

Mikroklima ve veřejných budovách jako důvod instalace rekuperace

„Publikace byla zpracována za finanční podpory Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2011 – část A – Program EFEKT“

Zpracovatel: Energy Consulting Service, s.r.o.
kolektiv pod vedením Ing. Romana Šubrtů

Anotace:

Publikace se věnuje oxidu uhličitému (CO₂) ve vnitřním prostředí. Jsou v ní uvedeny právní normy, které nařizují větrání místností a jeho předepsanou intenzitu, dále obsahuje informace o oxidu uhličitém, jeho vlivu na zdraví, způsoby jeho měření a ukázkou praktických změřených koncentrací CO₂ v segmentu školství v závislosti na konkrétní budově, konkrétní místnosti a konkrétním provozu v ní. Dále nastiňuje možnosti snížení koncentrace CO₂ v interiéru.

Publikace je určena především pracovníkům veřejné správy, dále pak projektantům, odborným poradcům, stavebníkům i široké veřejnosti, která má zájem na zdravém vnitřním mikroklimatu.



OBSAH:

1	ÚVOD.....	3
2	OBECNĚ	4
3	CHARAKTERISTIKA OXIDU UHLIČITÉHO	6
3.1	Popis oxidu uhličitého.....	6
3.2	Použití oxidu uhličitého	7
3.3	Běžné koncentrace oxidu uhličitého	8
3.4	Následky zvýšené koncentrace oxidu uhličitého v interiéru.....	9
4	ZDROJE OXIDU UHLIČITÉHO V INTERIÉRU	10
5	PŘÍSTROJE K MĚŘENÍ OXIDU UHLIČITÉHO	14
5.1	Ruční přístroje	16
5.2	Pevná čidla v objektech.....	22
6	POSUZOVÁNÍ OXIDU UHLIČITÉHO V INTERIÉRU (dle platných předpisů v ČR) 26	
7	SNÍŽENÍ KONCENTRACE OXIDU UHLIČITÉHO V INTERIÉRU.....	28
8	MĚŘENÍ V JEDNOTLIVÝCH OBJEKTECH	34
8.1	Škola č. 1	34
8.2	Škola č. 2	38
8.3	Škola č. 3	42
8.4	Škola č. 4	46
8.5	Škola č. 5	49
8.6	Škola č. 6	53
8.7	Škola č. 7	57
8.8	Škola č. 8	61
8.9	Škola č. 9	65
8.10	Škola č. 10.....	69
8.11	Škola č. 11.....	73
8.12	Škola č. 12.....	76
8.13	Škola č. 13.....	80
8.14	Škola č. 14.....	84
8.15	Škola č. 15.....	88
8.16	Škola č. 16.....	92
8.17	Škola č. 17.....	96
9	VYHODNOCENÍ	99
10	ZÁVĚR	106
11	SEZNAM CITOVANÉ LITERATURY	107
12	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	109

1 ÚVOD

Vlivem činnosti lidstva a jeho potřebou pokrýt vzrůstající energetické nároky stoupá koncentrace oxidu uhličitého (CO_2) v exteriéru. Tento vzestup je však zcela zanedbatelný ve srovnání s tím, jak v posledních, řekněme, 20 letech stoupá koncentrace oxidu uhličitého v interiérech. S vývojem bydlení, změnou užívání objektů a používáním nových materiálů a výrobků se totiž neustále snižuje intenzita větrání místností. V době, kdy se užívalo lokální vytápění pevnými palivy, ať již dřevem či uhlím, byla intenzita větrání podstatně větší, až 10násobná výměna vzduchu v místnosti za hodinu. Později přechodem na ústřední vytápění případně etážové či akumulární se intenzita větrání snížila na 2 až 4násobek vzduchu v místnosti za hodinu. Pokud jsou v objektu vyměňována okna za nová, ať již plastová či dřevěná a objekt nemá spáry mezi konstrukcemi, klesá násobnost výměny vzduchu pod hodnoty 0,5násobek vzduchu v místnosti za hodinu (uvedené násobnosti výměny vzduchu jsou při běžném přetlaku vzduchu, nejedná se o hodnoty při přetlaku 50 Pa). Přitom ani 0,5násobná výměna vzduchu není obvykle schopná zabezpečit dostatečný přívod čerstvého vzduchu tak, aby byly dodrženy hygienické a stavební předpisy (viz kapitola 6), které stanovují, že koncentrace oxidu uhličitého (CO_2) ve vnitřním prostředí má být nižší než 1 000 ppm.

Přitom vyšší koncentrace CO_2 způsobuje nižší psychický výkon, klesá schopnost soustředění, učení, při vyšších koncentracích může docházet až k fyzickým projevům, jako je např. malátnost, bolest hlavy apod.

Z těchto důvodů je důležité věnovat se koncentraci CO_2 v ovzduší, zejména tam, kde je nutnost soustředění, jako např. ve školách. Vyšší koncentrací CO_2 ve vzduchu prokazatelně dochází k horšímu soustředění se a tím i k pomalejšímu učení.

2 OBECNĚ

V době energetické krize (v r. 1973) se začala snižovat propustnost vzduchu obvodovým pláštěm budovy, aby se snížily ztráty větráním. Zvýšení těsnosti obálky budovy vedlo k hromadění škodlivých látek v interiéru a tím ke snižování kvality vnitřního prostředí.

Pohoda vnitřního prostředí budov je v současné době jedním z nejdůležitějších faktorů při realizaci objektů. Lidé stráví většinu svého času v uzavřených objektech – městský člověk až 90 % času. Vnitřní prostředí proto ovlivňuje zdraví a pohodu každého z nás. Od kvality vnitřního prostředí se také odvíjí koncentrovanost a výkony lidí. Když se řekne pohoda vnitřního prostředí myslí se tím tepelně-vlhkostní, odérové, toxické, aerosolové, mikrobiální, ionizační, elektrostatické, elektromagnetické, elektroiontové, akustické a psychické mikroklima. Kvalita vnitřního prostředí začíná být čím dál více diskutovanějším tématem.

Vnitřní prostředí může obsahovat různé znečišťující látky – oxid uhličitý (zdrojem je především člověk), oxid uhelnatý (vzniká při nedokonalém spalování – krby, kamna na pevná paliva atd.), formaldehyd (zdrojem jsou stavební materiály v konstrukci budov a zařízení), VOC (těkavé organické látky – hlavním zdrojem je kouření, čisticí prostředky, oleje, nátěry, osvěžovače vzduchu apod.), oxidy dusíku (hlavním zdrojem v interiéru je zemní plyn spalovaný při vaření, vytápění), oxid siřičitý, azbest (používán v tepelných izolacích), radon, prach (minerální a biologický) a mikroorganismy. Přijatelná kvalita vzduchu musí být posouzena „nováčkem“ v místnosti (někým, kdo právě vstoupil do místnosti), protože lidský čich si rychle zvyká na odéry v místnosti. Lidé, kteří jsou v místnosti po nějakou dobu, jsou podstatně méně citliví na kontaminaci způsobenou odéry, než ti, kdo do místnosti vstoupí poprvé.

Hlavní marker pro posuzování odérového mikroklimatu je koncentrace oxidu uhličitého ve vzduchu. Jedním z největších zdrojů oxidu uhličitého je člověk. Objekty občanské výstavby postavené v současné době se již vybavují čidly na měření kvality vnitřního prostředí. Tato čidla většinou měří vnitřní teplotu, relativní vlhkost vzduchu a již zmiňovanou koncentraci oxidu uhličitého popř. těkavé organické látky (VOC). Dle koncentrace oxidu uhličitého v interiéru

pak dochází k výměně vzduchu buď otevřením oken, nebo zapnutím vzduchotechniky (u pasivních domů a nových budov občanské výstavby používanější řešení). Čidla jsou nastavena na určitou hodnotu koncentrace oxidu uhličitého a při dosažení této hodnoty se na čidle rozsvítí kontrolka nebo se automaticky sepne vzduchotechnika. Toto vybavení však u starších budov není, přitom jsou budovy rekonstruovány dle současných technických požadavků a možností. Pro větrání je zejména rozhodující zateplování (dochází k utěsňování spár v konstrukci, zejména v panelové výstavbě, v dřevostavbách či nástavbách) a výměna oken za nová s vzduchotěsným vyplněním napojovací spáry (spára mezi oknem a stěnou) a s minimální funkční spárou (spára mezi okenním rámem a okenním křídlem).

3 CHARAKTERISTIKA OXIDU UHLIČITÉHO

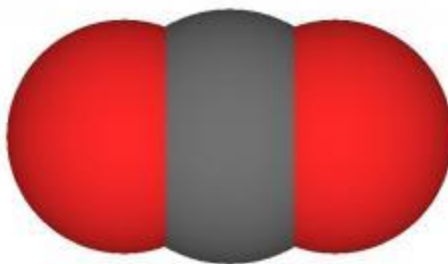
3.1 Popis oxidu uhličitého

Oxid uhličitý vzniká dokonalým spalováním uhlíku, při dýchání, kvašení, tlení, hoření. Je konečným produktem spalování každé organické látky. Oxid uhličitý je bezbarvý plyn, bez zápachu, rozpustný ve vodě, cca 1,5krát těžší než vzduch, nehoří a působí dusivě.

Při nadýchání většího množství působí štiplavě na sliznicích a vytváří kyselou chuť. To je způsobeno rozpouštěním oxidu uhličitého na vlhkých sliznicích a ve slinách za vzniku slabého roztoku kyseliny uhličitě. Při zchlazení na -78 °C přechází oxid uhličitý do tuhého skupenství a vzniká bílá tuhá látka, tzv. suchý led. Jako kapalný existuje jen za tlaku vyššího než cca 500 kPa (5násobek atmosférického tlaku).

Tabulka 1 Vlastnosti oxidu uhličitého

Vlastnosti oxidu uhličitého	
Molární hmotnost	44,0095 g/mol
Hustota	1,6 g/cm ³ (pevný), 1,98 kg/m ³ (plynný)
Kritická teplota	31 °C
Kritický tlak	7 390 kPa
Kritická hustota	0,468 g/cm ³
Teplota tání	-78 °C (za normálního tlaku sublimuje)
Teplota varu	-57 °C (pod zvýšeným tlakem)
Rozpustnost ve vodě	1,45 kg/m ³



Obrázek 1 Molekula oxidu uhličitého (dostupné z WWW: <http://www.osel.cz/index.php?clanek=1996>)

Jedná se o nejběžnější kontaminant vnitřního prostředí. V interiéru jsou vždy vyšší koncentrace než v exteriéru. Hlavním zdrojem oxidu uhličitého v interiéru je především člověk. Při dýchání dochází k výměně kyslíku a oxidu uhličitého (viz kapitola 4). Produkce oxidu uhličitého je přímo úměrná tělesné aktivitě.

Koncentrace oxidu uhličitého je udávána v ppm (parts per milion) nebo v % (někdy se udává i v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Jednotkou ppm se rozumí jedna částice dané substance pro 999 999 dalších částic, tedy jeden díl v milionu. Mezi jednotkou ppm, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a procentem (%) platí pro oxid uhličitý převodní vztah: $1\ 000\ \text{ppm} = 1\ 800\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} = 0,1\ \%$.

3.2 Použití oxidu uhličitého

Oxid uhličitý lze použít v kapalném nebo tuhém skupenství. V obou případech je využíván v potravinářském průmyslu jako chladiivo, zejména při přepravě mražených výrobků. Dále je využíván pro výrobu šumivých nápojů a sodové vody. Některými výrobci je oxid uhličitý přidáván do piva a šumivých vín. Další oblastí použití oxidu uhličitého je kypření těst, kterého se dosahuje buď využitím kvasnic vytvářejících oxid uhličitý biologicky, nebo kypřícími přísadami, které oxid uhličitý uvolňují, buď zahřátím, nebo působením kyseliny. Oxid uhličitý je také používán jako levný a nehořlavý stlačený plyn pro nafukování záchranných vest či člunů. Malé bombičky slouží jako zdroj hnacího plynu pro vzduchové pušky či zbraně na paintball a k domácí výrobě sifonu. Nehořlavost oxidu uhličitého je využívána v podobě hasicích přístrojů plněných kapalným oxidem uhličitým. Z důvodu velmi nízké ceny oxidu uhličitého se používá i jako ochranná atmosféra pro svařování kovů, i když nejsou sváry tak kvalitní jako v případě svařování v ochranné atmosféře vzácných plynů (helia či argonu). Kapalným oxidem uhličitým je dobré rozpouštědlo pro řadu organických látek a používá se např. k extrakci kofeinu

z kávy. Dále se oxid uhličitý někdy přidává na omezenou dobu (několik hodin) do atmosféry skleníků s cílem podpořit růst rostlin a především vyhubit škůdce jako jsou moly, svilušky a další, kterým zvýšená koncentrace oxidu uhličitého v ovzduší škodí. Suchý led (oxid uhličitý v tuhém skupenství) se využíval v divadlech a při hudebních představeních ke tvorbě zvláštních efektů. Po vložení do vody suchý led sublimuje a vznikající směs oxidu uhličitého a kondenzované vodní páry vytvoří efekt mlhy těžší než vzduch. Další uplatnění oxidu uhličitého můžeme nalézt v medicíně (stabilizace rovnováhy kyslíku a oxidu uhličitého v krvi) a průmyslových laserech. Oxid uhličitý se také používá při těžbě ropy, kdy je injektován buď přímo do vrtu, nebo do jeho blízkého okolí, kde jednak působí zvýšení tlaku a jednak se v surové ropě rozpouští a snižuje tak její viskozitu.

3.3 Běžné koncentrace oxidu uhličitého

V interiéru je limitní hodnota koncentrace oxidu uhličitého 1 000 ppm, zavedená Maxem Josephem von Pettenkoferem. Z této hodnoty bylo odvozeno minimální množství větracího vzduchu 25 m³/hod na osobu v interiéru. V ložnici běžných rozměrů (cca 15 – 16 m²) při dvou spících osobách je ráno běžně naměřena koncentrace oxidu uhličitého kolem 3 000 ppm. Vydechnutý vzduch dospělého člověka obsahuje průměrně okolo 35 000 – 50 000 ppm oxidu uhličitého.

Tabulka 2 Ustálený stav - hodnoty koncentrace oxidu uhličitého v místnosti jako funkce vnějšího vzduchu

Množství venkovního vzduchu dodávaného na osobu [m ³ /h na osobu]	Koncentrace oxidu uhličitého [ppm]
3,8	5 000
8,5	2 500
14,9	1 500
25,6	1 000

Nejvyšší koncentrace bývají ráno v pokojích určených ke spaní (v rodinných domech, hotelech a ubytovacích zařízeních), kdy jsou lidé v uzavřené místnosti a nevětrají. V ostatních objektech jsou koncentrace oxidu uhličitého závislé na obsazenosti lidmi. Čím více lidí se v objektu bude vyskytovat, tím více se bude

koncentrace oxidu uhličitého zvyšovat a tím více bude nutné větrat (koncentrace oxidu uhličitého se také přímo úměrně zvyšuje s tělesnou zátěží člověka).

Ve venkovním prostředí, kde je špatná kvalita vzduchu, se vyskytují koncentrace oxidu uhličitého běžně kolem 350 až 400 ppm, v centru měst kolem 450 ppm. V prostředí, kde je dobrá kvalita vzduchu, je koncentrace oxidu uhličitého do 350 ppm. U moře je koncentrace oxidu uhličitého 300 – 340 ppm.

3.4 Následky zvýšené koncentrace oxidu uhličitého v interiéru

Přípustná koncentrace oxidu uhličitého je 1 000 ppm v interiéru, tzn., pokud je koncentrace oxidu uhličitého do 1 000 ppm, je kvalita vnitřního vzduchu vyhovující. Při zvýšené koncentraci oxidu uhličitého v interiéru nad 1 000 ppm dochází obvykle k příznakům únavy či nesoustředěnosti osob se zde vyskytujících. Vzduch s koncentrací oxidu uhličitého nad 1 500 ppm v interiéru je považován za vzduch vydýchaný a tudíž znehodnocený. Bezpečná hranice koncentrace oxidu uhličitého, která nezpůsobuje člověku vážná zdravotní rizika je 5 000 ppm.

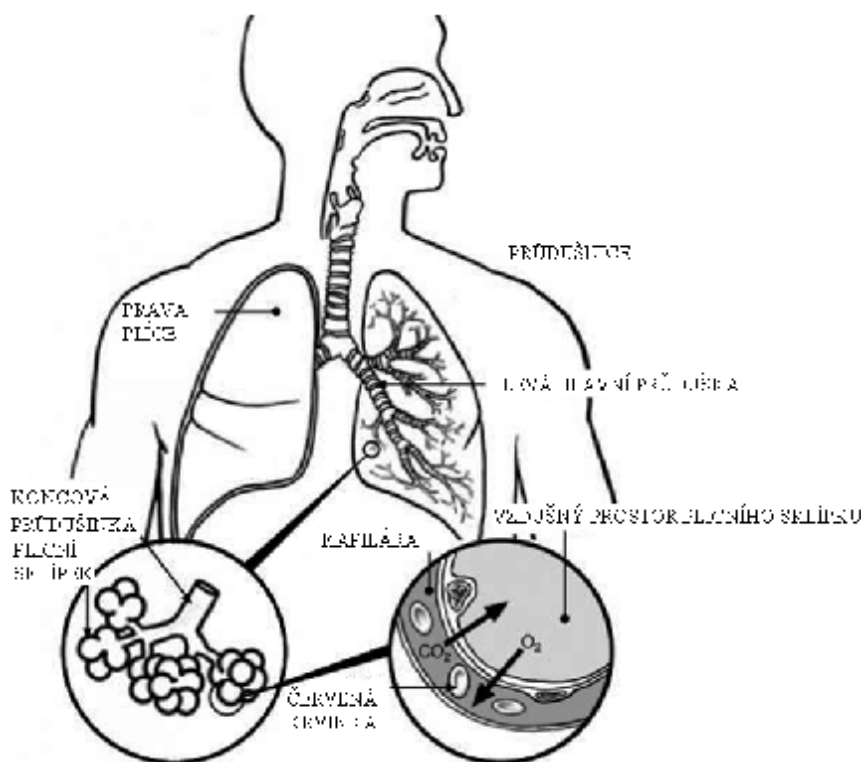
Z předcházejícího odstavce je jasné, že koncentrace oxidu uhličitého nad 1 000 ppm může způsobovat nesoustředěnost, únavu a s tím spojené nižší výkony lidí. Proto je problematika vnitřního prostředí velmi důležitá, měli bychom se jí více zabírat a dbát na kvalitu vnitřního prostředí.

4 ZDROJE OXIDU UHLIČITÉHO V INTERIÉRU

Zdrojů oxidu uhličitého v interiéru může být několik v závislosti na tom, o jaký objekt se jedná a jaký je v něm provoz. Všechny objekty bez rozdílu provozu mají jeden velký zdroj oxidu uhličitého, kterým je člověk. Dalšími zdroji mohou být jiné živé organizmy, plynové spotřebiče či jiná zařízení, v nichž se děje spalování.

Člověk, stejně jako jiné živé organizmy vylučuje oxid uhličitý při dýchání. Dospělý člověk za normálních okolností přijímá cca 250 ml kyslíku a vydává cca 200 ml oxidu uhličitého za 1 minutu (v klidu). Transport kyslíku z okolního prostředí se na místo jeho spotřeby uskutečňuje ve čtyřech na sebe navazujících dějích:

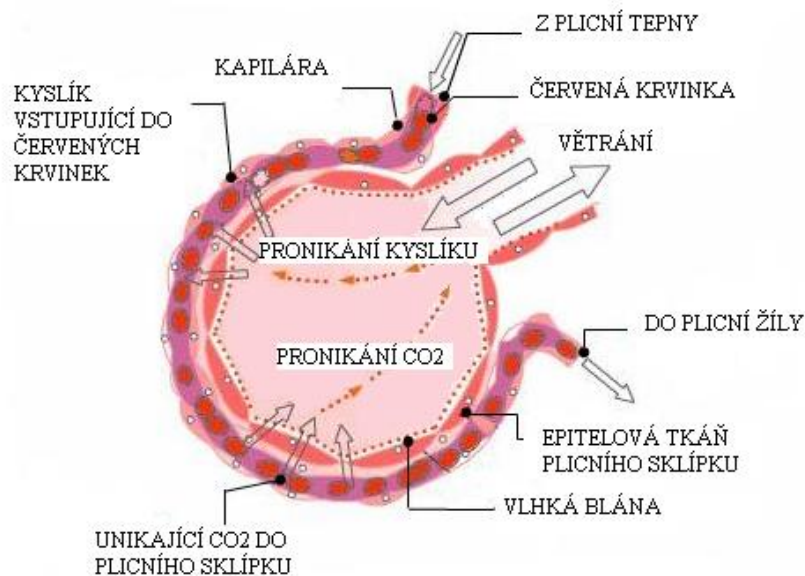
1. transport z prostředí do plicních sklípků, zajištěný ventilací plic;
2. difuze z plicních sklípků do kapilární krve ve vlásečnicích kolem plicních sklípků;
3. transport krevním oběhem do vlásečnic ve tkáních;
4. difuze z tkáňových kapilár do okolních buněk.



Obrázek 2 Transport kyslíku a oxidu uhličitého (Wohlschlägerová, 2010)

Transport oxidu uhličitého probíhá analogicky ve čtyřech za sebou jdoucích dějích, které však postupují v opačném pořadí:

1. difuze z okolních buněk do tkáňových kapilár;
2. transport krevním oběhem z vlásečnic ve tkáních;
3. difuze z kapilární krve ve vlásečnicích do plicních sklípků;
4. transport z plicních sklípků do prostředí.



Obrázek 3 Schéma výměny kyslíku a oxidu uhličitého v plicním sklípku (Wohlschlägerová, 2010)

Na obrázku 3 je nakreslen plicní sklípek, ve kterém dochází k výměně kyslíku s oxidem uhličitým. Vzduch v plicních sklípcích je od krve oddělen jen velmi tenkým epitelem sklípků a kapilární stěnou. Díky tomu je umožněno snadné pronikání kyslíku i oxidu uhličitého. Plocha, na které dochází k výměně plynů mezi krví a vzduchem je 55 m^2 a za 24 hodin se na ní vymění okolo 10 000 litrů vzduchu.

Tabulka 3 Procentuelní složení atmosférického, alveolárního a vydechovaného vzduchu

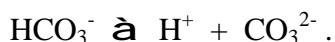
Vzduch	Kyslík [%]	Oxid uhličitý [%]	Dusík [%]
Atmosférický	20,92	0,04	79,04
Alveolární (v plicním sklípku)	14,1	5,6	79,7
Vydechovaný	16,3	4,0	79,3

Přenos kyslíku krví je umožněn červeným krevním barvivem – hemoglobinem. Oxid uhličitý v krvi je chemicky vázán na alkálie, popř. bílkoviny.

Jak je možné, že vdechovaný vzduch má 0,04 % oxidu uhličitého a vydechovaný vzduch člověkem má 4 % oxidu uhličitého? Je to tím, že člověk přijímá oxid uhličitý dýcháním, ale vzniká i zpracováním potravy. Oxid uhličitý se váže na hemoglobin, je volně rozpuštěn v plazmě a dále je v těle ve formě hydrogenuhličitanového aniontu. Z toho plyne, že hlavním nositelem oxidu uhličitého v těle je krev (na hemoglobin se váže oxid uhličitý) a dalším nositelem oxidu uhličitého je krevní plazma. Oxid uhličitý je v těle zastoupen především v kyselině uhličité (H_2CO_3), která se rozkládá na vodík (H^+) a hydrogenuhličitan (HCO_3^-):



dále je oxid uhličitý v těle zastoupen v hydrogenuhličitanu, který se při disociaci (rozkladu) štěpí na vodík (H^+) a uhličitanový ion (CO_3^{2-}):



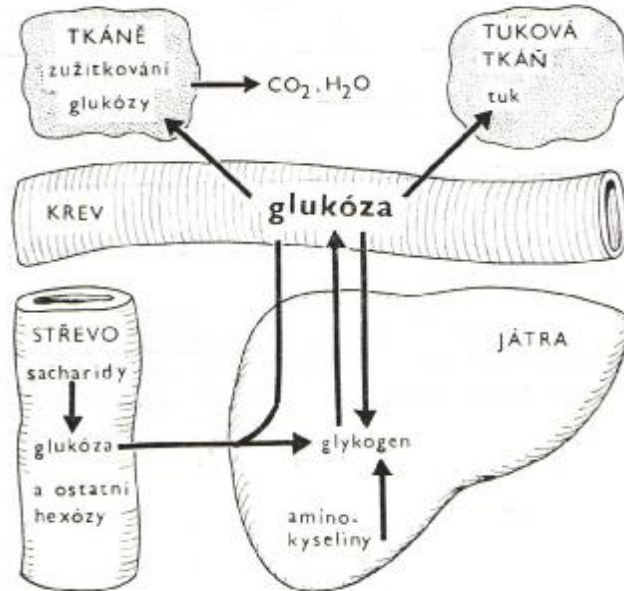
Sacharidy jsou nejpohotovějším a nejdůležitějším zdrojem energie. Vstřebávají se rozštěpené na glukózu, fruktózu a galaktózu v tenkém střevě do krve a vrátnicovým oběhem se dostávají do jater. Vstřebané sacharidy jsou zadržovány v játrech a postupně uvolňovány. V játrech se z nich tvoří živočišný škrob – glykogen. Množství zásobního glykogenu je 30 až 400 g. Množství kolující glukózy v krvi je stálé – 80 až 120 mg/100 cm³. Zásoba sacharidů je z hlediska potřeb organismu poměrně malá. Proto se v těle podle potřeby vytváří z bílkovin i z tuků. Játra jsou ústředním orgánem pro hospodaření se sacharidy. Sacharidy přijaté v potravě se ukládají v játrech do zásoby a podle potřeby se štěpí. Do krevního oběhu se uvolňuje glukóza a předává se tkáním (obrázek 4).

Nejvydatnější energetickou rezervou organismu jsou tuky. Vstřebaný tuk tvoří v těle stavební součást všech buněk, hlavně tvoří tuk zásobní. Zásobní tuk se podle potřeby neustále vyměňuje a v podobě kapének přichází do krve a odtud do jater. Játra obsahují hojně lipázy, která štěpí tuk na glycerol a mastné kyseliny. Glycerol je využit jako zdroj energie nebo k přeměně na glykogen. Koncentrace tuků v krvi kolísá mezi 360 až 820 mg / 100 cm³ (obrázek 5).

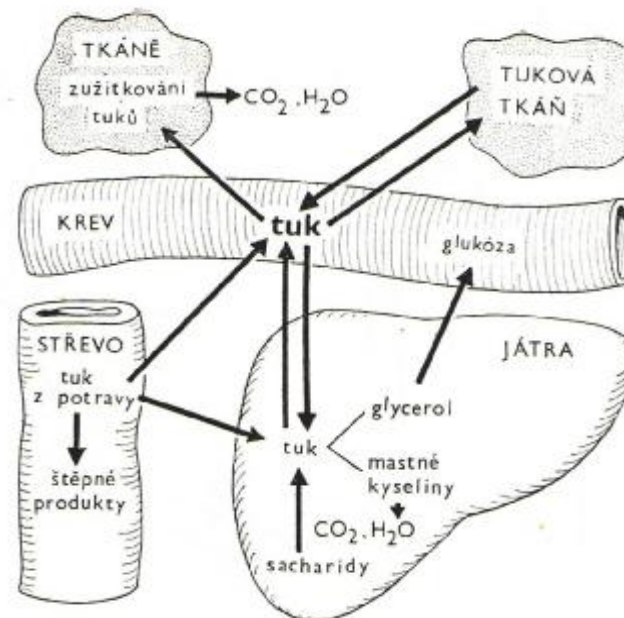
Dalším orgánem, ve kterém může vznikat oxid uhličitý, je tlusté střevo. V tlustém střevě je střevní mikroflóra (je příčinou plynatosti), ve které žijí dva typy bakterií – kvasné a hnilobné. Z hlediska oxidu uhličitého nás hnilobné bakterie

nezajímají. Naopak kvasné bakterie nás zajímají, protože produkují oxid uhličitý, methan, kyselinu mléčnou a vyvolávají kvašení cukrů.

U těhotných žen je z plodu odváděn oxid uhličitý a odpadní látky placentou. Placenta zajišťuje spojení plodu s matkou. Z placenty jde oxid uhličitý do oběhu matky a je likvidován v jejích plicích.



Obrázek 4 Schéma transportu a přeměny sacharidů (Wohlschlägerová, 2010)



Obrázek 5 Schéma transportu a přeměny tuků (Wohlschlägerová, 2010)

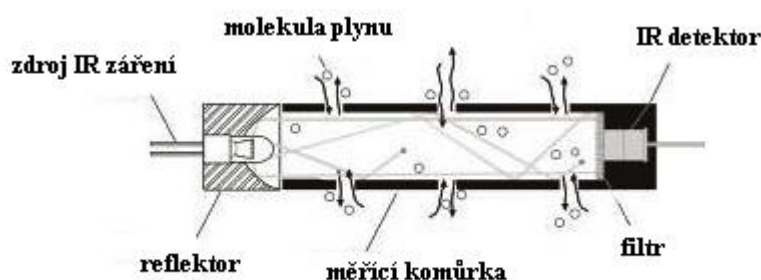
5 PŘÍSTROJE K MĚŘENÍ OXIDU UHLIČITÉHO

Lze předpokládat, že do budoucna bude vyšší poptávka po kvalitě ovzduší, zejména po zjišťování koncentrace oxidu uhličitého. K tomuto existuje široká škála testerů, ať již pevně umístěných či ručních.

Pevná čidla jsou instalována v objektu na vhodném místě na stěně v určité výšce (dle instrukcí výrobce a provozu budovy). Většinou jsou v objektu instalovány z důvodu řízeného větrání pomocí vzduchotechniky. Ruční čidla slouží k přeměření objektu, zda nedochází k znečištění vzduchu oxidem uhličitým popř. jinými škodlivými látkami.

Přístroje pro měření koncentrace oxidu uhličitého mohou pracovat na různých principech. Nejčastěji čidla pracují na základě absorpce infračerveného záření neboli NDIR (Non-Dispersive InfraRed), dále mohou čidla pracovat na elektroakustickém principu nebo na elektrochemickém principu. Každý z těchto principů má své výhody a nevýhody.

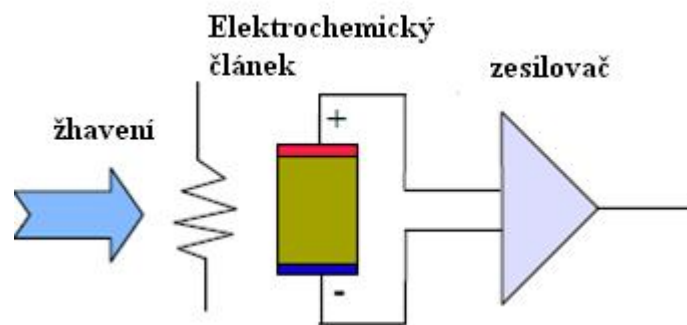
Čidla NDIR pracují na principu měření útlumu infračerveného záření (o specifické vlnové délce) ve vzduchu. Čidla se skládají ze zdroje infračerveného záření, světlovodná trubice a infračerveného detektoru s příslušným filtrem. Signál z infračerveného detektoru se dále zesiluje a pak se pomocí další elektroniky vyhodnocuje útlum záření a na tomto základě se vypočítá aktuální koncentrace oxidu uhličitého ve vzduchu. Tato čidla jsou obecně přesnější, dlouhodoběji stabilnější, měří koncentraci oxidu uhličitého již od nulové hodnoty a mohou měřit i vysoké koncentrace oxidu uhličitého.



