

---

# Lokální a globální následky znečištění ovzduší

Mgr. Lukáš Dolák, Ph.D.

Jaro 2020

# Dopady znečištění ovzduší

- Atmosférická depozice a její následky
- Změna radiační bilance
- Smogové situace
- Zdravotní komplikace
- Škody na ekosystémech a budovách
- Světelné znečištění

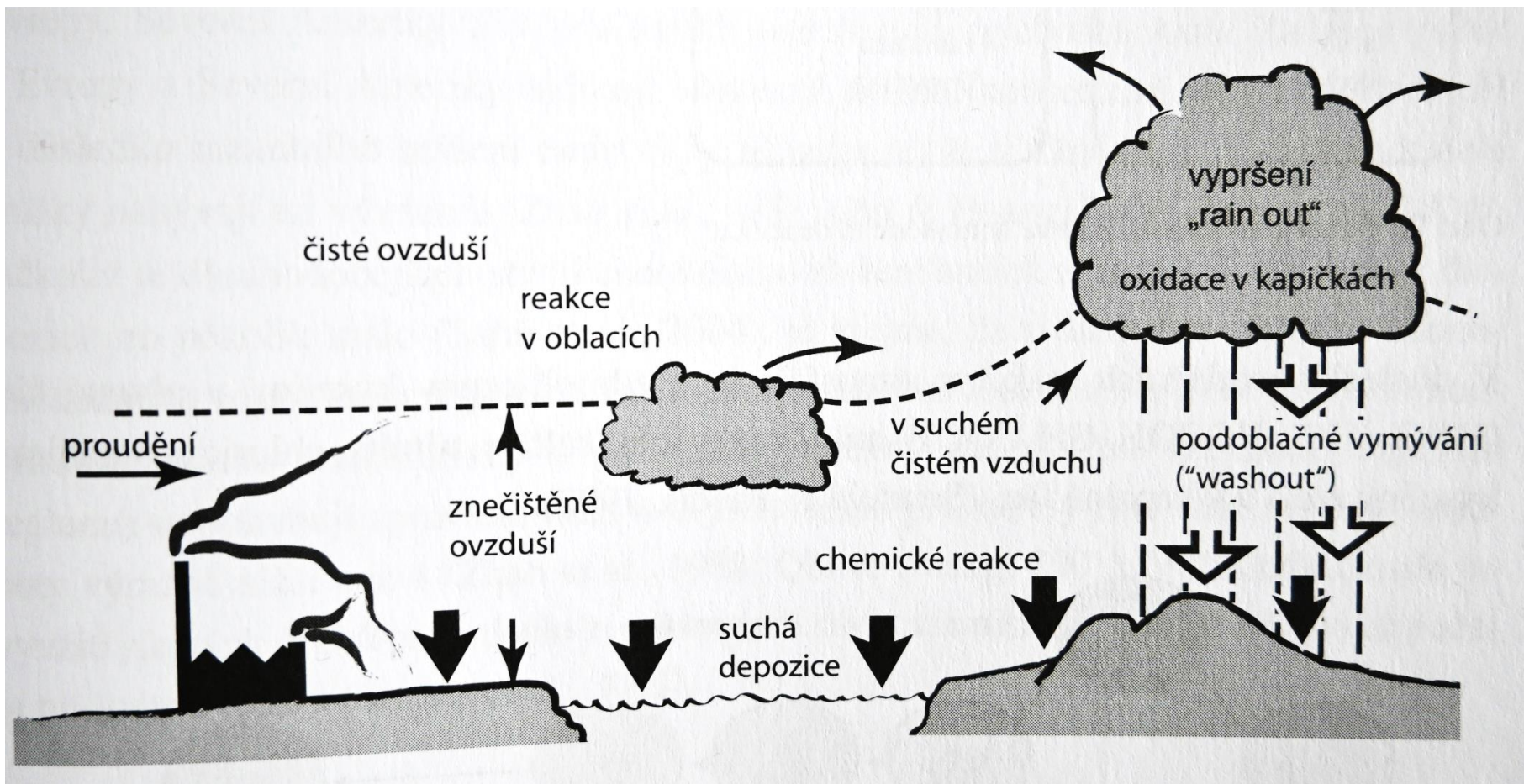


# Atmosférická depozice

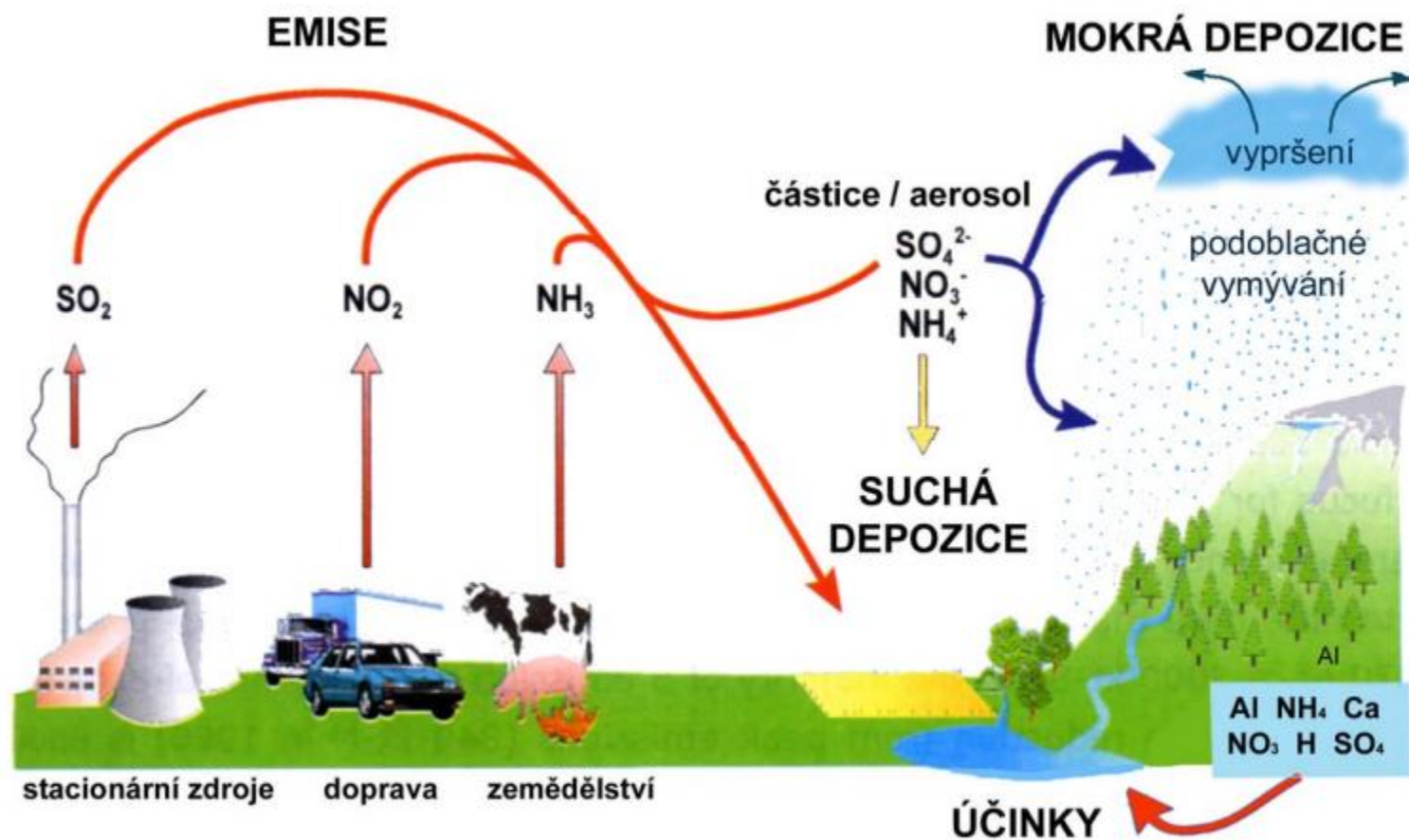
- Přenos látky z atmosféry k zemskému povrchu vyjádřený jako hmotnost na jednotku plochy za určitou časovou jednotku ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\text{ rok}^{-1}$  nebo  $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}\text{ rok}^{-1}$ )
- Významný proces podílející se samočištění atmosféry
  - zamezení akumulace látek v atmosféře (stav dynamické rovnováhy)
- Akumulace látek v pedosféře, hydrosféře, kryosféře, biosféře
- Suchá a mokrá depozice (atmosférické srážky vertikální a horizontální/usazené)

