

Uhlíková stopa města Dačice

Podklad k diskusi u kulatého stolu zpracoval doc. RNDr. Jan Pokorný, CSc.

Klimatická změna se projevuje zvýšenými extrémními teplotami, prohlubujícím se suchem, které je občas přerušeno přívalovým deštěm, případně povodněmi. Narušeny jsou také dříve se pravidelně opakující období sucha a dešťů. Podle Mezivládního panelu pro klimatickou změnu (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) je klimatická změna způsobena zejména navýšením koncentrace skleníkových plynů, které potom zvyšují zpětné záření atmosféry, což se projevuje zvyšováním globální průměrné teploty země. Vychází se z dlouhodobých grafů vztahu (korelace) mezi globální průměrnou teplotou a nárůstem koncentrace hlavních skleníkových plynů, kterými jsou: CO₂ (oxid uhličitý), CH₄ (metan), N₂O (oxid dusný), fluorované uhlovodíky, freony, halony a některé další plyny. Emise antropogenních skleníkových plynů jsou kontrolovány Kjótským protokolem a Rámcovou úmluvou, použití halonů a freonů je kontrolováno Montrealským protokolem a jeho dodatky. Řádově nejdůležitějším skleníkovým plynem je vodní pára, jejíž koncentrace mohou dosahovat i několika desítek tisíc ppm, zatímco koncentrace CO₂ podle IPCC stouply z 280ppm v roce 1750 na dnešních 400ppm. Vodní pára nepůsobí jako pouhý skleníkový plyn ale tvoří mraky, které podstatně snižují průchod slunečního záření atmosférou, například ze 1000W.m⁻² na méně než 100W.m⁻² a tím snižují teplotu povrchu Země.

Podle materiálů IPCC stoupla následkem zvýšené koncentrace skleníkových plynů zpětné vyzařování atmosféry směrem k Zemi od roku 1750 o 1 – 3W.m⁻² (radiční účinnost = radiative forcing). Je to hodnota vypočítaná podle absorpčních vlastností molekul skleníkových plynů. Na hranici zemské atmosféry přichází během roku 1320 – 1410W.m⁻² sluneční energie podle polohy Země na její eliptické dráze kolem Slunce. Na metr čtverečný zemského povrchu od března do října přichází za jasné oblohy až 1000W sluneční energie. Při zatažené obloze se průchod sluneční energie redukuje i na méně než 10%, takže při husté oblačnosti naměříme méně než 100W.m⁻². Je nutné zdůraznit, že oblačnost a obsah vodní páry ve vzduchu jsou zásadní pro tvorbu klimatu. Současná oficiální klimatická věda reprezentovaná zprávami IPCC předpokládá, že množství vodní páry ve vzduchu se řídí skleníkovým efektem, tedy množstvím energie ovlivněným obsahem oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů (kromě vodní páry). Podle IPCC tedy skleníkový efekt zvyšuje teplotu a ta zvyšuje výpar. S tímto tvrzením ovšem nelze souhlasit, když si uvědomíme, jak ovlivňujeme teplotu krajiny a zejména její povrchovou teplotu hospodařením v krajině: paseka a uschlý les mají nesporně vyšší teplotu nežli vzrostlý živý les, vydlážděné parkoviště má vyšší povrchovou teplotu na slunci nežli mokrá louka atd. Zvýšení povrchové teploty krajiny nelze tedy přičítat pouze zvýšené koncentraci CO₂ a dalších skleníkových plynů. O zásadní úloze vodní páry a mraků svědčí mimo jiné známý fakt, že jarní mrazy, které ničí květy stromů nastávají při jasné obloze, kdy země vyzařuje teplo vůči „obnažené“ chladné obloze a vesmíru.

Uhlíková stopa je suma vypuštěných skleníkových plynů. Uhlíková stopa se může týkat jedince, výrobku, akce nebo města. Nejčastěji je ale používána ve spojitosti s výrobky a definuje sumu všech skleníkových plynů, které byly vypuštěny při výrobě daného výrobku. Podobná charakteristika výrobků slouží potom k výběru toho, jehož výroba má nejmenší dopad na životní prostředí.

