

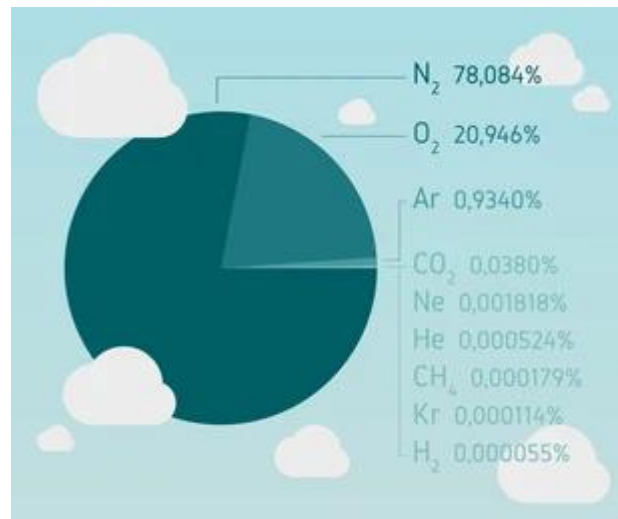


# Atmosféra, slnečné žiarenie a radiačná bilancia

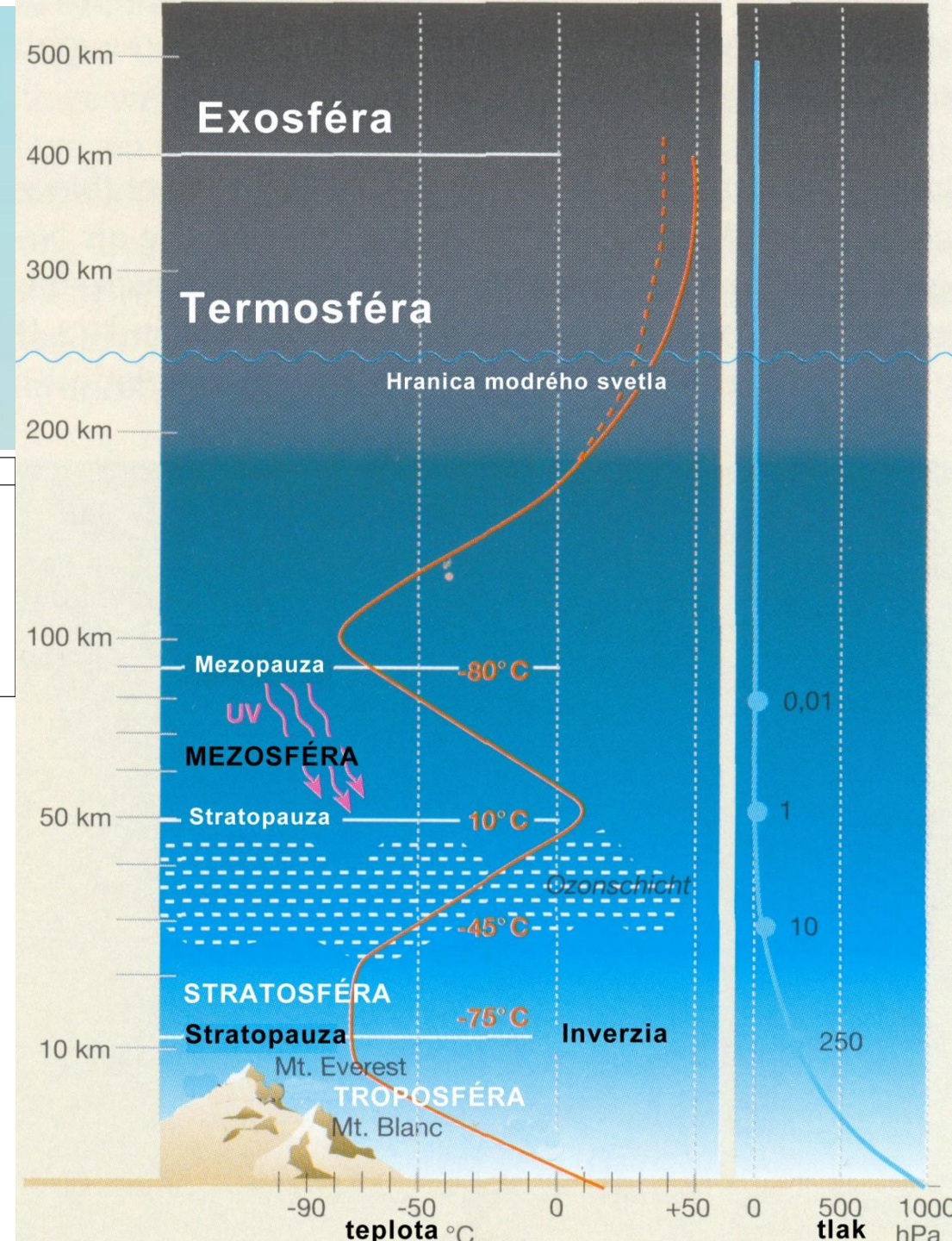
Mgr. Jozef Šupinský PhD.

# Atmosféra

- **plynný obal Zeme**, ktorý je k nej pripútaný gravitačnou silou a zúčastňuje sa v prevažnej miere zemskej rotácie
- plyn tvoriaci atmosféru – **vzduch** ( $\approx$  homogénny do 100km)
- je **zmesou** rôznych **plynov** a iných **prímesí** – pevných a kvapalných častočiek
- spodná hranica atmosféry – **zemský povrch**
- **s výškou ubúda tlak a hustota** atmosféry:
  - $\approx 50\%$  vzduchovej hmoty do 5km
  - $\approx 90\%$  vzduchovej hmoty do 20 km
  - $\approx 99,5\%$  vzduchovej hmoty do 80km
- **nemá výraznú hornú hranicu** (hustota plynov sa postupne približuje hustote plynov v medziplanetárnom priestore)
- **výška atmosféry** sa udáva max. do **30 – 40 tis. km**, za touto hranicou prevládajú odstredivé sily nad silou zemskej gravitácie



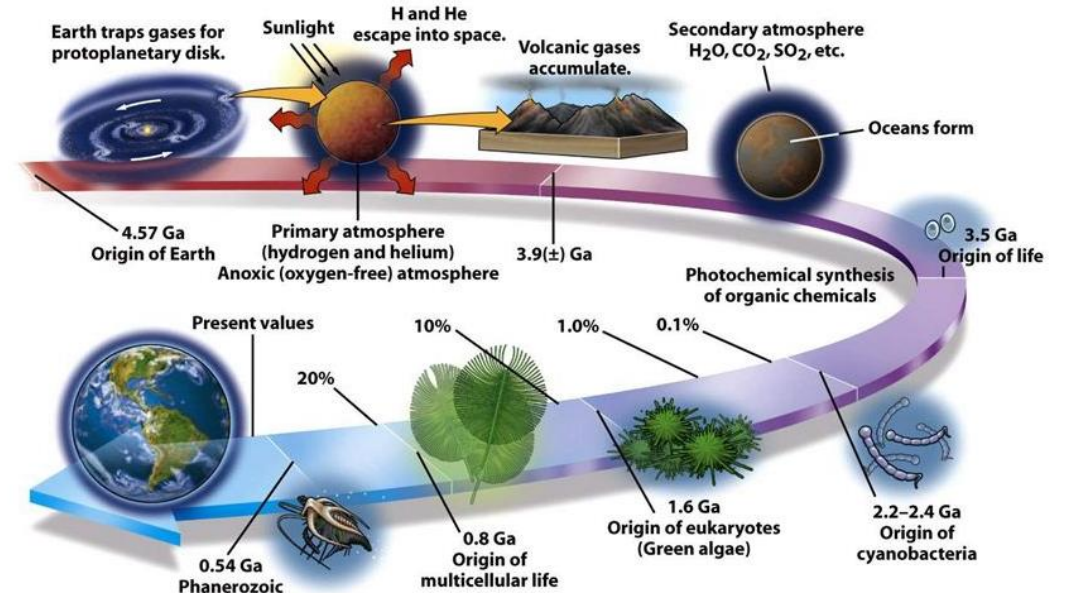
Stále zložky		Premenlivé zložky	
N <sub>2</sub>	78,08	H <sub>2</sub> O	0 – 4
O <sub>2</sub>	20,95	CO <sub>2</sub>	0,0340
Ar	0,93	CO	0,01
Ne	0,018	O <sub>3</sub>	0,001
He	0,00052	SO <sub>2</sub>	0,0001
CH <sub>4</sub>	0,0015	NO <sub>2</sub>	0,00002
Kr	0,00011		
H <sub>2</sub>	0,00005		





# Vývoj atmosféry

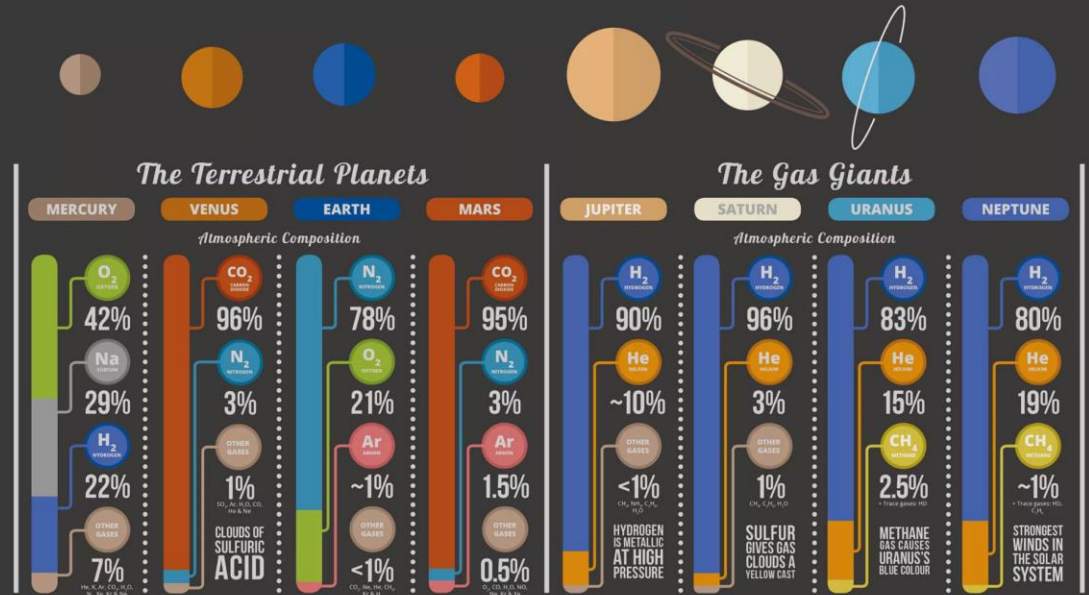
- Zemská atmosféra **vznikla v dôsledku odplyňovania lávy**
- súčasná atmosféra ako výsledok dlhodobého vývoja:
  - 1. po konsolidovaní zemskej kôry hustá atmosféra podobná Venuši -  $\text{CO}_2$
  - 2. postupné viazanie  $\text{CO}_2$  pomocou fotosyntézy do karbonátov a fosílnych palív
  - 3. súčasná atmosféra - stav rovnováhy medzi  $\text{CO}_2$  a  $\text{O}_2$
- **Modelové atmosféry** pre teoretické štúdie:
  - **Adiabatická** – vertikálny teplotný gradient rovný nenasýtenému adiabatickému gradientu s hornou hranicou pri 0K – 28km
  - **Barotropná** – hustota vzduchu len funkcia tlaku používa sa pre štúdie vývoja tlakových útvarov
  - **Homogénna** – konštantná hustota vzduchu v celej vrstve – pre barometrickú niveláciu, výška 8km
  - **Izotermická** – konštantná teplota horná hranica v nekonečne
  - **Polytropná** – konštantný vertikálny teplotný gradient



Earth: Portrait of a Planet, 3<sup>rd</sup> edition, by Stephen Marshak

Chapter 20: An Envelope of Gas: Earth's Atmosphere and Climate

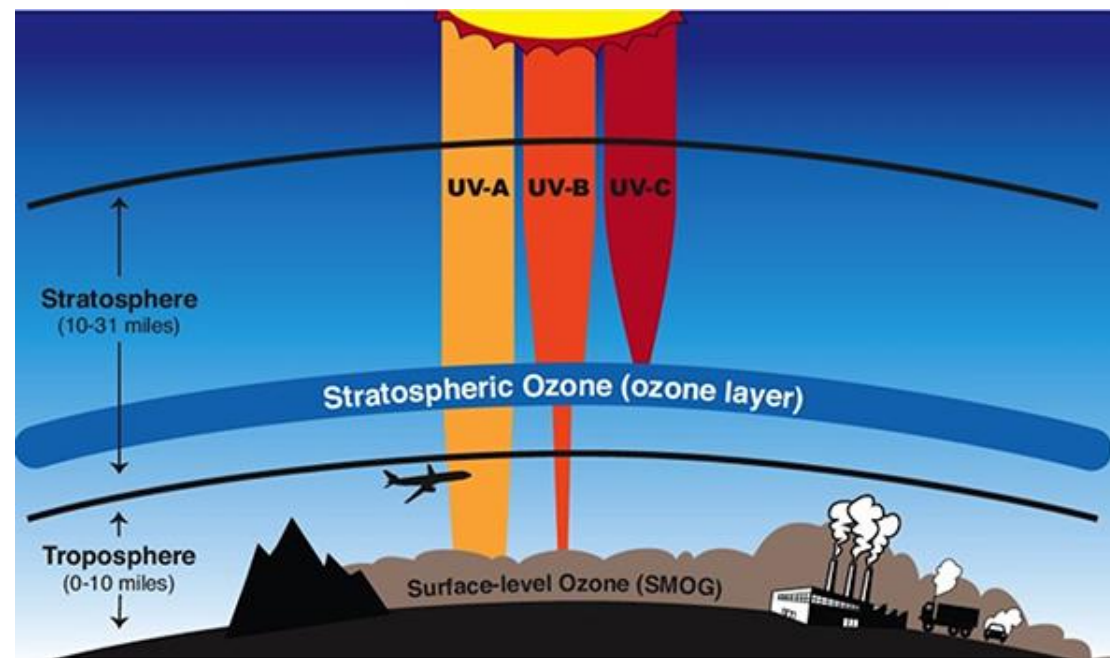
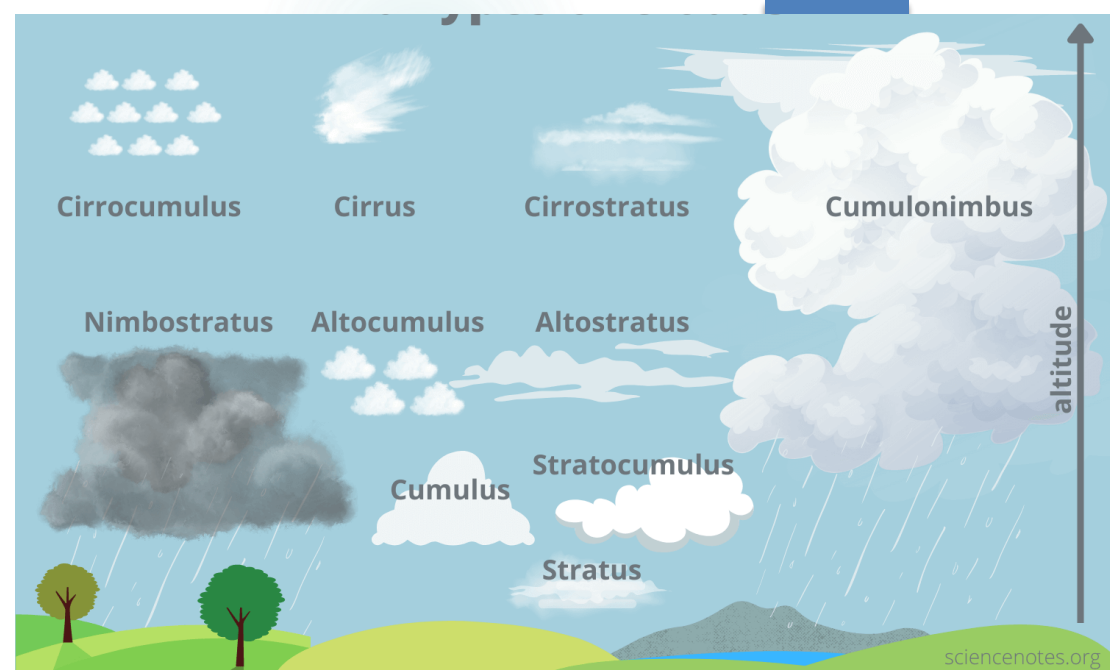
## ATMOSPHERES OF THE SOLAR SYSTEM



Note: Planet sizes are not to scale. Also, Mercury's atmosphere is not an atmosphere in the strict sense of the word, as it is a trillion times thinner than Earth's.

# Atmosféra

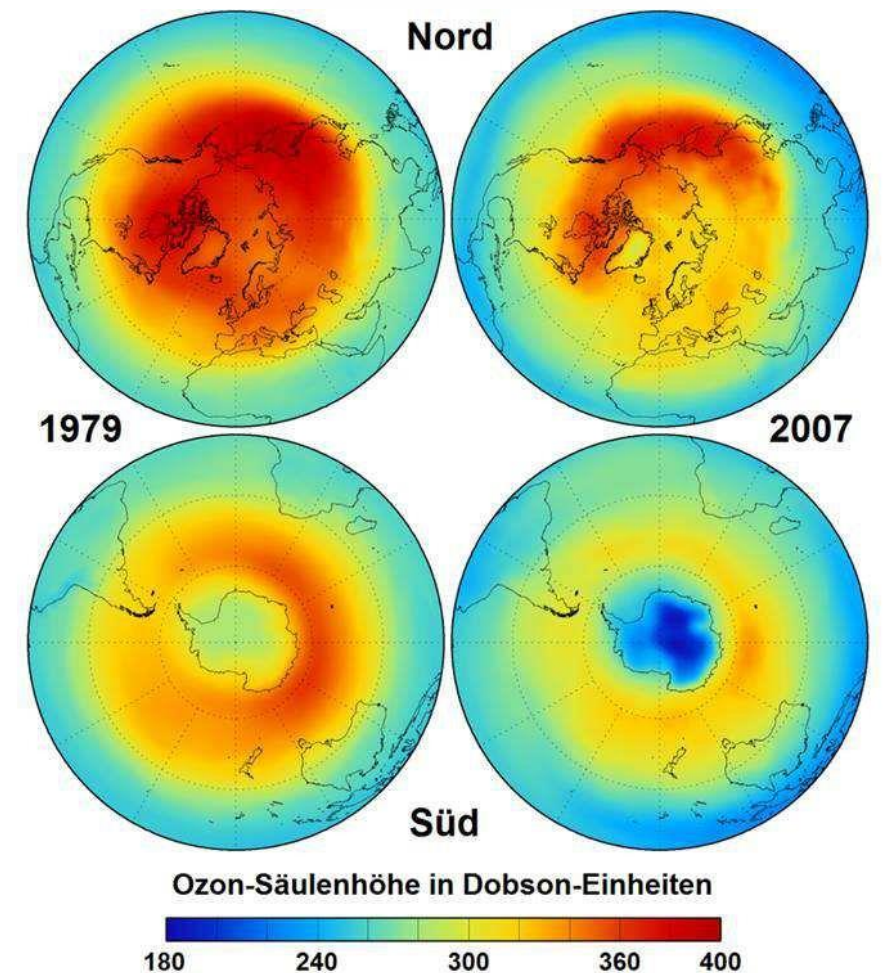
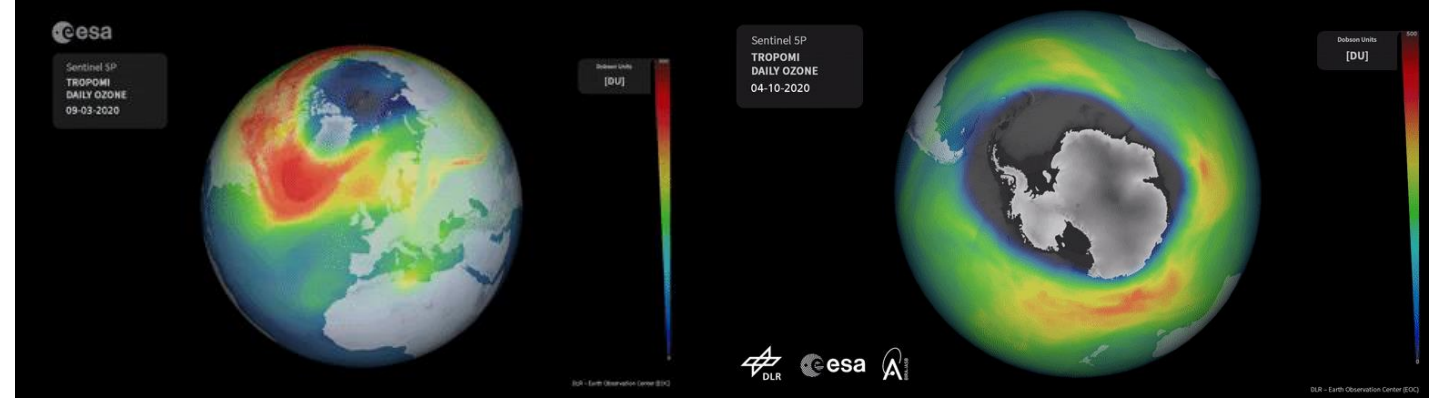
- ▶ súčasťou atmosféry sú aj **vodné pary**
- ▶ v spodnej časti je možné vzduch charakterizovať ako vlhký (suchý vzduch sa v prírode prakticky nevyskytuje)
- ▶ obsah vodnej pary od 0,2% (polárne oblasti) do 2,5% (rovník) – max 4%
- ▶ zadržiava značnú časť krátkovlnného slnečného žiarenia (škodlivé účinky na živé organizmy)
- ▶ pohlcovanie UV žiarenia –  $O_3$  – je jednou z limitujúcich podmienok života na Zemi
- ▶ zastúpenie  $O_3$  v atmosfére (0,001%) – najvyššie koncentrácie vo výške 25-30km (**ozonosféra** – 90%  $O_3$ )
- ▶ **Stratosférický ozón** - produkt fotochemických reakcií vyvolaných pôsobením UV žiarenia na molekuly kyslíka
- ▶ **Troposférický ozón** (prízemný) - fotochemickým rozkladom látok, ktoré sa uvoľňujú do atmosféry v dôsledku ľudskej činnosti najmä  $NO_x$  a uhľovodíky
- ▶ vo vyšších koncentráciách poškodzuje ľudský organizmus a vegetáciu – predstavuje **ekologický stres**





# Ozón

- ▶ množstvo ozónu v atmosfére sa udáva v **Dobsonových jednotkách** (DJ)
- ▶ 1 DJ - množstvo ozónu vo vertikálnom stĺpci zemskej atmosféry, ktoré by pri stlačení na 1013 hPa pri 10 °C vytvorilo vrstvu 0,01mm (400 DJ = 4mm)
- ▶ **Ozónové anomálie** („ozónové diery“) – výrazná redukcia stratosférického ozónu (až -60%)
- ▶ zistená v 80-tych rokoch pozemnými meraniami nad Antarktídou
- ▶ počiatkom 90-tych rokov oslabenie aj nad Európou a Sibírom
- ▶ za výraznou redukciou sú antropogénne vplyvy najmä **freóny** (CFC zlúčeniny chrómu flóru a brómu - **halóny**) – hnacie plyny v sprejoch a na chladenie v chladničkách a klimatizáciách
- ▶ používané od 30-tych rokov, do ozonوسفéry vystúpilo odhadom zatiaľ len 20% ich množstva v atmosfére
- ▶ obmedzenie používania freónov, **obnova ozónovej vrstvy cca do 2050**



# Atmosféra

- okrem plynov obsahuje atmosféra aj pevné a tekuté zložky - **atmosférické aerosóly**:

- prirodzené aerosóly: kozmický prach

vulkanický prach

dymové častice

častice z povrchu pôdy a mora

aeroplanktón – patrí sem peľ, baktérie...

