

## 2. ATMOSFÉRA JAKO KOMPONENTA KLIMATICKÉHO SYSTÉMU ZEMĚ

**Atmosféra** – plynný obal Země, tvořený zvláštní směsí plynů – **vzduchem**.

Atmos – pára, sphaira – koule, obal

### 2.1 FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ VLASTNOSTI ATMOSFÉRY

- hmotnost  $5,157 \cdot 10^{18}$  kg
- rozložení hmotnosti: 50 % do 5-6 km, 90 % do 16 km, 99 % do 30 km
- hustota vzduchu při povrchu  $1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , v 5 km  $0,7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  - **pokles hustoty vzduchu s výškou**
- **změna molekulové hmotnosti s výškou:**  
homosféra (do 90 km) – molekulová hmotnost se s výškou prakticky nemění, homopauza, heterosféra (90-1000 km) – disociace kyslíku a dalších plynů
- **hlavní plynné složky atmosféry v suchém čistém vzduchu:**
  - a) **dusík** –  $\text{N}_2$  – 78,084 % (objemový podíl) – 75,51 % (hmotnostní podíl) [inertní plyn, vulkanická činnost]
  - b) **kyslík** –  $\text{O}_2$  – 20,946 % - 23,01 % [dýchání, reaktivní plyn, pohlcování záření, ozon, fotosyntéza]
  - c) **argon** –  $\text{Ar}$  – 0,934 % - 1,286 % [inertní plyn, rozpad  $^{40}\text{K}$ ]
  - d) **stopové plyny:** oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ , ozon  $\text{O}_3$ , methan  $\text{CH}_4$ , neon, krypton, xenon, vodík, oxid dusný  $\text{N}_2\text{O}$ , hélium
- **vlhký čistý vzduch:**  
**vodní pára** – max do 4 % objemu (průměr 2,6 %) na úkor dalších plynných komponent, pokles s výškou, pohlcování dlouhovlnného záření
- **atmosférické aerosoly** – pevné a tekuté příměsi ve vzduchu:
  - a) **přírodní aerosoly**
    - **kosmický prach** ( $1,4 \cdot 10^{10}$  kg ročně)
    - **vulkanický prach** (vulkanické erupce, vliv na intenzitu přímého slunečního záření)
    - **kouřové částice** (lesní a rašeliništní požáry)
    - **částice z povrchu půdy a moře** (zvednuty větrem – písečné a prachové bouře, vlnění)
    - **aeroplankton** (např. pyl, bakterie)
  - b) **antropogenní aerosoly** (asi 10 %, toxické účinky, dálkový přenos, kondenzační jádra, rozložení s výškou; pevné a kapalné příměsi - sedimentace na povrchu, plynné příměsi –  $\text{SO}_2$ , halogenované uhlovodíky aj.)

- **koncentrace** libovolné atmosférické složky v atmosféře – výsledek pohyblivé rovnováhy mezi její **produkcí** a **úbytkem**; primární příměsi – unikají do atmosféry z povrchu, sekundární vznikají v ovzduší často složitými fotochemickými mechanismy
- **střední doba setrvání molekul dané směsi v ovzduší:**
  - a) zdrojový člen
  - b) vlastnosti (rychlost fotodisociace, reaktivita, rozpustnost ve vodě)
  - c) vnější podmínky (sluneční záření, teplota, vlhkost, oblačnost, srážky)
  - d) přítomnost jiných látek (reaktanty, katalyzátory, sorbenty)
  - e) vlastnosti povrchu (suchá deposice)
- **podle střední doby setrvání molekul se rozlišují složky:**
  - kvazistálé (více než 1000 let) ( $N_2$ ,  $O_2$ , vzácné plyny)
  - variabilní (1-300 let) ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$  atd.)
  - velmi variabilní (menší než 3 měsíce) ( $H_2O$ ,  $CO$ ,  $SO_2$ , nemetanové uhlovodíky,  $O_3$  v troposféře aj.)

