

VYHODNOTENIE VNÚTORNEJ KLÍMY V ŠKOLÁCH

Ivana TUREKOVÁ – Martina KOZMOVÁ

INDOOR CLIMATE QUALITY ASSESSMENT IN SCHOOLS



Sustainability - Environment - Safety '2018

ABSTRAKT

Oxid uhličitý je zaradovaný medzi skleníkové plyny v dôsledku jeho zvyšujúcej sa koncentrácie vo vonkajšom prostredí. Tento nárast je dôsledkom hlavne spaľovacích procesov. Rovnako aj vo vnútornom prostredí má negatívne účinky. Výskumy ukazujú, že vysoká koncentrácia oxidu uhličitého v triedach nepriaznivo ovplyvňuje zdravie a produktivitu študentov. Vyššia koncentrácia spôsobuje nižší psychický výkon, klesá schopnosť sústredenia sa, učenia. Pri vyšších koncentráciách môže dochádzať aj k fyzickým prejavom ako je malátnosť, bolesti hlavy a pod. To sú dôvody monitorovania oxidu uhličitého v prostrediach, kde sa vykonávajú činnosti vyžadujúce sústredenosť a k tým patria aj školy. Hoci v súčasnosti školy prechádzajú rekonštrukciami, ani 0,5 násobná výmena vzduchu nie je obvykle schopná zabezpečiť dostatočný prívod čerstvého vzduchu tak, aby boli odporúčané hygienické predpisy, ktoré stanovujú, koncentráciu oxidu uhličitého vo vnútornom prostredí pod 1 000 ppm. Výsledky v článku potvrdzujú, že pri hodnotení indoor kvality a súčasnom prirodzenom vetraní, nadmerná obsadenosť v triedach neúmerne prekračuje dovolené limitné hodnoty oxidu uhličitého počas vyučovacieho procesu, čo môže mať významný vplyv aj na kvalitu vzdelávania a komfort študentov a učiteľov a je nutné technicky zabezpečiť dostatočnú výmenu vzduchu už v projektovej fáze novej alebo rekonštruovanej stavby.

ABSTRACT

Carbon dioxide is classified as greenhouse gases due to its increasing concentration in the external environment. This increase is mainly due to combustion processes. It also has negative effects in the internal environment. Research indicates that high carbon dioxide levels in classrooms adversely affect the health and productivity of students. Higher concentration causes lower mental performance, decreases ability to concentrate, learning. It can happen physical manifestations such as malaise, headache, and so on at higher concentrations. These are the reasons for monitoring of carbon dioxide in environments where activities requiring concentration are carried out and schools are also included. Schools are currently undergoing renovations, 0.5 times the air exchange is not usually able to provide sufficient fresh air to comply with the hygiene rule. They recommended concentration of carbon dioxide in the indoor environment below 1,000 ppm. The results of the article show that for a comprehensive assessment of indoor quality and current natural ventilation, overcrowding in classes, exceeds the allowable limit values of carbon dioxide during the teaching process, which can also have a significant impact on the quality of education and comfort of students and teachers. There is necessary to provide technically sufficient air exchange already in the project phase of new or reconstructed buildings.

Kľúčové slová:

Oxid uhličitý, škola, monitoring, limit, výmena vzduchu

Key words:

Carbon dioxide, school, monitoring, limit, air exchange

Úvod

Na kvalitu vyučovacieho procesu vplývajú aj fyzikálne faktory, chemické a biologické faktory, ktoré sa podpisujú pod komfort resp. diskomfort žiakov a učiteľov. Najbežnejším polutantom je oxid uhličitý. V interiéri je vždy jeho koncentrácia vyššia ako v exteriéri.

Rýchlosť tvorby polutantov vo vnútornom prostredí nie je konštantná. Polutanty môžu byť adsorbované povrchovými plochami miestností a desorbované do ovzdušia, ak sa zníži ich koncentrácia. Rovnako sú variabilné aj rozdiely koncentrácií polutantov v jednotlivých budovách hlavne v dôsledku napríklad rôznych ventilačných systémov a ich činností [1]. Koncentrácia znečisťujúcich látok vo vzduchu, ktorý vstupuje do priestoru, je ovplyvnená piatimi faktormi:

- úrovňou a typom znečisťujúcich látok vo vonkajšom prostredí;
- možnou recirkuláciou spätného vzduchu;
- umiestnením vonkajšieho prívodu vzduchu vzhľadom k zdrojom vonkajších polutantov vrátane výstupov na odvod vzduchu;
- zdrojmi znečistenia v systémoch na úpravu vzduchu; a
- odstraňovaním znečisťujúcich látok z privádzaného vzduchu pomocou filtrov, sorbentov alebo z depozícia na povrchoch potrubí.

