

Environmentální fyzika

Renata Holubová

Olomoucký fyzikální kaleidoskop 2005

Ekologie a environmentalistika

Dva základní pojmy používané v běžné praxi a sdělovacích prostředcích jako synonyma

Častěji se používá pojmu ekologie ve smyslu environmentalistika
A pojem environmentalistika se nepoužívá vůbec

Environmentální fyzika

-globálními problémy lidstva, tedy hlavně jejich fyzikální podstatou a možnostmi jejich technického řešení
.....ohrožení biosféry (prostředí, ve kterém mohou existovat živé organismy) tedy i životního prostředí člověka.
Jsou způsobeny buď vlivem a účinkem přírodních (např. výbuchy sopky, zemětřesení, změna klimatu,...) nebo antropogenních faktorů.

Řešené problémy úzce souvisí se společností a s ekonomickým systémem společnosti.

Souvislost s ekonomickým systémem: zdroje energie a jejich přeměna v mechanickou energii a elektřinu jsou zdrojem znečištění na své cestě k využití v zemědělství, průmyslu, domácnosti. Je třeba měřit míru znečištění ve všech oblastech (hluk, znečištění vzduchu – změny klimatu, transport odpadů do míst vzdálených od zdroje jejich vzniku).

Většina problémů řešených environmentální fyzikou souvisí s **problémem energie.**

Život ve skleníku:

Život je ovlivněn určitými danými fyzikálními podmínkami-
povrch Slunce má teplotu asi 5800 K, emisní spektrum
má maximum při vlnové délce 500 nm odpovídající
energii fotonů 2,48 eV (vznik fotochemických reakcí),
vzdálenost Země – Slunce ($1,49 \cdot 10^{11}$ m) a poloměr Země
($6,4 \cdot 10^6$ m) vede k zachycení $0,46 \cdot 10^{-9}$ části
sluneční energie.

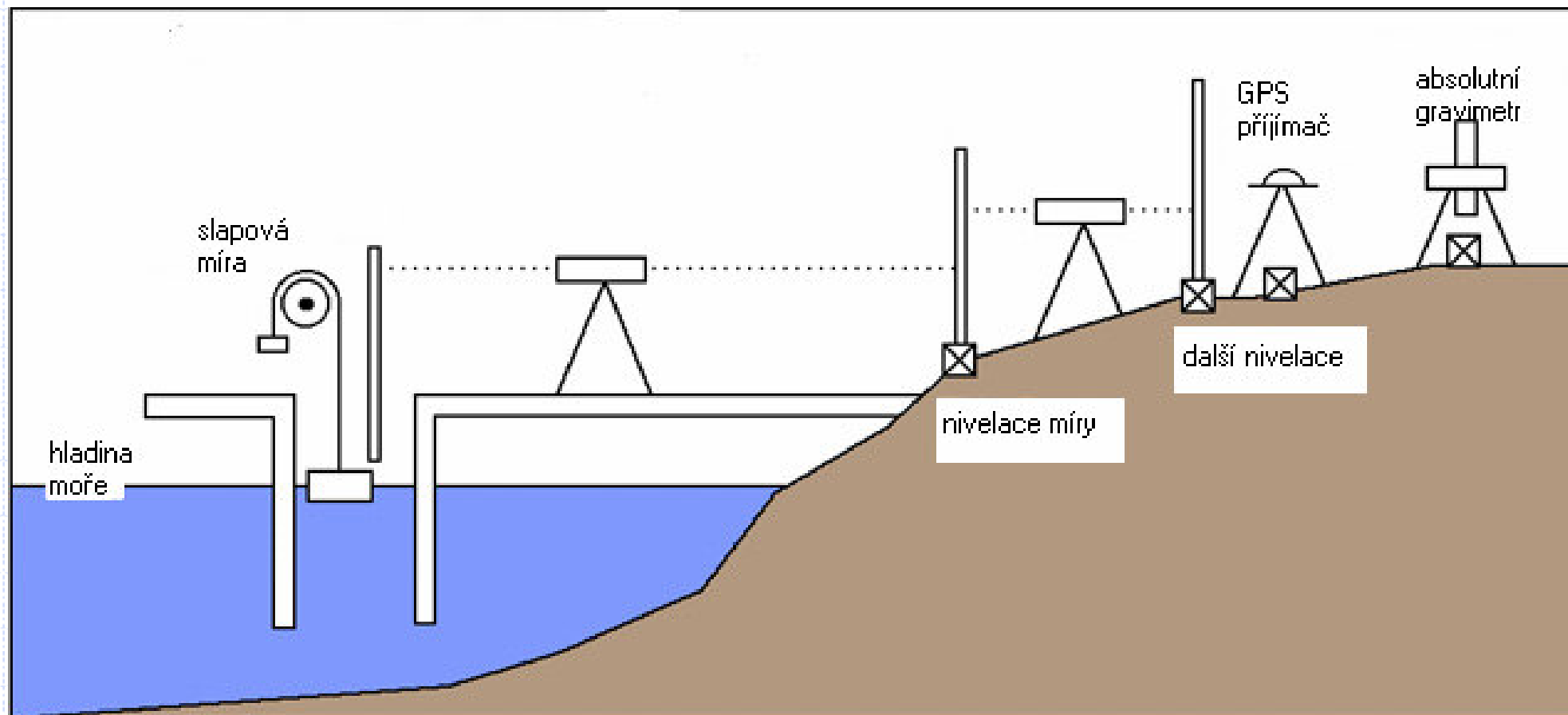
Předpokládáme-li, že Slunce září jako absolutně černé těleso
o poloměru $6,96 \cdot 10^8$ m a teplotě 5800 K, lze zjistit, že na Zemi
dopadá $1399 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ energie.

