

Ozón - dobrý sluha, ale zlý pán

Ozone - good servant, bad lord

ARIANA LAJČÍKOVÁ

Státní zdravotní ústav Praha

SOUHRN

Je podána informace o vzniku, výskytu a působení ozónu v přírodě, ve venkovním prostředí a o jeho vlivu na zdraví lidí uvnitř budov. Autorka upozorňuje, že v přírodě je ozón nezbytný a ozónová vrstva chrání povrch zemský před slunečním zářením. Ozón je silné oxidační činidlo, ve vyšších koncentracích jej lze užít k desinfekci. V zóně pobytu lidí je však třeba jeho výskyt omezovat, protože je pro člověka toxický. Je uvedeno možné negativní působení na zdraví a limitní hodnoty platné ve světě a v České republice.

Klíčová slova: ozón, vliv na zdraví, limity

SUMMARY

Information about origin, occurrence and function of ozone in nature and outdoors is given and its influence on people's health inside buildings is discussed. Author emphasizes the role of ozone in protection of the Earth's surface against radiation of the sun. Being a strong oxidizing agent, ozone in higher concentration can be used for disinfection. Due to ozone's toxicity for humans, it is necessary to control its concentration in areas where people stay. Negative influence of ozone on health is mentioned, and limit values valid in the Czech Republic and abroad are listed.

Key words: ozone, health effect, limits

Na českém trhu se v posledních letech objevila celá řada přístrojů na úpravu vnitřního ovzduší. Mohou být velmi dobrými pomocníky alergiků (11). Cenově dobře dostupné jsou recirkulační čističe vzduchu, vybavené soustavou filtrů (ty mohou být z aktivního uhlí, ze syntetických nebo skelných vláken, z papíru aj.) k záchytu polutantů. Některé přístroje obsahují **elektrostatický filtr, elektricky nabitý, omyvatelný sběrný kolektory, fotokatalytický reaktor s UV zářičem, nebo vnitřní ionizátor vzduchu**. Právě tyto součásti však jsou zdrojem ozónu, který vzniká při vybíjení náboje elektrostatických filtrů, u UV lamp nebo při ionizačním výboji. Dalším zdrojem ozónu jsou **samostatné ionizátory**, užívané jednak k obnově přirozené ionizace vzduchu, jednak k jeho čištění (3,4).

Mezinárodní diskuse o nebezpečí ozónu v souvislosti s těmito přístroji na úpravu vzduchu započala již na konferenci Healthy Buildings 2000 v Helsinkách (5,7). Ozónu byl tehdy věnován samostatný workshop. Cílem diskuse bylo navržení jednotné metody hodnocení generátorů ozónu u čističů vzduchu, tj. ionizátorů a elektrostatických filtrů a sjednocení limitů expozice ozónu. Do dnešních dnů diskuse na mezinárodním fóru pokračuje.

Na jedné straně slycháme varovné zprávy o porušení ozónové vrstvy kolem Země, mluví se o ozónové díře, jindy zase slyšíme, že je ozón toxický plyn. Jedni jej chodí dýchat po bouřce do lesa, jiní se ho snaží ze všech sil odvětrat od kopírek a ze solárií.

Ozón v přírodě

Jak to tedy je, je to pro člověka plyn potřebný nebo toxický? Odpověď je opravdu šalamounská: **ozón je totiž jeden z nejtoxičtějších plynů, ale je pro život na Zemi nezbytný**. V *troposféře* (je to vrstva atmosféry do výše cca 11 km nad hladinou moře), zvláště v její přízemní vrstvě, jsou jeho zvýšené koncentrace nežádoucí. Ozón je zpravidla sekundární emisí, vzniká působením slunečního záření na primární emise, např. na výfukové plyny motorových vozidel, na spaliny a na různé průmyslové emise. Ozón je hlavní součástí fotochemického smogu. Zde vzniká fotochemickou reakcí z oxidů dusíku. Ve srovnání s těmito cestami vzniku jsou množství ozónu vzniklá při jednorázových bouřkových výbojích téměř zanedbatelná. Vysoké koncentrace přízemního ozónu mají nejen negativní dopad na zdraví, ale mohou snižo-

vat sklizeň a poškozovat vegetaci. Je nežádoucí jakoukoli činností jeho koncentraci zvyšovat.

