

Monitorování oxidu uhličitého ve vybraných prostorách UTB ve Zlíně

Monika Poláchová

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství ochrany živ. prostředí

akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Monika POLÁCHOVÁ**

Osobní číslo: **T08678**

Studijní program: **B 2808 Chemie a technologie materiálů**

Studijní obor: **Inženýrství ochrany životního prostředí**

Téma práce: **Monitorování oxidu uhličitého ve vybraných
prostorách UTB ve Zlíně**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte literární rešerši týkající se koncentrace oxidu uhličitého v obytných budovách a jeho vliv na pohodu člověka.
2. Ve vybraných prostorách Univerzity T. Bati ve Zlíně proveďte měření koncentrací CO₂ v stanovených termínech a pokuste se najít souvislosti s pobytem a množstvím studentů v místnostech, klimatizací, větracím režimem, venkovním ovzduším apod.
3. Naměřené výsledky přehledně zpracujte v bakalářské práci.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Miloslav Jokl : Zdravé obytné a pracovní prostředí Academia, 2002 ISBN:8020009280.
Informace dostupné z databází knihovny UTB.**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Marie Dvořáčková, Ph.D.

Ústav inženýrství ochrany živ. prostředí

Datum zadání bakalářské práce:

14. února 2011

Termín odevzdání bakalářské práce:

27. května 2011

Ve Zlíně dne 14. února 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. RNDr. Jan Růžička, Ph.D.
ředitel ústavu



PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 25. 5. 2011

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na měření množství oxidu uhličitého v učebnách Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeho vliv na lidské zdraví a pohodu v těchto prostorách. V teoretické části jsou definovány základní vlastnosti oxidu uhličitého a jeho negativní vliv na člověka. Dále se zajímá o kvalitu ovzduší, koncentrace oxidu uhličitého a vzájemné působení vnějšího a vnitřního ovzduší. V praktické části jsou měřeny a vyhodnoceny hodnoty oxidu uhličitého ve vybraných učebnách FT.

Klíčová slova: oxid uhličitý, monitoring, koncentrace CO₂, vnitřní a vnější ovzduší

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on measuring amount of carbon dioxide in classes of Faculty of technology of Tomas Bata University in Zlin and its influence on human health and comfort in these rooms. There are defined main properties of carbon dioxide and its negative influence on human in theoretical part. Furthermore it is interested about quality of air, concentration of carbon dioxide and mutual interaction of outdoor and indoor air. There are measured and evaluated amounts of carbon dioxide in chosen classes of Faculty of technology in practical part.

Keywords: carbon dioxide, monitoring, concentration of CO₂, indoor and outdoor air

Velmi ráda bych poděkovala všem, kteří přispěli svými radami ke vzniku této bakalářské práce. Zvláště bych chtěla poděkovat své vedoucí bakalářské práce Ing. Marii Dvořáčkové, Ph.D. za odborné vedení, poskytnuté rady, čas a pozornost, kterou mi ochotně věnovala při vypracování této bakalářské práce. V neposlední řadě děkuji svému příteli a rodině za podporu ve studiu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Motto:

„Člověk bez čistého vzduchu vydrží jen pár minut.“

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 OXID UHLIČITÝ	12
2 INTERAKCE VENKOVNÍHO A VNITŘNÍHO OVZDUŠÍ	14
2.1 VENKOVNÍ OVZDUŠÍ.....	14
2.2 VNITŘNÍ OVZDUŠÍ.....	14
2.2.1 Kvalita vnitřního vzduchu.....	14
2.2.2 Faktory ovlivňující kvalitu ovzduší.....	15
3 ŠKODLIVINY V OVZDUŠÍ OBYTNÝCH BUDOV.....	16
3.1 OXID UHLIČITÝ - CO ₂	16
3.1.1 Vliv oxidu uhličitého na lidský organismus	16
3.2 OXID SIŘIČITÝ - SO ₂	17
3.3 OXIDY DUSÍKU – NO _x	17
3.4 OXID UHELNATÝ – CO	17
3.5 FORMALDEHYD	17
3.6 ORGANICKÉ CHEMICKÉ LÁTKY.....	18
3.7 SYNDROM NEMOCNÝCH BUDOV	18
4 MOŽNOSTI MĚŘENÍ OXIDU UHLIČITÉHO.....	19
4.1 SYSTÉMY ZALOŽENÉ NA DETEKCI OXIDU UHLIČITÉHO.....	19
4.2 METODY MĚŘENÍ OXIDU UHLIČITÉHO	19
5 KONTAMINACE INTERIÉRŮ BUDOV DOMÁCNOSTÍ, KANCELÁŘÍ A ŠKOL	21
6 LEGISLATIVA	23
6.1 NAŘÍZENÍ VLÁDY Č. 178/2001 SB.	23
6.2 VYHLÁŠKA Č. 410/2005 SB.....	23
6.3 VYHLÁŠKA Č. 6/2003 SB.	23
II PRAKTICKÁ ČÁST	24
7 POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	25
7.1 TESTO 535 – PŘÍSTROJ NA MĚŘENÍ OXIDU UHLIČITÉHO.....	25
7.2 METEOSTANICE HUYNDAI.....	26
8 MĚŘENÍ KONCENTRACE OXIDU UHLIČITÉHO NA UTB	27
8.1 UČEBNY A JEJICH CHARAKTERISTIKY	27
8.1.1 Budova U1	27
8.1.2 Budova U13	27
8.1.3 Budova U5	27
8.2 POSTUP MĚŘENÍ KONCENTRACE OXIDU UHLIČITÉHO	27
8.3 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY KONCENTRACE CO ₂ V UČEBNÁCH UTB V ZIMNÍM SEMESTRU ŠKOLNÍHO ROKU 2010/2011	28
8.4 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY KONCENTRACE CO ₂ V UČEBNÁCH UTB V LETNÍM SEMESTRU ŠKOLNÍHO ROKU 2010/2011	32
ZÁVĚR.....	46

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	50
SEZNAM OBRÁZKŮ	52
SEZNAM TABULEK	53

ÚVOD

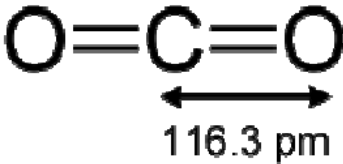
Vnitřní prostředí budov se v současnosti stává prostředím, kde trávíme nejvíce času (80 až 90 %), ať jsou to byty, školy nebo kanceláře, dýcháme ovzduší ve vnitřních prostorách a to samozřejmě ovlivňuje naše fyzické zdraví a duševní pohodu. Přitom se zde vyskytuje mnoho faktorů, které mohou představovat zdravotní rizika. Zdravotní problémy může působit špatná kvalita vnitřního ovzduší, ovlivněná zdroji škodlivin uvnitř i venku. Nevhodná teplota a vlhkost spolu s nízkou úrovní větrání mohou vyvolat růst plísní a dalších alergenů. Jedním z významných parametrů mající vliv na pohodu v interiérech je koncentrace oxidu uhličitého, který je základní škodlivinou v obytných budovách. Vyššími koncentracemi oxidu uhličitého je nepříznivě ovlivněno dýchání, to již při koncentracích 15 000 ppm. A pokud se koncentrace zvyšují, tak lidé trpí bolestmi hlavy, závratěmi a nevolností. Obsah oxidu uhličitého v místnostech také bezprostředně souvisí s množstvím osob a kvalitou větrání a záleží i na kvalitě venkovního ovzduší, objemu větracího vzduchu a větracím systému.

Cílem této práce je zjistit koncentrace oxidu uhličitého ve vybraných učebnách UTB, jaký je systém větrání, vlhkost, teplota a na základě těchto parametrů vyhodnotit pohodu a fyzický stav při studijní době.

I. TEORETICKÁ ČÁST

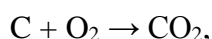
1 OXID UHLIČITÝ

Oxid uhličitý je atmosférický plyn složený z jednoho atomu uhlíku a dvou atomů kyslíku. Velmi známá chemická sloučenina, často označovaná svou rovnicí CO_2 .

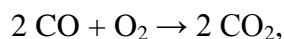
Oxid uhličitý	
	
Registrační číslo CAS	124-38-9
Sumární vzorec	CO_2
Molární hmotnost	44,009 g/mol
Teplota tání	$-56.5\text{ }^\circ\text{C}$ (pod tlakem nad 0,5MPa)
Teplota sublimace	$-78.6\text{ }^\circ\text{C}$
Hustota	1,56 g/cm ³ (tuhé sk., 20 °C) 1,98 kg/m ³ (plyn)
Trojný bod	518 kPa při $-56,6\text{ }^\circ\text{C}$
Kritický bod	7,821 kPa při $31,1\text{ }^\circ\text{C}$

Obr. 1: Vlastnosti CO_2 [2].

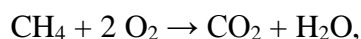
Oxid uhličitý (chemický vzorec CO_2) je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu. Při vyšších koncentracích může v ústech mít slabě nakyslou chuť. Je těžší než vzduch. Vzniká reakcí uhlíku s kyslíkem (spalováním):



hořením oxidu uhelnatého (např. svítiplynu):

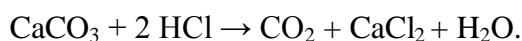


nebo organických látek, např. metanu:



a to vždy za vývinu značného množství tepla. Podobnými reakcemi můžeme popsat i spalování fosilních paliv a biomasy. Je také produktem dýchání většiny živých organismů, kde je spolu s vodou produktem metabolické přeměny živin obsažených v potravě.

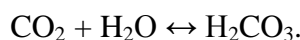
V laboratoři se většinou připravuje reakcí uhličitánů, především uhličitanu vápenatého se silnými kyselinami např. chlorovodíkovou:



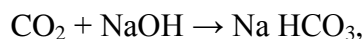
Průmyslově se vyrábí tepelným rozkladem (žháním) vápence (uhličitanu vápenatého):



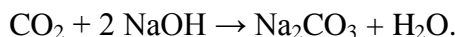
Po chemické stránce je oxid uhličitý velice stálý a ani při velmi vysokých teplotách nad 2000 °C se zřetelně nerozkládá. Ve vodě se snadno rozpouští, přičemž se přitom zčásti (asi z 0,003 %) slučuje s vodou na kyselinu uhličitou:



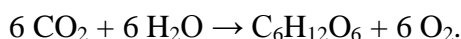
Oxid uhličitý reaguje se silnými hydroxidy za vzniku solí, které se vyskytují ve dvou formách, jako uhličitany a hydrogenuhličitany; např. s hydroxidem sodným vzniká buď hydrogenuhličitan sodný:



nebo při větším množství hydroxidu uhličitan sodný:



V zelených rostlinách je oxid uhličitý asimilován v procesu zvaném fotosyntéza za katalytického působení chlorofylu a dodávky energie ve formě světelných kvant na monosacharidy podle celkové rovnice:



Při ochlazení pod -80 °C mění plynný oxid uhličitý svoje skupenství na pevné (desublimuje) za vzniku bezbarvé tuhé látky, nazývaný suchý led.

Oxid uhličitý je nedýchatelný a ve vyšších koncentracích může způsobit ztrátu vědomí a smrt. V krvi se totiž váže na hemoglobin a vytěsňuje tak kyslík, který se pak z plic obtížněji dostává do mozku a tkání těla [1].

Oxid uhličitý v atmosféře absorbuje infračervené záření zemského povrchu, které by jinak uniklo do vesmírného prostoru, a přispívá tak ke vzniku skleníkového efektu a následně ke globálnímu oteplování planety.

