
Zdroje znečištění ovzduší

Mgr. Lukáš Dolák, Ph.D.

Jaro 2020

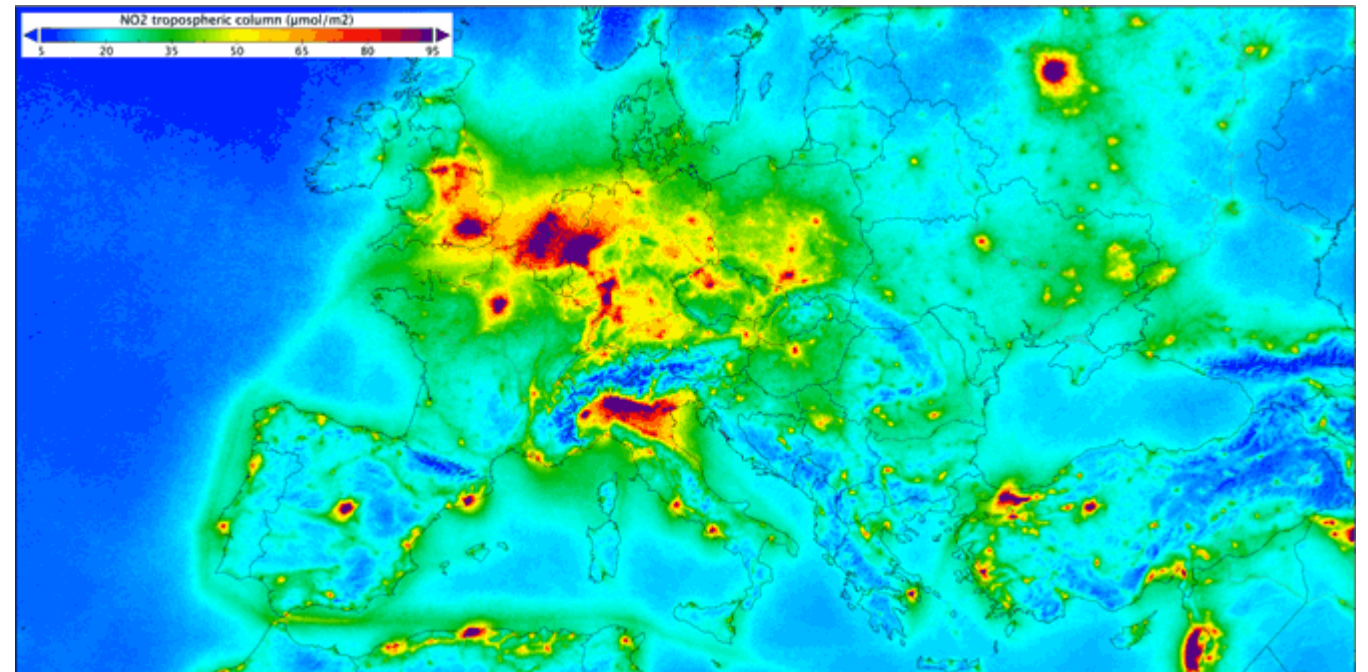
Zdroje znečištění

- Atmosféra obsahuje za všech okolností znečišťující látky
- Biogenní (přirozené) znečištění
 - půdní a prachové částice, krystalky mořských solí, vulkanický popel aj.
- Antropogenní znečištění
 - nepůvodní, ohrožuje zdraví lidí, stabilitu ekosystémů, poškozují majetek
 - ne/přímý výsledek lidské činnosti

Hlavní antropogenní zdroje znečištění atmosféry

- Spalování fosilních paliv, jejich zpracování a přeprava
- Barevná metalurgie (výroba Al, Cu, Pb, Zn)
- Slévárny, železárny, ocelárny, papírny
- Výroba cementu a průmyslových hnojiv
- Doprava

koncentrace NO_2 v období duben 2018–březen 2019



Klasifikace znečišťujících látek

- Dle skupenství:
 - pevné, kapalné, plynné
- Dle chemického složení:
 - sloučeniny síry, dusíku, uhlíku, halogenové sloučeniny, oxidanty...
- Dle času vzniku:
 - primární komponenty: emitování a setrvání látky ve stejné podobě
 - sekundární komponenty: vznik v atmosféře

Hlavní znečišťující látky

- Aerosol
- Organické sloučeniny a těkavé organické látky (VOCs)
- Semivolatilní, persistentní organické polutanty (POPs)
- Oxidy dusíku (NO_x)
- Oxidy uhlíku (CO_x)
- Oxid siřičitý (SO_2)
- Troposférický ozon (O_3)

Aerosol

- Pojem užívaný od r. 1920
- Atmosférický aerosol: soubor tuhých, kapalných nebo směsných částic o velikosti v rozsahu 1nm–100 μm setrvávající v atmosféře minimálně po dobu umožňující jejich detekci
- Přirozená složka atmosféry (vliv na tvorbu srážek, radiační bilanci)
- Zdroj: doprava, zemědělství, zemní práce, výroba stavebních hmot (např. křemitý, azbestový prach)
- Dopady: nemoci plic, vyšší úmrtnost kojenců, kondenzační jádra

Formy aerosolu

- Velikost částic: stěžejní parametr
 - průměrná velikost: $3 \mu\text{m}$ (okem rozlišitelná velikost $> 50 \mu\text{m}$)
- Formy aerosolu:
 - mrak/oblak: hustota koncentrace aerosolu o $p = 50 \mu\text{m} > 1 \%$ hustoty vzduchu ($1,205 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$), zřetelné hranice formace
 - mlha: kapalný aerosol vzniklý kondenzací vodní páry s kulovým tvarem částic ($p = 0,1\text{--}100 \mu\text{m}$)
 - opar: kapalný aerosol ($p = 0,1\text{--}100 \mu\text{m}$) snižující viditelnost