- antropogénne aerosóly: pevné častice – napr. sadze

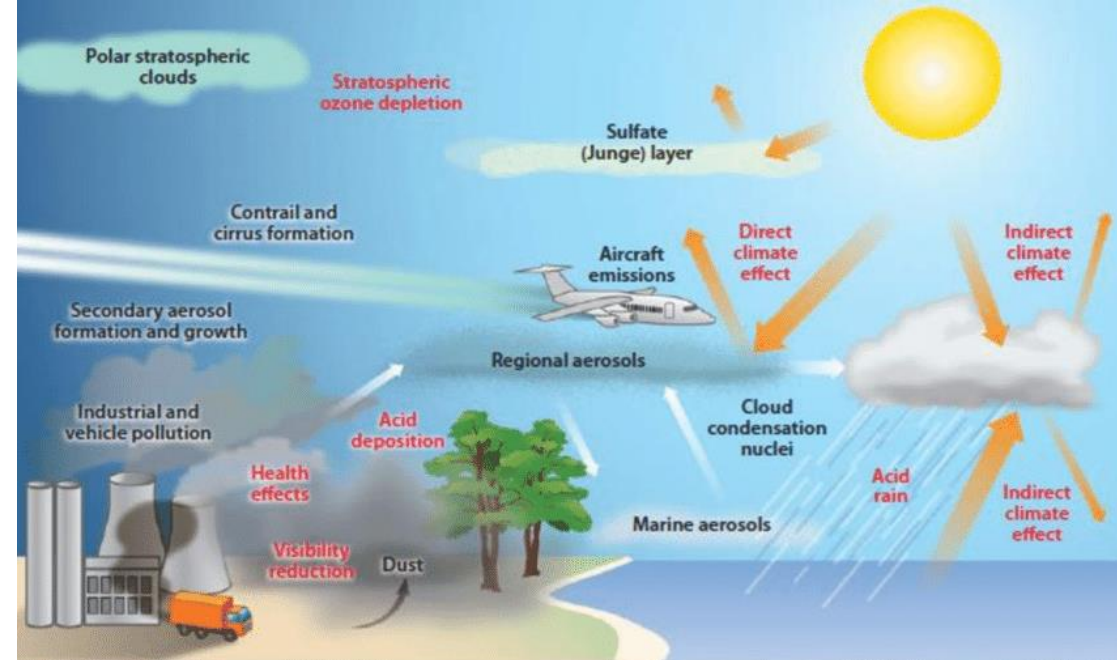
plynné prímеси (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CO, NO<sub>2</sub>)

- množstvo antropogénnych aerosólov pribúda, čo zapríčiňuje vážne klimatické zmeny – **skleníkové plyny**

(antropo. - CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, CFC, prirodzené – vodná para, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>)

- väčšina z nich sa uplatňuje ako **kondenzačné** alebo **kryštalizačné jadrá**

- umelé kondenzačné jadrá (**zasievanie oblakov**) – jodid strieborný, suchý ľad, rôzne soli - zvýšenie zrážok, potlačenie krupobitia, kontrola počasia



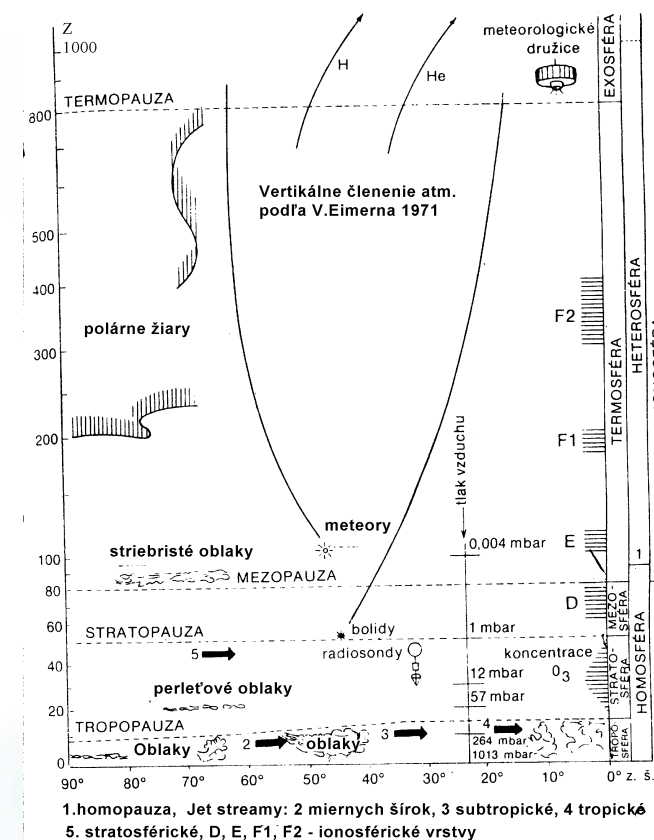
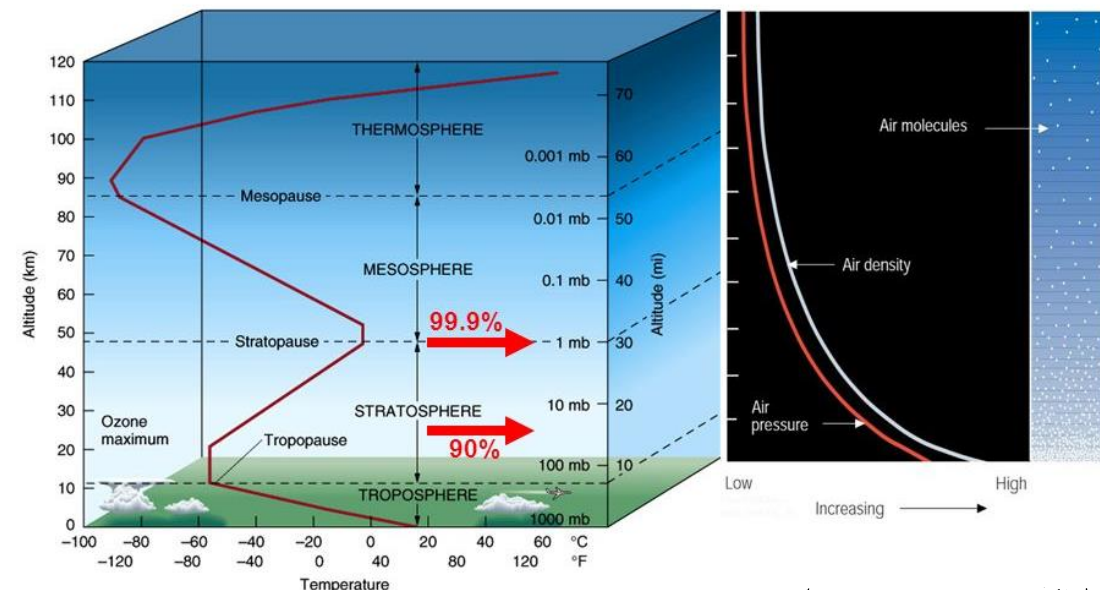
- doba zotrvania molekuly v ovzduší

N <sub>2</sub>	2x10 <sup>7</sup> rokov	H <sub>2</sub>	4-7 rokov	CFC11	75 rokov
O <sub>2</sub>	10 <sup>4</sup> rokov	CH <sub>4</sub>	4 roky	CFC12	110 rokov
CO <sub>2</sub>	2-4 roky	N <sub>2</sub> O	4 roky		
		C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	4 roky		
		CO	3 roky		
		O <sub>3</sub>	2 roky		
		NH <sub>3</sub>	7 dní		
		NO <sub>2</sub>	5 dní		
		SO <sub>2</sub>	2 až 3 dni		
		H <sub>2</sub> S	2 dni		



# Vertikálne členenie atmosféry

- ▶ najčastejšie kritéria:
  - ▶ **priebeh teploty vzduchu s výškou**  
(najdôležitejšie z hľadiska výskumu počasia a podnebia)
  - ▶ **fyzikálno-chemické procesy**
  - ▶ **charakter kinetických procesov**
  - ▶ **chemické zloženie**
- ▶ podľa teploty od zemského povrchu a hlavne podľa výrazných teplotných zlomov sa atmosféra delí na: **Troposféru, Stratosféru, Mezosféru, Termosféru, Exosféru**
- ▶ podľa el. vlastností sa delí na **Neutrosféru** (do 60-70km predovšetkým nenabité častice) a **Ionosféru** (70-500km vysoká koncentrácia iónov)
- ▶ podľa chem. zloženia sa delí na **Homosféru** (do 90km nemení sa objemové zastúpenie plynov, vplyv turbulentného premiešavania vzduchu) a **Heterosféru** (nad 90km – ubúdajú plyny ťažšie než vzduch, vo výške niekoľko tisíc km prevláda len atomárny vodík)



# Vertikálne členenie atmosféry

## ► Troposféra:

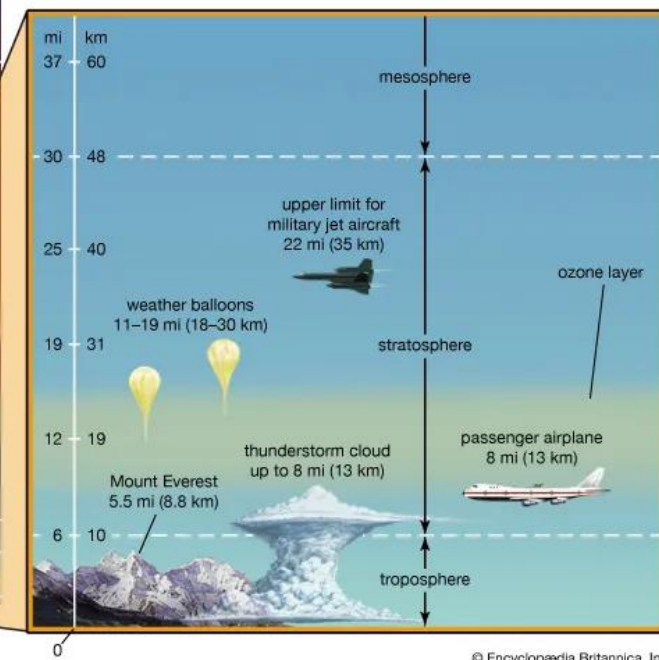
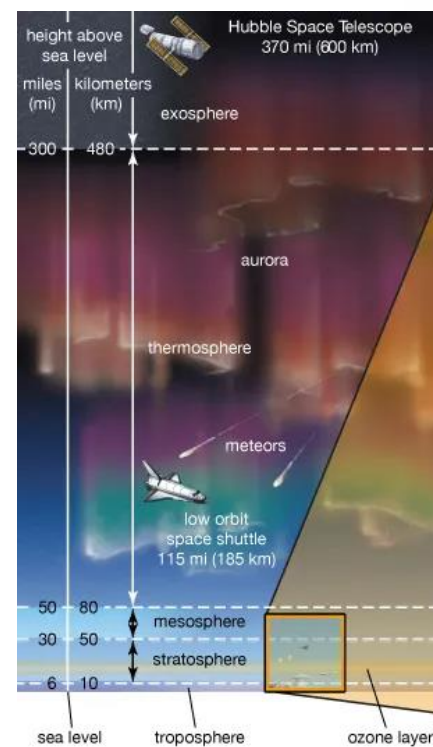
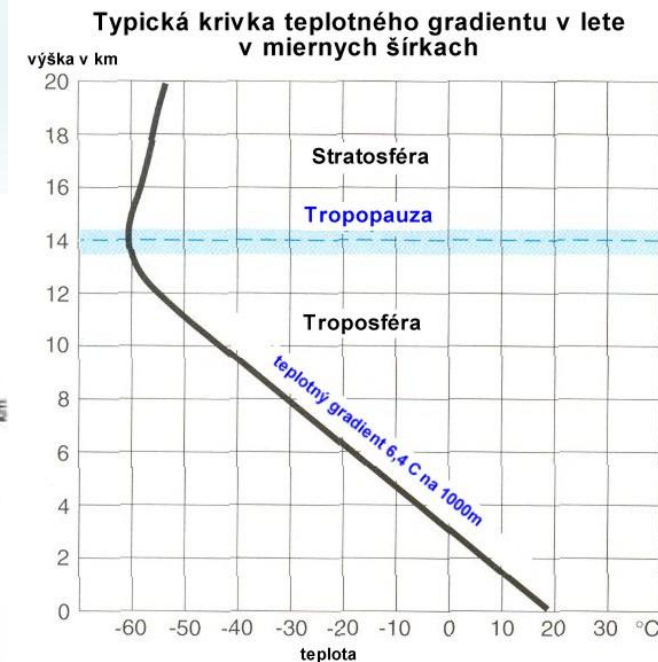
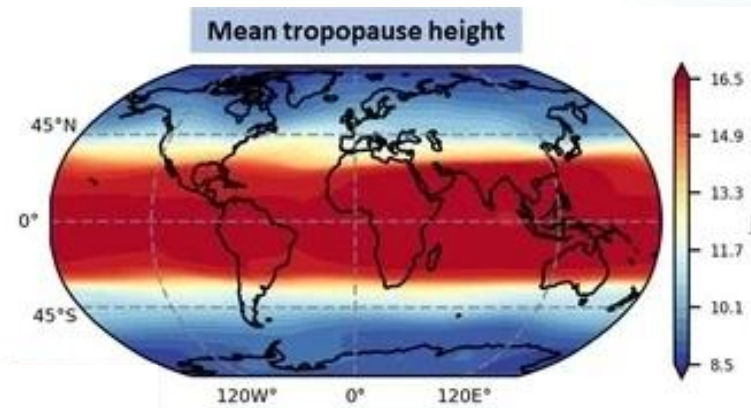
- najspodnejšia vrstva zemskej atmosféry (podlieha vplyvom zemského povrchu)
- sústreďuje podstatnú časť hmotnosti atmosféry (80%)
- v troposfére sa nachádza 99 % vodnej pary
- prebieha v nej väčšina atmosférických dejov, zmeny počasia spojené s frontálnymi poruchami, intenzívne prúdenie
- lineárny pokles teploty - klesá o  $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  na 100 m (okrem inverzií)
- nerovnomerná hrúbka: 16 – 18 km nad rovníkom

10 – 12 km v miernych šírkach

7 – 9 km nad pólmi

## ► Tropopauza - horná hraničná vrstva troposféry (hrúbka do 3 km)

## ► Jet stream – tryskové prúdenie vzduchu v úzkych pásoch s vysokou rýchlosťou (do 500 km/h)

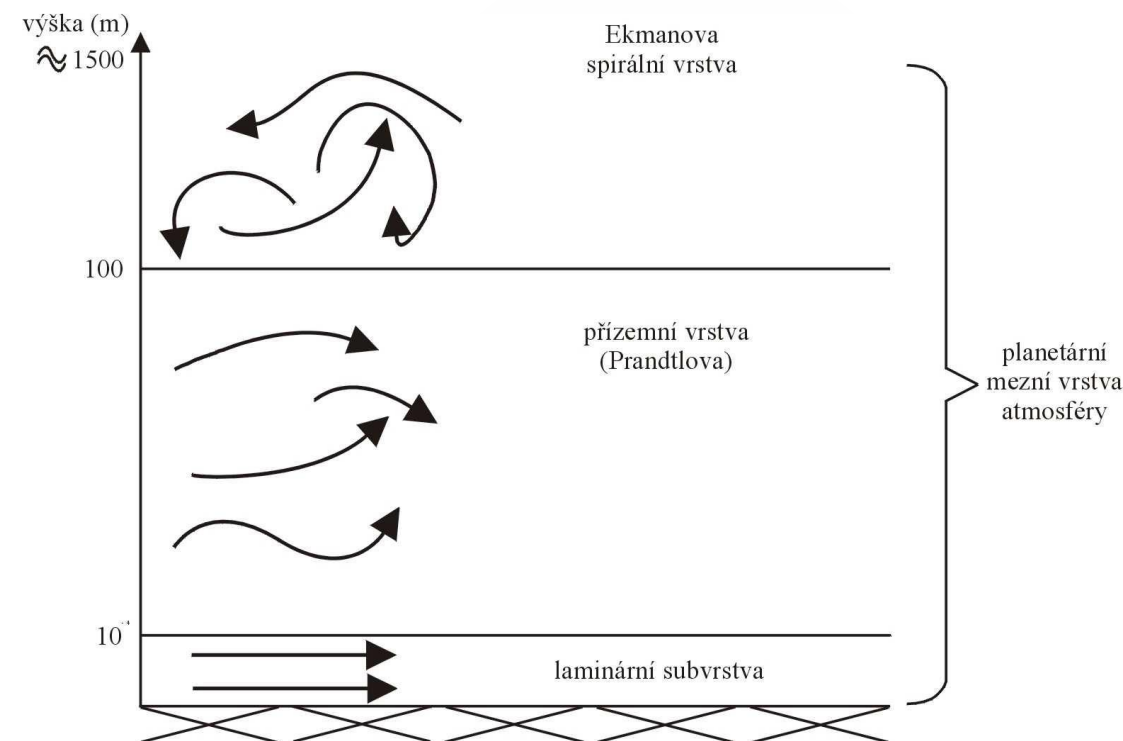




# Vertikálne členenie atmosféry

## ► Troposféra:

- vplyv aktívneho povrchu sa najviac prejavuje na bezprostredne priliehajúcu časť troposféry – **prízemnú vrstvu**
- podľa podmienok pre prenos a výmenu tepelnej energie rozlišujeme v prízemnej vrstve atmosféry:
  - **Laminárna subvrstva** - do výšky  $10^{-3}$  až  $10^{-2}$  m nad aktívny povrch, vyskytuje sa len nad aerodynamicky hladkými povrchmi (nad vodnou hladinou pri slabom vetre, uhladenou snehovou pokrývkou), molekulárna výmena
  - **Prízemná medzivrstva** siaha do výšky  $10^{-2}$  až  $10^{-1}$  m nad aktívny povrch, molekulárna výmena a nedokonale vyvinutá turbulencia
  - **Prízemná vrstva (Prandtllova)** siaha do výšky maximálne 100 m, dynamické a termodynamické vplyvy zemského povrchu sú výrazné, vertikálne gradienty väčšiny meteo. prvkov dosahujú max. hodnôt, transport energie je podmienený plne vyvinutou turbulenciou
  - **Planetárna medzná vrstva** atmosféry – bezprostredný vplyv zemského povrchu na meteo. prvky, horná hranica rastie so zvyšujúcou drsnosťou zem. povrchu (pohoria), s rýchlosťou vetra a so vzrastajúcou nestabilitou teplotného zvrstvenia, hrúbka do 2 km, na hornej hranici sa prejavuje vplyv planetárnej cirkulácie, plne prevláda turbulentný prenos energie



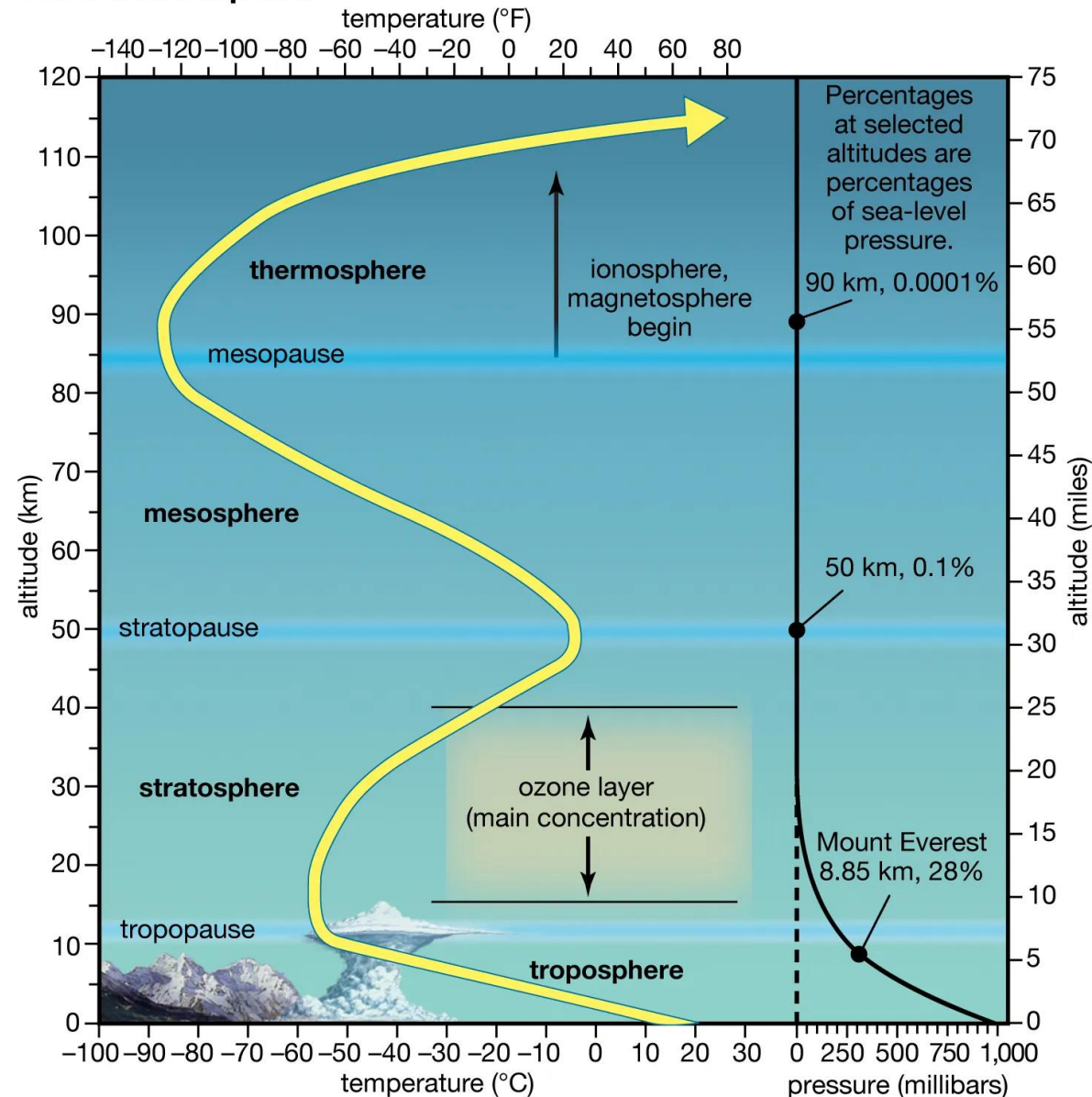
# Vertikálne členenie atmosféry

## ► Stratosféra:

- od tropopauzy do výšky 50 km
- do výšky asi 20 km zostáva teplota stála (**izotermia**) :
  - v rovníkových oblastiach od  $-76$  do  $-80$  °C
  - v miernom pásme od  $-51$  do  $-61$  °C
  - v polárnych oblastiach  $-64$  až  $-68$  °C
- v tejto spodnej vrstve sa dajú pozorovať **perleťové oblaky**  
- pre malý obsah vodnej pary ich je málo
- vrstva od 20 do 50 km obsahuje ozón, ktorý pohlcuje slnečné žiarenie, preto teplota, v tejto vrstve s výškou stúpa
- v blízkosti **stratopauzy** je maximálna teplota okolo  $0$  °C