Ve stratosféře (asi 50 km široká vrstva, navazující na troposféru) je ozón nezbytný, neboť tvoří její ozónovou vrstvu. Ta se chová jako ochranný obal Země před přílišnou dávkou UV složky slunečního záření. Expozice tomuto záření zvyšuje riziko onemocnění rakovinou kůže, šedým zákalem a působí depresivně na lidský imunitní systém. Ozónová vrstva vlastně umožňuje život na Zemi. Její šíře kolísá. Udává se, že zabírá vrstvu asi od 15 do 30 km s maximální koncentrací ozónu ve výšce přibližně 25 km nad mořem.

Zdrojem ozónu ve stratosféře je molekula kyslíku, která se fotolýzou (působení UV záření) rozpadá na volné atomy kyslíku. Ty jsou ale nestálé a ochotně reagují opět vlivem UV záření s jinými molekulami kyslíku O_2 za vzniku molekuly ozónu O_3 . Molekuly ozónu pohlcují intenzivně UV záření a fotolýzou se opět rozkládají. Celkové množství ozónu v ozónové vrstvě pak závisí na poměru mezi fotolýzou kyslíku a ozónu.

Vzduch, který dýcháme, obsahuje cca 78 % dusíku, cca 21 % kyslíku a v malých množstvích řadu dalších plynů, včetně ozónu. Toho je v ovzduší poněkud více v létě než v zimě, stále jsou to ale jen stopová množství. Na taková velmi malá množství je člověk adaptován, ačkoliv je svými smysly nevnímá (2).

Ozón je bezbarvý plyn s charakteristickým zápachem. Jeho molekulová váha je 48. Toxicita pro člověka spočívá v tom, že je ve vodě 10krát rozpustnější než kyslík a je tudíž schopen jej vytěsnit a nahradit právě tam, kde je nezbytný (např. v krvi). Udává se, že **čichový práh**, tj. koncentrace, kdy je zápach postihnutelný více než 50ti osobami ze 100, je **od 0,015 ppm**. Hypersenzitivní osoby však vnímají ozón již od koncentrace 0,001 ppm. **Koncentraci 0,02 ppm vnímá již většina lidí.** (Faktor přepočtu z mg/m^3 na jednotky ppm je 0,509.) Na přítomnost ozónu ve vzduchu dochází velmi rychle k návyku – po chvíli jej přestáváte cítit.

Typická koncentrace ozónu v přírodě, ovlivňovaná vždy nadmořskou výškou, atmosférickými podmínkami a charakterem místa je 0,001–0,125 ppm. Při kontinuálním monitorování ve velkých amerických městech v osmdesátých letech bylo naměřeno při smogových epizodách pětiminutové maximum 0,15 ppm v Chicagu (nejméně) a 0,51 ppm v Los Angeles (nejvíce). 24 hod. maxima se pohybovala od 0,07 ppm (St. Louis) do 0,15 ppm (Los Angeles). Roční denní průměr byl pak nejnižší v San Franciscu 0,02 ppm a nejvyšší v Los Angeles 0,04 ppm.

Vliv na zdraví

Koncentrace 0,2 ppm ještě nevyvolává zdravotní příznaky, ověřeno experimentálními studiemi. Až při koncentraci 0,3 ppm se objevují první potíže. Jde o pocit suchosti sliznic, pálení očí a v krku.

Koncentrace 0,5 ppm byla signálem k vyhlášení poplachu 1. stupně při smogu v Los Angeles. Tato koncentrace způsobuje u citlivých jedinců bolest hlavy a nevolnost. Dlouhodobá expozice této koncentraci může mít za

následek plicní edém. Stoupá vnímavost k respiračním infekcím.

Při koncentraci 1,00 ppm byl v Los Angeles vyhlášen druhý a při koncentraci 1,50 ppm třetí stupeň poplachu. Když koncentraci 1,50 ppm ozónu dýchali dobrovolníci po dobu 2 hod., pociťovali bolest hlavy, bolest na hrudníku, suchost v dýchacích cestách, dráždění ke kašli a únavu. Z dalších experimentů je známo, že koncentraci 12 ppm přežily krysy maximálně 3 hodiny a koncentrace 25 ppm byla okamžitě smrtelná pro morčata. U svářeců, exponovaných koncentraci 9 ppm, se vyvinul edém plic. Koncentrace 10 ppm vede u člověka k bezvědomí. Bezprostředně život ohrožující koncentrace nebyla stanovena vzhledem k velkým rozdílům v citlivosti jednotlivých lidí.