Obrázek 6 Čidla pracující na principu NDIR – schéma (Wohlschlägerová, 2010)

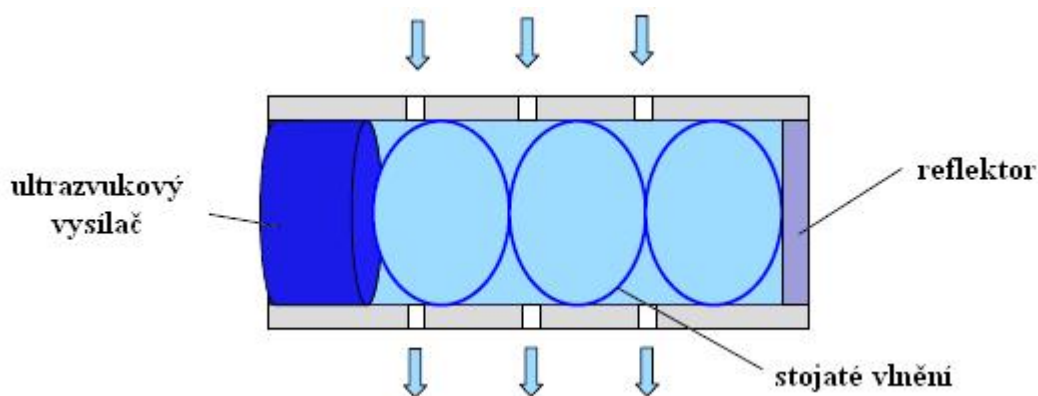
Elektrochemická čidla se obvykle skládají z elektrochemického článku s tuhým elektrolytem, který je přidavným žhavením vyhříván na pracovní teplotu. Na elektrodách článku dochází k chemickým reakcím, tím vzniká elektromotorická síla.

Měřením této elektromotorické síly pomocí speciální elektroniky se zjišťuje koncentrace oxidu uhličitého ve vzduchu. Největší předností těchto čidel je vysoká citlivost a vynikající selektivita (citlivost výběru) na oxid uhličitý. Tato čidla jsou obvykle levnější než čidla NDIR, mají však nižší přesnost. Ta je ale pro běžné použití dostatečná. Tato čidla pracují od hodnot 400 ppm, což je vzhledem ke koncentraci oxidu uhličitého ve venkovním vzduchu, která je 360 – 400 ppm vyhovující. V čidlech obvykle bývá autokalibrační funkce, která zajišťuje automatickou periodickou recalibraci čidla na čerstvý vzduch. Tím se eliminuje stárnutí čidla a je tak zajištěna dlouhodobá stabilita parametrů. Nebezpečí recalibrace je v tom, že v době jejího provádění musí být vzduch o kvalitativně známých parametrech.



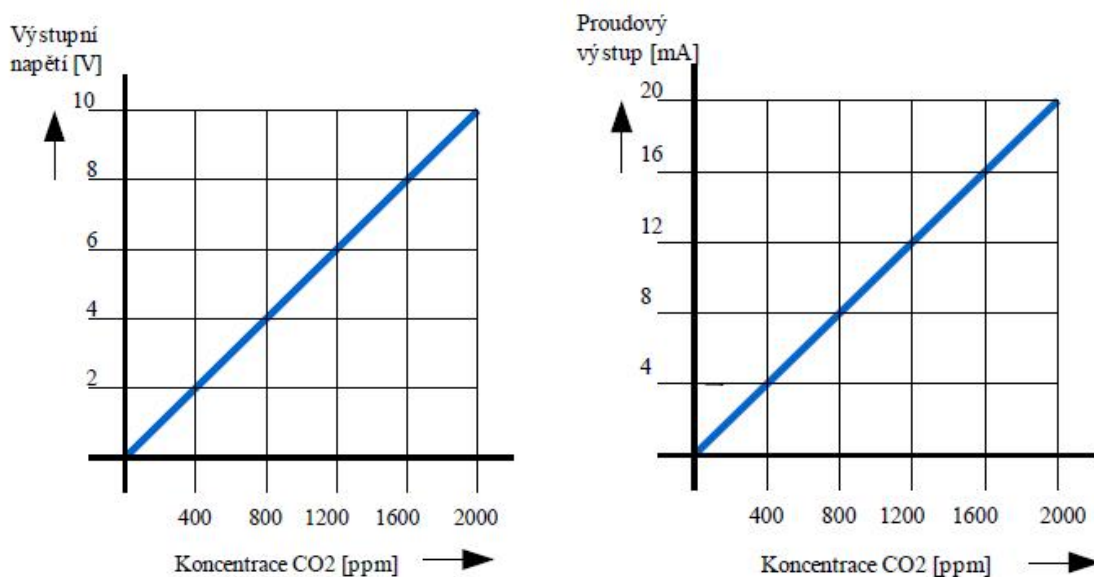
Obrázek 7 Schéma elektrochemického čidla (dostupné z WWW: http://www.protronix.cz/data/cz_files/mereni_CO220081121121755.pdf)

Posledním typem jsou elektroakustická čidla, která pracují na principu vyhodnocování změn kmitočtu ultrazvuku v mechanickém rezonátoru. Pomocí elektroniky se vyhodnotí změna kmitočtu ultrazvukových vln a na základě závislosti změny kmitočtu na koncentraci oxidu uhličitého ve vzduchu se určuje aktuální koncentrace. Největší předností těchto čidel je dlouhá stabilita bez nutnosti recalibrace.



Obrázek 8 Princip elektroakustického čidla (dostupné z WWW: http://www.protronix.cz/data/cz_files/mereni_CO220081121121755.pdf)

Výstupy čidel všech typů mají obvykle spojitý napěťový výstup (0 – 10 V) nebo proudový (0 – 20 / 4 – 20 mA), pomocí kterého předávají informaci o hodnotě koncentrace oxidu uhličitého ve vzduchu nadřízenému ventilačnímu systému.



Obrázek 9 Napěťový výstup 0-10V a proudový výstup 0-20mA (dostupné z WWW: http://www.protronix.cz/data/cz_files/mereni_CO220081121121755.pdf)

5.1 Ruční přístroje

Ruční čidla slouží ke kontrolnímu měření kvality vzduchu v objektu. Přístroj se skládá z čidla a z těla přístroje, který zaznamenává hodnoty koncentrace oxidu uhličitého. Součástí některých přístrojů může být i pevně nainstalované čidlo, častější je samostatný přístroj a k tomu možnost si přikoupit čidlo dle potřeby. Tyto

přístroje mají výhodu v tom, že na ně lze připojit čidla, která měří např. VOC, teplotu, relativní vlhkost, rychlost vzduchu, tlak apod.

V tabulce 5 jsou uvedena některá z čidel, která jsou v tomto okamžiku na trhu. Čidla jsou porovnávána podle počtu možných připojení čidel, typu senzoru, kterým je snímána koncentrace oxidu uhličitého, podle přesnosti čidla, rozsahu měření koncentrace oxidu uhličitého, podle doby, po které je nutné čidlo recalibrovat a v neposlední řadě podle ceny. V tabulce jsou zaznamenány i rozměry a hmotnost přístroje, které nejsou při výběru čidla tak podstatné. Z tabulky je vidět, že většina čidel se v současné době vyrábí s měřením koncentrace oxidu uhličitého na principu NDIR – měření útlumu infračerveného záření. Je to především z důvodu přesnosti a dlouhodobé stability čidla. Některé z těchto uvedených přístrojů slouží pouze pro měření koncentrace oxidu uhličitého popř. teploty a relativní vlhkosti. Není možné k nim připojit další čidla.

Asi nejznámější firmou u nás z hlediska prodeje měřících přístrojů a čidel jsou firmy ALMEMO a TESTO. Firma TESTO nabízí větší množství měřících přístrojů. Všechny měřící přístroje typu 435 vypadají na pohled stejně, ale v několika maličkostech se liší (viz tabulka 4). Další firmou prodávající u nás přenosná čidla na měření koncentrace oxidu uhličitého je např. firma Protronix (Datalogger CO2) nebo firma Kimo (AMI300, AQ200, AQ100E).

Tabulka 4 Odlišnosti měřících přístrojů TESTO 435

Testo – typ / funkce	435-1	435-2	435-3	435-4
Integrovaný snímač diferenčního tlaku	-	-	X	X
Rozšířená funkce přístroje komunikace s PC	-	X	-	X



Obrázek 10 Ukázka měřících přístrojů a čidel na měření kvality vzduchu (Wohlschlägerová, 2010)

Tabulka 5 Porovnání měřících přístrojů s čidly na měření koncentrace oxidu uhličitého podle výrobců

Firma	TESTO					
Typ	Testo 535	Testo 435-1	Testo 435-2	Testo 435-3	Testo 435-4	Testo 400
Hmotnost [g]	300	428	450	450	450	500
Rozměry [mm]	190 x 57 x 42	74 x 220 x 46	74 x 220 x 46	74 x 225 x 46	74 x 225 x 46	80 x 240 x 45
Displej	2řádkový LCD	2řádkový LCD	2řádkový LCD	2řádkový LCD	2řádkový LCD	4řádkový LCD
Počet vstupů	0	(3 radiové sondy)	(3 radiové sondy)	(3 radiové sondy)	(3 radiové sondy)	2 (3 radiové sondy)
Typ čidla	Napevno připojená sonda	IAQ	IAQ	IAQ	IAQ	Sonda CO2
Senzor	Dvoukanálový infračervený	NDIR	NDIR	NDIR	NDIR	NDIR
Rozsah čidla [ppm]	0 – 9 999	0 – 10 000	0 – 10 000	0 – 10 000	0 – 10 000	0 – 10 000
Přesnost	±50 ±2% z nam. h. (do 5000), ±100 ±3% z nam. h. (nad 5000)	±50 ±2% z nam. h. (do 5000), ±100 ±3% z nam. h. (nad 5000)	±50 ±2% z nam. h. (do 5000), ±100 ±3% z nam. h. (nad 5000)	±50 ±2% z nam. h. (do 5000), ±100 ±3% z nam. h. (nad 5000)	±50 ±2% z nam. h. (do 5000), ±100 ±3% z nam. h. (nad 5000)	±50 ±2% z nam. h. (do 5000), ±100 ±3% z nam. h. (nad 5000)
Kalibrace	Doporučují 1 za rok	Doporučují 1 za rok	Doporučují 1 za rok	Doporučují 1 za rok	Doporučují 1 za rok	Doporučují 1 za rok

Tabulka 5 (pokračování) Porovnání měřících přístrojů s čidly na měření koncentrace oxidu uhličitého podle výrobců

Firma	AHLBORN				Extech instruments		Cemtrex	MicroDAQ
Typ	ALMEMO 2690 - 8		ALMEMO 2690 - 9		CO250	Easy View™ EA80	CDD 300	Taleire 7001
Hmotnost [g]	570		550		190	235	Nezjištěno	Nezjištěno
Rozměry [mm]	107 x 209 x 54		109 x 109 x 44		70 x 200 x 57	72 x 135 x 31	Nezjištěno	Nezjištěno
Displej	Grafický, 16 řádků		Grafický, 16 řádků		LCD displej (triple)	LCD displej (triple)	Nezjištěno	Nezjištěno
Počet vstupů	5		9		0	0	Nezjištěno	Nezjištěno
Typ čidla	FYA600CO2 – krabička	FYA600CO2H - tyčka	FYA600CO2 – krabička	FYA600CO2H - tyčka	Napevno sonda CO ₂	Napevno sonda CO ₂	-	-
Senzor	IR-optický	IR-optický	IR-optický	IR-optický	NDIR	NDIR	NDIR	NDIR
Rozsah čidla [ppm]	Možno zvolit (0 – 2 500, 5 000, 10 000, 25 000)	0 – 10 000	Možno zvolit (0 – 2 500, 5 000, 10 000, 25 000)	0 – 10 000	0 – 5000 ppm	0 – 6000 ppm	0 – 2 000 ppm	0 – 10 000 ppm
Přesnost	± 2% z rozsahu	±50 ±2% z nam. h. (do 5000), ±100 ±3% z nam. h. (nad 5000)	± 2% z rozsahu	±50 ±2% z nam. h. (do 5000), ±100 ±3% z nam. h. (nad 5000)	0-5000 - ±50ppm ±5% 5000-9999 - nespecifikováno	± 3 % nebo ± 50 ppm	± 50 ppm	± 50 ppm nebo 5% z hodnoty
Kalibrace	po 2 letech	po 2 letech	po 2 letech	po 2 letech	12 měsíců	12 měsíců	Nevyžaduje	12 měsíců

Tabulka 5 (pokračování) Porovnání měřících přístrojů s čidly na měření koncentrace oxidu uhličitého podle výrobců

Firma	Kimo			Voltcraft	Protronix
Typ	AMI 300	AQ200	AQ100E (nemá paměť a komunikaci s PC oproti AQ200)	CM100	Data logger CO2
Hmotnost [g]	380	340	190	312	600
Rozměry [mm]	85,4 x 172 x 57,1	80,8 x 161,9 x 57,4	70,6 x 147,7 x 34,7	68 x 173 x 42	100 x 193 x 60
Displej	Grafický 320 x 240 pixelů (70 x 52 mm)	Grafický 128 x 128 bodů (50 x 54 mm)	2řádkový LCD	2řádkový LCD	2řádkový LCD
Počet vstupů	2 (při koupi nástavce 4)	2 (při koupi nástavce 4)	Napevno sonda CO2	Napevno sonda CO2	Vestavěné čidlo
Typ čidla	SCO2T	SCO2T	SCO2T	-	-
Senzor	NDIR	NDIR	NDIR	NDIR	NDIR
Rozsah čidla [ppm]	0 – 5 000	0 – 5 000	0 – 5 000	0 – 4 000	0 – 5 000
Přesnost	± 50 nebo 3% čtené hodnoty	± 50 nebo 3% čtené hodnoty	± 50 nebo 3% čtené hodnoty	0 až 1000: ±40 ppm > 1000 - 3000 ppm: ± 5% z nam.h., > 3000 - 4000 ppm: ± 250 ppm	± 50 (při teplotě 25°C)
Kalibrace	Jednou za 2 roky**	Jednou za 2 roky**	Jednou za 2 roky**	Nezjištěno	Není třeba kalibrovat

Vysvětlivky k tabulce:

** nutnost recalibrace výrobce přímo nestanovuje, záleží na využívání přístroje, dle informací prodejce je doporučováno přístroj kalibrovat jednou za 2 roky.

5.2 Pevná čidla v objektech

Pevná čidla pracují na stejných principech jako čidla přenosná (většinou pracují na principu NDIR). Na rozdíl od přenosných čidel jsou napevno instalovány v interiéru, kde sledují kvalitu vnitřního vzduchu (ve velké většině případů sledují teplotu, relativní vlhkost, koncentraci oxidu uhličitého a těkavých organických látek). Často bývají napojeny na vzduchotechniku, která je jimi řízena. Dochází tak ke zlepšení kvality vnitřního vzduchu a spotřeby energie (regulace dle potřeby a kvality vzduchu). Při zaznamenání vysoké koncentrace oxidu uhličitého (podle koncentrace oxidu uhličitého řídí množství přívodního vzduchu) čidly se sepne vzduchotechnika, popř. jedná-li se o inteligentní budovu a okna jsou na systém napojena, otevřou se okna. Čidla by se měla umisťovat dle pokynů výrobce, aby nedocházelo ke zkreslení hodnot. Například v technických podkladech čidel Siemens je uvedeno, že čidla by měla být umístěna v místnosti, která je větraná. Vyhnout bychom se měli umisťování do výklenků, polic, za závěsy a blízko zdrojů tepla.

Je velice důležité se o větrací systémy starat a udržovat je. Bylo zjištěno, že množství škodlivých látek ze špatně udržovaných větracích systémů bylo až 30krát horší v porovnání s těmi nejlépe udržovanými větracími systémy. Problémům lze předejít vhodným výběrem materiálů a správnou údržbou systémů.

V následující tabulce jsou porovnána mezi sebou některá pevná čidla od několika výrobců. Opět je na trhu mnoho výrobců a mnoho typů čidel.

V administrativních budovách, v knihovnách, hotelech a bankách jsou většinou čidla napojena do centrální místnosti, kde se zaznamenávají data do softwaru a podle kterých se pak dále řídí větrání v objektu. Nevýhodou jsou velké investiční náklady. Existují i kanálová čidla, která se instalují do potrubí.

Tabulka 6 Někteří z výrobců kanálových čidel na měření koncentrace oxidu uhličitého

Výrobce	Siemens		Protronix
Typ čidla	QPM21...	QPM21...D	AS CO2 GD PROTRONIX
Rozsah [ppm]	0 - 2 000	0 – 2 000	0 – 2 000
Princip měření	NDIR	NDIR	NDIR



Obrázek 11 Prostorové čidlo ZG 106 od firmy Protronix (dostupné z WWW: <http://www.protronix.cz/cz/produkty/katalog.php?prod=zg%20106>)



Obrázek 12 Ukázky kanálových čidel firmy Protronix a Siemens (Wohlschlägerová, 2010)

Tabulka 7 Přehled a porovnání pevných čidel různých výrobců

Výrobce	Protronix			Siemens		Yamatake
Typ	ASCO2-G (GR)	ZG106	AS 10 - CO2	QPA20...	QPA63	CY7101A1000
Rozměry [mm]	125 x 83 x 37	165 x 81 x 25	71 x 71 x 26	90 x 100 x 36	90 x 100 x 42	90 x 90 x 45,5
Rozsah měření CO ₂ [ppm]	0 – 2000	0 – 3000	400 – 5000	0 – 2000	0 - 2000	400 - 2000
Princip měření CO ₂	NDIR	NDIR	Elektrochemický princip	NDIR	Selektivní fotoakustické čidlo	Pomocí tuhého elektrolytu
Přesnost (ppm)	± 200 ppm (10% z hodnoty)	± 50 nebo 5% čtené hodnoty	400 – 2000 - ± 200 ppm, 2000 – 5000 - ± 250 ppm	± 50 ppm + 2% z měřené hodnoty	± 100 ppm	Nezjištěno
Kalibrace	Nepotřebuje	po 12 měsících	3 roky (vestavěná autokalibrační funkce)	Bez kalibrace 8 let	Bezúdržbová	Kalibruje automaticky s mikropočítačem

Tabulka 7 (pokračování) Přehled a porovnání pevných čidel různých výrobců

Výrobce	Domat Control system					E+E elektronik	Voltcraft
Typ	RCO2 (pouze CO2)	SCR 100	RLQ-CO2 (CO2 a VOC)	RTM-CO2 (CO2 a teplota)	RFF-CO2 (CO2 a vlhkost)	EE80	CO10
Rozměry [mm]	Nezjištěno	84 x 116 x 24	Nezjištěno	Nezjištěno	Nezjištěno	85 x 100 x 26	123 x 91 x 45
Rozsah měření CO2 [ppm]	0 - 2000	0 - 2000	0 - 2000	0 - 2000	0 - 2000	0 - 2000 0 - 5000	0 - 3000
Princip měření CO2	NDIR	NDIR	NDIR	NDIR	NDIR	NDIR	NDIR
Přesnost [ppm]	Nezjištěno	± 1% z rozsahu měření ± 5% naměřené hodnoty	Nezjištěno	Nezjištěno	Nezjištěno	0-2000 ppm - ± 50 ppm + 2% z měřené hodnoty; 0-5000 ppm - ± 50 ppm + 3% z měřené hodnoty	± 70 ppm nebo ± 5% zobrazení
Kalibrace	Nezjištěno	Automatický kalibrace na pozadí	Nezjištěno	Nezjištěno	Nezjištěno	Automatická kalibrace	Nezjištěno

6 POSUZOVÁNÍ OXIDU UHLIČITÉHO V INTERIÉRU (dle platných předpisů v ČR)

V nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, je uvedeno minimální množství přiváděného čerstvého vzduchu takto:

Minimální množství venkovního vzduchu přiváděného na pracoviště musí být:

a) 50 m³/h na zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do tříd I nebo IIa podle přílohy č. 1 k tomuto nařízení, části A, tabulky č. 1,

b) 70 m³/h na zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do tříd IIb, IIIa nebo IIIb podle přílohy č. 1 k tomuto nařízení, části A, tabulky č. 1,

c) 90 m³/h na zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do tříd IVa, IVb nebo V podle přílohy č. 1 k tomuto nařízení, části A, tabulky č. 1.

Dále vyhláška uvádí zvýšení těchto požadavků ve specifických případech, minimální, maximální a optimální teploty v pracovním prostředí, relativní vlhkost a rychlost proudění vzduchu. Maximální přípustná koncentrace oxidu uhličitého v interiéru v tomto nařízení zmíněna není.

Ve vyhlášce 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, se obecně hovoří o tom, že stavba musí být navržena a provedena tak, aby neohrožovala život a zdraví osob nebo zvířat. Opět se zde hovoří o minimální výměně vzduchu v době pobytu lidí, která je uváděna 25 m³/hod na osobu nebo výměna vzduchu v místnosti nejméně jedenkrát za dvě hodiny. V této vyhlášce je zmíněná maximální přípustná koncentrace oxidu uhličitého 1 000 ppm, která slouží jako ukazatel intenzity a kvality vzduchu. Všechny uvedené hodnoty, ať již minimálního množství vzduchu nebo maximální koncentrace oxidu uhličitého platí pro všechny druhy staveb. Veškeré hodnoty jsou zmíněny na základě výplně otvorů v §26.

V příloze 3 vyhlášky č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých je stanoveno množství čerstvého přiváděného vzduchu, viz tabulka 8 :

Tabulka 8 Množství přiváděného vzduchu dle typu prostoru

Typ prostoru	Množství vzduchu [m ³ /hod]
Učebny	20-30 na 1 žáka
Tělocvičny	20-90 na 1 žáka*
Šatny	20 na 1 žáka
Umývárny	30 na 1 umývadlo
Sprchy	150-200 na 1 sprchu
Záchody	50 na 1 kabinu, 25 na 1 pisoár

* s ohledem na konkrétní využití (dle druhu prováděného cvičení) a kapacitu tělocvičny

V zákonu č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví je uvedeno, že musí být splněny mikroklimatické podmínky na základních, středních, předškolních a školských zařízeních s výjimkou školní knihovny, pedagogicko-psychologické poradny a sociálně výchovných zařízení. Dále jsou provozovatelé povinni zajistit vnitřní prostředí pobytových místností v těchto stavbách tak, aby odpovídaly hygienickým limitům chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů, upravených prováděcími právními předpisy.

V aktuální ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – část 2: Požadavky jsou stanoveny doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduch $n_{50,N}$ takto:

Tabulka 9 Množství přiváděného vzduchu dle typu prostoru

Větrání v budově	Doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu $n_{50,N}$ [h ⁻¹]	
	Úroveň I	Úroveň II
Přirozené nebo kombinované	4,5	3,0
Nucené	1,5	1,2
Nucené se zpětným získáváním tepla	1,0	0,8
Nucené se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění (pasivní domy)	0,6	0,4

Tyto hodnoty jsou doporučeny proto, aby při větrném počasí nedocházelo k nadměrnému provětrávání místností. Tento požadavek se netýká hygieny prostředí, které musí být řešeno jiným způsobem. Např. měření školy 3, třída C je patrné, že i po celou dobu výuky otevřená okna nejsou zárukou splnění hygienických limitů.

7 SNÍŽENÍ KONCENTRACE OXIDU UHLIČITÉHO V INTERIÉRU

Nejjednodušším způsobem snížení koncentrace CO₂ v ovzduší je přirozené větrání, kdy se vzduch s vyšším obsahem CO₂ z interiéru odvádí ven a místo něj je přiváděn vzduch s nižší koncentrací CO₂. Zde je nutné poznamenat, že vlivem činnosti člověka dochází k postupnému zvyšování koncentrace CO₂ v exteriéru a může nastat i mezní okamžitá situace, kdy bude v daném okamžiku v exteriéru vyšší koncentrace CO₂ než v interiéru (např. výrazně zvýšený provoz v okolí objektu apod.). Při netěsných oknech a dostatečném tlakovém rozdílu bylo postačující větrání infiltrací v oknech. Při větší koncentraci lidí v místnosti lze použít přirozené větrání okny. První případ má nevýhodu v tom, že se jedná o neřízené větrání – není možné regulovat podle okamžité potřeby a okamžité koncentrace škodlivých látek v interiéru. Druhé řešení je vhodnější, i když skýtá nebezpečí, že bude docházet k subjektivnímu podhodnocení potřeby větrání. A jak již bylo uvedeno výše, lidský organismus si do určité míry může zvyknout na horší prostředí, které následně nevnímá, i když ovlivňuje jeho výkonnost. Obě zmíněná řešení mají jednu společnou nevýhodu, kterou je, že spolu s odváděným vzduchem se z budovy v zimním období odvádí i teplo, které je nutné následně doplnit vytápěcím systémem.

Subjektivní řízení větrání lze odstranit instalací nuceného větrání, nejlépe řízeného čidlem CO₂. Energetickou účinnost pak lze zvýšit instalací tzv. rekuperace, tedy zařízením, v němž odváděný vzduch předává tepelnou energii čerstvému přiváděnému vzduchu (v budově s chlazením může rekuperace v letním období sloužit i opačně, a sice že odváděný vzduch bude ochlazovat přiváděný).

V praxi lze snižovat koncentraci CO₂ i použitím rostlin či řas v interiéru, toto řešení je však zpravidla pro běžné budovy nevhodné.

Nucené větrání je stabilní, účinné, lze je opatřit prachovými filtry, nedochází k průvanu. Při řízeném větrání na základě čidel koncentrace CO₂ (nastavení max. koncentrace oxidu uhličitého na 1 000 ppm) je dodáván čerstvý vzduch vždy, když je potřeba, naopak v době, kdy to není nutné (prázdná místnost apod.), nedochází k větrání a tím plýtvání energií.

Rekuperace neboli zpětné získávání tepla je proces, kdy vnitřní odpadní vzduch předává v rekuperačním výměníku ve vzduchotechnické jednotce energii čerstvému venkovnímu vzduchu. Řízené větrání s rekuperací funguje tak, že v místnosti je odvod

znečištěného vzduchu a zároveň přívod čerstvého větracího vzduchu. U soustavy místností může toto být řešeno i tak, že je odvod v poslední místnosti, zpravidla v té, kde lze očekávat nejhůřší kvalitu vzduchu a přívod vzduchu do té místnosti, kde má být vzduch nejčistší. Přitom musí dojít k fyzickému křížení těchto rozvodů tak, aby odváděný vzduch přes teplosměnné plochy předal energii přiváděnému. To se zpravidla děje v rekuperační jednotce. Ta by měla být umístěná co nejbližší přívodu vzduchu z exteriéru tak, aby chladný přiváděný vzduch před vstupem do rekuperační jednotky neprocházel vytápěnou částí budovy.

Řízené větrání může být centrální, tedy jednotné pro celou budovu. Výhodou tohoto řešení je, že se minimalizuje počet rekuperačních jednotek, filtrů apod., nevýhodou pak zpravidla větší množství rozvodů a vyšší nároky na ně. Dále může být větrání lokální pro jednotlivou místnost či skupinu místností. Toto řešení je zpravidla vhodnější pro dodatečně řešené řízené větrání, kdy je nutné minimalizovat stavební zásahy do objektu.

Přehled výrobců rekuperačních zařízení je uveden v tabulce 10.

Jednoduchým výpočtem lze spočítat potřebu energie, která pokryje tepelné ztráty větráním, a tudíž lze přibližně vyčíslit i úsporu energie při zapojení zpětného získávání tepla. Vstupními hodnotami jsou zde objem celého vzduchu třídy a počet žáků. Průměrná hodnota objemu jedné třídy se v námi sledovaných školách pohybovala okolo 214 m³. Průměrný počet žáků na jednu třídu byl 21. Dle tab. 8 přílohy 3 vyhlášky č. 410/2005 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých je potřeba za hodinu 20 až 30 m³ čerstvého přiváděného vzduchu na 1 osobu, v našem modelovém případě to tedy znamená 420 až 630 m³ čerstvého vzduchu pro jednu třídu každou hodinu. Za otopné období (244 dnů celkem, z toho 10 dní prázdnin, 5 dní v týdnu, 6 vyučovacích hodin) to pak dělá 978 vyučovacích hodin a potřebu 410 760 až 616 140 m³ čerstvého vzduchu ročně. K ohřátí takového množství vzduchu z venkovního prostředí v zimních měsících je potřeba dodat značnou část energie. Konkrétně při průměrné teplotě exteriéru v otopném období 3,8 °C a teplotě interiéru 20 °C jde o cca 8 až 12 GJ tepelné energie. Rekuperace, čili zpětné získávání tepla, by doslova získala zpět 60 – 80 % tohoto tepla. O 60% účinnosti mluvíme jako o „dobré“, o 80% účinnosti mluvíme o „špičkové“ účinnosti. Zapojením rekuperace lze pak ušetřit cca 5 až 10 GJ, což při ceně 400 až 1000 Kč/GJ představuje roční úsporu 2 000 až 10 000 Kč. Při předpokládané ceně rekuperace kolem 50 000 Kč na učebnu (při lokální rekuperaci až 30 000 Kč/učebnu (při centrální rekuperaci) to znamená návratnost dle konkrétního případu až 3 roky. Přínos rekuperace se zvyšuje s intenzitou větrání interiéru.

Závěrem není třeba zdůrazňovat a opakovat, jak důležité by zapojení systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla bylo pro žáky základních a středních škol důležité.

