

UNIVERZITA PARDUBICE  
FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2024

David Rak

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická

Analýza oxidu uhličitého v pracovním prostředí

Bakalářská práce

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **David Rak**  
Osobní číslo: **C21215**  
Studijní program: **B3912 Speciální chemicko-biologické obory**  
Studijní obor: **Zdravotní laborant**  
Téma práce: **Analýza oxidu uhličitého v pracovním prostředí**  
Téma práce anglicky: **Analysis of CO<sub>2</sub> in the Work Environment**  
Zadávací katedra: **Katedra biologických a biochemických věd**

## Zásady pro vypracování

1. Vypracujte rešerši týkající se působení oxidu uhličitého ve vnitřním prostředí na lidské zdraví, pracovní výkonnost a soustředěnost.
2. V rámci experimentální části ve vybraných výukových prostorách budovy FCHT Univerzity Pardubice monitorujte aktuální koncentrace CO<sub>2</sub> pomocí mobilního analyzátoru Ecoprobe 5.
3. Zjištěné výsledky kriticky zhodnoťte ve vztahu k doporučeným hodnotám výskytu CO<sub>2</sub> v pracovním prostředí. V případě překročení těchto hodnot navrhněte možnost nápravy.
4. Bakalářskou práci zpracujte v souladu se Směrnicí UPa č. 7/2019 "Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací" v platném znění.

Rozsah pracovní zprávy: 25 s.  
Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam doporučené literatury:

Materiály firmy Carbon Instruments týkající se analyzátoru Ecoprobe 5, dále podle pokynů vedoucí bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jaromíra Chýlková, CSc.**  
Ústav environmentálního a chemického inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: 22. prosince 2023  
Termín odevzdání bakalářské práce: 1. července 2024

prof. Ing. Petr Němec, Ph.D. v.r.  
děkan

L.S.

doc. RNDr. Tomáš Roušar, Ph.D. v.r.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 29. února 2024

Prohlašuji:

Práci s názvem Analýza oxidu uhličitého v pracovním prostředí jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 20. 06. 2024

David Rak

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí mé práce paní prof. Ing. Jaromíře Chýlkové, CSc. za pomoc a rady, které mi dávala během psaní této práce.

Dále bych chtěl poděkovat rodičům a příbuzným za trpělivost a podporu při studiu.

## **ANOTACE**

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou koncentrací oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) v pracovním prostředí pomocí mobilního analyzátoru ECOPROBE 5. Cílem práce je zhodnotit úroveň CO<sub>2</sub> v různých typech výukových prostor na FCHT, identifikovat faktory ovlivňující tyto koncentrace a navrhnout opatření pro zlepšení kvality vzduchu. V teoretické části je popsána problematika, CO<sub>2</sub> jako environmentálního a zdravotního rizika, legislativní normy týkající se kvality ovzduší na pracovištích a metody měření CO<sub>2</sub>. Praktická část obsahuje výsledky naměřených koncentrací, jejich analýzu a interpretaci. Závěrem jsou navržena doporučení pro snižování koncentrací, CO<sub>2</sub> a zlepšení pracovních podmínek.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Mobilní přístroj ECOPROBE 5, oxid uhličitý, pracovní prostředí, ventilace, IR detektor

## **TITLE**

Analysis of CO<sub>2</sub> in the work Environment

## **ANNOTATION**

This bachelor's thesis deals with the analysis of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) concentrations in the working environment using the ECOPROBE 5 mobile analyzer. The aim of the thesis is to evaluate the level of CO<sub>2</sub> in various types of educational spaces at FCHT, identify factors affecting these concentrations, and propose measures to improve air quality. The theoretical part describes the issue of CO<sub>2</sub> as an environmental and health risk, legislative standards concerning air quality in workplaces, and methods of measuring CO<sub>2</sub>. The practical part includes the results of the measured concentrations, their analysis, and interpretation. Finally, recommendations are proposed for reducing CO<sub>2</sub> concentrations and improving working conditions.

## **KEYWORDS**

Mobile device ECOPROBE 5, carbon dioxide, ventilation, IR detector, work environment

# Obsah

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	9
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK .....	10
ÚVOD.....	11
1 TEORETICKÁ ČÁST .....	12
1.1 Oxid uhličitý .....	12
1.1.1 Vlastnosti oxidu uhličitého .....	12
1.1.2 Podmínky ovlivňující koncentraci CO <sub>2</sub> v pracovním prostředí.....	12
1.1.3 Vznik oxidu uhličitého v lidském těle .....	13
1.1.4 Využití CO <sub>2</sub> v průmyslu.....	13
1.2 Normy a bezpečnostní předpisy týkající se CO <sub>2</sub> v pracovním prostředí .....	14
1.2.1 Vliv oxidu uhličitého na lidský organismus .....	15
1.2.2 Akutní expozice CO <sub>2</sub> .....	17
1.2.3 Chronická expozice CO <sub>2</sub> .....	18
1.3 Snížení koncentrace oxidu uhličitého v pracovním prostředí.....	18
1.3.1 Větrání .....	18
1.3.1.1 Přirozené větrání .....	18
1.3.1.2 Mechanické větrání.....	19
1.3.1.3 Hybridní větrání.....	19
1.3.1.4 Klimatizace .....	19
2 PRAKTICKÁ ČÁST .....	20
2.1 Použité přístroje .....	20
2.1.1 Popis přístroje .....	20
2.1.2 Obsluha přístroje.....	21
2.1.3 Výběr měřicí metody a nastavení parametrů .....	23
2.2 Popis měřených učeben a laboratoří .....	24
3 VÝSLEDKY A DISKUSE .....	25
3.1 Koncentrace CO <sub>2</sub> v laboratoři L14 .....	25
3.2 Koncentrace CO <sub>2</sub> v laboratoři L10 .....	25
3.3 Koncentrace CO <sub>2</sub> v počítačové učebně S5 .....	28
3.4 Koncentrace CO <sub>2</sub> v posluchárně C2 .....	28

3.5	Koncentrace CO <sub>2</sub> v učebně teoretické výuky S20 .....	28
4	ZÁVĚR .....	33

## SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

<b>Obrázek 1</b>	Vliv CO <sub>2</sub> na fáze lidského myšlení (Satish et al. 2012).....	17
<b>Obrázek 2</b>	Analyzátor ECOPROBE 5.....	20
<b>Obrázek 3</b>	Schéma IR analyzátoru (RS Dynamics 2004) .....	21
<b>Obrázek 4</b>	Ovládací prvky analyzátoru ECOPROBE 5 .....	22
<b>Obrázek 5</b>	Čelní panel přístroje, A – multifunkční konektor, B – vstupní olivka, C – výstupní olivka .....	22
<b>Obrázek 6</b>	Úvodní menu analyzátoru ECOPROBE 5 (RS Dynamics 2004) .....	23
<b>Obrázek 7</b>	Výstup měřených koncentrací (RS Dynamics 2004).....	24
<b>Obrázek 8</b>	Porovnání průměrných a maximálních koncentrací CO <sub>2</sub> naměřených v laboratoři L14 .....	26
<b>Obrázek 9</b>	Porovnání průměrných a maximálních koncentrací CO <sub>2</sub> naměřených v laboratoři L10 .....	28
<b>Obrázek 10</b>	Porovnání průměrných a maximálních koncentrací CO <sub>2</sub> naměřených v počítačové učebně S5 .....	30
<b>Obrázek 11</b>	Porovnání průměrných a maximálních koncentrací CO <sub>2</sub> naměřených v posluchárně C2 .....	31
<b>Obrázek 12</b>	Porovnání průměrných a maximálních koncentrací CO <sub>2</sub> naměřených v učebně teoretické výuky S20.....	32
<b>Tabulka 1</b>	Předepsané množství přiváděného čerstvého vzduchu v učebnách, tělocvičnách, šatnách, umývárkách, sprchách a záchodech v zařízeních pro výchovu a vzdělávání a provozovnách pro výchovu a vzdělávání (Nařízení vlády č. 410/2005 Sb. 2005). .....	15
<b>Tabulka 2</b>	Vliv koncentrace oxidu uhličitého na lidské zdraví a doporučené hodnoty (Nařízení vlády č. 20/2012 Sb. 2012). .....	16
<b>Tabulka 3</b>	Popis studovaných místností.....	24
<b>Tabulka 4</b>	Koncentrace CO <sub>2</sub> naměřené v laboratoři L14 .....	26
<b>Tabulka 5</b>	Koncentrace CO <sub>2</sub> naměřené v laboratoři L10 .....	27
<b>Tabulka 6</b>	Koncentrace CO <sub>2</sub> naměřené v počítačové učebně S5 .....	29
<b>Tabulka 7</b>	Koncentrace CO <sub>2</sub> naměřené v posluchárně C2 .....	30
<b>Tabulka 8</b>	Koncentrace CO <sub>2</sub> naměřené v učebně teoretické výuky S20 .....	31

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
ppm	„parts per million“ částic na jeden milion
CO	Oxid uhelnatý
PID	Fotoionizační analyzátor
IR	Infra-červený analyzátor

## ÚVOD

Rostoucí důraz na zdraví a bezpečnost pracovníků v různých odvětvích přivedl pozornost k řadě environmentálních faktorů, které mohou ovlivnit pracovní prostředí. Jedním z těchto faktorů je koncentrace oxidu uhličitého, který je běžně přítomný ve vzduchu, avšak zvýšená koncentrace v uzavřených prostorech mohou mít negativní dopady na zdraví a produktivitu zaměstnanců.