# Atmosférická depozice

## Procesy vedoucí k atmosférické depozici

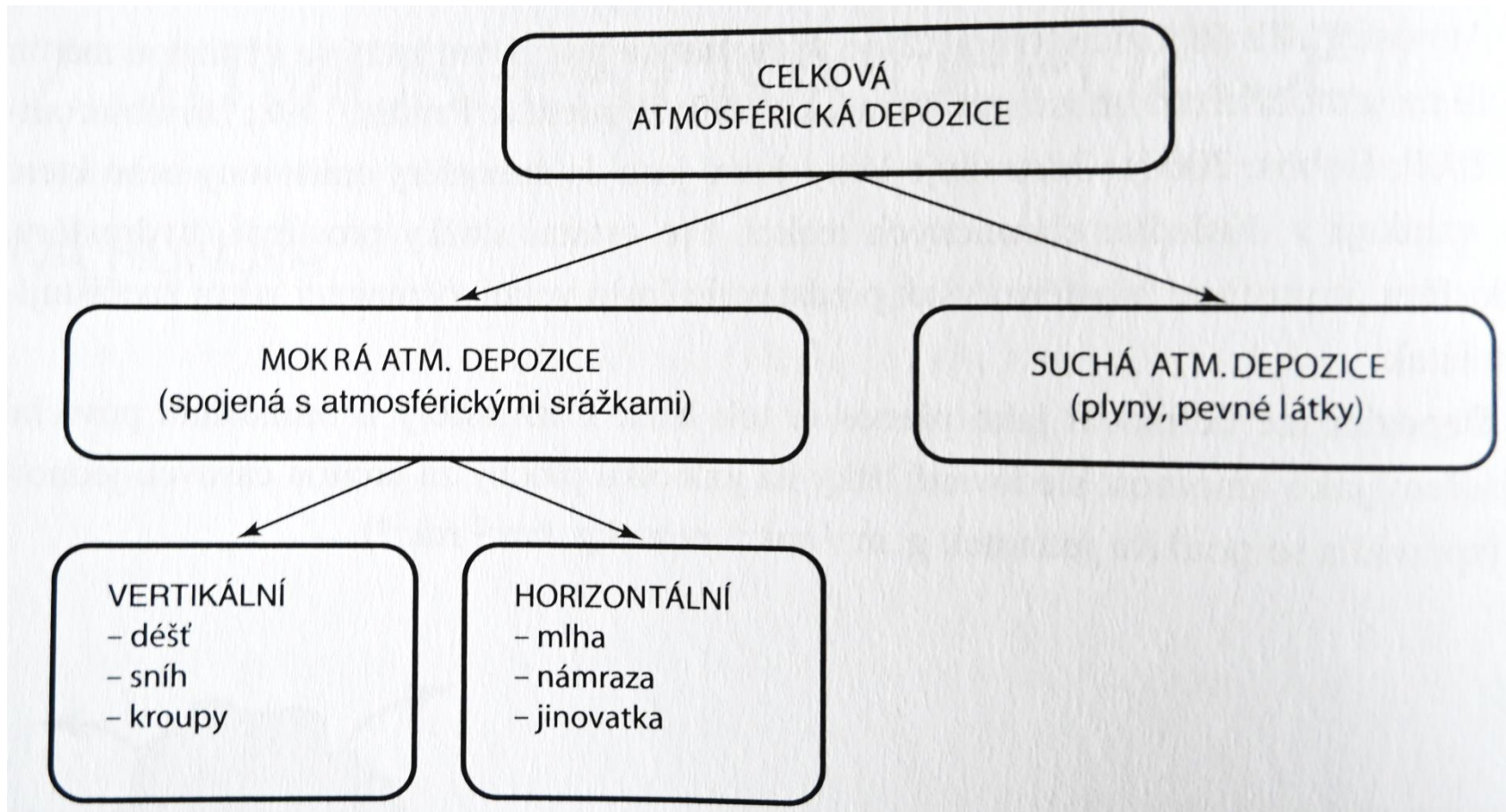


# Atmosférická depozice



# Atmosférická depozice

## Schéma rozdělení celkové atmosférické depozice

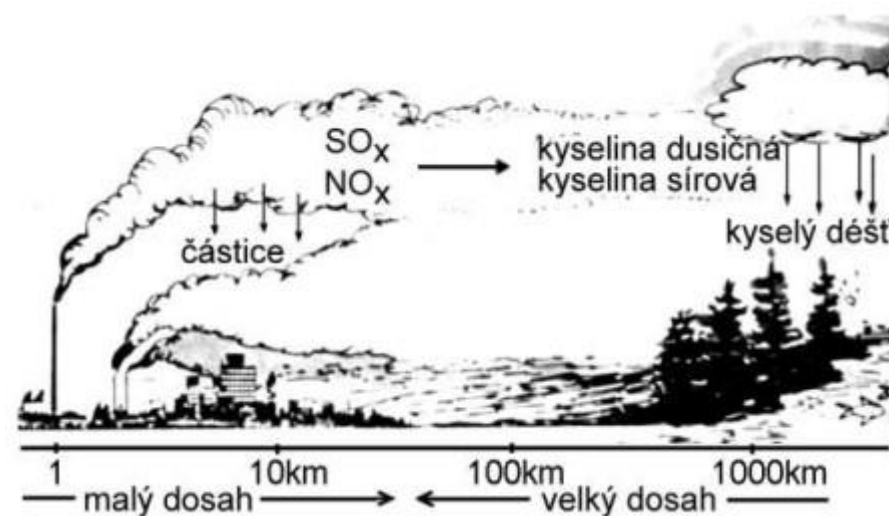


# Suchá atmosférická depozice

- Sedimentace tuhých a plyných znečišťujících látek na zemský povrch, vodní plochy a vegetaci
- Procesy ukládání: gravitace (pevné částice), plyny – adsorpce (pevný povrch), absorpce (rostliny), rozpouštění (vodní plocha)
- Neustálý proces, avšak pomalejší než depozice mokrá
- Impaktní oblasti (města, průmyslové aglomerace): nárůst podílu suché depozice na celkové atm. depozici

# Mokrý atmosférická depozice

- Vymývání pevných a plyných znečišťujících látek z atmosféry formou vertikálních a horizontálních srážek
- Epizodický proces, avšak rychlejší než depozice suchá
- Problematika dálkového přenosu znečišťujících látek
- Dopady: kyselá depozice (kyselý déšť)
- Acidifikace regionální problém (nutnost mezinárodní spolupráce)





# Mokrá vertikální atmosférická depozice

- Nejlépe poznaný typ atmosférické depozice
- Následkem vysokých srážkových úhrnů mohou být zasaženy mokrou vertikální depozicí i čisté oblasti (horské stanice)
- Procesy vypršení (*rainout*) a vymývání (*washout*)
- Podoblačné vymývání: velmi účinné v případě kouřových vleček ( $p > 1 \mu\text{m}$ ), vyšší účinnost sněhu než vodních kapiček

# Mokrá horizontální atmosférická depozice

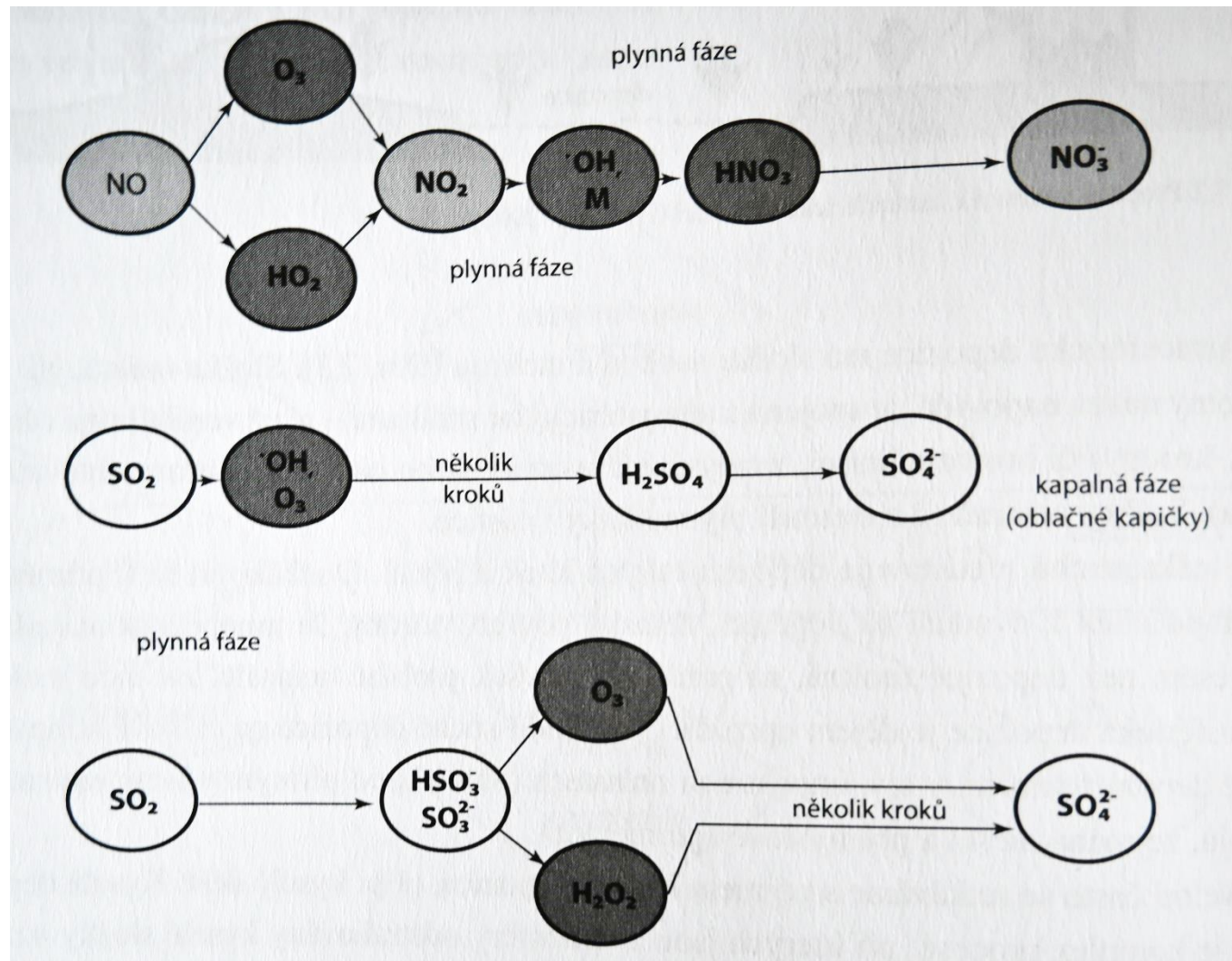
- 800 m n. m.: hranice vzrůstu významu horizontální depozice na celkové atmosférické depozici
- V oblastech nad 1000 m n. m. může mlha tvořit > 50 % srážek
- Větší mineralizace než ve vertikální depozici (nižší obsah H<sub>2</sub>O)
  - Ca, Na, Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>: až 7x vyšší koncentrace, pH až < 2
- Delší kontakt s vegetací (u kapičky mlhy 4x delší doba)
  - vznik velmi kyselých roztoků po evaporaci horizontálních srážek

# Kyselá depozice

- Komplex procesů vedoucích k vymývání kyselých složek vznikajících v atmosféře řadou procesů a které působí jako oxidační medium
- Příčina: oxidace emisí  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  a  $\text{NH}_3$  přirozeného i antropogenního původu, vznik kyselin v plynné ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ), aerosolové (sulfáty, nitráty, chloridy) a kapalné formě ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- Zdroje  $\text{SO}_2$ : spalování fosilních paliv (hnědé uhlí)
- Zdroje  $\text{NO}_x$ : spalování fosilních paliv, průmyslová výroba, doprava
- Antropogenní podíl  $\text{SO}_2$ : > 50 %;  $\text{NO}_x$ : > 30 %

# Kyselá depozice

## Schéma vzniku sulfátů a nitrátů



# Kyselá depozice

- Řešení: změny ve využívání paliv, regulace emisí (ES o průmyslových emisích, 2016), odsiřování
- Současnost:
  - pokles emisí  $\text{SO}_2$
  - méně významný pokles emisí  $\text{NO}_x$ , avšak růst jejich významu
  - úbytek výskytu kyselé depozice v Evropě a SA
  - rostoucí výskyt kyselé depozice v Číně, Indii a JV Asii