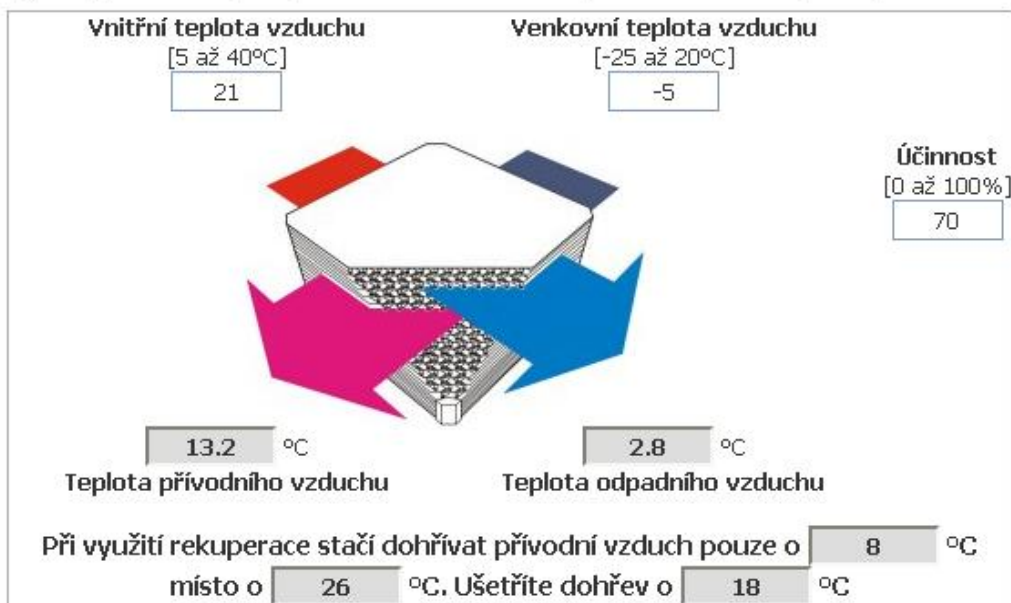


Obrázek 13 Větrací rekuperační jednotka od firmy EXHAUSTO A/S (Wohlschlägerová, 2010)

Tabulka 10 Přehled některých výrobců rekuperačních zařízení

Název firmy	web
A-INVENT s.r.o.	www.inventer.cz
Alphatec-CZ s.r.o. (zastoupení firmy Siemens)	http://www.alpha-innotec.de/SEEEMS/4351.asp?
ATREA s.r.o.	http://www.atrea.cz/
CS-MTRADE, s.r.o.	http://www.lossnay.cz/lossnay/lossnay/mainmenu/mainpage/
ELMET, spol. s.r.o	http://www.elmet.cz/
EkoKomfort spol. s. r. o.	http://www.ekokomfortcz.cz/
ELEKTRODESIGN ventilátory s.r.o.	http://www.elektrodesign.cz/
KONSTA AIR spol. s.r.o.	http://www.konstaair.cz/
Multi-VAC	http://www.multivac.cz/?txt=home
NIBE ENERGY SYSTEMS CZ	http://www.nibe.cz/
REGULUS	http://www.regulus.cz/
REMAK a. s.	http://www.remak.eu/cz/
TERMO KOMFORT	http://www.termokomfort.cz/
ThermWet s.r.o.	http://thermwet.cz/
VANŮ spol. s.r.o.	http://www.vano.sk/

Vypočítejte si sami teplotu přiváděného vzduchu za rekuperátorem a vaši úsporu tepla

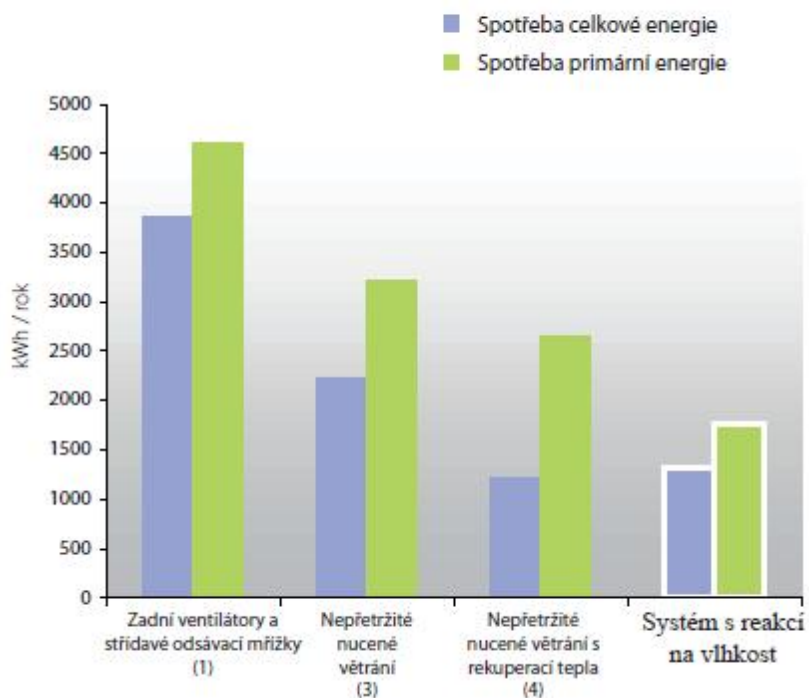


Návod: Zadejte vnitřní a venkovní teplotu vzduchu, účinnost.

Poznámka: Uvedený výpočet je pouze orientační a nezohledňuje nerovnoměrné průtoky a možnou kondenzaci.

Obrázek 14 Zjednodušený výpočet teploty přivodního a odpadního vzduchu na stránkách firmy ATREA (Wohlschlägerová, 2010)

ENERGETICKÁ SPOTŘEBA VENTILAČNÍCH SYSTÉMŮ



Graf 1 Spotřeba energie u různých typů větrání (dostupné z WWW: <http://www.bristec.cz/editor/filestore/File/Energeticka%20uspora%20a%20ventilace.pdf>)

Upozornění: Pro instalaci řízeného větrání s rekuperací je vhodná vyšší vzduchotěsnost objektu, v ideálním případě se jedná o splnění parametrů kladených na pasivní domy, tedy max. 0,6násobná výměna vzduchu při přetlaku/podtlaku 50 Pa. Těsnost budovy se měří tzv. Blower door testem. Většina firem zabývajících se měřením vzduchotěsnosti objektů je sdružena do asociace Blower Door CZ.

Obecná pravidla a správný postup měření je uveden v ČSN EN 13829 Tepelné chování budov – Stanovení průvzdušnosti budov – Tlaková metoda. Princip měření spočívá v uměle vyvolaném tlakovém rozdílu pomocí ventilátoru. Ventilátor se pomocí speciálního rámu a vzduchotěsné plachty osadí do otvoru v obálce budovy (nejčastěji se jedná o vstupní dveře). Tlakový rozdíl mezi interiérem a exteriérem se mění změnami otáček ventilátoru nebo velikostí použitých otvorů ve vzduchotěsné uzávěře. Předpokladem je, že stejné množství vzduchu proteče netěsnostmi v obálce budovy. Měření se provádí při přetlaku a při podtlaku v budově. Výsledkem měření jsou hodnoty objemového toku vzduchu změřeného při různých tlakových rozdílech. Poté se vypočte objemový tok při 50 Pa a odvodí se intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa (n_{50}). O výsledku měření se vyhotoví protokol.



Obrázek 15 Blower door test

8 MĚŘENÍ V JEDNOTLIVÝCH OBJEKTECH

Měření koncentrací CO₂ probíhalo celkem v 17 školních zařízeních (mateřské, základní, střední a vysoké školy), v každém z nich byly měření podrobeny 4 učebny. Objekty byly vybrány tak, aby reprezentovaly stávající obvyklé budovy. Jejich stručný popis a základní informace o průběhu a výsledcích měření naleznete v jednotlivých tabulkách.

8.1 Škola č. 1

popis učebny A

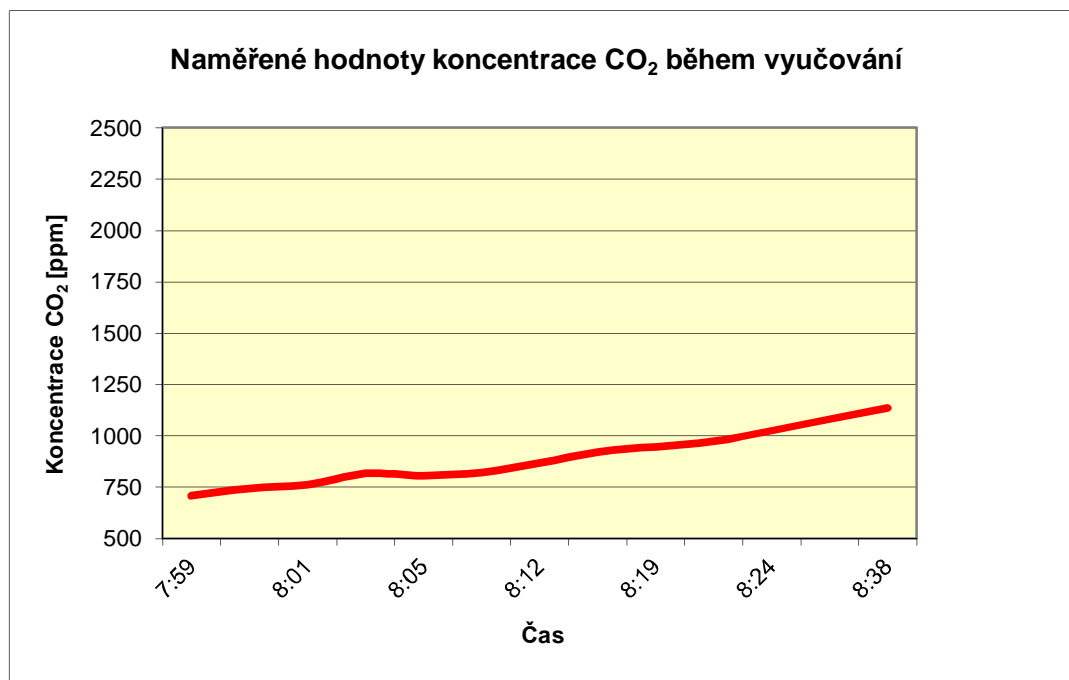
celkový objem vzduchu	320,1 m ³
typ oken	dřevěná špaletová
větrání	okna celou dobu zavřená starý ventilační otvor o rozměru cca 600 x 600 mm s již nepohyblivými lamelami pod stropem ve zdi
počet osob	22 osob
objem vzduchu na 1 osobu	14,6 m ³
věk osob	7 let
teplota	19,2 °C
poznámky	škola v centru města

okolnosti měření

počasí	10,1 °C	zataženo
vlhkost v exteriéru	59,7 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	465 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
708 ppm	1135 ppm	893 ppm
vlhkost v interiéru		46,3 %



popis učebny B

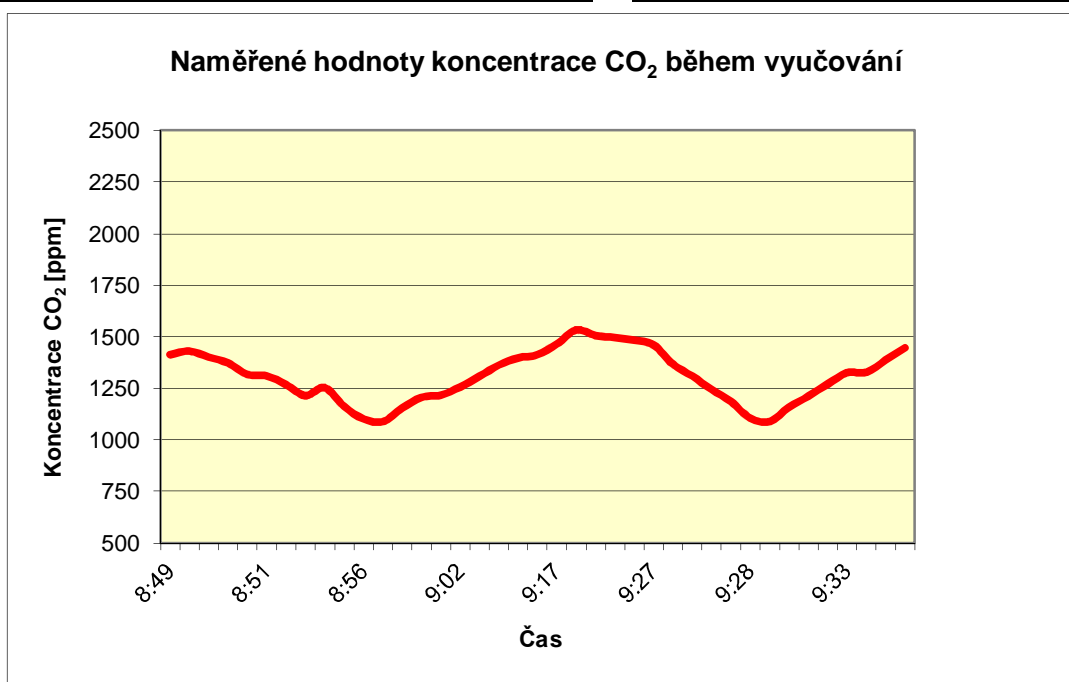
celkový objem vzduchu	308 m ³
typ oken	dřevěná špaletová
větrání	okno otevřené 2 minuty na začátku vyučování, ± 5 odchodů a příchodů dveřmi
	starý ventilační otvor o rozměru cca 600 × 600 mm s již nepohyblivými lamelami pod stropem ve zdi
počet osob	21 osob
objem vzduchu na 1 osobu	14,7 m ³
věk osob	10 let
teplota	22,1 °C
poznámky	škola v centru města

okolnosti měření

počasí	14,0 °C	zataženo
vlhkost v exteriéru	50 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	468 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1087 ppm	1534 ppm	1308 ppm
vlhkost v interiéru		40,6 %



popis učebny C

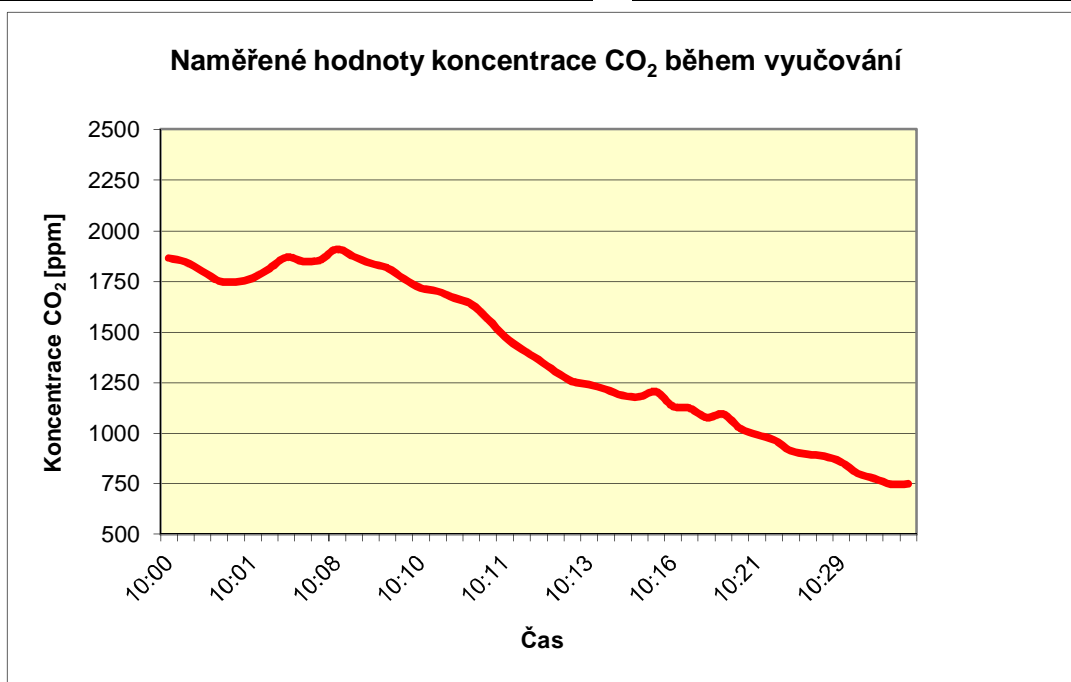
celkový objem vzduchu	308 m ³
typ oken	dřevěná zdvojená
větrání	okno otevřené celou hodinu
počet osob	28 osob
objem vzduchu na 1 osobu	11,0 m ³
věk osob	15 let
teplota	24 °C
poznámky	škola v centru města

okolnosti měření

počasí	17,0 °C	polojasno
vlhkost v exteriéru	40 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	464 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
748 ppm	1908 ppm	1398 ppm
vlhkost v interiéru		40 %



popis učebny D

celkový objem vzduchu	308 m ³
typ oken	dřevěná zdvojená
větrání	okno otevřené 7 minut na začátku hodiny
počet osob	22 osob
objem vzduchu na 1 osobu	14,0 m ³
věk osob	14 let
teplota	23,9 °C
poznámky	škola v centru města

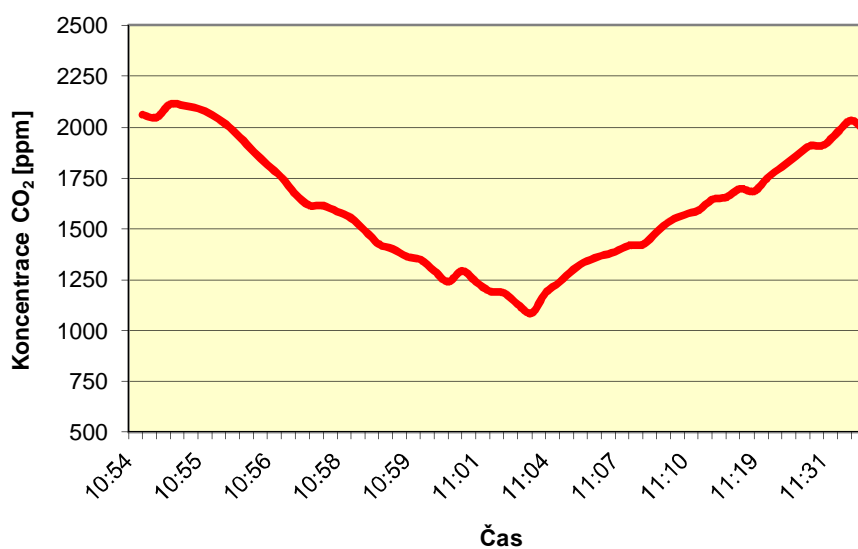
okolnosti měření

počasí	20,0 °C	polojasno
vlhkost v exteriéru		30 %
koncentrace CO ₂ v exteriéru		461 ppm

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1087 ppm	2113 ppm	1621 ppm
vlhkost v interiéru		42,3 %

Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



8.2 Škola č. 2

popis učebny A

celkový objem vzduchu	216,216 m ³
typ oken	špaletová nová, trojsklo; r. 2007
větrání	7:54 otevřená 2 okna, 8:00 1 zavřeno, 8:13 2. zavřeno, 8:23 otevřeno, 8:29 zavřeno
	starý ventilační otvor o rozměru cca 300 × 500 mm s již nepohyblivými lamelami pod stropem ve zdi
počet osob	24 osob
objem vzduchu na 1 osobu	9,0 m ³
věk osob	11 let
teplota	21,6 °C
poznámky	škola v centru města

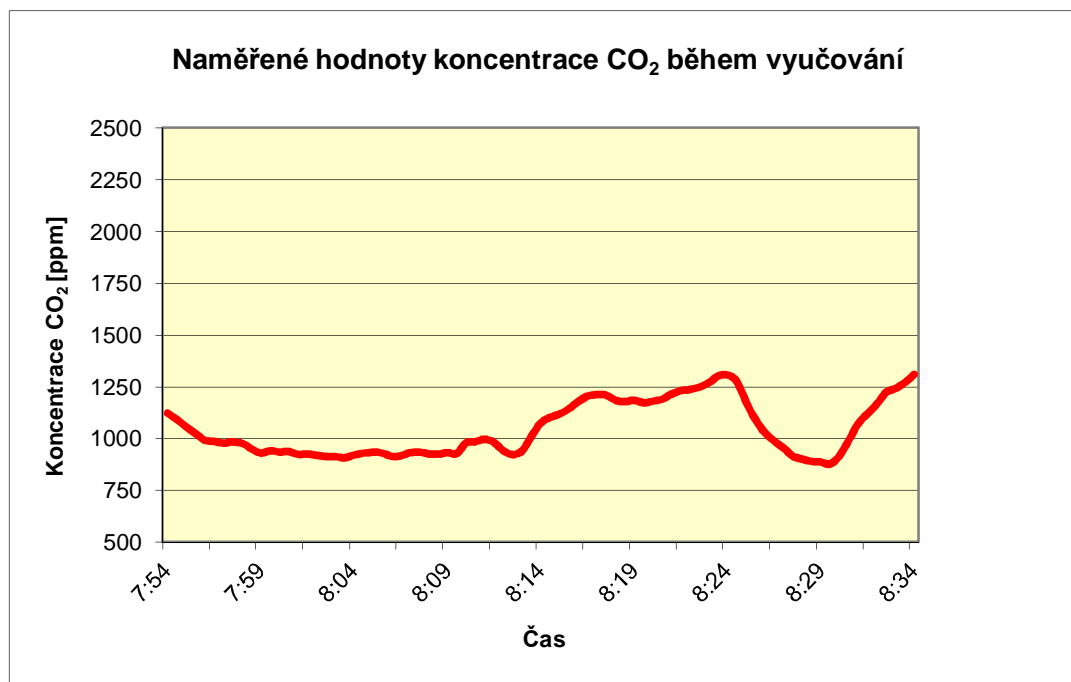


okolnosti měření

počasí	5,6 °C	jasno
vlhkost v exteriéru		48 %
koncentrace CO ₂ v exteriéru		425 ppm

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
877 ppm	1309 ppm	1046 ppm
vlhkost v interiéru		35 %



popis učebny B

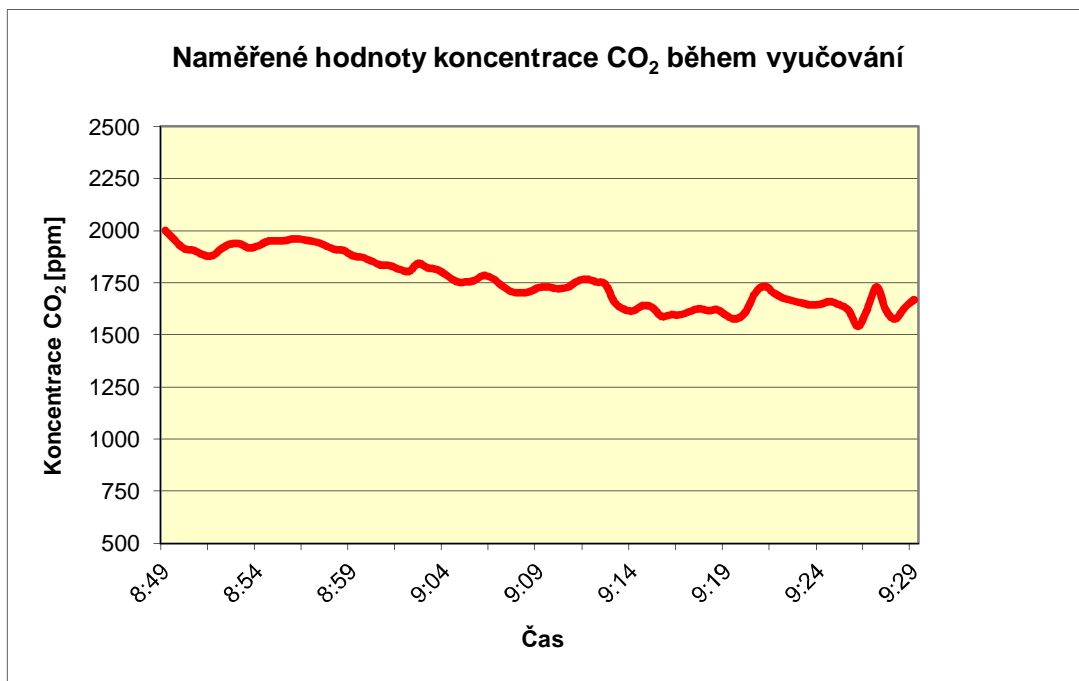
celkový objem vzduchu	245,7 m ³
typ oken	špaletová nová, trojsklo; 2007
větrání	okna zavřená, celou hodinu otevřené dveře na chodbu v 9:22 přemístění měřiče dále od dveří
počet osob	29 osob
objem vzduchu na 1 osobu	8,5 m ³
věk osob	11 let
teplota	22,1 °C
poznámky	škola v centru města

okolnosti měření

počasí	27,0 °C	jasno
vlhkost v exteriéru	21,6 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	421 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1541 ppm	2003 ppm	1758 ppm
vlhkost v interiéru		44,6 %



popis učebny C

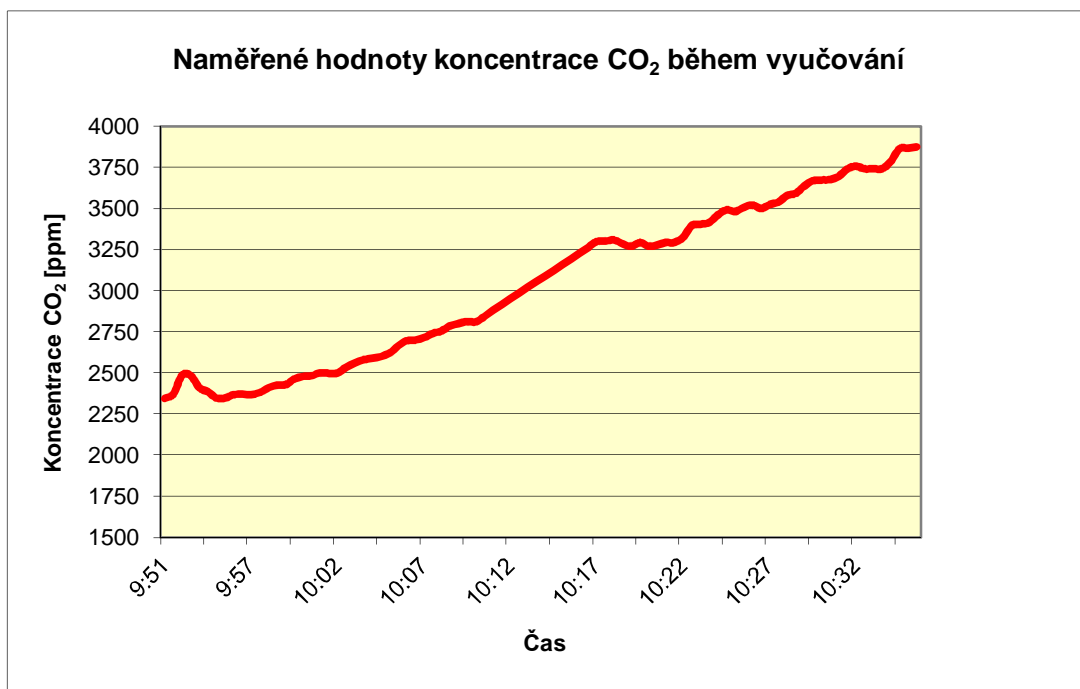
celkový objem vzduchu	241,488 m ³
typ oken	plastová okna; r. 2009
větrání	okna i dveře celou hodinu zavřené
počet osob	30 osob
objem vzduchu na 1 osobu	8,0 m ³
věk osob	14 let
teplota	25,3 °C
poznámky	škola v centru města

okolnosti měření

počasí	13,7 °C	jasno
vlhkost v exteriéru	39,8 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	473 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
2344 ppm	3874 ppm	3033 ppm
vlhkost v interiéru		42,9 %



popis učebny D

celkový objem vzduchu	245,7 m ³
typ oken	špaletová nová, trojsklo; 2007
větrání	okna i dveře celou hodinu zavřené starý ventilační otvor cca 0,3x0,5m s uzavřenými lamelami
počet osob	26 osob
objem vzduchu na 1 osobu	9,5 m ³
věk osob	14 let
teplota	23,3 °C
poznámky	škola v centru města

okolnosti měření

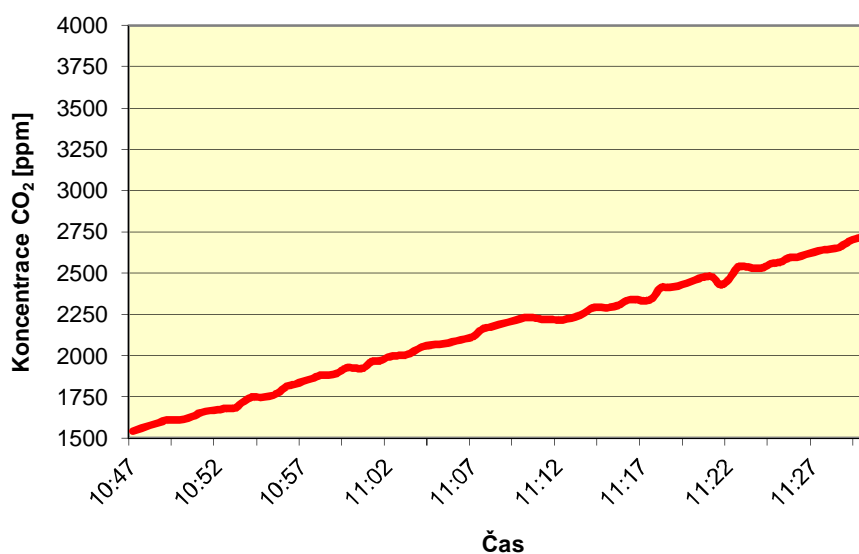
počasí	14,2 °C	jasno
vlhkost v exteriéru	35,7 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	466 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1543 ppm	2720 ppm	2140 ppm
vlhkost v interiéru		45,7 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



