

# Klimatologie a hydrogeografie

## Lekce 2

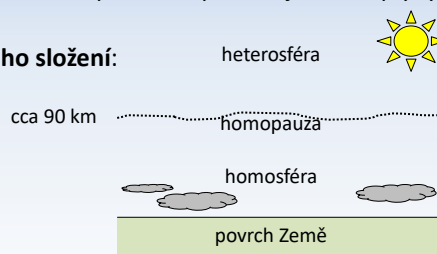
Chemické a fyzikální vlastnosti atmosféry,  
Sluneční záření v systému  
zemský povrch – atmosféra,  
Teplotní režim atmosféry



RNDr. Jiří Jakubínský, Ph.D. | 2. 3. 2018

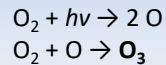
## Fyzikálně-chemické vlastnosti atmosféry

- **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

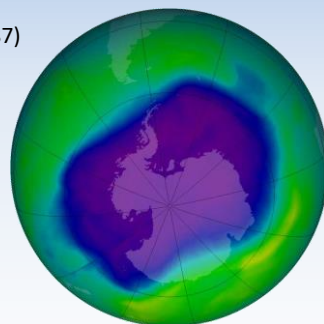
- základní plynné složky atmosféry (suchý vzduch):
  - $\text{N}_2$  – dusík (78,08 %)
  - $\text{O}_2$  – kyslík (20,95 %)
  - Ar – argon (0,93 %)
  - $\text{CO}_2$  – oxid uhličitý (0,03 %)
  - neon, hélium, metan, krypton, vodík, oxid dusný, ozon, xenon
- časově a prostorově proměnlivé koncentrace  $\text{CO}_2$
- oceánská „zásobárna“  $\text{CO}_2$
- význam  $\text{O}_3$  v atmosféře
  - pohlcování UV záření ( $\lambda = 280\text{--}320\text{ nm}$ )
  - 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



3

## Fyzikálně-chemické vlastnosti atmosféry

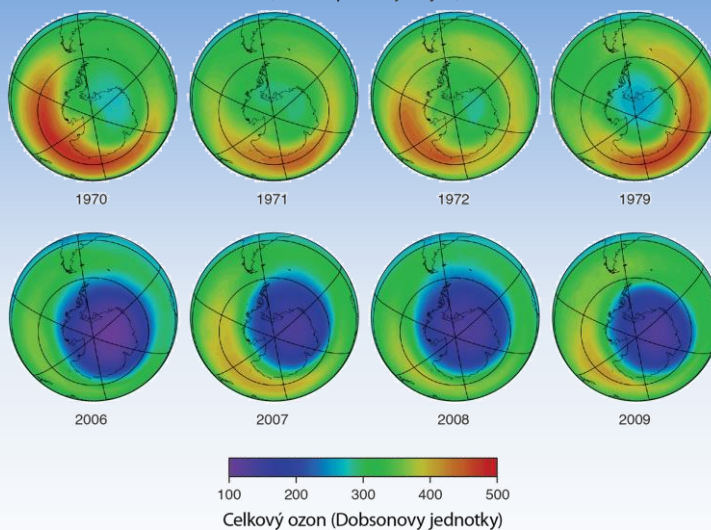
- ozonová díra
  - pozorování od 80. let 20. století
  - Antarktida (září až listopad), J Amerika, Austrálie, Arktida, S Evropa (jaro 2011)
  - princip vzniku ozonové díry:
    - halogenované uhlovodíky (freony, CFC) pronikají do stratosféry, kde se z nich odštěpuje chlór, který katalyticky rozkládá 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



4

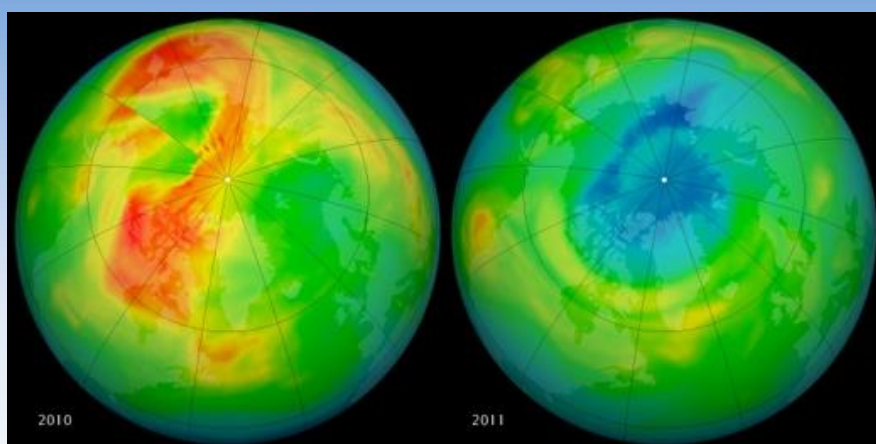
# Fyzikálně-chemické vlastnosti atmosféry

