
Zdroje znečištění ovzduší

Mgr. Lukáš Dolák, Ph.D.

Jaro 2022

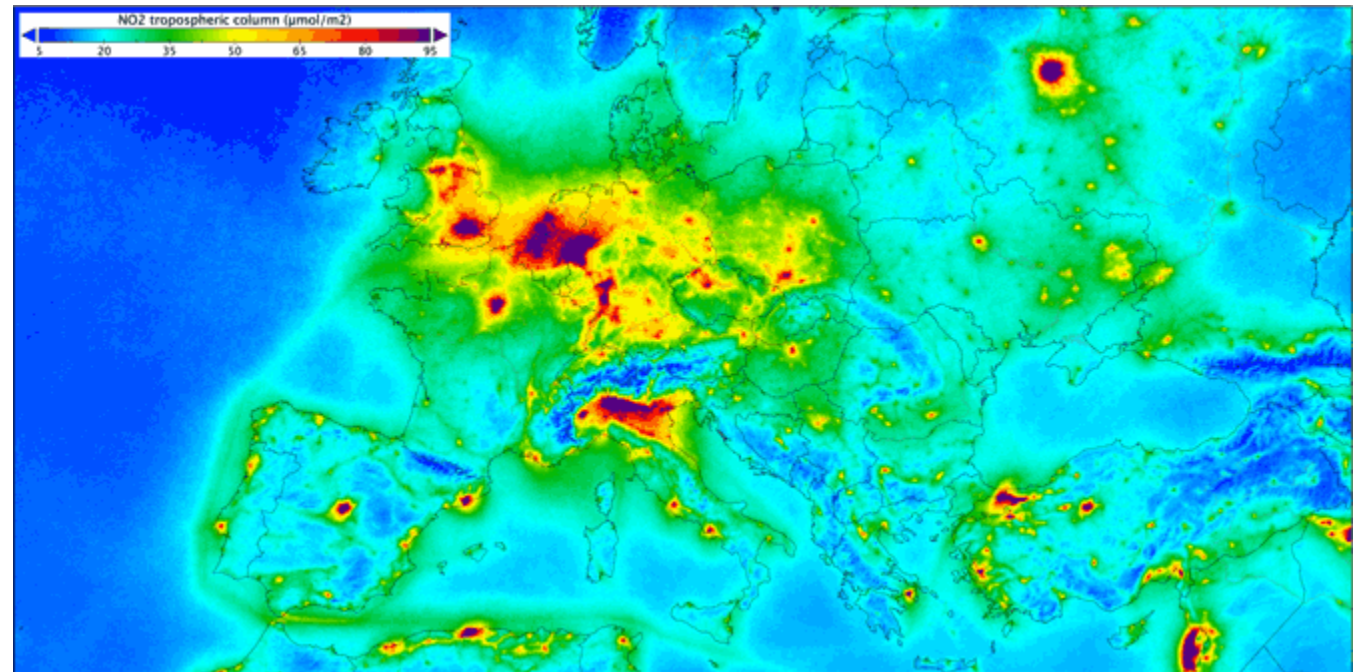
Zdroje znečištění

- Atmosféra obsahuje za všech okolností znečišťující látky
- Biogenní (přírozené) znečištění
 - půdní a prachové částice, krystalky mořských solí, vulkanický popel aj.
- Antropogenní znečištění
 - nepůvodní, ohrožení zdraví lidí, stability ekosystémů, poškození majetku
 - 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

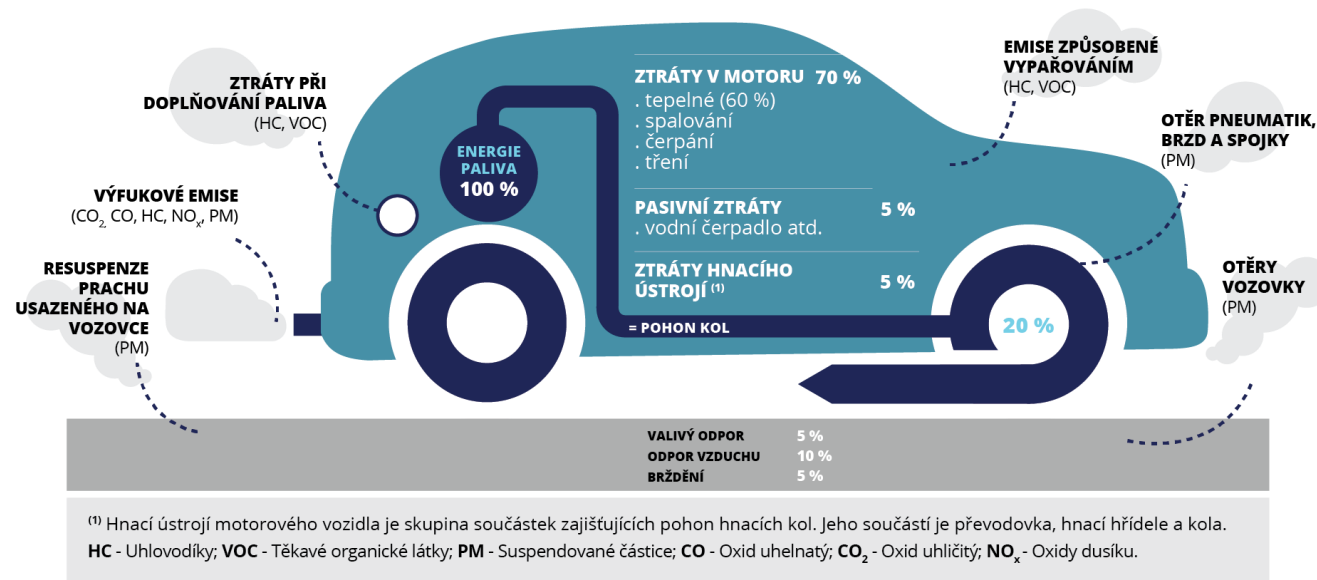
koncentrace NO_2 v období duben 2018–březen 2019



Hlavní antropogenní zdroje znečištění atmosféry

Emise a účinnost vozidel

Silniční doprava závislá na fosilních palivech představuje nejvýznamnější zdroj znečištění ovzduší z dopravy. Každé vozidlo vypouští emise z řady zdrojů.



Zdroj: EEA Report — Explaining road transport emissions — a non-technical guide (2016)

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

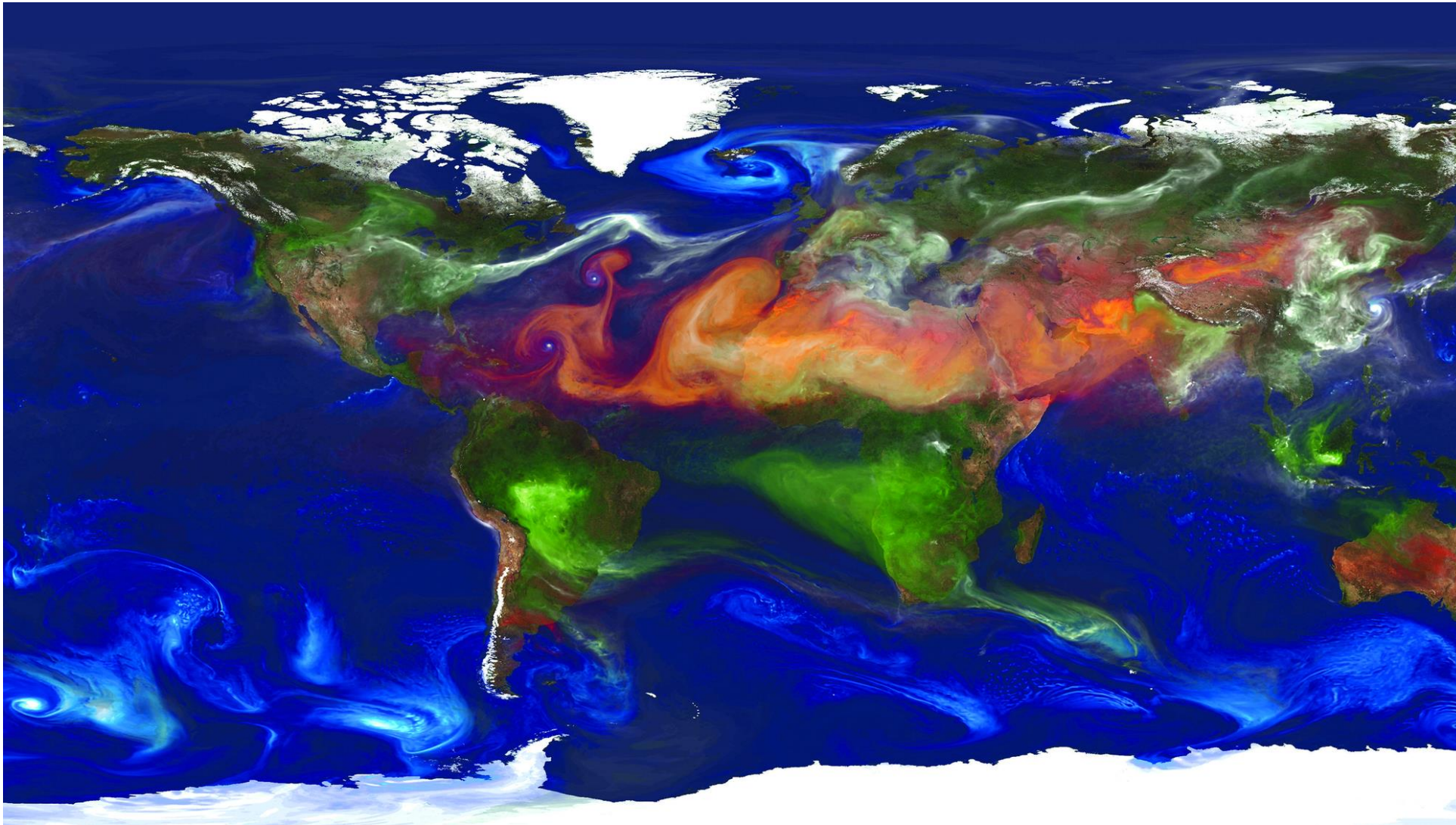
- Aerosoly
- Organické sloučeniny a těkavé organické látky (VOCs)
- Semivolatilní, persistentní organické polutanty (POPs)
- Oxidy dusíku (NO_x)
- Oxidy uhlíku (CO_x)
- Oxid siřičitý (SO_2)
- Troposférický ozon (O_3)
- (Polo)kovové prvky

Aerosol

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), požáry
- Dopady: nemoci plic, vyšší úmrtnost kojenců, kondenzační jádra

Aerosol



červená - prach
modrá -
mořská sůl
zelená - dým
bílá – sírany
(spalování
fosilních paliv a
sopečná
činnost)

