ako nám rodičia v čase nášho detstva hovorili, že je nebezpečné dotýkať sa horúcej žehličky či sporáka, lebo sa popálime? A ako to mnohí z nás zo zvedavosti vyskúšali a veľmi rýchlo zistili, že rodičia mali pravdu?

Prečo to takto nefunguje aj vtedy, keď nám vedecké autority hovoria o nebezpečenstvách klimatickej zmeny? Nuž, jednoducho preto, že klimatickú zmenu nevieme „ohmatať“. Nevieme natiahnuť ruku a presvedčiť sa o tom na vlastnej koži. Chýba nám priama skúsenosť, že to tak je. Klimatická zmena je dlhodobý a globálny proces, to povestné „popálenie“ neprichádza hneď a niektoré zmeny nevidíme priamo v našom okolí. To je pravdepodobne jeden z dôvodov, prečo môžeme mať ťažkosti uveriť tomu, že ku klimatickým zmenám vôbec dochádza.

DÔLEŽITOSŤ PROBLÉMU

Spomedzi rôznych problémov, ktoré počas života riešime, nemusí byť klimatická zmena práve tým, ktorý máme na svojom pomyslenom rebríčku na najvyšších priečkach. O niektoré témy sa skrátka nezaujímame (niektorí ľudia sa vôbec nezaujímajú o politiku, módu, šport, knihy či práve stav klímy). Možno sme niekedy nedostatočne informovaní či vzdelávaní v danej oblasti, preto ju logicky ani nemôžeme kompetentne riešiť. Alebo skrátka máme iné problémy, ktoré sú pre nás dôležitejšie. Ak napríklad dlhodobo v živote riešime vážne osobné alebo finančné problémy, iba ťažko sa dá očakávať, že sa budeme zaujímať o to, čo sa deje s našou planétou.

KOMU MÔŽEME VERIŤ?

Informácie môžeme čerpať aj z iných zdrojov než z vedeckých štúdií o klíme. Napríklad môžeme namiesto vedcov za autority považovať obľúbené osobnosti z politiky, športu či šoubiznisu. Ak sa k danej problematike nevyjadrujú alebo ju popierajú, môžeme preberať ich názory. Na druhej strane, mnohí aktivisti, ktorí na klimatické zmeny v súčasnosti poukazujú (napr. v spoločnosti kontroverzne vnímaná Greta Thunberg), patria k mladším generáciám, preto máme tendenciu spochybňovať, či dokonca úplne odmietať ich názory pre nízky vek alebo nedostatok skúseností.

3 United States Global Research Programme. (2009). Climate Literacy: The Essential Principles of Climate Science. A Guide for Individuals and Communities. https://downloads.globalchange.gov/Literacy/climate_literacy_lowres_english.pdf

PREČO NEVERÍME SEBE?

Prieskumy nám hovoria,[4] že na to, aby sme niečo pre riešenie klimatickej krízy robili, musíme cítiť osobnú **zodpovednosť**, byť presvedčení, že so situáciou dokážeme niečo urobiť, mať **kompetencie** a že sa podľa toho aj dokážeme **správať**. Zhoda v týchto troch zložkách je však zriedkavá. Existuje iba málo ľudí, ktorí majú silný zmysel pre osobnú zodpovednosť, sú presvedčení o tom, že by napríklad mali spotrebúvať menej energie a to by pravdepodobne pomohlo spomaliť zmeny. Odborníci tiež poukazujú na to, že ľudia, ktorí súhlasia s názorom, že človek je spolutvorcom klimatickej zmeny a zároveň sú ochotní prispieť svojím konaním k náprave, sa najviac obávajú, že podniknuté opatrenia budú pre nich finančne náročné.



PREČO VŠAK NIEKTORÍ ĽUDIA MÔŽU ODMIETAŤ VPLYV ČLOVEKA NA KLÍMU ČI PODNIKAŤ KROKY K MOŽNEJ NÁPRAVE?

PRETOŽE MÁME POCIT, ŽE SA NÁS TO NETÝKA

Často sa môžeme stretnúť s názorom, že za súčasnú situáciu sú zodpovedné autority (napr. politici) alebo tzv. „veľkí hráči“ (koncerny produkujúce emisie a odpad, veľké krajiny s bohato rozvinutým priemyslom) a teda aj váha zodpovednosti za riešenie leží na ich pleciach.

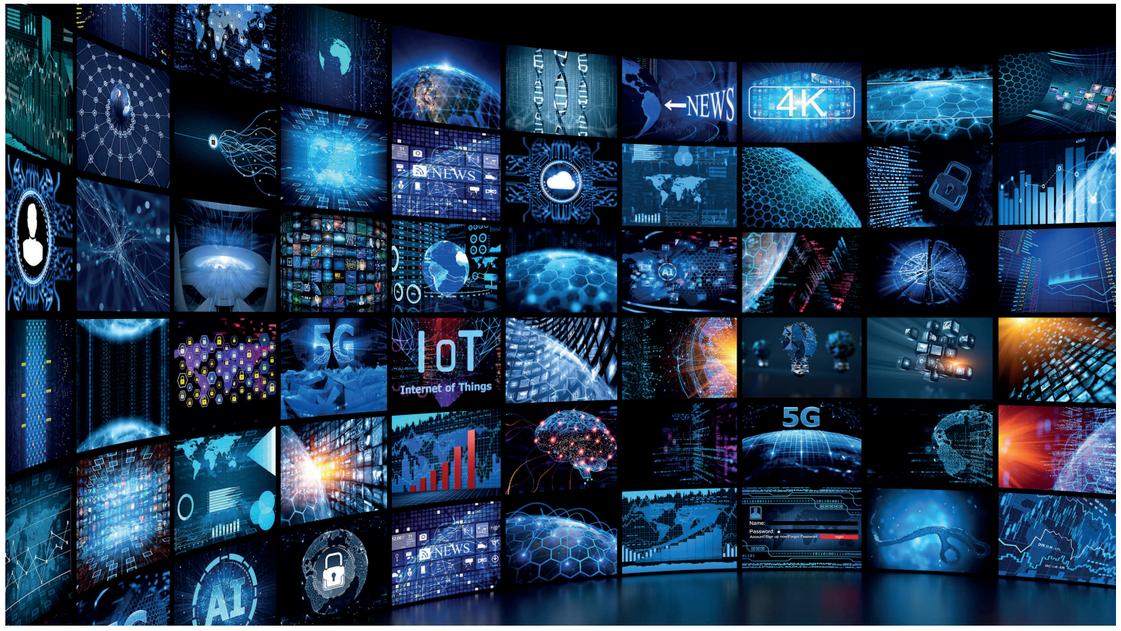
POHODLNOSŤ

Pripustiť, že klimatická zmena sa deje a že na nej má človek významný podiel, znamená pristúpiť k určitým opatreniam, ktoré môžu byť pre nás obmedzujúce. Môžu znižovať naše pohodlie (redukcia odpadu, zodpovednejší výber potravín/tovarov a obmedzenie ich spotreby) alebo môžu byť viac či menej finančne náročné (nákup lokálnych a sezónnych potravín, udržateľnej módy, investícia do zelenej energie a ekologickejšej dopravy). Človek má tendenciu vyberať si najjednoduchšie riešenia,

4 PORTINGA, W., FISHER, S., BÖHM, G., STEG, L., WHITHMARSH, L., OGUNBODE, CH. (2017). Postoj Európanov ku klimatickým zmenám a zdrojom energie: Výsledky Topline z ôsmeho kola Európskej sociálnej sondy. https://www.europeansocialsurvey.org/docs/findings/TL9_Climate-Change-Slovak.pdf

a preto napríklad už len merať dlhšiu cestu do bezobalového obchodu, odniesť nádoby do obchodu, mať doma ďalšiu nádobu na separáciu odpadu alebo stále rozmýšľať nad tým, či máme pri sebe nákupnú tašku, aby sme si nemuseli v obchode kúpiť ďalšiu plastovú, môže byť pre nás zaťažujúce a volíme preto pohodlnejšie a rýchlejšie riešenia.

Popri týchto spomínaných faktoroch však existuje aj niečo iné, čo ovplyvňuje naše názory a presvedčenia o súčasnej klimatickej situácii.



Zdroj: www.istockphoto.com

DEZINFORMÁCIE A KLIMATICKÁ ZMENA

Môžeme povedať, že dezinformácie sú akousi samostatnou kategóriou, ktorá významne ovplyvňuje pohľad ľudí na mnohé skutočnosti. To, ako si tvoríme názory na javy okolo nás, je, či už chceme alebo nie, do významnej miery ovplyvnené médiami a preto si dezinformačné správy, ktoré sa v nich nezriedka vyskytujú, zaslúžia našu pozornosť. V našej spoločnosti nie je ich šírenie ani zďaleka novým

fenoménom, s príchodom internetu a najmä potom sociálnych médií však získali novú platformu, ktorá napomáha ich rýchlejšiemu šíreniu.

Veľké zmeny sú v spoločnosti od nepamäti sprevádzané dezinformáciami o nich a klimatická zmena nepochybne medzi takéto zmeny patrí. Tieto zmeny bývajú často sprevádzané strachom, pocitmi neistoty a straty kontroly nad situáciou.[5] Prirodzenou reakciou človeka na tieto pocity je snaha nachádzať vysvetlenia, čo mu dodáva pocit kontroly. To, že situácia má reálnu príčinu, nám umožňuje predvídať jej ďalší priebeh a prípadne i zvrátiť jej následky.

Rôzne dezinformácie, falošné správy či konšpiračné teórie takéto jednoduché a ľahko zrozumiteľné vysvetlenia poskytujú, preto nie je náročné im podľahnúť. Dezinformácie a konšpiračné teórie nachádzajú súvislosti aj tam, kde nie sú. Ľudia, ktorí im veria, môžu byť presvedčení, že vedia viac ako ostatní, nahliadli za pomyslenú oponu toho, čo odborníci či mainstreamové médiá taja, čo im poskytuje pocit akejsi výnimočnosti.

PREČO TO ČASTO VYZERÁ TAK, ŽE DEZINFORMÁCIE MAJÚ NAD VEDOU PREVAHU?

Jedna z dosiaľ najrozsiahlejších štúdií[6] o šírení pravdivých a nepravdivých správ na internete analyzovala viac ako 120 000 správ, ktoré boli zdieľané tromi miliónmi používateľov, a to viac ako 4,5-miliónkrát. Vyplýva z nej, že nepravdivé správy (tzv. fake news) sa šíria online prostredím šesťkrát rýchlejšie a majú hlbší dosah než pravdivé správy. Na ich šírení a dosahu má významný podiel hlavne spôsob, akým sú jednotlivé správy prezentované.

Moderná veda je veľmi komplexná a prinášané závery sa dajú často vysvetliť rôznymi spôsobmi, vytvárajú priestor na argumentáciu a protichodné teórie,[7] čo môžu producenti falošných správ zneužívať vo svoj prospech. Tie sa totiž často vyznačujú inovatívnosťou, originalitou, poskytujú nám atraktívne a jednoduché vysvetlenia nudných či komplikovaných skutočností. Okrem toho bývajú písané jazykom, ktorý je pre ľudí, ktorí sa nepohybujú vo vedeckom prostredí, zrozumiteľnejší a prístupnejší. Je prirodzené, že si radšej prečítame niečo, čomu rozumieme (alebo aspoň máme ten pocit), než príliš odborné a pre laikov často neuchopiteľné akademické rozbory problematiky.

5 VAN PROOIJEN, J.-W., DOUGLAS, K. M. (2017). Conspiracy theories as a part of history: The role of societal crisis situations. Memory studies, 10 (3), 323-333. https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1750698017701615

6 VOSOUGHI, S., ROY, D., ARAL, S. (2018). The spread of true and false news online. In Science, 2018. 359 (6380), 1146-1151.

7 COOK, J. (2019). Understanding and countering misinformation about climate change. In Chiluwa, I. & Samoilenko, S. (Eds.) Handbook of Research on Deception, fake news and Misinformation Online, 281-306. Hershey, PA:IGI-Global. ISBN: 9781522585350

Významnú úlohu pri dezinformáciách zohrávajú aj vyhľadávacie algoritmy, vďaka ktorým sa na internete stretávame s podobným obsahom, ktorý sme si prezerali už v minulosti. Keďže nám online prostredie následne ponúka podobné obsahy (teda tie, ktoré predpokladá, že by sa nám na základe predošlých vyhľadávaní mohli páčiť), postupne sa ocitáme v tzv. informačných bublinách, obklopení prevažne informáciami jedného druhu. K vytváraniu týchto bublín však prispievame aj my sami tým, že filtrujeme a radšej sledujeme len obsah, ktorý súhlasí s naším názorom a často udržiavame úzky kontakt len s tými ľuďmi, ktorí majú podobné názory. Z takýchto bublín sa dostáva len ťažko.

S AKÝMI DEZINFORMÁCIAMI SA STRETÁVAME?

Existuje päť hlavných kategórií,[7] do ktorých by sme mohli dezinformácie o klimatickej kríze zaradiť:

1. **nie je to pravda** (teda popretie klimatických zmien),
2. **to nie my** (odmietanie zodpovednosti za tieto zmeny),
3. **nie je to také zlé** (relativizovanie dôsledkov klimatickej krízy),
4. **experti sú nespoľahliví** (odmietanie vedeckých autorít) a
5. **navrhované riešenia nebudú fungovať** (spochybňovanie opatrení, ktoré majú za cieľ redukovať následky klimatických zmien).

PREČO JE TO PROBLÉM?

Dezinformácie znižujú dôveru vo vedecký konsenzus[8] a tiež znižujú úroveň klimatickej gramotnosti.[9]

Dezinformácie znižujú pozitívny efekt serióznych a pravdivých informácií. Prejavuje sa to najmä v komunikovaní danej témy mainstreamovými médiami, ktoré sa snažia pokryť obe názorové strany (teda že klimatické zmeny sú reálne a sú spôsobené človekom a naopak). Následkom toho je, že tvrdenia protistrany majú zdanlivo takú istú váhu ako tvrdenia klimatických vedcov.[10]

8 LEWANDOWSKY, S., ECKER, U. K. H., COOK, J. (2017). Beyond Misinformation: Understanding and Coping with the „Post-Truth" Era. In Journal of Applied Research in Memory and Cognition, vol. 6, no. 4, 2017. p. 353-369

9 RANNEY, M., CLARK, D. (2016). Climate change conceptual change: scientific information can transform attitudes. Topics in Cognitive Science, 8, 49–75.

10 PAINTER, J., GAVIN, N. T. (2015). Climate Skepticism in British Newspapers, 2007–2011. Environmental Communication, 1-21.

Ak sa s nejakou informáciou (v tomto prípade dezinformáciou) stretávame pravidelne, stúpa naše presvedčenie o jej pravdivosti. Tento jav sa nazýva „efekt iluzórnej pravdy".[11]

Ak sa raz s dezinformáciou stretneme a osvojíme si ju, je ťažké náš názor úplne skorigovať, i keď je nám poskytnutých dostatok dôkazov o tom, že pôvodná informácia je nepravdivá. Tento jav sa nazýva „efekt pretrvávajúceho vplyvu".[12]



ČO SA DÁ ROBIŤ?

NA ÚROVNI ODBORNÍKOV

Kľúčové je vedecké poznatky sprostredkovávať publiku prístupnejším a zrozumiteľnejším jazykom. Pomôcť by mohlo aj organizovanie popularizačných aktivít, ktoré by priblížili vedu i ľuďom, ktorí sa vede nevenujú a možno majú pocit, že vedci sú odtrhnutí od reálneho života.

NA ÚROVNI MÉDIÍ

V tejto oblasti už sa už dejú konkrétne opatrenia, napríklad britský denník Guardian už v roku 2018 pristúpil k zmene používaného jazyka v súvislosti s environmentálnymi témami.

Konkrétne namiesto klimatickej zmeny začali jeho autori hovoriť o klimatickej kríze, využívajú pri tom citlivejší jazyk, ktorého cieľom je viac upozorňovať na hroziace následky.

11 PENNYCOOK, G., CANNON, T. D., RAND, D. G. (2018). Prior Exposure Increases Perceived Accuracy of Fake News. In Journal of Experimental Psychology: General , 2018. vol. 147, no. 12. p. 1865-1880. http://dx.doi.org/10.1037/xge0000465

12 LEWANDOWSKY, S., ECKER, U. K. H., COOK, J. (2017). Beyond Misinformation: Understanding and Coping with the „Post-Truth" Era. In Journal of Applied Research in Memory and Cognition, vol. 6, no. 4, 2017. p. 353-369.

Ďalším možným opatrením ležiacim na pleciach žurnalistov je viac rozlišovať medzi relevantnými a zavádzajúcimi informáciami a tiež to, aby v snahe vyrovnanej prezentácie zástancov a odporcov klimatických zmien nevyvolávali v publiku pocit, že majú rovnakú informačnú hodnotu.

NA ÚROVNI ŠKOLY

Odborníci v súčasnosti odporúčajú voliť taký spôsob vzdelávania o klimatickej zmene, ktorý sa zameriava na chybné či nepresné predstavy študentov o klimatickej zmene. Kľúčové je pri tom nahrádzať tieto nepresné informácie faktmi.[13]

Argumenty vo vzdelávaní by nemali byť zamerané ideologicky, ale fakticky. Odporúča sa tiež využívať grafický štýl spracovania informácií, tie sú totiž efektívnejšie v redukovaní mylných a nepodložených presvedčení než čisto textové informácie.[14]

NA ÚROVNI JEDNOTLIVCOV

Zdá sa, že to najlepšie, čo môžeme sami urobiť, aby sme nepodľahli dezinformáciám, je poznať mediálne pozadie a uvažovať o informáciách kriticky.

- Ve**dieť vyhodnotiť zdroj informácie**
  - Je médium seriózne?
  - Nie je médium/autor/politik v konflikte záujmov?
  - Je informácia podložená, nemá znaky dezinformácie?
- **Dôveryhodnosť a overiteľnosť informácií**
  - Je informácia podložená výskumom?
  - Dá sa vyhľadať jej zdroj?
- **Pozor na falošné autority**
  - Je autor odborník v danej alebo príbuznej oblasti?
- **Vyhnúť sa unáhleným záverom**
  - Tvoriť úsudok na základe viacerých dôveryhodných zdrojov.

13 ECKER, U. K. H., LEWANDOWSKY, S., CHEUNG, C. S. C., MAYBERY, M. T. (2015). He did it! She did it! No, she did not! Multiple causal explanations and the continued influence of misinformation. Journal of Memory and Language, 85, 101-115.

14 COOK, J. (2019). Understanding and countering misinformation about climate change. In Chiluwa, I. & Samoilenko, S. (Eds.) Handbook of Research on Deception, fake news and Misinformation Online, 281-306. Hershey, PA:IGI-Global. ISBN: 9781522585350



Zdroj: www.shutterstock.com

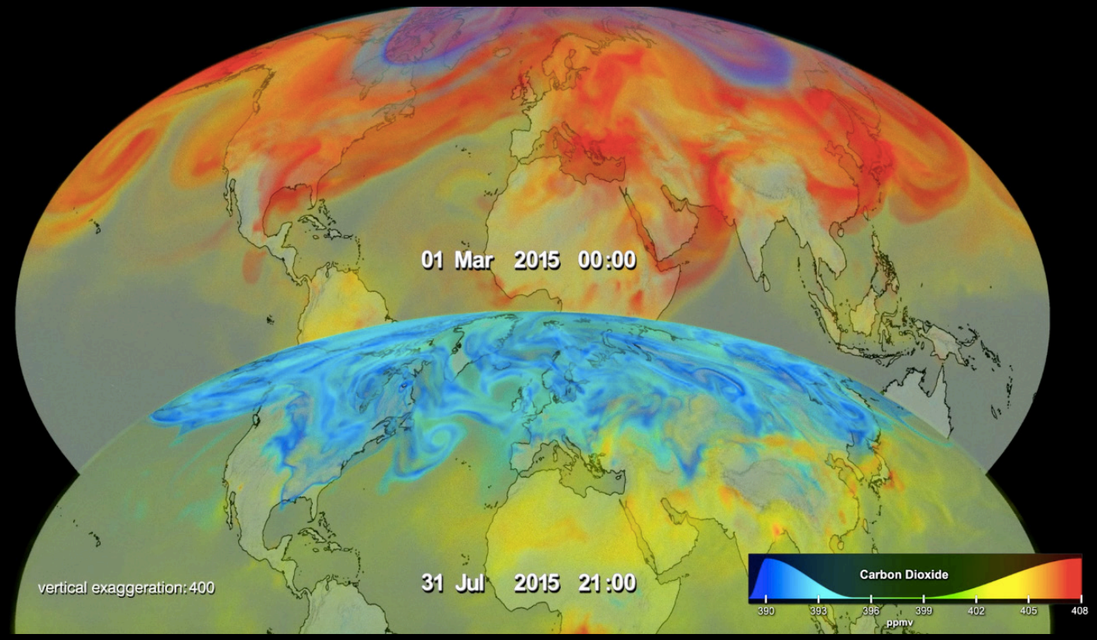
Kolobeh uhlíka
ako súčasť klimatickej zmeny

Mgr. Pavol Kenderessy, PhD.
Ústav krajinnej ekológie SAV
geoinformatik, krajinný ekológ

Podľa správy Medzinárodného panelu pre zmenu klímy (IPCC) môže v priebehu najbližších desaťročí dôjsť k otepleniu v priemere o 1,5 až 4,5 °C v porovnaní s predindustriálnym obdobím. Efekt globálneho otepľovania je spôsobený narastajúcou koncentráciou skleníkových plynov, ktoré spôsobujú tzv. skleníkový efekt. Medzi skleníkové plyny zaraďujeme hlavne oxid uhličitý (CO_2), metán (CH_4), oxid dusný (N_2O) a fluorované skleníkové plyny, označované tiež ako F-plyny, ktoré sa delia do skupín obsahujúcich čiastočne fluórované uhľovodíky (HFC), plnofluórované uhľovodíky (PFC) a fluorid sírový (SF6). Tieto plyny predstavujú emisie vznikajúce počas prírodných procesov i ľudských činností. Najvýznamnejším prírodným skleníkovým plynom v atmosfére je vodná para. Narastajúce emisie skleníkových plynov v atmosfére zosilňujú skleníkový efekt, čo následne vyvoláva zmenu klímy.

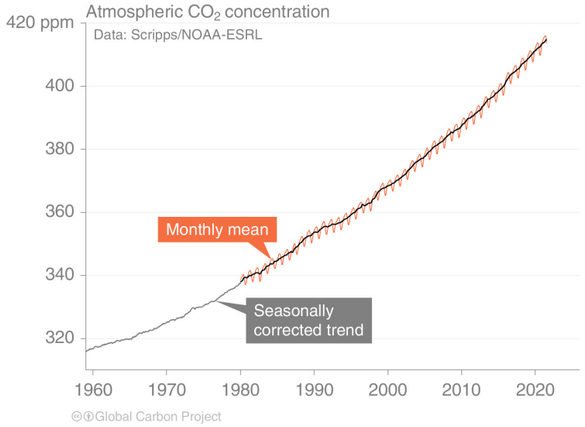
Oxid uhličitý je jednou z foriem, v akej sa na Zemi vyskytuje kľúčový organický prvok – uhlík. Uhlík je prirodzene zapojený do širokej škály procesov na zemskom povrchu. Neustále putuje oboma smermi medzi pevninou a biosférou, atmosférou a hydrosférou. Počas jeho presunu dochádza k vzájomnej interakcii, keď sa uhlík okrem CO_2 dostáva aj do iných, napr. organických zlúčenín, preto hovoríme o tzv. „kolobehu uhlíka“. Kolobeh uhlíka je súčasťou biogeochemických cyklov prakticky už od vzniku Zeme. Najväčšie množstvo uhlíka je uložené v sedimentoch zemskej kôry v podobe bridlíc a uhličitanov (napr. vápence, dolomity a pod.). Toto množstvo je odhadované na zhruba 100 000 000 GtC. Ďalších 1 900 – 5 000 GtC sa v zemskej kôre nachádza vo forme uhľovodíkov (uhlie, ropa, zemný plyn), ktoré vznikli postupnou premenou z tiel živých organizmov pri vysokej teplote a tlaku. Tieto uhľovodíky inak označujeme aj ako fosílne palivá.

V atmosfére sa uhlík nachádza prevažne vo forme plynného CO_2. Jeho súčasná koncentrácia je približne 414 ppm (878 GtC). Medzi ďalšie stopové plyny patrí metán, oxid uhoľnatý, ďalej menšie množstvo uhľovodíkov a organických zlúčenín. Na pevnine, v terestrických ekosystémoch je uhlík viazaný vo forme organických zlúčenín. Vo vegetácii je viazaných 450 – 650 GtC, v podobe pôdnej organickej hmoty 1 500 – 2 400 GtC. Do tohto zásobníka je potrebné započítať aj uhlík uložený v mokraďových ekosystémoch (300 – 700 GtC) a trvalo zamrznutej pôde – permafroste (~1 700 GtC). Rastliny každoročne absorbujú z atmosféry približne ~123 ± 8 GtC. Tento uhlík sa následne ako súčasť potravinového reťazca stáva súčasťou tiel iných organizmov. Z tiel organizmov sa potom následne vracia do atmosféry prostredníctvom dýchania, rozkladných procesov alebo iných procesov (požiarov). K absorpcii CO_2 prostredníctvom fotosyntézy dochádza iba v priebehu vegetačného obdobia a naopak k uvoľňovaniu CO_2 dochádza takmer po celý rok. Keďže väčšina pevninskej vegetácie sa nachádza na severnej pologuli, v priebehu krivky koncentrácie CO_2 sa prejavuje výrazná sezonalita tokov medzi atmosférou a vegetáciou. Zjednodušene, na severnej pologuli vo vegetačnom období prevláda v globálnom meradle absorpcia CO_2 nad jeho výdajom a naopak v zimnom období prevláda jeho uvoľňovanie (obr. 1).



Obr. 1:
Vplyv sezonality vegetácie na koncentráciu CO_2 v atmosfére na severnej pologuli.
Zdroj: Eldering, et al., 2017

Koncentrácia CO_2 tak v priebehu roka kolíše o približne 5 ppm (0,0005 %) v závislosti od fotosyntetickej aktivity vegetácie a jej schopnosti absorbovať uhlík. Z tohto dôvodu má krivka mesačnej koncentrácie CO_2 typický „pílovitý“ charakter (tzv. **Keelingova krivka**) (obr. 2).

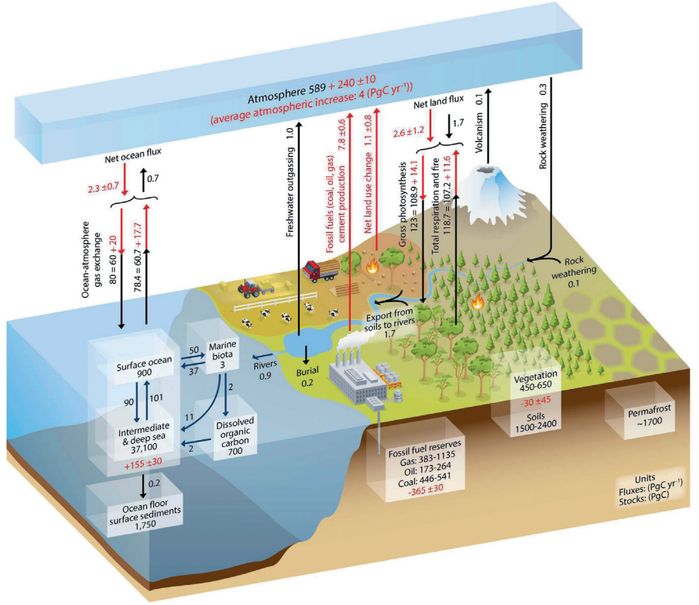


Obr. 2:
Priebeh koncentrácie CO_2 za posledných 40 rokov.
Zdroj: NOAA-ESRL; Scripps Institution of Oceanography; Friedlingstein, et al. 2020; Global Carbon Budget 2020

Atmosférický CO_2 úzko interaguje s povrchovou vrstvou oceánu. Pri tejto interakcii dochádza k rozpúšťaniu atmosférického CO_2 vo vode a vzniku pomerne nestálej kyseliny uhličitej (H_2CO_3), ktorej rozpadom vznikajú hydrogén-uhličitanové (HCO_3^-) a uhličitanové ióny (CO_3^{2-}). Tieto anorganické zlúčeniny uhlíka tvoria pribl. 38 000 Gt. Súčasne sa v oceánoch nachádza aj vo forme organického uhlíka (~700 Gt) s pomerne dlhou dobou výmeny (1 000 rokov). V porovnaní s týmito úložiskami je prítomnosť uhlíka vo forme živých organizmov, hlavne fytoplanktónu, pomerne zanedbateľná (~3 Gt). Rozpúšťaním CO_2 v chladných vodách v okolí pólov a jeho reakciou s vodou dochádza k jeho premene na už spomenutú kyselinu uhličitú a k následnému okysľovaniu oceánov. V teplých tropických vodách dochádza naopak k jeho uvoľňovaniu. Tento proces je dobrým príkladom tzv. negatívnej spätnej väzby, keď v dôsledku postupného otepľovania atmosféry a oceánov môže dôjsť k znižovaniu ich absorpčnej schopnosti, čo by následne mohlo viesť k zvyšovaniu koncentrácie CO_2 a spätnej akcelerácii tohto cyklu. Tento proces zatiaľ nebol vo výraznej miere pozorovaný, keďže veľká časť uhlíka je absorbovaná podmorskými organizmami, hlavne riasami žijúcimi v chladných vodách. Následne sa uhlík ukladá na dne oceánskych paniev do podmorských sedimentov, kde zotrváva počas miliónov rokov.

Aj ľudskou činnosťou ovplyvnené (antropogénne) emisie skleníkových plynov vrátane CO_2 sa stávajú súčasťou globálnych biogeochemických cyklov. Pred miliónmi rokov boli koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére ovplyvňované klimatickými podmienkami, a preto tiež v istých medziach kolísali. Od začiatku priemyselnej revolúcie (približne rok 1750) koncentrácia CO_2 v atmosfére kontinuálne narastá. V tomto období predstavovala koncentrácia CO_2 približne 227 ppm. V roku 2021 dosiahla koncentrácia úroveň 415 ppm, čo predstavuje 49 % nárast oproti roku 1750. Jednotka ppm (parts per milion) označuje počet častíc v jednom miliónе, podobne ako % určuje počet v jednej stovke alebo ‰ počet v jednej tisícke. Koncentrácia 414 ppm CO_2 znamená, že v jednom miliónе molekúl vzduchu sa nachádza 414 molekúl CO_2, čo zodpovedá koncentrácii 0,04 %. Hodnota 1 ppm predstavuje v prepočte 2,12 Gt uhlíka alebo 7,76 Gt CO_2. Zmena využívania krajiny, hlavne odlesňovanie a následná premena lesnej pôdy na ornú pôdu a jej degradácia vedie k emisiám uhlíka na úrovni 1,1 ± 0,8 GtC.

