

2. ATMOSFÉRA JAKO KOMPONENTA KLIMATICKÉHO SYSTÉMU ZEMĚ

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

Atmos – pára, sphaira – koule, obal

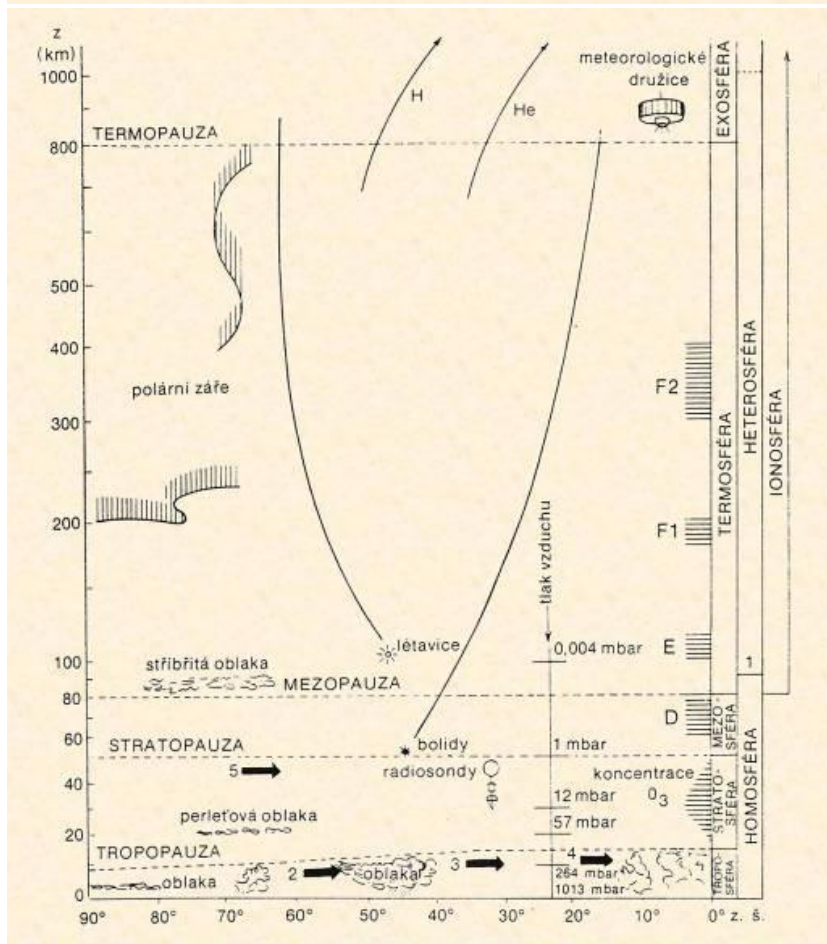
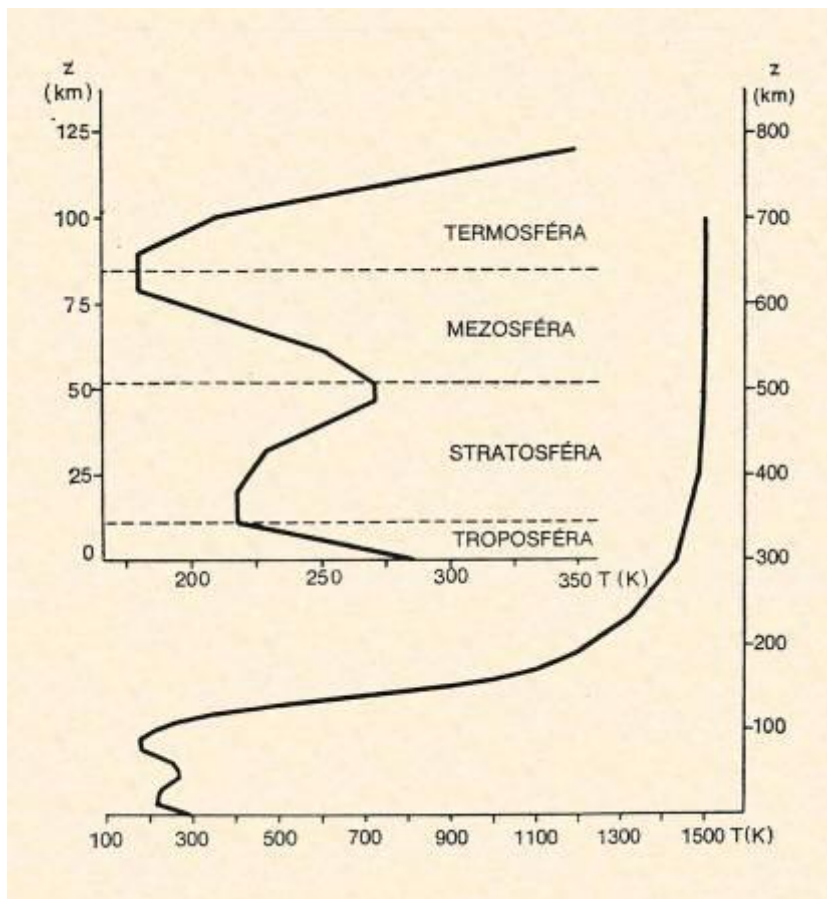
2.1 FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ VLASTNOSTI ATMOSFÉRY

