

Slovenská Technická Univerzita v Bratislave  
Materiálovotechnologická fakulta v Trnave  
Ústav bezpečnostného a environmentálneho inžinierstva  
Katedra environmentálneho inžinierstva

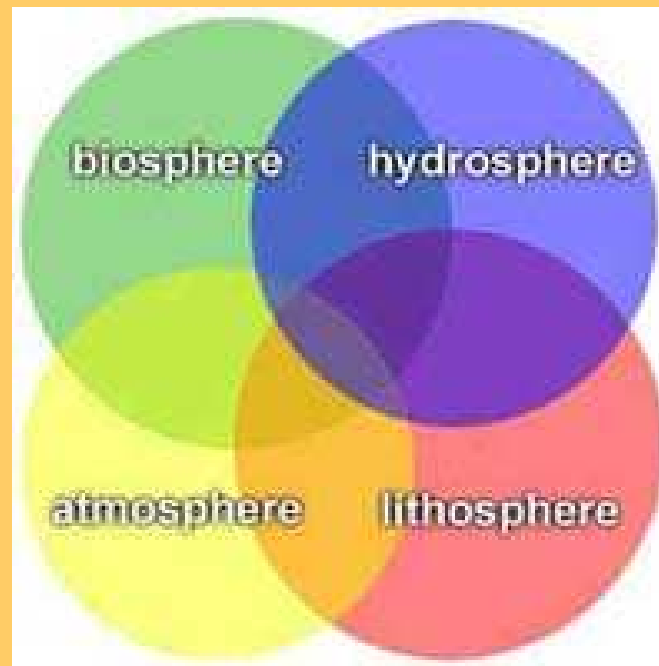
# Vzduch



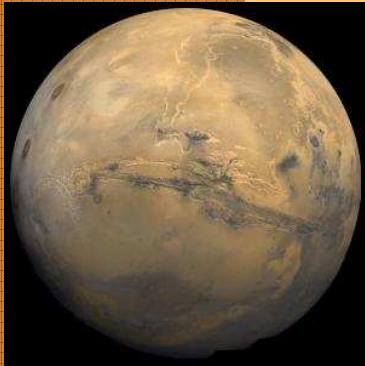
RNDr. Maroš Sirotiak, PhD.

## Definícia atmosféry

- **Atmosféra** je zložkou geosféry a zároveň otvoreným systémom, v ktorom dochádza k výmene látky a energie medzi ňou, hydrosférou, biosférou, litosférou a kozmickým priestorom.



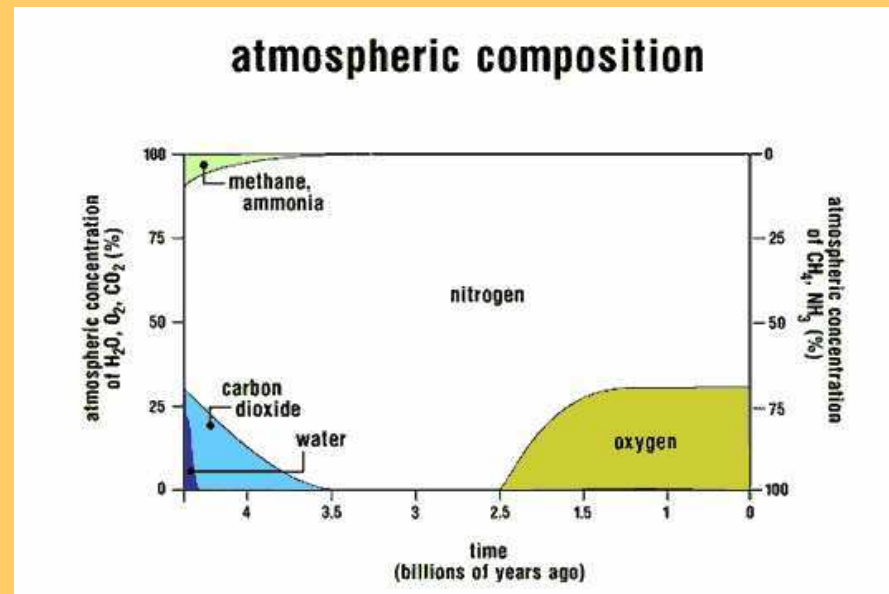
# Vznik a vývoj atmosféry



- atmosféru majú všetky planéty slnečnej sústavy
- Všeobecným rysom atmosfér je veľká cirkulácia a rýchly pohyb más spôsobená rozdielmi v zohrievaní
- Je tvorená prevažne plynnými zložkami, ktoré sa v nej nahromadili v priebehu geologického vývoja. Okrem inertných plynov v nej žiadna zložka nie je trvale.
- V porovnaní s ostatnými planétami je ovzdušie země charakteristické anomálnym výskytom  $O_2$  a  $H_2O$  v podmienkach blízkych trojnému bodu

# Vznik a vývoj atmosféry

- Pred 5-6 mld rokov kondenzácia pár. Atmosféra bola niekoľkonásobne hustejšia. Pri zrážkach s asteroidmi sa odpútala do kozmu
- Koncom prahôr a starohôr veľké množstvo vodných pár  
Veľa  $\text{CO}_2$ , N z hornín  
Postupne  $\text{O}_2$  z foto syntézy



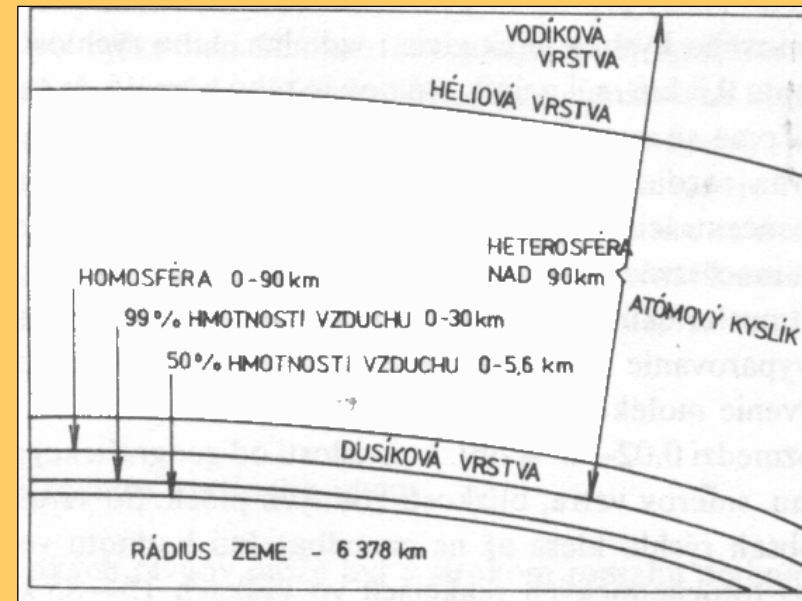
# Zloženie atmosféry

- dusík (78 %), kyslík (21 %), argón (0,093 %), oxid uhličitý (0,03 %) a nepatrné množstvá iných vzácnych plynov, ako sú hélium, neón, kryptón a xenón – pravdepodobne ide o pozostatky pôvodnej atmosféry.