## 2.2 VERTIKÁLNÍ ČLENĚNÍ ATMOSFÉRY

- **podle změny teploty vzduchu s výškou:**
  - **troposféra** – do 17 km (mezi  $42^\circ$  s. a j. š.) až do 11 km; pokles teploty o  $0,65^\circ C$  na 100 m výšky; 75-90 % hmotnosti; vertikální pohyby – hydrometeory; vzduchové hmoty – fronty; západní přenos vzduchu; trysková proudění (jet stream)
  - **tropopauza** (mocnost do 1,5 km, inverze – vzestup teploty, izotermie – nemění se, narušení v oblasti jet streamu)
  - **stratosféra** – do 50-55 km, spodní část – téměř izotermie, od 25 km vzestup teploty (pohlcování záření  $O_3$ ); nepatrný obsah vodní páry; perleťová oblaka
  - **stratopauza**
  - **mezosféra** – do 80-85 km; pokles teploty na  $-100^\circ C$ ; stříbřitá (světélkující) oblaka
  - **mezopauza**
  - **termosféra** – prudký růst teploty (vysoká kinetická energie částic); polární záře
  - **exosféra** – nad 800 km; únik částic do meziplanetárního prostoru; zóny uchvácené radiací; sahá do 20 až 40 tisíc km
  - **ionosféra** – část atmosféry od svrchní mezosféry, kde dochází k ionizaci vzduchu; působení korpuskulárního a UV záření – **ionty** (kladně a záporně nabitě částice); vodivost plynů – zóny D (60-80 km), E (100-120 km),  $F_1$  (180-200 km),  $F_2$  (300-400 km) – šíření radiových vln
- **dělení atmosféry podle interakce aktivního povrchu a atmosféry:**
  - a) **planetární mezní vrstva** – do 1,5 km; pohyb vzduchu ovlivňován aktivním povrchem a turbulentním třením; vyjádřen denní chod meteorologických prvků (**přízemní vrstva atmosféry**, též Prandtlůva – do 50 -100 m)
  - b) **volná atmosféra** – od 1,5 km výše; neprojevuje se vliv aktivního povrchu, turbulentní tření lze zanedbat

## 2.3 OZON A JEHO ZMĚNY V ATMOSFÉŘE

- **ozon** – zápachající plyn vznikající při elektrických výbojích v atmosféře (C. F. Schönbein – 1840)

### 2.3.1 Přírozená rovnováha ozonu v atmosféře

- stopový plyn, tvořený 3 atomárními kyslíky ( $O_3$ )
- 90 % ve stratosféře, asi 3/4 v 15-30 km – ozonoféra
- měření spektrofotometrem
- **Dobsonovy jednotky (DU)** – celkové množství  $O_3$  ve vertikálním sloupci o základně  $1\text{ cm}^2$  (100 DU odpovídá při normálním tlaku a teplotě vzduchu 298 K vrstva  $O_3$  o tloušťce 1 mm)
- geografické rozložení: růst koncentrací od minim v oblasti rovníku (cca 250 DU) k maximům na  $60^\circ$  z.š. (cca 400 DU), odtud pokles k pólům, koncentrace v Arktidě vyšší než v Antarktidě
- roční chod: maximum na jaře, minimum na podzim

- vznik a zánik  $O_3$  – **Chapmanova teorie:**

#### **Vznik:**

UV-záření o  $\lambda < 242\text{ nm}$  – disociace kyslíku:  $O_2 + h\nu \rightarrow 2O$

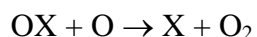
reakce atomárního a molekulárního kyslíku:  $O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$

#### **Zánik:**

disociace  $O_3$  zářením s  $\lambda < 1200\text{ nm}$ :  $O_3 + h\nu \rightarrow O + O_2$ , popř.

reakce  $O_3$  s atomárním kyslíkem:  $O_3 + O \rightarrow O_2 + O_2$

katalytické reakce:  $O_3 + X \rightarrow OX + O_2$



katalyzátory:

radikály dusíku  $NO_x$  (NO,  $NO_2$ )