2 INTERAKCE VENKOVNÍHO A VNITŘNÍHO OVZDUŠÍ

Kvalita vnitřního vzduchu závisí na kvalitě venkovního ovzduší, protože do budov přivádíme větráním venkovní vzduch. Tím se sice odvádí škodliviny vzniklé v budově, ale přináší s sebou škodliviny z venkovního ovzduší. Zhoršená kvalita vnějšího ovzduší je výsledek spotřeby energie v dopravě, průmyslu a užívání budov [4].

2.1 Venkovní ovzduší

Vzduch, který dýcháme, je znečištěn zdraví škodlivými látkami pocházejícími ze širokého spektra zdrojů. Mezi nejvýznamnější zdroje znečištění ovzduší patří spalovací procesy – průmysl, výroba energie a doprava. Je prokázáno, že znečištění ovzduší může mít zdravotní dopady, jako jsou předčasná úmrtí nebo zhoršení příznaků různých nemocí a zdravotních obtíží, spojených zejména se srdečně-cévním a dýchacím systémem. Nezanedbatelné je také zvýšené riziko vzniku nádorových onemocnění [5].

V České republice patří mezi hlavní znečišťující látky ovzduší tuhé znečišťující látky (TZL), oxid siřičitý (SO_2), oxidy dusíku (NO_x), oxid uhelnatý (CO), těkavé organické látky (VOC), polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) a amoniak (NH_3). K současným nejvýznamnějším zdrojům emisí patří výroba elektrické a tepelné energie (produkce SO_2 a NO_x), silniční doprava (produkce NO_x , TZL a VOC) a vytápění domácností (produkce TZL a PAU). Zemědělství je hlavním zdrojem NH_3 , používání rozpouštědel je pak hlavním zdrojem VOC [4].

2.2 Vnitřní ovzduší

Vnitřní prostředí je prostředím, kde trávíme nejvíce času (až 90 %) a tak samozřejmě významně ovlivňuje naše fyzické zdraví a duševní pohodu. Přitom se zde vyskytuje mnoho faktorů, které mohou představovat zdravotní rizika [6].

2.2.1 Kvalita vnitřního vzduchu

Kvalita vnitřního vzduchu je tvořena mikroklimatem:

- teplotně – vlhkostním;
- odérovým;
- toxickým;
- mikrobiálním.

2.2.2 Faktory ovlivňující kvalitu ovzduší

Kvalitu vnitřního prostředí, ovlivňují tyto faktory:

- fyzikální: teplota, vlhkost, proudění vzduchu;
- chemické: anorganické a organické škodliviny;
- biologické: bakterie, viry, plísně, roztoči, prvoci, prach.

Kvalita vzduchu uvnitř budov je závislá na mnoha faktorech, zejména na:

- kvalitě venkovního ovzduší;
- objemu vzduchu připadajícího na osobu v místnosti;
- výměně vzduchu;
- množství vzdušných škodlivin, jejichž zdrojem jsou:
 - obyvatelé a jejich metabolismus;
 - aktivity obyvatel;
 - stavební materiály;
 - úklid, čištění a údržba místnosti [7].

3 ŠKODLIVINY V OVZDUŠÍ OBYTNÝCH BUDOV

Škodliviny v obytných prostorách jsou produkovány přítomností člověka nebo mohou být přiváděny z venkovního prostředí [4].

3.1 Oxid uhličitý - CO₂

Oxid uhličitý je nejběžnějším kontaminantem ovzduší, jehož koncentrace jsou vždy vyšší v interiérech než venku.

Zdrojem tohoto plynu je především člověk, jeho metabolismus, dýchací a termoregulační pochody. Počet přítomných v místnosti, velikost prostoru a nedostatečné větrání jsou hlavní příčinou zvyšování koncentrace oxidu uhličitého nad normální hodnoty. Spalování pevných paliv je také zdrojem CO₂ a vodní páry. Se zvyšující se koncentrací oxidu uhličitého se zvyšuje množství vodní páry v ovzduší a tím vlhkost vzduchu.

3.1.1 Vliv oxidu uhličitého na lidský organismus

Koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře je velice nízká a nepředstavuje proto pro zdraví přímé riziko. Ve vyšších koncentracích (například v nedostatečně větraných prostorech) však toxické působení vykazovat může. Je ovlivněno především dýchání.

Tab. 1: Vliv oxidu uhličitého na lidský organismus [8].

cca 350 ppm	úroveň venkovního prostředí
do 1000 ppm	doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorech
1200 - 1500 ppm	doporučená maximální úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorech
1000 - 2000 ppm	nastávající příznaky únavy a snižování koncentrace
2000 - 5000 ppm	nastávají možné bolesti hlavy
5000 ppm	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
> 5000 ppm	nevolnost a zvýšený tep
> 15000 ppm	dýchací potíže
> 40000 ppm	možná ztráta vědomí

Koncentraci CO₂ nejsme schopni našimi smysly posoudit a tak je osobní hodnocení kvality vzduchu nespolehlivé. Lidský organismus přestává koncentraci pachů po určité chvíli vnímat a naše čichové orgány se přizpůsobují prostředí, v němž se nacházíme. Při

vyšších koncentracích se vliv oxidu uhličitého projeví naší nesoustředěností, malátností či bolestí hlavy [8].

3.2 Oxid siřičitý - SO₂

Kamna na uhlí, kerosen a nafta jsou zdrojem oxidu siřičitého ve vnitřním prostředí, i když převažující komponentou jeho zvýšených koncentrací v bytech je venkovní ovzduší v oblastech s výskytem tepelných elektráren. K hlavním zdravotním účinkům SO₂ patří dráždění dýchacích cest projevující se kašlem a respirační nemoci horních cest dýchacích [7].

3.3 Oxidy dusíku – NO_x

Z oxidů dusíku, které mohou být přítomny ve vnitřním prostředí, se jenom dva nacházejí v koncentracích způsobující vliv na zdraví – oxid dusičitý (NO₂) a oxid dusnatý (NO). Základním zdrojem oxidů dusíku jsou emise z automobilové dopravy a ze stacionárních zdrojů spalujících fosilní paliva. Zdrojem ve vnitřním prostředí je používání plynu pro vaření, vytápění a ohřev teplé vody. Vysoké koncentrace oxidu dusičitého mohou vést ke smrti v důsledku edému plic [7].

3.4 Oxid uhelnatý – CO

Je to bezbarvý plyn bez chuti a zápachu a zvyšování jeho koncentrací je smyslům člověka nepostřehnutelné. Je schopen vázat se s hemoglobinem a snižovat tak okysličování krve. Hlavním zdrojem ve vnitřním prostředí je nedostatečné spalování za spotřebování kyslíku. Způsobuje ve vysokých koncentracích příznaky akutní otravy a příčinou předčasných smrtí při používání technicky nevhodných topidel na pevná paliva. Významným zdrojem CO je také kouření [7].

3.5 Formaldehyd

Jeho přítomnost je postřehnutelná čichem pro jeho štiplavý zápach, je často považován za nejnebezpečnější škodlivinu v interiérech. Hlavním zdrojem ve vnitřním prostředí jsou stavební materiály v konstrukci budov, nábytek, podlahoviny, koberce nebo čisticí prostředky. A dalším zdrojem je spalování uhlí a hoření plynu. Koncentrace formaldehydu v interiéru závisí na podmínkách vnitřního prostředí, na teplotě a vlhkosti.

Způsobuje dráždění sliznice horních cest dýchacích a spojivek, dráždění ke kašli a pálení očí. Je i možnou příčinou atopického ekzému a různých alergií [7].

3.6 Organické chemické látky

Jsou to sloučeniny schopné tvořit fotochemické oxidanty reakcí s oxidy dusíku za přítomnosti slunečního záření. Ve většině jde o tzv. těkavé organické látky (VOC - Volatile Organic Compound). Soubor těchto látek (bez formaldehydu) produkovaných v interiéru člověkem, stavebními materiály a dalšími zařízeními je označován TVOC (the Total of all Volatile Organic Compounds). Hlavním zdrojem VOC v interiérech je kouření, používané čisticí prostředky, kosmetické přípravky, osvěžovače vzduchu, barvy, laky, koberce a podlahoviny. V domácnostech je možné identifikovat 2000 různých chemických sloučenin, ale jen 50 se jich vyskytuje běžně a jen 10 má prokázané závažné zdravotní účinky [7].

3.7 Syndrom nemocných budov

Kvalita vzduchu v budovách je dnes často spojována s termínem „Syndrom nemocných budov“ (SBS – Sick Building Syndrome). SBS popisuje zdravotní obtíže lidí pracujících nebo žijících v budově, kteří se necítí dobře a pocítují příznaky nemoci, která nemá zjevné příčiny. Příznaky se zhoršují tehdy, pobývají-li lidé v budově, a zlepšují se či úplně vymizí, pobývají-li mimo ni. Má za následek podstatný pokles pracovní výkonnosti, zhoršení osobních vztahů a v závěru pak i ztrátu pracovní produktivity. Vyskytuje se v úřadech, obytných domech, školkách, školách. Příčina není známá [2].

Syndrom nemocných budov je soubor nespecifických obtíží, které zpravidla nejsou tak závažné, aby způsobily pracovní neschopnost pro nemoc, ale zhoršují pohodu lidí a negativně ovlivňují pracovní výkonnost. Postihují současně větší počet osob v budově [2].

4 MOŽNOSTI MĚŘENÍ OXIDU UHLIČITÉHO

Sledování koncentrací CO₂ v interiéru za účelem stanovení potřebného množství venkovního vzduchu vyhovuje v praxi všude tam, kde dominujícím zdrojem odběrů jsou lidé: v přednáškových sálech, shromažďovacích halách, kinech, divadlech apod.

Protože lidé v současnosti tráví velkou část svého času v budovách, je kladen velký důraz na kvalitu okolního vzduchu. Nejčastěji jsou využívány ventilační systémy, které přivádějí do prostoru venkovní vzduch a zajišťují odtaž vnitřního vydýchaného vzduchu s vysokou vlhkostí, zápachy a výpary. Mnoho ventilačních systémů pracuje na základě časového řízení, to znamená, že ventilace je nastavena na určitý výkon. Jedná se o větrání s výměnou daného množství kubických metrů vzduchu na jednoho člověka za hodinu, nezávisle na aktuálním počtu lidí ve ventilovaném prostoru. V některých případech se tak větrá nedostatečně a jindy se ventiluje, i když to není potřeba. Z energetického a ekonomického hlediska jde o velmi neúspěšné řešení. Ventilační systémy využívají z důvodů energetických úspor tzv. recirkulaci, kdy značná část vnitřního vzduchu se mísí s venkovním a ten se pak dohřívá nebo ochlazuje. Výsledkem je nedostatečná kvalita vnitřního vzduchu [2].

4.1 Systémy založené na detekci oxidu uhličitého

Nezbytnou součástí všech veřejných budov, zejména ve vyspělých západních zemích, jsou čidla kvality vzduchu, která se hojně využívají také v domácnostech. Čidla precizně regulují větrání, což je velkou výhodou ve veřejných budovách s proměnlivým počtem lidí uvnitř. Slouží dále k detekci kouře z cigaret, kuchyňských výparů v restauracích a využívají se ve výrobních procesech. Jejich konkrétní podoba závisí na látce, pro jejíž detekci je čidlo určeno – k měření koncentrace CO₂ ve vzduchu, k detekci koncentrace znečišťujících látek či k měření relativní vlhkosti [2].