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

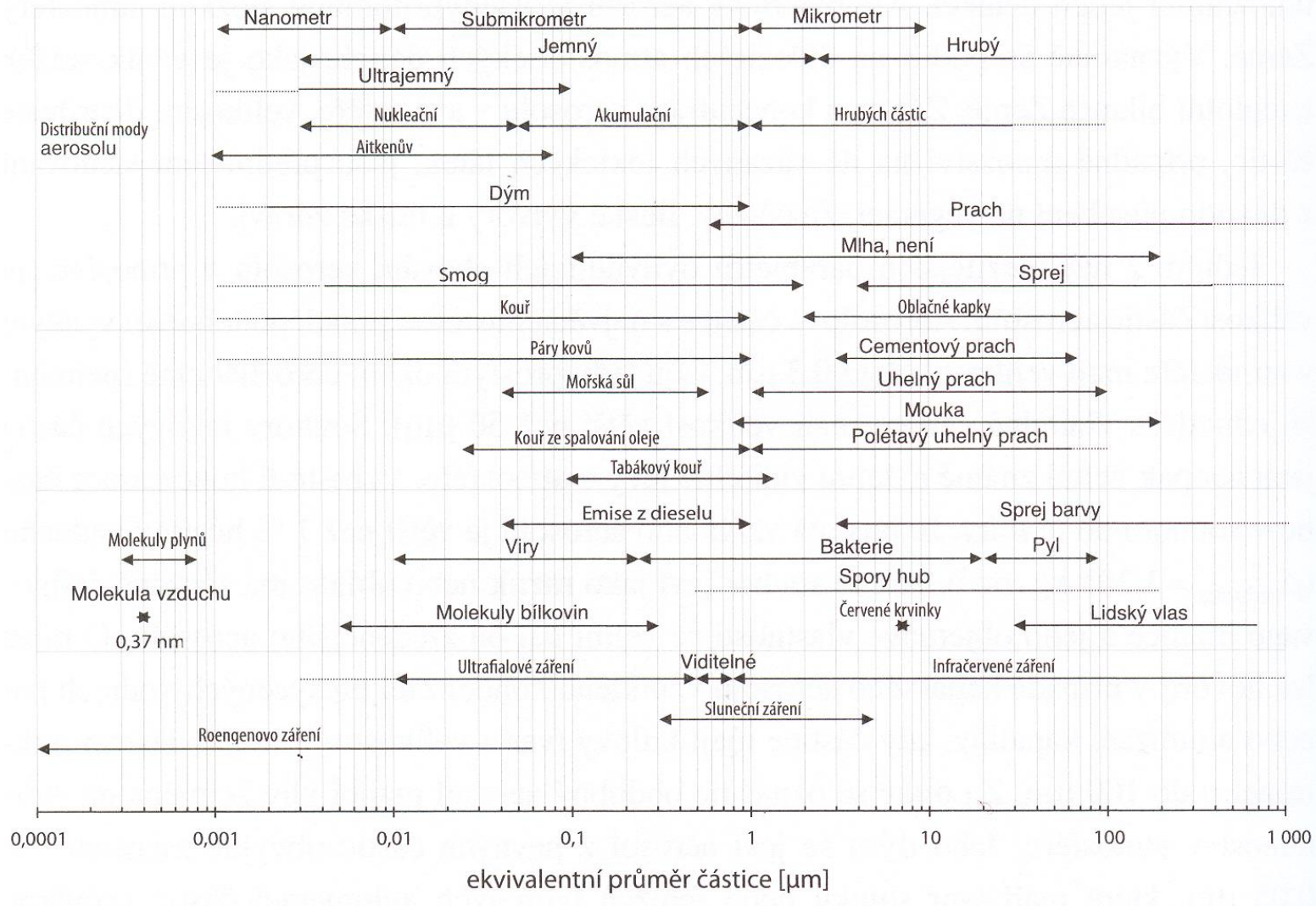
Formy aerosolu

- 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



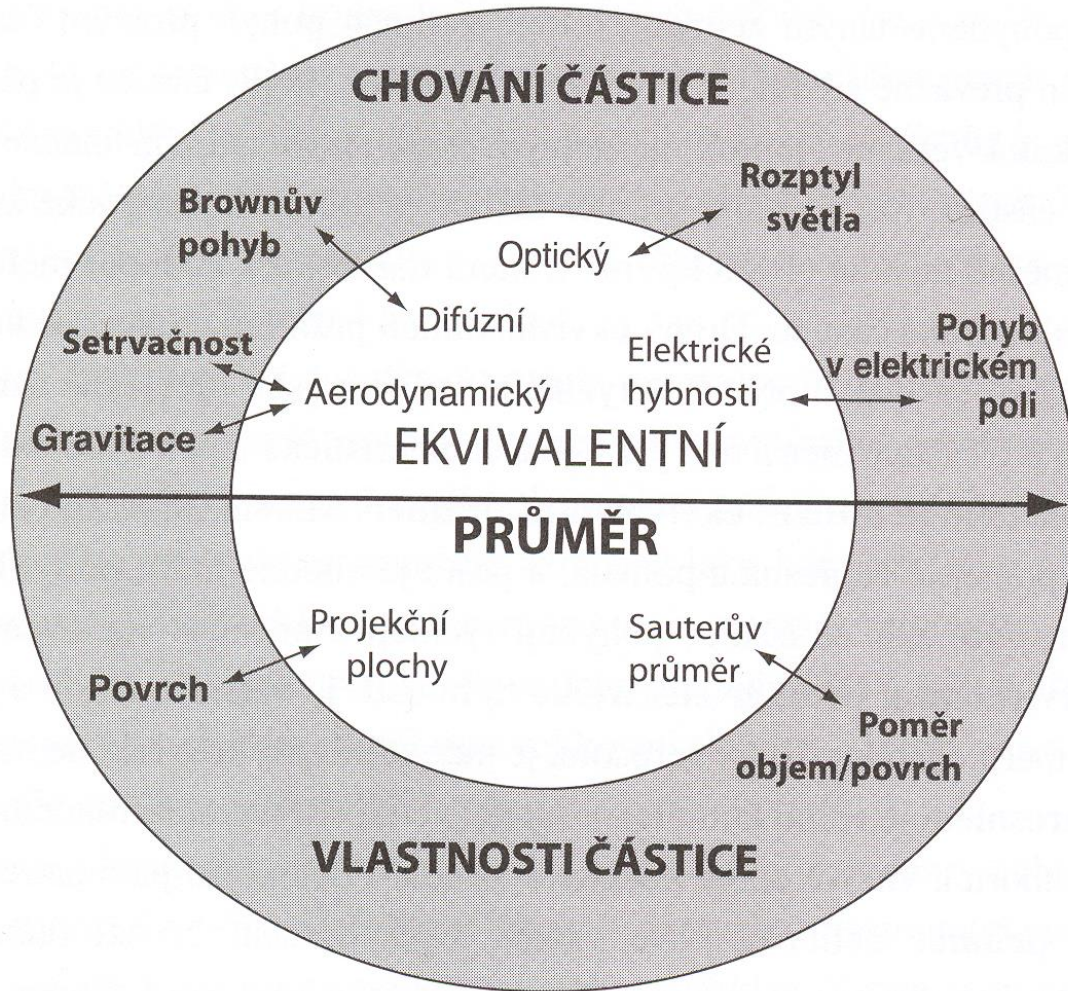
Velikostní rozsahy, skupiny a definice atmosférického aerosolu vzhledem k velikosti částice

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

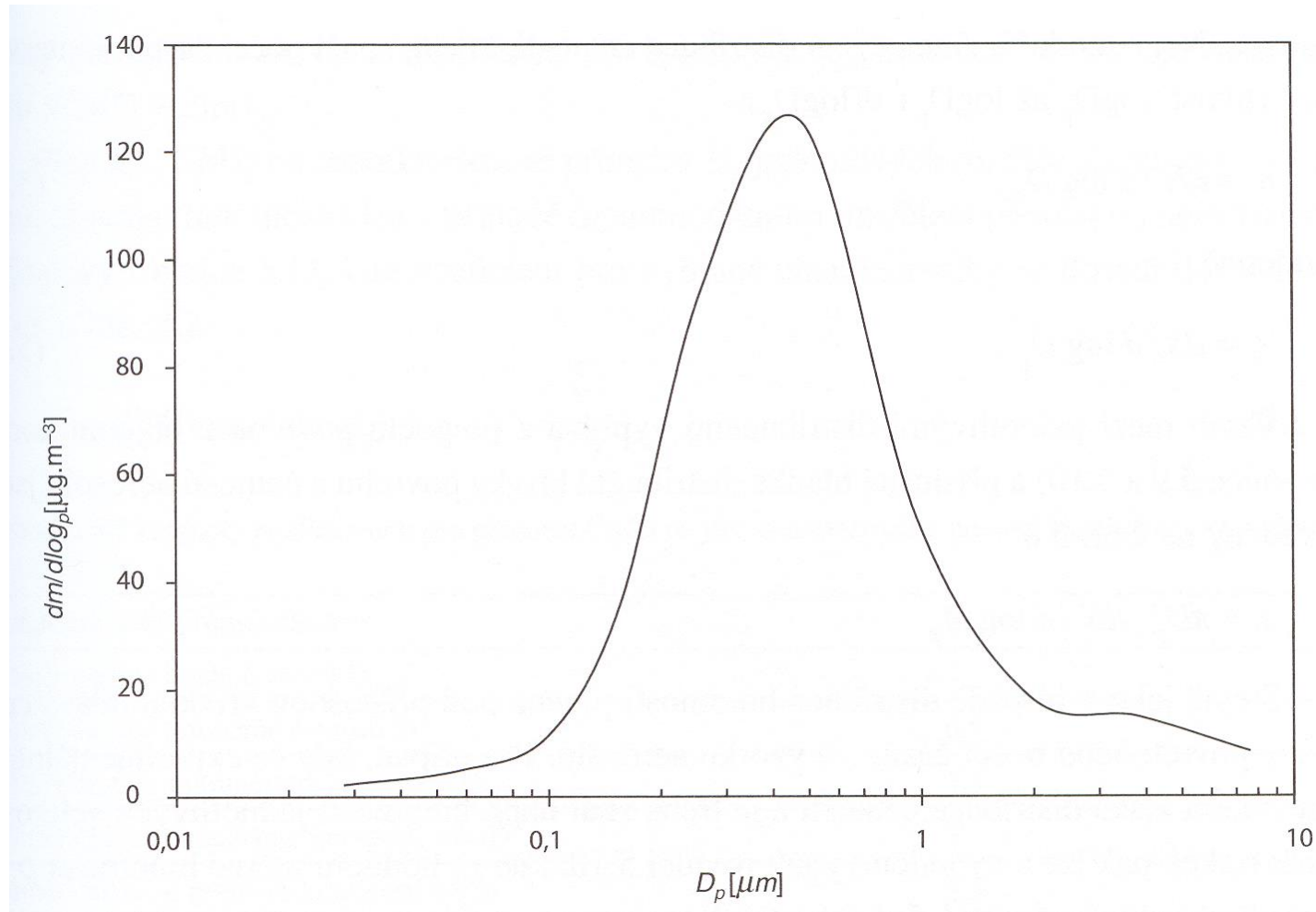
Ekvivalentní průměr částice v závislosti na měření jejího chování nebo vlastností



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)

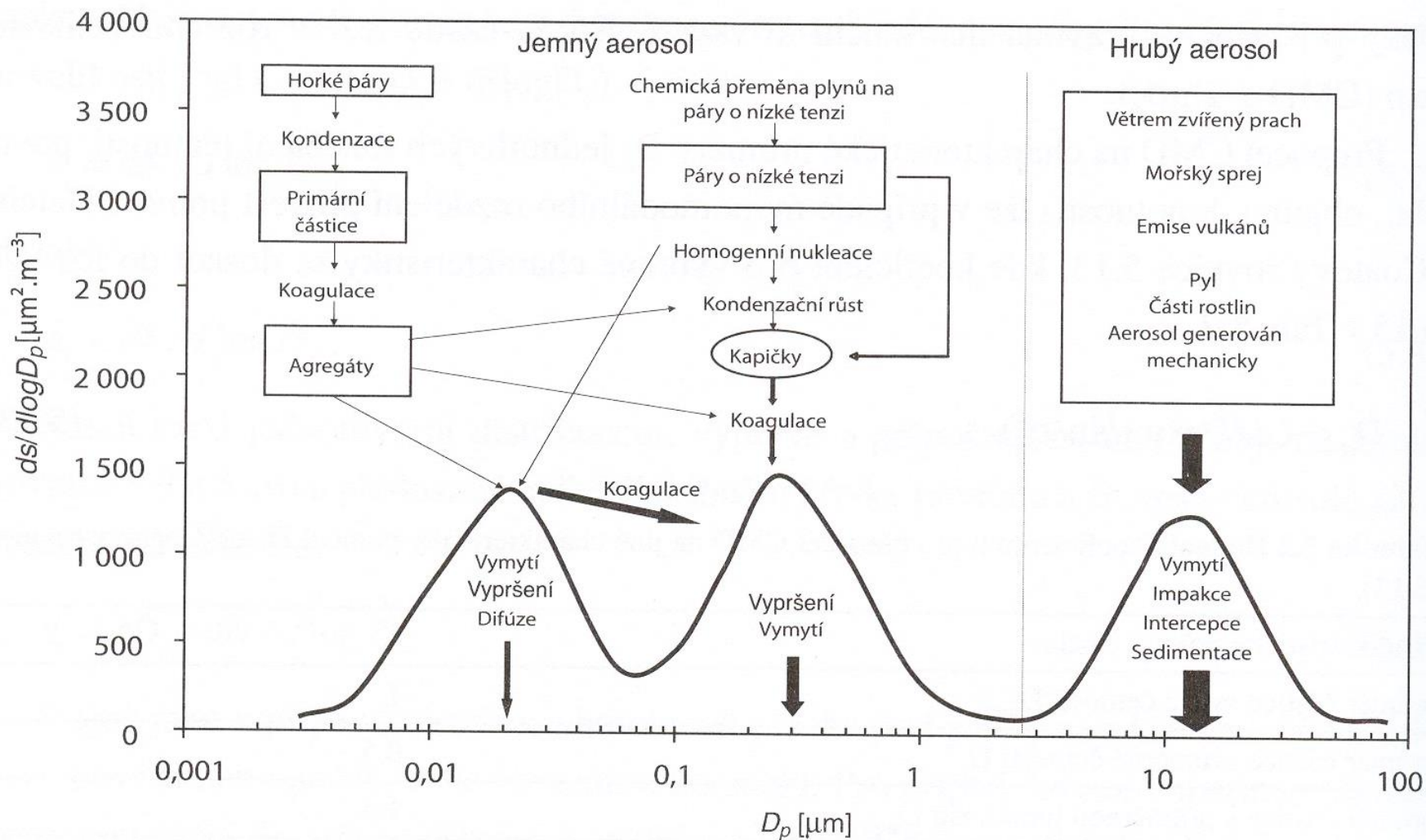
Zdroje a propady atmosférického aerosolu

