



## OXID UHLIČITÝ V PRACOVNOM PROSTREDÍ

Marianna KIZEKOVÁ - Viera RUSŇÁKOVÁ - Ľubomír LEGÁTH

## CARBON DIOXIDE IN THE WORKING ENVIRONMENT



ENVIRONMENTAL POLICY TOOLS '2017

### ABSTRAKT

Oxid uhličitý ( $CO_2$ ) môže mať toxické účinky pri koncentráciách oveľa nižších, než je koncentrácia, pri ktorej sa prejaví jeho dusivý účinok. Na pracovisku je dovolený najvyšší prípustný expozičný limit priemerný 5000 ppm. Existujú však určité miesta, kde koncentrácia  $CO_2$  v uzavretej miestnosti alebo oblasti môže potenciálne dosiahnuť extrémne a život ohrozujúce úrovne. Extrémne úrovne  $CO_2$  môžu viesť k smrti, najmä v uzavretých priestoroch, napríklad v kvasiarňach alebo pri procese výroby vína či v pivovaroch.  $CO_2$  môže mať negatívne účinky na zdravie a bezpečnosť na pracovisku. Monitorovanie a kontrola  $CO_2$  v pracovnom prostredí je dôležitá pre bezpečnosť a ochranu zdravia zamestnancov a je jedným z prístupov k zdravšiemu prostrediu na pracovisku. Použitie senzorov  $CO_2$  na reguláciu vetrania môže byť účinným opatrením.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** oxid uhličitý, pracovné prostredie, monitorovanie koncentrácie  $CO_2$

### ABSTRAKT

Carbon dioxide ( $CO_2$ ) has toxic effects at concentrations far below the concentration at which it is an asphyxiant. It has a Workplace Exposure Limit of 5000 ppm. There are certain locations where indoor  $CO_2$  in an enclosed room or area can potentially reach extreme and life threatening levels. Extreme levels of  $CO_2$  can lead to death, particularly in enclosed spaces, for example during the process of wine production or in breweries.  $CO_2$  can have negative effects workplace health and safety. Monitoring and controlling indoor air of  $CO_2$  in working environment is important for health and safety workers and is one approach to a healthier workplace environment. Using  $CO_2$  sensors for ventilation control can assist in these cases.

**KEY WORDS:** Carbon dioxide, working environment, monitoring  $CO_2$  levels

### ÚVOD

Oxidu uhličitému v pracovnom prostredí sa aj napriek jeho známym nebezpečným až smrteľným účinkom zatiaľ stále nevenuje dostatočná pozornosť. Oxid uhličitý je nebezpečný pre pracovné aj životné prostredie. Zo skleníkových plynov je oxid uhličitý najvýraznejším faktorom pri globálnom otepľovaní. Jeho množstvo v atmosfére sa každým rokom mení. Za uplynulých 30 rokov však vedci pozorujú stúpajúci trend jeho hodnoty k úrovni zvyšovania o 3 ppm ročne. [1]

Intoxikácie oxidom uhličitým v pracovnom prostredí vznikajú pri jeho nekontrolovanom nahromadení v ovzduší, kedy nadbytok  $CO_2$  vytvára nedýchatelné prostredie, napr. v kvasiarňach, silách, droždiarňach alebo vínnych pivniciach, kde sú zvýšené koncentrácie  $CO_2$ , ktorý vzniká ako



produkt alkoholového kvasenia premenou jednoduchých cukrov na etanol a  $\text{CO}_2$ . Takýmto prevádzkam je potrebné venovať zvýšenú pozornosť. Zavádzanie systému kontroly  $\text{CO}_2$  vhodným monitorovaním v pracovnom prostredí je dôležité pre bezpečnosť a ochranu zdravia zamestnancov a je jedným z prístupov k zdravšiemu prostrediu na pracovisku.

## OXID UHLIČITÝ

Oxid uhličitý je nevybušný bezfarebný plyn bez zápachu, ťažší ako vzduch ktorý je normálnou zložkou atmosféry (0,03 - 0,04 obj. %, čiže 300 - 400 ppm – častíc na milión častíc vzduchu). [2] Oxid uhličitý sám o sebe nie je toxický. Na rozdiel od oxidu uhoľnatého je ťažší ako vzduch, takže sa hromadí pri zemi, hlavne v zle odvetrávaných miestnostiach.

