

# Nové počasí



Akademie věd  
České republiky

**věda** 16

kolem  
nás

pro všední  
den

**Oddělení analytických metod** se soustřeďuje na komplexní výzkum minerálů, hornin, vod a půd s cílem objasnit vývoj Českého masivu a dalších geologicky důležitých oblastí Země. Širší využívání rozpracovaných geochemických metod, především geochronologie a izotopové geochemie, je nezbytným předpokladem tohoto studia.

**Oddělení environmentální geologie a geochemie** je zaměřeno na studium chování chemických prvků v životním prostředí v nejmladší geologické minulosti. Základní pozornost je věnována studiu klimatických oscilací, změn prostředí a ochraně krajiny. Důležitou součástí studií jsou zejména současné změny a trendy v oběhu vybraných ekologicky významných prvků vyvolané činností člověka. Pro komplexní vyhodnocení získaných údajů a syntézu procesů je využívána celá řada biostratigrafických a analytických metod včetně metod izotopové analýzy, geochronologie, paleobiologie a dalších. Cílem prací je získat široký syntetizující pohled na chemické aspekty vývoje střeoevropského přírodního prostředí a jeho současný stav. Výsledky výzkumu slouží nejenom pro poznání obecných zákonitostí vývoje klimatu a prostředí, ale také jako podklad pro rozhodování o strategii a péči o současnou krajinu a její životní prostředí.

**Oddělení geologických procesů** se zabývá komplexním studiem procesů, které v minulosti působily a dosud působí v litosféře, tedy v zemské kůře a svrchní části zemského pláště. Analýza látkového, fyzikálního a biologického záznamu zachovaného v dostupných horninách nám umožňuje popsat dynamiku velkých litosférických bloků v minulosti, rekonstruovat teplotní a tlakový vývoj velkých horninových celků včetně vývoje sedimentárních pánví od starších prohor až do současnosti. Kvalitní poznání těchto procesů v geologické historii střední Evropy spolu s rozsáhlými výzkumnými aktivitami v celosvětovém měřítku umožňují produkci výsledků s všeobecnou platností a univerzálním využitím v rámci geovědních oborů.

**Oddělení paleobiologie a paleoekologie** je zaměřeno na studium fosilního prostředí, společenstev organismů a fosilií obsažených v horninovém záznamu. Během výzkumu se pracovníci soustřeďují na paleoekologii, dynamiku vzniku, vývoje a zániku společenstev organismů a na vývoj mořských a suchozemských areálů rozšíření fauny a flóry (paleogeografie). Dále jsou sledovány paleobiologické disciplíny – evoluční nauka, vývoj fosilních ekosystémů a biostratigrafie.

**Oddělení paleomagnetismu** se zabývá výzkumem magnetických vlastností hornin s cílem zjistit pozici a vývoj jednotlivých geologických formací, hlavně Českého masivu a Pražské pánve. Velká pozornost je věnována magmatostratigrafii, zejména určení hranic mezi geologickými útvary, jako je např. hranice jura–křída, mladším sopečným komplexům Českého masivu a souvrstvím jeskynních sedimentů. Dalším důležitým směrem je využití magnetických vlastností půd, spraší a říčních sedimentů k datování a rozeznání klimatické historie a cykličnosti. Kromě toho jsou zkoumány i meteority a další částečně mimozemské materiály, jako jsou např. vltavíny, s cílem pochopit dynamiku impaktních procesů, celkový vývoj solárního systému a vznik života.

Další podrobnosti a aktuality jsou uvedeny na [www.gli.cas.cz](http://www.gli.cas.cz).

## Skleníkový jev: definice místo úvodu

Skleníkový jev je proces, při kterém je tepelné záření pohlcováno skleníkovými plyny a otepluje tím zemský povrch a nižší části atmosféry. Představte si letní slunečný den. Na povrch země dopadá sluneční záření. Skládá se z viditelného světla a dalšího záření. Důležité je, že má takovou energii, že snadno proniká na zem. Část tohoto záření otepluje povrch země, třeba kamenné zdi nebo asfaltový chodník. Víme, že tyto povrchy později navečer chladnou. Znamená to, že teplo bylo prakticky ve všech směrech vyzářeno zpět do prostoru. Ale v této chvíli už má tepelné záření jinou vlnovou délku a nemůže se do prostoru vrátit tak snadno, jako přišlo od slunce. Naráží na molekuly skleníkových plynů, jako je vodní pára, oxid uhličitý či metan, a rozptyluje se v prostoru, anebo se dokonce vrací nazpět k zemi.

Čím víc je v atmosféře skleníkových plynů, tím víc tepla zůstává uvězněno v okolí zemského povrchu a my pocítujeme oteplení. Ale protože se oceány ohřívají jinak než povrch souše, tak se změni i směry větrů. Větry však také přinášejí vláhu. Znamená to, že i poměrně malé oteplení v měřítku 0,5 °C změni organizaci větrů a přísun vody, což bývá citelnější změna než pouhé nevelké zvýšení teploty.

Skleníkový jev je fyzikální princip stejně jako gravitace. Nemůžeme se přít o jeho existenci, prostě tady je. Můžeme však diskutovat, jak moc se uplatňuje ve směsi s dalšími klimatickými mechanismy, jako je sluneční záření, rozvod tepla po planetě prostřednictvím oceánského proudění či intenzity magnetického pole Země. Pravděpodobně to vypadá tak, že až někdy do let 1970–1980 měly větší vliv přírodní faktory, ale od té doby se stále víc uplatňuje vliv skleníkových plynů, který však může být snížen třeba očekávanou nižší sluneční aktivitou první třetiny či poloviny 21. století.

Existujeme díky skleníkovému jevu, bez kterého by teplota povrchu Země byla kolem –30 °C. Skleníkový jev je jedno z největších dobrodiní života. Bez něj bychom buď nežili vůbec, nebo bychom se tísnilí někde kolem rovníku a bojovali o prostor. Byli bychom chlupatí a špatně vychovaní. Nejspíš bychom se živili rybami. Zasa-hovat do skleníkového jevu však může být nebezpečné, protože při dalším zvýšení teploty o 0,5 °C se na pochod za vláhou a lepšími podmínkami k životu vydá kolem půl miliardy lidí, a to zejména z Číny a islámského světa.

## Historie skleníkového jevu a současné oteplování

Současné diskuzi o skleníkovém jevu, globálním oteplování a proměně klimatu se pravděpodobně nedá porozumět bez historického pozadí, protože diskuze o klimatu má jednak svoji vědeckou a jednak mediální realitu. V první polovině této eseje se snažím ukázat historii výzkumu skleníkového jevu jako nejméně 150 let trvající proces poznávání zemského systému, a to v dobách, kdy tyto procesy zajímaly jen omezený okruh lidí. V další části brožury se věnuji proměnám klimatu jako velké síle, která např. prostřednictvím suchých epizod a dražších potravin spoluvytváří dějiny světa a podle všech údajů vliv klimatických proměn na ekonomickou, politickou a sociální sféru dále poroste. Základní motiv je dvojitý:

1. Ukázat, že poměrně neklidné počasí plné extrémů není vybočením z normálu, ale pravděpodobně novým klimatickým standardem budoucnosti.

2. Tato situace vyžaduje prozíravé klimatické plánování měst a krajiny s výhledem nejméně na 50 let dopředu, aby se předešlo hrozivým ztrátám na majetku a lidských životech, jaké jsou výsledkem neuváženého urbanismu např. v USA a Indii.

Príspevek úzce navazuje na podobné kapitoly, které se však víc týkají přírodních zdrojů, v knihách editorů M. Bárty a M. Kováře *Kolaps a regenerace* (Academia 2012) a monografii *Civilizace a dějiny* (Academia 2013).

