



METODICKÁ PŘÍRUČKA K OCHRANĚ KLIMATU

JAN HOLLAN / YVONNA GAILLYOVÁ

veronica
EKOLOGICKÝ INSTITUT

Ochrana klimatu / Metodický materiál pro vyučující

Autoři

Jan Hollan, Yvonna Gaillyová

Třetí doplněné a aktualizované vydání

Dle vývoje oboru i připomínek uživatelů je dokument opakovaně aktualizován na adrese http://amper.ped.muni.cz/gw/Ochrana_klimatu/.

Neprošlo jazykovou korekturou

Vydala

ZO ČSOP Veronica (Ekologický institut Veronica), 2020



Dokument je elektronicky dostupný na adrese www.veronica.cz/klima,

Publikace vychází s podporou Ministerstva životního prostředí. Materiál nemusí vyjadřovat stanoviska MŽP



Obsah

1 Úvod.....	5
2 Skleníkový jev a jeho změny.....	7
2.1 Sálání.....	7
2.2 Sálání atmosféry na zem.....	8
2.3 Kolísání záření v cyklech.....	9
2.4 Skleníkové plyny.....	11
2.5 Sálání Země do vesmíru.....	11
2.6 Kdyby nebylo skleníkových plynů.....	11
2.7 Dávné změny skleníkového jevu – rozhodoval oxid uhličitý.....	11
2.8 Střídání ledových a meziledových dob.....	12
2.9 Co se stalo se složením ovzduší za poslední staletí?.....	13
2.10 Jaký má změněné složení atmosféry vliv na tepelné toky.....	13
2.11 Kolik tepla nevracíme do vesmíru: watt na metr čtvereční.....	14
3 Globální oteplování a klimatická změna.....	14
3.1 Oteplování není rovnoměrné, na ovzduší z něj připadá nejméně.....	16
3.2 Proměny klimatu v holocénu a nyní.....	16
3.3 Extrémně horká léta a sucho.....	17
3.4 Přívaly vod, ba i sněhu.....	17
3.5 Co způsobuje teplejší Arktida.....	17
3.6 Led a moře.....	17
4 Další dopady klimatické změny.....	18
4.1 Stoupání mořské hladiny úhrnné.....	18
4.2 Hurikány a vzestup hladiny působený větrem.....	18
4.3 Extrémně velké srážky.....	18
4.4 Sucho.....	18
4.5 Nebývalá proměnlivost stavů počasí.....	18
4.6 Migrace z nejvíce postižených chudých zemí.....	19
5 Hlavně ale: jak je zbrzdit či se jim vyhnout: mitigace.....	19
5.1 Co je to mitigace.....	19
5.2 Zdroje přidaného oxidu uhličitého.....	19
5.3 Metan, oxid dusný, halogenované uhlovodíky, saze.....	20
5.4 Mezivládní panel pro klimatickou změnu IPCC.....	20
5.5 Dohody o ochraně klimatu.....	20

5.6	Vize razantní ochrany klimatu, „bezuhlíkové společnosti“.....	21
5.7	Vědecké práce popisující rychlou a úplnou náhradu fosilních paliv.....	21
6	Jak se na klimatickou změnu adaptovat.....	21
6.1	Co si počít se zhoršenou dostupností vody.....	21
6.2	Záchody, které neškodí.....	21
6.3	Kde brát vodu.....	22
6.4	Jak vodu „přežít“.....	22
6.5	Jak čelit horku.....	22
6.6	Kroupy, holomrazy.....	22
7	Ochrana klimatu na místní úrovni.....	22
7.1	Pakt starostů a primátorů v oblasti klimatu a energetiky.....	22
7.2	Stav klimatické nouze.....	22
7.3	Územní plán a další regulace.....	22
7.4	Uhlíková stopa.....	23
7.5	Komunitní energetika.....	23
7.6	Zvyšování resilience a adaptační plány obcí.....	23
8	Co má dělat každý z nás.....	23
8.1	Spočítejte si svou „uhlíkovou stopu“.....	23
8.2	Přirozené hospodaření s teplem a chladem.....	23
8.3	Clonění oken.....	24
8.4	Stavět a opravovat pořádně: pasivně.....	24
8.5	Cestovat jen udržitelně.....	24
8.6	Podílejme se na budování nefosilních zdrojů.....	24
8.7	Jezme jako před sto lety.....	24
8.8	Hospodaření s vodou (opakování).....	24
8.9	Ozývejme se, čím dál víc.....	25
9	Závěr.....	25
10	O autorech.....	25
11	Odkazy.....	25

1 Úvod

Tento dokument je nutno užívat jen jako pomůcku při používání základního učebního textu *Ochrana klimatu* určeného široké veřejnosti. Místy není bez nahlížení do základního textu srozumitelný. Základní text *Ochrana klimatu* je dostupný na adrese www.veronical.cz/klima, stejně jako tento jeho metodický doplněk, v němž uvádíme poznámky pro ty, kteří takové vzdělávání vedou. Číslování kapitol a odstavců je totožné se základním textem. Metodická doporučení, která zde uvádíme, rádi rozšíříme dle připomínek, které nám pošlete. V základním textu jsme se snažili vyhnout záležitostem natolik obtížným, že by začátečníky mohly odradit od dalšího studia. V metodickém doplňku se jim vyhýbat nemusíme, lektori mohou taková témata do své práce zařadit dle vlastního úsudku.

Citujme z učebního textu: „**Cílem knížky *Ochrana klimatu* je seznámit veřejnost s tématem, které je zcela zásadní pro budoucnost Země, pro její obyvatelnost. Je potřeba, aby se vývoj u nás a v celém světě dostal co nejdříve na trajektorii, která by mohla být udržitelná, a umožnit tak budoucím generacím život srovnatelně kvalitní, jako je ten náš.**

Ambicí knížky je, aby byla používána jako opora pro výuku na všech typech škol, včetně univerzit třetího věku. Studium s využitím této příručky by mělo vést ke získání základních znalostí, informací a kompetencí v oblasti ochrany klimatu. A také, a to především, získání velké a trvalé motivace se této oblasti po zbytek života věnovat. Jak svým vlastním, patřičně upraveným způsobem života, tak i působením na své posluchače, přátele, obec i stát.“

Prvním problémem, se kterým se lektorky a lektori takových kursů budou potýkat, je ohromná šíře tématu. Zasahuje totiž prakticky všechny lidské aktivity vyjma těch nespotebých. Vážně pojatá ochrana klimatu na ně kromě toho klade nové, pro leckoho i nečekané požadavky. Na druhé straně to nejsou požadavky v principu nové: všechny kultury ve své duchovní sféře obsahují apel na to, aby lidé svou spotřebu omezovali, aby bohatí neplundrovali zdroje, které potřebují chudí, aby se soustředili na vzdělávání, rozjímání a interakci s druhými místo nemírné konzumace požitků.

Druhým problémem je organizovaná a různými utajovanými způsoby financovaná¹ opozice proti veškerým snahám měnit „business as usual“, tedy pokračování ve vyjetých kolejích. Takoví oponenti jsou dnes souhrnně označováni slovem klimaskeptici. Jejich přístup ale nemá nic společného se skutečným skepticismem – ten se vyznačuje kritičností, zkoumáním pramenů a hledáním pravdy. V tomto případě jde ale o hájení dosavadní praxe a soustavné ignorování jakýchkoliv vědeckých poznatků. Část oponentů ani financovaná není, jen je pro ně nepřijatelné, že by jejich dosavadní život a vize, za nimiž šli, měly nějakou podstatnou vadu. Opozici proti ochraně klimatu lze rozdělit do dvou skupin, popíračů (denialists) a odkladačů (delayers).

1 Zdrojem financí jsou především velké společnosti těžící fosilní paliva. Ale také miliardáři, kteří se tomuto průmyslu přímo nevěnují, nicméně myšlenka, že fosilní paliva je potřeba co nejdříve přestat používat, jim je odporná – příkladem jsou bratři Kochovi v USA či Rupert Murdoch se svým obrovským mediálním impériem ve všech anglicky mluvících zemích. Vědci, kteří se k dezinformačním kampaním nechali najmout, jsou často titíž, kteří hájili neškodnost kouření (Hoggan 2009). Čelit dezinformacím se v bezprecedentním prohlášení o sdílení článků dohodly prestižní světové deníky, viz [článek na Guardianu](http://www.guardian.com/climate-coverage-sharing/). Komentář k tomu viz např. <http://mashable.com/2015/05/21/the-guardian-climate-coverage-sharing/>.

Ti první popírají vědecké poznání vůbec. Někteří tvrdí, že žádný skleníkový jev neexistuje, jiní jej považují za slabý a bezvýznamný, další za sice důležitý, ale jen zanedbatelně ovlivněný činností lidstva (atmosféra je přece tak veliká a lidé tak malí... nemůžou přece podstatně změnit chování celého povrchu planety). Jen malá část popíračů trvá na tom, že se planeta neotepluje, většina „jen“ nesouhlasí s tím, že by oteplování mohlo být způsobeno lidmi. A ještě další popírači soudí, že oteplování je prospěšné a že čím více oxidu uhličitého v ovzduší, tím lépe.

Ti, co se tváří, že s vědeckým poznáním příčiny oteplování a z ní a z něj vyplývající klimatické změny v zásadě souhlasí, pak bagatelizují závažnost tohoto dění. Většinou zdůrazňují že by tzv. mitigace, čili záměrné aktivity vedoucí ke snižování emisí oproti vývoji samovolnému, byla příliš drahá a že se nevyplatí. Že se stačí přizpůsobit (oblasti, kde přizpůsobení se znamená je opustit, přitom ignorují). Jsou ale i tací, kteří krčí rameny, že už je stejně pozdě a je proto zbytečné se snažit tempo oteplování zpomalit, natož zastavit. Společné jim je to, že pro další vývoj lidstva, zejména zemí, které ještě nedosáhly evropského bohatství, považují za nezbytný další masivní rozvoj těžby a užívání fosilních paliv.

V učebním textu se popíračům ani odkladačům, tedy ani šířeným dezinformacím nevěnujeme, nicméně jejich existenci je potřeba mít na mysli. Systematicky se záležitostí kolem popírání a odkládání věnuje web <http://www.desmogblog.com/>. „Klimaskeptické“ argumenty podrobně vyvrací web <http://www.skepticalscience.com/> obsahující i řadu českých a slovenských překladů garantovaných J. Hollanem. Vhodné úvodní čtení k tomu je Vědecký průvodce skepticismem vůči globálnímu oteplování, dostupný vpravo nahoře na stránce <http://www.skepticalscience.com/translation.php?lang=1>.

