

Klimatologie a hydrogeografie

Lekce 2

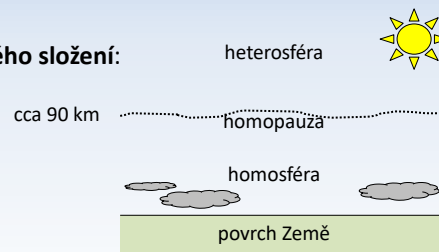
Chemické a fyzikální vlastnosti atmosféry,
Sluneční záření v systému
zemský povrch – atmosféra,
Teplotní režim atmosféry



RNDr. Jiří Jakubínský, Ph.D. | 16. 10. 2018

Fyzikálně-chemické vlastnosti atmosféry

- **atmosféra – plynný obal Země** tvořený zvláštní směsí plynů (→ vzduchem)
- hmotnost atmosféry $5,157 \cdot 10^{18}$ kg
- $\frac{1}{2}$ hmotnosti soustředěna do výšky 5–6 km nad zemským povrchem
- 99 % hmotnosti do výšky 30 km
- → **hustota vzduchu** s rostoucí vzdáleností od zemského povrchu **klesá**
- zhruba do výšky 80 km je chemické složení atm. relativně homogenní, ve vyšších vrstvách rozklad N_2 a O_2 vlivem krátkovlnného záření
- v oblasti přechodu do meziplanetárního prostoru převažují lehké plyny (zejm. He a H_2)
- členění atmosféry podle **chemického složení**:



Fyzikálně-chemické vlastnosti atmosféry

- základní plynné složky atmosféry

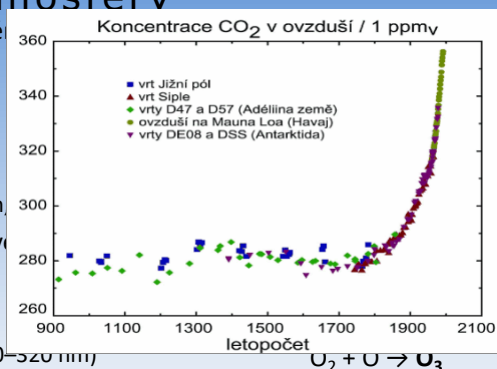
- N_2 – dusík (78,08 %)
- O_2 – kyslík (20,95 %)
- Ar – argon (0,93 %)
- CO_2 – oxid uhličitý (0,04 %)
- neon, hélium, metan, krypton

- časově a prostorově proměnlivost

- oceánská „zásobárna“ CO_2

- význam O_3 v atmosféře

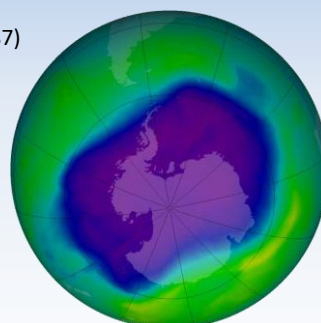
- pohlcování UV záření ($\lambda = 280-320 \text{ nm}$)
- 90 % ozonu ve stratosféře ve výšce 20–30 km (ozonoféra)
- troposférický ozon jako důsledek antropogenní činnosti (uvolněné oxidy dusíku a uhlovodíky) – negativní dopady na člověka (zejm. dýchací ústrojí), významný skleníkový plyn
- ozon měřen v DU
- úbytek stratosférického ozonu jako projev globální změny klimatu

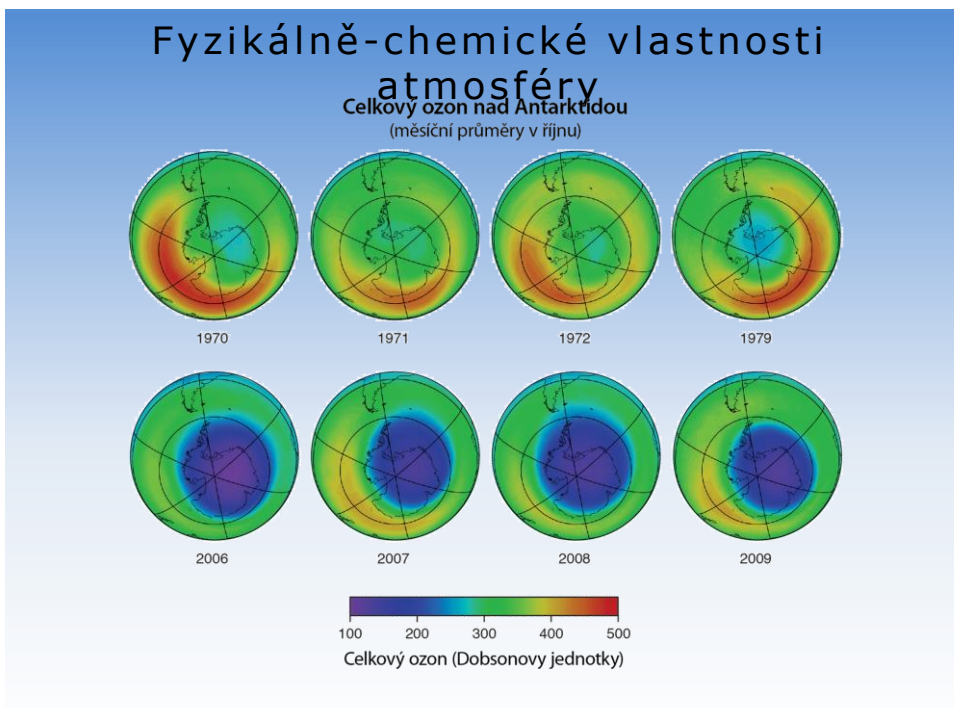
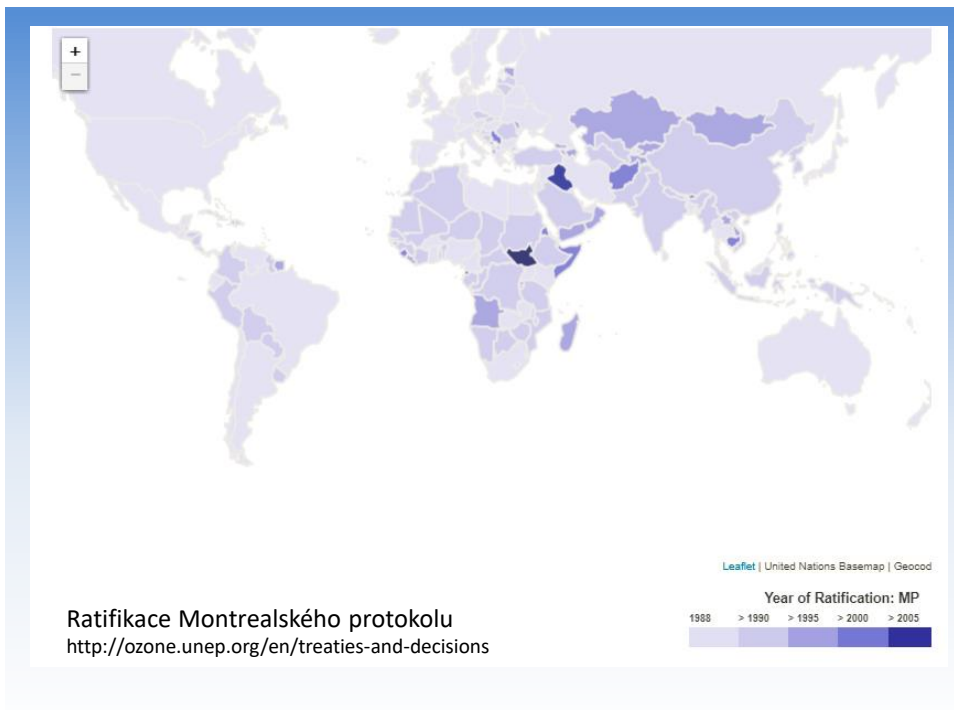