- 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 NOx | 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 NOx | 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

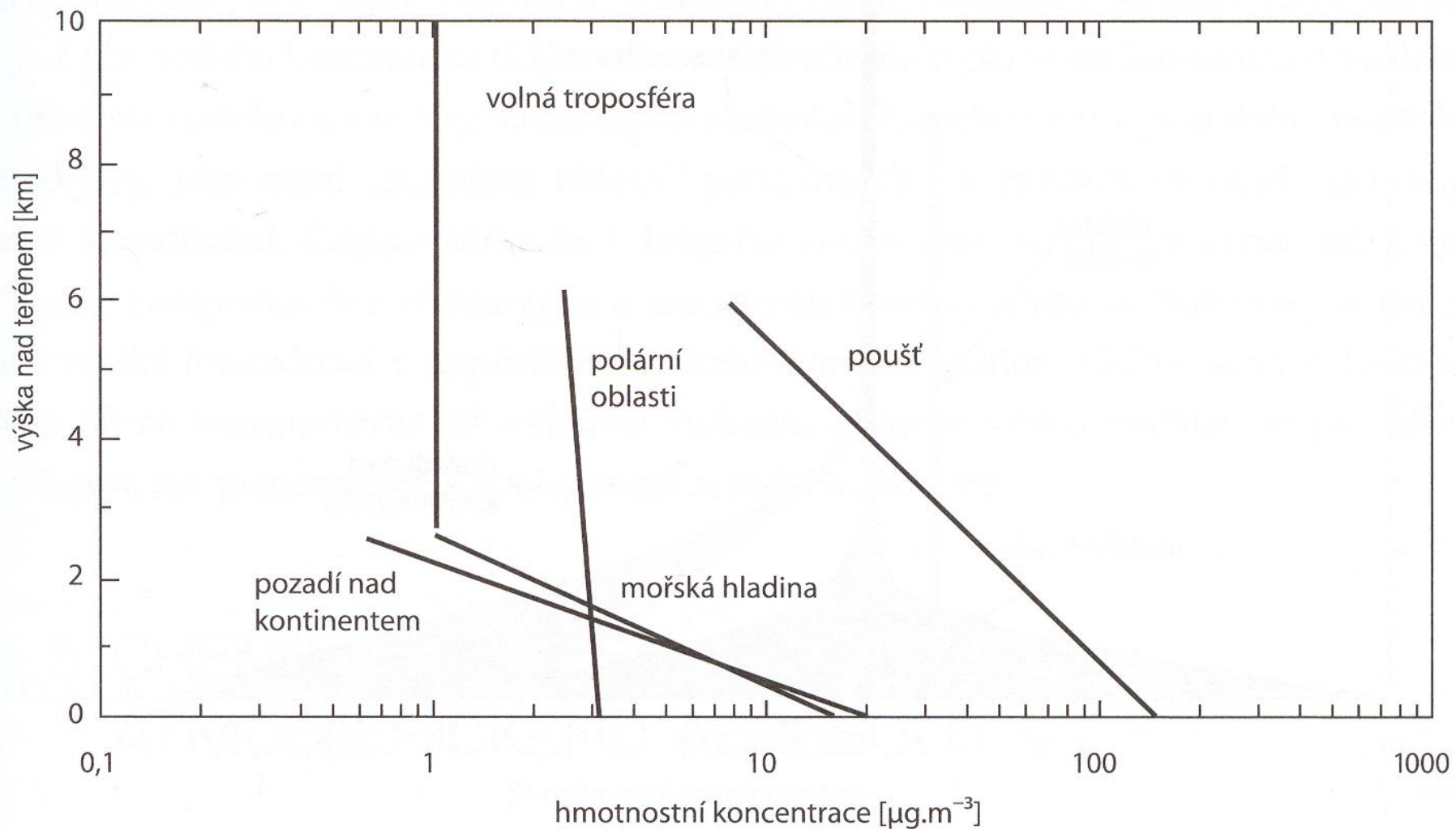
Zdroje a propady atmosférického aerosolu

- 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



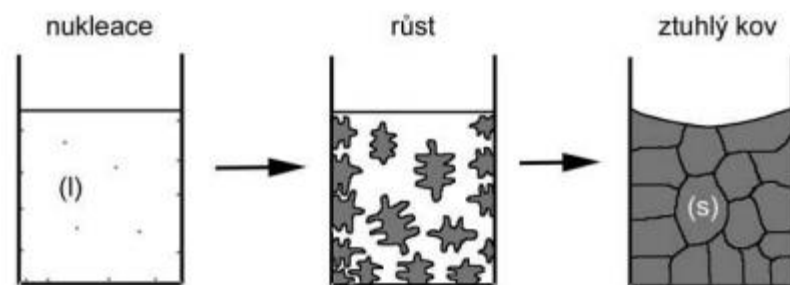
Vertikální
distribuce
hmotnosti
aerosolu v
troposféře

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, až 80 % může tvořit mořská sůl

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

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

Těkavé organické látky (VOCs)

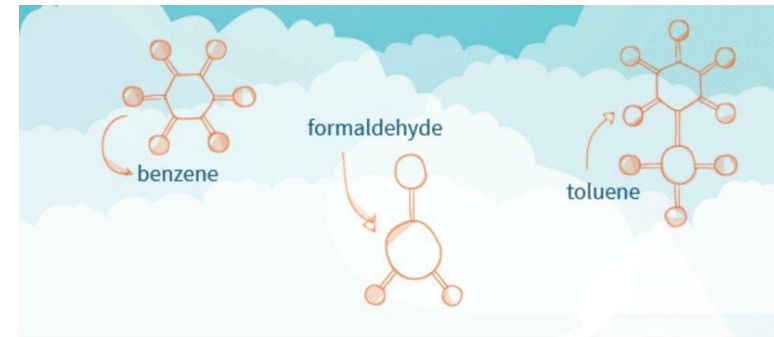
- Volatile Organic Compounds (VOCs)
- Významná skupina polutantů nacházející se v dolní troposféře v oblastech velkých měst a průmyslových center
- Stovky sloučenin s nejednoznačným názvoslovím (uhlovodíky – HCs, reaktivní organické plyny (ROGs aj.)
- Definice dle Evropské hospodářské komise OSN:
 - 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