- 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** – N_2 – 78,084 % (objemový podíl) – 75,51 % (hmotnostní podíl) [inertní plyn, vulkanická činnost]
 - b) **kyslík** – O_2 – 20,946 % - 23,01 % [dýchání, reaktivní plyn, pohlcování záření, ozon, fotosyntéza]
 - c) **argon** – Ar – 0,934 % - 1,286 % [inertní plyn, rozpad ^{40}K]
 - d) **stopové plyny:** oxid uhličitý CO_2 , ozon O_3 , methan CH_4 , neon, krypton, xenon, vodík, oxid dusný N_2O , 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 – 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 depositace)
- **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° s. a j. š.) až do 11 km; pokles teploty o 0,65°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°C; stříbrná (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



2.5 Vertikální členění atmosféry (upraveno a doplněno podle J. van Eimerna, 1971). Označení: 1 – homopauza; jet streamy: 2 – mírných šířek; 3 – subtropický; 4 – tropický; 5 – stratosférický; D, E, F₁, F₂ – ionosférické vrstvy.

2.3 OZON A JEHO ZMĚNY V ATMOSFÉŘE

- **ozon** – zapáchající 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 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° 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-zářením o $\lambda < 242\text{ nm}$ – disociace kyslíku: $O_2 + h\nu \rightarrow 2O$

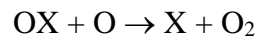
reakce atomárního a molekulárního kyslíku: $O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$

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: $O_3 + X \rightarrow OX + O_2$



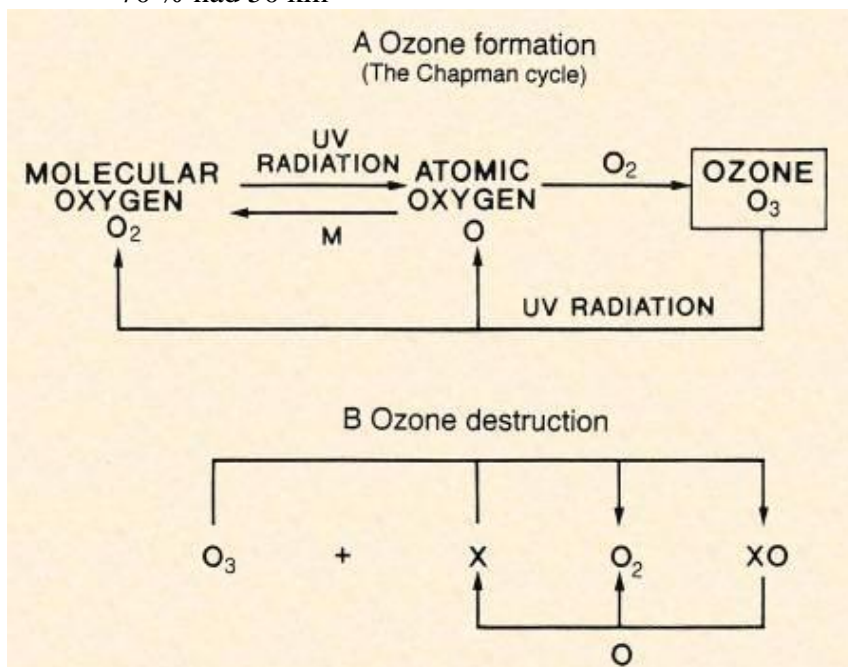
katalyzátory:

radikály dusíku NO_x (NO, NO_2)

– 70 % v 15-35 km

radikály vodíku HO_x (HO, HO_2)