8.3 Škola č. 3

popis učebny A

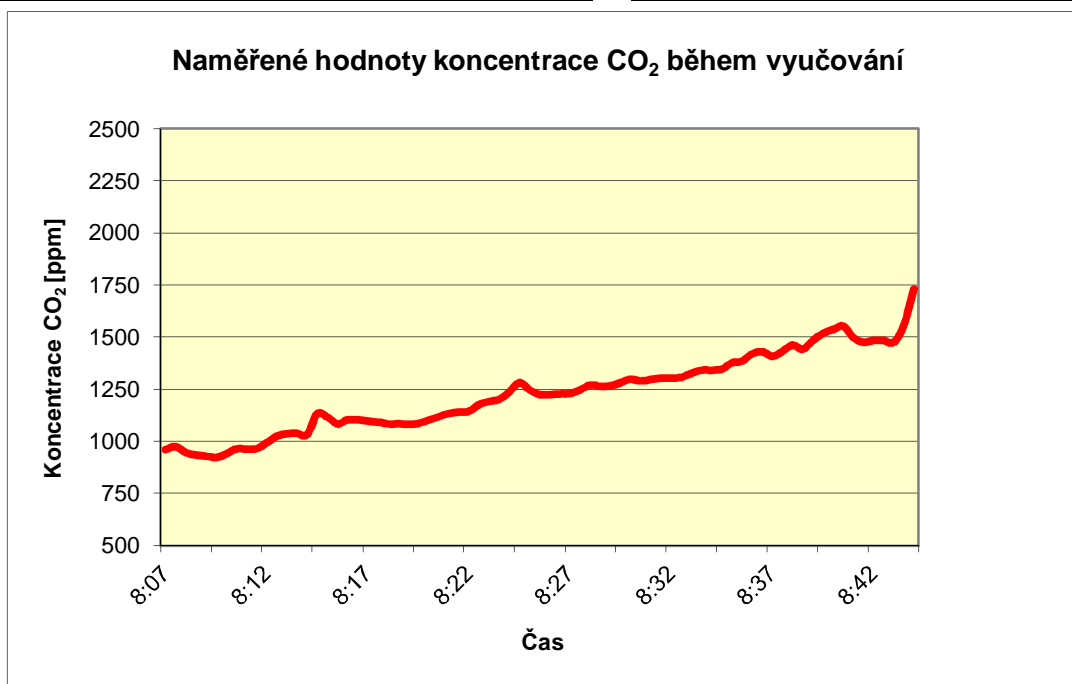
celkový objem vzduchu	160 m ³
typ oken	plastová r. 2008
větrání	před začátkem hodiny otevřené dveře na chodbu
počet osob	10 osob
objem vzduchu na 1 osobu	16,0 m ³
věk osob	17-18 let
teplota	20,9 °C
poznámky	škola v centru města

okolnosti měření

počasí	11,1 °C	jasno
vlhkost v exteriéru	58 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	486 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
921 ppm	1732 ppm	1228 ppm
vlhkost v interiéru		48 %



popis učebny B

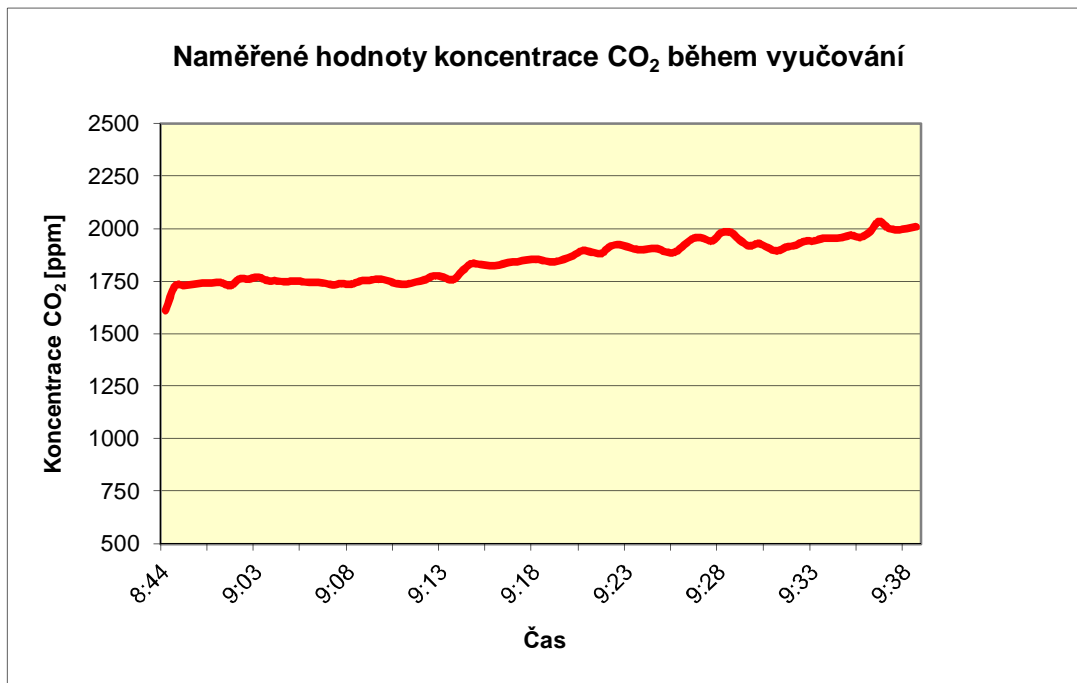
celkový objem vzduchu	370 m ³
typ oken	dřevěná zdvojená
větrání	okna i dveře celou hodinu zavřené
počet osob	12 osob
objem vzduchu na 1 osobu	30,8 m ³
věk osob	17-18 let
teplota	21,1 °C
poznámky	škola v centru města

okolnosti měření

počasí	13,4 °C	jasno
vlhkost v exteriéru	52,7 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	478 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1611 ppm	2034 ppm	1847 ppm
vlhkost v interiéru		51,9 %



popis učebny C

celkový objem vzduchu	304 m ³
typ oken	plastová
větrání	od začátku hodiny otevřena ventilačka u 1 okna vzadu, během hodiny otevřeny další 2 ventilačky a 1 celé okenní křídlo cca před 10:23
počet osob	20 osob
objem vzduchu na 1 osobu	15,2 m ³
věk osob	15-17 let
teplota	24 °C
poznámky	škola v centru města

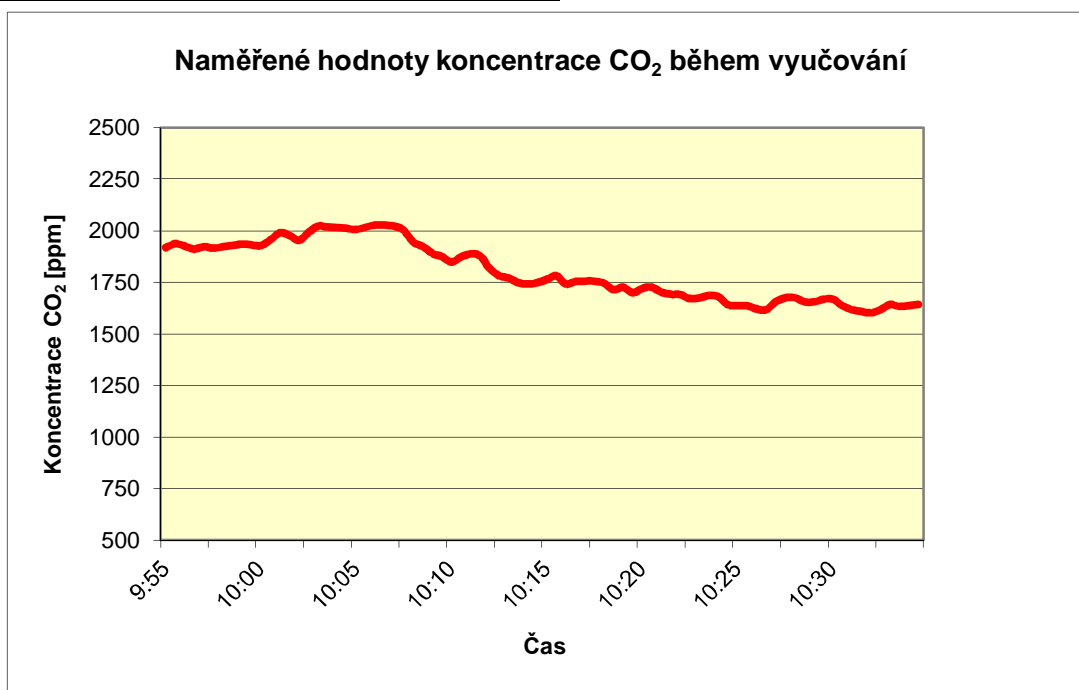


okolnosti měření

počasí	14,1 °C	jasno
vlhkost v exteriéru		51,9 %
koncentrace CO ₂ v exteriéru		453 ppm

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1602 ppm	2027 ppm	1801 ppm
vlhkost v interiéru		44,3 %



popis učebny D

celkový objem vzduchu	290 m ³
typ oken	dřevěná zdvojená
větrání	o přestávce před hodinou vyvětráno
počet osob	19 osob
objem vzduchu na 1 osobu	15,3 m ³
věk osob	15-17 let
teplota	20,9 °C
poznámky	škola v centru města

okolnosti měření

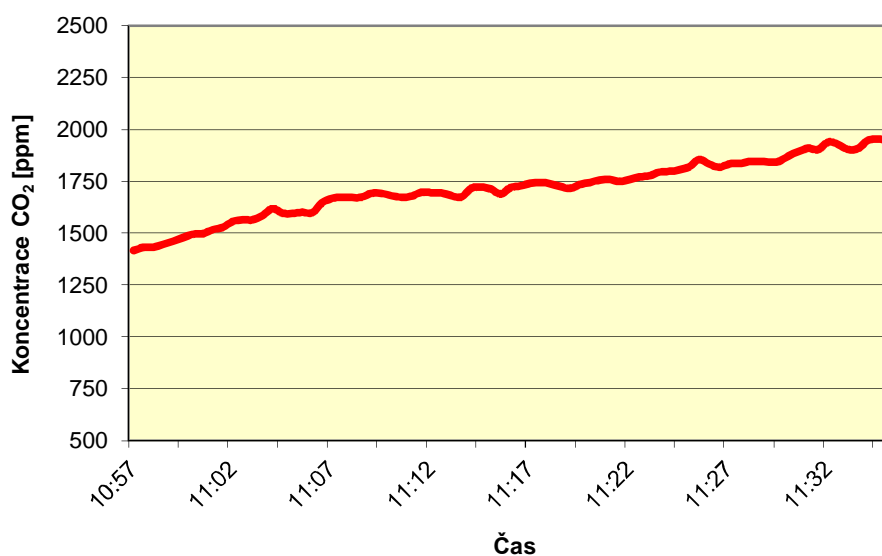
počasí	14,6 °C	jasno
vlhkost v exteriéru	59,1 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	421 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1415 ppm	1954 ppm	1715 ppm
vlhkost v interiéru		47,6 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



8.4 Škola č. 4

popis učebny A

celkový objem vzduchu	nezjištěno
typ oken	plastová
větrání	během celé hodiny otevřena ventilátka u 3 oken
počet osob	24 osob
objem vzduchu na 1 osobu	nezjištěno
věk osob	15-16 let
teplota	22,1 °C
poznámky	škola v centru města

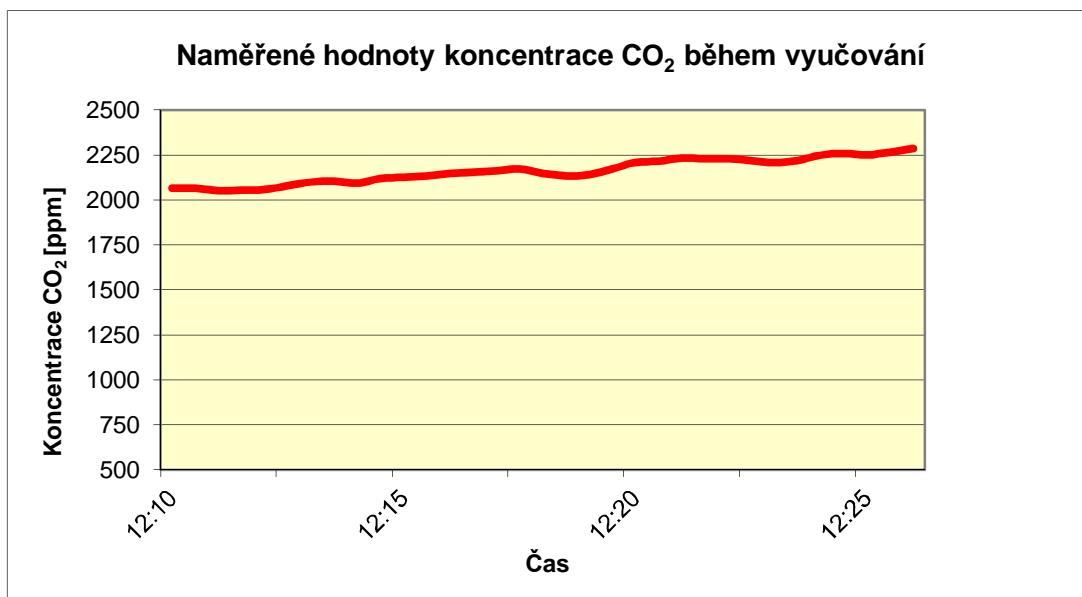


okolnosti měření

počasí	14,7 °C	jasno
vlhkost v exteriéru	58,2 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	435 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
2054 ppm	2286 ppm	2163 ppm
vlhkost v interiéru		56,1 %



popis učebny B

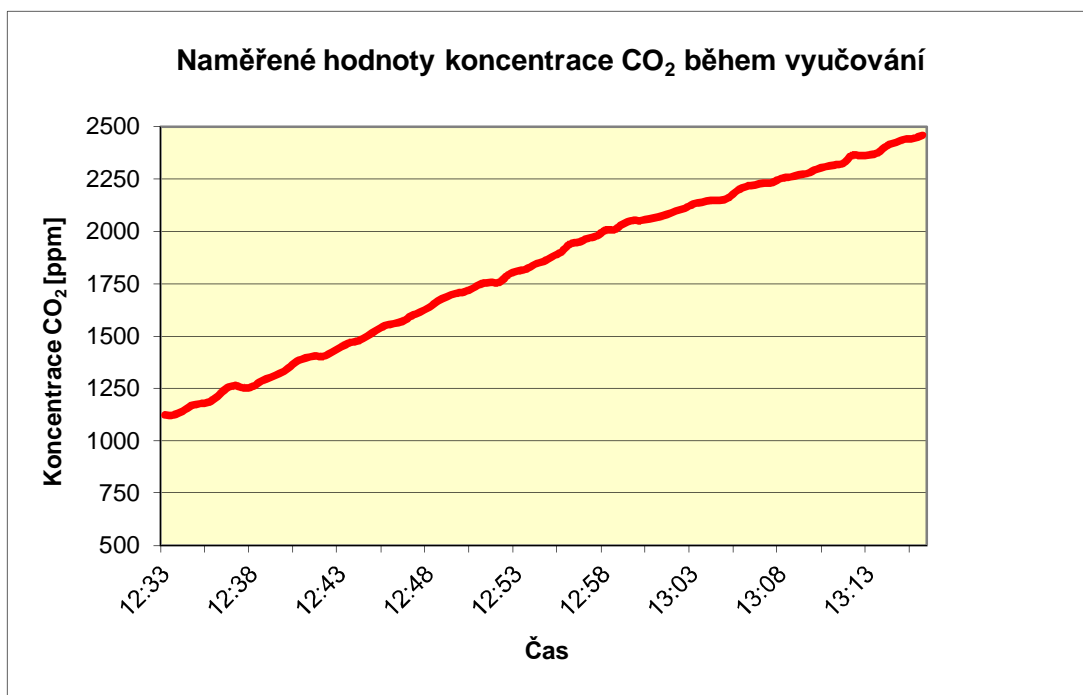
celkový objem vzduchu	nezjištěno
typ oken	plastová
větrání	od začátku hodiny do 12:41 otevřena 1 ventilačka
počet osob	26 osob
objem vzduchu na 1 osobu	nezjištěno
věk osob	15-16 let
teplota	22,1 °C
poznámky	škola v centru města

okolnosti měření

počasí	14,7 °C	jasno
vlhkost v exteriéru	58,2 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	435 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1123 ppm	2459 ppm	1830 ppm
vlhkost v interiéru		52,8 %



popis učebny C

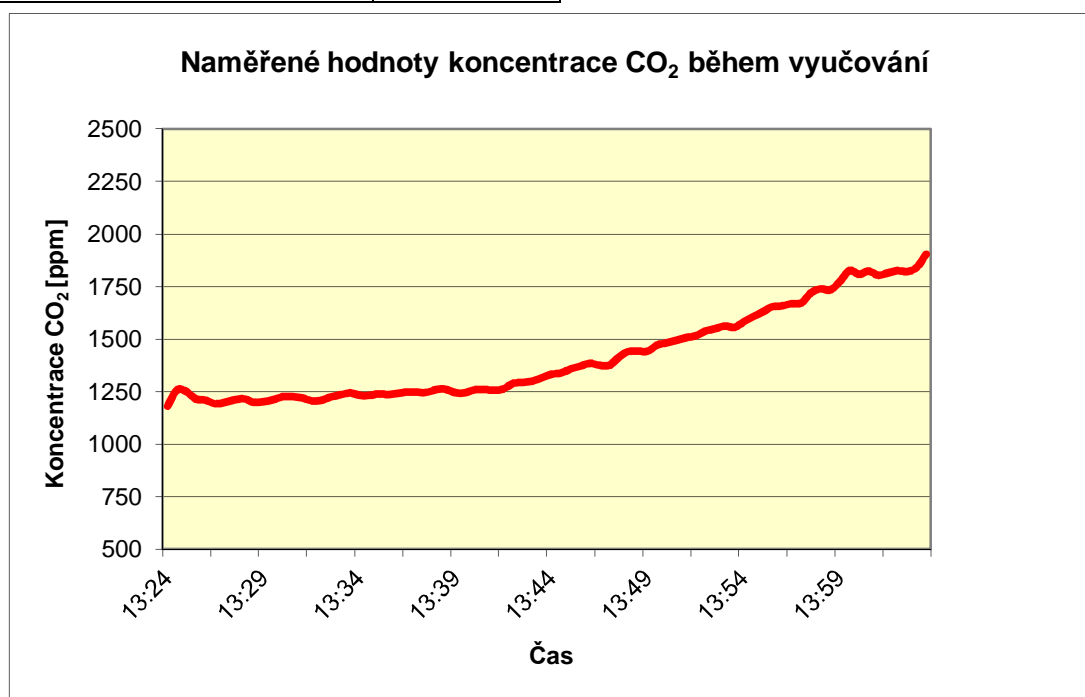
celkový objem vzduchu	nezjištěno
typ oken	plastová
větrání	od začátku hodiny otevřena ventilačka u 3 oken, v 13:39 zavřeno 13:59 přemístění měřiče více do středu místnosti
počet osob	20 osob
objem vzduchu na 1 osobu	nezjištěno
věk osob	16-17 let
teplota	24,5 °C
poznámky	škola v centru města

okolnosti měření

počasí	14,7 °C	jasno
vlhkost v exteriéru		58,2 %
koncentrace CO ₂ v exteriéru		435 ppm

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1183 ppm	1905 ppm	1419 ppm
vlhkost v interiéru		45,5 %



8.5 Škola č. 5

popis učebny A

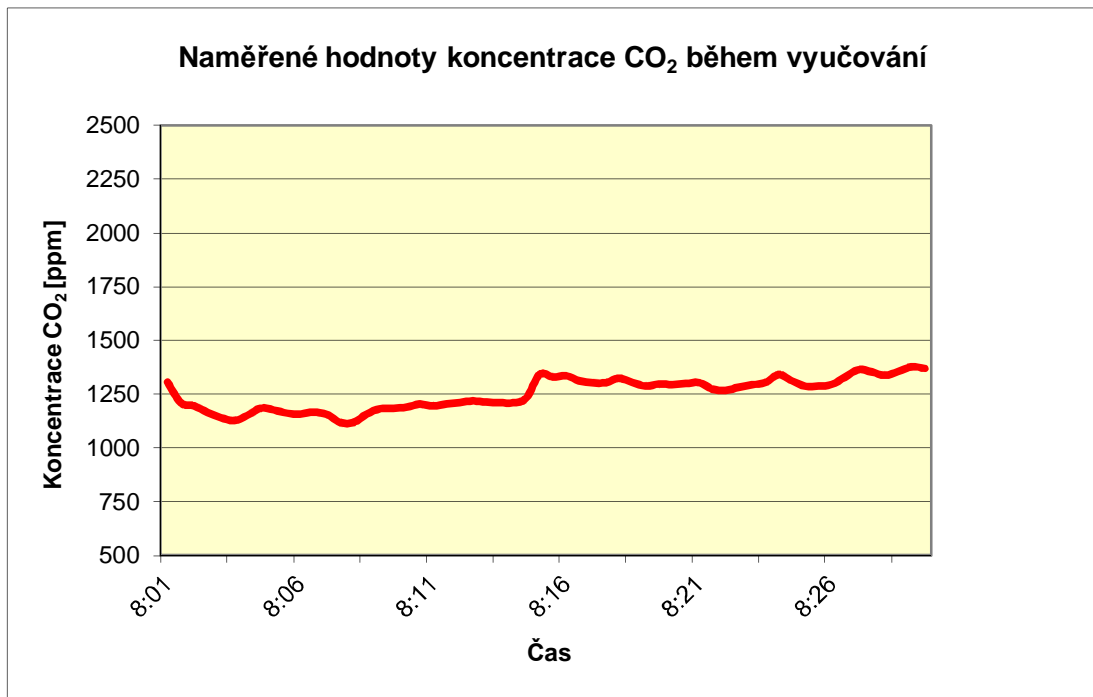
celkový objem vzduchu	216 m ³
typ oken	plastová
větrání	od začátku hodiny otevřena ventilačka u 2 oken měřič poměrně blízko otevřeného okna
počet osob	19 osob
objem vzduchu na 1 osobu	11,4 m ³
věk osob	13 let
teplota	21,8 °C
poznámky	škola na okraji města

okolnosti měření

počasí	12,5 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru	59,5 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	421 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1118 ppm	1377 ppm	1251 ppm
vlhkost v interiéru		45,9 %



popis učebny B

celkový objem vzduchu	216 m ³
typ oken	plastová
větrání	od začátku hodiny otevřena ventilačka u 3 oken
počet osob	20 osob
objem vzduchu na 1 osobu	10,8 m ³
věk osob	15 let
teplota	21,7 °C
poznámky	škola na okraji města

okolnosti měření

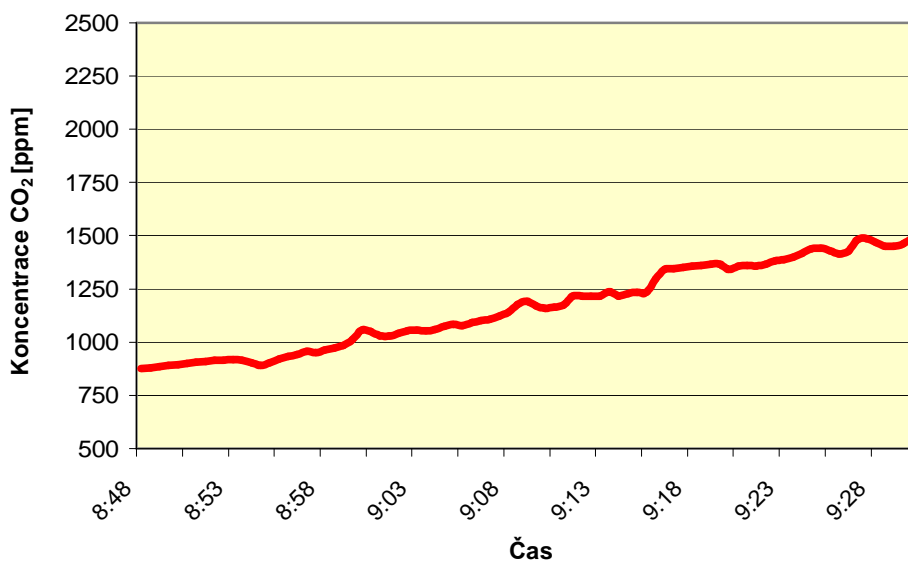
počasí	14,0 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru	56,5 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	412 ppm	

výsledek měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
875 ppm	1489 ppm	1164 ppm
vlhkost v interiéru		48,7 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



popis učebny C

celkový objem vzduchu	216 m ³
typ oken	plastová
větrání	od začátku hodiny otevřena ventilačka u 6 oken
počet osob	17 osob
objem vzduchu na 1 osobu	12,7 m ³
věk osob	7 let
teplota	23,6 °C
poznámky	škola na okraji města

okolnosti měření

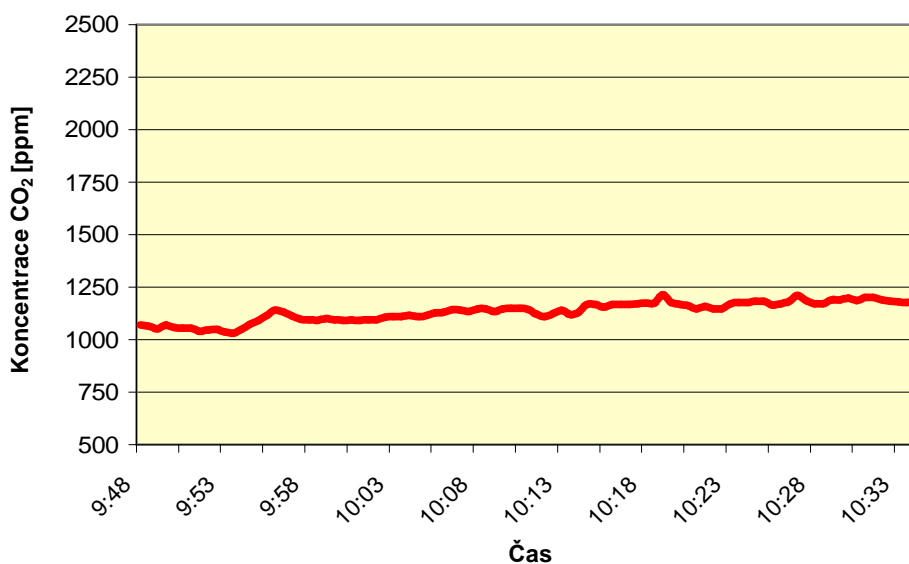
počasí	15,4 °C	polojasno
vlhkost v exteriéru		47,3 %
koncentrace CO ₂ v exteriéru		417 ppm

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1031 ppm	1214 ppm	1134 ppm
vlhkost v interiéru		44,1 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



popis učebny D

celkový objem vzduchu	216 m ³
typ oken	plastová
větrání	před začátkem hodiny otevřena ventilačka u 2 oken od 10:43 další 4, velice časté odchody na WC během hodiny = otevírání dveří na chodbu
počet osob	19 osob
objem vzduchu na 1 osobu	11,4 m ³
věk osob	7 let
teplota	24,2 °C
poznámky	škola na okraji města

okolnosti měření

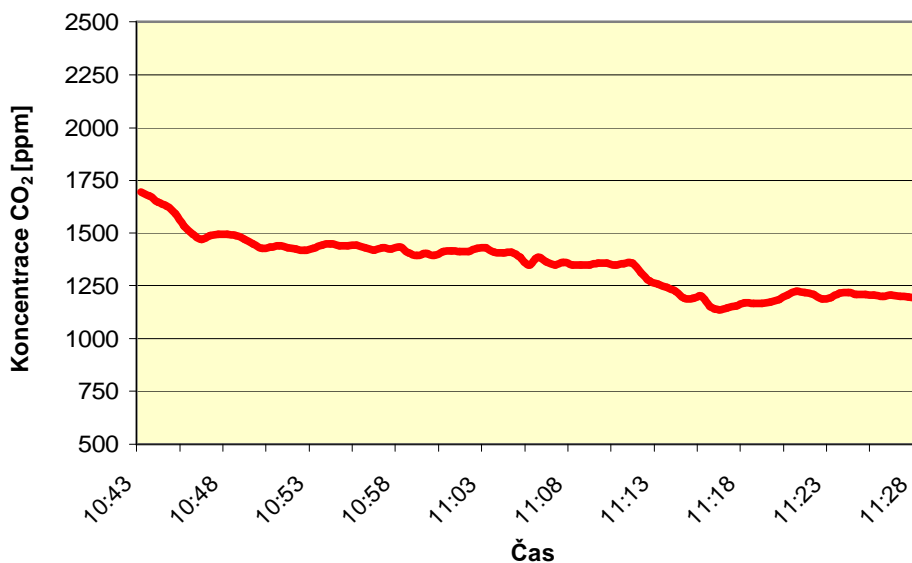
počasí	15,5 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru	48,9 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	429 ppm	



výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1137 ppm	1693 ppm	1351 ppm
vlhkost v interiéru		44,7 %

Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



8.6 Škola č. 6

popis učebny A

celkový objem vzduchu	220,2 m ³
typ oken	plastová
větrání	od začátku hodiny otevřena ventilačka u 2 oken
počet osob	22 osob
objem vzduchu na 1 osobu	10,0 m ³
věk osob	7 let
teplota	21,2 °C
poznámky	škola na okraji obce

okolnosti měření

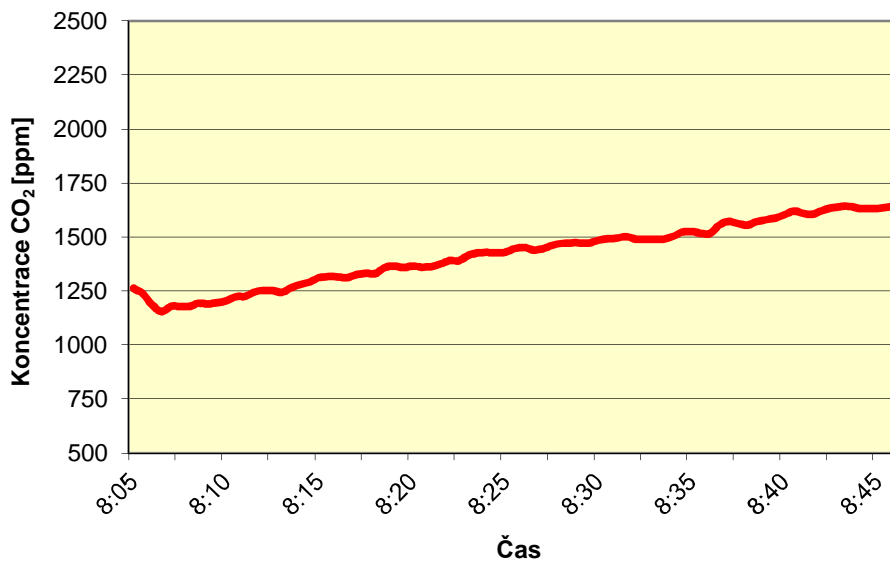
počasí	11,8 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru	55,1 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	450 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1155 ppm	1644 ppm	1421 ppm
vlhkost v interiéru		52,5 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



popis učebny B

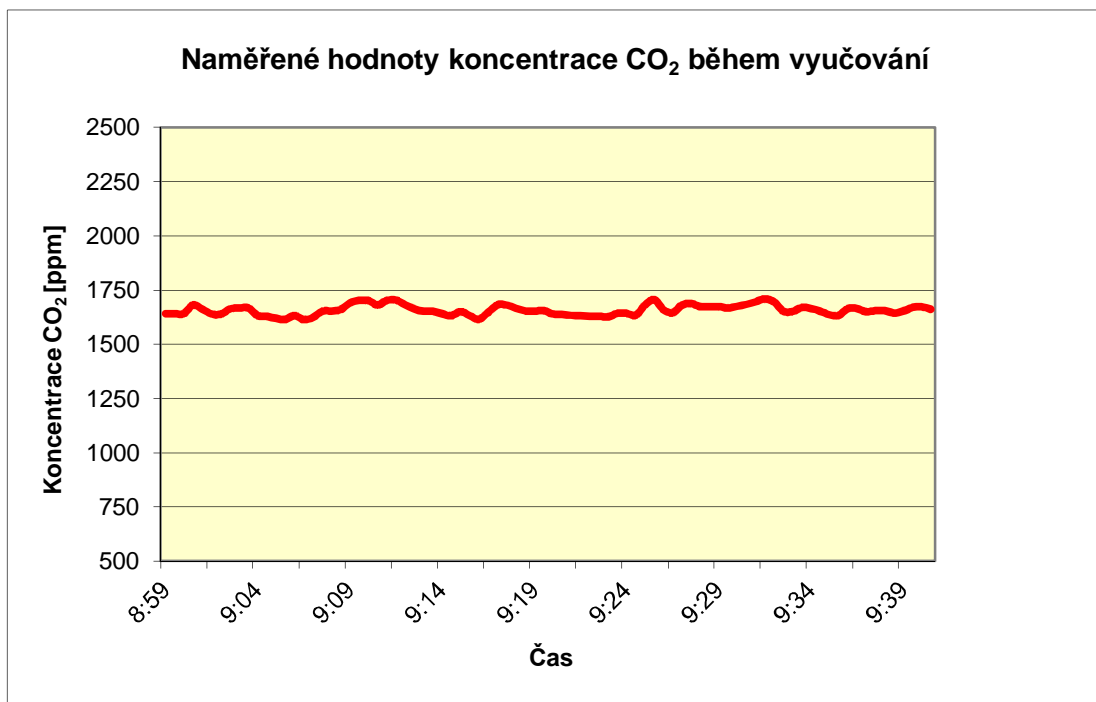
celkový objem vzduchu	220,2 m ³
typ oken	dřevěná zdvojená
větrání	od začátku hodiny otevřena ventilačka u 2 oken + celou dobu vzadu otevřené dveře do sousední místnosti o rozměru cca 7,1 × 3 m
počet osob	20 osob
objem vzduchu na 1 osobu	11,0 m ³
věk osob	7 let
teplota	21,2 °C
poznámky	škola na okraji obce

okolnosti měření

počasí	12,6 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru	54,2 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	443 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1615 ppm	1709 ppm	1658 ppm
vlhkost v interiéru		56,3 %



popis učebny C

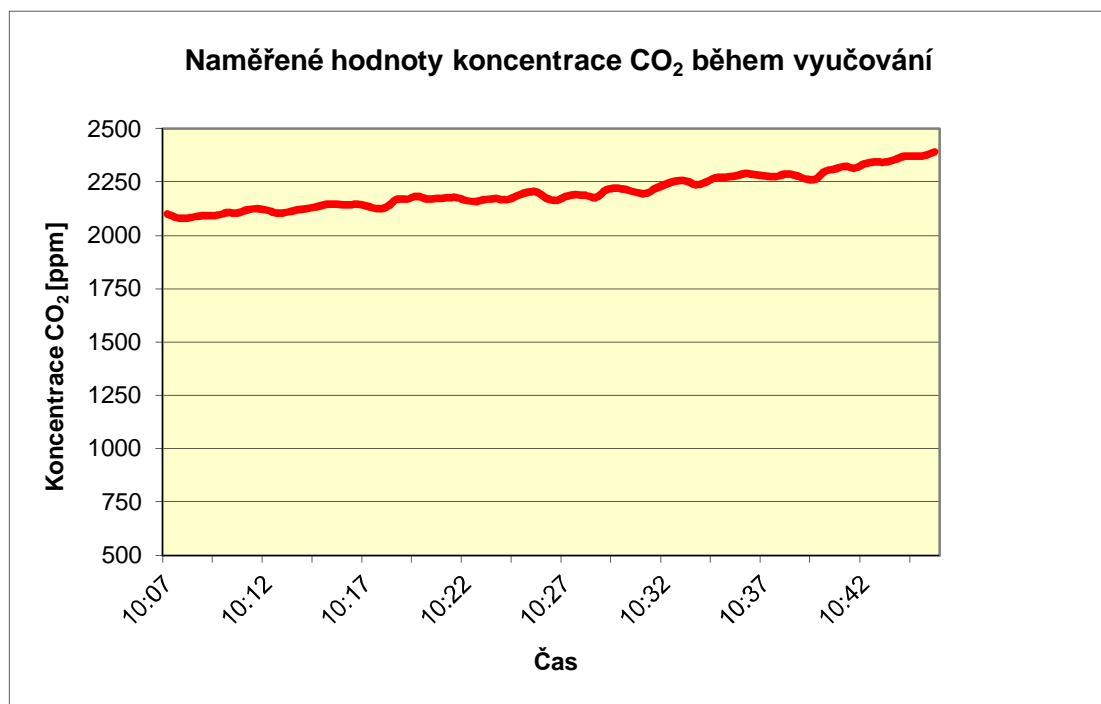
celkový objem vzduchu	191,6 m ³
typ oken	dřevěná zdvojená
větrání	od začátku hodiny otevřena ventilace u 2 oken, v 10:39 obě zavřeny
počet osob	17 osob
objem vzduchu na 1 osobu	11,3 m ³
věk osob	12 let
teplota	20,4 °C
poznámky	škola na okraji obce

okolnosti měření

počasí	15,8 °C	polojasno
vlhkost v exteriéru		47,8 %
koncentrace CO ₂ v exteriéru		404 ppm