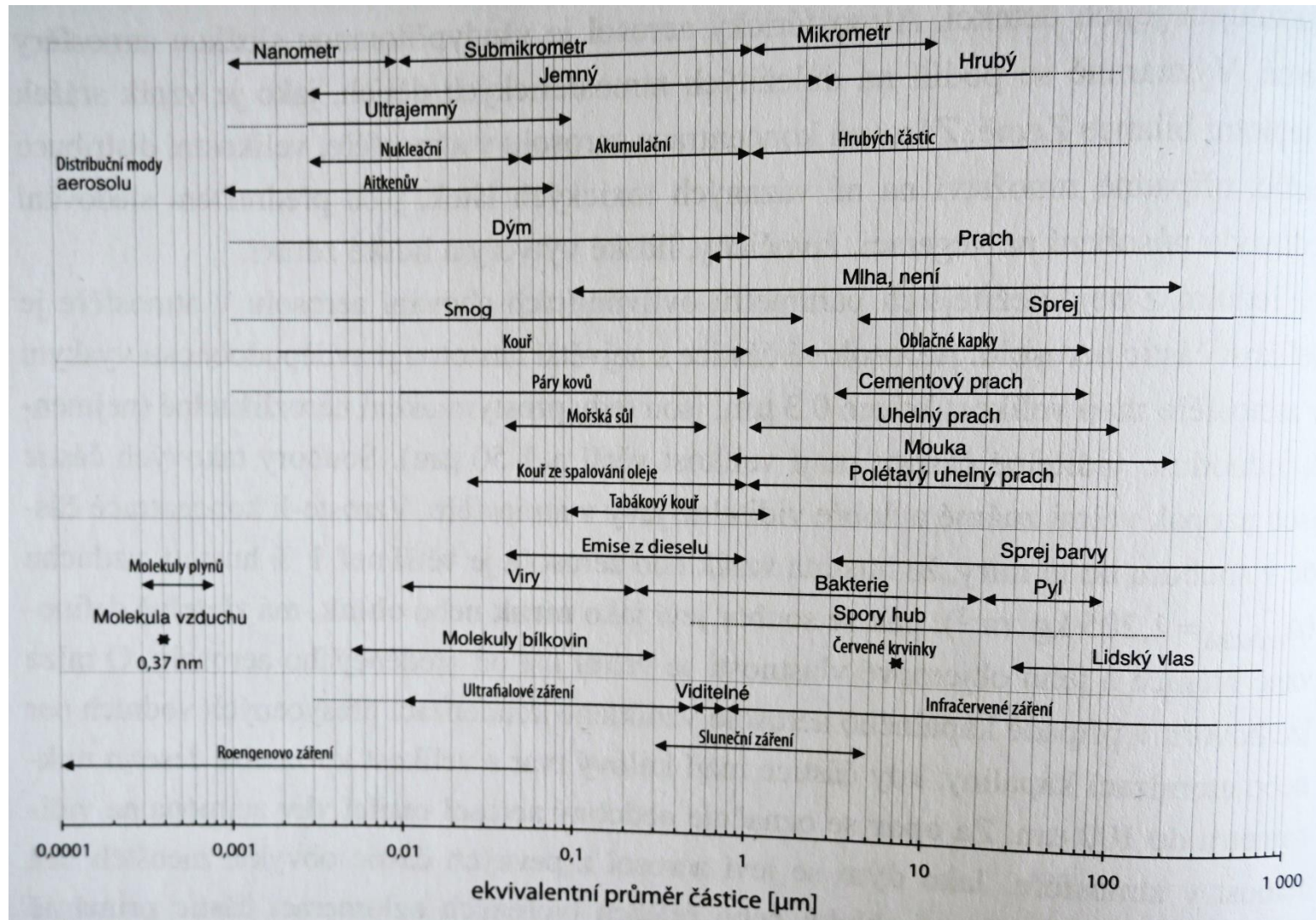
Formy aerosolu

- Formy aerosolu:
 - dým: aerosol pevných částic ($p < 0,05 \mu\text{m}$) primárně vzniklý kondenzací par při vysokoteplotních procesech
 - kouř: aerosol pevných a kapalných částic ($p < 0,05 \mu\text{m}$) primárně vzniklý kondenzací par při nedokonalém spalování
 - prach: hrubé částice o $p > 0,6 \mu\text{m}$ vzniklé mechanickým působením na pevnou hmotu
 - smog: obecné označení viditelného znečištění atmosféry především v městských oblastech

Dělení aerosolu

- Přirozený/antropogenní atmosférický aerosol
- Primární
 - částice aerosolu emitovány do ovzduší přímo ze zdroje
- Sekundární
 - výsledek chemických reakcí v ovzduší
- Bioaerosol
 - životaschopné organismy (viry, bakterie, houby) a jejich části, produkty živočichů a rostlin (pyl, spory)

Dělení aerosolu



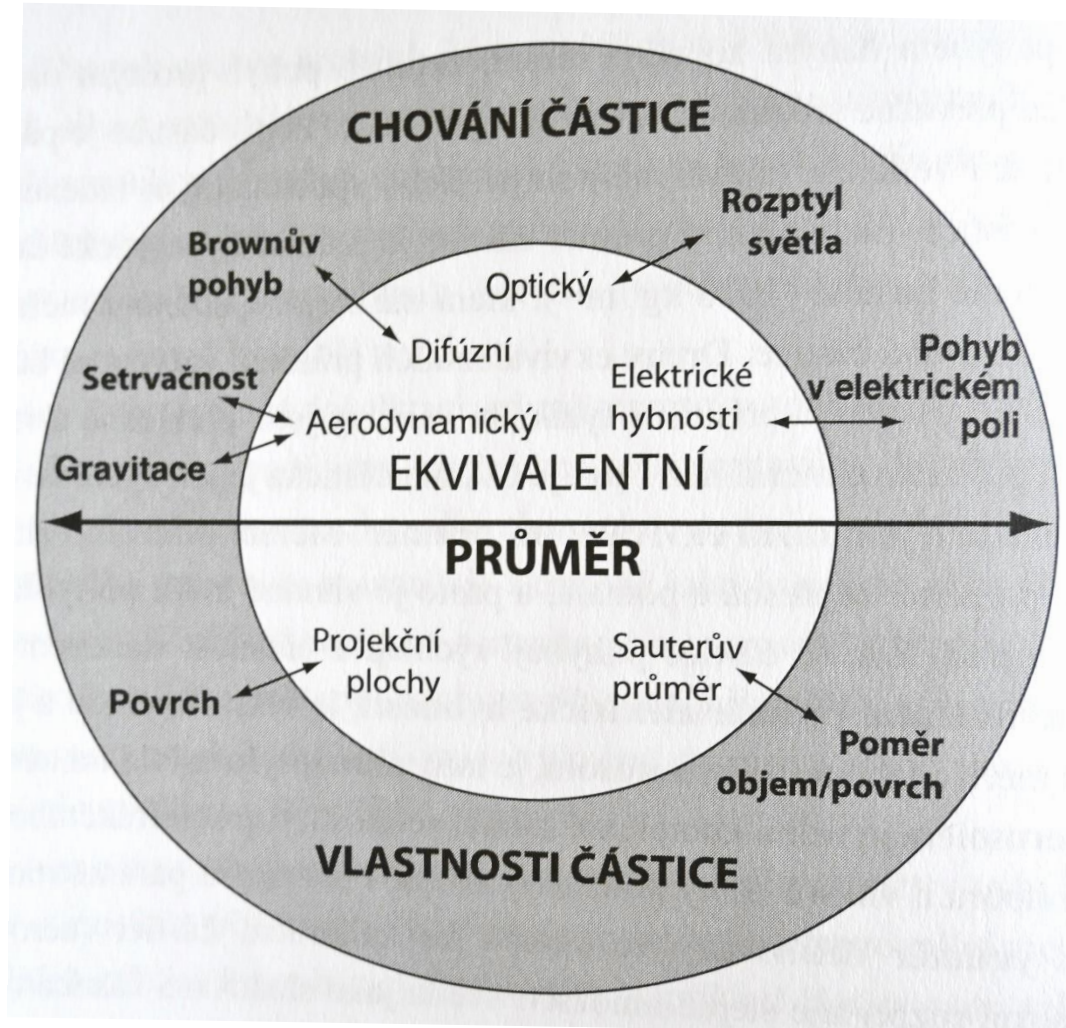
Velikostní rozsahy, skupiny a definice atmosférického aerosolu vzhledem k velikosti částice

Aerosol

- Základní parametry ovlivňující chování aerosolu v ovzduší:
 - velikost, tvar a hustota částic
 - přímý vliv parametrů na pohyb částic, jejich chování a vlastnosti
- Měřené charakteristiky aerosolu:
 - rychlost difúze, pádová rychlost, rozptyl světla ...
 - ekvivalentní průměr: průměr dané vlastnosti/chování aerosolové částice ke kalibrační částici