## Ekonomická a vědecká iracionalita

Paul Hoffman ve své přednášce na MIT o dvoustetletém objevování skleníkového jevu uvedl, že si vede statistiku o tom, kolik vědců souhlasí s výzkumy, které ukazují, že koncem proterozoika byla Země nejméně dvakrát zcela pokryta ledem (Snowball Earth). Neskončili jsme tehdy ve stabilním stavu věčně zmrzlé koule jen díky tomu, že sopky uvolňovaly do atmosféry oxid uhličitý, který ani nebyl odebírán organismy, ani se nemohl rozpustit ve vodě světového oceánu, takže atmosféra po

Kaňon Vltavy u Štěchovic. České svrchní proterozoikum dosahuje na území ČR mocnosti víc než 5 km. Geologové dlouhou dobu předpokládali, že se jedná o poměrně monotónní vulkanosedimentární souvrství, které se vytvořilo v okolí ostrovního oblouku podobného např. současnému Japonsku, ale novější výzkumy prokázaly silně variabilní horniny včetně vápenců, které nejspíš odrážejí obrovské klimatické zvraty té doby



zhruba třiceti milionech let dospěla do skleníkového stavu a došlo k opětovnému oteplení celého zemského systému, a to možná až o 30–50 °C.

Hoffman s určitým údivem konstatuje, že po dvaceti letech někdy vášnivých diskuzí o velké době ledové pozdního proterozoika svůj názor nezměnil ani jeden odborník, takže poměr sympatizantů a popíračů je konstantní bez ohledu na stovky publikovaných sofistických prací z různých částí světa. Zdálo by se, že určitého pokroku ve změně vědeckého názoru lze v případě vědeckých jevů dotýkajících se veřejného mínění dosáhnout jen díky generační výměně.

Na celé záležitosti mne zaujala setrvačnost vědeckého myšlení, které obvykle rychle a připraveně sahá po zcela nových objevech, jako je tomu třeba u nových technologií či v astronomii a chemii, ale jindy pro nás nepochopitelně a slepě celá desetiletí odmítá zcela zjevné důkazy, jako tomu bylo v archeologii u sporů o existenci paleolitických jeskynních maleb nebo v geologii při poznávání ledových dob. Něco podobného se týká současné diskuze o dopadech skleníkového jevu, a to pod pojmem „současná diskuze“ rozumím období zhruba od roku 1970, kdy se poprvé – jak ukazuje Spencer Wyatt v knize *Objev skleníkového jevu* (Harvard University Press 2008) – začaly používat dodnes uváděné argumenty o vlivu aerosolů, slunce a oceánského proudění na světové klima.

Řekl bych, že ona dvojkolejnost, s jakou přijímáme vědecké poznatky, závisí na praktické využitelnosti. Rychle až unáhleně přijímáme ty poznatky, které nám ulehčují život a vydělávají peníze, ale svůj názor málokdy měníme, pokud bychom tím zároveň museli změnit pořadí hodnot. Na podobný jev, ale v ekonomickém myšlení, upozorňuje držitel Nobelovy ceny D. Kahneman v oceňované knize *Rychlé a pomalé myšlení* (*Thinking, Fast and Slow* 2011). Zatímco o ekonomické iracionalitě, tedy o jevu, kdy se lidé rozhodují neuváženě i když jde o jejich vlastní peníze, se hovoří již dvacet let, je paralelní jev vědecké iracionality obvykle přehlížen, což je nejspíš dáno samotnou definicí vědy jako ověřitelného, racionálního způsobu poznávání světa.

## Skleníkový jev jako dvě stě let stará metafora

V roce 1939 se časopis *Time* zabýval otázkou, jak je možné, že tuhé zimy, které si lidé pamatovali ještě na sklonku 19. století, prakticky vymizely. Klimatologie byla tehdy součástí věd o zemi a obvykle spadala pod fyzickou geografii, která již déle než století rozeznávala, že v minulosti Země bývalo jiné klima, které v zemích mírného pásma zanechávalo takové tvary reliéfu, jaké jsou běžné na jedné straně v tropech a na druhé v zaledněných oblastech. Vůdčí představa byla sice taková, že klima v geologické minulosti mohlo být diametrálně odlišné od toho našeho, ale proměna v podstatě stabilního klimatu trvala celá tisíciletí, ne-li miliony let.

Tento pohled se v roce 1938 snažil změnit amatérský klimatolog, jinak inženýr pracující na vývoji parních strojů, Guy Stewart Callendar. Měl dostatek sebevědomí, a jak se domníval, i důkazů, aby se postavil před londýnskou Královskou meteorologickou společností a přednesl příspěvek o tom, že klima se skutečně otepluje, a to díky průmyslu, který uvolňuje do atmosféry oxid uhličitý. Poprvé v moderních dějinách byla tato myšlenka jasně formulována jako vůdčí hypotéza, i když v té době už měla za sebou celé století vědeckých diskuzí.



Žulový viklan u Kadova v jižních Čechách představuje denudační relikt z teplých období třetihor, kdy část žulového masivu zvětrala na hrubý písek a byla později odnesena

V roce 1824 propočítal francouzský matematik a fyzik Joseph Fourier model, podle kterého by Země bez atmosféry byla mnohem chladnější. Fourier vyšel z toho, že kdyby neexistovalo nějaké neviditelné záření, které vyše teplo nazpátek do hvězdného prostoru, tak by se Země vystavená slunečnímu záření neustále oteplovala, až by se sama stala sluncem. Fourier při svých výpočtech rozeznal, že „něco“ zadržuje část vyzářeného tepla na Zemi. Pomohl si příměrem krabice, kterou zakryjeme sklem, jež udržuje uvnitř teplo. Tato skoro dvě stě let stará metafora se hlavně díky Callendarovi stala sice chybným, ale populárním označením toho, co dnes rozumíme pod pojmem „skleníkový jev“, tedy schopnost atmosféry odrážet nazpět teplo vyzářené z povrchu planety. Skutečný skleník se otepluje jiným mechanismem. Sklo brání teplému vzduchu uniknout do okolí.

Fourierových výpočtů se brilantním způsobem chopil britský vědec John Tyndall. U lidí jeho doby často hovoříme jenom o vědcích a nikoliv třeba o fyzicích či chemících, protože v jeho době byly disciplíny mnohem víc propojeny a experimenty přírodních věd byly často chápány jako praktická součást filozofie, tedy výkladu světa. Tyndalloví na skleníkovém jevu nejvíc vadilo to, že všechny atmosférické plyny jsou bezbarvé a nemají tedy důvod zadržovat teplo. V roce 1859 navrhl jednoduchou aparaturu, kterou měřil prostupnost tepla pro kyslík a dusík, ale nezjistil žádný vliv. Už toho chtěl nechat, ale naštěstí se v té době začínalo svítit „uhelným

plynem“, který byl snadno dostupný a následkem nedokonalé výroby obsahoval zvýšenou hladinu oxidu uhličitého. Tady již experiment zafungoval, takže Tyndallovi stačilo určit, který z plynů „uhelné směsi“ je odpovědný za zadržování tepla – odpověď známe, je to oxid uhličitý.

Tyndall rovněž rozeznal, že ho stačí velmi malé množství, asi jako když list papíru odstíní víc světla než metr čiré vody. Tyndall použil jinou metaforu – o oxidu uhličitém jako přehradě, která je schopná zadržet mnohem víc vody, než běžné říční koryto. Další Tyndallov experimenty se týkaly vodní páry, o které říkal, že je pro vegetaci Anglie důležitější než šaty pro člověka. Vlastně je zajímavé, jak mnoho vědců té doby se pro své exaktní experimenty snažilo nalézt srozumitelná, téměř „chytlavá“ přirovnání. To, co dnes zavání populismem, bylo v té době prostým důsledkem humanitního vzdělání a zejména důkladného studia antické literatury s tradicí velkých řečníků, jako byl Démostenés.

## Hádanka ledové doby

Jednou ze skutečných vědeckých záhad druhé poloviny 19. století byla otázka ledové doby, která v Alpách či skotských horách zanechala nezpochybnitelné stopy ledových morén a ohlazů, a přece nebylo jasné, jak mohlo k tak velké klimatické změně dojít. Byl to problém, který trápil nejenom Tyndalla, ale hlavně Svante Arrhenia. Ten v roce 1896 propočítával lidský vliv na atmosféru. „Předpokládejme“, říkal, že např. „následkem vulkanické erupce změníme složení atmosféry. Víc oxidu uhličitého bude znamenat vyšší teplotu a tím i odpar a prostřednictvím dalšího skleníkového plynu – vodní páry – intenzivnější skleníkový jev. Na druhou stranu, pokud by dlouhou dobu nedocházelo k žádným erupcím, tak oceán a rostliny absorbují oxid uhličitý, teplota poklesne a tím se sníží i množství vodní páry, což by snad mohlo vést až k příchodu ledové doby. Arrheniovy výpočty pro jednotlivé klimatické zóny trvaly celé měsíce. Pečlivě propočítával, jak změna povrchové teploty Země závisí na kombinovaném účinku vodní páry a oxidu uhličitého.