To sú dôvody zmien v kvalite vzduchu v miestnosti, hlavne kvôli zmenám v kvalite dodávaného vzduchu [2], [3].

Hlavným zdrojom oxidu uhličitého v interiéri je predovšetkým človek. Pri dýchaní dochádza k výmene kyslíka a oxidu uhličitého, pričom produkcia oxidu uhličitého je priamo úmerná telesnej aktivite. Súčasné objekty sa začínajú vybavovať snímačmi na meranie kvality vnútorného prostredia. Tieto senzory väčšinou merajú teplotu, relatívnu vlhkosť vzduchu a koncentráciu oxidu uhličitého prípadne VOC. Podľa koncentrácie CO₂ v interiéri potom dochádza k výmene vzduchu alebo prirodzenou výmenou vzduchu alebo zapnutím vzduchotechniky.

Vplyv oxidu uhličitého na organizmus

Účinkom oxidu uhličitého na ľudský organizmus sa venujú mnohé zahraničné štúdie. Niektoré výskumy skúmajú spojitosť medzi zvýšenou koncentráciou CO₂ v ovzduší a poklesom produktivity, schopnosti rozhodovania a výkonnosti [4].

V interiéri je limitná hodnota koncentrácie oxidu uhličitého 1 000 ppm, zavedená Max Josephom von Pettenkoferom, priekopníkom modernej hygieny a environmentu [5]. Z tejto hodnoty bolo odvodené maximálne množstvo vetraného vzduchu 25 m³.hod⁻¹ na osobu v interiéri [6].

CO₂ nie je toxický, ale experimentálne bolo dokázané, že aj bez poklesu koncentrácie kyslíka má CO₂ systémový toxický efekt. Hemoglobín prenáša kyslík aj CO₂ zároveň, ale rôznymi mechanizmami. CO₂ je mediátor autoregulácie krvného zásobenia v tkanivách, jeho zvýšenie spôsobí vazodilatáciu, zlepši perfúziu v tkanivách [7].

Koncentrácie okolo 0,1 % CO₂ vo vzduchu, ktoré sa vyskytujú 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 CO₂ 5 % [8]. Pri koncentrácii viac ako 5 % je CO₂ toxický priamo, do tejto koncentrácie len nepriamo znížením koncentrácie kyslíka (Tab.1).

O toxických účinkoch hovoríme nad 5 % CO₂, kedy ľudský organizmus nestačí CO₂ ventilovať a dochádza k jeho hromadeniu v tele. Následne tlmí centrálnu nervovú sústavu a dýchacie centrum,

príznaky sprevádzajúce bolesťami hlavy. Nad 20 % nastáva smrť zástavou dychu v priebehu niekoľkých sekúnd [9].

Tab.1 Účinky CO₂ na organizmus v závislosti od jeho koncentrácie v ovzduší [10]

CO ₂ vo vzduchu		Popis, účinky na organizmus
(ppm)	Obj. %	
350 - 450	0.035 - 0.045	čerstvý vzduch
600 - 1200	0.06 - 1.2	izbový vzduch
>1000	> 0.1	únava a poruchy koncentrácie
1 200 až 2 000	1.2 – 2.0	pocit ospalosti a únavy
3000	0,3	únava, ospalosť, prehĺbené dýchanie, zhoršenie sluchu a bolesť hlavy, zvýšenie krvného tlaku a zrýchlenie pulzovej frekvencie
5 000	0.5	najvyššie prípustný expozičný limit priemerný v pracovnom ovzduší
10 000	1	zrýchlené dýchanie, hypoxia,
40 000 – 50 000	4-5	frekvencia dýchania je zrýchlená asi štvornásobne, príznaky otravy a pocit dusenia, akútna hyperkapnia
60 000 – 100 000	6 - 10	nevoľnosť, bezvedomie, smrť v priebehu pár minút

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.