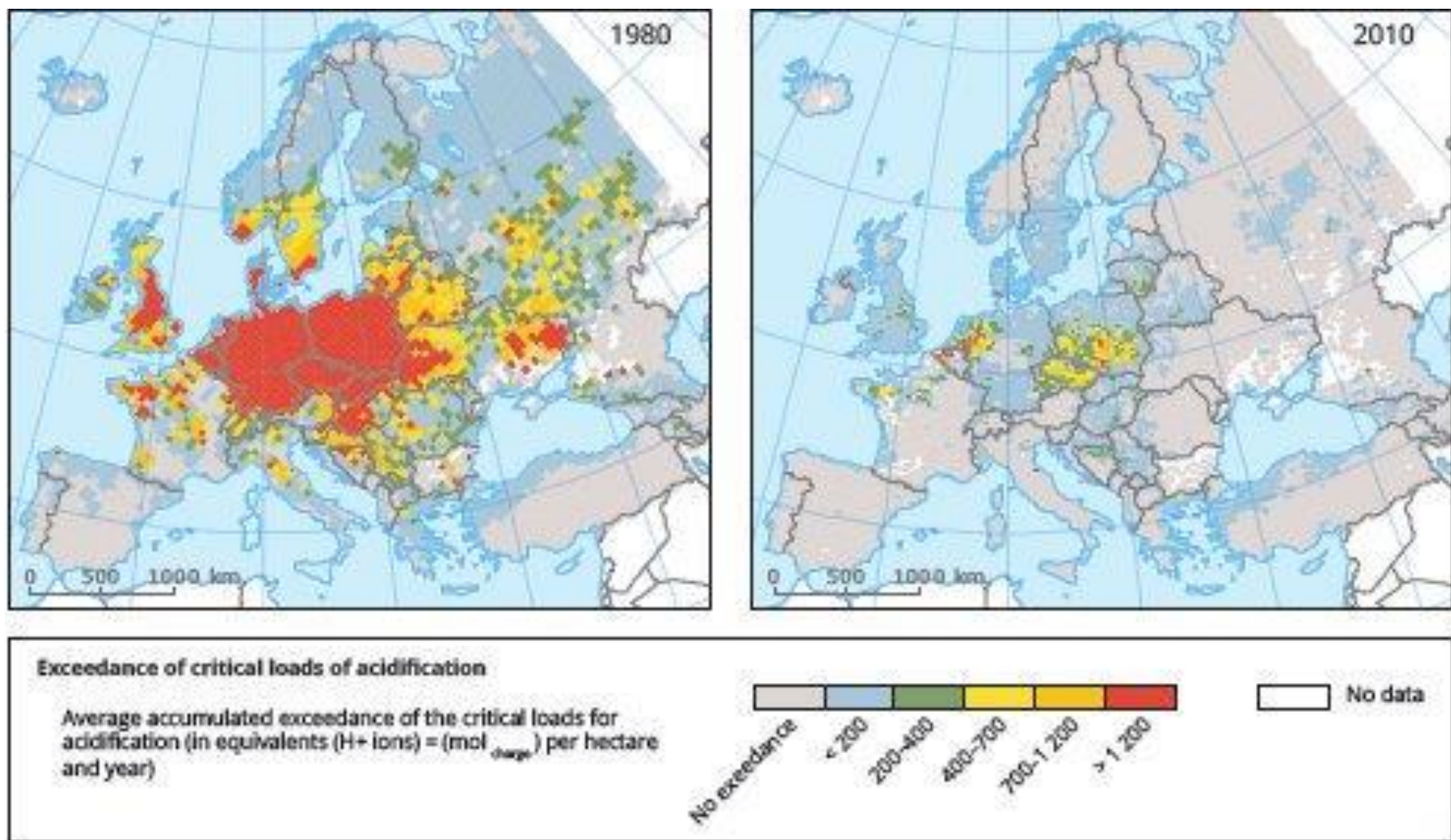
# Historie kyselých depozic

- První zmínka o výskytu sloučenin síry v dešti v r. 1692
- R. A. Smith (1872): zavedení termínu kyselý déšť (Manchester)
- E. Gorham (1955): prokázaná souvislost mezi emisemi z fosilních paliv a kyselou depozicí
- S. Odin (1961): kyselý déšť jako regionální fenomén v Evropě
- 70. léta 20. stol.: nejvyšší intenzita kyselých depozic v Evropě, počátek pravidelných měření a vznik mezinárodní, regionální a národních monitorovacích sítí (zájem o dopady)

# Atmosférická depozice v Evropě

- Sulfáty a nitráty: hlavní polutanty kyselé depozice v Evropě
- Primární zdroje pro depozici: energetika, doprava ( $\text{NO}_x$ ), zemědělství ( $\text{NH}_3$ )
- Od r. 1990 pokles acidifikujících látek ve stř., V Evropě (restrukturalizace) a Z Evropě (změna využití paliv, odsiřování, zavedení katalyzátorů do aut)
- Pokles emisí na většině území Evropy, přetrvávající riziková území převážně ve stř. Evropě

# Atmosférická depozice v Evropě

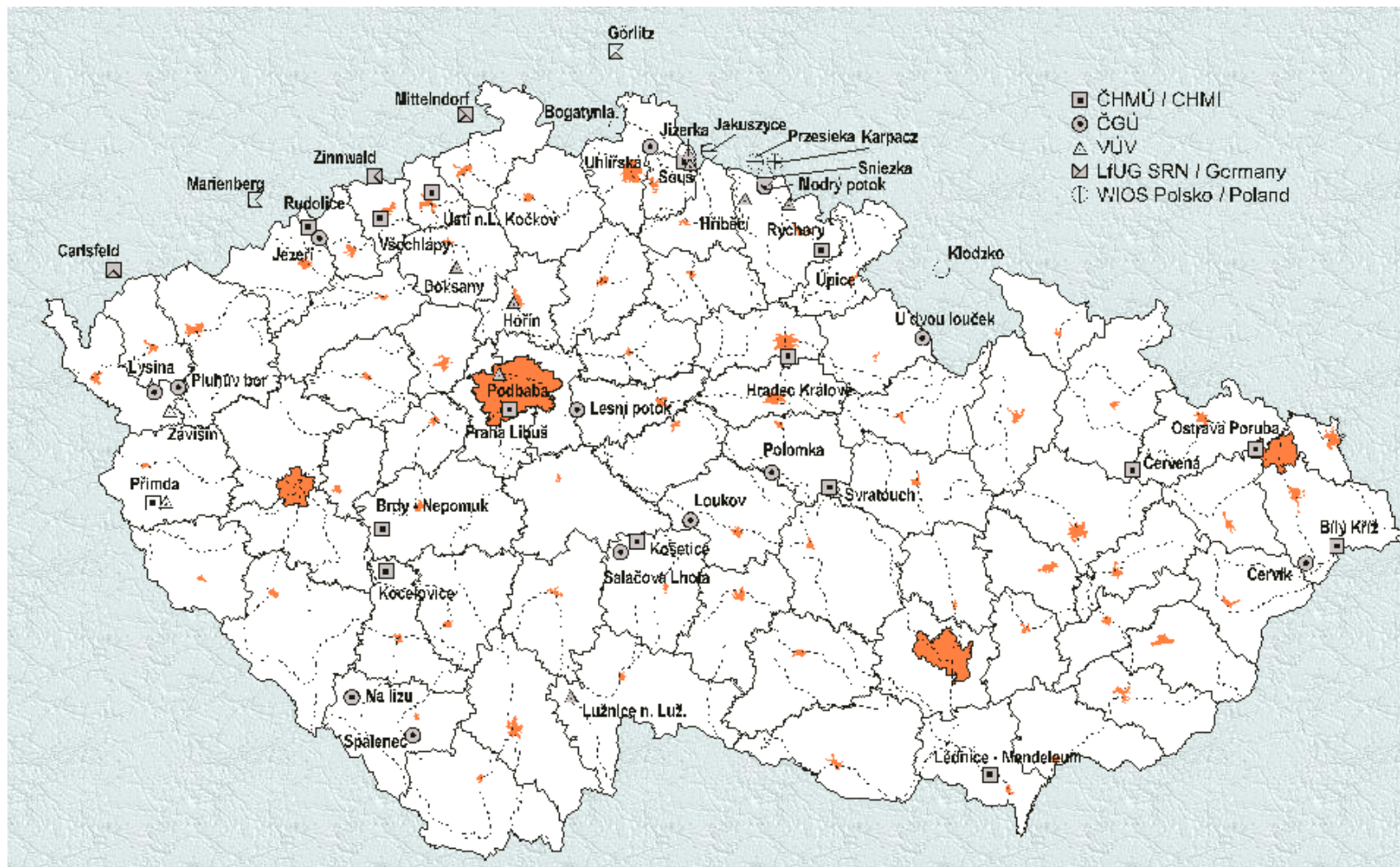




# Atmosférická depozice v ČR

- Počátky sledování od r. 1974
- 1982–1984 vytvoření monitorovací sítě, dnes řada správců
- Data z měření shromažďována v databázi ISKO (Informační systém kvality ovzduší) ČHMÚ
- Od r. 1990 pokles sulfátů, po r. 2000 nárůst nitrátů
- Sezónní variabilita mokré depozice: max. březen–duben
- pH 4,4–4,6

# Atmosférická depozice v ČR



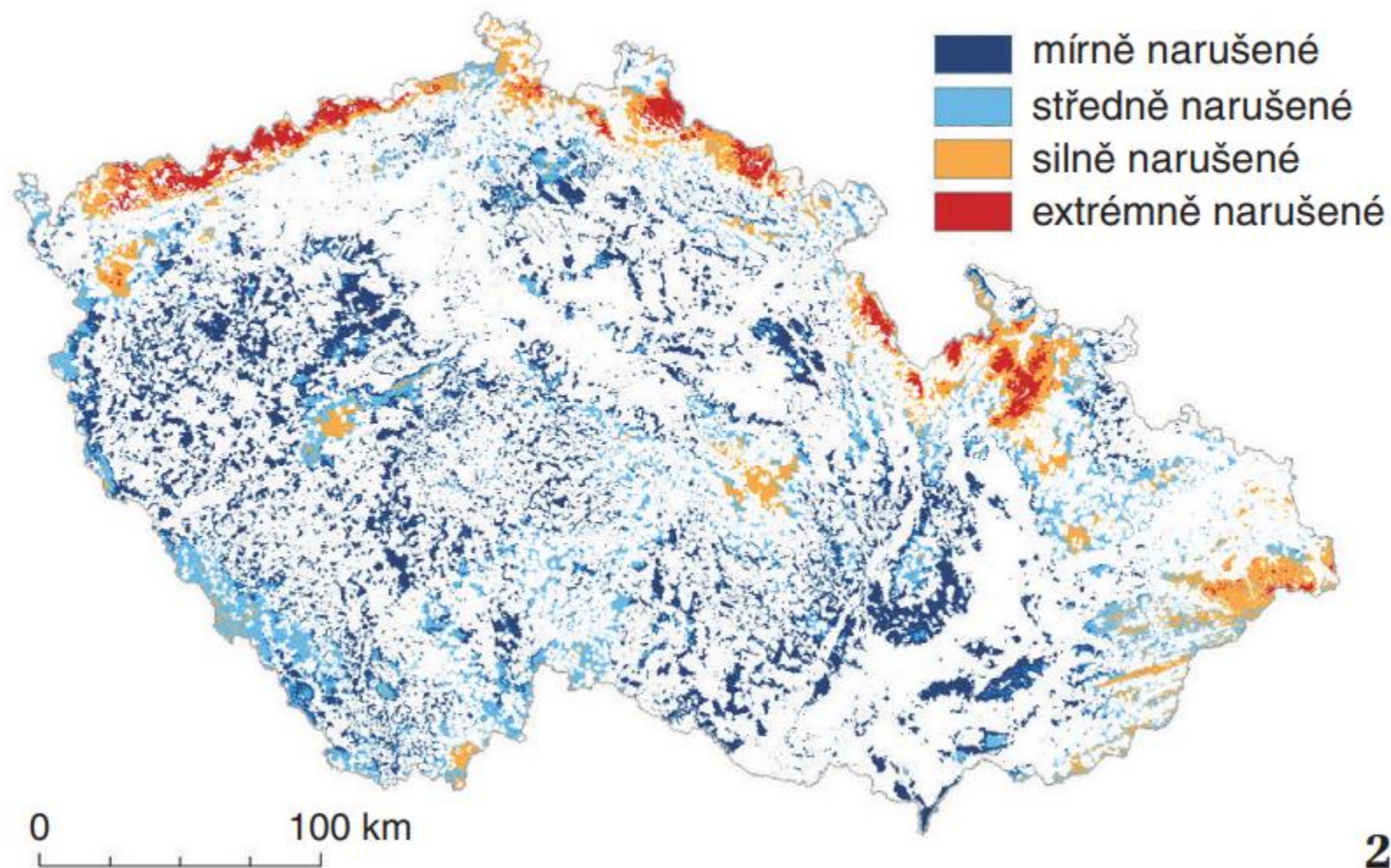
Staniční síť sledování chemického složení srážek v ČR

