



LEARNING TOXICOLOGY
THROUGH OPEN EDUCATIONAL
RESOURCES

TRANSPORT PLYNNÝCH POLUTANTŮ V MĚSTSKÉ ATMOSFÉŘE

Dana PERNIU, Ileana MANCIULEA

Transylvánská univerzita v Brašově

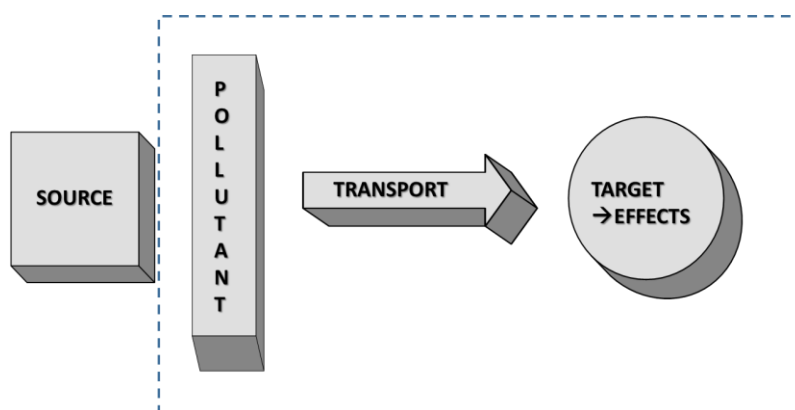
d.perniu@unitbv.ro, i.manciulea@unitbv.ro



1. TRANSPORT PLYNNÝCH POLUTANTŮ

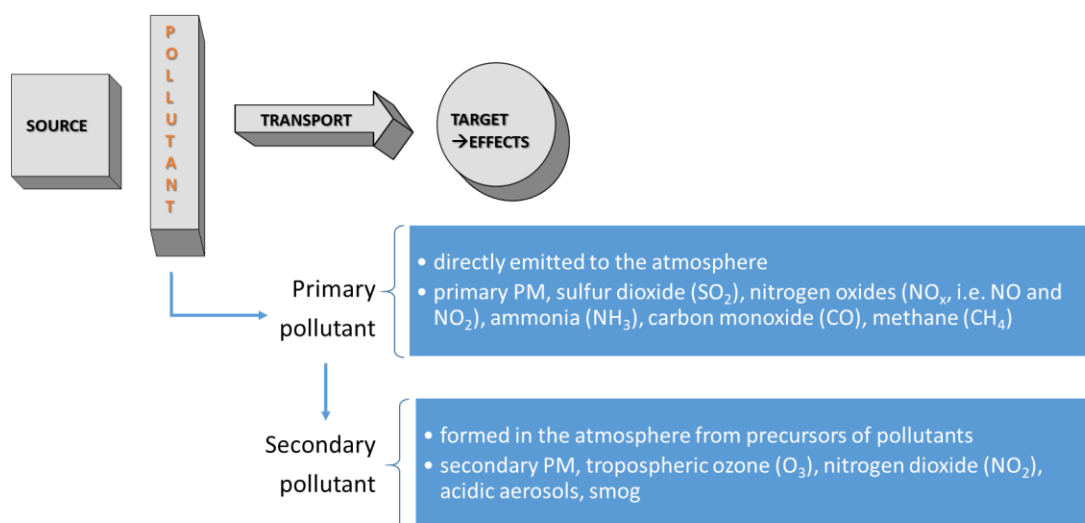
V ATMOSFÉŘE - OBECNÉ POZNÁMKY

Jak bylo prezentováno v předchozích částech, je k pochopení koncepce znečištění přístupováno integrovaným způsobem s ohledem na zdroj znečištění, uvolnění znečišťující látky (polutantu), její přepravu a účinky na lidské zdraví a na přírodní a zastavěné prostředí. Cílem této kapitoly je představit transport polutantů v životním prostředí, což je založeno na fyzikálních a chemických procesech, do nichž jsou zahrnuty vzdušné polutanty. Přímou v souvislosti s transportem stojíme před otázkou "odkud se polutanty berou?" To je vysvětlováno na základě analýzy účinků znečišťujících látek na lidské zdraví a na přírodní a/ nebo zastavěné prostředí.



Atmosférické polutanty mohou být přímo emitovány do atmosféry nebo vznikají jako výsledek reakcí mezi složkami atmosféry. Primární polutanty jsou přímo vypouštěny do atmosféry, jako například prachové částice, oxid siřičitý, amoniak, oxid uhelnatý, metan. Sekundární polutanty jsou tvořené chemickými reakcemi prekurzorů, které mohou být polutanty. Mezi sekundární polutanty patří: sekundární prachové částice, troposférický ozon, oxid dusičitý, kyselé aerosoly a smog.

V dokumentech Evropské unie jsou klíčovými polutanty v atmosféře ty, které vyvolávají nejvíce škodlivé účinky na lidské zdraví, a to jsou: prachové částice, oxid dusičitý, troposférický ozon. V následujících částech budou popsány tyto znečišťující látky společně s oxidem siřičitým jako hlavním polutantem v ovzduší.



Transport plynných polutantů v atmosféře je způsoben pohyby hmoty vzduchu. Atmosférické děje jsou fyzikální a chemické a oba typy mohou působit komplikovanými a vzájemně závislými způsoby. Fyzikální procesy transportu větrem a tvorba oblačnosti či srážek silně ovlivňují způsob a míru kyselé depozice, zatímco chemické reakce řídí formu vytvářených sloučenin.

Vzhledem ke stabilitě chemických forem mohou být tyto látky přepravovány na různé vzdálenosti od zdroje, což vytváří místní/regionální nebo globální znečištění. Přenos látky z ovzduší na povrchy (suchým nebo mokřým procesem), včetně půdy, vegetace, povrchové vody nebo vnitřních povrchů, se nazývá atmosférická depozice. Suchá depozice zahrnuje nevodné chemikálie, obvykle nepolární molekuly. Mokrú depozice je proces, který zahrnuje přenos znečišťujících látek na povrch Země deštěm, sněhem nebo mlhou. Pokud je atmosféra kontaminována kyselými polutanty (oxidy síry, sírany, oxidy dusíku, dusičnany, amonné sloučeniny), depozice se nazývá kyselá depozice a může být buď mokrú (určitý polutant může být rozpuštěný ve vodě v atmosféře a dochází k vysrážení kyseliny) nebo suchá (kyselé polutanty jsou adsorbovány na částice a usazeny v nevodné formě).

V atmosféře nastává obrovské množství chemických reakcí. Zde je několik příkladů:

- *fotochemické procesy*, což jsou chemické reakce vyvolané světelnou energií slunce; jako například reakce oxidů dusíku s uhlovodíky za přítomnosti slunečního světla za vzniku ozonu; významnými příklady sekundárních polutantů tvořených tímto typem reakcí jsou troposférický ozon, fotochemický smog;

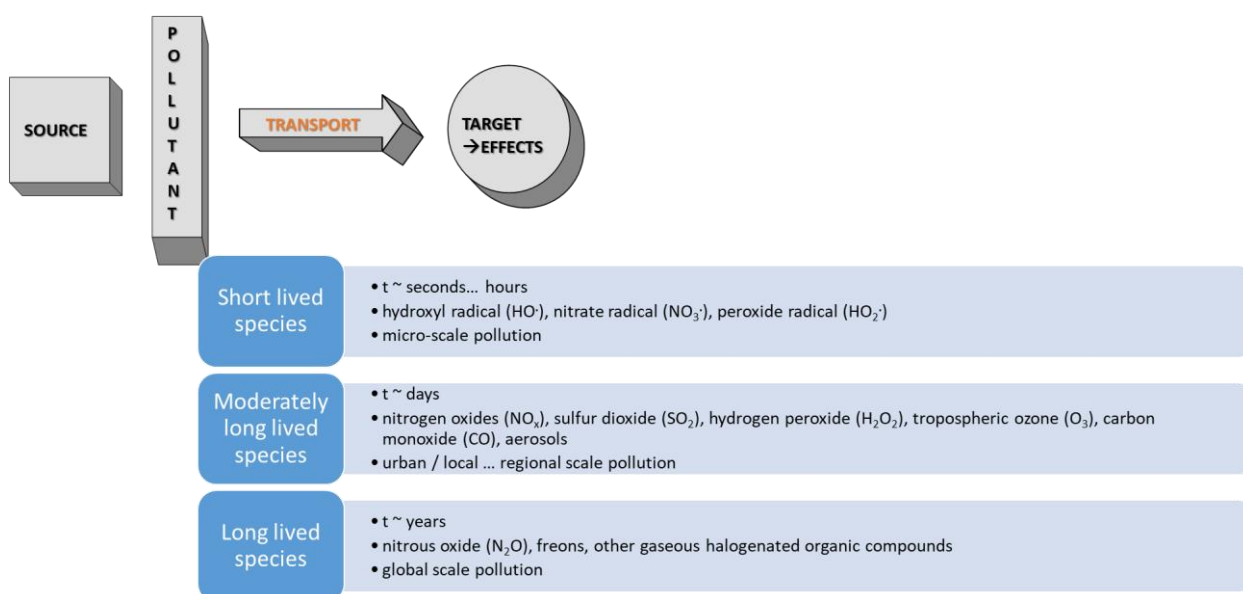
- *kyselé – zásadité reakce*, k nimž dochází v přítomnosti vody, mezi kyselými látkami (jako CO₂, SO₂, NO_x atd.) a zásaditými látkami (hlavně NH₃); významnými příklady jsou kyselé srážení, aerosoly síry;

- *redoxní reakce* se vyskytují mezi formami, které mají opačný charakter. Chemické formy, jako je O₂, peroxid vodíku, hydroxylový radikál, ozon působí jako oxidanty, oxid siřičitý, oxid dusnatý, oxid uhelnatý jsou/mohou být v atmosféře oxidovány za tvorby sekundárních polutantů.