Využití ozónu k desinfekci prostředí

Ozón usmrcuje mikroorganismy, proto se užívá ke sterilizaci vzduchu, např. v mrazárnách potravin. Ozonizátory švýcarské výroby k tomuto účelu jsme již před lety ve Státním zdravotním ústavu v Praze posuzovali. Takové zařízení pracuje bez obsluhy lidí a ozón je třeba před vstupem do ošetřených prostor odvětrat. Nedávno jsme posuzovali zařízení, které ošetřuje nasávaný venkovní vzduch v klimatizační jednotce působením UV záření a je zdrojem značných koncentrací ozónu. Ten se však rozpadne dříve, než vzduch dojde vyzduchovodem k vyústce klimatizace a dostane se do místnosti. Také germicidní lampy, užívané k desinfekci vnitřního prostředí, jsou zdrojem ozónu a zapínají se ve chvíli, kdy personál pracoviště opouští. Vypínají se několik hodin před příchodem lidí. Známe je i užití ozónu k dezinfekci (ozonizaci) vody, např. v plaveckých bazénech, nebo k úpravě pitné vody. Voda je použitelná až po vytěknání ozónu. Posuzovali jsme také ozonizátor k desinfekci vnitřního ovzduší, doporučený do zdravotnictví. Takto ošetřené prostory však lidé nemohou užívat, dokud koncentrace ozónu neklesne na bezpečnou hodnotu. Pokud jsou ozonizátory užívané k desinfekci vnitřního infekčního ovzduší, musí být ozón odvětrán před příchodem lidí, příp. musí být ošetřované místnosti uzavřeny tak dlouho, dokud se zbytkový ozón nerozloží. U námi měřeného zařízení byla tato doba 4 až 6 hodin.

Ozón usmrcuje mikroorganismy až od koncentrace 13 mg/m^3 , tj. asi 7 ppm. A to už jsou koncentrace, které jsou i pro člověka nebezpečné. **Koncentrace bezpečné z hlediska lidského zdraví nemají dezinfekční účinky a patogenním mikroorganismům neškodí.**

Pokud tedy prodejce tvrdí, že přístroj (čistič vzduchu) desinfikuje ozónem prostředí, je nutně pro zdraví člověka nebezpečný. **Přístroj ozónem desinfikující a zároveň člověku neškodný neexistuje!**

Obecně se má zato, že pobyt člověka ve vyšší koncentraci ozónu není zdravý. Je známo, že fyzická námaha vnímavost k ozónu zvyšuje. Proto je třeba zvláště u některých profesí, např. u svářeců, pokud pracují v uzavřeném prostředí, dodržení přípustného expozičního limitu (PEL) ozónu pečlivě kontrolovat a dbát na dobré větrání

takových pracovních prostor.

Při průmyslových nehodách, kdy dojde k nadýchání vysokých koncentrací ozónu, spočívá první pomoc především v přerušení expozice, duševním i fyzickým klidu a podání léku k potlačení kašle. Lékařská první pomoc pak spočívá v dohledu, zda nedochází k edému plic. Při edému plic je nezbytná specializovaná nemocniční péče.

Ozonizátory do bytů?

V nedávné době se na českém trhu krátce objevily ozonizátory, určené do bytů (6). Ty generují ozón ve značné koncentraci. Jsou doporučovány k desinfekci vnitřního prostředí. K jejich používání v obytném prostředí jsme (na rozdíl od pracovního prostředí, kde lze zajistit dodržování stanoveného provozního řádu a vyvětrání filtrovaným, tj. čištěným vzduchem) ve shodě se zahraničními názory zaujali zcela **negativní stanovisko**. Nejde totiž jen o nebezpečí z ozónu samotného. Ozón reaguje s mnoha chemickými látkami v ovzduší za vzniku chemických sloučenin mnohem nebezpečnějších lidskému zdraví než sám ozón (9,10). S některými chemickými látkami reaguje za vzniku hydroxylových radikálů (8). Tyto radikály pak dále reagují a tvoří mnohem nebezpečnější sloučeniny. Takové reakce jsou rizikem zejména pro oslabené a chronicky nemocné jedince. Vzhledem k tomu, že má ozón strukturu volného radikálu, nelze vyloučit jeho závažné pozdní účinky na zdraví. Někdy je užíván pro ozón matoucí termín – **aktivovaný kyslík**. Ozón a kyslík mají ale zcela odlišné chemické a toxikologické charakteristiky. Přes zdánlivou podobnost mají málo společného. Protože je třeba ozón z ošetřovaných prostor odvětrat, je efekt „desinfekce prostředí“ minimální a týká se pouze povrchů. Větráním se do vnitřního prostředí totiž dostane venkovní vzduch obvyklých kvalit – pokud ovšem není interiér vybaven nuceným větráním s účinnou filtrací přiváděného vzduchu, jak je to obvykle v potravinářství nebo zdravotnictví.