V pracovním prostředí se CO<sub>2</sub> produkuje nejen dýcháním lidí, ale může být i vedlejším produktem některých technologických procesů. Nedostatečné větrání může vést k akumulaci tohoto plynu, což způsobuje únavu, sníženou schopnost soustředění a v extrémních případech může vyvolat vážné zdravotní komplikace. Z tohoto důvodu je nezbytné pravidelně monitorovat a analyzovat úroveň CO<sub>2</sub> v pracovních prostorech, a tím zajistit optimální pracovní podmínky.

Tato bakalářská práce si klade za cíl provést komplexní analýzu koncentrace CO<sub>2</sub> v různých typech pracovního prostředí. Zaměřit se na identifikaci hlavních zdrojů CO<sub>2</sub>, metody jeho měření a vyhodnocení účinnosti různých opatření k udržení koncentrace v přijatelných mezích. Součástí práce bude také seznámení se s aktuálními legislativními požadavky a doporučeními pro zajištění zdravého pracovního prostředí.

Zvýšené povědomí o důležitosti kvalitního vzduchu na pracovišti může vést k lepší prevenci zdravotních problémů zaměstnanců a zvýšení jejich celkové výkonnosti. Cílem této práce je přispět k tomuto povědomí a nabídnout doporučení pro správu a monitorování kvality vzduchu na pracovišti.

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1 Oxid uhličitý

### 1.1.1 Vlastnosti oxidu uhličitého

Oxid uhličitý neboli  $\text{CO}_2$  je bezbarvý, nehořlavý plyn bez zápachu s mírně kyselou chutí. Je 1,52x těžší než vzduch. Jeho molekula se skládá se z jednoho atomu uhlíku a dvou atomů kyslíku (Elton L Quinn And Charles L Jones 1936). Atom uhlíku se vyskytuje v maximálním oxidačním čísle a díky tomu molekula  $\text{CO}_2$  nemůže podléhat oxidaci (Bohn et al. 1985). Henryho zákon udává, že za určité teploty a rostoucího tlaku se zvyšuje rozpustnost  $\text{CO}_2$  ve vodě (Remy 1972). Při snižování tlaku je  $\text{CO}_2$  uvolněn z kapaliny (Remsen 1899). Při zvýšení teploty samotná rozpustnost  $\text{CO}_2$  klesá.  $\text{CO}_2$  se lze zbavit z  $\text{H}_2\text{O}$  povařením.

Při vyšší teplotě reaguje  $\text{CO}_2$  se silně elektropozitivními kovy jako například draslík, zinek či hořčík a odevzdává jim svůj kyslík (Remy 1972). Při sycení vody  $\text{CO}_2$  se slučuje s vodou za vzniku nestálé slabé kyseliny uhličitě (Remsen 1899).

Také je možné samotný  $\text{CO}_2$  kondenzovat na bezbarvou tekutinu pomocí tlaku a nízké teploty. Pokud tento kapalný  $\text{CO}_2$  necháme vytékat dochází k evaporaci a odnímání tepla, za vzniku pevného skupenství  $\text{CO}_2$ , kterému se říká suchý led. Ten má mnohem větší chladivý účinek než samotný led a při vypařování po něm nezbyvá žádný zbytek (Remy 1972).

### 1.1.2 Podmínky ovlivňující koncentraci $\text{CO}_2$ v pracovním prostředí

Kvalitu ovzduší v pracovním prostředí může ovlivňovat spousta skutečností. Nejvíce ji zvyšuje lidská aktivita, kdy člověk jedním výdechem dokáže zvýšit koncentraci oxidu uhličitého v místnosti až na 2000 ppm. Vydechaný vzduch obsahuje 4 %  $\text{CO}_2$ . V přepočtu na rok pak vychází, že dospělý jedinec vyprodukuje v průměru 300 kg  $\text{CO}_2$  (Příbyla 2021). Mezi další vlivy zvyšující koncentraci  $\text{CO}_2$  v prostředí patří i spalování fosilních paliv. Například spalování uhlí, ropných produktů či zemního plynu kdy se uhlík oxiduje na oxid uhličitý a dostává se do ovzduší místností (Marland et al. 1985). Dále může koncentraci  $\text{CO}_2$  ovlivnit velikost samotné místnosti, kvalita ventilace a větrání, počet osob v místnosti a jejich fyzická aktivita, teplota a vlhkost v místnosti a v neposlední řadě samotná izolace budovy. V izolované budově se bude kumulovat oxid uhličitý více než v budově bez izolace (Allen et al. 2016). Významnou roli pak hrají i rostliny nacházející se v místnosti a jak již bylo zmíněno kvalita ovzduší venkovního prostředí.

### 1.1.3 Vznik oxidu uhličitého v lidském těle

Oxid uhličitý v lidském těle vzniká při nitrobuněčném metabolismu v mitochondriích. Jeho množství však závisí na rychlosti samotného metabolismu a na relativním množství metabolizovaných sacharidů, tuků či bílkovin. Při hromadění oxidu uhličitého se v krvi snižuje pH (zvyšuje se její kyselost). Proto je oxid uhličitý z lidského těla odváděn pro udržení acidobazické rovnováhy v krvi (Geers a Gros 2000). Oxid uhličitý produkovaný buňkami je transportován do krve (vnitřní dýchání) a krví je následně přenášen žilním systémem skrze srdce do plic, kde přechází z krve do plicních sklípků, aby byl vydechnut do okolního prostředí a nahrazen kyslíkem (vnější dýchání) (Lifson et al. 1949).

### 1.1.4 Využití CO<sub>2</sub> v průmyslu

CO<sub>2</sub> má velmi široké uplatnění v mnoha výrobních odvětvích. Například v potravinářství se dá využít k sycení vod a limonád, kdy slouží jako konzervant, povzbuzuje trávení, diurézu a ovlivňuje chuť nápoje. Zároveň CO<sub>2</sub> způsobuje zvýšení kyselosti vody a může dojít i k acidobazické nerovnováze. Dále se dá využít při čepování nápojů, kde se využívá jako tlačící plyn a zároveň zabraňuje přístupu kyslíků a dalším exogenním látkám. V kombinaci s dusíkem se využívá jako ochranná atmosféra při balení potravin, kde prodlužuje jejich trvanlivost a udržuje chuťové vlastnosti a čerstvost produktu (Müllerová 2014).

Další velké využití CO<sub>2</sub> je jako hasící médium v hasících přístrojích (pod názvem CO<sub>2</sub> či sněhový hasící přístroj), neboť při hašení nezpůsobí poškození na materiálu. Při samotném hašení dochází k tomu, že kapalný CO<sub>2</sub> se přemění na suchý led, který následně sublimuje, uhasí oheň a ochladí předměty. Tento typ hasícího přístroje se může využívat na velkou řadu materiálů mimo hliníku a hořčíku. Při kontaktu s těmito materiály dochází k nežádoucí exotermické reakci.

Kapalný CO<sub>2</sub> má využití v chemickém průmyslu, jako rozpouštědlo mnoha organických látek a je využíván například u extrakce kofeinu z kávy. Zároveň se jeví jeho využití jako méně toxická alternativa ve farmaceutickém a chemickém průmyslu místo chlorovaných organických rozpouštědel.

Suchý led je také využíván v zábavním průmyslu ke tvorbě zvláštních efektů, kdy po smíchání suchého ledu s vodou dochází k sublimaci a vzniká směs par oxidu uhličitého a kondenzované vody. V danou chvíli vzniká efekt mlhy, která je těžší než okolní vzduch.