## OXID UHLIČITÝ V ĽUDSKOM TELE

Oxid uhličitý patrí k dýchacím plynom. Hlavnou funkciou dýchacieho systému je zaistenie primeranej výmeny dýchacích plynov ( $\text{CO}_2$  a  $\text{O}_2$ ) pre metabolizmus medzi okolím a organizmom (bunkami). Jedná sa o vitálne funkcie, ktorých absencia vedie v priebehu niekoľkých minút k ireverzibilným zmenám a smrti. Pre pokojový metabolizmus, napr. 300 kJ/h je potrebné tkanivám dodať asi 240 ml  $\text{O}_2$  a odvieť 200 ml  $\text{CO}_2$  každú minútu.

Dýchanie je riadené autonómne a prebieha na mnohých úrovniach. Najcitlivejším mechanizmom regulujúcim dýchanie nie je parciálny tlak kyslíka, ale práve parciálny tlak  $\text{CO}_2$  v arteriálnej krvi ( $p_a\text{CO}_2$ ). Dýchacie plyny musia byť neustále transportované, inak hrozí významný metabolický rozvrat až smrť tkanív či organizmu, napr. pri zástave dýchania. Zdrojom kyslíka  $\text{O}_2$  pre organizmus je atmosféra. Zdrojom  $\text{CO}_2$  je výhradne metabolizmus. Množstvo  $\text{CO}_2$  v atmosfére je z hľadiska respiračnej fyziológie zanedbateľné. [3]

Napriek absolútnej potrebe kyslíka pre metabolizmus je dychová aktivita udržiavaná koncentráciou  $\text{CO}_2$  v telových tekutinách. Oxid uhličitý sa transportuje krvou v 2 formách – ako fyzikálne rozpustný a ako chemicky viazaný v plazme a erytrocytoch. Približne 80–90 %  $\text{CO}_2$  je v krvi v podobe bikarbonátu a 5–10 % je rozpusteného v plazme a viazaného na Hb (podieľy kolíšu vo venóznej a arteriálnej krvi).  $\text{CO}_2$  rozpustený v plazme je zodpovedný za udržiavanie aktivity dychového centra. [2]

## ÚČINKY $\text{CO}_2$ NA ORGANIZMUS V ZÁVISLOSTI OD JEHO KONCENTRÁCIE

Vo vdychovanom vzduchu je asi 4,5 %  $\text{CO}_2$ , koncentrácie nad 5 % sú životu nebezpečné. Pri vdychovaní vzduchu s koncentráciou  $\text{CO}_2$  0,5 % môže byť osoba vystavená najviac 8 hodín, pre starších a pre deti je expozičný čas kratší.  $\text{CO}_2$  do 3 % v inhalovanom vzduchu nevykazuje toxické účinky v prípade, že vzduch obsahuje dostatok kyslíka. Pri vyššej koncentrácii  $\text{CO}_2$  v inhalovanom vzduchu vznikajú prejavy hypoxie až anoxie. Suchý ľad z  $\text{CO}_2$  môže spôsobiť omrzliny, jeho teplota je  $-42^\circ\text{C}$  na rozdiel od ľadu z vody s teplotou  $0^\circ\text{C}$ . Intoxikácia  $\text{CO}_2$  môže vzniknúť pri používaní hasiacich prístrojov v uzavretom priestore a dlhšom pobyte v priestoroch so suchým ľadom pri nefungujúcej ventilácii. [2]

Účinkom oxidu uhličitého ma ľudský organizmus sa venujú niektoré zahraničné štúdie. Niektoré výskumy skúmajú spojitosť medzi zvýšenou koncentráciou  $\text{CO}_2$  v ovzduší a poklesom produktivity, schopnosti rozhodovania a výkonnosti človeka. Podľa Národného laboratória Lawrence Berkeleyho v Kalifornii k nežiaducim účinkom expozície oxidu uhličitému prichádza pri oveľa nižších koncentráciách ako je najvyšší prípustný expozičný limit NPEL. Podľa vykonanej štúdie pri ktorej boli hodnotené rozhodovacie výkony deväťstupňovou škálou ukázali testovaní účastníci signifikantné zníženie šiestich stupňov pri hladinách  $\text{CO}_2$  1000 ppm a pri hodnotách 2500 ppm bol výkon výrazne znížený v siedmich z deviatich ukazovateľov výkonnosti, pričom percentilové poradie niektorých výkonnostných ukazovateľov kleslo na úrovne spojené s marginálnym alebo dysfunkčným výkonom.