Neznal přesné údaje o složení atmosféry, ale jasně ukázal, že množství oxidu uhličitého má vliv na teplotu Země. Víc jej ale zajímalo ochlazování než oteplování, a tak publikoval model, podle kterého snížení obsahu oxidu uhličitého o 50 % povede ke snížení teploty až o 5 °C. Řádově měl výpočty v pořádku, protože i současní klimatologové uvádějí, že zdvojnásobení obsahu CO<sub>2</sub> povede ke zvýšení teploty až o 4 °C. Na Arrheniově příkladu můžeme dobře odfiltrovat dnešní argumentaci, kterou často používají odpůrci skleníkového jevu. Arrhenius nebyl ekologický alarmista a ani na veřejnost neunikly žádné „maily“, ze kterých by vyplývalo, že upravuje výsledky tak, aby prokázal, že ledová doba je za dveřmi.

Arrhenius si sám nebyl jistý, zda oxid uhličitý může způsobit tak velkou změnu globální teploty. Obrátil se proto na svého kolegu Arvida Högboma, který vytvořil první numerický model uhlíkového cyklu. Velmi moderním způsobem navrhl toky látek mezi jednotlivými rezervoáry – atmosférou, rostlinstvem a oceánem. Započítal vulkanické erupce i industriální aktivity a kupodivu mu vyšlo, že člověk je zodpovědný za tak velký tok uhlíku, jaký zhruba odpovídá přírodním procesům. Na základě Högbomova biogeochemického schématu se Arrhenius vrátil ke svým rovnicím a propočítal, že lidský uhlíkový příspěvek je sice malý, ale bude-li trvat

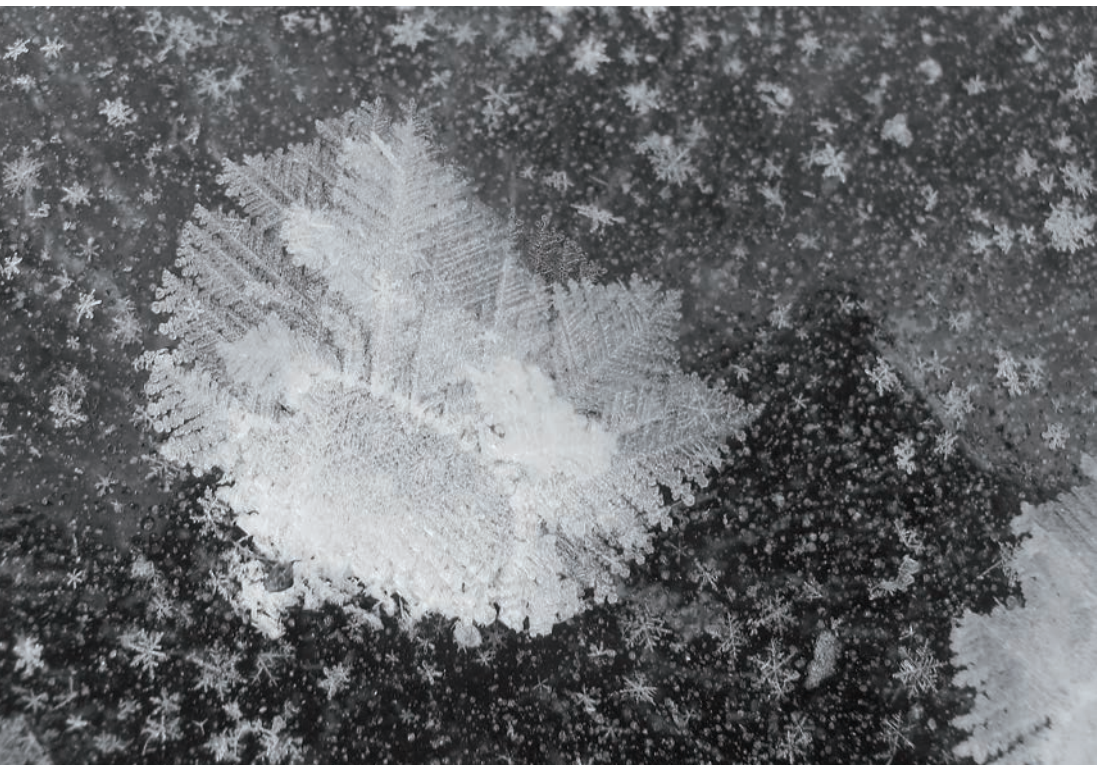
dlouhou dobu, tak může vést ke zdvojnásobení obsahu oxidu uhličitého a ke vzrůstu globální teploty o 5–6 °C. V pohledu z mrazivého Švédska to vypadalo jako dobrý a navíc hodně vzdálený počín, protože v té době na Zemi nežila ani miliarda lidí a většina z nich byli zemědělci.

Jen o rok později po Arrheniovi zavedl Thomas Chamberlain nový model uhlíkového cyklu, který již počítal se zpětnou vazbou. Vědci Arrheniovi totiž příliš nevěřili a upřímně řečeno měli pro to řadu dobrých důvodů. Jednak výchozí měření byla nejistá, jednak Arrhenius vytvořil model, který byl až příliš zjednodušený. Kdyby se například v atmosféře neustále zvyšoval obsah vodní páry, tak by vznikly mraky, které odstíní část slunečního záření, vyprší a sníží její původní množství.

Obraz klimatické vědy 19. století by nebyl úplný bez mnoha dalších objevů. Pravděpodobně nejdůležitější bylo, že již v roce 1800 objevil astronom a hudební skladatel William Herschel infračervené záření. Původně zkoumal skvrny na Slunci a použil k tomu různobarevných filtrů. Při práci s červeným filtrem cítil, jak se pod filtrem ohřívá vzduch. Přesnější měření však ukázala, že nejvíc tepla je vyzařováno v neviditelné oblasti za, či spíše podle latinské předpony „infra“ pod červenou barvou.

Rovněž u Jamese Crolla máme problémy, jak jej označit, protože svým dílem stál velice blízko teologii. Nicméně v roce 1885 publikoval průlomovou knihu *Klíma*

Zamrzlá hladina rybníka u Halířů poblíž Jílového v únoru 2012. Noční teploty přesáhly -20 °C, teplejší vzduch s rozpuštěnou vodní parou klesal k chladnějšímu povrchu, kde pára vymrzala a vytvářela složité sněhové „vločky“ o průměru až 3 cm ukloněné ve směru vzdušného proudění





a kosmologie, kde navrhuje, že příchod ledové doby závisí na vzájemné poloze Slunce a Země. Když je Slunce od Země dál, dopadá na ni méně tepla a rostou ledovce. Jejich bílá plocha odráží další sluneční záření a zemský systém se ochlazuje. Mořské proudy pak přenášejí méně tepla. Když se Země a Slunce přibližují, ledovce tají a mořské proudy jsou silnější a teplejší. Země se tak podle kosmických, v tomto případě slunečních cyklů ochlazuje a otepluje.

## Věda jako odpověď na volání davu

Historii skleníkového jevu v 19. století můžeme zhodnotit jako překvapivý konceptuální pokrok. Většina myšlenek skleníkového příběhu, tak jak jej známe z posledních zhruba dvou desetiletí, byla připravena – byla rozeznána role oxidu uhličitého pro bilanci tepla i biogeochemický cyklus uhlíku počítající s přirozenými i antropogenními toky látek. Existoval hrubý výpočet závislosti globálního oteplování na složení atmosféry i první úvahy o klimatické roli oceánského proudění. Kdyby v té době existovaly počítače, tak by bylo možné pustit se do vcelku moderního matematického modelování. Naopak to, co 19. století znalo velmi neúplně, byla skutečná měření teplot oceánu i pevniny a obsahu plynů v atmosféře. Z hlediska skleníkového jevu můžeme 19. století považovat za filozofické a 20. století za instrumentální.