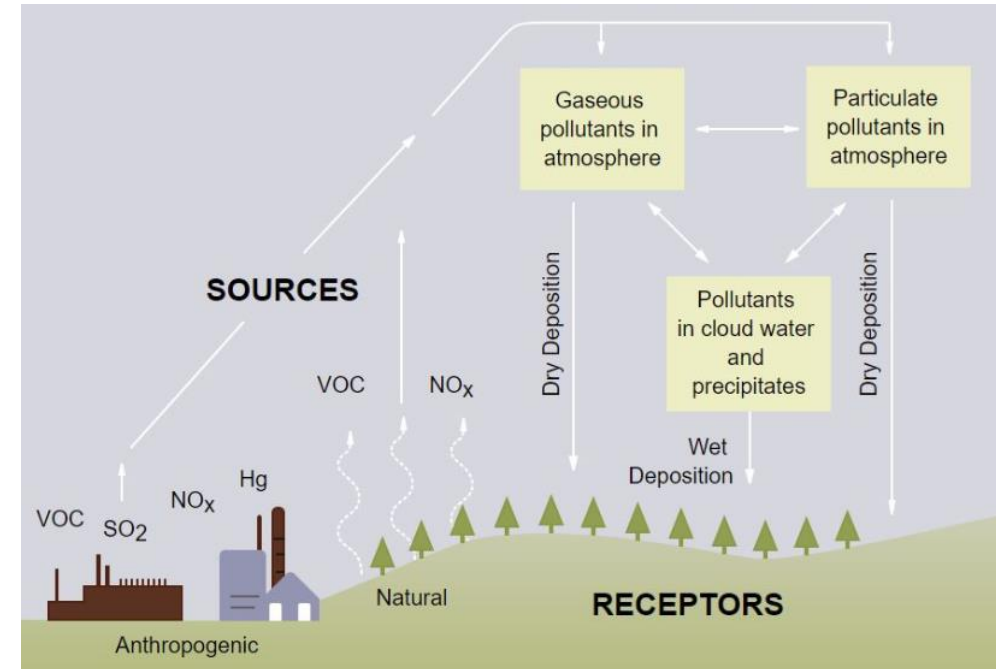
Druhy a charakteristika VOCs

- 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

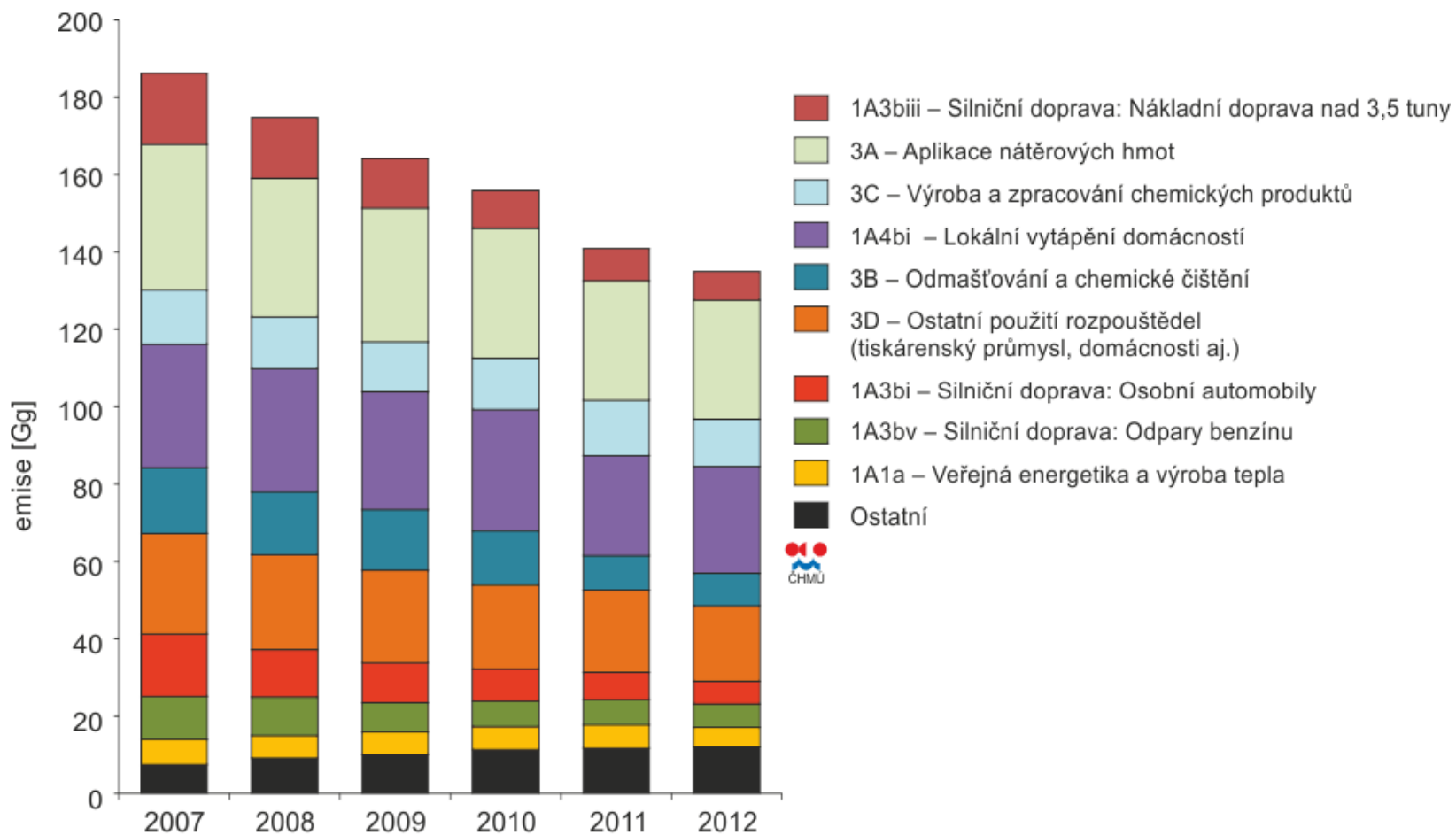


Zdroje VOCs

- 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

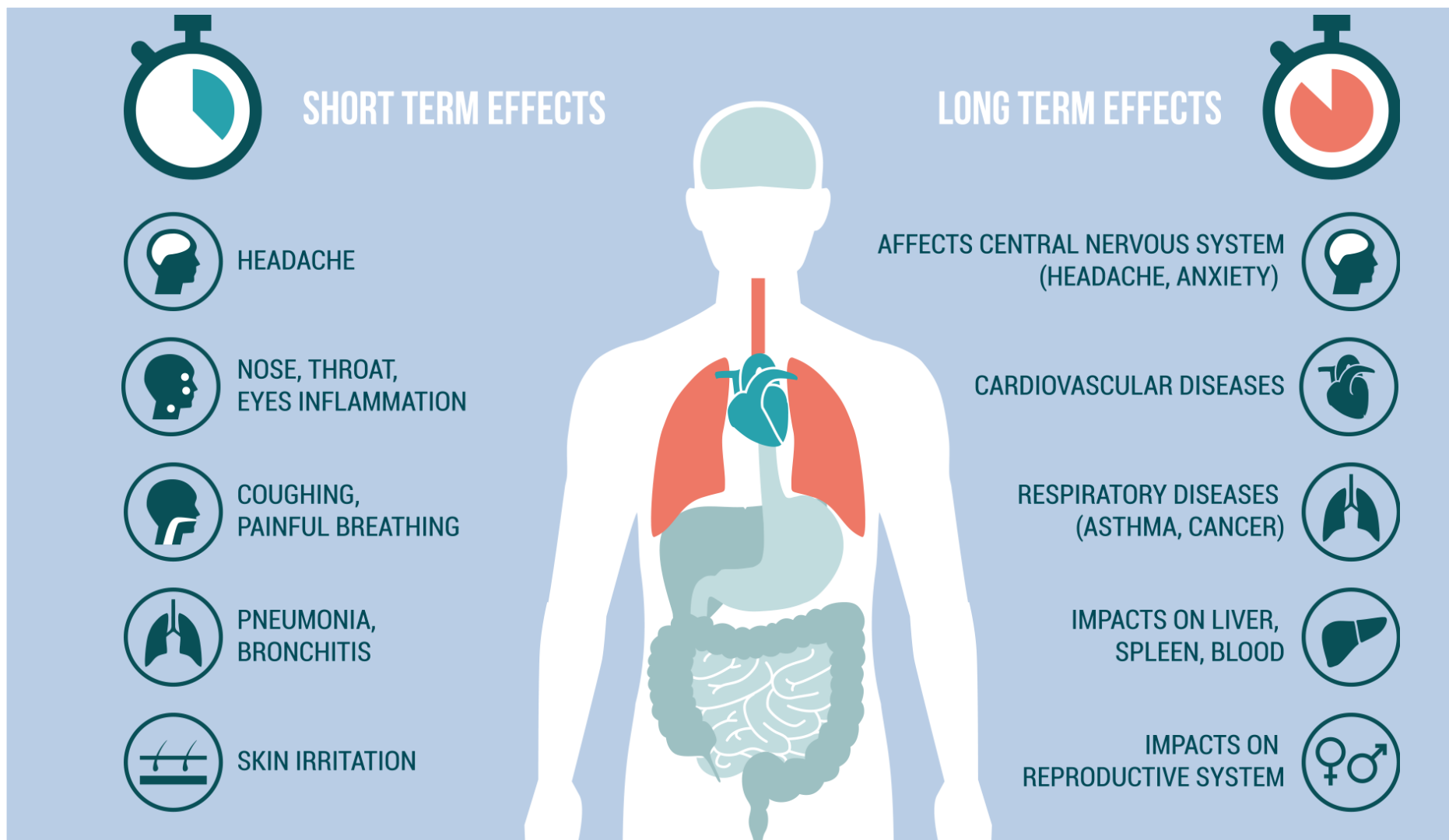


Obr. IV.9.1.3 Vývoj emisí VOC v období 2007–2012

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

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

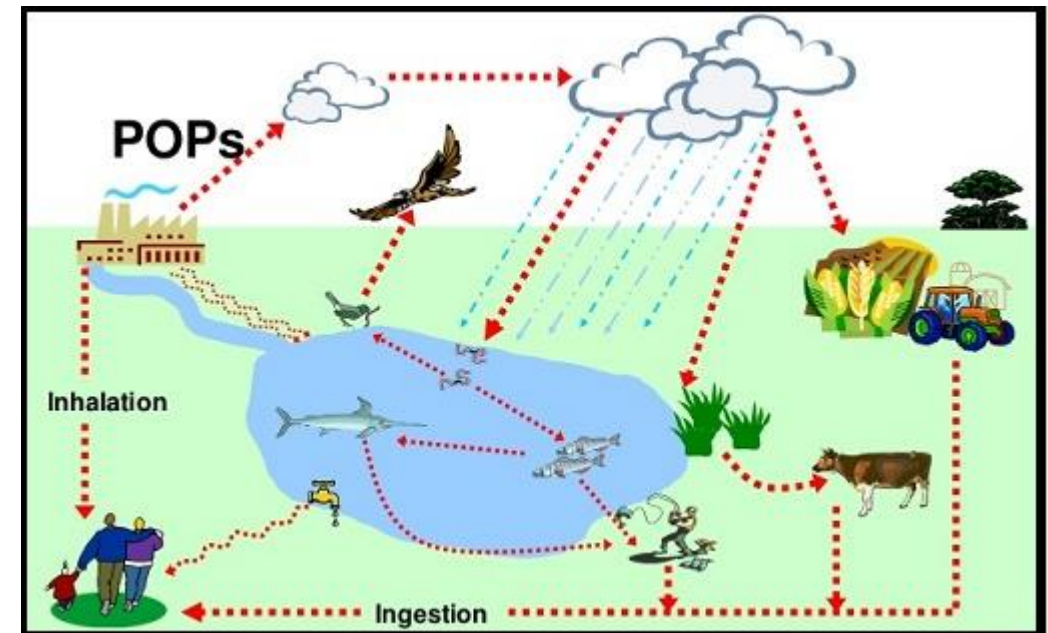
Zdroje POPs

- 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), benzo[*a*]pyren

Vstupy a propady POPs do atmosféry

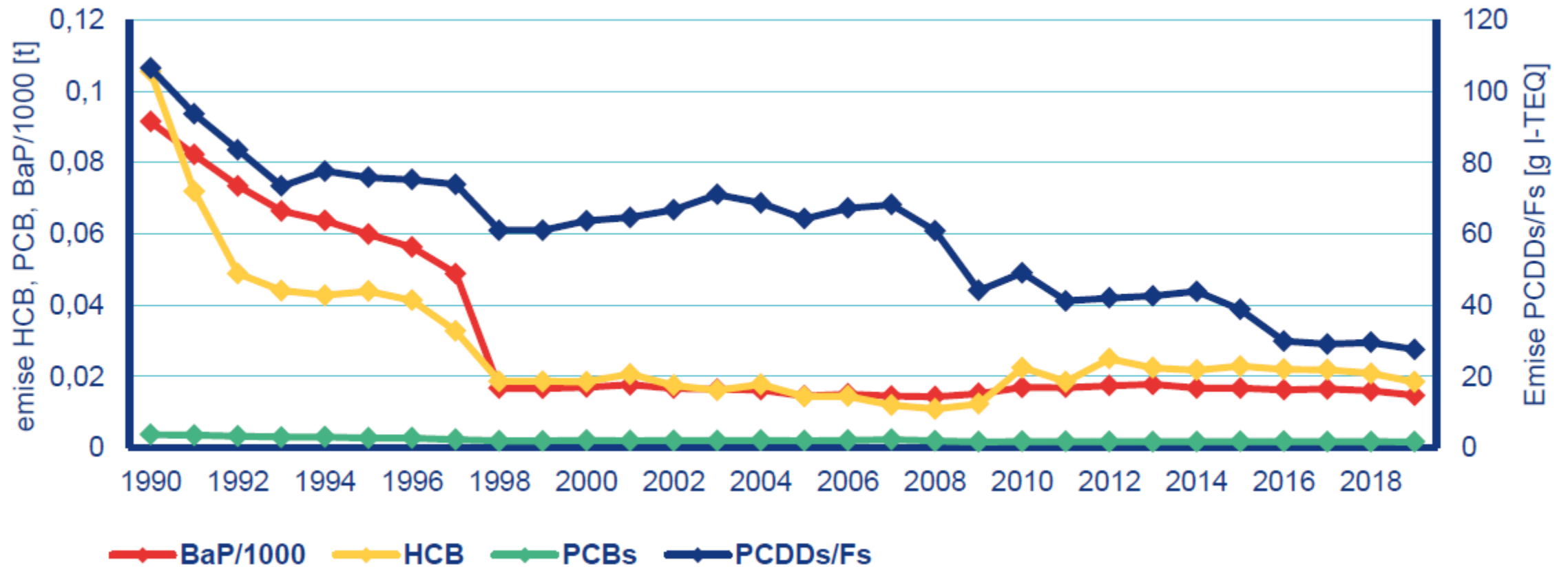
- Možnosti vstupu POPs:
 - přímé: rozprašování, průmyslové emise, spalovací procesy, průmyslové havárie, technologické úniky, požáry
 - nepřímé: vypařování (postřiky), větrná eroze, vazba na jemný aerosol ($p < \mu\text{m}$)
- Možnosti propadu POPs:
 - mokrá a suchá depozice, podoblačné vymývání (*washout*),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