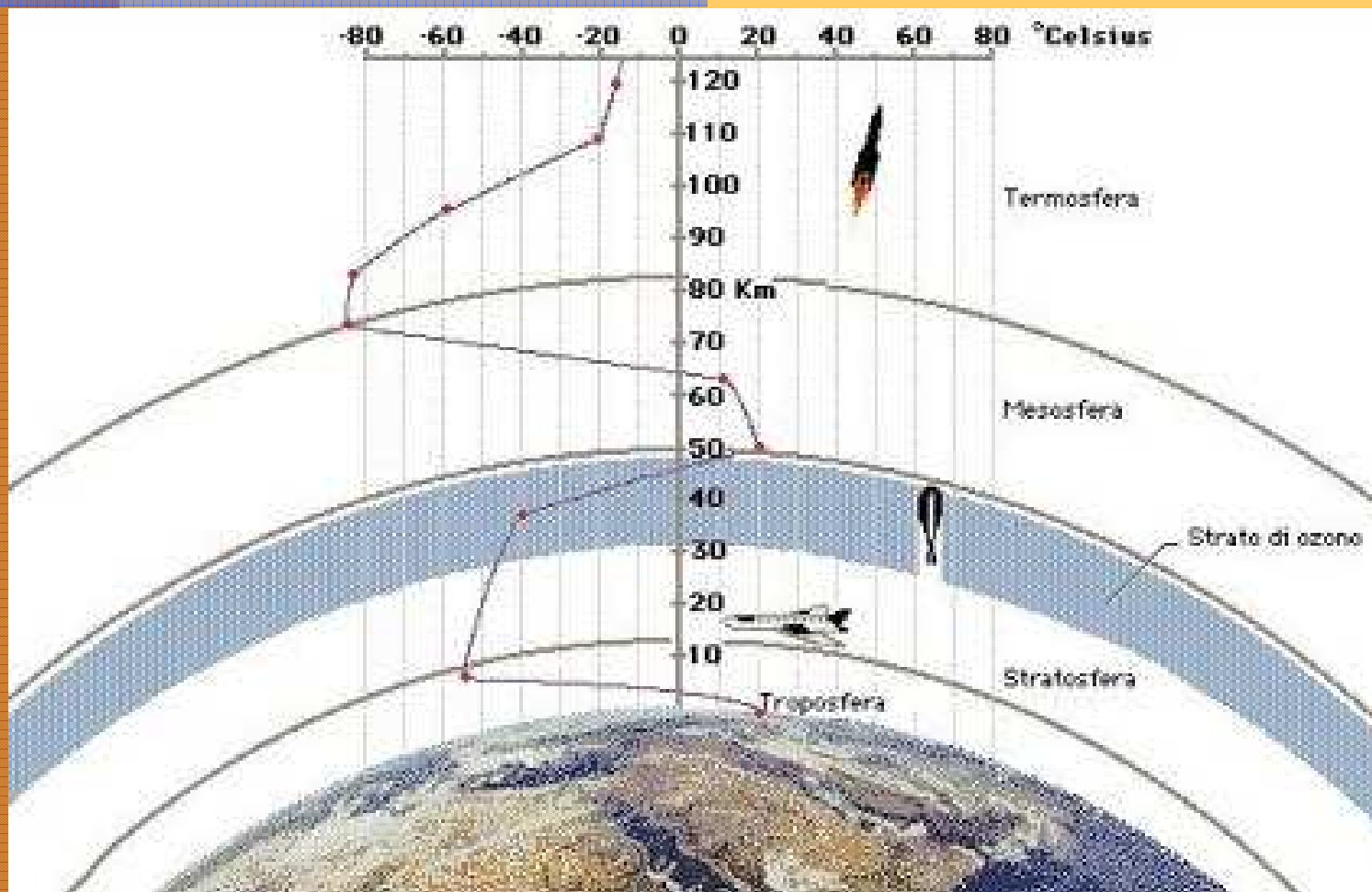
Plyn	Objemové %
Dusík (N <sub>2</sub> )	78,09
Kyslík (O <sub>2</sub> )	20,95
Argón (Ar)	0,93
Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> )	0,03
Neón (Ne)	$1,8 \cdot 10^{-3}$
Hélium (He)	$5,2 \cdot 10^{-4}$
Metán (CH <sub>4</sub> )	$2,0 \cdot 10^{-4}$
Kryptón (Kr)	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Oxid uhoľnatý (CO)	$6,0 \cdot 10^{-5}$
Oxid siričitý (SO <sub>2</sub> )	$2,0 \cdot 10^{-8} - 1,0 \cdot 10^{-4}$
Amoniak (NH <sub>3</sub> )	$1,0 \cdot 10^{-6} - 1,0 \cdot 10^{-4}$
Vodík (H <sub>2</sub> )	$5,0 \cdot 10^{-5}$
Oxid dusný (N <sub>2</sub> O)	$2,5 \cdot 10^{-5} - 5,0 \cdot 10^{-5}$
Formaldehyd (HCOH)	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Xenón (Xe)	$8,0 \cdot 10^{-6}$
Ozón (O <sub>3</sub> )	$1,0 \cdot 10^{-6} - 5,0 \cdot 10^{-6}$
Oxid dusičitý (NO <sub>2</sub> )	$5,0 \cdot 10^{-8} - 2,0 \cdot 10^{-6}$
Sírovodík (H <sub>2</sub> S)	$2,0 \cdot 10^{-8}$

# Zloženie atmosféry

- homosféra - hlavné zložky (dusík a kyslík), približne konštantné, výrazné sú zmeny koncentrácie vodnej pary a ozónu.
- heterosféra sa výrazná zmenou v zložení ovzdušia:
  1. Najnižšia vrstva obsahujúca prevažne  $N_2$ .
  2. Vrstva obsahujúca prevažne  $O_2$ . Nachádza sa asi vo výške 1 000 km.
  3. Vrstva obohatená He. Siahla do výšky 3 000 km.
  4. Vodíková vrstva vo výške nad 3 000 km.



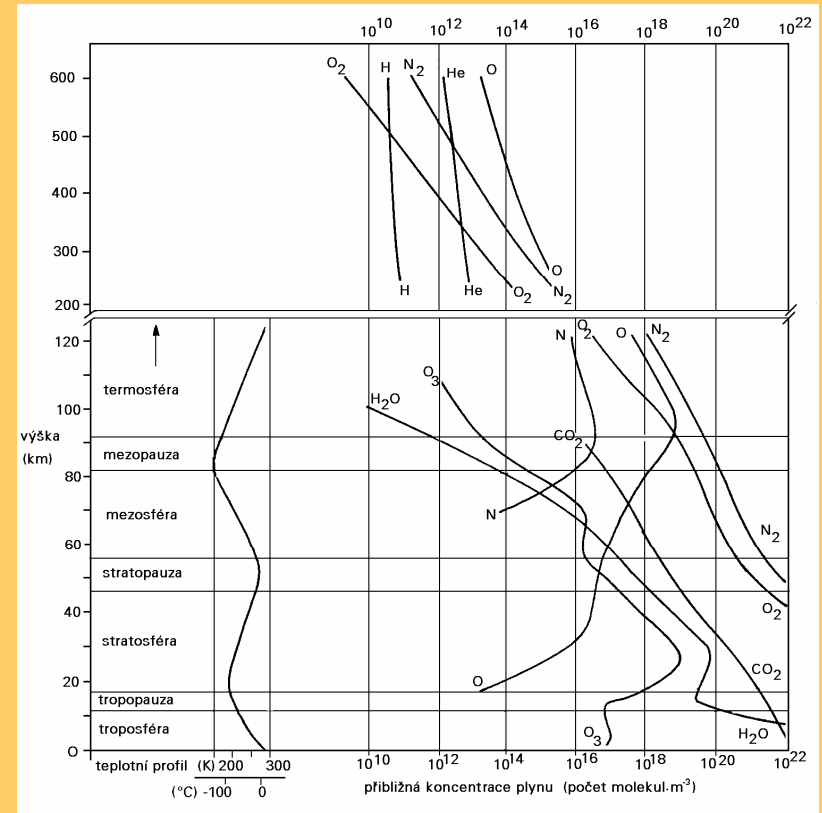
# Štruktúra atmosféry



# Štruktúra atmosféry

**Troposféra** – siaha do 7 – 18 km

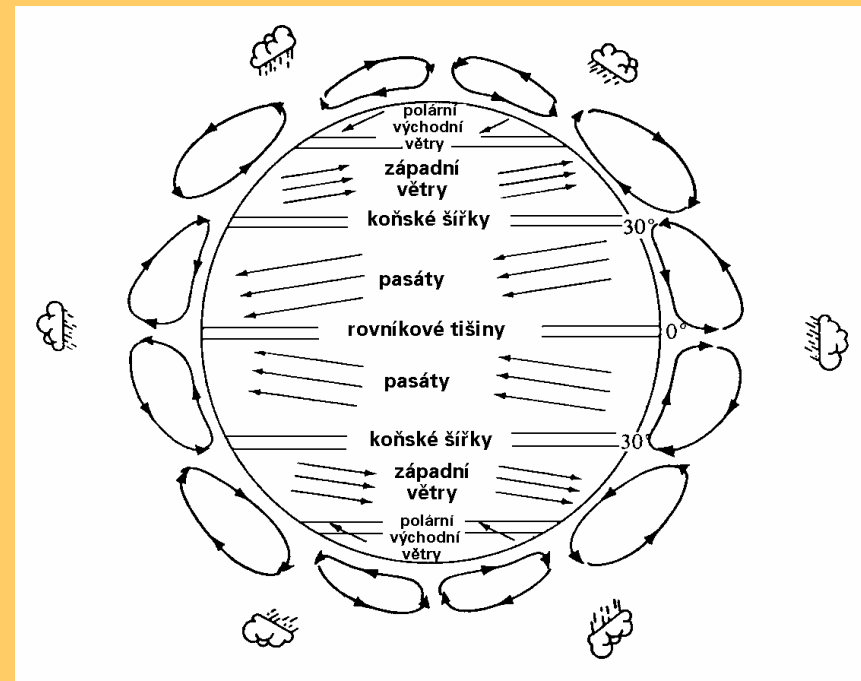
- vzniká v nej klíma, intenzívny pohyb mäs je daný ohrevom zemského povrchu a pohybom ľahkého vzduchu smerom nahor
- Opačná situácia – chladný vzduch je při zemi, teplejší na vrchu (inverzia) – nepriaznivý vplyv
- Koniec troposféry je daný teplotným minimom, ktoré predstavuje ľadovú pascu pre vodu





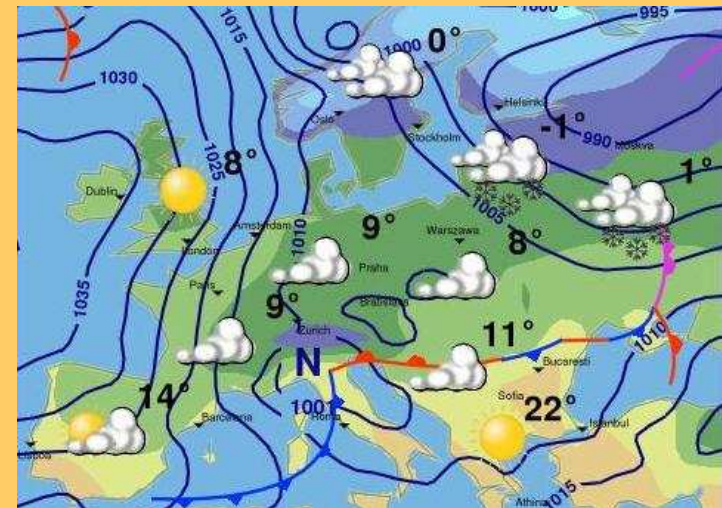
# Štruktúra atmosféry

- Základný systém globálnej cirkulácie ovzdušia (Ferrellov model) dvoria dva systémy severnej a južnej pologule
- Každý subsystém sa skladá z troch konvekčných buniek, ktorých hraice sú dané základnými zemepisnými šírkami (rovník, obratníky a polárny kruh)
- Základné smery prúdenia vznikajú ohrevom vzduchu v oblasti rovníka a ich poklesom pri obratníkoch