Pokud by se věda ve svém vývoji pohybovala lineárně, tak by se ucelená teorie skleníkového jevu mohla vynořit již někdy ve třicátých letech minulého století. Zdá se však, že tehdy ještě nebyla zapotřebí. I když to tak nevypadá, tak věda přechasto odpovídá na nějakou společenskou potřebu či otázku pocíťovanou jako problém. Velká klimatologie globálních změn se vytvořila až na přelomu šedesátých a sedmdesátých let dvacátého století, tedy ve stejné době, kdy se jako celospolečenský jev rozvinulo environmentální hnutí. Mohlo by se nám zdát, že od té doby proti sobě stojí vědecká racionalita a ekologický aktivismus či dokonce ideologie nového environmentálního náboženství, ale je pravděpodobnější, že obě strany se navzájem potřebovaly. Vědecké poznatky plnou vahou dopadly na veřejnost již dříve zneklidněnou aférami s DDT a znečištěním životního prostředí a lidé si naopak žádali jasnější důkazy svých chyb, takže diskuze ve 20. století se nevedla jen o vědeckých principech, ale také o lidských hodnotách.

## Je hodně neznámého mezi Zemí a Sluncem

Ruský geochemik Vladimir Vernadskij byl jako ostatně mnoho geologů a klimatologů staré školy spíš filozof. Během první světové války, kdy bylo nutné mobilizovat obrovské lidské síly, jež se podílely na těžbě a zpracování surovin na jedné straně a na obrovském ničení celých zemí na straně druhé, si začínal uvědomovat, že toky některých látek, jako bylo válečné „železo“, se svojí intenzitou vyrovnají přírodním procesům. V roce 1920 publikoval práci, ve které argumentuje, že živé organismy představují sílu srovnatelnou s jakýmkoliv zemětřesením či jinou přírodní silou. Položil tak myšlenkový základ vědy, již dnes říkáme biogeochemie a která se kromě jiného věnuje výzkumu biochemických cyklů, což jsou v případě skleníkového jevu zejména procesy vedoucí k ukládání uhlíku do vápnatých schránek řas, do půd a dřevní hmoty. Vernadskij se rovněž domníval, že svět směřující do nového



Vlčí rokle nedaleko Kamenného Přívozu na Sázavě v sobě z paleoklimatického hlediska kombinuje dvě velice odlišné historie - během teplé fáze došlo k hlubokému zvětrávání a tvorbě okrouhlých žulových reliktních balvanů, které byly v prostředí ledových dob v podobě kamenného proudu transportovány roklí. Nedá se zde vyloučit ani pohyb v kamenném ledovci, kdy jednotlivé balvany jsou tmeleny a unášeny poloplastickým ledem

evolučního stadia – noosféry – bude i na fyzické úrovni proměněn ještě mocnější silou – lidskou inteligencí.

Ve stejné době si Charles Greeley Abbot pracující ve Smithsonian Astrophysical Observatory uvědomil, že veličina nazývaná „sluneční konstantou“ je ve skutečnosti proměnlivá. Abbot si již předtím všiml, že existuje, jak věřil, přímá závislost mezi teplotou a počtem slunečních skvrn. Tím na další dvě desetiletí nastartoval „hon na sluneční cykly“, kdy počet skvrn byl korelován s kdejakou meteorologickou charakteristikou, např. počtem bouří. Přehnaná důvěra v jeden klimatický mechanismus „slunečních skvrn, které řídí všechno“ nakonec celou myšlenku zdiskreditovala. Dnes víme, že sluneční minima se doopravdy kryjí s chladnějšími desetiletími, ale zároveň jsme si vědomi toho, že současný slabý sluneční cyklus – či možná více cyklů – nemusí nutně znamenat chladnější svět, protože světové klima je výslednicí více faktorů, jako jsou právě skleníkové plyny, aerosoly i proudění oceánů.

Mezi desítkami vědců a matematiků zabývajících se vztahem mezi klimatem a Sluncem patří nejvýznamnější místo srbskému matematikovi Milutinu Milankovičovi, který kolem roku 1930 s tužkou v ruce stovky nikoliv hodin, ale dní a později týdnů propočítával vzájemnou polohu Slunce a Země. Základem jeho teorie, která je dnes přijímána jako nejdokonalější vysvětlení mechanismu ovládajícího

příchod ledových dob, byla myšlenka, že poměrně malá změna letní teploty může způsobit to, že během teplé části roku neroztaje ve vyšších středních polohách sníh, takže Země odrazí víc tepla a to pomůže dalšímu šíření sněhové a později ledové pokrývky. Naproti tomu změny zimních teplot neznamenají z globálního hlediska téměř nic. Pro tento druh jevu dnes používáme termín „klimatická citlivost“. V podstatě znamená, že na Zemi existují oblasti, kde malé změny teploty mají velké následky. Dnes víme, že to je hlavně ono rozhraní mezi středními a vysokými šířkami severní polokoule, kde v posledních dvou desetiletích vzájemná mezihra mezi albedem (odrazností) a směry větrů otepluje některé oblasti o víc než o 3 °C a výhledově až o neuvěřitelných 6 °C.

Polární oblasti, ale i tropy a subtropy jsou klimaticky mnohem méně citlivé (a pokud ano, tak na srážky) než ty oblasti, kde teploty kolem nuly jednou znamenají tmavě moře či pevninu bez ledu a podruhé bílou, zamrzlou a neustále se šířící chladnou skvrnu. Milankovič rozeznal tři hlavní cykly vzájemné polohy Slunce a Země trvající 20 tisíc, 40 tisíc a sto tisíc let. Pokud by neexistovali lidé a spalování fosilních paliv, tak bychom se zhruba během dvaceti tisíc let přesunuli do podmínek další ledové doby. Filozoficky to může znamenat, že lidé té vzdálené doby nám budou blahorečit za spalování fosilních paliv, ale protože košile je bližší než kabát, tak bychom se spíš měli starat o to, aby nás synové a vnukové příliš neproklínali. V desetiletí mezi rokem 1920–1930 se stala ještě jedna důležitá věc. Texaská a o něco později arabská a kaspická ropná pole začala svět zásobovat lacinou ropou. Začal věk automobilismu, věk oxidu uhličitého.

## Studená válka - přítel klimatologů

V roce 1925 přišel do Ameriky švédský fyzik Karl-Gustaf Rossby. Prošel několika výzkumnými centry, ale skutečně významný byl pobyt na MIT, kde založil první čistě meteorologický program. Když vypukla druhá světová válka, bylo vojenským stratégům jasné, že vrtošivé počasí může rozhodnout leteckou či námořní bitvu. V jednoletých kurzech Rossby s kolegy proškolil 1700 amerických meteorologů. Po skončení války nebylo jasné, co se s těmito lidmi stane, ale naštěstí se americké válečné loďstvo rozhodlo podporovat velkorysý klimatický výzkum v globálním měřítku, protože válečné lodi operovaly od tropických vod Indočíny až po ledové Grónsko. Rossby je neobvyklý případ špičkového teoretického vědce, který objevil tryskové proudění i fluidní strukturu globální atmosféry, ale zároveň za svůj život založil hned několik významných meteorologických center zabývajících se tou nejvíce praktickou, každodenní meteorologií.

Jedním z válečných meteorologů byl Američan Gilbert Plass. Nikdo mu neřikal, že by měl studovat skleníkový jev, přestože jeho hlavním zaměstnáním bylo studium absorpce infračerveného záření v atmosféře. Vedl výzkum zaměřený na navádění bojových raket s teplotním čidlem na cíl. Důležité bylo, že raketa procházela různými vrstvami atmosféry, které měly jinou teplotu a poněkud odlišné složení. Plass si byl vědom toho, že tepelné záření prochází atmosférou postupně vrstvu po vrstvě a je různým způsobem rozptylováno a stíněno. Vycházelo mu, že na celkovou tepelnou bilanci Země by měl výrazný vliv obsah oxidu uhličitého ve vyšších vrstvách atmosféry. Model proměnlivých atmosférických vrstev však byl natolik matematicky

složité, že vyžadoval výpočetní techniku. Díky vojenskému výzkumu byl Plass přesně na tom jednom z mála míst na světě, kde pracovaly první výkonnější počítače. Již v roce 1956 Plass mohl oznámit, že lidské aktivity mohou způsobit růst globální teploty o 1,1 °C za století, což poměrně přesně odpovídá zjištěnému antropogennímu oteplení ve 20. století. Plass zcela současným tónem varoval před lidským vlivem na oteplování, ale domníval se, že k němu dojde až v měřítku několika staletí.