Ale i od lidí, kteří nepopírají příčiny ani závažnost oteplování, lze slyšet prohlášení zavádějící. Jedno je potřeba zdůraznit již tady: *není pravda*, že oteplování by probíhalo ještě dlouho poté, když bychom antropogenní emise skleníkových plynů snížili k efektivní nule. Tj. když bychom to málo, co ještě budeme emitovat (např. třicetinu dnešních emisí), z ovzduší našimi prostředky současně odebírali. Naopak, pokud by bilance emisí klesla do poloviny století k nule, znamenalo by to už v té chvíli úplné zastavení globálního oteplování a dokonce (velmi pomalý) pokles teplot v dalších dekádách. Technicky tak rychlého poklesu docílit jde, pokud bychom jen nechali dožít starou infrastrukturu využívající fosilní paliva a novou budovali jen takovou, která využívá zdroje nefosilní. (Smith et al. 2019). A jen v případě, že by antropogenní emise neklesly dostatečně rychle a oteplení přesáhlo několik kelvinů (což by znamenalo rozvrat civilizace), by mohly emise z nynějšího permafrostu Arktidy být tak velké, že by vedly k ještě dalšímu oteplení.

Učební text ani tento metodický text neprobírá mnohé záležitosti do hloubky. Pokud jde o záležitosti fyzikální a technologické, odkazujeme zájemce na příručku připravenou pro studenty a učitele pedagogických fakult a středních škol, z níž čerpáme mnoho obrázků a popisků připravených Janem Hollanem: jde o knížku Tomáše Miléře a Jana Hollana, *Klima a koloběhy látek*. V ní jsou jejich zdroje uvedeny podrobněji, obsahuje i odkazy na zdroje dat, případně i skriptů, jimiž byla zobrazena. Knížka je dostupná na adrese <http://amper.ped.muni.cz/gw/aktivity>.

2 Skleníkový jev a jeho změny

V této kapitole jde o to, dojít k poznání, že skleníkový jev je ohromně silný. Že nebýt jej, krajina by od večera do rána i v létě zcela zmrzla. A že když je tak silný, pak i jeho zdánlivě drobná změna nutně vede k rychlé proměně povrchu naší planety.

Kapitola učebnice je dlouhá, ale tomu se lze těžko vyhnout. Výzkumy totiž ukázaly, že lidé, kteří nevědí a nedokáží říci, co to ten skleníkový jev je, jsou náchylní k tomu, celý problém klimatické změny bagatelizovat nebo jej úplně vytěsnit.

Na to reagovala i Akademie věd České republiky, která k tomu vydala dvě expertní stanoviska: Planeta ve skleníku (2/2020) a Klimatická změna - fenomén současnosti (4/2020). Jde vždy o pouhé 4 strany A4 hutného textu s grafy, a rovněž seznamy literatury k nim. Dostupné jsou na adrese <http://www.avcr.cz/cs/veda-a-vyzkum/avex/>.

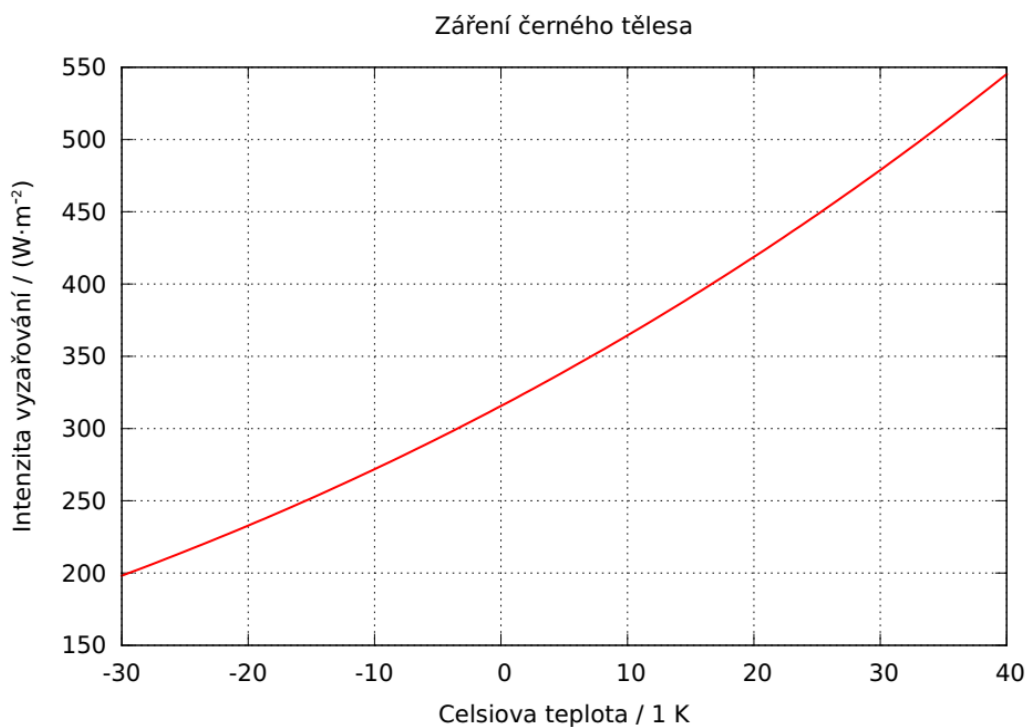
2.1 Sálání

Při probírání tohoto pojmu využíváme toho, že čeština takové užitečné slovo obsahuje. Angličtina to štěstí nemá.

Při vysvětlování toho, že sálají všechny věci kolem nás a zemské ovzduší, si lze a je vhodné pomáhat pozorováním a pokusy popsány v uvedené příručce (Milěř a Hollan 2013).

Pro srovnání sálání jako základního mechanismu toku energie s jinými mechanismy elektromagnetického vyzařování je snadné využít moderní světelné zdroje, které září z jiného důvodu: výbojové (zářivky, výbojky) a polovodičové (LED). Připomenout lze též světlušky a jiné, méně známé organismy vč. mořského planktonu.

V učebnici uvedený příklad poměru sálání čtverečního metru Slunce a zdi užívá hodnoty 6000 K a 300 K, z nich plyne poměr čtvrtých mocnin 160 000. Přesnější údaj pro efektivní teplotu fotosféry je 5778 K. Dvacetkrát menší absolutní teplota je 289 K, tedy 16 °C, jako by mohla být teplota zdi v interiéru v zimě. A jako je průměrná teplota zemského povrchu. Ta odpovídá sálání na úrovni čtyř set wattů na metr čtvereční, viz obrázek.

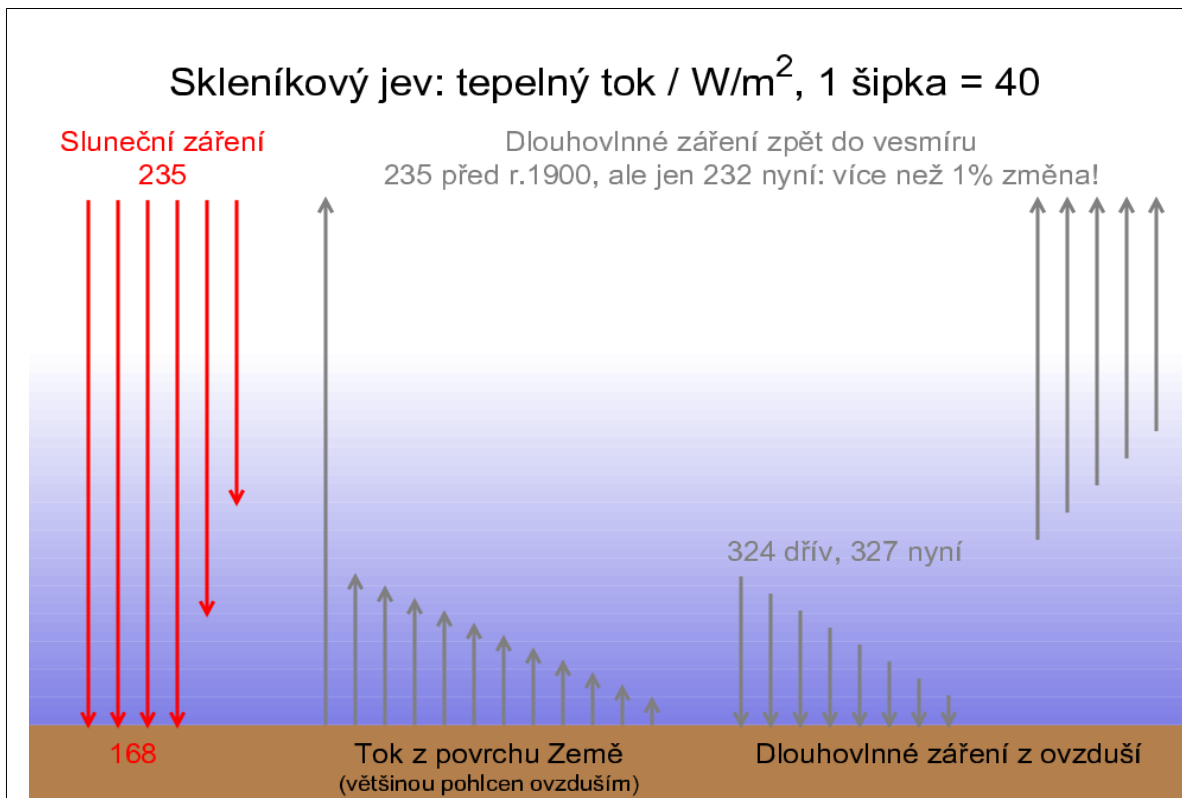


Obrázek 2.1: Intenzita vyzařování (angl. radiant exitance) „černého tělesa“ v závislosti na jeho Celsiově teplotě. Dle [Stefanova-Boltzmannova zákona](#) činí $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ K}^{-4} T^4$, kde T je absolutní teplota, tedy Celsiova teplota + 273,15 K. ([zdrojový skript](#))

Sálání fotosféry s absolutní teplotou 20× vyšší než je průměrná teplota zemského povrchu je tudíž $(400 \times 160\,000 = 4e2 * 1.6e5 = 6.4e7)$ 64 MW/m².

2.2 Sálání atmosféry na zem

Schéma toků energie ovzduším uvedené v učebnici, je úplné, ale složité. Jednodušší schéma se omezuje na zářivé toky pohlcené či vyzařované povrchem a atmosférou. Pochází z 90. let, proto jsou v něm poněkud jiné hodnoty.



Obrázek 2.2: Schéma skleníkového jevu pro rok 2000 **pro hypotetickou situaci, že by Země byla stejně teplá jako před průmyslovou revolucí.** Začátky a konce šipek, nejsou-li „na povrchu“ nebo „ve vesmíru“, naznačují, odkud z ovzduší záření vychází a kde je jím pohlcováno. Počet šipek symbolizuje úhrn tepelného toku, každá šipka představuje $40 W/m^2$.

