

# Znečištění ovzduší

## Fyziologické potřeby člověka

Dospělý člověk spotřebuje denně kolem **15 kg vzduchu**, z nichž se při klidném dýchání asi **1/2 kg kyslíku** vstřebává do krve a je metabolizováno v těle.

Ve srovnání s **denní spotřebou** přibližně **1,5 kg potravin** a asi **2 l vody** k pitným účelům je to značné množství. Člověk je až na výjimečné případy vždy odkázán na ovzduší, ve kterém se bezprostředně nachází bez možnosti jakéhokoliv výběru. *Zjednodušeně lze říci, že člověk může být 5 týdnů bez potravy, 5 dnů bez vody, ale jen 5 minut bez vzduchu.*

Dýchací systém je branou, jíž do organismu vstupují nejen **plyny** tvořící normální ovzduší, ale i **plynné imise**, které se dostanou do ovzduší jako znečišťující látky škodlivé až toxické pro organismus.

Do organismu se dostávají **tuhé imise** (prach, popílek, saze) a **mikroorganismy** (baktérie, viry, spory plísňí apod.). Při tom mají velký význam také fyzikální vlastnosti ovzduší (teplota, vlhkost, ionizace, **barometrický tlak** aj.). Vedle plyných elementů obsahuje vzduch vodní páry, jejichž obsah kolísá od 2 do 3 objemových procent.

## Plynné složky ovzduší

**Kyslík.** Při normálním tlaku vzduchu se nedostatek kyslíku začíná projevovat zřetelnými obtížemi až tehdy, když koncentrace kyslíku klesne na **10-12 objemových procent**. Bezvědomí, které obvykle bez pomoci končí smrtí v důsledku ochrnutí dýchacího centra, nastává přibližně při koncentraci kyslíku odpovídající asi 7 %.

**Oxid uhličitý** se z hlediska působení na člověka začíná projevovat až při koncentraci kolem 2 % snížením pozornosti a snížením schopnosti rozhodovat se,

- při koncentraci kolem 4-6 % se objevuje prohloubení dýchání, bolesti hlavy, apatie
- okolo 10 % koncentrace CO<sub>2</sub> dochází ke smrti.

Oxid uhličitý se používá také jako indikátor znečištění atmosféry místností pobytem člověka. Hraniční hodnota se pohybuje mezi 0,07 až 0,15 %. **Dusík** za normálního tlaku prakticky nemá fyziologický význam, při vyšším tlaku je, jak známo, příčinou tzv. kesonové nemoci, která vzniká tehdy, jestliže člověk byl po určitou dobu vystaven vyššímu tlaku vzduchu a je rychle dekomprimován. V takovém případě se dusík vyloučí v podobě bublinek, které mohou způsobit až smrt, v důsledku **plynné embolie**, zvláště mozkových cév. Vytvoření umělé atmosféry v přetlakovém prostoru je jednou z možností, jak předejít tomuto riziku. V níž dusík je nahrazen héliem, které je v krvi méně rozpustné.



Oxid siřičitý, fluorovodík, chlorovodík a sulfan vznikají při vulkanické činnosti.

Kromě stálých složek atmosféry se v něm nacházejí **další komponenty** přirozeného původu, jejichž koncentrace značně kolísají. Jsou to, vedle již zmíněné **vodní páry**, **oxidy dusíku** a **ozón** vznikající za bouří v elektrických výbojích, **oxid siřičitý**, **fluorovodík** a **chlorovodík** vulkanického původu, **sulfan** z výronů kyselého přírodního plynu, ze sopek nebo jako produkt činnosti sirných bakterií. **Prach a aerosoly** přirozeného původu v ovzduší představují **solné částice** pocházející z mořské vody, různé typy kondenzačních jader, půdní a rostlinné části, z nichž zejména rostlinné pyly mají z hlediska zdravotního pro nezanedbatelnou část populace značný význam, spóry bakterií apod. Koncentrace těchto látek jsou zpravidla velmi nízké.

Nad mořskou hladinou lze najít nejmenší koncentrace částic v ovzduší (4 mg částic na 1 m<sup>3</sup> převážně soli). Ve vzduchu nad venkovskými oblastmi bylo stanoveno kolem **40 mg** částic na 1 m<sup>3</sup>, zatímco v místech nahromadění průmyslu se vyskytují hodnoty dosahující **100 mg/m<sup>3</sup>** i tisícnásobné výše.