Aktuální hodnota solární konstanty je málo nižší $S \approx 1370 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.
Je to hodnota, která zajistí průměrnou teplotu povrchu zemského
288 K (15 °C).

Hmotnost Země

($6 \cdot 10^{24}$ kg) a její poloměr je právě taková,
že je schopna udržet atmosféru.

Úroveň hladiny moře – slapová míra



Za stacionárního stavu je energie absorbovaná od Slunce stejná jako energie vyzářená Zemí

(považujeme-li Zemi za AČT o teplotě asi 255 K).

Část energie Slunce je však odražena zpět do prostoru

- tzv. **albedo** a - difúzní koeficient reflexe.

Rovnice energetické rovnováhy má potom tvar ,

$$(1 - a)\pi R^2 S = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

kde $a = 0,34$.

Teplotní transport troposférou

- Atmosféra je plyn – termické a mechanické proměnné jsou vázané a jevy mechanické a termické je třeba studovat ve vzájemných souvislostech
- Nejdůležitější veličiny mají prostorové rozdělení, pracujeme s poli
- Parciální diferenciální rovnice popisující vztahy mezi proměnnými nejsou lineární – chaotická řešení

S krátkovlnným viditelným slunečním světlem přichází energie ze Slunce na Zemi.

Toto světlo prochází atmosférou a je absorbováno zemským povrchem. Přitom vzniká teplo, které konvekcí je transportováno vzhůru.

V emisní výšce spolu s dlouhovlnným světlem opouští Zemi.

Teplota v emisní výšce je asi $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tak je emitováno právě tolik IČ světla, kolik je třeba k vytvoření rovnováhy vzhledem k dodané entropie a energie od povrchu.

