

# Rozhledy matematicko-fyzikální

---

Ivo Volf; Petr Volf

Co může způsobit sedm miliard lidí?

*Rozhledy matematicko-fyzikální*, Vol. 85 (2010), No. 2, 13–20

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/146358>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2010

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

## Co může způsobit sedm miliard lidí?

*Ivo Volf, UHK, Petr Volf, PSJG Hradec Králové*

**Abstract.** Around the year 1810, there were about one billion people on the Earth and nature was in balance. There were no heat power-stations and no transport by heat engines. Today, there are 7 billion people on the Earth, who increase the quantity of carbon dioxide by their activity and who contribute to global increase of temperature. There are models of situations on secondary school level to obtain concrete idea about consequence of the global increase of temperature.

### 1. Několik slov úvodem

Podle populačních odhadů žila kolem roku 1810 na Zemi asi miliarda lidí, kteří se zabývali zemědělstvím, řemesly. V Evropě v té době probíhaly napoleonské války, ale žádné větší konflikty celosvětového charakteru se neprojevovaly. V různých světadílech (kromě Evropy) bylo poměrně malé osídlení projevující se nízkou hustotou obyvatelstva. Můžeme říci, že nebyl žádný motorový provoz, dopravu provozovaly dostavníky, lodní doprava probíhala na bázi plachetnic. Koncem 18. století se rozvíjely manufaktury, parní stroje se teprve začaly používat, bylo málo továren dnešního typu. Z pochopitelných důvodů nebyla v osídlených částech kontinentů ani jedna elektrárna, příroda byla schopna se vyrovnat se zásahy, jimiž lidé zasahovali do existující rovnováhy člověk-příroda.

Od té doby se situace velmi změnila. Pokud jde o počet obyvatel, odhaduje se, že dnes na povrchu Země žije asi 7 miliard lidí. V 19. století se podstatně změnil charakter výroby – první a následně i druhá průmyslová revoluce způsobily nejenom rozvoj průmyslové výroby, ale i industrializaci zemědělství, což se projevilo nejvíce během století dvacátého. Zařazení tepelných motorů (nejprve parní stroj, později motory spalovací) vedly k rozšíření těžby uhlí a ropy, a tím z chemického hlediska ke zvýšení nejen oxidačních jevů, ale také k silnému nárůstu oxidu uhličitého a dalších spalin v atmosféře. Připojme k tomu velký rozvoj dopravy – nejprve pozemní a námořní, ve dvacátém století ještě letecké. Sedminásobek počtu obyvatelstva na povrchu Země má za následek značnou urbanizaci, lidé se stali pohodlnějšími a vyžadují větší komfort. Na

druhé straně mizejí deštné pralesy, které sloužily jako plíce Země, musí se zvyšovat výměra zemědělské půdy, aby se lidstvo uživilo. Nejen to, zvyšuje se i počet hospodářských zvířat (dnes se odhaduje, že na světě je 1,3 miliardy hovězího dobytka, 2 miliardy domácí chovaných prasat) a industrializace zemědělství má za následek zvýšení energetické spotřeby.

Ve druhé polovině 20. století si začaly některé skupinky vědeckých pracovníků uvědomovat, že všechny tyto změny se musejí odrazit na parametrech, které popisují životní prostředí, jež nás obklopuje. Někteří vědci začali upozorňovat na to, že exponenciální trend změn povede zejména koncem století a následně ve století dalším, tedy v právě nastupujícím 21. století, k nevratným změnám a že je nutno se těmito problémy zabývat. Tyto problémy jsou však jako lavina – když začnou, většina aktérů si neuvědomuje následky, které se valem rozšiřují a strhávají s sebou další a další změny. Zpočátku jde o změny velmi malé. Když se během jednoho roku v Grónsku nevratně změní 240 km<sup>3</sup> ledu na vodu, pak si toho nikdo ani nevšimne – ale kdyby tyto změny nastávaly průběžně po desítky let za sebou, pak může dojít k roztátí ledu na povrchu Grónska a vzniklá voda začne zaplňovat pozemské oceány. Druhá skupina vědeckých pracovníků (a k nim se přiklání někteří politici) argumentuje tím, že sto roků není ve vývoji Země žádný velký časový interval, že přesná meteorologická data zatím tvoří jen krátkou časovou řadu údajů, že na Zemi dozívají vždy doby ledové a meziledové, takže není možné zodpovědně tvrdit, v jaké fázi vývoje Země se nacházíme, a tedy že není možno zodpovědně vytvářet další předpovědi. Politikové pak tvrdí, že vývoj lidské společnosti je k tzv. pokroku (lépe řečeno k pohodlí) nezadržitelný a že náklady na udržení dosavadního stavu životního prostředí naruší závažně vývoj celého lidstva.