Jeho kolegové si byli dobře vědomi neurčitosti Plassových výpočtů, protože nebylo jasné, kolik uvolněného oxidu uhličitého vlastně v atmosféře zůstává. Šlo sice poměrně dobře odhadnout, kolik plynů civilizace produkuje, ale nevědělo se, kolik oxidu uhličitého pohlcuje oceán. Člověk, který měl tuto nejistotu změnit, se jmenoval David Charles Keeling. Pracoval nedaleko od Plassovy laboratoře, jeho práce četl a mohl s ním přímo diskutovat. Byl to milovník dlouhých vycházek do přírody a vědu si vybral proto, že toužil být v kontaktu s divočinou.

Keeling zpočátku měřil koncentrace přízemního CO<sub>2</sub> na různých místech Kalifornie. Překvapeně zjišťoval, že existuje nějaká základní, všudypřítomná koncentrace. Keelingovy aparatury byly drahé a jeho výzkum zdánlivě nevedl k žádnému řešení. Většina vědců té doby předpokládala, že variace obsahu CO<sub>2</sub> budou příliš malé, než aby je šlo změřit, a že naměřené hodnoty budou víceméně náhodné, protože je může ovlivnit suchá vegetační sezóna nebo sopečné exhalace. Bylo to

Kruhový lom u Tetína, Český kras. Vápenec je postižen hlubokým zvětráváním, do krasových depresí jsou splavovány pestré jíly a prachovce z teplejších období třetihor. Je to další z mnoha dodnes patrných projevů odlišného geologického klimatu



dokonce pravděpodobnější, než že se podaří vysledovat nějaký globální trend. Podpora Keelingova měřického projektu nebyla velká.

Naštěstí si jej všiml Roger Revelle ze Scrippsova oceánografického institutu v San Diega. Revelle tehdy zajímal obsah  $\text{CO}_2$  v atmosféře z jiného důvodu. Pokusné výbuchy jaderných bomb v atmosféře vedly ke zvýšení radioaktivity. Radioizotopy včetně radiokarbonu byly nejenom pohlcovány oceánem, ale také transportovány oceánskými proudy. Japonští rybáři začínali protestovat, že jejich vody zasahuje radioaktivní vlna, která otráví ryby. Díky radiokarbonu se z obsahu oxidu uhličitého v atmosféře a tím i v oceánu stal vojenský problém. Revelle dokázal propočítat, že mořské proudy fungují jako nekonečný výměník, kterým molekula vody projde v průměru za několik set let. Revelle je někdy považován za „otce skleníkového jevu“, protože upozornil, že oceány jsou schopné absorbovat jen část lidmi uvolněného oxidu uhličitého, který se pak hromadí v atmosféře.

Jenže kolik toho oxidu uhličitého vlastně je? Keeling nejprve měřil v Antarktidě, ale pak se mu podařilo vybudovat měřicí stanici na Mauna Loa na Havaji. Základní myšlenka byla dostat se co nejvýš a co nejdál od průmyslových aktivit. Kritici však naprosto oprávněně poukazovali, že Keeling může měřit intenzitu sopečných exhalací a nikoliv globální úroveň oxidu uhličitého. Po mnoha bitvách o peníze, během kterých laboratoři hrozilo uzavření, mohl Keeling již po dvou letech měření ukázat, že úroveň  $\text{CO}_2$  v atmosféře skutečně vzrůstá. Jeho zubatá křivka obsahu  $\text{CO}_2$  se pak stala základem všech dalších diskuzí o skleníkovém jevu a je dodnes považována za skleníkovou „ikonu“. Roční „zuby“ jsou způsobené lesy severní polokoule, které v teplé polovině roku využívají víc oxidu uhličitého.

I zde je nutné si uvědomit společenský rámec této doby, kdy se zásadní objevy odehrávaly zhruba mezi vypuštěním sovětského Sputniku a kubánskou krizí. Byla to doba ve stínu studené války, která však překvapivě přála výzkumu atmosférického a oceánskému proudění. K dalšímu zásadnímu momentu, ale tentokrát organizačního rázu, došlo v roce 1958, kdy první mezinárodní geofyzikální rok (IGY) silně podporovaný právě R. Revellem vůbec poprvé svedl dohromady interdisciplinární komunitu lidí zabývajících se atmosférou a oceánem. Geologové se zde poprvé v masivním měřítku sešli s matematiky, atmosférickými geochemiky a mořskými biology. V dnešní době aplikovaného výzkumu se zdá téměř neuvěřitelné, že Revelle dokázal přesvědčit americké vojenské námořnictvo, aby podporovalo především základní výzkum.

## Motýli, celá hejna motýlů

Lewis Fry Richardson v roce 1922 navrhl matematický model, na jehož základě bylo – jak věřil – možné předvídat počasí. Rozdělil plochu pevniny na čtverce, které definoval teplotou a tlakem. Pak čtverec po čtverci propočítával pohyb vzdušných mas a teplot. To, co reálné počasí provedlo nad anglickým pobřežím během osmi hodin, počítal s tužkou v ruce tři týdny a výsledek byl hodně vzdálený skutečnosti. Richardson si představoval, že jednou bude možné vytvořit dobře organizovanou kancelář – „forecast factory“ – se stovkami počtářů schopných předvídat počasí. Richardsonův neúspěch byl tak viditelný, že se do podobného experimentu dalšího čtvrtstoletí nepustil žádný meteorolog.

Teprve v roce 1946 navrhl John von Neumann, že by na předvídaní počasí šly použít modely rozvíjené při studiu jaderných výbuchů, protože v obou případech se jednalo o rychle se měnící proudy fluid. Neumann navrhl, že budoucí klimatický model by se netýkal jenom prosté předpovědi počasí na několik dní dopředu, ale znázornění globálního klimatu včetně monzunových a pasátových větrů. I v tomto případě bylo důležité, že jak výzkum počasí, tak jaderných zbraní byl koordinován stejnou organizací – americkou armádou – a že námořnictvo bylo ochotné pustit se do základního výzkumu. Vedením výpočetního programu byl pověřen Jule Charney.

Polovinu času trávili matematici neustálou výměnou součástí složitého, přehřívajícího se počítače. Dat bylo tolik, že je bylo nutné zaokrouhlovat, což je víceméně subjektivní postup hodně závislý na matematické zkušenosti. Charneyovu týmu trvalo pět let, než stanovil alespoň hrubé rysy meteorologického výpočtu. Teprve v roce 1955 přišel Norman Phillips s něčím, co bylo možné nazvat obecným cirkulačním modelem (GCM). Následkem efektu „motýlího křídla“, kdy malé odchylky mají v silně nestabilním prostředí závažné důsledky, příliš nefungoval. Praktický dopad „motýlího fenoménu“ byl značný, protože najednou bylo nutné starat se i o velmi drobné rozdíly v parametrech. Znamenalo to například, že v globální bilanci  $\text{CO}_2$  se začalo kalkulovat i se zdánlivě okrajovými procesy, jako je ukládání uhlíku do půdy.

Sedimenty Mrtvého moře, ve kterých se střídají světlé vrstvy aragonitu a sádrovce odpovídající hypersalinnímu prostředí a šedohnědá bahna, která sedimentovala v obdobích, kdy řeka Jordán přinášela kal z okolních hor a ředila slanou vodu jezera



## Zrození globální vědy

Při sestavování obrazu klimatického světa tak bylo nutné propojit velice různá povolání. Dalším milníkem, teď už nejenom klimatologie, ale něčeho, co můžeme nazvat „globální vědou“, se v roce 1965 stala konference o „Příčinách klimatických změn“ v Boulderu v Coloradu. O dva roky později se rozeběhl program Globálního atmosférického výzkumu. Mezitím se změnila i společenská atmosféra. Jednou z roznětek nově se vytvářejícího environmentálního hnutí byla kniha Rachel Carsonové *Tiché jaro* (1962), ve které autorka varovala před používáním pesticidů a DDT.

Carsonová se v té době musela věnovat výchově svých neteří. Přesídlila na marylandský venkov a sama dostala rakovinu, které o dva roky později podlehla. V jejím psaní bylo cosi osobně naléhavého, co z knihy udělalo dodnes klasický titul. Byla to ale těžce vykoupená „klasika“. Na nemocnou Carsonovou se vrhl chemický průmysl i zemědělské firmy a snažily se zpochybnit její odbornost. Z tichého jara se stalo hlučné léto, jak tehdy psaly noviny. Rozumné, strážlivé vystoupení v televizním pořadu, kde byla konfrontovaná se zástupcem chemické společnosti, způsobilo celonárodní obrat a posléze vedlo k založení Federální vládní agentury pro životní prostředí.