Limitní hodnoty ve světě

Vyšší koncentrace ozónu představují tedy jednoznačně riziko pro zdraví člověka. Z tohoto důvodu jsou stanoveny mnoha organizacemi limitní koncentrace ozónu v ovzduší.

Na mezinárodním fóru jsou diskutovány různé limity s tím, že je všeobecná snaha je sjednotit:

Americká agentura pro životní prostředí (EPA) udává expoziční limit pro životní prostředí

- 0,12 ppm – jednohodinový průměr,
- 0,08 ppm – osmihodinový průměr.

Úřad pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci (OSHA) stanovil v USA v r. 1989 z hlediska hygieny a bezpečnosti práce přípustný expoziční limit pro pracovní expozici.

0,10 ppm – osmihodinový průměr (český limit je dvakrát přísnější!).

Národní ústav pro bezpečnost a zdraví při práci (NIOSH) stanovil v r. 1992 stejný limit. Udává, že tato

hodnota nesmí být v době práce nikdy, ani krátce či jednorázově, překročena.

Americká národní rada pro výzkum (National Research Council) udává bezpečnostní limity pro dlouhodobou expozici

- 1,00 ppm – jednohodinová expozice ve stavu nouze, při haváriích a nenadálých situacích,
- 0,10 ppm – 24 hod. nenadálý expoziční limit.
- 0,02 ppm – limit pro devadesátidenní trvalou expozici.

Americká konference státních průmyslových hygieniků (ACGIH) stanovila prahové limitní hodnoty

- 0,05 ppm – osmihodinová těžká pracovní zátěž (tento limit platí v ČR pro jakékoliv pracovní prostředí, tedy i pro zcela lehkou práci),
- 0,08 ppm – osmihodinová střední zátěž,
- 0,10 ppm – osmihodinová mírná zátěž – lehká práce,
- 0,20 ppm – dvě hodiny lehké až těžké pracovní zátěže.

Americká Správa pro potraviny a léky (U.S. Food and Drug Administration) udává limit

0,05 ppm – maximální koncentrace v místnostech nebo ve vzduchu cirkulujícím skrze přístroje – uvedeny jsou konkrétně čističe vzduchu s odkazem na elektrostatické filtry.

Stát Kalifornie má vlastní limit pro venkovní prostředí

0,09 ppm – jednohodinový průměr.

Světová zdravotnická organizace udává v pokynech pro kvalitu ovzduší z r. 1999 limit

120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tj. 0,06 ppm – osmihodinový průměr.

Direktiva EU o kvalitě ovzduší 92/72 EEC uvádí pro životní prostředí tyto limity:

- 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tj. 0,0559 ppm, jako 8 hod. průměr z hlediska ochrany zdraví,
- 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tj. 0,1018 ppm, jako hodinový průměr z hlediska ochrany rostlin,
- 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tj. 0,033 ppm, jako 24 hod. průměr,
- 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tj. 0,092 ppm, jako hodinový průměr – informace obyvatelstvu,
- 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tj. 0,183 ppm, jako hodinový průměr – varování obyvatelstva.

Limitní hodnoty v ČR

Koncentrace 0,1 ppm je koncentrace, při které ještě nedochází ke zdravotním potížím. Tato koncentrace je zároveň limitní hodnotou pro pracovní prostředí (při 8hod. směně 6 dní v týdnu) v mnoha zemích, např. v Anglii, Japonsku, Francii, Nizozemí, Německu.

V České republice stanoví limitní hodnoty pro pracovní prostředí **Vládní nařízení č. 361/2007 Sb.**, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci takto:

PEL (přípustný expoziční limit) = **0,1 mg/m^3** , tj. 0,05 ppm.

NPK (nejvyšší přípustná koncentrace je nově definována jako hodnota, která nesmí být v průběhu směny ani krátkodobě dosažena) = **0,2 mg/m^3** , tj. 0,1 ppm.

Limitní hodnotu pro ozón ve vnitřním prostředí pobytových místností některých staveb stanoví **vyhláška**

č. 6/2003 Sb. takto: $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tj. $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0,05 \text{ ppm}$. (Pobytové místnosti neslouží k práci ani k bydlení, jsou to např. kina, divadla, sportovní haly aj.)

Limitní hodnoty v životním prostředí (tj. ve venkovním ovzduší) stanoví **Nařízení vlády č. 597/2006 Sb.** o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší. Zde jsou stanoveny imisní limity pro troposférický ozón. Za účelem ochrany zdraví lidí nesmí být překročen maximální denní osmihodinový průměr $120 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 0,06 \text{ ppm}$.