Jedná se o ukazatel zatížení životního prostředí, který je odvozen od celkové *ekologické stopy*. Obvykle bývá vyjadřován v ekvivalentech CO₂. Tedy nikoliv v hmotnosti uhlíku samotného, ale z něj vzniklého oxidu uhličitého a také emitovaných dalších skleníkových plynů (např. metanu, oxidu dusného, halogenovaných uhlovodíků), jejichž hmotnost je ale přepočítána na to, kolik CO₂ by mělo být oteplovací účinek. Je ale potřeba dát pozor na to, že někdy se v údajích o uhlíkové stopě ony další plyny zanedbají, což může znamenat i velký relativní rozdíl. Uhlíková stopa je jedním z indikátorů označovaných jako stopa, jiné jsou ekologická stopa, vodní stopa a půdní stopa. Uhlíkové stopě se věnuje zejména v posledních letech vysoká pozornost. Vždy je nutné hodnoty uhlíkové stopy posuzovat v souvislostech s dalšími vlivy na klima.

Do uhlíkové stopy města se počítají všechny uvolněné emise spojené s daným městem (domácnosti, podniky, továrny, atd.). Nezáleží na místě, kde emise vznikly (elektrina může být vyrobena daleko za hranicemi, ale uhlíková stopa je počítána městu), podobně výrobky spotřebovávané ve městě a dovezené i ze zámorí se započítávají do uhlíkové stopy města.

Skleníkové plyny jsou podle svého potenciálního příspěvku ke skleníkovému jevu atmosféry klasifikovány koeficienty globálního ohřevu (GWP), jehož jednotkou je příspěvek ke skleníkovému efektu jedné molekuly CO₂. Pomocí těchto koeficientů je možné určit tzv. ekvivalent CO₂ (zapisováno jako *CO₂ ekv.*), tedy množství CO₂, které by mělo ekvivalentní příspěvek ke skleníkovému jevu atmosféry stejný jako množství příslušného plynu.

Vliv jednotlivých skleníkových plynů na klima podle IPCC

Koncentrace CO₂ vzrostla od poloviny 18. století (preindustriální období) z hodnot kolem 280 ppm na hodnotu 380 ppm v roce 2005 a v současnosti (2018) dosahuje již hodnot vyšších než 400 ppm (ppm je jedna milióntina, tedy 10⁻⁶, například jeden mililitr je 1ppm v m³). Uvádí se, že 400 ppm CO₂ je pravděpodobně o nejvyšší hodnotu, které bylo za uplynulých 650 tisíc let dosaženo (hodnoty se v této minulosti pohybovaly v rozpětí přibližně 180 až 300 ppm). Nutno ovšem připomenout, že v geologických dobách byly koncentrace oxidu uhličitého mnohonásobně vyšší nežli dnes, například až 30% a teplota na Zemi nebyla extrémně vysoká. Míra nárůstu oxidu uhličitého vykazuje určitou meziroční variabilitu, průměrný roční nárůst koncentrace např. v období 1995 – 2005 byl 1,9 ppm, zatímco v období 1960 – 2005 1,4 ppm. Roku 1960 byly emise

CO₂ na obyvatele přibližně 3 tuny, roku 1990 4 tuny a roku 2010 necelých 5 tun. Podíl na kumulativních emisích CO₂ od roku 1751 byl v roce 2015 následující: USA 25,7 %, EU28 21,8 % (z toho Německo 5,9 %, UK 5 %, Francie 2,4 %, ... ČR 0,5 %), Čína 12,2 %, Rusko 6,4 %, Japonsko 4 %, Indie 2,9 %, Afrika 2,5 %, Kanada 2 %.^[51]

Koncentrace CH₄ se za stejné období zvýšily z přibližně 715 ppb na 1774 ppb a koncentrace N₂O z hodnot kolem 270 ppb na 319 ppb (ppb = 10⁻⁹). Fluorované uhlovodíky a fluorid sírový jsou látkami novými, které se v preindustriálním období nevyskytoval. Panel vědců publikoval v roce 2018 studii dokládající, že nesnížená produkce skleníkových plynů lidskou civilizací bude mít pravděpodobně za následek významnou změnu ve složení a biodiverzitě pozemských ekosystémů.