Záření s vlnovými délkami nad $3 \mu m$ je vyznačeno šedými šipkami. Takové sálání ovzduší na zem je symbolizované 8 šipkami, sluneční záření pohlcené oceány a kontinenty 4 šipkami. Sálání vydávané ovzduším a dopadající na zem je tedy v úhrnu dvakrát větší než sluneční příkon zemského povrchu. Díky vydatnému sálání ovzduší dolů je průměrná teplota povrchu kolem $16^\circ C$. Sálání směrem dolů přidané skleníkové plyny zesílily tím, že záření atmosféry přichází z nižších výšek než dříve – a nižší výška znamená teplejší vzduch.

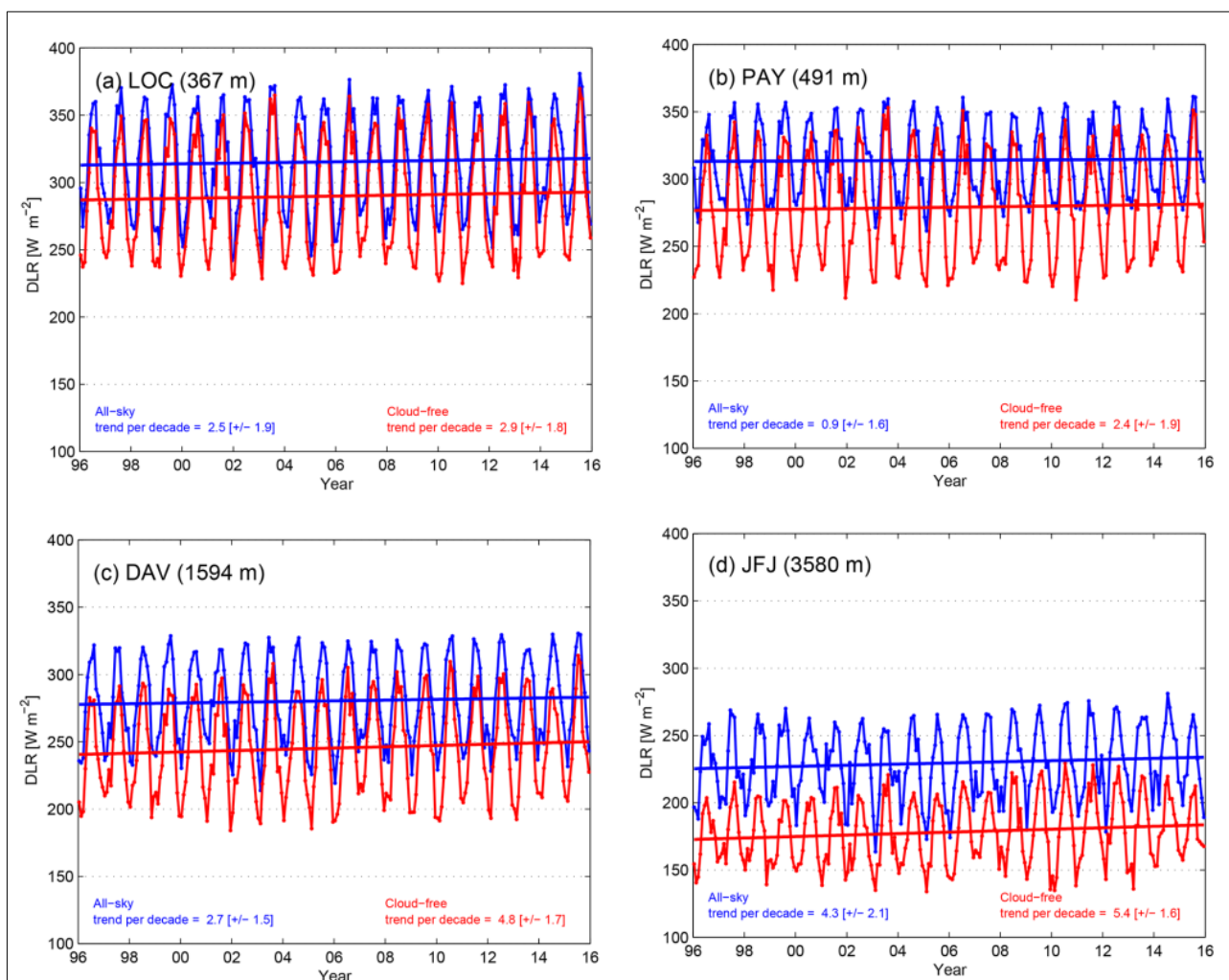
Při „pohledu“ (jde ovšem o neviditelné infračervené záření) z vesmíru se ale Země jeví tak chladná, jako by měla $-18^\circ C$. To proto, že do vesmíru se dostane převážně až záření z vysokých vrstev ovzduší, které jsou velmi studené. Přidané skleníkové plyny způsobily, že jde o vrstvy ještě vyšší než dříve. Ty jsou vlivem toho ještě chladnější a sálají proto méně.

Texty v obrázku uvádějící nevyváženost toků velkou $3 W/m^2$ popisují tzv. radiační působení změněné koncentrace skleníkových plynů. Rozdíl pohlcovaného toku ze Slunce a toku vyzářovaného Zemí je ale menší. Proč? Vlivem oné zvýšené koncentrace se atmosféra za uplynulých sto let již významně ohřála, takže sálá více. A do ovzduší jsme kromě skleníkových plynů přidali také aerosoly, zejména z paliv obsahujících síru, ty mají účinek ochlazující. Nevyváženost je proto „jen“ jeden watt na metr čtvereční, viz níže v pasáži 2.8.

2.3 Kolísání záření v cyklech

Průměrná hodnota příkonu, který povrch z ovzduší dlouhovlnným zářením dostává, odhadovaná pro první dvě dekády 21. století na zhruba $333 W/m^2$ se dobře pamatuje, ale je to jen průměrná hodnota pro celou Zemi.

Lokálně se příkon mění v denním cyklu, jak ukazuje obrázek v učebnici. Mění se i v cyklu ročním. Průběh na různých místech během sezón, i s vlivem oblačnosti, ukazuje obrázek a jeho popis na str. 40 již citované knížky *Klima a koloběhy látek* (hodí se přečíst i text na její předchozí straně). Novější obrázek zahrnující i dvě další stanice (Nyeki et al. 2019) je níže:



Obrázek 2.3: Sálání oblohy na zem na čtyřech švýcarských stanicích: Locarno, Payerne, Davos a Jungfrauoch. Svislá osa udává ozáření ve wattech na metr čtvereční, vodorovná letopočet. Body křivek jsou průměry pro každý měsíc. Červeně jen pro chvíle bezoblačné oblohy, modře pro všechna měření. Je zřejmé, že oblačnost k sálání na zem velmi přispívá zejména na vrcholu Jungfrauoch, kde má vzduch velmi nízký obsah vodní páry.

Je dobře vidět sezónní cyklus, stanice Locarno a Payerne jsou přitom srovnatelné s nížinnými oblastmi Česka.

Přímky položené daty lineární regrese mají všechny statisticky významný stoupající trend, až na případ Payerne zahrnující i oblačnou oblohu. Dole pod křivkami je udáno, kolik wattů na metr čtvereční přibyl za jedno desetiletí. V hranatých závorkách je uveden interval, v němž hodnota leží s pravděpodobností 90 %.

Za období celých 20 let lze mluvit o dvojnásobném nárůstu, sálání z bezoblačné oblohy se zvýšilo alespoň o 5 W/m² v nížinách, ale dvakrát více ve výšce 3,6 km. Důvod je nesporný: skleníkový jev zesílil vlivem nárůstu teploty a obsahu páry.

Máme-li po ruce „infrateploměr“, můžeme jím věrohodně ilustrovat jen sálání oblačnosti, zejména nízké a husté. Měří totiž v oboru vlnových délek, v němž se skleníkové plyny uplatňují nejméně, v tzv. atmosférickém okně, rozumí se okně ve spektrálním oboru. V tom okně, jímž do vesmíru dokáže uniknout bez pohlcení i ona dvacetina (v průměru) záření rovnou z oceánu či pevnin.

Vliv oblačnosti zná snad každý ze zkušenosti, pokud si všímá, kdy se tvoří hojná rosa a kdy ne – hojná je jen tehdy, když je jasno. Když je zataženo nízkou oblačností, žádná rosa ráno není. Sálání takové oblačnosti dolů je tak silné, že se ani stébla trávy neochladí svým vyzařováním pod rosný bod a zůstávají jen o málo chladnější než přízemní vzduch.

Přesný výpočet dlouhodobých toků ovzduším ukazuje, že většina sálání atmosféry na povrch přichází už z přízemní vrstvy ovzduší. Jde-li o vlhký letní vzduch (21 °C, 65 % relativní vlhkost), platí to už pro vrstvu tlustou jen 80 m. Viz práce z r. 2018, především část 4. Conclusions (Coimbra, Li, a Liao 2018), dále pak pro nižší vlhkost 25 % předchozí práci (Li, Liao, a Coimbra 2018) a oboje pak též, ještě podrobněji a s další diskusí v disertaci (Li 2018).

2.4 Skleníkové plyny

To, že naše atmosféra by nesálala nebýt skleníkových plynů, má své obdoby ve vesmíru. Podobně se chová extrémně řídký ionizovaný vodík mezi galaxiemi, pokud má teplotu miliónů kelvinů – zůstává pořád horký, protože se prakticky neumí ochlazovat vyzařováním. Neprobíhají v něm takové pochody, které by mohly vyslat foton a snížit kinetickou energii volně se pohybujících komponent vodíku, totiž volných protonů a elektronů. Ani řídká oblaka velmi chladného neutrálního vodíku uvnitř galaxií by nesálala, nebýt příměsí prachu a molekul obsahujících i jiné atomy než vodík.

2.5 Sálání Země do vesmíru

Sálání do vesmíru je zeslabováno také cirry, včetně kondenzačních stop za vysoko letícími letadly a cirrů, co z nich pak za podmínek přebytku páry v dané výšce leckdy vznikají. Je to proto, že blokují ono „atmosférické spektrální okno“, čili neumožní záření z teplého povrchu Země s vlnovými délkami kolem 10 μm unikat až do vesmíru. Místo něj sálají nahoru samy, ovšem slabounce, neb jsou ve své výšce náramně ledové (i doslova, jsou z ledových krystalků, na rozdíl od mraků nižších pater).

Sálají samozřejmě též dolů, v onom spektrálním okně až na zem, zatímco vesmír s teplotou 4 K (téměř) ne.

Provoz letadel, zejména noční, má proto významný oteplující vliv na zemský povrch. Ve dne je jejich vliv menší, neb cirry jimi iniciované ovlivňují i sluneční záření, vrací jej část do vesmíru. Zhruba se uvádí, že stejné množství paliva spotřebovaného letadlem jako autem má v případě letadla oteplující vliv trojnásobný.

2.6 Kdyby nebylo skleníkových plynů...

Pro ilustraci významu skleníkového jevu je žádoucí probrat a odmítnout klišé, že by bez něj byla Země o 33 K či 34 K chladnější. Byla by chladnější o sto kelvinů, protože by zbělala a sluneční záření nevyužitě zahazovala.