V atmosféře se mimo těchto přirozených složek vyskytují v různém množství další plynné příměsi, nebo příměsi kapalně či pevně, které jsou v poměrně nízkých koncentracích. Zatímco **dusíku** je v normálním ovzduší asi **78 objemových procent**, **kyslíku** pak asi **20 %**, je **oxidu siřičitého**, který se do ovzduší dostává např. s kouřovými emisemi ze spalování uhlí asi kolem **1 desetitisíciny objemového %**. Tyto příměsi jsou označovány jako znečištění ovzduší, většinou biologicky hodně agresivní s nepříznivým vlivem na zdravotní stav lidí.

## Fyzikální vlastnosti

### Tlak vzduchu

Stejně jako jakákoliv jiná látka má vzduch svou **hmotnost**, která se projevuje **měřitelným tlakem**. Je poměrně značný - **1,033 kg. cm<sup>-2</sup>** (nebo podle starého způsobu vyjadřování 760 mm rtuťového sloupce), tj. **101,3 kPa při 0 °C na mořské hladině**.

Kolísání kolem této hodnoty nepřevyšuje obvykle 2,6–4 kPa a pro zdravého člověka je prakticky nepozorovatelné. Veliký význam tlaku vzduchu pro člověka vyplývá z adaptace všech funkcí spojených s dýcháním parciálního tlaku složek ovzduší, jaké jsou při tlaku vzduchu okolo 100 kPa.

Rozhodující je **parciální tlak kyslíku**, který činí **21,3 kPa**. Ve výšce **5000 m** nad mořem při atmosférickém tlaku **54 kPa** je parciální tlak kyslíku jen **11,3 kPa** a ve výšce **10 000 m** nad mořem je **5,6 kPa**.

S poklesem parciálního tlaku kyslíku v ovzduší klesá i jeho tlak v alveolárním vzduchu. Pokles je však větší než odpovídá poklesu v zevním ovzduší. Disproporce je vyvolána tím, že množství oxidu uhličitého a vodních par v alveolárním vzduchu neklesá úměrně s poklesem parciálního tlaku kyslíku, ale zůstává prakticky stejné (je dáno metabolismem), takže jejich vyšší napětí dále zmenšuje parciální tlak  $O_2$ . Při dalším snižování parciálního tlaku kyslíku dochází u netrénovaných osob jako projev hypoxie.

**S nízkým tlakem** vzduchu se člověk může setkat při **turistice v horách**, při **poruchách klimatizace v letadlech** apod. **Zvýšenému tlaku** vzduchu jsou lidé vystaveni při práci ve **velmi hlubokých dolech**, ale především při práci v **kesonech**, práci **potápěčů** apod.

## Ionizace ovzduší

**Vzdušné ionty** jsou drobné částice (molekuly, skupiny molekul, kondenzační jádra, mikroskopické prašné částice), které mají **indukovaný elektrický náboj** (kladný nebo záporný), vzniklý ztrátou nebo získáním elektronu. K tomu dochází ozářením molekul, zářením radioaktivních prvků nebo únikem radioaktivních plynů z půdy, účinkem kosmických paprsků a paprsků ultrafialových. Kromě toho dochází k **ionizaci** např. při **rozprašování vody**, také při **elektrických výbojích**.

Podle náboje se rozlišují vzdušné **ionty kladné** a **záporné**. Podle velikosti **velké, střední a malé** nebo častěji **těžké a lehké**. Lehké ionty jsou samotné ionizované molekuly. Těžké ionty vznikají adsorpcí na kondenzační jádra, nebo agregací ionizovaných molekul.

Koncentrace iontů je výsledkem dynamické stability mezi silami, které plynule tvoří nové ionty a současně působícími destrukčními ději. Mění se podle aktuálních okolností atmosféry. Je **vyšší v horních vrstvách atmosféry** nebo při některých pracovních procesech (**sváření elektrickým obloukem**, při práci s **rtg paprsky**, v okolí **zdrojů ultrafialového záření** apod.). Vyšší koncentrace lehkých iontů nacházíme také v **okolí vodopádů a nad hladinou oceánů**.