# Dopady atmosférické depozice

- Dopady suché depozice: depozice na rostlinách – snížení příjmu slunečního svitu, leptání povrchu rostlin
- Dopady kyselé depozice: snížení pH (< 5,6), snížení růstu lesa a vitality stromů, poškození sladkovodních ekosystémů (úbytek ryb, snížení biodiverzity), vyplavování toxických kovů z půd a povrchových vod, eutrofizace prostředí ( $\text{NO}_x$ ), poškození staveb (vápencové a mramorové) a barevných vitráží
- Acidifikace a eutrofizace: zesílení změny klimatu ovlivněním výměny nitrátů mezi půdou a atmosférou

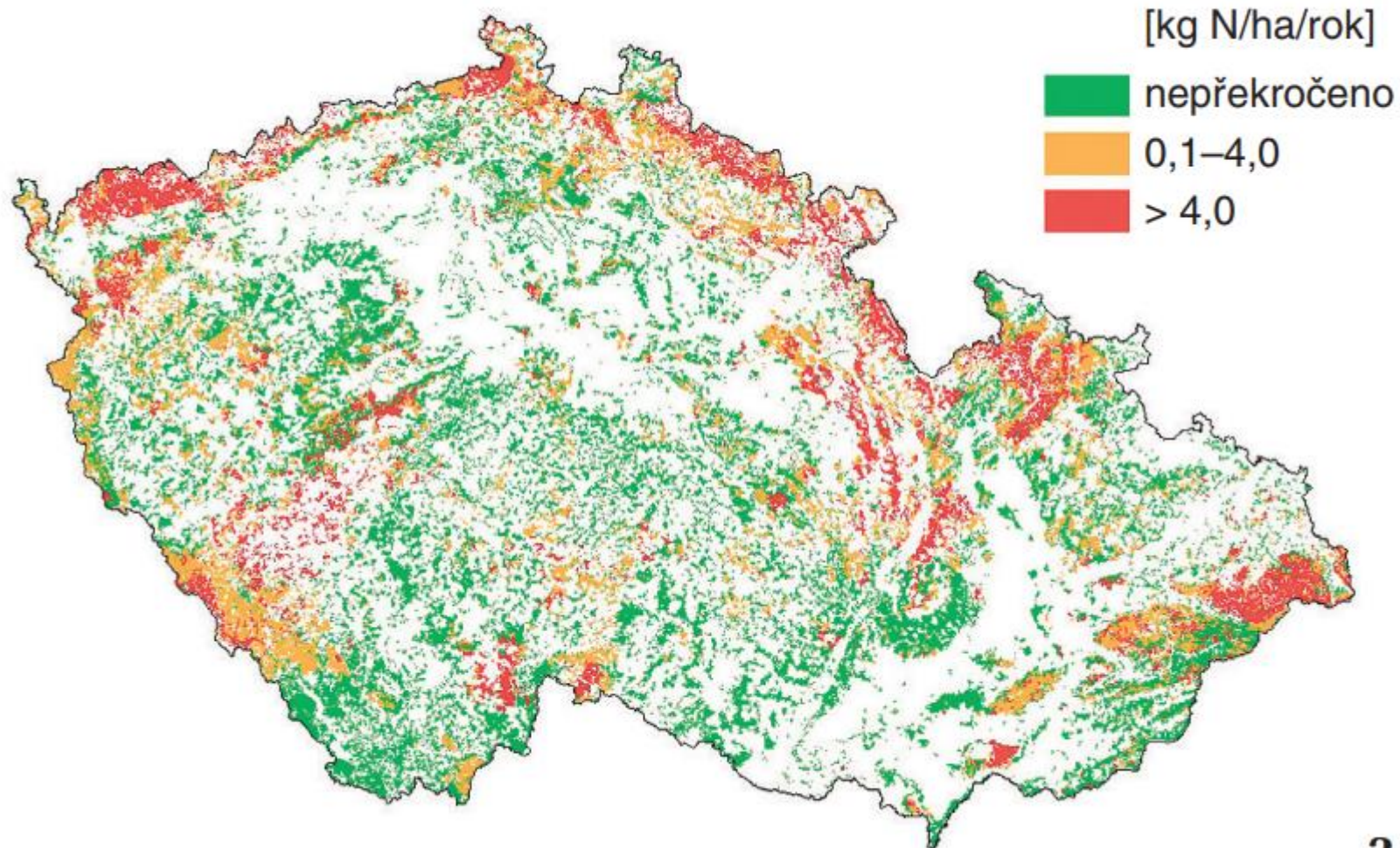
# Dopady atmosférické depozice

Ohrožení lesních půd acidifikací a nutriční degradací



# Dopady atmosférické depozice

Překročení kritické zátěže dusíku



# Dopady atmosférické depozice



# Kritické zátěže

- Nejvyšší depozice acidifikujících sloučenin, která ještě nepůsobí chemické změny vedoucí k dlouhodobým škodlivým účinkům na strukturu a funkci ekosystému
- Acidifikující sloučeniny: sloučeniny S a N
- Indikátor trvalé udržitelnosti ekosystému
- Princip hodnocení krit. zátěží: výpočet neutralizační kapacity přírody za účelem eliminace acidifikujících sloučenin
- Nově počítány zátěže pro těžké kovy (Cd, Cu, Pb) a POPs

# Změna radiační bilance

- Přímý vliv sulfátů v aerosolu: absorpce a odraz slunečního záření
- Nepřímý vliv sulfátů v aerosolu: změna absorpce a odrazivosti slunečního záření od oblaků a délka jejich setrvání
  - ochlazující efekt



# Smog

- Smoke + fog = smog
- Obecné označení viditelného znečištění atmosféry především v městských oblastech
- Stav mimořádně znečištěného ovzduší
- Úroveň znečištění  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , částicemi  $\text{PM}_{10}$  nebo troposférickým  $\text{O}_3$ , která překročila některou z prahových hodnot
- Druhy smogu
  - redukční (zimní/londýnský)
  - fotochemický (losangeleský)

# Redukční smog

- „Londýnský“ / zimní smog (výskyt v zimním období)
- Příčina: spalování hnědého uhlí s vysokým obsahem S, výskytem inverze/mlhy a vysoké koncentrace CO (nedokonalé spalování)
- Složení: SO<sub>2</sub>, CO, (redukční vlastnosti), aerosol
- Výskyt v minulosti především v hustě zabydlených průmyslových oblastech
- Extrémní smogové situace:
  - 1930: údolí řeky Maas (Belgie)
  - 1948: Donora (USA)
  - 1952, prosinec: Londýn (VB)

# Redukční smog

- Následkem extrémních smogových situací opatření proti znečišťování a zájem o výzkum
- Působení na malých plochách (lokální problém)
- 2. pol. 20. stol: ústup výskytu smogu v USA a Z Evropě, přetrvávání ve slabší podobě ve střední a V Evropě
- 90. léta 20. stol: ústup smogu z velkých aglomerací
- Současnost: lokální výskyt smogu v obcích s převahou topenišť na tuhá paliva, možnost transportu do měst

# Redukční smog



# Fotochemický smog

- „*Losangeleský*“ / letní (výskyt v letním období), oxidační,
- Poprvé popsán v 1950's v LA (významný environmentální problém)
- Příčina: vysoká hustota dopravy (emise  $\text{NO}_x$ ), fotochemická reakce  $\text{NO}_x/\text{OH}/\text{CO}$  a slunečního UV záření
- Složení:  $\text{O}_3$  (troposférický ozon), pevné nebo kapalné částice o  $p < 2 \mu\text{m}$
- Detekce fotochemického smogu ve většině hlavních měst a průmyslových center

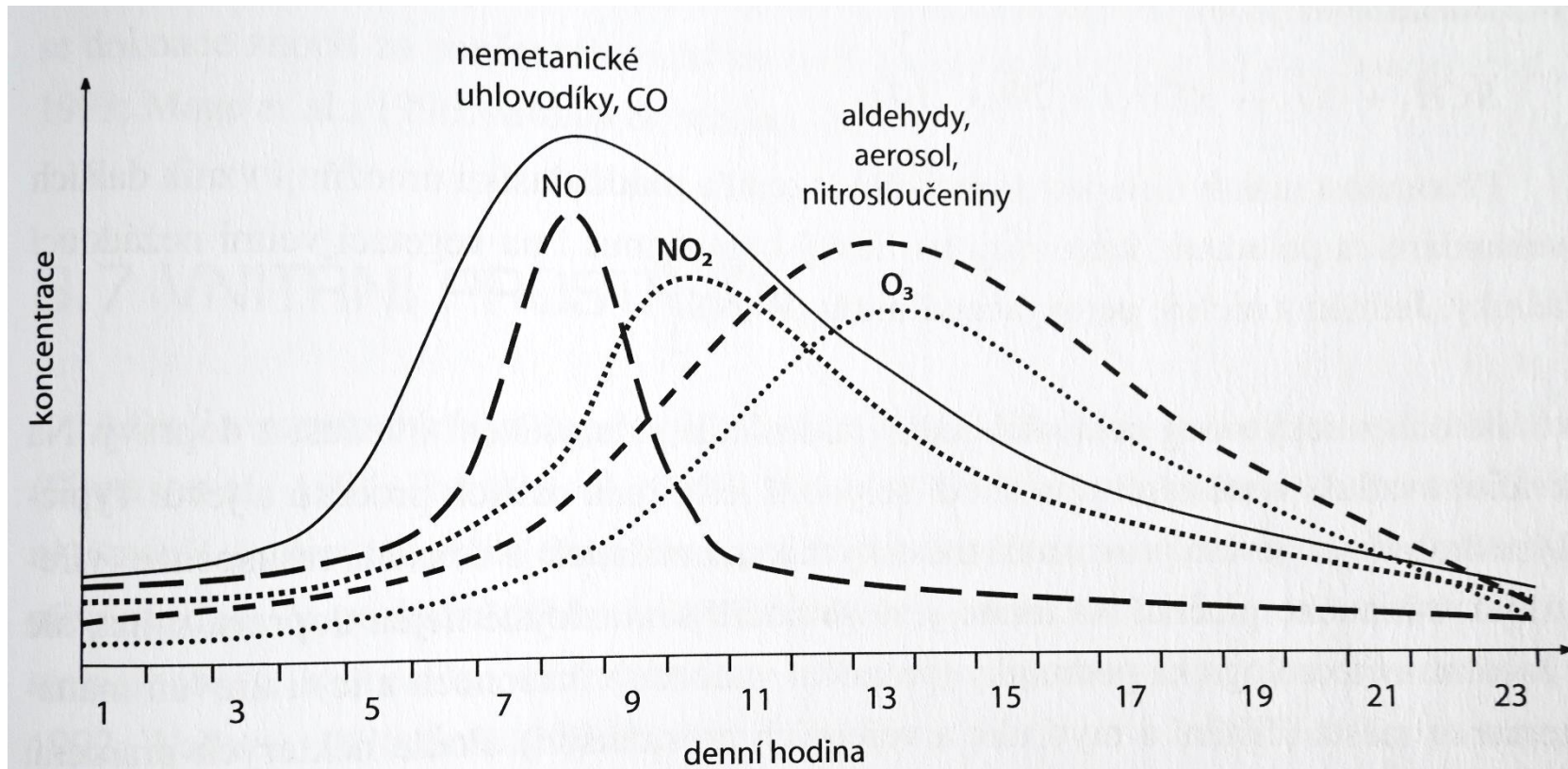
# Fotochemický smog

- Max. koncentrace v odpoledních hodinách
- Přenos polutantů na velké vzdálenosti (vysoké koncentrace  $O_3$  i na venkově)
- Působení na velkých plochách (regionální problém)
- Současné koncentrace 3–5 x vyšší než na počátku 20. stol.