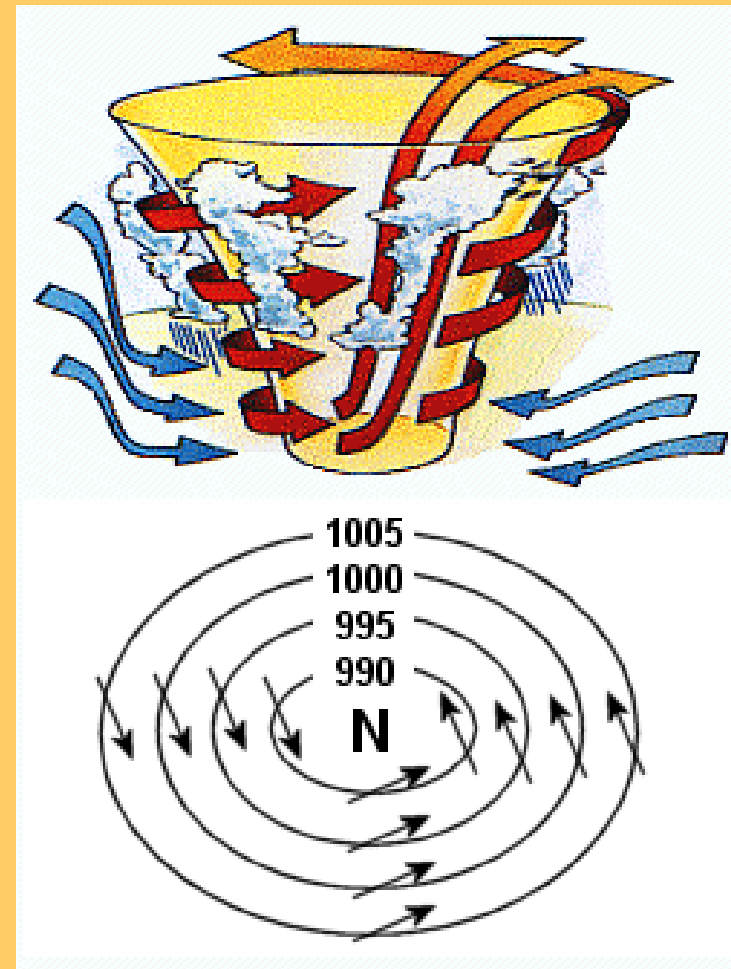
# Štruktúra atmosféry

- Hnacím motorom počasia je zmena teploty a s tým súvisiaca zmena tlaku a vlhkosti vzduchu
- Zmena teploty má príčinu:
  - V zmene oslnenia (astronomická príčina)
  - V prítoku chladnejšieho alebo teplejšieho vzduchu vetrom



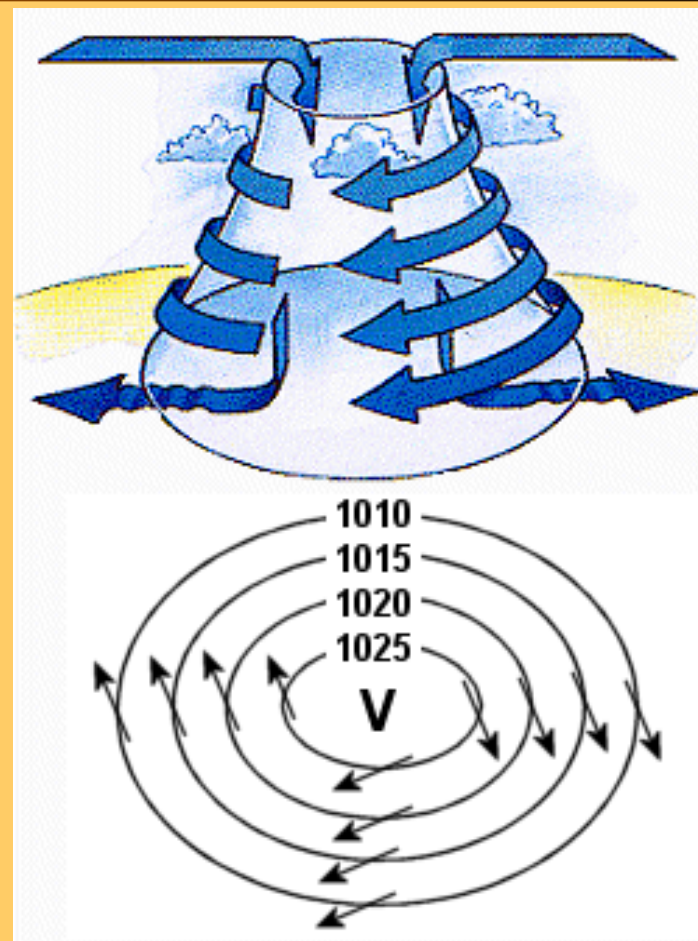
# Štruktúra atmosféry

- Ak sa studené vzduchové hmoty odspodu zohrievajú nad teplejším zemským povrchom (napr. v lete studenší morský vzduch nad pevninou), teplo sa prenáša do vyšších vrstiev prúdením – konvekciou. Pary kondenzujú vo vyšších chladnejších vrstvách ako kopovitá oblačnosť a búrkové mraky. Dobrý rozptyl znečistenia.



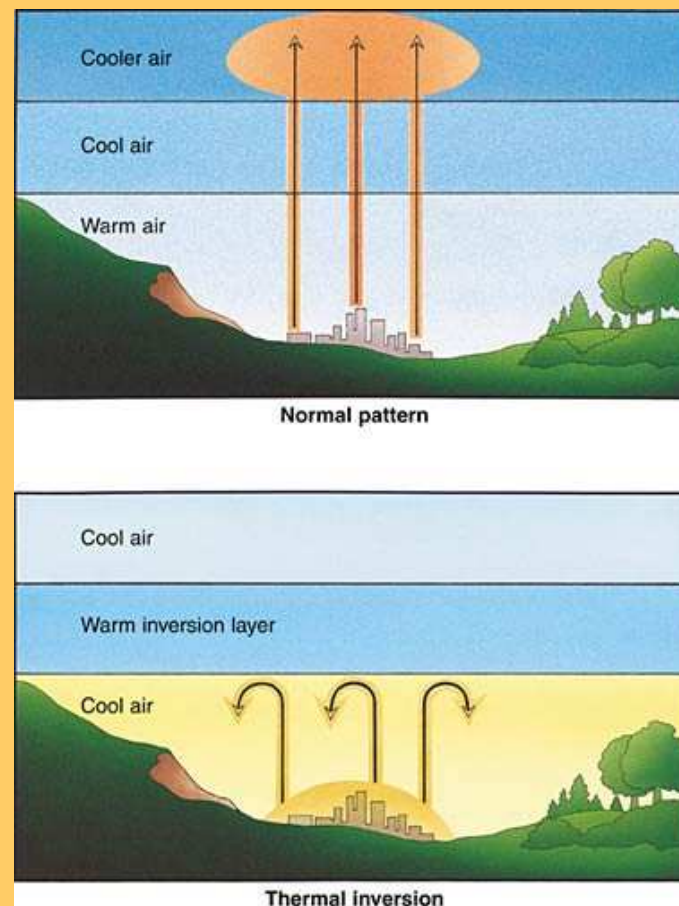
# Štruktúra atmosféry

- Ak sa teplé vzduchové hmoty postupne odspodu ochladzujú (napr. v zime teplejší morský vzduch nad studenou pevninou), slabne vertikálne prúdenie a rozvrstvenie vzduchových hmôt sa stáva stabilné. Počasie je bezveterné. Podmienky na rozptyl emisií sú nepriaznivé. Oblačnosť je vrstevnatá vo forme prízemných hmiel, mrholenia alebo sneženia.



# Štruktúra atmosféry

- V tzv. inverznej vrstve teplota rastie s výškou. Je to pomerne bežná odchýlka od normálu napr. na jeseň, keď v nížinách je chladné hmlisté počasie a na horách svieti slnko. Teplotný skok medzi dolnou a hornou hranicou inverznej vrstvy môže byť niekedy až 15 °C . Inverzia môže mať za určitých podmienok negatívne až nebezpečné dôsledky v mestách s vysokou koncentráciou priemyslu a dopravy, v ktorých sa niekedy musia vyhlasovať mimoriadne opatrenia (zákaz používania osobných motorových vozidiel a pod.).