Aerosol

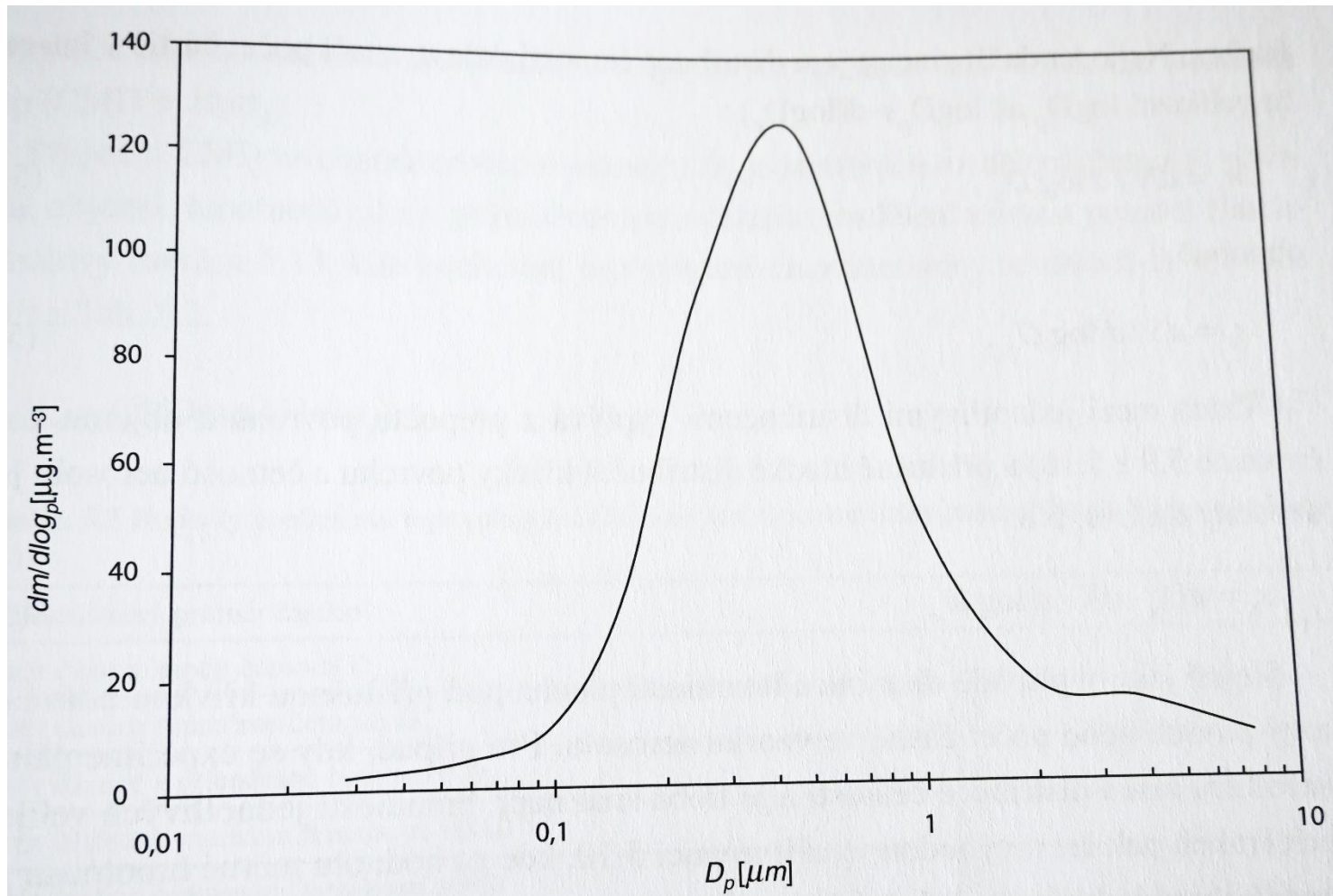
Ekvivalentní průměr částice v závislosti na měření jejího chování nebo vlastností



Velikostní distribuce částic aerosolu

- Ekvivalentní aerodynamický průměr
 - charakteristika pouze jednotlivých částic
- Atmosférický aerosol souborem mnoha částic (10^2 – 10^8 /cm³)
- Velikostní distribuce částic aerosolu
 - stanovení počtu/hmotnosti částic dle velikostních skupin
- Aerodynamický průměr částice o hmotnosti
 - charakteristika určující nejčastější výskyt částic o konkrétní hmotnosti v určené velikostní skupině

Velikostní distribuce částic aerosolu



Velikostní distribuce
hmotnosti aerosolu
(monomodální)

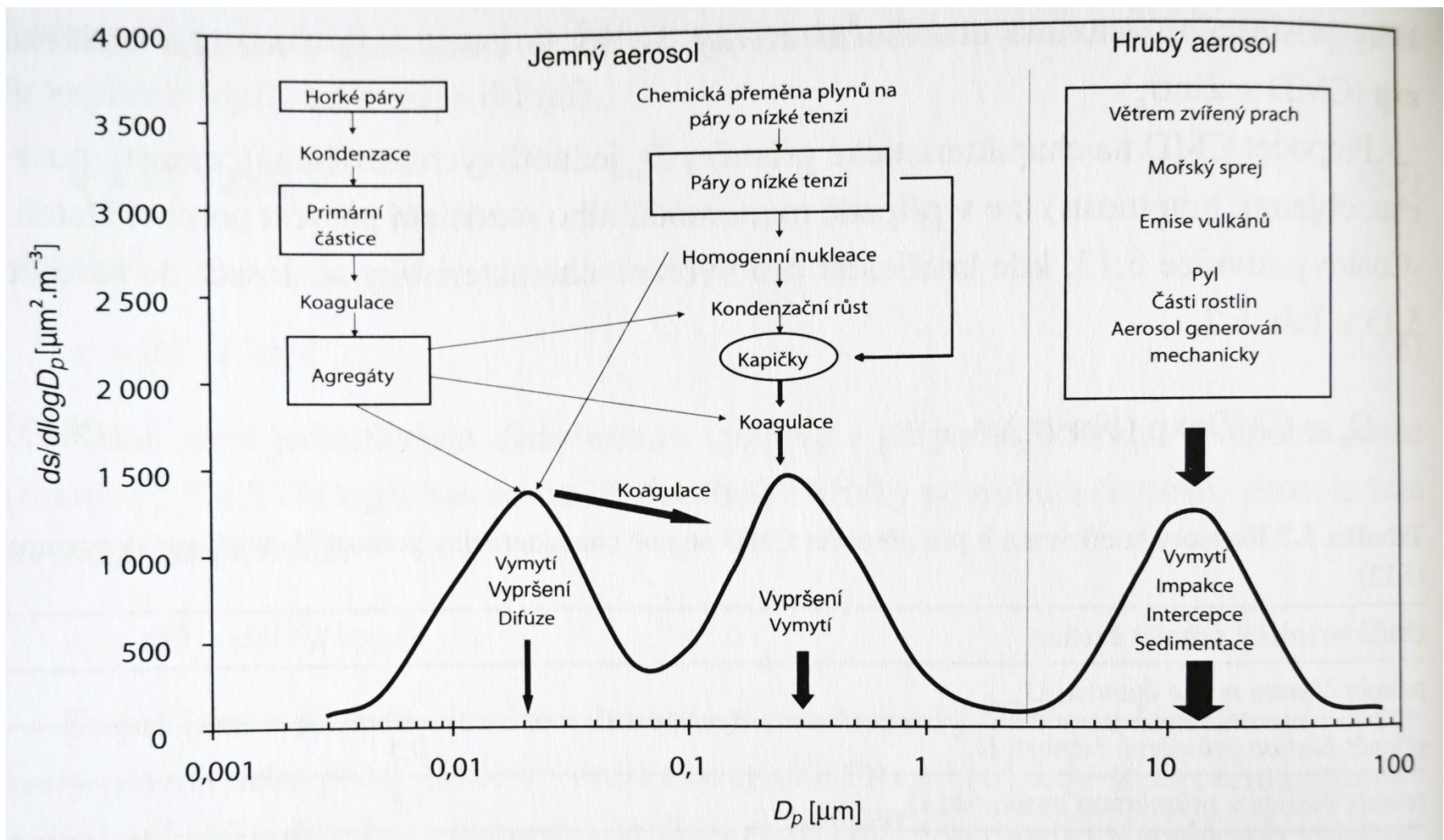
Zdroje a propady atmosférického aerosolu