Celkový ozon nad Antarktidou  
(měsíční průměry v říjnu)



5

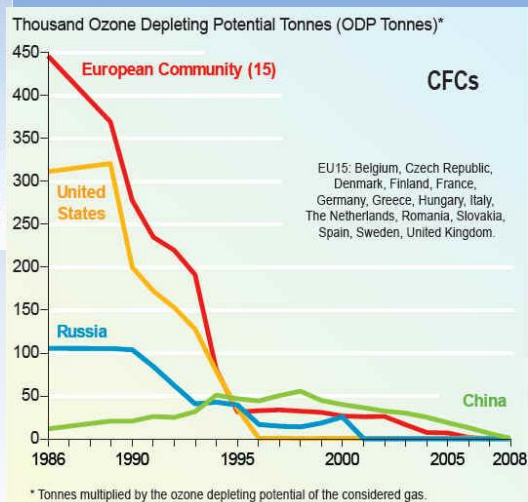
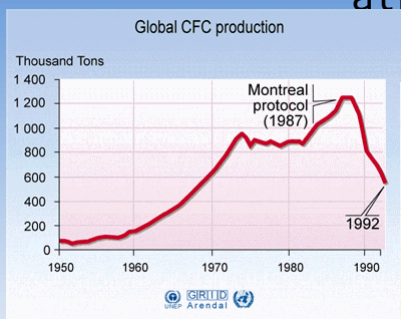
# Fyzikálně-chemické vlastnosti atmosféry



koncentrace ozonu nad Arktidou v březnu 2010 a 2011

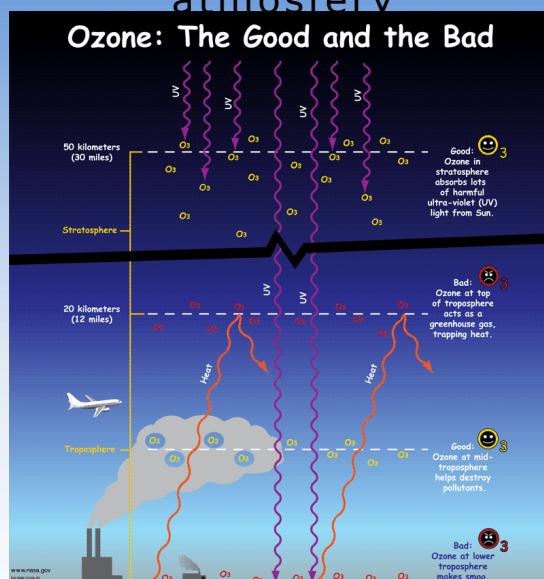
6

# Fyzikálně-chemické vlastnosti atmosféry



7

# Fyzikálně-chemické vlastnosti atmosféry



8

## 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: N<sub>2</sub> – 76,06 %, O<sub>2</sub> – 20,40 %, **H<sub>2</sub>O – 2,60 %**, Ar – 0,91 %, CO<sub>2</sub> – 0,03 %

9

## 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 – SO<sub>2</sub> oxid siřičitý (→ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), CO oxid uhelnatý, No<sub>x</sub> 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

10

## 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<sup>-1</sup>
    - 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)

11

## Vertikální členění atmosféry

- **stratosféra**
  - tropopauza až **50–55 km**
  - spodní stratosféra: **izotermie**
  - od zhruba 25 km **nárůst teploty vzduchu** (pohlcování záření O<sub>3</sub>)
  - nepatrný obsah H<sub>2</sub>O
  - **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**

