ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Tesař** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **473597**

Fakulta/ústav: **Masarykův ústav vyšších studií**

Zadávající katedra/ústav: **Institut pedagogických a psychologických studií**

Studijní program: **Specializace v pedagogice**

Studijní obor: **Učitelství praktického vyučování a odborného výcviku**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Monitorování kvality ovzduší ve třídách na Smíchovské střední průmyslové škole

Název bakalářské práce anglicky:

Monitoring of Air Quality in Classrooms at Smichovska stredni prumyslova skola

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce je na základě dat získaných senzorickým měřením ve vytipovaných učebnách na Smíchovské střední průmyslové škole statisticky zmapovat reálný stav kvality ovzduší vnitřního prostředí během běžné výuky a následně vyhodnotit za pomoci odborné literatury možné zdravotní dopady na všechny aktéry výuky realizované ve vytipovaných učebnách.

Seznam doporučené literatury:

ZMRHAL, Vladimír. Větrání škol v souvislostech. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2017. ISBN isbn978-80-02-02718-8.
JOKL, Miloslav. Zdravé obytné a pracovní prostředí. 2002. Praha: Akademie věd České republiky, 2002. 261 s. ISBN 80-200-0928-0.
BRANIŠ, Martin a Iva HŮNOVÁ, ed. Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší. V Praze: Karolinum, 2009. ISBN 978-80-246-1598-1.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. David Vaněček, Ph.D., katedra inženýrské pedagogiky

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **25.01.2021** Termín odevzdání bakalářské práce: **29.04.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.09.2022**

doc. Ing. David Vaněček, Ph.D. podpis vedoucí(ho) práce	Ing. Petr Svoboda, Ph.D., ING.PAED.IGIP podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	prof. PhDr. Vladimíra Dvořáková, CSc. podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání	Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
MASARYKŮV ÚSTAV VYŠŠÍCH STUDIÍ
MIAS School of Business

Bakalářská práce

Monitorování kvality ovzduší ve třídě na Smíchovské střední průmyslové škole

Monitoring of Air Quality in Classrooms at Smichovska stredni prumyslova škola

Jan Tesař

Březen 2021, Praha

Autor práce: **Jan Tesař**

Vedoucí práce: **doc. Ing. Vaněček David Ph.D.**

Studijní program: Specializace v pedagogice

Název oboru: Učitelství praktického vyučování a odborného výcviku

Prohlášení

Prohlašuji na svou čest, že jsem svou bakalářskou práci na téma „Monitorování kvality ovzduší ve třídách na Smíchovské střední průmyslové škole“ vypracoval samostatně a použil výhradně uvedené citované prameny, literaturu a další odborné zdroje. Současně dávám svolení k tomu, aby má bakalářská práce byla používána ke studijním účelům.

Dále čestně prohlašuji, že tištěné verze vysokoškolské bakalářské práce a elektronické verze VŠKP, kterou jsem vložil do systému KOS a Theses, jsou shodné.

V Praze dne 7.4.2021

Jan Tesař

_____

Anotace

Tato bakalářská práce se věnuje kvalitě vnitřního prostředí ve školách, monitorování a vyhodnocení kvality vnitřního prostředí během běžné výuky na Smíchovské střední průmyslové škole a porovnává tyto údaje s již realizovanými měřeními z jiných škol podobného typu. Vzhledem k rozsahu práce používám jako ukazatele kvality vnitřního prostředí v této práci měřené hodnoty CO_2, teploty a relativní vzdušné vlhkosti. Výstupem práce je přehledná prezentace naměřených hodnot a jejich vyhodnocení s přihlédnutím k platné legislativě. Závěrem je uvedení možných dopadů zjištěné kvality vnitřního prostředí na výuku a nastínění řešení pro její zlepšení.

Klíčová slova:

Vnitřní prostředí, škola, monitoring, oxid uhličitý, teplota, vlhkost, senzor.

Annotation

This bachelor's thesis deals with the quality of the indoor environment in schools, monitoring, and evaluation of the quality of the indoor environment during regular operation at the Smíchov Technical High School and compares these data with already implemented measurements from other schools of a similar type. Due to the scope of the work, I use measured values of CO_2, temperature and relative humidity as indicators of the quality of the indoor environment in this paper. The output of this bachelor's thesis is a clear presentation of measured values and their evaluation, considering the applicable legislation. The conclusion is to state the possible impacts of the identified quality of the indoor environment on teaching and outline solutions for its improvement.

Keywords:

Indoor environment, school, monitoring, carbon dioxide, temperature, humidity, sensor.

1 Obsah

2 Úvod ... 6
2.1 Cíl práce ... 6
3 Vnitřní prostředí ... 7
3.1 Školské prostory ... 7
3.2 Oxid uhličitý (CO_2) ... 8
3.3 Teplota ... 8
3.3.1 Tepelná pohoda ... 9
3.4 Relativní vzdušná vlhkost ... 9
3.5 Další parametry vnitřního prostředí ... 9
3.5.1 Hluk ... 10
3.5.2 Polétavý prach ... 10
3.5.3 Těkavé organické sloučeniny ... 10
3.5.4 Elektroiontové mikroklima ... 11
4 Senzorické zařízení ... 11
4.1 Možnosti měření CO_2 ... 12
4.1.1 Čidla NDIR ... 12
4.1.2 Polovodičová čidla ... 13
4.2 Komunikace ... 14
4.2.1 Připojení kabelem ... 14
4.2.2 Bezdrátový přenos ... 15
4.3 Popis použitého senzoru a zapojení ... 16
5 Měření ... 17
5.1 Smíchovská střední průmyslová škola ... 17
5.2 ZŠ Červený vrch ... 17
5.3 ZŠ Marjánka ... 18
5.4 ZŠ Emy Destinové ... 19
6 Znázornění naměřených dat ... 20
6.1 Oxid uhličitý ... 20
6.2 Teplota a vlhkost ... 22
7 Komparace naměřených hodnot CO_2 ... 24
8 Legislativa vnitřního prostředí ... 25
9 Výměna vzduchu ... 26
9.1 Přirozené větrání ve školách ... 26
9.2 Nucené větrání ... 26
9.3 Klimatizace ... 26

10 Závěr 27
11 Poděkování 28
12 Seznamy 29
12.1 Seznam literatury 29
12.2 Seznam obrázků a grafů 32
12.3 Seznam tabulek 32
12.4 Seznam a vysvětlení zkratek 32

2 Úvod

Kvalita vnitřního prostředí ve škole jakožto vzdělávací instituci by měla podporovat soustředění a umožnit tak co nejlepší podmínky pro efektivní výuku. Obecně platí, že špatná kvalita vnitřního prostředí má negativní dopady na zdraví, soustředění a zhoršení pozornosti. Významnou roli při vyhodnocování kvality vnitřního prostředí hraje koncentrace oxidu uhličitého (CO_2). Právě příliš vysoké koncentrace tohoto plynu způsobují ztrátu pozornosti, únavu, pocit vyčerpání a celkově devalvují úroveň výuky. Snížení koncentrací CO_2 nejjednodušším způsobem, tedy větráním mnohdy komplikuje poloha školy blízko rušné ulice a probíhá tak v nedostatečné míře i četnosti.

Dle mého názoru považuji tuto problematiku v očích pedagogů i studentů za často opomíjenou, proto jsem se rozhodl věnovat se ji prostřednictvím této bakalářské práce.

2.1 Cíl práce

Cílem práce je pochopit význam vybraných parametrů kvality vnitřního prostředí, jejich vliv na efektivitu výuky a zdravotní stav, dále na základě dat získaných senzorickým měřením ve vytipované učebně na Smíchovské střední průmyslové škole statisticky zmapovat stav kvality ovzduší vnitřního prostředí během běžné výuky ve třídě, následně data vyhodnotit prostřednictvím přehledných grafů, přehledné grafické podoby a za pomoci odborné literatury uvést možné dopady na všechny aktéry výuky realizované ve vytipované učebně. Validitu získaných dat ověřím komparací s daty z jiných, již uskutečněných měřeních na základních školách nacházejících se v typologicky obdobně urbanizovaném území. Kvalitu ovzduší v této bakalářské práci reprezentují monitorované hodnoty CO_2, teploty a relativní vzdušné vlhkosti.

3 Vnitřní prostředí

Kvalita vnitřního prostředí se zásadně projevuje na pocitu komfortu člověka v daném prostoru i na jeho zdravotním stavu. Přímo se od ní odvíjí jeho výkonnost, pozornost a psychické rozpoložení. Za kvalitní vnitřní prostředí je považováno takové prostředí, které nemá negativní dopady na lidské zdraví a přispívá k pocitu komfortu bez ohledu na délku pobytu v dané místnosti. (Balík, 2008). Pro udržení vyhovující úrovně stavu vnitřního prostředí je nutné sledovat a ovlivňovat značné množství různých parametrů – indexů. Například předpověď středního tepelného pocitu, tzv. index PMV *(Predicted Mean Vote)* (HACH, 2010). Uvnitř budov je velmi důležitým údajem koncentrace oxidu uhličitého, dále pak samozřejmě teplota a vlhkost. V budovách s automatizovanými systémy řízení je standardem také neustálá kontrola přítomnosti kouře, která dokáže předejít požáru. Častá je instalace čidel měřící prach, přítomnost těžkých kovů a těkavých látek (VOC), které vznikají nejrůznějšími způsoby jako je například používání lepidel, čistidel, aplikací deodorantu, vařením, spalováním fosilních paliv a mnohými dalšími. Jedná se například o formaldehyd, polycyklické aromatické uhlovodíky, benzen, či naftalen (hyla.cz, 2019). Taková čidla je kromě rodinných domů vhodné instalovat také do knihoven, úřadů, škol či školek a dalších prostor, kde se lidé zdržují delší dobu. Díky varovné světelné indikaci můžeme nabádat k otevření okna, případně v kontrolované místnosti rovnou automaticky spustit ventilaci. Dalšími podstatnými parametry vnitřního prostředí je hluk, elektroiontové mikroklima, množství radonu, další chemické zdroje znečištění (oxid uhelnatý, oxid dusičitý a oxid siřičitý) a úroveň biologického znečištění plísněmi, bakteriemi, viry a roztoči.

Vnitřní prostředí typologicky rozdělujeme dle způsobu užívání, množství času, které v něm lidé tráví, nebo charakteru stavby ve kterém se nachází. Konkrétně se jedná o obytné prostory, prostory určené k vykonávaní práce potažmo tvůrčí činnosti, veřejně přístupné prostory, dopravní prostředky a specifické typy prostor, které nelze paušálně zahrnout do předchozího rozdělení a do kterých patří také školské prostory (Frous, 2015).

3.1 Školské prostory

Školské prostory se vyznačují kumulací vyššího počtu osob v jedné místnosti, zároveň také dochází k časté obměně osob. Udržet tak většinu dne kvalitní vnitřní prostředí ve školských prostorách lze bez pomoci techniky, nebo důsledně dodržovaného manuálu obtížně. Některé budovy, ve kterých výuka probíhá navíc trpí „syndromem nemocných/nezdravých budov“. Ten můžeme pozorovat u historických budov, budov postavených původně k jinému účelu, budov s neautomatizovaným řízením vytápění, osvětlením a ventilace, v nedostatečně odvětrávaných klimatizovaných budovách, nebo prostor s vysokým kolísáním teplot během dne (bozp.cz, 2018). Školská zařízení přitom denně navštěvuje odhadem 20% populace České republiky (SZÚ, 2021).