2.7 Dávné změny skleníkového jevu – rozhodoval oxid uhličitý

V případě konce prvohor je nepochybné, že šlo důsledky vulkanismu. Hlavní emise CO₂ přitom nepocházely ze samotného magmatu, ale z uhelných slojí, které horké magma spálilo.

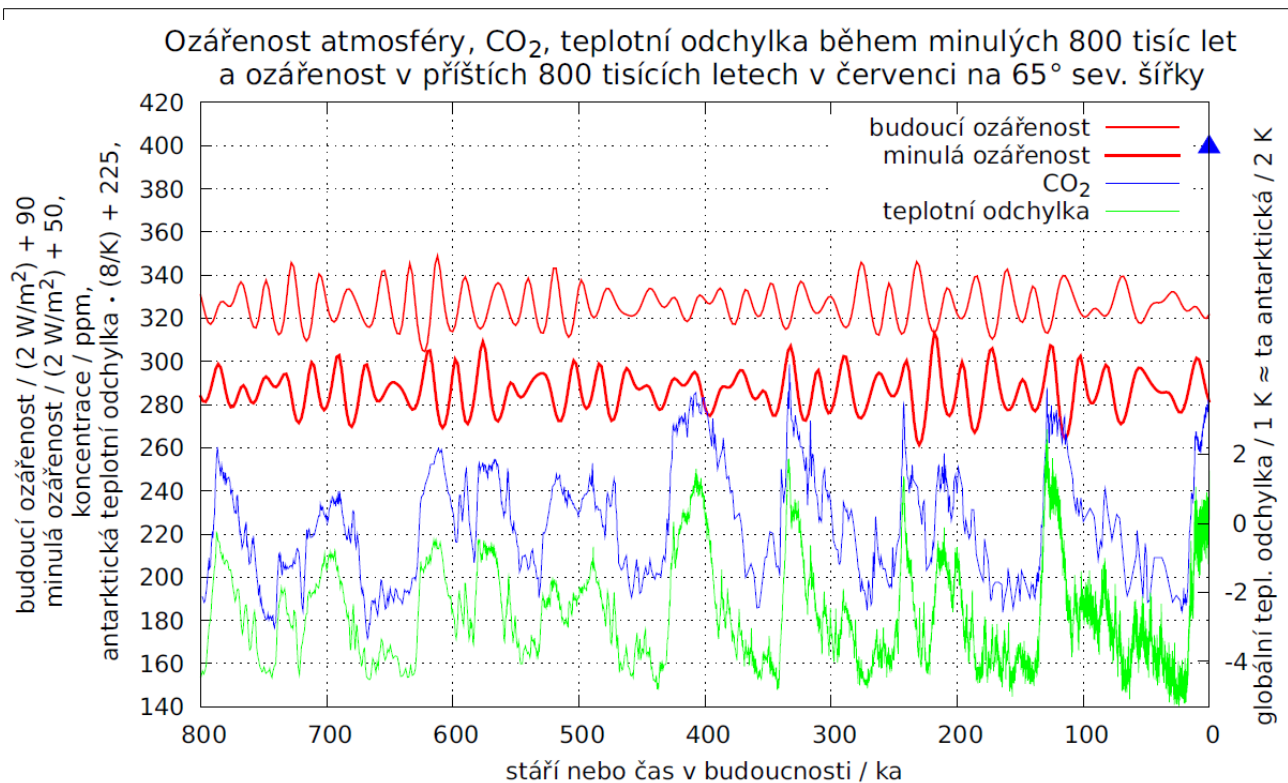
na konci druhohor je to stále ještě nejasné. Běžně se uvádělo, že tento přelom epoch byl způsoben dopad planetky na poloostrov Yucatán ke konci druhohor. Ale možná to byla jen časová shoda, která vymírání nezpůsobila, jen mohla podpořit probíhající globální oteplování a vulkanismus. Ten mohl být hlavní příčinou vymírání na konci křídy, kdy v oblasti Indie vznikly tzv. Dekánské trapy. Následně se začátkem paleocénu řádově zrychlilo i odčerpávání CO₂ z ovzduší a zásobování oceánu živinami, když obrovská čerstvá čedičová lávová pole v horkém klimatu velice rychle zvětrávala. Viz rozsáhlý přehledový článek o vyvíjejícím se stavu poznání (Keller a Kerr 2014).

Přestože má vodní pára větší podíl na skleníkovém jevu než oxid uhličitý, nerozhoduje o teplotě Země. Naopak, rychle se jí podřizuje. Je jí proto málo jak v Arktidě a na velehorách, tak i vysoko v troposféře; ve stratosféře a výše jsou jí jen stopy. Oteplí-li se ovzduší, vodní páry v něm nad oceánem i nad jinými oblastmi než pouštěmi rychle přibude. Vodní pára je tak jen zpětná vazba značně zesilující popudy ke změně teploty, ať jsou již astronomické (silnější oslunění a ztmavnutí Arktidy na konci doby ledové) nebo chemické (růst koncentrací oxidu uhličitého a metanu, způsobený geologicky či antropogenně).

2.8 Střídání ledových a meziledových dob

Geologové neznalí klimatické vědy (což je disciplína fyzikální) občas říkají, že jistě brzy přijde další doba ledová, neb naše teplé období trvá už dvanáct tisíc let, a to minulé ani tak dlouho netrvalo. Ale začátky a konce takových dob mají své fyzikální příčiny. K ochlazení nyní nejsou podmínky, protože orbita Země kolem Slunce je téměř kruhová. V přísluní jsme sice v lednu a v odsluní v červenci, ale na zahájení zaledňování to nestačí. To by musela koncentrace oxidu uhličitého klesnout na 240 ppm, ona byla ale i před průmyslovou revolucí 280 ppm.

Složitý graf z knížky *Klima a koloběhy látek*, v němž je budoucí oslunění polárního kruhu naznačeno zprava doleva, je níže. Uvádíme jej též v učebnici na začátku kapitoly 3. To podstatné v něm je ilustrace souvislosti teplot a koncentrací CO₂, ale také absence výrazného poklesu oslunění polárního kruhu v příštích desítkách tisíc let. Nejbližší takový pokles, který by k nástupu ledové doby mohl vést, je až za 130 tisíc let...



Obrázek 2.4: Červené křivky udávají proměny intenzity ozáření (aneb ozářenosti) vodorovné plochy ovzduší poblíž polárního kruhu v červenci. Tlustě jsou vyznačeny hodnoty minulé, tenké budoucí. Koncentrace oxidu uhličitého i teplotní anomálie jsou zjištěné z ledových vrtných jader v Antarktidě; antarktické teplotní odchylky jsou zhruba dvojnásobkem anomálií globálních. (Laskar et al. 2004) (Jouzel et al. 2007) (Lüthi et al. 2008). Koncentrace CO₂ v r. 2015, 400 ppm, je vyznačena modrým trojúhelníkem. Zdrojový skript je [800-800ka_cz65.gnp](http://800-800ka_cz65.gnp.amper.ped.muni.cz/gw/aktivity/grafy/sources/) v adresáři amper.ped.muni.cz/gw/aktivity/grafy/sources/, kde jsou i zdrojová data. Online výpočet viz web "Computation of Various Insolation Quantities for Earth" 2013. (K popiskům: „ka“ je tisíc let, „a“ je značka pro rok z latinského *annus*; změní-li se antarktická teplota o dva kelviny, globální se změní jen o jeden kelvin)

2.9 Co se stalo se složením ovzduší za poslední staletí?

Podstatné je uvědomit si, že antropogenní tok CO₂ ze sedimentů do ovzduší je stokrát vyšší než tok geologický.

Každý by také měl už navěky mít před očima Keelingovu křivku a znát její název.

Pro diskusi přibývání oxidu uhličitého v ovzduší i kolísání jeho koncentrací vlivem sezónní akumulace a rozkladu biomasy na pevninách je velmi vhodné pustit animaci NASA, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/history.html> a případně i video z jednoho roku ilustrující pohyb emisí CO₂ a CO, které je na <http://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=11719>.

2.10 Jaký má změněné složení atmosféry vliv na tepelné toky

Zde je podstatné ukázat a diskutovat, že hlavní vliv má zvýšená koncentrace oxidu uhličitého. Dostí obtížný je samotný pojem *radiační působení*. Není totožný s dnešní nerovnováhou mezi absorbovaným slunečním zářením a do vesmíru posílaným zářením dlouhovlnným. Ta je oproti radiačnímu působení jen asi třetinová.

Pokud jde o aerosoly, které s výjimkou sazí mají vliv ochlazující, je vhodné pustit další animaci NASA zahrnující zhruba totéž období kolem r. 2006. Je obsaženo ve článku <http://www.skepticalscience.com/what-do-volcanic-eruptions-mean-for-climate.html>, jeho popis z GSFC je na <http://gmao.gsfc.nasa.gov/research/aerosol/> a a youtube online k tomu je <https://www.youtube.com/watch?v=YtJzn8A725w>.

Saze lze diskutovat též kvůli jedovatým emisím z dieselových motorů, příp. i z benzinových se vstřikováním. Literatura k tomu viz http://amper.ped.muni.cz/gw/unep_cz/.

2.11 Kolik tepla nevracíme do vesmíru: watt na metr čtvereční

Jde o veličinu, která souvisí s pojmem „global heating“, tedy globální ohřívání. Projevuje se globálním oteplováním, tedy růstem teplotní odchylky 2 m nad trávnikem či nad mořem – ale v případě moře se doopravdy měří teplota vody u hladiny. Kolik tepla Země nevrací se fakticky zjišťuje též měřením v mořích a oceánech, ale v jejich hloubkách. A ona veličina, vztažená na metr čtvereční, se nazývá Earth Energy Imbalance (EEI).

O zjišťování této veličiny viz populární text „[How to measure the heating of the planet?](#)“ odkazující na podrobnou práci (Allison et al. 2020). Hodnota EEI pro období 2010-2018 vychází na $0,87 \pm 0,12 \text{ W/m}^2$ (von Schuckmann et al. 2020).

3 Globální oteplování a klimatická změna

V kostce: Jak porozumět globálnímu oteplování a tomu, že konec emisí zajistí konec oteplování

1) Skleníkový jev je náramně silný

Skleníkový jev, to je sálání atmosféry. Dolů na povrch posílá ovzduší svým sáláním dvojnásobek toho, co povrch získává ze slunce. Jen díky tomu je Země obyvatelná.

Nahoru do vesmíru pak v ustáleném stavu odchází jen tolik dlouhovlnného infračerveného záření, kolik pohltí Země toho krátkovlnného slunečního. Většina onoho unikajícího dlouhovlnného záření pochází z vysokých, chladných oblastí troposféry, jen menšina přímo z povrchu planety v pásmu vlnových délek od 8 do 13 μm .

(Schéma takových tepelných toků viz pod tímto textem.)