4.2 Metody měření oxidu uhličitého

Pro měření koncentrace CO₂ ve vzduchu se využívá několik principů. Nejrozšířenější jsou čidla pracující na základě infračervené absorpční metody (tzv. metoda NDIR – Non Dispersive Infra Red), dále existují čidla pracující na elektroakustickém nebo na elektrochemickém principu. Každý princip má své výhody a nevýhody. Čidla NDIR jsou přesnější, dlouhodoběji stabilnější, měří koncentraci již od nulové hodnoty, ale jejich nevýhodou je vyšší cena. Podobně je to u elektroakustických čidel. Elektrochemická čidla

jsou naopak levnější a s poněkud nižší přesností, ale stále více než dostatečnou pro použití ve ventilační technice [2].

Čidla pracující na elektrochemickém principu měří od cca 400 ppm, což vzhledem ke koncentraci ve venkovním vzduchu vůbec nevádí. Tato čidla mají obvykle autokalibrační funkci, která zajišťuje automatickou periodickou recalibraci čidla na čerstvý vzduch, čímž je eliminováno stárnutí čidla a je tím zajištěna i dlouhodobá stabilita parametrů. Čidla všech typů mají obvykle spojitý napěťový výstup (0 – 10 V) nebo proudový výstup (0 – 20 / 4 – 20 mA), pomocí kterého předávají informaci o hodnotě koncentrace CO₂ ve vzduchu nadřízenému ventilačnímu systému. Tato čidla dovolují snadno a relativně levně trvale měřit koncentraci CO₂ ve vzduchu a na základě získaných hodnot pak řídit ventilační systémy tak, aby byla zajištěna dobrá kvalita vzduchu a současně minimalizována energetická náročnost [2].

5 KONTAMINACE INTERIÉRŮ BUDOV DOMÁCNOSTÍ, KANCELÁŘÍ A ŠKOL

Až do nedávné doby zdravotním vlivům vnitřního znečištění ovzduší nebylo věnováno dosti pozornosti od vědecké obce. Před rokem 1970 byly problémy s vnitřní kvalitou ovzduší v rezidencích a v neprůmyslových pracovištích občas vyšetřovány, ale úroveň zájmů o tyto výsledky byla nízká. Dokonce i dnes velká část veřejného zájmu je i nadále zaměřena pouze na zdravotní dopady z venkovního znečištění. Četné studie naznačují, že většina veřejnosti vnímá rizika z nekvalitního venkovního vzduchu za podstatně vyšší než ty z vnitřní kontaminace. Tyto vjemy vznikají bez ohledu na skutečnost, že ve vyspělých společnostech mnoho lidí prožívá většinu svého času v interiéru [16, 17, 18].

Na základě epidemiologických studií prováděných v 80. a 90. letech minulého století v zemích Evropské unie (např. v Holandsku) i v USA se odhaduje, že denní pobyt ve venkovním prostředí se dnes pohybuje pravděpodobně od 2-3 hodin, zbylou část dne lidé tráví v bytě, v práci nebo v dopravních prostředcích. Podle výsledků dotazníkové studie, který se prováděl v rámci České republiky, tráví dnes většina našich dětí 14-15 hodin v bytě a přibližně 6-7 hodin ve škole [3].

I když toto samo o sobě neznamena, že ve vnitřních prostorech se vyprodukuje více škodlivin než venku, na druhou stranu jsou důkazy, že vnitřní koncentrace mnoha znečišťujících látek jsou často vyšší, než se s nimi můžeme obvykle setkat venku [17, 18].

Vydechovaný vzduch se od venkovního ovzduší svými fyzikálně chemickými vlastnostmi významně odlišuje: teplota se pohybuje mezi 34 a 36 °C, je tvořen asi ze 75 % dusíku, 16 % kyslíku, 4 % oxidu uhličitého a 5 obj. % vodní páry. Člověk při malé fyzické zátěži vydýchá asi 0,5 m³ vzduchu za hodinu. Výsledná koncentrace CO₂ v interiéru je dobrým ukazatelem kvality vnitřního ovzduší. V nepřilíš obsazených místnostech koncentrace zpravidla nepřesahuje limitní hodnoty pro trvalý pobyt člověka (0,150 obj. %). V kinosálech, zaplněných posluchárnách a divadlech bývá často tato hranice překračovaná, přičemž je známo, že subjektivně spíše vadí vysoká koncentrace vodní páry, zvláště při vyšších teplotách a při malém proudění vzduchu [21].

V roce 2006 pobíhal výzkum přímo v hlavním městě Dánska v Kodani. Byla opět měřena teplota a koncentrace CO₂ a dále byli zaměstnanci dotazováni na spokojenost v pracovním prostředí. U tohoto měření byly účelně vybrány mechanicky a přírodně

větrané budovy. I při relativně velkém pohybu lidí naměřené hodnoty ukazují u klimatizovaných budov stálejší teplotu, kde rozdíl teplot je pouze 2°C a co je hlavní, tak koncentrace CO₂ nepřekročí 550 ppm. Naopak u budov s přírodním větráním (otevřením oken), je při přibližně stejném pohybu lidí rozdíl teplot 5°C a koncentrace CO₂ na konci pracovní doby dosahuje téměř 1000 ppm, což je dvojnásobek než u mechanicky klimatizovaných budov. Ze zmíněných výsledků je zřejmé, že spokojenost dotázaných byla větší u pracovníků v uměle klimatizovaných budovách [14].

Mezi roky 2006 a 2007 probíhala v nejmenované korejské škole celková rekonstrukce. Z naměřených hodnot před a po rekonstrukci byl zjištěn úbytek škodlivých látek z podlah, nábytku a zdí. Jednalo se o nebezpečné látky, jako je formaldehyd atd., které samovolně unikaly v průběhu let. Rekonstrukce pozitivně ovlivnila hygienu pracovního prostředí [15].

V roce 2008 provedl Státní zdravotní ústav Praha měření kvality vnitřního prostředí a mikroklimatických parametrů ve vybraných základních školách. V této studii bylo měřeno dodržování vnitřní teploty, vlhkost, koncentrace oxidu uhličitého a sledovány byly aerosolové frakce PM₁₀ a PM_{2.5}. V rámci projektu bylo v každém kraji proměřeno v jedné základní škole za normálního vyučovacího režimu deset učeben a popsána variabilita vybraných parametrů vnitřního prostředí. Školy byly vybrány ve spolupráci s Krajskými hygienickými stanicemi. Bylo změřeno celkem 14 základních škol, ve kterých bylo změřeno 141 učeben. U oxidu uhličitého je maximální doporučená hodnota 0,150 obj.% a ta byla překročena ve 34% učeben. Průměrné hodnoty ve školách se pohybovaly v rozmezí 0,091 – 0,194 obj.% [20].

Příčinou nárůstů různých onemocnění může být vnitřní znečištění. Vnitřní nečistoty, které se mohou podílet na kvalitě vzduchu v místnosti, pocházejí z různých zdrojů. Ty mohou zahrnovat nedostatečné větrání, rozličné teploty, vlhkosti dysfunkce a těkavých organických sloučenin (VOC). Účinky na zdraví z těchto znečišťujících látek jsou rozmanité a mohou být v rozsahu od nepohodlí, podráždění a respiračních onemocnění k rakovině [12].

6 LEGISLATIVA

6.1 Nařízení vlády č. 178/2001 Sb.

Tímto nařízením, se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci.

V § 1, se stanoví rizikové faktory pracovních podmínek, jejich členění, hygienické limity, způsob jejich zjišťování a hodnocení, minimální rozsah opatření k ochraně zdraví zaměstnanců, rozsah a bližší podmínky poskytování ochranných nápojů a hygienické požadavky na pracovní prostředí a pracoviště.

Podle tohoto nařízení se hodnotí podmínky ochrany zdraví žáků středních škol včetně učilišť, odborných učilišť, speciálních škol a školských zařízení při práci, která je součástí přípravy na povolání. Pracoviště dalších právnických nebo fyzických osob, které mají oprávnění k činnosti v daném oboru, pokud se na nich provádí příprava žáků na povolání, musí vyhovovat požadavkům tohoto nařízení.

Pro koncentrace oxidu uhličitého platí následující limity v ovzduší pracovišť:

PEL – 9 000 mg/m³, NPK – P - 45 000 mg/m³ [10].

6.2 Vyhláška č. 410/2005 Sb.

Tato vyhláška stanoví hygienické požadavky na prostoty a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělání dětí a mladistvých, z níž vychází maximální doporučená hygienická hodnota 0,150 obj.% (1500 ppm) [24].

6.3 Vyhláška č. 6/2003 Sb.

Touto vyhláškou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností staveb zařízení pro výchovu a vzdělávání, vysokých škol, škol v přírodě, staveb pro zotavovací akce, staveb zdravotnických zařízení léčebně preventivní péče, ústavů sociální péče, ubytovacích zařízení, staveb pro obchod a staveb pro shromažďování většího počtu osob [11].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 POUŽITÉ MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE

7.1 Testo 535 – přístroj na měření oxidu uhličitého

Měření oxidu uhličitého bylo prováděno přístrojem Testo 535. Je to přesný přístroj pro měření koncentrace CO₂ a tedy i pro kontrolu kvality vzduchu v místnosti. Přístroj pracuje na principu IR. Plyn v infračerveném detektoru je identifikován měřením absorpce na určité frekvenci IR záření, která odpovídá vibraci nebo rotaci molekulární vazby mezi rozdílnými atomy.

Tab. 2: Technická data TESTO 535 [13].

Displej	dvouřádkový LCD
Typ senzoru	dvoukanálový infračervený senzor
Skladovací teplota	-20 ... + 70 °C
Provozní teplota	0 ... + 50 °C
Typ baterie	9V článková baterie
Životnost baterie	6 hod
Hmotnost	300 g
Rozměry	190 x 57 x 42 mm
Materiál pláště	ABS
Měřicí rozsah	0 ... + 9999 ppm CO ₂
Přesnost	± (50 ppm CO ₂ ± 2 % z nam.hodn.) (0 ... + 5000 ppm CO ₂) ± (100 ppm CO ₂ ± 3 % z n.h.) (+5001 ... + 9999 ppm CO ₂)
Rozlišení	1 ppm CO ₂
Měřené medium	vzduch



Obr. 2: TESTO 535 přístroj pro měření CO₂ [13].

Přepočet ppm na mg/m³ při +25°C:

$$\text{koncentrace (mg/m}^3\text{)} = \text{koncentrace (ppm)} * M/24,45;$$

$$M(\text{CO}_2) = 44 \text{ g/mol};$$

24,45 objem 1 grammolekuly ideálního plynu při +25°C.

7.2 Meteostanice Huyndai

Měření vlhkosti a teploty bylo prováděno meteostanicí Huyndai WS 1855. Stanice monitoruje stav počasí. Přenos dat ze senzoru probíhá na frekvenci 433 MHz bezdrátově. Na LCD displeji se ukazuje vnitřní a venkovní teplota a vlhkost vzduchu [23].

8 MĚŘENÍ KONCENTRACE OXIDU UHLIČITÉHO NA UTB

Fakulta technologická má mnoho učeben s různou velikostí a typem větrání. Měření probíhalo během výuky ve vybraných učebnách. Tyto učebny se nachází na Fakultě technologické se sídlem na náměstí T. G. Masaryka 275, což je budova s označením U1, dále na budově U5 s adresou Nad Stráněmi 4511 a v univerzitní knihovně v budově U13 s adresou náměstí T. G. Masaryka 5555.