V atmosféře dochází v přítomnosti slunečního záření k tvorbě agresivních molekul s vysokou reaktivitou a velmi krátkým poločasem v rozmezí sekund až několika hodin. Tyto formy způsobují znečištění na úrovni mikro prostředí a podílejí se na reakcích generujících sekundární polutanty. Například hydroxylový radikál, který se účastní četných chemických a fotochemických reakcí s organickými nebo anorganickými sloučeninami, se nazývá "detergent atmosféry".

Chemické formy se středně dlouhým poločasem, v rozmezí dnů, jsou primární nebo sekundární polutanty, způsobující znečištění na místní, městské nebo venkovské úrovni.

Nejstabilnější formy (s velmi nízkou reaktivitou), s dlouhou životností v průběhu let mohou být transportovány na dlouhé vzdálenosti na úrovni troposféry nebo ve vysoké nadmořské výšce a vytvářejí znečištění na celosvětové úrovni. Příkladem je oxid dusný a oxid křemičitý, které jsou skleníkovými plyny, které významným způsobem přispívají ke změně klimatu.



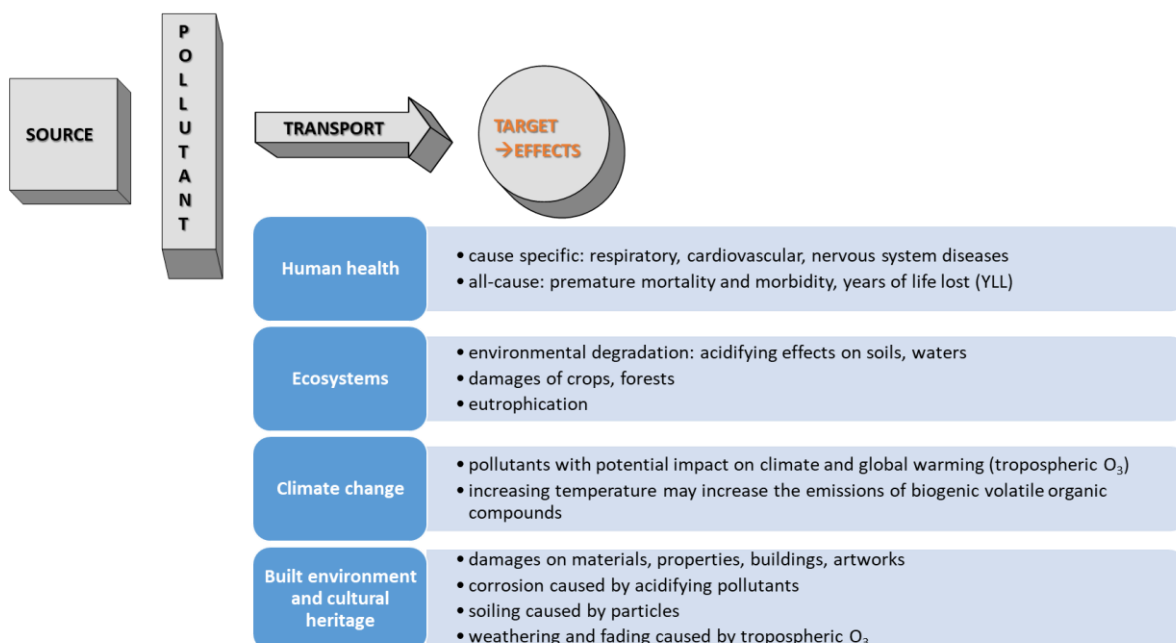
Polutanty ovzduší mohou dosáhnout různých cílů/receptorů. Obecně řečeno, znečištění ovzduší představuje velké riziko pro lidské zdraví, zejména pro respirační, kardiovaskulární onemocnění a také může ovlivnit funkce centrálního nervového systému. Expozice člověka je definována jako událost, kdy osoba přichází do styku s polutantem určité koncentrace

během určitého časového období. Expozice nastává, když lidé tráví svůj čas v znečištěném prostředí a závisí na úrovni znečištění ovzduší, na čase stráveném ve znečištěném prostředí a rovněž na fyzické aktivitě. Světová zdravotnická organizace se zmiňuje o následujících účincích:

- po **krátkodobé expozici** (v průběhu několika hodin nebo dnů) - spojeno s akutními účinky (jako jsou sípání, kašel, tvorba hlenu, respirační infekce, fyziologické změny funkce plic), mortalitou, hospitalizací pro respirační a kardiovaskulární onemocnění, návštěvami pohotovostních služeb, užíváním léčiv proti respiračním a kardiovaskulárním problémům, dny omezené aktivity, absencí v práci či škole;
- po **dlouhodobé expozici** (v průběhu měsíců nebo let) - spojeno s chronickým onemocněním, úmrtností v důsledku kardiovaskulárních a respiračních onemocnění, chronickými respiračními nemocemi, incidencí a prevalencí kardiovaskulárních onemocnění a chronických respiračních onemocnění jako je astma, chronické změny ve fyziologických funkcích, rakovina plic,.

Celkové hodnocení dopadu špatné kvality ovzduší na lidské zdraví je kvantifikováno pomocí ukazatelů, jako je úmrtnost, nemocnost, předčasné úmrtí, ztracené roky života.

Mortalita odráží snížení očekávané doby života v důsledku předčasných úmrtí následkem expozice znečištění ovzduší. *Morbidity* se týká výskytu onemocnění osob trpících chorobou a postižením, od subklinických účinků a příznaků, jako je kašel až po chronické stavy, které vyžadují hospitalizaci. *Očekávaná délka života* je počet let, které člověk může očekávat, že bude v průměru žít, a to na základě odhadu údajů o úmrtnosti obyvatelstva. *Předčasné úmrtí* jsou úmrtí, ke kterým dochází dříve, než osoba dosáhne očekávaného věku. Tento očekávaný věk je většinou očekávaná délka života pro určitou zemi nebo pohlaví. Předčasné úmrtí se považují za preventivní, jestliže jejich příčina může být odstraněna. *Počet ztracených let života* (*Years of life lost*, YLL) je definován jako počet let potenciální ztráty života v důsledku předčasného odchodu. Je to odhad průměrného počtu let, který by člověk žil, kdyby předčasně nezemřel.



Na úrovni členských zemí Evropské unie byl odhadnut dopad klíčových polutantů ovzduší PM_{2.5}, NO₂, O₃ pomocí specifických zdravotních ukazatelů - předčasných úmrtí a ztracených let života. U polutantů bylo v období 2013-2015 odhadováno procento městské populace exponované polutantům v koncentracích nad limity uložené Evropskou unií a Světovou zdravotnickou organizací. V následující tabulce je uveden odhad hodnot pro ztracené roky života na 100 000 osob v zemích EU (28 zemí) v období 2013-2015 v důsledku expozice polutantu. Údaje jsou shrnuty ve formě "Kvalita ovzduší v Evropě - zpráva z roku 2017". Zpráva uzavřela důkaz o přímém vztahu mezi ukazatelem a koncentrací polutantu ve vzduchu.