V atmosféře sídlíšť a průmyslových zón je lehkých iontů poměrně málo. Zde je zvýšeno množství **těžkých iontů** (20–30 tisíc na  $m^3$ ). Těžké ionty jsou nestabilní součástí ionizace ovzduší. Rychle se usazují a ztrácejí svůj náboj. Lehké ionty jsou nad hladinou oceánů kolem 400–500 tisíc na  $m^3$ , zatímco ve znečištěném atmosféře klesají na **100 v  $m^3$** .

Vykouření jediné cigarety v místnosti výrazně snižuje jejich koncentraci na dobu několika hodin. Obsah iontů v ovzduší kolísá i v průběhu roku. V létě se zvyšuje a v zimě klesá. Působení změn ionizace ovzduší na organismus se uplatňuje hlavně přes dýchací orgány, kde ionty nejsnáze odevzdávají svůj náboj. Indikátory jejich účinku je pozorování činnosti řasinkového epitelu v dýchacích cestách, produkce hlenu, změn na elektroencefalogramu, změn krevního tlaku, pH krve, bazálního metabolismu, tvorba hormonů, rychlosti dýchání, teploty a také subjektivních pocitů čilosti nebo únavy.

Několik odborných prací ukázalo, že existuje **kladný vliv lehkých negativních iontů** na hypertenzi, Basedowovu chorobu, bronchiální astma, revmatismus, tuberkulózu a také na celkové ladění organismu.

### Negativní ionty vyvolávají pocit svěžesti.

Na základě pozitivních zkušeností s působením lehkých negativních iontů byly vyvinuty **ionizátory ovzduší**. Nejčastěji se využívá tzv. tichého korónového výboje, při kterém ale může vznikat i větší množství ozónu a oxidů dusíku, což je nevhodné. Další ionizátory používají nějakou vhodnou radioaktivní látku a poslední typ používá rozprašování vody. I když nejvhodnější by byl zrovna poslední typ, který do atmosféry nepřidává žádné cizorodé látky, jsou dobré zkušenosti s ionizátory korónového výboje. V různých průmyslových podnicích se při použití ionizátoru popisovalo zlepšení výkonu, pokles únavy apod.

Tzv. **ozonizátory**, doporučené občas pro potlačování zápachů apod., jsou pro dráždivost ozónu i současně s ním vznikajících oxidů dusíku zcela nevhodné. Zvláště nevhodné je použití ionizátoru v provozech, kde jsou v ovzduší přítomny **toxické aerosoly**. V důsledku ionizace totiž vzrůstá riziko jejich retence v plicích exponovaných osob.

## Zdravotní význam základních složek znečištění ovzduší

### Hlavní skupiny

1. skupina látek vylučovaných rovnou ze zdrojů – primární emise
2. skupina látek vytvářených v atmosféře reakcemi mezi znečištěninami buď za pomoci **fotoaktivace** (hlavně UV záření), nebo i bez ní – někdy označované jako **sekundární emise**, mohou být dokonce škodlivější než látky výchozí. Nejznámější z těchto reakcí jsou ty, při nichž vzniká **oxidační** (dnes označovaný jako letní) **smog**. Jen velmi málo primárních znečištěnin si zachovává trvale svou chemickou identitu po vstupu do ovzduší. Proto při měření znečištění ovzduší a hodnocení expozice člověka znečištěnému ovzduší mluvíme o **imisích**.

## Patří sem

- jemné prachové a aerosolové částice

z plynných imisí

- sloučeniny síry
- dusíku
- uhlíku
- halogenidů
- organické látky
- radioaktivní látky

Z aspektu zdraví člověka zvláštní pozornost zasluhuje **mikrobiální** znečištění ovzduší patřící obecně také k aerosolovým či prachovým imisím.

## Tuhé imise, prach a aerosoly

Částice **větší než 100 µm** poměrně rychle sedimentují a mají proto relativně neveliký přímý zdravotní význam. Kvůli velikosti je omezena i jejich interakce s jinými znečištěninami ovzduší. Mohou to být **anorganické prachy** např. kovové částice, křemičitany, fluoridy, oxidy, dusičnany, chloridy, sírany, nebo prachy organického původu jako dehty, bakterie a pyly.