V této práci jsem se zaměřil na sledování tří veličin vnitřního prostředí a sice koncentrace stavu oxidu uhličitého, teploty a relativní vzdušné vlhkosti. Tyto veličiny jsou člověkem intenzivně vnímány a jejich nevyhovující hodnoty mají značný vliv na efektivitu výuky realizované v takových podmínkách (SZÚ, 2021). V následují následujících odstavcích si představíme výše zmíněné veličiny.

3.2 Oxid uhličitý (CO_2)

Oxid uhličitý (dále jen CO_2) je nezapáchající bezbarvý plyn bez chuti běžně se vyskytující v zemské atmosféře. Přirozená koncentrace částic CO_2 v přírodě se pohybuje v rozmezí 350 – 400 ppm. Doporučená úroveň pro vnitřní prostory je stanovena do 1000 ppm. Vydechnutý vzduch člověkem obsahuje průměrně 35 000 až 50 000 ppm. Konkrétní účinky koncentrací CO_2 na lidský organismus popisuje přiložená tabulka níže (Protronix, 2009).

350 – 400 ppm	Venkovní prostředí
do 1000 ppm	Doporučená hodnota pro vnitřní prostory
1200 – 1500 ppm	Doporučená maximální koncentrace CO_2 pro vnitřní prostředí
1000 – 2000 ppm	Může se objevovat únava, ztráta pozornosti
2000 – 5000 ppm	Možné bolesti hlavy
5000 ppm	Maximální hranice, kterou nedoprovází významné zdravotní komplikace
Nad 5000 ppm	Nevolnost, zvýšený tep
Nad 15 000 ppm	Dýchací potíže
Nad 40 000 ppm a více	Možná ztráta vědomí, smrt

Tabulka 1 (Zikán, 2011)

Hlavním ukazatelem zvýšené koncentrace oxidu uhličitého je pocit vydýchaného vzduchu. Zvyšování koncentrace CO_2 v uzavřeném prostoru je přímo úměrné počtu osob v místnosti a jejich fyzické námaze. Proto lze při navrhování řízení ventilace místnosti využít návaznost na aktuální koncentrace CO_2.

V klimatizovaných učebnách s absencí automatické ventilace dochází častěji k výskytu vyšších koncentrací CO_2, nežli v učebnách s mechanicky ovládaným větráním. Klimatizace totiž dokáže pozitivně a rychle ovlivnit tepelnou pohodu člověka a není tedy motivace další skutečné výměny vzduchu a snížení tak koncentrace CO_2. Klimatizační jednotky samy o sobě vzduch nevyměňují, ale pouze nasávají vzduch z místnosti a pomocí chladícího mechanismu ho vracejí zpět (Mendell, 2013).

3.3 Teplota

Jedním z nejdůležitějších parametrů vnitřního prostředí je úroveň teploty. Vyhláška č. 410/2005 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých nám říká, že teplota v učebnách a místnostech určených k dlouhodobému pobytu by se měla průměrně pohybovat mezi 20 a 22°C. V letních měsících by zároveň neměla překročit hranici 26°C. (410/2005 Sb., 2005). K pocitu tepelné pohody v místnosti však dochází za mnohem komplikovanějších podmínek. Pro komplexní pochopení je nutné specifikovat pojem „tepelná pohoda, nebo alternativně „tepelný komfort“. [1]

[1] Tepelná pohoda je označována pouze za „pohodu dílčí“. Předmětem zájmu tepelné pohody je pouze teplota prostředí. Stav prostředí, ve kterém se člověk cítí dobře po všech stránkách se nazývá „pohoda celková“. Takové prostředí musí mít například dobré akustické, světelné, mikrobiální, nebo aerosolové podmínky, ale také ty psychické.

3.3.1 Tepelná pohoda

Tepelná pohoda/komfort je člověkem vnímán jako pocit, při kterém se cítí v místnosti pohodlně a může se tak dobře soustředit na činnost, kterou vykonává. Proudění vzduchu je stabilní, není příliš silné a jeho teplota je vyrovnaná. Nedochází tak k pocení, nebo pocitu chladu. Podmínkou tepelné pohody je splnění rovnice tepelné rovnováhy člověka. Tu lze chápat jako porovnání tepelné energie produkovanou člověkem s energií, kterou člověk odvádí do okolního prostředí. Čím větší je rozdíl těchto dvou hodnot, tím hůře se člověk z pohledu tepelné pohody v daném prostředí cítí. V místnosti by také neměl být rozdíl teplot mezi kotníky a hlavou větší než 3°C. Pokud nějaký teplotní rozdíl nastane, tepleji by mělo být u země. Teplota podlahy by se tedy měla pohybovat mezi 19°C a 26°C.

Tepelná pohoda je čistě individuální pocit, je proto velice pravděpodobné, že v případě vyšší koncentrace lidí po delší časový úsek v tomtéž prostoru, bude některým lidem moc teplo, nebo naopak chladno. Tito lidé pak pociťují tepelný diskomfort (LAJČÍKOVÁ, 2006).

3.4 Relativní vzdušná vlhkost

Relativní vlhkost vzduchu (dále jen vlhkost vzduchu) je procentuální údaj o nasycenosti ovzduší parami. 0% relativní vlhkost je naprosto suchý vzduch a naopak 100% hodnota relativní vlhkosti značí vzduch parami maximálně nasycený. Tento údaj o ovzduší je podobně jako teplota, nebo koncentrace CO_2 jedním z nejdůležitějších parametrů vnitřního prostředí. Hodnota vzdušné vlhkosti by měla zůstat v rozmezí 30 a 60% (Bencko, 1998). Doporučená ideální vlhkost ve vnitřních prostorách je v rozmezí 45 až 60% pro zimní období a 40 až 55% pro letní měsíce. Vyhláška č. 410/2005 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých určuje hodnotu mezi 30-65% pro všechny typy prostorů ve školských zařízení kromě sprch (410/2005 Sb., 2005).

Vlhkost vzduchu ovlivňuje mnoho faktorů. Kromě samotné činnosti člověka, při které dochází spíše k sycení vzduchu, jako například vaření, hygiena, nebo sušení přádla, ovlivňují tuto hodnotu také materiály, z kterého je stavba vyhotovena, její technický stav i počasí venku. Pokud vzdušná vlhkost v místnosti dlouhodobě přesahuje 60%, vzniká tak prostředí vhodné ke vzniku plísní a množení roztočů. To je nejčastěji problém starých budov, kde technické nedostatky, nebo zastaralé materiály umožňují pronikání vody a vlhkosti. Kondenzací vlhka na stěnách, podlahách a jiných površích dochází k tvorbě ideálních podmínek pro růst již zmíněných plísní a hub (BURIANOVÁ, 2021). Dlouhodobě nevyhovující vzdušná také představuje zdravotní rizika. Příliš vysoká vzdušná vlhkost může způsobovat astma, kožní problémy, dýchací potíže, alergie, či bolesti kloubů. Při nízké vlhkosti může docházet k vysychání a pálení sliznic, kašli, dýchacím a také kožním potížím (OSHA, 2011).

3.5 Další parametry vnitřního prostředí

Kvalitu vnitřního prostředí ovlivňuje mnoho dalších veličin. Pro dodržení předepsaného rozsahu této práce se primárně věnuji již zmíněným třem parametrům (CO_2, teplota a vlhkost), pro doplnění celkového povědomí si však v krátkosti představíme také některé další.

3.5.1 Hluk

Hluk přirozeně patří do životní prostředí každého člověka. Jedná se o zvukový vjem, který je nechtěný. Hovoříme o zvucích, které ruší, mohou vyvolávat podrážděnost, nebo dokonce způsobovat zdravotní potíže. Možné zdravotní dopady se odvíjí od intenzity hluku, délce jeho trvání i na situaci, ve které na člověka začne působit. Každý člověk má míru tolerance hluku odlišnou. Rozlišujeme dva základní typy hluku. Hluk působící krátkodobě, nebo ojediněle, případně náhodně (troubení, křik, vrtání), a hlukem dlouhotrvajícím (hluk z dopravy za oknem, ventilace) (MZCR, 2015). Zákonem je hluk definován ustanovením 30 odst. 2 zákona č. 258/2000 Sb., jako zvuk, který může být škodlivý pro zdraví a jehož hygienický limit stanoví prováděcí právní předpis (258/2000 Sb., 2000). Možné negativní dopady hluku popisuje Lehmanovo schéma účinků:

> 30 dB	Možné nebezpečí pro nervový systém a psychiku.
> 60 až 65 dB	Možné nebezpečí pro vegetativní systém
> 90 dB	Možné nebezpečí pro sluchový orgán.
> 120 dB	Možné nebezpečí poškození buněk a tkání.

Tabulka 2 Lehmanovo schéma účinků (MZCR, 2015)

Akutní účinky hluku mohou mít významný vliv na výkonnost člověka. Může se jednat například o vliv na psychiku (únava, deprese, rozmrzelost, agresivita, neochota), zvýšení hladiny adrenalinu, zvýšení krevního tlaku, akustické trauma, snížení výkonnosti, paměti a pozornosti (MZCR, 2015). Ve školách nacházejících se silně urbanizovaném území tak může významně trpět efektivita výuky vlivem hluku z dopravy a dalších rušivých zvuků plynoucí z dění v přilehlých, rušných ulicích.

3.5.2 Polétavý prach

Za polétavý prach jsou považovány pevné částice o velikosti menší než 10 mikrometrů. Standardně se tyto částečky označují zkráceně PM10 a PM2,5. Čím menší částice vdechujeme, tím horší mohou zdravotní dopady být. Větší částice PM10 se při vdechnutí usazuji v dolních cestách dýchacích (hrtan, průdušnice, průdušky a plíce), ty menší, tedy částice MP2,5, mohou proniknout až do plicních sklípků. Zdravotní rizika při vdechnutí částic MP2,5 ještě zvyšují karcinogenní látky (olovo, arzen, nikl apod.), které se na tyto prachové částice navazují. Zdrojem polétavého prachu je ve městech primárně doprava, průmyslové zdroje, nebo přilehlé spalovny a těžební, či cementářské provozy. Polétavý prach působí na naše zdraví okamžitě. I po krátkodobém působení může docházet ke zvýšení počtu zánětlivých onemocnění plic, negativním účinkům na kardiovaskulární systém, zvýšení počtu hospitalizacích, nebo dokonce k vyšší úmrtnosti. Po dlouhodobém vystavení polétavého prachu lze předpokládat zvýšení počtu chronických onemocnění plic, nevratných genetických změn (mutací), karcinogenních onemocnění, poruch plodnosti a předčasných úmrtí. Statistiky Evropské unie pak hovoří odhadem o 370 000 lidech, kteří umírají na následky znečištění ovzduší (MZCR, 2010).

3.5.3 Těkavé organické sloučeniny

Těkavé organické sloučeniny zkráceně VOC se do ovzduší uvolňují z mnoha zdrojů. Využívají se v průmyslu při výrobě nábytku, podlah, koberců v podobě lepidel, ředidel, barev a laků. Díky nízké molekulární hmotnosti těchto látek dochází k jejich rychlému vypařování. Zvýšené koncentrace

těkavých látek proto nalezneme velmi pravděpodobně v prostorech jako jsou nové byty, budovy po rekonstrukci, nebo místnostech s novým pokojovým/kancelářským vybavení (ŠENKYŘÍKOVÁ, 2015). Dalšími zdroji těchto polutantů je doprava, nebo kouření cigaret.