Úkolem fyziky je mj. přenášet do běžného života lidí výsledky vědeckých výzkumů, nacházet vhodné aplikace, zlepšovat energetickou situaci... Neměli bychom zapomínat ani na jeden z hlavních úkolů školské fyziky – naučit žáky základních a středních škol myslet a uvažovat tak, jak jsou zvyklí fyzikové: všimnout si problémů, přesně je nazvat, analyzovat podmínky, vybrat vhodné fyzikální poznatky a zákonitosti, jichž lze při řešení využít, nejsou-li známa všechna fakta, pak si je opatřit dalším studiem, měřením nebo experimenty, navrhnout hypotézu či hypotézy k řešení, a konečně hypotézy potvrdit, nebo odmítnout a získané výsledky vhodně interpretovat. To, co jsme právě vyjmenovali, vede ke strategii řešení problémů a k vytváření modelů a modelových situací. Nikdy totiž nejsme schopni popsat celou pro-

blematiku v její úplné šíři, nýbrž vždy v určitém zjednodušeném po-dání.

Ekologické problémy, s nimiž se dneska již každodenně lidstvo setkává a musí se vyrovnávat, jsou právě takovou komplexně pojímanou situ-ací. V našem článku [2] o ledových jsme se některých problémů dotkli. Nyní je úkolem naznačit, jaké důsledky má vzrůst počtu obyvatel Země sedminásobně a jaké hrozby neuvážené počiny lidstva mohou přinést.

## 2. Ohřívání atmosférického vzduchu a oxid uhličitý v atmosféře

Atmosféra je vzdušný obal Země, který se vytvářel miliardy let; v prů-běhu času se měnila i skladba plynů, které atmosféru tvoří. V našem zjed-nodušeném modelu budeme předpokládat, že v atmosféře je asi 78 ob-jemových procent dusíku (to představuje 75,5 hmotnostních procent), 21 objemových procent kyslíku (23,1 hmotnostních procent) a jen 1,0 ob-jemové procento ostatních plynů, včetně vodní páry. Podle měření v roce 2007 je v atmosféře 0,038 objemových procent (tj. 0,048 hmotnostních procent) oxidu uhličitého. Atmosférický vzduch však s výškou mění tlak i teplotu, přičemž tyto závislosti nejsou jednoduché a pro změny teploty se matematicky vyjadřují obtížně.

### 2.1. Modelová situace 1: Odhad hmotnosti zemské atmosféry a obsahu $CO_2$

Na základě skutečností známých z výuky fyziky nebo zeměpisu určete hmotnost vzdušného obalu Země. Určete také, jaká je hmotnost oxidu uhličitého v ní rozptýleného.

*Řešení:* K problému lze přistoupit např. na základě informace, že kdyby bylo možno stlačit atmosféru k povrchu Země tak, že by měla všude stejnou hustotu, vytvořila by vrstvu vzduchu tloušťky  $h \doteq 9$  km silnou. Víme-li, že střední poloměr Země je  $R = 6\,371$  km, a tedy povrch Země je asi  $S = 510$  miliard  $km^2$ , objem této vzduchové vrstvy by byl přibližně roven  $V = Sh = 4,5 \cdot 10^9$   $km^3 = 4,5 \cdot 10^{18}$   $m^3$ . Hmotnost  $m$  vzdušného obalu Země pak určíme na základě známé hustoty, tj.  $m \doteq 5,3 \cdot 10^{18}$  kg.

Existuje i druhé řešení: vzdušný obal Země způsobuje vlivem zemské gravitace tlakovou sílu působící na zemský povrch, odkud lze určit tlak vzduchu  $p$ , který je měřitelný fyzikálními přístroji. Potom  $mg = pS$  a po dosazení nám vychází řádově stejný výsledek. Protože oxid uhličitý má větší hustotu, než je hustota vzduchu, je hmotnostní procentové zastou-

pení  $\text{CO}_2$  větší, než je uvedené objemové, tedy asi 0,048 %; po dosažení vychází hmotnost oxidu uhličitého v dnešní době v zemské atmosféře asi na  $2,5 \cdot 10^{15}$  kg.