# Fotochemický smog

Typický denní průběh koncentrací primární a sekundárních polutantů při fotochemickém smogu



# Škodlivé účinky smogu

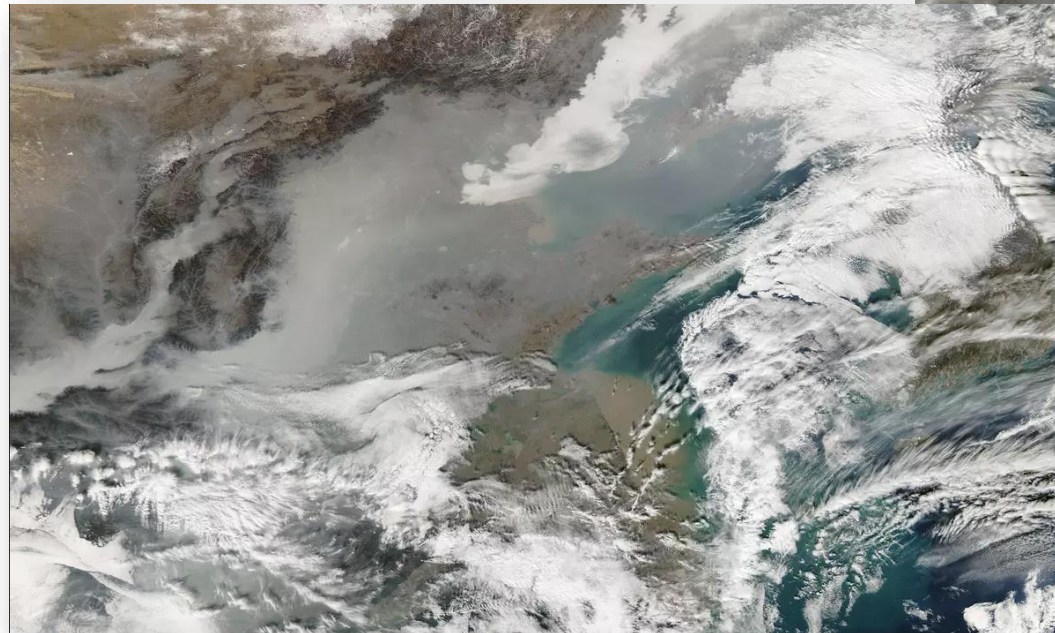
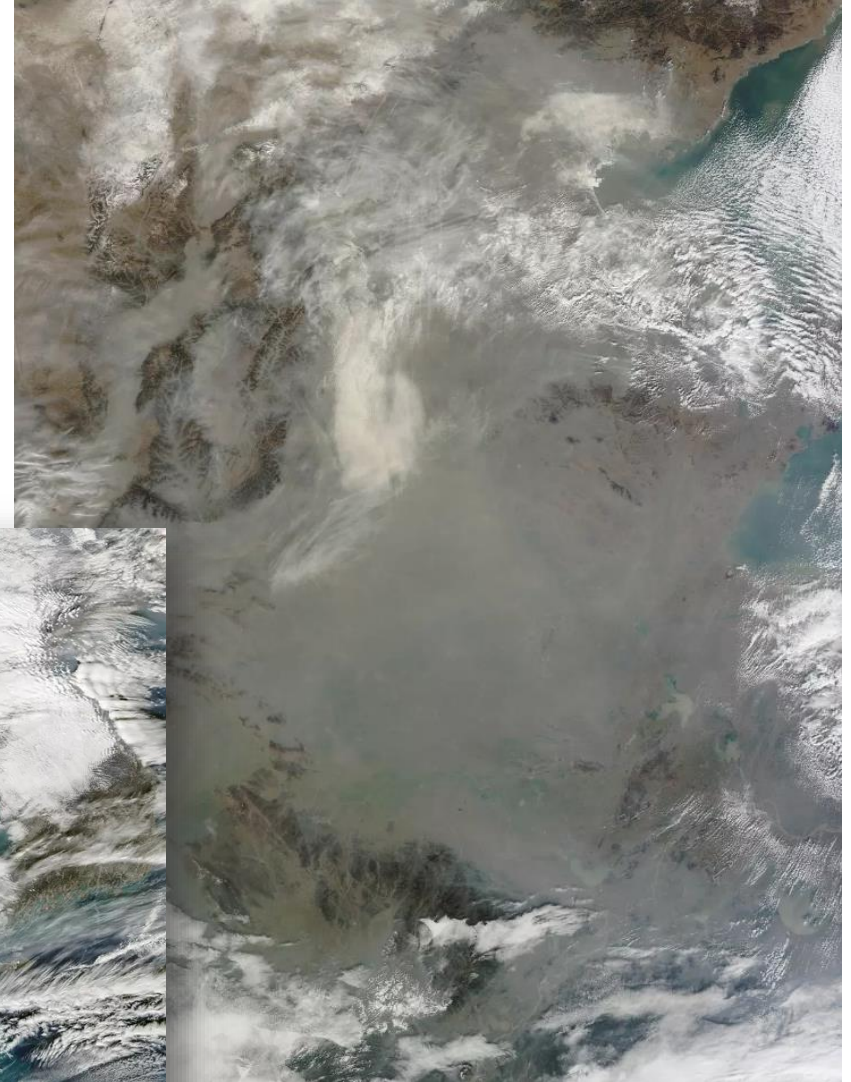
- Negativní vliv na lidské zdraví a komfort
  - dráždivé účinky na sliznice očí a dýchacích cest, alergie
  - rozvoj akutních a chronických onemocnění
- Snížení viditelnosti, vznik aerosolů
- Škody v lesích
- Pokles rychlosti růstu rostlin
- Poškozování materiálů





# Smog

- Smogová situace Čína, leden 2013:
  - doporučení nevycházet do města (Peking)
  - vládní nařízení snížení emisí v továrnách
  - dýchací problémy pacientů v nemocnicích činily > 30 %



2016

# Smog



# Ovzduší a zdraví

- Znečištění ovzduší největším rizikem pro ŽP v Evropě
- Na následky znečištění ovzduší ( $PM_{2,5}$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ) umírá v EU předčasně 400 000 lidí ( z 80 % nemoci srdce a mozkové příhody)
- V ČR 11 000 předčasných úmrtí následkem znečištění ( $PM_{2,5}$ )
- Až 96 % občanů EU žijících ve městech vystaveno znečišťujícím látkám škodlivých pro zdraví
- Přímé a nepřímé ovlivnění lidské zdraví (pasivní kouření)

# Ovzduší a zdraví

- Faktory ovlivňující lidské zdraví:
  - blízkost zdroje znečištění
  - koncentrace polutantu
  - délka a způsob expozice polutantu
  - zeměpisné (topografické) a povětrnostní podmínky

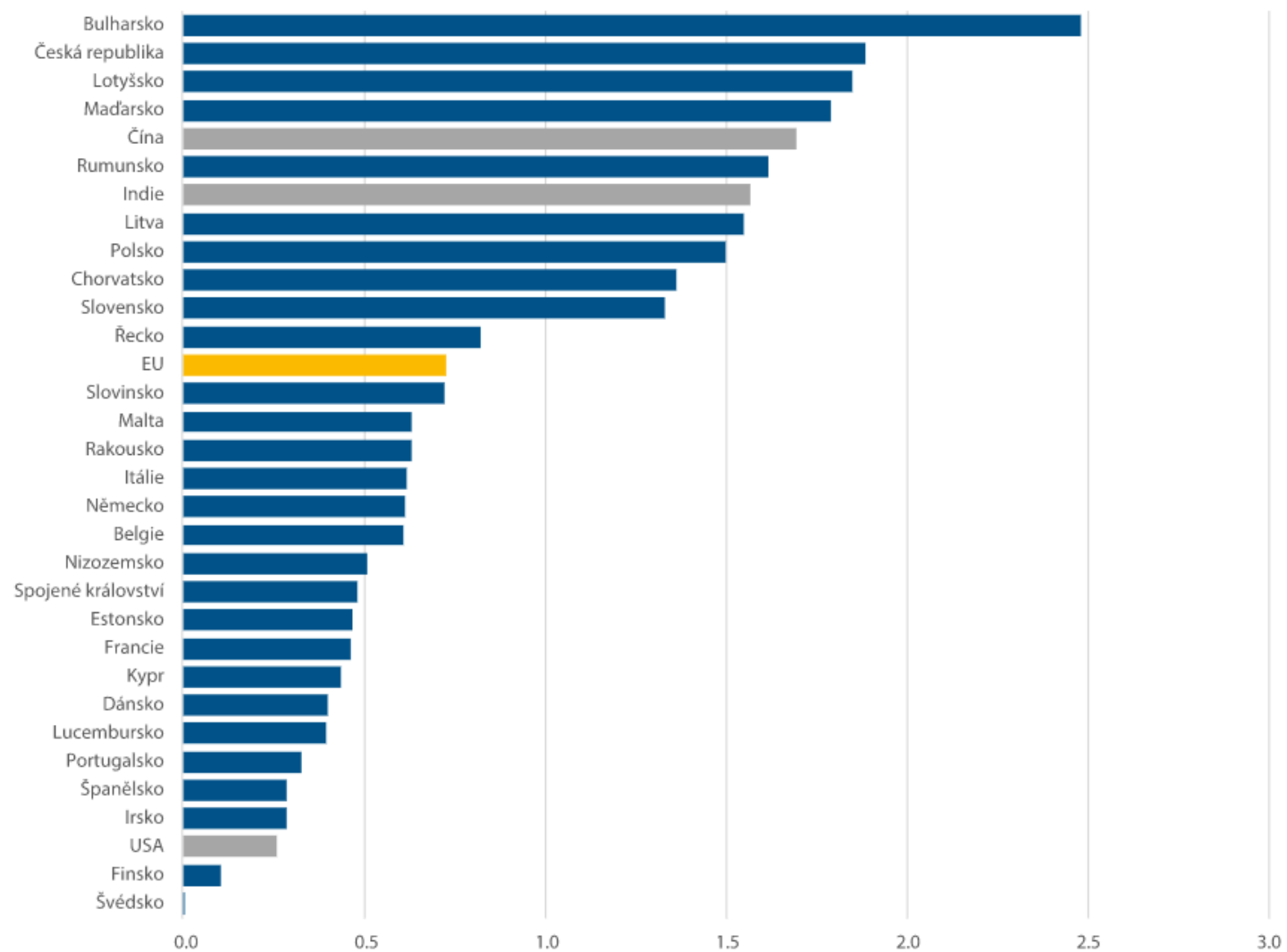
# Ovzduší a zdraví

## Vybrané účinky znečištění na zdraví dle WHO

látka	typ účinku
oxid dusičitý (NO <sub>2</sub> )	do jisté míry snížená funkce plic, zvláště u astmatiků, podezření na zvýšený výskyt respiračních chorob
oxid siřičitý (SO <sub>2</sub> )	respirační symptomy, celková, kardiovaskulární a respirační mortalita
částice (PM <sub>2,5</sub> a PM <sub>10</sub> )	respirační symptomy u dospělých a dětí, snížení plicních funkcí, zvýšená respirační morbidita, zvýšená úmrtnost
ozon (O <sub>3</sub> )	snížené funkce plic, zánětlivé reakce, zhoršení astmatických a jiných respiračních symptomů
oxid uhlíku (CO)	únava, díky silnému potenciálu k navázání se na hemoglobin může docházet k problémům u osob s oběhovými potížemi
polyaromatické uhlovodíky (PAH)	látky vyvolávající rakovinu
dioxiny	k hlavní expozici dochází z potravního řetězce, kam se dostanou také ze vzduchu; účinky na hormonální systém, reprodukční a vývojové poruchy, vyvolává rakovinu
těžké kovy	vyvolávají rakovinu
benzen	hemotoxický, genotoxický, vyvolává rakovinu
formaldehyd	zápach, iritace očí a sliznic, snížená funkce plic (při velmi vysokých expozicích může dojít ke smrti); biologické účinky znečištění ovzduší se často znázorňují jako pyramida se vzrůstající závažností, ale snižujícím se počtem zasažených osob (Obr. 11.3). V nízkých koncentracích jsou často nežádoucí zdravotní účinky pozorovatelné jako symptomy. V poslední době se také objevují studie souvislosti mezi znečištěním a subjektivně pociťovanými symptomy zhoršeného zdraví nebo pohody (například obtížné pachy).