Pro svůj značný povrch dávají dobrou příležitost ke **slučování** a **jiným reakcím** na nich adsorbovaných plynných nebo kapalných znečištěnin. Vedle toho **rozptylují světlo**. Při jejich vyšším obsahu v ovzduší může docházet ke značnému snižování viditelnosti. Podle své chemické struktury mohou být značně **jedovaté** pro lidi, zvířata i rostliny. Mají silný **korozivní efekt** na materiály, stávají se kondenzačními jádry pro tvorbu kapiček vody a jsou důvod zvýšeného výskytu mlh a mraků ve průmyslových oblastech.

## Tuhé imise

**Částice menší než 10 µm** se označují jako **aerosol**. Hmotnostně je jejich obsah ve vzduchu poměrně malý. Mají velký biologický význam. Za **24 hodin** se jich dostane **do dýchacího systému** téměř **0,01 g**, což je několik miliard částic, většinou menších než 1 µm, které infiltrují průduškami až do plicních sklípků. Částice menší než 0,01 µm se začínají chovat jako plynné molekuly. Postupně klesá jejich retence v plicích a částice menší než 0,001 µm jsou vydechovány. Při ukládání částic aerosolu v plicích, jsou nejnebezpečnější částice velké kolem 1–2 µm, protože jsou z 90 i více % zachycovány v plicích.

Částice větší než **10 µm** jsou **zachycovány v horních dýchacích cestách**. Řasinkový epitel představuje mukociliární eskalátor, na kterém ulpívají prašné částice. Řasinky kmitají směrem do nosohltanu (v průduškách směrem „ven“ a v nosní dutině „dovnitř“), takže jsou nakonec většinou spolknuty, což má význam hlavně u toxických prachů.

Škodlivost prachů a aerosolů závisí na jejich retenci v plicích a ta je v rozhodující míře ovlivněna jejich disperzitou. Tuto stanovujeme pomocí **mikroskopického vyšetření prachu**, nejčastěji **lanametrem**. Lanometr je mikroskop doplněný clonou s stupnicí. Podklady pro konstrukci distribuční křivky dostaneme změřením velikosti nejčastěji 500 částic analyzovaného prachu a jejich roztříděním do velikostních tříd (2, 2–4, 4–6, 6–8, 8–10, >10 µm). Distribuční křivka vyjadřuje relativní frekvenci zastoupení jednotlivých velikostních tříd zachycených částic a je zásadní pomůckou při posuzování rozsahu hygienického rizika při inhalaci daného prachu.

**Chemické složení prachu** je další významný faktor při posuzování zdravotního rizika inhalace. Jestliže prach nemá specifické biologické účinky a působí jenom zaprášení plic, mluvíme o prachu **biologicky inertním**. Obvykle ale, se jedná o prach biologicky agresivní a v důsledku jeho vdechování vznikají různé plicní **koniózy**. Klasický příklad prachu s fibroplastickými účinky je **křemičitý prach**. Dojde tedy ke, zvláště mezi horníky a brusiči obávané, silikóze.

**Prach azbestový**, hlavně po dlouhodobé inhalaci dlouho vláknitého prachu, může způsobit zhoubný novotvar poplicnice nebo pohrudnice kromě klasické azbestózy. Prach obsahující beryllium při imunosupresi může způsobit **berylliózu**. Zaprášení plic **železným prachem** se označuje jako sideróza.

Kromě disperzity a chemického složení prachu mají zásadní význam také jeho **fyzikální vlastnosti**. K nim patří smáčivost, krystalická struktura a morfologie prachu, tedy tvar inhalovaných částic. Např. zkoumání provedená mezi obyvateli Sahary ukázala, že ačkoliv prach zvednutý větrem je převážně čistý oxid křemičitý, nebyla u exponované populace nalezena silikóza. Tyto nálezy byly vysvětlovány tím, že křemičitý prach pouště, a tedy i jeho částice, jsou díky dlouhodobé abrazi převážně kulovité a pouze čerstvě vzniklé částice vyznačující se hranami, hroty a jehlicovitými strukturami mohou vyvolat vznik typických **silikotických uzlíků**. Výše byl uveden význam délky vláken azbestového prachu pro vznik **mezoteliomu pleury**.