Vodní pára

Vodní pára se neustále tvoří a kondenzuje v relativně krátkém čase, její doba setrvání v atmosféře je velmi krátká (dny až týdny) na rozdíl například od CO₂, který v atmosféře setrvává velmi dlouho (desítky až stovky let). Od 65 % do 80 % CO₂ uvolněného do ovzduší se rozpouští v oceánech po dobu 20–200 let. Nejvíce CO₂ je uloženo v uhličitanu vápenatém v mořích a geologických vrstvách, do uhličitanu vápenatého se oxid uhličitý stále může ukládat, tento proces je urychlen fotosyntézou vodních rostlin, které odebírají oxid uhličitý, zvyšuje se pH a ve vodě se sráží uhličitan vápenatý. Vodní pára je skutečně nejdůležitějším skleníkovým plynem, protože se rychle v atmosféře obměňuje, není vodní pára zahrnuta mezi funkční skleníkové plyny. Vodní pára se v atmosféře mění v řádu desítek dnů, zatímco CO₂ vydrží v atmosféře desítky až sto let – obměňuje se pomalu. Podle IPCC proto nemá význam určovat CO₂ ekvivalent vodní páry. Četní vědci, včetně autora tohoto textu nesouhlasí se zanedbáváním efektu dynamiky vodní páry na klima. Vodní pára má podstatný vliv na energetickou bilanci planety Země nejen pro svůj vysoký vliv na „globální oteplování“ jako „skleníkový plyn“, ale také na změny celkového albeda Země v důsledku tvorby oblaků. Přitom v závislosti na globální a lokální optické hustotě oblačnosti a denní době může být vliv oblačnosti na tepelnou bilanci kladný i záporný. Absorpční pásy jednotlivých skleníkových plynů se překrývají, proto je jejich podíl na celkovém skleníkovém efektu proměnlivý kvůli tomu, že hlavní skleníkový plyn vodní pára (H₂O) má v nejvlhčích a horkých oblastech tropů až 100× vyšší koncentraci než v nejchladnějších polárních oblastech. Na vodní páru připadá 36 % až 70 % celkového skleníkového efektu atmosféry (dolní hodnota odpovídá její podílu, kdybychom vodní páru z atmosféry odstranili a horní hodnota stavu, když odstraníme všechny ostatní skleníkové plyny a zůstane jen H₂O), na CO₂ je to analogicky 9 % a 26 %, na metan 4 % a 9 % a na ozon 3 % a 7 % (je to v souladu s novějšími odhady účinku jednotlivých skleníkových plynů). Zatímco CO₂ a CH₄ jsou v atmosféře rozloženy vcelku rovnoměrně, vodní pára je soustředěna převážně v teplých oblastech Země a v dolní části troposféry (do výšky 2 km, přičemž do výšky 1,5 km je až 50 % z celkové vodní páry), ozón je rozložený v atmosféře mírně nerovnoměrně. **Stručně řečeno: zásadní pro klima je tvorba mraků. Při jasné obloze přichází na zem až 1000W.m⁻², při zatažené obloze i méně než**

100W.m⁻². Zvýšená koncentrace skleníkových plynů způsobila vzestup zpětného záření o 1 – 3W.m⁻² od roku 1750, tedy prakticky neměřitelnou hodnotu. Za jasné oblohy mrznou ráno květy stromů, protože teploty klesají pod bod mrazu následkem vyzařování tepla vůči chladné obloze. Místní klima výrazně ovlivňujeme množstvím vody v krajině, která je k dispozici pro výpar, tvorbu mlhy, rosy a drobných srážek.