3.5.3.1 Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)

Polycyklické aromatické uhlovodíky dále jen PAU jsou nebezpečné, mnohdy toxické a karcinogenní znečišťující látky. Vznikají procesem nedokonalého spalování organických materiálů. Nejčastěji ropných produktů, dřeva, uhlí, tabáku, či odpadu. Zdroje PAU jsou přírodního, nebo antropogenního původu. Za přírodní zdroj můžeme označit vulkanickou činnost, nebo lesní požáry. Výrazně větší množství PAU však vzniká vlivem lidské činnosti, například používáním spalovacích motorů, likvidací odpadů spalováním, kouřením, nebo vlivem průmyslové výroby (Fiala, 1999).

Zdravotní dopady PAU na zdraví jsou prokázané. Nejzávažnějším negativním vlivem je karcinogenita. Vdechování PAU, konkrétně nejškodlivějšího benzo(a)pyrenu z dopravy, nebo cigaret je hlavní příčinou rakoviny plic. Dále mohou PAU způsobovat poškození genetické informaci buněk a další formy rakovinových onemocnění (HAVEL, 2021).

3.5.4 Elektroiontové mikroklima

Elektroiontové mikroklima, alternativně míra ionizace vzduchu jsou pojmy, kterém nám říkají, že v ovzduší kolem nás obsahuje určité množství volných atmosférických iontů. Ionty jsou elektricky nabité částice ionizační energií. Pro příjemný pocit v místnosti je přítomnost těchto částic v ovzduší nutná. Zdrojem iontů je elektromagnetické záření, nebo radioaktivní záření. Může být přírodního, nebo umělého původu. Ionty můžeme rozdělit podle několika vlastností. První způsob dělení je dle polarity těchto částic. Mohou být kladné, nebo záporné. Ionty dusíku jsou představiteli kladných iontů, ionty kyslíku a vodních par pak těch záporných. Další dělení odpovídá počtu molekul ve shluku, z kterého se iont skládá. Rozdělují se na lehké, střední a těžké ionty. Lehké ionty jsou shlukem nižších desítek molekul. Časový rámec jejich životnosti se pohybuje v řádu sekund. Počet lehkých iontů ve vzduchu je ukazatelem jeho čistoty. S přibývajícím znečištěním ovzduší dochází k vázání dalších molekul na lehké ionty a vznikají tak střední ionty s životností i několika stovek hodin. Počet molekul středních iontů je několik set. Těžké ionty tvoří shluky až tisíce molekul. Disponují životností až několika týdnů. Jádro těžkých iontů je typicky tvořeno částicí prachu, nebo kouře. Rychlost sedimentace iontů je přímo úměrná počtu molekul, z kterých je iont tvořen. Těžké ionty mají vzhledem ke své hmotnosti sedimentaci, tedy zánik, nejrychlejší. Pokud je ve vzduchu zastoupeno větší množství těžkých iontů, vdechujeme znečištěný vzduch, tedy částice, které často obsahují škodlivé látky. Čističky ovzduší vzduch uměle obohacují o lehké ionty. Tento jev je nazýván ionizace. S větším množstvím lehkých iontů dochází rychlejšímu obalení prachových částic a dalších nečistot v ovzduší a vytvoření těžkých iontů, které mají rychlejší čas sedimentace a vzduch se tak rychleji pročistí (Lajčíková, 2007).

4 Senzorické zařízení

Díky senzorickému měření získáváme surová data určitého typu. Senzor, neboli čidlo, či detektor je navržen vždy k monitoringu konkrétní veličiny, nebo veličin. Tomu také odpovídají jeho hardwarové

požadavky. Návrh hardwarového řešení senzoru se odvíjí od požadované přesnosti měření, prostředí ve kterém měření probíhá a jeho cenové dostupnosti na trhu, případně také od způsobu instalace a zapojení.

Senzorická zařízení masově využívána v bytových a kancelářských prostorách se vyznačují sníženou mírou přesnosti měření dané veličiny, umožňují však dlouhodobý bezúdržbový provoz a nízké pořizovací náklady. Jejich připojení do systému probíhá pomocí standardních konektorů a komunikačních protokolů. Naopak čidla používaná pro laboratorní měření, nebo krátkodobé instalace určené k odbornému výzkumu charakterizuje vysoká přesnost měření a vysoké pořizovací náklady. Taková čidla často vyžadují atypickou konektivitu a vyšší frekvenci údržbových prací (Schafferová, 2018).

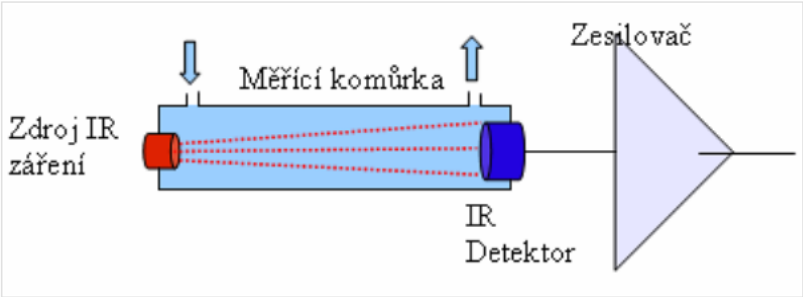
V rámci vytyčeného cíle práce bylo získat data o koncentracích CO_2, teploty a vlhkosti ve vytipované učebně. Na Smíchovské střední průmyslové škole, ve které působím v roli pedagoga a odborného asistenta jsem měl k dispozici kombinované čidlo NLII-CO_2+RH+T-5-RS485 od výrobce Protronix. Toto čidlo disponuje pro měření koncentrací CO_2 metodou NDIR. Komunikuje prostřednictvím kabelového připojení se standardem RS485 pomocí protokolu Modbus RTU. V následujících odstavcích si specifikujeme jednotlivé vlastnosti technologie čidel a mnou použitý senzor.

4.1 Možnosti měření CO_2

Měření CO_2 lze provádět několika technologiemi založenými na níže popsaných principech. Volba konkrétní technologie čidla závisí na požadované přesnosti měření, cenové dostupnosti, nebo například životnosti zařízení.

4.1.1 Čidla NDIR

Senzorická zařízení pracující na technologii NDIR měří hodnotu útlumu infračerveného světla. Disponují zdrojem infračerveného záření, světlovodné trubice a snímačem dopadajícího infračerveného světla. Čím vyšší jsou koncentrace CO_2 v prostředí, ve kterém je čidlo umístěno, tím více dochází k útlumu infračerveného záření generovaném v senzoru. Elektronika a příslušný program v senzoru porovnává hodnotu intenzity generovaného infračerveného světla s hodnotou ze snímače na druhém konci světlovodné trubice, na který infračervené světlo dopadá potlumené právě částicemi CO_2. Senzorická zařízení založená na infračervené absorpční metodě (NDIR) jsou i přes vyšší cenu v porovnání s alternativními technologiemi nejrozšířenější. Mohou měřit vysoké koncentrace CO_2, zpravidla nevyžadují kalibraci a jsou dostatečně přesná pro běžné využití při řízení ventilace (Protronix, 2009). Funkční schéma senzoru je nastíněno na obrázku níže.

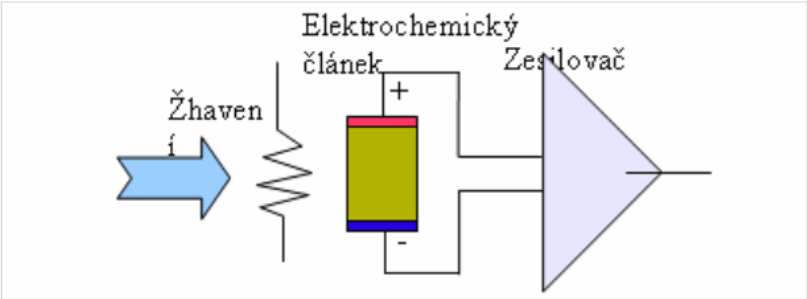


Obrázek 1 Čidlo NDIR (Protronix, 2009)

4.1.1.1 Elektrochemická čidla

Funkční princip elektrochemického senzoru je založen na chemické reakci v elektrochemickém článku senzoru. Ten se skládá z nejméně dvou elektrod (může být umístěna i třetí, referenční elektroda s konstantním elektrickým potenciálem) a tuhého elektrolytu. Jejich složení je určeno plynem, jehož koncentrace má senzor měřit. Tento elektrochemický článek je vyhříván na určitou teplotu, při které dochází na elektrodách k chemickým reakcím. Tím vzniká měřitelné elektromotorické napětí (někdy označované také jako elektromotorická síla). Měřením tohoto napětí speciální elektronikou senzoru dochází k určení koncentrací CO_2 (Vojáček, 2020).

Hlavní předností těchto čidel je jejich přesnost měření CO_2 a nižší pořizovací náklady. Postupným zdokonalováním NDIR čidel však dochází také ke snižování jejich ceny a tak cenový rozdíl dnes již není tak markantní. Velkou nevýhodou elektrochemických čidel je jejich nižší životnost. Během 1 až 2 let dochází k degradaci elektrolytu a je nutná jeho výměna. Ne vždy je však možná z pohledu konstrukčního navržení senzoru. Další vlastností, která může být překážkou v aplikaci elektrochemického senzoru je hranice minimální měřitelné koncentrace CO_2. Ta obvykle začíná na 400 ppm. Kalibrace tohoto typu čidel bývá řešena autokalibračním procesem. (Protronix, 2009).

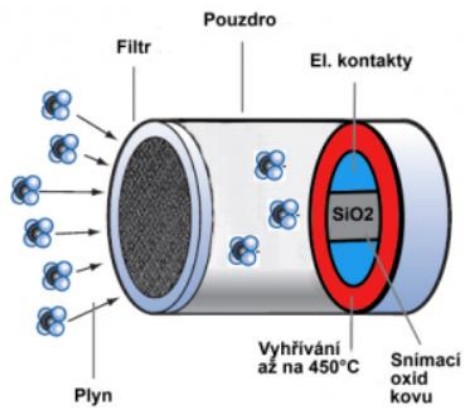


Obrázek 2 Čidlo elektrochemické (Protronix, 2009)

4.1.2 Polovodičová čidla

Polovodičová čidla fungují na principu změn vodivosti povrchu polovodiče díky působení částic měřeného plynu, v tomto případě CO_2. Senzor se skládá ze snímacího prvku - polovodiče, nejčastěji drátu složeného z oxidu kovů (dnes běžně oxid cíničitý - SnO_2), který dokáže reagovat s molekulami CO_2, dále pak z elektrod a ohřívače, neboli substrátu tvořeného z korundové keramiky, nebo křemíkového waferu. Ohřívač dosahuje teplot v rozmezí 200 až 450 °C (záleží na měřeném plynu) a předává svou tepelnou energii snímacímu prvku. Nad povrchem polovodiče se poté vytvoří rovnovážný

stav s molekulami kyslíku, který se poruší v přítomnosti jiného plynu. Tím dojde k určité, měřitelné změně vodivosti polovodiče a po vyhodnocení elektronikou tedy také k měření koncentrace CO_2. Tento způsob měření CO_2 je často použit v nízkonákladových senzorických zařízeních určené do bytů, kanceláří a dalších obdobných prostor z několika důvodů. Mají dlouhou životnost a vysokou mechanickou odolnost, na druhou stranu však nižší kvalitu měření. Polovodičové senzory CO_2 se proto často používají jen jako orientační indikátory koncentrace tohoto plynu v místnosti se světelnou indikací několika barevných LED diod bez zobrazení číselné hodnoty v ppm (Vojáček, 2020).