Earth's atmosphere

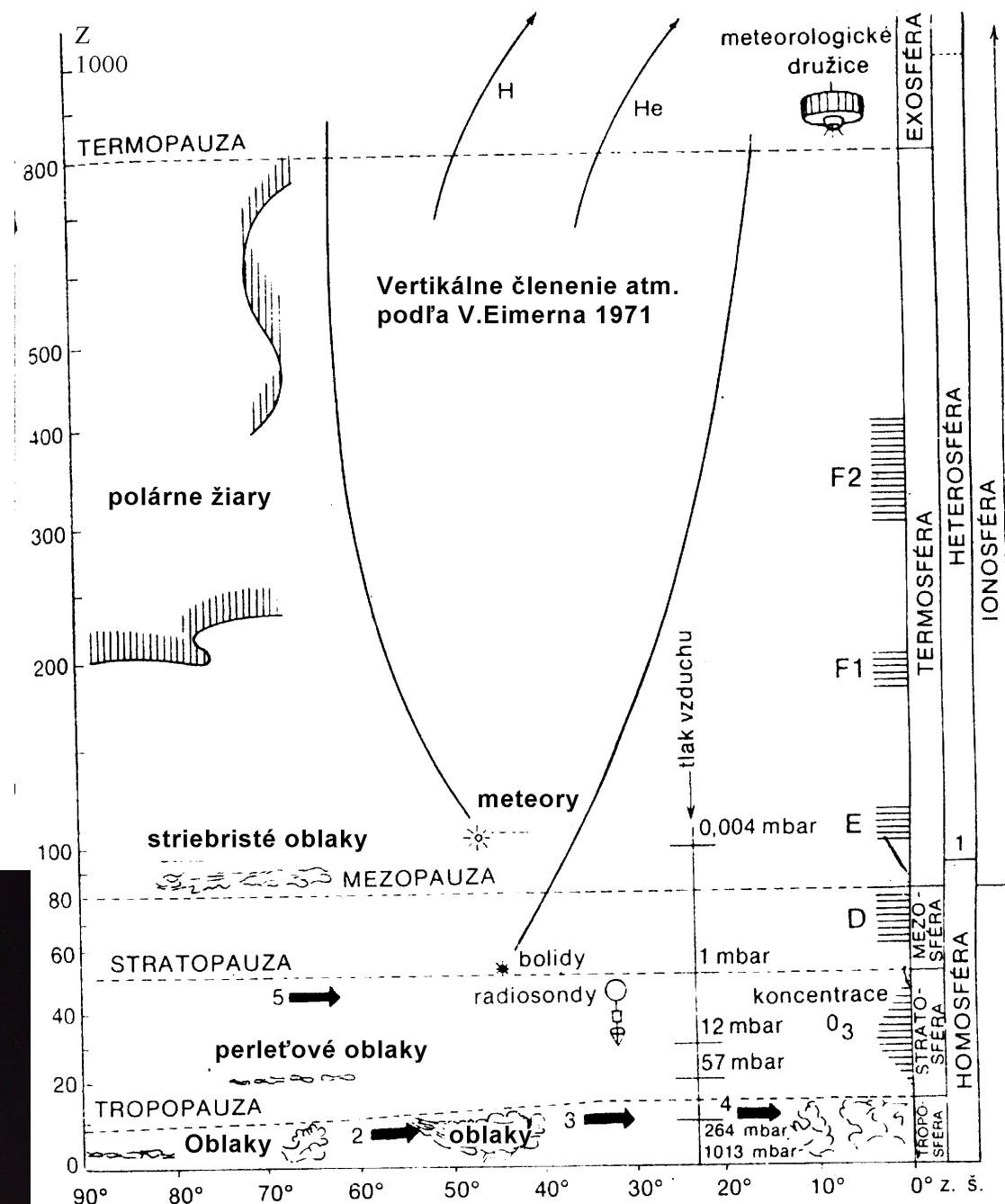




# Vertikálne členenie atmosféry

## ► Mezosféra:

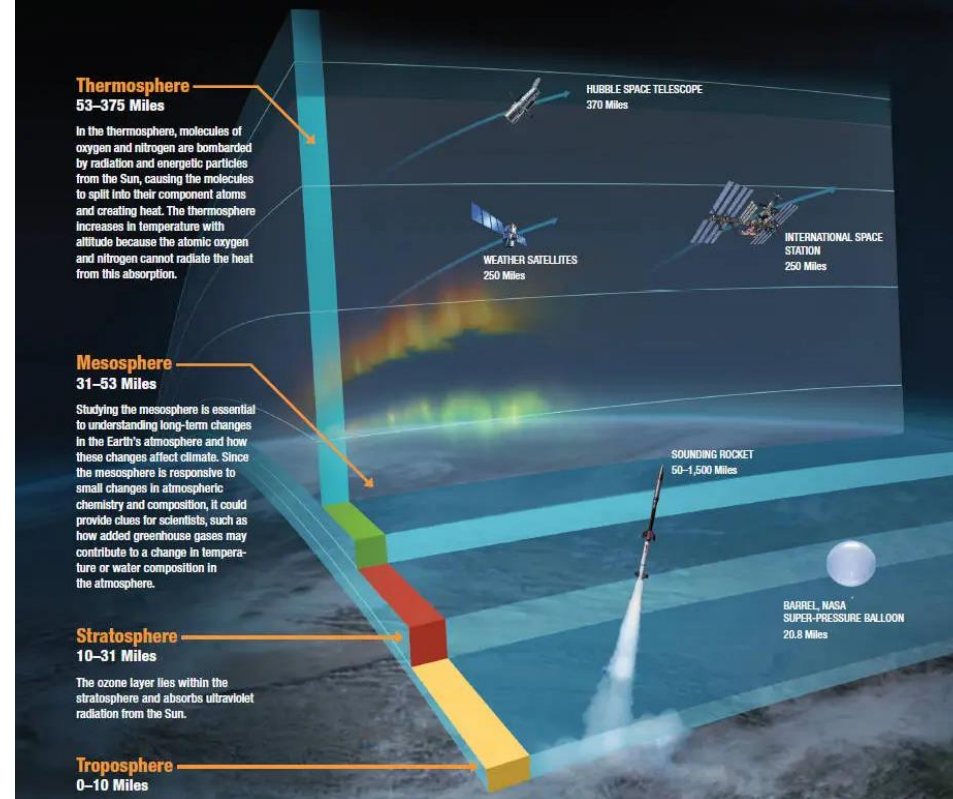
- vo výške 50 km deliaca vrstva **stratopauza**
- do výšky 80 km prudko klesá teplota, pod hornou hranicou mezosféry dosahujú teploty až  $-95\text{ °C}$
- aj pri veľmi malom obsahu vodnej pary sa dajú pozorovať v letnom období **striebristé oblaky**
- hornú hranicu mezosféry tvorí **mezopauza**
- po mezopauze je vzduch zmes plynov (okrem vodnej pary a ozónu), preto sa nazýva **homosféra**



# Vertikálne členenie atmosféry

## ► Termosféra:

- charakteristická rýchlym **stúpaním teploty** - vo výške 150 km dosahuje 600 °C – pre vysokú kinetickú energiu molekúl unikajúcich z atmosféry Zeme
- podľa rôznych autorov siaha do výšky 450 - 800 km
- vo výške 600 km dosahuje teplota až 1500 °C
- výskyt **polárnej žiary** – súvisí s intenzívnou slnečnou činnosťou pri magnetických búrkach – zelená (kyslík okolo 100 km), červená (kyslík nad 200 km), modrá a fialová (dusík do 100 km)

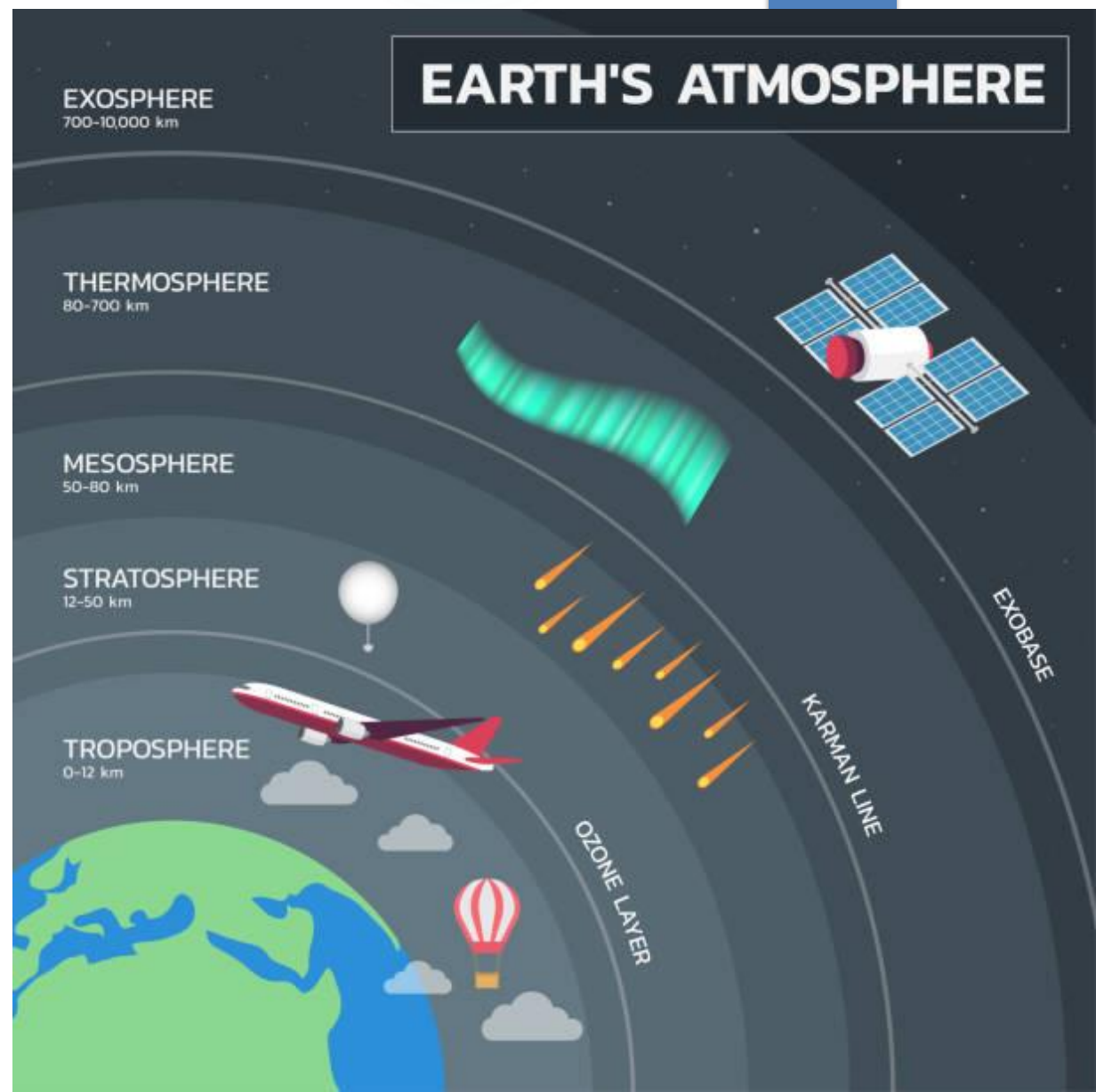
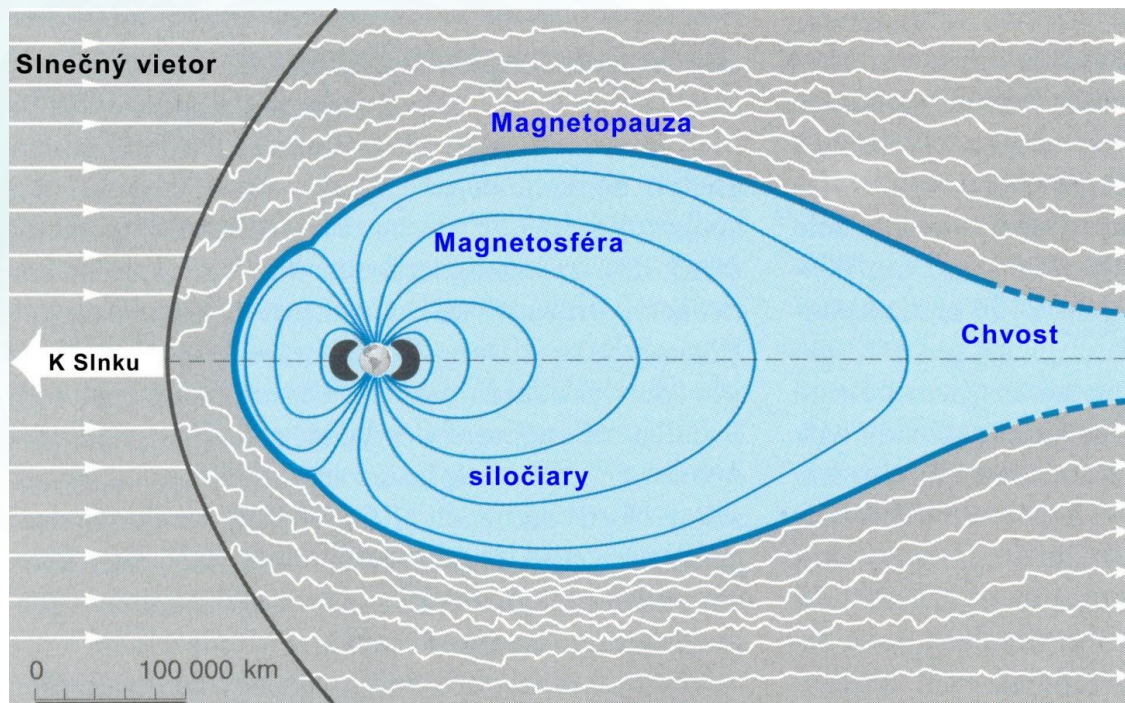




# Vertikálne členenie atmosféry

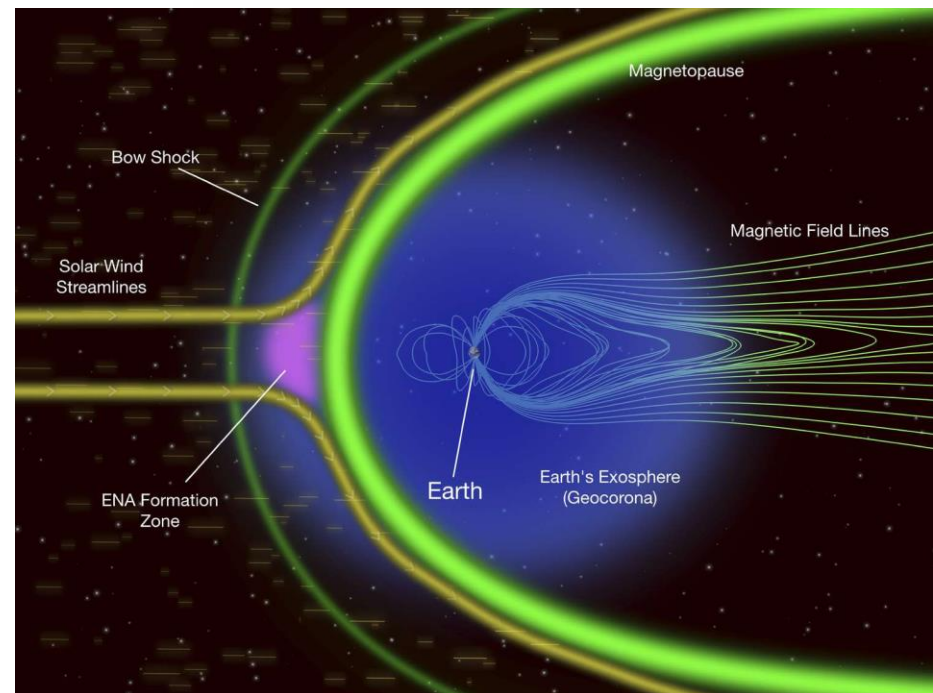
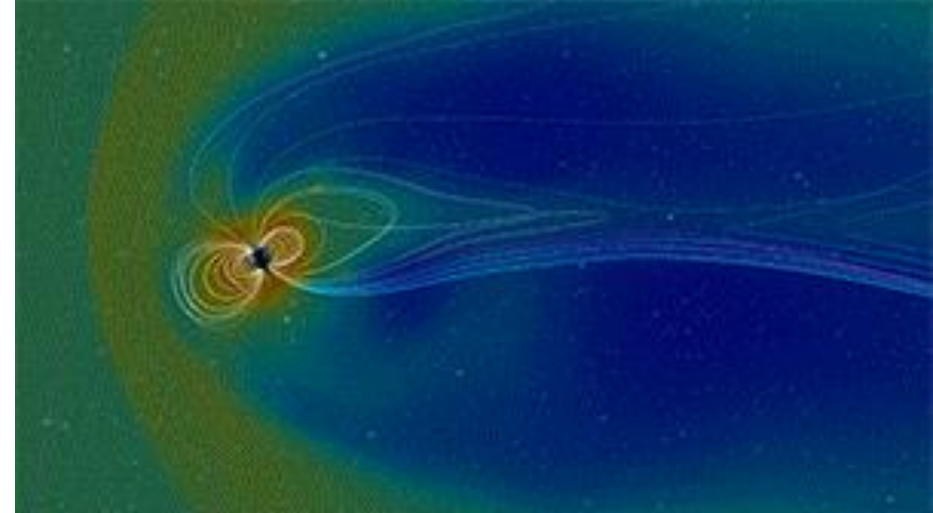
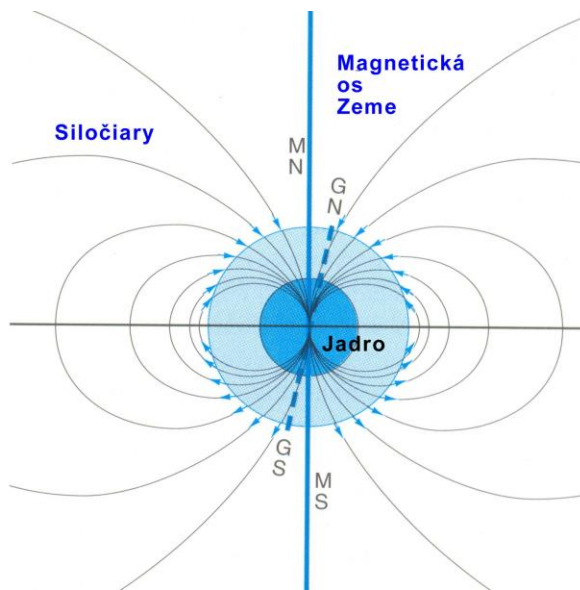
## ► Exosféra:

- vonkajšia, najvyššia vrstva atmosféry siaha do **40 tisíc km**
- vyskytujú sa v nej ešte voľné molekuly plynu, ktoré čiastočne zostávajú v zemskej atmosfére
- v dôsledku vysokej kinetickej energie častice unikajú do medziplanetárneho priestoru (H, He)
- exosféra a magnetosféra deformované slnečným vetrom



# Vertikálne členenie atmosféry

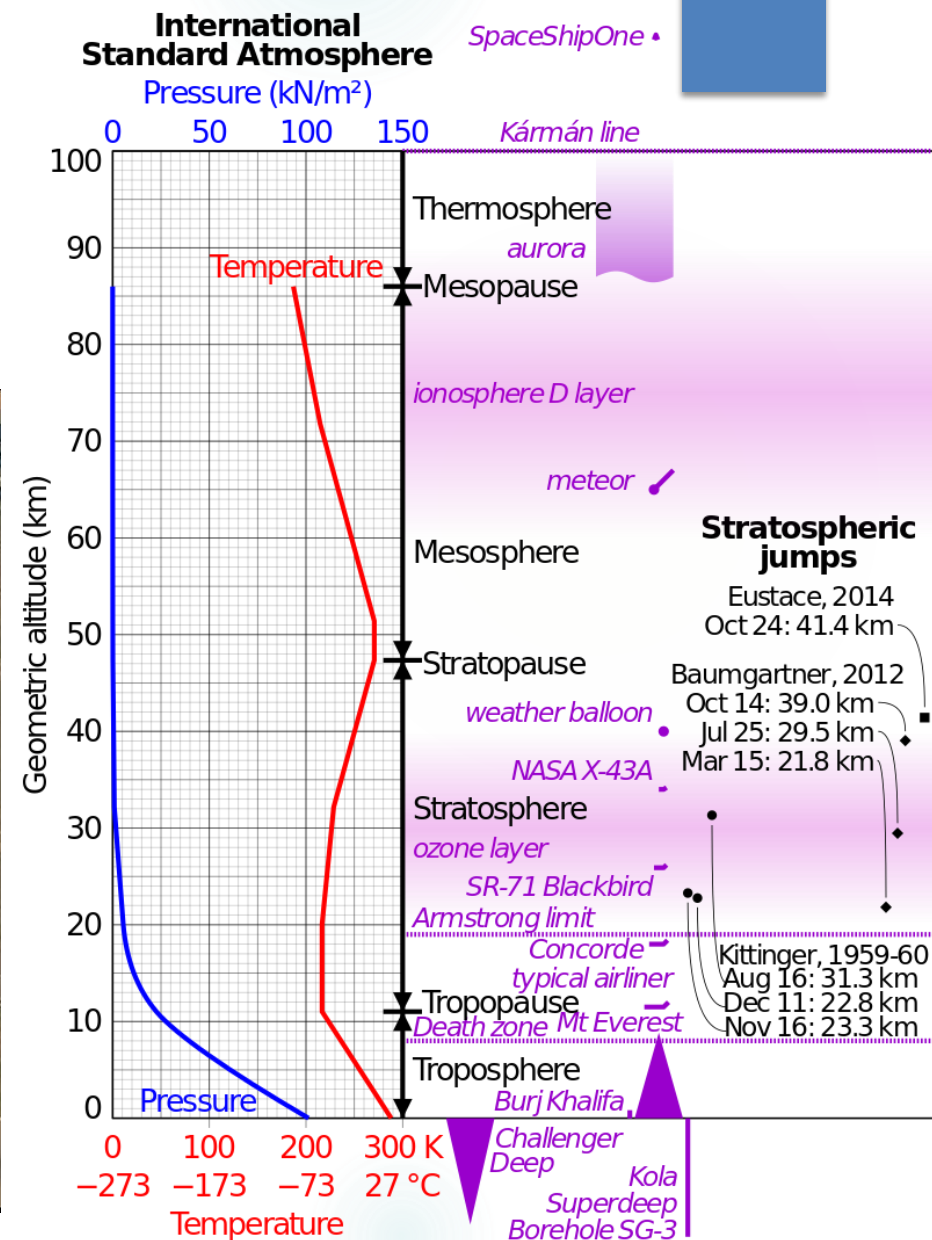
- ▶ **magnetosféra** Zeme nedovoľuje elektricky nabitým časticiam slnečného vetra dostať sa k povrchu, plní ochrannú funkciu, bez ktorej by život na Zemi nebol možný
- ▶ **oblasť predného nárazu** (Bow shock): na slnečnej strane magnetosféry, kde slnečný vietor naráža na magnetické pole Zeme - prúd častíc sa náhle spomalí a zahreje v dôsledku stretnutia s magnetosférou
- ▶ **magnetopauza**: hranica medzi slnečným vetrom a magnetickým poľom Zeme - nabité častice sú odkláňané alebo zachytávané.
- ▶ **magnetický chvost**: na odvrátenej strane Zeme, kde slnečný vietor priamo nenarazí na magnetické pole, sa magnetosféra predlžuje do dlhej štruktúry - vzdialenosť niekoľkých desiatok tisíc km za Zem
- ▶ **zóna formovania energeticky neutrálnych atómov (ENA Formation Zone)**: keď vysokorýchlostné ióny v magnetosfére narazia na neutrálne častice, môžu si vymeniť elektróny, čím sa pôvodne nabité ióny premenia na energetické neutrálne atómy





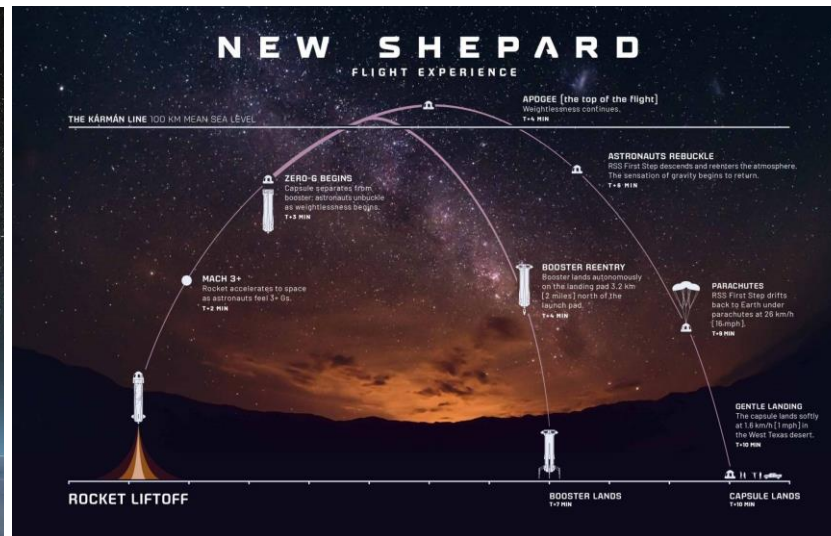
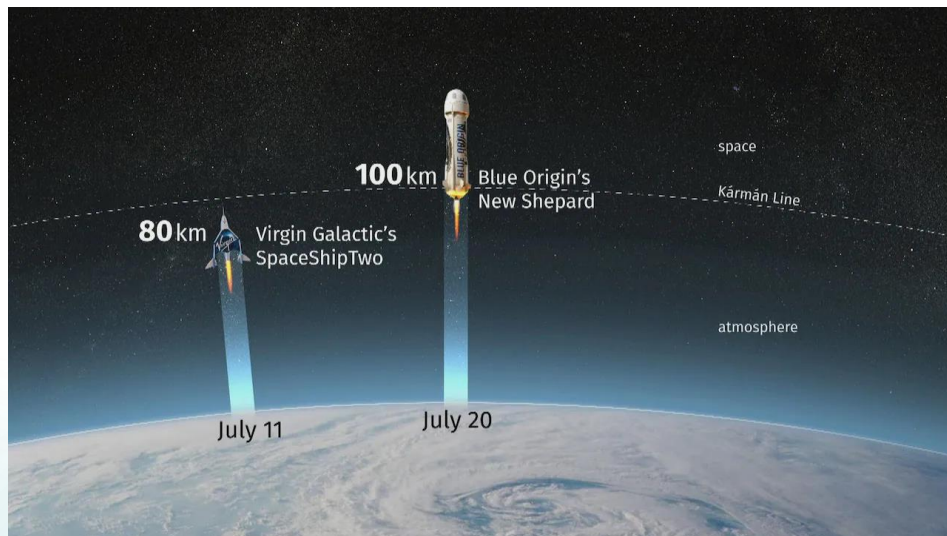
# Vertikálne členenie atmosféry