8.1 Učebny a jejich charakteristiky

8.1.1 Budova U1

- U1/204 - stupňovitá místnost s okny do ulice a velikostí 880 x 600 x 290 cm, bez klimatizace, s kapacitou 33 míst, s ústředním topením;
- U1/222 - má možnost větrání do uličky mezi domy. Velikost učebny je 880 x 600 x 290 cm, s kapacitou 36 míst, s ústředním topením;
- IV. posluchárna - velká mírně stupňovitá místnost, kde je možné větrat pouze okny a vejde se do ní 126 posluchačů, s ústředním topením.

8.1.2 Budova U13

- U13/550 - místnost s velikostí 970 x 680 x 310 cm, s kapacitou 33 míst, s ústředním topením a větrat se zde dá okny i klimatizací.

8.1.3 Budova U5

- U54/209 - místnost o velikosti 750 x 650 x 300 cm s kapacitou 15 míst a možností větrání okny;
- U51/120 - má rozlohu 360 x 680 x 570 cm, kapacitu 25 míst, není možné větrání okny, protože nejdou otevřít. Je zde možnost větrání klimatizací, která není ve většině případů zapnutá.

8.2 Postup měření koncentrace oxidu uhličitého

Měření probíhalo v učebnách Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, které jsou podrobněji popsány v kapitole 8.1. Koncentrace CO₂ byla měřena vždy na začátku a na konci vyučovacího bloku. Některá měření jsou doplněna o další zjištěné hodnoty, které byly měřeny záměrně v momentu, když nastala situace (větrání, otevření dveří), která by mohla

tuto koncentraci ovlivnit. Pro přesnější zjištění průběhu změny koncentrace byla poslední měření prováděna po půl hodinách.

8.3 Naměřené výsledky koncentrace CO₂ v učebnách UTB v zimním semestru školního roku 2010/2011

Tab. 3: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U13/550

datum	t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	počet osob	větrání
24.9.2010	8:00	549	987	12	otevřené okno
	9:40	716	1288	12	otevřené okno
1.10.2010	8:00	814	1464	12	zavřená okna
	9:40	1659	2985	12	zavřená okna
8.10.2010	8:00	606	1091	12	otevřené okno
	9:40	898	1616	12	zavřené okno
15.10.2010	8:00	466	838	10	otevřená ventilace
	9:40	975	1754	10	otevřená ventilace
10.12.2010	8:00	601	1081	15	otevřená ventilace
	9:40	1100	1979	15	zavřená okna
17.12.2010	8:00	869	1563	14	zavřená okna
	9:40	1201	2161	14	zavřená okna

Hodnoty koncentrace CO₂, které jsou uvedeny v Tab. 3 byly měřeny v posledním čtvrtletí roku 2010. Množství koncentrace CO₂ se během dvou vyučovacích hodin zvyšovalo a ve většině případů tyto hodnoty byly vyšší, než je 1000 ppm. 1.10.2010 byla při 36%ní obsazenosti v učebně opakovaně naměřena nejvyšší hodnota a to 1659 ppm, byla tak překročena doporučená úroveň 1500 ppm. Zvyšování souvisí s tím, že nebylo větráno.

Tab. 4: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/222

datum	t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	počet osob	větrání
29.9.2010	7:00	572	1029	9	otevřená ventilace
	8:40	1012	1821	9	otevřená ventilace
5.10.2010	8:00	1101	1981	33	zavřená okna
	10:40	950	1709	17	otevřená ventilace
6.10.2010	7:00	1407	2532	10	otevřená ventilace
	8:40	1026	1846	10	otevřená ventilace
12.10.2010	8:00	1099	1977	26	zavřené okno
	9:15	3504	6305	26	zavřené okno
	9:45	660	1187	13	otevřené okno
	10:40	1158	2083	13	zavřené okno
19.10.2010	8:00	1109	1995	49	otevřená ventilace
	10:00	2626	4725	49	otevřená ventilace
	10:10	1291	2323	49	otevřená okna
	10:40	2502	4502	25	zavřená okna
9.11.2010	8:00	987	1776	48	otevřená ventilace
	8:50	1939	3489	48	otevřená ventilace
	9:00	1090	1961	51	otevřená okna + dveře
	10:40	1856	3340	51	otevřená ventilace
16.11.2010	8:00	779	1402	23	otevřená ventilace
	9:40	1615	2906	23	otevřená ventilace
	10:40	794	1429	13	otevřené okno

Tab. 4 ukazuje podobné tendence. Zde lze vidět, jak veliký vliv na množství koncentrace CO₂ má průběh větrání v místnosti. Během slabé výměny vzduchu koncentrace CO₂ dosahuje i hodnoty 3504 ppm, jako tomu bylo 12.10.2010 v 9:15 hod. při zavřených oknech nebo 19.10.2010 v 10:00 hod. při otevřené ventilaci, ale při dvojnásobném počtu studentů. Naopak lze z tabulky také vyčíst kladné naměřené hodnoty, když bylo provedeno intenzivní větrání otevřenými okny tak, jak tomu bylo 12.10. 2010 v 9:45 hod, koncentrace klesla z 3504 ppm na 660 ppm, v důsledku 50%ního poklesu studentů a otevřeného okna.

Tab. 5: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/IV

datum	t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	počet osob	větrání
23.9.2010	14:00	653	1175	11	otevřené okno
	16:30	655	1178	11	otevřené okno
30.9.2010	14:00	1274	2292	7	otevřené okno
	16:30	810	1457	7	zavřené okno
5.10.2010	12:00	935	1682	26	zavřené okno
	14:45	548	986	26	otevřené okno
12.10.2010	12:00	824	1482	19	otevřená ventilace
	15:45	1037	1866	19	otevřená ventilace
20.10.2010	14:00	1308	2353	5	otevřené okno
	16:30	1312	2361	5	zavřené okno
26.10.2010	12:00	1210	2177	24	zavřená okna
	13:40	1651	2971	24	otevřené okno
	14:45	1456	2620	24	zavřená okna
9.11.2010	12:00	641	1153	16	otevřená ventilace
	14:45	516	928	16	otevřená ventilace
16.11.2010	12:00	1003	1805	19	otevřená ventilace
	14:45	763	1373	19	otevřené okno
18.11.2010	14:00	1038	1867	10	otevřená ventilace
	16:30	913	1643	10	otevřená ventilace
9.12.2010	14:00	556	1001	4	zavřená okna
	15:00	591	1063	4	zavřená okna

V Tab. 5 jsou zobrazeny hodnoty z měření ve velké posluchárně, která má kapacitu 126 míst. Jak ve dne 9.12.2010, tak i 20.10.2010 lze vidět, že při malém počtu studentů na relativně velkém prostoru se koncentrace CO₂ změní (vzroste) minimálně. Během měření nebyla nikdy překročena maximální doporučená hodnota 1500 ppm z důvodu minimální obsazenosti.

Tab. 6: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/204

datum	t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	počet osob	větrání
24.9.2010	10:00	662	1191	21	zavřená okna
	11:40	1937	3485	21	zavřená okna
1.10.2010	10:00	552	993	21	zavřená okna
	11:40	2215	3986	21	zavřená okna
5.10.2010	11:00	971	1747	11	zavřené okno
	11:50	965	1736	11	otevřené okno
12.10.2010	11:00	829	1491	11	zavřené okno
	11:50	984	1771	11	zavřené okno
15.10.2010	10:00	746	1342	20	zavřené okno
	11:40	1894	3408	20	otevřená ventilace
19.10.2010	11:00	1571	2827	9	otevřená ventilace
	11:50	1080	1943	9	otevřená ventilace
26.10.2010	11:00	868	1562	11	zavřená okna
	11:50	1824	3282	11	zavřená okna
9.11.2010	11:00	1126	2026	11	otevřená ventilace
	11:50	1251	2251	11	otevřená ventilace
16.11.2010	11:00	1018	1831	11	otevřená ventilace
	11:50	1448	2605	11	otevřená ventilace
19.11.2010	10:00	576	1036	18	otevřená ventilace
	11:40	1339	2409	18	zavřená okna
10.12.2010	10:00	504	907	24	zavřená okna
	11:40	3128	5629	24	zavřená okna

Učebna U1/204 má kapacitu 33 míst, ale je stupňovitá. Tím se snižuje objem prostoru k dýchání. Ve dnech 24.9.2010, 1.10.2010 a 10.12.2010 byla tato učebna nejvíce využívána a velká hustota studentů měla veliký vliv na množství CO₂. 10.12.2010 byla učebna obsazena z 80% a během 1 hod a 40 minut se zvýšila koncentrace CO₂ z 504 ppm na 3128 ppm. Častěji také docházelo k překročení doporučené hodnoty 1500 ppm. Z toho důvodu výuka se stává být neefektivní. V učebně U1/204 je tedy zapotřebí více zohledňovat větrání.

8.4 Naměřené výsledky koncentrace CO₂ v učebnách UTB v letním semestru školního roku 2010/2011

Tab. 7: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/204, 2. 3. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
13:00	505	908	21	8,5	20	10	otevřené okno
13:30	1029	1851	24,3	8,5	21	10	zavřené okno
14:00	1023	1840	24,7	9	21	10	otevřená ventilace
14:30	954	1716	24,3	9,5	20	10	otevřená ventilace

Tab. 8: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/204, 9. 3. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
13:00	637	1146	23,2	11	20	9	otevřené okno
13:30	1199	2157	24,3	11,5	20	9	zavřené okno
14:00	1557	2801	24,8	12	22	9	zavřené okno
14:30	1221	2197	24,5	13	21	9	otevřená ventilace

V Tab. 7 i 8 jsou měřeny hodnoty koncentrace CO₂ po půl hodině, počet studentů v místnosti zůstává stejný, lze tedy z naměřených hodnot vyčíst vliv intenzity větrání na průběh koncentrace. Nejprve byla učebna dostatečně vyvětrána, prvotní naměřené hodnoty jsou 2.3.2011 505 ppm a 9.3.2011 637 ppm. Po zavření oken hodnoty vzrostly na 1029 ppm a 1199 ppm. Pro první případ zůstala otevřená ventilace a koncentrace CO₂ se téměř ustálila kolem 1000 ppm. V druhém případě okna byla uzavřena na delší čas, koncentrace CO₂ tedy ještě rostla až na 1557 ppm a po otevření ventilace klesla na 1221 ppm. Z toho vyplývá, že při 30%ní obsazenosti učebny a občasném větrání se nepřekročí doporučená hodnota, a když ano, tak minimálně.