12

## 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**

13

## 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)

14

## Vertikální členění atmosféry



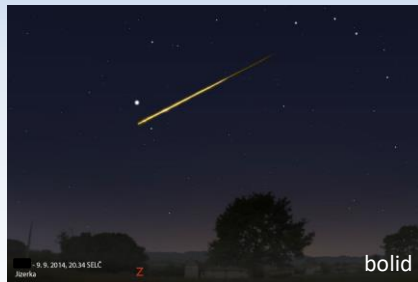
stříbřitá oblaka



polární záře



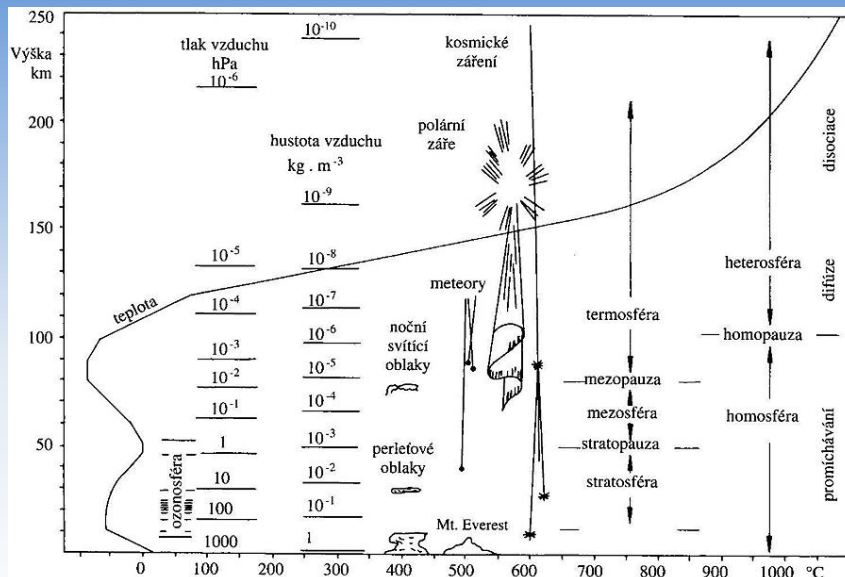
perleťová oblaka



bolid

15

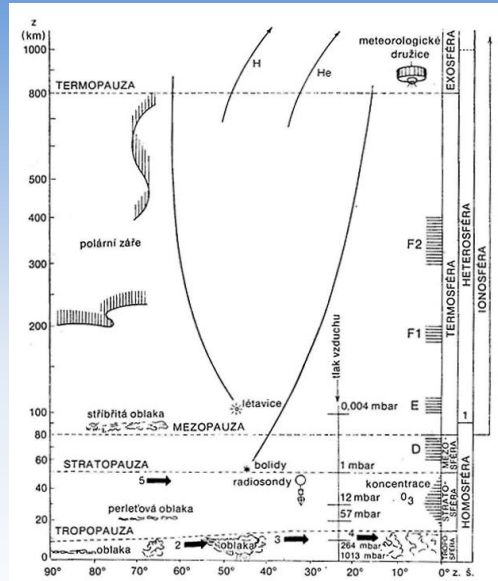
## Vertikální členění atmosféry



16



## Vertikální členění atmosféry



17

## 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 zemským povrchem
    - nejnižší část mezní vrstvy o mocnosti desítek metrů (50–100m): **přízemní vrstva atmosféry** (Prandtlova vrstva)
    - laminární proudění vzduchu nad aerodynamicky hladkými povrchy (vodní hladina, sněhová pokrývka, apod.)
  - **volnou atmosféru**
    - fyzikální děje téměř bez vlivu AP

18

## Vertikální členění atmosféry

- členění podle fyzikálně-chemických procesů:
  - **neutrosféra**
    - od zemského povrchu do výšky cca 70 km (troposféra, stratosféra, část mezosféry)
    - malá koncentrace iontů → radiové vlny se zde neodrážejí
  - **chemosféra**
    - cca 40 až 70–100 km (část stratosféry, mezosféra a část termosféry)
    - fotochemické reakce (molekuly O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> a N<sub>2</sub>) vlivem slunečního záření (zejm. UV)
  - **ionosféra**
    - od cca 70–80 km výše (horní část mezosféry a termosféra)
    - vrstvy s velmi vysokou koncentrací iontů (70–80 km, 100–120km, 180–200 km a 300–400 km)
    - [viz předchozí informace]

19

## 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<sup>-2</sup>]**
- úhrnná intenzita za časový interval [Wh, kWh]
- většina záření Slunce (99 %) v intervalu vlnových délek ( $\lambda$ ) **0,1–4,0  $\mu\text{m}$**  → **krátkovlnné záření**