Najdramatickejší pokles výkonu, v ktorom boli subjekty hodnotené ako "nefunkčné", zahŕňal snahu byť iniciatívny a myslieť strategicky. [ 4]

V prieskumoch o koncentráciách CO<sub>2</sub> v školských učebniach v Kalifornii a Texase boli namerané priemerné koncentrácie CO<sub>2</sub> nad 1000 ppm, mnohé prekročili 2 000 ppm a v 21% texaských tried bola maximálna koncentrácia CO<sub>2</sub> vyššia ako 3 000 ppm [ 4]. Takéto vysoké hodnoty CO<sub>2</sub> by mohli mať obzvlášť nepriaznivý vplyv na koncentráciu. Všeobecne platí, že ak sa zhromaždí veľký počet ľudí v miestnosti, CO<sub>2</sub> sa rýchlo zvýši a prispieva k zlej kvalite ovzdušia a k jeho znečisteniu, napr. v zasadacích miestnostiach, kde sa stretáva viac zamestnancov na dlhší čas v obmedzených priestoroch. Aj ostatné miesta, ako sú telocvične, nákupné centrá, kaviarne, bary, knižnice sa čoraz častejšie uznávajú ako vnútorné prostredie s vyšším CO<sub>2</sub>, ktoré by bolo vhodné monitorovať detektormi. Napríklad novo vybudovaná najmodernejšia knižnica v Geelong, Victoria, Austrália, inštalovala detektory CO<sub>2</sub>.

Koncentrácie CO<sub>2</sub> okolo 5 % spôsobujú za 30 minút akútnu hyperkapniu, koncentrácie 6–10 % sú smrteľné v priebehu pár minút. CO<sub>2</sub> spôsobuje hypoxémiu vytesnením kyslíka z ovzdušia, sám osebe nie je toxický, ale experimentálne bolo dokázané, že aj bez poklesu koncentrácie kyslíka má CO<sub>2</sub> systémový toxický efekt. Hemoglobín prenáša kyslík aj CO<sub>2</sub> zároveň, ale rôznymi mechanizmami. CO<sub>2</sub> je mediátor autoregulácie krvného zásobenia v tkanivách, jeho zvýšenie spôsobí vazodilatáciu, zlepši perfúziu v tkanivách.

Koncentrácie okolo 0,1% CO<sub>2</sub> vo vzduchu sú napríklad v zaplnenej prednáškovej miestnosti s nedostatočným vetraním a spôsobujú ospalosť. Pri koncentrácii viac ako 2% sa môžu už vyskytnúť príznaky ako je ťažoba na hrudníku a začína sa prehlbovať dýchanie. Frekvencia dýchania sa zdvojnásobí pri koncentrácii 3% a je štvornásobná pri koncentrácii CO<sub>2</sub> 5%. Pri koncentrácii viac ako 5% je CO<sub>2</sub> toxický priamo, do tejto koncentrácie len nepriamo znížením koncentrácie kyslíka [2]

Otrava oxidom uhličitým nesúvisí s účinkami, ktoré nastávajú pri nedostatočnom zásobovaní kyslíkom, preto obsah kyslíka vo vzduchu nie je účinným indikátorom intoxikácie. Jednotlivé tolerance na limity sa môžu značne líšiť v závislosti od fyzického stavu osoby a teploty a vlhkosti vzduchu.

Tab. 1 - Účinky CO<sub>2</sub> na organizmus v závislosti od jeho koncentrácie v ovzduší

CO <sub>2</sub> vo vzduchu [ppm]	350 - 450 0,035 - 0,045%	600 -1200 0,06 - 1,2%	>1000 > 0,1%	3000 0,3%	5000 0,5%	10 000 1%	4-5%	6 - 10 %
Účinky na organizmus	čerstvý vzduch	izbový vzduch	únava a poruchy koncentrácie	únava, ospalosť, prehlbené dýchanie, zhoršenie sluchu a bolesť hlavy, zvýšenie krvného tlaku a zrýchlenie pulzovej frekvencie	najvyššie prípustný expozičný limit priemerný v pracovnom ovzduší	zrýchlené dýchanie, hypoxia,	frekvencia dýchania je zrýchlená asi štvornásobne, príznaky otravy a pocit dusenia, akútna hyperkapnia	nevoľnosť, bezvedomie, smrť v priebehu pár minút