Sálání ovzduší velmi závisí na teplotě a pochází z tzv. skleníkových plynů, oblačnosti a aerosolu. Dvouatomové molekuly dusíku, kyslíku ani jednoatomová molekula argonu - což jsou hlavní složky ovzduší - sálat, čili vyzařovat vlivem své teploty, nemohou. Stejně tak nemohou pohlcovat dlouhovlnné infračervené záření z povrchu či z ovzduší. Skleníkové plyny mají molekuly více než dvouatomové a takové záření jak pohlcují, tak i vyzařují.

Troposféra, to je přízemní vrstva ovzduší, v níž se odehrává počasí. Je promíchávaná a teplota v ní klesá rychle s výškou, v průměru kolem 6,5 K/km. Díky skleníkovým plynům a oblačnosti představuje tlustou tepelně izolační vrstvu. V zimě na pólech bývá její tloušťka jen 6 km, v tropech se pohybuje kolem 18 km. Její tepelně-izolační schopnost je funkcí koncentrace skleníkových plynů. Největší roli v tom hraje vodní pára, které je nad teplými oceány hodně, ale ve výškách a nad ledem na pólech velmi málo.

2) Náhlé zesílení skleníkového jevu

Co se stane, pokud *hypoteticky* skokem přibude „stálých“ skleníkových plynů, jejichž obsah nezávisí na teplotě ovzduší?

Sálání do vesmíru se rovněž skokem zmenší. Důvod je jednoduchý: do vesmíru klesne sálání z dosavadních výšek, místo toho se uplatní oblasti ještě vyšší, které jsou ovšem ještě chladnější a sálají tedy méně. Obrazně řečeno, termokamerou by z vesmíru nebylo vidět tak hluboko do troposféry jako dřív. Zvenčí by pozorovatel „viděl“ či „cítil“, že Země ochladla.

Skokem také přibude sálání na povrch. A to aniž by se změnila teploty v troposféře. Jde jen o to, že se posílila její tepelně-izolační funkce.

S průběhem času se tím bude povrch a od něj i ovzduší ohřívat. To bude probíhat tak dlouho, než i nově se uplatňující vysoké oblasti troposféry dosáhnou takové teploty, že do vesmíru budou vracet opět tolik tepla, kolik Země ze slunce získává.

Doba, za kterou se tak stane, závisí na tempu růstu teplot povrchu. Na Zemi je ono tempo omezeno především promícháváním oceánu - prohřívají se i jeho hloubky.

Při hypotetickém skokovém nárůstu obsahu skleníkových plynů by tempo růstu teplot bylo největší na začátku a postupně by klesalo k nule.

Snižování tempa růstu teplot by bylo urychlováno úbytkem oxidu uhličitého, který se vlivem svého zvýšeného parciálního tlaku rozpouští v oceánu. Ale naopak by růst teplot byl podporován tím, že v otepleném ovzduší se udržuje více vodní páry, která je rovněž skleníkovým plynem – a kromě toho pohlcuje i část infračerveného slunečního záření, které by se jinak vrátilo do vesmíru (Donohoe a Battisti 2013; Donohoe et al. 2014). To nazýváme pozitivní aneb zesilující zpětnou vazbou. Další taková zpětná vazba je tmavnutí povrchu především vlivem úbytku ledu a sněhu.

3) Postupné zesilování skleníkového jevu

Ve skutečnosti „stálých“ skleníkových plynů (tedy všech kromě vodní páry) přibývá postupně. Během řady tisíciletí před rozvojem užívání fosilních paliv rostla koncentrace oxidu uhličitého velmi pomalu, pravděpodobně vlivem odlesňování.

Od poloviny 19. století ale stoupá mnohem rychleji, jak lidstvo spaluje, čili oxiduje stále více fosilních paliv. Tempo růstu jeho koncentrace se až dosud zrychluje a přinejmenším od druhohor nemá obdobu v geologické minulosti.

Od konce 70. let to už vede ke stálému tempu růstu tzv. globální teplotní anomálie, tedy průměru nárůstu teplot jak povrchu, tak i ovzduší těsně nad ním. Jde o dvě desetiny kelvinu za desetiletí.

Od začátku 90. let se pak ustálilo i tempo růstu teplot v hloubkách oceánu. Do nich se ukládá asi 93 % té energie, kterou Země nevrací do vesmíru. Teploty v hloubkách jsou nyní přesně měřeny tisícovkami sond. Díky nim víme (Cheng et al. 2020) že nerovnováha radiační bilance Země přepočtená na metr čtvereční jejího povrchu činí zhruba třičtvrtě wattu. Když si onu hodnotu $0,75 \text{ W/m}^2$ vynásobíme obsahem zemského povrchu ($4 \pi r$ na druhou), dostaneme se k tomu, že Země vlivem stále rostoucího skleníkového jevu nevrací do vesmíru v průměru $4 \cdot 10^{14} \text{ W}$ aneb čtyři sta terawattů. To je osmdesátinásobek výkonu, který jsme pro sebe v roce 2018 získávali oxidací fosilních paliv (viz <https://ourworldindata.org/energy>). Ještě o něco

vyšší hodnotu (ale shodnou v rámci nejistoty) uvádí práce, z níž je složité schéma toků energie ovzduší uvedené v učebnici (Trenberth 2020).

Chceme-li si představit, čím se tato radiační nerovnováha planety udržuje, pak nejlépe takto: Teploty v troposféře sice trvale rostou, ale současně je do ní z vesmíru „dlouhodobě vidět“ stále méně hluboko – vlivem přibývání skleníkových plynů. S přibýváním vodní páry se také snižuje únik dlouhodobého záření z povrchu rovnou až do vesmíru. A kromě toho Země pohlcuje stále větší podíl z dopadajícího slunečního záření.

Radiační nerovnováha kolísá s proměnami oblačnosti i stavy El Niño – La Niña (Trenberth et al. 2015).

4) Oteplování lze zastavit

Kdyby dnes „stálých“ skleníkových plynů v ovzduší přibývat přestalo, tak by se časem i oblasti, které přímo „komunikují s vesmírem“, nakonec ohřály natolik, že by radiační bilance planety byla opět vyvážená. V případě oxidu uhličitého by koncentrace v ovzduší přestala růst, kdyby spotřeba fosilních paliv klesla na polovinu. To je žádoucí zvládnout do roku 2030. A pokud by antropogenní emise skleníkových plynů úplně ustaly už do poloviny století, tak by během toho klesal obsah CO₂ v ovzduší, do vesmíru by sálaly i nižší oblasti troposféry než nyní, a v roce 2050 by nevyváženost radiační bilance by natolik klesla, že by se globální oteplování zastavilo. Ohřívání planety sice ne, ale přebytek tepla by se celý ukládal do hloubek oceánu a tání ledu, povrchová teplota by už nestoupala (MacDougall et al. 2020).

Celkové oteplení by pak zůstalo výrazně pod laťkou 2 K a podařilo by se tím splnit cíl Pařížské dohody.

Důležité je zmínit posloupnost příčin: přidávané skleníkové plyny, jejich rostoucí koncentrace a tedy i rostoucí skleníkový jev, oteplování planety jako celku (tedy globální) jako důsledek.

Klimatická změna je soubor jevů, které jsou důsledkem jak globálního oteplení a oteplování, tak i lokálně silnějšího skleníkového jevu (způsobujícího např. menší rozkmit teplot mezi dnem a nocí daný pomalejším nočním ochlazováním). Bude sice pokračovat, i když globální oteplování skončí, ale oproti dnešku se v některých projevech (např. pokud jde o zhoršující se sucho v Česku) prakticky též zastaví.

3.1 Oteplování není rovnoměrné, na ovzduší z něj připadá nejméně

Nejlepší mírou oteplování jako důsledku nevyrovnané bilance příjem-výdej není nárůst přízemních teplot, ale teplot v hloubkách oceánů. Ten je nyní dosti rovnoměrný, do oceánů jde přes 90 % tepla nevráceného do vesmíru.

3.2 Proměny klimatu v holocénu a nyní

Vývoj globální teplotní anomálie od konce doby ledové je předmětem intenzivního výzkumu. K obvyklému grafu uvedenému v učebnici lze přidat grafy pro různé zeměpisné šířky dokumentující tvrzení, že pokles teplot od druhé půli holocénu byl omezen na poměrně vysoké severní šířky (Kaufman et al. 2020).

Další práce použila srovnání indikátorů teploty ze sedimentů mořského dna v minulém interglaciálu a v holocénu a dospěla k závěru, že dosud běžně udávané teplotní maximum před 5 až 9 tisíci lety nereprezentuje odchylku celoroční, ale jen sezónní. A že ve skutečnosti globální teplotní anomálie během holocénu zvolna stoupala, v souladu s pomalým nárůstem koncentrace skleníkových plynů před průmyslovou revolucí a s modely, které teplotní odchylku počítají (Bova et al. 2021). Lze si nejprve přečíst její populární shrnutí (Hertzberg 2021).

Píše-li se Climate Change česky jako Klimatická změna (ne Změna klimatu), naznačuje se tím, že nejde jen o změnu charakteristik ovzduší, ale též vodstva, ledu, biosféry a lidského osídlení.

3.3 Extrémně horká léta a sucho

Jde o jev, který se zesiluje až nečekaně rychle. Modely proudění ovzduší a oceánů, tzv. globální cirkulační modely, postihují průměry lépe než extrémy. Realita je bohužel horší.

Suchem je již déle postiženo celé Středomoří a výhled do budoucna je špatný. V Česku je od roku 2015 stále větším problémem pokles hladin podzemních vod, s ním spojený nedostatek vody pro obyvatelstvo v mnoha obcích, vysychající potoky v letním období. A ovšem také stále rostoucí úhyn stromů, a to i těch s hlubokými kořeny vlivem toho, že již na podzemní vodu nedosáhnou. Nebo že nezvládnou za horkých dní s velmi suchým vzduchem dopravit vodu do svých listů.

3.4 Přívaly vod, ba i sněhu

Zde je vhodné vzpomenout událostí v Česku v posledních dvaceti letech.

3.5 Co způsobuje teplejší Arktida

Příznivé klima, které jsme mívali, bylo dáno častým střídáním tlakových níží se srážkami a tlakových výší se slunečným počasím. Oteplení Arktidy takové střídání potlačilo a dále potlačí. Je to vlivem častější kvazistacionarity planetárních vln tryskového proudění. Klimatické modely bohužel nemají takové rozlišení, aby výskyt stojatých zákrutů sahajících daleko na jih i na sever vypočítaly – to umějí je řádově podrobnější, ač fyzikálně obdobné modely předpovídajících počasí. Projekce budoucího klimatu (tedy v úzkém smyslu statistického popisu počasí) proto podceňují sílu a trvání extrémů, jako je horko a sucho. Asi proto byl „výpadek“ srážek na většině českého území od roku 2014 tak nečekaný.

