

Země se ohřívá

Spotřeba energie a ochrana klimatu

Jan Hollan, Hvězdárna a planetárium M. Koperníka v Brně

říjen 2002



1 Skleníkový jev

O změně složení zemské atmosféry, které nutně povede k oteplení celé Země, se začalo mluvit tak před dvaceti lety. Nebyl to nový nápad, takový osud předpověděl již před sto lety slavný chemik Svante Arrhenius. Před dvaceti lety si ale začali ti nejodpovědnější občané uvědomovat, že se už jedná o velmi aktuální hrozbu. Díky práci speciální komise německého parlamentu se takové vědomí rozšířilo na přelomu osmdesátých a devadesátých let mezi čelnými německými a pak i evropskými politiky. Před deseti lety už to bylo jedno z hlavních témat první světové konference o udržitelném rozvoji v Riu de Janerio.

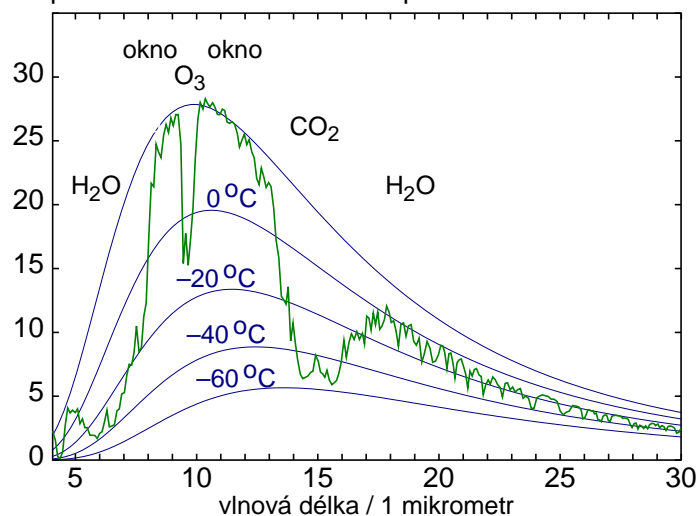
Tehdy odborníci očekávali, že první nesporné projevy zcela změněného složení atmosféry se objeví až za deset, patnáct let. Dnes vědí miliardy lidí na celém světě, že se klima nápadně změnilo už během devadesátých let, vědci byli vloni překvapeni, že se již stačily o několik desetin stupně prohřát i hloubky oceánů, a klima jiné než v minulosti zasahuje bolestně i Českou republiku. Změny jsou rychlejší a větší, než jsme před deseti lety čekali.

Největší rozvrat se odehrává ve většině chladných se-

verských krajů, kde byl veškerý život závislý na dostatečně dlouhé a tuhé zimě. Může to být překvapivé, zima je přece hrozná, ale ono to tak úplně neplatí. Pomiňme teď důsledky pro civilizaci a zastavme se u ledních medvědů – přinejmenším pro děti to může být argument silnější než který jiný.

Medvědi kolem obrovského Hudsonova zálivu v létě hladoví. Jejich populace je odkázána na dobu, kdy záliv zamrzne a oni se mohou konečně vykrmit tuleni, kteří se přicházejí nadýchnout do děr v ledu. Záliv ale zamrzá v posledních letech až o několik týdnů později než dříve a medvědi se nestačí vykrmit než nastoupí polární noc.

Spektrum záření z nočních tropů / $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mikrometr}^{-1}$



Záření Země do vesmíru je srovnáno s hladkými spektry záření černého tělesa o teplotě 20 °C a méně. Jen ve dvou „oknech“ se uplatňuje záření rovnou s povrhu Země. V oblasti, kde absorbuje oxid uhličitý, do vesmíru září jen nejchladnější vrstva ovzduší.

Bezstarostní laici či nezodpovědní čeští politici ještě začátkem léta říkali, vždyť ty povídačky o nějakém oteplování jsou jen propaganda, příroda si skvěle poradí sama, jako to udělala vždycky.

Příroda si poradí, jenže takovou náhlou změnu už pěkných pár desítek milionů let nezažila, naposled to bylo asi při vymírání dinosaurů.

Atmosféra je dnes skutečně úplně jiná než kdykoliv ve čtvrtohorách a důvod, proč se Země otepluje, je tak





jednoduchý a pochopitelný, že jej nelze „okecat“ lživým tvrzením, že se vědci dosud neshodli.

Jako astronom začnu grafem spektra naší planety. Takové by mohla pořídít důmyslná družice někde nad tropickým oceánem, toto je ale spektrum vypočítané v Haldyově centru ve Velké Británii.