## MONITOROVANIE KONCENTRÁCIE OXIDU UHLIČITÉHO V PRACOVNOM PROSTREDÍ

Subjektívne hodnotenie kvality vzduchu je veľmi nespoľahlivé, nakoľko koncentráciu CO<sub>2</sub> nie sme našimi zmyslami schopní posúdiť. Dôkazom je niekoľko smrteľných prípadov intoxikácie oxidom uhličitým v pracovnom prostredí bez monitorovania koncentrácie CO<sub>2</sub>. [7]

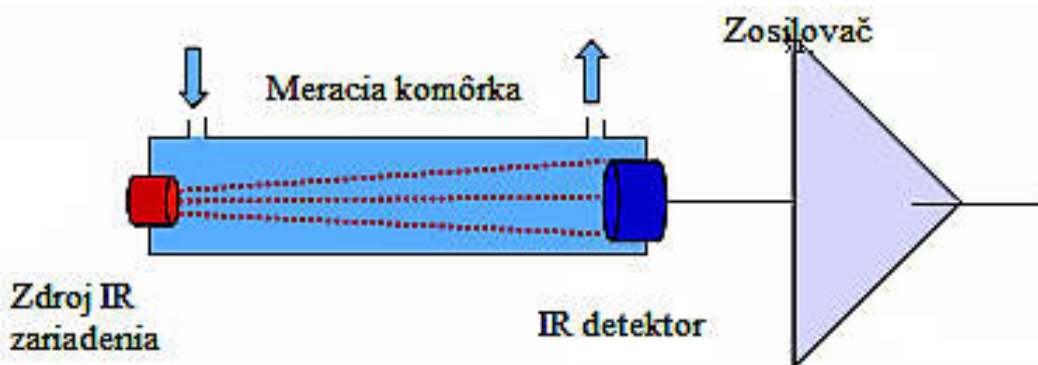
Riešením tohto problému je zavedenie systému kontroly koncentrácie CO<sub>2</sub> v pracovnom prostredí. Pre meranie koncentrácie CO<sub>2</sub> vo vzduchu sa využívajú viaceré princípy. Najrozšírenejšími sú snímače, ktoré pracujú na základe absorpcie infračerveného žiarenia (metóda NDIR - nondispersive



infrared), ďalej snímače, ktoré pracujú na elektroakustickom princípe a snímače fungujúce na elektrochemickom princípe. Každý má svoje výhody a nevýhody.

Na obrázku 1 je schéma zjednodušeného snímača CO<sub>2</sub> na báze NDIR. Na jednom konci je zdroj LED vyžarujúci infračervené svetlo a na druhom konci detektor so špecifickým svetelným filtrom na detekciu len CO<sub>2</sub>. Plyn difunduje do komory medzi zdrojom LED a detektorom. Množstvo CO<sub>2</sub> v komore je priamo úmerné množstvu absorbovaného svetla.

Samotné meranie je založené na metóde, ktorá využíva dva lúče s dvoma zdrojmi. Snímače pracujú na princípe merania útlmu infračerveného žiarenia (o špecifickej vlnovej dĺžke) vo vzduchu. Signál z infračerveného detektora sa ďalej zosilňuje a potom pomocou ďalšej elektroniky vyhodnotí útlm žiarenia a na tomto základe sa vypočíta aktuálna koncentrácia CO<sub>2</sub> vo vzduchu.



Obr. 1 Zjednodušená schéma NDIR senzora (zdroj internet)

Snímače všetkých typov monitorovacích zariadení majú obvykle kontinuálny napäťový výstup (0 až 10 V) alebo prúdový výstup (0-20 / 4-20 mA), pomocou ktorého sa odovzdávajú informácie o koncentrácii CO<sub>2</sub> vo vzduchu nadriadenému ventilačnému systému. [5]

Dlhodobá stabilita merania CO<sub>2</sub> je zaručená práve vďaka nedisperznému infračervenému (NDIR) meraciemu snímaču CO<sub>2</sub>. Patentovaný postup autokalibrácie kompenzuje starnutie infračerveného zdroja, zaručuje vysokú spoľahlivosť merania v rozsahu  $\pm 1$  % ročne a eliminuje potrebu periodickej recalibrácie v mieste použitia. Okrem prenosu údajov do počítača a na mobilný telefón prevádzkovateľa zariadenia, T senzor snímača farebne signalizuje a zvukom upozorňuje zamestnanca na koncentrácie CO<sub>2</sub> a prípadné opustenie prevádzky. T senzor súčasne riadi externé zariadenie – odsávanie priamo vo výrobe. [6]

## ZÁVER

Oxid uhličitý CO<sub>2</sub> je plynná látka bez zápachu. Je normálnym produktom metabolizmu. Vzniká pri dýchaní, ale aj počas rôznych výrobných procesov, napr. pri kvasení. V atmosfére je v množstve asi 0,04 %, jeho množstvo sa však zvyšuje a spôsobuje skleníkový efekt. Chronická intoxikácia u človeka je nepravdepodobná. Výskumy však ukázali, že oxid uhličitý je ďaleko nebezpečnejší ako sa doteraz myslelo.