3.6 Led a moře

V této části je vhodné připomenout, že led, který po moři plave, svým roztáním zvedne hladinu zanedbatelně (přesto nenulově, ač jen v řádu milimetrů – je to dáno tím, že ani ten vyrostlý na moři neobsahuje tolik soli, jako mořská voda, tj. přinese do moře vodu menší hustoty).

Zásadní problém představuje led, který předtím ležel na horninovém podloží. Toho je velice mnoho. Na konci ledové doby jej bylo ovšem třikrát více, takže hladina oceánů byla asi o 140 m níže.

V českém prostředí je problém s tím, že ani glaciologové nepoužívají výmluvná označení kopírující terminologii anglickou a německou, takže si pak lidé pletou dohromady zcela různé typy ledu. Článek, který to uvádí na pravou míru je v adresáři

<http://amper.ped.muni.cz/gw/clanky/led/> a doprovodné video NASA k úbytku ledu ze Západní Antarktidy je i v adresáři <http://amper.ped.muni.cz/gw/films/AntarcticGlaciersDecline/>.

4 Další dopady klimatické změny

4.1 Stoupání mořské hladiny úhrnné

Jde o jev, který už dnes poškodil některé ostrovy a pobřeží, nicméně hlavní problém je v tom, že bude pokračovat ještě dlouho a pravděpodobně i zrychleně. Budoucnost přístavů, představujících se svým zázemím vč. příslušných velkoměst nejvzácnější světovou infrastrukturu, je v horizontu staletí velmi nejistá. Stejně jako obyvatelnost oblastí s velkou zemědělskou produkcí, obydlených stamilióny lidí. Je to ovšem proces pomalý...

4.2 Hurikány a vzestup hladiny působený větrem

Anglický termín je *storm surge*, a plně jej chápou asi jen ti, kteří žijí v oblastech velkých slapů (čili přílivu a odlivu) i velkých větrů. Česky jsme *storm surge* opisem označovali jako vzestup hladiny za bouře, viz glosář http://amper.ped.muni.cz/gw/ipcc_cz/gloss_en_cz.html, ale to není dostatečně výstižné. Pojem *storm* zde totiž označuje mohutnou tlakovou níži čili cyklónu, *surge* znamená vzduť, z toho plyne překlad „cyklonální vzduť“.

Kromě toho se na plochých pobřežích uplatňuje i zvednutí hladiny vlivem chodu velkých vln zdáli (označovaných pojmem *swell*), a ono zvýšení hladiny pak souslovím [wave set-up](#). A uplatňuje se ovšem i příboj jak přepadajících velkých vln (*surf*), tak i krátkých vln zblízka hnaných silným větrem.

(Voda takto hnaná na břeh se samozřejmě někde jinde musí vracet zpět, to je příčina výskytu [rip currents](#), kterým by by měli všichni, kteří plavou nebo se i jen koupou na plážích, dobře rozumět – jsou hlavní příčinou utonutí vinou neznalosti lidí, že je potřeba z nich odplavat napříč proudem, čili podél pobřeží.

Je vždy vhodné diskutovat hurikány, které se obořily na pobřeží v uplynulém roce nebo letech nedávných, takže se o jejich důsledcích dosud mluví.

4.3 Extrémně velké srážky

Opět je vhodné připomenout události v naší zemi.

4.4 Sucho

Sucho je velkým popudem pro útěk lidí z Afriky a Blízkého východu. Ten, komu vzalo obživu, se nemá kam vrátit. A Evropané mají lví podíl na tom, že klima v zemích, odkud lidé prchají, se zhoršilo a bude se horšit dále. Není morální obrany proti tomu, abychom milióny uprchlíků přijali, i když zprvu půjde hlavně jen o mladé muže, kteří jsou ochotni riskovat třeba i to, že se s deseti procentní pravděpodobností cestou utopí.

4.5 Nebývalá proměnlivost stavů počasí

Zde je na místě promítnout grafy z přednášek Dr. Jaroslava Rožnovského, dostupné na webu www.veronica.cz/resilience – lidé rychle zapomínají, a je možné, že dění před několika lety bude ilustrativnější než to, co si pamatují ze současného roku či jen z minulých pár měsíců.

Skvělé je také získat posluchače k rozpravě, co kdy v tomto smyslu zažili.

4.6 Migrace z nejvíce postižených chudých zemí

Poslední roky (2014 i 2013) byly po dlouhé době anomální tím, že více uprchlíků bylo vyhnáno válkami než pokaženým životním prostředím. Jenže ty války mají svůj hluboký kořen též v rozvratu klimatu, na němž měla rozhodující podíl proměněná zemská atmosféra, konkrétně rychle zvýšený obsah skleníkových plynů.

Jelikož není žádná naděje, že by se klima na severu Afriky a na Blízkém a Středním východě vrátilo do někdejších mezí, a že víme s jistotou, že jeho rostoucí poškozování je důsledkem našich emisí (Evropa má na nich větší historický podíl než USA, natož Čína), je naší morální povinností pracovat usilovně na tom, aby se v Evropě mohly usídlit desítky miliónů lidí ze zemí, kde už žít nemohou – buď vůbec ne, nebo jen v nesmírně bídných podmínkách, někým terorizováni atd. Nesmíme dospět do stavu, který vyhoceně zobrazuje animovaný film *Wake Up Freak Out*, na nějž odkážeme na začátku elektronické knihovny <http://amper.ped.muni.cz/gw/>.

Posluchači by se měli zamyslet, nenajde-li se u nich nějaká možnost, kde by lidé ze Sýrie apod. mohli bydlet a kde pracovat – ti první přistěhovalci nejspíše obdělávat půdu a pěstovat cokoliv, co by sloužilo jim a snad by se dalo i uplatnit na nějaké formě trhu, např. v systému komunitního zemědělství.

5 Hlavně ale: jak je zbrzdit či se jim vyhnout: mitigace

5.1 Co je to mitigace

Mitigace, to je záměrná činnost s cílem ubrat emisí oproti stavu, kdy by vše běželo postaru. Cílem mitigace je oteplování zastavit či v dalším výhledu trend i obrátit – pak se pod mitigací rozumí technické ubírání oxidu uhličitého z ovzduší zpět do země.

Slovo mitigace je v češtině nové, ale je užitečné a mělo by se stát všeobecně známé a lidé by jeho obsahu měli rozumět. Je to vhodný odborný termín, i když jej lze překládat běžným slovem „zmírňování“. Pak je ale potřeba vždy uvést, zmírňování čeho. Bolestí názvů různých českých projektů a dokumentů je, že i když mají na mysli mitigaci, píší o „zmírňování dopadů klimatické změny“ – což je ovšem adaptace...

5.2 Zdroje přidaného oxidu uhličitého

Didaktickým problémem je zde jen rozlišení, jak se liší těžba a spalování fosilních paliv od využití biomasy. Biomasa i fosilní paliva představují rezervoár nezoxidovaného uhlíku. Ale zatímco ten biomasový je krátkodobý (odumřelá biomasa se rychle oxiduje a z uvolněných živin narůstá nová), uhlík by ve fosilních palivech zůstal další milióny, ba i miliardy let bezpečně v zemi. Užíváním biomasy neměníme obsah uhlíku v systému ovzduší – biomasa, ale užíváním fosilních paliv ano.

Přesto nelze využití biomasy jako náhrady fosilních paliv považovat za „bezemisní“. Podíl uhlíku, který je uložen v biomase, při něm klesne, podíl v ovzduší stoupne. Než místo vytěženého lesa vyrostе nový, se stejným množstvím uhlíku v nadzemní i podzemní části, trvá to dlouho. Na takové aspekty upozorňuje komentář Vědeckého poradního sboru tvořeného evropskými akademii věd [Forest bioenergy, carbon capture and storage, and carbon dioxide removal: an update](#) ze začátku roku 2019. Ten pojednává i o možné „mal-

migitaci“ (běžně mluvíme jen o maladaptacích), tedy nejprve o nesprávnosti běžné praxe brát emise z energetického užití biomasy jako nulové.

Drobnost, kterou v učebním textu pomíjíme, jsou emise dané redukcí karbonátů při výrobě portlandského cementu. I takový cement má svou alternativu, totiž různé popele a popílky vnikající při spalování. Plně nahraditelný ale není.

5.3 Metan, oxid dusný, halogenované uhlovodíky, saze

Poměrně významný zdroj metanu jsou úniky z rozvodů v budovách. Je snadné je zjistit, pokud vypneme všechny plynové spotřebiče vč. plamínek v „junkrech“ čili plynových ohřivačích. Číselník plynoměru by tehdy měl být bez pohybu, ale nebývá. Únik na úrovni jednoho promile užitečně spáleného zemního plynu (což je téměř samý metan) už stojí za řeč, únik na úrovni jednoho procenta je drastický.

Snaha nenechat uniknout žádné „freony“, ať již ty staré nebo nové, které vadí více klimatu než ozonové vrstvě ve stratosféře, je motivem přísného odpadového hospodářství s chladničkami atd.

Hlavním zdrojem černého uhlíku u nás jsou motory se vstřikováním. Ke všem lze doplnit filtry, které pevné nanočástice zachytí, ale v Česku je to opačně: mnoho firem nabízí likvidaci filtrů, které jsou ve všech autech splňujících Euro 6.

Na paměti je ale potřeba mít, že jakékoliv běžné spalování biomasy či uhlí v domácnostech je též zdrojem částic černého uhlíku.

5.4 Mezivládní panel pro klimatickou změnu IPCC

Zbývající uhlíkový rozpočet, který by dal naději 2/3, že oteplení nepřesáhne 1,5 K, nečiní pro roky 2020 a všechny další asi více 100 Gt uhlíku, tedy 370 Gt CO₂. To odpovídá pouhým deseti letům emisí tak velkých, jako byly za rok 2017 či 2018 (bráno od začátku roku 2018 to bylo 12 let emisí). Kdyby emise začaly v roce 2020 lineárně klesat až na polovinu dnešních v roce 2030, mohly by dále zmenšené pokračovat ještě dalších deset let. Nejistota takového rozpočtu je dána nejistými zpětnými vazbami, jako třeba úniku metanu a oxidu uhličitého z permafrostu, a také různými možnostmi, jak se budou měnit antropogenní emise metanu a oxidu dusného. Viz kapitolu 2 zprávy IPCC [Globální oteplení o 1,5 K](#). Přitom víme, že i tak „malé“ oteplení, pokud by trvalo dlouho, by Zemi, jak ji známe, drsně proměnilo.

Je dobré zdůraznit, že IPCC jen shrnuje to, co vyšlo v různých publikacích. Konstatuje, co je široce známo. Sami čelní badatelé, kteří v něm působí či působili, mají postoje mnohem důraznější.

K tématu vycházejí stále nové práce (Rogelj, Forster, et al. 2019; Rogelj, Huppmann, et al. 2019; Shindell a Smith 2019).