- ▶ 1999 B. Picard a B. Jones obleteli Zem v balóne s pomocou dýzového prúdenia bez potreby akéhokoľvek paliva za menej než 20 dní
- ▶ 2012 F. Baumgartner skok z výšky 39 km – rýchlosť vyše 800 km/h



# Vertikálne členenie atmosféry


- komerčné lety na **Kármánovú líniu** považovanú za hranicu vesmíru



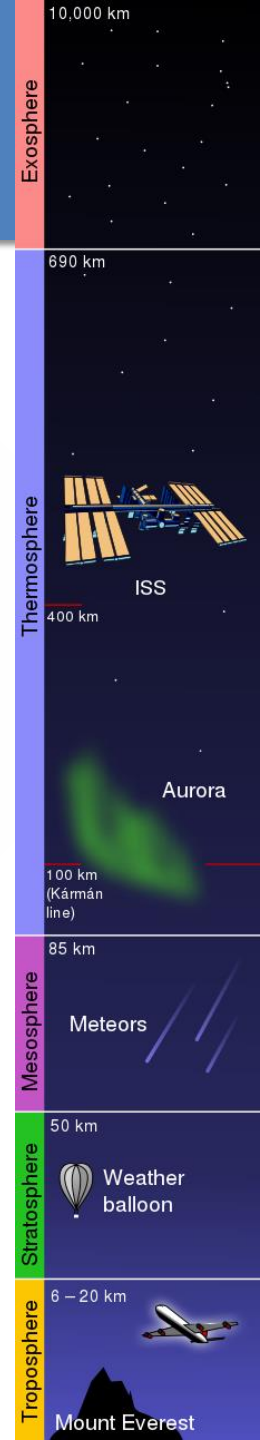
- lety na medzinárodnú vesmírnu stanicu

STARLINER	CREW DRAGON	SOYUZ	SPACE SHUTTLE
			
HEIGHT 5 METERS (16.4 FEET)	8.1 METERS (26.5 FEET)	7.5 METERS (24.6 FEET)	37 METERS (121 FEET)
WIDTH 4.5 METERS (14.7 FEET)	3.7 METERS (12.1 FEET)	2.2 METERS (7.2 FEET)	4.6 METERS* (15 FEET)*
DRY MASS 13 TONNES (28,600 LBS)	9.5 TONNES (20,940 LBS)	7.1 TONNES (15,650 LBS)	68.5 TONNES (151,000 LBS)
CREW SEVEN	SEVEN	THREE	EIGHT
VOLUME 11 M <sup>3</sup> (388 FT <sup>3</sup> ) PRESSURIZED	10 M <sup>3</sup> (353 FT <sup>3</sup> ) PRESSURIZED	8.5 M <sup>3</sup> (300 FT <sup>3</sup> ) PRESSURIZED	74.3 M <sup>3</sup> (2,623 FT <sup>3</sup> ) PRESSURIZED
NONE UNPRESSURIZED	14 M <sup>3</sup> (494 FT <sup>3</sup> ) UNPRESSURIZED	NONE UNPRESSURIZED	300 M <sup>3</sup> (10,600 FT <sup>3</sup> ) UNPRESSURIZED

EVERYDAY  
ASTRONAUT

STARLINER	CREW DRAGON	SOYUZ	SPACE SHUTTLE
			
ROCKET ATLAS V N22	FALCON 9 BLOCK5	SOYUZ FB	SPACE TRANSPORTATION SYSTEM
RELIABILITY 100% (79/79)	97.1% (67/69)	96.9% (996/1,028) TOTAL 98.5% (65/66) FG ONLY	98.5% (133/135)
LAUNCH SITE SLC-41 CAPE CANAVERAL AFB	LC-39A KENNEDY SPACE CENTER	LC-115 BAIKONUR COSMODROME	LC-39A & LC-39B KENNEDY SPACE CENTER
\$PER SEAT \$58 MILLION	\$58 MILLION	\$82 MILLION	~\$43 MILLION - \$214 MILLION

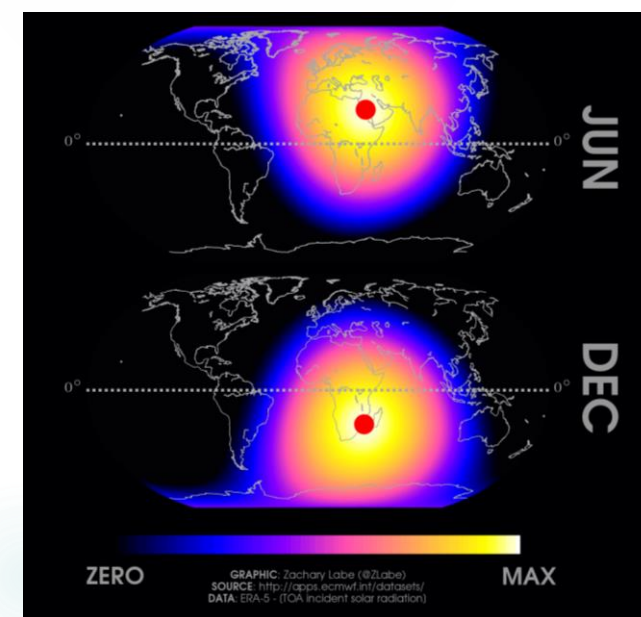
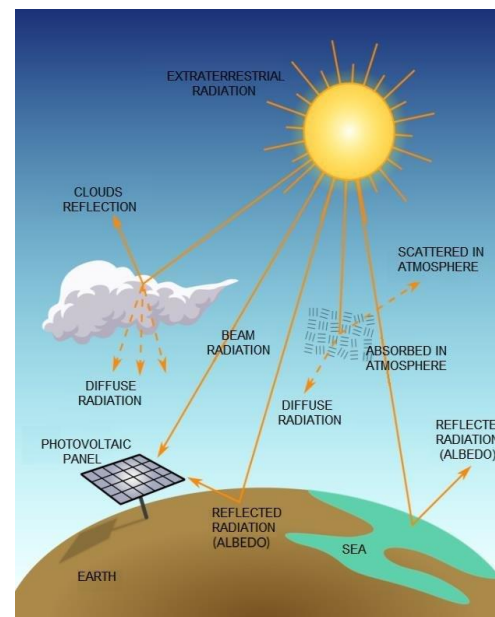
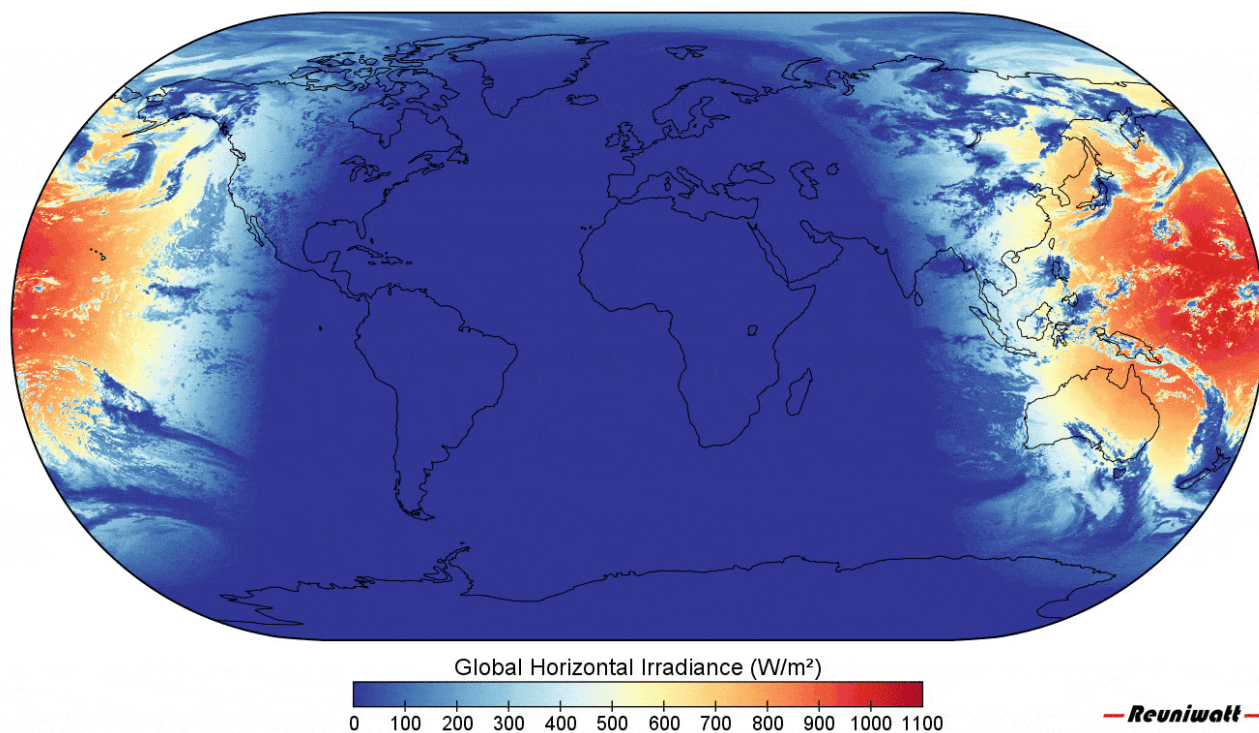
EVERYDAY  
ASTRONAUT





# Slnčné žiarenie

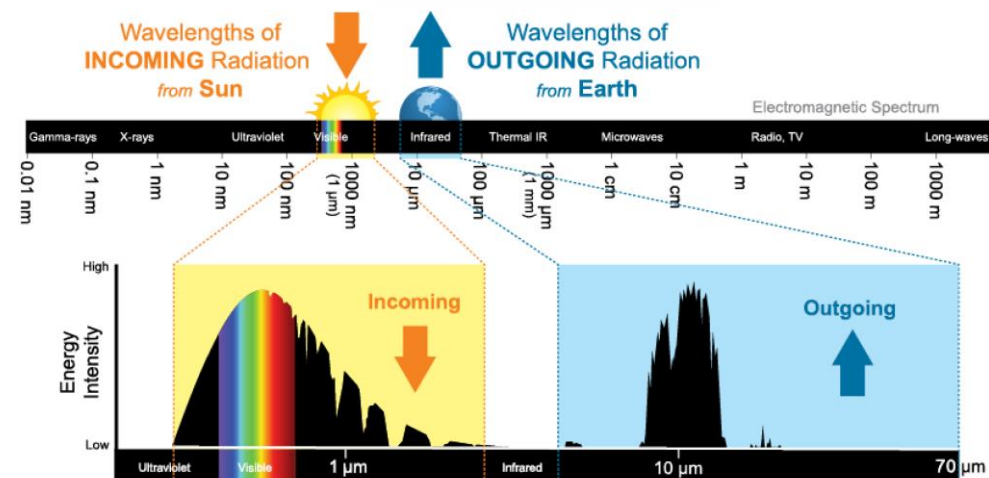
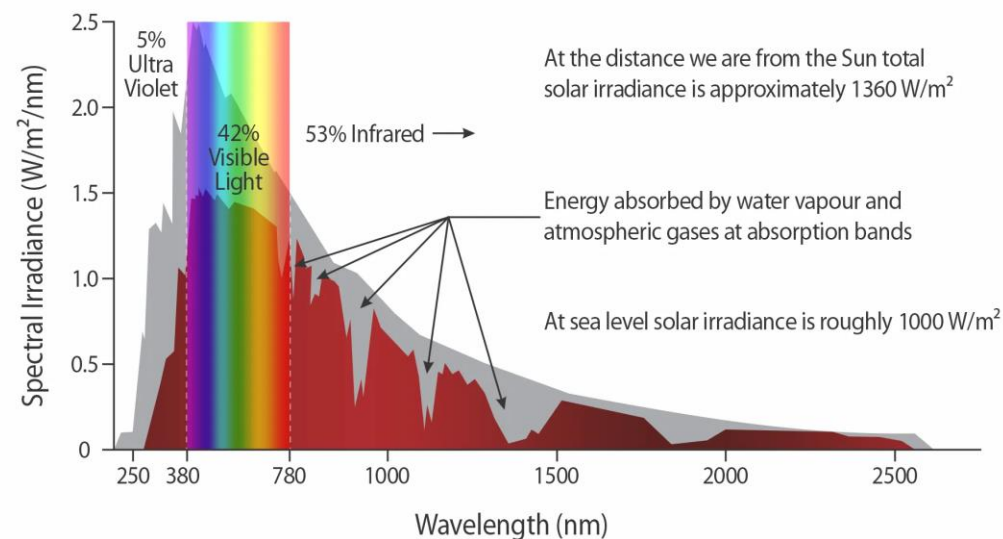
- ▶ je **jediným významným zdrojom energie** pre planetárny geosystém
- ▶ **ostatné energetické zdroje** sú v porovnaní so žiarivou energiou Slnka dopadajúcou na zemský povrch **zanedbateľné** (napr. vnútorná energia Zeme, energia kozmického žiarenia...)
- ▶ slnečné žiarenie (elektrické a magnetické vlny) sa šíri v kozmickom priestore rýchlosťou  $300\,000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$  a prekonáva vzdialenosť  $150\,000\,000\text{ km}$  (vzdialenosť Zem – Slnko) za 8,3 min
- ▶ slnko svojou energiou ohrieva Zem, ktorej priemerná ročná teplota sa pohybuje okolo  $+16\text{ °C}$
- ▶ teplota kozmického priestoru je  $-273\text{ °C}$



# Slné žiarenie

- ▶ preniká na Zem v podobe rozličných **vlnových dĺžok** - od tisícín mikrometra ( $1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm}$ ) do niekoľko nm ( $1 \text{ nm} = 0,001 \mu\text{m}$ )
- ▶ vlnová dĺžka  $0,002$  až  $0,4 \mu\text{m}$  (**ultrafialové**) – 7% pohlcuje ozón  
vlnová dĺžka  $0,4$  až  $0,78 \mu\text{m}$  (**viditeľné žiarenie**) - 46%  
vlnová dĺžka  $0,78 \mu\text{m}$  (**infračervené žiarenie**) – 47%
- ▶ v meteorológii a klimatológii sa rozlišujú:  
**krátkovlnné** ( $0,1$  do  $4 \mu\text{m}$ )  
**dlhovlnné** ( $4$  do  $120 \mu\text{m}$ ) žiarenie
- ▶ slnečné žiarenie sa skladá z 99 % z krátkovlnného žiarenia,  
dlhovlnné žiarenie je vysielané zo zemského povrchu a atmosféry
- ▶ vlnové dĺžky  $0,1$  až  $100 \mu\text{m}$  – **rozhodujúci podiel na energetickej bilancii Zeme**
- ▶ intenzita slnečného žiarenia, ktoré prichádza na hornú hranicu atmosféry sa nazýva **solárna konštanta** ( $1373 \pm 20 \text{ W.m}^{-2}$ ) – zmena v dôsledku eliptickej obežnej dráhy Zeme o  $\pm 3,5\%$

Solar Radiation Spectrum



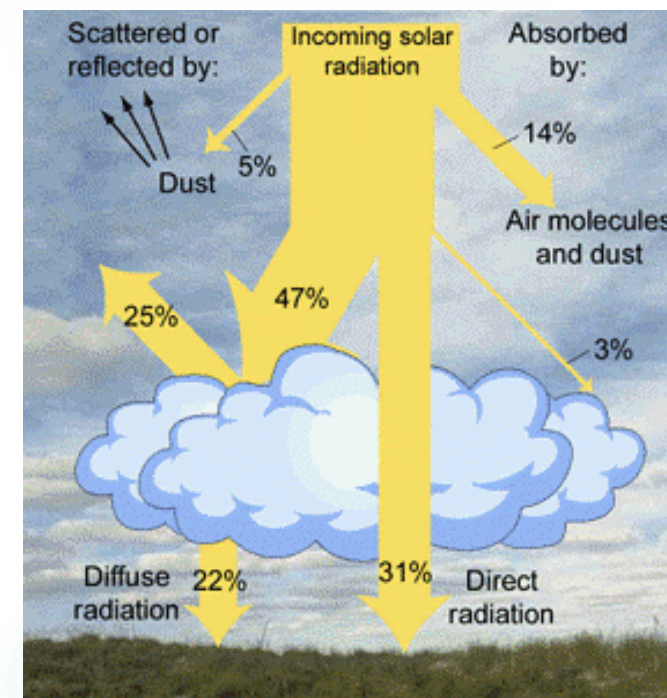
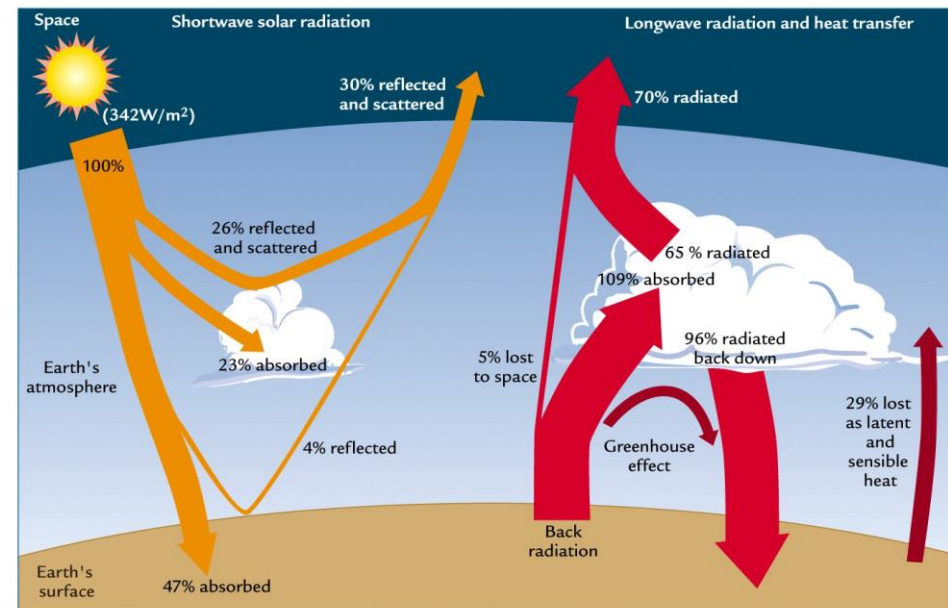
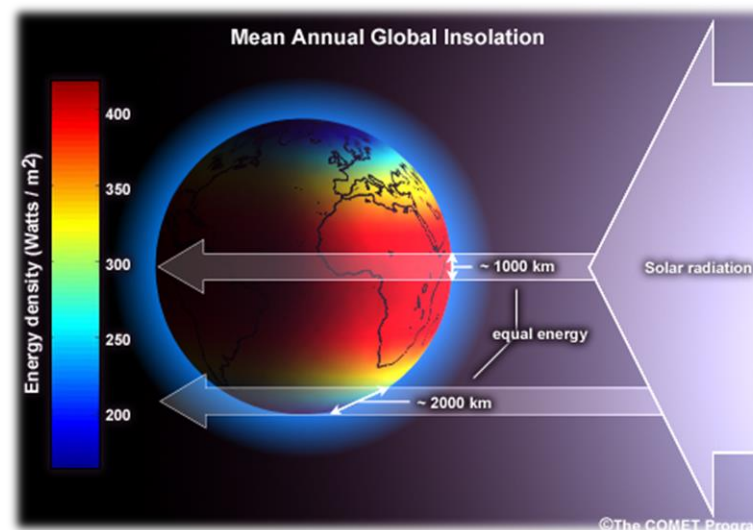
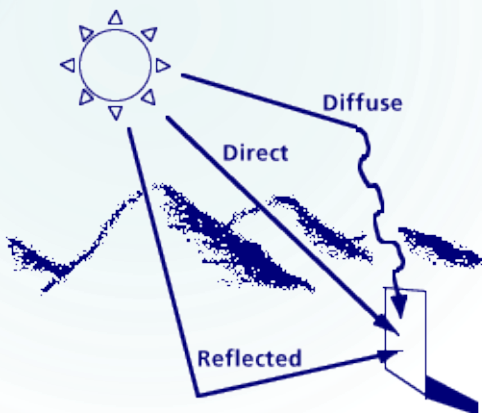


# Slnčné žiarenie

► žiarenie **dopadajúce na zemský povrch** sa delí na:

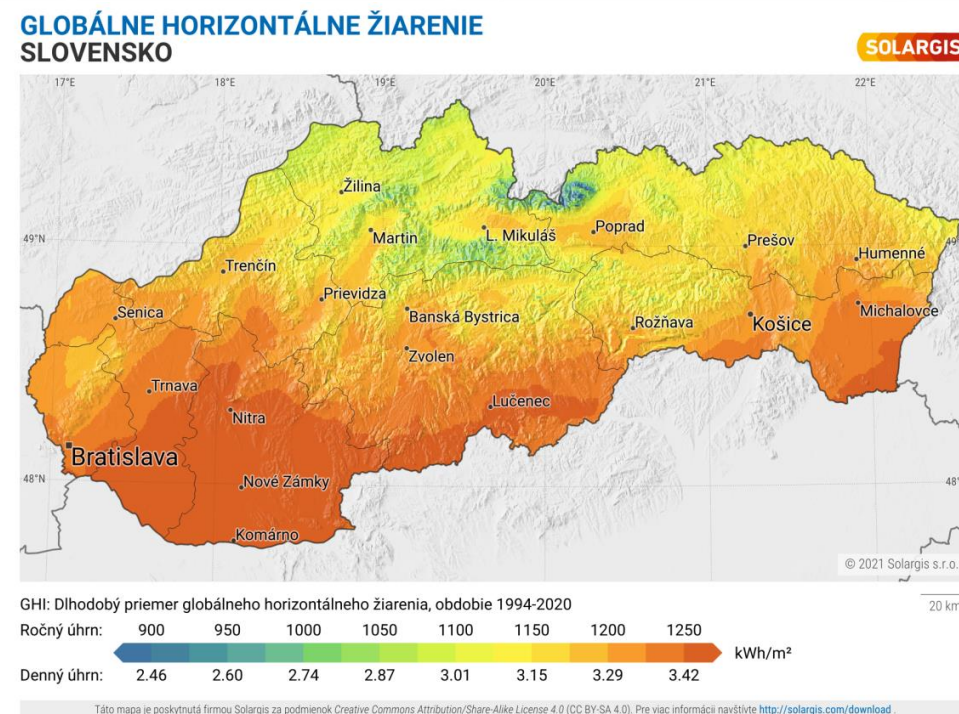
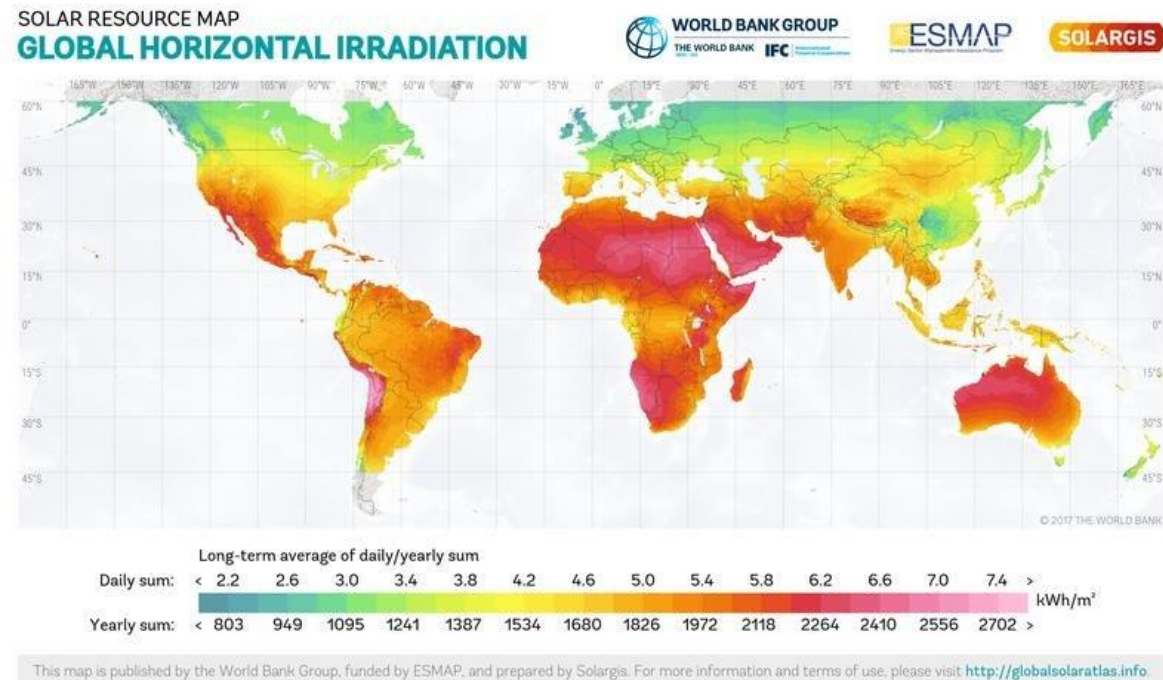
- Priame  $I_h$  (insolácia)
- Rozptýlené  $i$  (difúzne)
- Globálne  $Q$  (priame + difúzne)
- Odrazené  $A$  (albedo)
- Spätné žiarenie atmosféry  $E_A$  a vyžarovanie Zeme  $E_z$  (tepelné)

► podiel jednotlivých druhov žiarenia závisí predovšetkým na hodnote extraterestrickej insolácie, výšky Slnka (zenitová vzdialenosť) a priepustnosti atmosféry



# Slnčné žiarenie

- ▶ **Priame slnečné žiarenie** – krátkovlnné žiarenie vyjadrené vo wattoch na jednotku plochy
- ▶ maximálna intenzita žiarenia - plocha kolmá na smer žiarenia
- ▶ intenzita klesá s rastúcou dĺžkou dráhy slnečných lúčov atmosférou (pokles nadmorskej výšky, poloha Slnka nad obzorom), s mierou zakalenia atmosféry
- ▶ **Rozptýlené slnečné žiarenie** – krátkovlnné žiarenie (25% z celkového toku slnečného žiarenia)
- ▶ intenzita sa zvyšuje s množstvom častíc zakaľujúcich vzduch, ovplyvnená oblačnosťou, snehovou pokrývkou, výškou Slnka nad obzorom, nadmorskou výškou a zemepisnou šírkou
- ▶ vo vyšších zemepisných šírkach v zime predlžuje deň
- ▶ **Globálne žiarenie** – celkové krátkovlnné slnečné žiarenie
- ▶ intenzita sa zvyšuje výškou Slnka nad obzorom a s poklesom zakalenia atmosféry, je výrazne závislé od oblačnosti



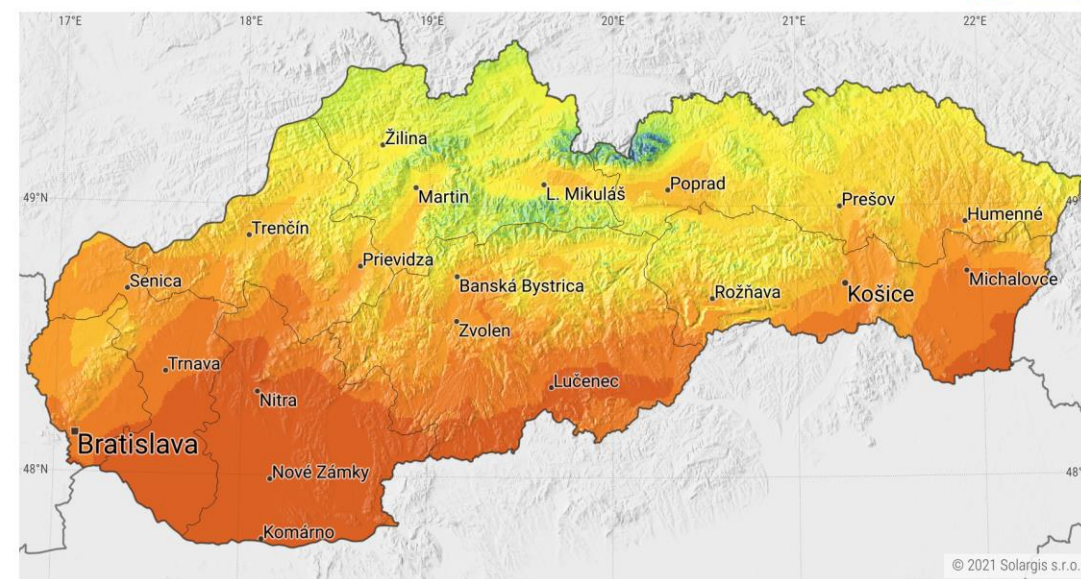


# Slnčné žiarenie

- ▶ zohrievanie vzduchu umožňuje vznik **globálnych tepelných režimov**
- ▶ od slnečnej energie závisia **podnebie**, **počasie** a **teplota** na Zemi
- ▶ **meteorologická solárna konštanta** obsahuje žiarenie, ktoré preniká do troposféry a ovplyvňuje jej energetickú bilanciu
- ▶ **slnečný svit** (klimat. prvok) - časový interval, počas ktorého dosahuje priame slnečné žiarenie zemský povrch
  - ▶ Astronomicky možné trvanie slnečného svitu - max. možný
  - ▶ Efektívne možné trvanie slnečného svitu
    - zmenšený o dobu zatienenia
  - ▶ Relatívne trvanie slnečného svitu
    - pomer medzi Astr. a Efekt. za jednotku času

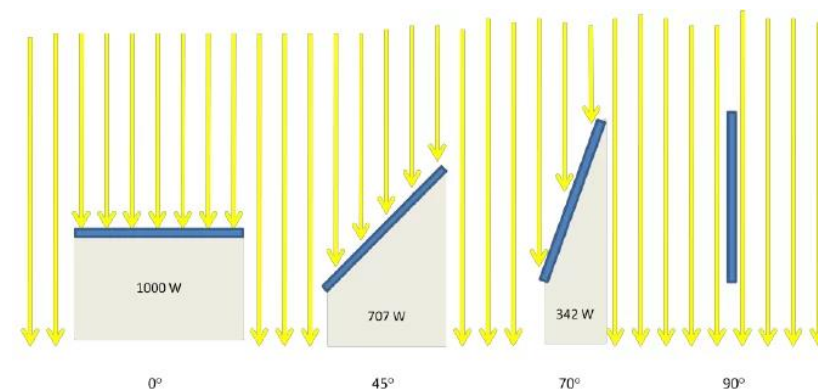
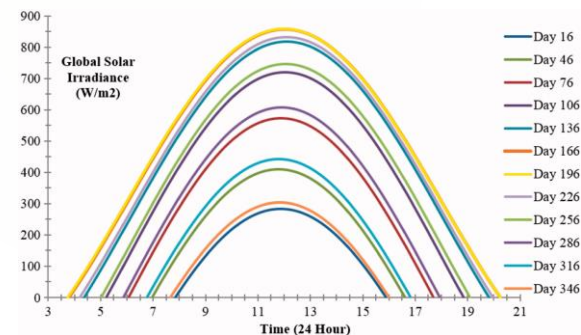
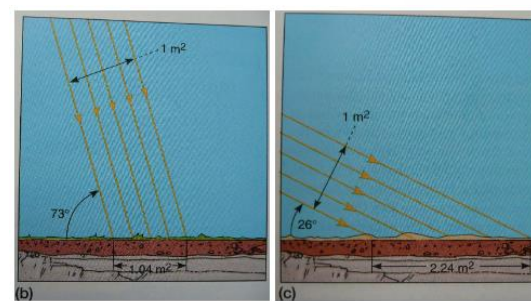
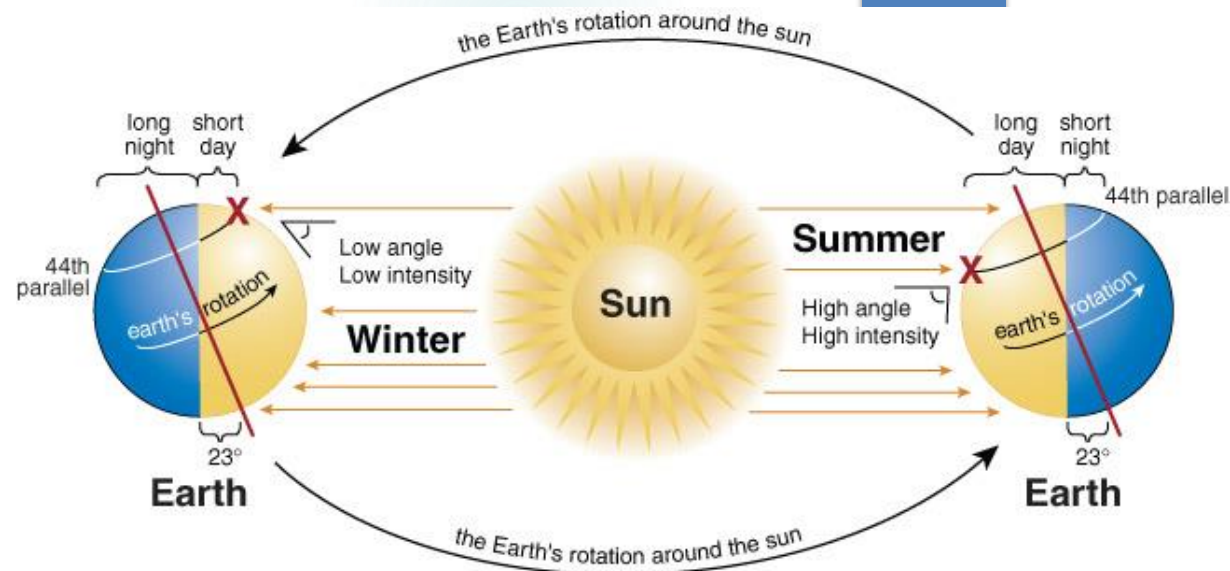


## GLOBALNE HORIZONTÁLNE ŽIARENIE SLOVENSKO



# Slnčné žiarenie

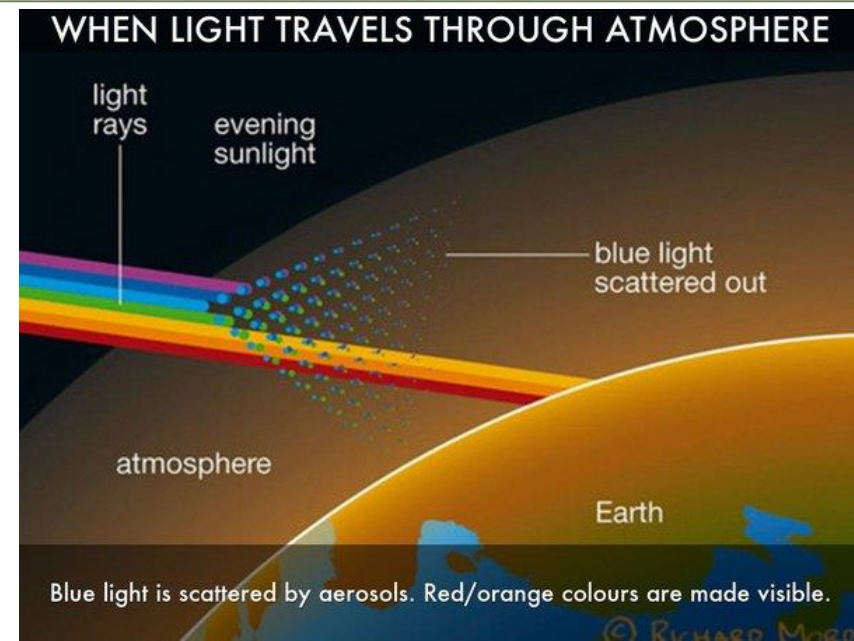
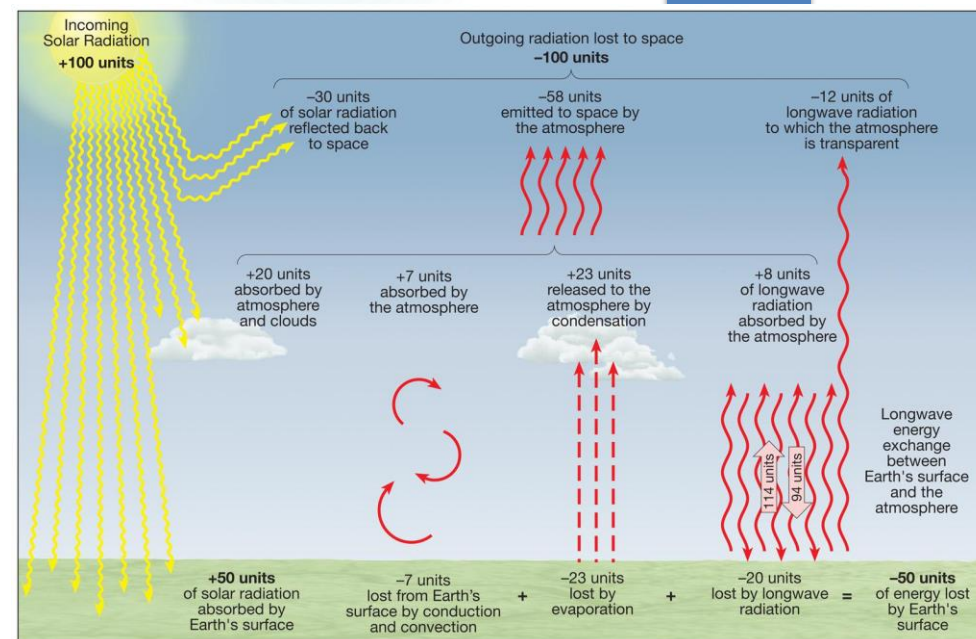
- **Energia** slnečného žiarenia sa pri prechode mení kvantitatívne a kvalitatívne
- intenzita sa znižuje pohlcovaním (absorbciou) a kvalita sa mení rozptylom (difúziou) – zmeny výraznejšie pri väčšej dĺžke prechodu a množstvom prímiesí
- **množstvo tepla**, ktoré dostáva zemský povrch od Slnka, závisí od uhlu dopadu slnečných lúčov, čím je väčší uhol dopadu slnečných lúčov, tým kratšiu cestu musia prekonať lúče v atmosfére
- s uhlom dopadu slnečných lúčov na zemský povrch súvisí rozloženie klimatických pásiem, striedanie ročných období
- najviac sú oslabené ultrafialové a fialové lúče, menej belasé, zelené a žlté, najmenej červené a infračervené
- množstvo priameho slnečného žiarenia dopadajúceho na jednotkovú uklonenú/vodorovnú plochu za jednotku času je **insolácia**
- hodnota insolácie sa mení v závislosti od zenitovej vzdialenosti Slnka – vyššia na uklonenej ploche, než horizontálnej





# Slnčné žiarenie - Prechod atmosférou

- ▶ **Pohlcovanie (absorbcia)** - jednotlivé plyny, ktoré tvoria atmosféru, pohlcujú žiarenie rozličných častí slnečného spektra v rozličnom stupni
  - ▶ dusík pohlcuje žiarenie z úzkeho pásma ultrafialového žiarenia
  - ▶ kyslík viditeľnú časť spektra a ultrafialové žiarenie
  - ▶ najsilnejšie pohlcuje slnečné žiarenie ozón
  - ▶ v nižších vrstvách atmosféry pohlcuje slnečné žiarenie, hlavne infračervené žiarenie, najviac oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), vodné pary (oblaky) a drobné tuhé častice nachádzajúce sa v atmosfére
- ▶ celkove podlieha pohlteniu v atmosfére asi 15 % priameho slnečného žiarenia
- ▶ pohlcovanie IČ žiarenia vodnými parami a  $\text{CO}_2$  zosilňuje skleníkový efekt
- ▶ atmosféra pohlcuje aj dlhovlnné žiarenie zo zemského povrchu a vyžaruje ho späť, čím sa znižuje strata tepla (v noci chráni zemský povrch, cez deň nebráni ohrievaniu)
- ▶ **Rozptyl (difúzia)** - je výsledkom odchyľovania sa lúčov od pôvodného smeru, lebo sa lámu a odrážajú na molekulách ovzdušia (**Rayleighov**) alebo kvapkách a pevných časticiach (**Aerosolový**) do všetkých smerov
- ▶ najintenzívnejšie podliehajú rozptylu fialové lúče a najmenej červené lúče – vysvetľuje modrú farbu oblohy (rozptýlené žiarenie modré, priame žlté)
- ▶ ak by určitá časť žiarenia nepodliehala rozptylu, počas zamračených dní by bola úplná tma - na Zem by nepreniklo priame žiarenie Slnka, podobne pri západe Slnka za horizont by hneď nastala tma
- ▶ rozptylu podlieha asi 25 % slnečného žiarenia, ktoré preniká do zemskej atmosféry

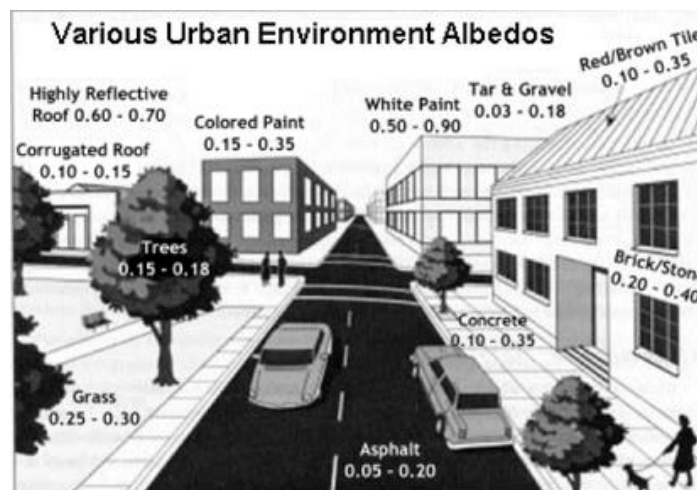


# Slnčné žiarenie - Prechod atmosférou

- ▶ **Oslabenie slnečného žiarenia (extincia)** – v dôsledku absorpcie a difúzie prechodom atmosférou
- ▶ koeficient priepustnosti atmosféry udáva aká časť solárnej konštanty prechádza k zemskému povrchu pri kolmom dopade lúčov
- ▶ **Zákalový faktor (Linke turbidity)** - vyjadruje pomer celkového koeficientu oslabenia v reálnej atmosfére k celkovému koeficientu oslabenia v ideálnej atmosfére  
2 – studený čistý vzduch až 6 – vzduch znečistený aerosólom
- ▶ **Odrazené žiarenie (Albedo)** – pomer množstva odrazeného žiarenia k žiareniu, ktoré dopadá na povrch, percento odrazeného žiarenia, ktoré dopadá na povrch Zeme, označuje schopnosť pohlcovania slnečného žiarenia, Albedo Zeme - 30%

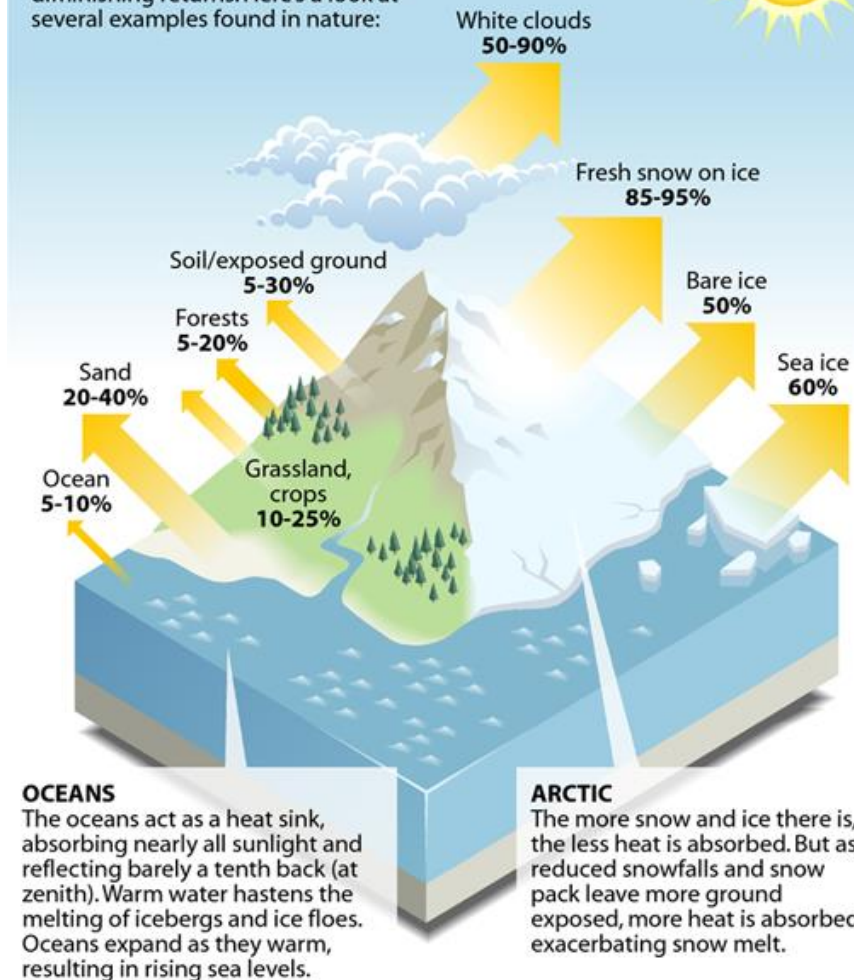
Povrch	Albedo (%)
čerstvý sneh	70 – 80
starý sneh	30 – 50
piesok	30 – 35
pôda bez porastu – svetlá	35
pôda bez porastu – tmavá, suchá	15
pôda bez porastu – tmavá, vlhká	8 – 10

Povrch	Albedo (%)
pôda bez porastu – čerstvo zoraná	5
lúky	20 – 25
porast obilia (pšenica, raž, ovos)	15 – 25
vodná hladina pri výške Slnka 45 °	5
vodná hladina pri výške Slnka 15 °	25
vodná hladina pri výške Slnka 5 °	55