Principy výpočtu uhlíkové stopy

Postupy stanovení emisí skleníkových plynů jsou kodifikovány v normě ČSN ISO 14064 – Skleníkové plyny, ISO 14067 – Uhlíková stopa výrobku, služeb i společnosti a mezinárodním standardem je GHG Protocol. Výpočty uhlíkové stopy nabízejí četné společnosti. Metodiku stanovení uhlíkové stopy podniku a postupy jejího snížení vypracoval například V. Třebický – C12, o.p.s.(2016). Existují různé přepočtové tabulky vycházející z absorpčních spekter skleníkových plynů a jejich radiační účinnosti udávané například pro CO₂ následovně: 1,37 x 10⁻⁵ W.m⁻² ppb⁻¹. Zvýšení koncentrace CO₂ o jednu miliardtinu (10⁻⁹, například mikrolitr v m³) zvýší zpětnou radiaci o 0,00001W.m⁻². Tyto nepatrné a hodnoty o neměřitelném efektu se potom násobí hodnotami reálných koncentrací a dělají se závěry o globálním klimatickém efektu. Opět: efekt zvýšené koncentrace CO₂ v atmosféře je neměřitelný.

K dispozici jsou tabulky uhlíkové stopy jednotlivých států. Podle některých údajů má obyvatel ČR uhlíkovou stopu 5tun CO₂/rok, novější tabulky uvádějí hodnotu dvojnásobnou 10tun/rok:

<https://knoema.com/atlas/ranks/CO2-emissions-per-capita>

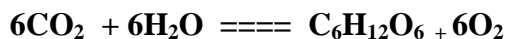
V této stručné studii se budeme držet jednoduchých principů povětšinou n úrovni středoškolského vzdělání. Vlastní výpočet uhlíkové stopy na jednoho obyvatele srovnáme s průměrnou hodnotou udávanou na obyvatele ČR (5tun – 10tun CO₂ na obyvatele a rok).

Hlavními zdroji oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů jsou

- a) Procesy spalování uhlí, nafty, zemního plynu přímé nebo prostřednictvím výroby elektrické energie. Pro jednotlivé druhy fosilních paliv jsou k dispozici tabulkové údaje, kolik CO₂ se uvolní při spálení jednotkového množství (tuny, kg); v některých případech je udáváno množství skleníkového plynu, které se uvolní při získání určitého množství energie (tCO₂/TJ, což je počet tun uvolněného CO₂ při zisku jednoho terajoulu (10¹² joulu). Pro biomasu včetně dřeva se uvádí nulová hodnota uvolněného oxidu uhličitého, protože se jde o rychle obnovitelné zdroje, předpokládá se, že se biomasa každým rokem obnovuje a opět v dalším roce spotřebuje/naváže uvolněné CO₂. **Emisní faktory pro hnědé uhlí 97 tCO₂/TJ, černé uhlí 90tCO₂/TJ, dálkové teplo 110 tCO₂/TJ, nafta 72,5 tCO₂/TJ, benzín 68 tCO₂/TJ, zemní plyn 56 tCO₂/TJ (CHMU). Budeme počítat 100tCO₂/TJ**
- b) Množství uvolněného oxidu uhličitého při výrobě elektrické energie je dáno složením zdrojů elektrické energie. V případě ČR se počítá více než 30% využití atomové energie, která má podle IPCC nulovou stopu uhlíku a podobně mají nulovou stopu uhlíku

obnovitelné zdroje z biomasy, vodní energie, větrná energie, fotovoltaika. Pro „mix elektrické energie ČR budeme počítat 450 gCO₂/kWh (CHMU)

Hlavními spotřebiteli skleníkových plynů jsou: rostliny, které z oxidu uhličitého vytvářejí svoji biomasu fotosyntézou. Opačným procesem fotosyntézy je dýchání/respirace, při které se kyslík spotřebovává a oxid uhličitý uvolňuje. **Platí stechiometrie základní rovnice fotosyntézy:**



Biomasa (molekula jednoduchého šestiuhlíkatého cukru C₆H₁₂O₆) má molekulovou hmotnost 180, šest molekul CO₂ má molekulovou hmotnost 264, šest molekul kyslíku 6O₂ má molekulovou hmotnost 192. Podle této rovnice se při vytvoření 1kg biomasy (sušiny) uvolní 1,06 kg kyslíku a spotřebuje 1,46 kg oxidu uhličitého. Tyto převodní faktory budeme používat k přepočtu množství vázaného oxidu uhličitého v biomase a uvolněného kyslíku při tvorbě biomasy.