5.5 Dohody o ochraně klimatu

Dohody zatím nedocílily nic moc. Jsou jen tak důrazné, jak dovoluje veřejné mínění a poslanci atd. v různých zemích. Bylo by skvělé, kdyby alespoň Česko přestalo být pro EU v tomto ohledu přítěží.

Je dobře spočítáno, jak by měly různé státy snižovat své emise, aby byly v souladu s cíli Pařížské dohody. U těch, co již za poslední dvě stovky let spálili fosilních paliv nejvíce,

bráno na „nyní žijícího obyvatele/obyvateľku“, to pochopitelně vyžaduje tempo výrazně vyšší (Pont a Meinshausen 2018).

5.6 Vize razantní ochrany klimatu, „bezuhlíkové společnosti“

Obrázkové shrnutí vize <http://zerocarbonbritain.org/> si prosím prostudujte, a pak i celou vizi. Naše učební texty ji neopakují. Je to dobrá průprava k tomu, abyste o tématu mohli přesvědčeně a přesvědčivě kdekoliv mluvit.

Přečíst si určitě máte i celou encykliku a doporučit totéž dalším.

5.7 Vědecké práce popisující rychlou a úplnou náhradu fosilních paliv

O dekarbonizaci vůbec, obnovitelných zdrojích a elektrifikaci viz pracovní text připravený pro Stínovou uhelnou komisi, K [nefosilnímu Česku](#) – ten obsahuje i spoustu odkazů na další vědecké publikace i různé jiné studie. Těch ovšem přibývá, budou reflektovány v onom pracovním textu, případně i zde v aktualizaci této kapitoly. Vzhledem k debatě o „konci uhlí“ i o výstavbě reaktoru v Dukovanech je to téma velmi živé.

Podstatné v té debatě by mělo být, že je nemorální s rychlou výstavbou nefosilních zdrojů otálet, neb svůj spravedlivý díl emisí už Česko dávno vyčerpalo. A technicky je schopné ofenzivy ve větrné i solární energetice – a že to je příležitost pro jeho průmysl.

6 Jak se na klimatickou změnu adaptovat

Adaptace je slovo v češtině již dlouho běžné, ale počítejme s tím, že se vysloveno bez dalšího bude nejspíš týkat adaptace na měnící se klima. A to jak na klima přímo u nás, s jeho rostoucí šířkou variability a posunem k extrémům vysokých teplot a prudkých srážek přicházejících do extrémně suchých období, tak i na klimatickou změnu ve smyslu světovém, vedoucím mj. k obrovské a rostoucí mase lidí, kteří se snaží dostat do zemí, v nichž by mohli žít. V Česku je tato zcela jiná kategorie adaptace zásadní, nicméně dále se věnujeme jen těm lokálním „drobnostem“ působeným nebývalým místním chodem počasí.

6.1 Co si počít se zhoršenou dostupností vody

Poměrně stálý přísun vody formou celoročních srážek není všude po světě běžný. Je tedy možné a žádoucí se učit od kultur, které si s vodou, která se objevuje jen občas, zvykly žít. Nebo i s vodou trvale vzácnou a získávanou jen složitým způsobem. Na jejich příkladu lze ukazovat, že spousta našich zvyků a zlozvyků je nesamozřejmá, že je lze překonat.

Jevem, který není zmíněn v učebním textu, je vysychání podloží domů, pokud obsahuje jílové minerály. Ty se totiž vysycháním smršťují a základy budovy tím klesají. Pokud neklesají všechny spolu, v budovách se objevují a šíří trhliny. Prevencí proti tomu je udržovat vlhkost podloží na úrovni minulého století. Od roku 2015 a dále to znamená, že podloží mnohých budov je potřeba zalévat! Více o tom na konci článku o [Vodní nouzi](#).

6.2 Záchody, které neškodí

Návyk na splachovací záchody, ze kterých vše mizí někam do dále, takže to sejde z očí a z mysli a je po starostech, není nijak starý, přinejmenším na vsi.

Oproti ne vždy patričné starosti o plýtvání vodou je potřeba postavit skutečný problém, že planetární meze byly v kontextu toků dusíku a fosforu již překročeny. A že už současné

lidstvo představuje svou stravou ohromné toky těchto látek, které do budoucna, podaří-li se velmi snížit konzumaci masa, budou jejich antropogenním tokům dominovat.

6.3 Kde brát vodu

Klíčové téma je zde jímání a užívání dešťové vody v co největším měřítku a pro co nejvíce účelů. Pro praní je to komfort, který se jinak nedá dosáhnout. Ostatně, platí to i pro umývání, pokud při něm nepoužíváme mýdlo a šampon – nejsme-li extrémně zašpinění, používat se totiž nemusejí. Opláchnout detergenty bezzbytku dešťovou vodou trvá moc dlouho... obranou je použít jich jen zlomkové množství oproti vodě tvrdé, jakou míváme ze studně či vodovodu.

6.4 Jak vodu „přežít“

Pokud vaši posluchači už nějakou povodeň či záplavu zažili, měli by své zkušenosti a vzpomínky s vámi probrat. A probrat i to, k čemu je to dovedlo a nad čím dále uvažují.

6.5 Jak čelit horku

Toto téma se netýká všech stejně. Ohrožené jsou hlavně malé děti, které nepijí jak duhy a rychle se prohřejí, a také staří lidé, kteří nejen málo pijí, ale také těžko mění své zvyky. Diskutujte o tom, co kdo ve výjimečném horku dělá. Jaká prostranství a situace považuje za zvláště špatné.

6.6 Kroupy, holomrazy...

Bude více takových jevů? Krup určitě, drsnější bouřka s kumulonimbem sahajícím do větších výšek jich může přinést víc. Holomrazů přibude vinou absence sněhu, ale hlavně se zvýší jejich závažnost, vlivem hojnějších předchozích teplých dnů.

Vzroste i pravděpodobnost silné ledovky. To tím, když přicházející teplá fronta nedává sněh, ale vinou příliš teplého zimního vzduchu jen déšť. Na ledovku ze zimy 2014/2015, která zasáhla celé Česko, si jistě lidé vzpomenou. Jako drsný příklad lze užít i ledovku o rok starší, ze Slovinska z okolí Postojne, která polámala všechny stromy, nehledě na troleje a vedení elektřiny. Je to příklad jevu, na který se dá adaptovat jen v malé míře...

7 Ochrana klimatu na místní úrovni

7.1 Pakt starostů a primátorů v oblasti klimatu a energetiky

K Paktu (či Úmluvě) by se rozhodně měly připojit alespoň desítky dalších českých obcí. Mohla by to pro ně být i opora při získávání prostředků na projekty nefosilních zdrojů elektřiny a na zlepšování stavu budov.

7.2 Stav klimatické nouze

Jde o novou kategorii usnesení parlamentů či zastupitelstev, v Evropě i ve světě se velmi rozšiřující. Málokde mohou říci, že pro rychlé snižování emisí až k nule a pro adaptaci na již probíhající, natož budoucí dopady klimatického rozvratu dělají už vše potřebné.

7.3 Územní plán a další regulace

Posílit možnosti, jak by takové regulace mohou zajistit účinnou mitigaci a adaptaci, je úkolem pro legislativu. Ale i když to zatím nejsou nástroje silné, něco s nimi docílit lze. Aby

se jejich síla zvětšila, k tomu je potřeba naléhání zejména těch samospráv, které vyhlásí stav klimatické nouze – a vysvětlí, do jaké míry jsou zatím bezmocné.

7.4 Uhlíková stopa

Pro školy a různé další instituce, jakož i pro obce je motivující se nad uhlíkovou stopou zamyslet, zkusit ji odhadnout a debatovat o ní. Ale pak si ji nejlépe i nechat certifikovaně spočítat. Vznikne tak dobrý základ pro úvahy, do čeho se v mitigaci pustit především.

7.5 Komunitní energetika

Jde o pojem v Česku málo známý, do značné míry je to neoblíbenou družstevnictví pod vlivem špatné pověsti z dob komunistické vlády. V zemích mimo sovětský blok ale má družstevnictví reputaci a historii velmi dobrou (příspělo k ní i vynikající české družstevnictví před 2. světovou válkou).

Je to jiný pojem než „komunální energetika“, tedy ta v rukou obce. Ale na komunitní energetice se obce mohou též podílet, jak je zvykem například v Německu.

7.6 Zvyšování resilience a adaptační plány obcí

Pojem Resilience je zatím v češtině málo běžný, na rozdíl od angličtiny. Neexistuje pro něj český ekvivalent. Je to ale pojem velmi užitečný.

Ohledně adaptačních plánů obcí je vhodné diskutovat o užitečnosti stromů s mohutnými korunami v ulicích, jaké tam kdysi bývaly coby ochrana před sluncem – a kterých ubývá a nepřibývá, neboť jejich kořenové systémy nevyhovují spoustě dnešních podzemních technických sítí. Nebo zabírají místo pro parkování aut...

8 Co má dělat každý z nás

Hovořte s posluchači o tom, kdo jak snížil svou spotřebu, pokud se k tomu už propracoval. Zkuste s nimi projít vyplnění některé z uhlíkových kalkulaček.

8.1 Spočítejte si svou „uhlíkovou stopu“

Je důležité, aby všichni pochopili, že recyklováním obalů snížíme svůj příspěvek k oteplování jen nepatrně. Musíme jej snížit o deset tun CO₂, ne o desítky kilogramů... Zadáváním různých údajů do „kalkulaček“ a následnou diskusí si lze dobře uvědomit, co je nejdůležitější v našich zvyklostech změnit. Z kalkulaček uvedených na enviwiki lze doporučit jistě i <http://www.carbonindependent.org/>, která obsahuje užitečné komentáře ke všem oblastem spotřeby.

Dávejte pozor na to, zdali se pro letecké cestování nezapočítávají pouze emise CO₂. Takový přístup totiž vliv emisí vypuštěných ve velké výšce podceňuje dvakrát až třikrát. Emise oxidu uhličitého je v případě létání potřeba násobit alespoň koeficientem 2,5. Více viz www.neletam.cz a tam doporučené heslo na wikipedii.

8.2 Přirozené hospodaření s teplem a chladem

Mluvte o starých časech. Mívali doma lidé teploměry? Viděl někdo teploměr se zvýrazněnou čárkou na 18, či dokonce 16 stupních?

8.3 Clonění oken

Všimněte si, jak jsou okna často hloupě cloněna (s ignorancí momentálních tepelných a světelných poměrů) všude, kde se nacházíte a kam zavítáte. Jaká je podstatná příčina, proč to tak je? Nepřemýšlíme o tom...

8.4 Stavět a opravovat pořádně: pasivně

K praxi stavění v tomto standardu i k opravování až na takový standard je spousta literatury, konají se k tomu ročně i česko/slovenské konference. Zúčastněte se nějaké... a rozhodně navštivte co nejvíce realizaci u nás i v zahraničí.

Další stručnou literaturou ke studiu je text o standardech (Hollan 2008).