Tab. 9: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/204, 16. 3. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
13:00	1759	3165	24,3	17	43	9	zavřené okno
13:30	1169	2103	25,7	16,8	39	9	otevřená ventilace
14:00	1001	1801	25,9	15,5	39	9	otevřená ventilace
14:30	893	1607	25,9	15	41	9	otevřená ventilace

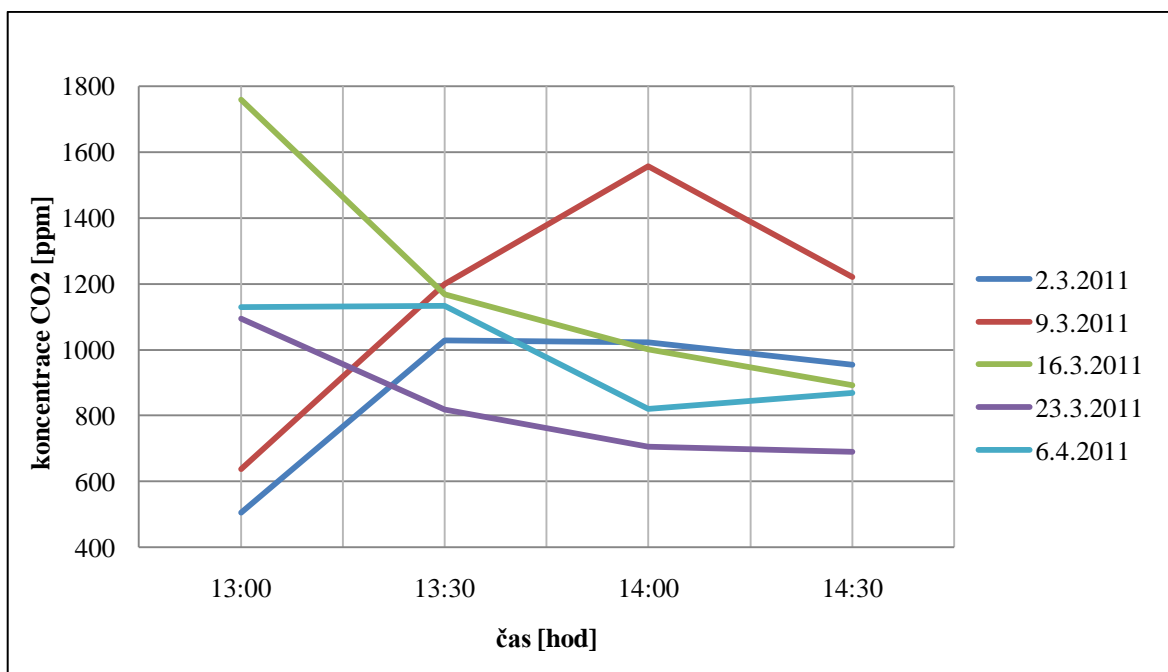
Tab. 10: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/204, 23. 3. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
13:10	1094	1968	24,6	15	35	9	otevřená ventilace
13:30	819	1473	24,5	17	34	10	otevřená ventilace
14:00	705	1268	24,3	17,5	34	10	otevřená ventilace
14:30	690	1241	24,2	17	33	10	otevřená ventilace

Tab. 11: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/204, 6. 4. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
13:10	1130	2033	25	18,2	37	7	otevřená ventilace
13:30	1134	2040	25,3	19	37	7	otevřená ventilace
14:00	821	1477	24,5	19	37	7	otevřená ventilace + dveře
14:30	869	1563	24,8	18,8	37	7	otevřená ventilace

Z Tab. 9,10,11 lze vyčíst, že studenti vcházelí do nevětrané místnosti a můžeme tak vidět závislost větrání na klesajícím průběhu koncentrace CO₂. Z toho vyplývá, že při otevřeném okně (ventilaci) a s 30%ní obsazeností, v učebně U1/204, hodnoty nepřekročí doporučenou hodnotu 1500 ppm a při malé obsazenosti učebny stačí tedy větrat ventilací.



Obr. 3: Průběh koncentrace CO₂ v učebně U1/204

Na Obr. 3 je uveden průběh koncentrace CO₂ během tří hodinové přednášky v učebně U1/204. Z grafu je patrné, že při nevětrání, koncentrace CO₂ roste a při otevřeném okně klesá. Lze i vyčíst, že na začátku měření byla koncentrace vždy jiná, záleželo, zda byla v učebně výuka již ráno a zda větrali či nikoli.

Tab. 12: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/222, 4. 3. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
7:30	618	1099	21,7	2,5	44	7	otevřené okno
8:00	792	1409	23,6	3	31	7	zavřené okno
8:30	1027	1827	24,1	3	30	8	zavřené okno
9:00	1357	2414	24,4	3	31	8	zavřené okno
9:30	1721	3062	24,8	4	32	9	zavřené okno

Učebna U1/222 má kapacitu 36 lidí. V Tab. 12 lze vidět, jak rychle roste koncentrace CO₂ při zavřeném okně a 22%ní obsazenosti během dvou hodin. Koncentrace CO₂ zde vzrostla na 1721 ppm a tím překročila doporučenou maximální hodnotu 1500 ppm.

Tab. 13: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/222, 18. 3. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
7:30	470	836	21,2	9	50	5	otevřená ventilace
8:00	589	1048	22,2	9,5	46	5	otevřená ventilace
8:30	640	1138	22,6	10	44	5	otevřená ventilace
9:00	649	1154	22,5	10	44	5	otevřená ventilace
9:30	659	1172	22,6	9,5	44	5	otevřená ventilace

Z Tab. 13 lze vyčíst, že obsazenost 18.3.2011 byla jen 14%ní a navíc byla po celou dobu výuky otevřená ventilace, proto koncentrace CO₂ roste velice málo a dosahuje maximálně 659 ppm.

Tab. 14: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/222, 25. 3. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
7:30	462	822	21,1	6	41	7	zavřená okna
8:00	809	1439	23,8	7	36	7	zavřená okna
8:30	1019	1813	24,4	10	35	7	zavřená okna
9:00	1181	2101	24,5	11	35	7	zavřená okna
9:30	1266	2252	24,5	12	35	7	zavřená okna

Tab. 14 může být porovnána opět s tabulkou 12. V Tab. 12 i v Tab. 14 byla po celou dobu zavřena okna i dveře, u obou měření nebyla místnost větrána a kapacita studentů byla 22%ní. Může zde být pozorováno, jak se zvýší koncentrace CO₂ při stejném počtu lidí. V Tab. 12 4.3.2011 u prvního měření přístroj ukazoval hodnotu 618 ppm a během dvou hodin vzrostla na 1721 ppm. A 25.3.2011 přístroj ukazoval hodnotu u prvního měření 462 ppm a po dvou hodinách tato hodnota byla 1266 ppm. Opět koncentrace CO₂ nepřesáhla doporučenou maximální hodnotu.

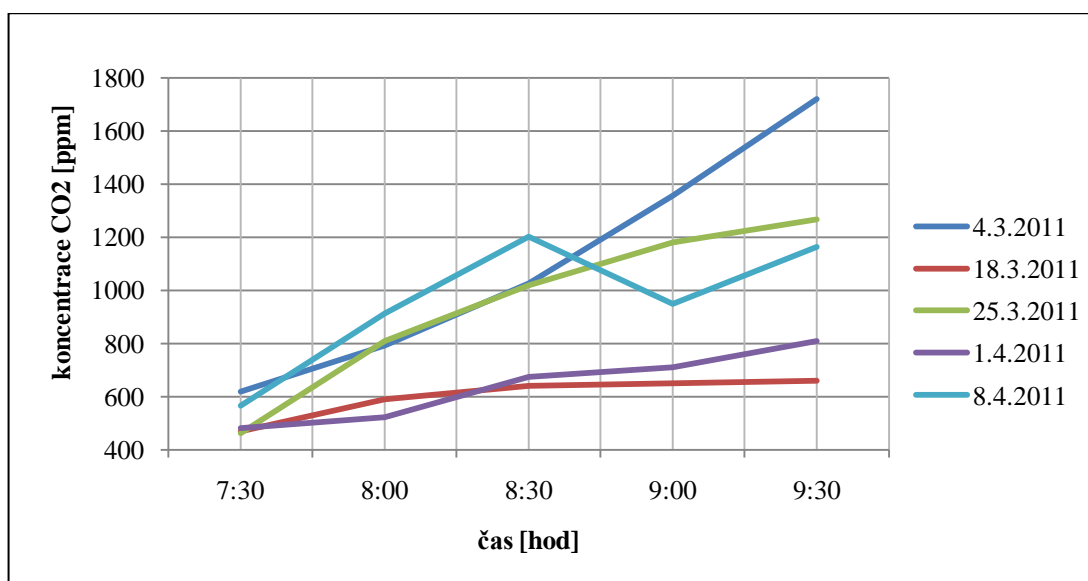
Tab. 15: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/222, 1.4. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
7:30	482	857	22,4	11	45	4	otevřené dveře
8:00	521	927	22,6	11,8	46	7	otevřené okno
8:30	674	1199	23,1	11,8	46	7	otevřená ventilace
9:00	710	1263	23,2	13,5	46	7	otevřená ventilace
9:30	808	1437	23,5	14,2	46	7	zavřená okna

Tab. 16: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/222, 8. 4. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
8:30	566	1007	21,8	8,5	39	8	zavřená okna
9:00	912	1622	23,5	9	37	8	zavřená okna
9:30	1203	2140	23,8	9,5	38	8	zavřená okna
10:00	950	1690	23,5	10,2	36	6	otevřená ventilace, dveře
10:30	1164	2071	24	10	36	6	zavřená okna

Z Tab. 15 vyplývá, že při otevřené ventilaci či okně a 20%ní obsazenosti, hodnota koncentrace CO₂ po dvouhodinové přednášce dosahuje 808 ppm. A při zavřeném okně, jak lze vidět v Tab. 16, hodnota dosahuje 1164 ppm při 22% obsazenosti učebny. Nebyla zde překročena doporučená maximální hodnota.

Obr. 4: Průběh koncentrace CO₂ v učebně U1/222

Na Obr. 4 lze vidět rozdíly, kdy se v učebně větralo a kdy ne. S rostoucím časem a nevětráním, koncentrace CO₂ roste. Při zavřeném okně dosáhla koncentrace CO₂ nejvíce hodnoty 1721 ppm a při intenzivním větrání měla hodnotu jen 657 ppm.

Tab. 17: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/IV. posluchárna, 8. 3. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
12:00	971	1747	21,8	7	28	25	otevřená ventilace
12:30	1177	2118	24,2	8	26	25	zavřená okna
13:00	1406	2530	24,8	8,5	26	25	zavřená okna
13:30	1518	2731	24,8	9	26	25	otevřená ventilace

Tab. 18: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/IV. posluchárna, 15. 3. 2011

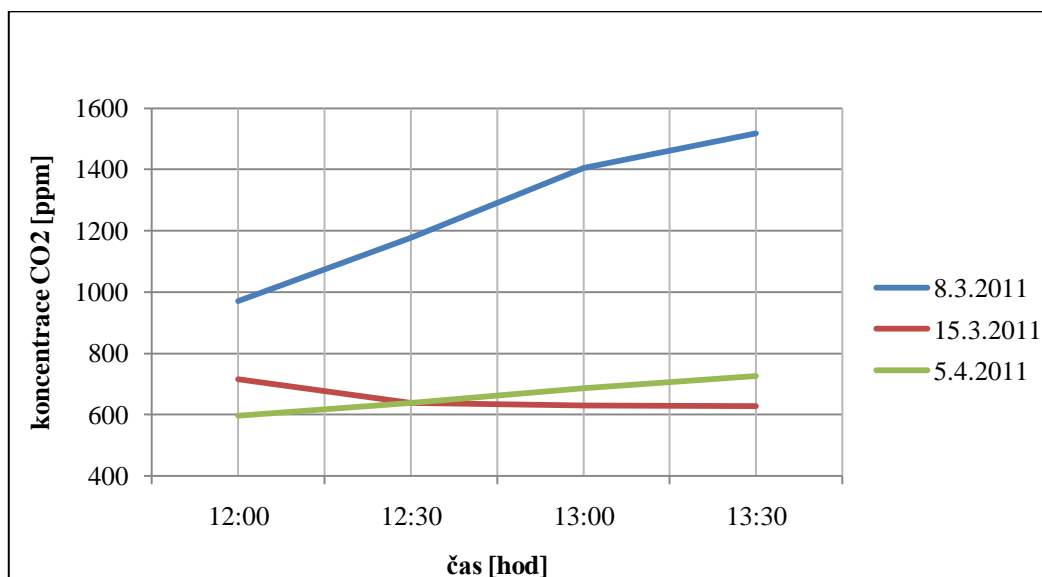
t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
12:00	715	1286	23,6	19,5	41	28	otevřená ventilace
12:30	638	1148	24	20,5	39	29	otevřená ventilace
13:00	631	1135	24,1	21	38	29	otevřená ventilace
13:30	629	1131	24,4	21	37	29	otevřená ventilace