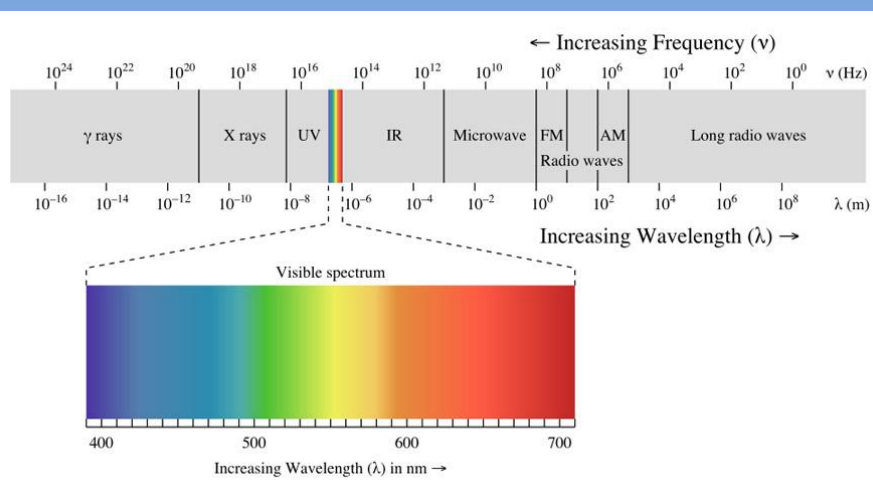
20

## 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
- $I_s = 1366 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  ( $\pm 3,3 \%$  - 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

21

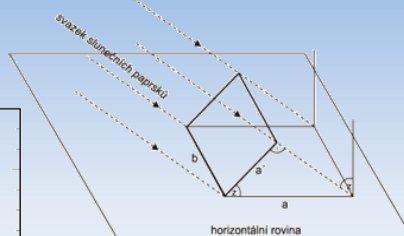
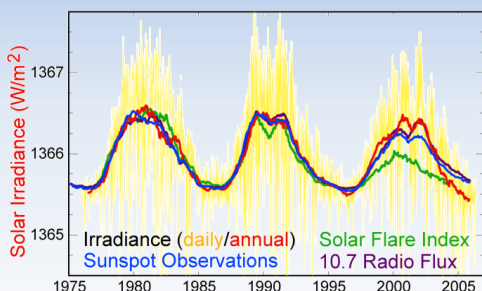
## Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra



22

## Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra

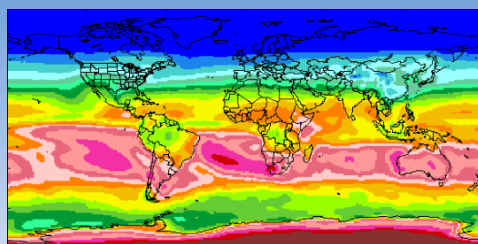
- **extraterrestrální insolace** – insolace na horní hranici atmosféry, jejíž roční režim nazýváme jako **solární klima**
  - intenzita insolace je dána sklonem zemské osy k ekliptice, tvarem a evolucí Země a závisí na zeměpisné šířce



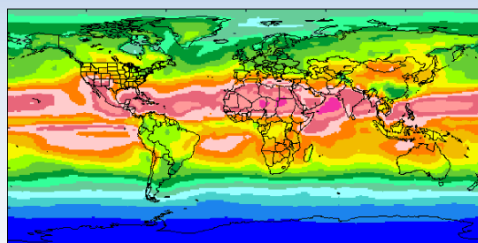
zdroj: Netopil (1984)

23

## Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra



January 1984-1993



April 1984-1993



24

## 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 H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> a CO<sub>2</sub>
  - 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)

25

## 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  $\lambda$  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