Další možností využití je v medicíně při stabilizaci rovnováhy kyslíku a CO<sub>2</sub> v krvi a v průmyslových laserech. Lze jej využít i v těžebním průmyslu při těžbě ropy, kdy je CO<sub>2</sub>

injekován přímo do vrtu nebo do jeho blízkého okolí. CO<sub>2</sub> způsobuje zvýšení tlaku ropy a také snižuje její viskozitu. (Ministerstvo životního prostředí 2022).

## **1.2 Normy a bezpečnostní předpisy týkající se CO<sub>2</sub> v pracovním prostředí**

Samotné podmínky ochrany zdraví při práci stanovuje nařízení vlády č. 361/2007 Sb. To stanovuje, jaké je minimální množství přiváděného čerstvého vzduchu na pracoviště. Pro jednoho zaměstnance, který pracuje v sedě a má minimální celotělovou pohybovou aktivitu (práce s PC, laboratorní práce, kontrolní činnost v dozornách a velínech) anebo je práce prováděná v sedě spojená s lehkou manuální prací rukou a paží (řízení osobního automobilu, přesouvání lehkých břemen, kusová práce nástrojařů či mechaniků, pokladní) na pracovišti bez přítomnosti chemických látek, prachů nebo jiných zdrojů znečištění, je minimální množství venkovního vzduchu přiváděného na pracoviště 25 m<sup>3</sup>/h. Pokud se pracovníci nacházejí v prostředí s přítomností chemických látek, prachů či jiných zdrojů nečištění je minimální množství venkovního vzduchu přiváděného na pracoviště 50 m<sup>3</sup>/h. U pracovníků, kteří pracují ve stoje se zapojením horních končetin a trupu je množství vzduchu stanoveno na 70 m<sup>3</sup>/h. A v neposlední řadě u zaměstnanců provádějících práci, při které mají velmi intenzivní činnost svalstva trupu nebo horních a dolních končetin je množství vzduchu 90 m<sup>3</sup> čerstvého vzduchu za hodinu. V tomto nařízení není stanovena žádná hodnota přípustné koncentrace CO<sub>2</sub> v pracovním prostředí (Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. 2007)

Ve vyhlášce č. 410/2005 SB. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozu, které jsou určeny pro vzdělání a výchovu mladistvých a dětí jsou požadavky na přívod čistého vzduchu specifikovány v následující tabulce 1 (Nařízení vlády č. 410/2005 Sb. 2005).

**Tabulka 1** Předepsané množství přiváděného čerstvého vzduchu v učebnách, tělocvičnách, šatnách, umývárkách, sprchách a záchodech v zařízeních pro výchovu a vzdělávání a provozovnách pro výchovu a vzdělávání (Nařízení vlády č. 410/2005 Sb. 2005)

Typ prostor	Množství vzduchu m <sup>3</sup> /h.
Učebna	20–30 na žáka
Tělocvična	20–90 na žáka dle prováděného cvičení
Šatna	20 na žáka
Umývárna	30 na umyvadlo
Sprcha	150–200 na sprchu
Záchod	50 na kabinku a 25 na pisoár

Dříve bylo vyhláškou č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby uvedeno, že v místnostech pobytu musí být zajištěn přívod 25 m<sup>3</sup>/h čerstvého vzduchu na osobu. Dále zde bylo uvedeno že samotná koncentrace oxidu uhličitého nesmí překročit hranici 1500 ppm (Nařízení vlády č. 268/2009 Sb. 2009). V roce 2012 byla tato vyhláška pozměněna vyhláškou č. 20/2012 Sb., ale veškeré údaje již psané zůstaly stejné.

Začátkem letošního roku byly tyto dvě vyhlášky zrušeny a nahrazeny vyhláškou 283/2021 Sb., kde se již nezmiňuje maximální koncentrace oxidu uhličitého ve vnitřních prostorech (Nařízení vlády č. 283/2021 Sb. 2021).

V současné době se porovnává naměřená koncentrace oxidu uhličitého v pracovním prostředí s hodnotou 1000 ppm, která je doporučena směrnicí WHO pro kvalitu ovzduší ve vnitřních prostorech (World Health Organization 2010).

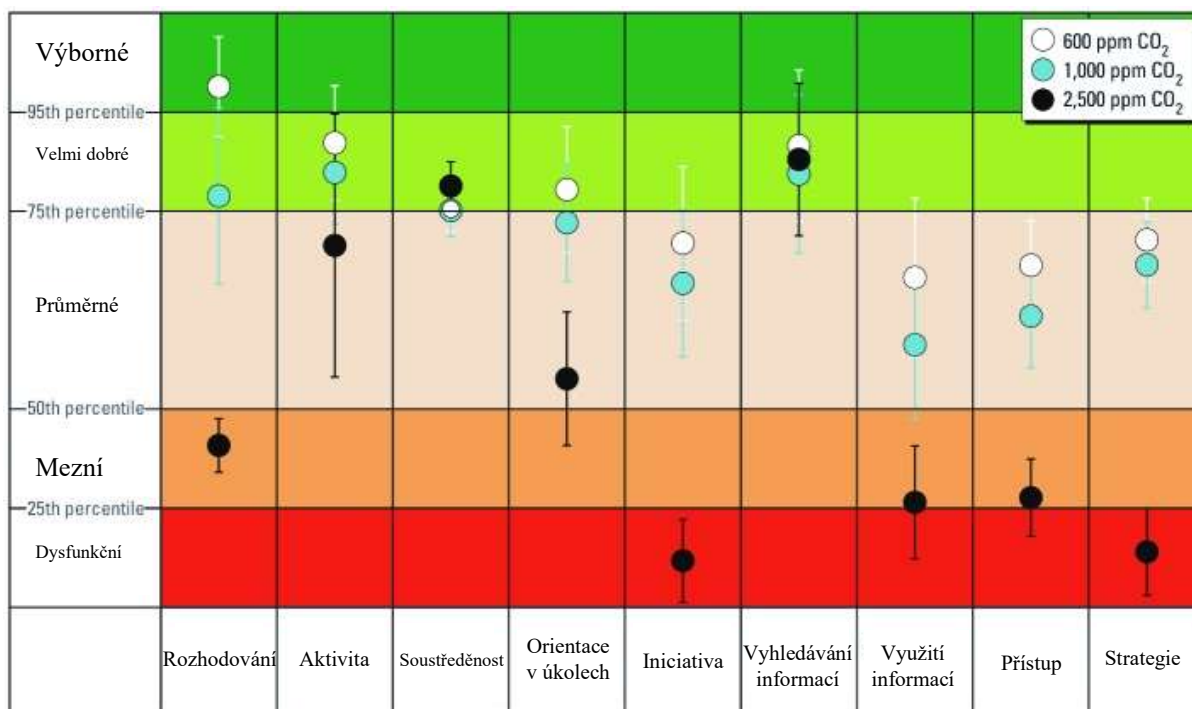
### 1.2.1 Vliv oxidu uhličitého na lidský organismus

Jak již bylo zmíněno, tak doporučená koncentrace CO<sub>2</sub> ve vnitřních prostorech je 1000 ppm viz. Tabulka 2 (Nařízení vlády č. 20/2012 Sb. 2012). Ve skutečnosti se velmi často tato hodnota překračuje, a to díky malé cirkulaci vzduchu v samotné místnosti, velkému počtu přítomných osob či špatné funkci vzduchotechniky. Různé studie dokládají, že již při hodnotě 1000 ppm dochází ke změně kognitivních funkcí (P N Bierwirth a Emeritus Faculty 2016; Jacobson et al. 2019; Azuma et al. 2018). Bylo zjištěno, že dochází ke zhoršení

vnímání, snižuje se rychlost zpracování informací a zhoršuje se strategické uvažování (Allen et al. 2016). Podrobné ovlivnění jednotlivých fází myšlení přináší obrázek 1 (Satish et al. 2012). Je zde vidět, že například rozhodovací schopnosti se při koncentraci 2500 ppm velice zhoršily. Toto zhoršení můžeme také pozorovat i u orientace v úkolech. V literatuře lze nalézt také konstatování, že v extrémních případech může CO<sub>2</sub> způsobit i otravu a následně smrt (Scott et al. 2009).

**Tabulka 2** Vliv koncentrace oxidu uhličitého na lidské zdraví a doporučené hodnoty (Nařízení vlády č. 20/2012 Sb. 2012).