- Tři typy modu částic:
 - částice nukleačního modu (jemný aerosol):
 - vznik vysokoteplotními (hoření, tavení rud, svařování) a fotochemickými procesy (kulovitý tvar částic)
 - koagulace (srážení) částic a následná koagulace s akumulací částicemi
 - vysoká reaktivita částic, doba setrvání: vteřiny–10ky min.
 - částice akumulčního modu (jemný aerosol):
 - převážná část povrchu/hmotnosti atmosférického aerosolu
 - vznik kondenzací plynů/vody, chemickou reakcí, koagulací s nukleačními částicemi
 - doba setrvání dny–týdny (nejpočetnější skupina částí v troposféře)

Zdroje a propady atmosférického aerosolu

- Tři typy modu částic:
 - mod hrubých částic ($p \sim 10 \mu\text{m}$):
 - vznik mechanickým působením na pevnou hmotu – prach vzniklý větrem, dopravní a stavební aktivitou, emise ze spalování uhlí a zpracování rud
 - významný podíl na hmotnosti aerosolu v atmosféře
 - doba setrvání: hodiny–2 dny (vrstva aerosolu ca. 1 km)
 - závislost doby setrvání na rychlosti sedimentace a turbulentních proudů

Zdroje a propady atmosférického aerosolu



Idealizované schéma distribuce povrchu částic atmosférického aerosolu, jejich formy a hlavní procesy jejich propadu

Zdroje a propady atmosférického aerosolu

zdroj	odhad emisního toku [Tg rok ⁻¹]			velikostní kategorie aerosolu
	nízký	vysoký	nejlepší	
přírodní				
primární aerosol				
prach (minerální aerosol)	1000	3000	1500	hlavně hrubý
mořská sůl	1000	10 000	1300	hrubý
vulkanický prach	4	10 000	30	hrubý
bioaerosol	26	80	50	hrubý
sekundární aerosol				
sulfáty z biogenních zdrojů	80	150	130	jemný
sulfáty z vulkanického SO ₂	5	60	20	jemný
organická hmota z biogenních VOC	40	200	60	jemný
nitráty z NO _x	15	50	30	jemný a hrubý
přírodní celkem	2200	23 500	3100	
antropogenní				
primární aerosol				
prach z průmyslu, mimo saze	40	130	100	jemný a hrubý
saze	5	20	10	hlavně jemný
sekundární aerosol				
sulfáty z SO ₂	170	250	190	jemný
spalování biomasy	60	150	90	jemný
nitráty z NO _x	25	65	10	hlavně hrubý
organická hmota z antropogenních VOC	5	25	10	jemný
antropogenní celkem	300	650	450	
celkem emise	2500	24 000	3600	

Globální odhadované emisní toky jemného a hrubého aerosolu v 90. letech 20. stol. (Baron a Willeke, 2001)

Chemické složení aerosolu

- Jemný aerosol
 - sulfáty, nitráty
- Hrubý aerosol
 - bioaerosol, materiál zemské kůry (Si, Fe, Ca, Mg, Al), mořské soli, H₂O
- Městský aerosol
 - komplikované chemické složení
 - trimodální

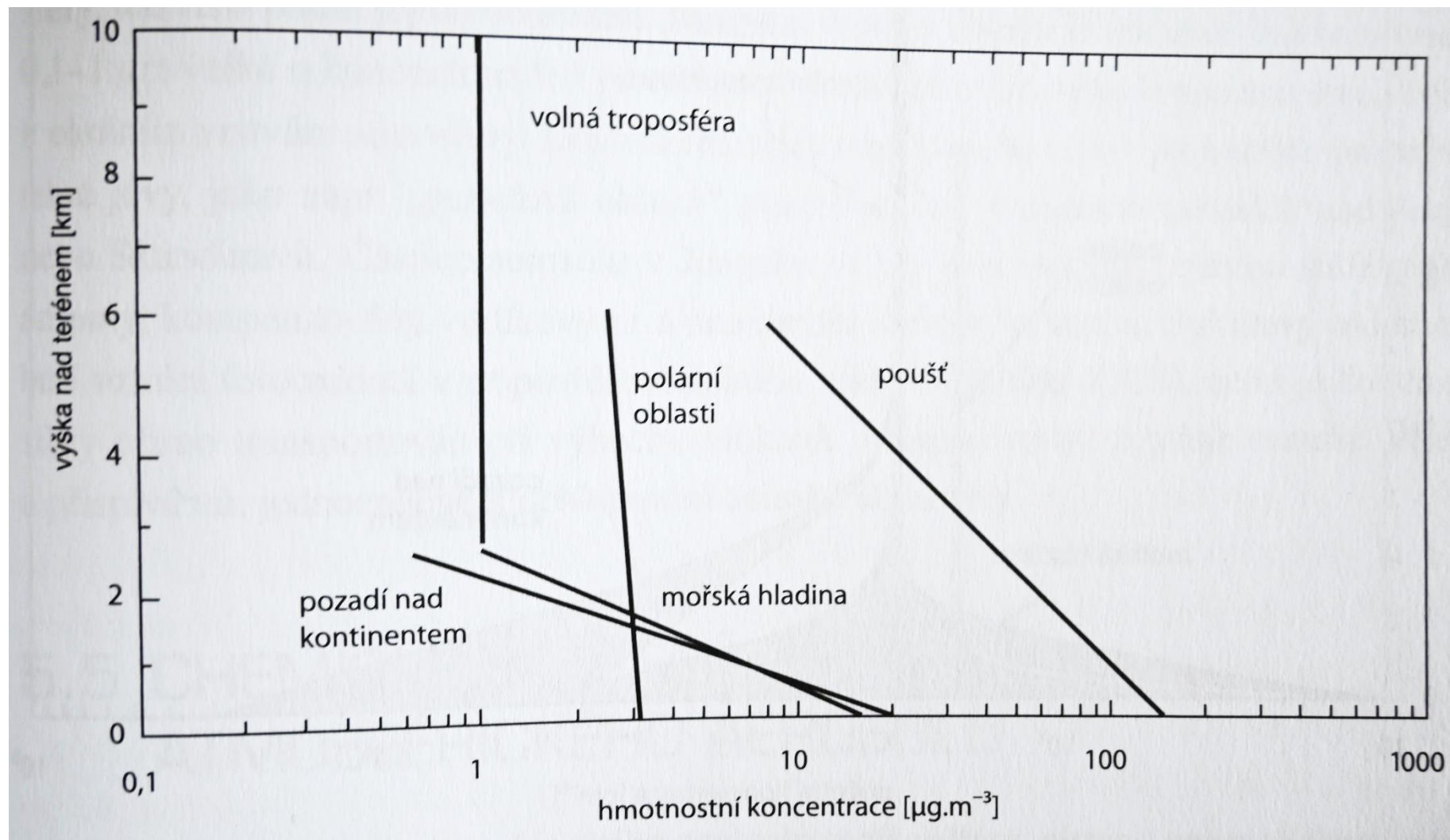
Zdroje a propady atmosférického aerosolu