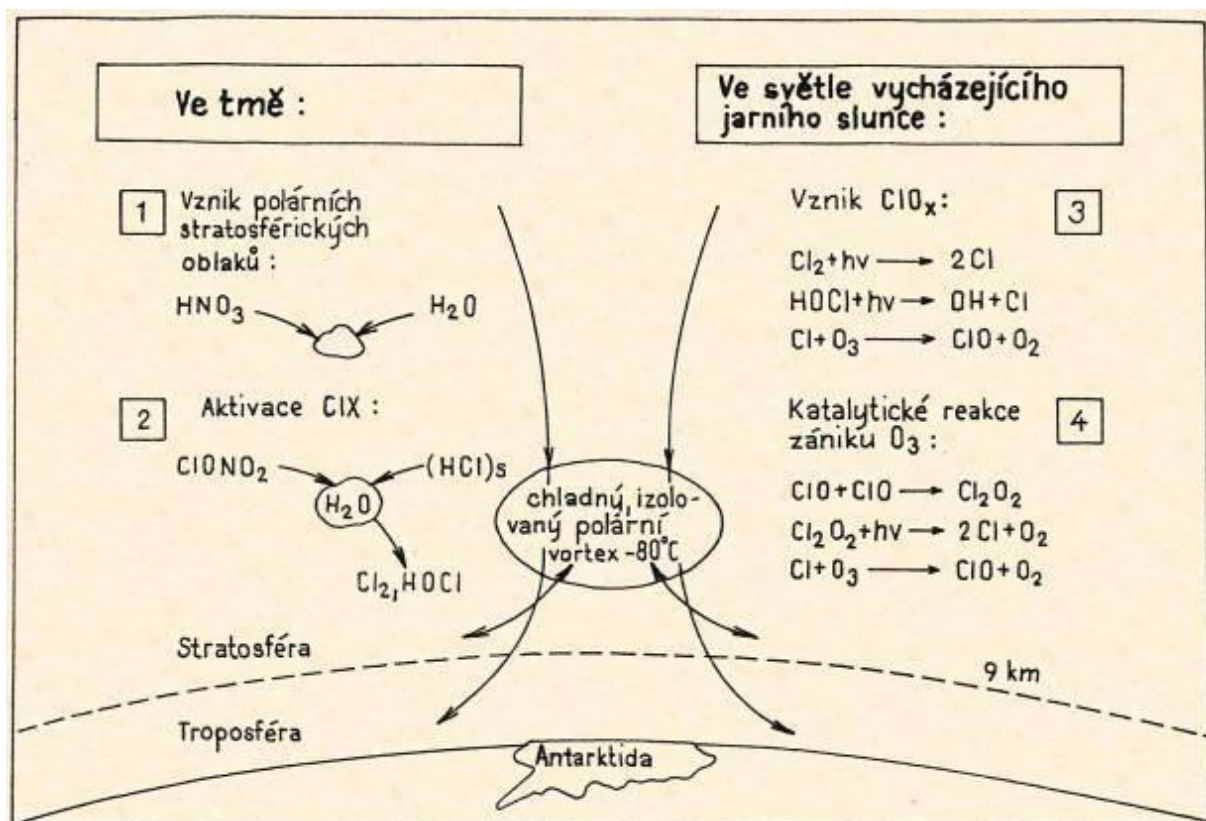
– 70 % nad 50 km



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_3 :
 - a) průnik z troposféry do stratosféry
 - b) vůči O_3 inertní sloučeniny Cl (chlorovodík HCl, chlornitrát ClONO_2)
 - c) v polární noci na částicích polárních stratosférických oblak (PSO) – aktivní formy (Cl_2 , HOCl)
PSO – polární vortex, teploty 190-200 K
 - d) časně zjara působením slunečního záření uvolňován aktivní Cl – katalytické reakce – zánik O_3
- pokles O_3 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_3 ze stratosféry

- oxidace uhlovodíků:
 - a) oxidace CH₄:

$$\text{CH}_4 + \text{OH} + 5\text{O}_2 + h\nu \rightarrow \text{O}_3 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O} + 3\text{HO}_2$$
 (NO_x > 20 ppt, ppt = 10¹², OH – hydroxidový radikál, HO₂ – 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_x a uhlovodíků)

2.3.3 Možné důsledky úbytku stratosférického O₃

- troposféra:
 - ekologický stres (dráždění sliznice, kancerogenita, toxicita, poškozování buněk)
 - vyšší koncentrace O₃ v troposféře – zesilování skleníkového efektu
- stratosféra:
 - pohlcování UV-záření
 UV-C λ < 280 nm – ozonem úplně pohlcené
 UV-B λ = 280-320 nm
 UV-A λ = 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 imunního systému
 - zelené rostliny – růst UV-záření s λ < 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 ozonosféry

- 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 O₃

2.3.5 Vývoj koncentrací ozonu v ČR