<b>Koncentrace CO<sub>2</sub> [ppm]</b>	<b>Působení CO<sub>2</sub></b>
cca 350	Úroveň venkovního prostředí
do 1000	Doporučená úroveň CO <sub>2</sub> ve vnitřních prostorách
1200–1500	Doporučená maximální úroveň CO <sub>2</sub> ve vnitřních prostorách
1000-2000	Nastávající příznaky únavy a snižování koncentrace
2000-5000	Nastávání možné bolesti hlavy
5000	Maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
>5000	Nevolnost a zvýšený tep
>15000	Dýchací potíže
>40000	Možná ztráta vědomí



**Obrázek 1** Vliv CO<sub>2</sub> na fáze lidského myšlení (Satish et al. 2012)

### 1.2.2 Akutní expozice CO<sub>2</sub>

Při dosažení koncentrace CO<sub>2</sub> v dýchaném vzduchu na rozmezí 1–5 % (10 000 – 50 000 ppm) nastává dušnost, dochází ke změně dýchání, acidóze, třesu, bolesti mezižeberních svalů, bolesti hlavy, poruchám zraku, poškození plic a zvýšení krevního tlaku a mnohým dalším symptomům. Koncentrace 40 000 ppm je považována za bezprostředně životu a zdraví nebezpečnou vzhledem k tomu, že při 30minutové expozici 50 000 ppm CO<sub>2</sub> dochází k intoxikaci a při koncentraci 70 000 ppm je vyvoláno bezvědomí. Údaje o akutní toxicitě ukazují, že smrtelná koncentrace CO<sub>2</sub> je 90 000 ppm (9 %) po dobu expozice 5 minut (P N Bierwirth a Emeritus Faculty 2016).

Respirační acidóza se objevuje při expozici koncentrace CO<sub>2</sub> 10000 ppm po dobu nejméně 30 minut u zdravého jedince. Poté nastává snížení pH nebo zvýšení parciálního tlaku CO<sub>2</sub> v krvi a začne se uvolňovat kyslík z oxyhemoglobinu. Do plic je dodáváno více CO<sub>2</sub>, který volně difunduje přes alveolární membrány zpět do krve, což vede ke zvýšení napětí CO<sub>2</sub> v arteriální krvi. Toto má za následek akutní či chronickou respirační acidózu způsobenou acidobazickou nerovnováhou v krvi.

Respirační acidóza souvisí s akumulací CO<sub>2</sub> a může být akutní nebo chronická. Akutní acidóza způsobuje bolesti hlavy, zmatenost, úzkost a ospalost. Chronická acidóza může být lépe snášena, ale může mít za následek ztrátu paměti, poruchy spánku, nadměrnou denní

ospalost a změny osobnosti. Zároveň se CO<sub>2</sub> rychle dostává do mozku skrze hematoencefalickou bariéru.(Johnson et al. 2014)

K akutní expozici CO<sub>2</sub> může dojít například při vdechování kouřových plynů, kdy CO<sub>2</sub> je navíc doprovázen CO. Tyto plyny vznikají při nedokonalém spalování neboli při spalování za nedostatku kyslíku. Nikdy tedy nedochází k čisté otravě CO<sub>2</sub> nebo CO ale vždy se jedná o otravu kombinací těchto dvou plynů v různém poměru. Při otravě s převahou CO<sub>2</sub> zasažený jedinec pociťuje ospalost, neklid či euforii. V nejhorším případě může dojít ke ztrátě vědomí nebo až ke smrti (Rittenmeyer 1994).

### **1.2.3 Chronická expozice CO<sub>2</sub>**

Při přesažení koncentrace CO<sub>2</sub> 0,1 % (1000 ppm) někteří jedinci začínají pociťovat zhoršené dýchání, únavu či bolesti hlavy. Při zvýšené expozici malým hodnotám CO<sub>2</sub> dojde k napětí v alveolách a zvyšuje se plicní ventilace, což způsobuje zvětšení mrtvého alveolárního prostoru. Tento jev byl zaznamenán u jedinců vystavených koncentraci 0,8 – 0,9 % během 20 dnů. U vysoké koncentrace CO<sub>2</sub> dochází k metabolické acidóze, která se projeví snížením pH krve. Obecně platí že čím větší koncentrace CO<sub>2</sub> je tím rychleji se samotná acidóza rozvíjí (Jacobson et al. 2019).

## **1.3 Snížení koncentrace oxidu uhličitého v pracovním prostředí**

### **1.3.1 Větrání**

Větrání je základním prostředkem k zajištění kvality vzduchu ve vnitřních prostorách, které je charakterizováno přívodem vzduchu čerstvého venkovního do vnitřních prostor budov a odvodem vzduchu znečištěného. Ve vnitřních prostorách je vzduch znečišťován látkami, které jsou uvolňovány ze stavebních materiálů, chemických přípravků, ale i z povrchu osob a při jejich činnosti. Těchto látek se můžeme zbavit dvěma způsoby: odstraněním ( odsávání nečistot u zdroje) nebo ředěním (celkovým větráním s přívodem čerstvého a odvodem znečištěného vzduchu) (Vladimír 2013).

#### **1.3.1.1 Přirozené větrání**

Jedná se o proudění vzduchu, které vzniká na základě rozdílného tlaku vně a uvnitř budovy. K tomuto proudění dochází skrze spáry oken, dveří a porézности zdiva. Toto proudění je závislé na těsnostech, výšce a provedení stavby (použité zdivo či velikost oken a dveří). Výhodou tohoto typu větrání je, že není zapotřebí vynaložení žádné energie (Dufka 2005).

### **1.3.1.2 Mechanické větrání**

U tohoto typu větrání je odvod i přívod vzduchu zajištěn pomocí ventilátorů. Za předpokladu využití dvou ventilátorů může probíhat odvod i přívod vzduchu současně. Velikou výhodou mechanického větrání je, že funguje i za nepříznivých podmínek, ale je zapotřebí vynaložení elektrické energie na jeho provoz. Tento typ výměny vzduchu funguje na základě přetlaku, podtlaku a na vyrovnání tlaku uvnitř a vně budovy (Dufka 2005).

### **1.3.1.3 Hybridní větrání**

Jedná se o kombinaci přirozeného a mechanického větrání budovy. Tohoto typu větrání se využívá jen při produkci znečišťujících látek. Mechanické větrání zde zajišťuje odtahový ventilátor, který je umístěn v místnosti s nečistotami (koupelny, kuchyně, toalety, dílny) (Peng et al. 2022)

### **1.3.1.4 Klimatizace**

Jedná se o další typ přívodu čerstvého vzduchu. Klimatizace je schopna přiváděný vzduch upravovat, a to ho ohřívat, čistit, ochlazovat, měnit jeho vlhkost či odstraňovat prachové částičky (Wang et al. 2009).

## 2 PRAKTICKÁ ČÁST

### 2.1 Použité přístroje

Pro analýzu oxidu uhličitého v pracovním prostředí byl využit přenosný měřicí přístroj ECOPROBE 5 od firmy RS Dynamics, Praha.

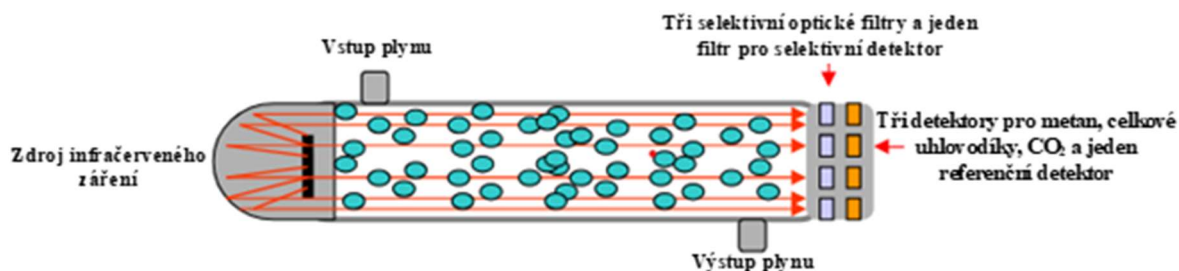
#### 2.1.1 Popis přístroje

Analyzátor ECOPROBE 5 znázorněný na obrázku 2 představuje spojení dvou nezávislých analyzátorů. První je fotoionizační (PID), který je určený pro měření celkové hodnoty organických látek a ostatních toxických plynů, a to včetně chorovaných uhlovodíků. Druhým je infra-červený analyzátor (IR), který zahrnuje 4 jednotlivé nezávislé měřicí kanály pro měření celkového obsahu uhlovodíků, CO<sub>2</sub> a methanu.