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
2081 ppm	2390 ppm	2206 ppm
vlhkost v interiéru		54,5 %



popis učebny D

celkový objem vzduchu	220,2 m ³
typ oken	dřevěná zdvojená
větrání	od začátku hodiny otevřena ventilačka u 1 okna
počet osob	28 osob
objem vzduchu na 1 osobu	7,9 m ³
věk osob	8 let
teplota	21,4 °C
poznámky	škola na okraji obce

okolnosti měření

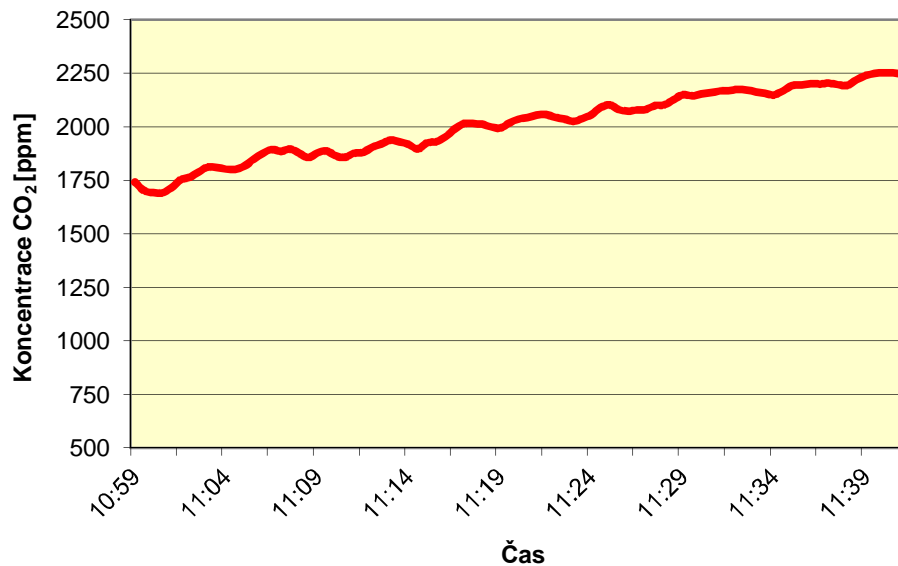
počasí	16,3 °C	polojasno
vlhkost v exteriéru		42,1 %
koncentrace CO ₂ v exteriéru		374 ppm

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1691 ppm	2253 ppm	2007 ppm
vlhkost v interiéru		49,1 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



8.7 Škola č. 7

popis učebny A

celkový objem vzduchu	236,3 m ³
typ oken	plastová
větrání	od začátku hodiny otevřena ventilačka u 1 okna, cca 8:25 otevírání dveří
počet osob	25 osob
objem vzduchu na 1 osobu	9,5 m ³
věk osob	14 let
teplota	22,5 °C
poznámky	škola na okraji města

okolnosti měření

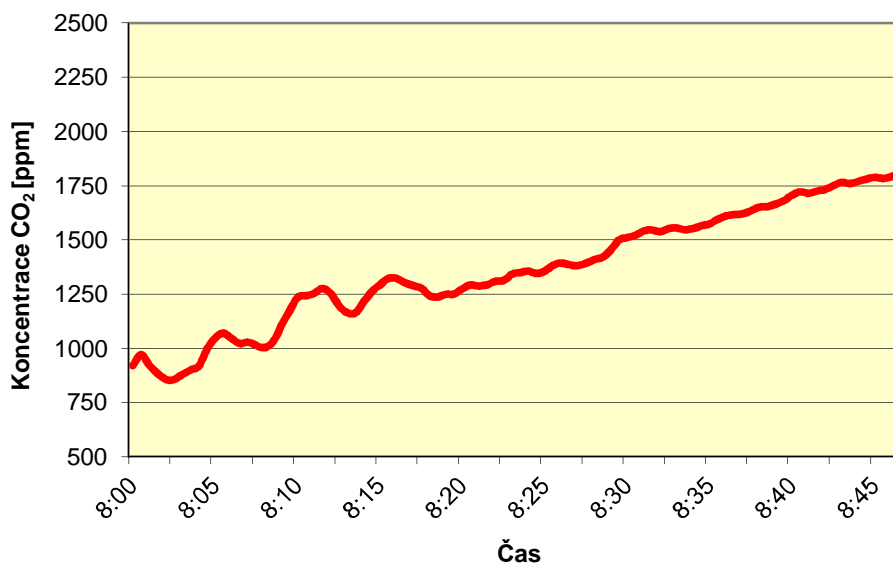
počasí	18,0 °C	polojasno
vlhkost v exteriéru		32 %
koncentrace CO ₂ v exteriéru		401 ppm

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
856 ppm	1807 ppm	1364 ppm
vlhkost v interiéru		45,8 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



popis učebny B

celkový objem vzduchu	263,6 m ³
typ oken	plastová
větrání	u tabule otevřené dveře do další místnosti; odchod 9:15 příchod 9:31; tato hodina byla v učebně 1.
počet osob	21 osob
objem vzduchu na 1 osobu	12,6 m ³
věk osob	12 let
teplota	22,1 °C
poznámky	škola na okraji města

okolnosti měření

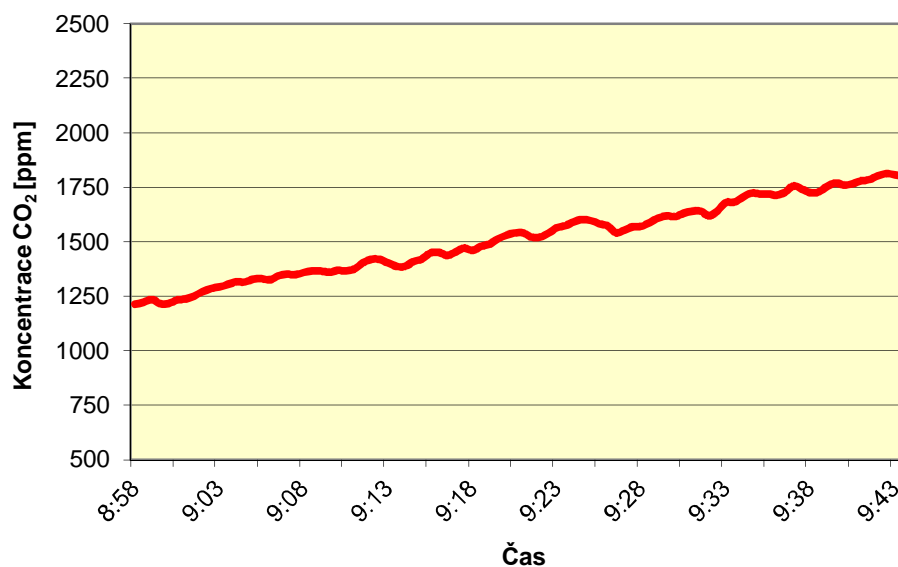
počasí	18,0 °C	polojasno
vlhkost v exteriéru		32 %
koncentrace CO ₂ v exteriéru		401 ppm

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1214 ppm	1814 ppm	1514 ppm
vlhkost v interiéru		52,4 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



popis učebny C

celkový objem vzduchu	209,0 m ³
typ oken	plastová
větrání	otevřená 1 ventilačka, kolem 10:41 několik odchodů ze třídy
počet osob	25 osob
objem vzduchu na 1 osobu	8,4 m ³
věk osob	8 let
teplota	25,4 °C
poznámky	škola na okraji města

okolnosti měření

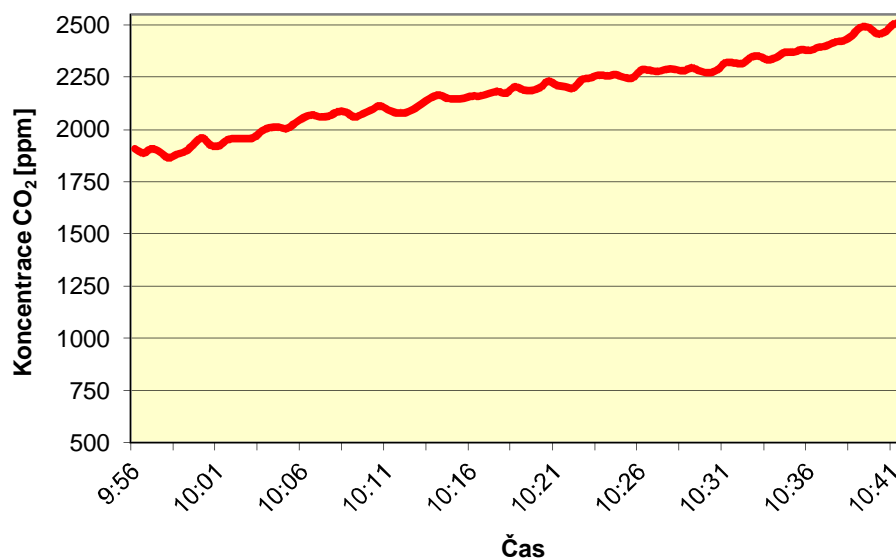
počasí	18,0 °C	jasno
vlhkost v exteriéru		32 %
koncentrace CO ₂ v exteriéru		401 ppm

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1865 ppm	2505 ppm	2182 ppm
vlhkost v interiéru		49 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



popis učebny D

celkový objem vzduchu	218,1 m ³
typ oken	plastová
větrání	otevřené 4 ventilačky
počet osob	27 osob
objem vzduchu na 1 osobu	8,1 m ³
věk osob	7 let
teplota	24,9 °C
poznámky	škola na okraji města

okolnosti měření

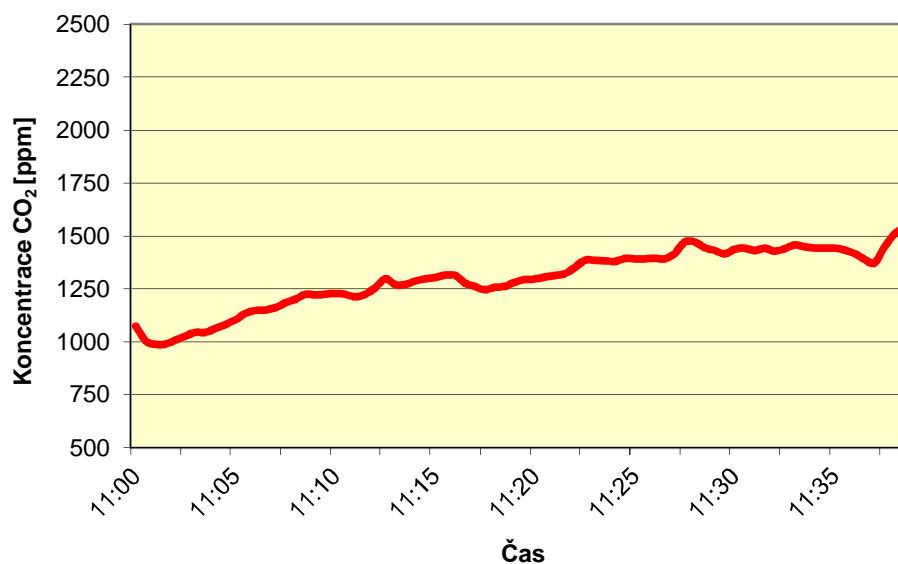
počasí	18,0 °C	jasno
vlhkost v exteriéru		32 %
koncentrace CO ₂ v exteriéru		401 ppm

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
988 ppm	1540 ppm	1297 ppm
vlhkost v interiéru		38 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



8.8 Škola č. 8

popis učebny A

celkový objem vzduchu	114,2 m ³
typ oken	plastová
větrání	na začátku hodiny otevřené dveře na chodbu
počet osob	11 osob
objem vzduchu na 1 osobu	10,4 m ³
věk osob	10 let
teplota	19,0 °C
poznámky	škola na okraji obce

okolnosti měření

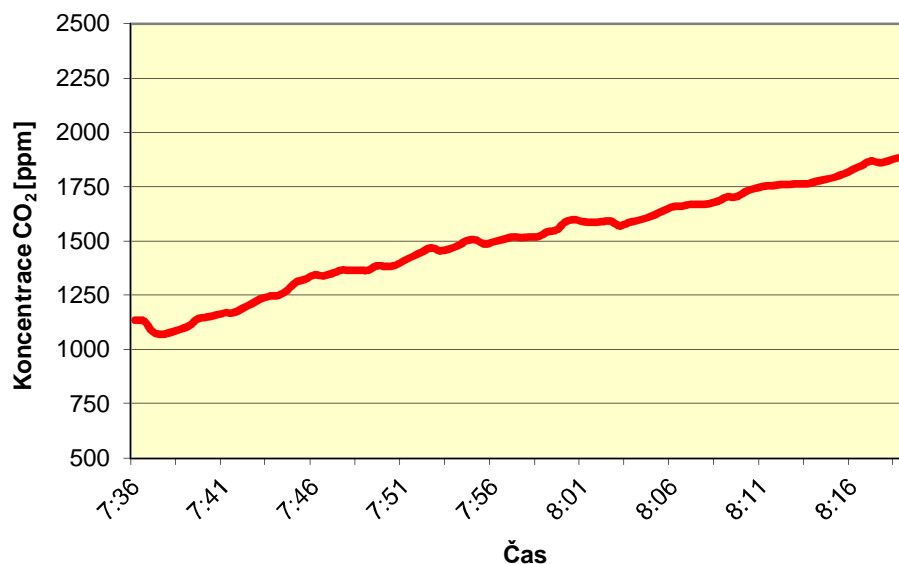
počasí	9,9 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru	70 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	393 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1070 ppm	1888 ppm	1504 ppm
vlhkost v interiéru		58,2 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



popis učebny B

celkový objem vzduchu	142,8 m ³
typ oken	plastová
větrání	na začátku hodiny otevřené dveře na chodbu starý ventilační otvor cca 300 x 500 mm
počet osob	11 osob
objem vzduchu na 1 osobu	13,0 m ³
věk osob	11 let
teplota	19,2 °C
poznámky	škola na okraji obce



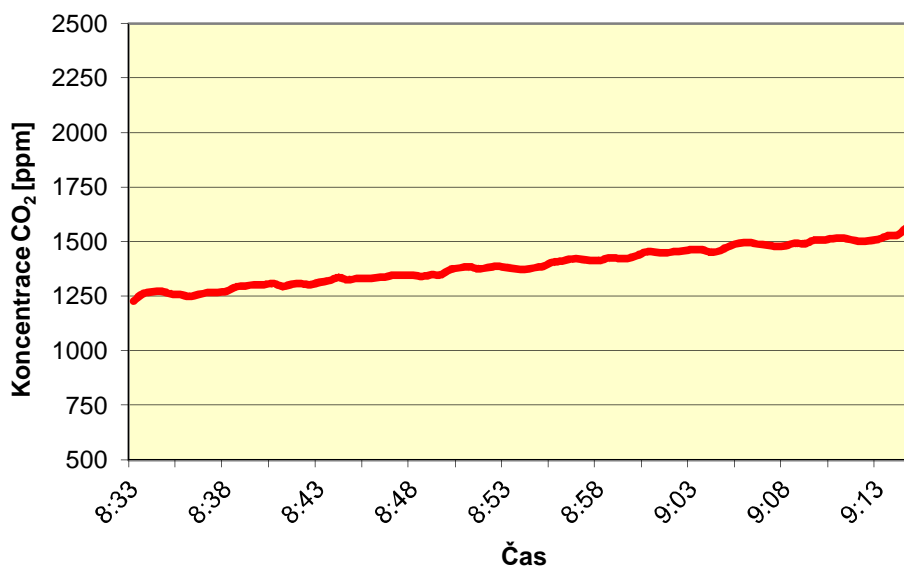
okolnosti měření

počasí	11,1 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru		66 %
koncentrace CO ₂ v exteriéru		433 ppm

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1228 ppm	1564 ppm	1391 ppm
vlhkost v interiéru		57,4 %

Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



popis učebny C

celkový objem vzduchu	147,6 m ³
typ oken	plastová
větrání	na začátku hodiny otevřené dveře na chodbu starý ventilační otvor cca 300 x 500 mm
počet osob	8 osob
objem vzduchu na 1 osobu	18,4 m ³
věk osob	14 let
teplota	19,4 °C
poznámky	škola na okraji obce

okolnosti měření

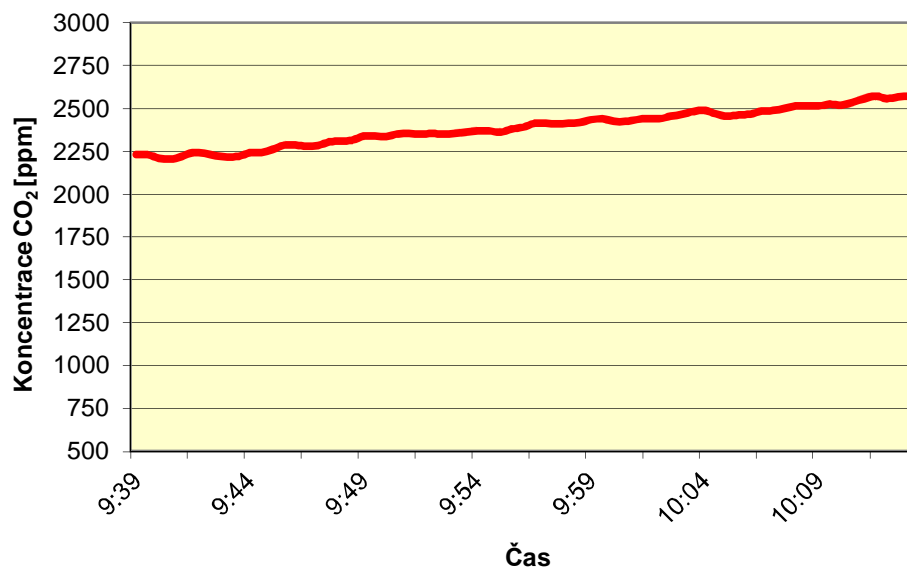
počasí	10,0 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru	71 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	428 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
2204 ppm	2573 ppm	2387 ppm
vlhkost v interiéru		61,6 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



popis učebny D

celkový objem vzduchu	189,7 m ³
typ oken	plastová
větrání	na začátku hodiny otevřené dveře na chodbu 2 x starý ventilační otvor cca 300 x 300 mm
počet osob	14 osob
objem vzduchu na 1 osobu	13,6 m ³
věk osob	15 let
teplota	20,4 °C
poznámky	škola na okraji obce

okolnosti měření

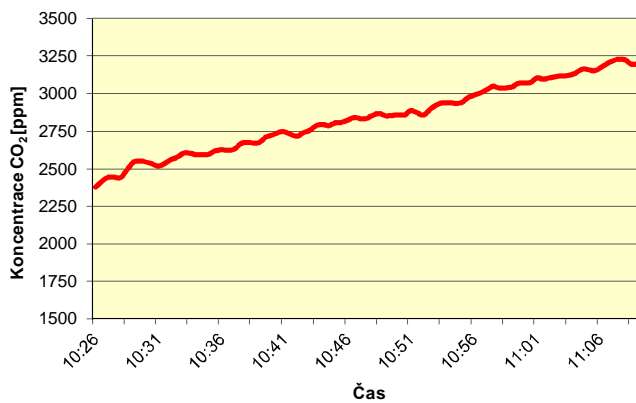
počasí	12,4 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru		64 %
koncentrace CO ₂ v exteriéru		436 ppm

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
2375 ppm	3233 ppm	2836 ppm
vlhkost v interiéru		61,1 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



8.9 Škola č. 9

popis učebny A

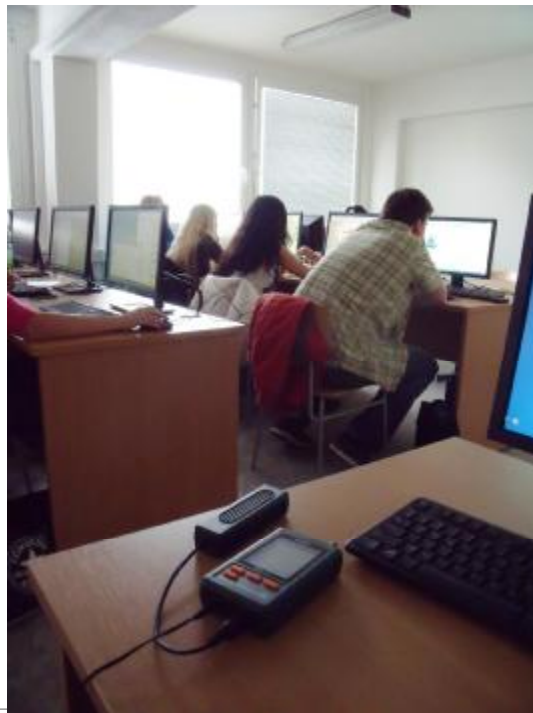
celkový objem vzduchu	171,7 m ³
typ oken	plastová
větrání	2 x otevřená ventilačka, 14:20-14:26 4 odchody celkem 7 lidí
počet osob	26 osob
objem vzduchu na 1 osobu	6,6 m ³
věk osob	20 let
teplota	24,9 °C
poznámky	škola na okraji města

okolnosti měření

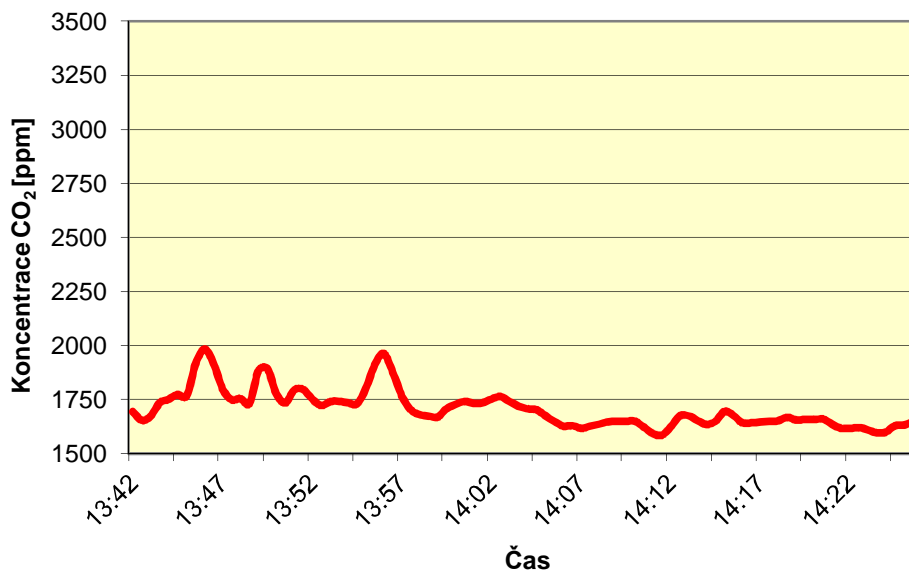
počasí	12,0 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru		64 %
koncentrace CO ₂ v exteriéru		436 ppm

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1586 ppm	1983 ppm	1707 ppm
vlhkost v interiéru		44,3 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



popis učebny B

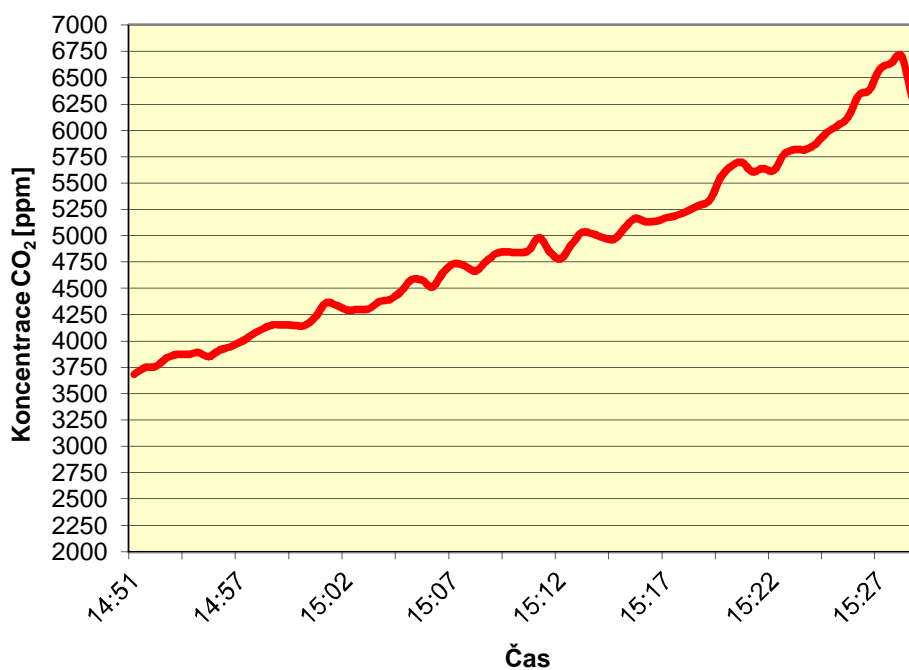
celkový objem vzduchu	191,4 m ³
typ oken	dřevěná zdvojená
počet osob	33 osob
objem vzduchu na 1 osobu	5,8 m ³
věk osob	20 let
teplota	22,8 °C
poznámky	škola na okraji města

okolnosti měření

počasí	12,0 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru	64 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	436 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
3684 ppm	6706 ppm	4877 ppm
vlhkost v interiéru	56,7 %	

Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování

popis učebny C

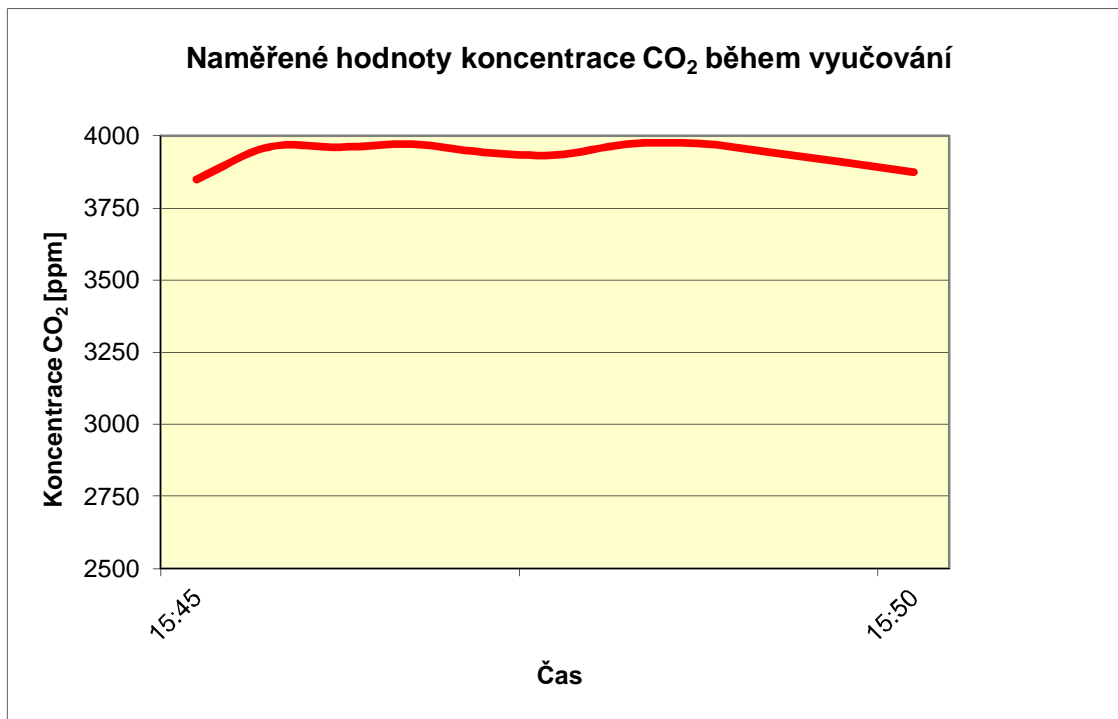
celkový objem vzduchu	260,3 m ³
typ oken	dřevěná zdvojená
větrání	hodnoceno pouze 5 minut
počet osob	35 osob
objem vzduchu na 1 osobu	7,4 m ³
věk osob	20 let
teplota	22 °C
poznámky	škola na okraji města

okolnosti měření

počasí	12,0 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru	64 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	436 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
3849 ppm	3973 ppm	3935 ppm
vlhkost v interiéru		57,7 %



popis učebny D

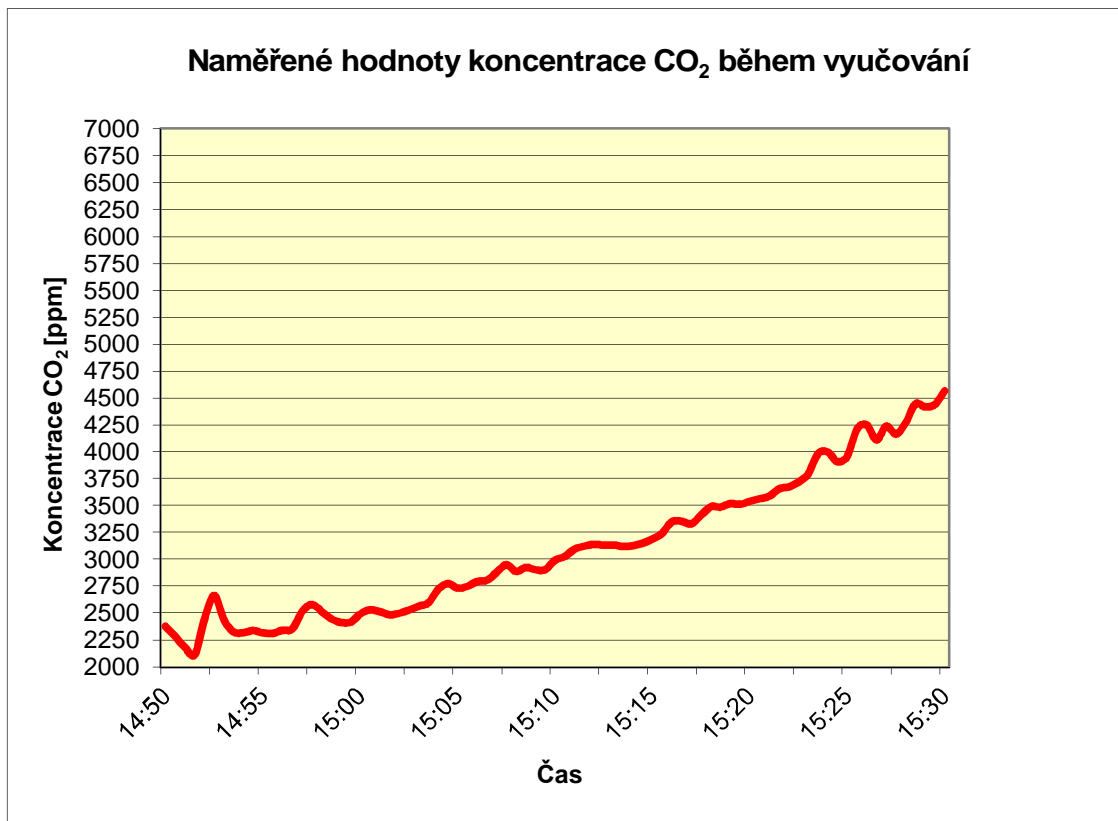
celkový objem vzduchu	191,4 m ³
typ oken	plastová
větrání	před začátkem měření otevřeno 5 spodních ventilaček, na začátku měření byly uzavřeny
počet osob	37 osob
objem vzduchu na 1 osobu	5,2 m ³
věk osob	20 let
teplota	24 °C
poznámky	škola na okraji města

okolnosti měření

počasí	12,0 °C	polojasno
vlhkost v exteriéru		64 %
koncentrace CO ₂ v exteriéru		436 ppm

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
2115 ppm	4566 ppm	3103 ppm
vlhkost v interiéru		51,1 %



8.10 Škola č. 10

popis učebny A

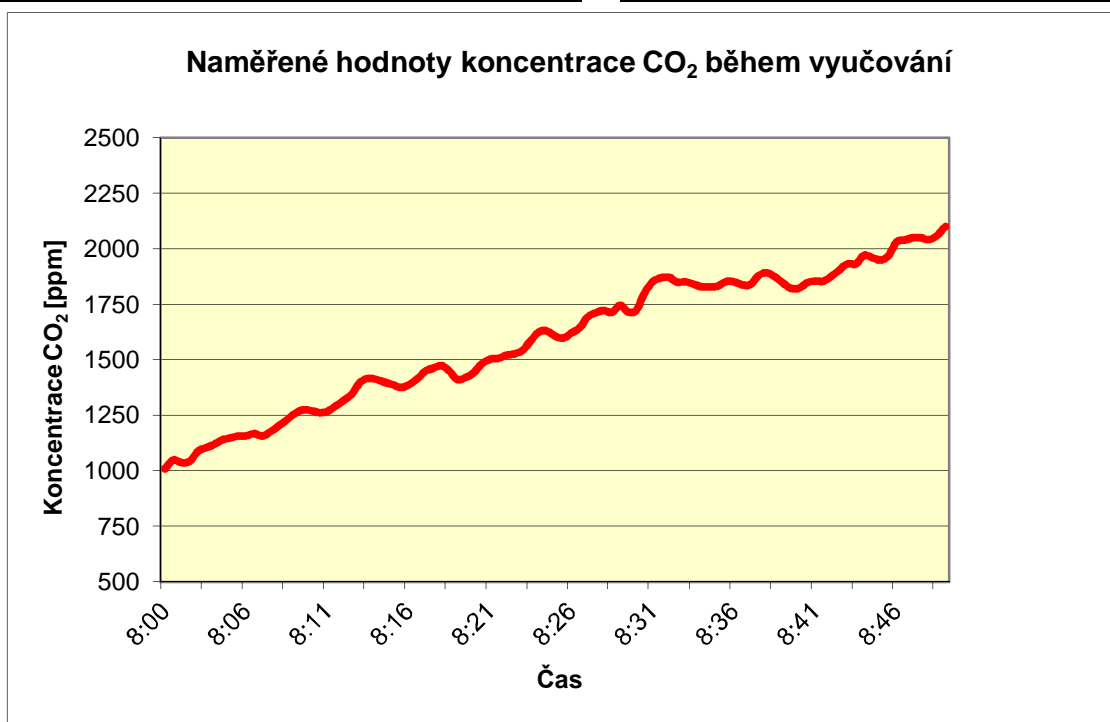
celkový objem vzduchu	151,9 m ³
typ oken	plastová; střešní okna dřevěná (izol. dvojsklo)
počet osob	17 osob
objem vzduchu na 1 osobu	8,9 m ³
věk osob	10 let
teplota	19,3 °C
poznámky	jedná se o podkrovní prostory škola na okraji obce

okolnosti měření

počasí	11,0 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru	#REF! %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	407 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1008 ppm	2100 ppm	1591 ppm
vlhkost v interiéru		52,3 %



popis učebny B

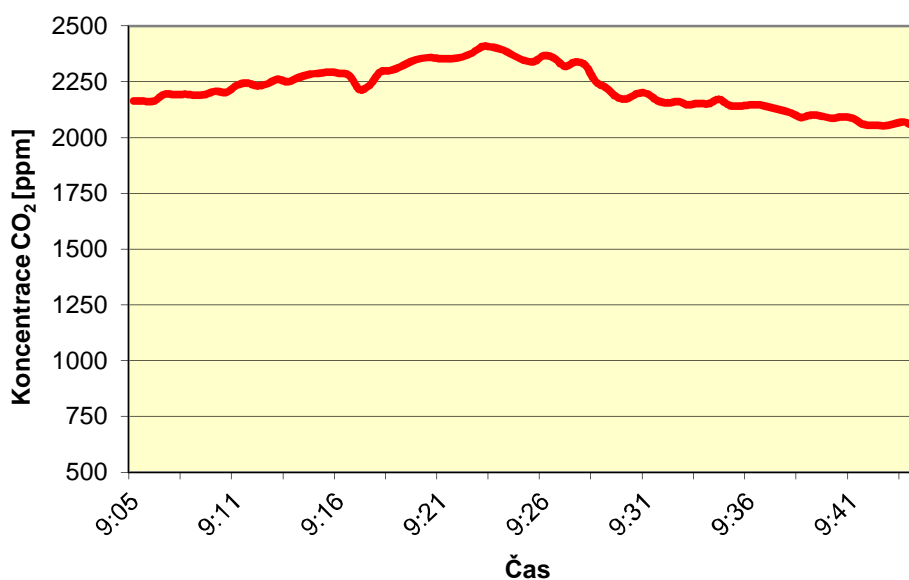
celkový objem vzduchu	175,5 m ³
typ oken	plastová; střešní okna dřevěná (izol. dvojsklo)
počet osob	19 osob
objem vzduchu na 1 osobu	9,2 m ³
věk osob	8 let
teplota	20,1 °C
poznámky	jedná se o podkrovní prostory škola na okraji obce

okolnosti měření

počasí	11,0 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru	63 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	407 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
2050 ppm	2408 ppm	2221 ppm
vlhkost v interiéru		55,8 %

Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování

popis učebny C

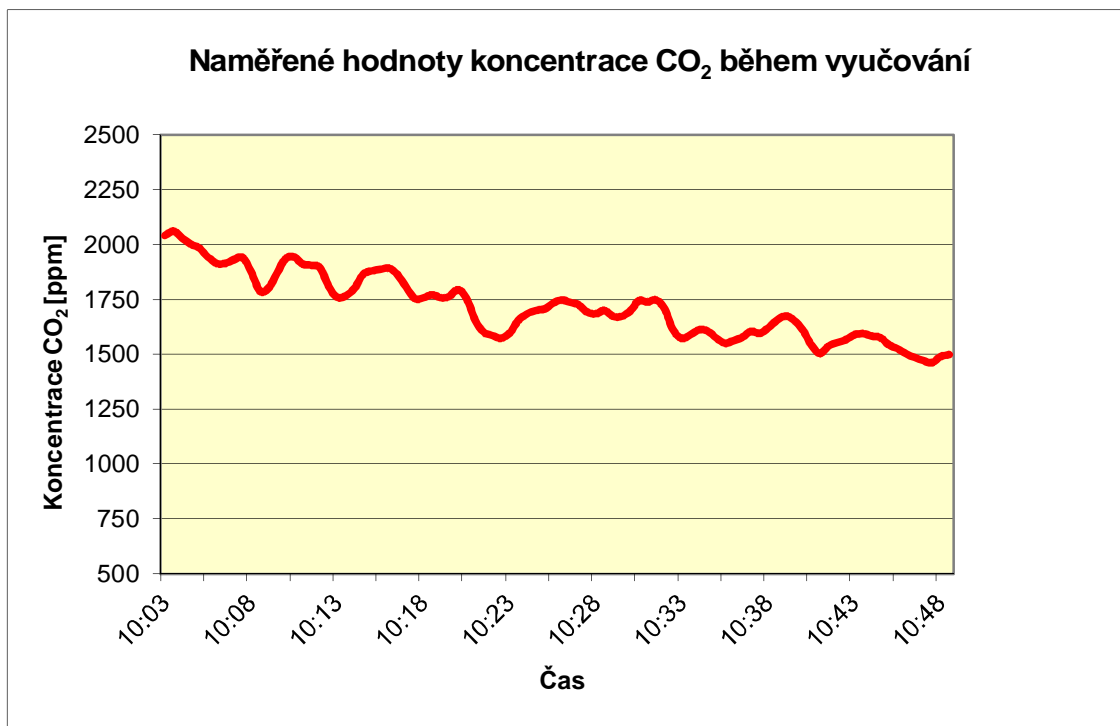
celkový objem vzduchu	235,5 m ³
typ oken	plastová
větrání	o přestávce byla třída přeplněná lidmi i z jiných tříd (probíhala zde zkouška vystoupení), nakonci přestávky odešli, poté byla otevřena 1 ventilačka a zároveň začalo měření 2 x starý ventilační otvor
počet osob	12 osob
objem vzduchu na 1 osobu	19,6 m ³
věk osob	11 let
teplota	20,3 °C
poznámky	škola na okraji obce

okolnosti měření

počasí	12,0 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru	62 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	424 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1461 ppm	2063 ppm	1716 ppm
vlhkost v interiéru		51,1 %



popis učebny D

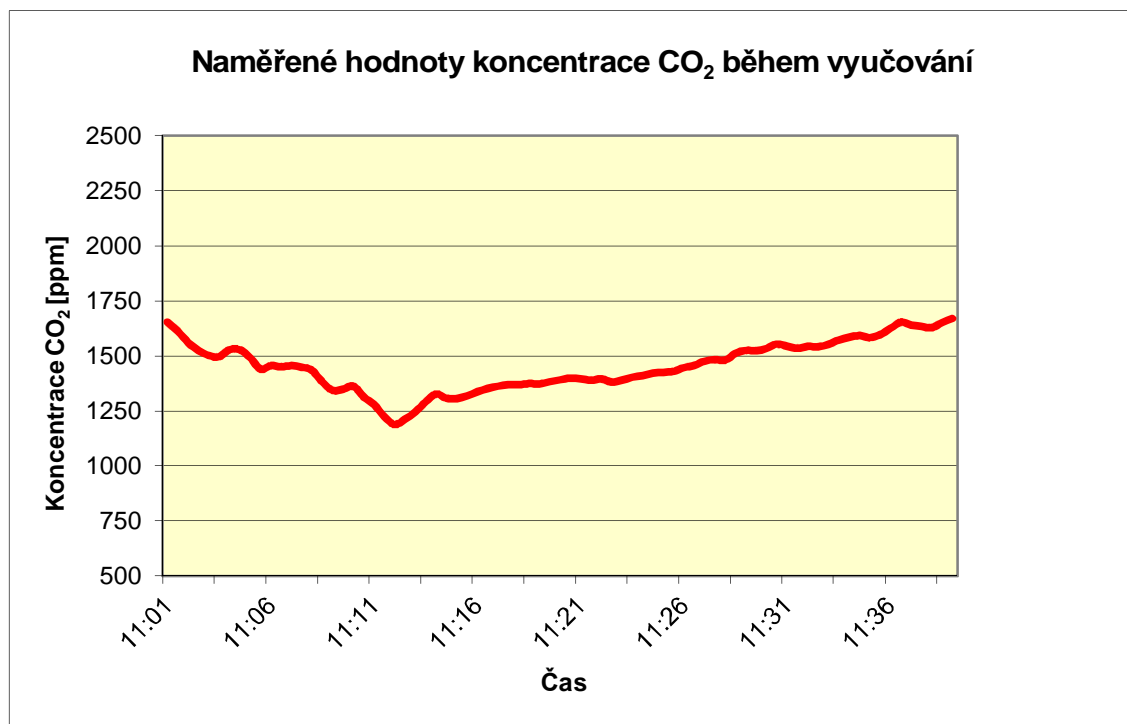
celkový objem vzduchu	235,5 m ³
typ oken	plastová
větrání	od přestávky otevřeny 4 ventilačky, v 11:12 vše zavřeno 2 x starý ventilační otvor
počet osob	20 osob
objem vzduchu na 1 osobu	11,8 m ³
věk osob	9 let
teplota	22,8 °C
poznámky	škola na okraji obce

okolnosti měření

počasí	12,0 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru		62 %
koncentrace CO ₂ v exteriéru		424 ppm

výsledek měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1189 ppm	1669 ppm	1454 ppm
vlhkost v interiéru		43,7 %



8.11 Škola č. 11

popis učebny A

celkový objem vzduchu	206,1 m ³
typ oken	plastová
počet osob	26 osob
objem vzduchu na 1 osobu	7,9 m ³
věk osob	16 let
teplota	19,3 °C
poznámky	škola v centru města

okolnosti měření

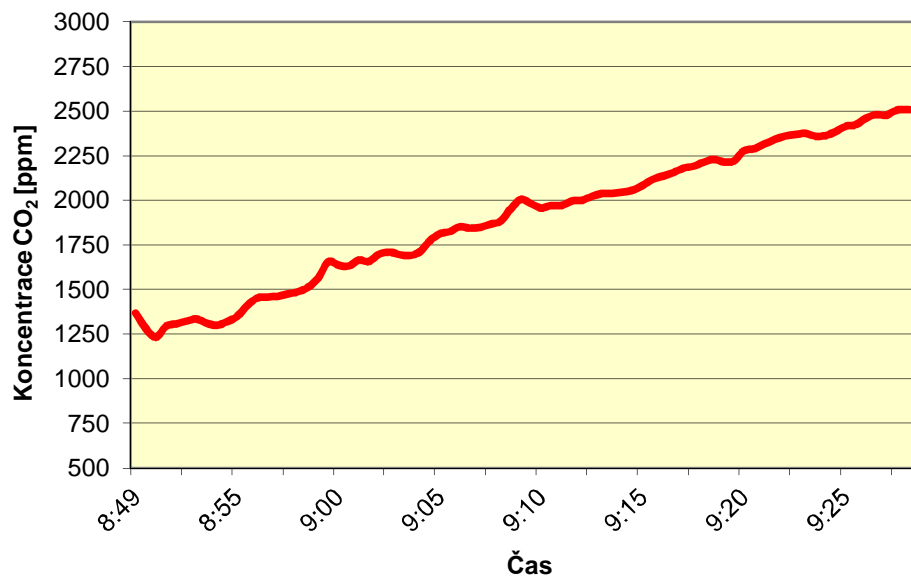
počasí	oblačno, mlha
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1232 ppm	2510 ppm	1890 ppm
vlhkost v interiéru		57,9 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



popis učebny B

celkový objem vzduchu	293,3 m ³
typ oken	plastová
větrání	1. hodina v učebně
počet osob	23 osob
objem vzduchu na 1 osobu	12,8 m ³
věk osob	16 let
teplota	18,8 °C
poznámky	škola v centru města

okolnosti měření

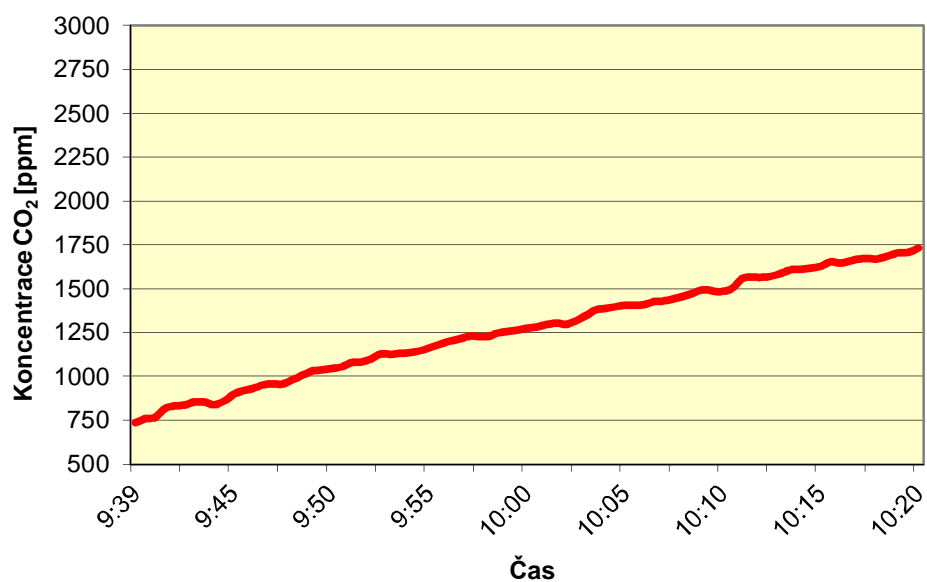
počasí	oblačno, mlha
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
735 ppm	1729 ppm	1262 ppm
vlhkost v interiéru		54,3 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



popis učebny C

celkový objem vzduchu	206,2 m ³
typ oken	plastová
počet osob	28 osob
objem vzduchu na 1 osobu	7,4 m ³
věk osob	16 let
teplota	22,2 °C
poznámky	škola v centru města

okolnosti měření

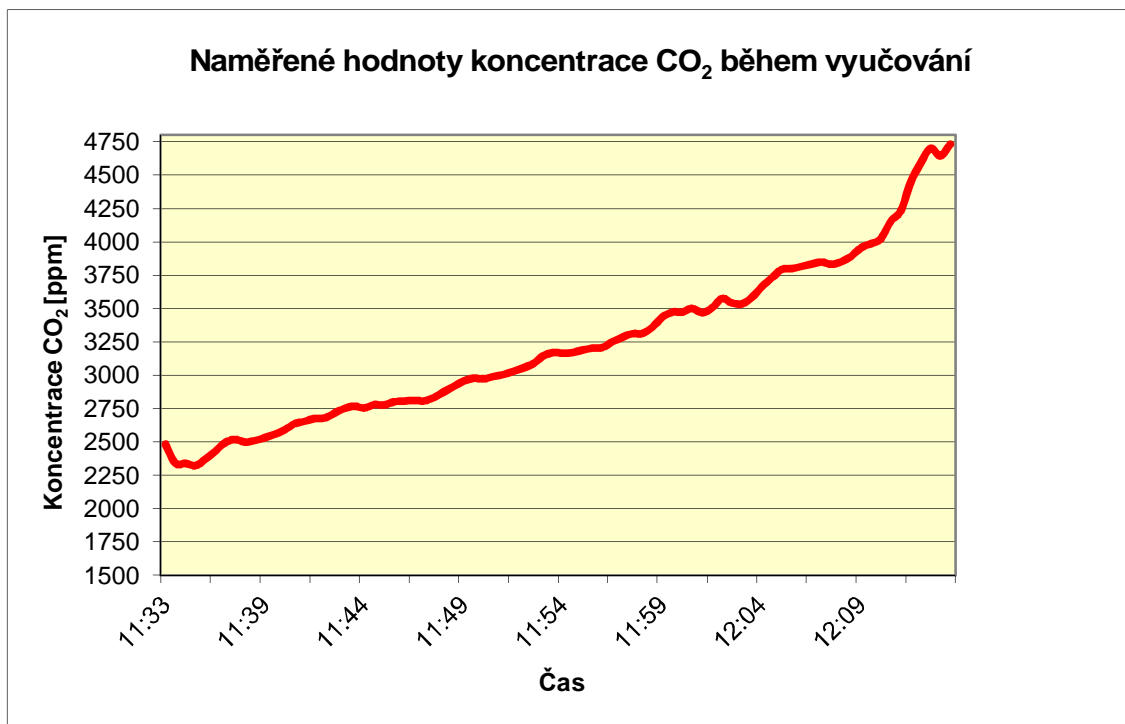
počasí	polojasno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
2299 ppm	4734 ppm	3209 ppm
vlhkost v interiéru		57,6 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



8.12 Škola č. 12

popis učebny A

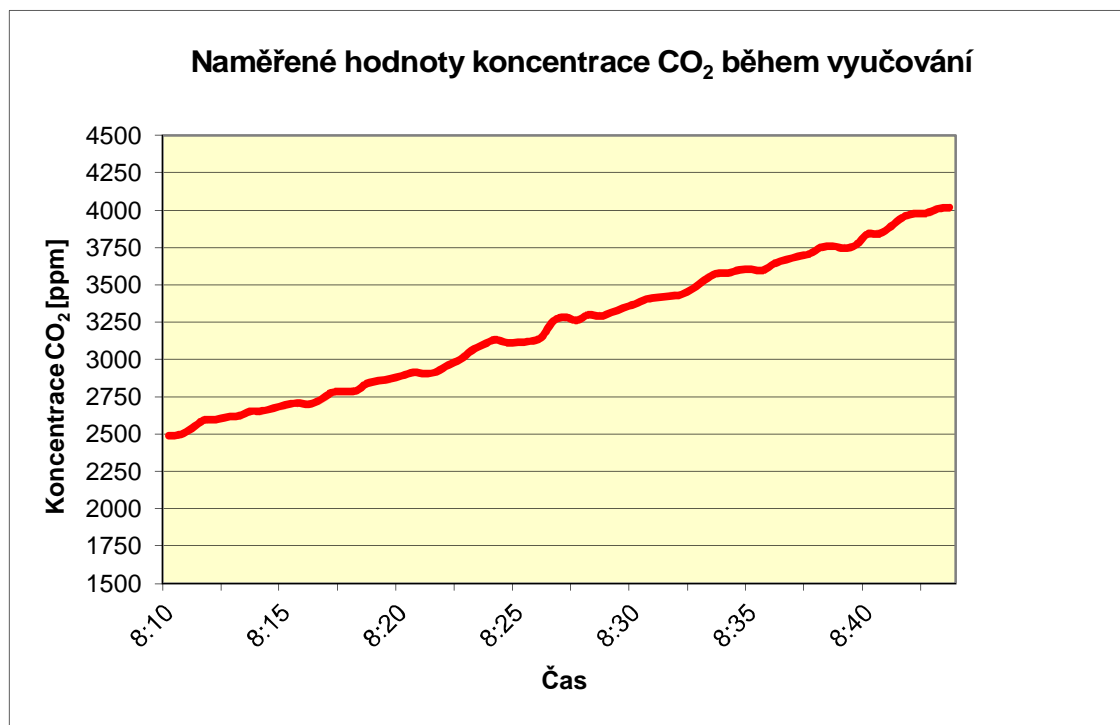
celkový objem vzduchu	191,5 m ³
typ oken	plastová
větrání	již 2. hodina v učebně
počet osob	26 osob
objem vzduchu na 1 osobu	7,4 m ³
věk osob	18 let
teplota	21 °C
poznámky	škola v širším centru města

okolnosti měření

počasí	oblačno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
2491 ppm	4017 ppm	3217 ppm
vlhkost v interiéru		60,1 %



popis učebny B

celkový objem vzduchu	155,0 m ³
typ oken	plastová
větrání	otevřené 2 ventilačky
počet osob	21 osob
objem vzduchu na 1 osobu	7,4 m ³
věk osob	16 let
teplota	20,7 °C
poznámky	škola v širším centru města

okolnosti měření

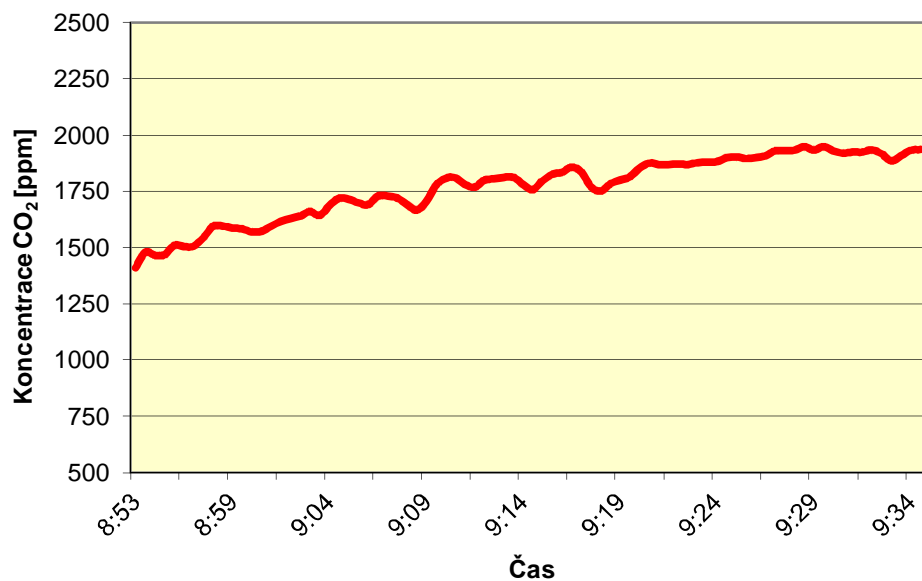
počasí	oblačno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1411 ppm	1949 ppm	1764 ppm
vlhkost v interiéru		51,9 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



popis učebny C

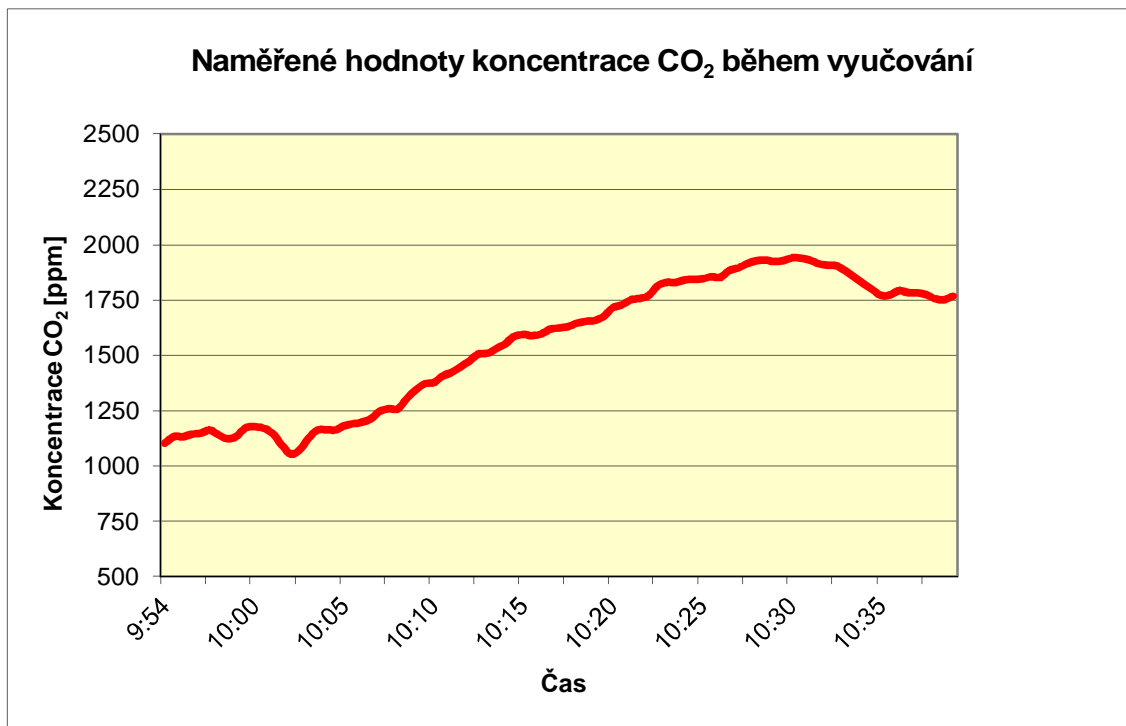
celkový objem vzduchu	137,6 m ³
typ oken	plastová
větrání	od přestávky otevřené 2 ventilačky, 1 okenní křídlo a dveře na chodbu; 10:03 zavřené dveře; 10:07 zavřené okenní křídlo a otevřeno jako ventilačka + otevření další ventilačky; 10:26 úplně otevřeno celé 1 okenní křídlo
počet osob	24 osob
objem vzduchu na 1 osobu	5,7 m ³
věk osob	17 let
teplota	23,3 °C
poznámky	škola v širším centru města

okolnosti měření

počasí	oblačno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1053 ppm	1940 ppm	1546 ppm
vlhkost v interiéru		47,7 %



popis učebny D

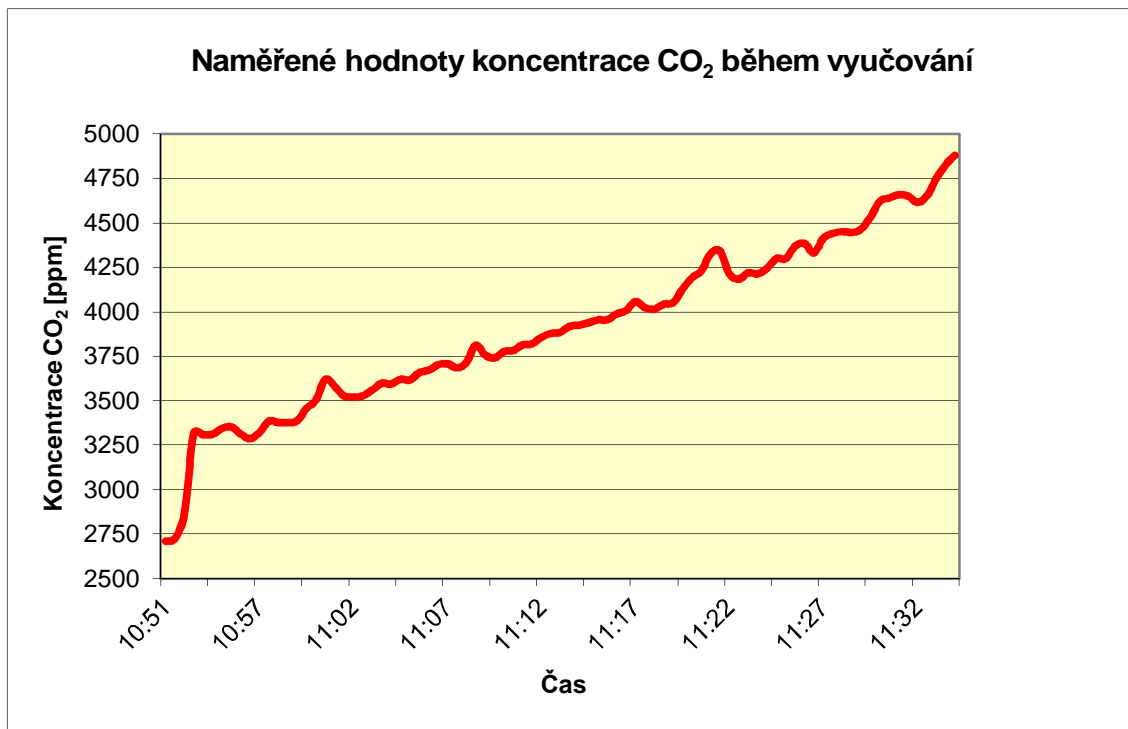
celkový objem vzduchu	105,0 m ³
typ oken	plastová
počet osob	9 osob
objem vzduchu na 1 osobu	11,7 m ³
věk osob	18 let
teplota	23,4 °C
poznámky	škola v širším centru města

okolnosti měření

počasí	oblačno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
2708 ppm	4879 ppm	3889 ppm
vlhkost v interiéru		53,1 %