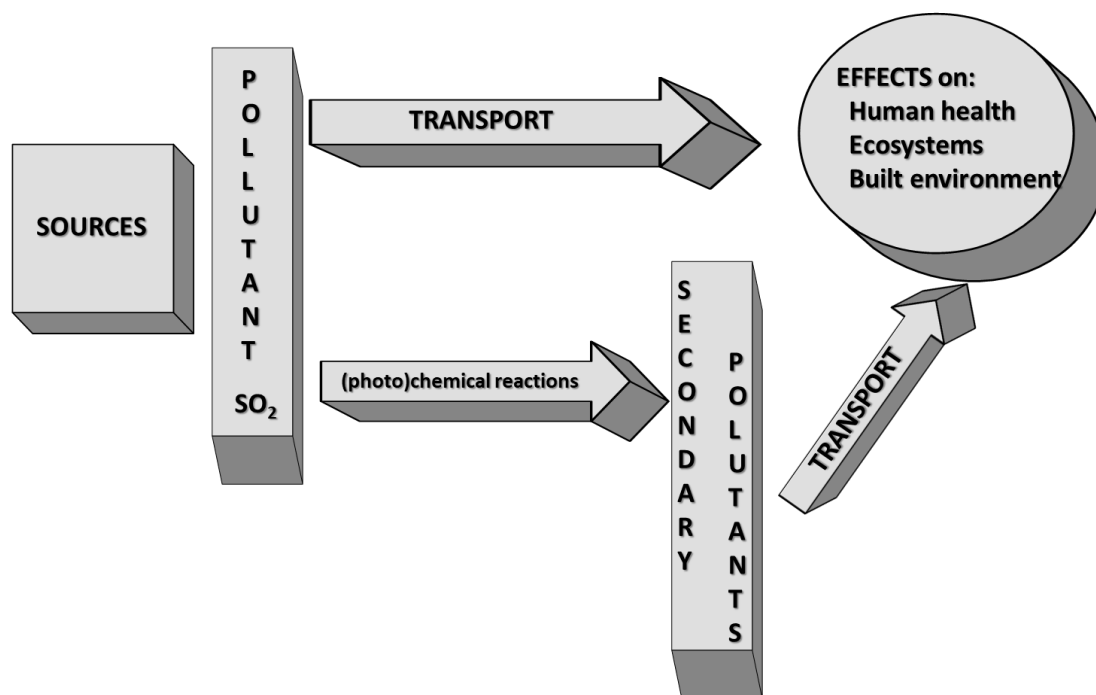
<p>Exposure to PM_{2.5} 2013 – 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • EU reference concentration: <ul style="list-style-type: none"> • 25 µg/m³ (year) • % urban population: <ul style="list-style-type: none"> • 7 – 8% 	<p>Exposure to PM_{2.5} 2013 – 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • WHO reference concentration: <ul style="list-style-type: none"> • 10 µg/m³ (year) • % urban population: <ul style="list-style-type: none"> • 82– 85% 	<p>Years of life lost – PM_{2.5} (2014)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 708 years of life lost / 100 00 inhabitants
<p>Exposure to NO₂ 2013 – 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • EU reference concentration: <ul style="list-style-type: none"> • 40 µg/m³ (year) • % urban population: <ul style="list-style-type: none"> • 7 – 9 % 	<p>Exposure to NO₂ 2013 – 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • WHO reference concentration: <ul style="list-style-type: none"> • 40 µg/m³ (year) • % urban population: <ul style="list-style-type: none"> • 7 – 9 % 	<p>Years of life lost – NO₂ (2014)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 486 years of life lost / 100 00 inhabitants
<p>Exposure to O₃ 2013 – 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • EU reference concentration: <ul style="list-style-type: none"> • 120 µg/m³ (8 - hour) • % urban population: <ul style="list-style-type: none"> • 7 – 30 % 	<p>Exposure to O₃ 2013 – 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • WHO reference concentration: <ul style="list-style-type: none"> • 100 µg/m³ (8 - hour) • % urban population: <ul style="list-style-type: none"> • 95 – 98 % 	<p>Years of life lost – O₃ (2014)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 29 years of life lost / 100 00 inhabitants

Dopad znečištění ovzduší na ekosystémy se projevuje degradací environmentálních faktorů kvality, jako je půda, acidifikace toků a jezer, poškození plodin, lesů nebo eutrofizace. Komponenty znečištěné atmosféry mají dopad na klimatické změny, které ovlivňují nárůst průměrné globální teploty. Znečištění ovzduší také ovlivňuje zastavěné prostředí, kulturní dědictví poškozením stavebních materiálů, korozí kovových materiálů, znečištěním povrchů, zvětráváním a/nebo vyblednutím.

1. OXID SIŘIČITÝ

Oxid siřičitý je primární polutant ovzduší, který je přímo vypouštěn zdroji znečištění. V atmosféře může být transportován hmotami vzduchu nebo se může účastnit fyzikálních,





chemických nebo fotooxidačních procesů, které vytvářejí sekundární polutanty se značným nepříznivým účinkem na lidské zdraví a přirozené či zastavěné prostředí.



1.1. Zdroje emisí SO₂

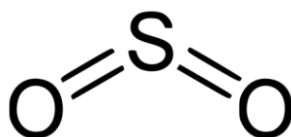
Oxid siřičitý může být emitován přírodními nebo antropogenními zdroji. Sopečnou erupcí, jako lokalizovaným zdrojem přírodního znečištění, se do atmosféry uvolní obrovské množství oxidu siřičitého. Například během erupce sopky Pinatubo na Filipínách, v červnu 1991 se do atmosféry dostalo 20 megatun oxidu siřičitého. Dalším přírodním zdrojem emisí oxidu siřičitého je biologický rozklad organických látek obsahujících síru z bílkovin. Produktem rozkladu je sirovodík, který je oxidován na oxid siřičitý. Z antropogenních zdrojů je nejdůležitější spalování fosilních paliv. Uhlí a ropa obsahují síru, která spalováním vytváří oxid siřičitý spolu s dalšími primárními a/nebo sekundárními polutanty. Procesy rafinace snižují obsah síry v benzínu, takže emise SO₂ v důsledku silniční dopravy nejsou příliš vysoké. Emise z oblasti mimo silniční dopravu přispívají více, neboť při lodní přepravě ropy (s vyšším obsahem síry) je po spálení vyšší uvolňování SO₂. Největším přispěvatelem emisí v důsledku spalování

fosilních paliv je spalování uhlí, protože tento zdroj energie má vysoký obsah síry. Je třeba si uvědomit, že se v posledních desetiletích emise SO₂ snižují, a to zejména v důsledku technologického rozvoje odstraňování síry z paliva a/nebo z výfukových plynů. Důležitým zdrojem oxidu siřičitého je odvětví neželezného tavení. V tomto případě způsob pražení sulfidových rud generuje oxid siřičitý.

volcanic eruption	<ul style="list-style-type: none"> Localized natural source e.g. Mt. Pinatubo, Philippines, June 1991 	
biogenic emissions	<ul style="list-style-type: none"> Oxidation of sulfur gases (e.g. H₂S) produced by decomposition of plants 	
	coal combustion	<ul style="list-style-type: none"> Depending on geographic area from which is mined, coal contains 1...9% S Coal burning for energy production is the major source for SO₂ atmospheric emissions
	oil combustion	<ul style="list-style-type: none"> Shipping burns residual fuel oil, thus non-road transportation like maritime transportation is source for SO₂ atmospheric emission
	non ferrous smelting industry	<ul style="list-style-type: none"> During conversion of Copper, Nickel, Zinc sulfide ores, large quantities of SO₂ are emitted in atmosphere

1.2. Vlastnosti SO₂

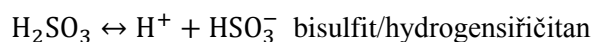
Oxid siřičitý je sloučenina v plynném stavu, bezbarvá, se specifickým zápachem. Má nepolární molekulu, která umožňuje suchou depozici. Je také rozpustná ve vodě, což umožňuje i mokrou depozici srážením. Reaguje s vodou, výsledkem je kyselina sírová, slabá kyselina vytvářející dva typy aniontů – bisulfit/hydrogensiřičitan a sulfit/siřičitan.

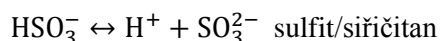


Ostrý, štiplavý zápach

SO₂ nepolární molekula → suchá depozice

Vysoce rozpustný v tucích → mokrá depozice





1.3. Limity atmosférických koncentrací SO₂

V neznečištěné atmosféře by měl být oxid siřičitý v koncentraci jedné objemové části na milion. V důsledku antropogenních emisí se jeho koncentrace zvýšila. Limity stanovené Směrnicí o

kvalitě ovzduší a požadavky stanovené Světovou zdravotnickou organizací jsou nastaveny s cílem chránit lidské zdraví.

Evropská norma kvality ovzduší (European Commission air quality standard, EU-AQD):

350 µg/m³ po dobu 1 hodiny

125 µg/m³ po dobu 24 hodin

Směrnice WHO pro kvalitu ovzduší (WHO Air Quality Guideline, WHO-AQG):

20 µg/m³ po dobu 24 hodin

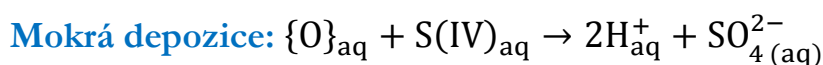
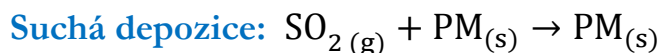
500 µg/m³ po dobu 10 minut

Podle zprávy o kvalitě ovzduší EU v roce 2015 30% všech stanic zaznamenalo koncentrace SO₂ nad denními limity WHO, a proto 38% městské populace v EU (28 zemí) bylo vystaveno hladinám SO₂ překračujícím úroveň ochrany zdraví. Je třeba uvést, že přesto byl zaznamenán výrazný pokles, protože v roce 2000 bylo 80% celkové populace EU vystaveno nadměrné koncentraci SO₂.