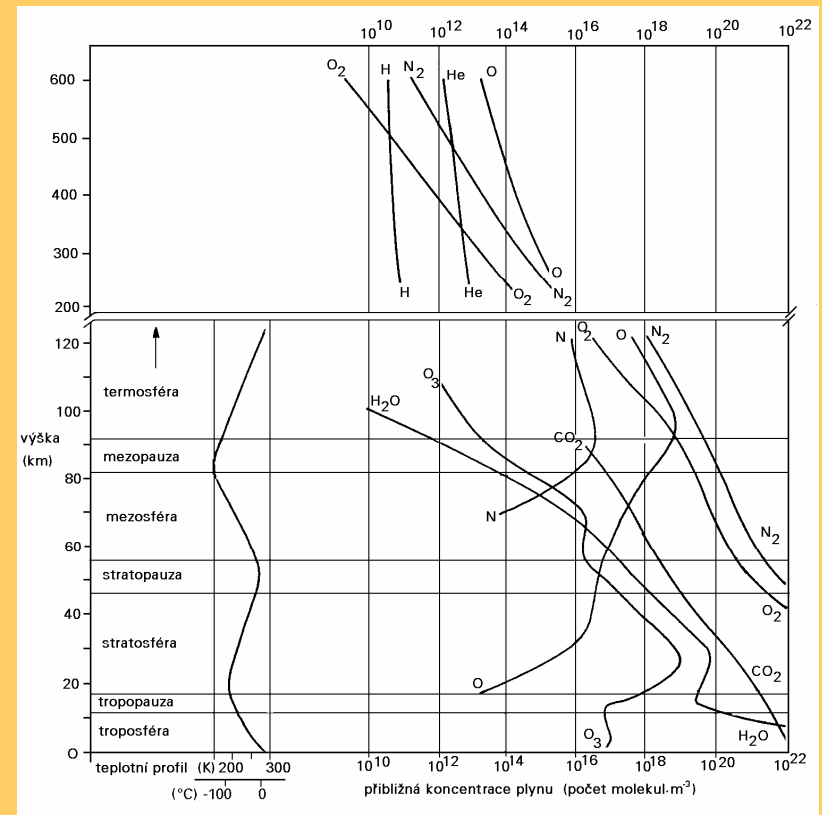




# Štruktúra atmosféry

## Stratosféra

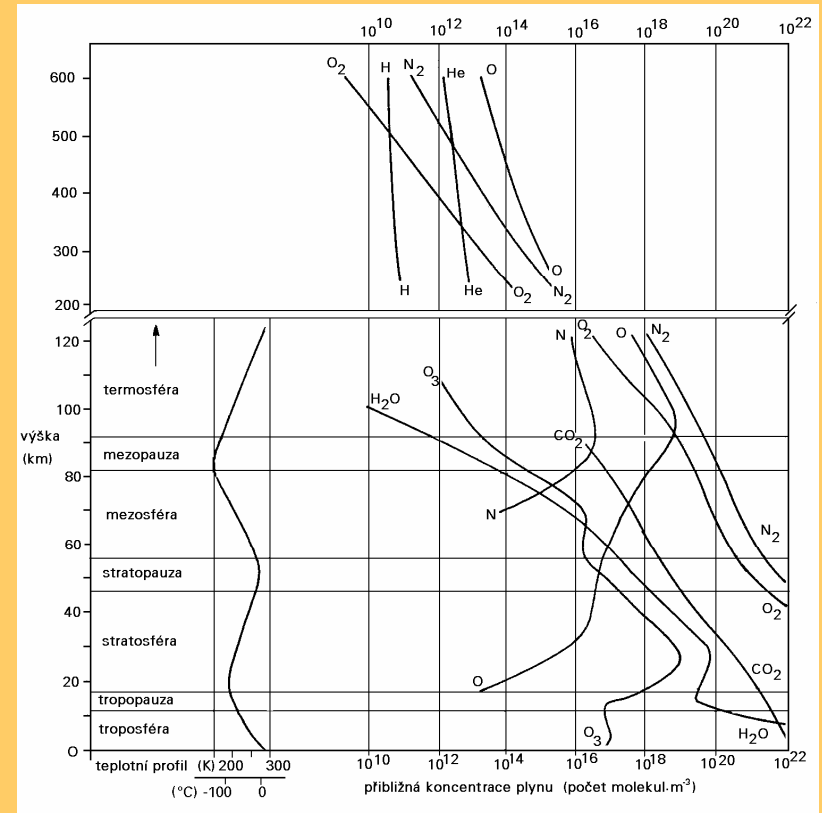
- Na báze sa nachádza ozónová vrstva, v ktorej pri radikálových reakciách dochádza k produkcii  $O_3$  a pohlcovaniu žiarenia
- Menej intenzívne miešanie más a tým dlhšie zotrvanie stabilných škodlivín
- Viac fotochemických reakcií
- Látková výmena medzi stratosférou a troposférou pri búrkach, vulkanických erupciách a difúziou



# Štruktúra atmosféry

## Mezoféra

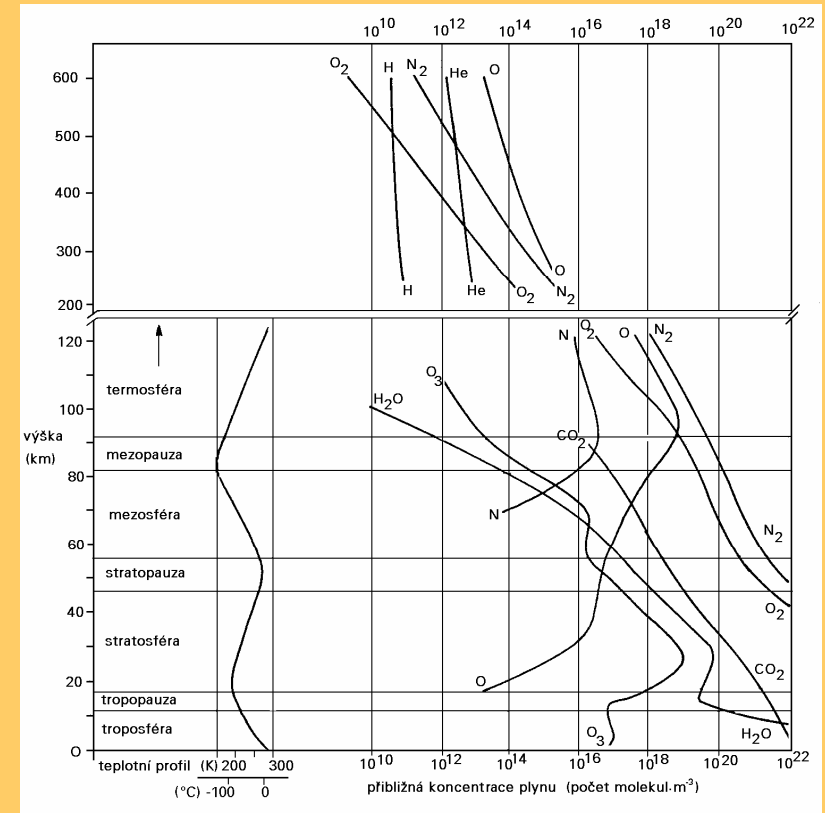
- pokles teploty je daný menším vplyvom fotochemických reakcií v porovnaní s ozonosférou
- Vzniká slabá vrstva mrakov



# Štruktúra atmosféry

## Termosféra

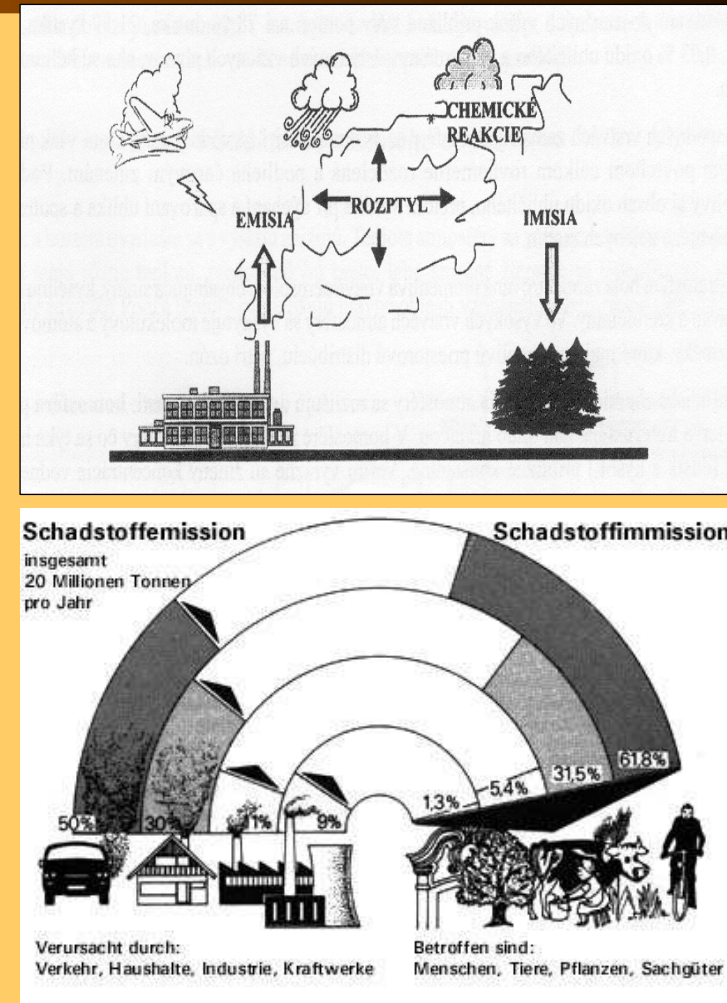
- Nárast teploty je daný množstvom fotochemických reakcií
- Vznik optických javov (polárna žiara, svetielkujúce oblaky)