## Plynné imise

Sloučeniny **síry** mají hlavně podobu oxidů **SO<sub>2</sub>** a **SO<sub>3</sub>**, dále pak **sulfanu** a **sírouhlíku**. Tyto oxidy se do ovzduší dostávají při **spalování fosilních paliv**, při spalování **mazutu** a jako produkt nejrůznějších technologických procesů, podobně jako sulfan a sírouhlík, zejména v emisích chemického průmyslu.

Ze sloučenin **dusíku** jsou nejvýznamnější jeho **oxidy** a **amoniak**. Oxidy dusíku vznikají při **hoření** za vysokých teplot, tedy především ve všech **elektrárnách** a **teplárnách** na fosilní paliva, a ve válcích pístových motorů. Mohou *dráždit*, po inhalaci se *vstřebávají do krve* za vzniku methemoglobinu, a jsou důležitým faktorem ve fotochemických reakcích.

Oxidy **uhlíku** CO<sub>2</sub> a CO vznikají při úplném, resp. nedokonalém spalování uhlíkatých paliv (hlavně z automobilové dopravy). Vysoké koncentrace CO mohou být i na některých pracovištích, např. v kotelnách. **1 mg oxidu uhelnatého** v m<sup>3</sup> vzduchu blokuje po několika hodinách dýchání **0,16 % hemoglobinu**.

**Halogenové sloučeniny**, např. HF nebo HCl, se do ovzduší dostávají při některých metalurgických procesech. I u nás jsou známy případy masivního poškození rostlinstva a výskytu fluorózy dobytka v okolí hliníkáren a u výroby fosforečných hnojiv.

**Organických sloučenin** je ve znečištěném ovzduší velké množství, hlavně nasycené i nenasycené uhlovodíky alifatické i aromatické a jejich kyslíkaté i halové deriváty. Jsou emitovány jako páry nebo prchavé sloučeniny. Řada **polycyklických aromatických uhlovodíků** (PAU) má prokazatelné **karcinogenní vlastnosti**. Mezi organickými látkami v ovzduší nacházíme také silně **dráždivé sloučeniny** jako formaldehyd, kyselina mravenčí, akrolein a další. Hlavním zdrojem těchto uhlovodíků jsou automobilové motory, především dvoutaktní a čtyřtaktní benzínové. U vznětových motorů jsou hlavním problémem partikule obsahující karcinogenní látky, zejména polycyklické aromáty.



Teplárny jsou zdrojem oxidů dusíku.

## Radioaktivní imise

**Radioaktivní látky**, např. ve formě radioaktivního stroncia, izotopů jódu, cézia a dalších prvků, mohou ohrožovat zdraví člověka. Mimo pokusy s nukleárními zbraněmi však dosud nebyly zdroje, které by vážně ohrožovaly člověka cestou ovzduší. Současný rozvoj jaderných elektráren přinesl některé potíže téměř výhradně však v případě havárií, jak se to projevilo již dříve při haváriích ve **Windscale** (1956, Anglie), **Three Mile Island** (1979, USA) a zejména při havárii bloku jaderné elektrárny v **Černobylu** v roce **1986**. Správně provozovaná jaderná elektrárna je z hlediska radioaktivních emisí do ovzduší méně nebezpečná než obvyklá tepelná elektrárna spalující uhlí.

## Sekundární emise

Rychlost, rozsah reakce a reakční cesty, kterými reagují složky emisí mezi sebou, jsou ovlivněny koncentrací reagujících látek, stupněm fotoaktivace (tvorba radikálů především ultrafialového záření), meteorologickými rozptylujícími faktory, velikostí částic a vlhkostí vzduchu.

Hlavním podkladem atmosférických reakcí jsou pevné částice. Na jejich povrchu se vstřebávají molekuly plynu. Toto zvýšení koncentrace na povrchu aerosolových částic má významný patofyziologický důsledek; částice s adsorbovaným plynem zvyšují toxicitu plynu, zvláště jeho lokální účinky, protože při styku se sliznicí dýchacích cest místy dosahují vysokých koncentrací, i když je sumárně obsah uvažovaného plynu ve vzduchu malý.