**Obrázek 2** Analyzátor ECOPROBE 5

Schéma infračerveného analyzátoru je znázorněno na obrázku 3. Je zde vidět, že analyzovaný plyn prochází průtočnou celou. Skrze ni prochází také vstupní IČ záření, které je zde absorbováno analyzovanými látkami. Poté prochází toto zeslabené záření přes optické filtry, které propouští záření odpovídající absorpčním pásům jednotlivých složek a dopadá na selektivní filtry. Pokud vzorek plynu obsahuje analyzovaný CO<sub>2</sub>, dojde k absorpci charakteristického záření, které je přímo úměrné koncentraci analytu.



**Obrázek 3** Schéma IR analyzátoru (RS Dynamics 2004)

Rozsah detektorů se pohybuje od 0–500 000 ppm, kdy detekční limit pro analyzované plyny je 20 ppm. Při kalibraci na oxid uhličitý je využívána směs dusíku a oxidu uhličitého. Tuto kalibraci provádí výrobce analyzátoru RS Dynamics.

Hmotnost samotného přístroje se pohybuje kolem 3 kg a do své paměti je schopen uložit až 100 000 hodnot. Délka jednoho měření se pohybuje kolem jedné minuty. Výsledky jsou doplněny o další údaje, a to o koncentraci kyslíku, hodnotu sacího podtlaku a teplotu (RS Dynamics 2004).

### 2.1.2 Obsluha přístroje

Veškeré funkce přístroje jsou ovládány pomocí osmi tlačítek umístěných na horním panelu a rukojeti přístroje, tak jak je znázorněno na obrázku 4.

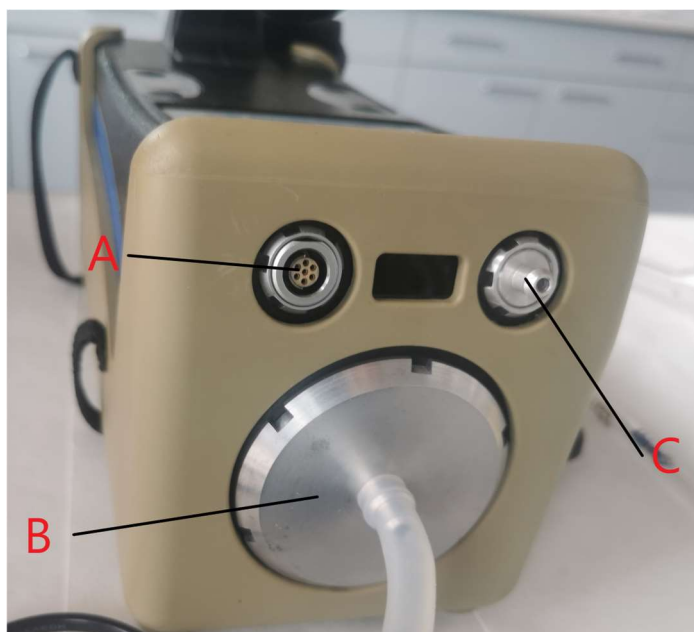
Na horní desce přístroje se nacházejí čtyři tlačítka, a to ESC umožňující ukončení procesu, popřípadě vrácení se do hlavního menu, LIGT slouží ke změně kontrastu a zapínání/vypínání podsvícení obrazovky, ON/OFF zapíná/vypíná přístroj a tlačítko START zahajuje měření.

Na rukojeti přístroje jsou ovladače směrové, která se využívají k pohybu v menu přístroje. Tlačítka se šipkou nahoru a dolů slouží k pohybu v menu. Levá šipka je určena pro uložení změn v přístroji a vrácení se o úroveň níže, zatím co pravá šipka je určena k potvrzení volby a zahájení operace.

Čelní panel přístroje je určen pro připojení periférií, jak je vidět na obrázku 5. Je zde multifunkční konektor sloužící k připojení GPS modulu, nabíječky, propojení s PC, připojení alternativních možností napájení jako je nabíječka do automobilu nebo solární baterie. Nachází se zde také dvě olivky, které slouží k nasávání a vypouštění změřeného vzduchu. Na vstupní olivku je nasazena silikonová hadice s filtrem pevných částic, který zabraňuje znečištění měrné cely ((RS Dynamics 2004).



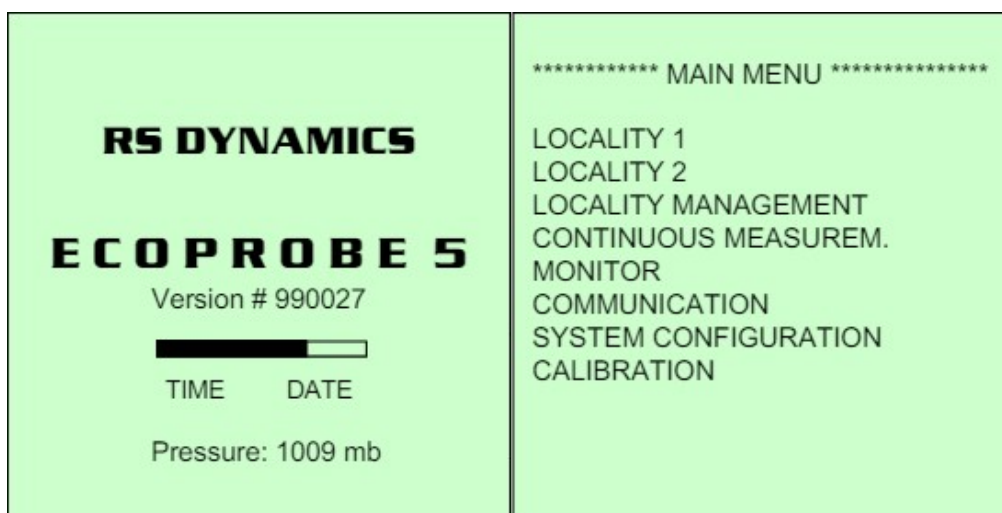
**Obrázek 4** Ovládací prvky analyzátoru ECOPROBE 5



**Obrázek 5** Čelní panel přístroje, A – multifunkční konektor, B – vstupní olivka, C – výstupní olivka

### 2.1.3 Výběr měřicí metody a nastavení parametrů

Po stisknutí tlačítka ON/OFF, se zobrazí základní menu obsahující informace o stavu baterie, času, použité verzi softwaru a hodnotě atmosférického tlaku. V samotném menu přístroje jdou nastavit tři různé měřicí metody (obrázek 6)



**Obrázek 6** Úvodní menu analyzátoru ECOPROBE 5 (RS Dynamics 2004)

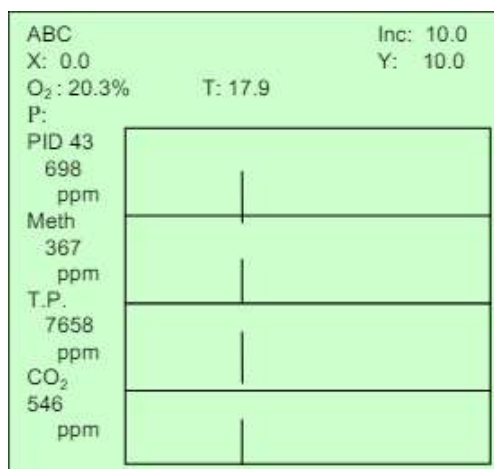
V samotném menu přístroje jdou nastavit tři různé měřicí metody. Prvním režimem je CONTINUOUS MEASUREMENT, které průběžně měří kontaminaci ovzduší bez zaznamenání výsledků do paměti přístroje. Dalším typem je MONITOR, který automaticky monitoruje kontaminaci ovzduší (přístroji musí být definován časový interval měření) a posledním typem měření je LOCALITY 1 (2), který slouží k individuálnímu měření.

LOCALITY MANAGEMENT umožňuje vytvořit nebo upravit již vytvořenou konfiguraci parametrů pro režim měření LOCALITY 1 (2).

Po zadání všech parametrů analýzy je možné přejít k samotnému měření. Vyvolá se vytvořená metoda a po stisknutí pravé šipky se zobrazí měřicí menu na displeji. (obrázek 7)

Samotná analýza zahrnuje tři části, a to RESETTING, PRE-INTEGRATION a INTEGRATION. Jakmile je zmáčknuta šipka vlevo nebo tlačítko RUN nastává první fáze měření neboli RESETTING, kdy je měřicí cela proplachována čistým plynem, což představuje fázi nulování. Po dokončení tohoto kroku se na displeji zobrazí výzva ke stisknutí pravého tlačítka a je spuštěna fáze PRE-INTEGRATION, kdy je do přístroje nasáván analyzovaný plyn i když samotná data nejsou přístrojem ukládána. Tato fáze má za následek vnesení vzorku do měřicí cely. Posledním krokem analýzy je INTEGRATION, kdy je plyn nasáván

do přístroje, probíhá analýza a stav aktuálních koncentrací je možno vidět na displeji ve formě dat nebo grafu. Po ukončení poslední fáze měření se výsledek zobrazí na displeji v číselné i grafické podobě viz obrázek 7 a zároveň je uložen do paměti přístroje (RS Dynamics 2004).