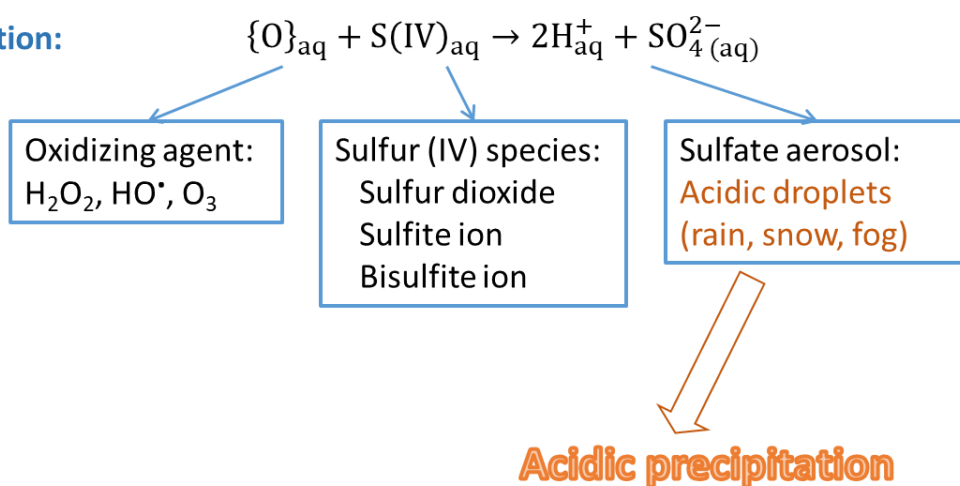
1.4. Atmosférický transport SO₂

Z atmosféry může být oxid siřičitý transportován suchou depozicí, adherováný na pevné částice. Za přítomnosti atmosférické vody a oxidačních molekul, jako je peroxid vodíku, hydroxylový radikál, ozon, čtyřmocná síra z oxidu siřičitého nebo siřičitanových aniontů, se oxiduje na šestimocnou síru, v síranových aniontech. Oxidační reakce probíhají po dobu několika hodin nebo dnů. Při oxidačních reakcích se také vytváří ion vodíku, takže reakčním produktem je kyselina sírová rozpuštěná v atmosférické vodě. Tak vznikají kyselé aerosoly, které se ukládají kyselou precipitací jako déšť, sníh, mlha apod. Je-li hodnota pH nižší než 5, mluvíme o kyselé precipitaci. V neznečištěné atmosféře má déšť pH hodnotu 5,6.

Kyselina prodělává acido-bazickou reakci s amoniakem, což vede k tvorbě soli síranu amonného. Nejprve se tvoří vodní kapky, pak se objevuje odpařování vody a vytvářejí se pevné částice síranu amonného. Dominující aerosoly oxidovaných sloučenin síry jsou často nazývány sulfátovými aerosoly.



Wet deposition:



Městská atmosféra může být znečištěna oxidem siřičitým a také částicemi, jako je popel nebo saze. Tyto znečišťující látky jsou emitovány zejména pokud se jako zdroj energie používá uhlí. Tento typ znečištění se nazývá průmyslový smog.

Slovo smog je tvořeno kombinací dvou anglických slov - kouř a mlha. Průmyslový smog se tvoří v průmyslových centrech, kde je energie vyráběna spalováním uhlí, obvykle v zimním období, za vlhkého a chladného počasí.

Průmyslový smog

Směs popílku, sazí a některých těžkých organických sloučenin (VOC)

SMOG = SMOKE + FOG (KOUŘ + MLHA)

Vzniká v průmyslových oblastech, většinou v zimě za vlhkého a chladného počasí

1.5. Účinky SO₂ na lidské zdraví

Expozice obyvatelstva oxidu siřičitému je pouze vdechováním. Nejzranitelnější skupinou vůči působení oxidu siřičitého jsou děti, starší lidé a ti, kteří již mají plicní onemocnění. Mezi nepříznivé účinky oxidu siřičitého na lidské zdraví patří podráždění očí, dýchací potíže, zvýšené riziko srdečního záchvatu.

Během první poloviny XX. století byly zaznamenány případy akutního znečištění způsobené průmyslovým smogem (například 1930 v Meuse Valley, 1939 Saint Louis, 1948 Donora atd.). Zejména je znám případ průmyslového smogu v Londýně (londýnský smog), v prosinci 1952, kdy bylo zaznamenáno 4000 úmrtí v důsledku respiračních a kardiovaskulárních onemocnění v důsledku expozice smogu, obsahujícího zejména oxid siřičitý a prachové částice.



Londýnský smog

1.6. Účinky SO₂ na ekosystémy

Po kontaktu s půdou nebo vodou (jezera a řeky) způsobuje oxid siřičitý jejich okyselení. To je škodlivé pro stromy a rostliny, tím, že jsou poškozeny listy a ovlivněn jejich růst. Rovněž přispívá ke ztrátě biologické rozmanitosti.



1.7. Účinky SO₂ na zastavěné prostředí

Oxid siřičitý má negativní dopad na zastavěné prostředí, poškození historických památek, kvůli reakcím uhličitanu vápenatého a uhličitanu hořečnatého s kyselými aerosoly. Kyselé aerosoly poškozují stavební materiály jako vápenec, dolomit, mramor běžných budov, ale také kulturních a historických památek.



2. Oxidy dusíku - NO_x

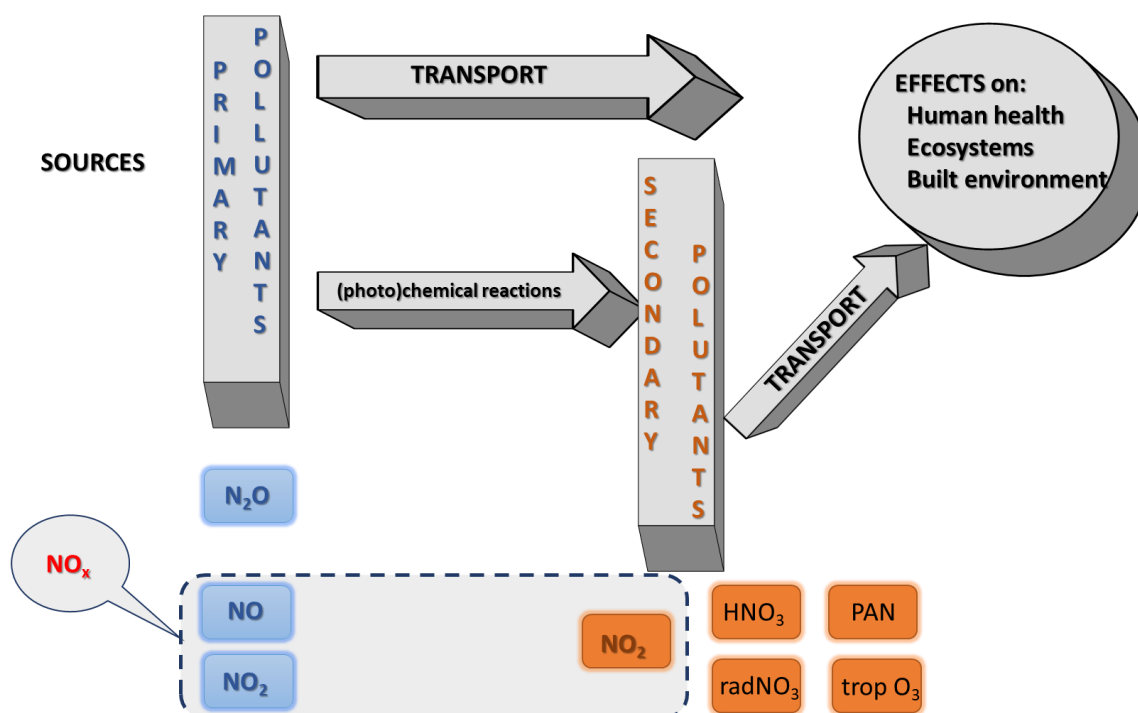
V atmosféře je přítomen značný počet dusíkatých sloučenin. Uvádíme oxidy jako:
- oxid dusný, známý jako "rajský plyn" (kvůli jeho euforickým účinkům při inhalaci, používá se

jako bezpečný lék a jako oxidační činidlo v pohonných hmotách pro rakety, při motorových závodech apod.), je primárním polutantem atmosféry;

- oxid dusnatý a oxid dusičitý, hlavní polutanty v atmosféře, společně označené jako NO_x.