## Keeping Things Cool: The Albedo Effect

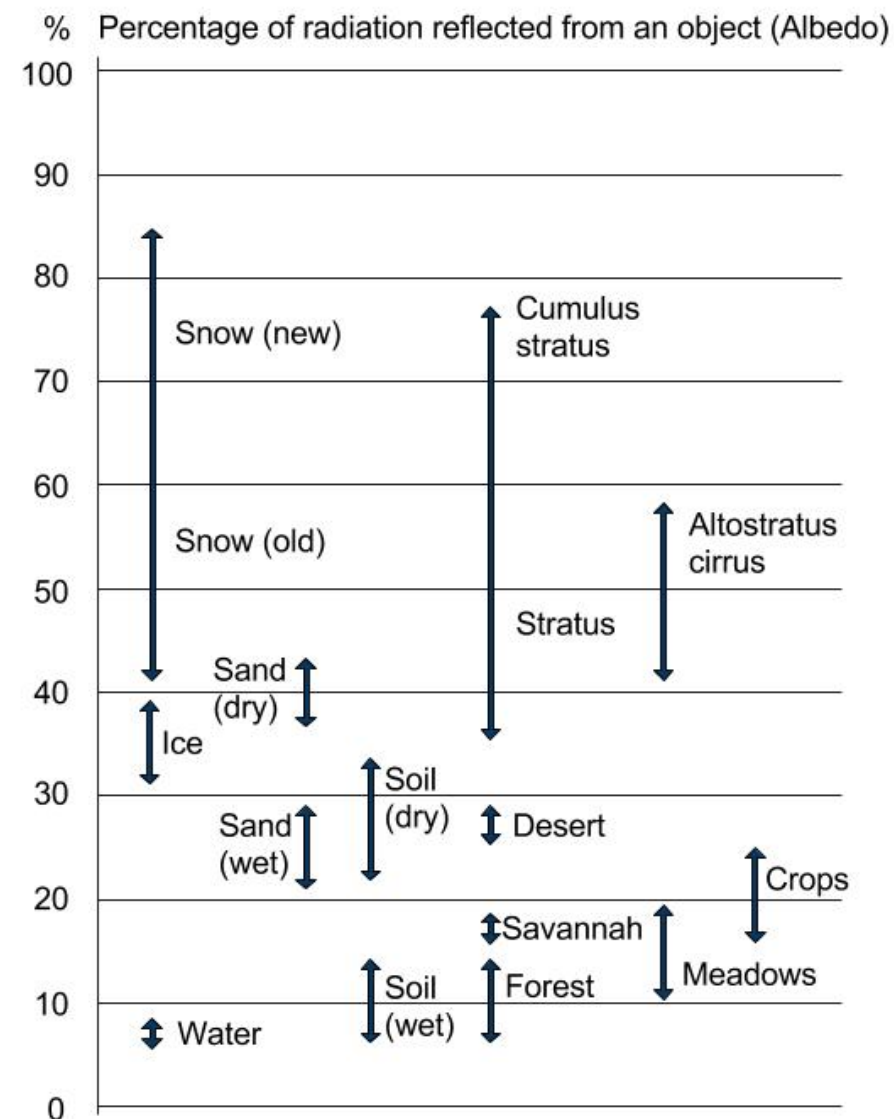
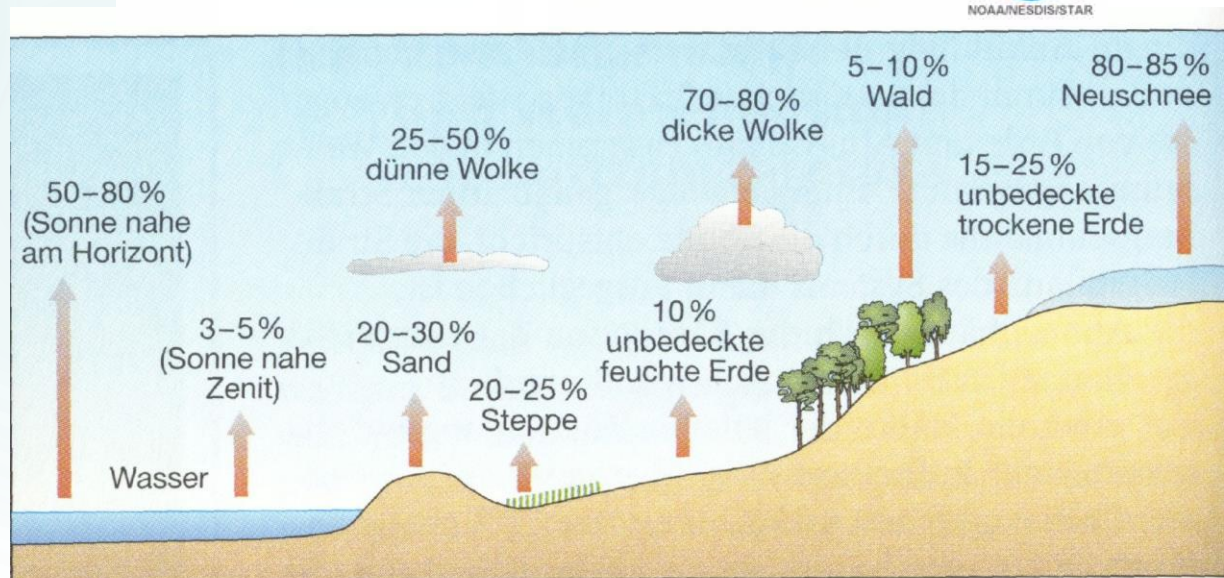
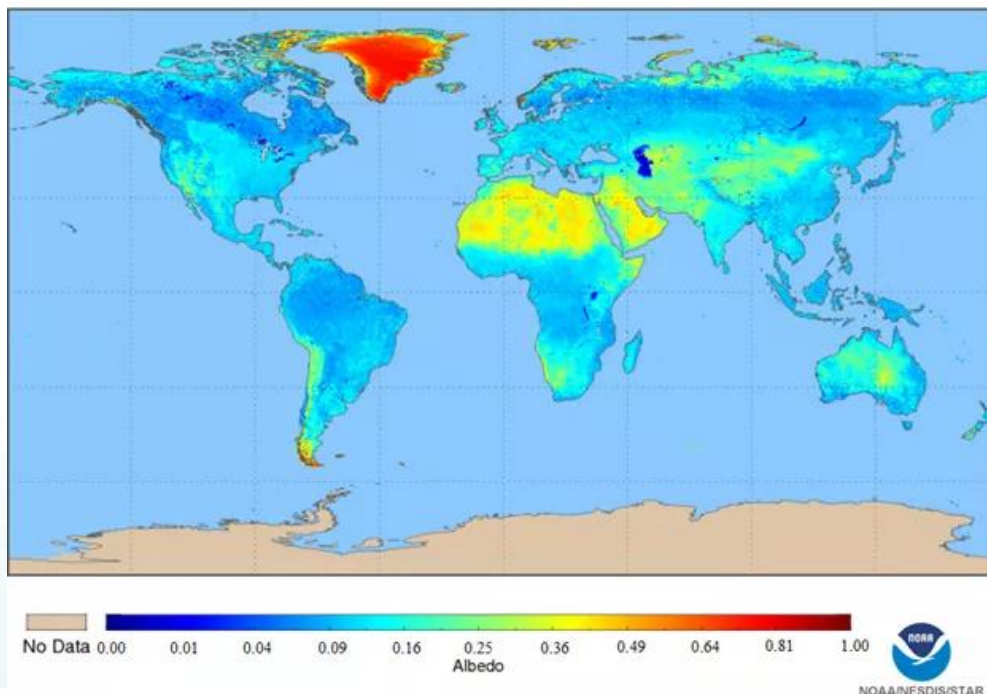
The albedo effect — the reflectivity of sunlight on various surfaces — is important in keeping the Earth cool. Clean, white clouds and fresh snow and ice reflect the most sunlight, while exposed land, water and vegetation have diminishing returns. Here's a look at several examples found in nature:



Note: Illustration is diagrammatic and not to scale.

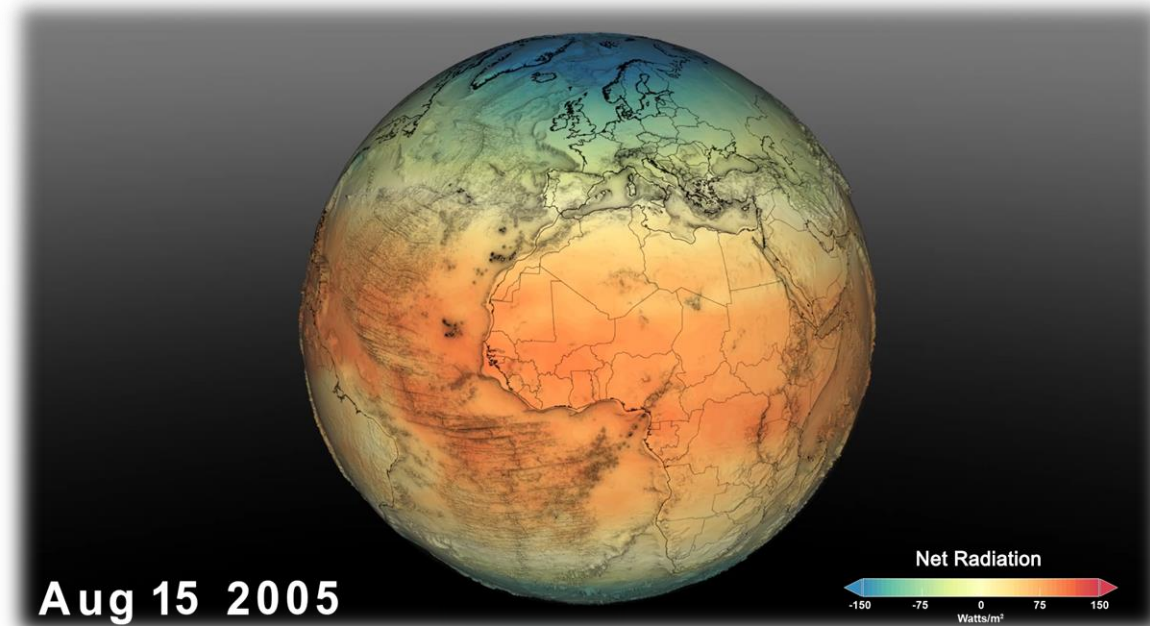
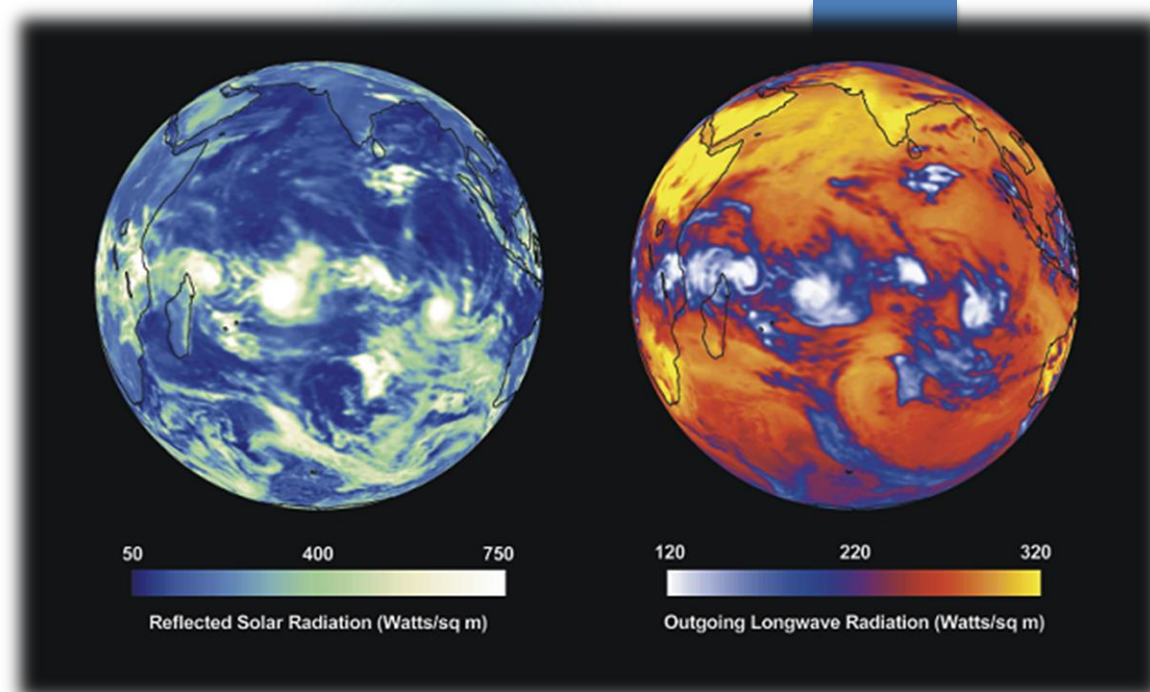


# Slné žiarenie - Prechod atmosférou



# Žiarenie atmosféry a Zeme

- ▶ slnečné žiarenie, ktoré zohrieva povrch Zeme a tým aj spodné vrstvy atmosféry robí Zem zdrojom žiarenia (dlhovlnné žiarenie - IČ tepelné)
  - časť pohltená atmosférou, čo spôsobuje jej ohrievanie
- ▶ časť zemského žiarenia uniká do kozmického priestoru a časť pohlcujú vodné pary a  $\text{CO}_2$  v atmosfére
- ▶ intenzita žiarenia je tým väčšia, čím je vyššia teplota vyžarujúceho telesa
  - Zem dodáva atmosfére najviac tepla cez deň
- ▶ 15% slnečného žiarenia sa spotrebuje na ohrev atmosféry, ktorá vyžaruje (**spätné žiarenie atmosféry**) približne 70% z tohto žiarenia dopadne na zemský povrch (dôležitý zdroj tepla), keby nebolo spätného žiarenia, priemerná teplota by nebola  $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ale  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$  – je menšie než vyžarovanie Zeme
- ▶ rozdiel žiarenia atmosféry a Zeme predstavuje **efektívne vyžarovanie Zeme** = vyjadruje stratu tepla zemského povrchu
- ▶ v noci prebieha strata tepla, ktorá zapríčiňuje pokles teploty, efektívne vyžarovanie je tým väčšie, čím menej je obloha pokrytá oblakmi a čím je prúdenie vzduchu slabšie, teplota v noci má najnižšiu hodnotu za jasných dní tesne pred východom Slnka
- ▶ **Radiačná bilancia** zemského povrchu predstavuje rozdiel medzi pohlteným globálnym žiarením zemského povrchu a jeho efektívnym vyžarovaním





# Skleníkový efekt

- ▶ s efektívnym vyžarovaním súvisí aj **skleníkový efekt** atmosféry
- ▶ na hornej hranici atmosféry sa sústreďujú **skleníkové plyny**, ktoré zabraňujú prenikaniu vyžiarenej energie do voľnej atmosféry

## EMISIE SKLENÍKOVÝCH PLYNOV SLOVENSKA PODĽA SEKTOROV

Celkové emisie Slovenska za rok 2018

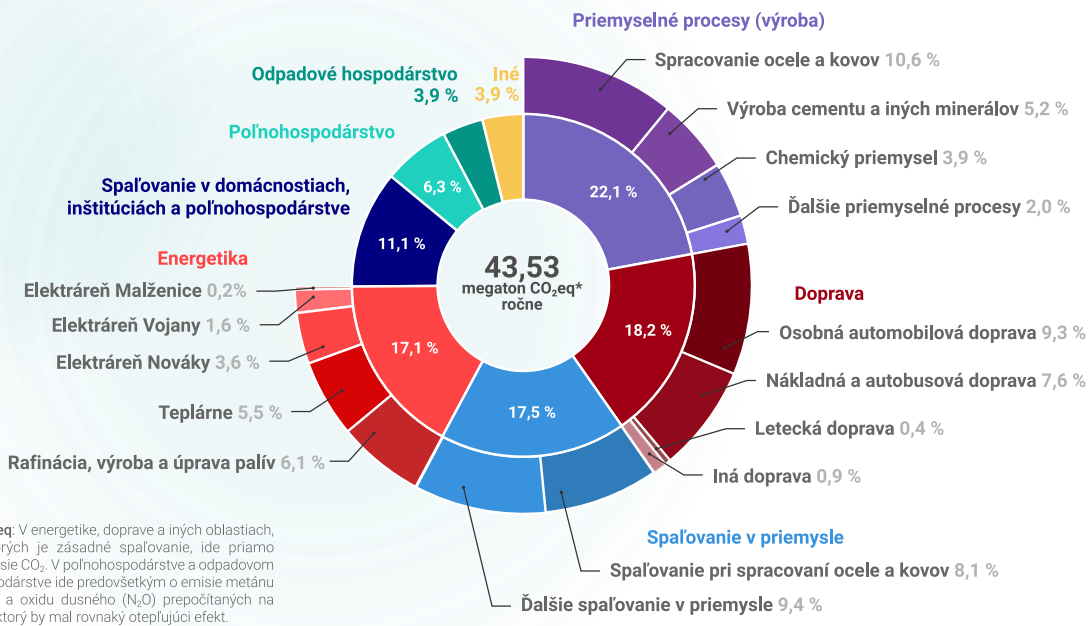
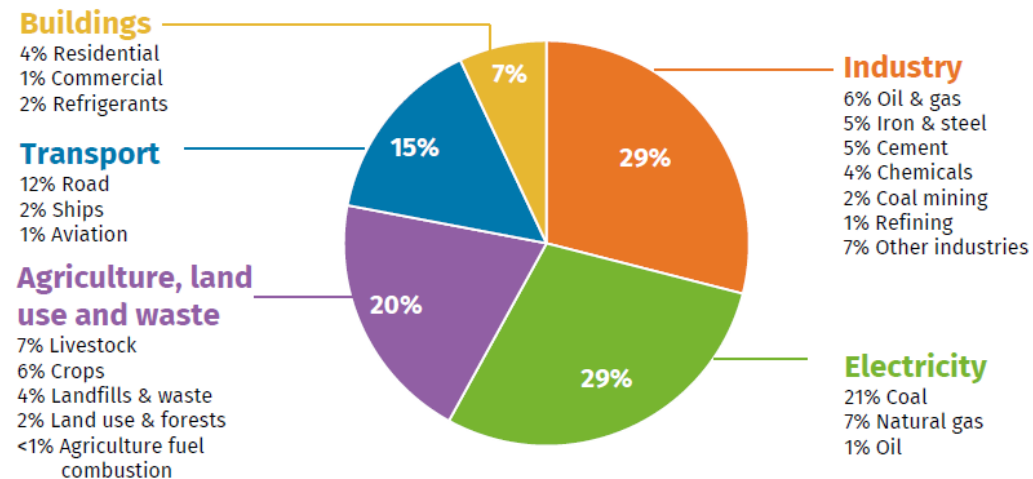


FIGURE 6  
Global emissions by sector  
Percent share of 2021 net GHG emissions

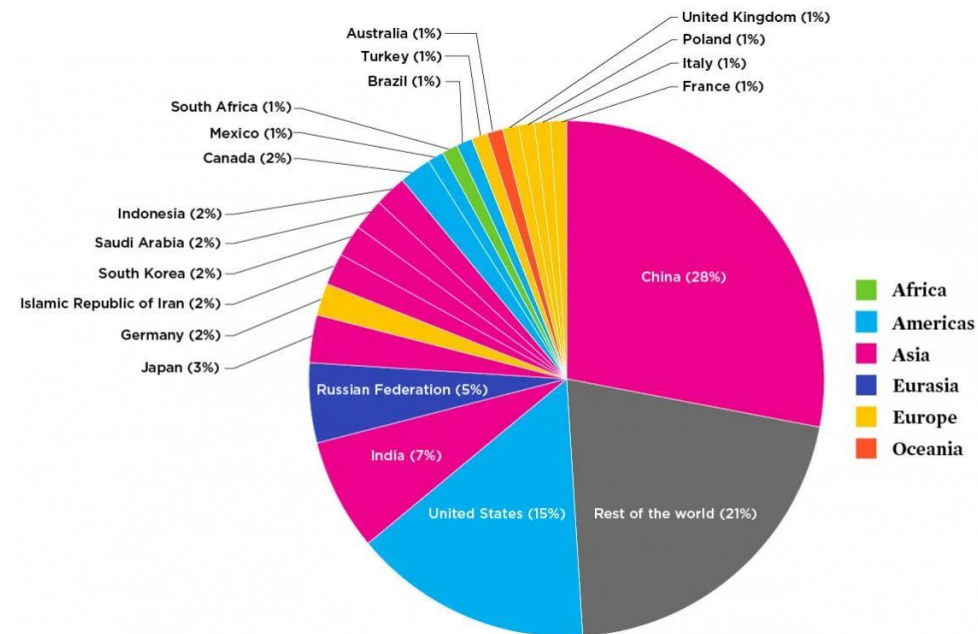


Source: Rhodium Group



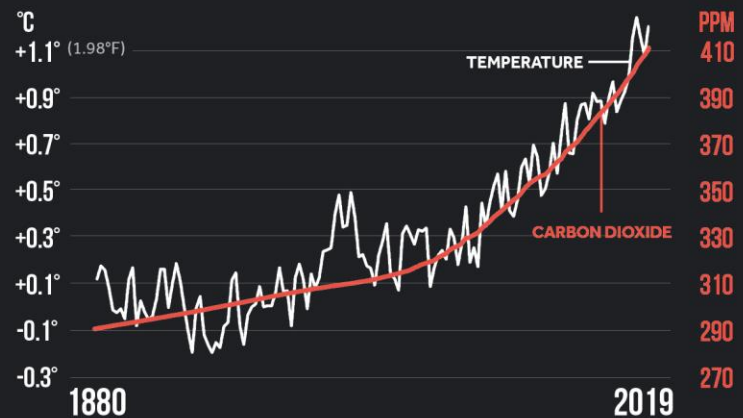
# Skleníkový efekt

- ▶ tento prirodzený jav je zosilňovaný produkciou znečisťujúcich látok, najmä prachových častíc, oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), vodnej pary...
- ▶ medzi hlavné zdroje znečisťujúcich látok v ovzduší patrí rozsiahle vyrubovanie a následné vypaľovanie tropického pralesa, ako aj exhaláty z priemyselnej výroby



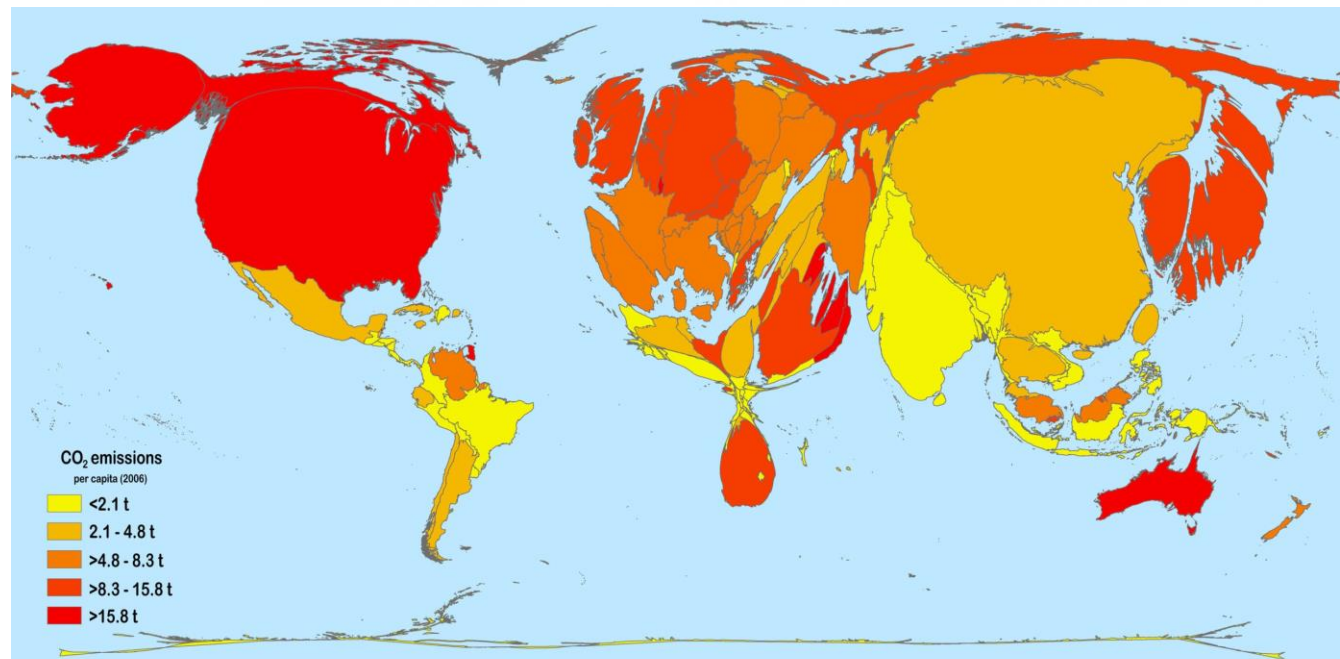
© 2020 Union of Concerned Scientists  
Data: Earth Systems Science Data 11, 1783-1838, 2019