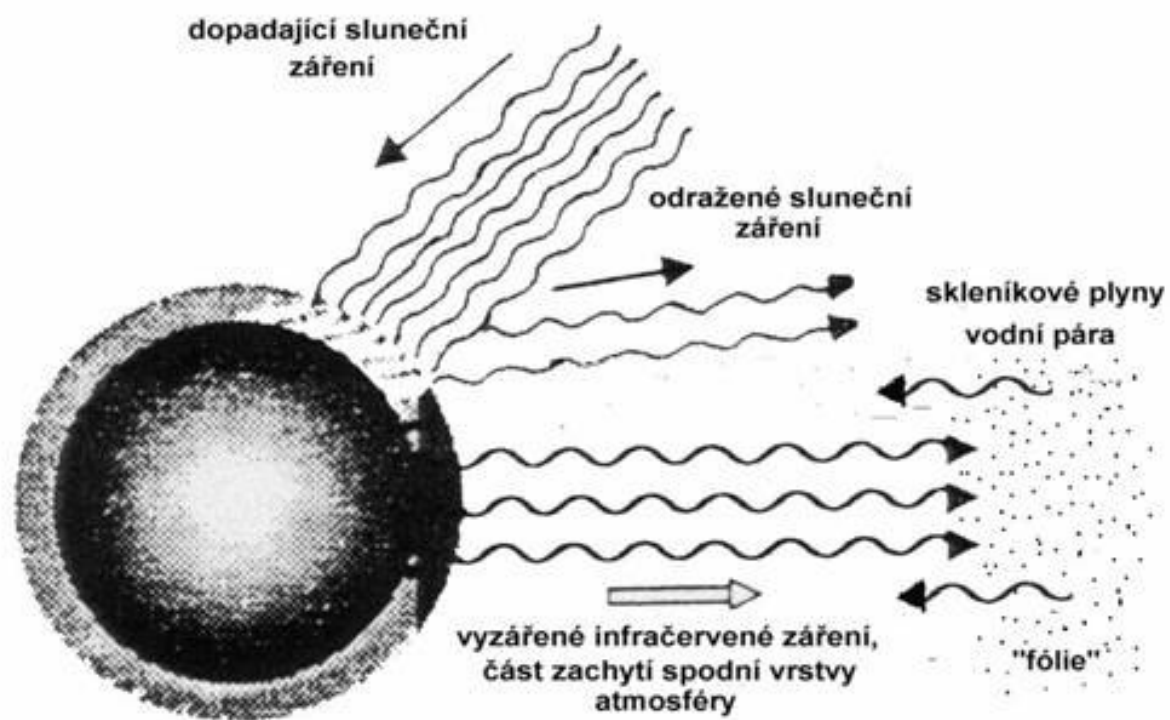
Platí Stefan-Boltzmannův zákon.

Na povrchu Země je teplota vyšší, asi $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Emisní výška

ve fyzice tzv. efektivní hustota atmosféry.
Jinak řečeno, je to tloušťka vrstvy pohlcující IČ záření;
závisí na vlnové délce.
Přibližná hodnota je 7 km na povrchem Země.

Základní mechanismus skleníkového efektu



Modely atmosféry na základě předchozích úvah

Model musí zodpovědět následující otázky:

Proč klesá teplota v troposféře směrem vzhůru ?

Který mechanismus transportu tepla je určující pro transport od povrchu Země do emisní výšky ?

Jak ovlivňují tzv. skleníkové plyny tento transport tepla ?

Tuhá (pevná) atmosféra

Atmosféra je popisována jako tepelná izolační vrstva Země. Uvažujme tedy, že Země je obklopena např. polystyrénem. Nyní si představíme, že zespodu topíme . Platí

$$j_E = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta s}$$

kde j_E je hustota energetického toku, λ koeficient tepelné vodivosti, Δs tloušťka tepelně vodivé vrstvy, ΔT rozdíl teplot.

Odhadneme teplotní gradient našeho modelu. Předpokládáme tok tepla jako u skutečné atmosféry, tj. $j_E = 157 \text{ W.m}^{-2}$.

Pro koeficient tepelné vodivosti vezmeme hodnotu pro polystyrén, tj. $\lambda = 0,03 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (přibližně stejný jako má vzduch) .

Tloušťku vrstvy máme 7000 m. Odtud $\Delta T = 37\,000\,000 \text{ K}$.

Model tekuté atmosféry

Pro myšlenkové experimenty definujeme **počáteční podmínky**:

- tekutina je dobře promíchána – rozdělení teploty je nezávislé na místě, tlak zůstává nehomogenní.

Voda, kterou zahříváme zespodu např. plotýnkovým vařičem, má homogenní rozdělení teploty; naopak voda zahřívána shora (např. infračervenou lampou) má konstantní vrstvení s velkým teplotním gradientem.

Je nyní tekutina zahřívána zespodu dobrým modelem atmosféry ?

Opět odpovíme : ne. Jeden z požadavků kladených na model není splněn, a to reprodukce teplotního rozdílu mezi dole a nahoře.

Náš první model dával velký rozdíl teplot, druhý model rozdíl nulový.

Model plynné atmosféry

Tlak je nehomogenní.

Teplota nehomogenní.

Stejně jako tlak i teplota klesá směrem vzhůru.

Ustaví se nejen stabilní gradient tlaku, ale i gradient teploty.

V případě, že vzduch neobsahuje vodu, má závislost teploty na výšce jednoduchý tvar – je lineární

$$T(z) = T(0) - (gM / c_p) \cdot z$$



teplotní spád 1 K na 100 m

Atmosféru zespodu zahříváme - konvekce

Při konvekci vzduchu se neustále mění jeho teplota – stoupá-li vzhůru, jeho teplota klesá, při poklesu teplota roste, stejně jako tlak.