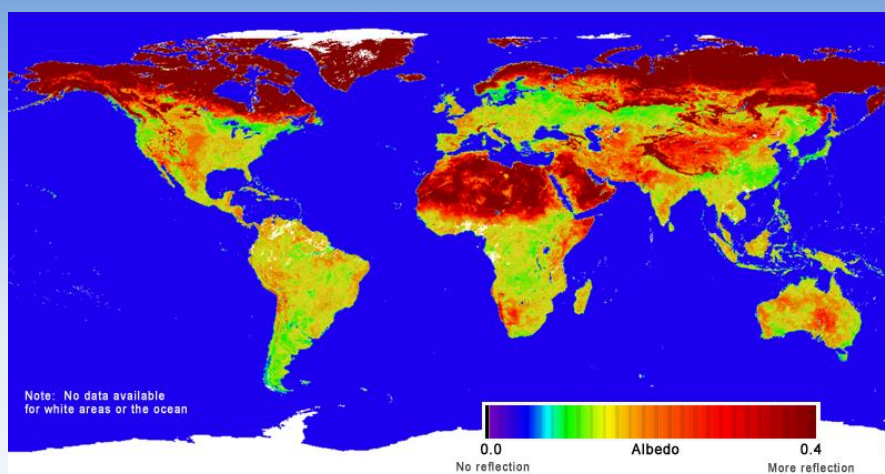
26

## 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  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$  (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 %**