Tady, někdy v letech 1965–1967, se myslím můžeme pro tuto chvíli zastavit, protože zde leží určité mentální rozhraní, před kterým je skleníkový jev hlavně vědou, zatímco po něm se stále víc uplatňuje jako mediální a politické téma. Nicméně i ze stručného historického přehledu je snad zjevné, že tzv. mediální otázky o povaze skleníkového jevu a klimatickém vlivu naší civilizace byly kladeny již v 19. století, dávno před zájmem sdělovacích prostředků.

Další zajímavé rysy skleníkového příběhu se týkají klíčové role americké armády, bez které by ještě dlouho nedošlo ke vzniku velké klimatologie globálních změn. Prakticky všichni klasici skleníkového jevu vedli neobvyklý, barvitý život často na rozhraní vědy a filozofie či vědy a umění. Skoro ve všech případech to byli umanutí, okouzlení lidé s renesančním přesahem, stojící před nějakým tušeným tajemstvím.

O globalizaci jako o ekonomickém nástroji, který se zejména v USA objevuje kolem roku 1975 po první energetické krizi, se mluví jako o prostředku, který umožňuje ovládat vzdálené trhy. Ve skutečnosti se zdá, že to nebyli ekonomové, ale vědci a mezi nimi hlavně klimatologové, kteří jako první začínali uvažovat o celé planetě v propojeném globálním měřítku.

V posledních třech desetiletích 20. století došlo k významnému posunu, protože byl rozeznán silný vliv oceánského proudění na světové klima a poměrně nedávno, až kolem roku 2000, byly definovány dva důležité globální mechanismy – Atlantská a Pacifická dlouhodobá oscilace (AMO – Atlantic Multidecadal Oscillation, PDO – Pacific Decadal Oscillation), které v nepravidelném cyklu trvajícím 30–50 let proměňují povrchovou teplotu oceánu asi o 0,7 °C a mění tak směry větrů a vláh. Součástí AMO, která měří rozdíly teplot v celém Atlantiku, je Severoatlantská oscilace (NAO), která se soustřeďuje na rozdíly atmosférického tlaku mezi Lisabonem a Islandem, i další často uvažovaný typ oscilace – Arktická oscilace (AO), která je nesmírně důležitá pro chod současné střeoevropské zimy.



„Badlands“ v okolí Mrtvého moře se vyvinuly během pouhých několika tisíc let. Původní staroholocenní pobřeží leželo o 150–180 m výš. Na obrázku je patrné jako zarovnaná pláň vpravo nad strmými roklemi

## Arktická oscilace

Klimatologové považují za nejvíc fascinující rys severského klimatu za posledních dvacet let prudký růst a nečekaný pád chodu arktické oscilace (AO). V zimách 2009–2010 dosáhly indexy AO nejnižších hodnot za posledních 150 let a tento trend dál pokračuje. Co to znamená? Arktická oscilace je jako většina klimatických systémů silně nepravidelný, cyklický jev, který každých zhruba 50 let přechází z jedné fáze cyklu, označované pozitivním indexem, do druhé části cyklu, o které hovoříme jako o negativní AO. Oscilace si v letech 1930–1999 udržovala poměrně výrazný pozitivní teplý chod, pak se několik let pohybovala v rozkolísaném režimu a zhruba před sedmi lety přešla do výrazného záporného chodu.

Kladný index znamená, že na severu leží významná oblast nízkého tlaku, která podporuje silné tryskové proudění, které od západu na východ jako obrovský prstenec obepíná celou planetu. To způsobuje, že polární chlad zůstává uzavřen za hradbami, které jsou tvořené silnými větry. Naopak současný negativní index znamená vyšší tlak na severu a rozpad větrné bariéry. Studené počasí pak snadněji proniká hluboko na jih. To se stalo koncem roku 2012 mezi Vánoce a počátkem nového roku v Indii, kde teplota v horském Kašmíru klesla na  $-24\text{ °C}$  a dokonce i v jinak horkém Dillí bylo naměřeno jen  $5\text{ °C}$ . Následkem podchlazení zemřely pravděpodobně stovky lidí. Nízké teploty a silný smog způsobily v indických městech situaci,



jakou spíš známe ze zimní Ostravy. Města zalila neproniknutelná smogová mlha, která na několik dní přerušila letecký provoz. Naproti tomu do Evropy dorazila poměrně teplá vánoční obleva a udržela se další dva týdny.

Už jenom tato okolnost ukazuje, že Arktida nemá jedno velké řídicí klimatické centrum, což by u takto obrovské oblasti dokonce překvapilo, ale nejméně tři dílčí střediska. Tím prvním, které má vliv hlavně na Evropu, je již zmíněná arktická oscilace. Počasí na americkém kontinentu však nejméně stejnou měrou ovlivňuje výměna vzduchu v klimatické oblasti nazývané PNA, tedy cirkulace odehrávající se mezi Tichým oceánem a Severní Amerikou, a na Asii má největší vliv tzv. mechanismus AD neboli „Arctic Dipole Pattern“, který řídí výměnu vzduchu mezi Beaufortovým mořem na severu a střední Asií na jihu. Chápu, že toto množství názvů a klimatických mechanismů frustruje klimatology i čtenáře, ale v zásadě říká, že v severní polární oblasti se děje něco silného a znepokojivého, co má vliv na zbytek severní polokoule, ale že tato jedna velká změna má celou škálu regionálních rozdílů. Stejný klimatický mechanismus tak může zároveň způsobit neobvykle teplé týdny v Čechách i rekordní chlad v Indii.

Průběh arktické oscilace se kupodivu dá lépe korelovat s počasím ve střední a jižní Evropě než se změnami v Atlantském oceánu. Znamená to, že změny v Arktidě předznamenávají i změny u nás doma. Jak by mohl vypadat typický rok pod vlivem silně negativní fáze AO?

I v poměrně teplé zimě by docházelo k stále častějším průnikům hodně studeného vzduchu. Zejména v první polovině zimy by bylo nutné očekávat silné sněhové kalamity, protože studená fronta od severu se bude setkávat s teplým, hodně vlhkým vzduchem z Atlantiku. V druhé půlce zimy to však už spíš vypadá na holomrazy. Poněkud opožděné jaro a první polovina léta by mohly být některé roky výrazně sušší, protože na povrchu oceánu se bude déle udržovat sladká, studená voda z tajících ledovců a permafrostu, která snižuje odpar.

Během léta se změní cirkulace. Tryskové proudění začíná jednak meandrovat ve vysokých záhybech, které sahají od subtropické oblasti až k polárnímu kruhu. To přináší silně proměnlivé počasí. Šířka tryskového proudění však v některých měsících během celého roku roste a větrná bariéra se stává na delší čas stabilnější. Pokud v tomto období stability bude panovat nějaké extrémní počasí, jako jsou třeba vlny veder nebo studené fronty, tak potrvají déle.

Koncem „typického“ léta a na podzim by občas měly přicházet silné či dlouhotrvající deště, které způsobí lokální povodně, ale teplejší podzim by měl trvat déle a být krásný. Není pravděpodobné, že všechna tato očekávání popsaná zhruba patnácti komplikovanými klimatickými modely by se mohla naplnit. Je to jen hra trendů a pravděpodobností. Nicméně klima u nás bude i v dalších letech záviset i na něčem tak pofidérním, jako je zhruba deset milionů čtverečních kilometrů arktického ledu, který má na větší části své plochy celkem zanedbatelnou a zranitelnou mocnost 1–3 m.

## USA a Indie jako systém předběžného varování

Nejméně od podzimu roku 2012 probíhá v různých částech světa, zejména v USA a Indii, diskuze o tom, zda neobvyklé, extrémní počasí minulých let není ve skutečnosti novou klimatickou normou. Za poslední dva roky Amerika zažila jedno velké

suché období, bouří Sandy, která do ulic New Yorku nahnala skoro čtyři metry vody, jeden z nejmraznějších počátků jara za celé desítky let, vzápětí rekordní teplý květen, hned nato dvě ničivá tornáda a celou řadu menších klimatických lapálií. Klimatická bilance Indie je mnohem děsivější. Intenzivní monzun vyhnal v roce 2012 z domovů devět milionů lidí – to je jako kdyby se celá Česká republika dala na útěk před velkou vodou – a květnové povodně roku 2013 způsobily smrt šesti tisíc potvrzených obětí. Podle oficiálních statistik zahyne v Indii ročně v důsledku záplav 1850 lidí.