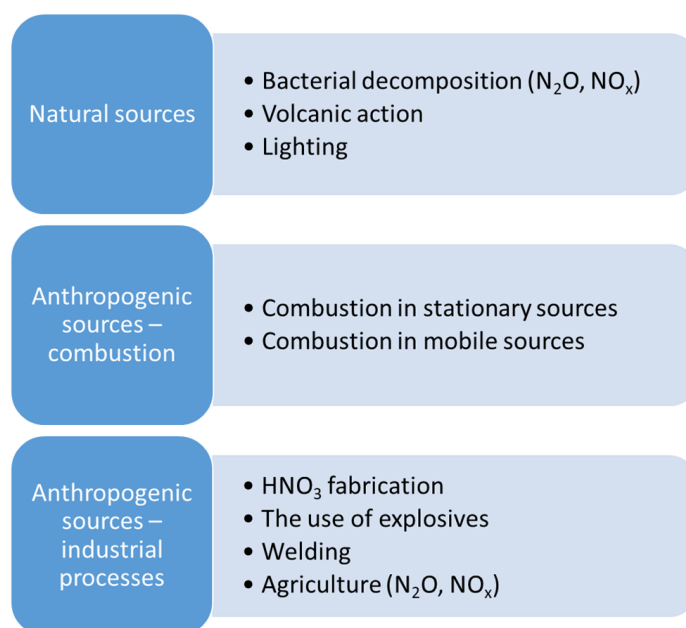
Oxid dusnatý uvolněný do atmosféry je prakticky rychle oxidován na oxid dusičitý. Proto je oxid dusnatý primární znečišťující látkou a oxid dusičitý je sekundární. Velmi malé množství oxidu dusičitého se přímo uvolňuje do atmosféry.

Oxidy dusíku se účastní chemických a fotochemických reakcí a vytvářejí sekundární polutanty, jako jsou kyselina dusičná, nitrátové radikály, peroxyacetylnitrát a troposférický ozon. Primární nebo sekundární polutanty obsahující dusík jsou známy tím, že mají škodlivé účinky na lidské zdraví, přirozené nebo zastavěné prostředí.



2.1. Zdroje NO_x emisí

Přírodní zdroje emisí oxidů dusíku významně přispívají k jejich přítomnosti v troposféře. Výsledkem přirozených dějů je koncentrace pozadí oxidu dusičitého 0,02 ppmv. Biochemický rozklad organických látek je jedním z přírodních zdrojů tvorby oxidů dusíku (jako N₂O, NO_x). Výbuch sopky a blesk během bouřky uvolňují oxidy dusíku do troposféry. Mezi antropogenními zdroji, důležitý příspěvek tvoří výroba energie spalování fosilních paliv, jak v stacionárních, tak v mobilních zdrojích. Průmyslové procesy, jako je výroba kyseliny dusičné, používání výbušnin, svařování, jsou také zdroji emisí oxidů dusíku. Musí být zmíněno i zemědělství, protože používání syntetických hnojiv na bázi dusíku uvolňuje během denitrifikace významné množství dusíku do troposféry.



Oficiální dokumenty vydané Evropskou unií a Světovou zdravotnickou organizací ukládají limity pro atmosférickou koncentraci oxidu dusičitého ve výši 40µg/m³ jako roční průměr a 200µg/m³ jako hodinový průměr.

2.2. Vlastnosti NO₂

Mezi oxidy dusíku je nejagresivnějším polutantem oxid dusičitý. Při teplotě pod $-11,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ je to bezbarvá pevná látka, tvořená dimerovými molekulami. V teplotním rozmezí $-11,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ je to žlutohnědá kapalina a nad $21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ červenohnědá kapalina. Jak v kapalně, tak v plynné formě, má strukturu radikálu, díky nepárovému elektronu v atomu dusíku. To dává oxidu dusičitému vysokou reaktivitu.

Oxid dusičitý má charakteristický, štiplavý zápach, jeho přítomnost ve vysoké koncentraci může být pozorována v atmosféře kvůli snížené viditelnosti jako červenohnědý zákal.

S atmosférickou vodou vytváří směs kyseliny dusičné a dusité, která může být neutralizována amoniakem, pokud je přítomen.

Oxid dusičitý má oxidační vlastnosti, může reagovat s hydroxylovou skupinou a vytvářet kyselé formy.

Je prekurzorem troposférického ozonu a hraje důležitou roli při tvorbě fotochemického smogu.

teplota ($^{\circ}\text{C}$) $-11,2^{\circ}\text{C}$	$-11,2^{\circ}\text{C}$ $21,2^{\circ}\text{C}$	$21,2^{\circ}\text{C}$
stav	pevný	kapalný	plynný
forma	Tetraoxid dusíku N_2O_4 (dimer)	Oxid dusičitý $\cdot\text{NO}_2$ (volný radikál)	Oxid dusičitý $\cdot\text{NO}_2$ (volný radikál)
barva	bezbarvý	žlutohnědý	červenohnědý

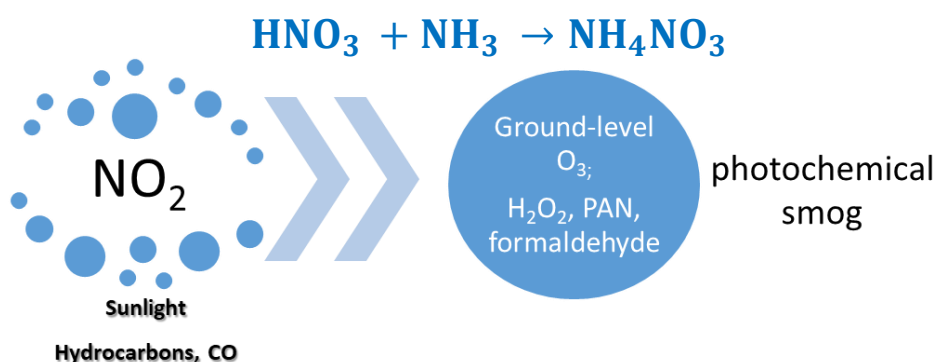
- Charakteristický štiplavý zápach
- Absorbuje viditelné sluneční záření → přispívá ke snížení atmosférické viditelnosti
- Reaguje s vodou → kyselina dusičná + kyselina dusitá
- V přítomnosti amoniaku → dusičnan amonný
- Regulátor oxidační kapacity troposféry → reaguje s hydroxylovými radikály
- Hraje důležitou roli v tvorbě ozonu → fotochemický smog

2.3. NO_2 – Klíčový prekurzor celé řady sekundárních polutantů

V důsledku své reaktivity je oxid dusičitý zodpovědný nejméně za dva hlavní problémy znečištění ovzduší:

- kyselý aerosol
- fotochemický smog

Fotochemický smog vzniká při slunečním záření v oblastech s intenzivním silničním provozem a průmyslovou činností. Fotochemické prekurzory smogu jsou oxid dusičitý, těkavé organické sloučeniny, uhlovodíky, které pod vlivem slunečního záření prodělávají celou řadu fotochemických reakcí za vzniku sekundárních polutantů, jako je troposférický ozon, peroxyacetylnitrát, formaldehyd. Fotochemický smog je tedy složitou kombinací polutantů, vznikl jako žluto-hnědý opar v horkých slunečných dnech, kdy je silný dopravní provoz (je také známý jako “losangeleský smog”).



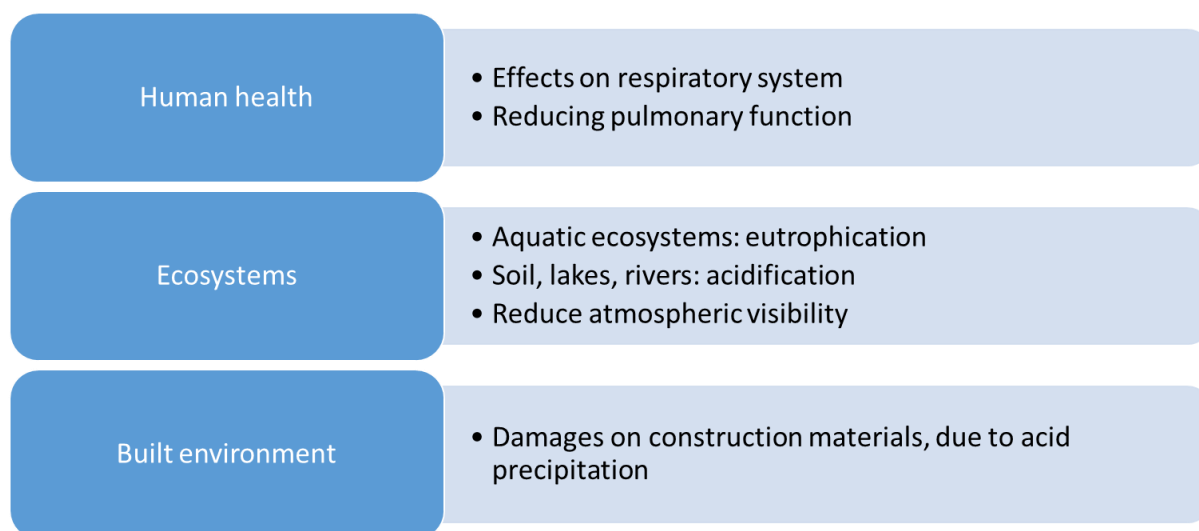
2.4. ÚČINKY NO₂

Pokud je populace exponována oxidu dusičitému inhalační cestou, vzniká řada nepříznivých účinků na lidské zdraví, a to snížení respiračních a plicních funkcí.