Aj napriek tomu, že nepatrí medzi toxické plyny, pri istých koncentráciách sa toxické účinky prejavajú a objavujú sa už pri koncentrácii 2 %, pri obsahu nad 5 % telo nestačí oxid uhličitý ventilovať a dochádza k jeho hromadeniu v tele. Oxid uhličitý tlmí centrálnu nervovú sústavu a dýchacie centrum. Postihnutí sa sťažujú na bolesti hlavy a pocit dusenia.

Výsledné hodnotenie časovo - váženého priemeru koncentrácie oxidu uhličitého počas ôsmich hodín expozície a následné porovnanie s najvyšším prípustným expozičným limitom priemerným v pracovnom ovzduší je diskutabilné. Je vôbec možné priemerovať hodnoty oxidu uhličitého?



Pre chemické látky, ktoré sú potenciálne nebezpečné pod úrovňou spoľahlivého ľudského vnímania, by sa mali používať kontinuálne monitorovacie zariadenia. U zamestnancov, ktorí sú exponovaní oxidu uhličitému je ochrana zdravia prvoradá. Monitorovanie pracovného ovzdušia by malo byť predpokladom vyššej bezpečnosti na pracovisku.

Monitorovacie zariadenie s prepojením priamo na odsávanie, ako aj zabezpečenie informovania online môže byť vhodnou voľbou vo všetkých prevádzkach, kde k uvoľňovaniu CO<sub>2</sub> dochádza, napr. v potravinárskom priemysle.

## ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] [on-line] Available on - URL: <http://www.bbc.com/news/science-environment-22486153>
- [2] DOBIÁŠ V.: Intoxikácia oxidom uhoľnatým a oxidom uhličitým in Prednemocničná urgentná medicína, Osveta 2012, 737 s., ISBN 9788080633875
- [3] KITTNAR O a kol.: Lékařská fyziologie, Praha, Grada Publishing, a. s., 2011, 800 s., ISBN 978-80-247-3068-4
- [4] SATISH et al (2012). Is CO<sub>2</sub> an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO<sub>2</sub> Concentrations on Human Decision-Making Performance. In Environmental Health Perspectives, ISSN 0091-6765, 2012, volume 120, number 12 (str. 1671 - 1677)
- [5] [on-line] Available on - URL: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/5827-pracujete-ve-zdravem-prostredi>
- [6] [on-line] Available on - URL: [http://www.cometsystem.cz/userfiles/file/Manuals-Czech/Snimace%20-%20Quick%20start/i-hgs-n-h5\(6\)5xx.pdf?time=1512232609&FixForIE=.pdf](http://www.cometsystem.cz/userfiles/file/Manuals-Czech/Snimace%20-%20Quick%20start/i-hgs-n-h5(6)5xx.pdf?time=1512232609&FixForIE=.pdf)
- [7] [on-line] Available on - URL: [http://www.zachranaoz.sk/wp-content/uploads/2014/12/11\\_Bak%C5%A1i.pdf](http://www.zachranaoz.sk/wp-content/uploads/2014/12/11_Bak%C5%A1i.pdf)

## ADRESY AUTOROV

### **Mgr. Marianna KIZEKOVÁ, PhD.**

Klinika pracovného lekárstva a klinickej toxikológie UPJŠ LF, Košice, Slovenská republika  
e-mail: [kizekova.marianna@gmail.com](mailto:kizekova.marianna@gmail.com)

### **Ing. Viera RUSŇÁKOVÁ, PhD.**

ViGer s. r. o., Seňa 10, 044 58 Seňa, Slovenská republika  
e-mail: [viger.sro@gmail.com](mailto:viger.sro@gmail.com)

### **doc. MUDr. Ľubomír LEGÁTH, PhD., mim. prof.**

Klinika pracovného lekárstva a klinickej toxikológie UPJŠ LF Košice, Slovenská republika  
e-mail: [lubomir.legath@upjs.sk](mailto:lubomir.legath@upjs.sk)

#### **RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU**

*Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.*

#### **REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS**

*Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.*