- Procesy emitující aerosol = procesy odstraňující aerosol ($t > 1$ rok)
- Washout/vymývání aerosolu - nárůst účinnosti spojen s:
 - vyšší intenzitou deště
 - délkou deště
 - růstem pádové rychlosti dešťové kapky
 - poklesem průměru dešťové kapky

Vertikální distribuce aerosolu

- Zesilování/zeslabování skleníkového jevu aerosolem
 - vliv chemického složení, velikosti a nadmořské výšky částic
- Hmotnost aerosolu klesá exponenciálně s rostoucí výškou

Vertikální distribuce aerosolu



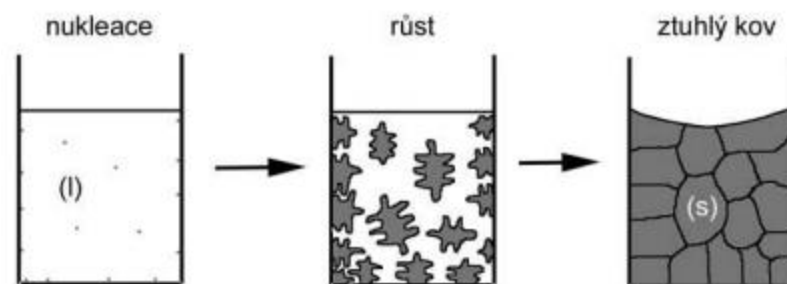
Vertikální
distribuce
hmotnosti
aerosolu v
troposféře

Vertikální distribuce aerosolu

- Vertikální distribuce počtu částic aerosolu
 - odlišný počet částic v odlišných nadmořských výškách nad různými povrchy
 - zemský povrch: pokles počtu částic s rostoucí výškou (vliv gravitace)
 - povrch oceánu: pokles i nárůst počtu částic s rostoucí výškou s ohledem na velikost částic

Vertikální distribuce aerosolu

- Proces nukleace
 - vznik nových částic v troposféře
 - podmínky: nízká vlhkost (< 50 %), silný sluneční svit, nízká koncentrace částic akumulčního modu
 - nejčastější průběh: poledne na jaře a v létě po delším srážkovém období



Vertikální distribuce aerosolu

- Jungeho vrstva
 - trvale zvýšená koncentrace aerosolu ve stratosféře (18–30 km)
 - částice sulfátových aniontů ($0,1\text{--}1\ \mu\text{m}$) o koncentraci $0,1\ \text{cm}^3$ vzniklé fotooxidací nebo sopečnými erupcemi
 - růst zemského albeda (ochlazující efekt), perleťová oblaka



Negativní dopady aerosolu

- Zvýšené podráždění sliznic u lidí (dýchací a zažívací trakt)
- Sedimentace jemného aerosolu v plicích (1–2 μm x 0,5 μm vydýcháván zpět)
- Ukládání aerosolů do tkání, uzlin a transport krví
- Narušení biochemie buněk

Organické látky v atmosféře

- Všudypřítomnost organických látek a jejich schopnost dálkového přenosu od místa emise
- Zdroje přírodní a antropogenní (převaha)
- Emise přímá x nepřímá (přechod přes další rezervoáry – transformace a vznik sekundárního znečištění)
- Schopnost akumulace v abiotickém prostředí i živých organismech – možné negativní projevy
- Environmentálně nebezpečné chemické látky (nebezpečí látek pro ŽP i v malých koncentracích)

Organické látky v atmosféře

- Nejvíce problematické vlastnosti organických látek:
 - toxicita
 - persistence
 - schopnost kumulace a bioakumulace
 - schopnost dálkového transportu
 - produkce v určitém množství aj.

Těkavé organické látky (VOCs)

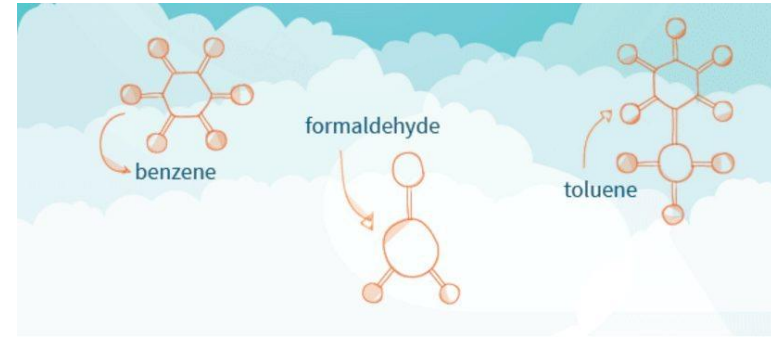
- Volatile Organic Compounds (VOCs)
- Významná skupina polutantů nacházející se v dolní troposféře v oblastech velkých měst a průmyslových center
- Stovky sloučenin s nejednoznačným názvoslovím (uhlovodíky – HCs, reaktivní organické plyny (ROGs aj.)
- Definice dle Evropské hospodářské komise OSN:
 - VOCs jsou všechny organické sloučeniny antropogenního původu, jiné než metan, které jsou schopné vytvářet fotochemické oxidanty reakcí s NO_x , v přítomnosti slunečního záření

Těkavé organické látky (VOCs)

- Důvody k nezařazení metanu mezi VOCs:
 - přírodní původ
 - odlišné chemické vlastnosti
 - odlišný průběh troposférických reakcí
 - nízká fotochemická oxidační aktivita
 - monitoring v rámci skleníkových plynů
- avšak dle fyzikálních vlastností spadá mezi VOCs