Spektrum zachycuje vlnové délky od čtyř do třiceti nanometrů, tedy takové, na kterých naše Země vyzařuje. Jde o dlouhovlnné infračervené záření. Slunce naproti tomu září hlavně na vlnových délkách dvacetkrát kratších, protože má na povrchu dvacetkrát vyšší teplotu. Nejvíce září na vlnové délce půl mikrometru, takové vlnové délky vnímáme jako světlo, menší část toku energie z něj jde jako krátkovlnné infračervené záření s vlnovými délkami pod tři mikrometry.

Na svislé ose grafu je údaj, kolik záření odchází z jednoho metru čtverečního v intervalu vlnových délek jednoho mikrometru. Hladké křivky v grafu ukazují, kolik záření by vysílala tělesa bez atmosféry.¹ Ta horní křivka by platila pro těleso o teplotě dvacet stupňů. Skutečné spektrum Země je ale velmi zubaté, jen na vlnové délce mírně přes deset mikrometrů se do vesmíru dostane záření rovnou z povrchu teplého oceánu. V jiných vlnových délkách je toho záření mnohem méně, protože z vesmíru jsou pozorovatelné až vyšší vrstvy ovzduší, které jsou chladnější. Zvláště málo záření je v oblasti kolem patnácti mikrometrů, protože takové pohlcuje nejúčinněji oxid uhličitý. Do vesmíru září až ta nejchladnější vrstva ovzduší na rozhraní troposféry a stratosféry, která má v tropech teplotu asi minus šedesát stupňů. V jiných vlnových délkách průhlednost atmosféry snižují ozón, oxid dusný, methan a především vodní pára. Díky těmto malým příměsím ovzduší se zvenčí Země tváří, jako kdyby měla v průměru tak minus osmnáct stupňů, přitom na dně atmosféry je v průměru patnáct nad nulou a na hladině tropického oceánu i přes dvacet pět stupňů.

Příměsi, které pohlcují infračervené záření (skleníkové plyny)

		podíl na objemu / 1 %	relativní účinnost
	vodní pára	0,2 – 3	1
	oxid uhličitý	0,036	1
	metan	0,000 2	21
	oxid dusný	0,000 03	310

Relativní účinnost je zvýšení úhrnu energie dopadlé na povrch Země za sto let v poměru ke zvýšení působenému stejným objemem CO₂.

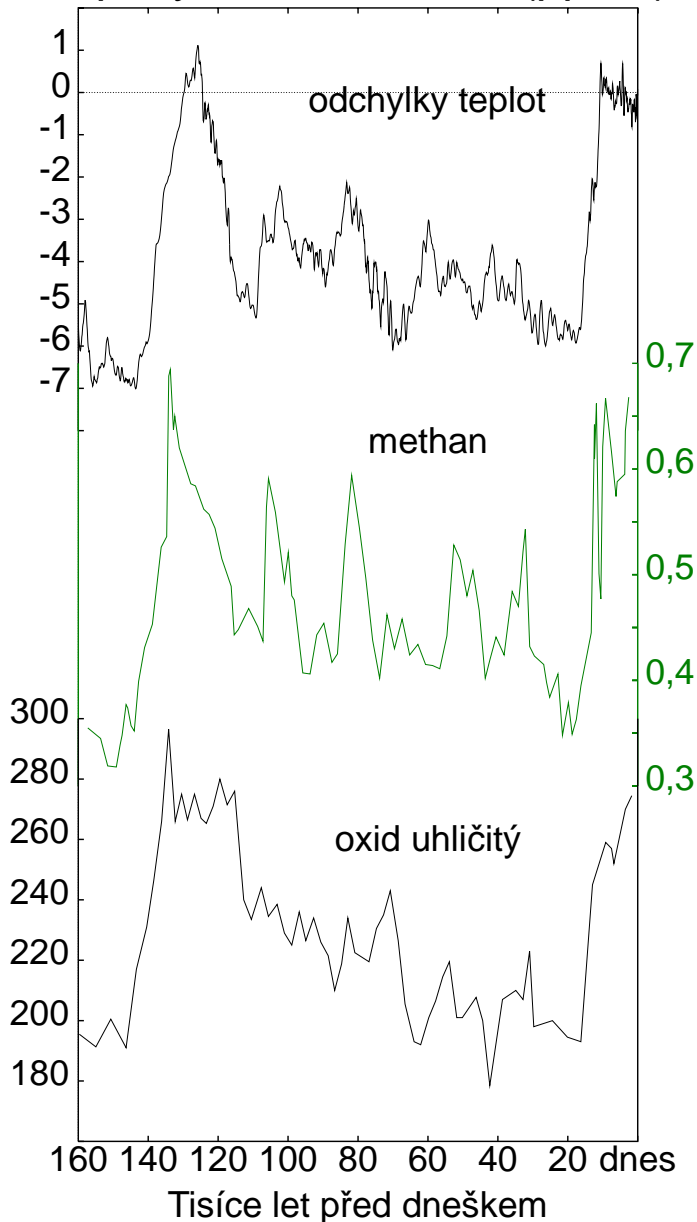
Takovému jevu, kdy vrstva nepropouštějící dlouhovlnné infračervené záření pod sebou vytváří teplé útočiště v chladném okolí, se říká skleníkový jev. Sklo je skutečně pro takové záření dokonale nepropustné, stejně jako temně šedá lepenka², zatímco slunečního záření propouští i přes devadesát procent.