Vstupy a propady POPs do atmosféry

- 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

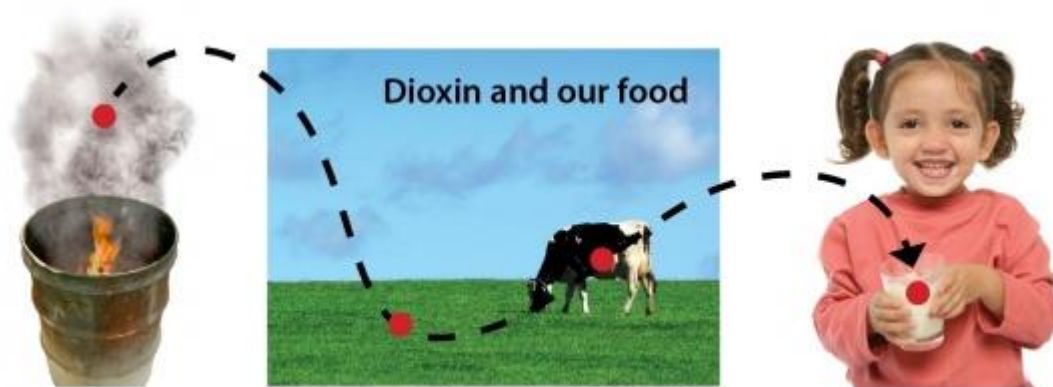
Vývoj celkových emisí POPs v ČR (1990–2019)



HCB – hexachlorbenzen, PCBs - polychlorované bifenyly, PCDDs/Fs - polychlorované dibenzo-p-dioxiny

Negativní dopady POPs

- Bioakumulace (schopnost rostlin přijímat některé POPs)
 - pastva kontaminovaných rostlin dobytkem a usazování POPs v tukových tkáních a mléčném tuku – konzumace lidmi
- Kontaminace půdy



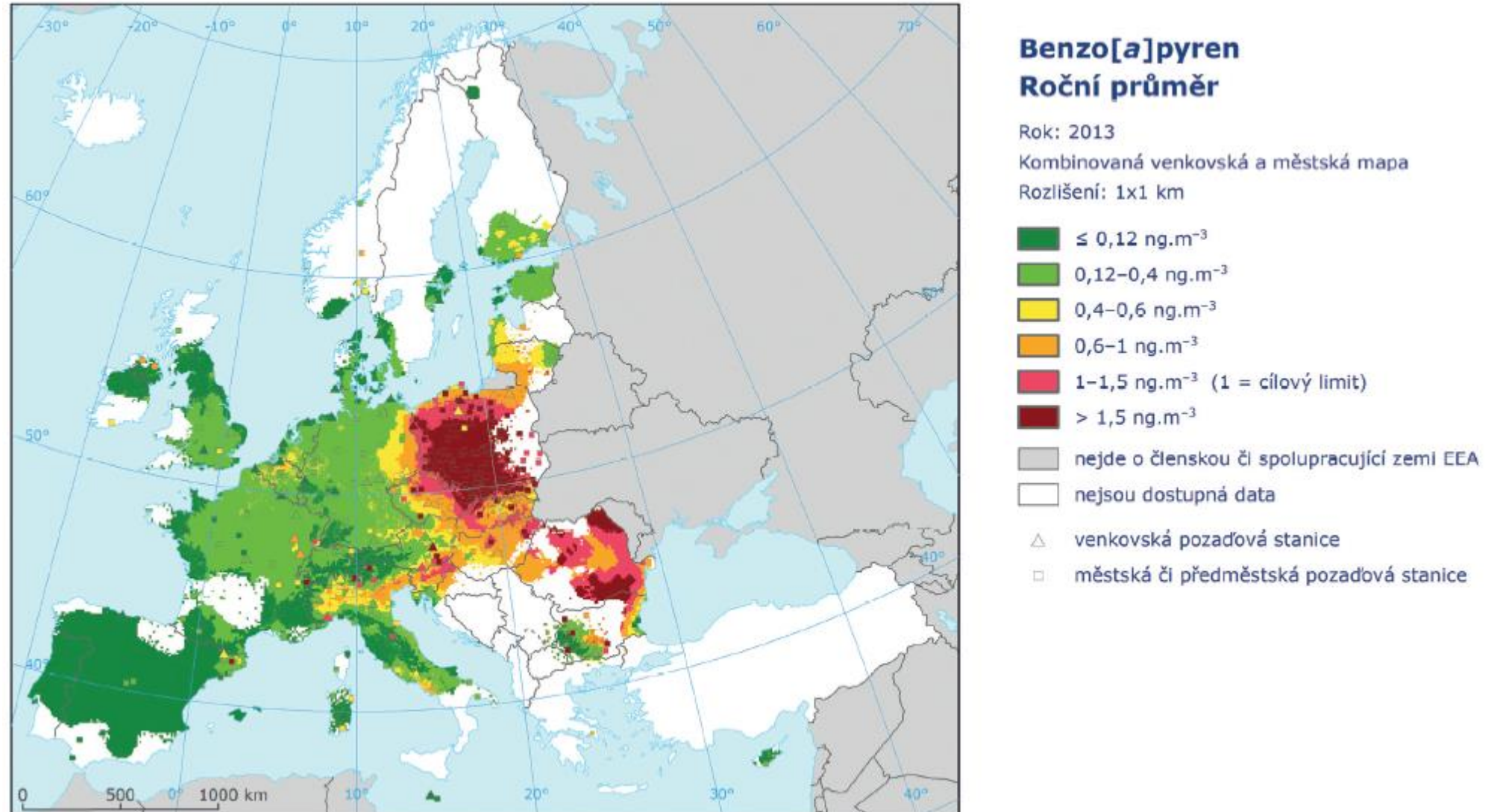
Negativní dopady POPs

- 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

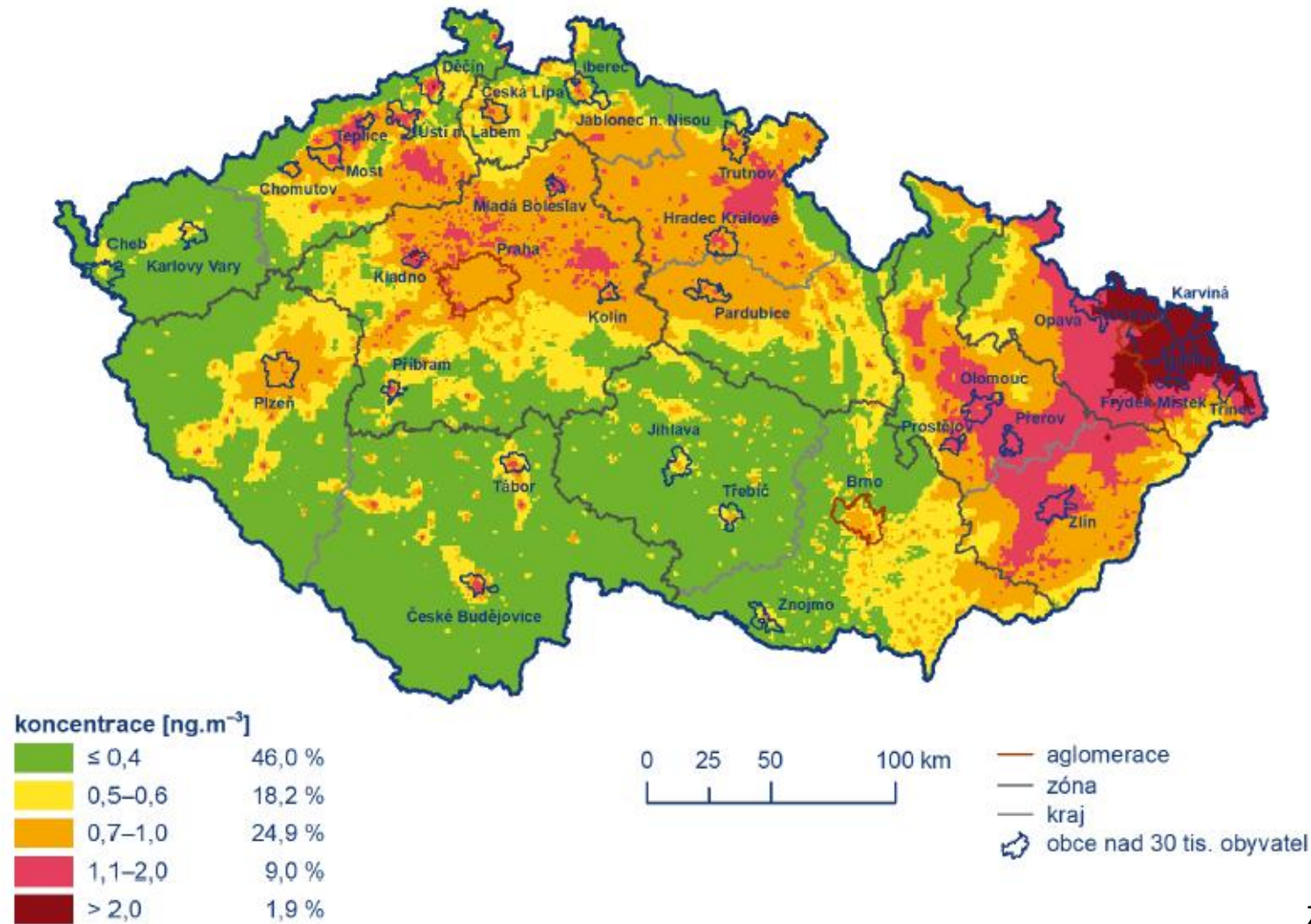
Benzo[a]pyren (BaP)

- Nejproblematictější znečišťující látka v ČR
- Prokazatelné karcinogenní účinky
- Vznik následkem nedokonalého spalování
- Roční limit překračován v nejvyšší míře ze všech znečišťujících látek v ČR
 - průmyslové oblasti, oblasti s lokálními topeništi, Slezská pánev
 - r. 2019: zasaženo 9 % území ČR s >2,5 mil. obyvatel
 - r. 2020: zasaženo 5 % území ČR s 2 mil. obyvatel
- Nejvyšší koncentrace v době topné sezóny (lokální vytápění, dálkový transport)

Pole průměrné roční koncentrace BaP (2013)

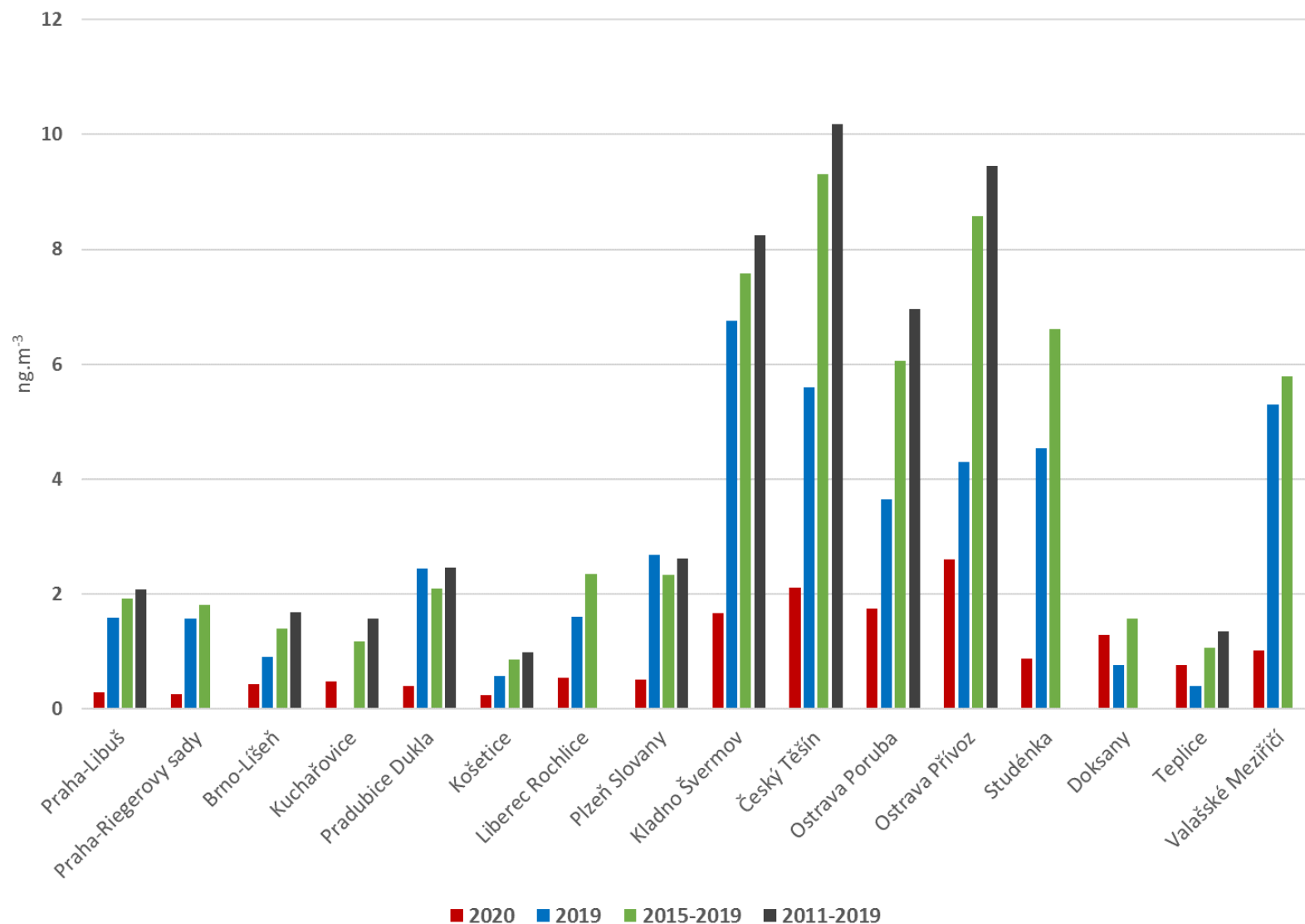


Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací BaP v ČR (2016–2020)