Fyzikálně-chemické vlastnosti atmosféry

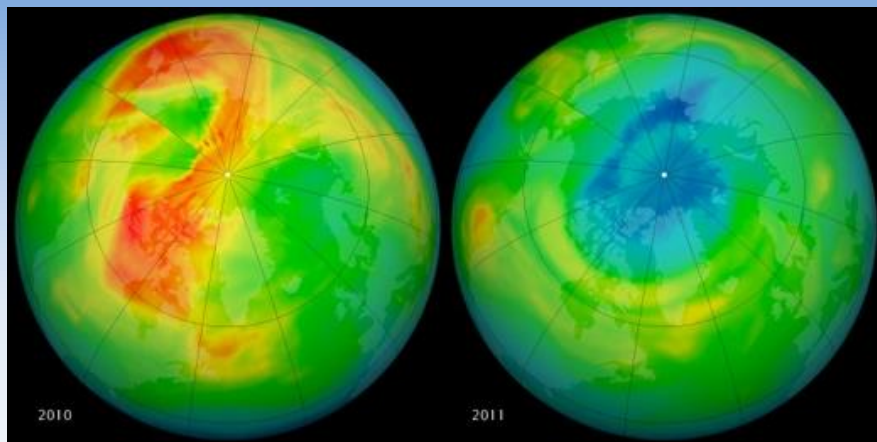
- ozonová díra

- pozorování od 80. let 20. století
- Antarktida (září až listopad), J Amerika, Austrálie, Arktida, S Evropa (jaro 2011)
- princip vzniku ozonové díry:
 - halogenované uhlovodíky (freony, CFC) pronikají do stratosféry, kde se z nich odštěpuje chlór, který katalyticky rozkládá ozon
 - zeslabená vrstva ozonu umožňuje průnik UV-B a UV-C (karcinogenního) záření
 - řešení problému: Montrealský protokol (1987)
 - freony v atmosféře však vydrží stovky let



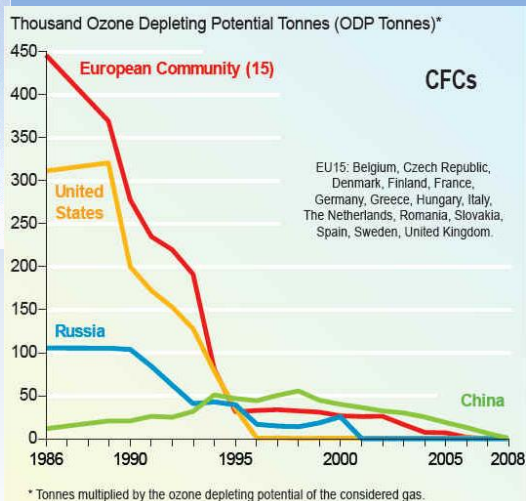
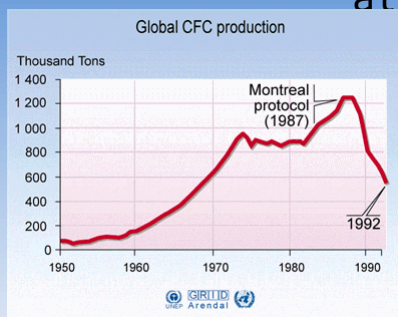