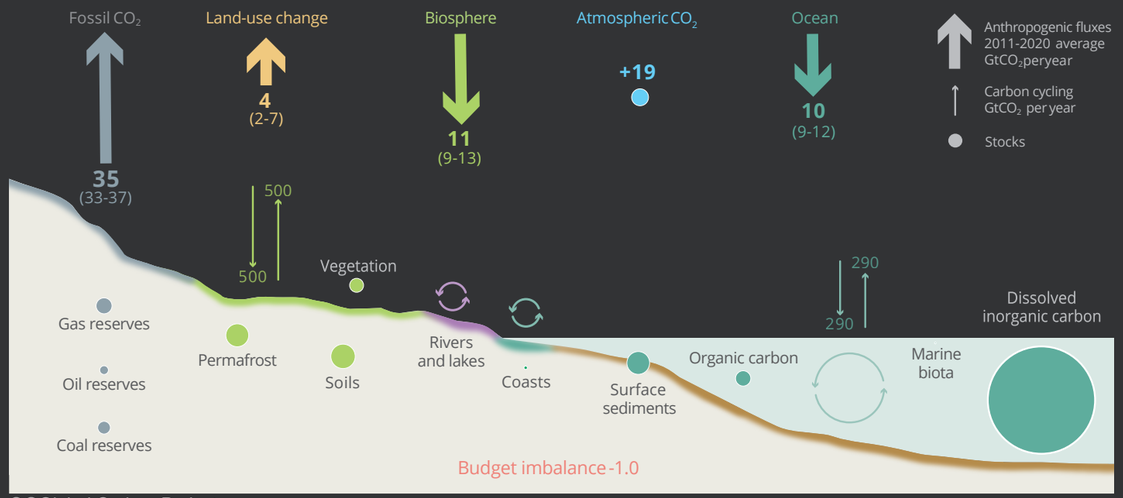
Z celkového množstva približne 555 ± 85 GtC antropogénneho uhlíka zostáva v atmosfére cca polovica, t. j. 240 ± 10 GtC. Zvyšnú časť pohltili terestrické ekosystémy a oceán. Absorpčná schopnosť oceánov je pomerne stabilná, naopak terestrické ekosystémy sa vyznačujú vysokou variabilitou schopnosti fixovať uhlík. Na pevnine je totiž tempo akumulácie uhlíka v biomase závislé od množstva ďalších parametrov (napr. úhrn zrážok alebo dostupnosť živín ako dusík a fosfor). Podľa obrázka 3, zobrazujúceho globálny kolobeh uhlíka, je evidentné, že ročné antropogénne emisie dosahujú cca 9 až 10 GtC, ale zvýšená absorpcia v oceánoch túto hodnotu znižuje o 2 GtC a terestrické ekosystémy o ďalších 3 GtC.



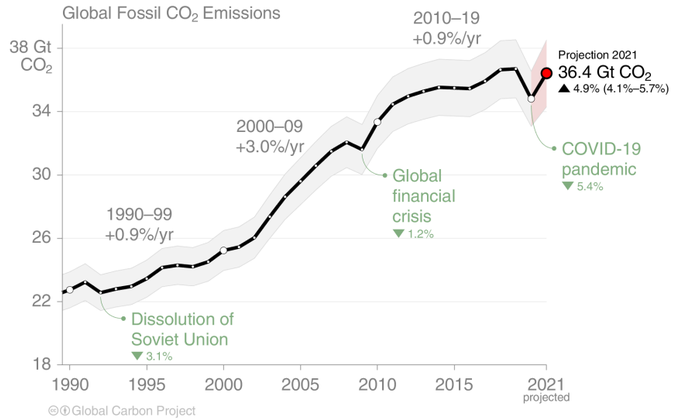
Obr. 3:
Schéma globálneho kolobehu uhlíka, veľkosť zásobníkov a toky v GtC. Stav pred priemyselnou revolúciou (čierno značené údaje), zmeny súvisiace s činnosťou človeka (červené údaje).
Zdroj: IPCC – Bericht 2013

GLOBÁLNE EMISIE CO_2 – ROK 2021

Celkové emisie CO_2 z ľudskej činnosti – z fosílneho CO_2 a zo zmien vo využívaní krajiny – sú v roku 2021 odhadované na približne 39,7 $GtCO_2$ (obr. 4). Globálna pandémia COVID-19 spôsobila pokles fosílnych emisií oxidu uhličitého v roku 2020 o 2,4 miliardy ton (pribl. o 5,4 %). Pokles bol podstatne väčší ako v predchádzajúcich obdobiach: 0,5 % (v rokoch 1981 a 2009); 0,7 % (1992) a 0,9 % (1945) miliárd ton CO_2 ($GtCO_2$). Najnovšie predpovede však poukazujú na opätovný nárast koncentrácie fosílnych emisií o pribl. 4,9 % na úroveň 36,4 $GtCO_2$ (obr. 5).

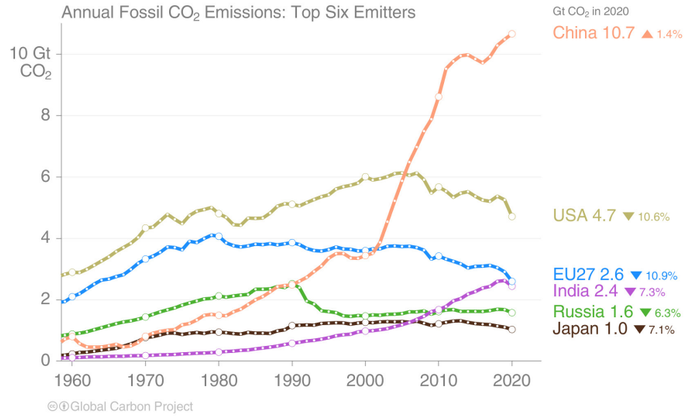


Obr. 4:
Antropogénne narušenie rovnováhy globálneho kolobehu uhlíka ($GtCO_2$/rok). Narušenie vyplýva z nerovnováhy medzi odhadovanými zdrojmi a úložiskami uhlíka.
Zdroj: Global Carbon Budget 2021



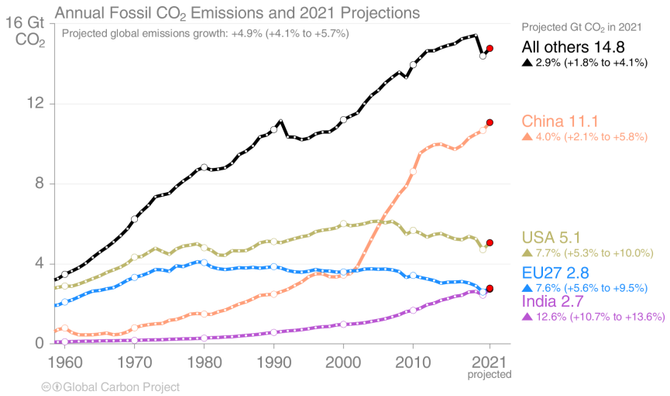
Obr. 5:
Vývoj globálnych emisií CO_2 za posledných 10 rokov.
Zdroj: Global Carbon Budget 2021

Z pohľadu krajín s celosvetovo najväčším podielom na produkcii emisií CO_2 (Čína, USA, EU27, India, Rusko a Japonsko) sa v roku 2020 sa pokles emisií najvýraznejšie prejavil v USA (–10,6 %) a krajinách EÚ27 (–10,9 %). V Indii bol zaznamenaný pokles o 7,3 %, v Rusku o 6,3 % a v Japonsku o 7,1 %. Naopak v Číne bol zaznamenaný celkový nárast emisií o 1,4 % (obr. 6).



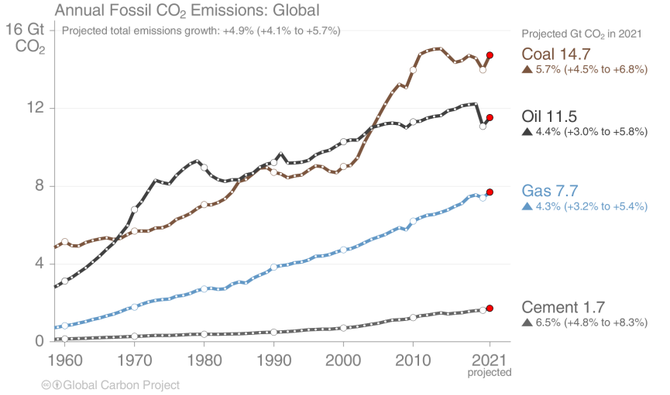
Obr. 6:
Navýznamnejší producenti CO_2 za rok 2020 pokrývajúci 66 % všetkých globálnych emisií: Čína – 31 %, USA – 14 %, EU27 – 7 %, India – 7 %, Rusko – 5 % a Japonsko – 3 %
Zdroj: Global Carbon Budget 2021

Ako už bolo spomenuté, v roku 2021 došlo s postupným ústupom pandémie a následným oživením ekonomiky k celkovému nárastu emisie CO_2 v porovnaní s predpandemickým obdobím. V USA a v EU27 sa predpokladá nárast o 7,6 %, v Číne o 4 % a v Indii až o 12,6 % (obr. 7).



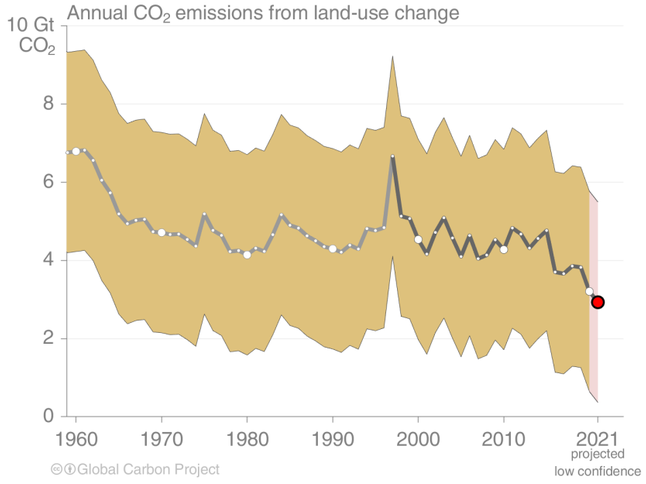
Obr. 7:
Navýznamnejší producenti CO_2 za rok 2021.
Zdroj: Global Carbon Budget 2021

Čo sa týka podielu jednotlivých typov fosílnych zdrojov uhlíka, najvýznamnejšie za poslednú dekádu rástli emisie CO_2 zo spaľovania uhlia, ďalej nasleduje ropa, zemný plyn a spracovanie cementu. Pri uhlí pozorujeme v poslednom období klesajúci trend (obr. 8).



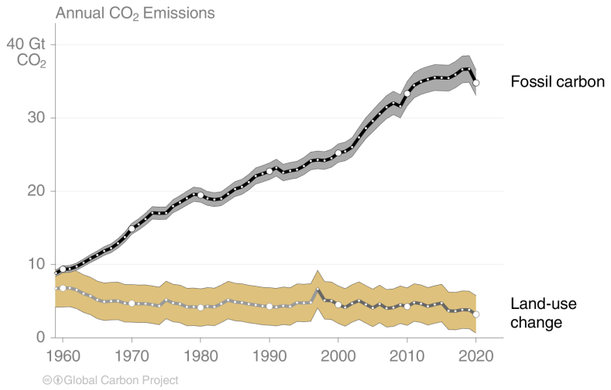
Obr. 8:
Podiel globálnych fosílnych emisií CO_2 za rok 2021: uhlie (40 %), ropa (32 %), zemný plyn (21 %), produkcia cementu (5 %).
Zdroj: Global Carbon Budget 2021

Predbežné odhady naznačujú, že emisie z odlesňovania a iných zmien vo využívaní krajiny v roku 2021 vykazujú podobne ako za uplynulú dekádu negatívny trend, teda pokles. Celkovo bolo od roku 2011 do atmosféry uvoľnených približne 14,1 $GtCO_2$ (± 2,2 $GtCO_2$/rok), predovšetkým z odlesňovania, zatiaľ čo ukladanie CO_2 súvisiace s opúšťaním poľnohospodárskej pôdy a jej opätovným zarastaním predstavovalo necelých 9,9 $GtCO_2$ (± 1,4 $GtCO_2$/rok). Výsledné emisie za rok 2021 sú teda odhadované približne na 4,1 $GtCO_2$ (± 2,6 $GtCO_2$). Rozsah lesných požiarov súvisiacich s odlesňovaním bol v roku 2021 a 2020 nižší v porovnaní s rokom 2019, keď bola miera odlesňovania v Amazónii najvyššia od roku 2008. V roku 2019 boli požiare súvisiace s odlesňovaním približne o 30 % častejšie ako v predchádzajúcom desaťročí. V iných tropických oblastiach, najmä v Indonézii, boli tieto emisie dvojnásobné v porovnaní s predchádzajúcim desaťročím (obr. 9). Terestrické a oceánske ekosystémy aktuálne absorbujú približne 55 % celkových antropogénnych emisií. Zároveň proces zachytávania kontinuálne narastá spolu s postupným nárastom emisií.



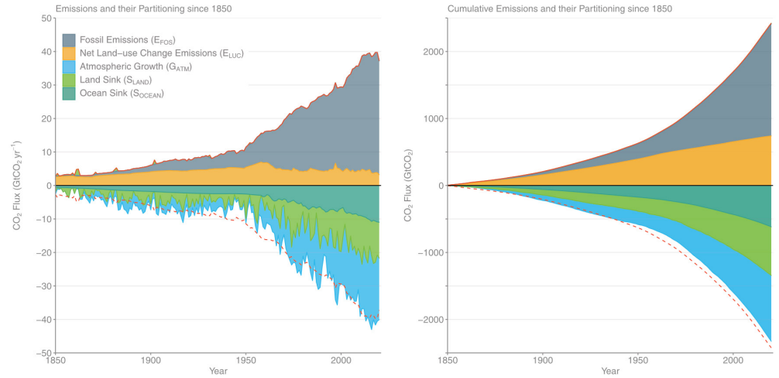
Obr. 9:
Emisie CO_2 súvisiace so zmenou krajinnej pokrývky.
Zdroj: Global Carbon Budget 2021

Celkové odhadované globálne emisie CO_2 za rok 2021 predstavovali 38,9 ± 3,1 $GtCO_2$, čo je približne 40 % nárast za obdobie od roku 1990. Z tohto objemu predstavovali emisie súvisiace so zmenami krajinnej pokrývky v roku 1960 približne 42 %, ale s nárastom emisií fosílneho uhlíka sa tento pomer zmenil na aktuálnych pribl. 10 % (obr. 10). Na základe týchto údajov môžeme považovať emisie CO_2 súvisiace so zmenami krajinnej pokrývky za relatívne stabilné, panuje však pomerne veľká miera neistoty, čo sa týka presnosti ich stanovenia.



Obr. 10:
Vývoj emisií CO_2 zo spaľovania fosílnych palív v porovnaní s emisiami súvisiacimi so zmenami vo využívaní krajiny.
Zdroj: Global Carbon Budget 2021

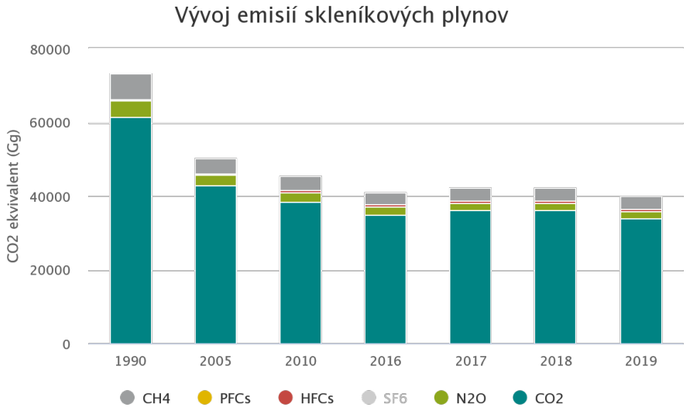
Globálne emisie fosílneho uhlíka predstavujú približne 34,8 $GtCO_2$/rok (89 %). Zmeny využívania krajinnej pokrývky prispievajú zvyšnými 11 %, čo predstavuje približne 4,1 $GtCO_2$/rok. Na druhej strane, najvýznamnejšie úložisko CO_2 predstavuje atmosféra, kde sa ukladá približne 48 % (18,6 $GtCO_2$) celkových emisií CO_2 ročne, ďalej nasleduje biosféra, kde sa ukladá 29 % (11,2 $GtCO_2$). Zvyšných 26 % (10,2 $GtCO_2$) absorbujú oceány (obr. 11). Vzájomné porovnanie kapacity zdrojov a úložísk CO_2 nie je úplné vyvážené a poukazuje na mieru nepresnosti na úrovni 3 % (1 $GtCO_2$/rok) v prospech úložísk. Presný dôvod tohto nepomeru zatiaľ nie je známy a je predmetom výskumu. S najväčšou pravdepodobnosťou však bude súvisieť so zložitým a veľmi variabilným odhadom hodnôt úložiska v terestrických ekosystémoch.



Obr. 11:
Vzájomné porovnanie globálnych zdrojov a úložísk CO_2.
Zdroj: Global Carbon Budget 2021

EMISIE CO_2 – SLOVENSKO

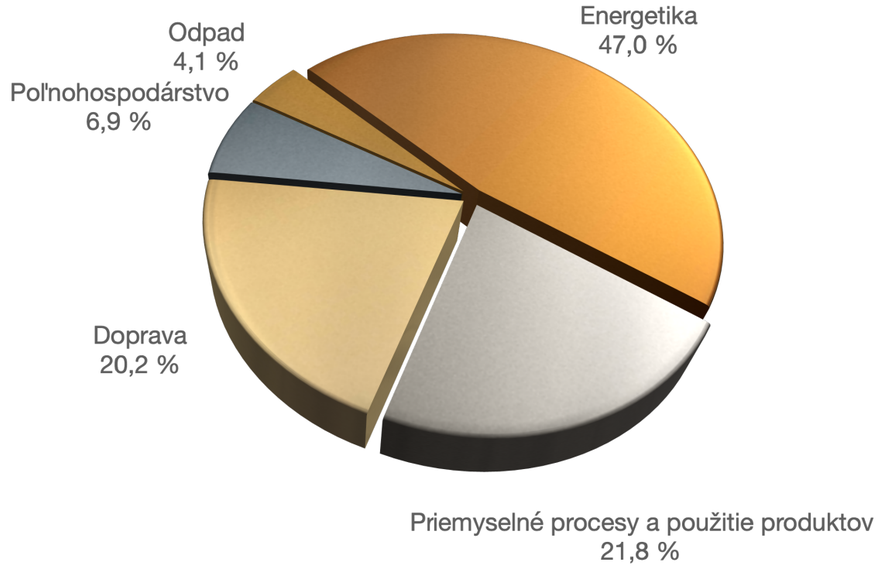
Podľa posledných údajov z roku 2019 predstavovali celkové antropogénne emisie skleníkových plynov 33 605 $GgCO_2$ (0,034 $GtCO_2$) (bez započítania emisií zo zmien krajiny). Po výraznejšom poklese v roku 2009 bol trend celkových antropogénnych emisií za roky 2010 – 2014 mierne klesajúci a v rokoch 2015, 2016 a 2017 bol zaznamenaný mierny nárast. V porovnaní roka 2018 oproti roku 2017 nastal mierny pokles o 0,3 %. V roku 2018 sa darilo udržať tzv. decoupling, teda pomalší rast emisií skleníkových plynov v porovnaní s dynamikou rastu HDP (obr. 12). Pokles emisií CO_2 bol hlavne výsledkom transformácie ekonomiky po roku 1990 a to hlavne zvýšením podielu služieb na tvorbe HDP, zmenami v štruktúre priemyslu a jeho technologickej reštrukturalizácii, vyšším podielom plynných palív a postupným odklonom od využívania uhlia, znižovaním spotreby energie, úpadkom poľnohospodárskej výroby, prijatím príslušných právnych predpisov a regulatív EÚ a zavedením systému obchodovania s emisiami (EÚ ETS).



Obr. 12:
Vývoj emisií skleníkových plynov na Slovensku od roku 1990 (1 Gg = 0,000001 Gt).
Zdroj: MŽP, 2021

Sektor energetiky (vrátane dopravy) s podielom 67,2 % bol v roku 2019 hlavným prispievateľom k celkovým emisiám skleníkových plynov. V porovnaní s predchádzajúcim rokom 2018 emisie v doprave stúpli o vyše 2 % a ich podiel na celkových emisiách bol 20,2 %. Okrem spaľovania paliva v stacionárnych zdrojoch znečisťovania aj znečisťovanie z malých zdrojov bytových vykurovacích systémov a prchavé emisie metánu z dopravy, spracovania a distribúcie ropy a zemného plynu významne prispievajú k celkovým emisiám skleníkových plynov. Sektor priemyselné procesy a použitie produktov

bol v roku 2019 druhou najvýznamnejšou oblasťou s 21,8 % podielom na celkových emisiách skleníkových plynov. Najčastejšie rastúce emisie v rámci tohto odvetvia sú emisie HFC a SF_6 v dôsledku priemyselného dopytu po nich a používania v stavebníctve, pri izolácii budov, v elektrotechnickom a automobilovom priemysle. V 2019 bol podiel odvetvia poľnohospodárstvo na celkových emisiách skleníkových plynov necelých 7 % a trend v emisiách zostal relatívne stabilný od roku 1999. Sektor odpady prispel k celkovým emisiám skleníkových plynov podielom 4,1 %. Podiely jednotlivých sektorov na celkových skleníkových plynoch emisie sa v porovnaní so základným rokom 1990 významne nezmenili. Napriek tomu zvýšenie emisií z dopravy a zníženie podielu stacionárnych zdrojov znečistenia v energetike je viditeľné.



Obr. 13:
Emisie skleníkových plynov na Slovensku podľa sektorov hospodárstva za rok 2019 (1 Gg = 0,000001 Gt).
Zdroj: SHMÚ, emisie stanovené k 13.4. 2021



Zdroj: www.dennikn.sk

Globálne otepľovanie a slnečná aktivita...
Je klimatická zmena spôsobená Slnkom?

RNDr. Aleš Kučera, CSc.
Astronomický ústav SAV
astrofyzik

Globálne otepľovanie, t. j. zvyšovanie priemernej teploty na Zemi v posledných desaťročiach je fakt, ktorý je podložený meraniami, a nikto už o tomto fenoméne nepochybuje.

Ale v otázke prečo k otepľovaniu dochádza už taká zhoda nie je. V podstate „bojujú“ proti sebe dve skupiny. Jedna zastáva názor, že na otepľovaní sa prevažnou mierou podieľa človek svojou činnosťou (antropogénny vplyv), a druhá tento vplyv človeka minimalizuje a hlavnú váhu kladie na vplyv prírodných javov, medzi ktoré zahrnuje slnečnú aktivitu, kozmické žiarenie, vulkanickú činnosť a iné vplyvy. V tomto príspevku zjednodušene vysvetľujeme, aký je vzťah medzi slnečnou aktivitou a zmenami teploty na Zemi v krátkodobom aj dlhodobom horizonte, a pokúsime sa odpovedať na otázku, či za súčasné otepľovanie Zeme **je v prevažnej miere zodpovedná slnečná aktivita**.

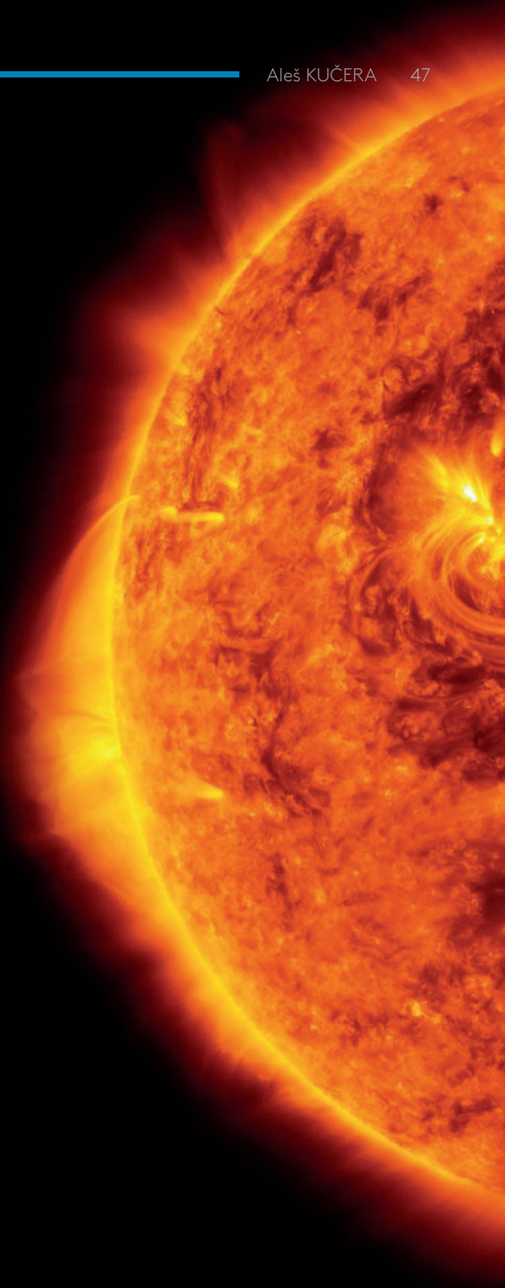
CYKLY SLNEČNEJ AKTIVITY

Na Slnku sa striedajú pokojné obdobia s obdobiami zvýšenej aktivity. Tieto zmeny pozorujeme jednak na relatívne krátkom časovom úseku približne 11 rokov, ale známe sú aj dlhodobé zmeny v stovkách, tisícoch až státisícoch rokov. Časovo najdlhším **objektívnym**, t. j. priamym meraním slnečnej aktivity (približne 400 rokov) je pozorovanie počtu slnečných škvŕn vyjadrené pomocou relatívneho čísla slnečných škvŕn (R). Relatívne číslo slnečných škvŕn vyjadruje vzťah medzi počtom slnečných škvŕn a počtom skupín slnečných škvŕn na slnečnom disku v danom čase. Otázkou je, či cyklická zmena počtu slnečných škvŕn a iných aktívnych prejavov znamená aj zmenu množstva prichádzajúcej energie zo Slnka. Odpoveď je áno a dokumentuje to **obr. 1**, ľavý horný panel, kde je ukázaná priama závislosť medzi pozorovaným počtom slnečných škvŕn a precízne zmeranou „slnečnou konštantou“ v posledných necelých štyroch slnečných cykloch od r. 1975 do 2015. Toto je veľmi dôležitý fakt. Keď budeme schopní vystopovať zmeny slnečnej aktivity charakterizované relatívnym číslom slnečných škvŕn alebo iným indikátorom slnečnej aktivity do minulosti, môžeme týmto zmenám priradiť zodpovedajúce zmeny množstva energie prichádzajúcej k Zemi od Slnka a tak budeme schopní vystopovať zmeny teploty na Zemi spôsobené výlučne slnečnou činnosťou, a to aj v časoch pred industriálnou spoločnosťou.

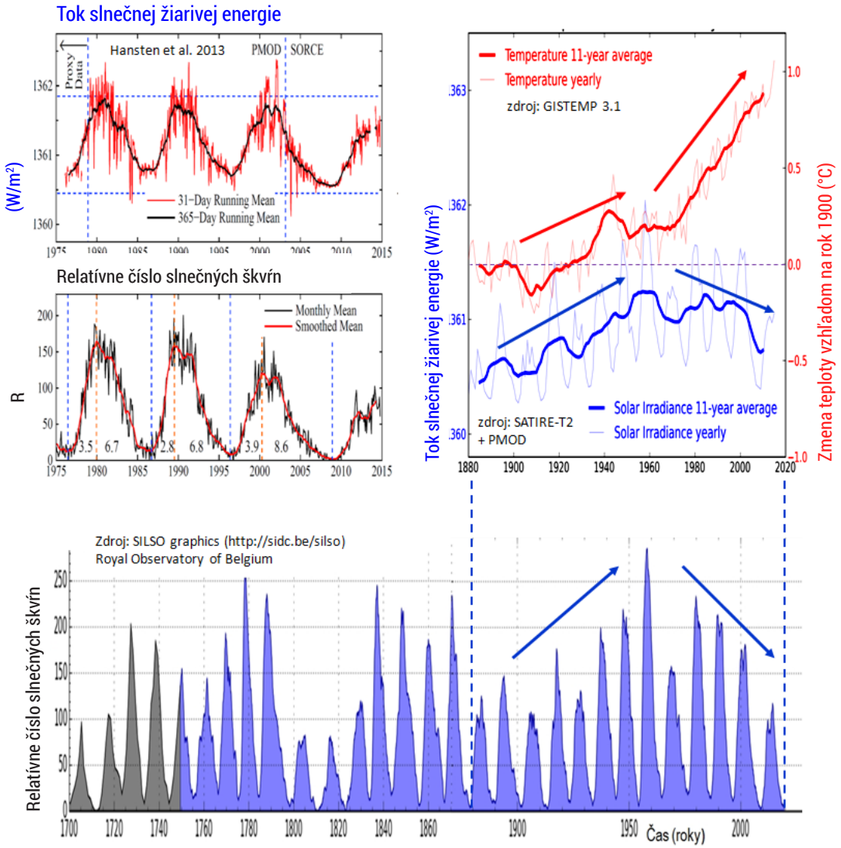
ENERGIA ZO SLNKA

Slnečná konštanta je tok slnečnej energie prechádzajúci plochou 1 m^2, kolmou na smer lúčov, za 1 sekundu v strednej vzdialenosti Zeme od Slnka a jej priemerná hodnota je 1 361 W/m^2. Po započítaní sféricity a rotácie Zeme a toho, že asi 30 % dopadajúcej energie sa od mrakov, aerosólov, atmosféry a povrchu Zeme odráža späť, asi 20 % sa absorbuje atmosférou a povrch je ožarovaný iba cez deň, nám vychádza, že zemský povrch absorbuje približne 170 W/m^2.