Benzo[a]pyren

Průměrné koncentrace BaP v únoru daného období na vybraných stanicích imisního monitoringu

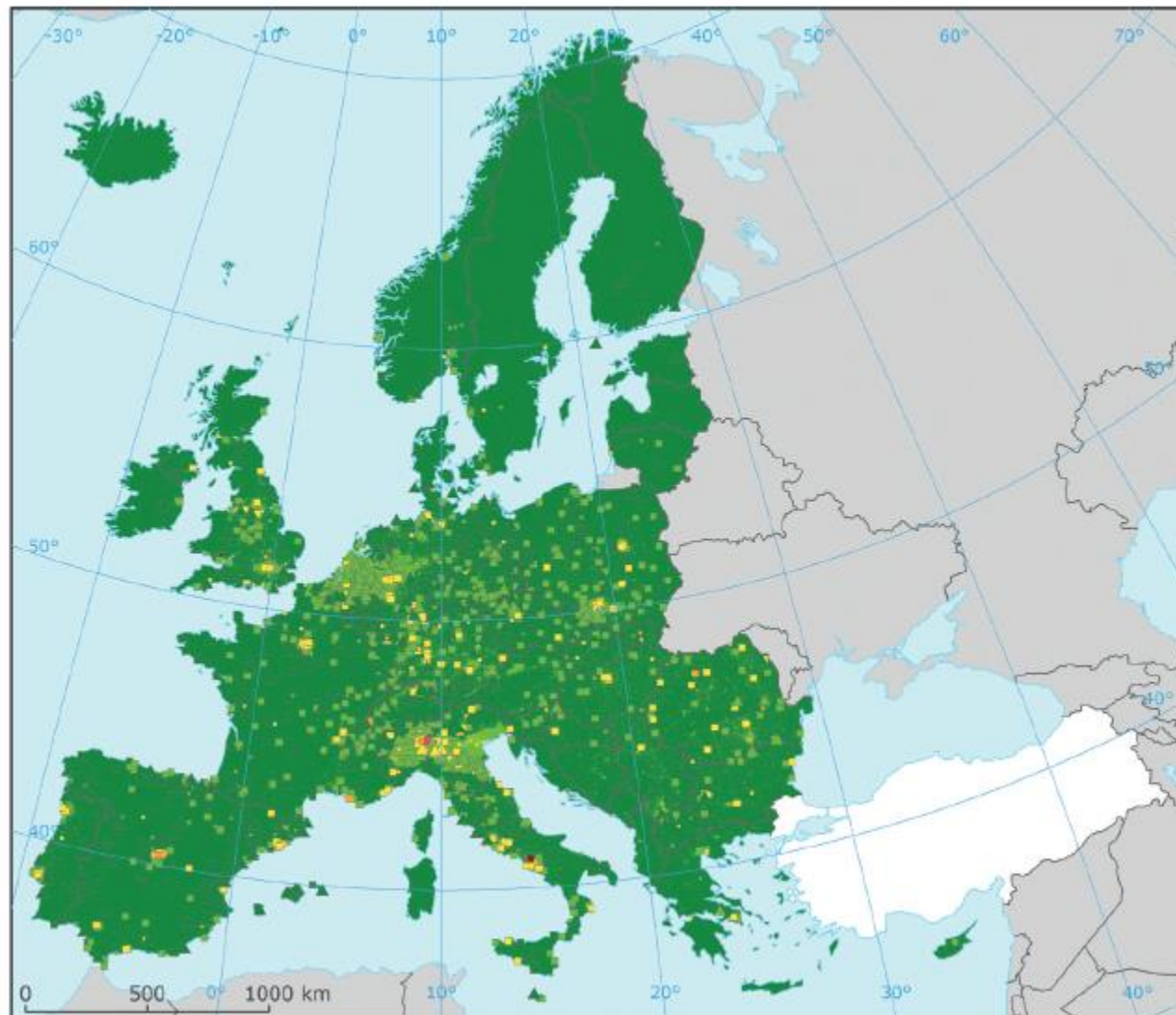


Oxidy dusíku

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

Pole průměrné roční koncentrace NO₂ (2020)



Oxid dusičitý (NO₂) Roční průměr

Rok: 2020

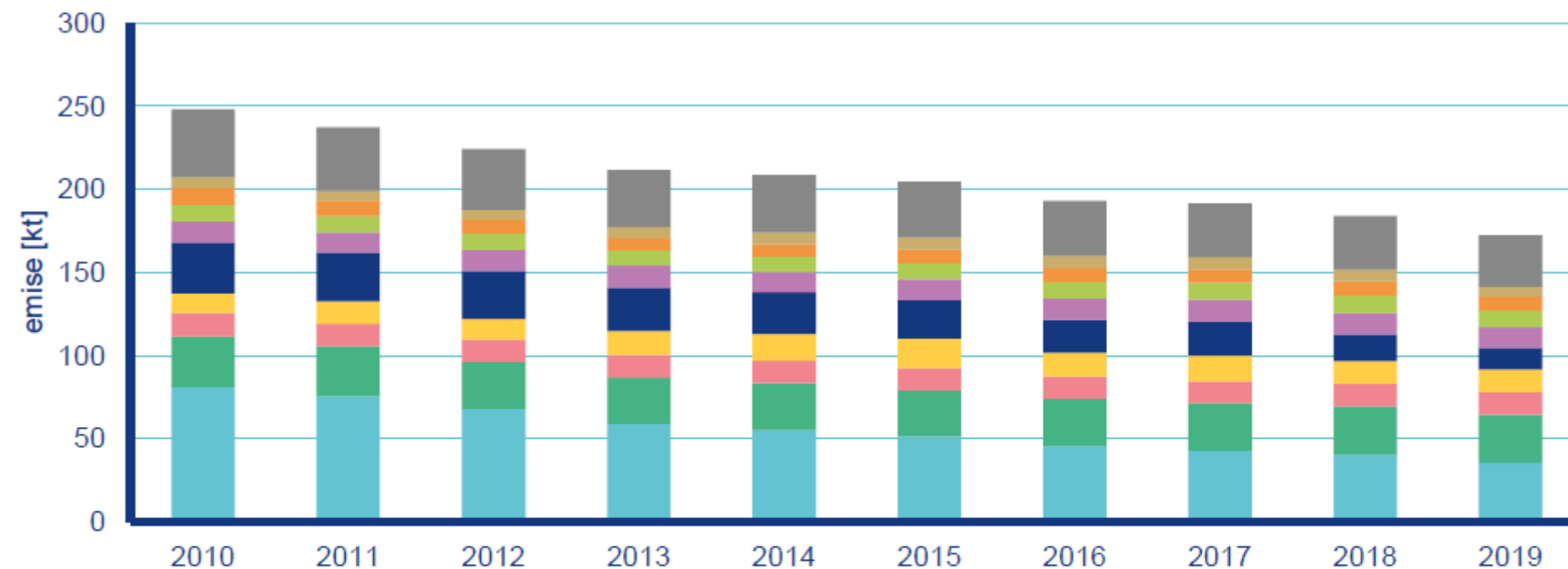
Předběžná mapa

Kombinovaná venkovská a městská mapa

Rozlišení: 1x1 km²



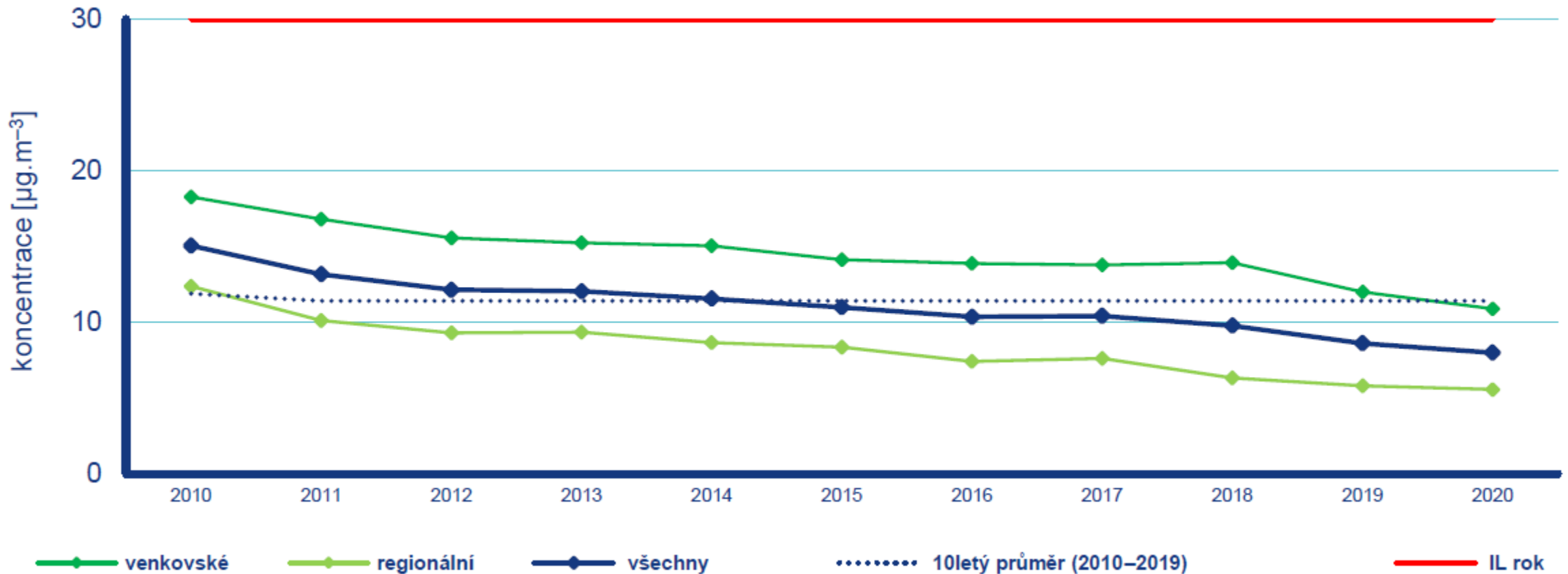
Celkové emise NO_x ČR (2010–2019)



- 1A1a – Veřejná energetika a výroba tepla
- 1A3bi – Silniční doprava: Osobní automobily
- 1A4cii – Zemědělství, lesnictví, rybolov: Nesilniční vozidla a ostatní zdroje
- 3Da1 – Použití anorganických N-hnojiv
- 1A3biii – Silniční doprava: Nákladní doprava nad 3,5 tuny