### 2.2. Modelová situace 2: Dýchání lidí a vznik oxidu uhličitého

Podle lékařské literatury uskuteční muž 12–16 dechů za minutu, žena 16–20 dechů za minutu; vezmeme tedy střední hodnotu 16 dechů za minutu. Pokud je lidské tělo v klidu, dostane se do plic zpravidla 7 litrů vzduchu za minutu, což představuje vdech asi 250 ml kyslíku, výdech asi 15 ml oxidu uhličitého; při některých sportech nebo při těžké práci stoupá objem vdechnutého vzduchu až na 50–60 litrů za minutu. Zůstaneme-li u nějaké minimální hodnoty, budeme uvažovat asi 10 litrů vdechnutého vzduchu za minutu, což je 600 litrů vzduchu za hodinu a  $14,4 \text{ m}^3$  za den, při výdechu půjde v případě  $\text{CO}_2$  o 200 ml/min, 12,8 l/h a 305 l/den (všechny údaje jsou poněkud zaokrouhleny, hustota oxidu uhličitého je  $1,45 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

- Určete hmotnost oxidu uhličitého, který se dechem jednoho člověka dostane za den do ovzduší.
- Určete hmotnost oxidu uhličitého, který denně do ovzduší produkovala miliarda obyvatel Země kolem roku 1810. O jakou hodnotu oxidu uhličitého jde za celý rok?
- Jak se změnila situace, když uvážíte, že na Zemi žije 7 miliard lidí? O jakou hodnotu oxidu uhličitého jde za celý rok?

*Řešení:*

- Denní objem vydechnutého  $\text{CO}_2$  představuje  $14,4 \text{ m}^3$ , což znamená asi 21 kg.
- Miliarda obyvatel Země v období, kdy ještě nedocházelo k tak výrazným změnám životního prostředí, produkovala  $2,1 \cdot 10^{10}$  kg oxidu uhličitého denně, za rok jde o hodnotu  $7,7 \cdot 10^{12}$  kg (v porovnání s hmotností  $\text{CO}_2$  v atmosféře jde o 0,3 %, což v pohodě „zlikviduje“ fotosyntéza).
- Když je na Zemi 7 miliard lidí, zvětší se poslední hodnota sedmkrát, tedy celková hmotnost oxidu uhličitého přibývá denně o  $1,5 \cdot 10^{11}$  kg, ročně potom o  $5,5 \cdot 10^{13}$  kg, tedy změna je asi 2 %.

K tomu by bylo třeba připojit oxid uhličitý produkovaný asi jednou miliardou krav a 2 miliardami hospodářsky chovaných vepřů, metan a další skleníkové plyny. Ubývající deštné pralesy už na tyto změny stačit nebudou.

### 2.3. Modelová situace 3: Vzduch se ohřívá nejen slunečním zářením, ale i dýcháním lidí

Člověk zpravidla každým dechem v klidné poloze těla nadýchne 7 litrů vzduchu za minutu, což představuje minimálně 420 litrů za hodinu, což je přibližně  $10 \text{ m}^3$  za jeden den a to je  $3\,650 \text{ m}^3$  za rok. Učíme předpoklad, že vzduch před obličejem má teplotu asi  $17^\circ\text{C} \doteq 290 \text{ K}$ , teplota vydechujícího vzduchu je  $37^\circ\text{C} \doteq 310 \text{ K}$ . Měrná tepelná kapacita vzduchu  $1\,000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

- Kolik tepla produkuje jedna osoba vydechováním teplého vzduchu do atmosféry?
- Jak se změnila situace za posledních 200 let spolu se vzrůstem počtu obyvatelstva?

*Řešení:* Hustota vydechovaného vzduchu je  $1,15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , tedy za hodinu je hmotnost vydechovaného vzduchu asi 480 kg, který se v těle ohřál o  $20^\circ\text{C}$ , což představuje po rozptýlení vydechnutého vzduchu přírůstek tepla v okolí člověka  $9,6 \text{ MJ/h}$ , což je  $230 \text{ MJ/den}$  a to je  $8,4 \cdot 10^{10} \text{ J}$  za rok. Tento výsledek se nemůže projevit. V případě jedné miliardy lidí kolem roku 1810 šlo o  $8,4 \cdot 10^{19} \text{ J}$  za rok, ale v případě dnešního stavu lidstva to je již asi  $58,8 \cdot 10^{19} \text{ J}$ , což představuje asi 165 000 TWh, tedy asi necelý dvojnásobek roční výroby „elektrické energie“ všech typů elektráren České republiky.