Slnečná konštanta v skutočnosti nie je konštanta, ale jej hodnota mierne kolíše počas 11-ročných cyklov v rozmedzí približne 1 W/m^2 (obr. 1) a za posledných 400 rokov bol rozdiel medzi minimom a maximom slnečnej konštanty 3,3 – 4,5 W/m^2 (rôzne štúdie sa mierne odlišujú). Ako sa zmení teplota na povrchu Zeme vplyvom týchto rozdielov? Na každý 1 W/m^2 sa teplota zmení približne o 0,1 – 0,15 °C. Keď sa pozrieme na obr. 1 (hore), vidíme, že za 100 rokov od r. 1860 do 1960 slnečná konštanta mierne stúpala (modrá čiara) a adekvátne k tomu stúpala aj teplota (červená čiara). Od r. 1960 bolo množstvo energie zo Slnka v priemere rovnaké až do r. 1990 a odvtedy až doteraz mierne klesá. Ak by za otepľovanie bolo zodpovedné iba Slnko, mala by priemerná teplota v r. 1960 – 1990 stagnovať a potom klesať. Vidíme však pravý opak. Teplota od r. 1960 neustále rastie a nárast dosiahol 0,6 °C (z hodnoty 0,2 na 0,8 °C). Ak by za rozdiel teploty +0,6 °C bola zodpovedná zmena toku energie zo Slnka, museli by sme pozorovať nárast slnečnej konštanty o 4 – 6 W/m^2. To je vzhľadom na presnosť meraní slnečnej konštanty vylúčené.



Zdroj: NASA's Solar Dynamics Observatory



Obr. 1:
Závislosť slnečného žiarenia, slnečnej aktivity a teploty zemského povrchu.
Zdroj: Hansten a kol. 2013; Tebabal a kol. 2015; https://data.giss.nasa.gov/gistemp/; SATIRE-T2, Dasi-Espuig a kol. 2014 a 2016

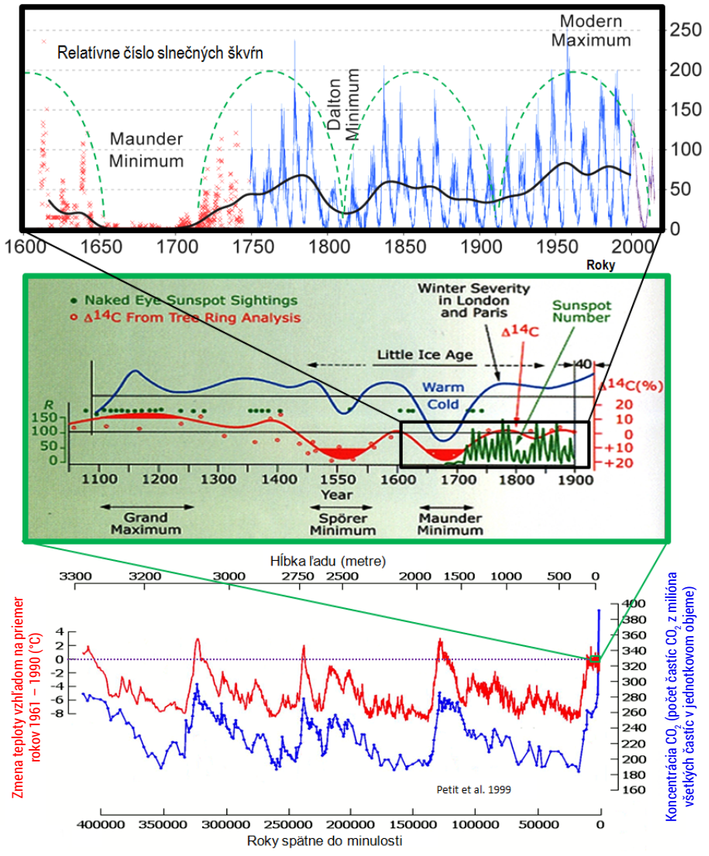
Pokles hodnôt slnečnej konštanty za posledné štyri slnečné cykly je v súlade aj s poklesom počtu slnečných škvŕn (obr. 1, dole).

Odpoveď na otázku, či za súčasné otepľovanie Zeme je v prevažnej miere zodpovedná slnečná aktivita, je teda jasná.

Nie, za globálne otepľovanie v posledných 60 rokoch nie je zodpovedná slnečná aktivita.

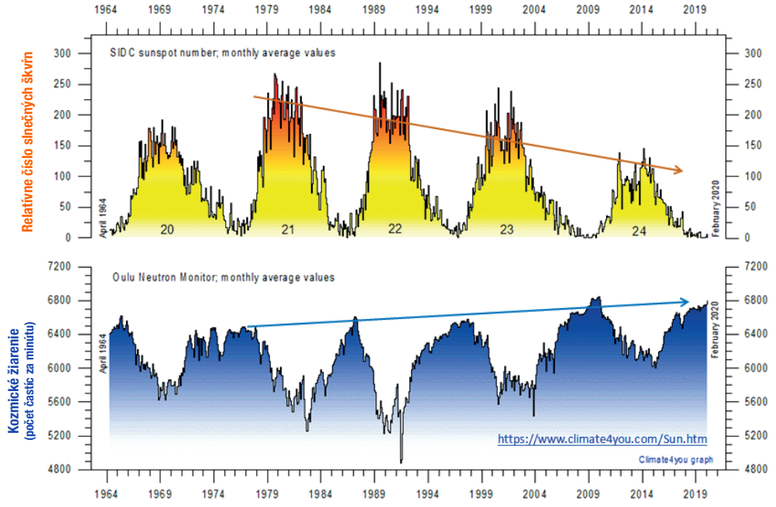
Aj keď slnečná aktivita v súčasnosti nemá vplyv na terajšie výrazné globálne otepľovanie, nebolo to tak v nedávnej ani veľmi vzdialenej minulosti. Keď sa pozrieme na celý priebeh reálne pozorovaného relatívneho čísla slnečných škvŕn od r. 1610 (obr. 2, hore, fialové, modré a červené dáta), vidíme, že okrem jedenásťročnej periódy sa vyskytujú aj približne 100-ročné periódy naznačené zelenými oblúčikmi, a slneční fyzici registrujú aj mnohé ďalšie periódy. Čierna čiara na obr. 2 (hore) vyjadruje spriemerované dáta. Obdobie rokov približne od 1915 do 2000 nazývame „**moderné maximum**“, čo označuje vysokú slnečnú aktivitu aj teplotu. Naopak, v rokoch 1800 – 1825 boli 11-ročné cykly slnečnej aktivity omnoho nižšie a hovoríme o „Daltonovom minime“. Výrazný pokles počtu, ba až dlhodobá, úplná strata výskytu slnečných škvŕn bola v tzv. Maunderovom minime (roky 1650 – 1700), keď bol zaregistrovaný silný pokles teploty a veľmi studené a dlhé zimy.

Preto sa toto obdobie zvykne nazývať aj „**malá doba ľadová**“. Ďalšie také obdobie bolo v rokoch 1450 – 1550 (tzv. Spörerovo minimum, obr. 2, v strede). Od skončenia poslednej doby ľadovej (asi pred 11-tisíc rokmi) bolo takých období ešte viacero a striedali sa s teplejšími obdobiami. Vzniká otázka, ako to môžeme vedieť, keď priame systematické pozorovania slnečnej aktivity spred r. 1610 neexistujú? Samozrejme, historický priebeh slnečnej aktivity a tým aj určovanie teploty z čias pred r. 1610 už nezistíme priamym meraním, ale určuje sa nepriamo na základe tzv. proxy indikátorov. Spörerovo minimum a správanie slnečnej aktivity spätne do r. 1100 (obr. 2, stredný panel) bolo ešte možné odhadnúť na základe reálnych pozorovaní výskytu slnečných škvŕn na Slnku, nie však ďalekohľadom, ale voľným okom, o čom sú záznamy v kronikách. (obr. 2, v strede, zelené body, väčší počet pozorovaní je úmerný vyššej slnečnej aktivite). Pre vzdialenejšie doby už však nastupujú proxy indikátory. Aký je princíp proxy indikátorov?



Obr. 2:
Slnečná aktivita v historických dobách za posledných 400 rokov – horný panel (Robert A. Rohde https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sunspot_Numbers.png), slnečná aktivita a percento zastúpenia izotopu ^{14}C za 850 rokov – stredný panel (https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2003/17jan_solcon) a zmeny teploty a CO_2 za posledných 400 tisíc rokov – dolný panel (Petit a kol. 1999), určené na základe analýzy z vrtov v antarktickom ľade až do hĺbky 3 300 m.

Jednoducho povedané, zistíme vzájomnú závislosť dvoch javov zmeraných v súčasnosti, pričom jeden z nich vieme zmerať aj do ďalekej histórie, a na základe toho vieme odhadnúť hodnotu aj toho druhého. Konkrétne máme priame merania závislosti slnečnej aktivity a intenzity kozmického žiarenia (obr. 3). Tu vidíme, že intenzita kozmického žiarenia (modrá) je v priamom protiklade so slnečnou aktivitou (žltá), hovoríme tomu antikorelácia. Čím vyššia je slnečná aktivita, tým je slabšie kozmické žiarenie. Vysvetlenie je jednoduché, v čase veľkej slnečnej aktivity je v okolí Slnka aj Zeme veľa častíc zo Slnka a tie tienia prístup kozmického žiarenia a naopak je to v čase nízkej slnečnej aktivity. Kozmické žiarenie sa významne podieľa na tvorbe izotopu uhlíka ^{14}C a izotopu berýlia ^{10}Be, takže sa dá očakávať, že v období zvýšeného kozmického žiarenia bude aj vyššia produkcia ^{14}C a ^{10}Be. Zmeraním obsahu týchto izotopov v súčasnosti a v historických dobách (napríklad z vrstiev hĺbkových vrtov v antarktickom ľade) môžeme určiť zmeny v toku kozmického žiarenia v dávnej minulosti. Z toho vďaka známej závislosti medzi kozmickým žiarením a slnečnou aktivitou (obr. 3) „zmeriame“ slnečnú aktivitu. Zo známej slnečnej aktivity „zmeriame“ slnečnú konštantu (tok energie zo Slnka) a zo známej slnečnej konštanty „zmeriame“ teplotu na Zemi.



Obr. 3:
Vysoké hodnoty kozmického žiarenia, čo odpovedá nízkej slnečnej aktivite.
Zdroj: https://www.climate4you.com/

Samozrejme, takéto „sprostredkované“ merania sú zaťažené kumulujúcou sa chybou, ale sú hodnoverné, ak sú zmerané zmeny veľmi veľké, čo je náš prípad. Ďalšou možnosťou je merať koncentráciu CO_2 v dutinkách (bublinkách) arktického ľadu v hĺbkových vrtoch a na základe toho určovať teplotu až do minulosti 400 000 rokov. Čím vyššia koncentrácia CO_2, tým vyššia teplota.

Do akého obdobia sa môžeme takto dostať a aké zmeny teploty sme zistili? Takto môžeme preniknúť pomocou ^{14}C až niekoľko desiatok tisíc rokov späť, pomocou ^{10}Be niekoľko stotisíc rokov a s CO_2 až milióny rokov do minulosti. Zistené zmeny teploty sú skutočne dramatické a mali významný vplyv na vznik dôb ľadových na Zemi.

Ako vidíme na obr. 2 (v strede v čiernom rámiku), merania ^{14}C (nárast +20 %) potvrdzujú Spörerovo minimum slnečnej aktivity indikované neprítomnosťou slnečných škvŕn pozorovaných voľným okom, a naopak vidíme pokles ^{14}C (–18 %) v čase „**grand maxima**“, (roky 1100 – 1200), keď bolo pozorovaných veľa slnečných škvŕn voľným okom. Dolný panel obr. 2, kde máme zmenšený stredný panel – orámovaný zelenou, nám ukazuje zmenu teploty (červená) za posledných 400-tisíc rokov v °C vzhľadom na priemernú hodnotu v „súčasnosti“ (priemer z rokov 1961 – 1990 sa rovná nule) a zmenu zastúpenia CO_2 (modrá). Tieto hodnoty, zjednodušene povedané, boli určené z výskumu zastúpenia ^{14}C, ^{10}Be a CO_2 vo vrtoch v antarktickom ľade až do hĺbky 3 300 m. Vidíme, že za posledných 400-tisíc rokov bola teplota len 5-krát a na „krátke“ obdobie na takej vysokej úrovni, ako je teraz, a prevažný čas bola o niekoľko °C nižšia s minimami až do –6 °C oproti úrovni teploty v súčasnosti. Tomu zodpovedali aj cyklicky sa opakujúce doby ľadové registrované geológmi.

Na obr. 2 (dole) sú však zmeny teploty a zmeny CO_2 takmer identické. Objavuje sa otázka, či uvedené cyklické zmeny hodnoty CO_2 sú **príčinou** zmien teploty, alebo sú ich **dôsledkom**.

Napríklad **zvyšuje sa teplota preto**, že sa nejakým **iným** spôsobom **zvýšilo zastúpenie CO_2**, t. j. je tu vplyv napríklad skleníkového efektu, alebo sa zvýšilo zastúpenie CO_2 preto, že sa zvýšila teplota?

Ak vezmeme do úvahy, že zo zmeny množstva ^{14}C a ^{10}Be odvodzujeme zmeny intenzity kozmického žiarenia, čo indikuje zmenu slnečnej aktivity a tým aj zmenu toku energie zo Slnka, zdá sa, že prvotná je zmena teploty a tá spôsobuje zmenu CO_2. Tu neberieme do úvahy možný vplyv našej civilizácie, pretože hovoríme o dávnych dobách.

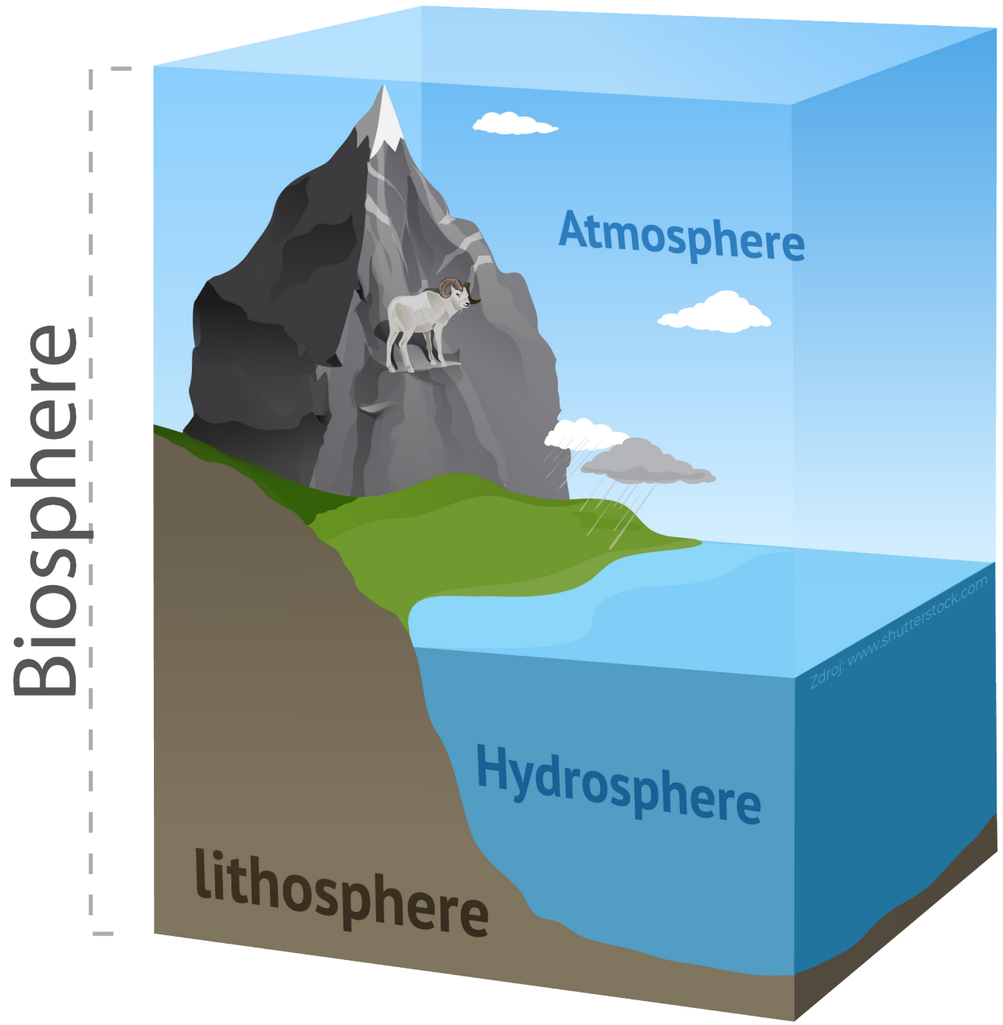
Prečo sa toto cyklicky opakuje približne každých 100-tisíc rokov, je predmetom ďalšieho výskumu. Všimnime si ešte enormný nárast CO_2 v súčasnosti oproti všetkým historickým dobám (porov. obr. 2, dole, modrá krivka), kde obsah CO_2 v súčasnosti „vystrelil“ na hodnotu 400 častíc CO_2 z milióna všetkých častíc v jednotkovom objeme (ppm). Taká vysoká hodnota nikdy v posledných niekoľko stotisíc rokov nebola. Z toho je jasné, že sa deje niečo, za čo Slnko nenesie žiadnu zodpovednosť, ako sme už ukázali vyššie. **Naopak, vplyv našej civilizácie na nárast obsahu CO_2 je teda úplne zrejmý.** Či rastie CO_2 preto, že uvoľňujeme viac tepla, alebo teplota rastie preto, že uvoľňujeme viac CO_2, to už je otázka mimo rámca tohto príspevku.

Ešte spomeňme, že ak vezmeme do úvahy fakt uvedený na začiatku, že na zmenu slnečnej konštanty o 1 W/m² pripadá zmena teploty o 0,1 – 0,15 °C, vychádza nám, že v čase maxima dôb ľadových (–6 °C oproti súčasnosti) mala slnečná konštanta hodnotu nižšiu približne o 60 W/m² a rovnala by sa namiesto súčasnej 1 361 W/m² iba 1 300 W/m². Ak sa zachová jasná periodicita cyklov ľadových dôb zjavná na obr. 2 (dole), tak nás pravdepodobne o niekoľko tisíc rokov čaká nástup do ďalšej doby ľadovej a výrazný prepad do nepríjemných „studených časov“.

Pravdepodobne nás o niekoľko tisíc rokov čaká nástup do ďalšej doby ľadovej a výrazný prepad do nepríjemných „studených časov“.



Zdroj: www.gettyimages.com



Klimatická zmena, zodpovednosť atmosféry?

RNDr. Pavol Nejedlík, CSc.
Ústav vied o Zemi SAV
geofyzik, klimatológ

Pod klimatickou zmenou sú často chápané a interpretované zmeny stavu atmosféry. Atmosféra je však len najdynamickejšou súčasťou klimatického systému, ktorý tvorí komplexnú klímu Zeme. Klimatický systém sa pritom v priebehu času neustále mení, a to všetky jeho jednotlivé zložky. Tvorený je atmosférou, hydrosférou, litosférou, kryosférou (vodou v tuhom skupenstve) a biosférou a tvorí klímu Zeme ako výsledok ich vzájomných vzťahov v procesoch výmeny hmoty a energie. Zmena ktoréhokoľvek z nich vyvoláva reťazovú reakciu. Každá zo zložiek klimatického systému má svoju vnútornú dynamiku, tak isto ako klimatický systém ako celok. Výsledkom sú potom jeho časové zmeny. Voda pokrývajúca dve tretiny zemského povrchu klímu stabilizuje, naproti tomu pevninská litosféra, ktorá predstavuje oveľa drsnejší povrch pre vzdušné prúdy a má nižšiu tepelnú kapacitu, klímu viac dynamizuje. Ľad a sneh na povrchu zeme a vodných plochách tlmia interakciu medzi atmosférou a daným povrchom, resp. vodnou plochou. Dôležitou vlastnosťou ľadu a snehu je jeho vysoká odrazivosť dopadajúceho slnečného žiarenia. Voda v tuhom skupenstve sa naviac výrazne podieľa na formovaní tvaru zemského povrchu. Mimo vnútornej dynamiky je klimatický systém ovplyvňovaný extraterestriálnymi silami a tiež tektonikou a vulkanickou činnosťou.

Človek je síce súčasťou biosféry, ale jeho samotná biologická existencia v dejinách vplývala a aj v súčasnosti vplýva na klimatický systém len minimálne. Vplyv človeka sa prejavuje prostredníctvom tvorby artefaktov a procesov zabezpečujúcich takúto tvorbu. Tento vplyv narastá hlavne v čase od začiatkov priemyselnej revolúcie a vo svojich negatívnych prejavoch vyvrcholil koncom prvej polovice a v druhej polovici 20. storočia. V tomto období ľudstvo čelilo a čiastočne doteraz čelí bezpečnostným environmentálnym krízam súvisiacim s atmosférou. Tie mohli aj ohrozovali ako kvalitu života veľkých aglomerácií, tak aj ľudstva ako celku a v niektorých aspektoch pôsobili katastroficky.

Prvou bola kríza jadrovej bezpečnosti. Táto téma je výsostne politická, ale darí sa ju doteraz zvládať postupným uzatvorením a v podstate aj dodržiavaním a pomerne prísnou medzinárodnou kontrolou zmlúv o nešírení jadrových zbraní z roku 1970 a zmluvou o všeobecnom zákaze jadrových skúšok z roku 1996. Existencia jadrového potenciálu využívaného na mierové účely, ako aj možné vojenské využitie je stále potenciálnou hrozbou, tá je však zatiaľ pomerne úspešne regulovaná.

Druhou krízou bolo a čiastočne zostáva aerosólové znečistenie atmosféry. To má dlhú históriu, v počiatkoch spätú so vznikom miest. Intenzívne znečistenie neregulovateľne narastalo s priemyselnou revolúciou a ani úmrtie okolo 1 000 ľudí v dôsledku smogu v roku 1892 v Londýne nevyvolalo pokus o riešenie. Legislatívne riešenia prišli až v 50. rokoch 20. storočia, keď v roku 1956 parlament Veľkej Británie vydal zákon o čistote ovzdušia ako reakciu na „**veľký smog**“ so 4 000 obeťami z decembra 1952. V globálnom meradle praktická zmena nenastala ihneď. V 70. rokoch minulého storočia sa objavili teórie globálneho ochladenia z dôvodu vysokého zakalenia atmosféry a následne zníženej hodnoty slnečnej energie dosahujúcej zemský povrch. Postupná tvorba národných zákonov o čistote ovzdušia, základný medzinárodný dohovor o diaľkovom znečisťovaní ovzdušia prechádzajúcom hranicami štátov a séria následných protokolov, ako aj novo vyvinuté technológie podstatne znižujúce produkciu exhalátov z priemyslu a energetiky priniesli zníženie exhalátov a určitú reguláciu a kontrolu v danej oblasti.

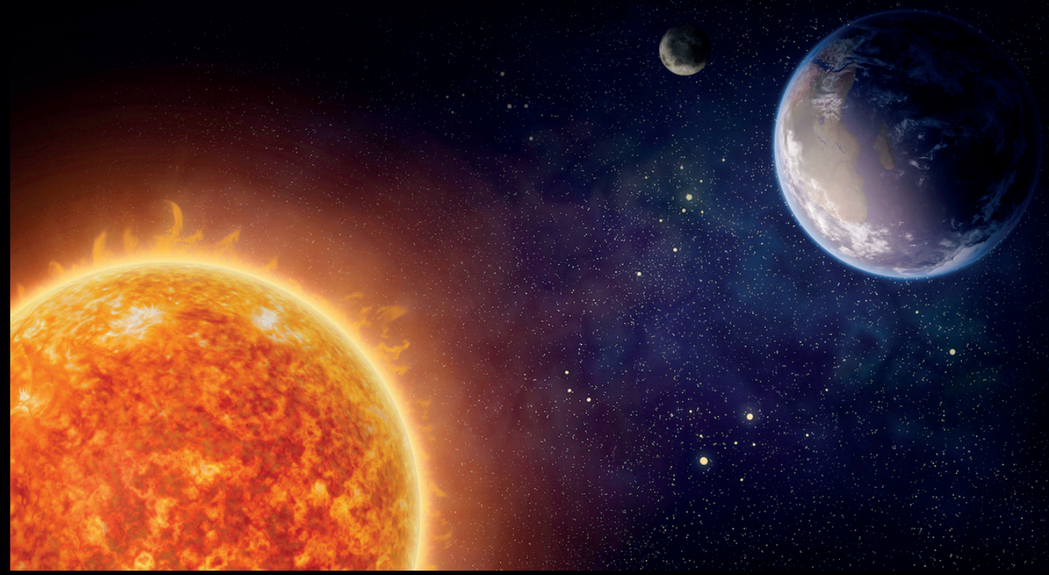
Ďalšou globálnou environmentálnou krízou bolo zoslabovanie ozónovej vrstvy. Stenčovanie vrstvy stratosférického ozónu je registrované od začiatku 70. rokov 20. storočia. Poznatok, že chlorofluorokarbóny (CFCs) k tomu výrazne prispievajú, Mario Molina a F. Sherwood Rowland publikovali už v polovici 70. rokov. Rozsiahle zoslabenie ozónovej vrstvy nad Antarktídou (ozónová diera), ktoré spôsobovalo oveľa intenzívnejšie prenikanie škodlivého UV-B žiarenia k zemskému povrchu, bolo zaznamenané o 10 rokov neskôr. Reakcia rozhodujúcich krajín bola nezvyčajne rýchla. Ihneď v roku 1987 podpísalo 46 krajín v čele s USA tzv. **Montrealský protokol**, ktorý požaduje postupne vyradiť z používania látky, ktoré zoslabujú ozónovú vrstvu. Doteraz ho podpísalo 196 krajín a EÚ. Nové technológie v oblasti chladiarenstva a výroby sprejov, kde sa CFCs hlavne používali, prispeli k stabilizácii a pozastaveniu deštrukcie ozónovej vrstvy. Najvyššie koncentrácie CFCs boli zaznamenané okolo roku 1998 a doteraz sú síce stále vysoké, ale ozónová vrstva sa zotavuje.

Problémom zostávajú skleníkové plyny, ktoré tiež čiastočne, aj keď nie tak agresívne ako chlór, bróm a fluór, podmieňujú deštrukciu ozónovej vrstvy. Jej budúcnosť je tak spätá s riešením problémov klimatických zmien.

Pojem zmeny podnebia (klímy) predstavuje dlhotrvajúce významné zmeny priemerných charakteristík počasia, ktoré sa vymykajú z intervalu prirodzených zmien a sú v časovom rozsahu minimálne niekoľko desaťročí.

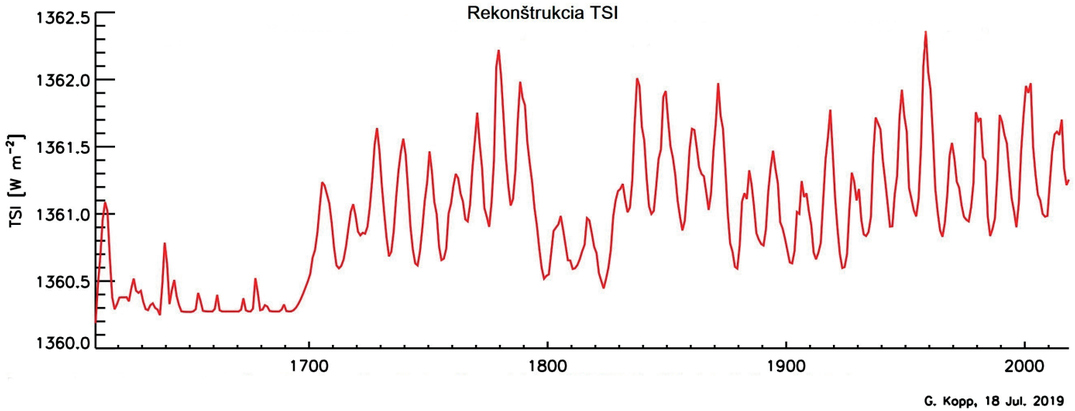
Citlivosť terajšej klímy na ľudské aktivity je očividná, aj keď je ťažko kvantifikovateľná. Jednako nezanedbateľná skupina odborníkov zastáva názor, že klimatické anomálie ostatných dekád možno prisudzovať skôr prirodzeným procesom ako vplyvom spôsobeným ľudskou činnosťou (antropogénnym vplyvom).

Rozhodujúcim prirodzeným mimozemským/exraterestriálnym energetickým zdrojom je Slnko. Aj malé výkyvy v množstve energie prenikajúcej na povrch Zeme majú značný dosah na výkyvy klímy. Kolísanie množstva slnečnej energie dopadajúcej na Zem v čase je spôsobené dvomi faktormi. Sú to zmeny v postavení Slnka a Zeme (zmeny v excentricite, sklone osi a precesia) a zmeny spôsobené vnútornou variabilitou Slnka. Kým zmeny v postavení Zeme a Slnka ovplyvňujú klímu na Zemi časovom rozsahu 10 000 a viac rokov, vnútorná solárna variabilita vykazuje vplyv na zemskú klímu v rozsahu desiatok až stovák rokov. Vnútorná solárna variabilita sa prejavuje výskytom plôch so zvýšenou magnetickou aktivitou na povrchu Slnka, tzv. slnečných škvŕn, pričom ich výskyt vykazuje periodickú variabilitu. Známy je 11-ročný cyklus, registrované sú však aj multidekádne cykly. Energia dopadajúca na hornú hranicu atmosféry v celom spektre je známa pod značkou TSI (Total Solar Irradiance). Má priemernú hodnotu 1 361 W/m^2 a kolíše v rozsahu okolo 0,1 % v jednom cykle slnečných škvŕn.