Jednou zo základných podmienok zdravého prostredia v školách je dostatočné vetranie vnútorného prostredia. V školách sa väčšinou čerstvý vzduch dostáva do objektu zväčša neregulovaným spôsobom a to cez škáry okien a dverí alebo cez škáry v obalových konštrukciách [11]. Počas chladných dní je potrebné zabezpečiť prirodzené vetranie otváraním okien. Pri riešení problému výmeny vzduchu v školských budovách platia hygienické limity pre nevyhnutné množstvá vzduchu podľa ročného obdobia (Tab. 2).

Tab. 2 Výmena vzduchu v priestoroch školských budov v zimnom období [12]

Účel priestoru	Teplota v zime (°C)	Výmena vzduchu		Druh vetrania
		(l.h ⁻¹)	(m ³ .h ⁻¹)	
Univerzálne a odborné učebne, pracovne výtvarnej a hudobnej výchovy	20	3- 8	15 - 40	Prirodzené – leto Nútené odsávanie - zima
Kabinety	20	-	-	prirodzené
Odborné pracovne, laboratória	20	5 - 10	15 - 40	nútené
Čítárne a klubovne	20	3 - 5	20 - 30	prirodzené
WC pre žiakov	15	10	-	prirodzené
Chodby pre pobyt a odpočinok	15	3 - 5	-	prirodzené

Metódy

Cieľom tohto príspevku bolo posúdiť kvalitu vnútorného prostredia v reprezentatívnej vysokoškolskej učebni, pričom hlavná pozornosť bola venovaná koncentrácii CO₂ a jeho meniacej sa koncentrácii. Koncentrácia oxidu uhličitého v učebni bola objektivizovaná prístrojom TESTO 315 – 3 CO / CO₂ (Obr. 1).



Obr.1 TESTO 315 – 3 CO / CO – prístroj použitý na meranie CO₂

Objektom meraní bola reprezentatívna učebňa, ktorej základné charakteristiky sú v Tab. 3 a vnútorné usporiadanie je na Obr. 2. Jej lokalizácia je v rekonštruovanej budove Pedagogickej fakulty UKF v Nitre na prízemí samostatného traktu.

Tab.3 Parametre objektivizovanej miestnosti

Označenie miestnosti	DRD00080
Rozmery	6.45 x 5.34 m x 3.19 m
Charakteristika	Učebňa pre klasické cvičenie
Orientácia	Sever
Lokalita	Bočný trakt na prízemí, stred budovy
Počet okien a rozmery	2 okná (1.75 . 2.07 m ²)
Počet vykurovacích zariadení a rozmery	2 radiátory (1.80 – 60.5 m ²)
Počet svetelných zdrojov	6 svietidiel



Obr.2 Priestorové usporiadanie učebne

Výsledky a diskusia

Meranie koncentrácie oxidu uhličitého vrátane relatívnej vlhkosti a teploty bolo vykonané v mesiaci marsi, diskontinuálne v dvadsaťminútových intervaloch počas 90 minútového cvičenia, kedy sa v učebni nachádzalo 19 ľudí. Okná aj dvere boli zatvorené s cieľom indikovať rýchlosť nárastu koncentrácie oxidu uhličitého. Prvé meranie sa uskutočnilo pred začatím vyučovania v prázdnej

učebni. Prístroj zaznamenával minimálnu a maximálnu hodnotu oxidu uhličitého v ppm jednotkách (Tab. 4).

Tab.4 Výsledky merania koncentrácie CO₂ počas výučby

Čas merania	Minimálna hodnota CO ₂ (ppm)	Maximálna hodnota CO ₂ (ppm)	Priemerná hodnota CO ₂ (ppm)	Teplota (°C)	Relatívna vlhkosť (-)
09:00	930	1050	990	24,4	42.5
09:20	1850	2030	1940	25.0	41.3
09:40	2080	2350	2215	25.7	42.9
10:00	3360	3750	3555	26.3	47.6
10:20	3680	3680	3680	26.8	49.8
10:40	4170	4250	4210	27.0	51.7

Namerané hodnoty teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu boli porovnané s optimálnymi prípustnými podmienkami mikroklímy pre priestory s osobitnými požiadavkami [13]. Minimálna nameraná teplota v miestnosti počas vyučovania bola 24.4 °C, a maximálna nameraná hodnota počas vyučovania bola 27 °C. Meraním bolo preukázané, že hodnoty teploty v učebni nespĺňajú limitné parametre teploty, ktoré sú určené rozmedzím 20 – 24 °C. Hodnota relatívnej vlhkosti vzduchu v učebni sa pohybovala od 41.3 % do 51.7 %. Tieto hodnoty spĺňajú požiadavky limitného rozmedzia relatívnej vlhkosti (30 – 70 %).