### 2.4. Modelová situace 4: Elektrárny zahřívají atmosféru a produkuje oxid uhličitý

Světová produkce elektráren v roce 2007 byla 19 894 TWh, tj. přibližně 20 000 TWh, z toho 60 % pochází z tepelných elektráren. Tyto elektrárny spalují fosilní, plynná či kapalná paliva tak, že jejich účinnost je asi 35 %. Lze tedy soudit, že zbývajících asi 65 % tepla, získaného spalováním, se dostane do okolí elektráren jako spaliny, plyny, horká voda aj.

- Odhadněte, jaké teplo ve světovém měřítku tepelné elektrárny přejí svému okolí, tedy jak přispívají ke globálnímu oteplování.
- Protože jde o spalování fosilních paliv, jež jsou uloženy v „zásobách Země“, přidávají teplo navíc k běžnému koloběhu tepla dodávaného Sluncem naší Zemi. Jaké to musí mít důsledky?
- V článku [2] o ledovcích jsme ukázali, kolik tepla získává naše Země v důsledku záření Slunce. Zopakujme si postup řešení a porovnejme získané výsledky.

Řešení:

- Z celkové roční produkce elektrické energie 20 000 TWh asi 60 % připadá na produkci tepelných elektráren, tj. 12 000 TWh, což představuje při běžné účinnosti 35 % z celkové hodnoty tepla, které jsme získali spalováním fosilních paliv. Tedy 65 % „odpadového“ tepla představuje 22 300 TWh tepla, předaného okolí elektráren, popř. využitého k zahřívání bytů. Toto teplo, tedy přibližně  $8,0 \cdot 10^{19}$  J, se zúčastní ohřívání atmosféry.
- Vzhledem k tomu, že rovnováha přijatého a vyzářeného tepla byla již porušena a průběžně ji narušuje spalování fosilních paliv, povede to k postupnému globálnímu oteplení.
- Protože solární konstanta je  $1\,360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  a plošný obsah řezu zeměkoule je roven přibližně  $1,275 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$ , je výkon slunečního záření, dopadajících na přivrácenou zemskou polokouli, roven přibližně  $1,75 \cdot 10^{17} \text{ W}$ .

Poznámka: Když domyslíme, že 35 % tepla využitého k „výrobě elektriny“ se nutně využívá také k vaření, topení, svícení, mechanické práci strojů při obrábění (opět přenos tepla) a jiné průmyslové technologické činnosti, bude náš odhad tepla pro zvyšování teploty ještě větší. Jde ovšem jen o nedokonalé modely, protože jen velmi obtížně jsme schopni do bilance tepla zapojit všechny změny, které ve společnosti nastávají.

### 2.5. Modelová situace 5: „Ošklivé“ tepelné elektrárny

Česká elektrárna *Prunéřov* patří mezi několik tepelných elektráren Evropské unie, které nejvíce znečišťují životní prostředí, konkrétně jde o 1 070 t oxidu uhličitého na každou produkovanou TWh (1,07 g oxidu uhličitého na každou produkovanou kWh). V původní části tepelné elektrárny jsou instalována turbosoustrojí o celkovém výkonu 440 MW, v přístavbě EPRUII je pět agregátů, každý o výkonu 210 MW. Koefficient ročního využití se u tepelných elektráren počítá na 55 %, rok má 8 766 h.

- Určete elektrickou práci, která je pro spotřebitele k dispozici denně (ročně).
- Jaká je roční produkce  $\text{CO}_2$  u tepelné elektrárny Prunéřov?
- Určete denní (roční) spotřebu hnědého uhlí v této elektrárně, je-li výhřevnost uhlí  $H = 12 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$  a účinnost elektrárny 35 %.

*Řešení:*

- a) Elektrická práce na výstupu z elektrárny se určí podle vztahu  $W = kP\tau$ , kde  $P = 1490$  MW,  $\tau_1 = 24$  h (pro jeden den),  $\tau_2 = 8766$  h (pro jeden rok),  $k = 0,55$ . Odtud je  $W_1 \doteq 19,7$  GWh,  $W_2 \doteq 7184$  GWh.
- b) Produkce oxidu uhličitého za rok je přibližně  $m = 1070$  t  $\cdot 7,184 = 7687$  t.
- c) Vyjdeme ze vztahu  $mH\eta = W$ , čímž určíme denní spotřebu hnědého uhlí přibližně na 16 860 t, tj. 422 vagonů, roční spotřebu přibližně na  $6,16 \cdot 10^6$  t uhlí, tj. 154 000 vagonů.