Zdroj: www.gettyimages.com

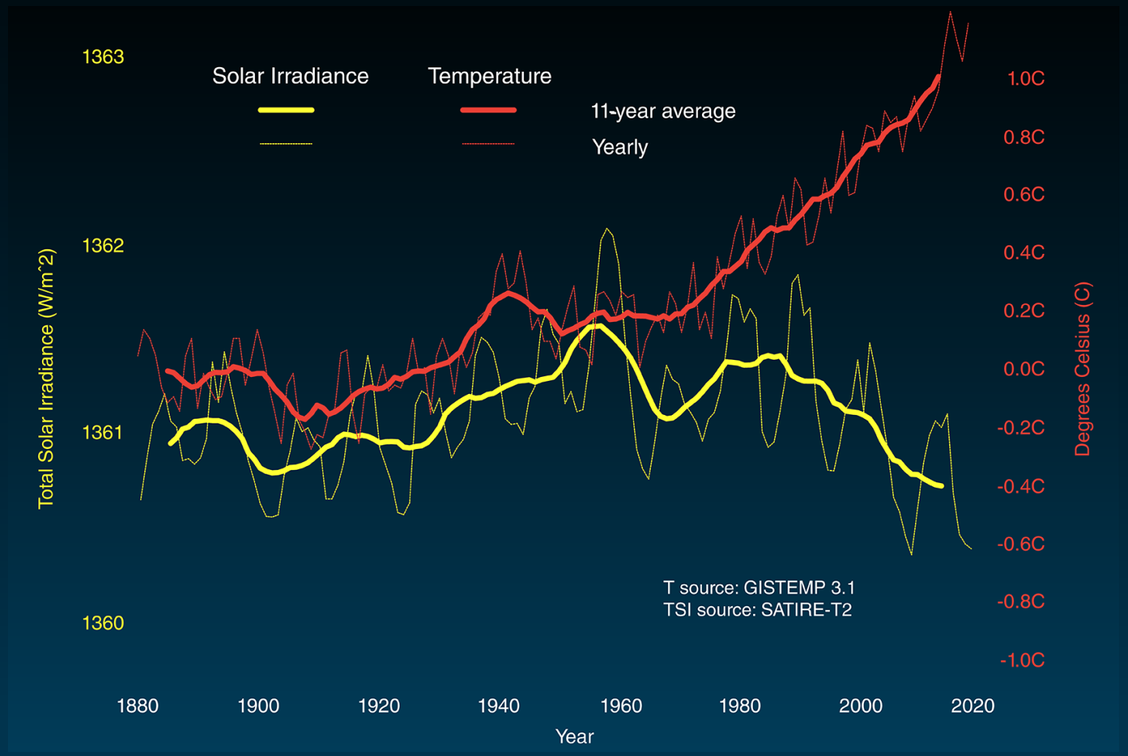
Dlhodobé mesačné pozorovania výskytu počtu slnečných škvŕn existujú za viac ako 250 rokov,[1] čo umožňuje za použitia doplňujúcich techník rekonštrukcie radov ako výskytu slnečných škvŕn, tak aj TSI. Hoci sa rôzne techniky rekonštrukcie v rôznom stupni odlišujú, zachovávajú jednotný trend a od druhej polovice 70. rokov sú korigované priamymi prístrojovými meraniami TSI. Nasledujúci obrázok (obr. 1) ukazuje rekonštrukciu hodnôt TSI za posledných 420 rokov z viacerých zdrojov. Z grafu je zrejmé, že v ostatných desaťročiach nepozorujeme vzostup príkonu slnečnej energie. Naopak, v priebehu dvoch cyklov dochádza od roku 2004 k poklesu týchto hodnôt a porovnáva sa s poklesom TSI v rokoch 1795 – 1810. To viedlo k tzv. Daltonovmu minimu.



Obr. 1:
Rekonštrukcia TSI (celkového slnečného ožiarenia na hornej hranici atmosféry) za obdobie 1600 – 2019.
Využité sú aj aktuálne prístroje merania od polovice sedemdesiatych rokov 20. storočia.
Zdroj: Dudok de Wit et al., CRL, 2017; Wu et al., A&A, 2018; http://www.leif.org/research

Globálna teplota zemského povrchu je, samozrejme, úzko spätá s príkonom slnečného žiarenia na hornú hranicu atmosféry. V minulosti bol pozorovaný obdobný trend chodu TSI a teploty zemského povrchu s istým oneskorením vzostupov a poklesov (podľa viacerých autorov išlo o 10- až 12-ročný posun). Tento trend bol narúšaný vulkanickou činnosťou a následným niekoľkoročným globálnym

1 http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/forcing.html

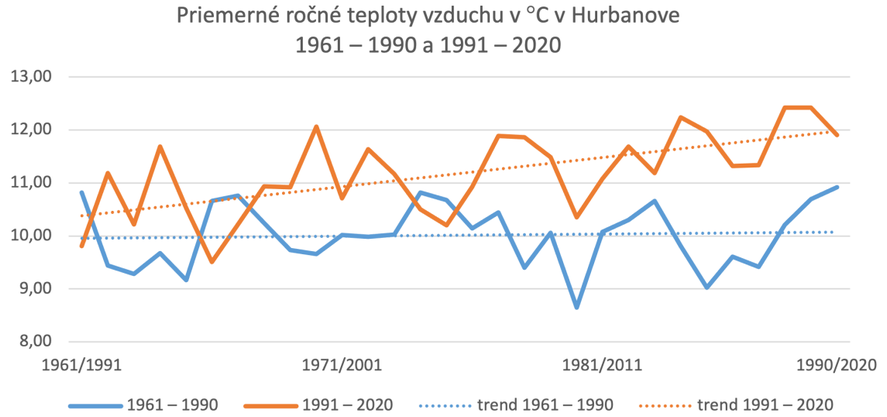


Obr. 2:
Chod 11-ročných a ročných priemerov celkového slnečného ožiarenia na hornej hranici atmosféry (TSI) a zmeny teploty povrchu Zeme za obdobie 1880 – 2019
— teplota, 11-ročný priemer ····· ročné priemery
— Total Solar Irradiance (TSI), 11-ročný priemer ····· ročné priemery
Zdroj teplotných údajov: GISTEMP 3.1, Zdroj TSI údajov: SATIRE T2+PMOD, https://climate.nasa.gov/

ochladením z dôvodu zvýšeného zákalu atmosféry (napr. erupcia vulkánu Tambora v roku 1815). Celkove je však korešpondencia TSI a teploty zemského povrchu zhruba do polovice 20. storočia zrejmá.

Od tohto obdobia, odkedy dochádza k postupnej stagnácii a poklesu príkonu slnečného žiarenia, však globálna teplota na povrchu Zeme vykazuje spočiatku stagnáciu, ale od začiatku 80. rokov jasný kontinuálny nárast (obr. 2). Vzťah príkonu slnečnej energie na hornú hranicu atmosféry a teploty zemského povrchu vykazuje z tohto hľadiska dlhodobú anomáliu bez akýchkoľvek pozorovaných extraterestriálnych alebo prirodzených vplyvov zemského systému samotného. Uvedený trend sa prejavuje na jednotlivých kontinentoch odlišne.

Najstaršie záznamy teploty na Slovensku máme z Hurbanova. Na obr. 3 je porovnaný chod a trend ročných teplôt za obdobia 1961 – 1990 a 1991 – 2020. Nárast teploty vzduchu v priebehu 20. storočia sa blíži 1 °C, v ostatných dekádach však akceleruje.



Obr. 3:
Na autorskom obrázku vidíme priebeh teploty vzduchu v Hurbanove za dve tridsaťročné obdobia, a to od 1961 do 2020 oddelene. Z grafu je viditeľný v podstate nevýznamný trend teploty za obdobie 1961 – 1990, v nasledujúcom období však teplota ukazuje jasne kladný trend presahujúci 1 °C.

Obdobné trendy sú zaznamenané aj na ďalších klimatických staniciach na Slovensku. Naproti tomu v priebehu posledných tridsaťročných období v minulom storočí, ktoré korešpondujú s tzv. normálovými periódami, trendy nárastu či poklesu teploty boli podstatne nižšie.

Uvedené fakty opisujúce prílev slnečnej energie na hornú hranicu atmosféry a vývoj teploty pri povrchu Zeme nastoľujú otázky fyzikálnej podstaty vývoja danej teploty. Atmosféra vo svojej podstate tvorí skleníkový efekt zachytávajúci energiu vyžarovanú Zemou do kozmického priestoru. Intenzita tohto javu je závislá od chemického a fyzikálneho zloženia atmosféry. Človek svojou činnosťou toto zloženie pomerne výrazne ovplyvňuje. Trend nárastu obsahu skleníkových plynov v atmosfére je jednoznačný a jednoznačný je aj fakt, že človek k tomuto nárastu prispieva. Je komplikované určiť, do akej miery a aké sú priame či nepriame následky tohto príspevku. Teoretické práce na tému globálneho oteplenia spôsobeného antropogénnymi emisiami CO_2 priniesol Arrhenius už koncom 19. storočia. V čase pred prvými jasnými dôkazmi o narastaní teploty pri zemskom povrchu tento jav opísali a konštatovali aj producenti znečistenia v Mining Congres Journal v roku 1966.

Globálny nárast teploty v ostatných troch dekádach je nepopierateľný. Nepopierateľný je aj trend niektorých procesov v atmosfére. S narastajúcim obsahom energie, ale tiež vodnej pary v atmosfére (teplejšia atmosféra je schopná prijať viac vodnej pary) narastá intenzita a frekvencia celej škály atmosférických fenoménov, ktorých dopady na prírodu a ľudskú činnosť sú často veľmi negatívne. Popri tomto trende výrazne narástla aj citlivosť jednotlivých oblastí ľudskej činnosti na pôsobenie počasia a klímy ako takej.

Aerosolová, ozónová a takisto kríza plynúca z globálneho otepľovania spadajú časovo do obdobia, keď veda dokázala reagovať operatívne pri detekcii a opise daného javu a čiastočne aj pri jeho predpovedaní a predchádzaní. Reakcia zodpovedných bola však veľmi „vlažná“ až neistá a ich postoj sa zmenil až v prípade aerosólov po viacerých fatálnych epizódach s tisíckami obetí. Ukazuje sa, že v politických systémoch ostatných dvoch storočí neexistovali a neexistujú nástroje, ktoré by dokázali nasmerovať najsilnejšie krajiny k efektívnej spolupráci na cieľoch všeobecnej potreby.

KLIMATICKÉ ZMENY V HISTÓRII ZEME

Predstavujú fenomén, ktorý – v minulosti chápaný ako čisto prírodný – nadobudol v posledných desaťročiach silný antropogénny rozmer, a to ako v bode príčin, tak aj v bode dôsledkov. Realisticky a zodpovedne sa k danému javu stavia väčšina vedcov, nezávisle od toho, či patria ku skupine umiernených hodnotiteľov alebo k „alarmistom“.

Problém nie je v hodnotení daného javu z hľadiska jeho poznania.

Daný fenomén sa stal politickou agendou na národnej aj medzinárodnej úrovni, ktorá ovplyvňuje náš každodenný život a je zakotvená v programoch všetkých významných politických zložiek. Je síce chápaná ako reálny fakt, ale keďže zatiaľ neprináša výraznejší politický profit, je mu v konečnom dôsledku v reálnej praxi venovaná pomerne malá pozornosť.

Klimatická zmena v systéme pôda-vegetácia-atmosféra

RNDr. Tomáš Orfánus, PhD.
Ústav hydrológie SAV
hydrológ, environmentálny špecialista

ZMENA KLÍMY – PRIRODZENÉ MECHANIZMY JEJ ZMIERŇOVANIA A ADAPTÁCIE

Už v predchádzajúcej kapitole venovanej atmosfére sme naznačili, že klimatický systém planéty pozostáva okrem atmosféry aj z ďalších komponentov, ktorými sú predovšetkým hydrosféra (vodstvo planéty), biosféra (živé organizmy a ekosystémy) a litosféra (vrchná pevná vrstva zemského povrchu) s pedosférou (pôdny kryt). Jednotlivé zložky nie sú od seba izolované, ale sa prekrývajú a vzhľadom na procesy prenosu látok a energie tvoria skôr jeden previazaný systém než izolované sústavy.

Vo vednej disciplíne hydrológia pevnín sa v priebehu jej vývoja okrem štúdia zrážkovo-odtokových vzťahov v povodiach veľká pozornosť venuje prenosu energie a látok v sústave pôda – rastlina (vegetácia) – atmosféra (ďalej systém PVA). Je to práve voda, ktorá je hlavným médiom týchto transportných procesov. Prenáša sa z hladiny podzemnej vody do pôdneho profilu (pôdna voda), kde tvorí tzv. **nenasýtenú zónu**, a z nej sa cez povrch pôdy (výparom) alebo cez orgány rastlín (transpiráciou) dostáva do atmosféry. Z atmosféry sa voda opätovne vracia v podobe zrážok, pričom jej ďalší osud na zemskom povrchu je daný práve vlastnosťami systému PVA. Dažďová voda môže byť zachytená na orgánoch rastlín (intercepcia), odkiaľ sa spätne odparuje, alebo sa dostáva na povrch pôdy, kde buď infiltruje do hlbších vrstiev, prípadne až do podzemnej vody, alebo odteká po povrchu do riek a ďalej do morí a oceánov. Sladkých podzemných vôd je na svete cca 10 miliónov kilometrov kubických. Pôdnej vody je podstatne menej, **len asi 16 000 kilometrov kubických**. Pritom je to predovšetkým táto voda, ktorá udržuje vegetáciu pri živote a riadi bilanciu energie a látok v ekosystémoch. Na porovnanie: v ľadovcoch a snehu je zadržiavaných približne až 29 miliónov kilometrov kubických vody, v jazerách asi 91 000 km^3 sladkej vody. Toto prerozdelenie sa však v posledných dekádach nepriaznivo mení vplyvom prebiehajúcej zmeny klímy (globálne otepľovanie). Okrem toho na (aj tak sa zmenšujúcich) ľadovcoch nám stromy neporastú.

Z pohľadu problematiky zmeny klímy je dôležité uviesť, že systém PVA je charakteristický vždy určitou mierou odolnosti voči meniacim sa podmienkam ostatných zložiek prostredia, ako aj určitou schopnosťou adaptácie – prispôsobenia sa voči nim. To, v akej momentálnej pozícii voči zmene klímy sa systém PVA nachádza, je dané súborom pozitívnych a negatívnych spätných väzieb, ktoré sa voči prebiehajúcej zmene v systéme aktivizujú. Pozitívne spätné väzby vedú k adaptácii – prispôsobeniu sa, t. j. k vytvoreniu nového rovnovážneho stavu (**homeostáze**) systému PVA, zatiaľ čo negatívne spätné väzby priamo zmierňujú pôsobenie zmeny klímy a udržujú pôvodný rovnovážny stav systému (**mitigácia**). Pozitívne spätné väzby sú teda pre prežitie ekosystémov kľúčové.

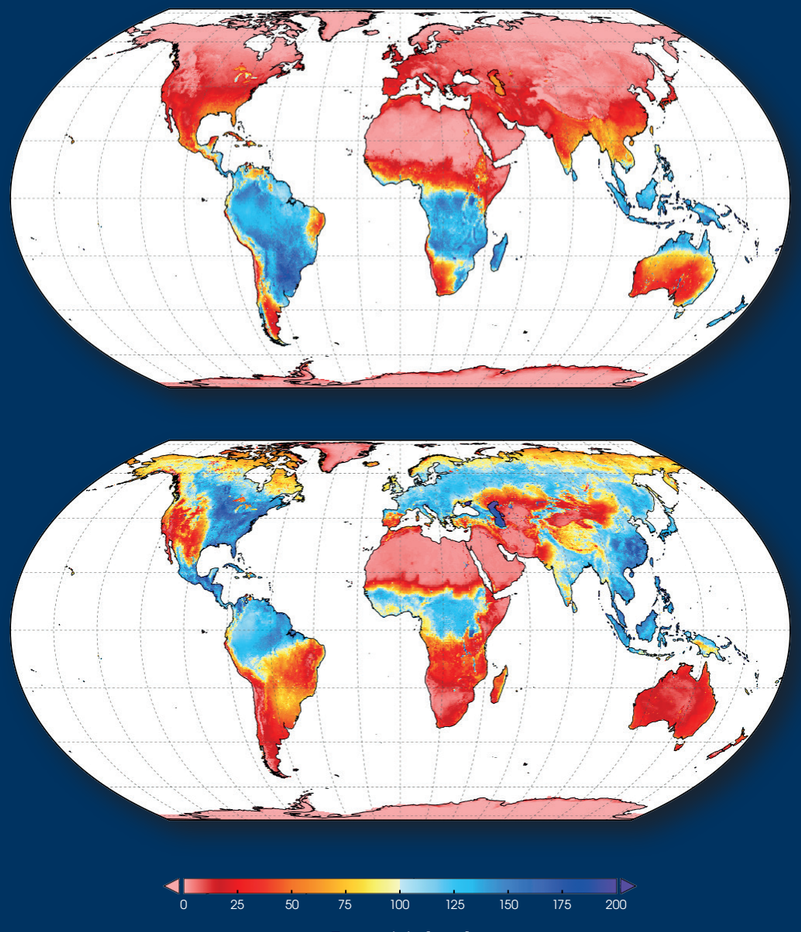
Poznámka:

V ekológii je iná terminológia ako v environmentálnej politike, kde sa (nie celkom správne) pod mitigáciou chápe predovšetkým znižovanie emisií skleníkových plynov a pod adaptáciou sa rozumejú krajinné úpravy na zmierňovanie zmeny klímy.

NEGATÍVNE SPÄTNÉ VÄZBY – ZMIERŇOVANIE KLIMATICKEJ ZMENY

Najlepšie sa každá teória vysvetľuje na konkrétnom prípade. Predstavme si, že vonkajší meniaci sa faktor, ktorý budeme sledovať, je rastúca teplota atmosféry. V takom prípade bude systém PVA transportovať viacej vody výparom z pôdy (prípadne podzemnej vody) a vylučovaním vody (transpiráciou) z rastlín do atmosféry. Ale výpar zároveň pôsobí na svoje okolie ochladzujúco. Dochádza pri ňom k vyparovaniu vody a zároveň k spotrebe energie (tepla). A o tom, že to nie je energia zanedbateľná, svedčia nasledujúce čísla. Priemerná hustota dopadajúceho žiarenia dosahuje v strednej Európe 3 kWh/m^2 za deň. Na každý kilogram odparenej vody je potrebných približne 2,5 milióna joulov energie, respektíve 0,7 kWh. Pre lepšiu predstavu, jedna kilowatthodina je množstvo energie, ktoré spotrebuje klasická 100 W žiarovka za desať hodín na výrobu svetla a tepla. Toto množstvo energie zodpovedá tiež kapacite jednej autobatérie, čiže vo vodnej pare vzniknutej z jedného litra vody je spotrebou skupenského tepla pri výpare zachytená energia jednej bežnej autobatérie. A práve preto, keď za letného dňa zmeriame teplotu pri rovnakom príkone slnečnej energie v lese (alebo v parku so stromami) a napríklad na parkovisku supermarketu v tieni, nameriame obrovské rozdiely; v lese je okolo 25 °C a pri supermarkete 45 °C i viac.

Pokiaľ je krajina v relatívne neporušenom stave, t. j. ak sú v nej zachované prirodzené cykly a toky látok a energie, nadmerne vyparené množstvo vody sa vracia do systému v podobe zvýšenia zrážok. Celý systém sa ochladí a naďalej zostáva v rovnováhe. Navyše tým, že sa systém načas zdynamizuje, dochádza k robustnejšiemu rozvoju rastlinných orgánov, k väčšej spotrebe CO_2 pre fotosyntézu, a teda aj k zníženiu množstva CO_2 v atmosfére! Klimatický systém sa dostáva do pôvodnej rovnováhy.



Obr. 1:
Priemerné mesačné úhrny výparu za obdobie 2011 – 2020 pre mesiace január (hore) a júl (dole) v globálnej mierke. Škála je v milimetroch za mesiac, čo tiež zodpovedá počtu litrov vody odparených za mesiac z jedného m².
Zdroj: https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land-monthly-means?tab=overview; dáta spracoval Mgr. Jozef Pecho zo SHMÚ

Toto je ukážka dvoch najefektívnejších negatívnych spätných väzieb fungujúceho systému PVA pôsobiacich proti zmene klímy. A práve preto je tak veľmi dôležité chrániť lesné ekosystémy, ak chceme byť v boji so zmenou klímy úspešní. Prestať spaľovať fosílne palivá je len jedna strana mince a dovolím si tvrdiť, že tá menej dôležitá. Oveľa dôležitejšie je ochrániť prirodzené živé systémy na svete s celou ich diverzitou, pretože tie jediné dokážu uhlík fixovať v takej miere, že môžu prejavy zmeny klímy zvrátiť. Predovšetkým treba zabrániť decimovaniu lesov tropického pásma a boreálnych lesov, ako aj lesov mierneho klimatického pásma. V oceánoch podobnú úlohu ako lesy na pevninách plnia predovšetkým riasy.

ADAPTÁCIA
(ak prospešné spätné väzby krajiny voči klimatickej zmene nefungujú)

V predchádzajúcej časti sme si ukázali, že krajina môže veľmi úspešne bojovať proti globálnemu otepľovaniu spôsobenému umelým zvyšovaním obsahu skleníkových plynov v atmosfére aktivizáciou veľmi účinných negatívnych spätných väzieb, ak nie sú prirodzené funkcie krajiny narušené. Človek však, bohužiaľ, zasiahol aj (a predovšetkým) na tomto „bojovom fronte“ odolávania našej planéty voči zmene klímy tým, že systematicky narúša, ba **likviduje viaceré zložky celého systému pôda-vegetácia-atmosféra**, ktoré sú nenahraditeľné pre aktivizáciu prospešných spätných väzieb krajiny, hlavne výparu z pevnín a fixáciu uhlíka v biomase. Kapacita povrchu planéty odolávať zmene klímy je z podstatnej časti zničená. Ako sa to deje?

V prvom rade dochádza k drastickým zmenám vo vegetačnom a pôdnom kryte planéty. Najmä zložité lesné ekosystémy sú nahradzované inými typmi vegetačného krytu (drevinovými plantážami, krovinami, pasienkami či poľnohospodárskymi monokultúrami, napr. sójou a pod.) alebo dokonca celkom obnaženou pôdou. V dôsledku toho dochádza k **strate humusu v pôdach** a **rozpadu pôdnej štruktúry**. A je to práve štruktúra pôdy, ktorá je zodpovedná za jej užitočné hydraulické vlastnosti, čiže drenážnu aj retenčnú (vodozádržnú) kapacitu pôd. Ak je štruktúra pôdy zničená, dochádza následne ľahko k jej **zhutneniu** – **kompakcii** a tak k výraznému zníženiu jej drenážnej aj retenčnej kapacity. Na takto degradovaných pôdach sa tvorí počas výdatných dažďov **povrchový odtok** a ten spúšťa proces **erózie pôdy**, keď je pôdny materiál unášaný vodou a transportovaný do nižšie položených častí povodí. Je to práve tento erodovaný materiál (napríklad z lesných ciest), ktorý nám aj na Slovensku **zanáša** viaceré **vodné toky** a **nádrže**.

Všetky tieto degradačné procesy, ktoré sa spustia potom, čo človek výrazne naruší homeostázu prirodzene vyvinutých ekosystémov, ale aj kultúrnej krajiny, vedú k zmene hydrologickej bilancie územia. Viacej vody začne odtekať povrchovo do riek a morí a znižuje sa zásoba vody v pôde a v podzemí. Aj samotná pôda má zníženú retenčnú kapacitu pre dažďovú vodu, a preto dochádza častejšie k povodniam. Reálny výpar sa napriek vyššej teplote atmosféry znižuje (pre nedostatok dostupnej vody),



Obr. 2:
Na tomto ilustračnom obrázku vidíme, ako nešetrne sa správame k nášmu najmenšiemu, a pritom najdôležitejšiemu zdroju vody pre celý systém PVA, ktorým je pôdna voda. Šípky ukazujú na miesta preferovaného podpovrchového odtoku, ktorý sa vplyvom z hlboko erodovanej lesnej cesty transformuje na povrchový odtok, ktorý bez úžitku odteká z povodia, a dokonca môže zvyšovať riziko záplav. Doľany.
Zdroj: autor



Obr. 3:
Tá istá situácia ako na predošlom obrázku, len o 20 metrov nižšie v smere nezrevitalizovanej lesnej cesty. Otvorený kohútik na pôdnom vodnom zdroji. Pôvodne podpovrchová pôdna voda sa vplyvom lesnej cesty na vzdialenosť niekoľkých metrov mení na reálny prítok potoka, priľahlý svah sa vysušuje. Doľany.
Zdroj: autor

hydrologická bilancia sa stáva **zápornou** a štartuje sa **fenomén sucha**. Prostredie sa otepľuje stále viac (pozitívna spätná väzba), kruh sa uzatvára a proces vysychania (aridizácie) krajiny sa stáva neodvratným.

Pôvodným ekosystémom nezostáva nič iné, ako opustiť doterajšie hranice homeostázy a prispôsobiť sa novým (už nezvratne zmeneným) podmienkam. Dochádza k adaptácii ekosystémov a krajiny na zmenu klímy. Starý ekosystém zaniká a je nahradený novým ekosystémom.

Jedným z dôležitých prejavov zmeny klímy na Slovensku v poslednom desaťročí, ktorý tiež súvisí priamo s otepľovaním atmosféry (a s oslabením kapacity prostredia mu odolávať), je **jarné sucho**. Jarné sucho vzniká najmä v dôsledku vytrácania sa snehovej pokrývky z nižšie položených území (na rozdiel od horských oblastí), najmä zo slovenských nížin, ktoré tvoria hlavné poľnohospodárske oblasti Slovenska. Napriek tomu, že množstvo zrážok v zimnom období pribúda, táto dažďová voda sa neakumuluje v podobe snehovej periny, ale priebežne buď (v lepšom prípade) vsakuje a dotuje podpovrchové rezervoáre, alebo (v horšom prípade) bez úžitku odteká povrchovým odtokom z územia. Pokiaľ sa zrážky sústredia v snehovej pokrývke a vydržia do marca, sneh sa na jar postupne roztopí a zavlaží pôdu. Pôda tak môže ostať vlhká až do mája, teda do obdobia, keď to rastliny najviac potrebujú. V posledných dvadsiatich rokoch je však situácia aj na Slovensku celkom odlišná. Snehovú pokrývku na nížinách prakticky nemáme a jarné úhrny dažďov sú veľmi nízke.

Už koncom marca a začiatkom apríla sa preto objavuje sucho (porov. napr. www.intersucho.sk), ktoré vážne ohrozuje začiatok vegetačnej sezóny plodín.

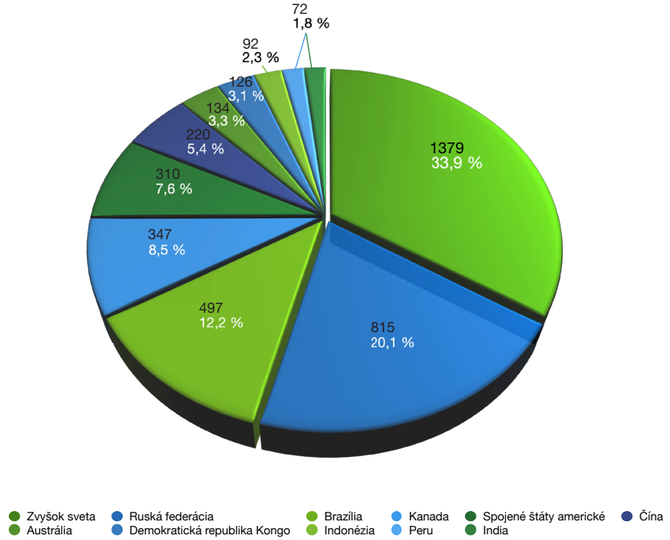
Ako už bolo povedané, v situácii, keď sú negatívne spätné väzby voči zmene klímy ľudskou činnosťou príliš oslabené, aktivizujú sa pozitívne spätné väzby, ktoré zmenu klímy naopak ešte stimulujú. Typickými znakmi následnej adaptácie ekosystémov na nové podmienky sú, okrem zmeny celkového rázu krajiny, tiež zmena druhového zloženia fauny a flóry, zmena aktívnych pôdotvorných procesov a zmena tepelného a vlhkostného režimu pôdy aj atmosféry.

Na záver je potrebné zdôrazniť, že **nezvratné efekty adaptácie ekosystémov na prebiehajúcu zmenu klímy, ktoré pozorujeme, sú všeobecne nepriaznivé. Dochádza k poklesu živín v pôde, všeobecne suchšiemu prostrediu, vymiznutiu pôvodných a k migrácii nových druhov rastlín, živočíchov, ale aj škodcov a mikrobiálnych pôvodcov chorôb. Takýto stav je veľmi nepriaznivý aj pre spoločnosť, pretože povedie k obrovskému nárastu vstupnej energie a nákladov na zabezpečenie porovnateľnej produktivity krajiny a ekosystémových služieb, aké boli pred adaptáciou.** Spomenúť možno nevyhnutnú výstavbu vodných nádrží a zavlažovacích systémov, ktoré v štádiu mitigácie do značnej miery a lacno suplovali prírode blízke vodozádržné opatrenia. Ďalej ide o zmenu druhového zloženia stromov v hospodársky využívaných lesoch, potrebu dodatkových živín a nových pesticídov do poľnohospodárskej pôdy a celkovú zmenu pôdohospodárskej praxe. Vyhliadky ľudstva aj v kontexte iných globálnych javov preto naozaj nie sú veľmi ružové.