8.5 Cestovat jen udržitelně

Pokud lidé mají velké příjmy, tak je většinou utrácení pro sebe. Cestování v tom tvoří čím dál větší položku. Účty za hotely nevadí, ale provoz letadel i aut ano.

Mluvte s posluchači o chození/běhání, co jim v tom brání. Bicykl je dnes v bohatých oblastech Česka brán jako sportovní náčiní, ale ve skutečnosti jde o geniální ortopedickou pomůcku, sedmimílové body pro každého. Ptejte se, kdo užívá jako dopravní prostředek i koloběžky a jaké s tím má zkušenosti.

Jistě se najdou i takoví, kteří jsou natolik zvyklí jezdit osobním autem, že se nenaučili používat veřejnou dopravu a aplikace pro chytré telefony, které o ní skvěle informují. Hodí se jim ukázat, jak snadné je dnes zjistit, kdy a jak se dostat veřejnou dopravou alespoň ve městech téměř kamkoliv.

8.6 Podílejme se na budování nefosilních zdrojů

Mnoho lidí, kteří mají nemalé úspory, je má jen v bance, nebaví je věnovat se spekulacím, jak je co nejvýhodněji investovat. Jiní je všelijak investují, aby vydělali. Nicméně do větrné a solární elektrifikace jsou investice nutně potřeba, a pro leckoho by nemuselo být klíčové, jak moc na nich vydělá. Je to velmi morální použití volných peněz, a u dobře připravených projektů dává zaručené a dlouhodobé, i když třeba jen malé příjmy. Banky samy je tam sice investovat mohou též, ale dokud výnosnost takových investic nebude lepší než při jiném investování, tak se do toho nepohrnou. Lidé, kteří to udělají místo nich, z toho kromě nějakého výnosu mohou mít především radost a dobrý pocit.

8.7 Jezme jako před sto lety

Lidé zvládnou snížit konzumaci masa, když je k tomu přiměje lékař s poukazem na to, že jinak asi brzy umřou. Jde to ale i jinak – a je to opravdu potřeba.

8.8 Hospodaření s vodou (opakování)

Je to hlavně připomenutí předchozích témat adaptace. Moderní separační záchody, komerční i různé jednodušší, jsou zde asi tím hlavním neznámým tématem. Zkušenosti s užitím dešťovky mohou být dalším, snáze akceptovaným tématem.

Pro zletilé publikum může být zajímavé ukázat, že čistá dešťová voda (což je každá odstátá ve velké cisterně) je bez chuti, protože bez minerálů. Přidá-li se do ní třeba jen desetina vína, získá jeho chuť, i když velice zjemněnou. Na rozdíl od vody s minerály, která chuť vína pokazí.

8.9 Ozývejme se, čím dál víc

Když budete mluvit o naléhavosti rychlého snížení emisí skleníkových plynů až k nule, neváhejte se opřít o prohlášení akademických institucí a sdružení. V Česku jich je pomálu, ale v Německu či Británii snahy a aktivity mladých lidí podporují tisíce renomovaných vědců a dalších osobností. [Slovenská akademie věd podpořila klimatickou stávku](#) konanou 20. září 2019.

9 Závěr

Přesvědčit posluchače, že se sami mají podílet na rychlém a velkém snížení emisí, aby neponičili planetu žijícím a budoucím organismům, to není snadné. Zkuste použít svůj vlastní příklad a ptejte se na rady. Zavázat se k něčemu veřejně, ve skupině, která problém diskutuje, může pomoci.

Spousta věcí se má a musí odehrát na komunální úrovni, a tu může ovlivnit každý. Dělejme to!

10 O autorech

RNDr. Jan Hollan, Ph.D. již od roku 1990 přednáší a píše o globálním oteplování, jeho příčinách a důsledcích. Zabývá se také technologiemi snižujícími spotřebu, zejména pasivními domy. Věnuje se i osvětě o obnovitelných zdrojích energie, dusíku a fosforu. Je světovým odborníkem ohledně světelného znečištění. Ke všem těmto oblastem publikoval řadu vlastních prací a překladů, které jsou vesměs volně dostupné na internetu. K dispozici je též řada [nahrávek jeho vystoupení](#).

RNDr. Yvonna Gaillyová, CSc. založila ekologické poradenství v Československu a vede Ekologický institut Veronica, jehož působištěm je i Centrum Veronica v Hostětíně, poskytující praktické ukázky udržitelných technologií.

Kontakt: hollan.jan@brno.cz, 606 072 563

11 Odkazy

Allison, Lesley C., Matthew D. Palmer, Richard P. Allan, Leon Hermanson, Chunlei Liu, a Doug M. Smith. 2020. „Observations of Planetary Heating since the 1980s from Multiple Independent Datasets". *Environmental Research Communications* 2 (10): 101001. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/abbb39>.

Bova, Samantha, Yair Rosenthal, Zhengyu Liu, Shital P. Godad, a Mi Yan. 2021. „Seasonal Origin of the Thermal Maxima at the Holocene and the Last Interglacial". *Nature* 589 (7843): 548–53. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-03155-x>.

Coimbra, Carlos F. M., Mengying Li, a Zhouyi Liao. 2018. „EFFICIENT MODEL FOR EVALUATION OF SPECTRAL AND VERTICAL DISTRIBUTIONS OF ATMOSPHERIC LONGWAVE RADIATION". In . Begel House Inc. <https://doi.org/10.1615/IHTC16.rti.023041>.

- Donohoe, Aaron, Kyle C. Armour, Angeline G. Pendergrass, a David S. Battisti. 2014. „Shortwave and Longwave Radiative Contributions to Global Warming under Increasing CO₂". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (47): 16700–705. <https://doi.org/10.1073/pnas.1412190111>.
- Donohoe, Aaron, a David S. Battisti. 2013. „The Seasonal Cycle of Atmospheric Heating and Temperature". *Journal of Climate* 26 (14): 4962–80. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00713.1>.
- Hertzberg, Jennifer. 2021. „Palaeoclimate Puzzle Explained by Seasonal Variation". *Nature* 589 (7843): 521–22. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-00115-x>.
- Hoggan, James. 2009. *Climate Cover-Up: The Crusade to Deny Global Warming*. Greystone Books.
- Hollan, Jan. 2008. „A Standard House – what’s that? Houses, standards, real life (Co je to standardní dům? Domy, normy a realita)". In . Zlín: Zelené bydlení, o.s. <http://amper.ped.muni.cz/pasiv/standardy/>.
- Cheng, Lijing, John Abraham, Jiang Zhu, Kevin E. Trenberth, John Fasullo, Tim Boyer, Ricardo Locarnini, et al. 2020. „Record-Setting Ocean Warmth Continued in 2019". *Advances in Atmospheric Sciences* 37 (2): 137–42. <https://doi.org/10.1007/s00376-020-9283-7>.
- Kaufman, Darrell, Nicholas McKay, Cody Routson, Michael Erb, Christoph Dätwyler, Philipp S. Sommer, Oliver Heiri, a Basil Davis. 2020. „Holocene Global Mean Surface Temperature, a Multi-Method Reconstruction Approach". *Scientific Data* 7 (1): 201. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0530-7>.
- Li, Mengying. 2018. „Spectral Modeling of Solar and Atmospheric Radiation for Solar Power Integration". UC San Diego. <https://escholarship.org/uc/item/6nk2r6zh>.
- Li, Mengying, Zhouyi Liao, a Carlos F. M. Coimbra. 2018. „Spectral Model for Clear Sky Atmospheric Longwave Radiation". *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 209 (duben): 196–211. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2018.01.029>.
- MacDougall, Andrew H., Thomas L. Frölicher, Chris D. Jones, Joeri Rogelj, H. Damon Matthews, Kirsten Zickfeld, Vivek K. Arora, et al. 2020. „Is There Warming in the Pipeline? A Multi-Model Analysis of the Zero Emissions Commitment from CO₂". *Biogeosciences* 17 (11): 2987–3016. <https://doi.org/10.5194/bg-17-2987-2020>.
- Milěř, Tomáš, a Jan Hollan. 2013. *Klima a koloběhy látek*. Masarykova univerzita. <http://amper.ped.muni.cz/gw/aktivity/>.
- Nyeki, Stephan, Stefan Wacker, Christine Aebi, Julian Gröbner, Giovanni Martucci, a Laurent Vuilleumier. 2019. „Trends in Surface Radiation and Cloud Radiative Effect at Four Swiss Sites for the 1996–2015 Period". *Atmospheric Chemistry and Physics* 19 (20): 13227–41. <https://doi.org/10.5194/acp-19-13227-2019>.
- Pont, Yann Robiou du, a Malte Meinshausen. 2018. „Warming Assessment of the Bottom-up Paris Agreement Emissions Pledges". *Nature Communications* 9 (1): 4810. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07223-9>.
- Rogelj, Joeri, Piers M. Forster, Elmar Kriegler, Christopher J. Smith, a Roland Séférian. 2019. „Estimating and Tracking the Remaining Carbon Budget for Stringent Climate Targets". *Nature* 571 (7765): 335–42. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1368-z>.
- Rogelj, Joeri, Daniel Huppmann, Volker Krey, Keywan Riahi, Leon Clarke, Matthew Gidden, Zebedee Nicholls, a Malte Meinshausen. 2019. „A New Scenario Logic for the Paris Agreement Long-Term Temperature Goal". *Nature* 573 (7774): 357–63. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1541-4>.

- Shindell, Drew, a Christopher J. Smith. 2019. „Climate and Air-Quality Benefits of a Realistic Phase-out of Fossil Fuels". *Nature* 573 (7774): 408–11.
<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1554-z>.
- Schuckmann, Karina von, Lijing Cheng, Matthew D. Palmer, James Hansen, Caterina Tassone, Valentin Aich, Susheel Adusumilli, et al. 2020. „Heat Stored in the Earth System: Where Does the Energy Go?" *Earth System Science Data* 12 (3): 2013–41.
<https://doi.org/10.5194/essd-12-2013-2020>.
- Smith, Christopher J., Piers M. Forster, Myles Allen, Jan Fuglestedt, Richard J. Millar, Joeri Rogelj, a Kirsten Zickfeld. 2019. „Current Fossil Fuel Infrastructure Does Not yet Commit Us to 1.5 °C Warming". *Nature Communications* 10 (1): 1–10.
<https://doi.org/10.1038/s41467-018-07999-w>.
- Trenberth, Kevin E. 2020. „Understanding climate change through Earth's energy flows". *Journal of the Royal Society of New Zealand* 0 (0): 1–17.
<https://doi.org/10.1080/03036758.2020.1741404>.
- Trenberth, Kevin E., Yongxin Zhang, John T. Fasullo, a Shoichi Taguchi. 2015. „Climate Variability and Relationships between Top-of-Atmosphere Radiation and Temperatures on Earth". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 120 (9): 3642–59. <https://doi.org/10.1002/2014JD022887>.