Pokud se ukládá z atmosféry, přispívá oxid dusičitý, ale také oxid dusný, k nerovnováze živin dusíku ve vodních ekosystémech, což vede k eutrofizaci.

Po uložení v půdě a/nebo v povrchové vodě oxidy dusíku navozují acidifikaci. Při kontaktu se součástmi zastavěného prostředí, plynné polutanty na bázi dusíku vedou rovněž k poškození, a to kvůli kyselosti.

Je důležité zmínit, že oxid dusný nemá žádné přímé nepříznivé účinky na lidské zdraví, ale je to skleníkový plyn a přispívá ke změně klimatu



N_2O is a green-house gas, contributing to climate change

3. HLADINA PŘÍZEMNÍHO OZONU

3.1. Ozon v atmosféře

V atmosféře Země je ozón přirozeně přítomen ve stratosféře, asi ve 25 kilometrech nadmořské výšky. Je tvořen fotooxidací bimolekulárního kyslíku pod vlivem UV slunečního záření. Proto je stratosférický ozón pro Zemi užitečný, protože absorbuje škodlivé UV sluneční záření.

V *troposféře* je přízemní ozon plynný s nepříznivými účinky na lidské zdraví a přirozené a

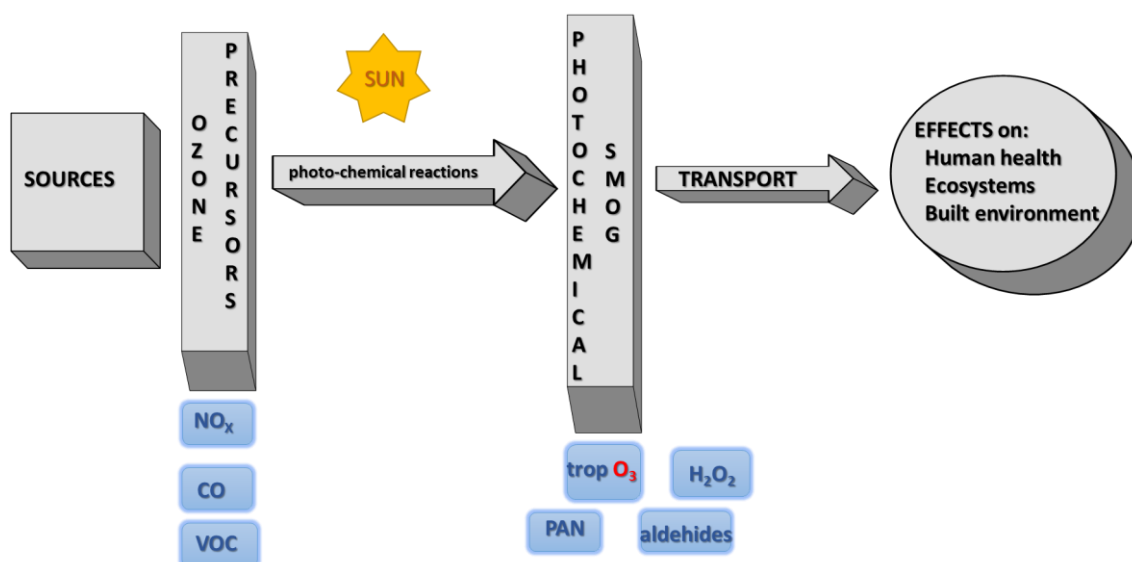
zastavěné prostředí. Je nejznámější toxický polutant ze skupiny oxidantů. Troposférický ozon je sekundární polutant, který není přímo emitován zdrojem:

- *stratosféra*
 - ozonová vrstva
 - (+) absorbuje škodlivé UV sluneční záření
- *troposféra*
 - přízemní ozon (troposférický ozon)
 - (-) nebezpečný polutant

Na základě použití modelu znečištění lze vysvětlit, že troposférický ozon je sekundární znečišťující látka. Prekurzory ozonu, znečišťující látky emitované jejich specifickými zdroji a při přítomnosti slunečního záření, vytvářejí *fotochemický smog*. Na místní úrovni má nepříznivé účinky na lidské zdraví, na přírodní a zastavěné prostředí. Fotochemický smog je definován jako kombinace mlhy a chemikálií, které jsou výsledkem silniční dopravy a průmyslových zdrojů, které reagují v přítomnosti slunečního záření.

Při fotochemickém smogu vytváří oxid dusičitý v přítomnosti slunečního záření a některých uhlovodíků (zejména těkavých organických sloučenin) oxid dusnatý a atomární kyslík.

Atomární kyslík reaguje s jinými polutanty uvolňovanými automobily, jako je oxid uhelnatý a tvoří celou řadu produktů, mezi nimiž je ozon. Je třeba také zmínit peroxid vodíku, organické sloučeniny jako peroxyacetylnitráty, aldehydy, jako např. formaldehyd.



3.2. Přízemní ozon: zdroje prekurzorů

Zdroje tvorby prekurzorů troposférického ozonu mohou být přirozené (rostliny, které emitují látky ze skupiny terpenů) nebo antropogenní (např. městská doprava, ale také některé specifické činnosti v zemědělství).

Přirozené zdroje

- Biogenní emise prekurzorů
- např. těkavé organické sloučeniny pocházející z vegetace

Antropogenní zdroje

- Fotochemické reakce prekurzorů emitovaných vlastními zdroji
- např. městská doprava, zemědělství

3.3. Hladina přízemního ozonu: vlastnosti

Ozon je triatomická forma kyslíku, je to nestabilní plyn, bezbarvý, s ostrým zápachem, vysoce reaktivní a je silným oxidačním činidlem.

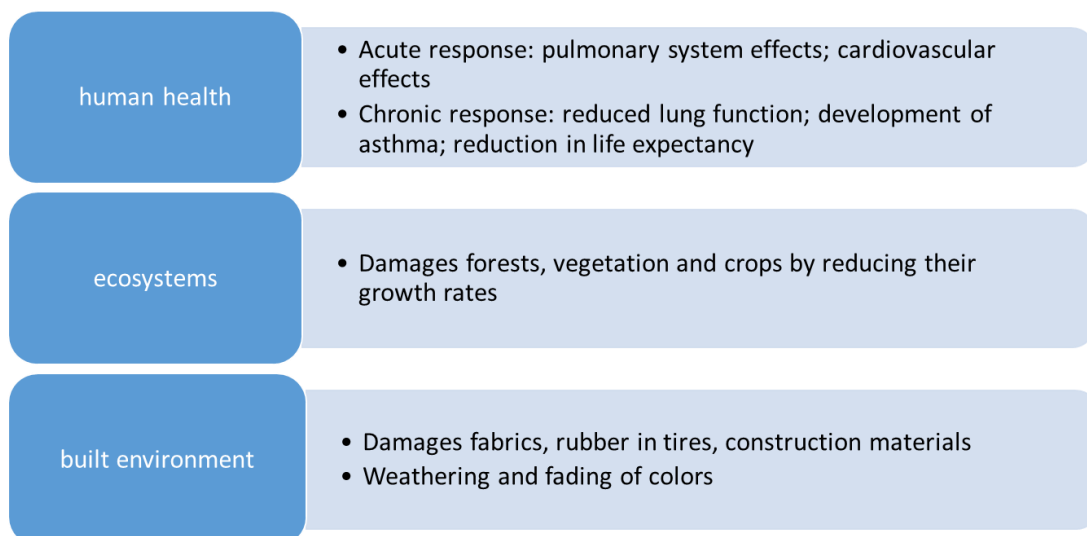
Limitní koncentrace pro ochranu lidského zdraví byla stanovena jako 100 mikrogramů na krychlový metr jako průměr za 8 hodin.

3.4. Hladina přízemního ozonu: účinky

K významným účinkům na lidské zdraví v důsledku expozice atmosféře znečištěné ozonem patří akutní účinky na respirační a kardiovaskulární systém. Při chronickém působení dochází ke snížení funkce plic, rozvoji astmatu, snížení délky života.