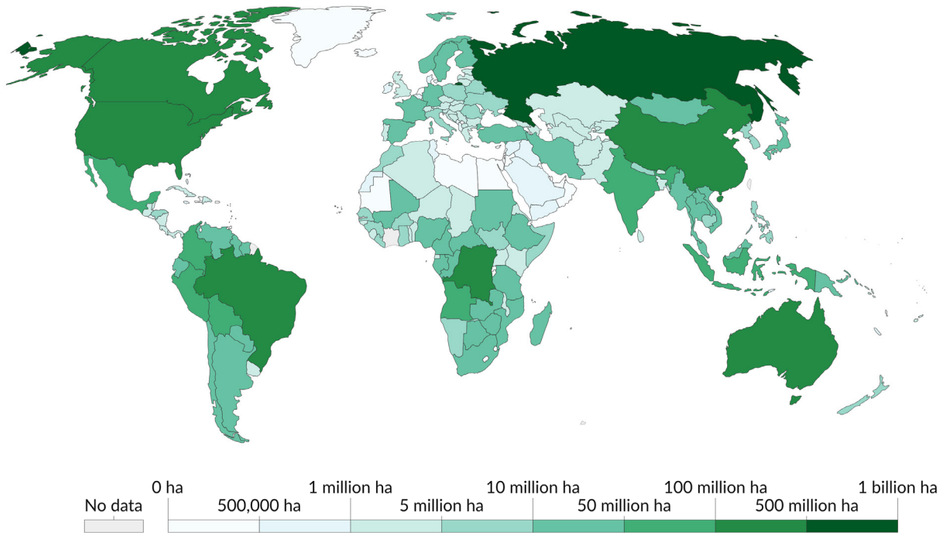
Vývoj krajinnej pokrývky, úloha lesov pri prebiehajúcej klimatickej zmene

Mgr. Pavol Kenderessy, PhD.
Ústav krajinnej ekológie SAV
geoinformatik, krajinný ekológ

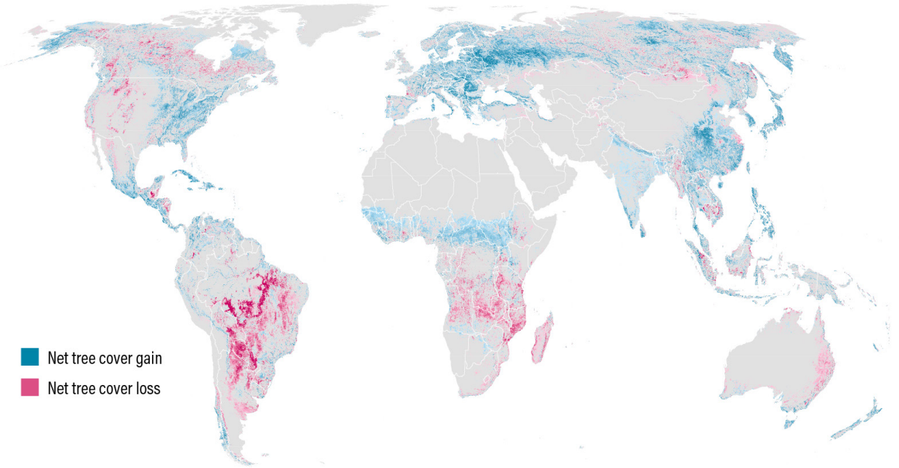
Lesy v súčasnosti pokrývajú približne 38 % globálnej rozlohy pevniny. Celková výmera lesov predstavuje v súčasnosti približne 4 000 miliónov hektárov (Mha), čo je asi 5 000 m² na osobu, ale lesy nie sú rovnomerne rozmiestnené po celom svete. Viac ako polovica svetových lesov sa nachádza iba v piatich krajinách (Ruská federácia, Brazília, Kanada, Spojené štáty americké a Čína) a dve tretiny (zhruba 66 %) lesov sa nachádzajú iba v desiatich krajinách (obr. 1 a 2).



Obr. 1:
Globálna distribúcia lesnej pokrývky s uvedením 10 najlesnatejších krajín sveta v roku 2020 (v miliónoch hektárov a % podiel na celkovej lesnatosti)
Zdroj: http://www.fao.org/state-of-forests/en/



Obr. 2:
Globálna distribúcia lesnej pokrývky v rámci jednotlivých krajín sveta
Zdroj: Forest area, https://ourworldindata.org/forest-area



Obr. 3:
Celkový globálny prírastok a úbytok stromovej pokrývky (modrá – prírastok, červená – úbytok)
Zdroj: Song et al., 2018

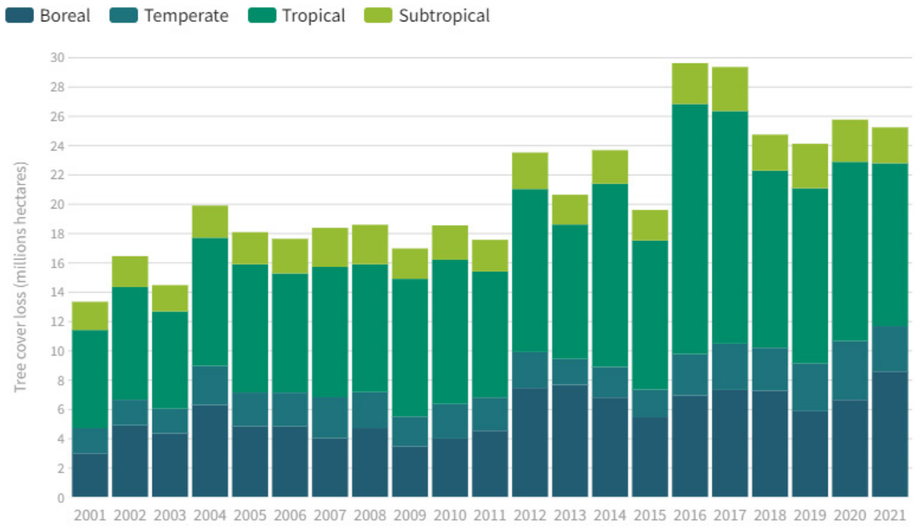
Približne polovica lesov predstavuje relatívne nenarušené alebo seminaturálne lesné porasty a viac ako jednu tretinu tvoria prirodzené alebo pôvodné lesy. Prirodzené lesy predstavujú takisto polovicu lesov v tropickej oblasti. V absolútnych číslach sa najväčšie rozlohy prirodzených lesov nachádzajú v Brazílii, Demokratickej republike Kongo a Indonézii: Francúzska Guyana, Gabon a Surinam majú najväčší podiel pôvodných lesných porastov na celkovej rozlohe.

Podľa najnovších globálnych údajov o vývoji krajinnej pokrývky pribudlo celosvetovo od roku 1982 do roku 2016 približne 224 Mha lesa. Prírastok a úbytok lesov je globálne veľmi variabilný s čistými prírastkami v Číne, vo východnej Európe a v USA a úbytkom porastov v oblasti trópov. V Číne je tento prírastok reprezentovaný hlavne nárastom rozlohy plantáží a intenzívneho zalesňovania, vo východnej Európe ide hlavne o prirodzený proces zarastania opustenej poľnohospodárskej pôdy, v juhovýchodných štátoch USA je to najmä obnova lesov a lesného hospodárstva (obr. 3).

Viac ako polovica (55 %) prírastku stromovej pokrývky sa v rokoch 2001 – 2012 vyskytovala v tropických a subtropických zónach. Z toho však asi pätinu tohto prírastku (21 %) tvorili plantáže a prírastok išiel na úkor regenerácie prírodných lesných porastov. Zvyšných 45 % prírastku stromovej pokrývky sa v rokoch 2001 – 2012 vyskytlo v miernom a boreálnom pásme. Tento prírastok je podobne ako v tropických a subtropických oblastiach reprezentovaný hlavne plantážnymi a hospodársky využívanými lesmi.

Vo vlhkých tropických oblastiach ubudlo od prelomu storočia 60 Mha pôvodných prirodzených lesov, čo predstavuje 5,9 % ich rozsahu v roku 2001. Prirodzené lesy zvyčajne ukladajú viac uhlíka v porovnaní s inými typmi lesov, a ak ide o biodiverzitu, sú často nenahraditeľné. 65 % tohto úbytku sa zaznamenalo iba v troch krajinách – v Brazílii, Konžskej demokratickej republike a Indonézii. Najvyššia úroveň úbytku prirodzených lesov v miernej a boreálnej oblasti bola zaznamenaná v Rusku a v Kanade,

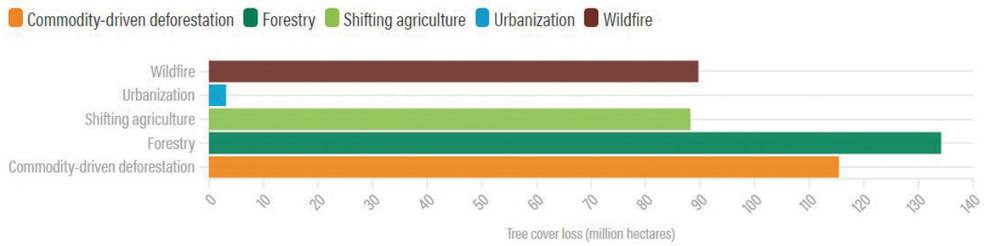
predovšetkým v dôsledku ťažby dreva a požiarov. V rozmedzí rokov 2000 – 2016 stratilo Rusko 6 Mha pôvodných lesných porastov a Kanada 4 Mha (obr. 4).



Obr. 4:
Celková globálna strata lesnej pokrývky v rámci jednotlivých ekoregiónov
Zdroj: Global Forest Review; https://research.wri.org/gfr/forest-extent-indicators/forest-loss

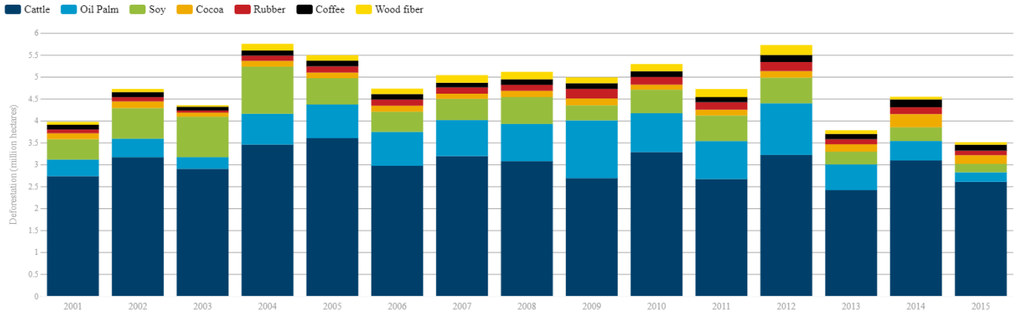
Globálne je úbytok lesa spojený hlavne s lesníckymi aktivitami, čo predstavuje od roku 2001 stratu približne 119 Mha. Tu je však potrebné zdôrazniť, že tento úbytok nie je považovaný za trvalý stav a prostredníctvom prirodzenej obnovy alebo výsadby sa predpokladá opätovný návrat lesa. Iná situácia je v prípade procesov trvalého odlesňovania v súvislosti s produkciou komodít (103 Mha) vrátane poľnohospodárstva, rozširovania dobývacích priestorov alebo ťažby ropy a plynu. Premena lesnej pôdy na poľnohospodársku mala za následok stratu 87 Mha lesa. Lesné požiare sú zodpovedné za stratu 89 Mha lesnej pokrývky a urbanizácia za 4 Mha (obr. 5).

Najrozsiahlejšia konverzia lesnej pôdy na poľnohospodársku sa odohráva hlavne vďaka globálnemu dopytu po siedmich základných komoditách. Pastviny na chov dobytka v súčasnosti zaberajú približ-



Obr. 5:
Najvýznamnejšie hybné sily straty lesnej pokrývky v globálnom meradle (2001 – 2020)
Zdroj: Global Forest Review; https://research.wri.org/gfr/forest-extent-indicators/forest-loss

ne 45,1 Mha pôdy odlesnenej v rokoch 2001 – 2015, čo predstavuje 36 % úbytku lesa súvisiaceho s poľnohospodárstvom za dané obdobie. Na druhom mieste je pestovanie palmy olejnej (10,5 Mha), za ňou nasleduje sója (8,2 Mha), potom kakao, plantážny kaučuk, káva a plantážne drevné vlákno (každá pribl. 2 Mha). Týchto sedem komodít predstavuje spolu 57 % celkovej straty lesa súvisiacej s poľnohospodárstvom v rokoch 2001 – 2015 (obr. 6).



Obr. 6:
Globálny vývoj straty lesnej pokrývky v závislosti od vybraných poľnohospodárskych komodít
Zdroj: Global Forest Review; https://research.wri.org/gfr/forest-extent-indicators/deforestation-agriculture

Z globálneho hľadiska sa vývoj lesnatosti na európskom kontinente javí ako pozitívny. Viac ako tretina európskeho povrchu (227 Mha) je zalesnená. Plocha lesa v priemere od roku 1990 do roku 2020 narastala o 643-tisíc ha ročne. V priemere vo všetkých krajinách Európy za posledných 10 a 30 rokov les pribúdal, aj keď v poslednom čase sa tento prírastok spomalil. Pri ročnom prírastku 218,5-tis. ha (0,78 %) za posledných 30 rokov bola expanzia lesov najvyššia v juhozápadnej Európe, nasledovaná juhovýchodnou Európou s 147,6-tis. ha (0,38 %) a stredozápadnou Európou s 131,5-tis. ha (0,36 %) ročne.

Region	1990	2000	2005	2010	2015	2020	Annual change 1990-2020	Annual change 2010-2020
	1 000 ha						%	
North Europe	69 943	70 823	70 767	70 926	71 202	71 299	+0.06	+0.05
Central-West Europe	35 020	36 382	37 178	37 864	38 447	38 966	+0.36	+0.29
Central-East Europe	41 731	42 773	43 280	43 841	44 471	44 735	+0.23	+0.20
South-West Europe	24 910	28 760	30 162	30 841	31 176	31 466	+0.78	+0.20
South-East Europe	36 459	37 339	38 210	39 442	40 196	40 887	+0.38	+0.36
EU-28	147 971	154 754	157 592	159 673	161 413	162 422	+0.31	+0.17
Europe	208 062	216 077	219 597	222 914	225 493	227 353	+0.30	+0.20

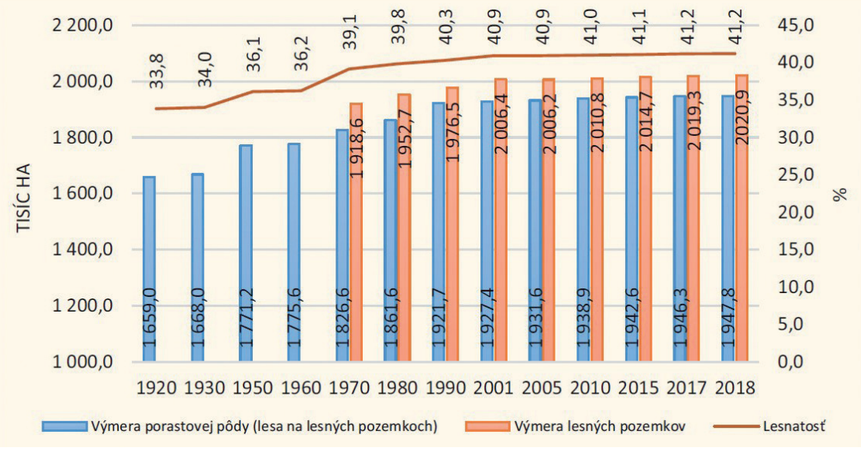
Obr. 7:
Vývoj a zmeny výmery lesa v EU v rokoch 1990 – 2020 a 2010 – 2020
Zdroj: FOREST EUROPE, 2020: State of Europe's Forests 2020.

Aj napriek celkovému pozitívnemu trendu bol v celej Európe v posledných rokoch zaznamenaný výrazný nárast plochy vyťaženého lesa (o 49 %) a úbytok lesnej biomasy (o 69 %), ak porovnáme obdobie rokov 2016 – 2018 s rokmi 2011 – 2015. Najvýraznejšie zmeny boli zaznamenané na Pyrenejskom polostrove a v severských a pobaltských krajinách.[1]

Na Slovensku celková výmera lesných pozemkov v roku 2018 predstavovala 2 020 926 ha a od roku 1990 sa zvýšila o 44 400 ha (t. j. o 2,25 %). Lesnatosť počítaná ako percentuálny podiel výmery lesných pozemkov na celkovej výmere SR (4,9 Mha vrátane vodných plôch) v roku 2018 dosiahla 41,2 %.

1 CECCHERINI, G., DUVEILLER, G., GRASSI, G., et al. (2020). Abrupt increase in harvested forest area over Europe after 2015. Nature 583, 72–77. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2438-y

Od roku 1990 sa teda zvýšila o 0,9 %. Každoročný nárast je spôsobený hlavne konverziou nelesných pozemkov porastených lesnými drevinami na lesné v dôsledku dlhodobého opúšťania a absencie manažmentu.



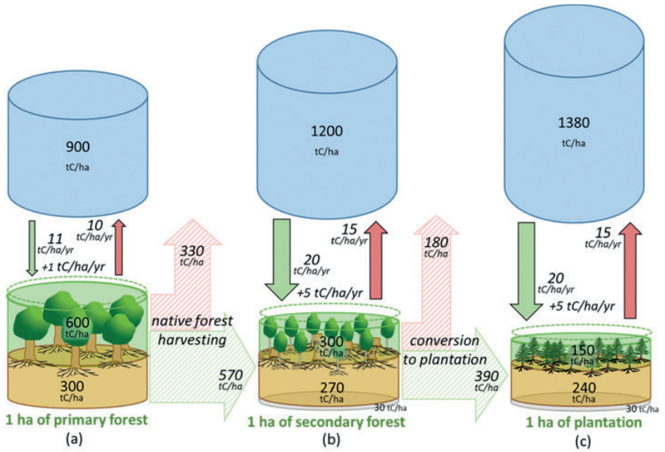
Obr. 8:
Výmera lesov na Slovensku
Zdroj: MPRV SR, Zelená správa, 2019

LESY A KOLOBEH UHLÍKA

Stromy a rastlinstvo vo všeobecnosti hrajú kľúčovú rolu v kolobehu uhlíka na Zemi. Rastliny na svoj rast využívajú oxid uhličitý (CO_2), ktorý absorbujú z atmosféry, a dusík (N), ktorý absorbujú z pôdy. Počas svojho životného cyklu tieto látky naopak redistribuujú do organickej hmoty alebo nadzemnej a podzemnej biomasy, nekromasy alebo rastlinných zvyškov a organických látok v pôde. CO_2 a ďalšie skleníkové plyny, najmä metán (CH_4) a oxid dusný (N_2O), sa zase uvoľňujú do atmosféry dýchaním rastlín, rozkladom odumretej rastlinnej biomasy a pôdnych organických látok a jej spaľovaním.

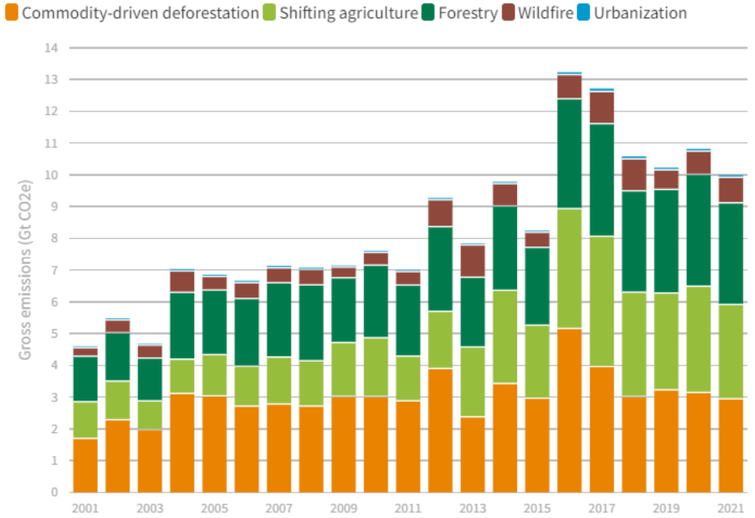
Globálne je v lesoch uložených približne 861 gigaton uhlíka (GtC), z toho 44 % v pôde (do hĺbky jedného metra), 42 % v živej biomase (nad a pod zemou), 8 % v mŕtvom dreve a 5 % v podstielke.[2] Celkovo to zodpovedá súčasným ročným emisiám fosílnych palív vyprodukovaným v priebehu jedného storočia. Tropické dažďové pralesy predstavujú 30 % globálnej lesnej pokrývky, ale celkovo je v ich biomase uložených približne 50 % uhlíka viazaného v stromovej vegetácii. Tropické lesy ukladajú väčšinu svojho uhlíka do vegetácie (lesná biomasa) a naopak boreálne lesy ukladajú väčšie množstvo uhlíka do pôd.

Na rozdiel od iných hospodárskych odvetví, ktoré spravidla predstavujú čistých producentov CO_2, lesy fungujú obojsmerne, teda počas života alebo pri obnove uhlík absorbujú a naopak v prípade ťažby alebo konverzie z prírodných na hospodárske lesy alebo degradácie ho naspäť emitujú (obr. 9). Les sa po každom narušení stáva čistým zdrojom uhlíka. Sú tu však značné rozdiely v závislosti od veku porastu. Napríklad čerstvo vyťažený mladý výmlatkový porast alebo nálet býva zdrojom uhlíka iba počas niekoľkých rokov, potom ukladanie uhlíka v biomase predbehne straty spôsobené respiráciou. Naopak holorubná ťažba dospelého lesa posunie porast do úlohy čistého zdroja uhlíka na niekoľko desaťročí.



Obr. 9:
Zmena bilancie zásob a emisií uhlíka na príklade konverzie prirodzeného eukalyptového lesa na hospodársky
Zdroj: Keith et al. (2021)

Podľa posledných zverejnených údajov boli lesy schopné v rozmedzí rokov 2001 – 2019 ročne absorbovať 15,6 $GtCO_2$ (4,25 GtC), pričom výsledná absorpčná schopnosť po zohľadnení emisií v dôsledku degradácie lesov a odlesňovania (8,1 $GtCO_2$) predstavuje 7,6 Gt CO_2 (2,07 GtC).[3] Pri celkovej kombinovanej emisii CO_2 (fosílne zdroje aj zmeny využitia krajiny), ktorá predstavovala v roku 2020 40 Gt CO_2, tak dokážu lesy absorbovať pribl. 20 % emitovaného CO_2.



Obr. 10:
Nárast emisií uhlíka z lesov od roku 2001
Zdroj: Global Forest Review, https://research.wri.org/gfr/biodiversity-ecological-services-indicators/greenhouse-gas-fluxes-forests

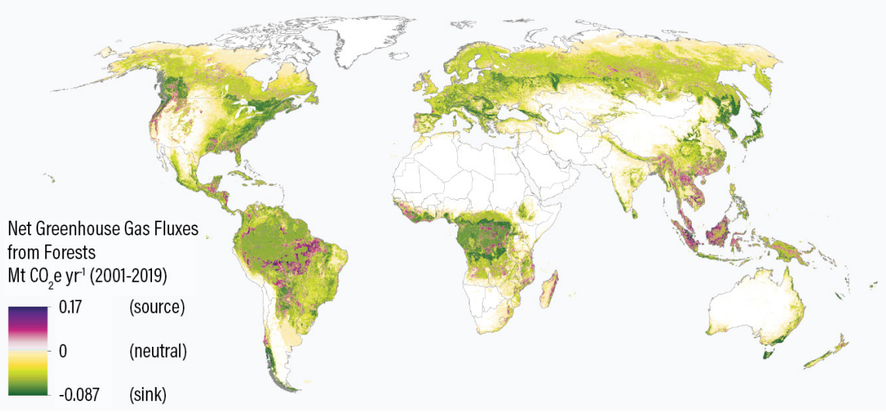
Celkové emisie uhlíka sa od prelomu storočia výrazne zvýšili, z 2,4 gigaton (Gt) CO_2 v roku 2001 na pribl. 4,0 $GtCO_2$ v roku 2019. Keby emisie spôsobené stratou lesnej pokrývky v tropickej oblasti predstavovali ekvivalent jednej krajiny, bola by na treťom mieste, čo sa týka objemu emisií CO_2, hneď za Čínou a USA. Celkové emisie v súvislosti s odlesňovaním hlavne v tropickej oblasti sa od roku 2001 skoro strojnásobili (obr. 10). Brazília, Konžská demokratická republika a Indonézia zodpovedajú celkovo za dve tretiny celkových emisií CO_2 z úbytku tropických pralesov v rokoch 2001 – 2019, a to predovšetkým v súvislosti s rozširovaním produkcie poľnohospodárskych komodít.

Za posledných 20 rokov sa lesy v juhovýchodnej Ázii stali v dôsledku odlesňovania a lesných požiarov celkovo čistým zdrojom uhlíkových emisií. Povodie rieky Amazonka, ktoré sa rozprestiera v deviatich krajinách Južnej Ameriky, predstavuje ešte stále úložisko uhlíka, ale v prípade, že bude odlesňovanie

2 PAN, Y., et al. (2011). A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. Science: Vol. 333, Issue 6045, 988-993. https://doi.org/10.1126/science.1201609

3 HARRIS, N.L., GIBBS, D.A., BACCINI, A., et al. (2021). Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. Nat. Clim. Chang. 11, 234-240. https://doi.org/10.1038/s41558-020-00976-6

v tejto oblasti pokračovať rovnakým tempom ako doteraz, môže sa naopak rýchlo stať zdrojom uhlíkových emisií. Z troch najväčších tropických dažďových pralesov na svete má už len Konžská demokratická republika dostatočnú rozlohu neporušeného pôvodného lesa, ktorý predstavuje významné čisté úložisko uhlíka. Konžský tropický dažďový prales zachytáva o 600 Mt viac oxidu uhličitého ročne ako emituje, čo zodpovedá asi jednej tretine emisií CO_2 z celého sektoru dopravy v USA (obr. 11). V rámci EÚ predstavovala v rokoch 2010 až 2020 sekvestrácia uhlíka v lesoch pribl. 155 Mt, čo koreš-ponduje s 10 % celkových emisií skleníkových plynov.[4]



Obr. 11:
Globálna distribúcia zdrojov a úložísk CO_2 v lesných ekosystémoch sveta
Zdroj: Harris et al. (2021)

Odhliadnuc od toho, či sa človek na ňom podieľa, alebo nie, je nárast koncentrácie CO_2 a ďalších skleníkových plynov v ovzduší v príčinnej súvislosti s pozorovanou klimatickou zmenou. Klimatická zmena tu jednoducho je a jej najmarkantnejším prejavom je nárast globálnej teploty. Za posledných 100 rokov vzrástla priemerná globálna teplota o 0,74 °C a počas posledných 50 rokov stúpala rýchlosťou 0,13 °C za desaťročie. Ako koncentrácia CO_2, tak aj teplota majú vplyv na kolobeh uhlíka v lesoch. Mnoho experimentov preukázalo, že zvýšená koncentrácia CO_2 urýchľuje rast drevín, pretože podporuje fotosyntézu. Navyše spôsobuje nárast listovej plochy, ktorá efektívnejšie zachytáva dopadajúce slnečné svetlo. Čistá primárna produkcia ekosystému tak stúpa a tento efekt sa často označuje ako hnojenie uhlíkom. Podľa niektorých odhadov môže nárast primárnej produkcie v dôsledku zvýšenej koncentrácie CO_2 od roku 1900 predstavovať pribl. 31 ± 5 %.[5]

Je však dôležité si uvedomiť, že v lesnej pôde je zásoba uhlíka zhruba dvojnásobná ako množstvo uhlíka v nadzemnej biomase. Osobitne to platí pre lesy mierneho pásma a boreálne lesy, kde môže tento pomer stúpnuť až na 5 : 1. Jednou z hlavných negatívnych spätných väzieb ovplyvňujúcich akumuláciu uhlíka v lesnom ekosystéme je dostupnosť živín. Ide predovšetkým o dusík, ktorý vo väčšine lesných ekosystémov limituje čistú primárnu produkciu. Lesný ekosystém žije predovšetkým z dusíka viazaného symbiotickými mikroorganizmami a z dusíka deponovaného zrážkami do pôdy. Kým v miestach bez priemyslu a dopravy sa ukladá formou depozície pribl. 1 – 2 kg dusíka na jeden hektár, v husto obývaných poľnohospodárskych oblastiach sa to môže blížiť až k 100 kg. Zvýšenie čistej primárnej produkcie pri zvýšenej koncentrácii CO_2 odznieva tam, kde nie je dostatok prijateľného dusíka na výživu asimilačního aparátu. Ak chýbajúci dusík dodáme, môžeme opätovne povzbudiť nárast biomasy.

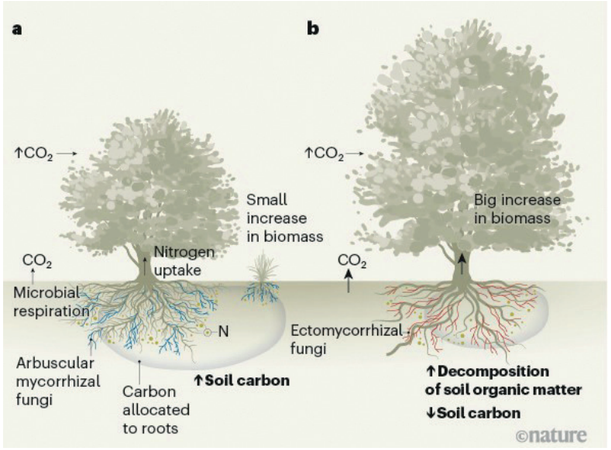
Doteraz realizované experimenty poukazujú na fakt, že dôsledok zvýšenej koncentrácie CO_2 na uskladňovanie uhlíka do pôd sa dá najlepšie vysvetliť negatívnym vzťahom s prírastkom rastlinnej biomasy. Keď je prírastok biomasy silne stimulovaný zvýšenou koncentráciou CO_2, ukladanie uhlíka do pôdy klesá, a naopak, keď je rastlina stimulovaná slabo, ukladanie uhlíka do pôdy sa zvyšuje. Zistilo sa, že zásoby uhlíka v pôde v súvislosti so zvýšenou koncentráciou CO_2 celkovo stúpajú v trávnatých porastoch (8 ± 2 %), ale nie v lesoch (0 ± 2 %), aj keď objem rastlinnej biomasy v trávnatých porastoch narastá pomalšie (9 ± 3 %) v porovnaní s lesmi (23 ± 2 %).[6]

Tento proces úzko súvisí aj so vzťahom rastlín a mykoríznej bioty (bioty húb) v pôdach. Rastliny, ktoré sa spájajú s tzv. arbuskulárnymi mykoríznymi hubami (trávy a niektoré stromy), „neťažia“ dusík a živiny z pôdy, a preto pri zvýšení hladiny CO_2 neprodukujú veľa nadzemnej biomasy. Namiesto toho ukladajú uhlík do koreňovej biomasy, čo vedie k jeho následnej akumulácii v pôde (obr. 12a). Naopak rastliny, ktoré sa spájajú s ektomykoríznymi hubami, získavajú z pôdy dusík, čo vedie k nárastu objemu ich biomasy. Odčerpávanie živín z pôdy však zvyšuje rýchlosť rozkladu organických látok a množstvo uhlíka v pôde preto klesá (obr. 12b).