– 70 % v 15-35 km

radikály vodíku  $HO_x$  (HO,  $HO_2$ )

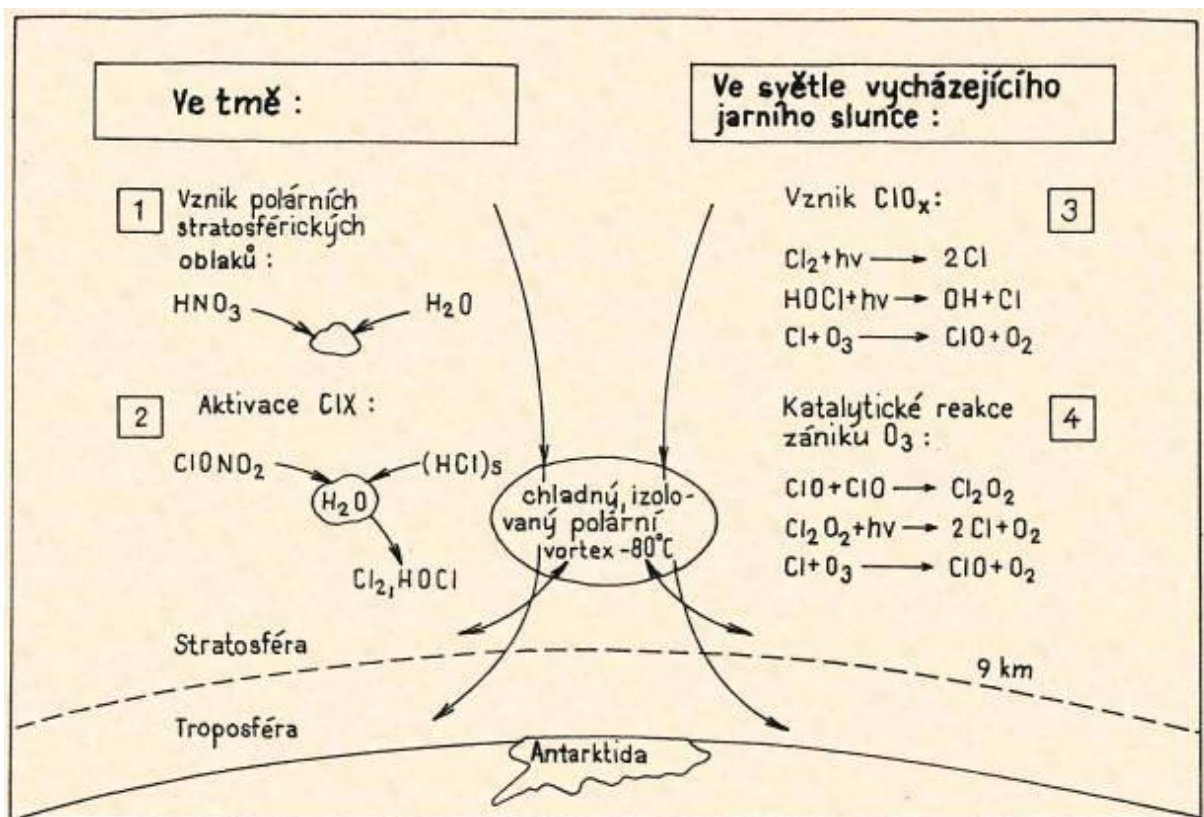
– 70 % nad 50 km

### 2.3.2 Ozonová díra a její příčiny

#### **Stratosférický ozon:**

- **ozonová díra** – drastický úbytek celkového ozonu, pozorovaný v Antarktidě v září-říjnu v porovnání se situací z konce 70. let 20. století
- halogenované uhlovodíky: lehké uhlovodíky (zejména methan  $CH_4$  a ethan  $C_2H_6$ ), v nichž vodík je nahrazen
  - a) atomy fluoru F a chloru Cl (chlorofluoruhlovodíky – CFC – též freony; hydrochlorofluoruhlovodíky – HCFC)
  - b) atomy bromu Br (bromované uhlovodíky, též halony)
    - vlastnosti: plyny nebo lehce těkavé kapaliny – nehořlavost, nejedovatost, chemická netečnost, domnělá ekologická nezávadnost – prudký nárůst produkce