Najkritickejšou hodnotou bola koncentrácia oxidu uhličitého, pretože počas výučby boli zatvorené okná aj dvere a učebňa nedisponovala žiadnym umelým vetracím systémom. Podľa legislatívneho predpisu [14] je najvyšší expozičný limit priemerný pre CO₂ stanovený hodnotou 5000 ppm v pracovnom ovzduší a predstavuje časovo-vážený priemer koncentrácií nameraných v dýchacej zóne za osemhodinovú pracovnú zmenu a 40-hodinový pracovný týždeň. Vo vyhláske, vzťahujúcej sa k školskému prostrediu [13, 15] medzi limitnými hodnotami zdraviu škodlivých faktorov vo vnútornom ovzduší sa ukazovateľ CO₂ sa nenachádza. Najčastejšie odporúčané hodnoty pre školské prostredie sú 1000 – 1200 ppm.

V prieskumoch o koncentráciách CO₂ v školských učebniach v Kalifornii a Texase [16] boli namerané priemerné koncentrácie CO₂ nad 1000 ppm, mnohé prekročili 2000 ppm a v 21 % texaských tried bola maximálna koncentrácia CO₂ vyššia ako 3000 ppm. Už takto vysoké hodnoty CO₂ by mohli mať obzvlášť nepriaznivý vplyv na zdravie, ako uvádzajú autori. Kvalita ovzdušia v interiéri výrazne ovplyvňuje rozhodovanie, kognitívne schopnosti a strategické myslenie. Je dôležité podotknúť, že zlá kvalita ovzdušia či už v kanceláriách alebo v triedach ovplyvňuje pracovný výkon a schopnosti sústrediť sa.

Všeobecne platí, že ak sa zhromaždí veľký počet ľudí v miestnosti, CO₂ 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 CO₂, ktoré by bolo vhodné monitorovať detektormi.

Odporúčajúcim záverom je v rámci rekonštrukcie učebne namontovať vhodný rekuperačný systém zabezpečujúci jednak dostatočný prísun vzduchu a udržanie nižšej koncentrácie oxidu uhličitého vrátane senzorov na včasné rozpoznanie nebezpečnej koncentrácie. V súčasnosti je odporúčaním návrhom pravidelné vetranie miestnosti počas výučby.

Zlepšením by bola inštalácia termoregulácie na vykurovacie telesá v učebni, aby sa predišlo k nadmernému prehrievaniu priestorov.

Avšak zásada prevencie by pri výstavbách a rekonštrukciách budov mala byť zásadná a posúvať technológie a nové poznatky tak, aby už v štádiu spracovania projektu budov bola venovaná pozornosť moderným systémom, zabezpečujúcim kvalitu prostredia v školách.

Záver

Metrika kvality vzduchu by mala určiť, kedy kvalita vnútorného vzduchu je neprijateľná a mala by vychádzať z poznatkov o expozícii účinkov na ľudské zdravie a pohodlie. Ak chceme získať komplexný obraz o IAQ (indoor air quality) v budovách, nestačí merať kvantitatívne hodnoty kontaminantov, lebo aj ich individuálne koncentrácie môžu byť neporovnateľné, majú rôzny vplyv na zdravie a iné časové váhy a jednotky; napríklad radón ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$), častice ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Jedným z prístupov je konverzia jednotlivých koncentrácií kontaminantov na podindexy, ktoré môžu byť funkciou ich zdravia predtým, než sa zhromaždia do jedného indexu.