## GLOBAL TEMPERATURE AND CARBON DIOXIDE



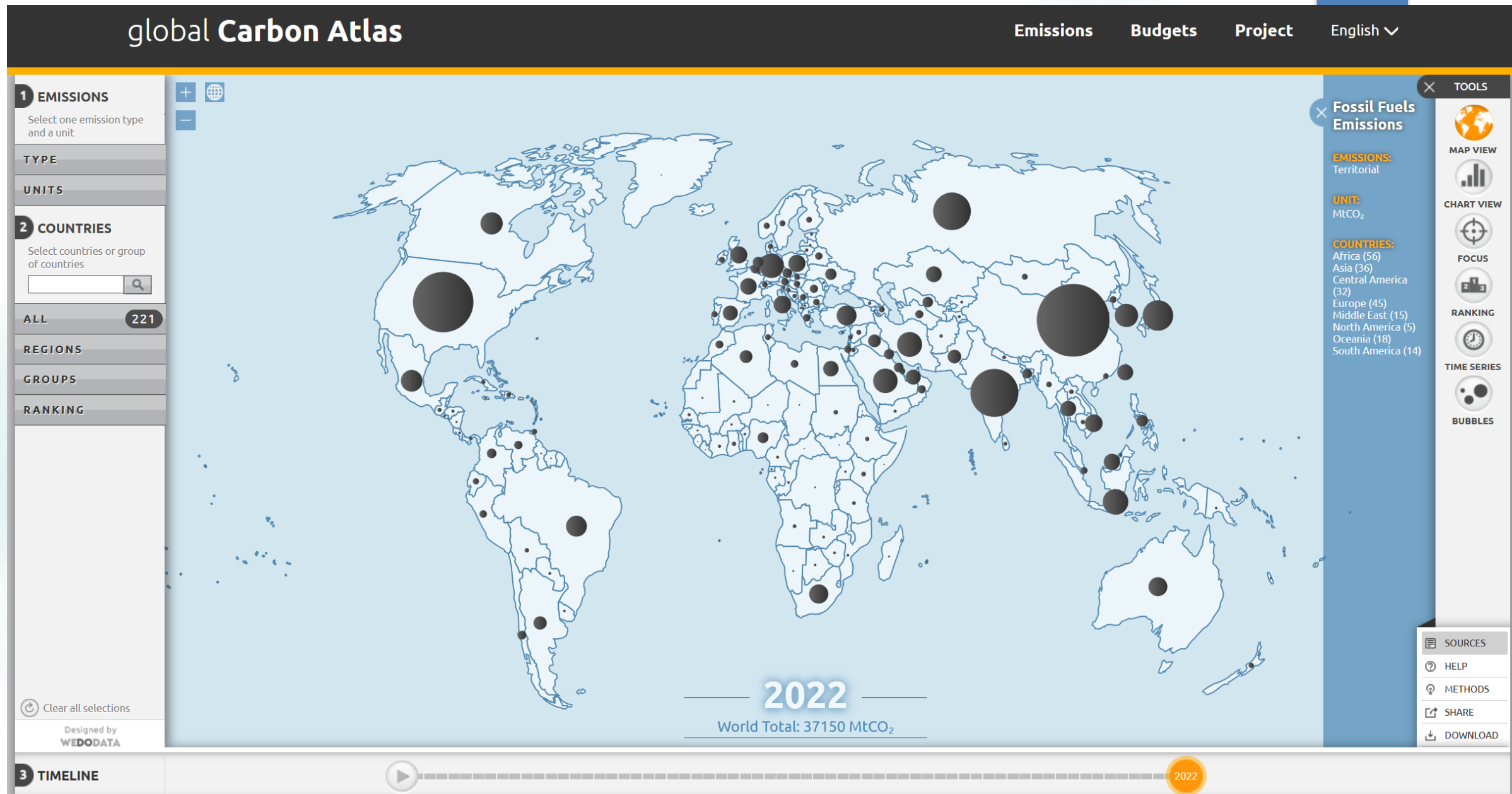
Global temperature anomalies averaged and adjusted to early industrial baseline (1881-1910)  
Global annual average carbon dioxide  
Source: NASA GISS, NOAA NCEI, ESRL

CLIMATE CENTRAL



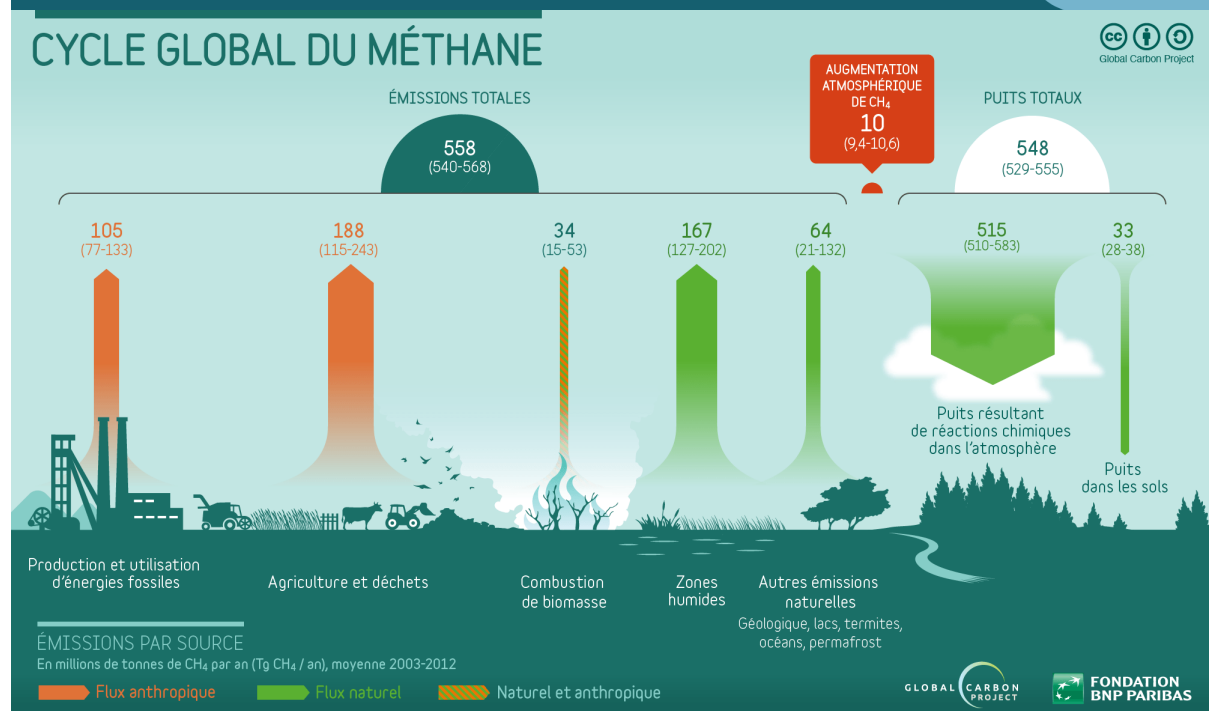
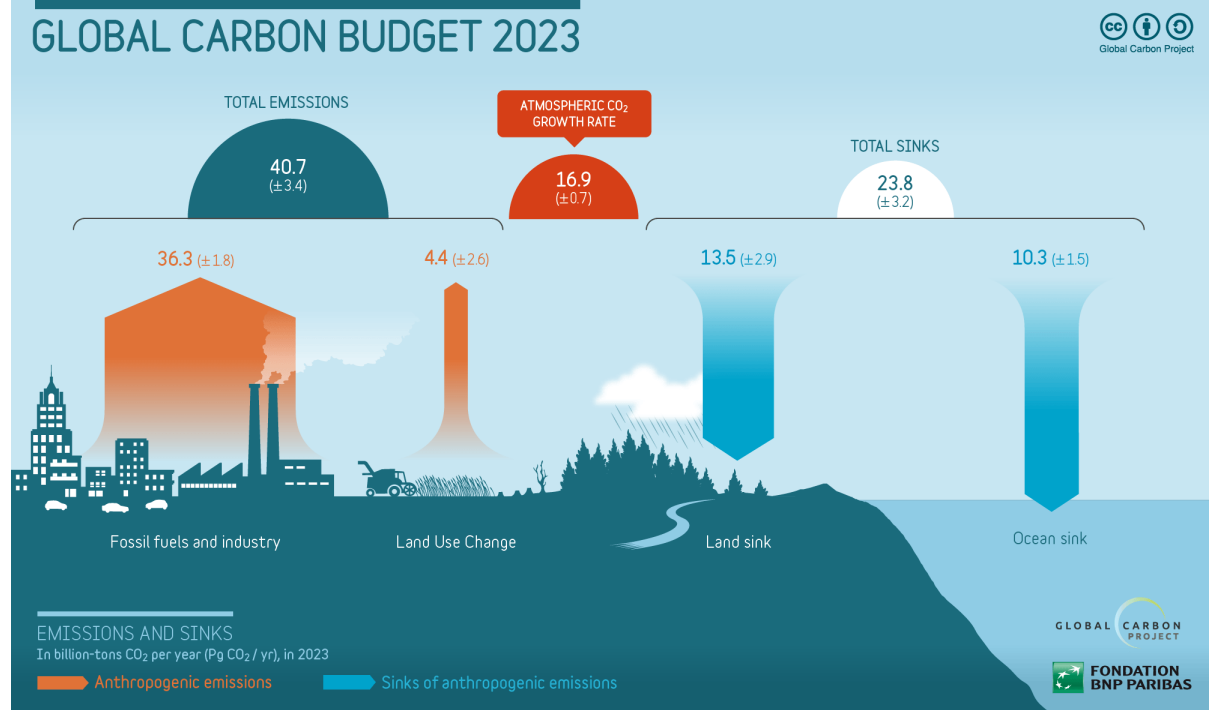
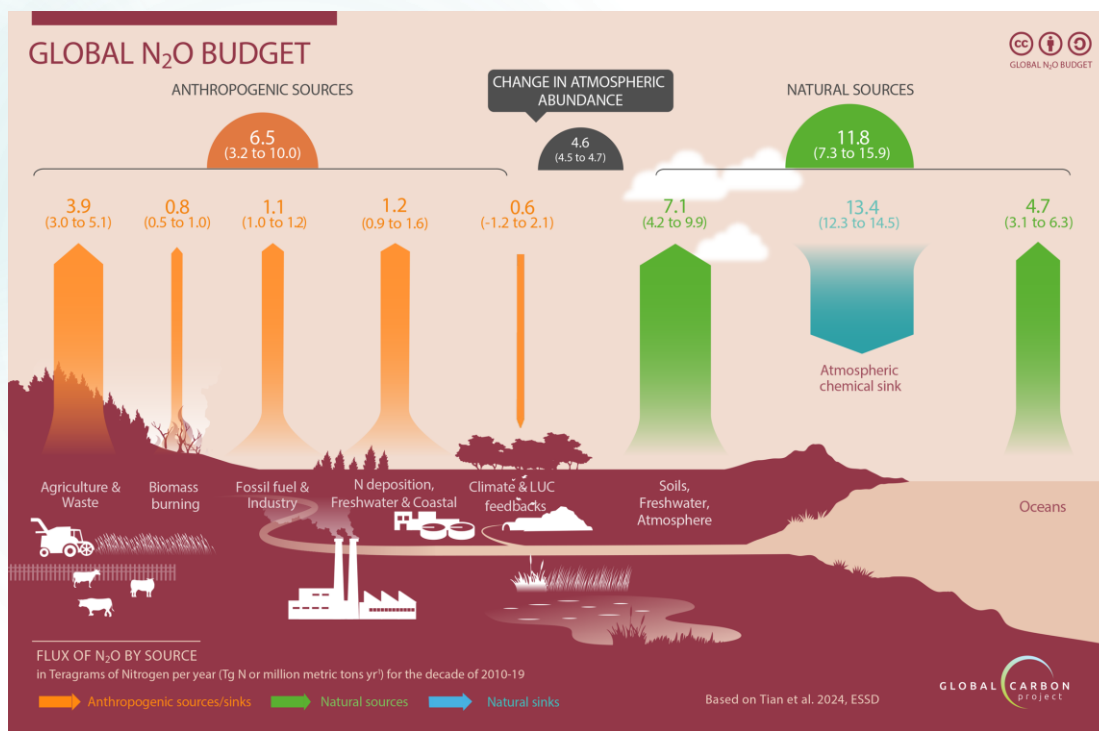


# Skleníkový efekt



# Skleníkový efekt

- ▶ analýza globálnych rozpočtov skleníkových plynov poskytuje kľúčové údaje pre sledovanie účinkov klimatických politík
- ▶ umožňuje stanovenie cieľov na znižovanie emisií a vyhodnotenie stavu prírodných zásobníkov skleníkových plynov



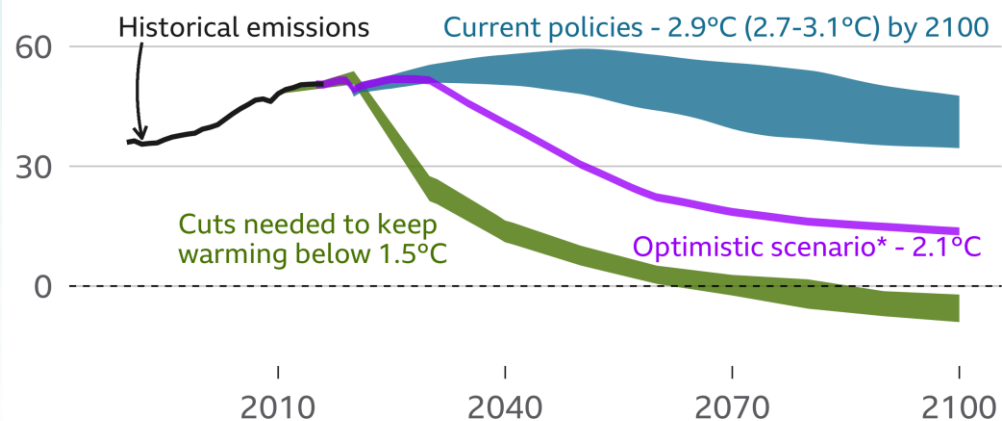


# Skleníkový efekt

- ▶ problematika zosilňovania skleníkového efektu – za minulé storočie zvýšenie priemernej teploty o 0,6°C
- ▶ do roku 2030 sa priemerná teplota vzduchu vo vybraných regiónoch môže zvýšiť až o 2 °C
- ▶ nárast výskytu **extrémnych meteorologických javov** ako sú tropické búrky, uragány či cyklóny, dlhodobé suchá, lesné požiare...

## Greenhouse gas emissions projections

Gigatonnes of global CO<sub>2</sub> equivalent emissions per year



\*Based on new long term promises by China, US, EU and others

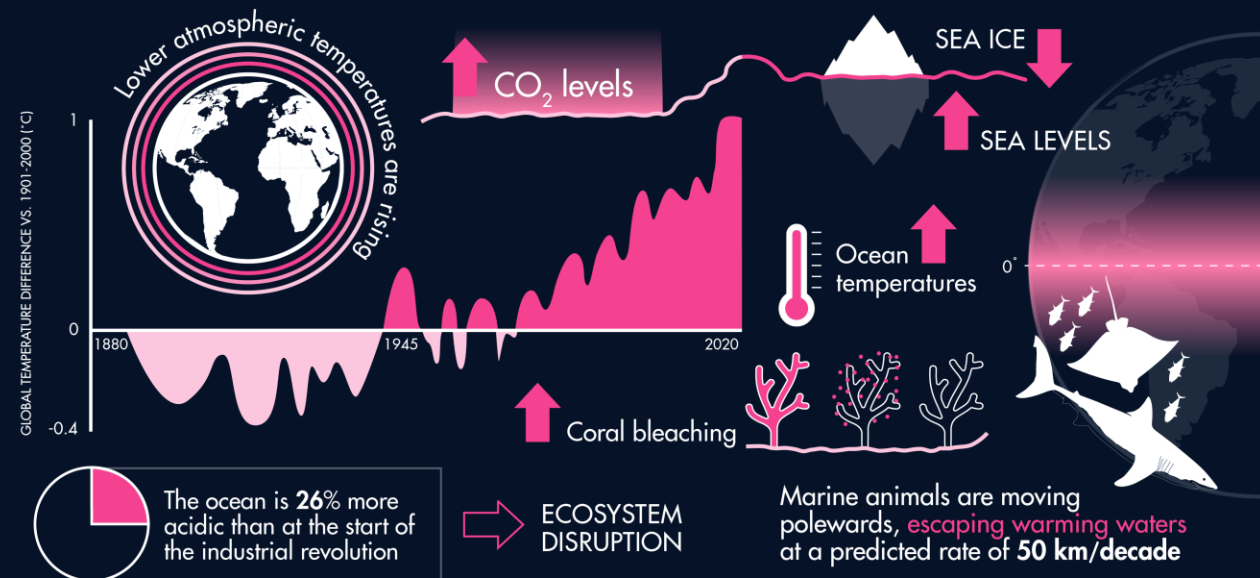
Source: Climate Action Tracker

BBC

## CLIMATE CHANGE

Sustained and long-term shifts in the planet's weather systems and average temperatures.

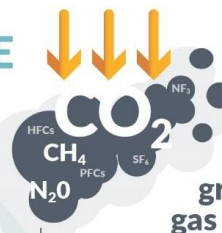
save our seas  
foundation



## RESPONDING TO CLIMATE CHANGE

### THE PARIS AGREEMENT

A global treaty adopted by over  
**190**  
nations



Designed to collectively  
**reduce**  
greenhouse  
gas emissions

The goal is to keep  
global emissions  
to a maximum of  
**2°C**  
above pre-industrial  
levels, and ideally,  
to limit temperature  
rise to 1.5°C



A reduction of greenhouse  
gas emissions by

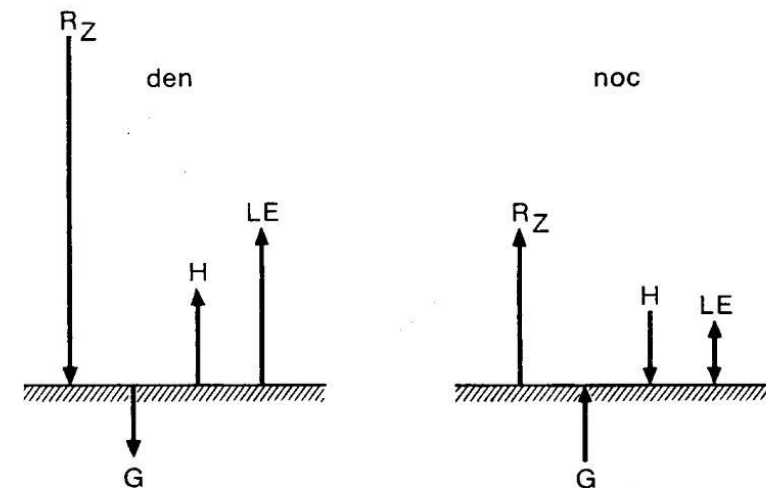
**50%**  
by 2030  
and a further  
**50%**  
before 2050



to reach  
**NET ZERO**

# Radiačná bilancia

- ▶ medzi **aktívnym povrchom a atmosférou** prebieha nepretržitá premena a výmena energie:
  - ▶ turbulentným tokom **H** – z aktívneho povrchu a k nemu
  - ▶ latentným tokom tepla **LE** – charakter turbulencie (strata tepla pri vyparovaní a kondenzácii)
  - ▶ dlhovlnným vyžarovaním Zeme **E<sub>Z</sub>**
  - ▶ tokom tepla **G** do podložia aktívneho povrchu alebo z podložia
  - ▶ molekulárnym vedením **M** – zanedbateľné
- ▶ súčet všetkých príjmov a strát na zemskom povrchu sa **rovná 0**
- ▶ rovnica tepelnej (energetickej) bilancie aktívneho povrchu:
  - ▶  $R_Z = H + LE + G$
- ▶ charakter členov rovnice energetickej bilancie určuje typ počasia a dennú (ročnú) dobu



	bilancia krátkovlnného žiarenia		bilancia dlhovlnného žiar.		transport tepla z aktiv. povrchu do atmosféry turbulentnou a výparom		výsledok
horná hranica atmosféry	$I_r$ (2881,5 kW·m <sup>-2</sup> za rok) 100 %	strata 72 %		zisk 72 %			72 % - 72 % = 0 %
stratósféra	↓ 3 %	zisk 3 %	↑ 8 % ↑ 64 %	strata 3 %			3 % - 3 % = 0 %
subsystem atmosféry	(↓ 19 %) $(1+i)A$ 22 % (↑ 9 %) $i_z$ 6 % (↑ 3 %) $i_h$ 3 %	zisk 22 %	$E_o$ $E_k$ $E_z - E_o$ 109 % $E_z$ $E_A$	strata 51 %	(↑ 5 %) $H$ (↑ 24 %) $LE$	zisk 29 %	22 % + 29 % - 51 % = 0 %
subsystem aktivního povrchu	22 % 25 % $(I_h + i_z) \cdot (1 - \alpha)$	zisk 47 %	114 % 96 % $E_z^*$	strata 18 %	5 % 24 %	strata 29 %	47 % - 18 % - 29 % = 0 %

Schéma zložiek bilancie žiarenia a jeho subsystémov



# Radiačná bilancia atmosféry

- Súčet tokov žiarenia, ktoré atmosféra pohlcuje a vyžaruje tvorí radiačnú bilanciu atmosféry (**je záporná**):

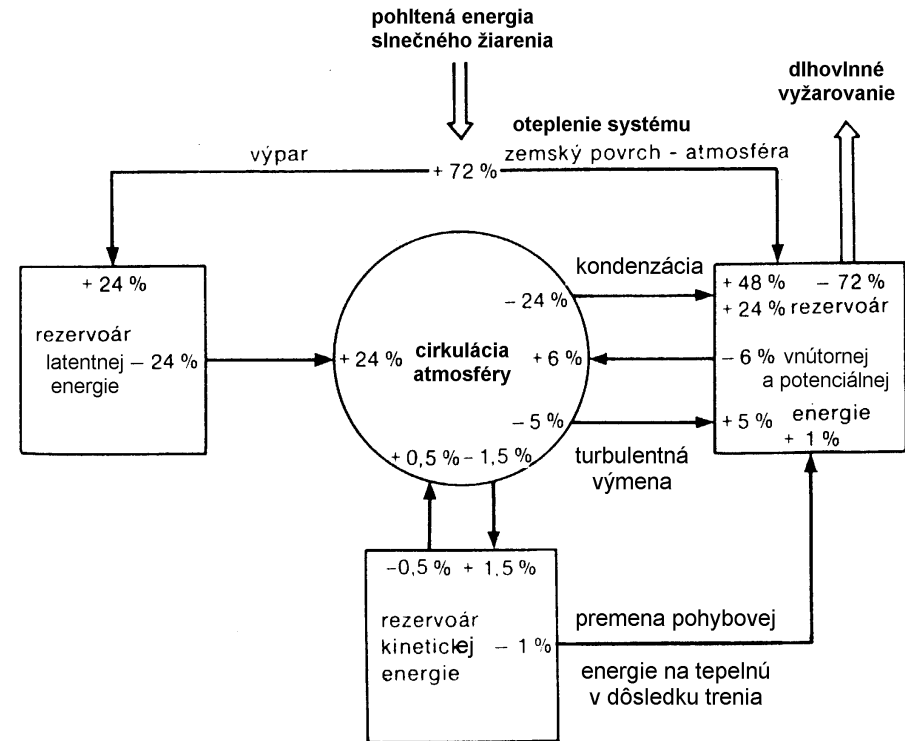
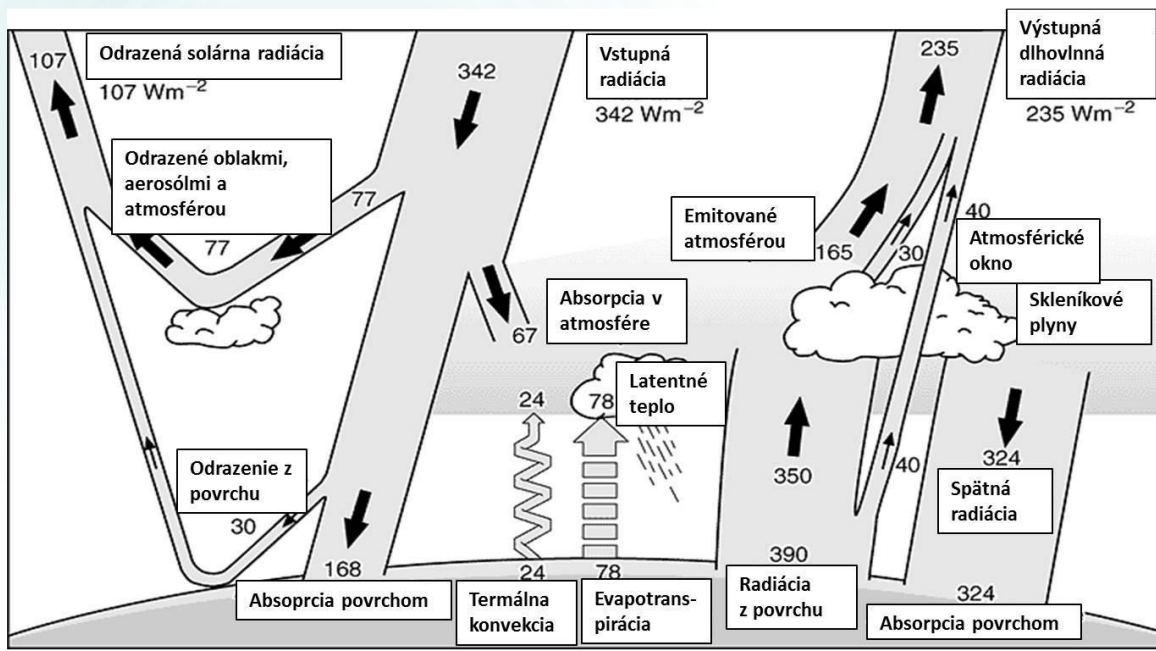
$$Ba = B_L - L_s + Ga$$