- použití: hnací plyny, chladiva, nadouvadla, čisticí a odmašťovací prostředky, protipožární technika atd.
- mechanismus působení na O<sub>3</sub>:
  - a) průnik z troposféry do stratosféry
  - b) vůči O<sub>3</sub> inertní sloučeniny Cl (chlorovodík HCl, chlornitrát ClONO<sub>2</sub>)
  - c) v polární noci na částicích polárních stratosférických oblak (PSO) – aktivní formy (Cl<sub>2</sub>, HOCl)
    - PSO – polární vortex, teploty 190-200 K
  - d) časně zjara působením slunečního záření uvolňován aktivní Cl – katalytické reakce – zánik O<sub>3</sub>
- pokles O<sub>3</sub> v Antarktidě větší než v Arktidě (nestabilní vortex, vznik PSO méně častý)



**Obr. 1** Vznik ozonové díry

### Troposférický ozon:

- růst koncentrací o 1-2 % ročně
- přenos O<sub>3</sub> ze stratosféry
- oxidace uhlovodíků:
  - a) oxidace CH<sub>4</sub>:  
 $\text{CH}_4 + \text{OH} + 5\text{O}_2 + h\nu \rightarrow \text{O}_3 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O} + 3\text{HO}_2$   
 (NO<sub>x</sub> > 20 ppt, ppt = 10<sup>12</sup>, OH – hydroxidový radikál, HO<sub>2</sub> – peroxidový radikál)
  - b) oxidace CO:  $\text{CO} + 2\text{O}_2 + h\nu \rightarrow \text{O}_3 + \text{CO}_2$
  - c) oxidace vyšších uhlovodíků (poměr koncentrací NO<sub>x</sub> a uhlovodíků)

### 2.3.3 Možné důsledky úbytku stratosférického O<sub>3</sub>

- troposféra:
  - ekologický stres (dráždění sliznice, kancerogenita, toxicita, poškozování buněk)
  - vyšší koncentrace O<sub>3</sub> v troposféře – zesilování skleníkového efektu
- stratosféra:
  - pohlcování UV-záření
    - UV-C  $\lambda < 280$  nm – ozonem úplně pohlcené
    - UV-B  $\lambda = 280-320$  nm
    - UV-A  $\lambda = 320-400$  nm
  - stabilní teplotní zvrstvení stratosféry
  - růst intenzity UV-záření – jeho absorpce základními složkami živé hmoty (DNA), které poškozují a vyvolávají změny v genetické informaci
  - malé dávky UV-záření u člověka – tvorba vitamínu D
  - velké dávky UV-záření u člověka – poškození zraku, kůže a imunitního systému
  - zelené rostliny – růst UV-záření s  $\lambda < 300$  nm – potlačení fotosyntézy, krátkodobé ochromení nebo zničení chloroplastů
  - změny stability a složení celých ekosystémů
  - dopady na mořský fytoplankton – potravní řetězce, globální cyklus uhlíku

### 2.3.4 Vývoj a budoucnost ozonoféry

- 1974: F. S. Rowland, M. Molina – varování o možném narušení ozonové vrstvy
- 1985: Vídeň – první rámcová dohoda o ochraně ozonové vrstvy
- 1987: montrealský protokol – stanovil konkrétní redukce výroby a spotřeby halogenovaných uhlovodíků
- 1990: Londýn, 1992: Kodaň – další redukce
- zakázané látky; u látek, kde neexistují jiné alternativy, použití do roku 2040
- s ohledem na dobu životnosti halogenovaných uhlovodíků v troposféře pokračuje úbytek O<sub>3</sub>

### 2.3.5 Vývoj koncentrací ozonu v ČR