Fyzikálně-chemické vlastnosti atmosféry

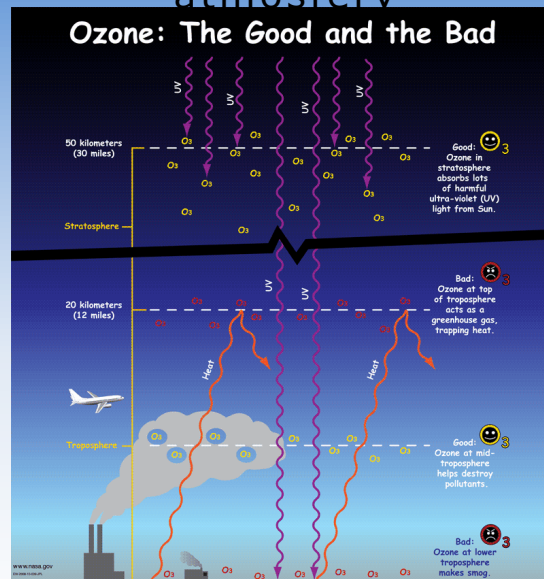


koncentrace ozonu nad Arktidou v březnu 2010 a 2011

Fyzikálně-chemické vlastnosti atmosféry



Fyzikálně-chemické vlastnosti atmosféry



Fyzikálně-chemické vlastnosti atmosféry



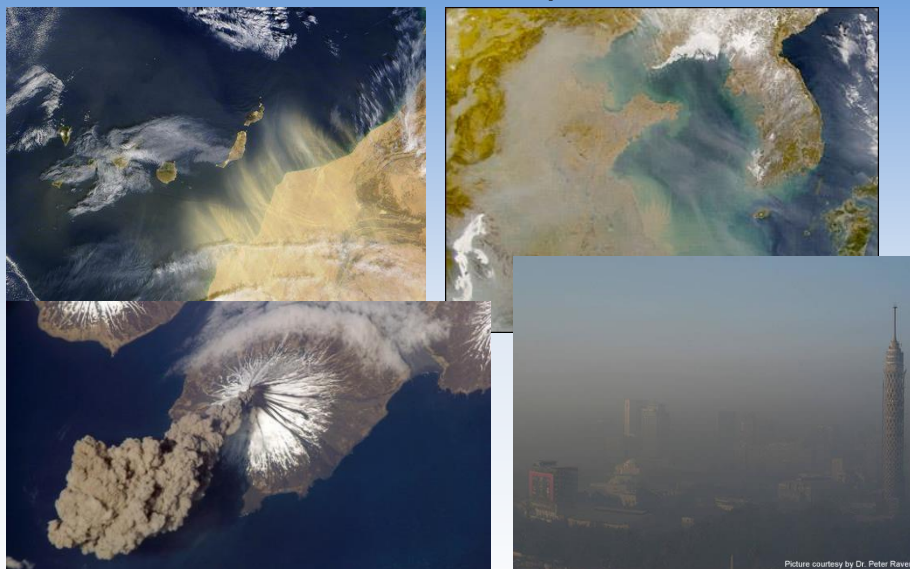
Fyzikálně-chemické vlastnosti atmosféry

- **vodní pára v atmosféře**
 - zásadní **klimatický význam** (pohlcování dlouhovlnného záření)
 - s výškou obsah vodní páry rychle klesá
 - průměrný obsah vodní páry **2,6 %**
 - 1,3 % (mírný podnebný pás, v zimním období 0,4 %) až 4,0 % (vlhké tropy)
 - obsah vodní páry ovlivňuje zastoupení ostatních komponent v atmosféře
 - např. složení vlhkého ekvatoriálního vzduchu je: N₂ – 76,06 %, O₂ – 20,40 %, **H₂O – 2,60 %**, Ar – 0,91 %, CO₂ – 0,03 %

Fyzikálně-chemické vlastnosti atmosféry

- **atmosférické aerosoly**
 - **přirozené**
 - **kosmický prach** (meteoritické částice)
 - **vulkanický prach** (až do výšky 50 km, snížení intenzity přímého slunečního záření)
 - **kouřové částice** (lesní a rašeliništní požáry)
 - **částice z povrchu půdy a moře** (různý původ i rozměry, do atm. při písečných a prachových bouřích či při vlnění mořské vody)
 - **aeroplankton** (pyl, bakterie, atd.)
 - **antropogenní**
 - **pevné částice** (např. saze) vypadávají rychle a znečišťují zemský povrch
 - **plynné příměsi**
 - časté **toxické účinky** na živé organismy
 - **zdroj:** průmyslové oblasti, vytápění domů a bytů, automobilová a letecká doprava, atd.
 - např. spalování uhlí a nafty – SO₂ oxid siřičitý (→ H₂SO₄), CO oxid uhelnatý, NO_x oxidy dusíku, atd.
 - dálkový **přenos větrem**, vymývání srážkami
 - unášené částice se stávají **kondenzačními jádry** atmosférických srážek
 - maximální koncentrace v přízemní atmosféře a v blízkosti tropopauzy

Fyzikálně-chemické vlastnosti atmosféry



Vertikální členění atmosféry

- **dělení atmosféry podle změny teploty vzduchu s výškou**
 - **troposféra**
 - vrstva od zemského povrchu do výšky **11–17 km** (nejvýše mezi 42° s.š. a j.š.)
 - pokles teploty vzduchu o **0,65 °C / 100 m**
 - 75–90 % celkové hmotnosti atmosféry
 - intenzivní **vertikální pohyby** vzduchu (→ vznik hydrometeorů)
 - formování **různých vzduchových hmot** vlivem charakteru AP, oddělených přechodnými vrstvami – **frontami**
 - převládající západní směr proudění
 - oblasti **tryskových proudění** („jet stream“) – v pásmech mezi 25°-70° s.š. a j.š., v blízkosti tropopauzy, rychlosti proudění až 200 m.s⁻¹
 - troposféra od nadložní stratosféry oddělena **tropopauzou** (mocnost 0,3-1,5 km) – nárůst teploty vzduchu (inverze teploty) nebo izotermie
 - horizontální výměna vzduchu mezi svrchní troposférou a spodní stratosférou v oblastech přerušené tropopauzy (vlivem jet streams)

Vertikální členění atmosféry

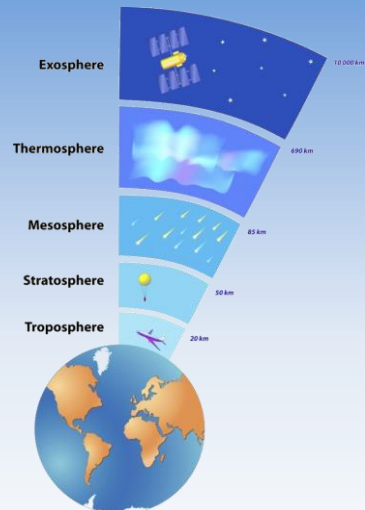
- **stratosféra**
 - tropopauza až **50–55 km**
 - spodní stratosféra: **izotermie**
 - od zhruba 25 km **nárůst teploty vzduchu** (pohlcování záření O₃)
 - nepatrný obsah H₂O
 - **perleťová oblaka** (výskyt ve výškách 20–25 km ve vysokých z. š.)
 - **stratopauza**
- **mezosféra**
 - stratopauza až **80–85 km**
 - **pokles teploty vzduchu** s výškou (až na -100 °C na horní hranici)
 - **stříbřitá (světélkující) oblaka** – výskyt v létě ve formě tenké a průsvitné vrstvy oblak, shluk jemných ledových krystalků nebo kosmického prachu
 - bolidy – velmi jasné meteory
 - **mezopauza**