Tabulky výpočtu uhlíkové stopy udávají násobně vyšší hodnoty, nežli uvádíme výše. V těchto hodnotách je započtena spotřeba rostlinné biomasy na tvorbu masa (tzv. sekundární produkce) a další procesy spojené s produkcí masa a úpravou potravin. V potravním řetězci je účinnost přeměny 10% (z 10kg trávy vytvoří králík 1kg masa, vše vyjádřeno v sušině). Níže uvedené hodnoty jsou z „kalkulaček uhlíkové stopy“, jsou to hrubé odhady, diskutabilní v rozsahu násobků samotných hodnot a dojemně (zcela špatně) jsou uváděny s přesností na dvě desetinná místa.

- 7,19 kg u lidí s vysokou konzumací masa
- 4,67 kg u lidí s nízkou konzumací masa
- 3,91 kg u lidí, kteří konzumují z masa pouze ryby
- 3,81 kg pro vegetariány
- 2,89 kg pro vegany

Základní úvaha pro stanovení uhlíkové stopy obyvatele města (Dačice)

Metabolická produkce CO₂: energetický výkon dospělého člověka se počítá 80 – 100W. Za den vykoná práci a vydá teplo okolo 2,4kWh. Počítáme 50% účinnost a 50% odpad, celkem energetická spotřeba osoby za den včetně odpadu na ČOV je 5kWh, což odpovídá 1kg sušiny. Je to mírně nadhodnoceno, tedy i s moučnící, pivem atd. Spotřeba jednoho kg biomasy je spojena s uvolněním 1,46 kg CO₂, za rok je to: 365 x 1,46 = **533 kg na osobu za rok**. Toto je skutečná produkce oxidu uhličitého (CO₂), korekce na produkci potravin, to znamená emise skleníkových plynů spojenou s produkcí a přípravou potravin započítáme zvlášť. Podle výše uvedené „uhlíkové kalkulačky“, by hodnota metabolické produkce obyvatele Dačic byla 1600kg CO₂/rok.

Spotřeba energie na otop a odpovídající emise CO₂: počítáme 20m² obytné plochy na osobu a 120kWh spotřebu energie na otop za rok. $20 \times 120 = 2400$ kWh spotřeba na otop na osobu a rok. Nezávisle na této úvaze Teplospol udal průměrnou roční spotřebu energie na byt 25GJ, tj. 6,94 MWh. Průměrná domácnost má 3 osoby, $6,94 : 3 = 2,315$ MWh. Oba odhady se pozoruhodně shodují, budeme počítat roční spotřebu energie na otop a ohřev vody 2,4MWh na osobu. Pro elektricky vytápěnou domácnost je to $450 \text{ (kg CO}_2\text{)} \times 2,4 \text{ (MWh)} = 1080 \text{ kg CO}_2$ na osobu a rok.

Pro uhlí se počítá s hodnotami 90 – 100 kg CO₂/GJ, u dálkového topení se počítá 110kg CO₂/GJ. Při spotřebě 8GJ na osobu a rok na otop a teplou užitkovou vodu bude produkce 800 kg CO₂.

V Dačicích lze počítat minimálně s tím, že obyvatelé využívají minimálně z 20% dřeva k otopu a jen malá část využívá elektrickou energii, proto počítám na otop a TUV 650 kg CO₂ osobu a rok.

Zemní plyn má poloviční uhlíkovou stopu ve srovnání s uhlím a elektřinou 55kg CO₂/GJ.

Spotřeba elektrické energie na svícení, přístroje, případně vaření je odhadnuta na 300kWh na osobu a rok, což je ekvivalent **135 kg CO₂**.