# Ovzduší a zdraví

Ztracené roky zdravého života v důsledku znečištění vnějšího ovzduší na sto obyvatel



# Účinky atmosférického znečištění na ekosystémy

- Škodlivé faktory:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ , kyselá depozice
- $\text{SO}_2$  (doba setrvání 1–3 dny):
  - škody na vegetaci (smrky) v okolí zdrojů znečištění v SA, Asii a Evropě (lokální znečištění)
  - přímé vdechování  $\text{SO}_2$  rostlinami - nekróza listů
- $\text{NO}_x$  (1–10 dnů):
  - předčasné opadání listů, výskyt spolu s vysokými hodnotami  $\text{O}_3$



# Účinky atmosférického znečištění na ekosystémy

- $O_3$  (3–6 týdnů):
  - přímé vdechování  $O_3$  rostlinami – omezený růst, nižší úroda, buněčná smrt
  - indikátorové rostliny: rajče, špenát, salát, oves, tabák
- Kyselá depozice:
  - zvýšený příjem kovů rostlinami, nekróza listů
- Eutrofizace:
  - nadměrný přísun živin (N, P) – porušení rovnováhy ekosystému (nadměrný růst řas a sinic ve vodním prostředí)





# Účinky atmosférického znečištění na rostliny

- Dělení dle odolnosti rostlin:
  - velmi citlivé: jehličnany (jedle, smrky, některé druhy borovic)
  - středně citlivé: listnáče (jeřáb, bříza, osika, většina druhů topolů)
  - odolné: některé druhy listnáčů (buk, dub, lípa)
- Závislost odolnosti na periodě shazování listů x jehlic
- Odolnost zemědělských plodin
  - vysoká: okopaniny
  - nízká: jetel vojtěška

# Účinky atmosférického znečištění na materiály

- Mokrý koroze: účinky přímého působení deště s rozpuštěnými látkami
- Suchá koroze: vliv znečišťujících látek, teploty a rel. vlhkosti
- Škodlivé faktory:  $\text{SO}_2$ , změna pH, teplota, rel. vlhkost, srážky,  $\text{O}_3$



# Světelné znečištění

- Soubor negativních jevů spojených s umělým osvětlením
- Negativní dopady: pronikání umělého světla do domácností, světelný smog
- Riziko ekologické, zdravotní a bezpečnostní
- Absence legislativy v ČR
- Iniciativy na zachování temné oblohy (Beskydská oblast tmavé oblohy)

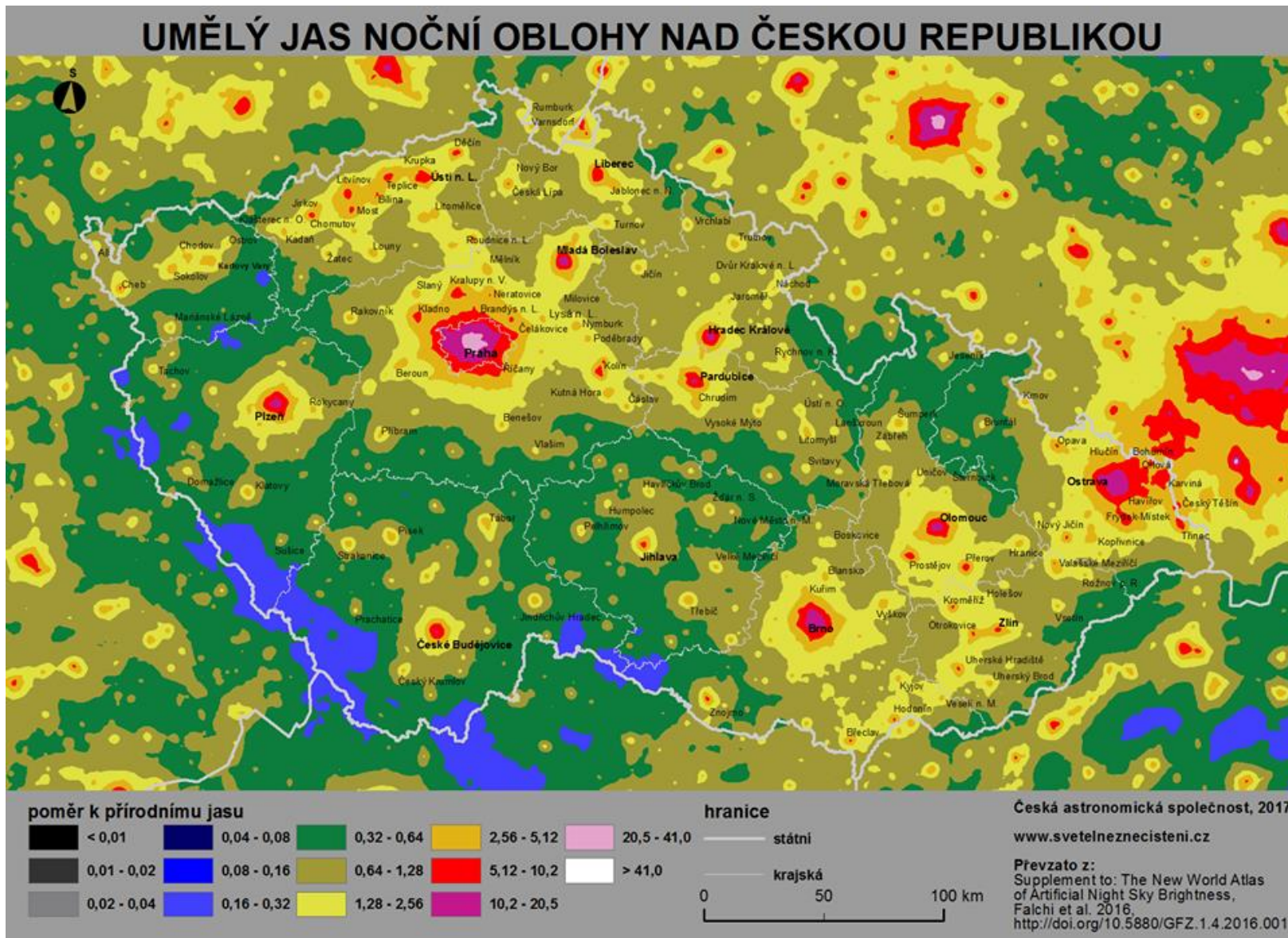


*Dobré osvětlení svítí nejen efektivně, ale také ohleduplně a při funkčním osvětlení ulice a chodníku nepřispívá tolik ke světelnému znečištění.*



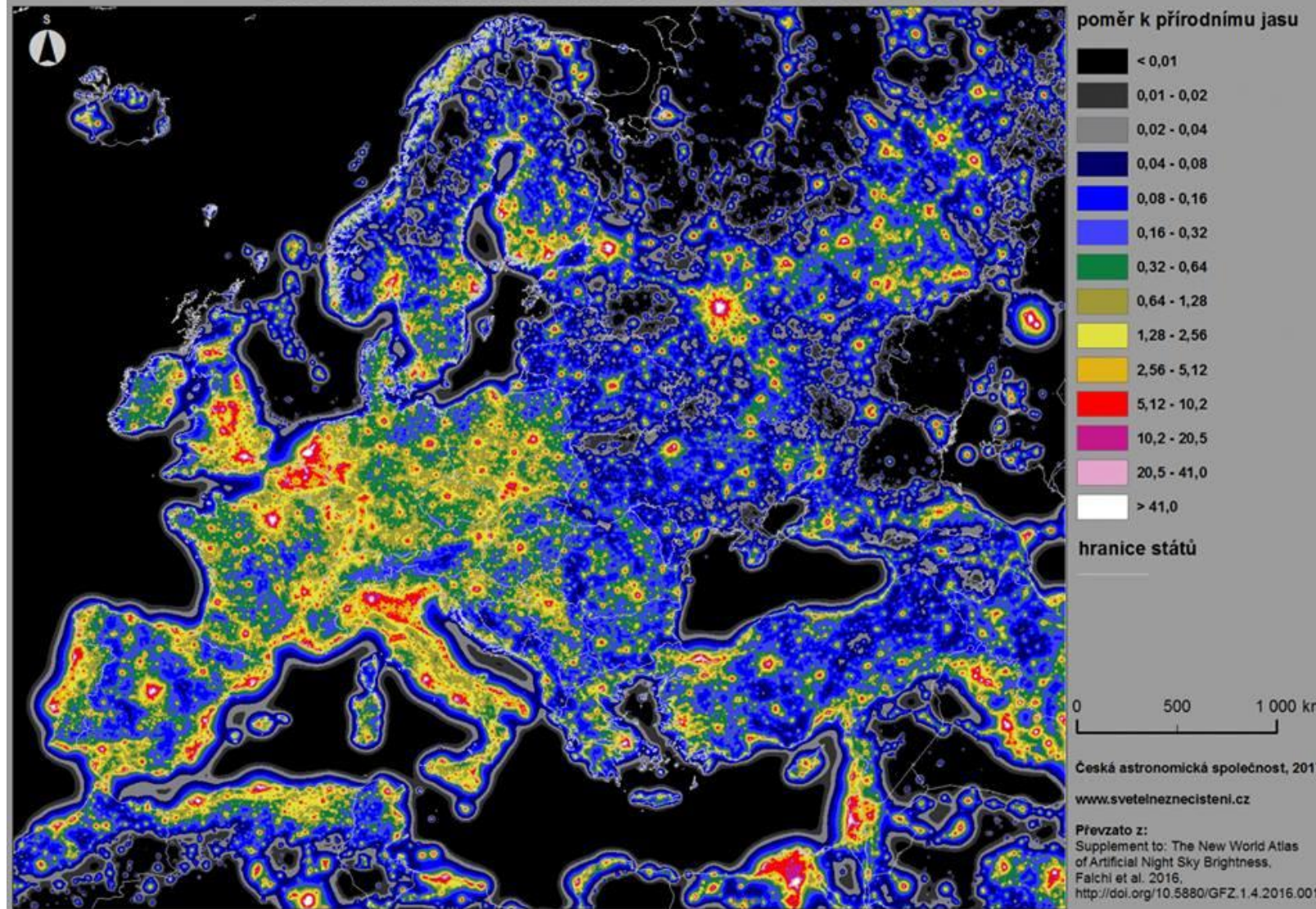
*Špatné pouliční osvětlení míří světlo i nahoru a přezařuje tak noční oblohu. Zdroj: Light Pollution Simulator*