**Obrázek 7** Výstup měřených koncentrací (RS Dynamics 2004)

## 2.2 Popis měřených učeben a laboratoří

Měření koncentrace CO<sub>2</sub> probíhalo celkem ve dvou učebnách teoretické výuky, v jedné počítačové učebně a ve dvou laboratořích. První sada měření byla prováděna v průběhu zimního semestru v laboratořích L14, L10 a jedné počítačové učebně S5 v době od 4.10.2023 do 14.12.2023. Zbylé dvě učebny C2 a S20 byly monitorovány v letním semestru v době od 13.02.2024 do 23.04.2024. V tabulce 3 jsou shrnuty velikosti studovaných místností a jejich kapacita vyjádřená počtem osob.

**Tabulka 3** Popis studovaných místností

Budova	Název místnosti	Objem [m <sup>3</sup> ]	Kapacita
HB	L14	211,483	14
HB	L10	211,6805	16
HB	S20	231,396	50
HA	S5	258,5	28
HA	C2	427,05	99

### **3 VÝSLEDKY A DISKUSE**

Použitý analyzátor ECOPROBE 5 umožňuje zaznamenávat jak průměrné, tak maximální koncentrace měřených látek.

#### **3.1 Koncentrace CO<sub>2</sub> v laboratoři L14**

V průběhu měření probíhalo v místnosti laboratorní cvičení z klinické biochemie u první skupiny laborujících studentů. Obsah CO<sub>2</sub> v ovzduší byl zjišťován zpravidla ke konci výuky. Při laboratořích nebyl používán otevřený oheň a místnost není vybavena vzduchotechnikou, pouze lze otvírat okna. Počet přítomných osob byl vždy 17. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4 a následně graficky zobrazeny na obrázku 8. Z prezentovaných hodnot je zřejmé, že koncentrace CO<sub>2</sub> přesahují doporučenou úroveň pro vnitřní prostory, která je do 1000 ppm.

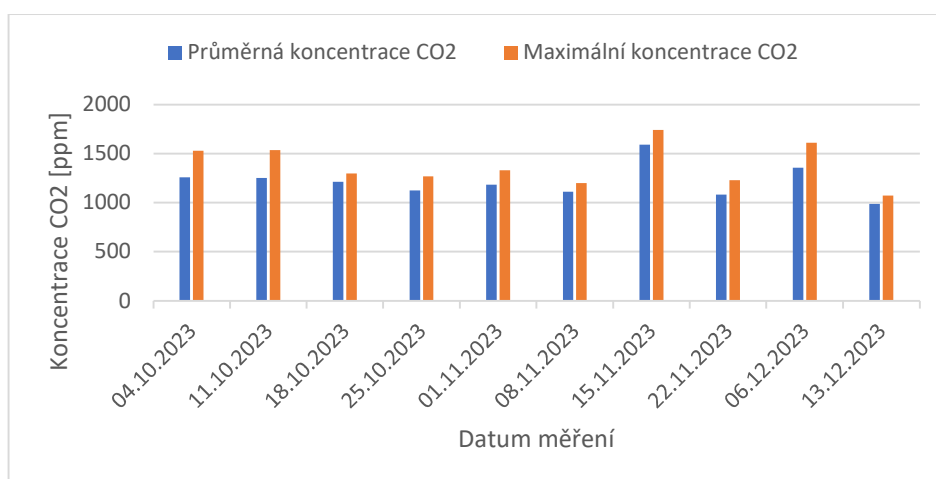
#### **3.2 Koncentrace CO<sub>2</sub> v laboratoři L10**

Během měření v laboratoři L10 bylo vyučováno laboratorní cvičení z mikrobiologie. Množství CO<sub>2</sub> bylo zjišťováno opět na konci vyučující hodiny, v ten den již u třetí laboratorní skupiny. Při laboratořích byly využívány kahany ke sterilizaci materiálů a náčiní. Nebyla zde instalována vzduchotechnika a nesmělo se ani větrat, aby se zamezilo kontaminaci kultur. V místnosti bylo přítomno pokaždé 17 osob. Veškeré naměřené obsahy CO<sub>2</sub> jsou uvedeny v tabulce 5 a následně graficky vyobrazeny na obrázku 9. Na základě prezentovaných hodnot, lze konstatovat, že koncentrace CO<sub>2</sub> přesahuje maximální doporučenou hodnotu pro vnitřní prostory, která je od 1200–1500 ppm, a to při 10 z 11 měření. Při prvním měření byla koncentrace značně nižší než hodnoty pozdější, a to pravděpodobně z důvodu probíhající úvodní hodiny bez provádění experimentů.

**Tabulka 4** Koncentrace CO<sub>2</sub> naměřené v laboratoři L14

Datum měření	Počet studentů	Maximální koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	Průměrná koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]
04.10.2023	17	1528	1258
11.10.2023	17	1534	1252
18.10.2023	17	1296	1211
25.10.2023	17	1268	1124
01.11.2023	17	1328	1181
08.11.2023	17	1200	1111
15.11.2023	17	1738	1589
22.11.2023	17	1227	1080
06.12.2023	17	1608	1356
13.12.2023	17	1072	987
<b>*Průměrná hodnota</b>		<b>1379,9</b>	<b>1214,9</b>

\*Průměrná hodnota ze všech měření

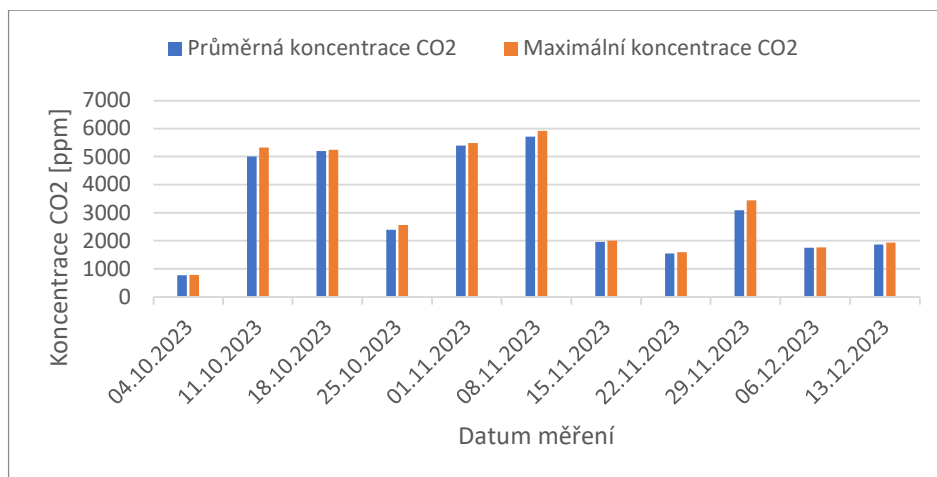


**Obrázek 8** Porovnání průměrných a maximálních koncentrací CO<sub>2</sub> naměřených v laboratoři L14

**Tabulka 5**    *Koncentrace CO<sub>2</sub> naměřené v laboratoři L10*

Datum měření	Počet studentů	Maximální koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	Průměrná koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]
04.10.2023	17	789	773
11.10.2023	17	5320	5005
18.10.2023	17	5249	5198
25.10.2023	17	2560	2387
01.11.2023	17	5486	5395
08.11.2023	17	5919	5712
15.11.2023	17	2003	1964
22.11.2023	17	1595	1544
29.11.2023	17	3443	3094
06.12.2023	17	1770	1756
13.12.2023	17	1934	1871
<b>*Průměrná hodnota</b>		<b>3278,91</b>	<b>3154,45</b>

\*Průměrná hodnota ze všech měření



**Obrázek 9** Porovnání průměrných a maximálních koncentrací CO<sub>2</sub> naměřených v laboratoři L10

### 3.3 Koncentrace CO<sub>2</sub> v počítačové učebně S5

Počítačová učebna S5 je situována uvnitř budovy a je proto bez oken. V místnosti se nacházejí pouze počítače a jemná elektronika a zároveň je tu i instalována vzduchotechnika. V době monitorování výskytu CO<sub>2</sub> bylo přítomno průměrně 22 studentů a probíhala výuka. Veškeré naměřené údaje jsou uvedeny v tabulce 6 a graficky pak porovnány na obrázku 10. Doporučená hodnota koncentrace CO<sub>2</sub> pro vnitřní prostory, která je do 1000 ppm zde byla překročena pouze u 75 % měření.