Značnou nepropustnost atmosféry pro záření, které vyzařují všechny předměty kolem nás i my samotní, zajišťují plyny, kterých je ve vzduchu velmi málo, jejich množství trochu vnímáme jen u vodní páry. Všem souborně se říká skleníkové plyny. Někdy se uvažují s vynecháním vodní páry, pak se mluví o stálých skleníkových plynech, kterých je všude zhruba stejně, protože jejich molekuly v ovzduší setrvávají staletí.

¹Přesně vzato, reálná tělesa by zářila alespoň o desetinu méně, křivky platí pro tzv. absolutně černá tělesa s tzv. emisivitou rovnou jedné, tak se chová malý otvor velké dutiny. Běžné materiály mají emisivitu pod 0,9, čisté kovy pod 0,1.

²v dlouhovlnném oboru jsou kromě toho oba materiály stejně tmavé, tj. pohlcují téměř devět desetin záření, stejně se tam chová papír, který je v krátkovlnném oboru vč. světla bílý

Teploty a koncentrace (ppm_v)



Další graf ukazuje průběh teplot a složení atmosféry v uplynulých sto šedesáti tisících letech. Během tohoto období se teploty výrazně měnily, stejně jako koncentrace methanu a oxidu uhličitého. Takové přesné poznání umožnily vrty do kilometrových hloubek v grónském a antarktickém ledovém štítu. V dávném ledu jsou uvězněny bublinky tehdejšího vzduchu. Koncentrace stálých skleníkových plynů lze po rozpuštění ledu měřit přímo, tehdejší teploty se odvozují od podílu různých izotopů vodíku a kyslíku, tedy atomů, z nichž se skládá tehdejší sněh.

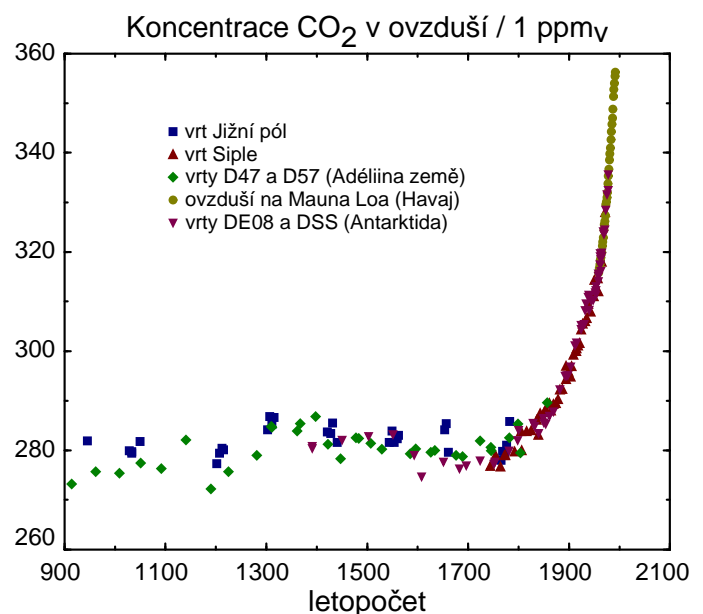
Nástupy velkých oteplování či ochlazování měly příčiny astronomické, ale ty by vedly samy o sobě jen k malým změnám. Velké změny vyvolala až pozitivní zpětná vazba, která rychle měnila koncentraci methanu a pomaleji i oxidu uhličitého. Prudké oteplení na konci

ledové doby bylo umožněno rychlým vzrůstem obsahu methanu v ovzduší a stabilizace teplot na úrovni, která platila až do začátku dvacátého století, byla výsledkem nárůstu koncentrace oxidu uhličitého.