4 MANDL, N., & PINTERITS, M. (eds) Annual European Union Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2016 and Inventory Report 2018. EAA Report no. 5/2018 (European Environment Agency, 2018). https://www.eea.europa.eu/publications/european-union-greenhousegas-inventory-2018

5 HAVERD, V., et al. (2020). Higher than expected CO_2 fertilization inferred from leaf to global observations. Global change biology, 2390-2402. https://doi.org/10.1111/gcb.14950

6 TERRER, C., et al. (2021). A trade-off between plant and soil carbon storage under elevated CO_2. Nature 591, 599-603. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03306-8



Obr. 12:
Schéma procesu ukladania uhlíka do pôdy rastlinstvom pri arbuskulárnej mykoríze (a) a pri ektomykoríze (b)
Zdroj: Terrer et al. (2021)

Pri hodnotení bilancie uhlíka je potrebné zohľadniť aj vek lesa. Vo všeobecnosti platí, že s narastajúcim vekom klesá primárna produkcia lesa. Najnovšie výskumy však poukazujú na fakt, že aj lesy mierneho pásma staršie ako 200 rokov sú schopné uhlík akumulovať v nezanedbateľnej miere. Príčinou môže byť dlhodobý kolobeh rozkladu lístia a koreňov, ktorý prispieva k hromadeniu uhlíka vo forme stabilného humusu v pôde, ktorý je neprístupný ďalšiemu rozkladu. Staré lesy tak tiež môžu reagovať na vyššiu koncentráciu CO_2 a zvyšovať čistú primárnu produkciu. Veľké stromy s priemerom kmeňa viac ako 50 cm tvoria iba 3 % stromov, ale ukladajú až 42 % nadzemného uhlíka. Na základe štúdie z roku 2018 sa zistilo, že 1 % stromov s najväčším priemerom obsahuje polovicu všetkého uhlíka uloženého vo svetových lesoch.[7] Preto predstava, že nahradíme starý prales plantážou rýchlorastúcich drevín, a tým povzbudíme ukladanie uhlíka, sa preto javí ako mylná. **Odstránením starého pralesa sa uvoľní ohromné množstvo uhlíka viazaného v biomase a najmä v pôde. Takéto množstvo emitovaného uhlíka nie možné následne absorbovať prostredníctvom tradičného hospodárenia s priemernou dĺžkou obnovy lesného porastu.** Aj z tohto dôvodu je potrebné presadzovať také hospodárske postupy, ktoré pri obnove lesného porastu minimalizujú negatívny vplyv ťažby na emisiu uhlíka uloženého v pôde a takisto zabezpečia ponechanie dostatočného množstva mŕtvej biomasy, ktorá bude slúžiť ako zásoba živín aj budúcim generáciám lesa.

7 LUTZ, J. A., et al. (2018). Global importance of large-diameter trees. Global Ecology and Biogeography 27.7 (2018): 849-864. https://doi.org/10.1111/geb.12747



Zdroj: www.gettyimages.com

Vzostup morskej hladiny vplyvom klimatickej zmeny?

RNDr. Ján Madarás, PhD.
Ústav vied o Zemi SAV
štruktúrny geológ, tektonik

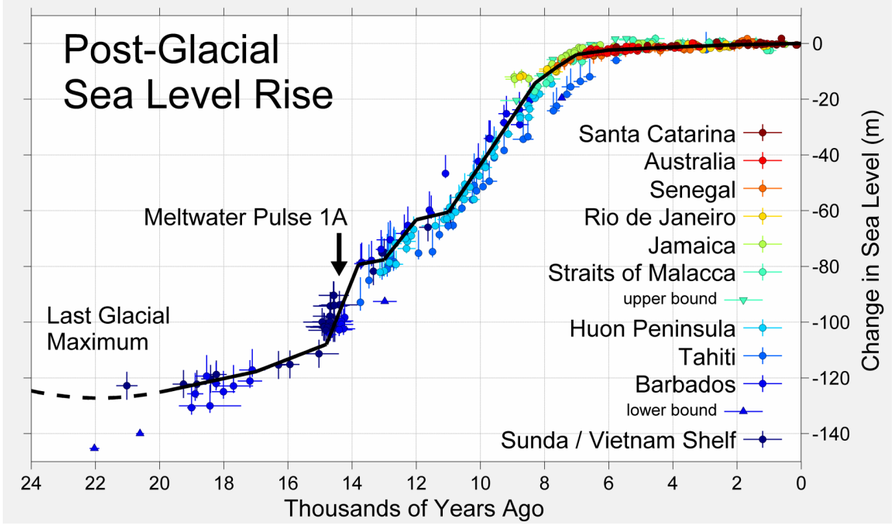
V súvislosti s klimatickou zmenou sa v internetovom priestore objavujú mapy zaplavenia pevniny stúpajúcou vodou. Od tých viac-menej pravdepodobných až po alarmistické, kde za žiadnych okolností nedôjde k zaplaveniu takých obrovských častí sveta, ako sa autori máp snažia jednoducho interpretovať. V tejto stati chceme upozorniť, že nebudeme narábať s exaktne presnými číslami, to nie je ani účel, ale budeme sa pohybovať v hodnotách ± 10 %, čo však neznižuje posolstvo textu. Ani v serióznych odborných časopisoch neexistuje zhoda v presných číslach a rozdiely v údajoch sú aj oveľa väčšie ako 10 %.

GLOBÁLNE STRIEDANIE ĽADOVÝCH DÔB

Pri topení najmä pevninských ľadovcov pred cca 15- až 8-tisíc rokmi, na konci poslednej doby ľadovej došlo k relatívne rýchlemu celosvetovému vzostupu morskej hladiny (porov. obr. 1).

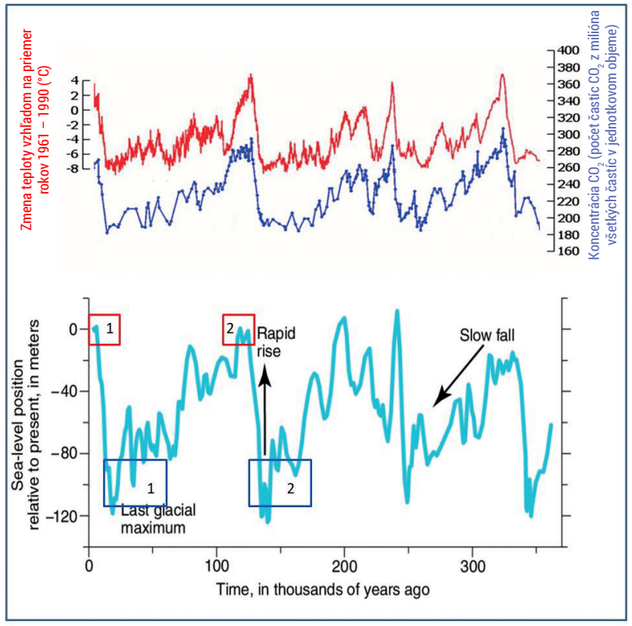
Skôr by sme však mali hovoriť o periodickom vzostupe, ktorý trvá do dnešných dní. Pretože vzostupy, resp. poklesy hladiny celosvetového oceánu sa periodicky, približne každých 100-tisíc rokov objavovali aj v predchádzajúcich kvartérnych (štvrtohorných) dobách, keď sa striedali doby ľadové s teplými obdobiami. Napríklad pred 125-tisíc rokmi, počas veľmi teplej interglaciálnej (medziľadovej) periódy bola celosvetová výška hladiny mora približne rovnaká ako dnes, rozdiel bol iba niekoľko metrov (porov. obr. 2, dole, červené štvorčeky). Pred 250-tisíc rokmi bola svetová hladina mora dokonca o niečo vyššia ako dnes. Rovnako aj posledná a predposledná doba ľadová mali podobný priebeh (obr. 2, modré obdĺžniky). Celosvetový maximálny rozsah zaľadnenia pred cca 21 000 rokmi bol len o niečo menší ako v predposlednej dobe ľadovej v tzv. **risskom období** (modrý obdĺžnik č. 2 na obr. 2).

Striedanie zaľadnenia a dôb medziľadových sa, samozrejme, dobre zhoduje s globálnymi zmenami teploty, spôsobenými slnečnou činnosťou, ako aj s koncentráciou CO_2, čo dokumentuje obr. 2 (hore).



Obr. 1:
Vzostup hladiny morí po skončení poslednej doby ľadovej.
Zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/Past_sea_level

Pred cca 21 000 rokmi spolu pevninské ľadovce (najmä v Antarktíde, Severnej Amerike a Euroázii) a horské ľadovce (v Kordillerách a alpsko-himalájskom pásme pohorí) zaberali plochu viac než 45 mil. km² (25 – 28 % plochy súše), dnes je to okolo 17 mil. km² (8 – 10 % plochy súše). Vzhľadom na objem ľadu, resp. vody po roztopení, má význam v našom prípade brať do úvahy najmä pevninské ľadovce, kde hrúbka ľadu dosahovala alebo dosahuje aj viac ako 2 km (dnes je maximálna hrúbka ľadu v Antarktíde takmer 4 800 m, priemerná okolo 2 200 m), kým pri horských ľadovcoch to boli iba stovky metrov, výnimočne v najhlbších údoliach 2,5 km, ale pri šírke len niekoľkých kilometrov. Aj keby sme brali do úvahy najmohutnejšie horské zaľadnenia v alpsko-himalájskom pásme pohorí, ich rozloha a objem ľadu sú v porovnaní s pevninským ľadovcom dosť zanedbateľné. Americká geologická služba (USGS) napr. uvádza, že keby sa v súčasnosti roztopili všetky ľadovce na Aljaške, tak úroveň morí by stúpla o 5 cm.



Obr. 2:

Hore: Dlhodobé zmeny teploty a výskytu CO_2.
Dole: Výška hladiny morí v posledných 350 tisíc rokoch (Lea a kol. 2002) sa vyznačuje 100 000-ročnými osciláciami a kolíše v rozmedzí 120 m. Hladina mora zvyčajne klesá pomaly 80 000 rokov do minima, ale stúpanie hladiny mora po skončení doby ľadovej nastáva rýchlejšie cca za 20 000 rokov (ako je naznačené šípkami).
Zdroj: J.R. Petit a kol. 1999

Koniec poslednej ľadovej doby mal dramatické dôsledky najmä na severnej pologuli. Tu sa rozsah ľadovcov zmenšil omnoho viac ako na južnej pologuli. Na juhu klesol rozsah zaľadnenia z cca 17 mil. km² na dnešných 13 mil. km². Antarktída viac-menej ostala rovnako zaľadnená ako v minulosti (zmenšil sa objem a plocha najmä okolitého morského ľadu), výrazný ústup zaľadnenia zaznamenala najmä Patagónia v najjužnejšom cípe Južnej Ameriky. Na severe bola situácia diametrálne odlišná. Pevninský laurentínsky ľadovec pokrýval Severnú Ameriku takmer v celej dnešnej Kanade, severnej časti USA až po New York a prepájal Grónsko s Kanadou. Jeho maximálna hrúbka na východe v provincii Quebec bola vyše 3 km a celková rozloha bola porovnateľná s dnešnou Antarktídou, t. j. okolo 14 mil. km². V Európe škandinávsky ľadový štít pokrýval plochu vyše 6,5 mil. km² s maximálnou hrúbkou okolo 3 km. Sibírsky ľadový štít mal podobný rozsah a v maximálnej fáze zaľadnenia bol prepojený so škandinávskym ľadovcom. Podobne ako boli mohutné horské ľadovce na južnej pologuli v Patagónskych Andách, tak aj na severnej pologuli bolo rozsiahle horské zaľadnenie v Alpách a najmä v himalájskom pásme.

Dnes sa vyskytuje severný pevninský ľadovec v podstate len v Grónsku (cca 1,8 mil. km²), na krajnom severe ostrovov Kanady, Ruska a na Islande (spolu vyše 200-tisíc km²). Od skončenia poslednej ľadovej doby sa rozsah pevninských ľadovcov na južnej pologuli zmenšil o cca 4 mil. km², ale na severnej pologuli až o 26 mil. km². Ak si uvedomíme, že hrúbka pevninského ľadovca v Kanade a Euroázii dosahovala aj vyše 3 km, tak **hlavný objem zvýšenia hladiny celosvetového oceánu po roztopení ľadovcov sa uskutočnil v minulosti**.

PRÍSPEVOK SÚČASNEJ KLIMATICKEJ ZMENY

Podľa údajov USGS objem vody na Zemi viazanej v ľadovcoch je 2,1 % celkového objemu vody na Zemi. Z toho 91 % ľadu sa nachádza v Antarktíde, 8 % v Grónsku. Len zvyšné percento pripadá na ostatný svet. Čo môže dodať do týchto globálnych zmien súčasná klimatická zmena? Uvažujme katastroficky, t. j. v intenciách takmer úplného roztopenia pevninských ľadovcov na severnej hemisfére, lebo súčasná rýchla klimatická zmena sa týka hlavne severnej hemisféry.

Odpoveď je nasledujúca:

Po roztopení aj celého Grónska a čiastočne západnej Antarktídy sa nezvýši hladina morí o viac než 6 metrov.

Porovnajme to s minulosťou. Pred cca 8-tisíc rokmi takmer úplné roztopenie 26 mil. km² pevninských ľadovcov na severnej pologuli (s hrúbkou až do 3 km) a cca 4 mil. km² pevninských ľadovcov na južnej pologuli znamenalo **vzostup celosvetovej hladiny oceánu v priemere o 120 m**. Údaje z rôznych vedeckých štúdií sa značne odlišujú a sú v rozmedzí od 105 m do 163 m. Najpravdepodobnejší je dolný, prípadne priemerný údaj, ako naznačujú geologické, geomorfologické, speleologické aj archeologické zistenia.

Nechceme spochybniť vážnosť klimatickej zmeny a negatívny vplyv človeka na životné prostredie, len vyvodzujeme, že aj pri súčasnom globálnom otepľovaní spôsobenom našou civilizáciou a katastrofickom scenári topenia ľadovcov má súčasná klimatická zmena v kontexte topenia ľadovcov menší vplyv na výšku hladiny morí, ako majú globálne, pravidelne sa opakujúce dlhodobé zmeny.

PODROBNEJŠÍ POHĽAD NA PROBLEMATIKU ZMIEN A MERANIA VÝŠKY HLADINY OCEÁNOV

Presne merať výšku hladiny mora je veľmi problematické. Zmeny morskej hladiny sú badateľné po stáročiach až tisícročiach a údaje o stúpaní hladiny mora v milimetroch ročne sú veľmi nepresné. Prisudzovať preto vzostup morskej hladiny a predikovať katastrofické scenáre zaplavovania území 50 – 100 rokov do budúcnosti len vplyvom klimatickej zmeny je vedecky zavádzajúce.

SEVER PROTI JUHU

Topenie ľadu v Antarktíde nie je v súčasnosti omnoho väčšie ako v minulosti. Je to najmä geografickou polohou Antarktídy, ktorá je v oblasti južného pólu už vyše 34 mil. rokov klimaticky takmer nemenná. Ak ideme do veľmi ďalekej minulosti Zeme, tak je geografická poloha Antarktídy prakticky nemenná stovky miliónov rokov. Pred 34 mil. rokov sa vplyvom postupného globálneho ochladzovania klímy začalo v Antarktíde výrazne tvoriť nové zaľadnenie. Predchádzajúce prvé zaľadnenie sa datuje už na začiatok eocénu pred 45 mil. rokov. Ochladzovanie bolo dôsledkom najmä zmien konfigurácie kontinentov po rozpade superkontinentu Pangea a z toho vyplývajúcich zmien pohybu morských prúdov.

Toto zaľadnenie pretrváva aj v procese súčasného globálneho otepľovania: je to jednak samostatnou polohou kontinentu v oblasti južného pólu planéty, kde pri sklone zemskej osi nehrozí veľká zmena uhla dopadu žiarenia zo Slnka. Kontinent izoluje od teplých morských prúdov antarktický cirkumpolárny prúd. Studené morské prúdy okolo Antarktídy budú od vplyvov otepľovania Zeme kontinent izolovať aj naďalej a dodávať kyslík a živiny do hlbokých častí oceánu. Kým sa za ďalšie milióny rokov nezmení rozmiestnenie kontinentov, je scenár úplného roztopenia všetkého antarktického ľadu veľmi nepravdepodobný, rovnako ako z toho vyplývajúca hrozba zvýšenia hladiny oceánov približne o 65 m.

Čiastočne iná situácia je na severnej pologuli. Pevninský ľadovec sa tu roztopil pred vyše 8-tisíc rokmi, v oblasti severného pólu nie je izolovaná samostatná pevnina, je tam len plošne rozsiahly, ale objemom zanedbateľný morský ľad, jediným väčším územím v blízkosti je Grónsko. V súčasnosti ho na vyše 90 % pokrýva pevninský ľadovec, je to však plocha len niečo vyše 1,8 mil. km^2, čo sa s plochou zaľadnenia Antarktídy (vyše 13 mil. km^2) nedá porovnať. Ak by sa aj (teoreticky, lebo prakticky vzhľadom na vysokú zemepisnú polohu Grónska to nie je reálne) roztopili všetky jeho ľadovce, tak celosvetová hladina oceánu nestúpne o viac ako 6 m. Aj to je veľmi prehnaný údaj, lebo v Grónsku by ostali aspoň horské ľadovce na viac ako polovici územia. Reálnejší údaj je 3 – 4 m.



Zdroj: www.laviezine.com

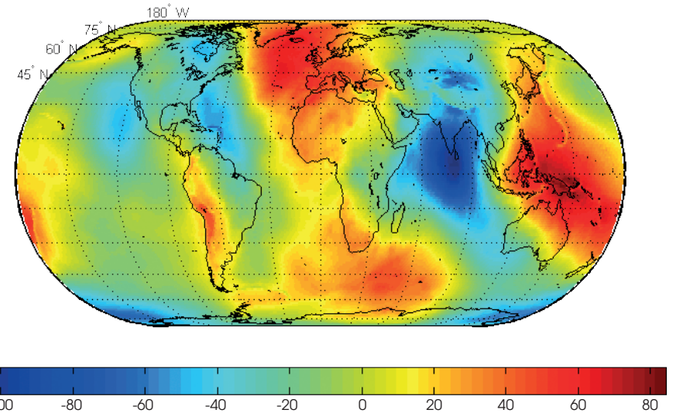
ROVNAKÁ VÝŠKA HLADINY OCEÁNOV?

Priblížme si „vzostup“ celosvetovej hladiny mora. V ideálnom prípade by to matematicky bolo celosvetové vzdutie, keďže máme prepojený celosvetový oceán. V realite je však situácia iná. Významnú úlohu má výpar v príslušnej zemepisnej šírke. Ten je omnoho väčší v teplej oblasti Stredozemného mora ako napr. v studenom Baltickom mori. Výška mora preto v rámci Zeme nie je rovnaká. V minulosti sme na Slovensku mali geodetické určovanie výšky podľa systému **jadranského** (Rakúsko-Uhorsko, referenčný bod Terst), resp. **baltského** (Československo od roku 1949 až súčasnosť, referenčný bod Kronštadt neďaleko Petrohradu). Reálny rozdiel vo výškach morí (nulová niveleta) Jadranského a Baltského mora **je 40 cm**. Baltské more je o 40 cm nižšie ako Jadranské. Dnes máme satelitné systémy (vyše 30 rokov), ktoré s bodovou presnosťou na milimetre dokážu merať výšku zmien nielen pevnín, ale aj morskej vody. Aj tu nám však vstupujú dôležité premenné: vplyv rotácie Zeme, príliv a odliv (slapové sily Mesiaca denné, mesačné, sezónne, ročné, astrálne), meteorologické (sila vetra, tlak vzduchu). Napríklad pasátové vetry vanúce v oblasti Filipín trvale zvyšujú hladinu medzi Tichým oceánom na východe a Filipínami na západe o 60 cm. Tiež sa stáva, že napr. Benátky v závere roka 2019 zaznamenali rekordný vzostup mora spôsobený kombináciou prílivu a počasia (vietor, zrážky, rekordne nízky tlak vzduchu) a o necelý mesiac zase takmer rekordným (o cca 1 m) poklesom hladiny mora, keď množstvo kanálov odhalilo svoje blatisté dno. Zmeny výšky hladiny mora sme videli v prípade katastrofy v New Orleans (USA) po hurikáne Katrina v roku 2005. Neboli to zmeny v priamej súvislosti s klímou, ale pôsobením hurikánu.

Argumentovať celosvetovým vzostupom hladiny oceánov v problematike vplyvov klimatickej zmeny je pomerne zavádzajúce. Satelitné pozorovania sú max. 30 rokov staré, z veľkej väčšiny nepokrývajú štatisticky relevantné plochy. Okrem už spomenutých faktorov je to aj morfologická konfigurácia pobrežia. Je napríklad irelevantné na základe údajov z Le Havru (Francúzsko) merať pravidelný odliv a príliv v Atlantiku v rozpätí viac ako 4 m a porovnávať ho so vzostupom hladiny o milimetre.

INÉ VPLYVY NA VÝŠKU MORSKEJ HLADINY A POKLES PEVNINY

Dôležitým faktorom merania zmien výšky morskej hladiny sú aj geofyzikálne a geologické vplyvy. Zem nie je dokonalá guľa, sploštenie Zeme dosahuje rozdiel 42,77 km (rovníkový priemer je vplyvom deformácie Zeme pri rotácii okolo osi väčší ako poludníkový). Ešte presnejší **tvar Zeme je reprezentovaný geoidom**. Hoci sú nepravidelnosti pri obrovskom priemere Zeme takmer neviditeľné, predsa sú merateľné. Geoid sa voči referenčnému elipsoidu Zeme môže líšiť ± 100 m. Najväčšie „vydutie“ Zeme je v oblasti severného Atlantiku a Európy, najväčšia „depresia“ v oblasti severného Indického oceánu a na juhu Indie. Oproti referenčnému elipsoidu je napr. Island vyššie o 85 m a juh Indie nižšie o 106 m. Ďalšie významné vzdutie je v oblasti Papuy-Novej Guinei a pokles v Tichom oceáne pri južnej Kalifornii (obr. 3). Paradoxne, niektoré modely zmien výšky morskej hladiny, ktoré operujú hodnotami dvadsaťročnej zmeny vzostupu či poklesu morskej hladiny v rozsahu ± 7 cm, sa takmer dokonale kryjú s hodnotami z geoidu, čo môže byť systémová chyba vyhodnotenia meraní.



Obr. 1:
Zemský gravitačný model (geoid) ukazuje rozdiely vo výškach povrchu Zeme oproti elipsoidu.
Zdroj: https://commons.wikimedia.org/; Lemoine a kol. 1998

Rádovo v metroch prispieva aj účinok gravitačných síl, resp. tiaže hmôt. Pohoria skryté pod hladinou oceánu „ťahajú“ morskú vodu dole, je to gravitačný účinok hmoty pohoria. Naopak, nad hlbokomorskou prepadlinou morskú vodu účinok nižšej tiaže akoby „vydúva“ vyššie, takže rozdiel v hladine morí nie je zanedbateľný.

Po roztopení pevninského ľadovca, ktorý aj viac než troma kilometrami hrubého ľadu drvil a zaťažoval horniny a zemskú kôru najmä na severnej pologuli, nastala geotektonicky významná etapa. V prvej fáze to bol vzostup hladiny morí a zaplavenie súše. V druhej fáze je to pomalý, ale systematický „výzdvih“ pevniny pôvodne zaťaženej ľadovcom. Volá sa to **izostatická reakcia**. Výzdvih Škandinávie je veľmi dobre vedecky dokumentovaný už takmer storočie, keďže táto zmena je viditeľná aj počas

ľudského života. Staré pevné horniny vrchnej kôry sa vplyvom tiaže ľadovca dočasne „zaborili“ do plastickejšej spodnej kôry, ba až vrchného plášťa (astenosféra), a teraz izostaticky stúpajú. V centre Škandinávie je to aj 9 milimetrov ročne, čo je veľmi rýchle tempo. Izostáza sa podľa niektorých geodetov dokonca prejavuje až na severe Slovenska (rádovo desatiny milimetra). Geologicky rýchly výzdvih severu Európy má za následok aj slabšie zemetrasenia. Vyskytujú sa v aseizmickej oblasti, kde sa geologický tektonický vývoj ukončil pred stovkami miliónov rokov (kaledónske vrásnenie) a nie je tam geologická dynamika súčasných tektonických síl. Zemetrasenia sa preto dajú vysvetliť len vplyvom relaxačných síl v súvislosti s výzdvihom územia po zaľadnení. Izostatický výzdvih je dokumentovaný aj z Álp, v ich centrálnej časti je maximálna hodnota 2 – 3 mm výzdvihu ročne.

Ďalšou veličinou zmien výšky morskej hladiny, ale aj súčasného formovania zemského povrchu je **neotektonický vývoj**. Pod ním si predstavujeme zmeny v charaktere krajiny v trvaní rádovo státisícov až tisícov rokov. Zemský povrch vplyvom dlhodobých deformačných síl podlieha zmenám. Ak chceme určiť súčasné pohybové tendencie zemského povrchu (a napríklad aj zaplavovania Zeme vplyvom klimaticky podmieneného stúpania morskej hladiny), musíme brať do úvahy aj tieto faktory. Tak ako isté časti zemského povrchu stúpajú, iné klesajú. V prípade Slovenska sú maximálne ročné výkyvy ± 2 milimetre, ale v iných, dynamicky sa vyvíjajúcich častiach sveta sú to rádovo aj centimetrové odchýlky. Takéto zmeny sú dokumentovateľné aj počas ľudského života. 1 cm poklesu územia ročne je 1 m za sto rokov, 10 m za tisíc rokov, 100 m za stotisíc rokov. V pobrežných oblastiach je to nebezpečne vysoké číslo, ktoré však nesúvisí s klimatickou zmenou. Aj tu nachádzame historické príklady: dnes zatopený staroveký prístav Alexandria v poklesávajúcej nílskej delte, alebo naopak, dnes neexistujúci prístav Efezu v ústí rieky Kaystros, ktorý sa za stáročia zaniesol náplavmi. Na južnom pobreží Kréty, napr. v okolí vyústenia turisticky známej rokliny Samaria, je dokumentovaných niekoľko úrovní – morských terás z obdobia konca miocénu až pleistocénu (cca 3,5 – 1 mil. rokov), ktoré sa dnes nachádzajú aj viac ako 200 m nad úrovňou mora. Ak by sa Kréta rapídne neotektonicky nedvíhala (je to sprevádzané početnými aj silnými zemetraseniami), tak tieto staršie terasy by museli byť po zaplavení na konci pleistocénu pod vodou, nie nad ňou.

V súvislosti s klimatickou zmenou médiá rady uvádzajú katastrofické scenáre zaplavenia pobrežných metropol, napríklad thajského Bangkoku. Pravda je však taká, že vyše 8-miliónová metropola klesá najmä pod vplyvom sadania zvodnených riečnych sedimentov, na ktorých je postavená. Je to jednak ich prirodzeným stláčaním tiažou nového nadložia a vytláčaním vody z pórov aj čerpaním podzemnej vody potrebnej na chod veľkomesta. **Metropoly v ústiach veľkých riek** (New Orleans v delte Mississippi, Káhira v delte Nílu, Dháka v delte Brahmaputry a pod.) **sú najviac ohrozené stúpajúcou morskou hladinou, ale najmä z dôvodu svojej geologickej pozície, nie klimatickej zmeny.** New Orleans nemá len tento problém. Je jedným z najrýchlejšie klesajúcich veľkomiest, až 10 mm ročne. V procese poklesu zohráva významnú rolu ťažba ropy z pobrežného šelfu Mexického zálivu. Fyzikálne sa ťažba miliónov ton ropy, ktorá bola vytiahnutá z pórov piesčitých sedimentov rieky Mississippi, musí prejaviť.

Vážnym geologickým argumentom spochybňujúcim katastrofické scenáre je vysvetlenie „zatopenia“ koralových ostrovov a atolov nízko položených tropických štátov, ako sú napr. Vanuatu, Tuvalu alebo Maldivy, nachádzajúcich sa pár metrov nad morom. Zvyšovanie hladiny morí sa ich preto bytostne týka. Je to skôr mediálna hystéria, nie klimatická zmena, ktorá tieto štáty reálne ohrozuje. Koraly, drobné živočíchy so schránkou z uhličitanu vápenatého, ktoré budujú mnohé ostrovy v teplých častiach svetových morí, sa vyskytujú na Zemi stámilióny rokov. Ich predchodcami v geologickej histórii Zeme boli stromatolity, ktoré sa tu nachádzajú vyše jednu miliardu rokov a ktoré napr. v Austrálii alebo Brazílii prežívajú dodnes. Koralové atoly zvyčajne vytvárajú v oceáne prstenec sedimentov okolo ponárajúceho sa alebo už ponoreného neaktívneho vulkánu. Koraly sa podobne ako rastliny „ťahajú“ za svetlom. Koraly stihli dorastať pred tisícmi, desaťtisícmi až státisícmi rokov, keď vplyvom striedania ľadových dôb kolísala hladina svetového oceánu. Uhličitan vápenatý ($CaCO_3$) vytvárajú nielen koraly, ale aj ďalšie morské organizmy – riasy, hubky, machovky, mikroskopické dierkavce, ostnatokožce, lastúrniky, ulitníky. Všetky tieto organizmy tvoria základ silného koralového útesu, ktorý chráni pokojnú lagúnu pred vysokými vlnami oceánu. Podľa výskumov koralové útesy rastú ročne objemom až 21 kg uhličitanu vápenatého na 1 m^2 plochy. V geologickej histórii vápnité horniny (karbonáty) vytvorili tisíce metrov mocné súvrstvia sedimentov. Vytvárajú sa najmä v teplých subtropických a hlavne tropických moriach a významne viažu oxid uhličitý vo svojich štruktúrach. **Koralové útesy dokázali rýchlo rásť aj počas stúpajúcej hladiny morí po poslednom oteplení.** Ak by to tak nebolo, tak by sme dnes nemali prakticky žiadne koraly, lebo v hĺbkach nad 100 m (čo je hodnota vzostupu morskej hladiny po skončení poslednej ľadovej doby) koraly takmer nežijú, lebo sú závislé aj od slnečného svetla.

Vážnejším problémom pre nízko položené ostrovné štáty je preto degradácia až zánik koralových rífov vplyvom rýchleho zvyšovania teploty vody, acidifikácie a znečistenia oceánov napr. lodnou dopravou, živelným turistickým ruchom, priemyselnou činnosťou, ktoré vedú k ich oslabeniu ako bariéry pred silným a vysokým vlnobitím, k pretrhnutiu bariéry a následne zaplaveniu vnútornej lagúny.

Azda posledným argumentom v zložitej mozaike kolísania celosvetového oceánu je jednoduchý fyzikálny jav. Zamrznutá voda (ľad) má väčší objem ako tekutá voda. Preto ľad pláva na vode, v jeho objeme sú aj uväznené vzduchové bubliny. Paradoxne, topením morského ľadu a uvoľneného šelfového ľadu z okrajov pevninského ľadovca morská hladina klesá.