### 3.4 Koncentrace CO<sub>2</sub> v posluchárně C2

Posluchárna C2 patří mezi velkoprostorové a probíhá zde přednášková činnost. V učebně nejsou žádná okna, avšak je zde instalována vzduchotechnika. Při měření se v místnosti nacházel proměnlivý počet osob od 50 do 97. Vzduchotechnika byla v provozu. Naměřené hodnoty jsou shrnuty v tabulce 7 a následně graficky zpracovány na obrázku 11. Je zde patrné, že koncentrace CO<sub>2</sub> skoro vždy přesáhla doporučenou hodnotu koncentrace pro vnitřní prostory i když se v místnosti nacházela instalovaná vzduchotechnika.

### 3.5 Koncentrace CO<sub>2</sub> v učebně teoretické výuky S20

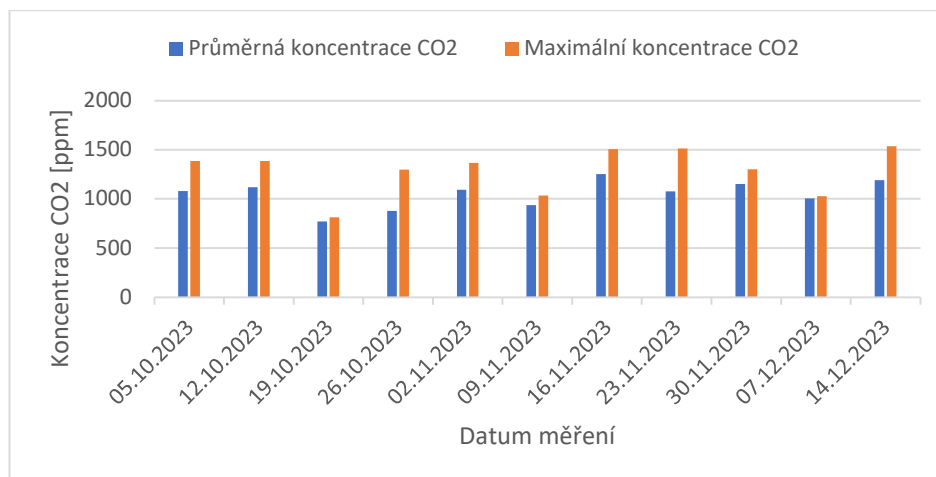
Učebna S20 je seminární místnost, která je využívána k teoretické výuce. Je vybavena otevíratelnými okny a klimatizací. Ta však nebyla během měření v provozu. V průběhu analýzy ovzduší v místnosti bylo vyučováno různé množství osob od 10 do 38 osob. Veškerá naměřená data jsou uvedena v tabulce 8 a následně graficky porovnána na obrázku 12 (průměrné a maximální hodnoty). Z tabulky lze vyčíst že vždy hodnoty přesáhly doporučenou koncentraci pro CO<sub>2</sub> ve vnitřních prostorech.

Také lze vidět že 5krát byla překročena hodnota maximální koncentrace ve vnitřních prostorách která je od 1200–1500 ppm.

**Tabulka 6** Koncentrace CO<sub>2</sub> naměřené v počítačové učebně S5

Datum měření	Počet studentů	Maximální koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	Průměrná koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]
05.10.2023	28	1384	1079
12.10.2023	21	1385	1118
19.10.2023	19	812	769
26.10.2023	18	1296	878
02.11.2023	16	1364	1092
09.11.2023	22	1033	935
16.11.2023	22	1505	1250
23.11.2023	19	1513	1075
30.11.2023	22	1300	1151
07.12.2023	27	1028	1005
14.12.2023	28	1536	1190
<b>*Průměrná hodnota</b>		<b>1286,91</b>	<b>1049,27</b>

\*Průměrná hodnota ze všech měření

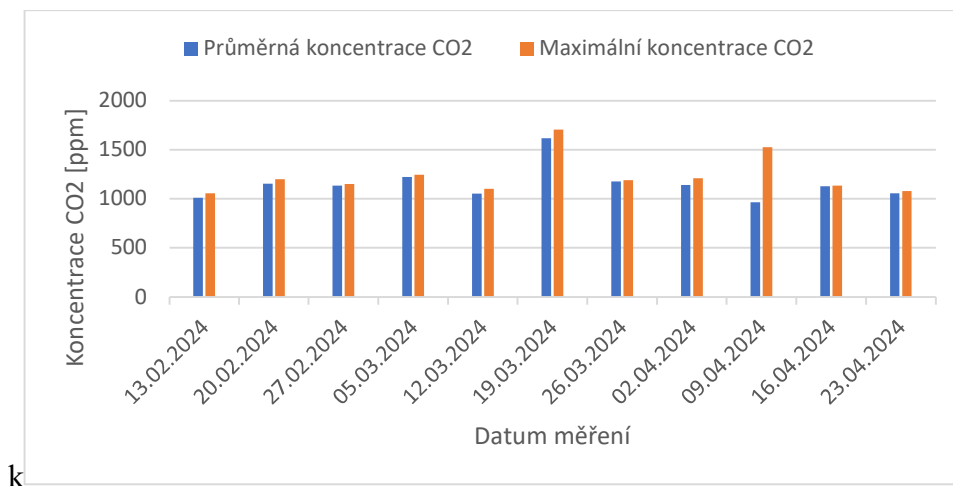


**Obrázek 10** Porovnání průměrných a maximálních koncentrací CO<sub>2</sub> naměřených v počítačové učebně S5

**Tabulka 7** Koncentrace CO<sub>2</sub> naměřené v posluchárně C2

Datum měření	Počet studentů	Maximální koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	Průměrná koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]
13.02.2024	95	1054	1010
20.02.2024	96	1198	1154
27.02.2024	96	1150	1135
05.03.2024	94	1243	1222
12.03.2024	92	1100	1051
19.03.2024	97	1704	1617
26.03.2024	85	1188	1177
02.04.2024	83	1208	1140
09.04.2024	94	1525	965
16.04.2024	73	1135	1128
23.04.2024	50	1079	1056
<b>*Průměrná hodnota</b>		<b>1234,91</b>	<b>1150,46</b>

\*Průměrná hodnota ze všech měření

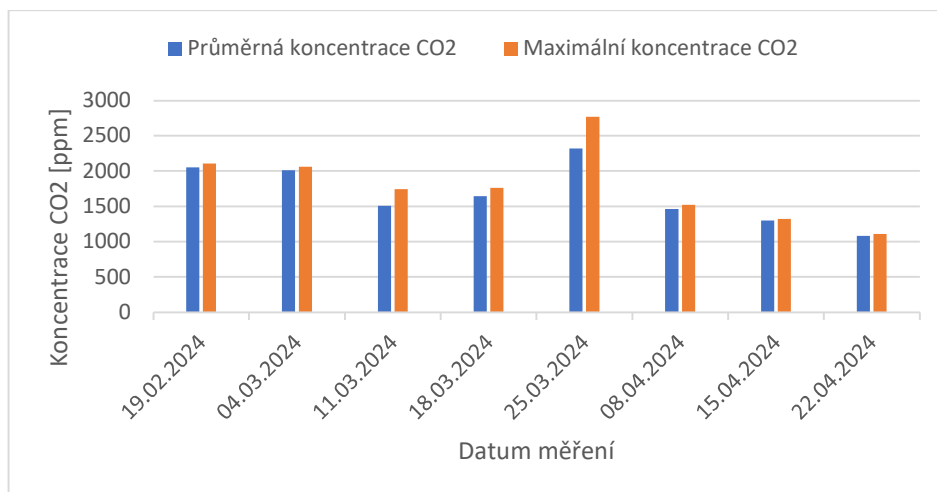


**Obrázek 11** Porovnání průměrných a maximálních koncentrací CO<sub>2</sub> naměřených v posluchárně C2

**Tabulka 8** Koncentrace CO<sub>2</sub> naměřené v učebně teoretické výuky S20

Datum měření	Počet studentů	Maximální koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	Průměrná koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]
19.02.2024	38	2105	2050
04.03.2024	36	2061	2012
11.03.2024	31	1742	1509
18.03.2024	33	1764	1643
25.03.2024	35	2769	2321
08.04.2024	26	1523	1463
15.04.2024	17	1321	1297
22.04.2024	10	1108	1083
<b>*Průměrná hodnota</b>		<b>1799,13</b>	<b>1672,25</b>

\*Průměrná hodnota ze všech měření



**Obrázek 12** Porovnání průměrných a maximálních koncentrací CO<sub>2</sub> naměřených v učebně teoretické výuky S20

## 4 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zaměřila na analýzu koncentrací oxidu uhličitého ve vybraných výukových prostorách FCHT v akademickém roce 2023/2024, přičemž byla zkoumána úroveň,  $\text{CO}_2$  v různých typech učebních prostor a byly identifikovány faktory ovlivňující tyto koncentrace. Na základě teoretických poznatků a praktických měření byla provedena důkladná analýza, která poskytla cenné informace o současném stavu kvality vzduchu.