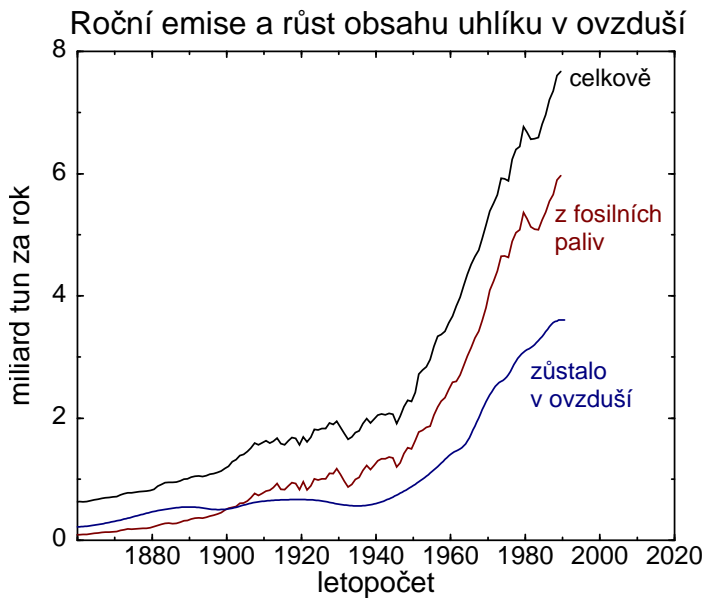
Sto let starou hypotézu, že změna koncentrace skleníkových plynů umožnila velké výkyvy mezi ledovými a teplejšími dobami, proměnila analýza kousků ledu z hlubin polárních ledových příkrovů v úplnou jistotu.

Problém je, že dnešní koncentrace obou plynů jsou daleko za mezemi jejich někdejší přirozené proměnlivosti. U oxidu uhličitého je dnešní koncentrace ne necelých tři sta milióntin, ale už tři sta šedesát a nadále rychle roste. U methanu je to pak ve stejných jednotkách místo sedmi desetin téměř dvacet desetin, alespoň dvakrát více, než homo sapiens kdy zažil.

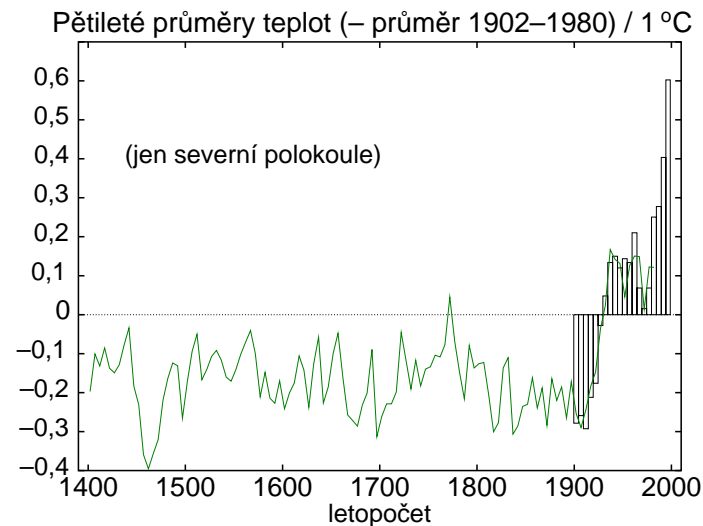
2 Svět se mění



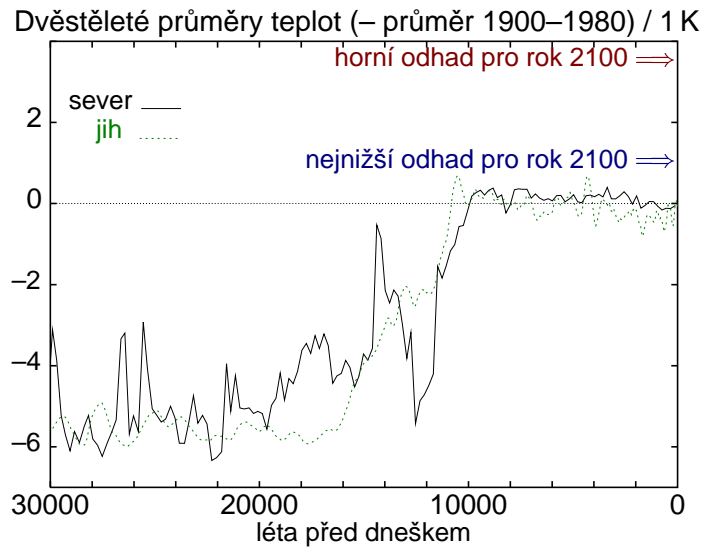
Růst množství oxidu uhličitého, zjišťovaný opět ze vzorků ledu a nověji též z přímých měření hlavně na Havaji, uprostřed Tichého oceánu, je úžasně rychlý.