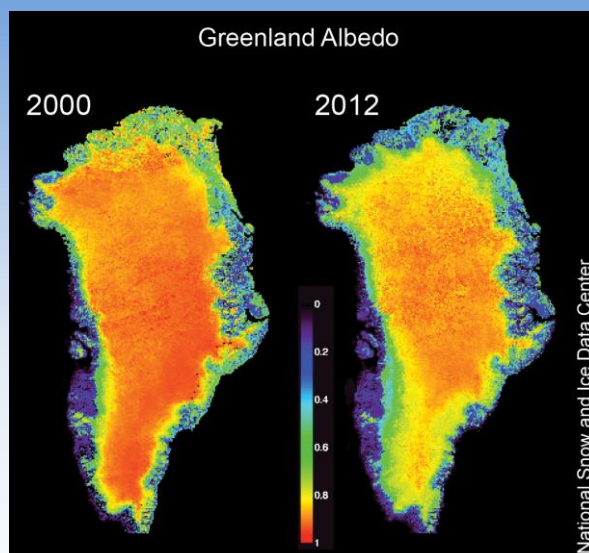
27

## Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra



28

## Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra



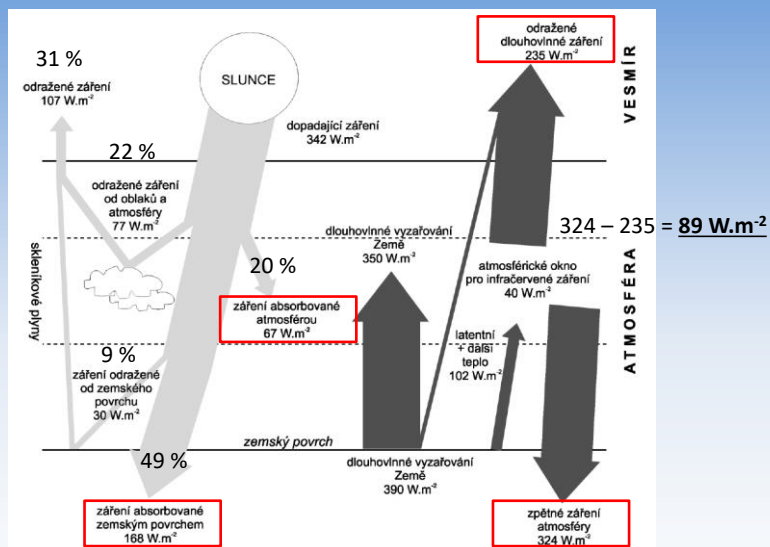
29

## 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

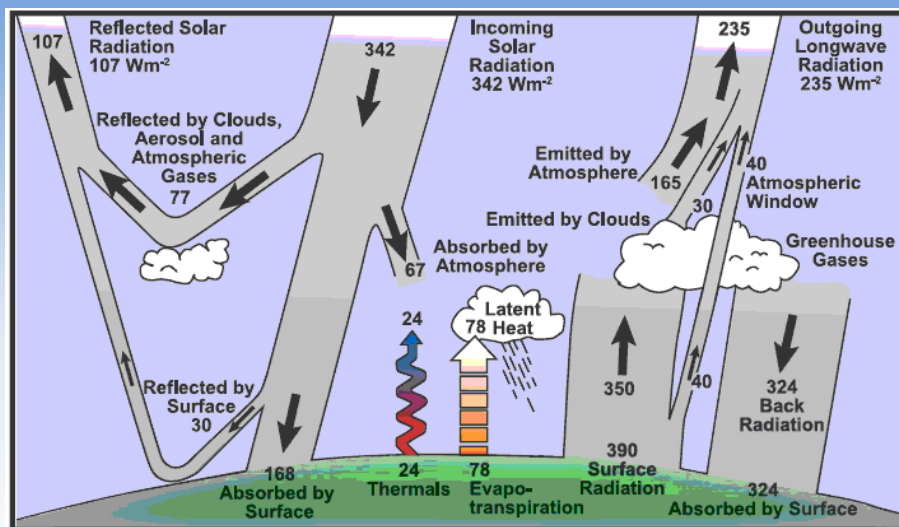
30

## Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra



31

## Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra



32

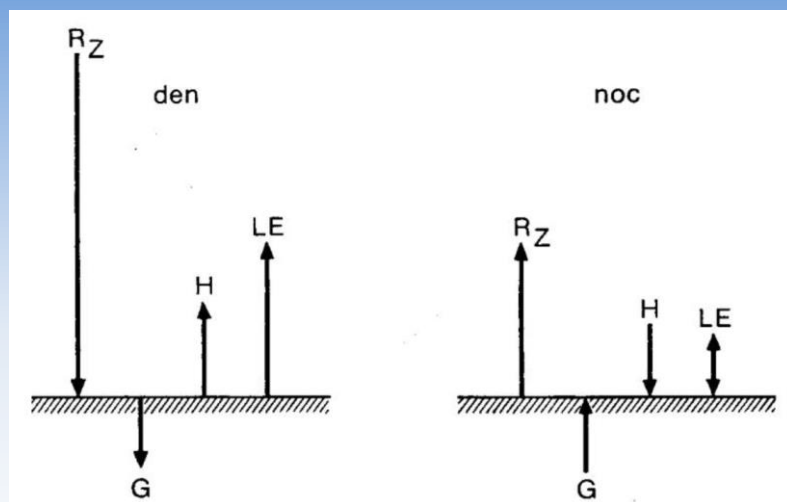


## Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra

- 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:  $R_z = H + LE + G$**

33

## Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra



34

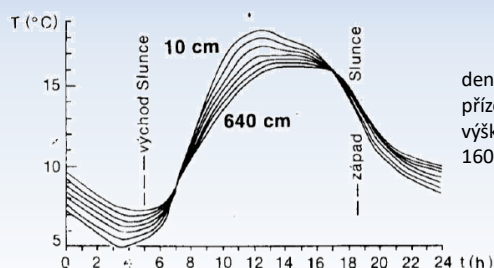
## Sluneční a dlouhovlnné záření v systému zemský povrch – atmosféra

- **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 – RZ kladná po celý rok
  - v suchých tropických a subtropických oblastech – RZ poněkud nižší (nízká vlhkost způsobuje malou tepelnou vodivost), vysoký podíl H vlivem zahřívání povrchu
  - v polárních oblastech – RZ záporná po celý rok, vyjma 2–3 letních měsíců

35

## 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 ≈ 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

36

## 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 dlouhodobého 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 pokryvu AP** (zejm. rozdíly zastavěný, nepropustný povrch vs. povrch s přírodním pokryvem)

37

## Teplotní režim atmosféry

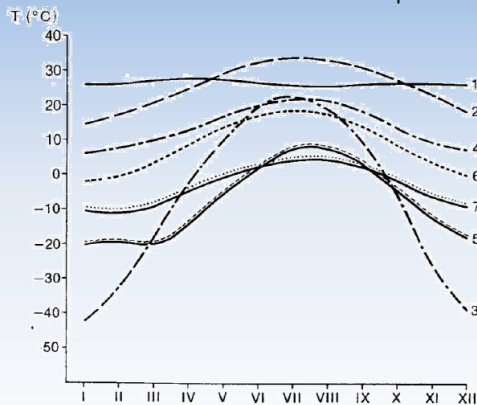
- **roční chod teploty vzduchu** závisí na:
  - režimu výměny vzduchových hmot (všeobecná cirkulace atmosféry)
  - zeměpisné šířce (s vyšší z. š. roste amplituda teploty)
  - stupni kontinentality (amplituda nižší nad oceány)
- obvykle jedno maximum a jedno minimum teploty
- **typy ročního chodu teploty 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)

38

## 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



zdroj: Netopil, 1984

39

## 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

40