Obrázek 3 Čidlo polovodičové (Vojáček, 2020)

4.2 Komunikace

Každé senzorické zařízení musí být připojeno do systému prostřednictví určitého přenosového média. Ta lze obecně rozdělit na přenos prostřednictvím kabeláže a bezdrátový přenos. Na rozdíl od běžných počítačových periferií, které připojujeme do systému pomocí standardních konektorů (např. USB, RJ45) a bezdrátových sítí (WIFI, Bluetooth), konektivitu senzorických zařízení navazujeme uživatelsky méně přívětivým způsobem připojení. Připojení pomocí kabelu probíhá zpravidla upevněním odizolovaných konců vodiče do svorek v zařízení, případně do sběrnicové spojky. Bezdrátové sítě určené pro tento typ zařízení vyžadují odbornou konfiguraci.

4.2.1 Připojení kabelem

Kabelové připojení je hodnoceno ve srovnání s bezdrátovým jako více bezpečné a umožňuje stabilnější a rychlejší komunikaci mezi zařízeními. Nevýhodu je fyzická závislost na samotném kabelu, která omezuje možnosti umístění zařízení na těžko přístupná místa, nebo místa bez zavedené elektroinstalace a obtížnější proces samotného připojení. Použitý kabel musí být správně odstíněn proti případnému elektromagnetickému rušení, rovněž je nutné hledět na délku použitého kabelu. Pokud bychom použili příliš dlouhý vodič bez zařízení, které by zesilovalo signál na lince, docházelo by ke ztrátě přenášených dat a tedy k jejich chybné, nebo žádné interpretaci. Kabel je také potřeba chránit proti vlivům okolního prostředí. K tomuto účelu volíme chráničky kabelů, lišty, nebo pouze odolný plášť vodiče.

Senzorická zařízení připojená kabelem do centrální jednotky (PLC) musí nějakým způsobem odesílat naměřené údaje. Jejich komunikační výstupy mohou být dvoustavové (0, nebo 1), nebo vícestavové. Dvoustavové výstupy jsou určeny k přenesení informace například o detekci nějakého stavu,

přítomnosti nějakého objektu, nebo obecně o splnění předem deklarované podmínky. Pro potřeby senzorů CO_2 se však využívá komunikačních výstupů vícestavových. Ty nám umožňují přenést do PLC konkrétní informaci. Například právě o stavu měřené veličiny. Proces zpracování a vyhodnocení měřených dat pak probíhá v PLC. Vícestavové výstupy ze senzorů mohou být funkčním principem analogové, digitální, nebo pulsní (Vojáček, 2015).

4.2.2 Bezdrátový přenos

Bezdrátové sítě komunikují mezi zařízeními pomocí elektromagnetického vlnění v rádiové části spektra. Jejich zásadní výhodou je, jak již bylo nastíněno v předchozích odstavcích, vysoká variabilita umístění bezdrátově komunikujících zařízení a mnohdy také samotné připojení zařízení do systému. Nezávislost na připojení datovým kabelem umožňuje instalaci zařízení jen v dosahu zdroje napájení. Ten bývá v budovách, případně na infrastrukturálních prvcích areálů dobře dostupný. Pokud je bezdrátové zařízení vybaveno bateriovým napájením, není nutná fixace na konkrétní místo a stává se tak mobilním. Pro senzorická měření v budovách toto může být klíčovou vlastností. Jako nevýhodu bezdrátové komunikace je nutné uvést možnost rušení přenosu (přírodní, nebo způsobné technikou), možnost napadení, nebo odposlouchávání komunikace v síti. Problémy může rovněž způsobovat zvýšená nespolehlivost komunikace.

Dobře známé je podstatné části populace slovo Wi-Fi. To je označením komunikačních standardů IEEE 802.11, které definují konkrétní technologické možnosti bezdrátového přenosu. Pokud dvě a více zařízení využívají k bezdrátové komunikaci nějaký z těchto protokolů, komunikují prostřednictvím Wi-Fi. Tato bezdrátová technologie komunikace je primárně určená pro zařízení, která odesílají, nebo přijímají datové soubory větší velikosti (prohlížení Internetu, obrázky, videa, online hovory atd.). Pro bezdrátová senzorická zařízení (prvky IoT obecně) jsou využívány jiné bezdrátové sítě. Tyto sítě jsou navrženy pro přenos dat na úrovni krátkých čísel, slov, dat menších rozměrů obecně. Frekvence vysílání zařízení IoT jsou často v minutových, nebo hodinových intervalech. Díky tomu je dosaženo snížení spotřeby elektrické energie zařízeními a delší životnosti baterie. Mezi tyto sítě řadíme například LoRa WAN, Sigfox, nebo Zigbee.

4.3 Popis použitého senzoru a zapojení

Použité čidlo pro účely této bakalářské práce nazývá výrobce jako kombinované čidlo NLII-CO_2+RH+T-5-RS485. Je založeno na technologii NDIR a jeho rozsah měřených hodnot CO_2 je od 400 do 5000 ppm, vlhkosti (RH) 0 až 100 % a teploty (T) 0 - 50°. Komunikuje vícestavovým výstupem pomocí sběrnice RS485 za použití komunikačního protokolu Modbus RTU. Detailní specifikaci senzoru přibližuje následující tabulka (Protronix, 2021).

Parametr	**Hodnota**	**Jednotka**
Rozsah napájecího napětí	12 – 35	V DC
Průměrná spotřeba	0,5	W
CO_2 měřící rozsah	400 – 5000	ppm
CO_2 přesnost měření	± 35 ppm ±5 %	z hodnoty
RH měřící rozsah	0 – 100 %	RH
RH přesnost 20 – 80 %	± 3 %	RH
RH přesnost 0 – 100 %	± 6 %	RH
T měřící rozsah	0 – 50	°C
T přesnost měření	± 0,4	°C
Pracovní vlhkost nekondenzující	0 – 95 %	RH
Pracovní teplota	0 až +50	°C
Skladovací teplota	-20 až +60	°C
Očekávaná životnost	min. 10	let
Krytí	IP20	
Rozměry	90x80x31	mm

Tabulka 3 Vlastnosti použitého senzoru (Protronix, 2021)

Následující obrázek zobrazuje reálnou podobu použitého senzoru. Senzor je osazen třemi LED indikátory, které slouží k získání představy o aktuální, přibližné kvalitě ovzduší samotným pohledem na zařízení.

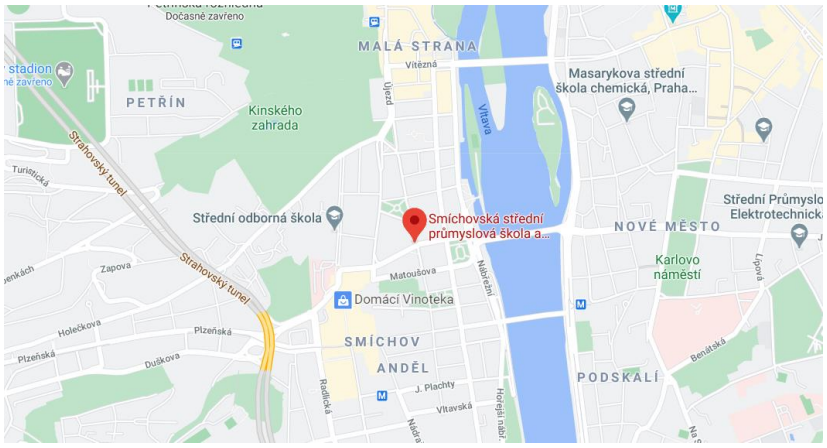
Obrázek 4 Senzor Co2, Teploty a Vlhkosti (Protronix, 2021)

5 Měření

V této práci pracuji s daty pocházejících z měření na třech základních školách – ZŠ Červený vrch, ZŠ Marjánka a ZŠ Emy Destinové a ze Smíchovské střední průmyslové školy (SSPŠ). Měření na základních školách provedl Státní zdravotní ústav (SZÚ) v letech 2017 a 2018. Měření na SSPŠ bylo provedeno mnou v roce 2019. Všechna měření proběhla v chladném období, kdy okna ve třídách zůstávají častěji uzavřena kvůli vnikajícímu chladu z větrání. Aby bylo možné porovnat jednotlivá měření, popisuji podmínky, ve kterých se na jednotlivých školách uskutečnila vždy obdobným způsobem. Nejprve uvedu obecné informace týkající se polohy budovy školy a její kapacitě. Poté specifikuji datum, ve kterém se měření uskutečnilo, parametry učebny a venkovní teplotu během měření.

5.1 Smíchovská střední průmyslová škola

Škola je umístěna v samotném centru města v oblasti s hustou zástavbou vícepatrových historických budov. V přímém sousedství se nachází dvouproudová, dopravou silně zatížená komunikace v ulici V Botanice. Škola byla postavena v roce 1901. Její kapacita je 640 žáků. Budova školy byla původně navržena jako vzdělávací zařízení, postavena je z cihel a kamene.



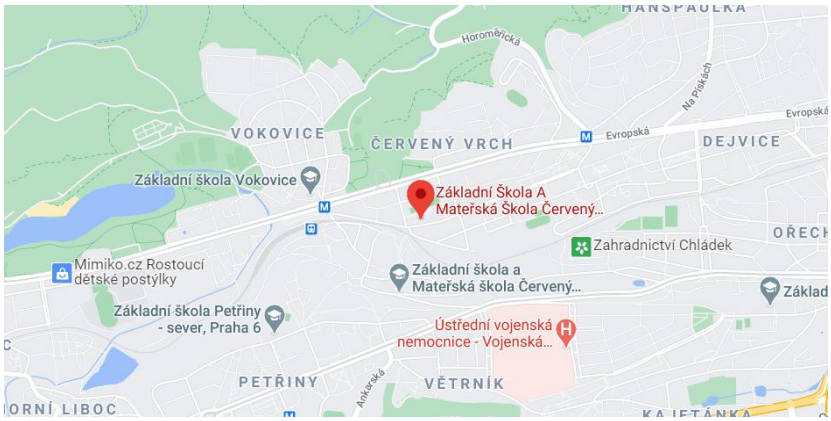
Obrázek 5 Poloha SSPŠ, (Mapy Google)

Senzor byl umístěn 20 dní od 3.11.2019 do 23.11.2019 v jazykové učebně číslo 306 ve 3. nadzemním patře Smíchovské střední průmyslové školy. Pro analytické účely této práce jsem vybral pětidenní časový úsek pěti po sobě jdoucích pracovních dní (po-pá). Konkrétně pracovní týden od 4.11.2019 do 8.11.2019. V učebně se nachází dvě samostatná okna orientovaná směrem do vnitrobloku, kterými byla také větrána. Celková plocha podlahy byla 36 m². Výška stropu byla 3,6 m. V přepočtu zde měl žák k dispozici 7,6 m³. Frekvence výuky v dané třídě odpovídala plnému vytížení učebny. Frekvence měření byla minutová. Během měření se venkovní teplota pohybovala mezi 5,9 a 11,9 °C.