V nejjednodušším případě mohou spolu v ovzduší reagovat dvě látky, jako je např. slučování aerosolu kyseliny sírové s oxidy kovů. Tento příklad představuje neutralizaci vytvářením solí. Tato neutralizace je však nespolehlivá, protože je jen velmi vzácně optimální poměr obou látek, který by mohl zaručit její úplný průběh.

Zejména však některé **sírany kovů** nejsou méně škodlivé než oxidy síry samy o sobě. Tyto sírany představují suchou fázi kyselých imisí. Poznání této skutečnosti je jedním z vážných argumentů používaných proti *čpavkové metodě* odsiřování emisí.

Mezi hlavní fotochemické reakce spouštěné **UV zářením**, při nichž vznikají sekundární emise významného zdravotního dosahu, patří disociace oxidu dusičitého NO<sub>2</sub> na NO a atomární kyslík ve stavu zrodu, které jsou schopny startovat řetěz dalších reakcí, při nichž vznikají velmi dráždivé látky jako **ozón**, různé **radikály** (alkyly, formyly) či látky **peroxidické povahy** (peroxiacetylnitrát). Vedle přímé toxicity těchto látek se přisuzuje podpůrný účinek na vznik nádorového bujení a účinek radiomimetický (podobný ionizujícímu záření).

## Smog

V souvislosti s rostoucími problémy ve znečišťování atmosféry se tradičně používá název smog, často však nesprávně a v nevhodných souvislostech. Smog existuje ve dvou zásadně odlišných formách.

- **Redukční typ smogu**, tzv. *londýnský smog*, je směsí kouře, oxidů síry a dalších plynných spodin spalování uhlí při vysoké relativní vlhkosti vzduchu a je obvykle doprovázen hustou mlhou. Škodlivé účinky tohoto typu smogu jsou potencovány přítomností popílku, jež umožňuje jejich transport do dolních částí dýchacích cest; největší intenzity dosahuje nad ránem, při teplotě 0–5 °C.
- **Oxidační typ smogu**, tzv. *losangeleský*, dnes označovaný jako *letní smog*, vzniká na základě zplodin spalování kapalných a plynných paliv a jeho vznik je spojován s masivním znečišťováním ovzduší výfukovými plyny automobilů. Tento typ smogu je označován také jako *fotochemický*, protože se na jeho vzniku podílejí



fotochemické reakce; vzniká v průběhu jasného počasí, při teplotě 25–30 °C.

## Kouření a znečištění ovzduší

Kouření má podstatně negativní účinek na zdraví z toho důvodu, že ani v oblastech s nejvíce znečištěným ovzduším a za nepříznivých povětrnostních podmínek se obvykle nesetkáváme s takovou mírou expozice člověka, která by byla srovnatelná s expozicí silného kuřáka. Přitom významného zlepšení zdravotního stavu téměř poloviny populace by bylo možné dosáhnout radikálním **omezením spotřeby cigaret** bez jakýchkoliv investic.

Boj proti kouření musí být založen na dlouhodobém, komplexním programu zaměřeném zejména na **mládež** a **ženy**, především **gravidní**.

Pro odvykání kouření by mělo sloužit vedle poraden také správně zaměřené působení hromadných sdělovacích prostředků. Za slibný pomocný prostředek k odvykání kouření se pokládá podle doporučení **5. světové konference** o kouření a zdraví, **Winnipeg 1983**, také **žvýkací guma** obsahující **nikotin**. Na závěr pouze citát z memoranda expertů Světové zdravotnické organizace „Kouření a zdraví“ WHO **1975**, kde je uvedeno, že „nemoci spojené s kouřením cigaret jsou tak významnou příčinou nemoci a předčasné smrti. Kdyby se přestalo kouřit, zlepšil by se zdravotní stav lidí a prodloužil jejich život více, než by bylo možné dosáhnout jakoukoli jinou samostatnou akcí preventivní medicíny.“

## Odkazy

### Související články

- Emise
- Imise

### Zdroj

- BENCKO, Vladimír, et al. *Hygiena : Učební texty k seminářům a praktickým cvičením*. 2. přepracované a doplněné vydání vydání. Praha : Karolinum, 2002. 205 s. s. 35 – 44. ISBN 80-7184-551-5.