8.13 Škola č. 13

popis učebny A

celkový objem vzduchu	178,6 m ³
typ oken	dřevěná zdvojená
větrání	od začátku otevřená 1 ventilačka, během hodiny otevřena další
počet osob	24 osob
objem vzduchu na 1 osobu	7,4 m ³
věk osob	10 let
teplota	22,3 °C
poznámky	škola v centru města

okolnosti měření

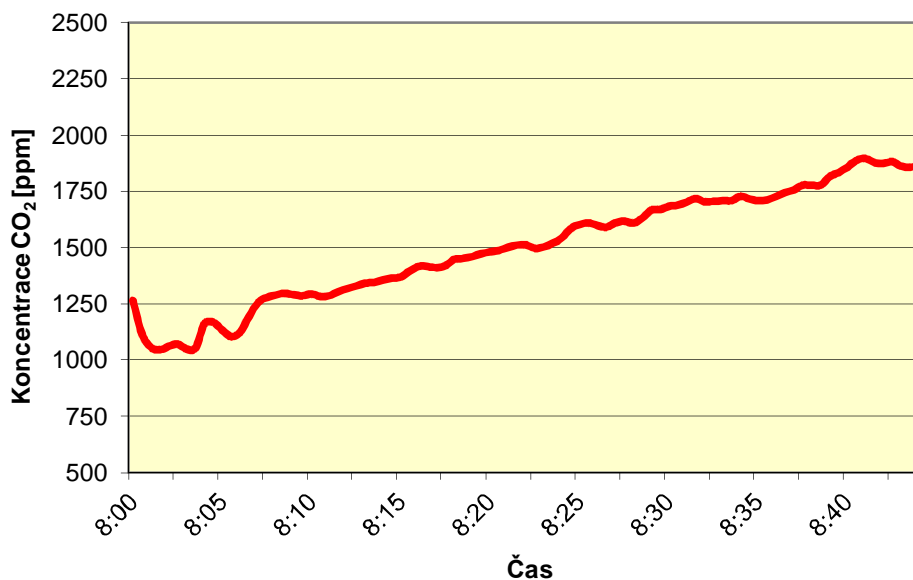
počasí	oblačno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1045 ppm	1895 ppm	1502 ppm
vlhkost v interiéru		44,3 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



popis učebny B

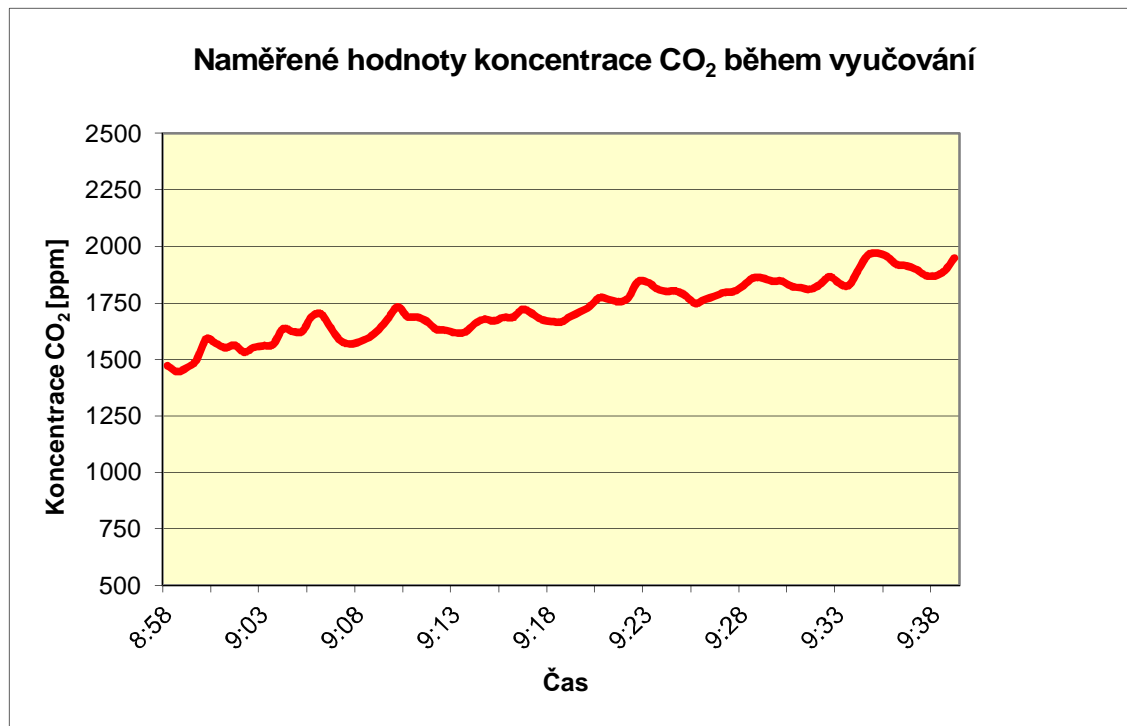
celkový objem vzduchu	178,6 m ³
typ oken	dřevěná zdvojená
větrání	od začátku otevřené 2 ventilačky
počet osob	22 osob
objem vzduchu na 1 osobu	8,1 m ³
věk osob	11 let
teplota	23,1 °C
poznámky	škola v centru města

okolnosti měření

počasí	oblačno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1445 ppm	1970 ppm	1725 ppm
vlhkost v interiéru		46,8 %



popis učebny C

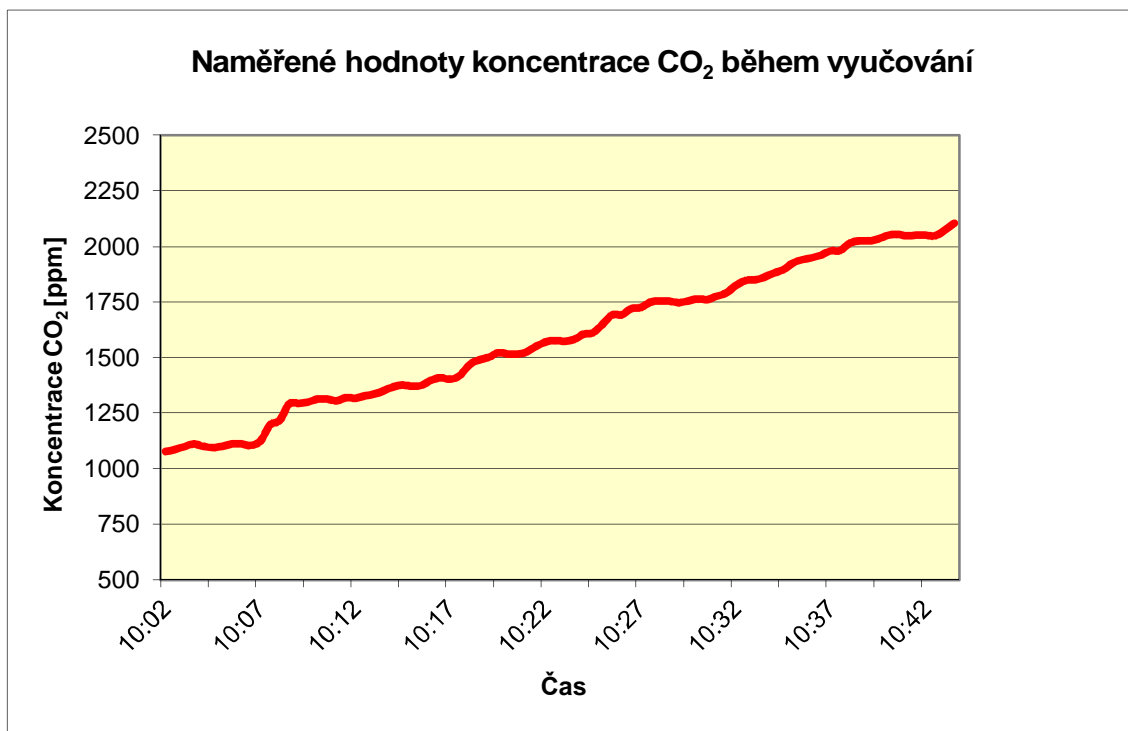
celkový objem vzduchu	187,1 m ³
typ oken	dřevěná zdvojená
větrání	předěšlou hodinu byla učebna prázdná a intenzivně větraná, na začátku měřené hodiny byla všechna okna zavřena
počet osob	27 osob
objem vzduchu na 1 osobu	6,9 m ³
věk osob	9 let
teplota	22,8 °C
poznámky	škola v centru města

okolnosti měření

počasí	oblačno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1078 ppm	2105 ppm	1591 ppm
vlhkost v interiéru		47,6 %



popis učebny D

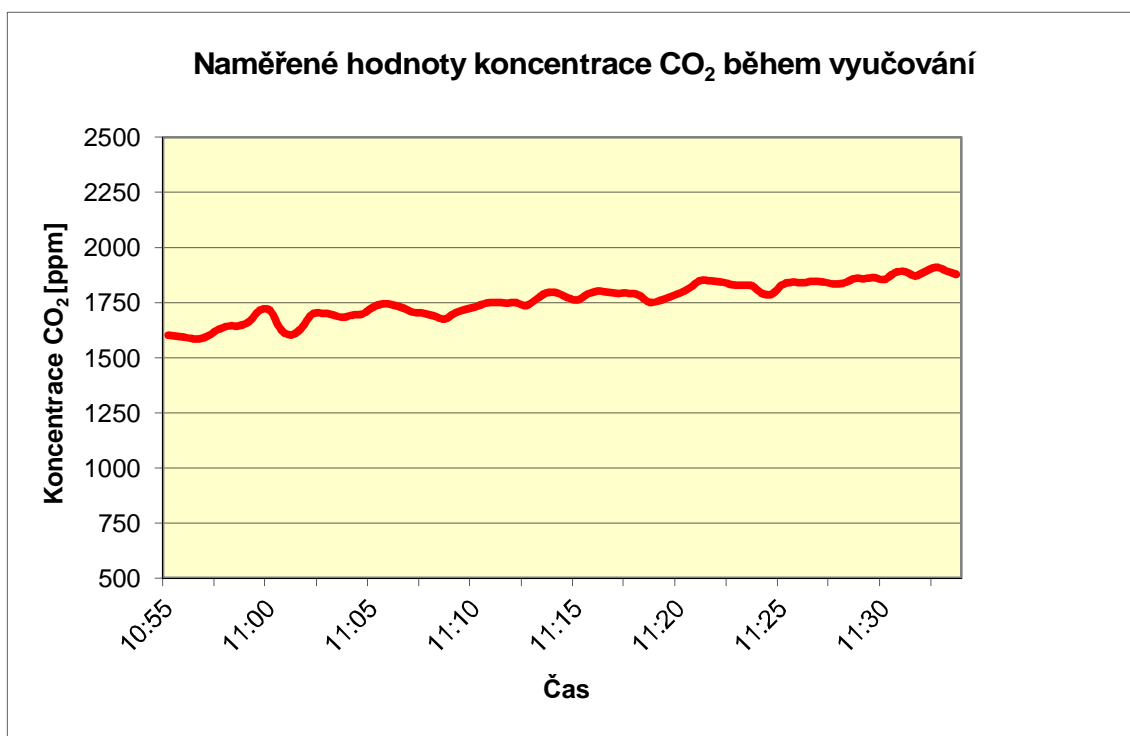
celkový objem vzduchu	187,1 m ³
typ oken	dřevěná zdvojená
větrání	od začátku otevřené 4 ventilačky
počet osob	25 osob
objem vzduchu na 1 osobu	7,5 m ³
věk osob	10 let
teplota	22,6 °C
poznámky	škola v centru města

okolnosti měření

počasí	oblačno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1584 ppm	1910 ppm	1760 ppm
vlhkost v interiéru		48,7 %



8.14 Škola č. 14

popis učebny A

celkový objem vzduchu	234,0 m ³
typ oken	plastová
počet osob	20 osob
objem vzduchu na 1 osobu	11,7 m ³
věk osob	7 let
teplota	20,3 °C
poznámky	škola v širším centru města

okolnosti měření

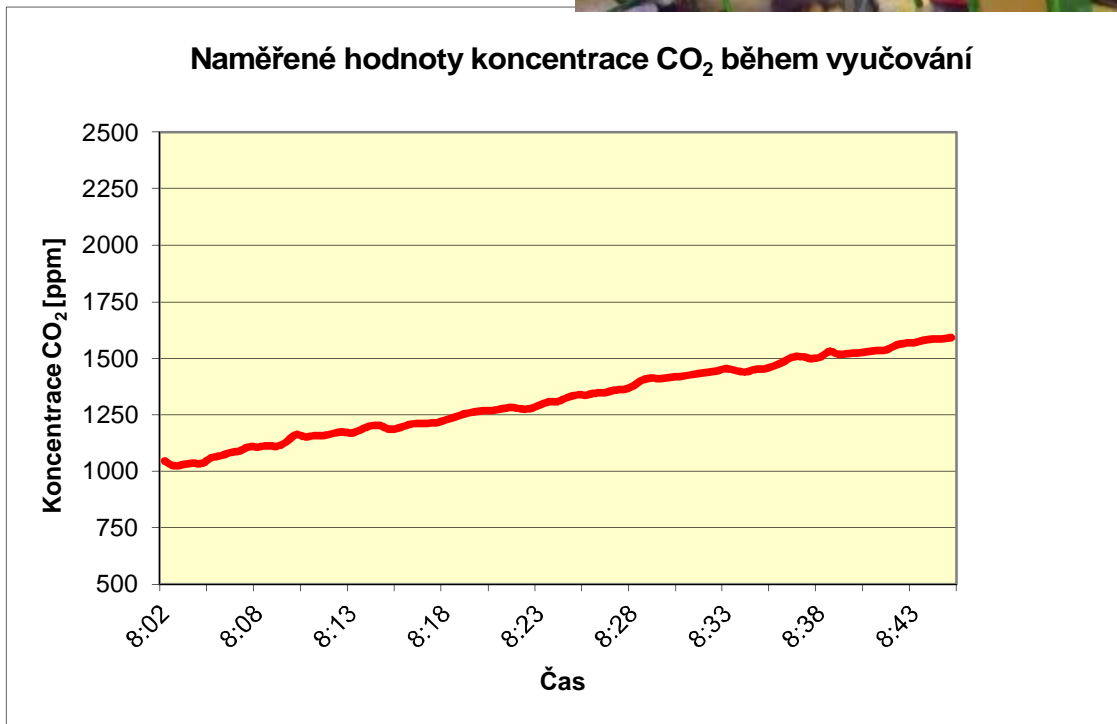
počasí	10,0 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru		63 %
koncentrace CO ₂ v exteriéru		413 ppm

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1022 ppm	1590 ppm	1310 ppm
vlhkost v interiéru		54,2 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



popis učebny B

celkový objem vzduchu	253,5 m ³
typ oken	plastová
větrání	otevřená 1 ventilačka, 9:29 otevřené dveře na chodbu, 9:30 zacvřené, 9:40 otevřené
počet osob	23 osob
objem vzduchu na 1 osobu	11,0 m ³
věk osob	8 let
teplota	20,6 °C
poznámky	škola v širším centru města

okolnosti měření

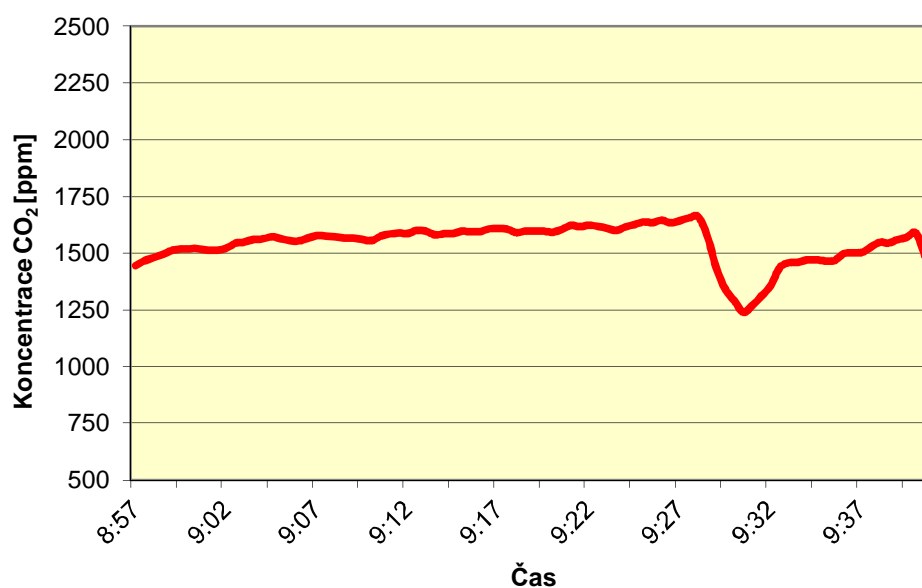
počasí	10,0 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru	63 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	413 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1240 ppm	1661 ppm	1543 ppm
vlhkost v interiéru		53,4 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



popis učebny C

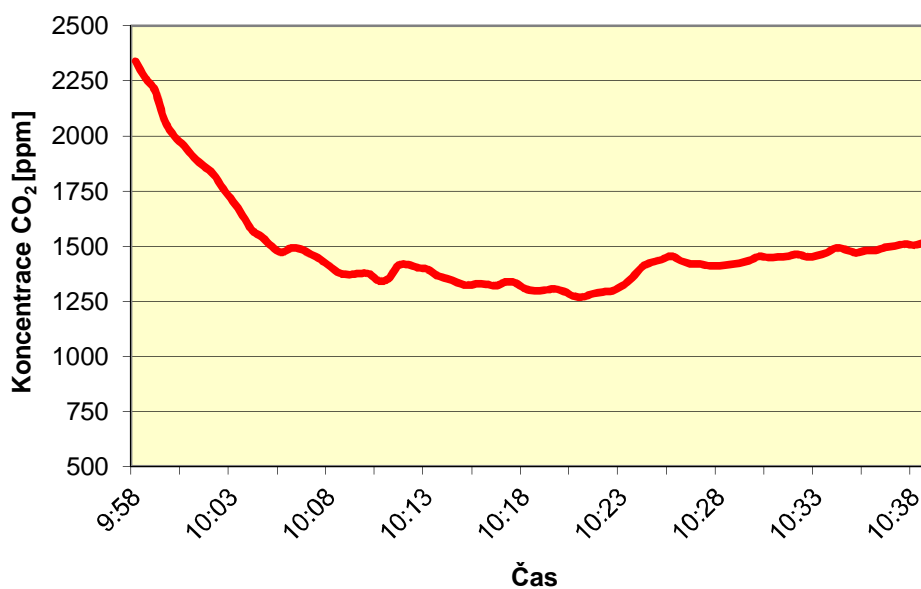
celkový objem vzduchu	256,0 m ³
typ oken	plastová
větrání	na začátku hodiny otevřeli celá 2 okenní křídla, 10:09 1 křídlo přivřeno na ventilačku, 10:21-10:30 druhé křídlo přivřeno na ventilačku
počet osob	15 osob
objem vzduchu na 1 osobu	17,1 m ³
věk osob	13 let
teplota	21,2 °C
poznámky	škola v širším centru města

okolnosti měření

počasí	10,0 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru	63 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	413 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1270 ppm	2340 ppm	1488 ppm
vlhkost v interiéru		48,9 %

Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování

popis učebny D

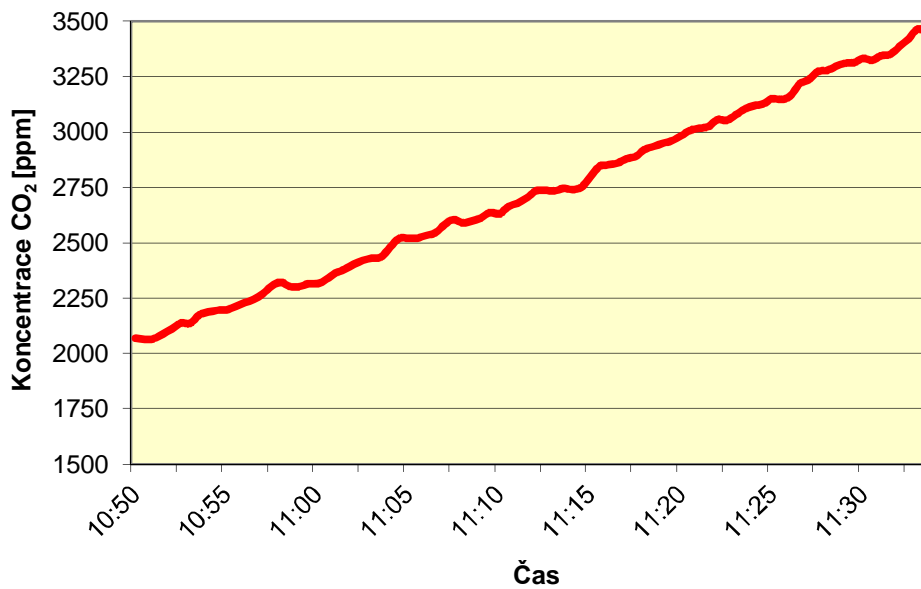
celkový objem vzduchu	261,1 m ³
typ oken	plastová
větrání	o přestávce otevřená 1 ventilačka, na začátku hodiny zavřená
počet osob	27 osob
objem vzduchu na 1 osobu	9,7 m ³
věk osob	14 let
teplota	21,2 °C
poznámky	škola v širším centru města

okolnosti měření

počasí	10,0 °C	oblačno
vlhkost v exteriéru	63 %	
koncentrace CO ₂ v exteriéru	413 ppm	

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
2064 ppm	3465 ppm	2725 ppm
vlhkost v interiéru		56,1 %

Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování

8.15 Škola č. 15

popis učebny A

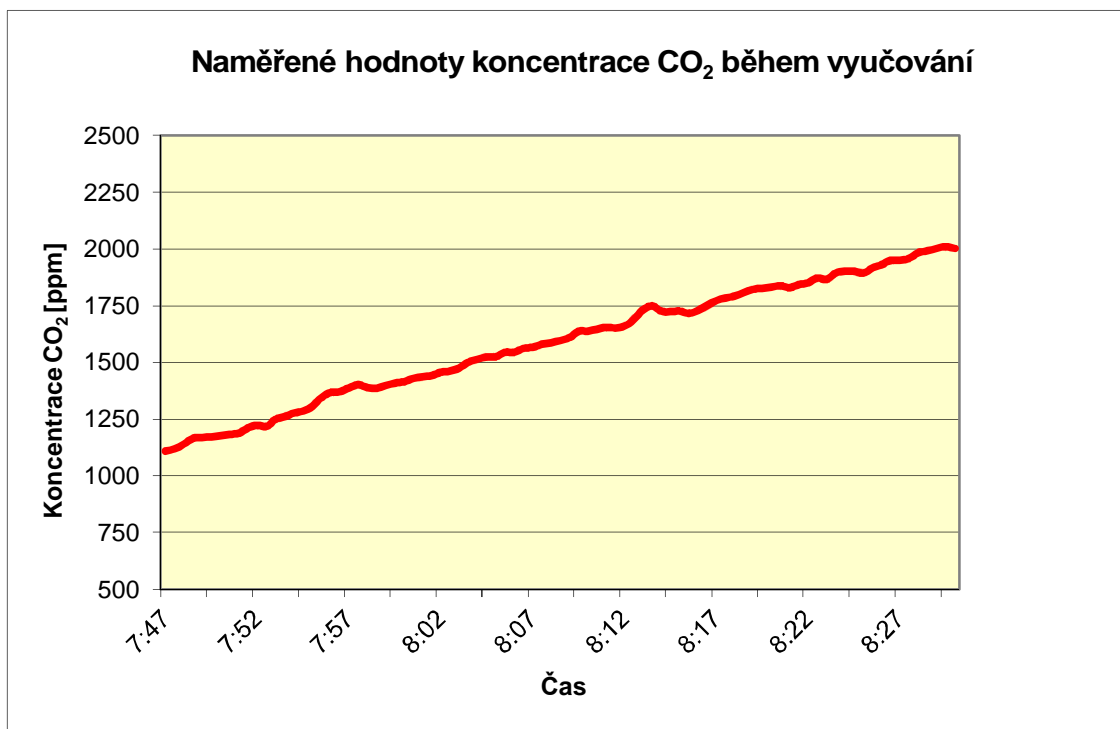
celkový objem vzduchu	110,9 m ³
typ oken	dřevěná zdvojená
větrání	před hodinou vyvětráno
počet osob	10 osob
objem vzduchu na 1 osobu	11,1 m ³
věk osob	9-10 let
teplota	22,2 °C
poznámky	škola v centru obce

okolnosti měření

počasí	oblačno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1109 ppm	2010 ppm	1583 ppm
vlhkost v interiéru		51,8 %



popis učebny B

celkový objem vzduchu	264,6 m ³
typ oken	dřevěná zdvojená
větrání	8:50 otevřené dveře do sousední místnosti, 9:00 všichni odešli na svačinu, 9:25 všichni se vrátili, 9:26 zavřeny dveře do sousední místnosti
počet osob	18 osob
objem vzduchu na 1 osobu	14,7 m ³
věk osob	3-6 let
teplota	22,1 °C
poznámky	škola v centru obce