5.2 ZŠ Červený vrch

Škola je umístěna v širším centru města Prahy. V přilehlé oblasti se nachází vícepatrová zástavba panelových domů a blízko také vilová zástavba. Cca 200 metrů od školy leží dopravou silně zatížena

čtyřproudá komunikace. Škola je panelového typu a byla postavena v roce 1945. Kapacita školy je 600 žáků (SZÚ, 2021).

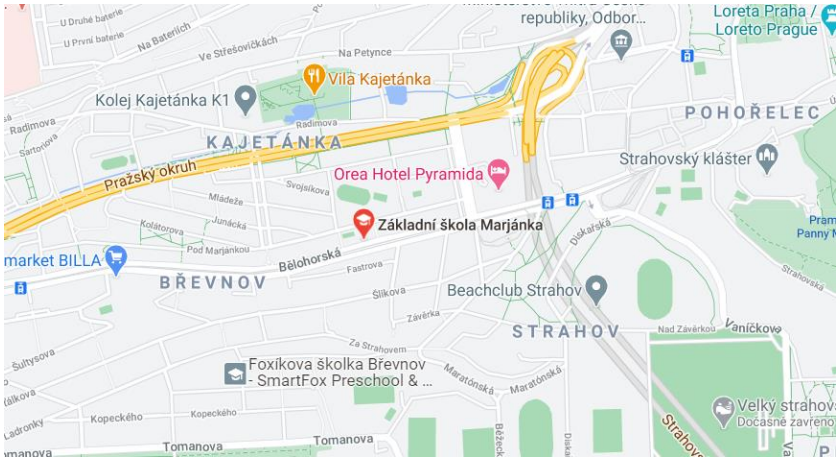


Obrázek 6 Poloha ZŠ Červený vrch (Mapy Google)

Senzor byl umístěn mezi dny od 27.11.2017 do 1.12.2017 ve třídě 2.B s plochou 63 m² v přízemí. Výška stropu činila 3,4 m. Ve třídě studovalo převážně 23 žáků. Průměrně tedy vycházelo na žáka 9,3 m³. Okna třídy jsou orientovány do dvora. Třída byla při měření větrána dvěma okny. Frekvence měření byla minutová. Během měření se venkovní teplota pohybovala mezi -0,2 a 6,8 °C (SZÚ, 2021).

5.3 ZŠ Marjánka

Škola leží v širším centru města Prahy. V oblasti se nachází hustá zástavba vícepatrových bytových domů. Cca 200 metrů od školy leží dopravou silně zatížena čtyřproudá komunikace, cca 500 metrů je vzdáleno vyústění tunelu Blanka. Škola byla postavena z cihel a kamene v roce 1910 (SZÚ, 2021).



Obrázek 7 Poloha ZŠ Marjánka (Mapy Google)

Měření probíhalo ve dnech od 5.2.2018 do 9.2.2018 ve třídě 4.A s plochou cca 70 m² v prvním nadzemním patře. Výška stropu činila 4 m. Ve třídě studovalo většinou 27 žáků. Přibližně vycházelo na žáka 10,4 m³. Dvě okna třídy jsou orientovány do ulice Bělohorská a byla ze dřeva. Třída byla při měření větrána dvěma okny. Frekvence měření byla minutová. Během měření se venkovní teplota pohybovala v rozmezí od -3,8 do 1 °C (SZÚ, 2021).

5.4 ZŠ Emy Destinové

Škola se nachází v širším centru města Prahy. V oblasti s hustou zástavbou vícepatrových bytových domů. Blízké okolí školy je silně zatížené dopravou. Škola je cihlového typu a byla postavena v roce 1930. Kapacita školy je 618 žáků (SZÚ, 2021).

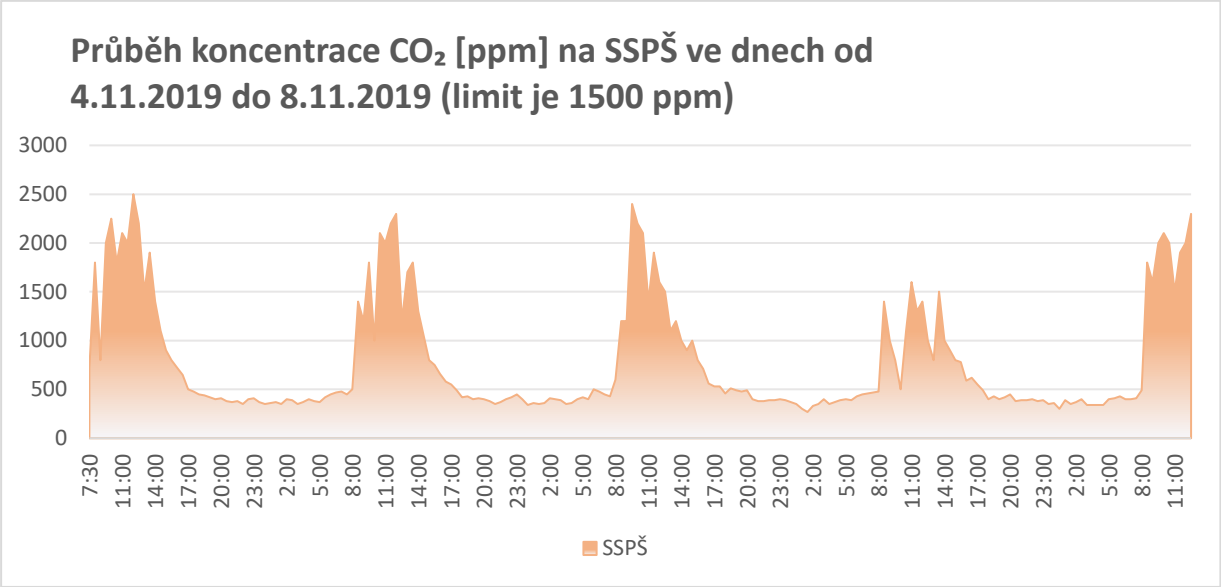
Obrázek 8 Poloha ZŠ Emy Destinové (Mapy Google)

Senzor se nacházel ve třídě 4.A ve dnech od 11.12.2017 do 15.12.2017 v přízemí. Třída měla plochu 70 m², umístěna v přízemí budovy. Výška stropu dosahovala 4 metrů. Ve třídě bylo obvykle 24 žáků. Průměrně tak vycházelo 11,6 m³ na žáka. Okna o ploše cca 18 m² byla ze dřeva, orientovaná na východní směr ulice. Frekvence měření byla minutová. Během monitorování se venkovní teplota pohybovala mezi 1,7 a 8,6 °C (SZÚ, 2021).

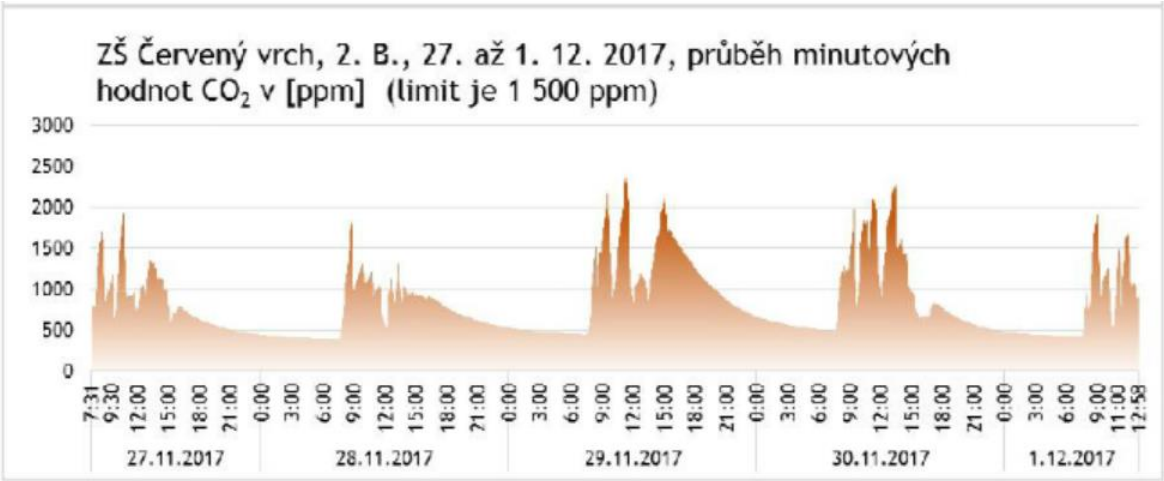
6 Znázornění naměřených dat

Níže jsou znázorněna naměřená data grafy, na kterých jsou vidět klouzavé průměry hodnot vývoje koncentrací CO_2, teploty a vlhkosti na jednotlivých školách a popisem shrnujícím maximální naměřené hodnoty těchto veličin.

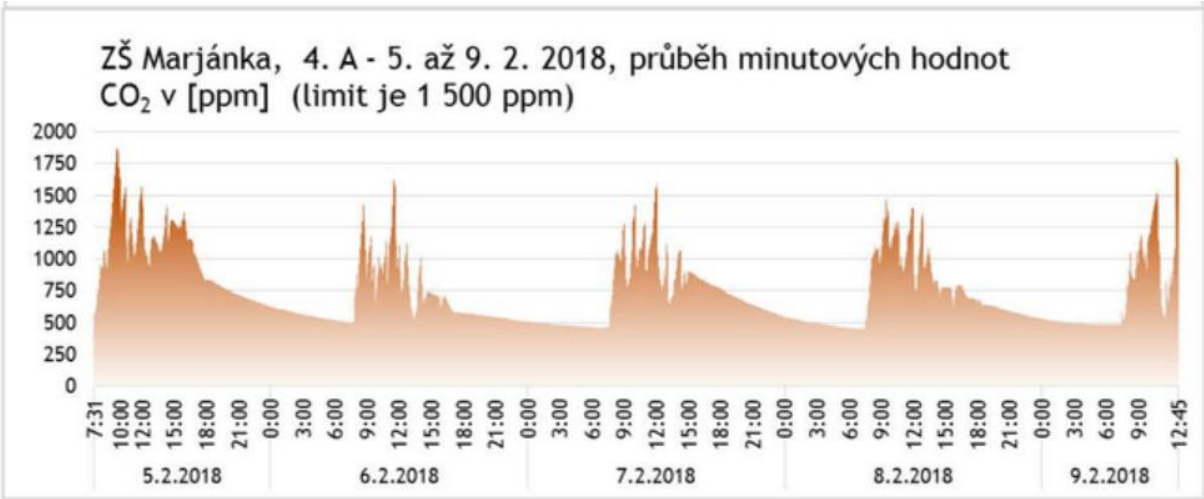
6.1 Oxid uhličitý



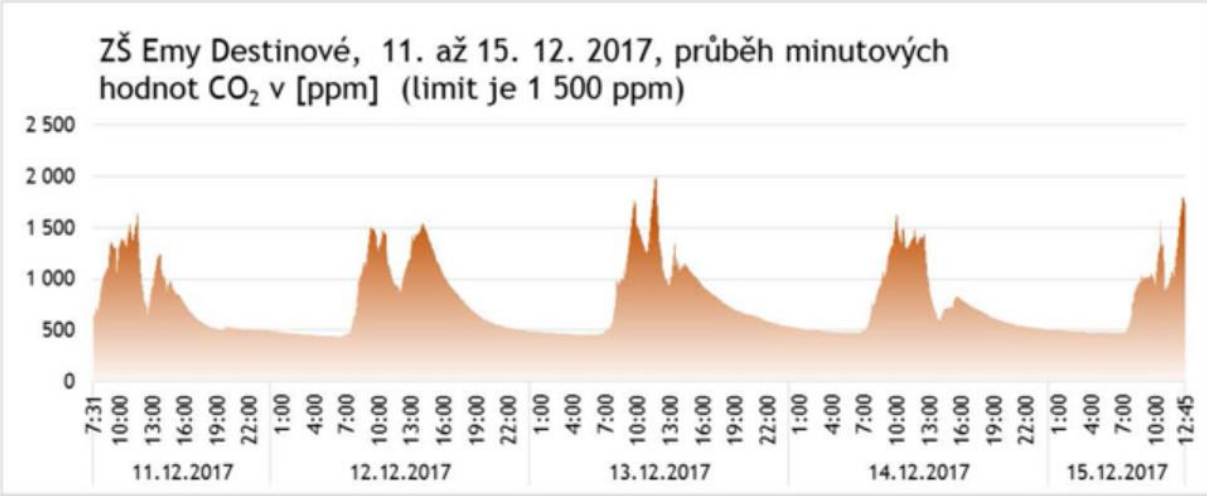
Obrázek 9 Graf CO_2, SSPŠ (vlastní měření)