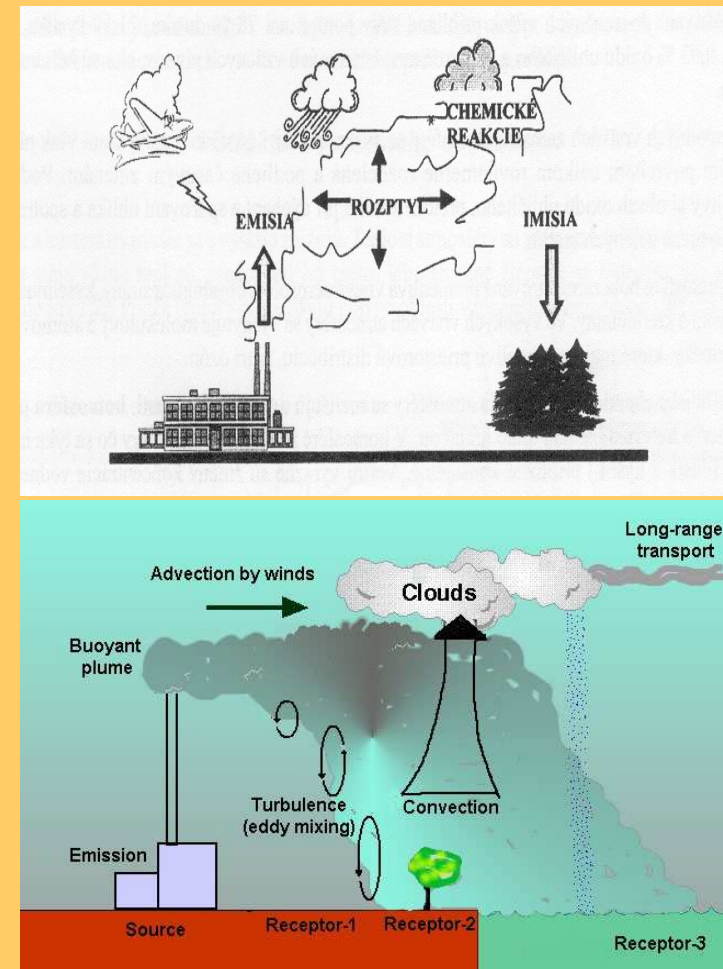
# Znečisťovanie atmosféry

- Znečisťovanie ovzdušia predstavuje vypúšťanie (vnášanie, emisiu) znečisťujúcich látok do atmosféry. Tieto látky priamo alebo po chemických zmenách, prípadne pri spolupôsobení inej látky nepriaznivo ovplyvňujú životné prostredie.
- Znečistenie ovzdušia označuje prítomnosť (obsah, imisiu) znečisťujúcich látok v ovzduší. Označuje stav ovzdušia, ktorý je dôsledkom pôvodného deja.
- Znečistenie – lokálne, regionálne, globálne



# Znečisťovanie atmosféry

- **Atmosférický transport – Emisie („to čo letí z komína“) pretrvávajú v atmosfére (transmisia) alebo padajú na pôdu, vodu, organizmy... ako imisie („to čo padá na zem“).**
- **Do nadmorskej výšky cca 100 km prevláda:**
  - *turbulentné premiešavanie,*
- **nad ňou**
  - *molekulová difúzia*
  - *gravitačná separácia (rozvrstvenie rôznych atmosférických plynov na základe ich mernej hmotnosti).*
- **V celej atmosfére prebiehajú chemické reakcie (fotochemické, rozpúšťacie, acidobázické, atď.).**



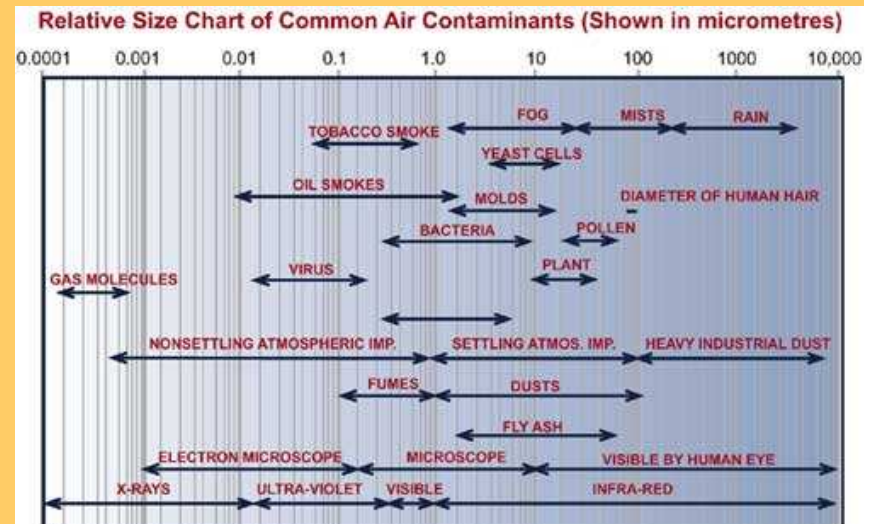
# Znečisťovanie atmosféry

- znečisteniny:
  - prírodné (fluorovodík, chlorovodík sopečného pôvodu, sírovodík z výronov prírodných plynov, prach a aerosóly z morskej vody, pôdne a rastlinné častice, peľ, spóry baktérií ai.)
  - antropogénne
    - *stacionárne zdroje*
    - *mobilné zdroje*



# Znečisťovanie atmosféry

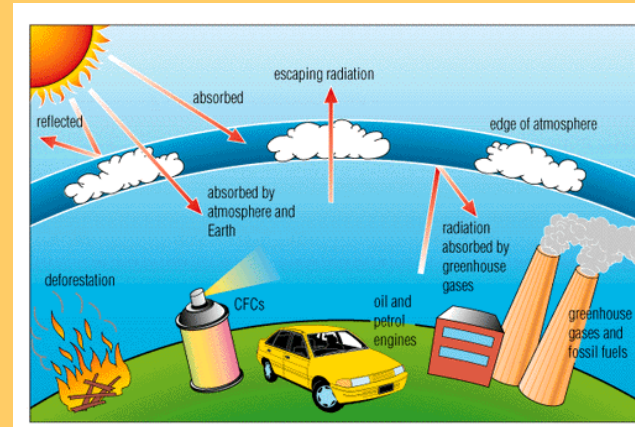
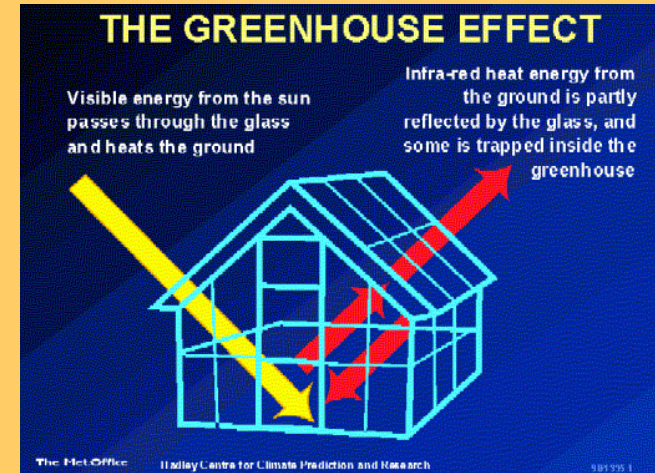
- základné znečisťujúce látky (napr. oxid siričitý, oxidy dusíka, oxid uhoľnatý, ozón a pachové látky),
- znečisťujúce látky s karcinogénnym účinkom (napr. benzpyrén, kadmium, arzén, benzén, vinylchlorid),
- tuhé znečisťujúce anorganické látky (napr. ortuť, titan, selén, fluoridy, kyanidy, olova),
- plynné znečisťujúce látky (napr. arzénovodík, chlór, sulfán ai.),
- organické plyny a pary (napr. fenol, formaldehyd, tetrachlóretán, toluén, acetón)





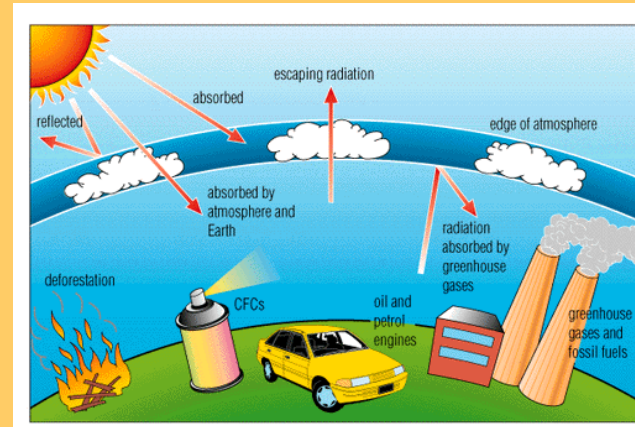
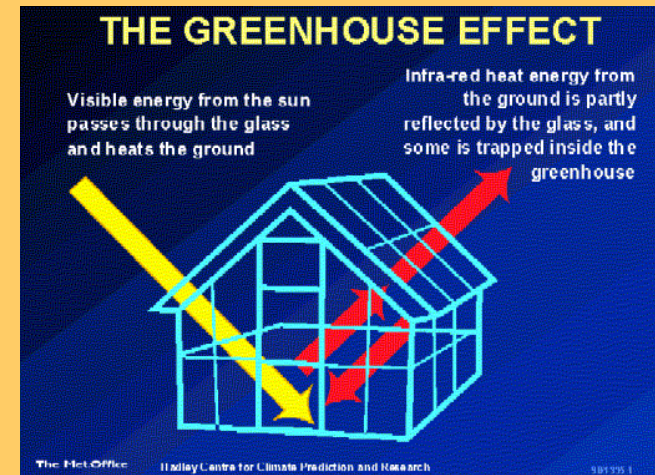
# Klimatické zmeny