Poznámka: Tepelná elektrárna Belchatów nedaleko Lodzi (Polsko) má turbosoustrojí o instalovaném výkonu 4 400 MW, vyrábí ročně 27 až 28 TWh elektrické práce, spaluje hnědé uhlí a produkuje 1,09 Mt/TWh. Určujeme-li roční produkci CO<sub>2</sub>, dojdeme k hodnotě 30 000 000 t.

### 2.6. Modelová situace 6: Svítíme i ve dne

Podle pravidel silničního provozu musí všechny automobily jedoucí po vozovce svítit po celý den dvěma potkávacími světly se žárovkami 12V/55W, zadní část musí být osazena krajními světly a osvětlením státní poznávací značky o celkovém výkonu 20 W. Předpokládejme, že automobil jezdí „za světla“ denně průměrně 2 hodiny po 300 dní v roce. Kolik benzínu spotřebují automobily jenom pro svícení při účinnosti motoru 22 %?

*Řešení:* Celkový výkon všech venkovních žárovek při jízdě automobilu je  $(2 \cdot 55 + 20)$  W. Proto je celková práce vykonaná při svícení po dobu celého roku  $0,130 \cdot 2 \cdot 300$  kWh = 78 kWh.

Protože 1 kWh = 3 600 000 J, je tato práce rovna přibližně  $2,8 \cdot 10^8$  J = 280 MJ. Při uvedené účinnosti a při dokonalém spálení 1 litru benzínu získáme 31 MJ, ale dokážeme využít jen 22 %, tj. získáme práci asi 6,8 MJ. Na svícení tedy ročně připadne pro jeden automobil spotřeba asi 41 litrů benzínu.

I když osvětlením i během slunečního dne jsou automobily možná při pohybu více zviditelněny, přesto při počtu jeden až dva milióny automobilů se jedná o značnou spotřebu benzínu, a následně o další oteplování atmosféry.



### 3. Závěrem

V článku jsme chtěli ukázat, že problematika postoje ke změnám životního prostředí není pouze problematikou biologickou nebo obsahem věd společenských. Není možno jen plakat nad tím, jak lidstvo postupně ničí svou rodnou planetu, ale musíme najít nástroje k pokud možno co nejpresnějšímu popisu charakteristik životního prostředí, k měření těchto charakteristik a poté, co zjistíme nepředvídané změny, musí nastoupit nápravná opatření. Ukazuje se, že to, co jiné vědecké disciplíny dokážou slovně vyjádřit, ve fyzice dokážeme změřit nebo vypočítat. Staří filosofové říkali: „Žádná věda nemůže být bez matematiky.“

Uvedené modelové situace nám umožňují jednoduchým způsobem popsat životní prostředí a najít jednoduché hypotézy, které můžeme prověřovat. Nebylo cílem dospět k nějakému záchrannému řešení, ale lidé by si měli uvědomovat, že i nepatrné změny, které jsou nevratným procesem, mohou jednou dosáhnout takových hodnot, že již nebude možné vrátit naši Zemi do situace, v níž bude rovnovážným systémem.

#### Literatura

- [1] Volf, I., Volf, P.: Opasno li tajanie ľdov. *Potencial* (Moskva), č. 8, 2008, s. 4–7.
- [2] Volf, I., Volf, P.: Ohrožuje i nás tající ledová pokrývka? *Rozhledy matematicko-fyzikální* **84**, č. 2, (2009), str. 17–22.
- [3] Volf, I., Volf, P.: Fyzikální pohledy na lidské zásahy do životního prostředí. In: *Sborník z konference Fyzika a etika*, Nitra, 2009.

Internetové zdroje:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_warming](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_warming)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_cooling](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_cooling)

[http://en.wikipedia.org/wiki/World\\_population](http://en.wikipedia.org/wiki/World_population)

<http://zfacts.com/p/812.html>

<http://www.osel.cz/index.php?clanek=4056>

<http://www.chts.xf.cz/index.php?id=obsah/slozovzdusi>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Mohave\\_Generating\\_Station](http://en.wikipedia.org/wiki/Mohave_Generating_Station)

[http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_power\\_stations\\_in\\_England](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_power_stations_in_England)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Cattle>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Pig>