S malými výkyvy světových hospodářských krizí je dokonce stále rychlejší. Většina jeho růstu spadá na vrub překotnému pálení fosilních zbytků. Za to, že v ovzduší zůstává jen zhruba polovina toho, co lidé uvolní, vděčíme rozpustnosti oxidu uhličitého v oceánech a v těchto desetiletích také tomu, že zřejmě rychleji rostou severské jehličnaté lesy. Rychlejší růst lesů je ale záležitostí přechodnou, od poloviny tohoto století se očekává, že naopak jejich rychlejší odumírání bude oxid uhličitý do ovzduší přidávat.



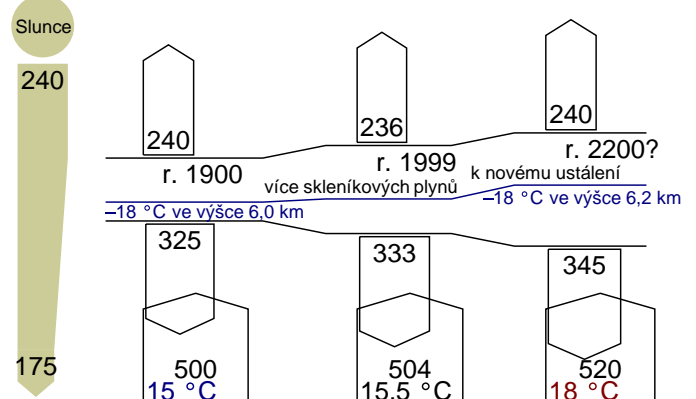
Začátkem devadesátých let se zdálo, že žádný dramatický nárůst teploty Země ještě nezačal. Intenzivní výzkumy pak ale ukázaly, že už předchozí desetiletí zcela vybočují z proměnlivosti klimatu v posledních staletích, a závěr dvacátého století předvedl vzrůst zcela nebývalý.



Jak rychlý to je růst, může ukázat graf teplot na obou polokoulích v uplynulých třiceti tisících letech. V době ledové se také odehrávaly rychlé změny. Ty se ale týkaly nejvýše jedné polokoule. Současný nárůst teplot postihuje celou Zemi, mluví se proto o globálním oteplení. Je už dnes nesmírně rychlý a dále se zrychluje. Znázornit jej v takovém grafu dost dobře nejde, protože se vejde do tloušťky čáry na pravém okraji. Aktuální nebezpečí představuje právě rychlost růstu teplot. Kam až narostou, je věc jiná, v každém případě to bude v příštích staletích o řadu stupňů, zcela srovnatelně se vzrůstem na konci doby ledové.

Graf v tomto ohledu obsahuje nejlepší předpověď z první poloviny devadesátých let. V roce 2001 uveřejnil IPCC³ předpověď novou, dle stavu znalostí ke konci třetího milénia. Ta je ještě více varující, teplota by měla oproti začátku dvacátého století být vyšší o 1,4 až 5,8 stupňů, i dolní mez znamená růst příliš rychlý.

Zářivé toky ovzduším kdysi, dnes a v budoucnu / 1 W.m⁻²



To, co nás zajímá ještě aktuálněji, jsou změny, které můžeme zažít i my. Roční průměr teplot přes celou zemi

³Intergovernmental Panel for Climate Change, viz www.ipcc.ch

necítíme, ale větší počet extrémně horkých dní u nás doma ano. Všimneme si také nebyvalého sucha nebo naopak katastrofálních srážek.

Tyto změny souvisejí se zvýšenými toky energie kolem nás.

Během poledové doby byla energetická bilance Země vyrovnaná. Do vesmíru odcházelo právě tolik energie, kolik Země pohlcovala slunečního záření, asi 240 wattů na metr čtvereční povrchu naší planety. Během uplynulého století se ale složení atmosféry měnilo, takže čím dál více tepelně izolovala. Do vesmíru tak koncem století odcházelo záření až z vyšších a tedy chladnějších vrstev. Chladnější vzduch září méně, a tak se bilance porušila – o čtyři watty na metr čtvereční. To se zdá být málo, ani ne dvě procenta celkového toku, ale je to alespoň dvacetkrát více, než činí např. výkyvy v zářivém výkonu Slunce, které významně ovlivňovaly změny klimatu v uplynulém tisíciletí.

Dolů na zem září atmosféra skoro dvakrát více než samotné Slunce, a zde je zvýšení toku oproti minulosti ještě větší. Země se tak už trochu prohřála a bude se ohřívat dál, v nejbližších letech těmi asi čtyřmi watty na čtvereční metr. Představte si, že bychom měli kouzelný proutek a zastavili další růst obsahu stálých skleníkových plynů v ovzduší. I v takovém případě bude ohřívání pokračovat ještě staletí a během první poloviny tohoto století se bude ještě zrychlovat. To proto, že teplejší vzduch v sobě udrží více vodní páry, toho nejvýznamnějšího skleníkového plynu. Skleníkový jev se proto bude ještě dlouho zesilovat, vinou rostoucího obsahu vody ve vzduchu. Snad za dvě sta let by se mohl v takovém nerealistickém, kouzelném proutkem napraveném světě, ustálit nový rovnovážný stav. Ten ale bude v průměru o tři stupně teplejší než stav trvající po většinu minulého tisíciletí. Takový, jaký nebyl možná od druhohor.