Významnejší je však opačný jav, **fyzikálna anomália vody**, keď so stúpajúcou teplotou sa hustota vody znižuje a zvyšuje sa jej objem. Pri morskom dne je teplota vody približne 4 °C a má najväčšiu hustotu, na dne hlbokomorských paniev len 2 – 3 °C. Bližšie k hladine je voda s nižšou (v polárnych oblastiach) alebo vyššou teplotou (väčšina svetových morí) a nižšou hustotou. Nezanedbateľným podielom vzostupu celosvetového oceánu je preto termálna expanzia vody spôsobená ohrievaním oceánov. Napríklad rozdiel medzi chladnými vodami pri pobreží Antarktídy a teplými vodami v Tichom oceáne južne od Japonska predstavuje takmer tri metre alebo rozdiel medzi teplými vodami Golfského prúdu a studeným Labradorským prúdom východne od Severnej Ameriky dosahuje až meter.

Ako vidíme, seriózne skúmanie vzťahu stúpania hladiny oceánov a klimatickej zmeny, ako aj meranie rôznych iných vplyvov na výšku hladín morí v rozličných častiach sveta a v rozličných obdobiach, je oveľa zložitejšie ako len povrchné tvrdenie, že hladiny stúpajú vplyvom otepľovania z negatívnej ľudskej činnosti.

Výrazné rozdiely v hladine morí tu boli opakovane v minulosti a budú aj v budúcnosti bez vplyvu našej civilizácie.

V žiadnom prípade to však neznamená, že sa môžeme správať k planéte macošsky a ničiť si životné prostredie v záujme trvalého uspokojovania našich „neustále rastúcich“, často nezmyselných potrieb.



Socioekonomické perspektívy zmeny klímy a výzvy pre výskum a verejnú politiku

Mgr. Richard Filčák, MSc.,PhD.
Centrum sociálnych a psychologických vied SAV, Prognostický ústav
environmentálny sociológ

POLITICKÝ RÁMEC

Postupná zmena podnebia je dokázaná detailnými meraniami a analýzami a je viditeľná a citeľná na celej planéte. Na póloch a trvalo zaľadnených územiach sa ľadová pokrývka stenčuje, prípadne dĺžka pokrytia je kratšia v porovnaní s dlhodobými priemermi. Prejavuje sa aj na pevninských ľadovcoch, ktoré sa roztápajú, a niektoré oblasti napr. Latinskej a Južnej Ameriky a v Ázii strácajú zdroje pitnej vody. Zároveň sa zvyšuje hladina oceánov. V rovníkových oblastiach je teplejšie, čo spôsobuje pokračovanie vysúšania pôdy a zväčšovanie alebo vznik nových púští.

V interakcii s negatívnymi účinkami ľudskej činnosti – napríklad odlesňovaním spôsobeným snahou získať ďalšiu úrodnú pôdu – sa zmeny klímy prejavujú ešte výraznejšie. Pobrežné a ostrovné oblasti budú musieť bojovať so zvyšujúcou sa hladinou oceánov, ktoré sa tiež otepľujú. Tá nie je zanedbateľná – za posledných 100 rokov sa hladina oceánov zvýšila o 10 až 25 cm. Presné pozorovania od roku 1992 ukazujú nárast morskej hladiny o 1 až 3 mm ročne. S narastajúcou priemernou teplotou sa táto hodnota môže znásobiť. Narastajúca hladina je hrozbou jednak pre malé ostrovné štáty v Tichom oceáne, ale napr. aj pre niektoré územia v Európe – väčšina územia Holandska je pod úrovňou oceánu a ochraňujú ho iba pobrežné valy, ktoré sa musia priebežne za cenu značných nákladov zvyšovať. Posledná správa IPCC prognózuje nárast vodnej hladiny do roku 2100 o 26 cm až 98 cm pri lineárnom účinku zmien. Podľa iných scenárov môže nárast dosiahnuť až 2 m.

Zmena klímy je čoraz viac zdokumentovaná ako spúšťač migrácie a konzervatívne odhady hovoria, že v roku 2050 bude na Zemi okolo 200 miliónov migrantov, ktorí budú musieť opustiť svoje domovy v dôsledku environmentálnych zmien (IOM, 2009).[1] Mnohé oblasti Afriky budú suchom a nedostat-

1 Na porovnanie: Politických a vojnových migrantov bolo v roku 2014 (podľa odhadov UNHCR) približne 60 miliónov.











kom vody generovať milióny migrantov. Časovanú bombu širokej škály dôsledkov, ktoré dnes vieme predvídať iba veľmi približne, predstavuje kontaminácia životného prostredia v priemyselných oblastiach juhovýchodnej Ázie.

Zmena klímy sa začína výrazne prejavovať aj v stredoeurópskom regióne. Hlavnými trendmi je pokles zrážok, veľké sucho v lete striedané prudkými náraZovými dažďami a ničivými záplavami. Predpokladajú sa výrazné dopady na prírodné ekosystémy a biodiverzitu, zmení sa poľnohospodárska výroba a dôjde k rôznym sociálnym a ekonomickým vplyvom. Výrazné dôsledky môžeme očakávať v podobe zvýšených nárokov na riešenie vzniknutých problémov či už v podobe dotácií pre postihnutých suchom či povodňami, riešením protipovodňových zábran, investíciami do poľnohospodárstva, ale aj riešením zdravotných postihov – zdravia ľudí a zvierat. Meniace sa teplotné pomery budú podporovať šírenie chorôb.

Celkový rozsah dôsledkov je pritom len veľmi ťažko odhadnúť. Dve základné úlohy, ktoré tieto trendy pred krajiny stavajú, sú mitigácia, čiže zmiernenie, a adaptácia – prispôsobenie. Mitigácia znamená postupné znižovanie produkcie skleníkových plynov v súlade s medzinárodnými a národnými záväzkami a cieľmi. Adaptácia znamená postupné prispôsobovanie sa zmene klímy a investície do riešení a opatrení.

V oblasti mitigácie je z hľadiska medzinárodného významu kľúčová Parížska dohoda z decembra 2015. Krajiny Rámcového dohovoru Organizácie Spojených národov o zmene klímy (UNFCCC) potvrdili globálny rozmer problému a jeho antropogénne korene, pričom sa zároveň zaviazali k prijímaniu opatrení a riešeniam. V dohode sa hovorí o snahe udržať globálne otepľovanie pod úrovňou 2 °C oproti predindustriálnemu obdobiu, a ak sa bude dať, aj pod 1,5 °C. Podporuje sa snaha o to, aby emisie globálne čím skôr kulminovali a začali klesať. Ich hodnoty však v súčasnosti stále rastú. Parížska dohoda zdôrazňuje dôležitosť adaptačných a mitigačných stratégií a určitú finančnú pomoc rozvojovým krajinám v boji s klimatickými zmenami, ale účastníci sa nezaviazali k žiadnym konkrétnym číslam a nevytvorili sa ani žiadne mechanizmy na postihy za nesplnenie snáh. Dve krajiny, ktoré spolu generujú takmer polovicu globálnych emisií, sú Čína a USA. Administratíva USA sa po krátkodobom odstúpení k Parížskej dohode opäť vrátila a Čína ako v súčasnosti najväčší svetový producent emisií skleníkových plynov naďalej tvrdí, že to ohrozí jej ekonomický rast.

Globálne výzvy sú stále do značnej miery ohraničené hranicami národných štátov. Vyžadujú interdisciplinárny prístup z hľadiska výskumu a riadenia a vyžadujú dlhšie časové rámce ako bežné plánovacie činnosti. Okrem toho vyžadujú skôr riadenie a prijímanie neistoty ako jej znižovanie. Preto ich nie je možné riešiť len súčasným inštitucionálnym usporiadaním a budú potrebné zmeny tak v ekonomike, ako aj vo verejných politikách.

Transformácia hospodárstva, ktorá nás nevyhnutne čaká, bude musieť riešiť neudržateľné vzorce výroby a spotreby v priestore, kde rastie globálna konkurencia vo výrobe a v službách, starnutie obyvateľstva si vyžaduje investície do sociálnych služieb a rastú náklady na obranu. Vyvoláva to otázky, ako by sa mala spoločnosť organizovať, aké politiky potrebujeme, čo sú investičné priority a či sme v našich súčasných inštitucionálnych štruktúrach pripravení na radikálne zmeny.

Prístupy Slovenska v oblasti klimatickej zmeny sú definované rámcom OSN a Európskej únie a vzájomne dohodnutými kľúčovými oblasťami a cieľmi. Na ich základe sa formoval a aktualizuje sa národný strategický rámec na zmiernenie zmeny klímy a prispôsobenie sa tejto zmene. Pred Slovenskou republikou budú v nasledujúcich rokoch veľké výzvy, ktoré súvisia jednak s existenčnými hrozbami na globálnej úrovni, jednak s vysokými ambíciami Európskej únie v oblasti zmeny klímy a v neposlednom rade s potrebou riešiť na národnej úrovni rastúce napätie medzi ochranou prírody a biodiverzity a civilizačnými tlakmi vyplývajúcimi z našich vzorcov výroby a spotreby.

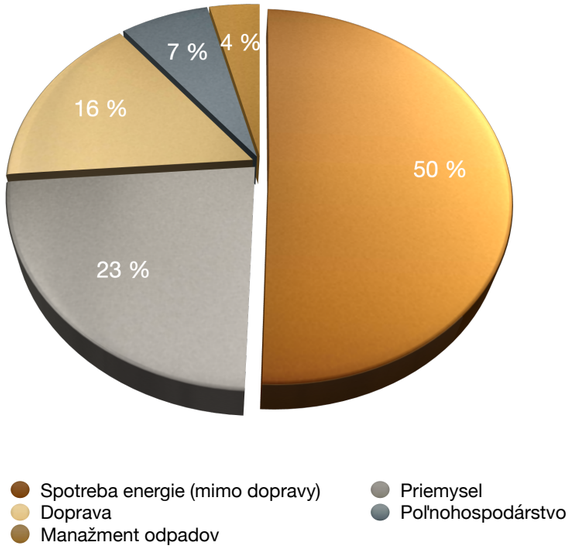
V rámci **Zelenej dohody** (Green Deal), ktorú v decembri 2019 prijala Európska komisia, sa aj Slovensko prihlásilo k záväzku, aby sa Európa stala prvým klimaticky neutrálnym kontinentom do roku 2050. Pôjde doslova o paradigmatickú zmenu, ktorá bude vyžadovať prebudovanie celej ekonomiky na základe konceptu obehového hospodárstva, radikálneho prechodu na obnoviteľné zdroje a zachytávania uhlíka. Zároveň je Zelená dohoda veľmi ambiciózny balík opatrení, ktorý by mal európskym občanom a podnikom umožniť využívať výhody udržateľného ekologického rozvoja (obr. 1). Opatrenia, ktoré budú podporené, sa týkajú oblastí od radikálneho znižovania emisií cez investície do špičkového výskumu a inovácií až po ochranu prírodného prostredia Európy.

Obr. 1: Zelená dohoda / Green Deal

Zmena klímy / zvyšovania cieľov EÚ na roky 2030 a 2050	Európsky „klimatické právo" zakotvuje klimatickú neutralitu do roku 2050
Ambície nulového znečisteniapre prostredie bez toxických látok	Nová stratégia EÚ v oblasti adaptácie v rokoch 2020/2021
Ochrana a obnova ekosystémov a biodiverzity	Vlna obnovy pre odvetie stavebníctva v roku 2020 – zdvojnásobiť mieru renovácií
Od „farmy až po vidličku": spravodlivý, zdravý a ekologický potravinový systém	Priemyselná stratégia EÚ, nový akčný plán obehového hspodárstva (vrátane politiky udržateľných výrobkov, procesu výroby ocele s nulovým obsahom uhlíka do roku 2030)
Urýchlenie prechodu na udržateľnú a inteligentnú mobilitu	Právne predpisy o batériách a obehovom hospodárstve, legislatívne reformy týkajúce sa odpadu
Dodávky čistej, dostupnej a bezpečnej energie	Podporiť verejné miesta dobíjania: 1 milión do roku 2025. udržateľné alternatívne palivá pre rôzne druhy dopravy, prísne normy emisií znečisťujúcich látok do ovzdušia pre vozidlá so spaľovacím motorom
Mobilizácia priemyslu pre čisté a obehové hospodárstvo	Stratégia EÚ v oblasti biodiverzity do roku 2030 zameraná na hlavné príčiny straty biodiverzity, nová stratégia EÚ v oblasti lesného hospodárstva
Budovanie a renovácia energeticky a zdrojovo efektívnych spôsobom	Mobilizácia finačných zdrojov, Just Transition, EIB (cieľ v oblasti zmeny klímy do roku 2025 na 50%), verejno-súkromné partnerstvá
	Cieľ 25% pre uplatňovanie hľadiska klímy vo všetkých programoch EÚ v rámci VFR 2021 – 2027

STAV A VÝZVY

V uplynulom desaťročí došlo k výraznému zlepšeniu energetickej účinnosti (domácnosti aj priemysel), zariadenia na výrobu obnoviteľnej energie rastú a bol predpoklad, že cieľ na rok 2020 v oblasti znižovania emisií CO_2 bude splnený so značnou rezervou. Produkcia skleníkových plynov na Slovensku dnes predstavuje zhruba 0,92 % produkcie Európskej únie. Emisie oxidu uhličitého medzi rokmi 1990 a 2015 klesli o 44,6 %. Po ukončení ťažby uhlia na hornej Nitre po roku 2023 dôjde k ďalšiemu poklesu emisií. Ich hlavnými zdrojmi sú dnes výroba a spotreba energií, priemysel, poľnohospodárstvo a manažment odpadov (obr. 2).



Obr. 2:
Zdroje emisií skleníkových plynov na Slovensku
Zdroj: Eurostat, 2020

Cenou za radikálne zníženie emisií bolo hlavne v 90. rokoch zatváranie tovární a nezamestnanosť, ktorých dopady v *Baumanovskom tekutom hneve* dodnes ovplyvňujú politické postoje ľudí. Po vstupe do únie sa naštartovali masívne investície zamerané na znižovanie uhlíkovej stopy. Vďaka presunu výroby zo západu nastala reindustrializácia. V priemysle dnes pracuje takmer tretina Slovákov. V európskom porovnaní patríme spolu s Českom a Poľskom medzi najpriemyselnejšie krajiny únie. Rástla výroba, stúpali platy a úroveň spotreby. V takomto kontexte nevyhnutne medziročne stúpajú aj emisie. Aj keď z oveľa nižšieho základu.

Otvára sa otázka, akým spôsobom a za akých podmienok imperatívu výroby a spotreby sa dajú ďalej znižovať emisie? Zatepľovanie budov, obnoviteľné zdroje a nové priemyselné technológie prinesú zlepšenie. Politický cieľ uhlíkovej neutrality, ku ktorému sa Slovensko zaviazalo, však znamená, že bude treba doslova zaťať do živého.

Argumenty skeptického priemyslu sú jednoduché. Povedie to k zvýšeniu nákladov výroby a výsledok bude, že sa napríklad plechy na európske autá nebudú valcovať v Košiciach, ale v Číne. Legislatíva na to reaguje Mechanizmom úpravy uhlíkových hraníc (CBAM), čo je navrhovaná uhlíková tarifa na uh-



Zdroj: www.shutterstock.com

líkovo náročné produkty dovážané Európskou úniou. Hrozí tu však, že sa nám to vráti bumerangom odvetných ciel na vývoz tovarov. **Uhlíková neutralita v globalizovanej ekonomike bez globálnych dohôd a globálnych pravidiel je prakticky len ťažko realizovateľná. Ďalšie zásadné znižovanie emisii sa na našej planéte nedá riešiť vývozom znečisťujúcej výroby z Európy do Ázie. Účinné kroky sa musia odohrať v systéme výroby a spotreby, musia mať masovú podporu verejnosti a takisto je potrebný ich globálny rozmer. Dnes sme len na začiatku. Zároveň si presadenie zmien vyžaduje výskum a hľadanie riešení.**

Aby mali zmeny podporu verejnosti, museli by byť sociálne citlivé a navrhnúť niečo za niečo. Napríklad vyššie zdanenie benzínu by sa kompenzovalo zvýšením sociálneho zabezpečenia. Verejnosť je negatívne naladená na opatrenia, ktoré sú ekologicky progresívne, ale spôsobujú náklady v napätých rodinných rozpočtoch. Napríklad Thomas Pickety navrhuje progresívne zdanenie a vytvorenie základného príjmu na úrovni 60 % priemernej mzdy. Individualizovaná uhlíková daň by sa vypočítala na základe personalizovanej karty, ktorá by zaznamenávala príspevok každej osoby k zmene klímy. Idea progresívneho zdanenia a z neho platené investície do spomalenia zmeny klímy je možnou cestou, ktorá však vyžaduje podporu verejnosti založenú na analýzach a prepočtoch.

TRENDY A PERSPEKTÍVY

Premena Slovenska na sociálne spravodlivé, ekologické a zároveň konkurencieschopné nízkouhlíkové hospodárstvo efektívne využívajúce zdroje nebude jednoduchá. Pozitívnym trendom je posun k strategickému plánovaniu a využívaniu výhľadových štúdií na definovanie cieľov. Ide o oblasť, kde sa prepojenie sociálneho a ekonomického výskumu s verejnými politikami dostáva do popredia záujmu.



Všetky tieto a ďalšie výzvy si budú vyžadovať posilnenie prepojenia medzi analýzou súčasného stavu, trendov a vývojovými trajektóriami. Je to práca so scenármi a výhľadmi zameranými na skúmanie socioekonomických aspektov mitigácie a adaptácie na zmenu klímy. Cieľom je hľadať kompetitívne výhody, umožniť lepšie využitie príležitostí pred nami a vyhnúť sa problémom, ktoré môžu do budúcnosti vytvárať pasce. Aktívny prístup k rozvojovým alternatívam, na rozdiel od fatalizmu, nám dáva väčšiu silu formovať našu budúcnosť. Prognózy budú dôležité na tvorbu významných ekonomických a sociálnych rozhodnutí, ktoré rozhodujúcim spôsobom ovplyvnia znižovanie emisií a podporia adaptáciu.

Pre Slovenskú republiku bude strategicky dôležité, ako sa vyrovná s prechodom na nový hospodársky systém založený na obehovom hospodárstve, keďže je náš politický systém ohrozený vonkajšími a vnútornými tlakmi, a či sa nám podarí vytvorenie dlhodobej konkurencieschopnosti našej ekonomiky v podmienkach demografickým zmien a rastúcej globálnej konkurencie.

Rozvíjanie kapacít a praxe v oblasti prípravy a využívania strategických výhľadov, tvorby scenárov a predikcií môže pomôcť v situáciách, v ktorých sa musia prijať strategické rozhodnutia. Môže pomôcť pri formulovaní dlhodobejších národných a regionálnych programov, stanovenie priorít výskumu (prispôsobenie príležitostí investičným potrebám), v plánovaní financovania vedy a techniky či v oblasti plánovania veľkých verejných výdavkov s dlhodobými vplyvmi na mitigáciu a adaptáciu na zmenu klímy.

Čo je potrebné zmeniť v našom vzťahu ku klíme?

Namiesto doslovu, resp. na záver

prof. RNDr. Mikuláš Huba, CSc.
Geografický ústav SAV a Ústav manažmentu STU
geograf, environmentalista, aktivista, inciátor vzniku Slovenského ochranárskeho snemu

Keď sa ma novinári z času na čas pýtajú, čo je podľa mňa potrebné zmeniť v našom vzťahu ku klíme, moja reakcia je zväčša stručná: VŠETKO. Áno, taká jednoduchá je kategorická odpoveď na pravdepodobne najväčšiu výzvu, akej kedy ľudstvo čelilo!

Ale v skutočnosti to jednoduché vôbec nebude, lebo väčšine ľudí sa nechce na svojom zabehnutom životnom štýle, spotrebných návykoch, pohodlnosti a ignorantstve meniť NIČ.

Je preto dobré a logické, že členovia Predsedníctva Slovenskej akadémie vied prichádzajú s týmto podnetným a širšej odbornej verejnosti prístupným príspevkom na tému klíma (a jej zmena), v ktorom sa podujali predstaviť rôznorodý súhrn najnovších poznatkov a názorov popredných slovenských vedcov a vedkýň na túto problematiku. A je dvojnásobné dobré, že medzi nimi nájdeme nielen tých a tie, ktorí a ktoré sa zameriavajú na fyzikálne javy spôsobujúce klimatickú zmenu a na biologicko-ekologické vedy skúmajúce súvislosť klimatickej zmeny a živej prírody, ale aj na tých a tie, ktorí/ktoré sa zaoberajú dosahom zmeny klímy na spoločnosť. A úplne najlepšie je podľa mňa to, že zostavovateľa zaujíma aj pohľad spoločenských vied na to, aká je konkrétna (ne)reakcia ľudí a spoločnosti na zmenu klímy a všetko to, čo s ňou súvisí. Prípadne aj na to, prečo je tá reakcia taká, aká je (či skôr nie je). Tu sa ešte žiada pripomenúť, že jedným z následkov klimatickej zmeny bude aj neobývateľnosť celých makroregiónov, a tým vyvolaná migrácia. Relevantné svetové autority sa pri odhade jej veľkosti do r. 2050 zhodujú v názore, že jej pravdepodobný rozsah bude v intervale od 160 miliónov do viac ako 200 miliónov nedobrovoľných migrantov. Ak si spomenieme, aký kaskádový efekt vyvolal príchod milióna prevažne sýrskych migrantov do Európy v r. 2015, je až ťažké si predstaviť, čo vyvolá dvestonásobne väčší nápor na už aj bez toho krehké európske demokracie. Opäť obrovská výzva najmä pre spoločenské vedy vrátane politológie, sociálnej antropológie či humánnej geografie a snáď aj dôvod na renesanciu u nás dlho zaznávanej serióznej prognostiky a futurológie.

Už dobrých pár rokov som presvedčený o tom, že o našom úspechu alebo neúspechu v zápase (či skôr pretekoch?) s rýchlo a hrozivo postupujúcou zmenou klímy už nerozhodujú ani tak nové poznatky klimatológov ako skôr inovatívne prístupy sociológov, psychológov, filozofov, etikov, umenovedcov a ďalších odborníkov na správanie jednotlivca a spoločnosti. Z pohľadu vied o *„Zemi a nebi“*, teda vied o neživej prírode, vieme o tomto probléme dosť na to, aby sme poznali odpoveď na otázku, v čom je problém i čo a dokedy treba urobiť (aj keď priebežné spresnenie, zdokonalenie a rozšírenie nášho poznania je aj v tejto oblasti vítané). Oveľa menej vieme o tom, ako zabezpečiť, aby sa toto poznanie relatívne málo početnej skupiny vedcov/expertov stalo poznaním nadkritickej masy obyvateľov planéty Zem. A ešte ťažšie sa nám odpovedá na otázku, ako pretaviť toto poznanie do vedomia a rozhodovania politikov, manažérov, šéfov obchodných spoločností, investorov..., skrátka decízorov, mienkotvorcov a ďalších „veľkých hráčov“. Veľa zaujímavého na túto tému sa dá dozvedieť napr. z knihy **A. J. Hoffmana** (2017)[1] s výstižným názvom, ktorý v českom preklade znie *Jak kultura utváří diskusi o klimatické změně*.

Inými slovami, ak sa pýtame, čo môže viac priniesť rozhodujúcu zmenu, tak som presvedčený, že to nie sú ani tak nové a nové poznatky o stave atmosféry či množstve a zložení vypúšťaných skleníkových plynov, ale „prebudenie sa“, adekvátna reflexia a správne pochopenie toho, čo to pre nás, našu spoločnosť a ľudstvo ako také znamená.

Keď som pred mnohými rokmi hosťoval na prestížnej Atlantic College v USA, pýtal som sa v rámci svojho výskumu svojich tamojších amerických kolegov a kolegýň, či preferujú hodnotovo orientované vzdelávanie. Odpoveď veľkej väčšiny z nich bola kladná. Verím, že podobne by reagovala aj väčšina vedcov a pedagógov u nás. Ak je to tak, je to dobrá správa o tom, že paradigma vedeckého pozitivizmu dosiahla svoje hranice. Klimatická zmena stavia totiž vedcov pred dilemu. Je správnejšie zotrvávať vo svojej *splendid isolation* (po starom vo *veži zo slonoviny*, po novom *v bubline*) a publikovať len vo vysoko špecializovaných časopisoch zo svojho vedného odboru, alebo je správnejšie (či je dokonca našou morálnou povinnosťou) oslovovať alebo priam burcovať širokú verejnosť, ak sme sa svojím výskumom dopracovali k niečomu, čo sa verejnosti bytostne týka a čo ju dokonca existenčne ohrozuje? Nie náhodou moji obľúbení vedci (od Konrada Lorenza cez Jánoša Seleyho až po Josefa Charvátha) patrili do tej druhej z uvedených kategórií, čiže mohli by sme ich nazvať angažovanými osobnosťami, ďaleko presahujúcimi rámec svojej disciplíny smerom k iným disciplínam, smerom k metavede, ale aj smerom k laickej verejnosti. Ale pozor! Neagitujem tým za to, aby popularizácia išla na úkor vedeckej kvality, teda za to, aby ten-ktorý autor publikoval neoverené fakty, a pritom sa tváril, že sú to fakty overené, alebo aby za každú cenu robil z výsledkov svojho výskumu senzáciu.

1 HOFFMAN, A. J. (2017). Jak kultura utváří diskusi o klimatické změně. Masarykova univerzita, Brno, 135 s.



Zdroj: Ilustrácia Luisa Rivera

O tom, že reakcia vedy na komplexnú výzvu zvanú klimatická zmena či klimatická kríza musí byť komplexná, interdisciplinárna až metavedná, nepochybuje už zrejme (takmer) nikto. Vo vzťahu k vede a jej manažmentu to o. i. znamená, že pri podpore interdisciplinarity prejdeme od slov k činom a konečne začneme reálne podporovať medzivednú spoluprácu. A to nielen spoluprácu medzi vzájomne príbuznými vedami (napr. v rámci jednotlivých oddelení SAV), ale aj naprieč všetkými skupinami vied.

V čom robia vedci chybu a v čom sú nevinne? Hlavný problém je podľa mňa v tom, že vedci upozorňujú na fatálny charakter klimatickej krízy už dávno, ale politici ich neberú dostatočne vážne (a netýka sa to len politikov a političiek na Slovensku – pozn. aut.). Pripusťme, že vedci by to mohli robiť aj inak, intenzívnejšie a lepšie. Najčastejšie sa im vyčíta, že neodborníkom z ich vednej oblasti nie sú ich výstupy dosť zrozumiteľné. Iní sa na nich zasa hnevajú, že ich nie je viac počuť, že dosť „nebijú na poplach“. Čiastočne je to pochopiteľné: vedci sa celkom logicky boja o svoju serióznu povesť, nezávislosť a nestrannosť. A v oblasti, o ktorej je tu reč, sa boja aj toho, aby neboli označení za tzv. alarmistov (pozri napr. **Mesík**, 2020).[2] Ale je ťažisko problému (alebo ak chcete viny) skutočne na strane vedy a jej reprezentantov?

Pomôžem si, ak dovolíte, vlastnou skúsenosťou. Vedeckým pracovníkom SAV som už niekoľko desaťročí a väčšinu tohto času som sa pokúšal presviedčať decízorov na rôznych úrovniach riadenia mesta, kraja, štátu, kontinentu či „zemegule“, aby niektoré veci robili inak: takpovediac v súlade s vedeckým poznaním. A myslel som si, že keď im problém dokážeme zrozumiteľne vysvetliť a oni to pochopia, zmenia sa aj ich rozhodnutia. Dosť dlho som podliehal tejto ilúzii. Ale šesť rokov som pôsobil aj v tzv. vysokej politike na Slovensku a tam som si naplno uvedomil, že veľká väčšina mojich kolegov a kolegýň na postoch poslancov a ministrov je voči vedeckému poznaniu imúnna. Nielenže ho ignoruje, ale sa mu aj z rôznych (napr. straníckych, ideologických, mentálnych, svetonázorových a i.) dôvodov aktívne bráni. Až to miestami pripomína správanie analfabeta, ktorý tým analfabetom chce za každú cenu aj zostať. V konkrétnych prípadoch sa to prejavuje najmä vtedy, keď vedecké poznanie ohrozuje egoistické zámery/záujmy toho-ktorého jednotlivca či skupiny (napr. politickej strany), a vo všeobecnosti preto, že vedci ako prominentní nositelia a šíritelia kritického myslenia komplikujú možnosť bezhraničnej manipulácie verejnosťou. Priznám sa, že po návrate „z politiky späť do vedy“ som mal s týmto depresívnym poznaním a následnou dezilúziou značný problém, ktorého som sa dodnes celkom nezbavil.

Ale vrátim sa, ak dovolíte, k pálčivej otázke viny v kontexte našej témy. Zaujímavo o nej uvažuje nórsky sociálny antropológ **Thomas H. Eriksen** (2020),[3] keď rozlišuje viacero možných subjektov, ktorým pripisujeme vinu za klimatickú krízu. Mnohí príslušníci západnej strednej triedy za svoj životný štýl, ktorý k nej prispieva, považujú podľa neho za vinných sami seba, prípadne ľudí zo svojho okolia. Iní zasa vinia elity, že nie sú schopné konať v duchu vedeckého poznania. Ostatní obviňujú vonkajšie sily – technológiu, neoliberalizmus, svetový kapitalizmus –, ktoré pôsobia podobne nihilisticky ako Voltairova *bezbožná príroda*. No a napokon sú tu tí a tie, ktorí/ktoré naďalej vytesňujú realitu a závažnosť klimatickej zmeny a vplyvné medzinárodné organizácie, vlády a vedcov vinia za to, že ukrývajú pred verejnosťou pravdu, resp. zbytočne strašia. Ako poznamenáva ten istý autor, niekedy je zo spoločenského a psychologického hľadiska potrebné, aby sme vinu zosobnili, aby sme zmenšili mieru alebo zložitosť tohto javu, a tak ho ľahšie zvládli či spracovali, aby sme našli niekoho, na koho prenesieme vinu, niekoho, koho potrestáme… V situácii, ktorá je de facto príliš zložitá na to, aby sme ju zvládli sami. K tomu sa dá dodať len toľko, že táto záľuba v hľadaní a trestaní (neraz len fiktívnych – pozn. aut.) vinníkov za rôzne katastrofy je stará ako ľudstvo samo.