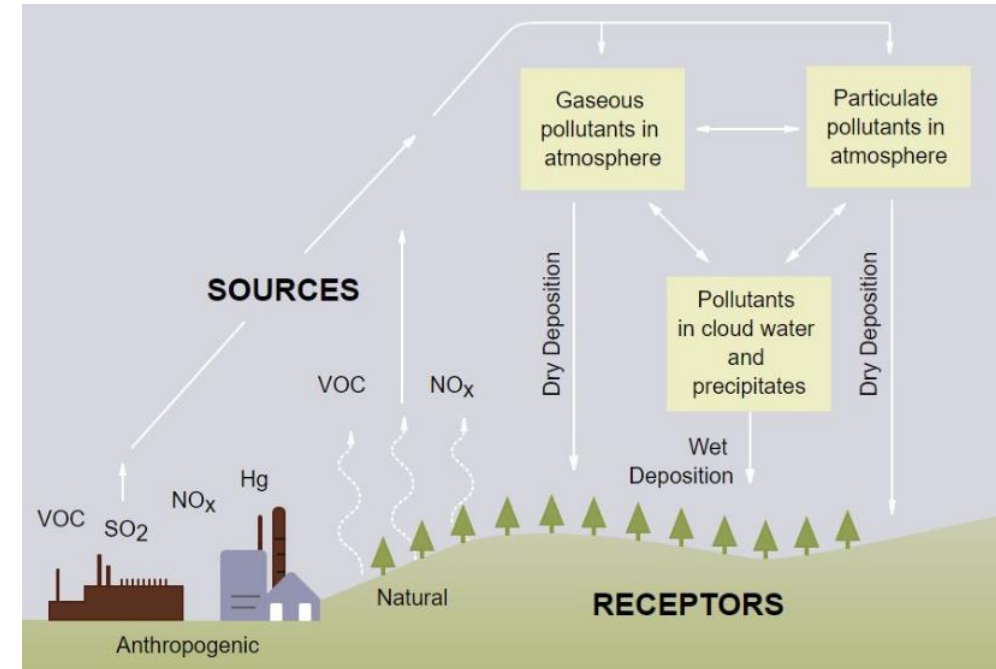
Druhy a charakteristika VOCs

- Uhlovodíky
 - alkany, alkeny, aromáty
- Deriváty uhlovodíků (Cl, O, N, S, P)
 - alkoholy, halogenované uhlovodíky, étery, aldehydy, ketony, kyseliny...
- Společná charakteristika VOCs:
 - snadná atmosférická reakce s NO_x (noc), OH (den) a O_3 (den i noc)
 - délka setrvání v atmosféře < 15 min až > 10 dnů

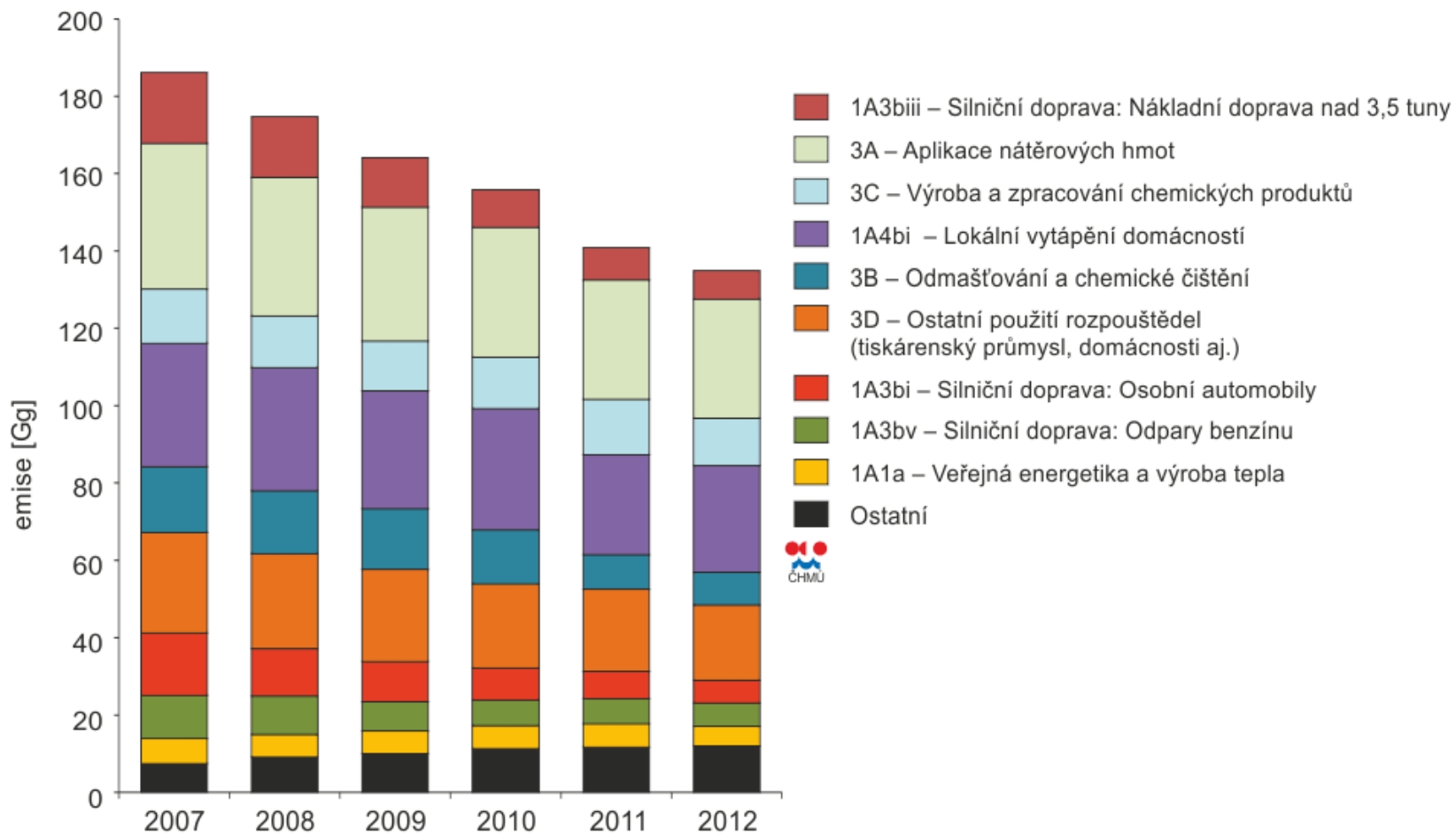


Zdroje VOCs

- Biogenní zdroje:
 - emise z vegetace a volně žijících živočichů
 - přírodní lesní požáry
 - anaerobní procesy v močálech a bažinách
- Antropogenní zdroje:
 - výfukové plyny dopravních prostředků
 - evaporace benzinových par
 - skladování a distribuce benzínu a zemního plynu
 - petrochemický, chemický a potravinářský průmysl
 - spalování fosilních a biogenních paliv
 - skládky odpadů
 - zemědělství
 - materiály z vnitřního prostředí budov (koberce, podlahové krytiny, lepidla barvy ...)