**Ba** – tepelná bilancia atmosféry

**B<sub>1</sub>** – bilancia dlhovlnného žiarenia zemského povrchu

$L_5$  – tok dlhovlnného žiarenia do medziplanetárneho priestoru

**Ga** – tok slnečného žiarenia pohltený atmosférou



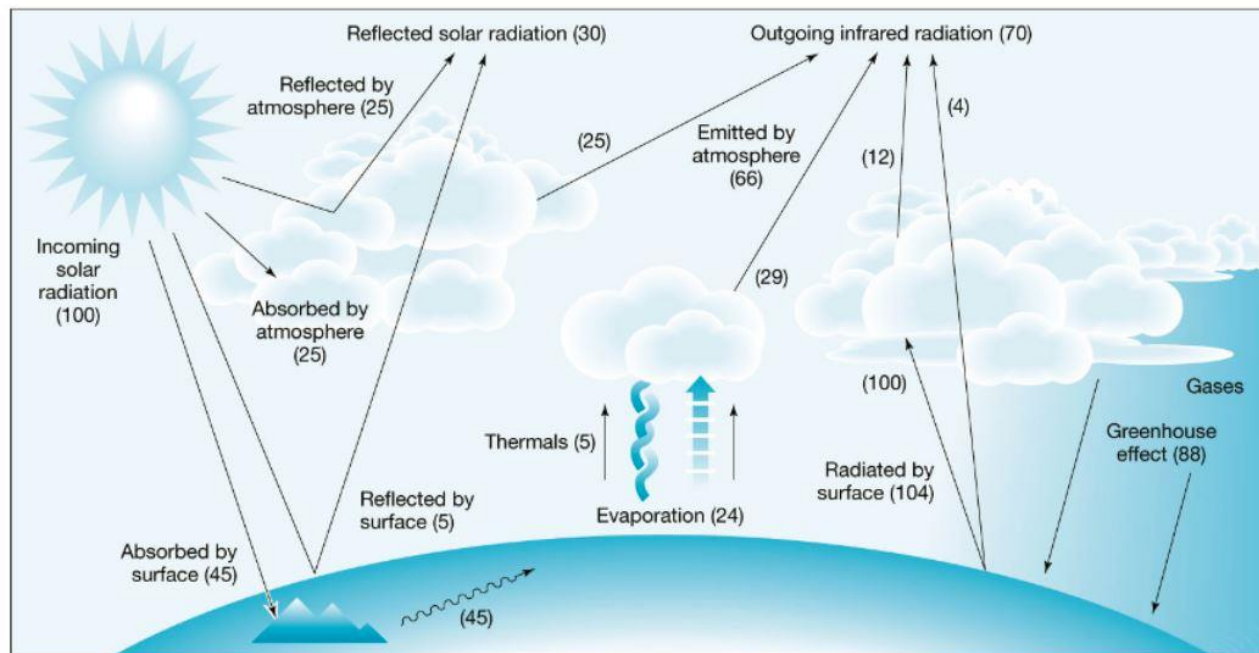
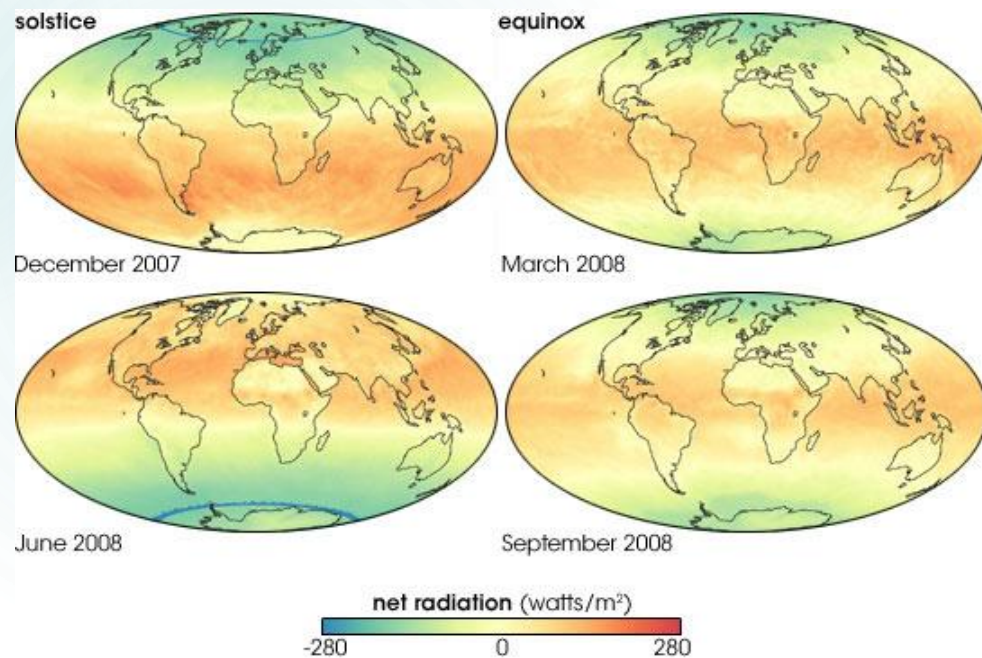
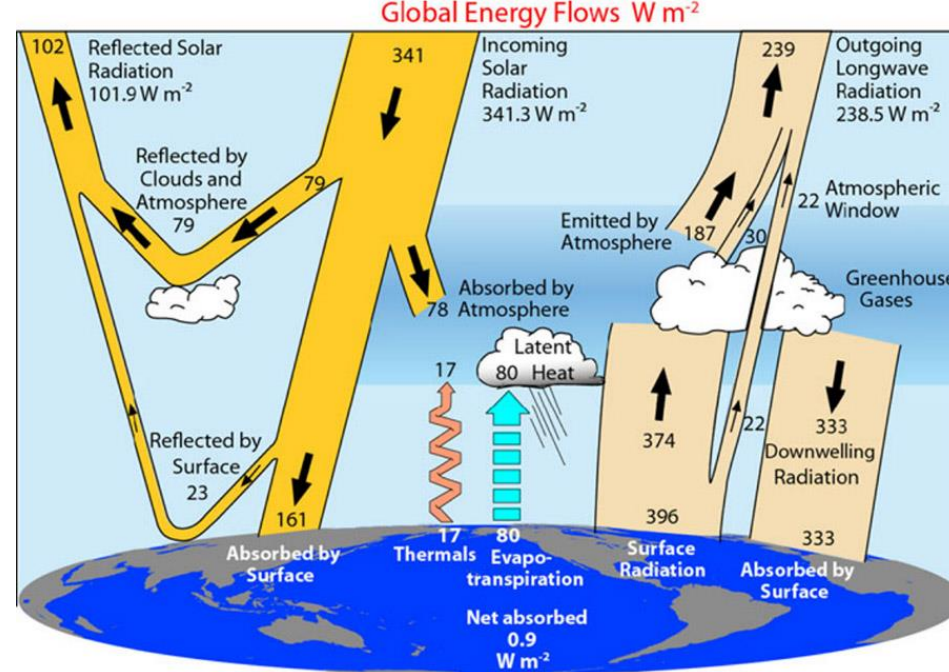
### Schéma premeny a výmeny energií v atmosféře (Hobbs 1980)

	Krátkovlnné žiarenie				Summe	Dlhovlnné žiarenie			Summe	Turbulencia	Summe
Kozm. priestor	-100	+4	+6	+20	-70	+6	+64	+70			
Atmosféra					+19				+70		
Zemský povrch 100%	+28	+7	+16		+51	-98	+77	-21		+30	-30

### **Radiačná a tepelná bilancia systému: zemský povrch - atmosféra - kozmický priestor**

# Radiačná bilancia Zeme

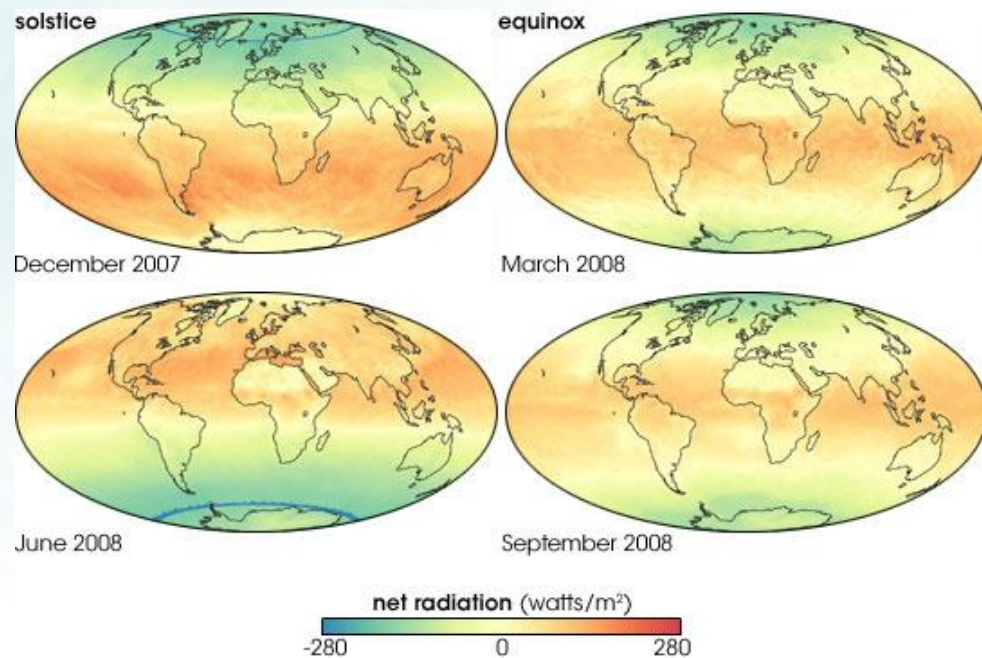
- popisuje rovnováhu medzi množstvom energie, ktorú Zem prijíma zo Slnka, a energiou, ktorú vyžaruje späť do vesmíru
- **určuje globálnu teplotu Zeme** a je kľúčová pre udržiavanie stabilnej klímy
- ak je **narušená**, môže dôjsť k zmenám v teplote a klíme Zeme, čo vedie k javom ako **globálne otepľovanie** alebo **ochladzovanie**



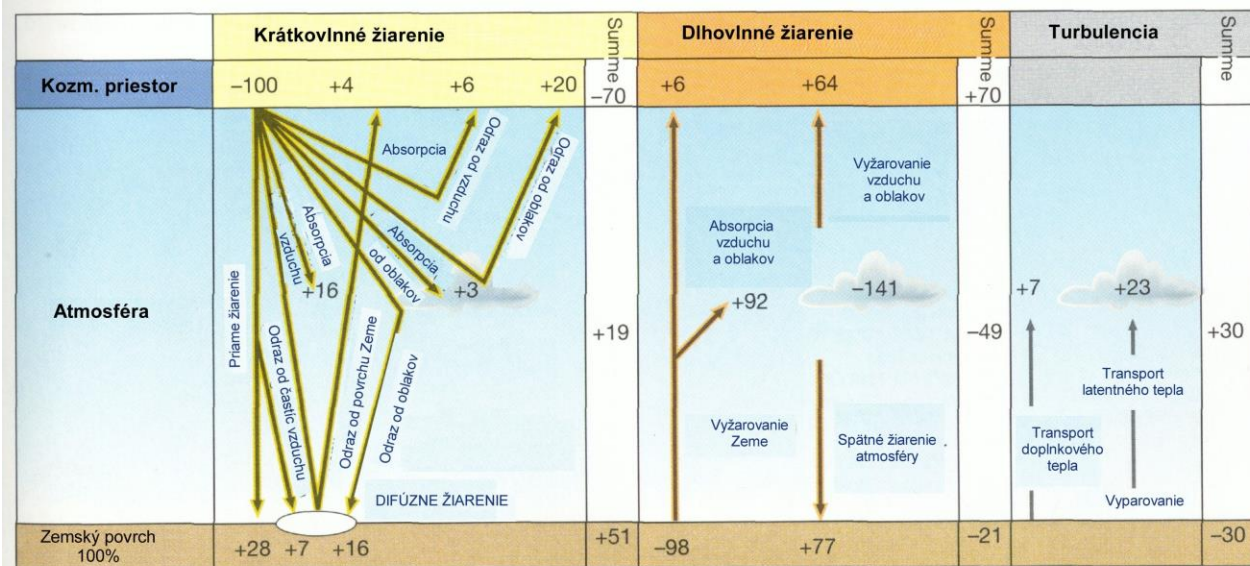


# Radiačná bilancia Zeme

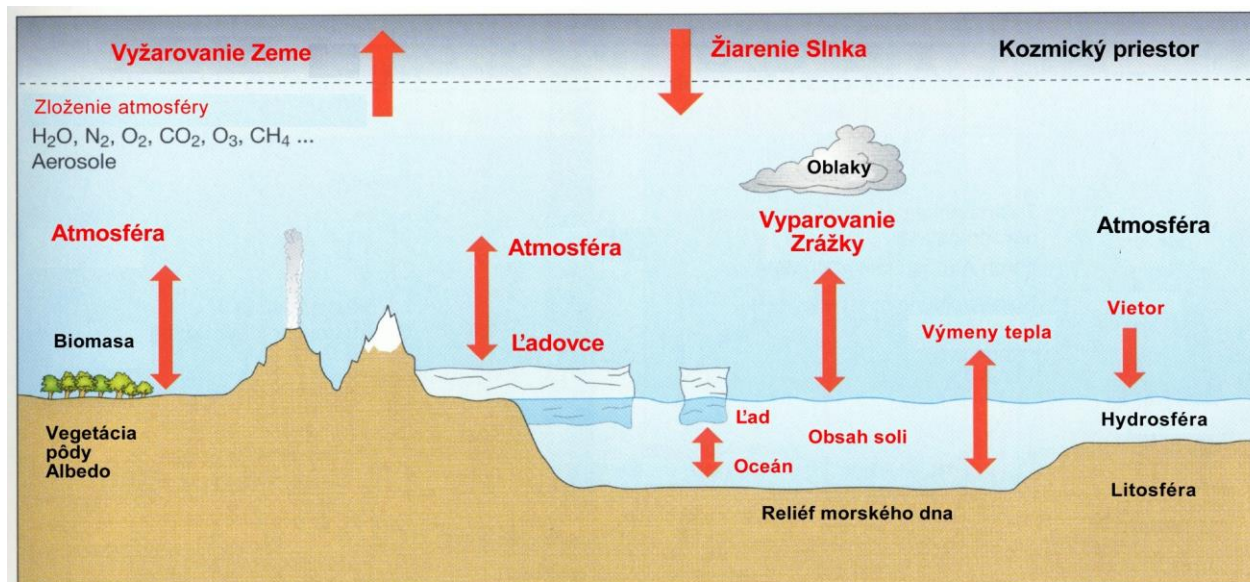
- **vyrovnaná** radiačná bilancia – množstvo energie, ktoré Zem absorbuje, sa rovná množstvu energie, ktoré vyžaruje späť do vesmíru
- **pozitívna** radiačná bilancia - ak je viac energie absorbovanej ako vyžiarenej = **oteplovanie**
- **negatívna** radiačná bilancia - ak Zem vyžaruje viac energie, ako absorbuje = **ochladzovanie**



Radiačná bilancia Zeme podľa Strahlera

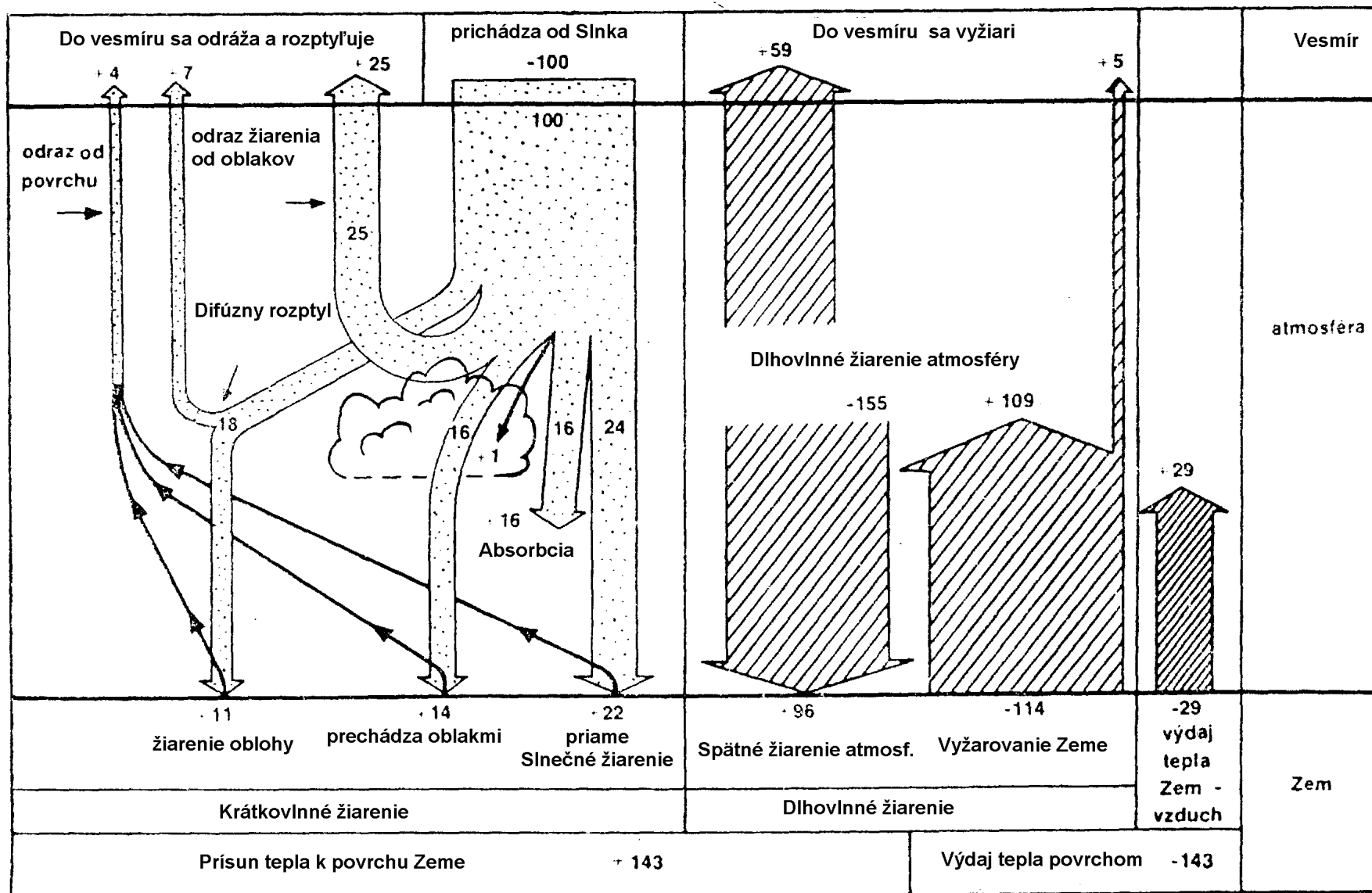


Radiačná a tepelná bilancia systému: zemský povrch - atmosféra - kozmický priestor



Najdôležitejšie faktory spôsobujúce zmeny klímy

# Radiačná bilancia Zeme podľa Eimerna



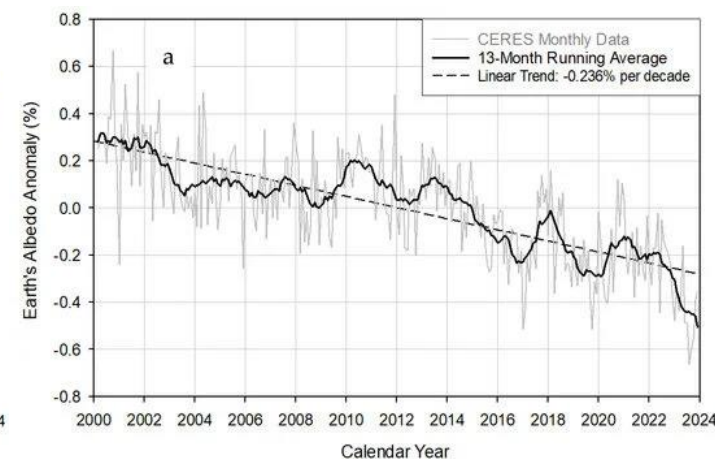
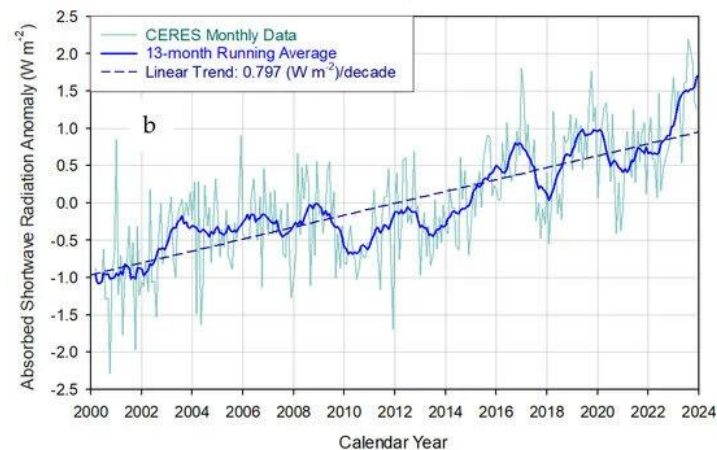
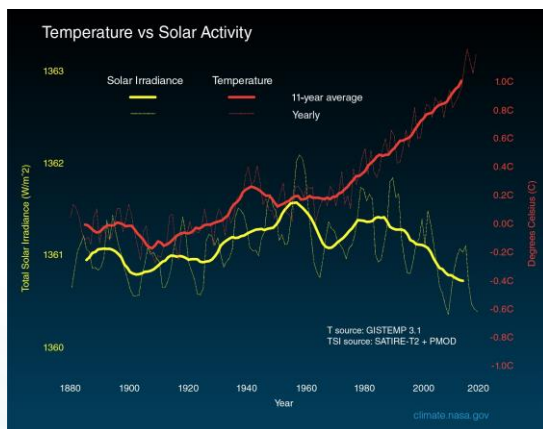
Príjem a výdaj tepelnej energie v atmosfére (priemer za celú Zem) podľa Van Eimerna 1971



# Radiačná bilancia Zeme

## ► ovplyvňujúce faktory:

- albedo
- skleníkové plyny
- aerosóly
- solárny cyklus



Earth's surface temperature and atmospheric carbon dioxide (1850–2023)