Tab. 19: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/IV. posluchárna, 5. 4. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
12:00	597	1074	21,5	13	39	28	otevřená ventilace
12:30	638	1148	22,1	13,8	39	30	otevřená ventilace
13:00	687	1236	23,6	16	38	30	otevřená ventilace
13:30	726	1306	23,8	15,2	38	30	otevřená ventilace

Měření koncentrace CO₂ v posluchárně U1/IV probíhalo opět po půl hodinách. V Tab. 17, kdy měření probíhalo na začátku března a venkovní teploty byly ještě nízké, byla okna v průběhu výuky zavřená, jen na začátku a na konci bylo větráno ventilací na okně. Zde při 20%ní obsazenosti hodnoty překračovaly 1000 ppm a v čase 13:30 hod. překročily 1518 ppm. V Tab. 18 a 19, kdy po celou dobu výuky byla otevřená okna na

ventilaci a obsazenost byla 23%ní, tak koncentrace CO₂ dosahovala hodnot od 597 ppm do 726 ppm. Což je přijatelné. To je patrné i z Obr. 5.



Obr. 5: Průběh koncentrace CO₂ v učebně U1/IV.

Jak je patrné z Tab. 20, 21, 22, 23, 24 a 25, v učebně U13/550 nebyla překročena doporučená maximální koncentrace CO₂ 1500 ppm. Vždy se větralo a obsazenost byla 30%ní.

Tab. 20: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U13/550, 2. 3. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
11:00	1099	1977	21,9	4	32	10	otevřené okno
11:30	798	1436	25,6	5	26	10	otevřené okno
12:00	763	1373	25,7	6,5	22	10	otevřené okno
12:30	757	1362	25,4	7	21	10	otevřené okno

Tab. 21: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U13/550, 9. 3. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
11:00	895	1611	22,1	7	31	9	zavřené okno
11:30	677	1218	24,6	8	20	9	otevřené okno
12:00	764	1374	25,4	9	20	9	otevřená ventilace
12:30	833	1499	25,7	10	20	9	otevřená ventilace

Tab. 22: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U13/550, 16. 3. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
11:10	667	1200	22,4	17,5	47	9	2 otevřené ventilace
11:30	590	1061	24,7	18,5	41	9	2 otevřené ventilace
12:00	504	906	24,8	19	37	9	2 otevřené ventilace
12:30	572	1029	24,9	18	37	9	1 otevřená ventilace

Tab. 23: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U13/550, 23. 3. 2011

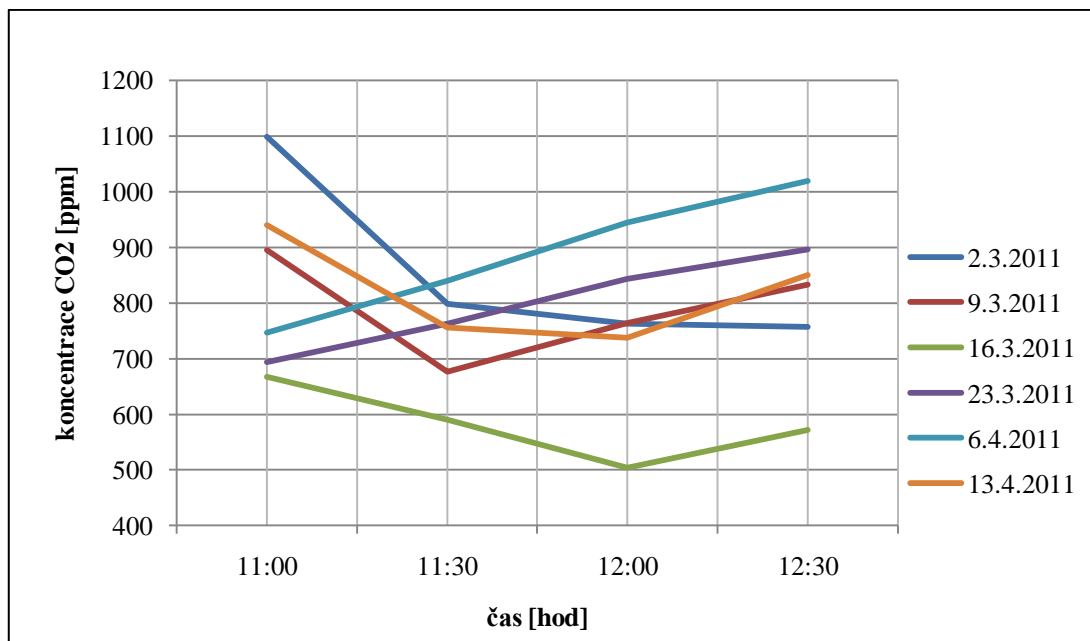
t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
11:10	694	1248	21,1	13	43	10	otevřená ventilace
11:30	763	1373	23,9	13,5	35	10	otevřená ventilace
12:00	843	1517	24,5	14	33	9	otevřená ventilace
12:30	896	1612	24,9	15	32	9	otevřená ventilace

Tab. 24: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U13/550, 6. 4. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
11:10	747	1344	23	16	44	8	otevřená ventilace
11:30	840	1511	24,5	17	38	8	otevřená ventilace
12:00	944	1698	25	17	37	10	otevřená ventilace
12:30	1019	1833	26	17,5	36	10	otevřená ventilace

Tab. 25: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U13/550, 13. 4. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
11:00	940	1691	21,4	8,5	51	11	zavřené okno
11:30	756	1360	25	9	36	11	otevřené okno
12:00	737	1326	26	9,5	33	11	otevřená ventilace
12:30	850	1529	26,2	8	32	11	zavřené okno

Obr. 6: Průběh koncentrace CO₂ v učebně U13/550

Z obr.6 je patrné, že hodnoty dosáhly maximálně 1100 ppm a vždy bylo větráno.

Tab. 26: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U54/209, 8. 3. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
8:00	558	1004	21	-1	36	9	zavřená okna
8:30	982	1767	21,5	0	32	10	zavřená okna
9:00	1341	2413	22	1,5	32	10	zavřená okna
9:30	1673	3011	22,3	3	32	10	zavřená okna

Tab. 27: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U54/209, 15. 3. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
8:10	540	971	20,8	9,5	49	8	zavřená okna
8:30	863	1553	22,2	11	44	10	zavřená okna
9:00	1354	2436	22,9	12	44	10	zavřená okna
9:30	1768	3181	23,3	13,5	44	10	zavřená okna

Tab. 28: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U54/209, 29. 3. 2011

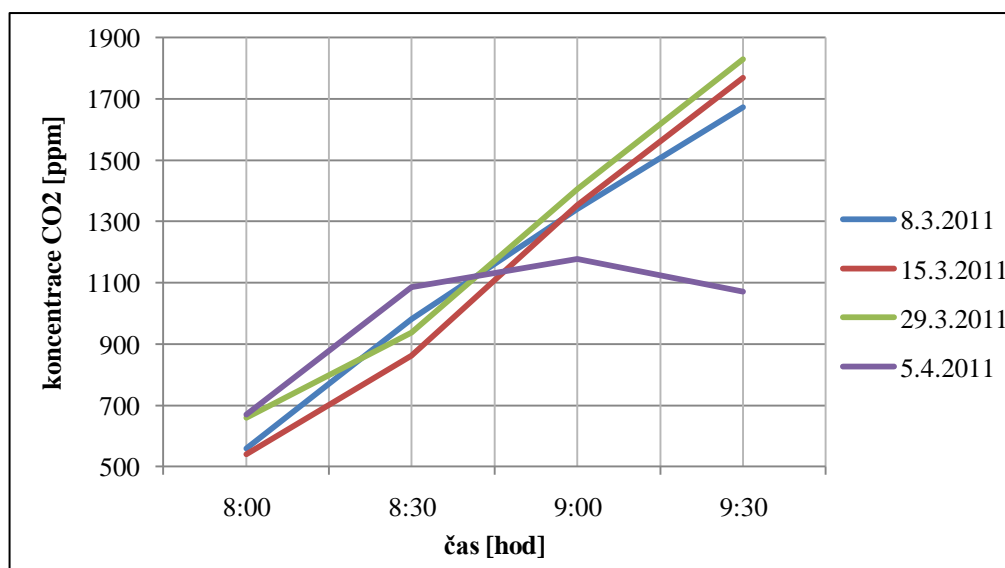
t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
8:10	660	1187	20,6	5,5	47	10	zavřená okna
8:30	938	1688	23,3	6	40	10	zavřená okna
9:00	1405	2528	24,5	7	38	10	zavřená okna
9:30	1830	3293	25,3	8	38	10	zavřená okna

U měření koncentrace v učebně U54/209 se naměřené hodnoty pohybují od 540 ppm do 1830 ppm. V Tab. 26, 27, 28 byla v průběhu měření zavřená okna, obsazenost byla 67% a výměna čerstvého vzduchu nebyla nijak docílena. Hodnoty koncentrace CO₂ rostly téměř lineárně. Vždy byla nepatrně překročena doporučená hodnota koncentrace CO₂.

Tab. 29: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U54/209, 5. 4. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
8:10	669	1204	20,5	7	50	12	zavřené okno
8:30	1085	1952	23,4	8,8	45	12	otevřená ventilace
9:00	1178	2119	24,1	9,3	42	12	otevřená ventilace
9:30	1070	1925	24,2	9,8	40	12	otevřená ventilace

V Tab. 29 lze vyčíst, že koncentrace CO₂ nepřesáhla maximální doporučenou hodnotu a to i když byla 80% obsazenost učebny. Tento jev byl způsoben otevřenou ventilací.

Obr. 7: Průběh koncentrace CO₂ v učebně U54/209

V učebně U54/209 se větralo až při posledním měření. A na obr. 7 tak můžeme vidět, že při větrání je koncentrace CO₂ v závislosti na čase relativně příznivá.

V učebně U51/120 není možné větrat okny. Měření probíhalo v dopoledních hodinách od 10:00 do 11:30. K dispozici je klimatizace, která se nezapíná. Větrání probíhalo nárazově otevřením dveří do chodby. Z těchto důvodů hodnota koncentrace CO₂ přesahuje i hodnotu 2000 ppm a to i 2600 ppm, jak tomu bylo 29.3.2011 v 11:30 hod. Větrání dveřmi nebylo dosti efektivní u takového množství lidí.