Pod'akovanie [zaradenie príspevku]

Príspevok bol realizovaný v rámci projektu VEGA „Predikovanie vplyvu kvality vnútorného prostredia na efektívne riadenie a zvýšenie úrovne vzdelávacieho procesu“ č. projektu 1/0668/18.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] Turk, B. H. et al. 1987. Indoor Air Quality and Ventilation Measurements in 38 Pacific Northwest Commercial Buildings. Vol. 1: Measurement Results and Interpretation, Berkeley, CA, Lawrence Berkeley Laboratory Report, LBL- 22315 1/2.
- [2] Björkroth, M., Seppänen, O. and Torkki, A. 1998. Chemical and sensory emissions from HVAC components and ducts, In: Moschandreas, D. (ed) Design, Construction, and Operation of Healthy Buildings – Solutions to Global and Regional Concerns, Atlanta, GA, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, pp. 47–55.
- [3] Seppänen, O. and Palonen, J. 1998. The effect of indoor climate on national economy, Finnish Society of Indoor Air Quality and Climate.
- [4] van Dijken, F., van Bronswijk, J. E. M. H., & Sundell, J. 2006. Indoor environment and pupils' health in primary schools. *Building Research and Information*, 34(5), 437-446.
- [5] Fanger PO. 2006. What is IAQ?. *Indoor Air*.16:328-34.
- [6] Jones, B. 2017. Metrics of Health Risks from Indoor Air. *The REHVA European HVAC Journal*, 54, 39-44.
- [7] Trojan, S., et al. 2003. Lékařská fyziologie, 4 th , reedited publication. Prague, Grada Publishing, a.s. 772 p. ISBN 80-247-0512-5.
- [8] Costanzo, S., A. Cusumano a C. Giaconia. 2011. Ventilation Rates and Unsatisfied Percentage from Indoor CO2 Concentration. Sage Publications Ltd. 2011, no. 2. DOI: 10.1177/1420326X10373330
- [9] Tureková, I., Marková, I. 2018. Vnútorné prostredie budov : vysokoškolské učebné texty. vyd. - Nitra : UKF, 2018. - 160 s. - ISBN 978-80-558-1313-4.
- [10] Tureková, I. et al. 2016. Evaluation of Microclimate Conditions in Classroom during Learning Process. In: SGEM 2016. Sofia : STEF92 Technology, ISBN 978-619-7105-71-1, p. 491-498. DOI 10.5593/sgemsocial2016B12.
- [11] Galda, Z., Labudek, J., Sipkova, V. 2015. Experimental Measurement of the CO2 Content in a Passive Home During a Simulated AirConditioning Power Outage, *Applied Mechanics and Materials Vols. 752-753*. pp 1187-1190, Trans Tech Publications, Switzerland,
- [12] STN EN 16798-3: 2018. Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 3: For non-residential buildings - Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems (Modules M5-1, M5-4)
- [13] Vyhláška MZ SR č. 259/2008 Z. z. o podrobnostiach o požiadavkách na vnútorné prostredie budov a o minimálnych požiadavkách na byty nižšieho štandardu a na ubytovacie zariadenia



- [14] NV SR č. 355/2006 Z. z. o ochrane zamestnancov pre rizikami súvisiacimi s expozíciou chemických faktorov v znení neskorších predpisov
- [15] ZELENÝ, J., MARKOVÁ, I. 2015. Modelovanie reťazcov udalostí [elektronický zdroj] 1. vyd. - Banská Bystrica : Fakulta prírodných vied UMB v Banskej Bystrici, 2015 ISBN 978-80-557-0640-5
- [16] Corsi, R.L., Torres, V.M., Sanders, M. and Kinney, K.L. 2004. Carbon dioxide levels and dynamics in elementary schools: results of the TESIAS Study". In: Proceedings of Indoor Air '02: Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Vol. 2, pp. 74-79.

ADRESY AUTOROV

doc. Ing. Ivana Tureková, PhD.

Univerzita Konštantína Filozofa, Pedagogická fakulta, Katedra techniky a informačných technológií,
Dražovská 4, 949 74, Nitra, Slovenská republika
email: iturekova@ukf.sk

Ing. Martina Kozmová

Univerzita Konštantína Filozofa, Pedagogická fakulta, Katedra techniky a informačných technológií,
Dražovská 4, 949 74, Nitra, Slovenská republika
email: martina.kozmova@ukf.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.