Doprava a produkce CO₂

Odhad spotřeby pohonných hmot na obyvatele je obtížný. Předpokládám 10 000km za rok autem na rodinu, což je ekvivalent 800 litrů benzínu. Předpokládáme tříčlennou rodinu, takže 270 litrů benzínu/nafty na osobu a rok. Spotřeba jednoho litru benzínu (nafty) je spojena s produkcí 2,3kg (2,7 kg) CO₂, uvažujeme 2,5kg CO₂ na spotřebovaný litr paliva. $2,5 \times 270 = 675 \text{ kg CO}_2$ produkovaného na individuální dopravu osoby a rok. Na veřejnou dopravu odhadujeme dalších 125kg CO₂. **Celkem se produkuje při dopravě na osobu a rok 800kg CO₂.**

Mezisoučet produkce kg CO₂ na osobu a rok

Metabolismus	530
Otop a TUV	650
Elektrická energie	135
Doprava	800
Celkem	2115 kg/osoba. rok (2,1t CO₂/osoba.rok)

Odhad uhlíkové stopy zboží v obchodech a produkce oxidu uhličitého spojené se stavebnictvím, službami a podnikatelskou činností vyžaduje analytická data, která nejsou k dispozici. Doplňme podle obecných údajů.

Diskuse

Uhlíková stopa průměrného občana ČR se uváděla okolo 5 tun na rok, oficiální přehledy nyní udávají, že v ČR je produkce CO₂ 10t na osobu a rok. Uhlíková stopa občana Dačic bez zboží, služeb, stavebnictví je pouhých 2115 kg. Odhaduji celkovou stopu na 4000kg CO₂/osoba. rok

Ideálem je uhlíkově neutrální společnost. Můžeme někde ukládat oxid uhličitý? Zásadní je ukládání uhlíku do rostlinné biomasy a do půdy. Na jednom hektaru půdy zásobené vodou naroste v našich podmínkách až 10 tun biomasy (sušiny). 4000 kg oxidu uhličitého je možné uložit do 2760 kg sušiny. Takové množství sušiny je možné uložit vhodným způsobem do půdy, která v současné době trpí nedostatkem organických látek. Půda o 1% obsahu organické hmoty obsahuje pod 1m² nejméně 5kg organické hmoty. 2760kg organické hmoty na 1ha představuje 0,28kg organické hmoty na 1m². Při takové rychlosti ukládání by se organická hmota v půdě zdvojnásobila za 18 let.

Závěr

Uhlíková stopa obyvatele Dačic byla odborným odhadem stanovena na 4tuny CO₂ za rok. Je to hodnota nižší nežli dříve uváděná pro občana ČR (5tun CO₂/rok) a podstatně nižší nežli se uvádí dnes (10tun CO₂/rok). Spotřeba energie, potravin a doprava jsou přiměřené. Při zachování principu zboží denní spotřeby pokud možno produkovat v místě, klesne uhlíková stopa dováženého zboží. Neutrální uhlíkové hodnotě se mohou obyvatelé Dačic přiblížit zvyšováním obsahu organických látek v půdě a podporou lesního hospodářství, tedy obnovou lesů (offset). Produkce rostlinné biomasy při dostatku vody dosahuje hodnot 3 – 10 tun/ha.rok. Základní bilance primární produkce (rostlinné biomasy), živin, distribuce sluneční energie, výparu vody a vysychání a změn teplot je předmětem diagnózy krajiny, kde navrhne zásady tlumení klimatické změny a redukce emisí CO₂.

PODKLADY

Údaje o primární produkci, stechiometrii fotosyntézy, obsahu organických látek v půdě, distribuci sluneční energie v krajině byly čerpány z vlastních odborných publikací a zpráv IPCC.

Aktuální zdroje informací o uhlíkové stopě dostupné na internetu

https://cs.wikipedia.org/wiki/Sklen%C3%ADkov%C3%A9_plyny

<https://ci2.co.cz/cs/uhlikova-stop-a-uradu>

<https://knoema.com/atlas/ranks/CO2-emissions-per-capita>

<https://www.theguardian.com/environment/datablog/2009/sep/02/carbon-emissions-per-person-capita>

C12, o.p.s. 2016, Metodika stanovení uhlíkové stopy podniku. Rudná, 46 stran

Třeboň prosinec 2018, aktualizováno v září 2019