Obrázek 10 Graf CO_2 ZŠ Červený vrch (SZÚ, 2021)



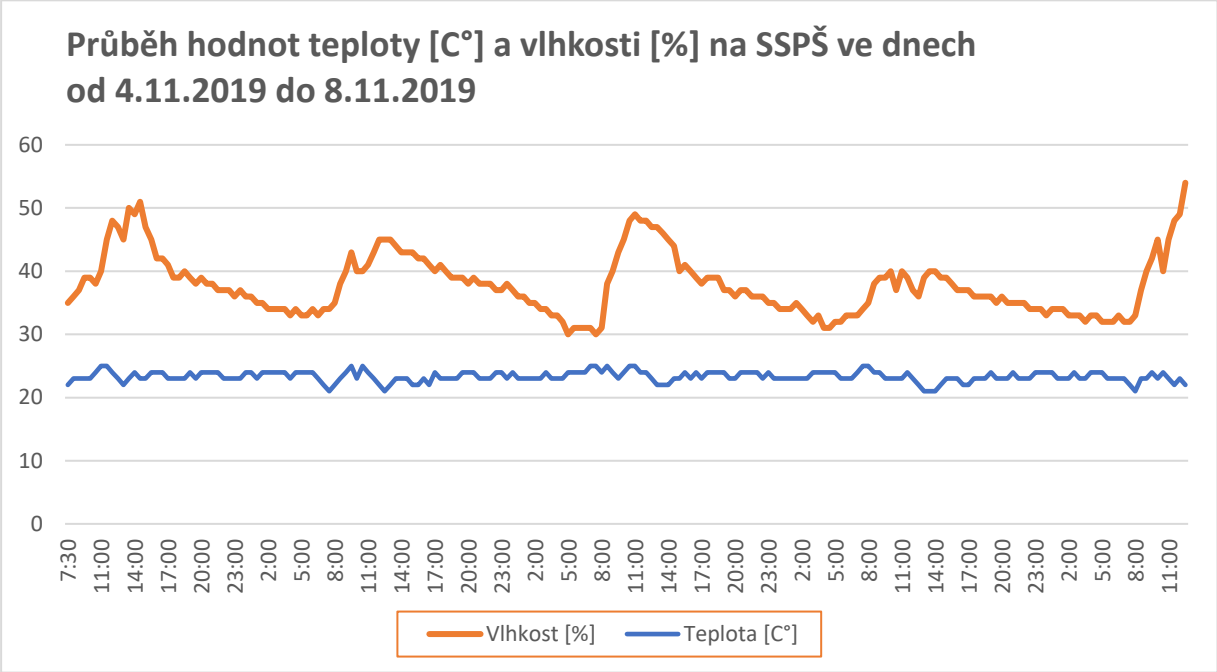
Obrázek 11 Graf CO_2 ZŠ Marjánka (SZÚ, 2021)



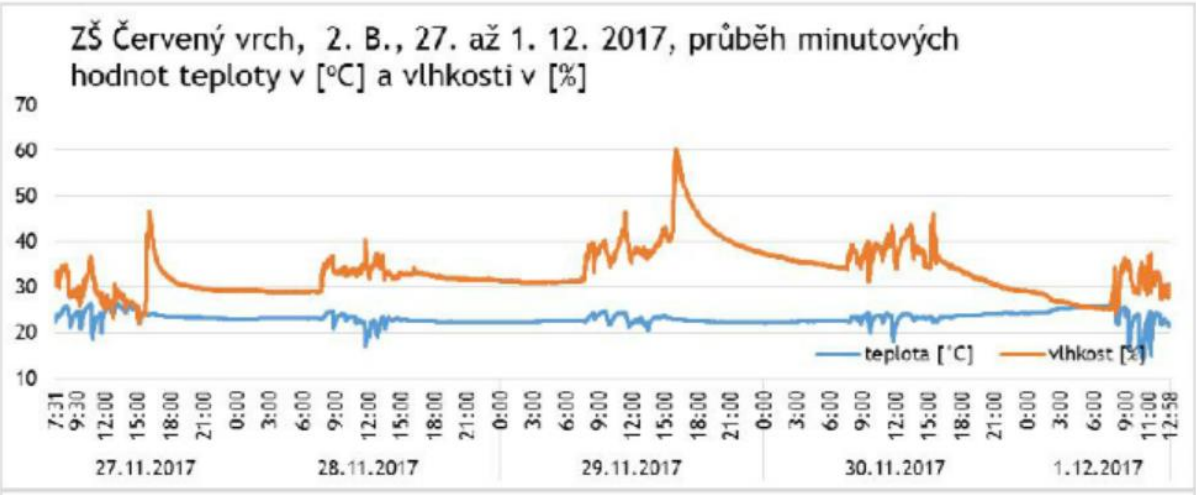
Obrázek 12 Graf CO_2 ZŠ Emy Destinové (SZÚ, 2021)

Na grafech můžeme pozorovat pravidelné překračování koncentrace CO_2 nad doporučenou hranici 1000 ppm ve všech monitorovaných školách. Často je dokonce ve třídách překračována hranice 2000 ppm. Výčet možných dopadů těchto koncentrací na aktéry výuky je uveden v odstavci Oxid uhličitý (CO_2).

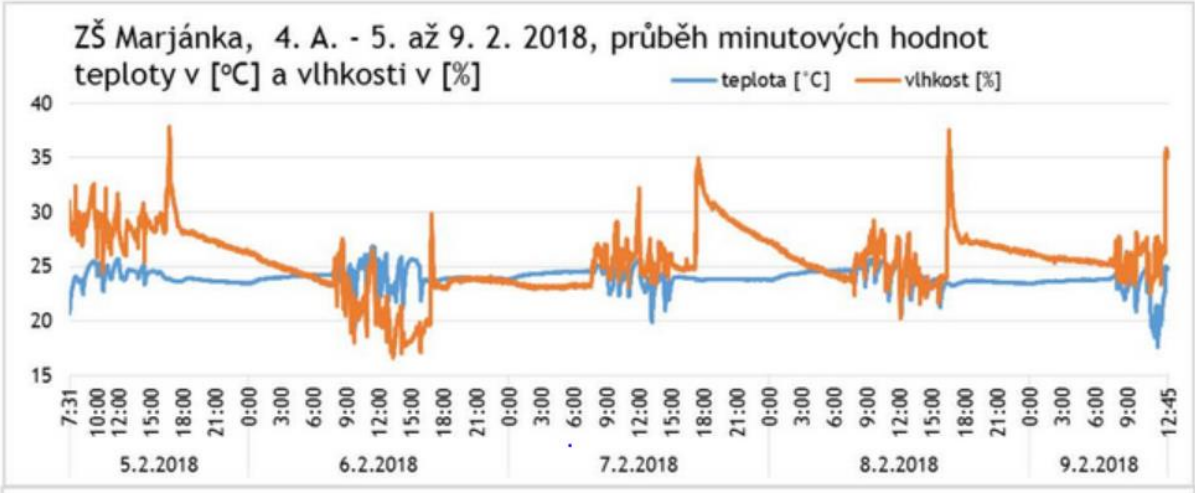
6.2 Teplota a vlhkost



Obrázek 13 Graf hodnot teploty a vlhkosti na SSPŠ (vlastní měření)



Obrázek 14 Graf teploty a vlhkosti ZŠ Červený vrch (SZÚ, 2021)



Obrázek 15 Graf teploty a vlhkosti ZŠ Marjánka (SZÚ, 2021)

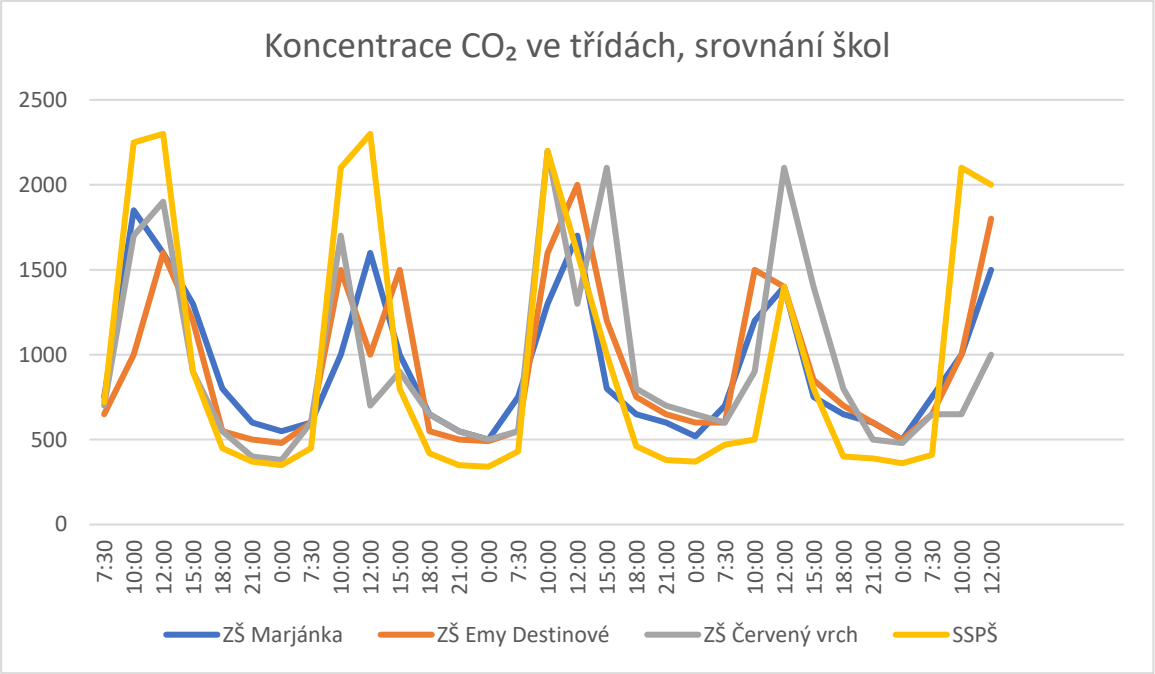
Obrázek 16 Graf teploty a vlhkosti ZŠ Emy Destinové (SZÚ, 2021)

Dle naměřených dat bylo po většinu času přítomnosti žáků v monitorovaných třídách dosaženo optimálního stupně teploty a vlhkosti dle požadavků vyhlášky č. 410/2005 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých.