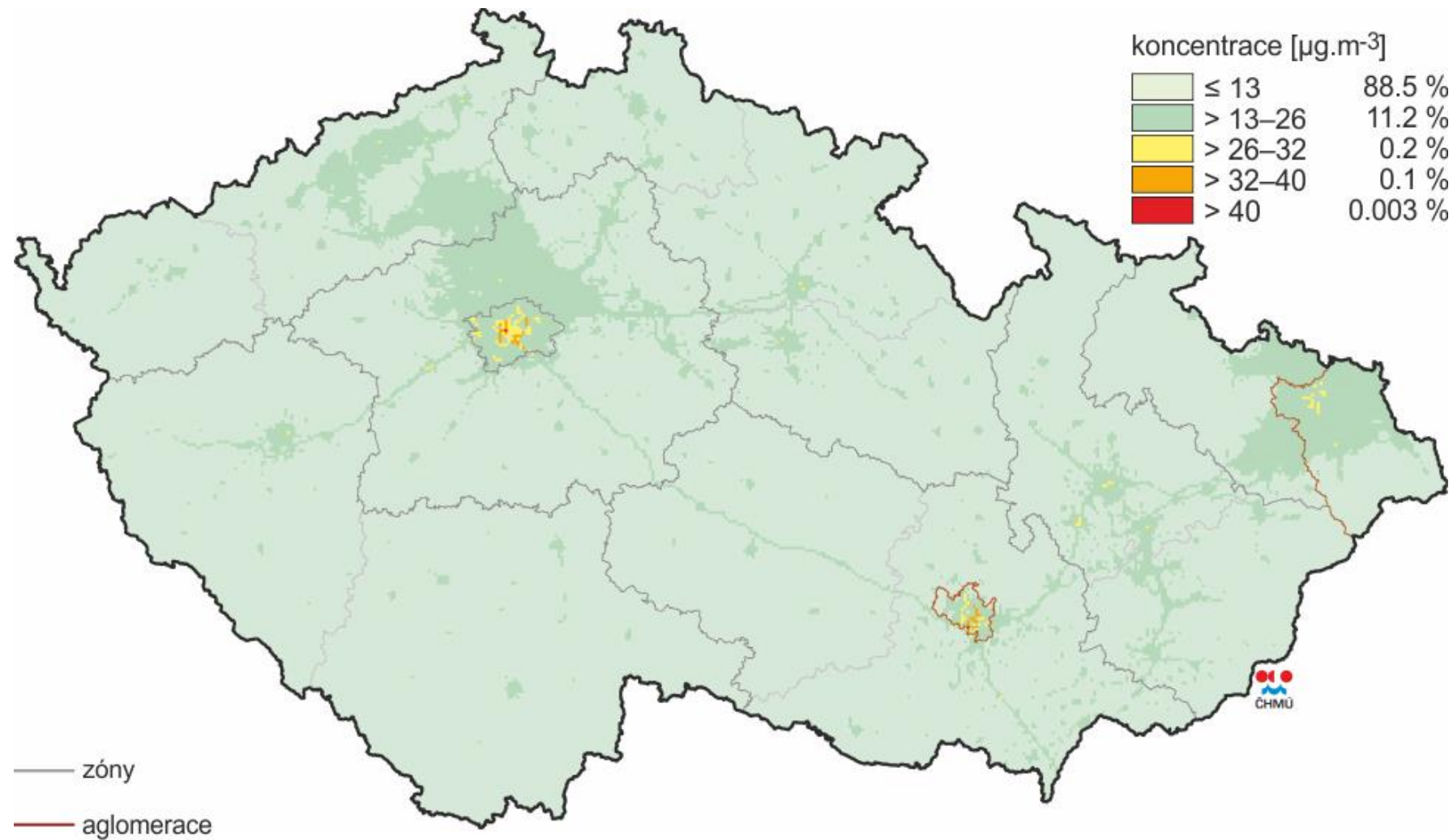
- 1A4bi – Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření
- 1A3bii – Silniční doprava: Lehká užitková vozidla
- 1A2f – Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Minerální nekovové produkty
- 1A4ai – Služby, instituce: Spalovací stacionární zdroje
- Ostatní

Roční průměrné koncentrace NO_x na jednotlivých typech stanic v ČR (2010–2020)



IL rok – imisní limit

Oxidy dusíku (NO_x)



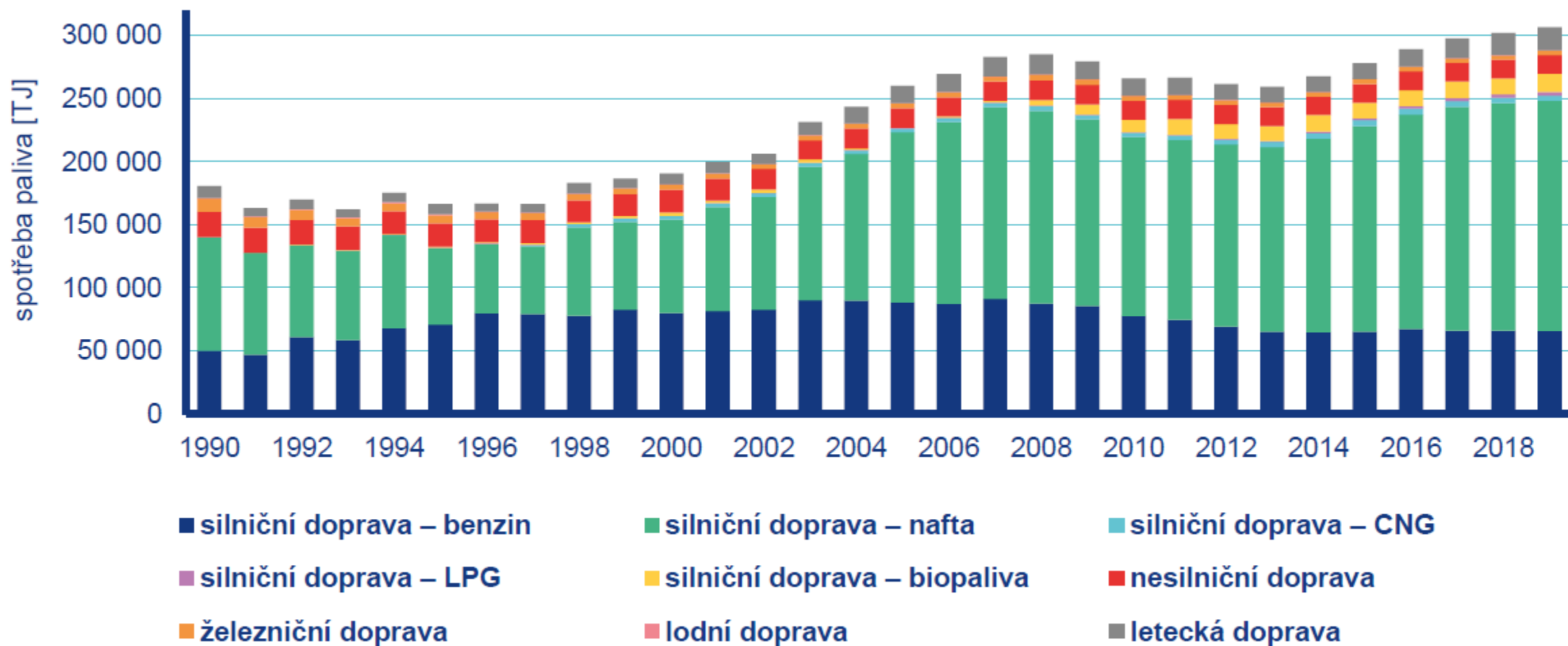
Obr. IV.3.2 Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací NO₂, 2012–2016

Oxidy uhlíku

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

Vývoj spotřeby paliv zdrojů v ČR (1990–2019)



Oxid siřičitý

Oxid siřičitý (SO_2)

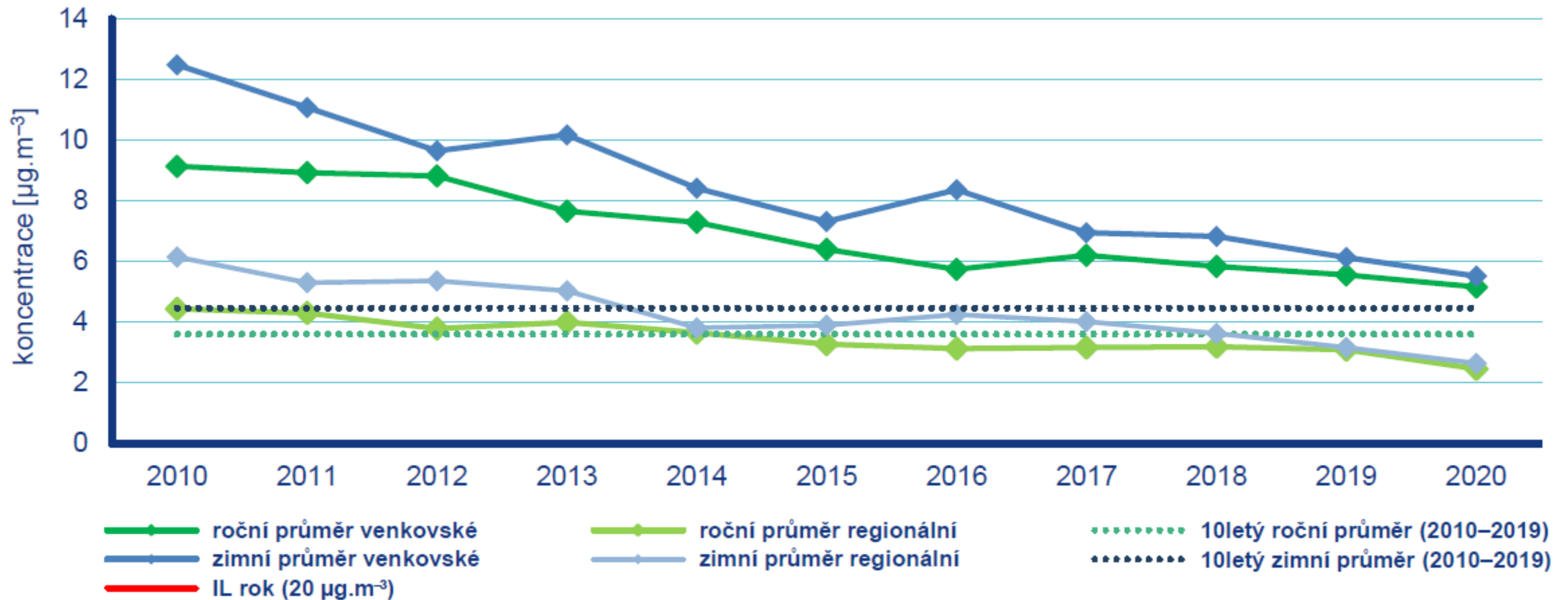
- Zdroj: spalování fosilních paliv s vysokým obsahem S (hnědé uhlí), průmyslová výroba
- V současné době klesající koncentrace v ČR (odsíření elektráren po r. 1990)
- Dopady:
 - kyselá deště (koroze železných konstrukcí, omítek, změna pH vody)
 - poškození vegetace (vstup SO_2 do rostliny v rámci fotosyntézy/asimilační jed – narušení průduchů, rozklad pigmentů = nekróza na listech)

Oxid siřičitý (SO₂)



nekróza na listech

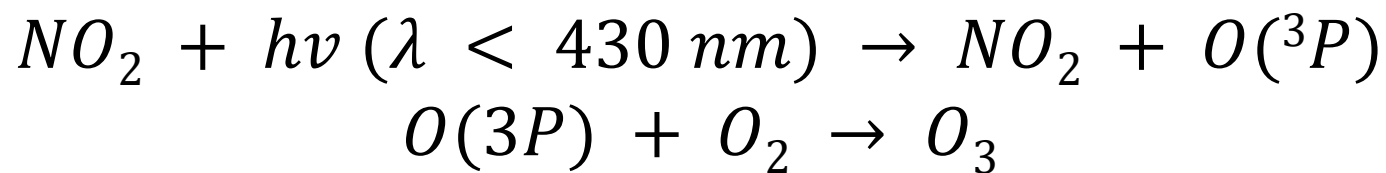
Koncentrace SO₂ na jednotlivých typech stanic v ČR (2010–2020)



Troposférický ozon

Troposférický ozon (O_3)