# Světelné znečištění











# Světelné znečištění

## UMĚLÝ JAS NOČNÍ OBLOHY NAD EVROPOU



# AQI index (PM<sub>2,5/10</sub>) 04/2020

PM2.5 Legend ⓘ		WHO target	Good	Moderate	Unhealthy for sensitive groups	Unhealthy	Very unhealthy	Hazardous	Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$							
Rank	City	2019 AVG	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	2018 AVG	2017 AVG
1	 Ghaziabad, India	110.2	205.7	29.5	89.3	86.9	96.6	62.9	45.3	33	37.7	158.6	235.8	235.9	135.2	144.6
2	 Hotan, China	110.1	60.1	70.1	189.1	151.8	128.6	57.9	119.7	126	87.8	103.9	114.5	106.1	116	91.9
3	 Gujranwala, Pakistan	105.3	220.4	127.4	86.4	70.9	65.8	53.3	59.2	48.8	67.4	107.6	144.9	217.3	-	-
4	 Faisalabad, Pakistan	104.6	223	128.3	82	59.1	56.5	46.3	54.2	58.4	66.5	92	148.5	226.2	130.4	-
5	 Delhi, India	98.6	191.7	84.8	75.3	71.4	76.6	56.7	43.2	31.9	37.2	116.7	200.7	194.8	113.5	108.2
6	 Noida, India	97.7	151.8	38.1	78.3	81.8	88.6	65.3	47.4	33.1	36.5	134.3	212.4	222.6	123.6	134
7	 Gurugram, India	93.1	234.5	62.3	76.3	83	92.2	84.9	47.3	39.1	41.8	108.2	146.8	102.9	135.8	145.6
8	 Raiwind, Pakistan	92.2	-	201.3	137.1	119	101.9	66.6	41.3	27.2	34.9	70.1	113.4	93.3	-	-
9	 Greater Noida, India	91.3	194.5	65.8	76	70.3	61.2	51.8	39.4	32.1	30.2	130	195.5	191.1	-	-
10	 Bandhwari, India	90.5	88.5	82.5	60.5	78.7	90.2	74.1	54.9	35.4	42.6	112.6	187.9	178.6	-	-
11	 Lucknow, India	90.3	156.1	38.9	95.7	97.2	78.2	69.8	35.7	30.4	28.8	108.7	199.6	142	115.7	119.2
12	 Lahore, Pakistan	89.5	199.1	110.3	73.6	62.5	53.7	44.5	39.9	40.9	54.7	104.6	134.9	182.7	114.9	133.2

# Lokální dopady znečištění

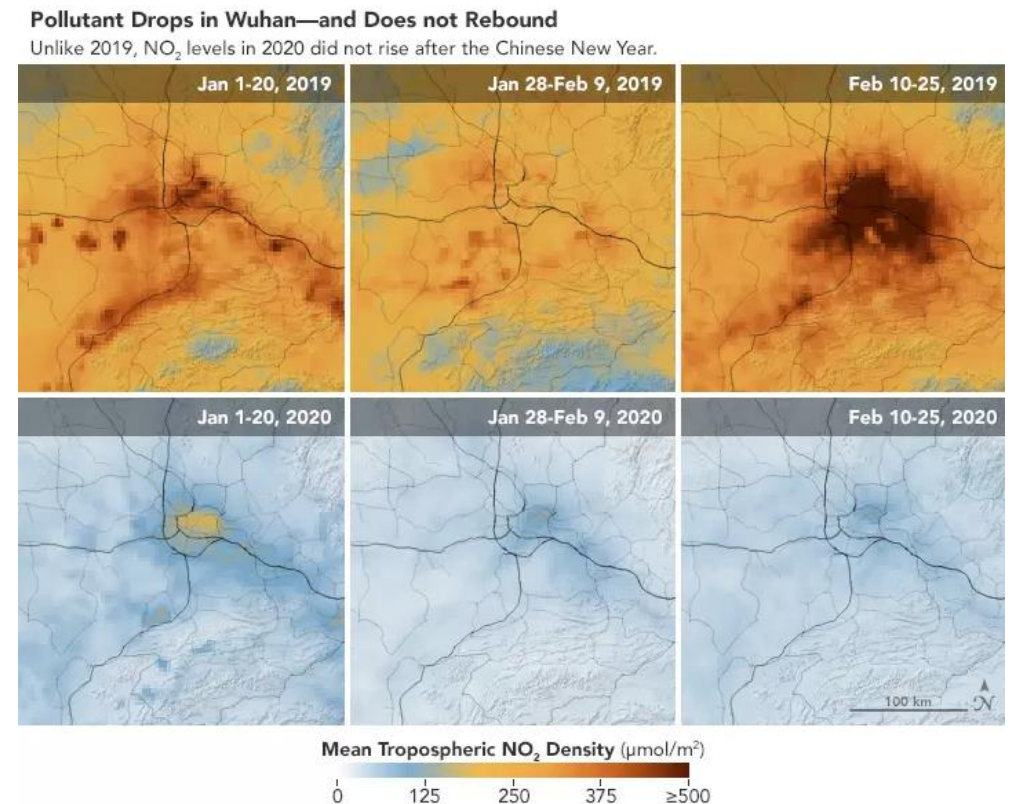
- Nejznečištěnější místa na světě následkem znečištění ovzduší:
  - příklad Sarajeva (Bosna a Hercegovina): leden 2020 – dvojnásobné překročení rizikové míry znečištění (AQI index = 600)



Pohled na Sarajevo,  
leden 2020

# Faktory snižující znečištění atmosféry

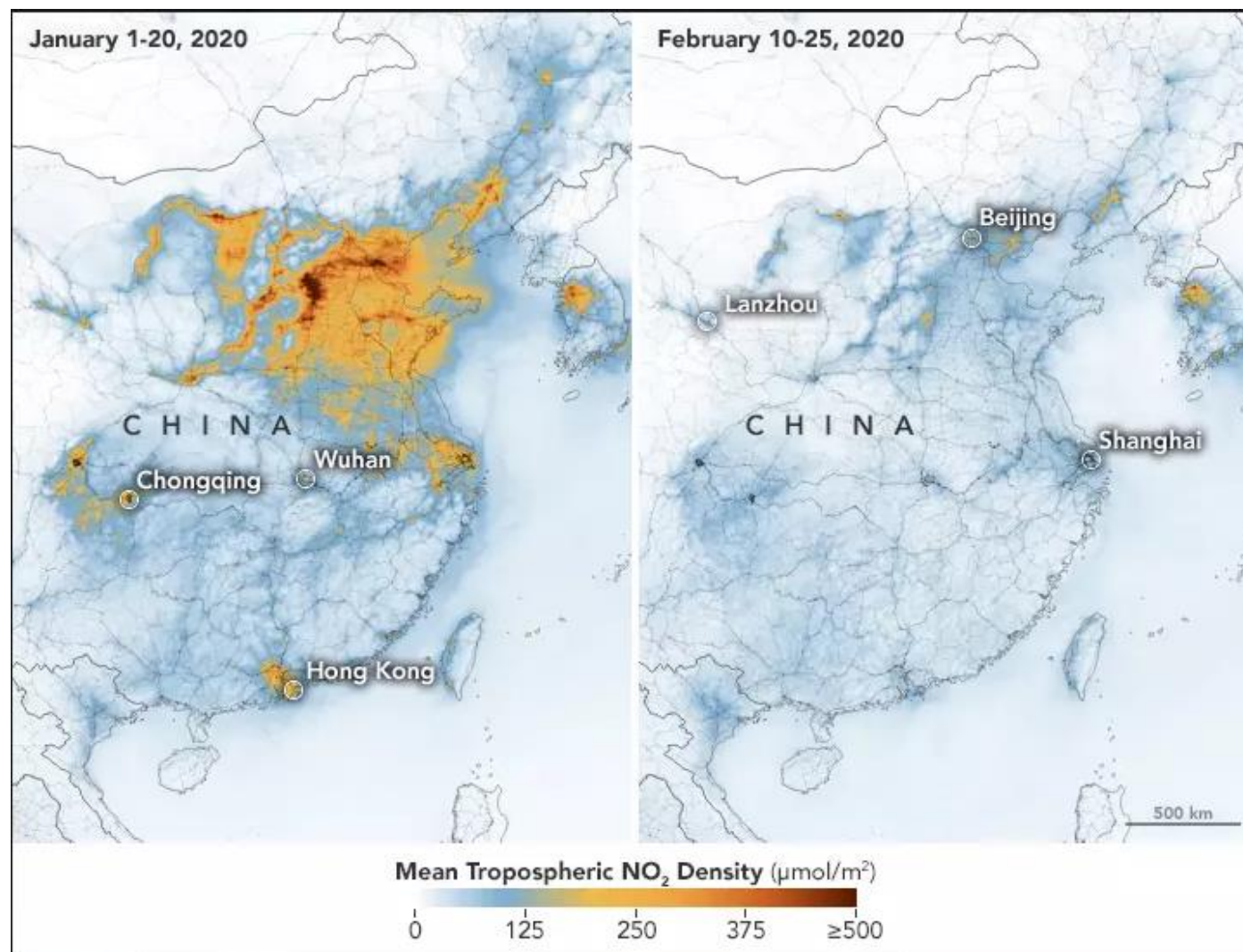
- Příklad koronaviru v Číně 2019/2020
  - snížení výkonu továren v Hongkongu na 20–50 % (leden–únor 2020): radikální zlepšení smogové situace
  - snížení NO<sub>2</sub> (automobilová doprava, průmysl)
  - omezení letecké dopravy nad JZ Asií





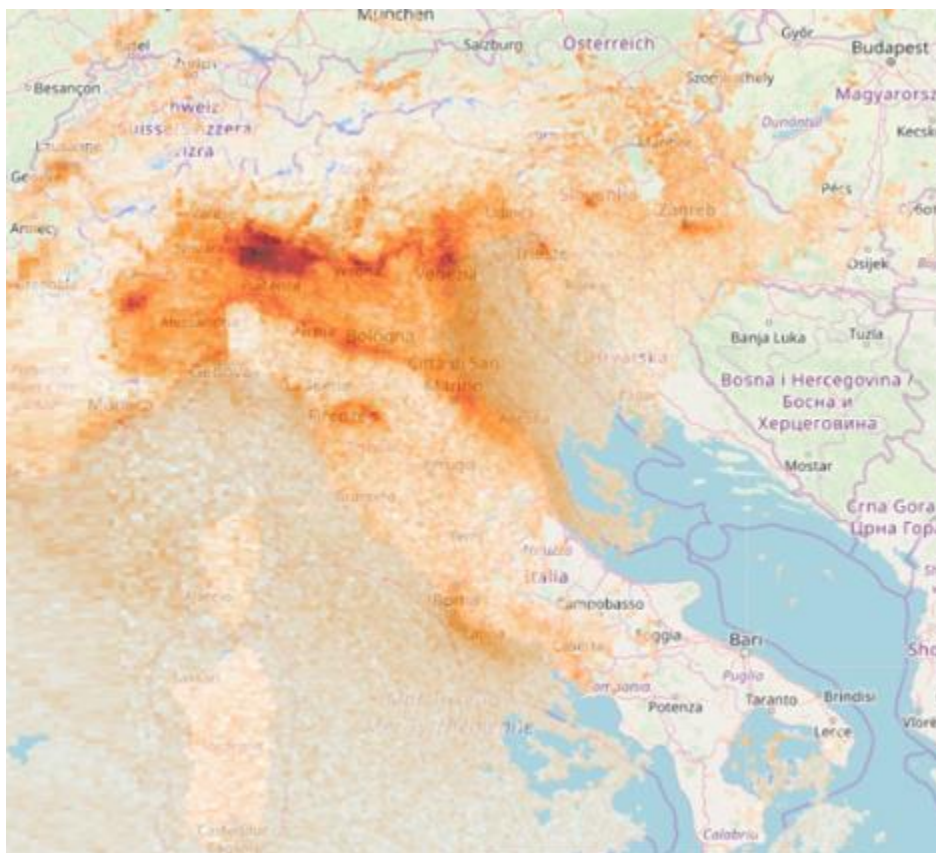
# Faktory snižující znečištění atmosféry