Zdroje VOCs

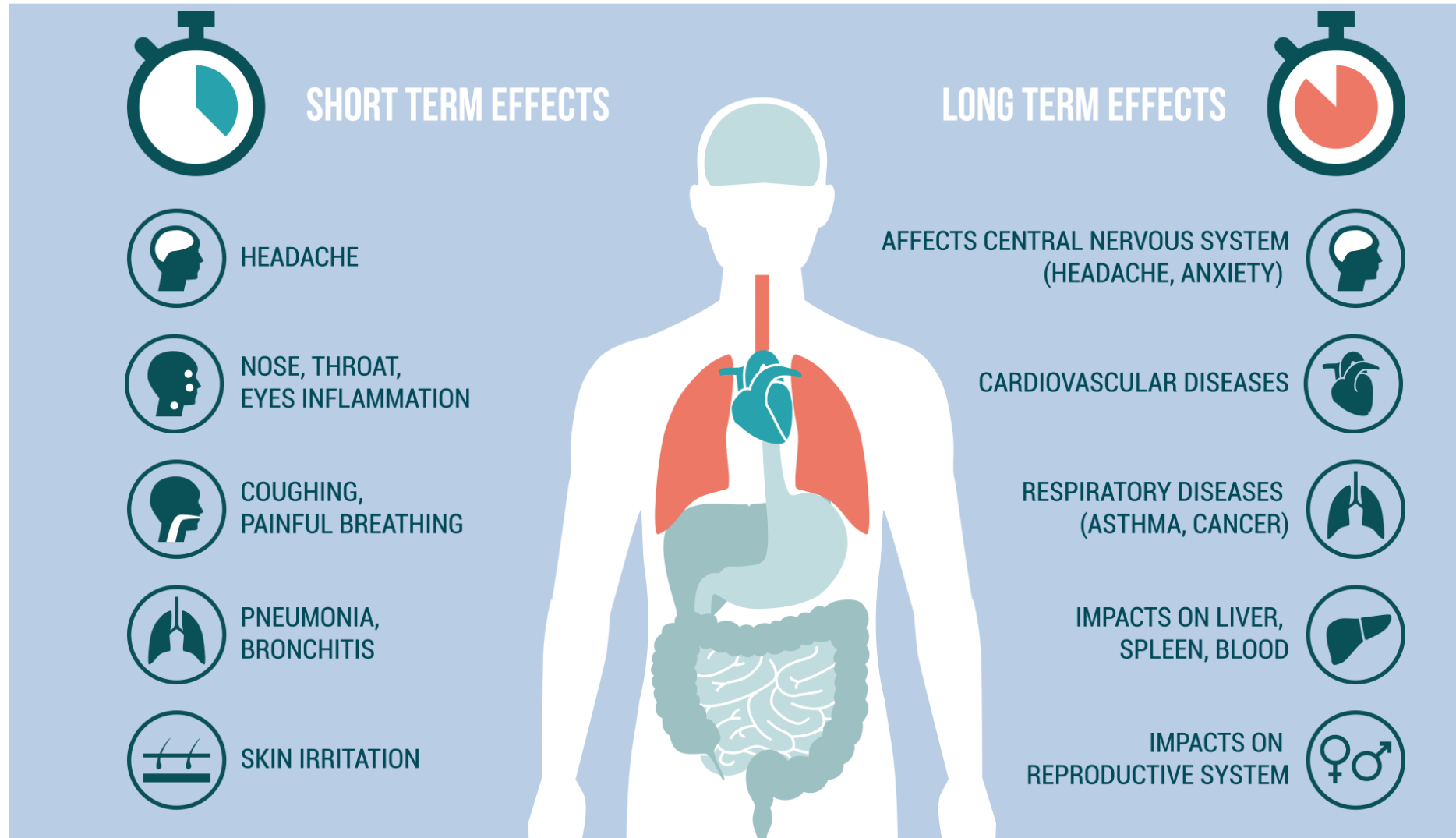


Obr. IV.9.1.3 Vývoj emisí VOC v období 2007–2012

Negativní dopady VOCs

- Přímý vliv na lidské zdraví:
 - zápach, narkotické účinky, toxicita, karcinogenita
 - benzen a 1,3 butadien: možný faktor vzniku leukémie
 - formaldehyd: potencionální nosní karcinogen
 - polycyklické aromatické uhlovodíky: možný faktor vzniku rakoviny plic
- Nepřímý vliv na lidské zdraví:
 - podíl na vzniku fotochemického smogu

Negativní dopady VOCs



Negativní účinky VOCs v atmosféře

- Poškození stratosférického O₃
- Podíl na tvorbě fotochemického smogu a troposférického O₃
- Příspěvek ke globálnímu oteplování
 - přímý: radiační plyny (CH₄, freony)
 - nepřímý: vznik sekundárních skleníkových plynů (troposférický O₃)
- Oslabování ozónové vrstvy (CFCs – životnost 60–100 let)

Persistentní organické polutanty (POPs)

- Skupina organických sloučenin vyznačující se odolností vůči různým degradačním procesům, malou rozpustností ve vodě, tendencí k bioakumulaci a schopností globálního atmosférického transportu
- Celosvětová všudypřítomnost (přenos atmosférickými a oceánskými proudy a řekami)
- Systematický přesun do polárních oblastí (převládající globální proudění, schopnost ke znovu-vypařování)
- Častá sedimentace POPs do oceánů, moří a půdy

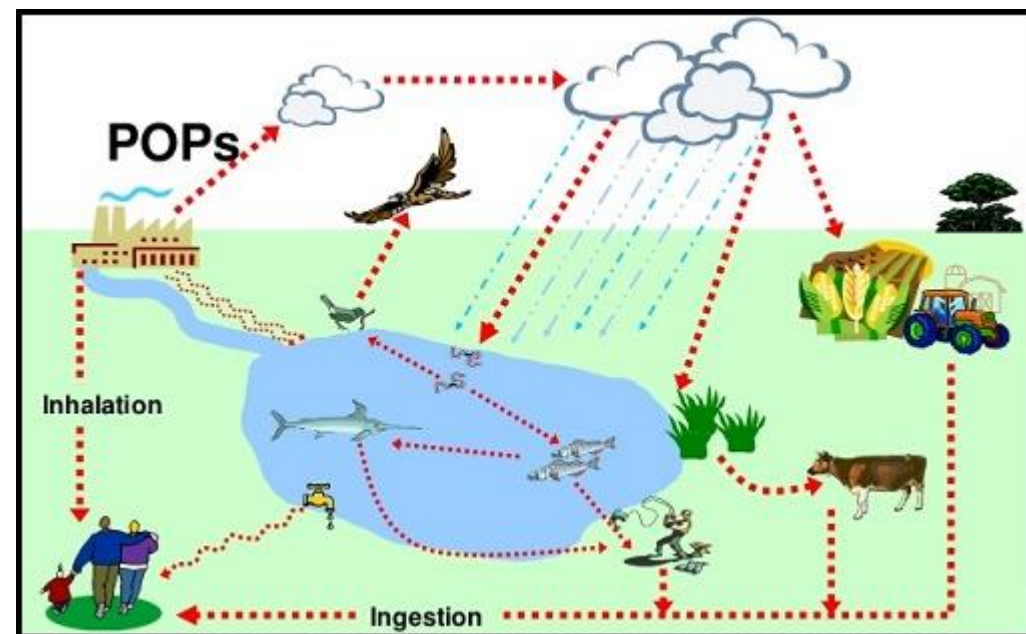
Zdroje POPs

- Chemické produkty (pesticidy, chlorované bifenyly – PCBs aj.) vstupující do ovzduší během jejich výroby nebo aplikace
- Vedlejší produkty výrobních procesů
- Vedlejší produkty neúplného spalování

- Příklady:
 - pesticidy (DDT), dioxiny, bioakumulativní a toxické látky (PBTs), polychlorované bifenyly (PCB)

Vstupy a propady POPs do atmosféry

- Možnosti vstupu POPs:
 - přímé: rozprašování, průmyslové emise, spalovací procesy, průmyslové havárie, technologické úniky, požáry
 - nepřímé: vypařování (postřiky), větrná eroze, vazba na jemný aerosol ($p < \mu\text{m}$)
- Možnosti propadu POPs:
 - mokrá a suchá depozice, podoblačné vymývání (*washout*)



POPs

- Atmosféra hlavním prostorem pro transport POPs
 - transport vertikální i horizontální směr (převládající)
- Akumulace POPs v oceánech: 1000–10 000 x vyšší koncentrace než v atmosféře
- Půda: hlavní zdroj POPs pro ŽP
- Akumulace POPs v ulicích měst (součástí splachu)
- Sezónní variabilita koncentrací: max. zima, min. léto