Výsledky měření ukázaly, že koncentrace,  $\text{CO}_2$  v některých učebních prostorech překračují doporučené limity, což může negativně ovlivňovat zdraví a soustředěnost studentů. Bylo zjištěno, že hlavními faktory přispívajícími k vysokým koncentracím,  $\text{CO}_2$  jsou nedostatečné větrání, vysoká hustota studentů a určité pracovní procesy, které produkují  $\text{CO}_2$ .

Na základě těchto zjištění byla navržena řada opatření ke zlepšení daného stavu. Mezi nejdůležitější doporučení patří zlepšení větracích systémů, jako je otevírání oken či dveří, dále optimalizace přestávek studentů spojených s pobytem na čerstvém vzduchu a pravidelné monitorování koncentrací  $\text{CO}_2$ . Implementace těchto opatření může významně přispět ke zlepšení pracovního prostředí a celkové pohody studentů v době výukového procesu.

## POUŽITÁ LITERATURA

ALLEN, Joseph G., Piers MACNAUGHTON, Usha SATISH, Suresh SANTANAM, Jose VALLARINO a John D. SPENGLER, 2016. Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments. *Environmental Health Perspectives* [online]. **124**(6), 805–812 [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: doi:10.1289/ehp.1510037

Anon., [b.r.]. *OperatorsManual\_091204.pdf* [online]. [vid. 2024-06-02]. Dostupné z: [https://www.rsdynamics.com/texty/pdf/OperatorsManual\\_091204.pdf](https://www.rsdynamics.com/texty/pdf/OperatorsManual_091204.pdf)

AZUMA, Kenichi, Naoki KAGI, U. YANAGI a Haruki OSAWA, 2018. Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance. *Environment International* [online]. **121**, 51–56 [vid. 2024-03-22]. ISSN 0160-4120. Dostupné z: doi:10.1016/j.envint.2018.08.059

BOHN, Hinrich L., Brian Lester MCNEAL a George A. O'CONNOR, 1985. *Soil Chemistry*. B.m.: Wiley. ISBN 978-0-471-82217-2.

DUFKA, Jaroslav, 2005. *Větrání a klimatizace domů a bytů*. B.m.: Grada Publishing a.s. ISBN 978-80-247-1144-7.

ELTON L QUINN AND CHARLES L JONES, 1936. *Carbon Dioxide* [online] [vid. 2024-05-17]. Dostupné z: <http://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.163751>

GEERS, Cornelia a Gerolf GROS, 2000. Carbon Dioxide Transport and Carbonic Anhydrase in Blood and Muscle. *Physiological Reviews* [online]. **80**(2), 681–715 [vid. 2024-03-22]. ISSN 0031-9333. Dostupné z: doi:10.1152/physrev.2000.80.2.681

JACOBSON, Tyler A., Jasdeep S. KLER, Michael T. HERNKE, Rudolf K. BRAUN, Keith C. MEYER a William E. FUNK, 2019. Direct human health risks of increased atmospheric carbon dioxide. *Nature Sustainability* [online]. **2**(8), 691–701 [vid. 2024-04-11]. ISSN 2398-9629. Dostupné z: doi:10.1038/s41893-019-0323-1

JOHNSON, Richard J., John FEEHALLY a Jurgen FLOEGE, 2014. *Comprehensive Clinical Nephrology E-Book*. B.m.: Elsevier Health Sciences. ISBN 978-0-323-24287-5.

LIFSON, Nathan., George B. GORDON, M. B. VISSCHER a A. O. NIER, 1949. THE FATE OF UTILIZED MOLECULAR OXYGEN AND THE SOURCE OF THE OXYGEN OF RESPIRATORY CARBON DIOXIDE, STUDIED WITH THE AID OF HEAVY OXYGEN. *Journal of Biological Chemistry* [online]. **180**(2), 803–811 [vid. 2024-03-22]. ISSN 0021-9258. Dostupné z: doi:10.1016/S0021-9258(18)56700-4

MARLAND, G., R. M. ROTTY a N. L. TREAT, 1985. CO<sub>2</sub> from fossil fuel burning: global distribution of emissions. *Tellus B* [online]. **37B**(4–5), 243–258 [vid. 2024-03-28]. ISSN 1600-0889. Dostupné z: doi:10.1111/j.1600-0889.1985.tb00073.x

NAŘÍZENÍ VLÁDY Č. 20/2012 SB., 2012. 20/2012 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. *Zákony pro lidi* [online] [vid. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-20>

NAŘÍZENÍ VLÁDY Č. 268/2009 SB., 2009. 268/2009 Sb. Vyhláška o technických požadavcích na stavby. *Zákony pro lidi* [online] [vid. 2024-04-05]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-268>

NAŘÍZENÍ VLÁDY Č. 283/2021 SB., 2021. 283/2021 Sb. Stavební zákon (nový). *Zákony pro lidi* [online] [vid. 2024-03-28]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-283>

NAŘÍZENÍ VLÁDY Č. 361/2007 SB., 2007. 361/2007 Sb. Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. *Zákony pro lidi* [online] [vid. 2024-03-28]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361>

NAŘÍZENÍ VLÁDY Č. 410/2005 SB., AION CS-, 2005. 410/2005 Sb. Vyhláška o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzděláv... *Zákony pro lidi* [online] [vid. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-410>

P N BIERWIRTH a EMERITUS FACULTY, 2016. Carbon dioxide toxicity and climate change: a serious unapprehended risk for human health [online]. [vid. 2024-04-11]. Dostupné z: doi:10.13140/RG.2.2.16787.48168

PENG, Yuzhen, Yue LEI, Zeynep Duygu TEKLER, Nogista ANTANURI, Siu-Kit LAU a Adrian CHONG, 2022. Hybrid system controls of natural ventilation and HVAC in mixed-

- mode buildings: A comprehensive review. *Energy and Buildings* [online]. **276**, 112509 [vid. 2024-05-07]. ISSN 0378-7788. Dostupné z: doi:10.1016/j.enbuild.2022.112509
- PŘIBYLA, Ondráš, 2021. Jak ovlivňuje dýchání člověka, živočichů a rostlin koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře? *Fakta o klimatu* [online] [vid. 2024-03-22]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/emise-dychani>
- REMSEN, Ira, 1899. *Inorganic Chemistry*. 5. New York: Henry Hold and Company.
- REMY, Heinrich, 1972. *Anorganická chemie I. díl*. Praha: SNTL - nakladatelství technické literatury. 12.
- RITTENMEYER, H, 1994. Carbon dioxide toxicity related to a laparoscopic procedure. *Journal of post anesthesia nursing*. **9**(3), 157–161. ISSN 0883-9433.
- SATISH, Usha, Mark J. MENDELL, Krishnamurthy SHEKHAR, Toshifumi HOTCHI, Douglas SULLIVAN, Siegfried STREUFERT a William J. FISK, 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. *Environmental Health Perspectives* [online]. **120**(12), 1671–1677 [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: doi:10.1289/ehp.1104789
- SCOTT, Jonathan L., David G. KRAEMER a Randal J. KELLER, 2009. Occupational hazards of carbon dioxide exposure. *Journal of Chemical Health and Safety* [online]. **16**(2), 18–22 [vid. 2024-04-11]. ISSN 1871-5532. Dostupné z: doi:10.1016/j.jchas.2008.06.003
- VLADIMÍR, Zmrhal, 2013. *Větrání rodinných a bytových domů*. B.m.: Grada Publishing a.s. ISBN 978-80-247-8657-5.
- WANG, Tzu-Ming, I-Ju LIAO, Jen-Chi LIAO, Tain-Wen SUEN a Wei-Tsong LEE, 2009. An Intelligent Fuzzy Controller for Air-Condition with Zigbee Sensors. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems* [online]. **2**(4), 636–652 [vid. 2024-05-07]. ISSN 1178-5608. Dostupné z: doi:10.21307/ijssis-2017-372
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2010. *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants* [online] [vid. 2024-05-07]. Dostupné z: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789289002134>