Tím se nám podařilo nalézt funkční model.

Konvekce je sice dominantním, ale ne jediným způsobem transportu tepla.

Byla by jediným, kdyby byla atmosféra zcela neprostupná pro IČ záření.

To ale není pravda, neboť existuje atmosférické okno.

Tzn., že část tepla není transportována konvekcí, ale atmosférickým oknem je vyzářena přímo zpět do atmosféry

Vliv skleníkových plynů

- Plyn absorbuje mimo atmosférické okno – roste efektivní tloušťka atmosféry
- Plyn absorbuje v oblasti atmosférického okna – okno se zmenšuje (povrch Země se zahřívá)

Vodní pára, CO_2 a další tzv. **skleníkové plyny** patří k látkám, které absorbují dlouhovlnnou infračervenou složku záření, emitovanou zemským povrchem (záření s vlnovou délkou od 0,4 do 14,7 mm). Krátkovlnná část slunečního záření je absorbovaná jen v malé míře, naproti tomu červené paprsky viditelné části spektra, a zejména neviditelné dlouhovlnné infračervené záření (tzv. tepelné záření) je absorbované významně skleníkovými plyny. Krátkovlnná složka zahřívá zemský povrch, který na základě platnosti vyzařovacího zákona vysílá tepelné záření zpět do spodních vrstev atmosféry.

Atmosféra obsahující vodní páry, clonu oblaků, oxid uhličitý a další složky, toto záření nepropouští do kosmického prostoru, ale podstatnou část vrací zpět na zemský povrch.

Úroveň hladiny moře a globální oteplování

Koeficient teplotní roztažnosti mořské vody je roven $3 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

Zvýšení teploty moře o $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ zvětšení objemu vody o 0,03%

Uvažujeme-li hloubku prohřátí moře 500 m, máme $500 \text{ m} \times 0,03\% = 0,15 \text{ m}$

Zvýšení hladiny moří vlivem globálního oteplování je v průměru 10 cm.

Vliv tání ledovců

Antarktida – jižní pól – 90% světového ledu, $h = 2000 \text{ m}$, $t = -37 \text{ °C}$

 61 cm

Grónsko – vlivem vody z tajícího Grónského ledu mohutní oceán
O 50 miliard tun vody za rok

Vzhledem k anomálii vody má změna teploty dramatický vliv.

Největší hustotu má voda při teplotě asi 4 °C, pod a nad touto teplotou hustota klesá

(stejná hmotnost vody zaujímá větší objem). Zvětšení objemu vody vede ke zvýšení hladiny oceánů.

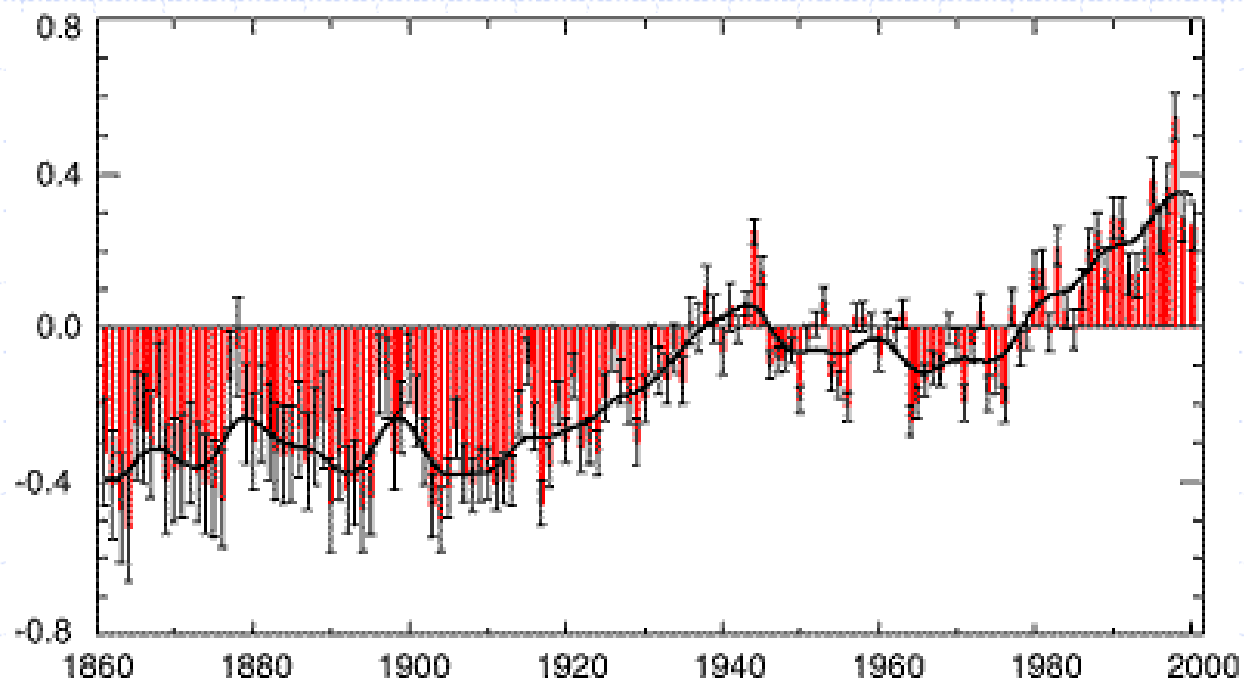
Voda z tajících ledovců má navíc jiné složení než mořská voda – má menší obsah solí