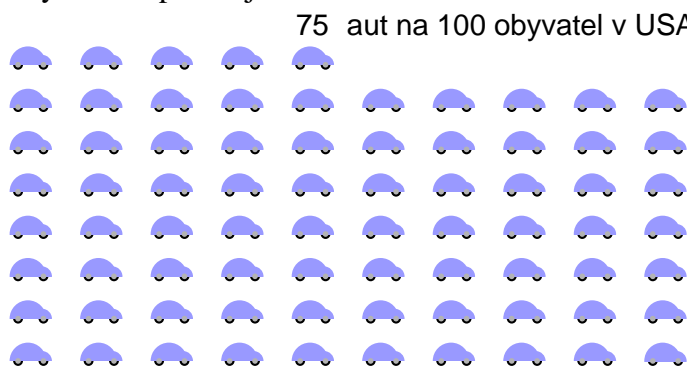
Ohřívání kontinentů a hlavně oceánů bude probíhat ve skutečnosti ještě déle a rychleji, protože se růst obsahu stálých skleníkových plynů nejen hned tak nezastaví, ale alespoň do poloviny století se bohužel bude ještě zrychlovat, jak se bude rozvíjet hospodářství zemí dnes ještě chudých.

Nejrychleji se oteplují oblasti nejchladnější, Sibír a Kanada, tam už dnes činí oteplení několik stupňů, s řadou důsledků místních i vlivů na počasí na celé severní polokouli.

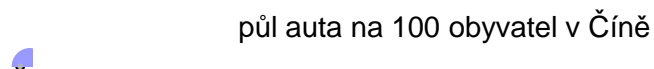
Nejvýznamnější vliv na nezvyklé počasí, se kterým jsme se už párkrát setkali, mají ale zvýšené toky energie v atmosféře, tedy ony tlustší šipky v dolní části grafu. Ty popisují záření, větší jsou ale také horizontální toky energie způsobené vyšším obsahem vody ve vzduchu proudícím z oceánů nad kontinenty.

3 Česko, Rakousko a jiné státy

Vina různých států na rozvracení klimatu Země je neobyčejně rozdílná. S nadsázkou to symbolizuje srovnání Číny a USA pokud jde o užívání osobních automobilů.

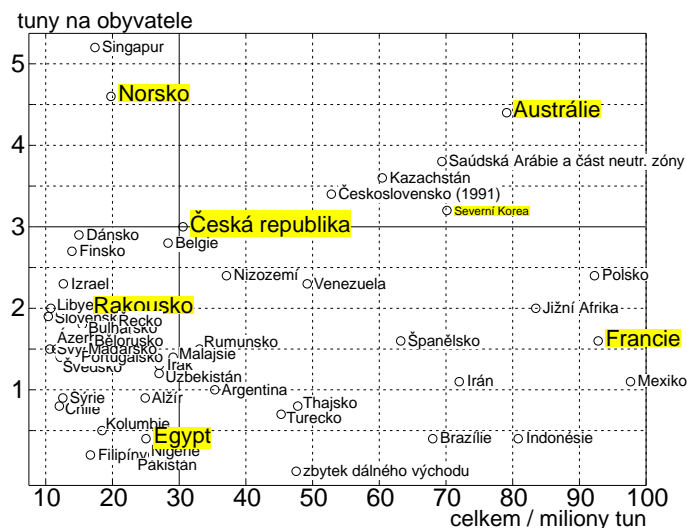


Ve Spojených státech připadá na osobu téměř jedno auto, více je to už skoro jen v Praze.



V Číně to bylo v roce 1995 stokrát méně. Ale čínské hospodářství už léta rychle roste, nejrychleji pak automobilový průmysl. Nepředvedou-li rychle bohaté státy jako Česko jinou cestu rozvoje než tu dosavadní automobilistickou, už jenom růst emisí z čínských aut bude osudným dalším zdrojem emisí fosilního uhlíku.