- Slné žiarenie sa po dopade na zemský povrch mení na tepelné žiarenie, ktoré je dlhovlnné a ťažšie preniká cez atmosféru ako krátkovlnné. Spätnému vyžarovaniu bránia aj niektoré tzv. skleníkové plyny.
- Skleníkové plyny
  - $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$  (nižšia koncentrácia metánu v ovzduší ako  $CO_2$ , ale 10 x účinnejší)
  - Freóny a perfluórkarbóny (ničia ozón v stratosfére)
  - ďalšie plyny uvedené v Rámcovom dohovore OSN o zmene klímy



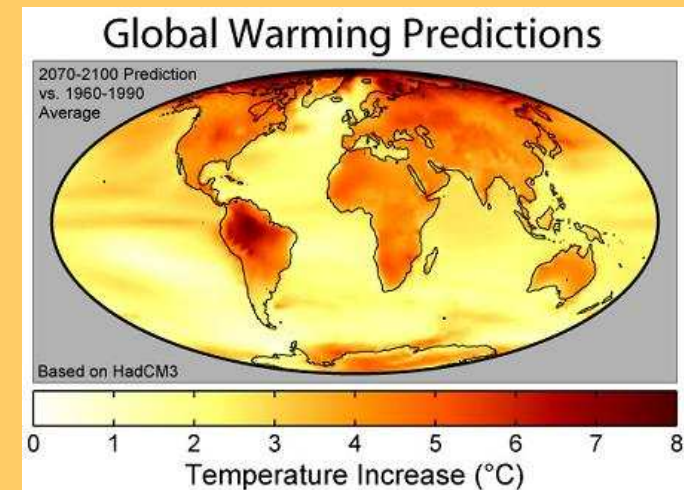
# Klimatické zmeny

- proti zosilňovaniu tzv. skleníkového efektu pôsobí zvyšovanie antropogénnej emisie aerosólov – zabezpečujú väčší rozptyl a väčší obraz dopadajúceho žiarenia a teda aj menšie ohrievanie zemského povrchu.
- podobný účinok má aj emisia oxidov síry, ktoré indikujú vznik tzv. kondenzačných jadier a podmieňujú tak vývoj väčšej oblačnosti, od ktorej sa potom slnečné žiarenie odráža.



# Klimatické zmeny

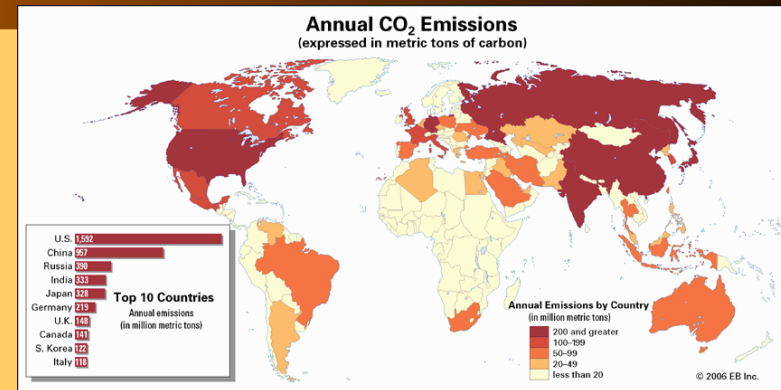
- **Dôsledky:**
  - Globálne otepľovanie
  - Otepľovanie na Slovensku o 2 až 3 °C (napr. na Orave bude ako dnes na žitnom ostrove, v Komárne ako v severnom Taliansku ...)
  - Klimatické zmeny v teplotných i zrážkových pomeroch
  - Topenie ľadovcov (na severnom póle už „nemožno stát“, roztopia sa ľadovce v Grónsku a v Antarktíde,
  - na Sibíri sa uvoľní zo zmrznutých močarísk metán (skleníkový plyn),
  - vymrú koraly ...





# Klimatické zmeny

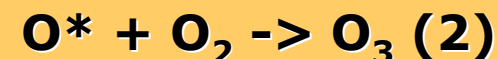
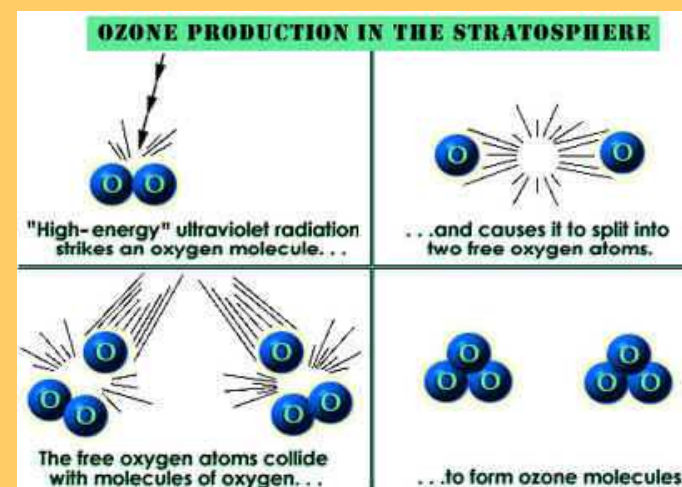
- **Riešenie**
  - 1997 bol prijatý Kjótsky protokol: do roku 2010 znížiť celkové emisie o 8 % oproti r.1990
  - Ratifikované EU vrátane Slovenska, Rusko (2005)
  - USA odmietli (majú 5 % obyvateľstva, ale produkujú 29 % emisií)
  - Iné možnosti:
    - Rozvoj obnoviteľných zdrojov - obmedzené možnosti, drahé ...
    - Jadrová energia – obavy zo zamorenia, drahé ...
    - Čistejšie technológie – cleaner production (Nórsko)





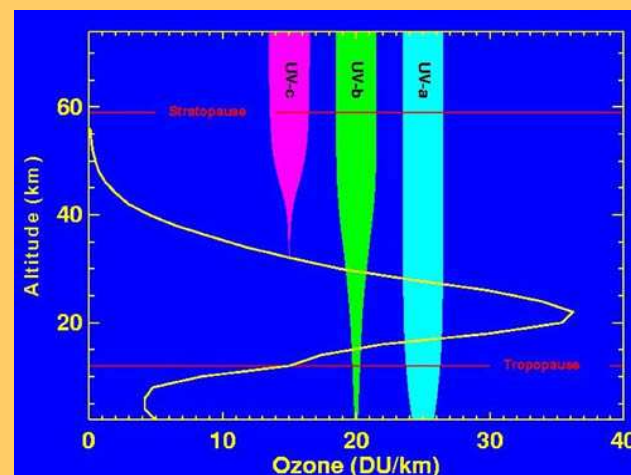
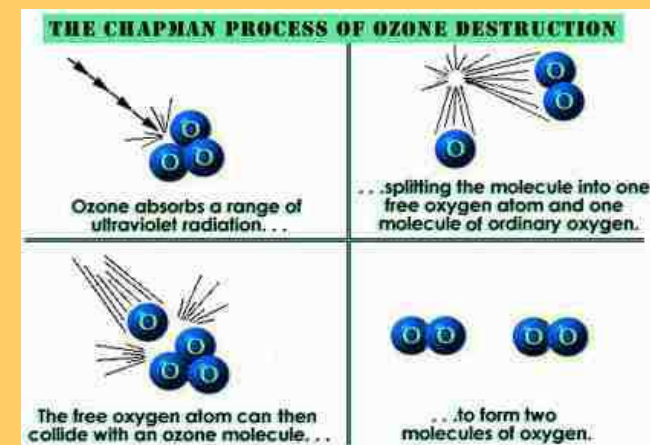
# Poškodzovanie ozónovej vrstvy

- UV žiarenie
  - UV-A (320-400 nm) v malom množstve na tvorbu vitamínu D a je pre ostatné organizmy neškodné
  - UV-B (280-320 nm) poškodenie nukleových kyselín a bielkovín v bunkách, poškodenie zraku, rakovinu kože a zníženie imunity
  - UV-C (180-280 nm) pôsobí rovnako ako žiarenie UV-B
- vo výške 15-50 km nad zemským povrchom (v stratosfére) interaguje s molekulami kyslíka. UV-C rozbíja dvojatómové molekuly  $O_2$  na jednotlivé atómy. Tieto tzv. radikály sú vysoko reaktívne a reagujú s inými dvojatómovými molekulami kyslíka za vzniku trikyslíka – ozónu.