Vertikální členění atmosféry

- **termosféra**
 - mezopauza až zhruba **800 km**
 - prudký **nárůst teploty vzduchu** s výškou (150–200 km: 500 °C, 500–600 km: ±1500 °C)
 - **polární záře**
 - **ionizace vzduchu** (svrchní mezosféra a termosféra)
 - působením UV a korpuskulárního slunečního záření dochází k odštěpení elektronů od neutrálních atomů a molekul vzduchu, které získávají kladný náboj; uvolněné elektrony se připojují k jiným a získávají záporný náboj
 - kladně a záporně nabitě atomy a molekuly = ionty
 - vysoká koncentrace iontů způsobuje elektrickou vodivost plynů – vliv na šíření rádiových vln
 - **ionosféra**

Vertikální členění atmosféry

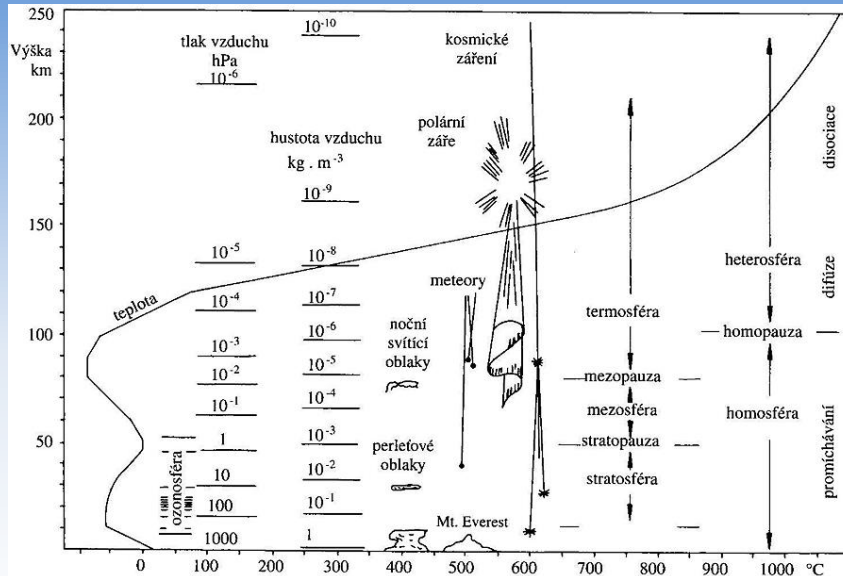
- **exosféra**
 - vnější část atmosféry nad 800 km
 - velmi vysoké rychlosti částic vzduchu, které překonávají gravitační sílu Země a dostávají se do meziplanetárního prostoru
 - vnější mez zemské atmosféry bývá kladena do vzdálenosti 20–40 000 km (zemská koróna)



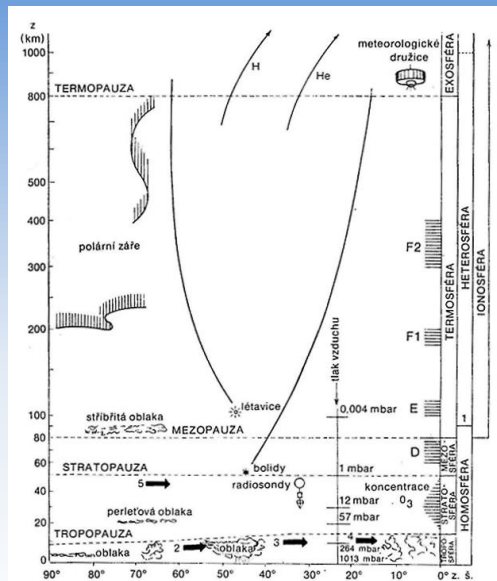
Vertikální členění atmosféry



Vertikální členění atmosféry



Vertikální členění atmosféry



Vertikální členění atmosféry

- v závislosti na **interakci AP a zemské atmosféry** se atmosféra dělí na:
 - **planetární mezní vrstvu**
 - vliv AP a síly tření na pohyb vzduchu
 - vliv tření zaniká cca ve výšce 1,5 km nad zemských povrchem
 - nejnižší část mezní vrstvy o mocnosti desítek metrů (50–100m): **přízemní vrstva atmosféry** (Prandtlůva vrstva)
 - laminární proudění vzduchu nad aerodynamicky hladkými povrchy (vodní hladina, sněhová pokrývka, apod.)
 - **volnou atmosféru**
 - fyzikální děje téměř bez vlivu AP

Vertikální členění atmosféry

- **členění podle fyzikálně-chemických procesů:**
 - **neutrosféra**
 - od zemského povrchu do výšky cca 70 km (troposféra, stratosféra, část mezoféry)
 - malá koncentrace iontů → radiové vlny se zde neodrážejí
 - **chemosféra**
 - cca 40 až 70–100 km (část stratosféry, mezoféra a část termosféry)
 - fotochemické reakce (molekuly O_2 , O_3 a N_2) vlivem slunečního záření (zejm. UV)
 - **ionosféra**
 - od cca 70–80 km výše (horní část mezoféry a termosféra)
 - vrstvy s velmi vysokou koncentrací iontů (70–80 km, 100–120km, 180–200 km a 300–400 km)
 - [viz předchozí informace]

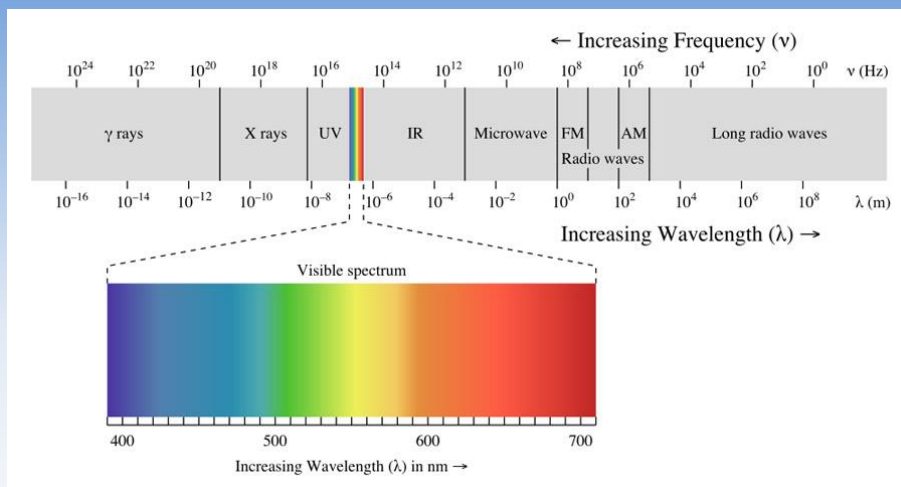
Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra

- **sluneční záření** = základní a prakticky jediný zdroj energie v planetárním systému
- ostatní energetické zdroje (geotermální energie, energie elektrických výbojů a magnetických bouří v atm., energie kosmického záření či záření hvězd) = 0,024 %
- energie slunečního záření je transformována na jiné druhy energie – tepelnou, elektrickou, pohybovou a energii dlouhovlnného záření
- Slunce je zdrojem **elektromagnetického a korpuskulárního (částicového) záření**
- **intenzita elektromagnetického záření Slunce [W.m⁻²]**
- úhrnná intenzita za časový interval [Wh, kWh]
- většina záření Slunce (99 %) v intervalu vlnových délek (λ) **0,1–4,0 μm → krátkovlnné záření**

Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra

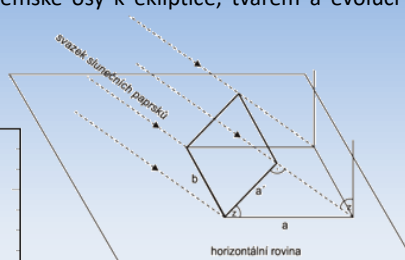
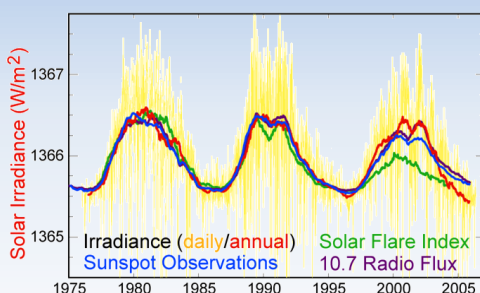
- **spektrum elektromagnetického záření Slunce** dle vlnových délek:
 - $\lambda < 0,40 \mu\text{m}$ – **ultrafialové záření** (6,7 %)
 - $0,40 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,76 \mu\text{m}$ – **viditelné záření** (46,8 %)
 - $\lambda > 0,76 \mu\text{m}$ – **infračervené a tepelné záření** (46,5 %)
- **solární konstanta (I_s)** – celková intenzita elektromagnetického záření Slunce, dopadajícího na horní hranici atmosféry, na jednotkovou plochu kolmou k paprskům při střední vzdálenosti Země od Slunce
- $I_s = 1367 \text{ W.m}^{-2}$ ($\pm 3,3$ % - perihélium / afélium)
- kolísání hodnoty I_s v souvislosti s proměnami sluneční aktivity v čase (11letý cyklus)
- **intenzita částicového záření Slunce** (elektrony, protony) je podstatně nižší než elektromag. záření a proniká jen do vysoké atmosféry (způsobuje ionizaci vzduchu, vznik magnetických bouří a polární záře)
- **insolace** = intenzita přímého slunečního záření dopadajícího na horizontální plochu, závislá na zenitové vzdálenosti Slunce → proměnlivá v rámci dne, roku i místa na zemském povrchu

Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra



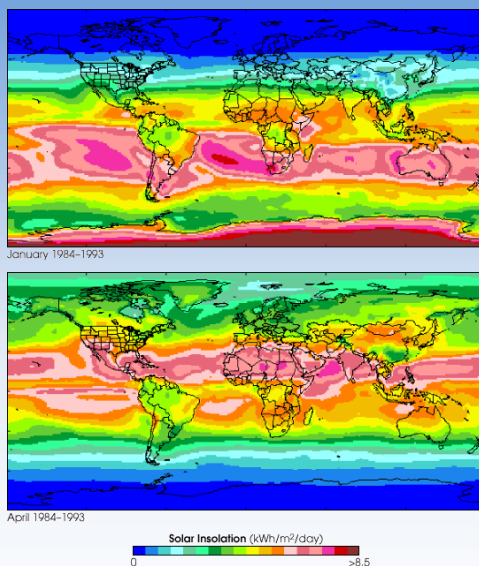
Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra

- **extraterrestrální insolace** – insolace na horní hranici atmosféry, jejíž roční režim nazýváme jako **solární klima**
 - intenzita insolace je dána sklonem zemské osy k ekliptice, tvarem a evolucí Země a závisí na zeměpisné šířce

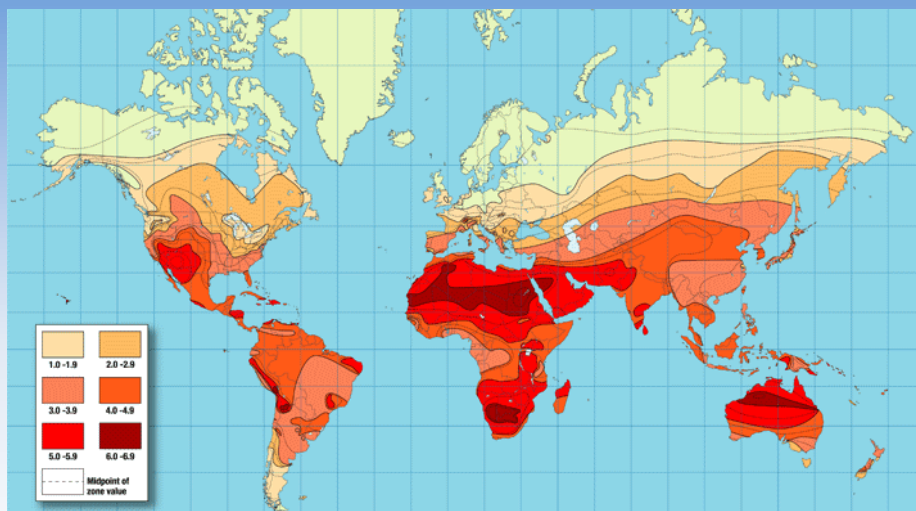


zdroj: Netopil (1984)

Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra

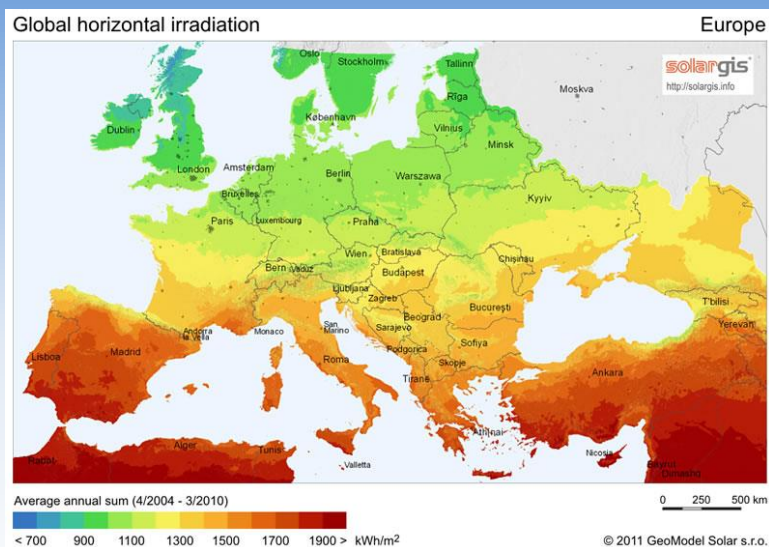


Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra



Solární insolace na zemském povrchu [kWh.m⁻².den⁻¹], zdroj: NASA.

Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra



Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra

- změna kvantitativních a kvalitativních vlastností slunečního záření během průchodu atmosférou (atmosférická extinkce):
 - **pohlcování záření**
 - **rozptyl záření**
- souvisí s délkou dráhy paprsků v atmosféře, hustotou vzduchu a obsahem příměsí v atmosféře
- **refrakce paprsků** vlivem změny optické hustoty vzduchu
 - **Snellův zákon** (při šíření záření z prostředí opticky řidšího do opticky hustšího prostředí se paprsky lámou směrem ke kolmici – tzv. lom ke kolmici)
- **pohlcování slunečního záření v atmosféře**
 - **selektivní charakter** (zejm. v UV a IR části spektra)
 - v čisté a vlhké atmosféře při poloze Slunce v zenitu činí zmenšení intenzity přímého záření pohlcováním zhruba **6–8 %**
 - pohlcování probíhá zejména vlivem H₂O, N₂, O₂, O₃ a CO₂
 - zářivá energie je přeměněna na **energii tepelnou**, částečně také elektrickou → **zahřívání atmosféry a zesilování skleníkového efektu** atmosféry
 - pohlcováno je i **dlouhovlnné záření** zemského povrchu (snižování tepelných ztrát v noci)

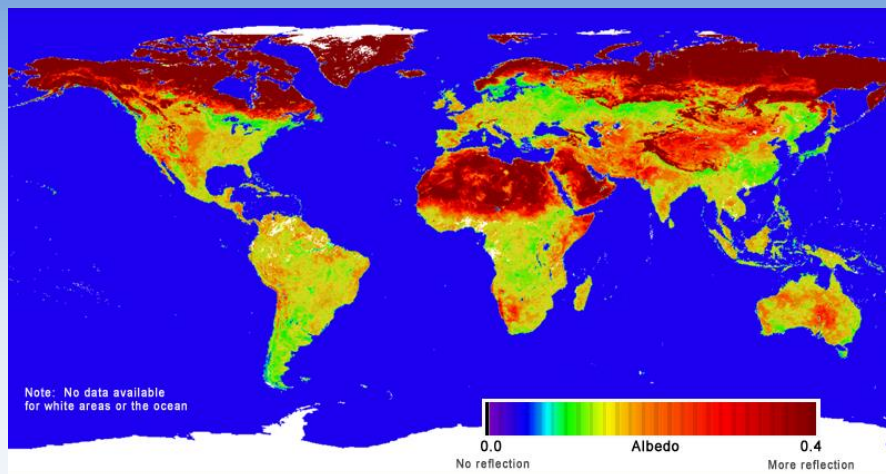
Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra

- **rozptyl (difúze) slunečního záření v atmosféře**
 - na molekulách a atomech plynů ve vzduchu (**rozptyl molekulární / Rayleighův**)
 - na kapalných a pevných částicích (**rozptyl aerosolový**)
 - rozdílná rozptylová indikatrix
 - rozptýlené záření se šíří **všemi směry**
 - pro **intenzitu molekulárního rozptylu** platí **Rayleighův zákon** (čím kratší vlnová délka, tím výraznější rozptyl záření)
 - maximum rozptýleného záření v modré části spektra (→ zbarvení oblohy)
 - maximum intenzity přímého slunečního záření na zemském povrchu ve žlutozelené části spektra
 - změna zbarvení vycházejícího a zapadajícího Slunce a Měsíce (oranžová až červená barva) – během dlouhé dráhy paprsků atmosférou dochází k rozptylu záření zelené a modré barvy
 - **aerosolový rozptyl** není tak závislý na λ jako rozptyl molekulární – nedochází ke změně spektrálního složení (oblaka a mlha mají bílé až šedé zbarvení)
 - **intenzita rozptylu obecně klesá se vzrůstající výškou** (nízký obsah příměsí) – tmavě modré zbarvení oblohy

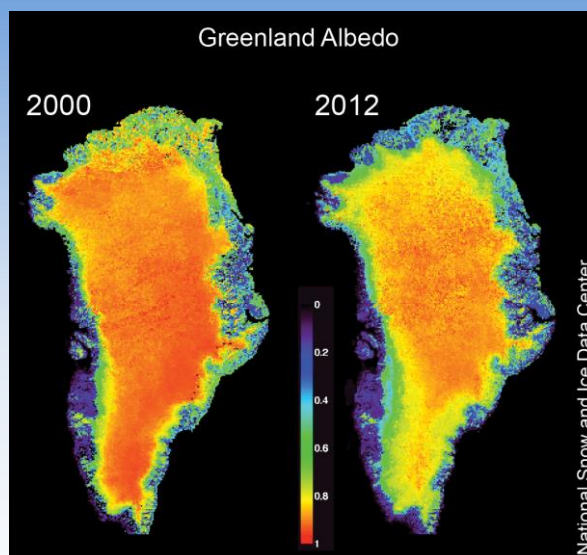
Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra

- **druhy záření na zemském povrchu**
 - **přímé sluneční záření** (krátkovlnné)
 - **rozptýlené záření** (krátkovlnné)
 - **odražené záření** (dlouhovlnné – IR a tepelné)
 - ve vzduchu pohlcováno až 70% záření přítomností CO_2 a H_2O (vyjma $\lambda = 8\text{--}12 \mu\text{m}$ → „**atmosférické okno**“)
 - dlouhovlnné záření lze dělit na **tepelné vyzařování Země** a **zpětné záření atmosféry** (rozdíl obou záření představuje **efektivní vyzařování Země**)
 - zachycování dlouhovlnného záření AP atmosférou způsobuje oteplování Země (→ **skleníkový efekt**)
 - **albedo** - poměr mezi intenzitou celkového záření odraženého a dopadajícího, vyjádřené obvykle v procentech
 - albedo nejvíce **závisí na zbarvení povrchu** (struktura, vlhkost), **vlnové délce záření** a **úhlu dopadu přímého záření** (s rostoucí zenitovou vzdáleností Slunce roste albedo → největší při východu a západu Slunce)
 - albedo oblaků (55–75 %), čerstvého sněhu (70–90 %), suchého písku (37 %), vlhké ornice (14 %), povrchu oceánu (2–7 %)
 - **průměrná hodnota albeda Země = 30 %**

Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra



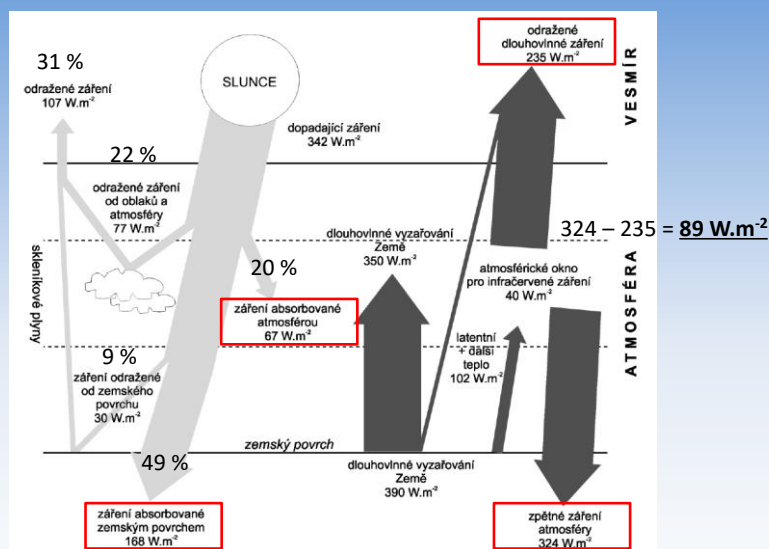
Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra



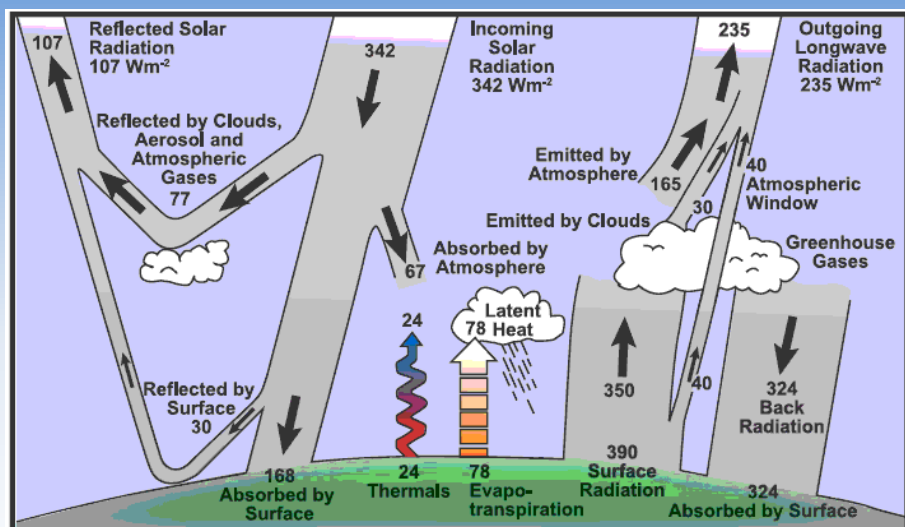
Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra

- **intenzita záření na zemském povrchu (insolace)**
 - roste s intenzitou extraterestrálního slunečního záření na horní hranici atmosféry
 - klesá s rostoucí zenitovou vzdáleností Slunce
 - roste s propustností atmosféry
- **radiační (energetická) bilance Země**
 - toky energie v rámci úplného klimatického systému Země
 - dlouhodobě vyvážené množství energie v klimatickém systému
 - viz schéma

Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra



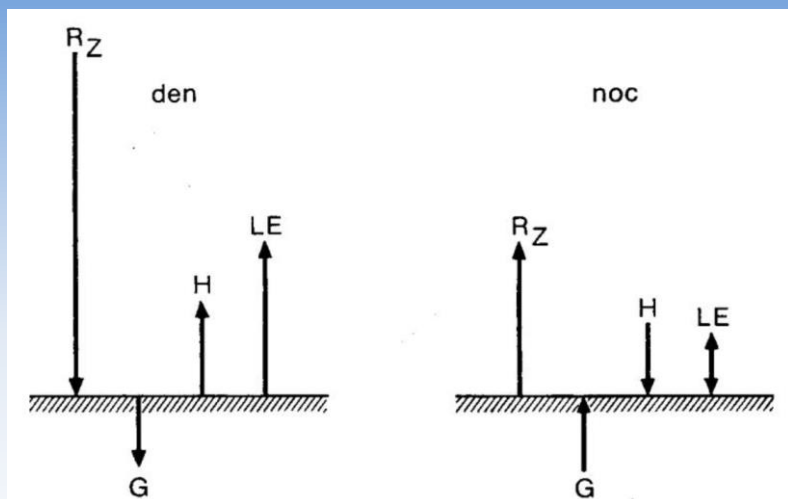
Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra



Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra

- způsoby transportu tepelné energie v rámci soustavy AP – atmosféra:
 - **turbulentní tok tepla (H)**
 - neuspořádaný vírový pohyb v atmosféře, probíhající v době insolace ve směru do atmosféry a mimo insolaci ve směru z atmosféry k AP
 - **latentní tok tepla (LE)**
 - výpar a kondenzace vodní páry na AP, max. v poledne, min. v noci
 - charakter turbulentního pohybu
 - **tok tepla do/z podloží AP (G)**
 - přímo úměrné tepelné vodivosti povrchu a změně teploty s hloubkou, v době insolace směřuje do AP a v noci do atmosféry
 - **molekulární vedení (M)**
 - transport tepla dotykem jednotlivých molekul vzduchu
 - z důvodu malé intenzity se zanedbává
- **rovnice energetické bilance aktivního povrchu:** $R_z = H + LE + G$

Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra

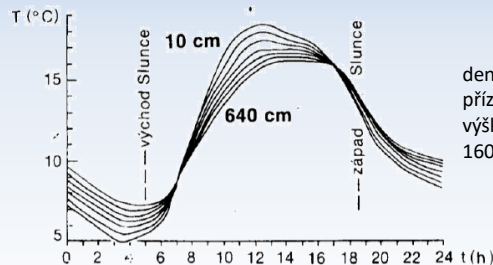


Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra

- **denní chod energetické bilance v našich podmínkách**
 - den (insolace) = pozitivní bilance / noc = negativní bilance
 - změna znaménka bilance typicky v čase výšky Slunce 15°
- **roční chod energetické bilance**
 - nejvyšší hodnoty v letních měsících / minima v zimě (záporné hodnoty)
 - roční chod LE je vázán také na srážkové úhrny (na rozdíl od H) → tzn. max. v červenci
 - v rovníkových a vlhkých tropických a subtropických oblastech – R_Z kladná po celý rok
 - v suchých tropických a subtropických oblastech – R_Z poněkud nižší (nízká vlhkost způsobuje malou tepelnou vodivost), vysoký podíl H vlivem zahřívání povrchu
 - v polárních oblastech – R_Z záporná po celý rok, vyjma 2–3 letních měsíců

Teplotní režim atmosféry

- **denní i roční chod teploty vzduchu** a její **změny s výškou** jsou podmíněny **denním chodem insolace, albeda a efektivního vyzařování AP**
- ohřev i ochlazování vzduchu probíhá prostřednictvím výměny energie dlouhovlnného záření, výměny latentního tepla a transportu tepla turbulentním prouděním v systému AP – atmosféra → **prohřívání i ochlazování probíhá zdola nahoru**
- denní chod teploty vzduchu \approx denní chod teploty AP, amplituda však s výškou klesá a čas teplotního max. a min. se zpožďuje



denní chod teploty T
přízemní atmosféry ve
výškách 10, 20, 40, 80,
160, 320 a 640 cm

Teplotní režim atmosféry

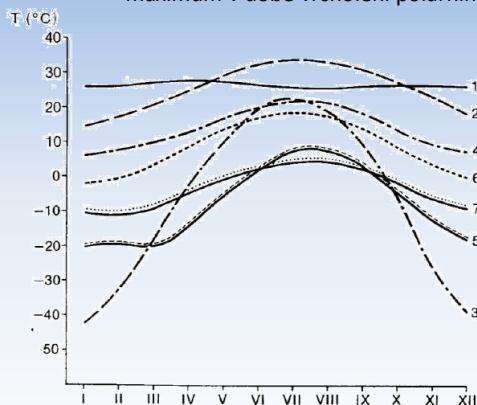
- **denní amplituda teploty vzduchu** je tvořena:
 - **charakterem počasí** (radiační vs. advekční typ počasí)
 - **ročním obdobím** (max. v našich podmínkách na jaře – malá zásoba tepelné en. ze zimy vede k intenzivnímu ochlazení v noci vlivem dlouhovlnného vyzařování, max. na podzim)
 - **zeměpisnou šířkou** (nárůst od rovníku do subtropů, dále k pólům pokles)
 - **vzdáleností od pobřeží** (min. na pobřeží, max. v nitru kontinentů – kontinentalita)
 - **tvary reliéfu** (konvexní [tj. vypouklé] tvary mají menší amplitudu než tvary konkávní)
 - **charakterem povrchu AP** (zejm. rozdíly zastavěný, nepropustný povrch vs. povrch s přírodním pokryvem)

Teplotní režim atmosféry

- **roční chod teploty vzduchu** závisí na:
 - režimu výměny vzduchových hmot (všeobecná cirkulace atmosféry)
 - zeměpisné šířce (s vyšší z. š. roste amplituda teploty)
 - stupni kontinentality (amplituda nižší nad oceány)
- obvykle jedno maximum a jedno minimum teploty
- **typy ročního chodu teploty vzduchu:**
 - **rovníkový**
 - malá amplituda (1–5 °C)
 - dvě nevýrazná maxima v období rovnodenností
 - **tropický**
 - vyšší amplituda (nad oceány menší než 5 °C, nad kontinenty 10–15 °C)
 - jedno maximum a minimum – v čase nejvyšší, resp. nejnižší polohy Slunce
 - **mírného pásu**
 - jedno maximum a minimum – po letním, resp. zimním slunovratu
 - nad pevninami severní polokoule výskyt maxim v červenci a minim v lednu
 - nad oceány a v horských oblastech zhruba o měsíc později
 - amplituda nad oceány zhruba 10–15 °C, výrazný nárůst na kontinentech (až 60 °C)

Teplotní režim atmosféry

- **polární**
 - velmi vysoká teplotní amplituda – nad kontinenty 30–40 °C a nad oceány 20–25 °C
 - jedno minimum na konci polární noci (S polokoule: II, III; J polokoule: VIII, IX)
 - maximum v době vrcholení polárního léta



- 1 – Jakarta ($\varphi = 6^{\circ}11' \text{ j. š.}$)
- 2 – Asuán ($\varphi = 25^{\circ}02' \text{ s. š.}$)
- 3 – Jakutsk ($\varphi = 62^{\circ}01' \text{ s. š.}$)
- 4 – Londýn ($\varphi = 51^{\circ}28' \text{ s. š.}$)
- 5 – Dikson ($\varphi = 73^{\circ}30' \text{ s. š.}$)
- 6 – Brno ($\varphi = 49^{\circ}12' \text{ s. š.}$)
- 7 – Lomnický štít ($\varphi = 49^{\circ}12' \text{ s. š.}$)

zdroj: Netopil, 1984

Teplotní režim atmosféry

- **povětrnostní singularity**
 - **ledoví muži**
 - chladné severní proudění v polovině května, jasné noci
 - **medard**
 - chladno a srážky ve druhé polovině června
 - advekce polárního vzduchu z Atlantiku (Wc)
 - **babí léto**
 - suché, slunné a teplé počasí v září a říjnu, výrazná denní teplotní amplituda
 - oblast vysokého tlaku vzduchu nad střední Evropou
 - **vánoční obleva**
 - teplo a vlhko v druhé polovině prosince, mořský vzduchu od JZ až Z
 - obleva v nížinách, na horách vydatné sněžení

Teplotní režim atmosféry