Rovněž jsou negativně ovlivněny ekosystémy poškozením vegetace a snížením rychlosti růstu. Přízemní ozon se považuje za škodlivější pro vegetaci a plodiny ve srovnání s jinými polutanty. Přítomnost troposférického ozonu vede k degradaci vláken, pryže, stavebních materiálů. Rovněž zodpovídá za vyblednutí povrchů a stavebních materiálů.

Troposférický ozón je skleníkový plyn, který přispívá ke změně klimatu.



Ground-level ozone is a green-house gas, contributing to climate change

4. PEVNÉ ČÁSTICE

Atmosféra, ať už přirozeně nebo v důsledku antropogenní činnosti, je charakterizována přítomností částic z přírodních i umělých zdrojů s rozměry mezi 0,5 mm pro prachové částice, písek nebo mlhu a molekulárními rozměry pro částice pocházející z antropogenních aktivit.

4.1. Symboly pro pevné částice

Pevné částice (particulate matter, symbol PM) definujeme jako směs pevných a/nebo kapalných částic dispergovaných ve vzduchu. Částice se skládají ze směsi jemných pevných a kapalných částic suspendovaných ve vzduchu. Při hodnocení vlivů částic na životní prostředí a lidské zdraví je nejdůležitější otázkou jejich dimenze.

$PM_{\text{aerodynamický průměr}}$

Ke zkratce PM je přidružen dolní index, což je číslo označující velikostní frakci nebo aerodynamický průměr. Na základě této charakteristiky jsou částice zařazeny do následujících frakcí:

Celkové suspendované částice (poněkud starší název), která označuje všechny částice o rozměrech pod 100 mikrometrů; tyto částice mohou být viděny pouhým okem, protože je známo, že limit viditelnosti je okolo 50 mikrometrů;

Frakce *hrubé částice* obsahuje částice s průměrem mezi 2,5 a 10 mikrometry,
 frakce *jemných částic* obsahuje jemné částice o průměru až 2,5 mikrometru,
 frakce *ultrajemných částic* nebo nanočástic s průměrem pod 0,1 mikrometru.

Všechny částice o rozměrech pod 10 mikrometrů nelze vidět pouhým okem, jsou viditelné mikroskopy.

K popisu pevných částic, nebo jednoduše částic, se používají termíny jako: aerosoly, definované systémem pevných látek a kapaliny dispergovaných ve vzduchu;

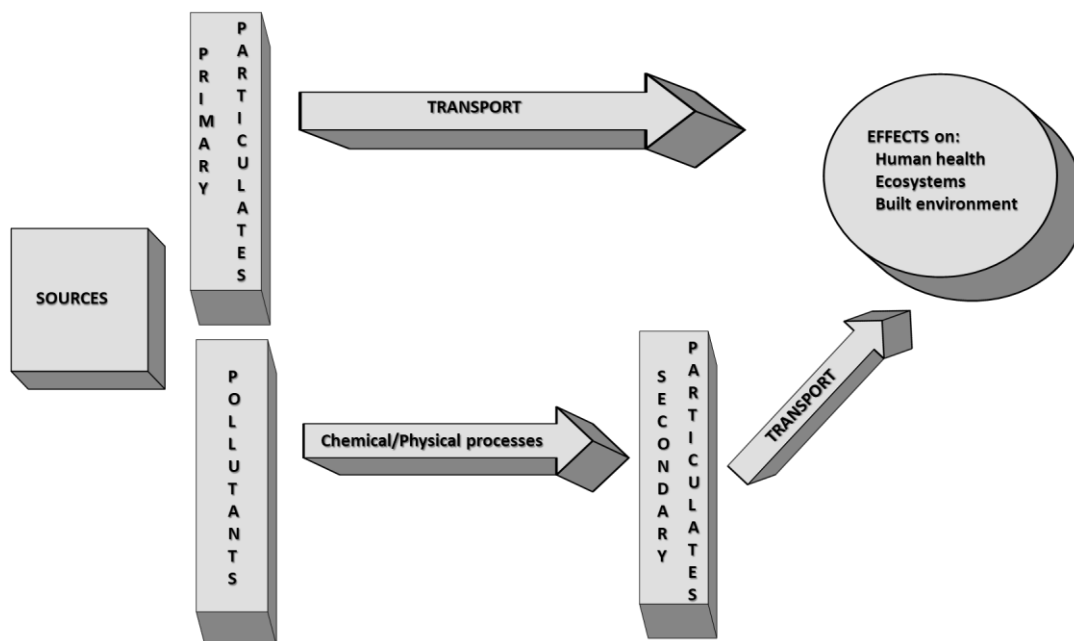
Prach, saze - pro tuhé částice rozptýlené ve vzduchu.

Mlha, mlha - pro kapalné částice rozptýlené ve vzduchu.

Frakce	Rozsah aerodynamického průměr	Symbol	Poznámky
celkové suspendované částice	$\leq 100\mu m$	TSP	Viditelné pouhým okem
Hrubé částice	$d \leq 10\mu m$ $2.5\mu m \leq d \leq 10\mu m$	PM ₁₀ PM _{2.5-10}	Mohou být detekovány mikroskopem
Jemné částice	$d < 2.5\mu m$	PM _{2.5} PM ₁	
Ultrajemné částice	$d < 0.1\mu m$	UFP	

Co se týká emisí částic rozlišujeme *primární částice*, emitované přímo a *sekundární částice*, které vznikají v atmosféře v důsledku fyzikálních a chemických dějů mezi plynnými polutanty, jako je oxid siřičitý, oxidy dusíku, které jsou uvolňovány z určitých zdrojů.

Jakmile vstoupí do atmosféry, částice jsou transportovány vzduchem nebo se usazují. V závislosti na jejich rozměrech dochází ke kolísání jejich poločasu a následně transportní vzdálenosti. Složení částic, v závislosti na zdroji emisí, určuje jejich rozměr, transport a také jejich vliv na lidské zdraví, přírodní a/nebo zastavěné prostředí.



4.2. Zdroje emisí PM

Částice jsou emitovány obrovským množstvím zdrojů, jak přírodních, tak antropogenních. Přirozeně se vyskytují částice v důsledku eroze půdy, prachu přenášeného pomocí hmoty vzduchu. Mořské aerosoly, dobře známé jako mořské spreje, jsou bohaté na soli a organické látky.

Částice mají rovněž biologický původ, např. pyl, plísně.

Významné množství částic je vypuštěno do atmosféry během vulkanické erupce. Nejdůležitějším zdrojem emisí pevných částic je spalování fosilních paliv, jako je uhlí, ropa, ropné produkty nebo biomasa. Z průmyslových zdrojů je nutné zmínit stavební odvětví, těžbu, výrobu a zpracování cementu, výrobu keramických materiálů, metalurgický průmysl. Důležitým zdrojem částic je silniční eroze způsobená dopravou a v neposlední řadě i činnosti v zemědělství.

Prekurzory sekundárních částic jsou plynné polutanty v atmosféře, jako jsou oxid siřičitý, oxidy

dusíku, amoniak, které vytvářejí látky s nízkou těkavostí, jako je kyselina sírová, síran amonný, dusičnan amonný, které kondenzují a srážejí vznikající aerosoly. Transportují se jako anorganické částice nebo se ukládají vázané na uhlíkaté částice.

Plynné polutanty mohou být organické, uvolněné přírodními zdroji, (např. jako jsou terpeny) nebo antropogenními zdroji, (např. jako jsou polycyklické aromatické uhlovodíky). Oxidačními reakcemi se mohou vytvářet sekundární organické aerosoly (SOA). Ve srovnání s primárními částicemi jsou chemické děje spojené s tvorbou sekundárních částic poměrně pomalé a jejich perzistence v atmosféře je prodloužena.

Přírodní zdroje

- Půda a prach nesený větrem
- Tvorba mořského aerosolu (mořský sprej)
- Pyl, spóry plísní, rostlinné části
- Sopečný popel

Antropogenní emise primárních PM

- Spalování fosilních paliv (uhlí, olej, benzin, biomasa)
- Stavebnictví
- Výstavba, těžba, výroba cementu, keramiky
- Metalurgie
- Nezpevněné silnice, eroze dlažby silniční dopravou

Sekundární tvorba PM

- Vznik ve vzduchu reakcemi plynných polutantů → látky s nízkou těkavostí, které kondenzují do pevné/kapalné fáze → PM
- Zdroje primárních plynných anorganických polutantů (SO₂, NO_x) nebo organických sloučenin (přírodně emitované – monoterpeny nebo vznikající antropogenní činností – aromatické uhlovodíky)

4.3. Složení PM

Vzhledem k mechanismu tvorby mají částice rozdílné složení a v důsledku toho různé rozměry. Jemné částice obvykle obsahují anorganickou hmotu, vodu a jádro elementárního uhlíku, polycyklické aromatické uhlovodíky, sekundární organické aerosoly a také biologické

organické látky. Obvykle tyto částice obsahují aerosoly sazí nebo sulfátů/ dusičnanů a jejich charakter je převážně kyselý.