Závažnost klimatické diskuze může objasnit například téma cyklicity klimatických událostí. Na základě historických údajů víme, že existují období, kdy povodně přicházejí ve shlcích. Velmi konzervativní odhad pak říká, že je poměrně pravděpodobné, že Česká republika zažije během dvaceti let další velkou povodeň. Jenže když se podíváme na klimatické extrémy celé severní polokoule, tak zjistíme, že v některých oblastech se uplatňuje zhruba desetiletý, ale jinde už čtyřletý klimatický cyklus. Kdybych tedy chtěl hrát „na jistotu“ a vyložit si statistické údaje tím nejvíc přísným způsobem, tak bych se snažil vybudovat českou protipovodňovou ochranu do čtyř let.

Údolí pod Kumránem u Mrtvého moře. Údolí je pravděpodobně staré jen asi osm tisíc let, protože ve starém holocénu dosáhla hladina jezera až k plošině v levé části snímku. Během této doby dokázal periodický tok odstranit víc než 120 m sedimentů a vytvořit údolí široké víc než 300 m, a to v prostředí, které nejméně poslední dva tisíce let odpovídá poušti



## Je tato doba skutečně extrémnější?

Četnost klimatických extrémů patří mezi nejčastěji studované otázky, protože na ní kromě jiného závisí výše pojistného či velikost rezervních fondů pro případ katastrofy. Pokud za kritérium katastrofy vezmeme lidské ztráty a materiální škody, tak se četnost katastrof od roku 1980 zvýšila pětikrát, ale zjevně zde hraje zásadní roli větší počet lidí, nevhodný urbanismus, kdy se pod populačním či developerským tlakem staví v rizikových oblastech, a také rostoucí ceny nemovitostí. Pokud se na věc podíváme z čistě klimatického hlediska a soubor očistíme od anomálních událostí jako je zemětřesení v Japonsku nebo tsunami v Indonésii, tak na jižní polokouli dostáváme jen mírně rostoucí křivku extrémů.

Většina globálních klimatických změn se však odehrává na severní polokouli. Může za to geometrie moří a kontinentů, která ovlivňuje směry oceánského proudění, vyrovnávající působení moře, jež má na jižní polokouli mnohem větší plochu, a asi i izolovanost Antarktidy, která do podnebí středních šířek zasahuje mnohem méně než Arktida. Index extremity podle NOAA na severní polokouli poslední dvě desetiletí roste. Jedná se přitom o setrvalý a průběžně působící trend. Znamená to, že nebezpečných such, silných větrů, sněhových kalamit a povodní přibývá a pojistné se bude zvyšovat. Státy a obce by si měly odkládat stále větší množství peněz na nečekané výdaje.

## Návrat „hokejky“

V roce 1999 publikoval Michael Mann z Pensylvánské státní univerzity křivku teplot za posledních tisíc let, která se proslavila jako „hokejka“. Křivka ukazovala poměrně rovný průběh mezi rokem 1000–1900, ale pak bláznivě vystřelila nahoru. Mann se svými spolupracovníky křivku interpretoval tak, že ve 20. století byla teplota nejenom největší, ale také se nejrychleji měnila. Následovala zdrcující kritika, která se týkala jak zpracování nejednoznačných dat, tak evidentního závěru, že se otepluje a že za toto oteplování může člověk. Mann si prošel peklem a musel se hájit i před Národní vědeckou akademií. O svých zážitcích napsal v roce 2012 knihu *Hokejka a klimatická válka* (Columbia University Press).

Na jaře roku 2013 uveřejnil v časopise *Science* klimatolog Shaun Marcott z Oregonské státní univerzity teplotní křivku za celý holocén, která potvrzuje Mannovu „hokejku“. Je zajímavé, že tentokrát média na výsledky pracného a přísně opoňovaného výzkumu téměř nereagovala. Marcott ukazuje, že klima se průběžně ochlazuje posledních zhruba pět tisíc let, ale že během posledního století teplota vzrostla natolik, že tento několik tisíc let trvající pokles během několika desítek let vyrovnala. Jinými slovy – k podobně rychlému oteplení jako dnes nedošlo celý holocén. Tohoto závěru bylo dosaženo syntézou desítek různých studií a zřejmě nebude zpochybněn. Neodpovídá však na otázku: Kdo za to může?

## Ochlazení po roce 2015?

V posledních zhruba deseti letech se prudce rozvíjí obor, který má své počátky již někdy v 19. století – studium vlivu magnetismu a slunečního i kosmického

záření na zemské klima. U nás byl tento obor rozvíjen českými geofyziky již před čtyřiceti lety. Ukazuje se, že kombinovaný vliv zemského a slunečního magnetického pole a slunečního záření je zřejmě hlavním řídicím mechanismem krátkodobých, tedy desítky až stovky let trvajících přirozených klimatických změn, ale není jasné, jak tento proces funguje. Nejčastěji se uvažuje o stínícím účinku vyšší sluneční aktivity na kosmické záření, které proniká do nižších vrstev atmosféry a pomáhá zde vytvářet mraky, nebo o zvýšené tvorbě ozónu, který má silný skleníkový vliv. Další navržené mechanismy se týkají teplotních změn způsobených slunečním větrem ve vysokých vrstvách atmosféry, které mají zřejmě větší vliv na rozložení atmosférického tlaku ve spodní části ovzduší, než se očekávalo.

Současné magnetické pole Země zesláblo o zhruba 10 % oproti 20. století, což není nic neobvyklého. Severní magnetický pól se nejprve pohyboval o zhruba 10 km za rok, ale v posledních letech pádí rychlostí kolem 40 km za rok a pokud mu to vydrží, tak za pár desítek let opustí americký kontinent a přesune se na Sibiř. Není vyloučeno, že pozice magnetického pólu Země ovlivňuje rozložení atmosférického tlaku na severní polokouli, protože magnetické siločáry v okolí pólu směřují skoro kolmo k zemskému povrchu, který je proto méně chráněn před kosmickým a slunečním zářením. Posun pólu by proto znamenal posun oblastí, která je z kosmu víc klimaticky ovlivnitelná.

Ostrovský klášter u soutoku Sázavy a Vltavy těsně po povodni roku 2002, která začala erodovat horní část ostrova. Tento třetí nejstarší klášter na našem území (po sv. Jiří na Pražském hradě a sv. Markétě v Břevnově) původně ležel výš nad hladinou Vltavy, jejíž koryto je dnes silně zanesené a zejména ovlivněné vltavskou kaskádou



Jako první oznámili korejsí klimatologové, že mají důkazy o souvislosti mezi intenzitou magnetického pole Země a povrchovou teplotou nad Korejským poloostrovem. Další týmy zkoumají např. závislost mezi krátkodobými změnami magnetického pole Země a lokální gravitací. Vnější jádro Země je tekuté a zdá se, že proudí podobně jako voda v pozemských oceánech a tím, jak občas dojde k rychlejším přesunům hlubokých proudů rozžhaveného železa a křemičitanů, tak se změní nejenom gravitační, ale také magnetické pole a obojí má přitom vliv na stav atmosféry. Většina těchto interakcí je slabých a nepříliš výrazných, ale bez jejich poznání je obtížné stanovit míru lidského vlivu. V současné době se totiž mění nejenom množství skleníkových plynů, ale také charakter oceánského proudění, magnetické pole Země a dokonce sluneční aktivita.

Sluneční aktivita byla ve 20. století jedna z nejvyšších za poslední tisíciletí a možná i několik tisíc let. V současné době je počet slunečních skvrn, podle kterých se sluneční aktivita stanovuje, zhruba poloviční, než byl průměr pro celé 20. století. Nový sluneční cyklus trvá již několik let, což obvykle umožňuje dobrou předpověď dalšího vývoje současného cyklu. Měl by vrcholit na nízké úrovni v roce 2015 a pak by sluneční aktivita měla dále slábnout a světový oceán postupně vychlázdat. Menší skupina klimatologů proto varuje před možným nástupem vlhkého a studeného podnebí, jaké panovalo v malé době ledové. I pokud by k ochlazení došlo, tak nejspíše za dvacet let by se nejspíše sečetlo solární oteplování a skleníkový jev a došlo by k rychlému, devastujícímu oteplení.