# Poškodzovanie ozónovej vrstvy

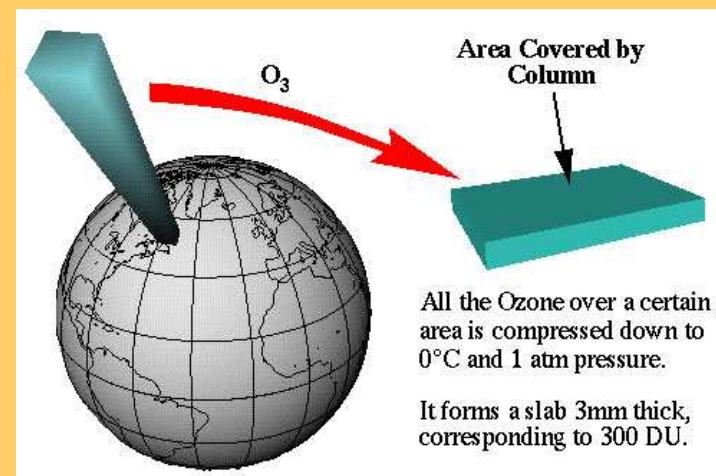
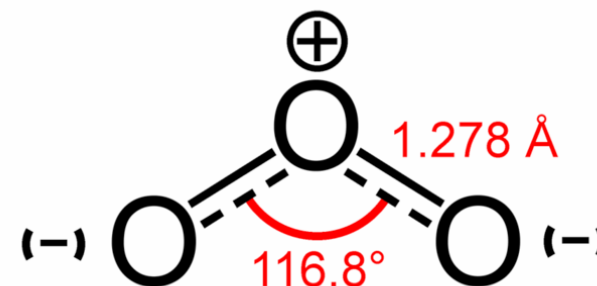
- Energia UV-B žiarenia s väčšou vlnovou dĺžkou 280 – 320 nm naopak ozón rozkladá. Týmto spôsobom sa eliminuje škodlivé žiarenie UV-B a UV-C.
- Prechádzajúce UV-A žiarenie s vlnovou dĺžkou 320 – 400 nm je pre organizmy neškodné alebo organizmami tolerované.
- Ozónovou vrstvou preniká:
  - 100% UV-A žiarenia
  - 50% UV B žiarenia
  - 0% UV C žiarenia



# Poškodzovanie ozónovej vrstvy

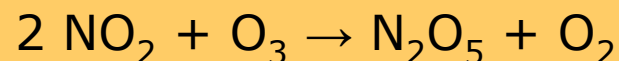
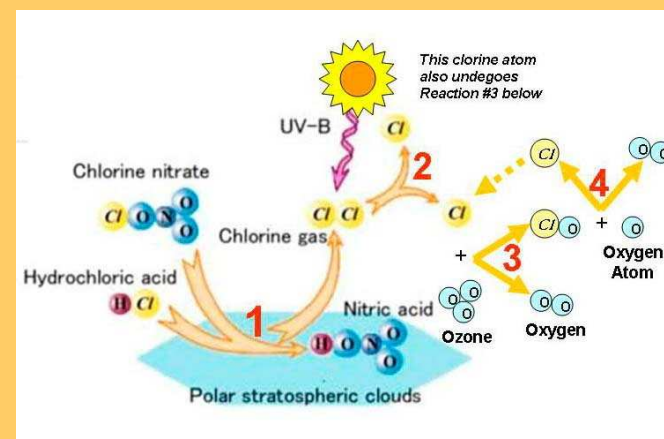
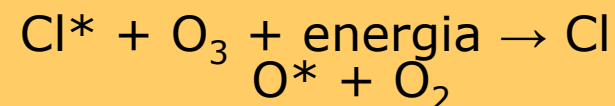
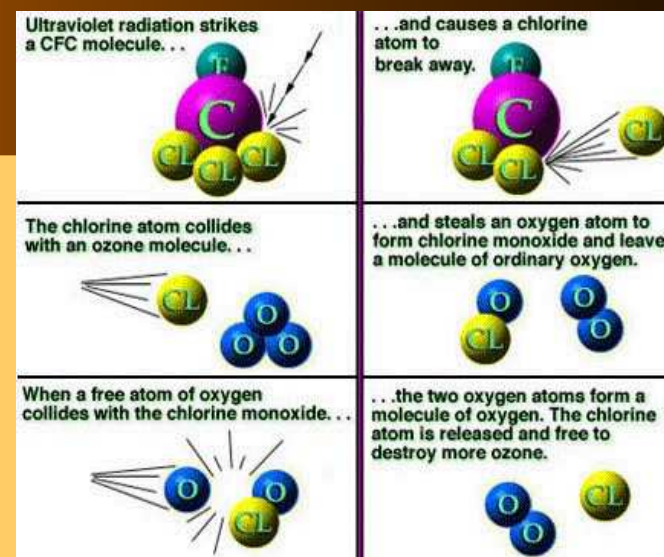
- Ozón  $O_3$  (trojkyslík) – modrá plynná látka, silný oxidant, toxický, v stratosfére filtruje UV žiarenie
- Meranie: Dobsonovým spektrofotometrom a zo satelitov (Aura)

1 DU – Dobson unit - množstvo ozónu vo vertikálnom stĺpci zemskej atmosféry, ktoré by po stlačení na normálny tlak 101 325 Pa pri teplote 10 °C vytvorilo vrstvu hrubú  $10^{-5}$  m (1 stotinu mm) (napr. 300 DU - vrstva hrubá 3 mm).



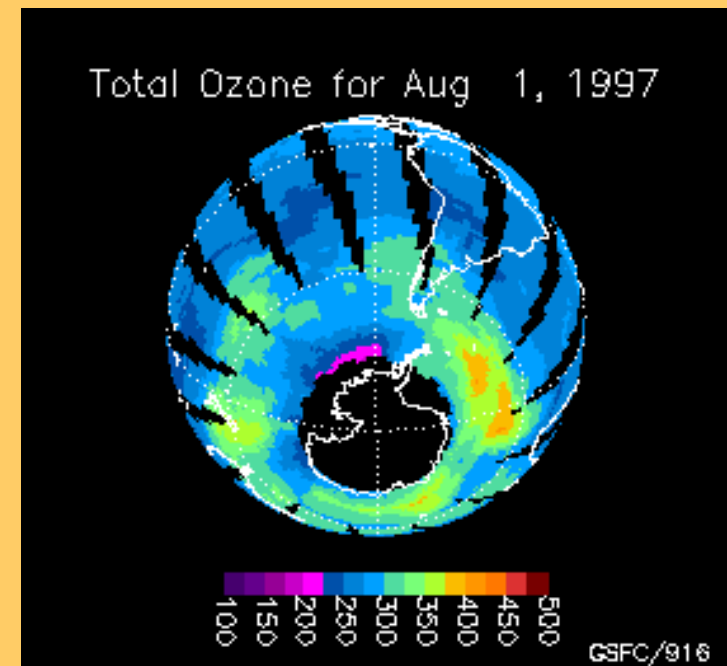
# Poškodzovanie ozónovej vrstvy

- „tretí“ atóm kyslíka v ozóne sa ľahko zlučuje s inými prvkami, najmä halogénmi (F, Cl, Br, I), ktoré sú súčasťou mnohých antropogénnych plynov, najmä:
  - chlórfluórkarbóny CFC (freóny) - ľahko skvapalniteľné plyny. Výroba a použitie: hnacie plyny, pesticídy, polyuretán, chladiarenské zariadenia
  - fotochemickými reakciami za účasti slnečného žiarenia z prekursorov – NO<sub>x</sub>, CO
  - fotochemickými reakciami za účasti slnečného žiarenia z prekursorov – VOC napr. CH<sub>4</sub>, etylén, etanol, acetón, benzén, formaldehyd, toluén - asi 90 látok



# Poškodzovanie ozónovej vrstvy

- **Dôsledky :**
  - Rýchlosť odbúravania ozónu v stratosfére – stenšovanie „UV filtra“ asi 2,5 % za desaťročie
  - najvýraznejšie poškodenie ozónovej vrstvy nad Antarktídou („ozónová diera“) na ploche asi 24,3 mil.km<sup>2</sup> = 500 krát Slovensko
- **Následky**
  - pigmentácia až rakovina kože
  - poškodenie zraku až oslepnutie
  - poškodenie nižších organizmov a niektorých kultúr (napr. uhoriek)





# Klimatické zmeny

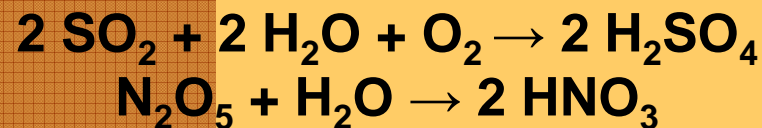
● **Snahy o riešenie:**

- **1985 – Viedenská zmluva o ochrane ozónovej vrstvy**
- **1987 – Montrealsky protokol o látkach, ktoré poškodzujú ozónovú vrstvu**
- **1990 – Londýnsky dodatok k MP**
- **1992 – Kodanský dodatok k MP**
- **DODATKY – povinnosti pre výrobcov, dovozcov, vývozcov a predajcov látok nebezpečných pre ozónovú vrstvu, zoznam týchto látok a časový horizont zákazu ich používania.**

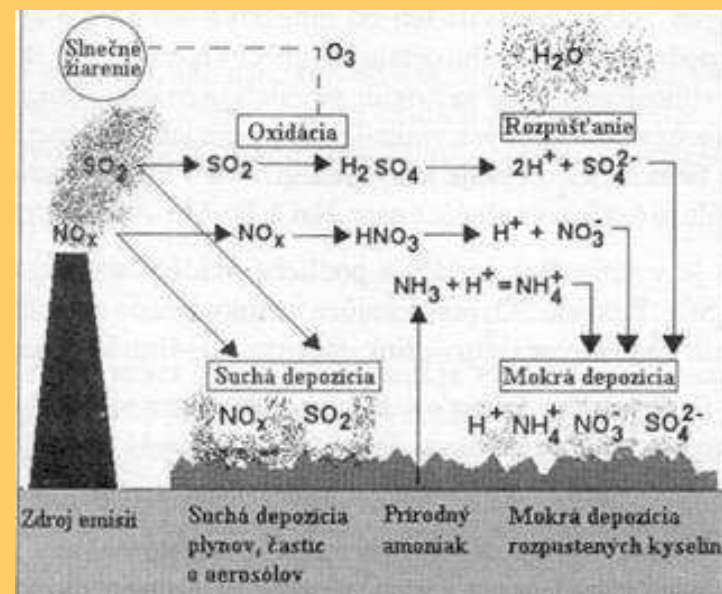


# Acidifikácia

- Pri spaľovaní fosílnych palív, najmä uhlia a ropy, vzniká oxidáciou síry v nich obsiahnutej oxid siričitý.
- Pri všetkých spaľovacích procesoch vzniká oxidáciou vzdušného dusíka celý rad oxidov dusíka.
- Oxidy dusíka a oxidy síry v plynnom skupenstve alebo po ich reakcii s vodou sa správajú ako kyseliny:



- Zrážky s  $\text{pH} < 5,6$  sa označujú ako KYSLÁ DEPOZÍCIA



# Acidifikácia

- **Dôsledky :**
  - priame poškodzovanie vegetácie, úhyn rýb a živočíchov v jazerách.
    - Škandinávске jazerá sú bez rýb – majú žulový podklad, ktorý nemá schopnosť neutralizovať kyslé dažde tak ako inde vápencový,
  - korózia technických zariadení (potrubí),
  - poškodzovanie kultúrnych pamiatok





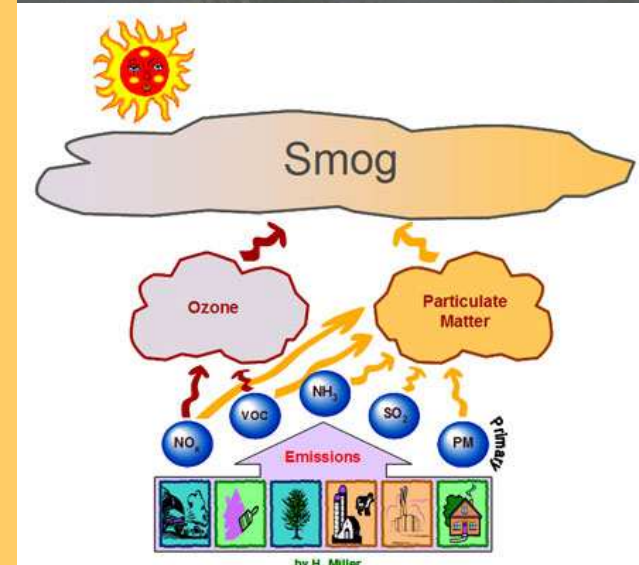
# Acidifikácia

- **Snahy o riešenie:**
  - zníženie spaľovania fosílnych palív a využitie alternatívnych zdrojov energie,
  - odsírovanie spalín v tepelných elektrárnach,
  - používanie katalyzátorov pri benzínových a naftových motoroch.



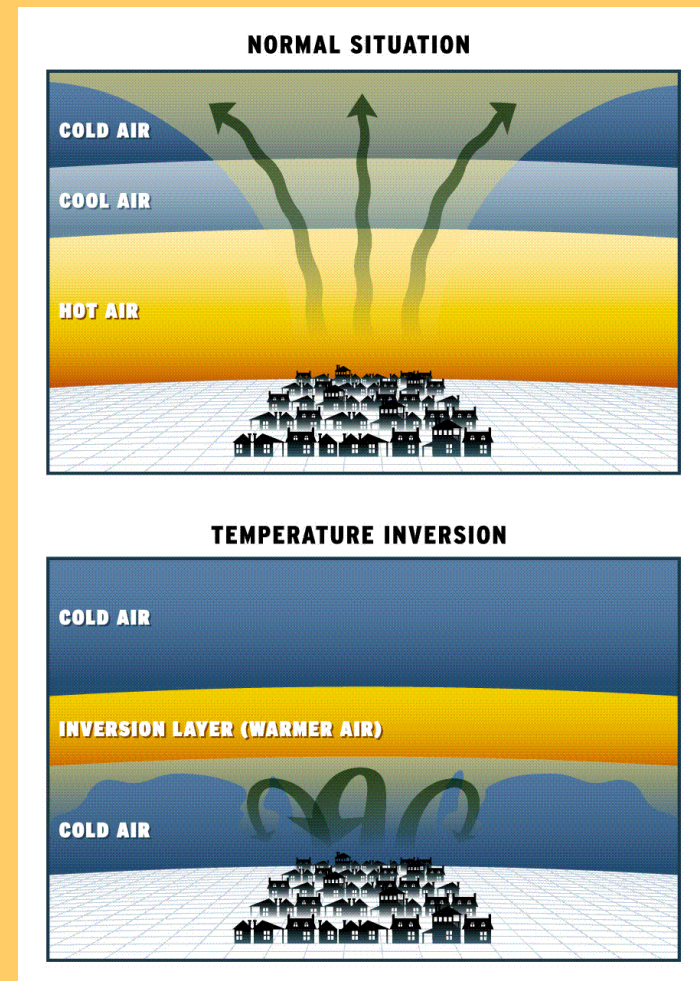
# Smog

- Smog je zmes rôznych škodlivín v ovzduší.
- Názov vznikol spojením slov "smoke" - dym a "fog" - hmla. Charakterizuje stav ovzdušia so zníženou viditeľnosťou, zvýšenou koncentráciou výfukových plynov a priemyselných exhalátov, ktorý má dráždivý účinok na ľudský organizmus a ohrozuje zdravie.
- Medzi najčastejšie škodliviny v smogovom ovzduší patria oxidy síry, oxidy dusíka amoniak, merkaptány, chlór, fluór a iné.



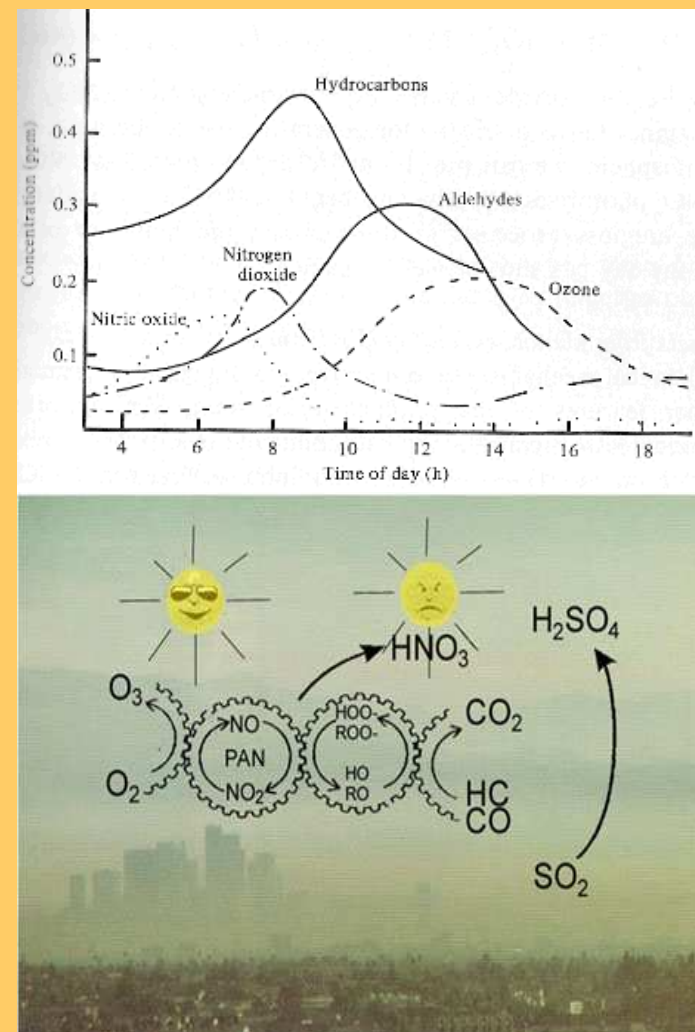
# Smog

- Londýnsky redukčný typ smogu (anglicky gray - air smog)
- vzniká v priemyselných mestách za nepriaznivých poveternostných podmienok, keď teplotná inverzia a hmla nedovoľujú rozptyl dymových splodín zo spaľovania (najmä uhlia), ktoré sa hromadia v prízemných vrstvách ovzdušia, takže koncentrácia škodlivín prekročí prípustné hodnoty.



# Smog

- fotochemický oxidačný smog (brown - air smog)
- vzniká pri zvýšenej koncentrácii oxidov dusíka v ovzduší. Pri fotochemickej reakcii sa pri pôsobení UV žiarenia sa menia primárne znečisteniny na sekundárne (napr. oxid dusnatý na dusičitý) typické svojím dráždivým účinkom.
- Proces prebieha len kým svieti slnko.
- Klasickým miestom jeho vzniku v časech rozvoja motorizmu bolo západné pobrežie USA, ale dnes sa už vyskytuje v mnohých veľkomestách. Najviac zamoreným mestom je Peking.





# Smog

- **Dôsledky**
  - Smog spôsobuje u človeka dráždenie slizníc dýchacích ciest a očí, zvýšenú vnímavosť na infekcie a pľúcne choroby.
  - Spôsobuje zvýšený výskyt chorôb dýchacích ciest a úmrtnosť na zlyhanie srdcovo-cievneho ústrojenstva.
  - Smogová situácia je mimoriadnym znečistením ovzdušia, keď úroveň znečistenia prekročí osobitný imisný limit.





AGENTÚRA  
NA PODPORU  
VÝSKUMU A VÝVOJA

- Tento materiál bol podporený *Agentúrou na podporu výskumu a vývoja* na základe zmluvy č. LPP-0171-07.
- Ilustrácie použité v tomto dokumente sú voľne dostupné na internete.
- Viac na [www.prirodnejavy.eu](http://www.prirodnejavy.eu)