(menší koeficient solvatace), proto je lehčí a zůstává na povrchu mořské vody, která má větší hustotu.

Na základě analýzy dosud shromážděných dat byly učiněny předpovědi až do roku 2100.

Předpovídané zvýšení hladiny oceánů by mělo činit asi 50 cm (rozpětí je 15 až 95 cm).

[Hladina moře prez..doc](#)



Graf znázorňuje kolísání průměrných ročních teplot v atmosféře vzhledem k průměru let 1961-1990 během posledních 140 let. Na svislé ose jsou odchylky teplot od uvedeného průměru ve °C, na vodorovné ose jsou jednotlivé roky. Černá linka zaznamenává dlouhodobější trendy potlačováním náhlých krátkodobých výkyvů.

Ozón

Bariéra chrání biosféru před nadměrným působením UV záření,
vznikla před 2 miliardami let,
90 % ozónu je ve stratosféře (15 až 20 km nad povrchem Země),
10 % v přízemních vrstvách troposféry.

Vznik ozónu: $O_2 + O + M \rightarrow O_3 + M$
(M ... libovolná částice, např. N_2)

Vznik atomárního kyslíku ve stratosféře $O_2 + h\nu \rightarrow O + O$ ($\lambda < 242$ nm)
v troposféře $NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O$
(produkt provozu motorových vozidel)

Rozklad ozónu ve stratosféře

$X^\bullet + O_3 \rightarrow OX^\bullet + O_2$, $OX^\bullet + O \rightarrow O_2 + X^\bullet$
($X^\bullet$ radikál $Cl^\bullet$, $NO^\bullet$, $OH^\bullet$ aj).

Dobsonovy jednotky

1 D.j. je množství ozónu, které by za normální teploty a tlaku vytvořilo vrstvu o tloušťce 0,01 mm).

Lokální koncentrace přízemního ozónu se zjišťuje elektrochemicky, titračně, údaje jsou v $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ppb (1 ppb = $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Průměrná přírodní koncentrace je $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
(pro znečištění je doporučena limitní hodnota při osmihodinové expozici větší než $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

skleníkový plyn	vzorec	procentuální zastoupení v atmosféře	relativní účinnost	dosavadní nárůst	podíl na zvýšeném skleníkovém efektu
vodní pára	H ₂ O	0,2 - 3	1	?	kolem nuly
oxid uhličitý	CO ₂	0,036	1	31%	61%
metan	CH ₄	0,0002	21	20%	19%
oxid dusný	N ₂ O	0,00003	310	5%	6%
ozón	O ₃	proměnlivé	?	spíše úbytek	0%
halogenované uhlovodíky	CFC	$3 \cdot 10^{-8}$	asi 5000	veškeré množství v atmosféře	14% - nejisté
	HCFC	$1 \cdot 10^{-8}$	asi 5000		
	CF ₄	$1 \cdot 10^{-8}$	6500		
	HFC	10^{-10}	1300		

Zajímavý odkaz

◆ <http://www.pbs.org/wgbh/warming>

Úroveň hladiny moře – slapová míra