Pokud srovnáme křivku sluneční aktivity a teplotu ve 20. století, tak až do roku 1980 pozorujeme dobrou shodu, ale pak se situace mění a naopak začínáme pozorovat významnou korelaci mezi obsahem skleníkových plynů a povrchovou teplotou Země. S určitou opatrností se tedy dá říct, že až do roku 1980 našemu počasí vládlo Slunce a od té doby získávaly vliv skleníkové plyny. V dalších zhruba deseti letech budeme testovat, kdo má větší moc, ale klimatická komunita se víc přiklání k rostoucímu lidskému působení.

## Co pro nás tady a teď znamená klimatická změna?

Současný oteplovací trend je  $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  za desetiletí, což by odpovídalo  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  za století, a když k tomu připočteme zhruba  $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  již dosaženého oteplení, tak jsme na průměrných  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a to je hodně. Výška hladiny oceánu se v 21. století může zvýšit o 30–60 cm, ale také bouře budou větší. Uvádí se, že zvýšení hladiny o deset centimetrů vede k odplavení pěti metrů průměrné písčité pláže. I malá změna hladiny bude mít velký dopad na morfologii pobřeží, na přístavy, letoviště a pobřežní zástavbu.

Dlouhodobá předpověď je velice obtížná, protože nevíme, jak se v dalších desetiletích zachová Slunce a magnetické pole Země. Je však nepravděpodobné, že v období nečekaných a intenzivních změn prakticky všeho – od složení atmosféry až po intenzitu slunečního záření a zemského magnetického pole – by počasí mohlo být stabilní. Vypadá to právě naopak – období nedávných extrémů se stává novým normálním počasím dneška.



Ranní mlhy nad Beroukou u Srbska v Českém krasu sice vypadají romanticky, ale stále častěji se jedná o smog, který má svůj původ v lokálním vytápění a špatných rozptylových podmínkách

## **Závěr: nová situace**

Domnívám se, že celá severní polokoule se posunula do nového klimatického režimu, jehož pravděpodobným spouštěčem je oteplování Arktidy. Na současný stav klimatu tedy doporučuji dívat se nikoliv jako na dětskou nemoc, která brzy přejde, ale jako na setrvalý, chronický stav, který vyžaduje přehodnocení klimatických plánů a směřování k něčemu, čemu se ve světě říká klimatická resilience či nový urbanismus zvyšující klimatickou odolnost města.

## Projekty Geologického ústavu AV ČR

Hlavní směry výzkumu se dají charakterizovat několika základními problematikami. Především Český masiv sestává z jádra tvořeného žulovými plutony, různě intenzivně metamorfovanými horninami a sedimentárními formacemi. Je proto důležité znát procesy, které vedly k vytvoření tohoto základu, na který jsou rovněž vázána hlavní rudní a uranová historická ložiska. Sedimenty starších prvohor v rámci tzv. Barrandienu obsahují světově ojedinělý soubor paleontologických lokalit a hlavně hraničních vrstev. Některé z nich byly vybrány jako mezinárodní stratotypy, tedy hranice mezi geologickými útvary. Na všech stratigrafických tabulkách celého světa naleznete názvy jako je „beroun, prag, dobtiv“ a další, které odkazují na výzkumy v oblasti mezi Prahou a Plzní, které kontinuálně probíhají již dvě stě let.

Zatímco se původní paleontologie či paleobiologie zpočátku zabývala hlavně popisem nových druhů, tak současná věda je víc zaměřena na vývoj ekosystémů a porozumění evoluci organismů či ještě lépe řečeno společnému vývoji ekosystému a jeho životního prostředí.

Jiným velkým, intenzivně zkoumaným tématem je vývoj klimatu hlavně v mladší geologické minulosti, kde se objevuje řada zásadních klimatických zlomů například z dob ledových do teplých interglaciálů. Menší, ale někdy náhlé klimatické variace však můžeme pozorovat i v říčních a jeskynních sedimentech. Ukazují nám, jak rychle a intenzivně kolísalo klima v dobách bez vlivu člověka.

Zatímco geologie se dřív zabývala hlavně staršími formacemi, v dnešní době se stále víc uplatňuje environmentální geologie a geochemie, nebo dokonce společně interdisciplinární výzkumy s archeology a egyptology zaměřené na poznání přírodních procesů, které formují civilizace a jejich proměny. Zabýváme se však rovněž oběhem prvků, jako je síra, rtuť a těžké kovy, v životním prostředí. Tyto prvky vstupují do složitých vazeb, jsou vymývány z půdy, uvolňovány do vodotečí či dokonce atmosféry, hromadí se v organických hmotách a ovlivňují i lidskou populaci.

Evropskou pověst má laboratoř paleomagnetismu, která zkoumá hranice mezi geologickými útvary, pozici Českého masivu a jeho postavení v rámci Evropy. Magnetické vlastnosti půd a sedimentů indikují klimatické a hydrologické změny v povodí řek, jako je Labe či Morava.

Kromě toho na Geologickém ústavu probíhá celá řada dalších aktivit, jako je výzkum jeskynních procesů, původu vltavínů nebo ojedinělého fenoménu karbonského pralesa, či praktické úkoly, jako je výzkum geologických rizik spjatých s výstavbou nových jaderných elektráren nebo problematika ochrany české přírody a krajiny.

**Geologický ústav AV ČR, v. v. i.**, je badatelské centrum střední velikosti, jehož hlavním cílem je porozumět praktickým i teoretickým otázkám vzniku a vývoje zemského systému, a to zejména jeho střeoevropské části. Geologie je jedna z nejstarších přírodních věd, která již od renesance stála u kolébky moderní evropské vzdělanosti. Původně byla zaměřena hlavně na poznání vzniku minerálů a ložisek, ale dnes se víc soustřeďuje na vzájemné vazby mezi pevninou, oceánem, atmosférou a životem včetně lidského působení. Tyto procesy sleduje v časové škále delší než jedna miliarda let. Klíčovým mechanismem je zde koevoluce, tedy společný vývoj celého zemského systému, který začíná silami působícími v nitru planety, pokračuje pohybem kontinentů, změnami zemského povrchu včetně vlivu organismů na tvorbu atmosféry a dotýká se i kosmických aspektů, jako jsou pády vesmírných těles na povrch Země. Teprve porozumění této složité architektuře celého zemského systému nás přivádí k poznání role člověka a umožňuje získávat nerostné a energetické bohatství planety při současném zachování jejího bohatství.

#### **V EDICI VĚDA KOLEM NÁS PŘIPRAVUJEME:**

Markéta Pravdová: **Jazyková poradna**

Karel Balík, Tomáš Suchý: **Biokompozitní náhrady kostní tkáně**

Radomír Vlček: **Josef Macůrek**

Markéta Pravdová: **Jak se mluví mezi živly**

Jiří Prosecký: **Bedřich Hrozný**

#### **DOSUD VYŠLO:**

Pavel Peterka: **Vláknové lasery**

Ondřej Kučera: **Elektromagnetická pole živých buněk**

Milan Řípa: **Historie výzkumu termojaderné fúze**

Jan Bartáček: **Akademie věd pro mladou generaci**

Edice Věda kolem nás | Pro všední den

*Nové počasí | Václav Cílek*

Vydalo Středisko společných činností AV ČR, v. v. i., pro Geologický ústav AV ČR, v. v. i., Rozvojová 269, 165 00 Praha 6 – Lysolaje.

Grafickou úpravu a obálku navrhl Jakub Krč, studio Lacerta.

Technická redaktorka Monika Chomiaková. Odpovědná redaktorka Petra Královcová. Vydání 1., 2015. Ediční číslo 11765.

Sazba a tisk **SERIFA**®, s. r. o., Jinonická 80, 158 00 Praha 5.

Další svazky získáte na:

[www.vedakolemnas.cz](http://www.vedakolemnas.cz) | [www.academia knihy.cz](http://www.academia knihy.cz) | [www.eknihy.academia.cz](http://www.eknihy.academia.cz)