Emise uhlíku ve formě CO₂ za rok 1995



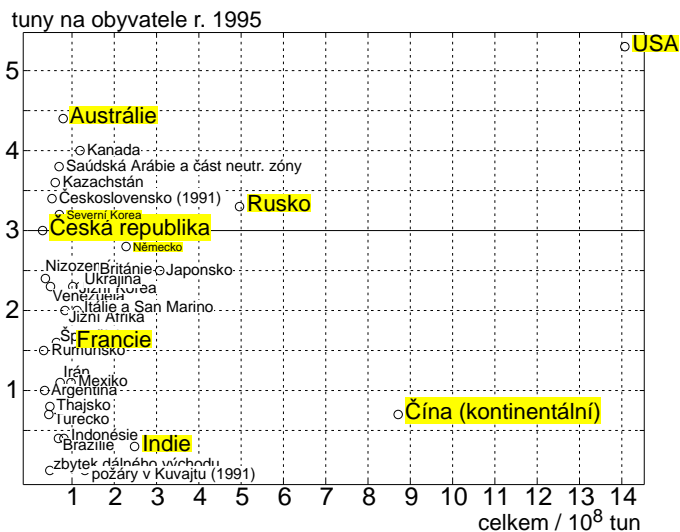
Většina emisí ale ani v Americe nespadá na vrub dopravy, nýbrž na vrub bydlení a budov vůbec, v Evropě tím spíše. Pokud jde o emise na osobu a rok, za Spojenými státy vůbec moc nezaostáváme, Evropská unie se na nás nemůže hrbat. Tři tuny oxidovaného fosilního uhlíku na osobu a rok, to je břímě, které je na každém z nás, i když si je zatím moc neuvědomujeme. Bývaly to tuny skoro čtyři, díky rozpadu či inovaci toho nej-

více plýtvajícího průmyslu se emise v první polovině devadesátých let výrazně snížily.

Přesto jsou neúnosně vysoké. Rakousko, s několikrát větším hrubým národním produktem na hlavu, vypouští ročně na jednoho obyvatele tuny jenom dvě.



Emise uhlíku, velké státy



Naopak Rusko je má větší než my, a možná i Severní Korea. Je vidět, že spalování fosilních paliv není ani tak měřítkem vyspělosti, jako grandióznosti plýtvání.

Zvyky se změny a dnes chceme mít v celé budově i v zimě pokojovou teplotu, ta navíc není 18 stupňů jako před padesáti lety ani dvacet, jak se ještě občas předstírá dnes, ale spíše 23 stupňů. Dobrá zpráva je, že v Evropě už existují tisíce obydlí, kde takový komfort mají s příjemně malinkou spotřebou fosilních zdrojů. Takovým domům se říká pasivní, podle toho, že nepotřebují žádný tzv. klasický topný systém s cirkulující tekutinou. Na topení spotřebují desetinu toho, co domy obvyklé. Nejenže v nich není v zimě nikde chladno, ale taky tam není v létě vedro.

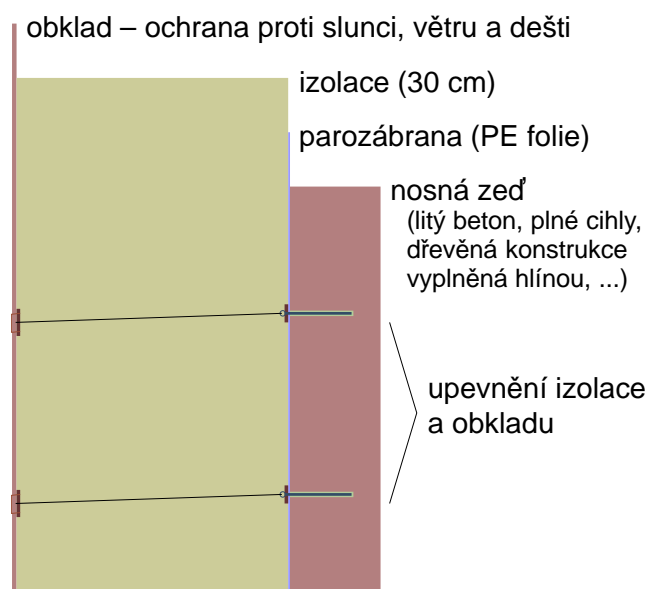
Lze je postavit za stejnou cenu jako běžné domy. Příkladem je prefabrikovaný dům ze slámy a dřeva v Perchtoldsdorfu těsně na jih od Vídně.

4 Jak tomu čelit

Většina fosilních paliv se u nás a v krajích s chladnými zimami vůbec vyplývá na vytápění budov. Člověk by si řekl, že to se přece nedá nic dělat, jinak bychom se museli stěhovat na zimu do Afriky.