- Koronavirus v Číně 2019/2020

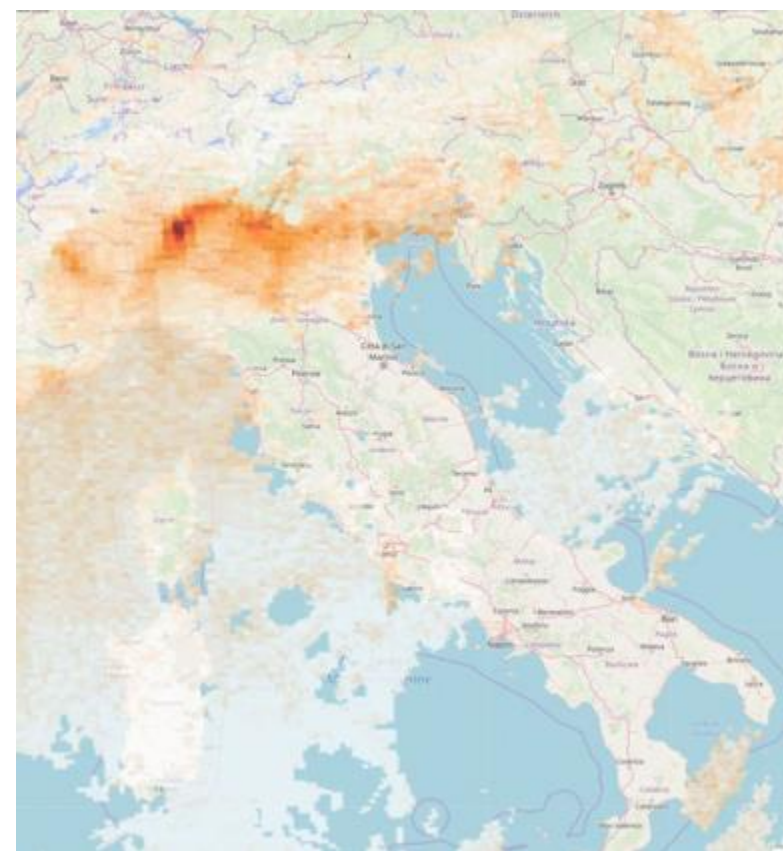


# Faktory snižující znečištění atmosféry

- Koronavirus v Itálii



NO<sub>2</sub>, 14.2.2020



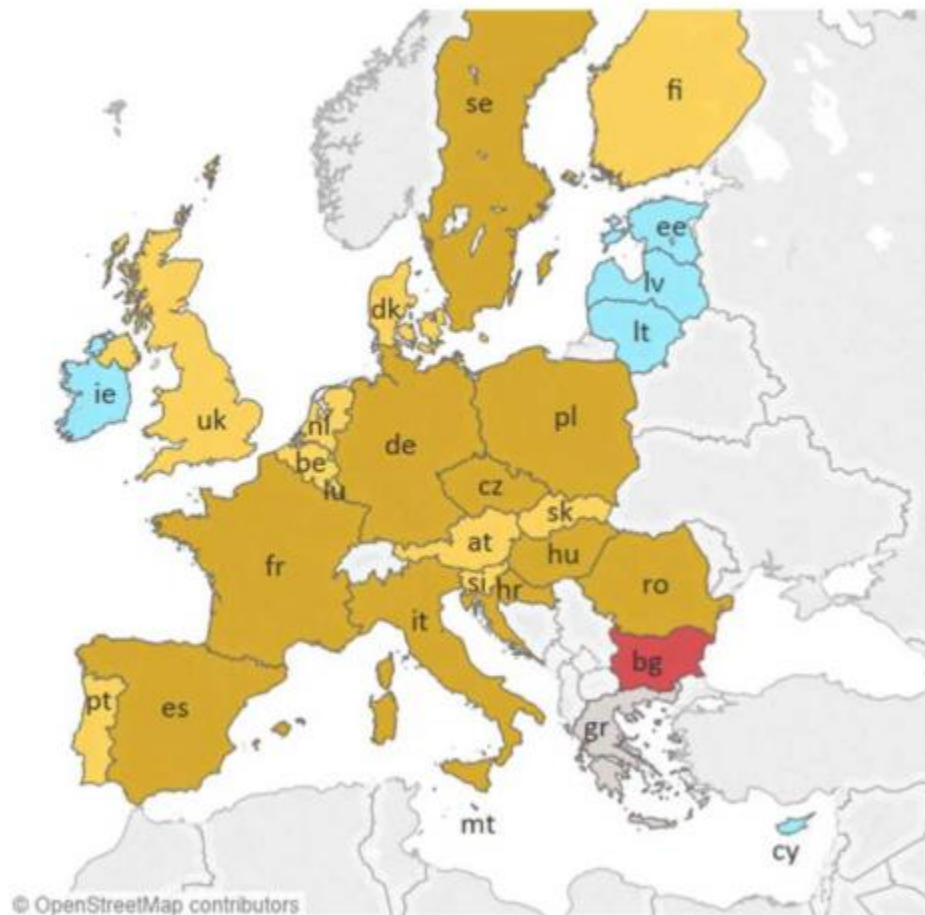
NO<sub>2</sub>, 7.3.2020

# Problematika znečišťování ovzduší

- Celosvětové překračování limitních koncentrací znečištění
- Povolení výstavby nových ekologicky nešetrných elektráren
- Případy nevhodné výstavby vysokých budov ve městech
  - korupce při schvalovacích procesech nové výstavby a nerespektování názorů odborníků
- Nedostatečná právní úprava ochrany ovzduší na úrovni EU i států
- Nedostatečná ochrana ovzduší ze strany států a nedodržování norem EU
- Pomalý pokles emisí v EU navzdory rostoucímu počtu směrnic
- Nedostatečné pravomoci EK k vymáhání dodržování limitů

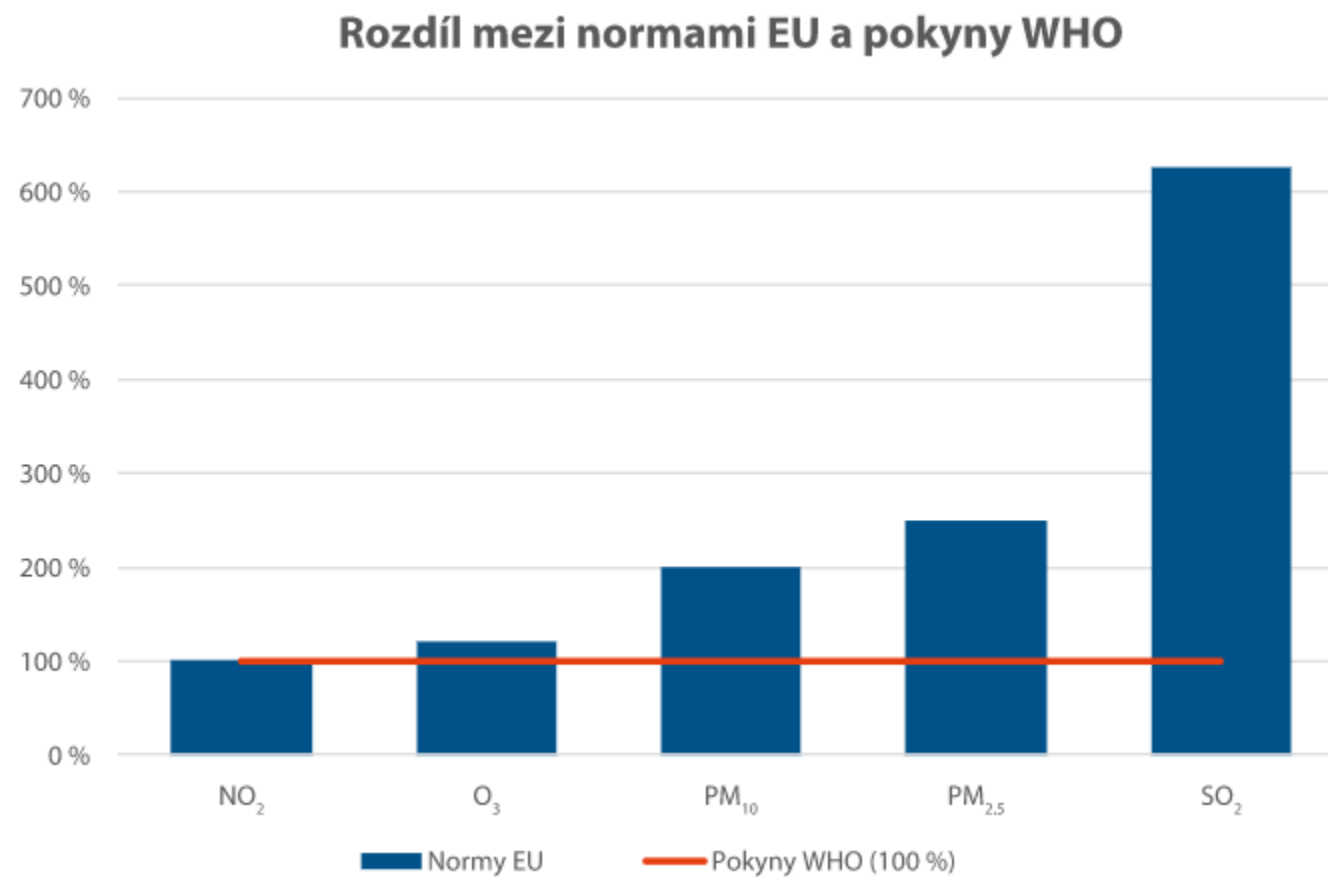
# Problematika znečišťování ovzduší

Plnění mezních hodnot členskými státy v roce 2016



- neplnění limitů pro PM, NO<sub>2</sub> a SO<sub>2</sub>
- neplnění limitů pro PM a NO<sub>2</sub>
- neplnění limitů pro PM nebo NO<sub>2</sub>
- plnění limitů pro PM, NO<sub>2</sub> a SO<sub>2</sub>
- údaje nejsou vykazovány

# Problematika znečišťování ovzduší



# Literatura

- Braniš, M., Hůnová, I. (2009): Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší. Praha, Karolinum, 351 s.
- Evropský účetní dvůr (2018): Zvláštní zpráva č. 23: Znečištění ovzduší: naše zdraví stále není dostatečně chráněno, 98 s.

---

Děkuji za pozornost