V zásadě lze říci, že **hodnota 0,05 ppm** (tj. $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$) **byla v mezinárodní diskusi všeobecně akceptována jako přiměřený limit průměrné expozice ozónu v životním prostředí**. V předběžné verzi dokumentu k hodnocení ozónu u čističů vzduchu (1) je také tento limit uveden. Takový limit je zakotven i v platné české legislativě – viz výše. V ČR se přístroje k úpravě kvality vnitřního ovzduší hodnotí podle metodiky, zpracované Strojírenským zkušebním ústavem v Brně. Podle její přílohy 1 (odpovídá překladu čl. 32.1. normy IEC 335-2-65) nesmí koncentrace ozónu v proudu vzduchu vystupujícím z přístroje ve vzdálenosti 50 mm od výstupu překročit 0,05 ppm.

Přijmout mezinárodní dokument s touto limitní hodnotou pro nás nebude problém, my ji už vlastně dnes dodržujeme. Ke stanovení ozónu používáme na našem pracovišti detekční trubičky a přenosnou automatickou aspirační soupravu Accuro 2000 firmy Dräger, zatímco připravovaný mezinárodní dokument počítá s pracnější a méně dostupnou analytickou metodou.

A ještě k čističům vzduchu a ionizátorům

U přístrojů na úpravu vnitřního prostředí je měření ozónu součástí standardního hodnocení ve Státním zdravotním ústavu v Praze podle výše uvedené metodiky. Problém tkví v tom, že hygienické hodnocení těchto přístrojů není v ČR povinné. Bohužel, prodává se i zboží nestandardní kvality. Každý dovozce či výrobce zboží je povinen podle zákona č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky, v platném znění, vystavit (a zákazníkovi do 30 dnů předložit, pokud o to tento požádá) dokument nazvaný Prohlášení o shodě. Tímto dokumentem přebírá veškerou zodpovědnost za prodáváný výrobek. Poučený zákazník požaduje zejména předložení protokolu o měření nezávislou laboratoří a nenakupuje jen na základě – občas klamavé a zavádějící – reklamy.

I při používání recirkulačních čističů vzduchu je třeba ošetřované prostory denně vyvětrat. Ne proto, že by se v nich hromadil ozón. Už jsme výše řekli, že ten je nestálý a rychle se rozpadá. Z vnitřního prostředí je třeba odvětrat vodní páru. V klidu jí člověk vydýchá 50 až 70 g/hod., při těžší práci 100 až 200 g/hod. Při vaření jí vytvoří až

500 g/hod. a při koupání a sprchování až 600 g/hod. U přístrojů, které byly hodnoceny ve Státním zdravotním ústavu, se není třeba nadměrné produkce ozónu obávat.

LITERATURA

1. Procedures to Determine Ozone Generation of Air Cleaners (UL/ANSI 2117 – draft).
2. Ovzduší a zdraví. Brožura WHO, č. série 19, česky vydal SZÚ Praha, 1997.
3. Boeniger M. Use of ozone generating devices to improve indoor air quality. 56, Am Ind Hyg J, 1995, č. 6, s. 590-598.
4. Esswein E, Tiffany J. Ozone Generators and IAQ.1, IAQ Applications, č. 2, s. 23.
5. Jantunen, M. When and where are people exposed to air pollutants. Sb. konf. Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland, 1. díl, s. 15-23.
6. Lajčíková A. Také vám nabídli ozonizátor vnitřního ovzduší? 8, VVI, 1999, č. 4, s. 187-188.
7. Pasanen P, Salo J, Hyttinen M, Vartiainen M, Kalliokoski P. Ozone Reduction in Supply Air Filters. Sb. konf. Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland, 2. díl, s. 263-268
8. Wechsler CJ, Shields H. Potential reactions among indoor pollutants. 31, Atmospheric Environment, 1997, č.21, s. 3487-3495.
9. Molhave L, Kjaergaard SK, Sigsgaard T, Lebowitz M. Interaction between ozone and airborne particulate matter in office air. Indoor Air, 15, 2005, č. 6, s. 383-392.
10. Hubbart HF, Coleman BK, Sarwar G, Corsi RL. Effects of an ozone-generating air purifier on indoor secondary particles in three residential dwellings. Indoor Air, 15, 2005, č. 6, s. 432-444.
11. Hacker DW, Sparow EM. Use of air-cleaning device to create airborne particle-free spaces intended to alleviate allergic rhinitis and asthma during sleep. Indoor Air, 15, 2005, č. 6, s. 420-431.

MUDr. Ariana Lajčíková, CSc.
Státní zdravotní ústav
Šrobárova 48
100 00 Praha 10
e-mail: alajcik@szu.cz