7 Komparace naměřených hodnot CO_2

Porovnání naměřených dat ze škol slouží primárně k získání širšího pohledu na danou problematiku. V této práci porovnávám údaje naměřené rozdílnými měřícími zařízeními a mírně odlišné typy škol. Rozdílná měřící technika může způsobit mírné odchylky naměřených hodnot, neboť každý typ měřícího zařízení disponuje odlišnými vlastnostmi (např. přesnost, minimální a maximální hodnoty). Prostorové podmínky žáků v učebnách i vybavení učeben bylo však velmi podobné. Rovněž odpovídá typologie území, ve kterém se porovnávané školy nacházejí, styl výuky ve třídách a charakter počasí v zimním/podzimním období.

Následující grafy znázorňují hodnoty naměřených koncentrací CO_2 z 5 pracovních, po sobě jdoucích dní v režimu běžné výuky v monitorovaných třídách.



Obrázek 17 Porovnávací graf CO_2 na školách

8 Legislativa vnitřního prostředí

Kvalitě vnitřního prostředí se v České republice věnuje vyhláška č. 268/2009 Sb. o následujícím znění:

„Pobytové místnosti musí mít zajištěno dostatečné přirozené nebo nucené větrání a musí být dostatečně vytápěny s možností regulace vnitřní teploty. Pro větrání pobytových místností musí být zajištěno v době pobytu osob minimální množství vyměňovaného venkovního vzduchu 25 m3/h na osobu, nebo minimální intenzita větrání 0,5 1/h. Jako ukazatel kvality vnitřního prostředí slouží oxid uhličitý CO_2, jehož koncentrace ve vnitřním vzduchu nesmí překročit hodnotu 1500 ppm.“ (§ 11 odst. 5 vyhlášky č. 268/2009 Sb., 2009)

Z vyhlášky vyplývá, že maximální stanovená hodnota pro oxid uhličitý ve vnitřním prostoru v ČR je 1500 ppm. Dle dat z realizovaných měřeních SZÚ a mého měření znázorněných v předchozí části této práce lze konstatovat pravidelné překračování této stanové hodnoty, především pak na SSPŠ. Odborníky doporučená hodnota koncentrace CO_2, která nemá vliv na aktéry výuky, je ve vnitřních prostorách přibližně 1000 ppm.

9 Výměna vzduchu

Pro udržení standardů kvalitního vnitřního prostředí je nutné vzduch v místnosti za určitý časový úsek vyměnit. Kvalita ovzduší se v uzavřeném prostoru přirozeně zhoršuje metabolickými procesy lidí, důsledkem jejich činnosti (výroba, vaření, atd.), nebo uvolňováním škodlivin z vybavení místnosti. Rychlost degradace ovzduší s důrazem na množství CO_2 je přímo úměrná počtu lidí v prostoru. K cirkulaci vzduchu musíme využít přirozené větrání, nebo větrání zprostředkované technikou (Zmrhal, 2017). Vzduch proudící oknem by neměl být pociťován jako průvan. Rovněž by otevření okna nemělo způsobit nadlimitní úroveň hluku ve třídě, prachu, či jiných škodlivých látek (Dufka, 2002).

9.1 Přirozené větrání ve školách

Efektivita přirozeného větrání je závislá na tlaku uvnitř budovy a venku. Díky jeho rozdílným hodnotám dochází k proudění vzduchu budovou a tím pádem k vyrovnávání tlaku. Nejčastějším typem přirozeného větrání ve školách bývá provětrávání. Provětrávání je větrání pomocí otevření oken v místnosti. V zimním období se doporučuje větrat nárazově a s maximální intenzitou v řádu minut. V letních, případně podzimních měsících může být doba otevřených oken i nad 10 minut. Během provětrávání dochází v zimních měsících k proudění chladného vzduchu spodní částí okna do místnosti a naopak horní částí okna proudí teplejší vzduch ven. V letních měsících je proces obrácený. Přísun vzduchu je rovněž ovlivněn intenzitou větru a počasím. Vlivem nepříznivého počasí není provětrávání možné a může tak docházet k nárůstu koncentrace CO_2. Dalším typem přirozeného větrání je průnik vzduchu do místnosti skrz netěsnosti ve spárách a těsnění oken/dveří. Tento způsob větrání je označován jako infiltrace (Zmrhal, 2017).

9.2 Nucené větrání

Nucené větrání je mechanická výměna vzduchu zajišťovaná technikou. Ventilačním systémem, či ventilátorem. Tento způsob větrání není závislý na povětrnostních podmínkách a větrání tak probíhá například i za deště. Komplexní ventilační systémy umožňují spuštění automatického odvětrávání při dosažení stanovených koncentrací CO_2, teploty, nebo vlhkosti. Takový systém je možné rovněž operativně ovládat přímo ve třídě (Adamovský, 2018). Kombinace mechanického a přirozeného větrání je nazýváno jako hybridní způsob větrání.

9.3 Klimatizace

Hlavní funkcí klimatizace je regulace teploty v místnosti. Na rozdíl od ventilace zde nedochází k přísunu čerstvého vzduchu, avšak pouze k ochlazování toho stávajícího. V místnosti, případně dopravních prostředcích dochází k nasávání vzduchu, následně k jeho ochlazení pomocí chladící kapaliny a opětovnému návratu vzduchu do místnosti. Při spuštění klimatizace, především v letních měsících, dochází k méně častému větrání za účelem zachování tepelné pohody a tedy nárůstu koncentrace CO_2.

10 Závěr

Oblast kvality vnitřního prostředí je dobře zmapované téma a váže se k němu několik legislativních nařízení. Kvalitu vnitřního prostředí určuje velké množství parametrů, kdy každý hraje významnou roli a pro dosažení optimální kvality je nutné o vnitřní prostředí zodpovědně pečovat. Dlouhodobě nevyhovující podmínky vnitřního prostředí mohou způsobit zdravotní problémy a téměř vždy snižují výkonnost člověka a zhoršují jeho duševní pohodu. V dnešní době je k dispozici pokročilá technika, která slouží k monitorování měřitelných parametrů vnitřního ovzduší i k jejich udržení v optimálních hodnotách. Mnohdy je však finančně nákladná a její instalace technicky náročná, především pak ve starých budovách.

Velice často je v odborné literatuře i samotné legislativě uvažována jako významný ukazatel míry degradace kvality vnitřního prostředí v místnosti hodnota koncentrace CO_2, teploty a vlhkosti. Limit pro koncentrace CO_2 uvnitř budov je dle české legislativy stanoven na 1500 ppm. Tato hodnota je dle dat z uskutečněných měřeních často výrazně překračována. Výuka v takových podmínkách pak přestává být efektivní, neboť žáci snáze ztrácejí pozornost a chuť se učit.

Udržet hodnotu koncentrace CO_2 v uzavřeném prostoru v limitech je možné využitím některého ze způsobu větrání. Přirozeného, nebo zajišťovaného technikou, případně jejich kombinací. Přirozené větrání je nejběžnějším způsobem větrání na monitorovaných školách, neboť se jedná o finančně nejdostupnější a technicky nejméně náročné řešení. V zimních měsících však způsobuje zhoršení tepelné pohody žáků, především pak těch sedících u okna. Ve třídách dochází k poměrně vysokému nárůstu koncentrace CO_2 za krátký časový úsek, neboť je růst koncentrací tohoto plynu v nevětraném prostoru přímo úměrný počtu lidí, kteří se v něm nacházejí. Lze tedy usuzovat, že nadlimitní koncentrace CO_2 jsou způsobeny kombinací vysoké koncentrace lidí v uzavřeném prostoru a nedostatečné výměny vzduchu. Nevyhovující úroveň ventilace tříd může být způsobena v zimních měsících výrazným rozdílem teplot uvnitř třídy a venkovního prostředí, který zapříčiní brzké uzavření větracího okna z důvodu nevyhovující tepelné pohody žáků, či pedagoga. Absence větrací techniky může být rovněž klíčová. Tato problematika by měla být brána v potaz při budování nových učeben, nebo při rekonstrukcích těch stávajících.

Dále je českou legislativou stanoven rozsah průměrných hodnot teploty ve třídách na rozmezí 20 a 22°C v letním období a maximem 26°C pro zimní měsíce. Hodnota vzdušné vlhkosti by z pohledu české legislativy měla kolísat mezi 45 a 60% v zimních měsících a 44 až 55% v těch letních. Tyto normy bývají obvykle splňovány díky automatizovaným řídícím systémům vytápění ve školách a pro jejich dodržování není nutná instalace finančně nákladné techniky, nebo aktivní činnost pedagoga.

11 Poděkování

Rád bych velice poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Davidu Vaněčkovi Ph.D. za jeho ochotu, odbornost a zkušenosti, které mi pomohly práci vytvořit. Významnou pomocí pro mne byla také součinnost vedení Smíchovské střední průmyslové školy v čele s Ing. Radko Sáblíkem, kde mi bylo, mimo jiné, umožněno monitorování učebny a sběr dat. Dále bych chtěl poděkovat mým kolegům ze SSPŠ, kteří mě inspirovali k vytvoření práce na toto téma, poskytli mi své zkušenosti z výuky a konzultovali se mnou mé otázky během tvorby práce. Poděkování rovněž patří kolegům ze Státního zdravotního ústavu, kteří poskytli data o předchozích měřeních a poradili kde naleznu veškeré informace k aktivitám SZU v tomto směru. Všem ještě jednou velmi děkuji.

12 Seznamy

12.1 Seznam literatury

Kašík, Petr. 2018. Jaká je správná koncentrace CO_2 ve zdravé budově? tzbinfo – Odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov. [Online] Topinfo s.r.o., 9. Červenec 2018. [Citace: 26. Říjen 2019.] https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-skol/17612-jaka-je-spravnakoncentrace-CO_2-ve-zdrave-budove. ISSN 1801-4399.

ŠUBRT, Roman. 2011. Mikroklima ve veřejných budovách jako důvod instalace rekuperace. EFEKT - INFORMAČNÍ PORTÁL Ministerstva průmyslu a obchodu. [Online] 2011. [Citace: 20. 10. 2019.] https://www.mpoefekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/ecs_CO_2_publikace.pdf.

ZMRHAL, V. 2016. POŽADAVKY NA VĚTRÁNÍ ŠKOL – HISTORIE A SOUČASNOST. ČVUT v Praze. [Online] 23.11.2016. [Citace: 22. 10. 2019.] http://users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Publikace/Seminare/01_Zmrhal_Skoly%202016.pdf.

MENDELL, M.J., a další. 2013. Association of classroom ventilation with reduced illness absence, a prospective study in California elementary school. Indoor Air. 2013, Sv. 23, 515-528.

BRANIŠ, Martin a Iva HŮNOVÁ, ed. Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší. V Praze: Karolinum, 2009. ISBN 978-80-246-1598-1.

§ 11 odst. 5 vyhlášky č. 268/2009 Sb. 2009. § 11 odst. 5 vyhlášky č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby. © AION CS 2010-2019 [cit. 4. 11. 2019]., 2009, Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-268#p11-5.

Vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělání dětí a mladistvých. In: Sbírka zákonů. 4. 10. 2005. ISSN 1211-1244.

LAJČÍKOVÁ, Ariana. Elektroiontové mikroklima. [online] SZÚ, 13.12.2007 [Citace: 2. 2. 2021.] Dostupné z: http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/elektroiontove-mikroklima.