Hrubé částice obsahují především prach, popel, oxidy kovů, chlorid sodný z mořských aerosolů, biologické složky. Obecně řečeno, tyto částice obsahují hlavně saze nebo anorganické sloučeniny podobné těm, které jsou v půdě, a proto mají převážně zásaditý charakter.

PM_{2,5}

- Anorganické formy:
 - Anionty: sulfáty, nitráty, chloridy
 - Kationty: amoniak, vodík, sodík, draslík, vápník, hořčík
 - Přechodné kovy (kadmium, měď, nikl, zinek)
- Částice vázající vodu
- Organický uhlík, elementární uhlík (elemental carbon, EC)
- Polycyklické aromatické uhlovodíky
- Sekundární organické aerosoly
- Biogenní organické látky
- Převážně: saze nebo aerosoly sulfátů/nitrátů
- Obvykle kyselé (nezneutralizované kyseliny)

PM₁₀

- Re-suspendovaný prach, prach z půdy, ulice
- Popílek z uhlí nebo oleje
- Oxidy Si, Al, Mg, Fe; CaCO₃; NaCl
- Mořská sůl
- Biologické komponenty: pyl, spóry plísní
- Převážně: saze nebo anorganické – jako půda

4.4. Transport PM

Transport pevných částic pohybem hmoty vzduchu závisí na rozměru částic. Jemné a ultrajemné částice mají poměrně dlouhý poločas v atmosféře, jsou přepravovány na dlouhé vzdálenosti, stovky kilometrů, takže jejich vliv je vnímán na regionální úrovni.

Hrubé částice mají nižší poločas v atmosféře v rozmezí minut až několika hodin, a proto mají vyšší sedimentaci. Jejich transport vzduchem se uskutečňuje na krátkých vzdálenostech pod 10 kilometrů, takže vliv se projevuje na místní úrovni.

Jemné a ultrajemné PM	Hrubé PM
Poločas: dny a týdny	Poločas: minuty až hodiny
100 – 1000 km transportní vzdálenost	1 – 10 km transportní vzdálenost
Ovlivňují regionální a širší oblasti	Ovlivňují v místním měřítku

4.5. Limity PM v ovzduší k ochraně lidského zdraví

Atmosférické koncentrace stanovené Směrnicí o kvalitě ovzduší na úrovni Evropské unie (Air Quality Directive at European Union level) činí 25 mikrogramů na krychlový metr, jako roční průměr u částic s aerodynamickým průměrem do 2,5 mikrometrů. U částic s aerodynamickým průměrem do 10 mikrometrů jsou limity 40 mikrogramů na metr krychlových ročně a 50 mikrogramů na metr krychlový, roční průměr.

Limity navrhované Světovou zdravotnickou organizací jsou přísnější, hodnoty jsou nižší než hodnoty doporučené Evropskou unií.

	PM _{2,5}	PM ₁₀
Limit EU (AQD):	25µg/m ³ - rok	40µg/m ³ - rok 50µg/m ³ - 24 hodin
Limit WHO (WGO guidelines):	10µg/m ³ - rok	20µg/m ³ - rok 20µg/m ³ - 24 hodin

4.6. Účinky PM na lidské zdraví

Účinky částic na lidské zdraví závisí na jejich rozměrech.

I v Evropě se emise tuhých znečišťujících látek v období 2000-2015 snížily, stále je však významné procento obyvatel vystavené částicím (PM₁₀, PM_{2,5}) v koncentracích překračujících limity stanovené EU nebo doporučené Světovou zdravotnickou organizací.

Při inhalaci hrubé částice (“hrudní částice”) pronikají do dýchacího systému a filtrují se v nose a krku. Jemné částice (respirabilní částice) pronikají hluboko do plic, do alveol a bronchiolů.

V případě hrubých částic, které mají vyšší sedimentaci, je dlouhodobá expozice vdechováním snížena, ale krátkodobá expozice způsobuje onemocnění dýchacích cest. Existuje velký počet studií, které dokládají skutečnost, že jemné částice jsou odpovědné za onemocnění dýchacích cest, kardiovaskulárního systému a rovněž za změny na úrovni centrálního nervového systému.

PM_{2,5}

EU (28zemí) expozice populace PM_{2,5} hodnoty (2015):

nad EU limit (25µg/m³-rok): 7%

nad WHO limit (10µg/m³ – rok): 82%

- Respirabilní částice: obvykle cestují do plic, do hlubších partií (alveoly a koncové bronchioly) a mohou být absorbovány buňkami
- Onemocnění dýchacího a kardiovaskulárního systému (zhoršení astmatu, respirační příznaky)
- Úmrtnost na kardiovaskulární a respirační onemocnění, rakovinu plic
- Důsledně se podílejí na nežádoucích neurologických procesech, souvisejících s onemocněními centrálního nervového systému

PM₁₀

EU (28zemí) expozice populace PM₁₀ hodnoty (2015):

nad EU limit (50µg/m³-den): 20%

nad WHO limit (20µg/m³ – rok): 62%

- Inhalovatelné částice, hrudní částice: při vdechování jsou účinně filtrovány nosem a hrdlem
- Pronikají pouze do dolních cest dýchacích
- Rychle se usazují - dlouhodobá expozice lidí vdechováním je nízká
- Krátkodobá expozice: účinky na respirační zdraví

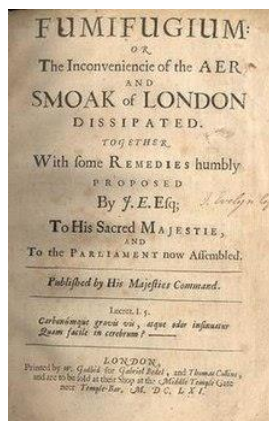
4.7. Účinky PM na životní prostředí

Nežádoucí účinky kouře uvolňovaného spalováním uhlí byly zmiňovány již od 13. století. Během staletí bylo zaznamenáno velké množství epizod znečištění způsobených pevnými částicemi. S technologickým vývojem mají částice vypouštěné do atmosféry komplikovanější složení, proto se jejich účinek projevuje různorodějšími způsoby.

Přítomnost částic v atmosféře je vnímána sníženou viditelností.

Vzhledem k jejich rozměru a složení podléhají částice suché nebo mokré depozici, proto se objevují změny v půdě nebo povrchové vodě.

Kouř z hoření uhlí je známý ve Velké Británii od 13. století



Silně snižená viditelnost



Po depozici (mokrě/suché) – okyselení půdy/povrchových vod

Změna balance živin v povrchových vodách

Vyčerpání živin v půdě



4.8. Účinky PM na zastavěné prostředí

Přítomnost částic v atmosféře vede k poškození stavebních materiálů, degradaci objektů a dokonce i historických památek. Povrchové znečištění, koroze kovových materiálů jsou jen z mála příkladů škod způsobených pevnými částicemi na zastavěné prostředí.

Škody na stavebních materiálech včetně kulturně důležitých objektů degradací a znečištěním.

Škody spojené s kyselým deštěm - zvětrávání, koroze



5. REFERENCES

- <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>
- http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf
- <https://www.eea.europa.eu/help/glossary>
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Fumifugium>
- <https://ca.news.yahoo.com/mystery-of-1952-great-smog-which-killed-12000-londoners-has-been-solved-093408147.html>
- <https://www.thetimes.co.uk/article/most-children-in-britain-are-exposed-to-illegal-air-pollution-levels-d3l5rqlms>
- <https://www.theguardian.com/commentisfree/2017/may/06/observer-view-on-curbing-air-pollution-diesel-car-scrappage-health>
- <https://www.greenoptimistic.com/top-10-polluted-places-blacksmith-institute-20131107/#.WkOb8t-WZPY>
- <https://saferenvironment.wordpress.com/2008/09/05/coal-fired-power-plants-and-pollution/>
- <http://www.cruiselawnews.com/2016/12/articles/pollution-1/deliberate-dumping-coverup-and-lies-doj-fines-princess-cruises-40000000/>
- <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
- http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf
- <http://www.history.com/news/the-killer-fog-that-blanketed-london-60-years-ago>
- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:-_Acid_rain_damaged_gargoyle_.jpg

http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf

<https://ca.news.yahoo.com/mystery-of-1952-great-smog-which-killed-12000-londoners-has-been-solved-093408147.html>

<https://www.theguardian.com/commentisfree/2017/may/06/observer-view-on-curbing-air-pollution-diesel-car-scrappage-health>



**VNIVERSIDAD
DE SALAMANCA**

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



South-Eastern Finland
University of Applied Sciences

U. PORTO



**Universitatea
TRANSILVANIA
din Braşov**



**UNIVERZITA
KARLOVA**



ИКНТ

<https://toxoeer.com>

Project coordinator: Ana I. Morales
Headquarters office in Salamanca.
Dept. Building, Campus Miguel de Unamuno, 37007.
Contact Phone: +34 663 056 665