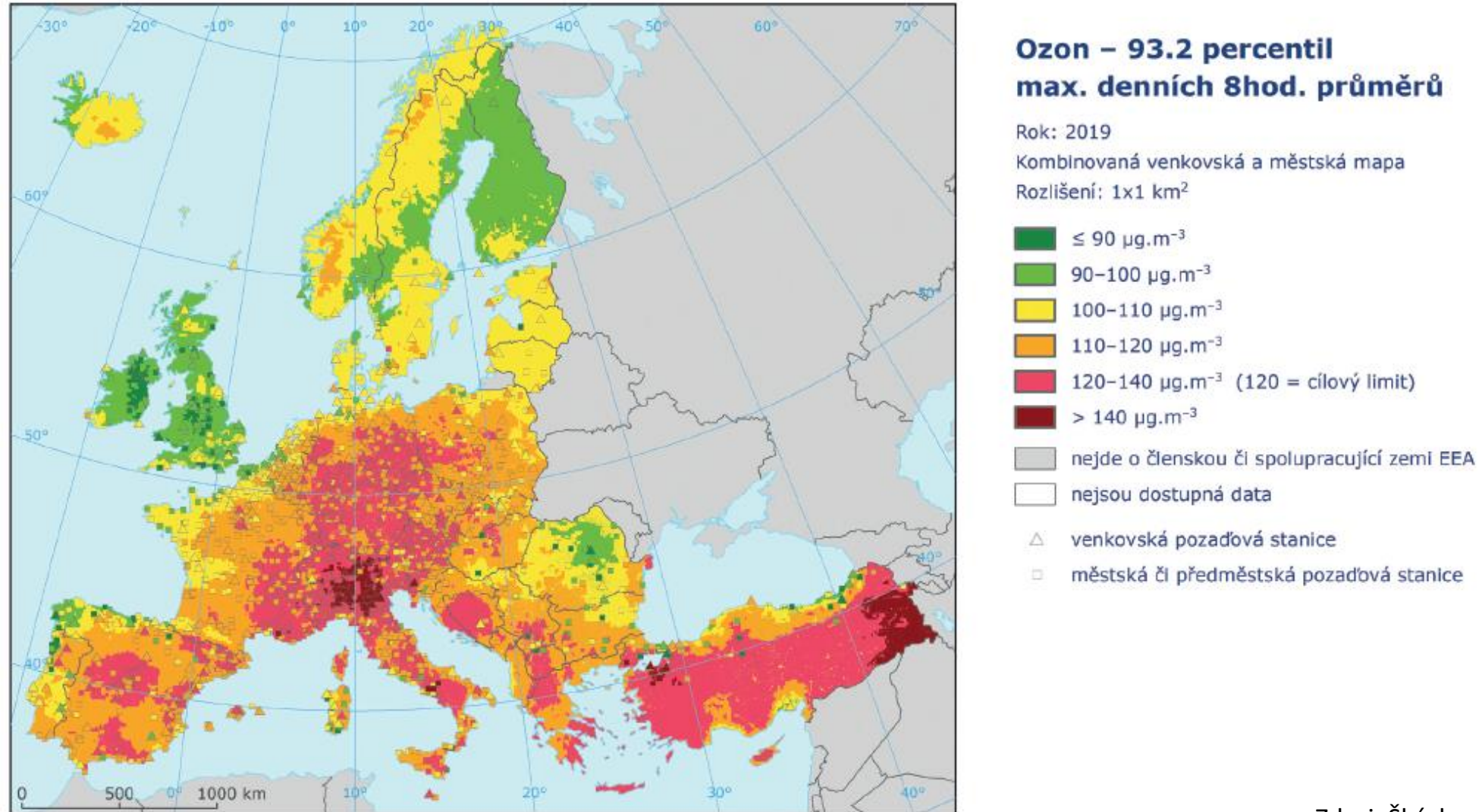
- Neexistence významného zdroje
- Závislost vzniku na výskytu NO_x a VOCs a vhodných meteorologických podmínkách (nárůst v době rostoucího UV záření a teploty vzduchu – anticyklonální počasí, pokles s nárůstem relativní vlhkosti vzduchu)
- Další zdroje: přenos ze stratosféry, bouřky, dálkový přenos z JV Asie
- Sekundární látka vznikající řadou komplikovaných fotochemických reakcí
- Vznik: fotolýza NO_2 v dolní troposféře zářením $\lambda = 280\text{--}430\text{ nm}$



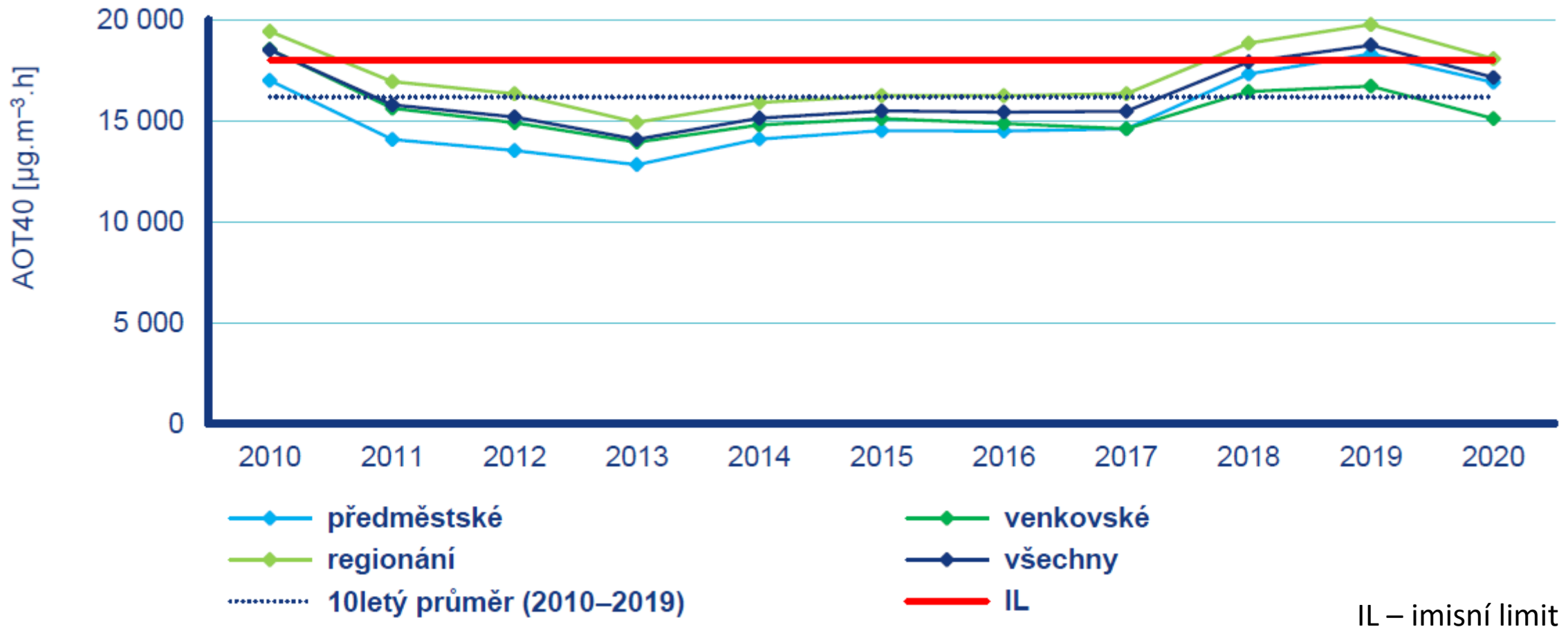
Troposférický ozon (O_3)

- Prokázané zvýšení koncentrací troposférického O_3 v důsledku poklesu emisí NO_x v SZ Čechách v době lockdownů
- 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)

Pole 93,2 percentilu denních maximálních 8hodinových koncentrací O₃ (2019)



Hodnoty expozičního indexu AOT 40, průměr za 5 let v ČR (2010–2020)



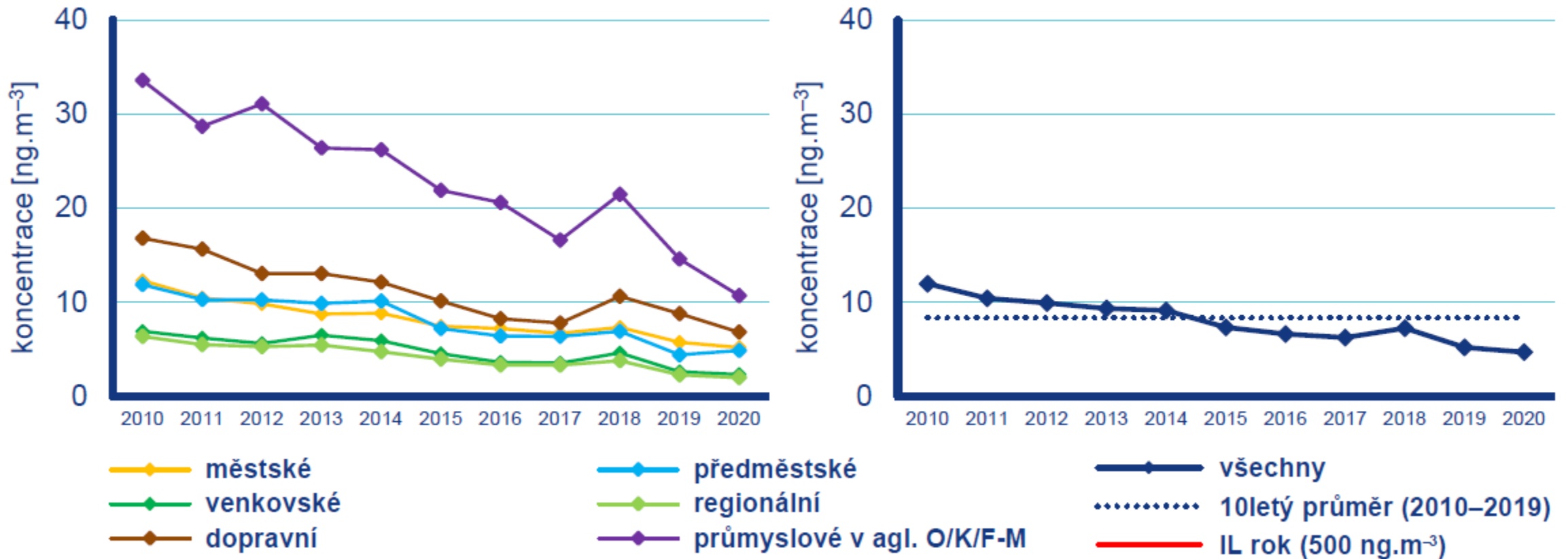
IL – imisní limit

(Polo)kovové prvky

(Polo)kovové prvky

- Olovo
 - hlavním zdrojem antropogenní činnosti (výroba železa a oceli, silniční doprava, domácnosti a veřejná energetika a výroba tepla)
 - dopady: riziko hromadění v tělech organismů, vliv na nervový systém a krevní tlak
- Kadmium
 - vázáno na částí s průměrem do 2,5 μm , schopnost bioakumulace
 - hlavním zdrojem domácnosti (vytápění, ohřev vody, vaření), veřejná energetika a výroba tepla, železa a oceli a skla
 - dopady: postižení fce ledvin, dýchacího systému, rakovina plic

Vývoj ročních koncentrací olova na jednotlivých typech stanic v ČR (2010–2020)



(Polo)kovové prvky

- Arsen

- vázáno na částí s průměrem do 2,5 μm , schopnost bioakumulace, snížení výnosů a růstu rostlin
- hlavním zdrojem domácnosti (vytápění, ohřev vody, vaření), veřejná energetika a výroba tepla a skla
- dopady: postižení nervového systému, rakovina plic

- Nikl

- hlavním zdrojem veřejná energetika a výroba tepla a spalovací procesy
- dopady: vliv na dýchací soustavu a obranyschopnost člověka

Literatura

- Braniš, M., Hůnová, I. (2009): Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší. Praha, Karolinum, 351 s.
- Škáchová, H., Vlasáková, L. (2021): Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 175 s.

Děkuji za pozornost