HACH, Lubus a Yasuo KATOH. Alternativní způsoby řízení koncentrace CO_2 pro zdravé obytné prostory. [online] AUTOMA, Prosinec 2010 [Citace: 1. 1. 2021.] Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42488.pdf.

SZÚ. Kvalita vnitřního prostředí. [online] http://www.szu.cz/, [cit. 2. 1. 2021]. Dostupné z: http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/kvalita-vnitrniho-prostredi.

bozp.cz, Syndrom nemocných/nezdravých budov (SBS). Příznaky, faktory, prevence a kontrola. [online] https://www.bozp.cz/, 15. 5. 2018 [Citace: 5. 1. 2021] Dostupné z: https://www.bozp.cz/aktuality/syndrom-nemocnych-budov/.

SZÚ. Vnitřní prostředí školy. [online] https://www.nzip.cz/, [Citace: 2. 1. 2021]. Dostupné z: https://www.nzip.cz/clanek/430-vnitrni-prostredi-skoly.

Protronix s.r.o. Pracujete ve zdravém prostředí? Měření oxidu uhličitého v budovách. [online] https://vetrani.tzb-info.cz/. TZB-info, Poslední změna 10. 8. 2009 [Citace: 1.1. 2021]. Dostupné z: https://vetrani.tzb-info.cz/vnitrni-prostredi/5827-pracujete-ve-zdravem-prostredi.

hyla.cz, Co vám doma otravuje vzduch. Jedy venkovní a vnitřní. [online] https://www.hyla.cz/. 2.5.2019 [Citace: 10. 1. 2021] Dostupné z: https://www.hyla.cz/cisteni-vzduchu-myty-a-fakta/

Koloidy.cz, Co je ppm?. [online] https://www.hyla.cz/. 13.7.2019 [Citace: 10. 1. 2021] Dostupné z: https://www.koloidy.cz/blog/co-je-ppm/

ZIKÁN, Zdeněk. Oxid uhličitý - utajený nepřítel. [Online] https://www.tzb-info.cz. 7.2.2011. [Citace: 12.2.2021] Dostupné z: https://vetrani.tzb-info.cz/vnitrni-prostredi/7132-oxid-uhlicityutajeny-nepritel.

BEGENI, Marek a Vladimír ZMRHAL. Větrání učebny základní školy. Větrání a klimatizace – Ventilation and Air-Conditioning. Vytápění, větrání, instalace [Online] http://users.fs.cvut.cz/. Duben 2014. [Citace: 18.2.2021] Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Publikace/Begeni_04_2014_ko02_sch.pdf

FROUS, Jan a Bedřich MOLDAN. Příležitosti a výzvy environmentálního výzkumu. Praha: Karolinum, 2015, 330 s. ISBN 978-80-246-2667-3.

Domat Control System s.r.o. Pracujete ve zdravém prostředí? Měření oxidu uhličitého v budovách. [online] Domat Control System s.r.o., Poslední změna 23.5.2020 [Citace: 14.1. 2021]. Dostupné z: https://elektro.tzb-info.cz/126361-komunikacni-protokol-modbus-v-kostce

LAJČÍKOVÁ, Ariana. VYTÁPĚNÍ A TEPELNÁ POHODA. [Online] http://www.szu.cz/. 2006. [Citace: 15.2.2021] Dostupné z : http://www.szu.cz/uploads/documents/czzp/edice/plne_znani/plakaty/VYTAPENI_A_TEPELNA_POHODA_verze_pro_web_SZU.pdf

BENCKO, Vladimír. Hygiena: učební texty k seminářům a praktickým cvičením. 2. přeprac. vyd. Praha: Karolinum, 1998, 185 s. ISBN 80-7184-551-5.

OSHA, Indoor Air Quality in Commercial and Institutional Buildings [online] OSHA. 2011 [Citace: 19. 1. 2021] Dostupné z: https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/3430indoor-air-quality-sm.pdf

BURIANOVÁ, Lucie. Jaká má být ideální vlhkost vzduchu v bytě a jak jí docílíme? [Online] Českéstavby.cz. 8. 1. 2021. [Citace: 20.1.2021] Dostupné z: https://www.ceskestavby.cz/clanky/jaka-ma-byt-idealni-vlhkost-vzduchu-v-byte-a-jak-ji-docilime-27083.html

SZÚ. Výsledky měření ve školách. [online] http://www.szu.cz/. 2021 [Citace: 22. 2. 2021]. Dostupné z: https://apps.szu.cz/Interregmap/

MZCR. Co je to hluk [Online] https://www.mzcr.cz/. 1.12.2015. [Citace: 21.1.2021] Dostupné z: https://www.mzcr.cz/co-je-to-hluk/

Zákon č. 258/2000 Sb. Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In: Sbírka zákonů. 2000. ISSN 1211-1244.

MZCR. Nebezpečí polétavého prachu [Online] https://www.mzcr.cz/. 2010. [Citace: 22.1.2021] Dostupné z: https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/5BC8D18C9B814A6EC125772E00539B7A/$file/OVV-poletavy_prach-20100525.pdf

BAREK, Jiří. ZNEČIŠTĚNÍ ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ AUTOMOBILOVÝMI EMISEMI. Chem. Listy 92, 794 - 798 (1998) [Online] 22.7.1998. [Citace: 28.1.2021] Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1998_10_794-798.pdf

ŠENKYŘÍKOVÁ, Tereza. Stanovení emisí těkavých organických látek z materiálů používaných pro výrobu nábytku. Brno, 2015. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Fakulta Lesnická a dřevařská. Vedoucí práce Petr ČECH.

FIALA, Zdeněk. Polycyklické aromatické uhlovodíky I. kontaminace prostředí a expozice osob. ACTA MEDICA SUPPL [Online] 1999. [Citace: 25.1.2021] Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Vladimir-Masin-2/publication/12482341_Polycyclic_aromatic_hydrocarbons_I_Environmental_contamination_and_environmental_exposure/links/00b7d53a7ddeb6e553000000/Polycyclic-aromatic-hydrocarbons-I-Environmental-contamination-and-environmental-exposure.pdf

HAVEL, Milan. polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs). https://arnika.org/ [Online] 2021. [Citace: 30.1.2021] Dostupné z: https://arnika.org/polycyklicke-aromaticke-uhlovodiky-pahs

PROTRONIX s.r.o. Kombinované čidlo CO_2/RH/T s RS485. https://www.cidla.cz/ [Online] 2021. [Citace: 1.3.2021] Dostupné z: https://www.cidla.cz/data/pdf/CZ/DS/ds-NLII-CO_2-RH-T-5-RS485-cz.pdf

SCHAFFEROVÁ, Magdalena. Senzor, detektor, snímač a jiné zapeklité pojmy. Blog ZOOCO [Online] 11.1.2018. [Citace: 3.3.2021] Dostupné z: https://www.zooco.io/blog/senzor-detektor-snimac-jine-zapeklite-pojmy/

VOJÁČEK, Antonín. Kvalita vzduchu v uzavřených místnostech - 8. Principy senzorů CO_2. https://automatizace.hw.cz/ [Online] 3.5.2020. [Citace: 3.3.2021] Dostupné z: https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-v-uzavrenych-mistnostech-8-principy-senzoru-CO_2.html

VOJÁČEK, Antonín. Analogový vs. digitální přenos hodnot. Kdy ještě volit analogový výstup?. https://automatizace.hw.cz/ [Online] 7.4.2015. [Citace: 5.3.2021] Dostupné z: https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace-prumyslove-sbernice-a-komunikace/analogovy-vs-digitalni-prenos-hodnot-kdy-jeste-volit-analogovy-vystup

MONÍK, Jaku. Analogový vs. digitální přenos hodnot. Kdy ještě volit analogový výstup?. https://automatizace.hw.cz/ [Online] 12.3.2018. [Citace: 9.3.2021] Dostupné z: https://www.ujezd.net/co-je-vlastne-wifi-jake-jsou-moznosti-bezdratovych-siti-0

ZMRHAL, V. Větrání škol v souvislostech. 2017. 142 s. ISBN 978-80-02-02718-8.

ADAMOVSKÝ, Daniel. Úvod, kvalita vzduchu, principy větrání a klimatizace. ČVUT FEL [Online] 2018. [Citace: 7.3.2021] Dostupné z: https://docplayer.cz/106314983-Uvod-kvalita-vzduchu-principy-vetrani-a-klimatizace-ing-daniel-adamovsky-ph-d-katedra-technickych-zarizeni-budov.html

DUFKA, Jaroslav. Větrání a klimatizace domů a bytů. 2002, 97 s. Profi & hobby. ISBN 80-247-0222-3.

12.2 Seznam obrázků a grafů

Obrázek 1 Čidlo NDIR (Protronix, 2009) 13
Obrázek 2 Čidlo elektrochemické (Protronix, 2009) 13
Obrázek 3 Čidlo polovodičové (Vojáček, 2020) 14
Obrázek 4 Senzor CO_2, Teploty a Vlhkosti (Protronix, 2021) 16
Obrázek 5 Poloha SSPŠ, (Mapy Google) 17
Obrázek 6 Poloha ZŠ Červený vrch (Mapy Google) 18
Obrázek 7 Poloha ZŠ Marjánka (Mapy Google) 18
Obrázek 8 Poloha ZŠ Emy Destinové (Mapy Google) 19
Obrázek 9 Graf CO_2, SSPŠ (vlastní měření) 20
Obrázek 10 Graf CO_2 ZŠ Červený vrch (SZÚ, 2021) 20
Obrázek 11 Graf CO_2 ZŠ Marjánka (SZÚ, 2021) 21
Obrázek 12 Graf CO_2 ZŠ Emy Destinové (SZÚ, 2021) 21
Obrázek 13 Graf teploty a vlhkosti ZŠ Červený vrch (SZÚ, 2021) 22
Obrázek 14 Graf teploty a vlhkosti ZŠ Marjánka (SZÚ, 2021) 23
Obrázek 15 Graf teploty a vlhkosti ZŠ Emy Destinové (SZÚ, 2021) 23
Obrázek 16 Porovnávací graf CO_2 na školách 24
Obrázek 17 (Begeni, 2014) ..... **Chyba! Záložka není definována.**

12.3 Seznam tabulek

Tabulka 1 (Zikán, 2011) 8
Tabulka 2 Lehmanovo schéma účinků (MZCR, 2015) 10
Tabulka 3 Vlastnosti použitého senzoru (Protronix, 2021) 16

12.4 Seznam a vysvětlení zkratek

PPM : Původně anglická zkratka slov - *Parts per million*. Česky - **dílů či částic na jeden milion**, jinými slovy tím hovoříme o jedné miliontině. Obdobně tím vyjadřujeme část celku jako například u procent, nebo promile.

VOC : Původně anglická zkratka slov - *Volatile Organic Compound.* Česky – **Organické těkavé látky.**

NDIR : Původně anglická zkratka slov - Non-Dispersive InfraRed. Česky - **Nedisperzní infračervený senzor.**

PLC : Původně anglická zkratka slov - Programmable Logic Controller. Česky - **Programovatelný logický automat.**

IoT : Původně anglická zkratka slov – Internet of Things . Česky – **Internet věcí** je výraz pro skupinu zařízení připojených k síti Internet. Nejedná se však pouze o počítače, mobilní zařízení, nebo televize. Zahrnuje všechny zařízení – věci, které jsou k Internetu připojeny. Tedy například výrobní stroje, hodinky, letadla, žárovky, lampy a podobně.