To ale není vůbec pravda – jistě jste alespoň slyšeli, že někteří lidé občas spí v teplém spacáku i v mraze venku, jen pod plátnem stanu. Já sám si pamatuji z raného dětství, jak jsem u dědy na vsi spával pod tlustou peřinou a jednou jsem ráno našel nočník roztržený mrazem. V sousední, ještě chladnější místnosti pukla láhev vína. Tradiční domy se nevytápěly celé a na teplo domova stačilo místní dříví do jedné pece či sporáku.

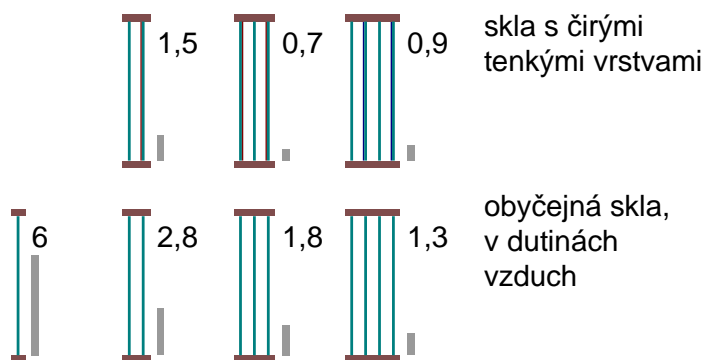
Schéma dobré venkovní zdi



Klíčem k tomu jsou pořádné izolační vrstvy, které jsou přerušeny nanejvýš okny či dveřmi. Většina tloušťky zdi musí být věnována tepelné izolaci. Ono to dokonce může vyjít i při stavbě levněji, neb izolační materiály

jsou mnohem levnější než jiné stavební hmoty. Šetřit s nimi se vůbec nehodí ani při opravách dosavadních budov.

Tepelná propustnost různých zasklení / ($1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}$)
měkké vrstvy
(uvnitř argon) (krypton) tvrdé vrstvy



Starým, dosud tradovaným omylem je, že se izolace nad čtvrt metru nevyplatí vinou toho, že vše pokazí okna. Nepokazí. Ta nejlepší okna jsou sice dražší než ta v Česku dosud obvyklá, ale zato slouží místo radiátorů. Dům i v pošmourném zimním počasí s krátkými dny ohřívají, místo aby jej chladila. Naopak v létě brání přehřátí.

Pasivní domy mají také důmyslné větrání, to představuje vždy tak malé ztráty energie, že jsou bohatě vyrovnány teplem, které uvolňují lidé v nich pobývající.



S neplýtváním a využíváním toho, co nám příroda nabízí, je ale vhodné začít také malými, snadno zvládnutelnými kroky. Příkladem je svépomocné montování solárních systémů pro ohřev užitkové vody. Na domě na kraji Hostětína byla tak část taškové krytiny nahrazena sklem, pod nímž je černý absorbér. Podobně mohou být upraveny statisíce domů v Česku. Každý takový sníží emise uhlíku asi o půl tuny ročně.



Ještě jednodušší než instalovat solární systém je vrátit se ke sluneční energii uskladněné ve dřevě. Moderní doba nabízí dvě formy dřeva pro plně automatické topení, známé štěpky a stále populárnější lisované pelety. Ty jsou už dnes levnější než zemní plyn, a nepotřebují instalování žádných potrubí. Když už ale potrubí, tak tedy teplovodní, aby se z jednoho kotle na štěpky či pelety dalo vyhřívát několik domů. V krátkodobém horizontu je návrat ke dřevu jako palivu tou nejúčinnější cestou ochrany klimatu, než se na cestu trvalé udržitelnosti vydá celé konzervativní odvětví stavební.

5 Literatura

Nové, aktuální informace týkající se změn klimatu a ochrany klimatického systému Země jsou k dispozici na internetu. V češtině lze použít adresu amper.ped.muni.cz/gw, z ní se dostanete dále.

Úvodním čtením jsou určitě shrnutí IPCC z roku 2001 určená „policymakers“, tedy nejen politikům, ale i publicistům, učitelům, úředníkům,... Jsou to skutečně ta nejstručnější možná shrnutí velkých znalostí k roku 2000, odsouhlasená slovo od slova pověřenými představiteli řady zemí. Najdete je na adrese www.ipcc.ch, například shrnutí vědeckých znalostí je www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf. Z podzimu 2001 pak pochází novější syntéza zpráv všech tří pracovních skupin, lze začít rovnou shrnutím technickým, delším, www.ipcc.ch/pub/SYRtechsum.pdf. (Obě publikace si uložte, na prohlížení „online“ jsou dlouhé.)

(Je mrzuté, že aktuální dokumenty této autoritativní světové organizace nejsou dostupné v češtině – jde o příliš závažné téma, než aby bylo únosné jeho v jeho studiu bránit těm, pro které angličtina představuje bariéru.)