2 MESÍK, J. (2020). Generácia apokalypsy – Život, na ktorý sme naše deti nepripravili, Literárna bašta, Banská Bystrica, 239 s.

3 ERIKSEN, T. H. (2020). Doba horúca, Literárna bašta, Banská Bystrica, 337 s.

Mnohí sa zhodujú na tom, že klimatická kríza je bezprecedentná výzva, ktorá sa líši od všetkých ostatných, ktorým dosiaľ ľudstvo čelilo. A to hneď vo viacerých smeroch. Jedna dimenzia problému je rozsah, globálny charakter a existenčná hrozba, ktorú klimatická kríza predstavuje pre našu civilizáciu a život na planéte Zem v takej podobe, v akej sme ho dosiaľ poznali. Na túto tému už jestvuje množstvo literatúry vrátane tej, ktorá je ľahko dostupná aj laickému čitateľovi u nás na Slovensku (pozri napr. **Alan Weisman**: Svět bez nás, Argo a Dokorán, 2009, **Mark Lynas**: Šesť stupňov: Posledné varovanie, Promedia, 2020, **Thomas Hylland Eriksen**: Doba horúca, Literárna bašta, 2020). Lynas uvádza stovky aktuálnych prejavov klimatickej zmeny, ktorých sme svedkami už dnes, a ďalšie stovky (zväčša negatívnych) zmien, ktoré nás očakávajú v prípade nárastu globálnej teploty o jeden a pol, o dva či o viac stupňov Celzia.[4] Robí to na základe najnovších vedeckých poznatkov, pričom zoznam citovaných prác v jeho knihe zaberá úctyhodných 56 strán!). Čo považujem na tomto diele za osobitne dôležité, okrem plastického opisu podoby nášho sveta podľa rozličných scenárov, je varovanie pred tým, že okrem toho, čo nám tu produkuje CO_2 a ostatné skleníkové plyny už dnes, je ďalšie množstvo podobných zariadení vo výstavbe alebo v štádiu príprav. Ak sa nám ich nepodarí zastaviť, je scenár so zvýšením teploty o tri a viac stupňov neodvratný. A to aj bez započítania vedľajších účinkov v podobe zvýšeného topenia sa ľadovcov v polárnych oblastiach či topiaceho sa permafrostu, ako aj synergického či kaskádovitého charakteru zmien, ktorých budú tieto zmeny s veľkou pravdepodobnosťou súčasťou. Podľa citovaného autora je možnosť odvrátenia katastrofy stále ešte v našich rukách, ale vyžaduje si to riešenia, ktoré sa väčšine obyvateľov aj ich lídrov ešte stále zdajú neakceptovateľne radikálne. Ešte viac a konkrétnejších návrhov na riešenie prináša **Graeme Maxton** (donedávna generálny tajomník Rímskeho klubu) vo svojej knihe Zmena alebo kolaps s podtitulom Prečo potrebujeme radikálny obrat, ktorú v slovenskom preklade vydalo vydavateľstvo PRO v r. 2019. Svoje návrhy autor „šije na mieru“ týmto subjektom, resp. oblastiam: jednotlivci, politici, investori, vedúci pracovníci odvetví poškodzujúcich prírodu, ostatní riadiaci manažéri, právny systém, vzdelávací systém, bankový a finančný sektor, ekonómovia a zamestnanci odvetví poškodzujúcich prírodu, environmentalisti, armáda, náboženské skupiny, poľnohospodári a potravinári, novinári a médiá, odbory a globálne organizácie.[5] Svoje posolstvo Maxton zhrnul v poslednej kapitole svojej knihy, ktorá sa mnohým nebude čítať ľahko. Na to, aby sme pochopili prečo, si stačí prečítať názvy podkapitol: Veľké upratovanie, Spoločnosť potrebuje viac zákazov, Politické vedenie musí viesť, Nenechajme rozhodovať monopoly, Aj environmentalisti zlyhali, Musíme spochybniť myšlienku rastu a Zamyslenie nad významom slov. Kniha vyšla v origináli v r. 2018, teda necelé dva roky pred príchodom globálnej pandémie koronavírusu, ktorá dala autorovi v mnohom za pravdu: od veľkého upratovania cez množstvo zákazov a obmedzení, zastavenie a spochybnenie rastu až po zvýšené nároky na politické vedenie na miestnej, národnej i nadnárodnej úrovni. Medzi dnešnou realitou a odporúčaniami autora je



však aj niekoľko rozdielov. Tým najväčším je skutočnosť, že všetky opatrenia súvisiace s Covidom-19 nerobíme dobrovoľne a uvedomele, ale prinútil nás k nim voľným okom neviditeľný vírus. A stále ešte prevažuje názor, že ide o jav dočasný a po jeho skončení sa budeme snažiť čo najskôr vrátiť do starých koľají bez ohľadu na to, že v skutočnosti naše „predkoronové“ smerovanie pripomínalo jazdu po slepej koľaji alebo ešte skôr jazdu po koľajniciach, ktoré sa končia priepasťou.

Aby sme v tejto súvislosti necitovali iba zahraničných autorov, pozrime sa, čo tvrdí jeden z mála slovenských žurnalistov, ktorí sa tejto téme systematicky venujú, **Jakub Filo** (2021): „V klimatickej kríze neexistuje v pandémii tak často spomínaný návrat do normálu. Čaká nás dlhoročný, desaťročia trvajúci zápas o zachovanie ľudského druhu aj mnohých iných foriem života na planéte Zem. Tento zápas bude potrebovať uvedomelých, vzdelaných, informovaných, vytrvalých a najmä spoločensky a politicky angažovaných občanov. Väčšinu z nás.“[6]

4 LYNAS, M. (2020). Šesť stupňov – Posledné varovanie, Promedia, Bratislava, 310 s.

5 MAXTON, G. (2019). Zmena alebo kolaps: Prečo potrebujeme radikálny obrat. PRO, Banská Bystrica, 126 s.

6 FILO, J. (2021). Návrat do normálu nie je možný. Denník SME, č. 60/29, 13 . 3. 2021, 10 s.

Tá druhá nebezpečná dimenzia problému je nenápadná, plazivá postupnosť zmien, veľmi pripomínajúca známe prirovnanie s postupne sa variacou žabou.

A tá tretia, zrejme najunikátnejšia dimenzia je to, čo niektorí autori nazývajú krízou predstavivosti. Teda to, že si vysoko komplexný problém klimatickej zmeny a jej následkov jednoducho nevieme reálne predstaviť, lebo dosiaľ ľudstvo nemá s niečím podobným historickú skúsenosť (na rozdiel napríklad od pandémie Covid-19, keďže epidémiami či pandémiami si naši predkovia – alebo aspoň ich časť – prešli počas jestvovania našej civilizácie už veľakrát).

Hľadá sa preto aspoň vhodná analógia, ktorá by nám umožnila či uľahčila celý problém konceptuálne uchopiť a urobiť si predstavu o tom, čomu to vlastne čelíme. Jednou z takýchto užitočných analógií či metafor by mohlo byť prirovnanie s ochorením ľudského organizmu, najmä ak si na druhej strane na pomoc vezmeme koncept Zeme ako superorganizmu v intenciách teórie Gaia britského chemika, environmentalistu a vizionára **Jamesa Lovelocka** (pozri napr. Lovelock, J., 1979).[7] Dokonca aj stupne zvýšenia teploty a príznaky choroby vykazujú mnohé podobnosti. Ak za normálnu teplotu zemskej atmosféry považujeme tú, ktorú mala na konci predindustriálnej éry, tak dnes má o cca 1,2 °C viac. Je to, ako keď porovnáme normálnu teplotu ľudského organizmu 36,6 °C s teplotou 37,8 °C. Čiže dnes pacient menom Gaia pociťuje podobné chorobné príznaky ako my pri teplote 37,8 °C. Ešte stále sa s tým dá žiť, ale od zdravia a pohody to má ďaleko. A najmä, ak to podceníme, doplatíme na to množstvom komplikácií. Pri hraničnom oteplení o 1,5 stupňa bude mať atmosféra našich 38,1 °C. Ešte stále to nie je smrteľné, ale každopádne si to už vyžaduje „pokoj na lôžku“ a liečbu. Zvýšenie teploty o 2 stupne – analógia s našimi 38,6 °C. Ďakujem pekne! A to sú stále ešte len tie optimistickejšie prognózy. Tie menej optimistické hovoria o zvýšení teploty o 3,4 a viac stupňov, čo je vysoko nad *štyridsiatkou* a v prípade človeka znamená – ak trvá pridlho – kolaps organizmu.



7 LOVELOCK, J. (1979). Gaia: a new look at life on earth. Oxfrod Univesity Press, Oxford, 157 s.



Zdroj: www.shutterstock.com

Aj táto analógia, podobne ako napokon všetky, má svoju „chybu krásy“. A tou je skutočnosť, že kým na zníženie teploty ľudského organizmu možno použiť napr. Paralen, žiadny podobný liek v prípade teploty zemskej atmosféry a následne Zeme nemáme. Inou metaforou, ktorú používa napr. Eriksen (2020),[3] je termostat. Kým v technických systémoch funguje zväčša spoľahlivo, pre klimatické systémy ho zatiaľ nik nevynašiel. Aj keď sa spomínaný autor v predslove k slovenskému vydaniu svojej dosiaľ poslednej knihy *Horúca planéta* pýta, či tým termostatom nebude napokon pandémia Covid-19.

V hľadaní metafor a tvorbe príbehov majú – v porovnaní s vedou – väčšiu skúsenosť iní: od náboženstiev až po umenie. Možno, že aj vo sfére vedy by mala vzniknúť disciplína či aspoň subdisciplína (napr. na pôde literárnej vedy, divadelnej vedy, umenovedy, kulturológie...), ktorá by sa programovo zaoberala identifikáciou vhodných a zrozumiteľných analógií a použiteľných nosných metafor na lepšiu interpretáciu klimatickej zmeny rečou umenia.

Môžete namietať, že ľudí predsa zaujímajú katastrofické príbehy. Veď napr. filmy s takouto tematikou patria medzi najpopulárnejšie. Prečo sú potom vymyslené sci-fi príbehy atraktívnejšie ako dnešná či pravdepodobná budúca realita prognózovaná vedcami? Jedna z možných odpovedí je tá, že tieto príbehy nás zaujímajú ako divákov, ale zatvárame pred nimi oči a sme reálne postihnutí, teda v role obetí.

Charles Eisenstein predstavuje originálny pohľad na veľké krízy vrátane klimatickej, keď hovorí: „Otázka nestojí tak, či dokážeme v tomto svete prežiť a pokračovať v ekonomickom raste tak ako doteraz. Vysať z atmosféry CO_2 pomocou obrovských vysávačov. Čo ak naozaj dokážeme žiť bez prírody v betónových blokoch, pri umelom svetle, pestovať v hydroponických továrňach syntetické jedlo a vo virtuálnej realite sledovať krásy, ktoré medzitým vymizli? Čo ak to dokážeme? Otázka však znie, či toto naozaj chceme.“ Vo videu,[8] ktoré vyjadruje hlavné myšlienky jeho knihy *Klíma – nový*

8 https://bit.ly/2MvcCBz

príbeh, vysvetľuje, že hlavným problémom, prečo nedokážeme riešiť klimatickú, pandemickú ani iné krízy, nie je nedostatok sily ani znalostí, ale je to chyba v prístupe či rozmýšľaní o Zemi, o spoločnosti a o vzťahoch. Ak sa pozeráme na krízy „mechanickým pohľadom“, vidíme Zem alebo spoločnosť len ako pokazený komplikovaný stroj. Ak ho správne opravíme, nájdeme príčinu, ktorú vyriešime (napr. zníženie teploty či obsahu skleníkových plynov v atmosfére), mechanizmus bude znova fungovať. To však neplatí. Zem nie je stroj. Ak sa pozrieme na planétu ako na živý organizmus (a to nemusíme veriť v teóriu Gaia doslovne), vidíme, že systém orgánov, vzťahov a prepojení ďaleko prekračuje naše možnosti poznania a predvídania následkov. Začneme chápať, že namiesto odstraňovania jednej príčiny „choroby“ treba pestovať odolnosť celého organizmu – teda Zeme. Chrániť ekosystémy tak, aby sa dokázali vyrovnávať s následkami výkyvov teploty. Namiesto hromadenia umelých zásahov ochrániť každý kúsok neporušenej prírody, ktorý nám ešte ostal a dokáže produkovať kyslík, absorbovať vodu, zachovávať biodiverzitu, ale aj krásu, posvätnosť a pokoj, ktorý len príroda dokáže priniesť ľudskej duši.

Jedným z najvýznamnejších spúšťačov procesu pozitívnej zmeny myslenia miliónov prevažne mladých ľudí vo vzťahu ku klíme sa stala mladá švédska klimatická aktivistka **Greta Thunberg**. Paradoxne práve svojím rozhodnutím dočasne odmietnuť formálne vzdelávanie, pokiaľ jej mocní tohto sveta nedokážu garantovať, že nejakú budúcnosť má vôbec pred sebou. Svojím individuálnym – zdanlivo marginálnym – gestom ovplyvnila globálne povedomie o klimatickej kríze i činy mocných pravdepodobne viac ako ktorýkoľvek významný vedec súčasnosti. Ale vede a jej prestíži tým neuškodila. Práve naopak. Veď svoju kritiku globálneho establišmentu a jeho zlyhávania vo vzťahu ku globálnej klimatickej zmene založila okrem iného práve na tom, že mocní tohto sveta nepočúvajú vedcov. Som rád, že vedenie Slovenskej akadémie vied to pochopilo a aktívne podporilo dosiaľ najväčšie z podujatí Piatky pre klímu, ktoré iniciovala práve Greta Thunberg a ktoré sa konalo v tretí septembrový piatok 2019 po celom svete vrátane Slovenska.

Na druhej strane, vo svete ešte pôsobí množstvo vplyvných subjektov, pre ktoré má hodnotu iba ich vlastný zisk (či už v podobe majetku, moci, akýchkoľvek výhod, prestíže alebo slávy). Ich zrejme tak ľahko nepresvedčia žiadne argumenty vedcov. Ak ide o demokraticky volených politikov, presvedčiť ich môže iba precitnutie a následný odliv ich voličov. Ak ide o vodcov totalitných, presvedčiť ich môže okrem dôslednej domácej opozície asi iba systematický a zásadový postoj svetového spoločenstva (ako ľahko sa to povie, však?). Najúčinnejšie však zrejme bude, keď všetkých spomínaných lídrov prinúti konať neudržateľná situácia spôsobená klimatickou zmenou v ich vlastnej krajine. Ale to už bude zrejme neskoro. Ak ide o významných podnikateľov, oligarchov, bankárov, šéfov nadnárodných spoločností a pod., presvedčiť ich môžu iba reštrikcie legislatívneho a ekonomického charakteru (dane, clá a pod.), ako aj striktne nastavené a vymáhané medzinárodné pravidlá. Úplne prvým krokom by logicky malo byť ukončenie praxe masívnych dotácií práve do odvetví s najväčším príspevkom ku klimatickej zmene. A v neposlednom rade by sa globálni vinníci mali čo najskôr dostať pred medzinárodný súdny tribunál.

Podobnou hrozbou je aj novodobý nacionalizmus v podobe presadzovania tzv. národných záujmov na úkor globálnych. Zabúdať by sme nemali ani na nové formy neokolonializmu, keď sa odpad a škodlivé výroby jednoducho vyvezú do rozvojových krajín, odkiaľ sa lacno dovezú suroviny a produkty vyťažené a vyrobené na úkor životného prostredia či elementárnych ľudských práv. Ale nebezpečnejší než všetko a všetci, sme my sami. Presnejšie naša hypertrofovaná túžba konzumovať stále viac a v „atraktívnejšom balení“, naša povrchnosť, bezzásadovosť a pokrytectvo. A to všetko vo fatálnej kombinácii so skutočnosťou, že kým nás a našich nárokov je stále viac, planéta **Zem je iba jedna a jej disponibilné zdroje vrátane absorpčných a samočistiacich schopností atmosféry, lesov, vody a pôdy sa stále zmenšujú.**



Zdroj: NBC news

Na záver trochu optimizmu. Ľudová múdrosť hovorí, že všetko zlé je na niečo dobré. Ak by to aj celkom neplatilo, to, čo zrejme platí, je, že takáto globálna výzva nás mobilizuje a konfrontuje nás so spoločnými úlohami. Časť autorov seba i nás utešuje tým, že ak problémy spojené s globálnou zmenou klímy má na svedomí človek, a nie príroda ani žiadna nadprirodzená bytosť, potom by mal človek byť schopný aj prijať opatrenia a vyvinúť nástroje na ich riešenie. O tom, že to nie je také nereálne, ako by sa mohlo tým skeptickejšie uvažujúcim zdať, píše univerzálne zameraný americký spoločen-

ský vedec **A. J. Hoffman** (2017)[1]. Ako príklad uvádza otroctvo, bez ktorého si bohaté krajiny ešte pred dvesto rokmi nevedeli svoju prosperitu vôbec predstaviť. Prišla však priemyselná revolúcia a za krátky čas sa otroctvo stalo anachronizmom – nielen z morálneho, ale aj z praktického hľadiska. Podobne revolučné bolo aj markantné zlepšenie stavu životného prostredia v amerických mestách po zavedení prísnych legislatívnych opatrení v 70. rokoch minulého storočia. Inšpiratívna je aj zmena Američanov zo spoločnosti fajčiarov na spoločnosť nefajčiarov, a to vďaka koncentrovanej kampani vedenej v priebehu niekoľkých relatívne krátkych rokov. Iste, ani jedna z týchto zmien sa nedá svojím významom a monumentalitou porovnať s tým, s čím sme konfrontovaní v prípade klimatickej zmeny. Napriek tomu poučiť sa z nich dá hneď viacnásobne: utrpenie, ktoré bude zmena klímy spôsobovať miliónom ľudí, je s veľkou pravdepodobnosťou porovnateľné s utrpením, ktoré spôsobovalo otroctvo. Naša neschopnosť predstaviť si ekonomiku bez fosílnych palív je podobná neschopnosti predstaviť si fungovanie prosperujúcej spoločnosti bez využívania otrockej práce v relatívne nedávnej minulosti. Pritom technologicko-ekonomicko-spoločenská zmena, svojím charakterom a dosahom podobná priemyselnej revolúcii, je schopná zbaviť nás závislosti od fosílnych palív aspoň tak rýchlo, ako sme sa zbavili závislosti od otrokov. Aj revolučné zmeny sa dajú uskutočniť v demokratických spoločnostiach a demokratickými prostriedkami, teda bez revolučného teroru či totalitného diktátu. Jedno, čo je nevyhnutné, je presvedčenie o potrebe zmeny a celospoločenský (v prípade klímy globálny) konsenzus aspoň na rámcovej podobe jej realizácie. To všetko sa dosiahlo v prípade spomínaného zlepšenia kvality ovzdušia či potlačenia škodlivého fajčenia v USA najmä vďaka tomu, že sa podarilo skoordinovať prístup zhora nadol (vláda), s prístupom zdola nahor (občianska spoločnosť, médiá...). Pozitívne ponaučenie zo všetkých uvedených zmien je aj to, že síce na svoje uskutočnenie vyžadujú nemalú námahu, ale vo svojich dôsledkoch prinášajú ľuďom viaceré benefity: od zdravšieho a dlhšieho života cez priaznivejšie prostredie až po nové pracovné príležitosti.

Jednou zo zásad, ku ktorým sa hlási aj Organizácia Spojených národov, je naša zdieľaná zodpovednosť za svet, v ktorom žijeme. Tú spoluzodpovednosť máme všetci bez rozdielu, ale zároveň platí, že nie rovnakú, ale diferencovanú podľa toho, akým dielom sa na globálnych problémoch podieľame (dnes, ale aj v minulosti), i podľa toho, aké sú naše reálne možnosti prispieť k ich riešeniu.

Pozitívne je, že na svetovej scéne pribúda globálnych lídrov, ktorí stále nástojčivejšie upozorňujú na problémy spojené so zmenou klímy (od pápeža cez generálneho tajomníka OSN až po lídrov viacerých dôležitých krajín). Nepochybne dobrou správou je, že popierača tohto problému v kresle prezidenta USA – stále ešte najbohatšej, najvplyvnejšej i technologicky najvyspelejšej krajiny sveta a zároveň krajiny extrémne znečisťujúcej prostredie a žijúcej „nad pomery“ –vystriedal človek, ktorý si klimatickú agendu zvolil za jednu zo svojich priorít (škoda, že až dvadsať rokov po tom, ako zásluhou anachronického amerického volebnému systému tam nevyhral prezidentské voľby klimatický aktivista Al Gore, hoci získal oveľa viac voličských hlasov ako jeho protikandidát).

Ale aby sme nechodili tak ďaleko: spomedzi globálnych hráčov vystupuje v otázkach klímy už dlhodobo najpozitívnejšie Európska únia (pozri pozície, ktoré EÚ v tejto veci zaujíma na svetových fórach, Európska zelená dohoda a najnovšie Plán obnovy a odolnosti s veľkým dôrazom na klímu!). Ako je všeobecne známe, Slovensko je členom EÚ od 1. mája 2004. A to predstavuje určitú garanciu toho, že smerom k dosiahnutiu uhlíkovej neutrality pôjdeme ako-tak správnym smerom (aj keby sme nechceli).

Aj keď naša krajina dosiahla v tejto sfére od r. 1989 nezanedbateľné zlepšenie, stále máme veľké rezervy v oblasti energetiky (pozri napr. horná Nitra), ťažkého priemyslu (pozri napr. čierna i farebná metalurgia a železiarstvo), dopravy (pozri napr. výrazná prevaha kamiónovej dopravy nad železničnou), stavebníctva (väčšina našich energeticky zastaraných budov stále ešte prispieva k „vykurovaniu vesmíru“) a pôdohospodárstva. Na druhej strane, popri mnohých nevýhodách a zaostávaní v technológiách i myslení má náš postkomunistický región aj určité výhody či prednosti. Ako na našu adresu píše v úvode k slovenskému vydaniu svojej knihy už spomínaný **G. Maxton** (2019), zažili sme už zmenu spoločenského a ekonomického systému veľkých rozmerov. Naučili sme sa prispôsobiť, ale tiež sme si zachovali silnú schopnosť pochybovať o veciach, ktoré nefungujú. Poznáme hodnotu zmeny v dobrom aj v zlom. Sme otvorení radikálnym myšlienkam a alternatívnym spôsobom spoločenského vývoja. Takáto otvorenosť, podľa neho, v iných častiach sveta chýba. Mimovoľne mu v jeho tvrdení dáva za pravdu slovenská prezidentka, pre ktorú je životné prostredie a klimatická kríza jednou z troch najvyšších priorít.

Ak bol svet za čias studenej vojny polarizovaný, dnes je multipolárny či skôr atomizovaný. Práve pád komunizmu, koniec studenej vojny a bipolárneho sveta priniesol na chvíľu nádej, že nepriateľstvo veľmocí konečne vystrieda spolupráca pri riešení spoločných problémov. Zhodou okolností, ale nie celkom náhodou, sa práve v tom krátkom euforickom období, keď padala železná opona, pripravoval a uskutočnil Summit Zeme, ktorého účastníci okrem iných dokumentov prijali aj Rámcový dohovor o zmene klímy, od ktorého sa odvíja celý následný proces každoročných konferencií jeho zmluvných strán, spomedzi ktorých dosiaľ najviac rezonuje Kjoto (1997) a Paríž (2015). Som presvedčený, že svetové spoločenstvo či ľudstvo ako také potrebujú podobnú silnú motiváciu pri riešení globálnych problémov, ktoré nepoznajú umelé politické či administratívne hranice, ako bola vidina konca rozdeleného sveta, a nádeje, inšpirácie i motivácie s tým spojené.

To, či budeme takejto globálnej mobilizácie schopní, zrejme rozhodne o tom, či ako druh prežijeme, alebo skončíme ako množstvo iných živočíšnych druhov, ktoré sa jednoducho prebiehajúcim zmenám nedokázali prispôsobiť. Rozdiel bude len v tom, že naši druhovia zo živočíšnej ríše v tom boli, na rozdiel od nás, nevinne.



Zdroj: www.shutterstock.com

Referencie

AKADÉMIA Správy SAV, 56/1, 11 – 13 (2020)

Dasi-Espuig, M., Jiang, J., Krivova, N. A., & Solanki, S. K. (2014), Modelling total solar irradiance since 1878 from simulated magnetograms. *A&A 570*, A23 (2014), DOI: 10.1051/0004-6361/201424290

Dasi-Espuig, M., Jiang, J., Krivova, N. A., Solanki, S. K., Unruh, Y. C., Yeo, K. L. (2016). Reconstruction of spectral solar irradiance since 1700 from simulated magnetograms. *A&A 590*, A63 (2016), DOI: 10.1051/0004-6361/201527993

Eldering, A., et al. (2017). The Orbiting Carbon Observatory-2 early science investigations of regional carbon dioxide fluxes. *Science 358.6360* (2017).

Friedlingstein, P., et al. (2020). Global Carbon Budget 2020. *Earth System Science Data* 12.4 (2020): 3269-3340.

Fakty o klíme. https://faktyoklime.sk/infografiky/emisie-sr

Global Carbon Budget. (2021). https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/

Hansen, J., et al. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science* 342.6160 (2013): 850 – 853. https://doi.org/10.1126/science.1244693

Hansen, J., Kharecha, P., Sato, M., Masson-Delmotte, V., Ackerman, F., Beerling, D. J., Hearty, P. J., Hoegh-Guldberg, O., Shi-Ling Hsu, Parmesan, C., Rockstrom, J., Rohling, E. J., Sachs, J., Smith, P., Steffen, K., Van Susteren, L., von Schuckmann, K., Zachos, J. C. (2013). Assessing "Dangerous Climate Change": Required Reduction of Carbon Emissions to Protect Young People, Future Generations and Nature. *PLOS*, Published: December 3, 2013. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081648

https://earthobservatory.nasa.gov/features/CarbonCycle

https://easac.eu/

https://essd.copernicus.org/articles/11/1783/2019/#section4

https://euractiv.sk/section/klima/news/slovensko-ma-vyhrady-voci-zarataniu-zachyteneho-uhlika-do-ciela-znizovania-emisii/

https://public.wmo.int/en

https://skepticalscience.com//co2-residence-time.htm

https://web.archive.org/web/20150406035211/http://meteocentrum.cz/zmeny-klimatu/sklenikovy-efekt-kolobeh-uhliku.php

https://www.eea.europa.eu/themes/climate/the-eu-emissions-trading-system/the-eu-emissions-trading-system

https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/

https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/index.htm

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364682615300687

https://www.theguardian.com/environment/2020/dec/01/amazon-deforestation-surges-to-12-year-high-under-bolsonaro?CMP=twt_a-environment_b-gdneco

https://www.worldwildlife.org/

IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems (IPCC, 2019).

Keith, H., et al. (2021). Evaluating nature-based solutions for climate mitigation and conservation requires comprehensive carbon accounting. *Science of The Total Environment*, Vol. 769. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144341

Lea, D. W., Martin, P. A., Pak, D. K., Spero, H. J. (2002). Reconstructing a 350 ky history of sea level using planktonic Mg/Ca and oxygen isotope records from a Cocos Ridge core. *Quaternary Science Reviews*, Vol. 21, Issues 1 – 3, 283-293.

Lemoine, F. G., Kenyon, S. C., Factor, J. K., Trimmer, R. G., Pavlis, N. K., Chinn, D. S., Cox, C. M., Klosko, S. M., Luthcke, S. B., Torrence, M. H., Wang, Y. M., Williamson, R. G., Pavlis, E. C., Rapp, R. H., & Olson, T. R. (1998). The Development of the Joint NASA GSFC and NIMA Geopotential Model EGM96, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, 20771 USA.

Masson-Delmotte, V., et al. (2018). Global warming of 1.5 °C. *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Eds. (IPCC Special Report, IPCC, 2018). www.ipcc.ch/sr15

Ministerstvo životného prostredia SR. (2018). *Stratégia adaptácie Slovenskej republiky na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy – Aktualizácia.* https://www.minzp.sk/files/odbor-politiky-zmeny-klimy/strategia-adaptacie-sr-zmenu-klimy-aktualizacia.pdf

Ministerstvo životného prostredia SR. (2022). *Enviroportál*. Emisie skleníkových plynov. https://www.enviroportal.sk/indicator/detail?id=41

Petit, J. R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N. I., Barnola, J. M., Basile, I. , Bender, M., Chappellaz, J., Davisk, M., Delaygue, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V. M., Legrand, M., Lipenkov, V. Y., Lorius, C., Pe´pin, L., Ritz, C., Saltzmank, E., & Stievenard, M. (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *NATURE,* Vol. 399.

Song, X. P., Hansen, M. C., Stehman, S. V. et al. (2018). Global land change from 1982 to 2016. *Nature 560*, 639-643. https://doi.org/10.1038/s41586-018-0411-9

Tebabal, A., Damtie., B., Nigussie, M., Bires, A., Yizengaw, E. (2015). Modeling total solar irradiance from PMOD composite using feed-forward neural networks. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Vol. 135, December 2015, 64-71.



Zdroj: www.shutterstock.com

PREDSEDA SAV

prof. RNDr. Pavol Šajgalík, DrSc.

AUTORI

RNDr. Pavol Siman, PhD. • doc. Mgr. Peter Bačík, PhD. • Mgr. Kristína Blaženková, PhD.
Mgr. Pavol Kenderessy, PhD. • RNDr. Aleš Kučera, CSc. • RNDr. Pavol Nejedlík, CSc.
RNDr. Tomáš Orfánus, PhD. • RNDr. Ján Madarás, PhD. • Mgr. Richard Filčák, MSc., PhD.
prof. RNDr. Mikuláš Huba, CSc.

ODBORNÝ GARANT PROGRAMU OTVORENÁ AKADÉMIA

Mgr. Michal Kšiňan, PhD.

RECENZIA

prof. RNDr. Ľubica Lacinová, DrSc.
prof. RNDr. Mikuláš Huba, CSc.

JAZYKOVÁ KOREKTÚRA

PhDr. Sibyla Mislovičová

GRAFICKÝ DIZAJN & DTP

RNDr. Gabriela Obadalová

VYDAVATEĽ

Slovenská akadémia vied
Štefánikova 49
814 38 Bratislava
www.otvorenaakademia.sk

Redakčná uzávierka: 12.12. 2021

SLOVENSKÁ AKADÉMIA VIED
Štefánikova 49
814 38 Bratislava
www.otvorenaakademia.sk