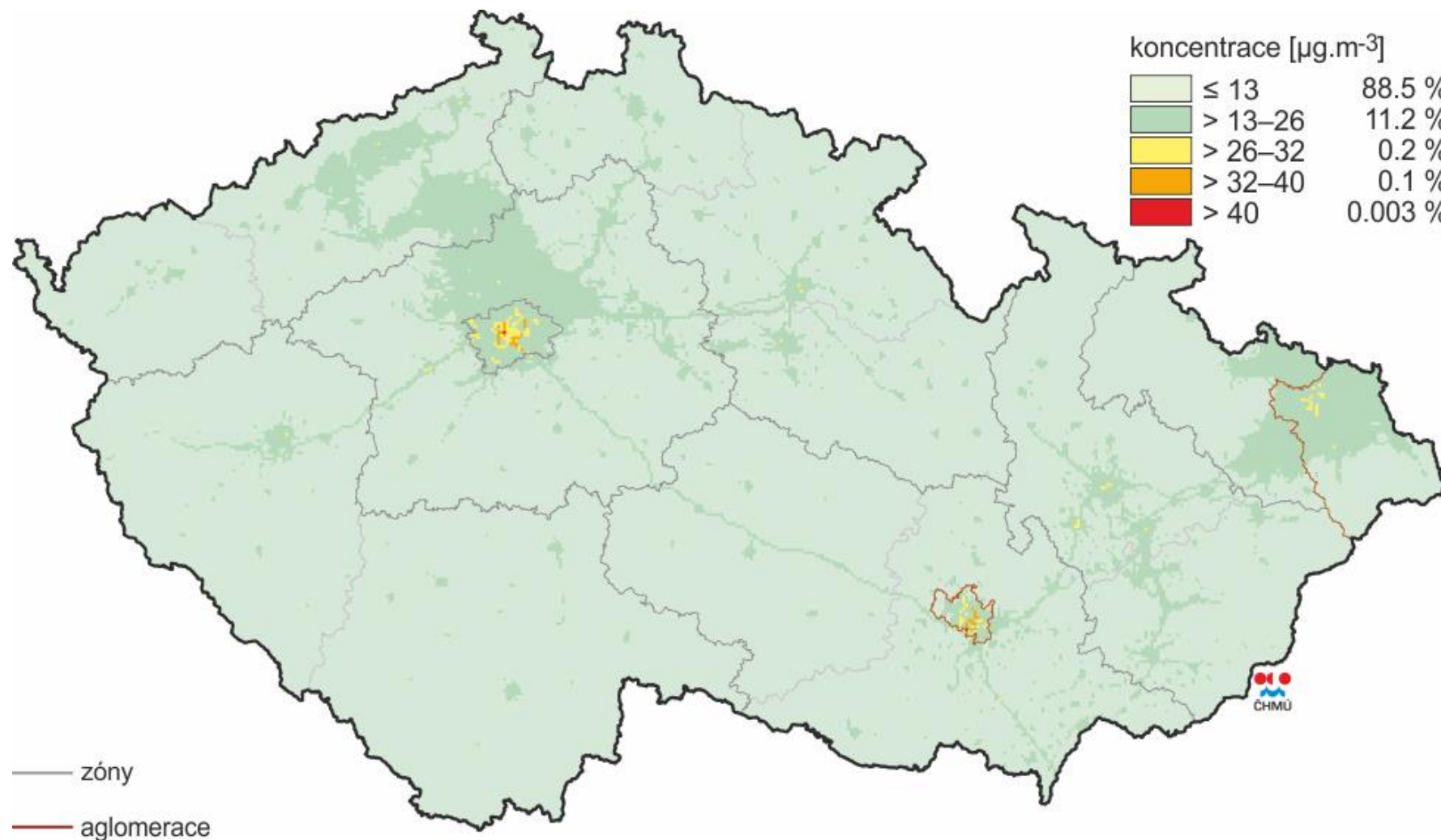
Negativní dopady POPs

- Bioakumulace (schopnost rostlin přijímat některé POPs)
 - pastva kontaminovaných rostlin dobyt看em a usazování POPs v tukových tkáních a mléčném tuku – konzumace lidmi
- Kontaminace půdy
- Šíření bioakumulativních a toxických látek (PBTs) mezi 30–60 ° s.š.
 - rozvoj použití v 1. pol. 20. stol.
 - 1950's–60's: nárůst velkoplošného použití v Evropě a SA
 - 1960'–1970's: nárůst koncentrace PBTs v potravních řetězcích
 - 1980's–1990's: zákaz výroby PBTs a redukce emisí v Evropě a SA
 - současnost: mírný nárůst koncentrací následkem vytěkání PBTs z půdy a vodních ploch

Oxidy dusíku (NO_x)

- NO , N_2O , NO_2
- Zdroj: spalování fosilních paliv, doprava, výroba plastů
- V současné době rostoucí koncentrace
- Dopady: skleníkové plyny, kyselá dešť, narušení ozónové vrstvy, narušení okysličení krve

Oxidy dusíku (NO_x)



Obr. IV.3.2 Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací NO₂, 2012–2016

Oxidy uhlíku (CO, CO₂)

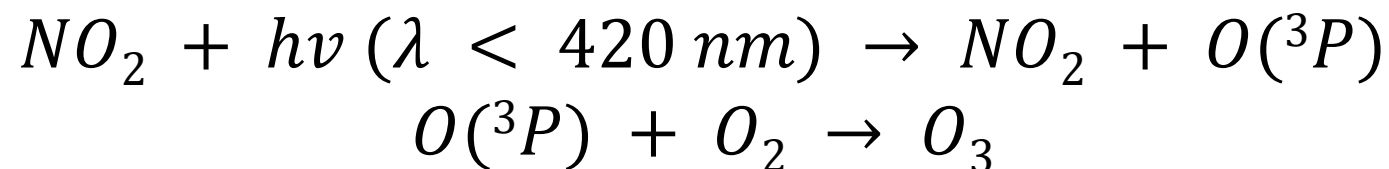
- Zdroj:
 - CO₂: spalování fosilních paliv
 - CO : doprava, nedokonalé spalování, stepní požáry, koksárenství
- CO silně toxický i při nízkých koncentracích
- Dopady:
 - CO₂: skleníkový plyn, kardiovaskulární a nervové problémy
 - CO: bolest hlavy, malátnost, ztráta orientace, poruchy zraku, vazba na hemoglobin (1 % obsah CO = 95 % vazby na hemoglobin, smrt při 75 %), kardiovaskulární problémy

Oxid siřičitý (SO₂)

- Zdroj: spalování fosilních paliv s vysokým obsahem S (hnědé uhlí), průmyslová výroba
- V současné době klesající koncentrace v ČR (odsíření elektráren po r. 1990)
- Dopady:
 - kyselá dešť (koroze železných konstrukcí, omítek, změna pH vody),
 - poškození vegetace (vstup SO₂ do rostliny v rámci fotosyntézy/asimilační jed – narušení průduchů, rozklad pigmentů = nekróza na listech)

Troposférický ozon (O_3)

- Zdroj: fotolýza NO_2 v dolní troposféře



- Dopady:
 - negativní vliv na lidské zdraví a komfort (dráždivé účinky na sliznice očí a dýchacích cest, alergie)
 - poškozování materiálů („praskání“ gumy)
 - toxické působení na vegetaci (zpomalení růstu rostlin a vývinu kořenového systému)

Literatura

- Braniš, M., Hůnová, I. (2009): Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší. Praha, Karolinum, 351 s.

Děkuji za pozornost