Tab. 30: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U51/120, 8.3.2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
10:00	613	1103	21,4	4	29	16	zavřená okna
10:30	1431	2575	22,4	4,5	29	19	zavřená okna
11:00	2121	3816	23,2	5	32	20	zavřená okna
11:30	1817	3269	23,1	6	31	19	otevřené dveře 10 min, zavřená okna

Tab. 31: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U51/120, 15. 3. 2011

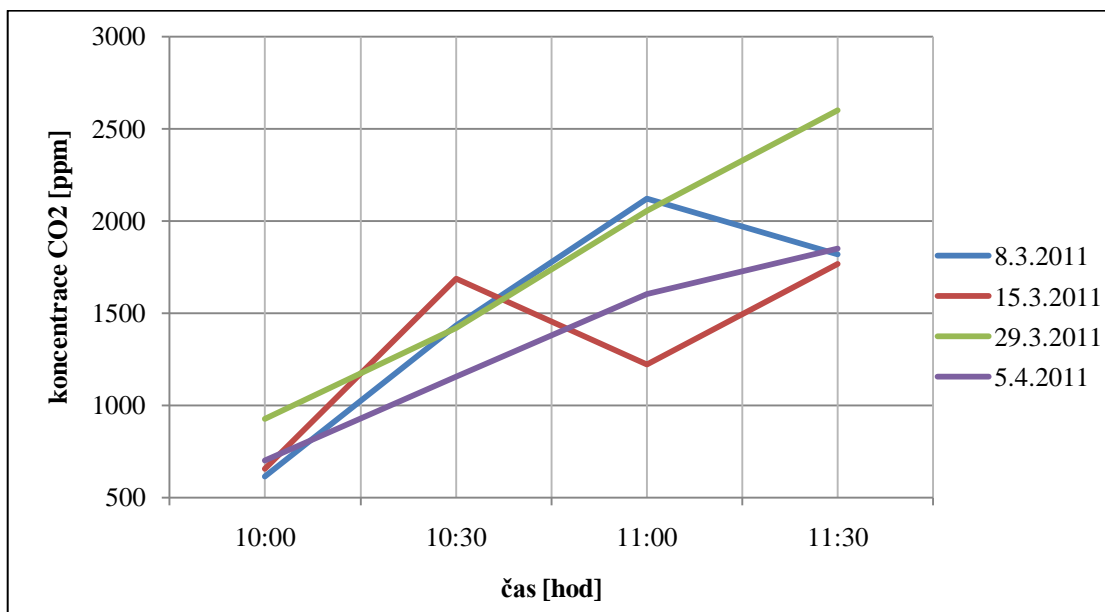
t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
10:10	654	1176	22,3	14,8	42	13	zavřená okna,dveře
10:30	1326	2386	23,1	15,3	46	16	zavřená okna,dveře
10:50	1685	3032	24	16	48	16	zavřená okna,dveře
11:00	1219	2193	24	17	45	16	otevřené dveře 10 min, zavřená okna
11:15	1767	3179	24,4	17,2	46	16	zavřená okna,dveře

Tab. 32: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U51/120, 29. 3. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
10:10	927	1668	22,5	9,5	37	16	zavřená okna
10:30	1417	2550	22,7	10	40	17	zavřená okna
11:00	2055	3698	23,4	11	44	17	zavřená okna
11:30	2600	4678	23,7	12,5	46	17	zavřená okna

Tab. 33: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U51/120, 5. 4. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
10:10	699	1257	22,4	10,5	42	7	zavřená okna
10:30	1156	2080	22,4	10,5	46	11	zavřená okna
11:00	1604	2886	22,9	11,2	48	11	zavřená okna
11:30	1848	3325	23,4	12,3	48	11	zavřená okna

Obr. 8: Průběh koncentrace CO₂ v učebně U51/120 – od 10 do 11:30 hod

Na Obr. 8 je zaznamenán průběh koncentrace CO₂ v nevětrané učebně. Koncentrace CO₂ vždy přesáhla limitní hodnotu 1500 ppm, jen při 10 minutovém otevření dveří klesla pod limitní hodnotu nebo se k ní alespoň přiblížila.

V ranních hodinách od 7:10 do 9:30 hod. v téže učebně hodnoty opět rostly z důvodu nevětrání a 80%ní obsazenosti. Za zmínku stojí Tab. 38, kde vzrostla koncentrace CO₂ během tří vyučovacích hodin z 540 ppm na 2891 ppm. Tab. 34, 35, 36 a 37 ukazovaly podobné tendence. Při měření byla vždy překročena maximální doporučená hodnota 1500 ppm. Tento nárůst je alarmující, u studentů se projevovovala unavenost i bolest hlavy. Výuka v této učebně byla neefektivní, studentům bylo těžké se soustředit.

Tab. 34: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U51/120, 9.3.2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
7:10	625	1124	19,1	-3	30	11	zavřená okna
7:30	1042	1875	19,8	-1	31	13	zavřená okna
8:00	1601	2881	20,8	0	32	16	zavřená okna
8:30	2071	3726	21,8	1,5	33	19	zavřená okna
9:00	1830	3293	22,2	3	31	20	10 min otevřené dveře, zavřená okna
9:30	2459	4425	23,3	4	33	20	zavřená okna

Tab. 35: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U51/120, 16. 3. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
7:10	625	1124	19,3	10,5	53	10	zavřená okna
7:30	926	1666	20,8	11,7	51	10	zavřená okna
8:00	1387	2496	21,8	13	51	12	zavřená okna
8:30	1808	3253	22,5	13,5	52	12	zavřená okna
9:00	2197	3953	23,1	14,5	53	15	zavřená okna
9:30	2557	4601	23,5	16	54	15	zavřená okna

Tab. 36: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U51/120, 23. 3. 2011

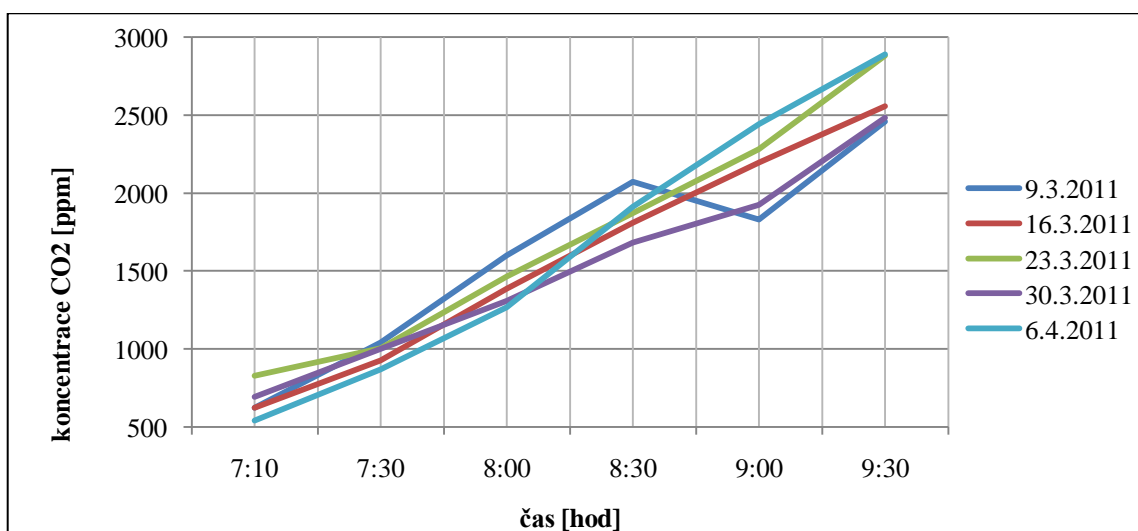
t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
7:10	828	1490	19,8	4	46	8	zavřená okna
7:30	1004	1806	20,2	5	44	8	zavřená okna
8:00	1465	2636	21,3	5,5	43	11	zavřená okna
8:30	1873	3371	21,9	6,5	44	13	zavřená okna
9:00	2283	4108	22,1	9	43	16	zavřená okna
9:30	2883	5188	22,2	10	47	16	zavřená okna

Tab. 37: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U51/120, 30. 3. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
7:10	693	1247	20,5	4	41	7	zavřená okna
7:30	1000	1799	21	5	41	8	zavřená okna
8:00	1308	2353	21,3	5,5	42	9	zavřená okna
8:30	1684	3031	21,7	7	43	9	zavřená okna
9:00	1925	3464	22,1	8	44	17	zavřená okna
9:30	2482	4466	22,5	11	45	17	zavřená okna

Tab. 38: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U51/120, 6. 4. 2011

t [hod]	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [mg/m ³]	T [°C] uvnitř	T [°C] venku	vlhkost [%]	počet osob	větrání
7:10	540	971	20,9	7,5	47	7	zavřená okna
7:30	871	1567	20,9	8,5	49	7	zavřená okna
8:00	1266	2278	21,1	9,2	50	12	zavřená okna
8:30	1913	3442	21,8	9,2	50	14	zavřená okna
9:00	2441	4392	22,5	11,8	51	15	zavřená okna
9:30	2891	5202	23	12	53	15	zavřená okna

Obr. 9: Průběh koncentrace CO₂ v učebně U51/120 – od 7:10 do 9:30 hod

Z Obr. 9 je patrné, že v nevětrané učebně s vysokým počtem osob roste koncentrace CO₂ rapidně nahoru. Chvilkové otevření dveří koncentraci sníží, ale ne na tolik, aby byla zajištěna doporučená maximální hodnota 1500 ppm.

ZÁVĚR

V bakalářské práci byly popsány vlastnosti oxidu uhličitého a vliv jeho množství na zdraví člověka. Byly zmíněny interakce venkovního a vnitřního ovzduší, škodliviny a legislativa spojená s daným problémem.

Praktická část byla zaměřena na samostatné měření koncentrace oxidu uhličitého. Měření probíhalo v šesti učebnách, v přednáškových i seminárních místnostech Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a to v budovách U1, U13 a U5. Hodnoty byly získávány v zimním i letním semestru školního roku 2010/2011. Nasbíraná data byla zobrazena v několika tabulkách. Pro vizualizaci některých výsledků byly použity barevné grafy.

Naměřené hodnoty ukazovaly předpokládané tendence. S vyšším procentuálním zaplněním učebny studenty rostla koncentrace oxidu uhličitého s časem. Ve velkých přednáškových učebnách vliv počtu studentů nebyl tak veliký jako v menších seminárních místnostech.

Dále se ukázalo, že intenzivní větrání otevřenými okny sníží množství koncentrace oxidu uhličitého efektivněji, než otevřením oken na ventilaci nebo otevřenými dveřmi. Při malém počtu studentů ve třídě, otevření okna na ventilaci bylo dostačující.

Nejvyšší doporučená koncentrace oxidu uhličitého 1500 ppm (0,150 obj.%) byla překročena v pěti učebnách, což bylo při 220ti měřeních 45krát (tedy 20%), ve kterých nebyla splněna dostatečná výměna čerstvého vzduchu na počet posluchačů. Maximální naměřená hodnota byla 3504 ppm (0,3504 obj.%). Vysoké naměřené koncentrace oxidu uhličitého byly zapříčiněny nevětráním či velkým počtem studentů v místnosti. Na vysoké naměřené hodnoty by měl být brán ohled a hlavně v seminárních místnostech by měla vzrůst intenzita větrání. Pokud je v učebně zavedena klimatizace, měla by být častěji využívána, na což se mnohdy zapomíná.

Měření koncentrace oxidu uhličitého proběhlo pouze v některých vybraných učebnách na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně. Určitě by se v tomto měření mělo dále pokračovat a regulovat případné nedostatky, které jsou spojeny s nízkou intenzitou větrání.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Učebnice chemie* [online]. 2006 [cit. 2011-04-10]. Oxid uhličitý. Dostupné z WWW: <http://www.ucebnicechemie.wz.cz/index.php?sloucenina=oxid_uhlicity>.
- [2] BAROŇ, Přemysl. *Měření koncentrace CO₂ ve městě Zlíně v zimním a jarním období 2008 : Vyhodnocení vlivu skleníkových plynů na životní prostředí*. Zlín, 2008. 87 s. Bakalářská práce. UTB ve Zlíně.
- [3] JOKL, Miloslav. *Zdravé obytné a pracovní prostředí*. Vyd. 1. Praha : Academia, 2002. 261 s. ISBN 80-200-0928-0.
- [4] DOLEŽÍLKOVÁ, Hana. *TZB - info* [online]. 2010-05-17 [cit. 2011-05-03]. Kvalita vnějšího a vnitřního vzduchu. Dostupné z WWW: <<http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/6486-kvalita-vnejsiho-a-vnitriho-vzduchu>>. ISSN 1801-4399.
- [5] *Státní zdravotní ústav* [online]. 2004 [cit. 2011-04-10]. Venkovní ovzduší. Dostupné z WWW: <<http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/venkovni-ovzdusi-2>>.
- [6] *Státní zdravotní ústav* [online]. 2004 [cit. 2011-04-10]. Kvalita vnitřního prostředí. Dostupné z WWW: <<http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/kvalita-vnitriho-prostredi>>.
- [7] *Čistička* [online]. 2007 [cit. 2011-04-10]. Čistota ovzduší. Dostupné z WWW: <<http://cisticka.sweb.cz/cistota-ovzdusi.htm>>.
- [8] ZIKÁN, Zdeněk. *TZB - info* [online]. 2011-02-07 [cit. 2011-05-03]. Oxid uhličitý - utajený nepřítel. Dostupné z WWW: <<http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/7132-oxid-uhlicity-utajeny-nepritel>>. ISSN 1801-4399..
- [9] ŠANCOVÁ, Lucie, et al. *TZB - info* [online]. 2010-01-18 [cit. 2011-05-03]. Větrání panelových domů - jejich opatření a limity. Dostupné z WWW: <<http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-bytovych-domu/6181-vetrani-panelovych-domu-opatreni-a-jejich-limity>>. ISSN 1801-4399
- [10] Česká republika. Nařízení vlády ze dne 18. dubna 2001, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci. In *Sbírka zákonů č. 178/2001*. 2001, 68, s. 3682-3731.

- [11] Česká republika. Vyhláška z 16. prosince 2002, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb. In *Sbírka zákonů č. 6/2003*. 2002, 4, s. 121-125.
- [12] CK, Huynh. Building Energy Saving Techniques and Indoor Air Quality - A Dilemma. *INTERNATIONAL JOURNAL OF VENTILATION*. 2010, 1, s. 93-98.
- [13] *Testo AG* [online]. 2011 [cit. 2011-04-10]. Testo 535. Dostupné z WWW: <<http://www.testo.cz/online/abaxx-?part=PORTAL.CZE.SectorDesk&event=show-from-menu&categoryid=4741358>>.
- [14] HUMMELGAARD, J., et al. Indoor air quality and occupant satisfaction in five mechanically and four naturally ventilated open-plan office buildings. *Science Direct : Building and Environment*. 2007, no. 42, s. 4051-4058.
- [15] WONHO, Yang, et al. Indoor air quality investigation according to age of the school buildings in Korea. *Journal of Environmental Management*. 2009, no. 90, s. 348-354.
- [16] An experimental study on effects of increased ventilation flow on students' perception of indoor environment in computer classrooms. *Indoor Air*. 2008, no. 18, s. 293-300.
- [17] Comparing the effectiveness of interventions to improve ventilation behavior in primary schools. *Indoor Air*. 2008, no. 18, s. 416-424.
- [18] JONES, A.P. Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment*. 1999, no. 33, s. 4535-4564.
- [19] *Chromservis* [online]. 2008-02-25 [cit. 2011-05-04]. Infračervený senzor. Dostupné z WWW: <<http://chromservis.cz/category/infrared?lang=CZ>>.
- [20] MIKEŠOVÁ, Miroslava; KOTLÍK, Bohumil. Měření vnitřního prostředí v základních školách : Závěrečná zpráva z měření kvality vnitřního prostředí a mikroklimatických parametrů ve školách. *SZÚ Praha, centrum hygieny životního prostředí, odborná skupina hygieny ovzduší*. 2008, s. 1-10.
- [21] LEE, S.C., Chány, M.: Indoor air quality investigation at five classrooms. *Indoor Air – Int. J. Indoor Air Quality and Climate*.

- [22] *IRZ* [online]. 2006 [cit. 2011-05-23]. Látka: Oxid uhličitý. Dostupné z WWW: <<http://www.irz.cz/node/78>>.
- [23] *Hyundai electronics : Meteostanice* [online]. 2009 [cit. 2011-05-22]. Hyundai. Dostupné z WWW: <http://www.hyundai-electronics.cz/produkty/meteostanice/meteorologicke-stanice-standardni/pid_1615/meteostanice-hyundai-ws-1855.aspx>.
- [24] Česká republika. Vyhláška ze dne 4. října 2005 o hygienických požadavcích na prostoty a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělání dětí a mladistvých. In *Sbírka zákonů č. 410/2005*. 2005, 141, s. 7428-7488.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CO ₂	Oxid uhličitý
ppm	(Parts per million) Částice v milionu
FT	Fakulta technologická
g/mol	Gram na mol
°C	Stupeň Celsia
g/cm ³	Gram na centimetr krychlový
kg/m ³	Gram na metr krychlový
mg/m ³	Miligram na metr krychlový
µg/m ³	Mikrogram na metr krychlový
kPa	Kilopascal
C	Uhlík
O ₂	Plynová molekula kyslíku
CH ₄	Methan
CaO	Oxid vápenatý
H ₂ O	Voda
CaCO ₃	Uhličitan vápenatý
HCl	Kyselina chlorovodíková
CaCl ₂	Chlorid vápenatý
H ₂ CO ₃	Kyselina uhličitá
NaOH	Hydroxid sodný
Na ₂ CO ₃	Uhličitan sodný
NaHCO ₃	Hydrogenuhličitan sodný
PM _{10(2,5)}	(Particulate matter) Aerosolové částice
obj.%	Objemová procenta

m ³	Metr krychlový
m ³ /h	Metr krychlový na hodinu
SO ₂	Oxid siřičitý
NO _x	Oxidy dusíku
CO	Oxid uhelnatý
VOC	(Volatile Organic Compound) Těkavé organické látky
TVOC	(the Total of all Volatile Organic Compounds) Všechny těkavé organické látky
USA	Spojené státy americké
ABS	Akrylonitril butadien styren
PEL	Přípustný expoziční limit
NPK-P	Nejvyšší přípustná koncentrace
NDIR	(Non Dispersive Infra Red) Nedisperzní infračervená spektrometrie
IR	Infračervené záření

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Vlastnosti CO₂ [2].</i>	12
<i>Obr. 2: TESTO 535 přístroj pro měření CO₂ [13].</i>	26
<i>Obr. 3: Průběh koncentrace CO₂ v učebně U1/204.</i>	34
<i>Obr. 4: Průběh koncentrace CO₂ v učebně U1/222.</i>	36
<i>Obr. 5: Průběh koncentrace CO₂ v učebně U1/IV.</i>	38
<i>Obr. 6: Průběh koncentrace CO₂ v učebně U13/550.</i>	40
<i>Obr. 7: Průběh koncentrace CO₂ v učebně U54/209.</i>	41
<i>Obr. 8: Průběh koncentrace CO₂ v učebně U51/120 – od 10 do 11:30 hod.</i>	43
<i>Obr. 9: Průběh koncentrace CO₂ v učebně U51/120 – od 7:10 do 9:30 hod.</i>	45

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1: Vliv oxidu uhličitého na lidský organismus [8].....</i>	16
<i>Tab. 2: Technická data TESTO 535 [13].</i>	25
<i>Tab. 3: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U13/550.....</i>	28
<i>Tab. 4: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/222.....</i>	29
<i>Tab. 5: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/IV.....</i>	30
<i>Tab. 6: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/204.....</i>	31
<i>Tab. 7: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/204, 2. 3. 2011.....</i>	32
<i>Tab. 8: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/204, 9. 3. 2011.....</i>	32
<i>Tab. 9: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/204, 16. 3. 2011.....</i>	33
<i>Tab. 10: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/204, 23. 3. 2011.....</i>	33
<i>Tab. 11: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/204, 6. 4. 2011.....</i>	33
<i>Tab. 12: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/222, 4. 3. 2011.....</i>	34
<i>Tab. 13: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/222, 18. 3. 2011.....</i>	35
<i>Tab. 14: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/222, 25. 3. 2011.....</i>	35
<i>Tab. 15: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/222, 1.4. 2011.....</i>	36
<i>Tab. 16: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/222, 8. 4. 2011.....</i>	36
<i>Tab. 17: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/ IV. posluchárna, 8. 3. 2011.....</i>	37
<i>Tab. 18: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/IV. posluchárna, 15. 3. 2011.....</i>	37
<i>Tab. 19: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U1/IV. posluchárna, 5. 4. 2011.....</i>	37
<i>Tab. 20: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U13/550, 2. 3. 2011.....</i>	38
<i>Tab. 21: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U13/550, 9. 3. 2011.....</i>	38
<i>Tab. 22: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U13/550, 16. 3. 2011.....</i>	39
<i>Tab. 23: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U13/550, 23. 3. 2011.....</i>	39
<i>Tab. 24: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U13/550, 6. 4. 2011.....</i>	39
<i>Tab. 25: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U13/550, 13. 4. 2011.....</i>	39
<i>Tab. 26: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U54/209, 8. 3. 2011.....</i>	40
<i>Tab. 27: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U54/209, 15. 3. 2011.....</i>	40
<i>Tab. 28: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U54/209, 29. 3. 2011.....</i>	41
<i>Tab. 29: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U54/209, 5. 4. 2011.....</i>	41

<i>Tab. 30: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U51/120, 8.3.2011</i>	42
<i>Tab. 31: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U51/120, 15. 3. 2011</i>	42
<i>Tab. 32: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U51/120, 29. 3. 2011</i>	42
<i>Tab. 33: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U51/120, 5. 4. 2011</i>	43
<i>Tab. 34: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U51/120, 9.3.2011</i>	44
<i>Tab. 35: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U51/120, 16. 3. 2011</i>	44
<i>Tab. 36: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U51/120, 23. 3. 2011</i>	44
<i>Tab. 37: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U51/120, 30. 3. 2011</i>	45
<i>Tab. 38: Měření koncentrace oxidu uhličitého v učebně U51/120, 6. 4. 2011</i>	45

EVIDENČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Sigla (místo uložení bakalářské práce)	Ústřední knihovna UTB ve Zlíně
Název bakalářské práce	Monitorování oxidu uhličitého ve vybraných prostorech UTB ve Zlíně
Autor bakalářské práce	Monika Poláčková
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Marie Dvořáčková, Ph.D.
Vysoká škola	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická
Adresa vysoké školy	Náměstí T. G. Masaryka 5555, Zlín 760 01
Fakulta (adresa, pokud je jiná než adresa VŠ)	Náměstí T. G. Masaryka 275, Zlín 762 72
Katedra (adresa, pokud je jiná než adresa VŠ)	
Rok obhájení DP	2011
Počet stran	55
Počet svazků	3
Vybavení (obrázky, tabulky...)	9, 38
Klíčová slova	Oxid uhličitý, monitoring, koncentrace CO₂, vnitřní a vnější ovzduší