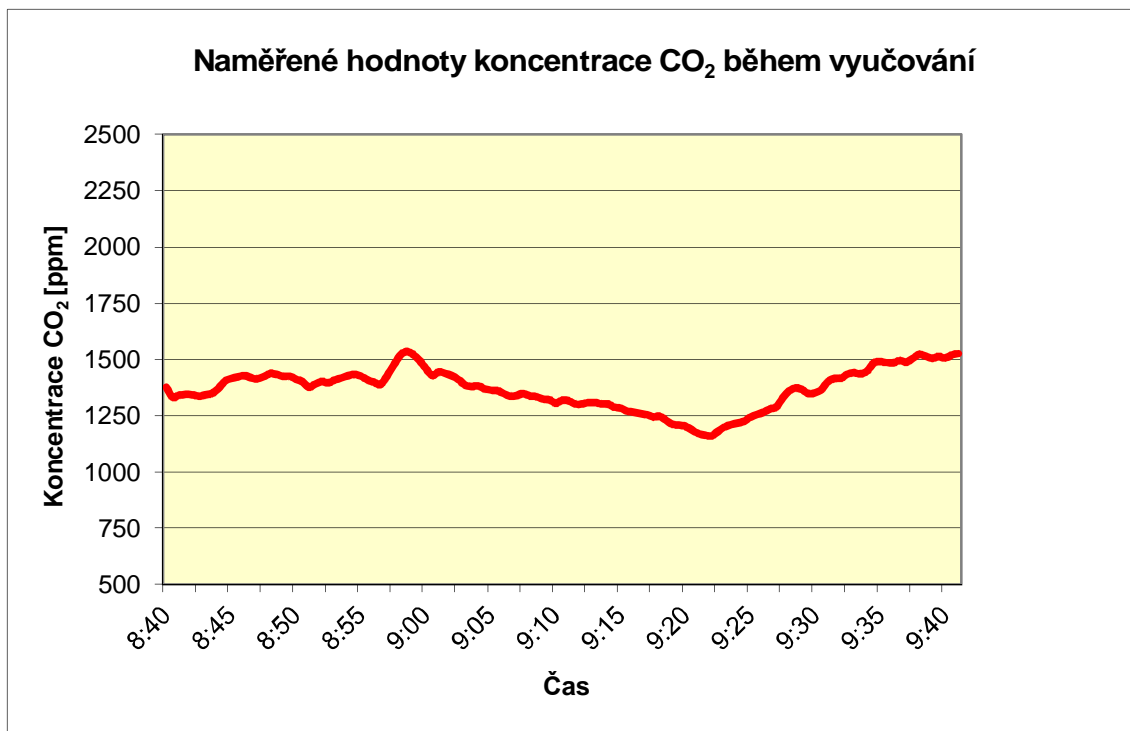
okolnosti měření

počasí	oblačno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno



výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1161 ppm	1535 ppm	1369 ppm
vlhkost v interiéru		46,2 %



popis učebny C

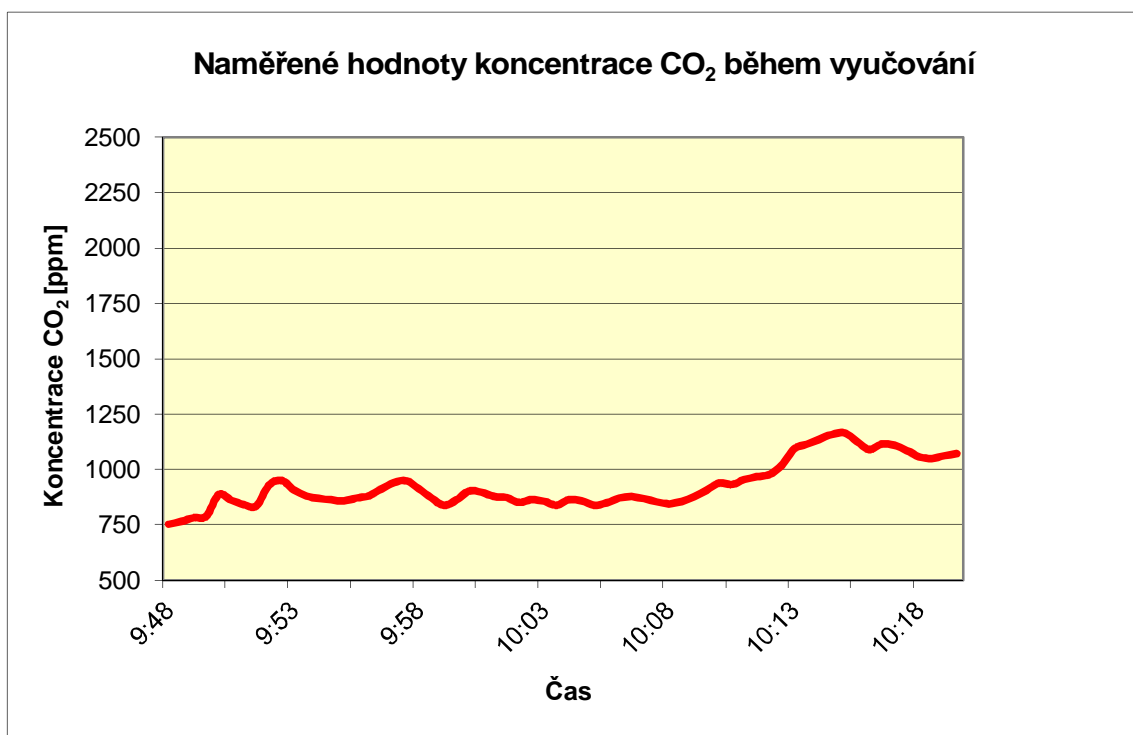
celkový objem vzduchu	264,6 m ³
typ oken	dřevěná zdvojená
větrání	celou dobu otevřené celé jedno okenní křídlo, 1 ventilačka a dveře na chodbu
počet osob	24 osob
objem vzduchu na 1 osobu	11,0 m ³
věk osob	7-8 let
teplota	21 °C
poznámky	škola v centru obce

okolnosti měření

počasí	oblačno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
752 ppm	1164 ppm	927 ppm
vlhkost v interiéru		45,8 %



popis učebny D

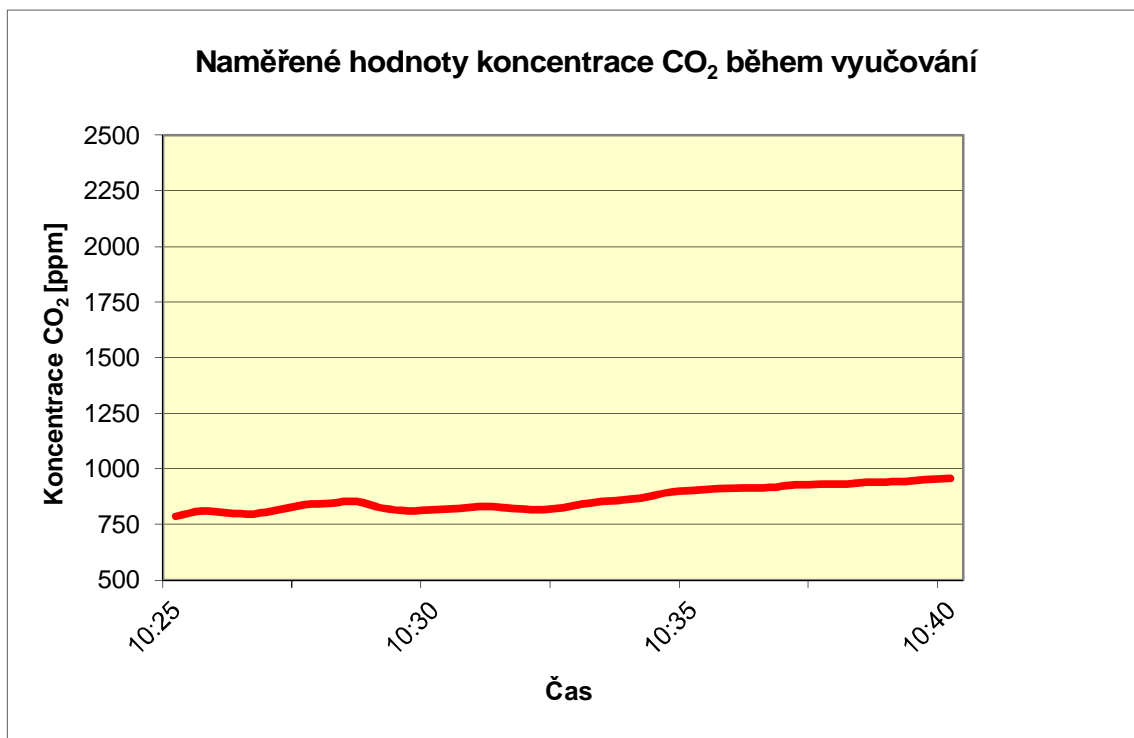
celkový objem vzduchu	110,9 m ³
typ oken	dřevěná zdvojená
větrání	před měřením prázdná učebna, od začátku měření otevřené dveře na chodbu, 10:30 zavřeny, 10:39 otevřeny
počet osob	23 osob
objem vzduchu na 1 osobu	4,8 m ³
věk osob	7-8 let
teplota	21,6 °C
poznámky	škola v centru obce

okolnosti měření

počasí	oblačno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
785 ppm	956 ppm	864 ppm
vlhkost v interiéru		46,4 %



8.16 Škola č. 16

popis učebny A

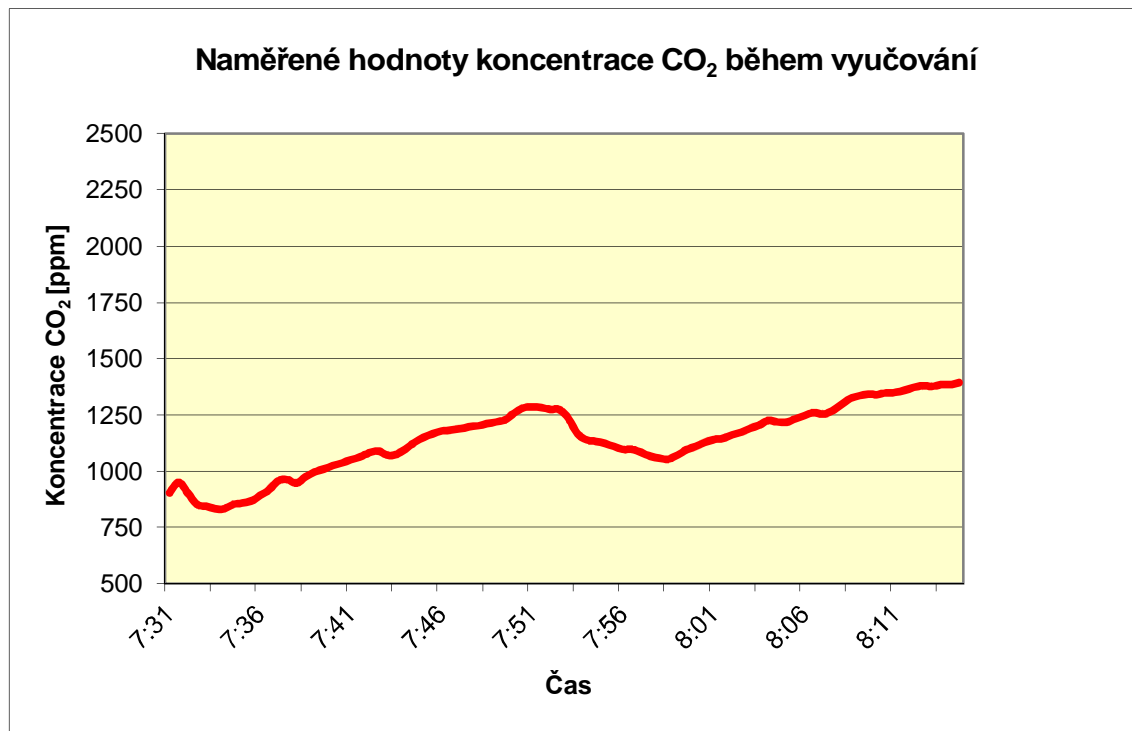
celkový objem vzduchu	158,1 m ³
typ oken	dřevěná dvojitá (špaletová)
větrání	7:51 otevřeny dveře ne chodbu, ± 8:00 zavřeny
počet osob	18 osob
objem vzduchu na 1 osobu	8,8 m ³
věk osob	8 let
teplota	22,6 °C
poznámky	škola v centru obce

okolnosti měření

počasí	jasno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
832 ppm	1393 ppm	1140 ppm
vlhkost v interiéru		42,4 %



popis učebny B

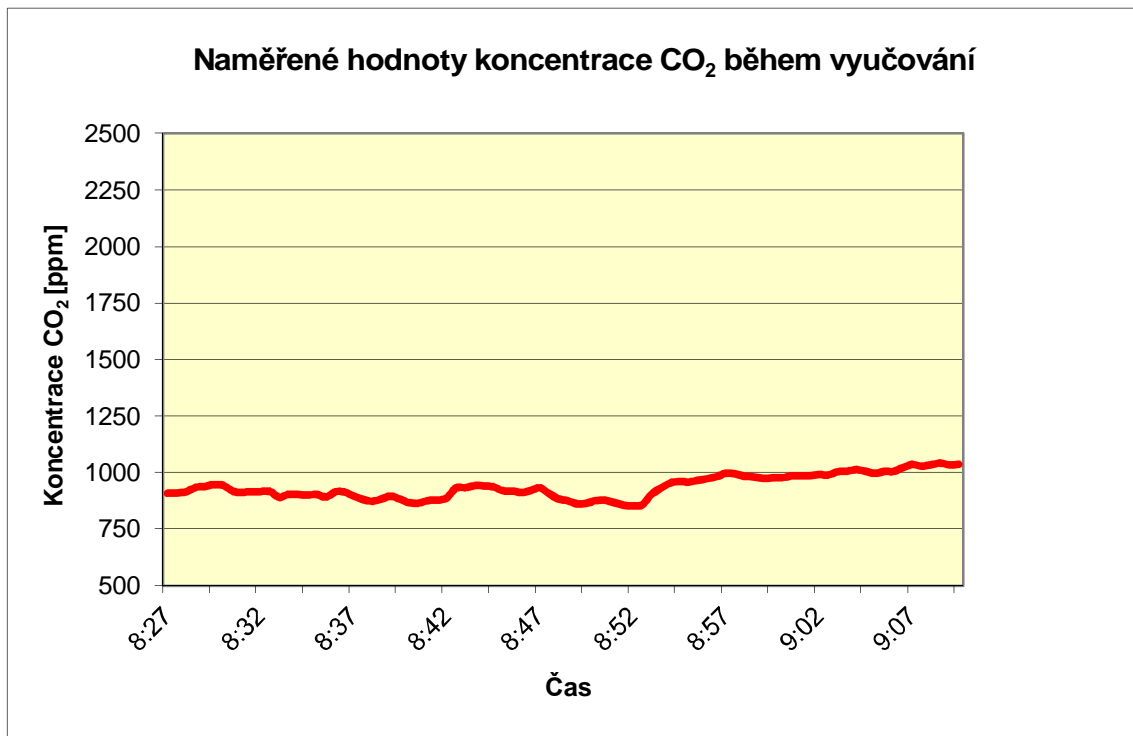
celkový objem vzduchu	298,4 m ³
typ oken	dřevěná dvojitá (špaletová)
větrání	již od přestávky otevřené 1 okno (u tabule)
počet osob	17 osob
objem vzduchu na 1 osobu	17,6 m ³
věk osob	9 let
teplota	22,6 °C
poznámky	škola v centru obce

okolnosti měření

počasí	jasno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
853 ppm	1042 ppm	937 ppm
vlhkost v interiéru		39,5 %



popis učebny C

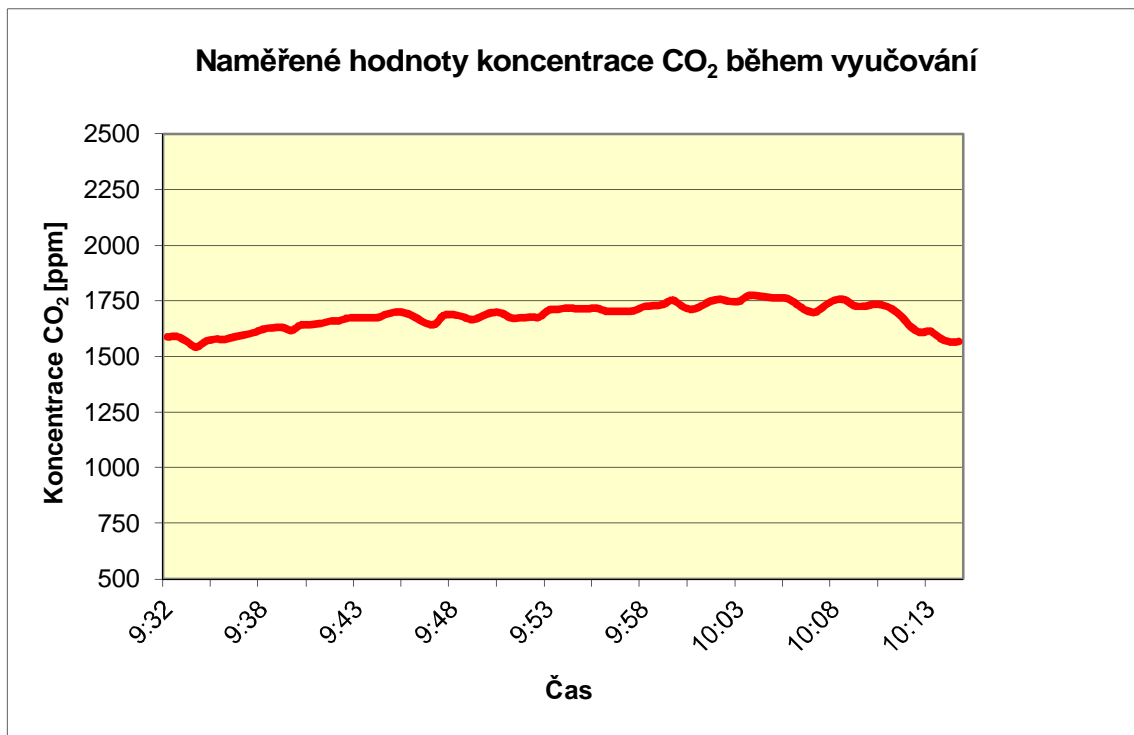
celkový objem vzduchu	158,7 m ³
typ oken	dřevěná dvojitá (špaletová)
větrání	9:39 vzadu otevřeno okno
počet osob	14 osob
objem vzduchu na 1 osobu	11,3 m ³
věk osob	14 let
teplota	25,6 °C
poznámky	škola v centru obce

okolnosti měření

počasí	jasno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1541 ppm	1775 ppm	1678 ppm
vlhkost v interiéru		39,2 %



popis učebny D

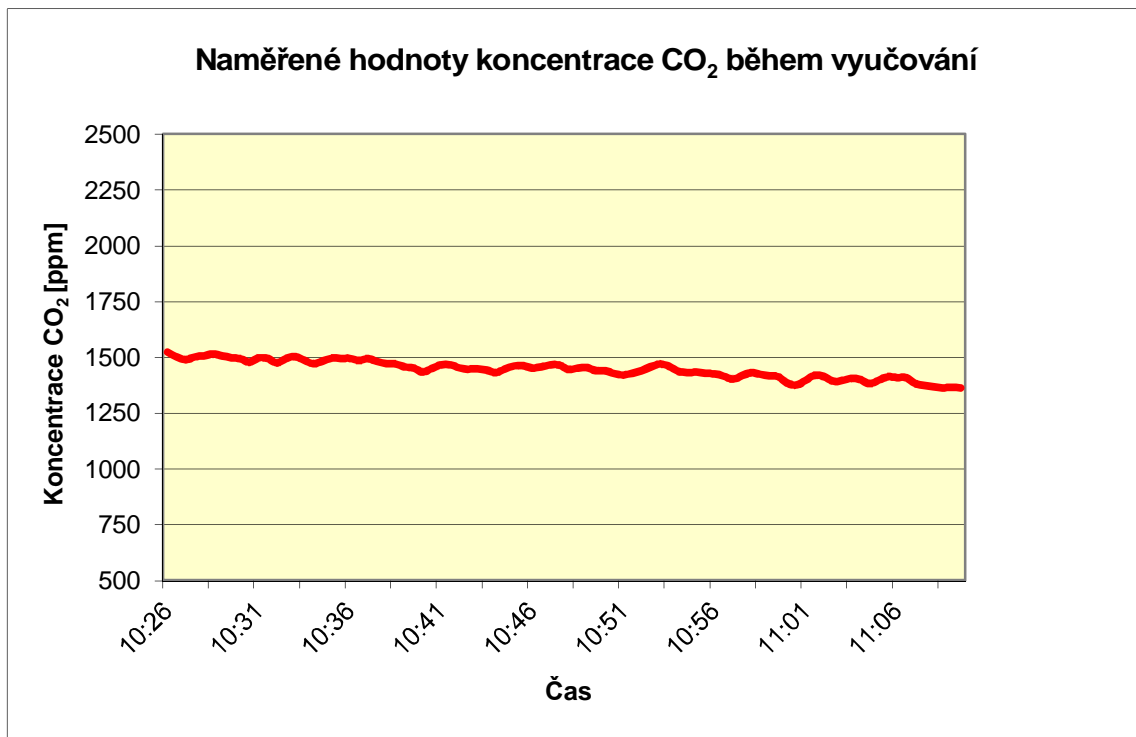
celkový objem vzduchu	158,7 m ³
typ oken	dřevěná dvojitá (špaletová)
větrání	starý ventilační otvor cca 500 x 500 mm
počet osob	11 osob
objem vzduchu na 1 osobu	14,4 m ³
věk osob	13 let
teplota	26,5 °C
poznámky	škola v centru obce

okolnosti měření

počasí	jasno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1363 ppm	1523 ppm	1445 ppm
vlhkost v interiéru		36,9 %



8.17 Škola č. 17

popis učebny A

celkový objem vzduchu	269,5 m ³
typ oken	plastová
větrání	8:14 otevřené dveře na chodbu, 8:15 zavřené, 8:21 všichni odešli na svačinu a nechali otevřené dveře, 8:43 návrat a zavření dveří, 9:05 otevřeny 2 ventilačky, po chvíli zavřeny
počet osob	16 osob
objem vzduchu na 1 osobu	16,8 m ³
věk osob	3-6 let
teplota	22,9 °C
poznámky	škola na okraji obce

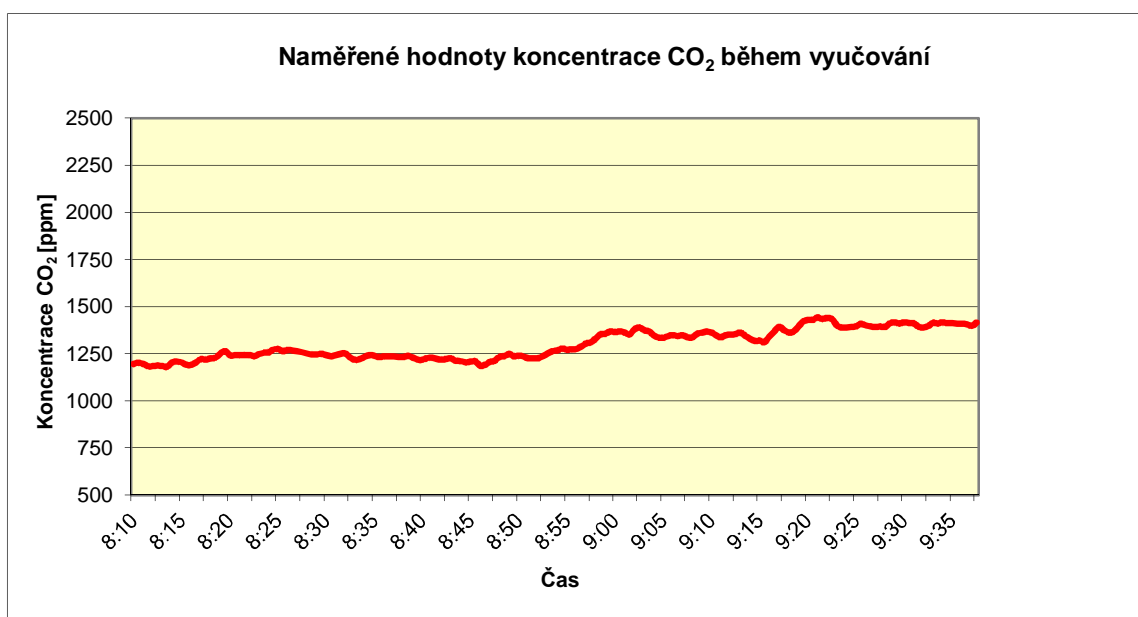


okolnosti měření

počasí	oblačno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1180 ppm	1444 ppm	1300 ppm
vlhkost v interiéru		46,9 %



popis učebny B

celkový objem vzduchu	188,2 m ³
typ oken	plastová
větrání	od přestávky otevřeny 2 ventilačky 2 × starý ventilační otvor ± 600 × 600 mm
počet osob	10 osob
objem vzduchu na 1 osobu	18,8 m ³
věk osob	9-10 let
teplota	22 °C
poznámky	škola na okraji obce

okolnosti měření

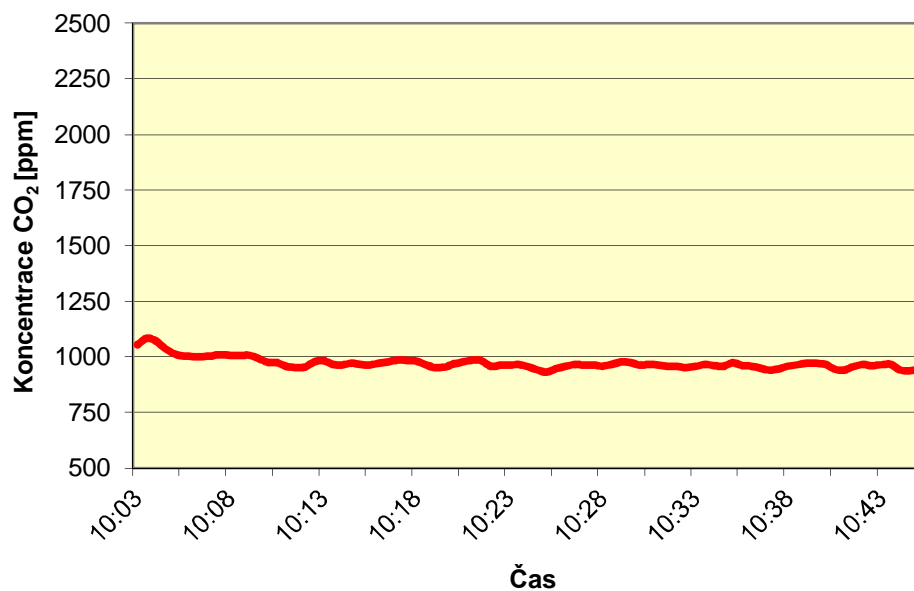
počasí	oblačno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
931 ppm	1083 ppm	971 ppm
vlhkost v interiéru		44,3 %



Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ během vyučování



popis učebny C

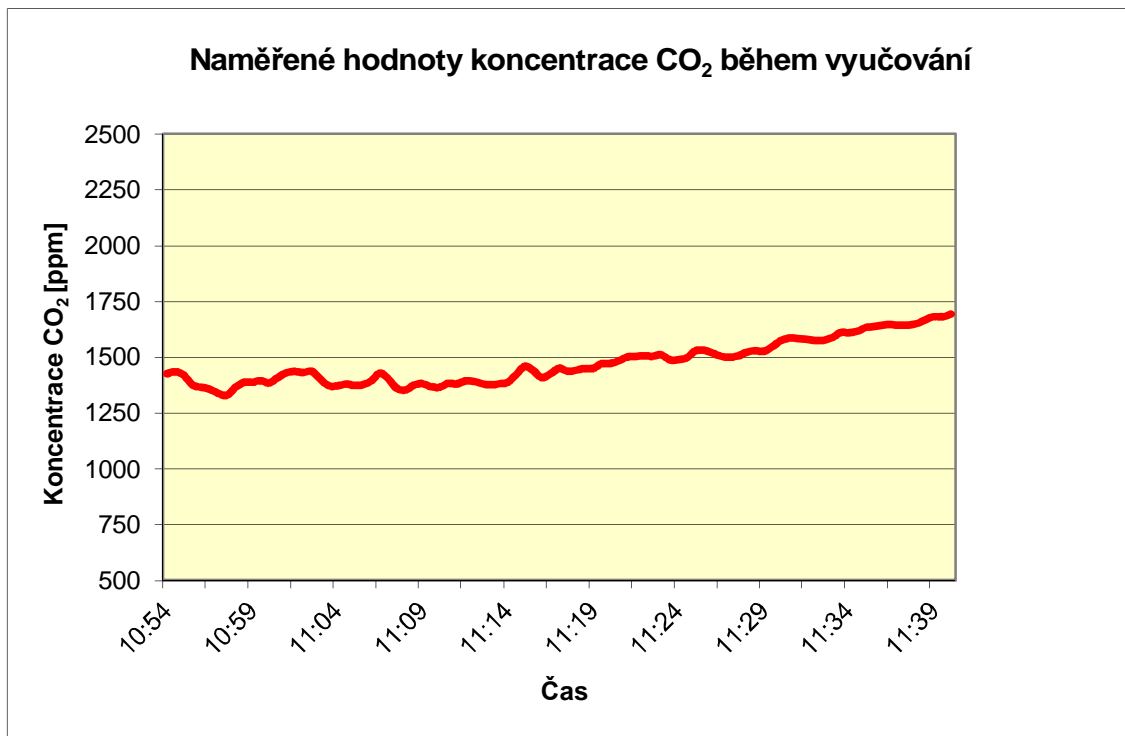
celkový objem vzduchu	188,2 m ³
typ oken	plastová
větrání	od přestávky otevřena 1 ventilačka a dveře na chodbu, 11:00 dveře zavřeny, 11:16 2x odchod a příchod, ±11:20 zavřena ventilačka 2 x starý ventilační otvor ± 600 x 600 mm
počet osob	10 osob
objem vzduchu na 1 osobu	18,8 m ³
věk osob	7-8 let
teplota	22,4 °C
poznámky	škola na okraji obce

okolnosti měření

počasí	oblačno
vlhkost v exteriéru	nezjištěno
koncentrace CO ₂ v exteriéru	nezjištěno

výsledky měření

koncentrace CO ₂ v interiéru		
minimum	maximum	Ø
1330 ppm	1693 ppm	1474 ppm
vlhkost v interiéru		47,2 %



9 VYHODNOCENÍ

Měření koncentrací CO₂ probíhalo celkem v 17 školních zařízeních, v každém z nich byly měření podrobeny 4 učebny. Objekty byly vybrány tak, aby reprezentovaly stávající obvyklé budovy.

Tabulka 10 Přehled výsledků měření

Měření koncentrace CO ₂ ve školách	Objem místnosti m ³	Počet osob	m ³ pro 1 osobu m ³ /osobu	Věk osob roky	Koncentrace CO ₂				Počasí	Teplota		Vlhkost		Typ oken	Poznámky
					Ø	max.	min	v ext.		ext.	int.	ext.	int.		
					ppm	ppm	ppm	ppm		°C	°C	%	%		
Škola č. 1															
Třída A	320	22	14,6	7	893	1135	708	465	zataženo	10,1	19,2	59,7	46,3	špaletová	→ okna celou dobu zavřená → starý ventilační otvor o rozměru cca 600 x 600 mm s již nepohyblivými lamelami pod stropem ve zdi
Třída B	308	21	14,7	10	1308	1534	1087	468	zataženo	14	22,1	50,0	40,6	špaletová	→ okno otevřené 2 minuty na začátku vyučování, ± 5 odchodů a příchodů dveřmi → starý ventilační otvor o rozměru cca 600 x 600 mm s již nepohyblivými lamelami pod stropem ve zdi
Třída C	308	28	11,0	15	1398	1908	748	464	polojasno	17	24,0	40,0	42,7	zdvojená	→ okno otevřené celou hodinu
Třída D	308	22	14,0	14	1621	2113	1087	461	polojasno	20	23,9	30,0	42,3	zdvojená	→ okno otevřené 7 minut na začátku hodiny
Škola č. 2															
Třída A	216	24	9,0	11	1046	1309	877	425	jasno	5,6	21,6	48,0	35,0	špaletová nová - trojsklo; r. 2007	→ 7:54 otevřená dvě okna, 8:00 jedno okno zavřeno, 8:13 druhé okno zavřeno, 8:23 jedno okno otevřeno, 8:29 vše zavřeno → starý ventilační otvor o rozměru cca 300 x 500 mm s již nepohyblivými lamelami pod stropem ve zdi
Třída B	246	29	8,5	11	1758	2003	1541	421	jasno	27	22,1	21,6	44,6	špaletová nová - trojsklo; r. 2007	→ okna zavřená, celou hodinu otevřené dveře na chodbu → v 9:22 přemístění měřiče dále od dveří a ze židle na stůl
Třída C	241	30	8,0	14	3033	3874	2344	473	jasno	13,7	25,3	39,8	42,9	plastová okna; r. 2009	→ okna i dveře celou hodinu zavřené
Třída D	246	26	9,5	14	2140	2720	1543	466	jasno	14,2	23,3	35,7	45,7	špaletová nová - trojsklo; r. 2007	→ okna i dveře celou hodinu zavřené → starý ventilační otvor cca 0,3x0,5m s uzavřenými lamelami
Škola č. 3															
Třída A	160	10	16,0	17-18	1228	1732	921	486	jasno	11,1	20,9	58,0	48,0	plastová r. 2008	→ před začátkem hodiny otevřené dveře na chodbu
Třída B	370	12	30,8	17-18	1847	2034	1611	478	jasno	13,4	21,1	52,7	51,9	dřevěná zdvojená	
Třída C	304	20	15,2	15-17	1801	2027	1602	453	jasno	14,1	24,0	51,9	44,3	plastová	→ od začátku hodiny otevřena ventilačka u jednoho okna vzadu, během hodiny otevřeny další dvě ventilačky a jedno celé okenní křídlo (cca před 10:23)
Třída D	290	19	15,3	15-17	1715	1954	1415	421	jasno	14,6	20,9	59,1	47,6	dřevěná zdvojená	→ o přestávce před hodinou vyvětráno

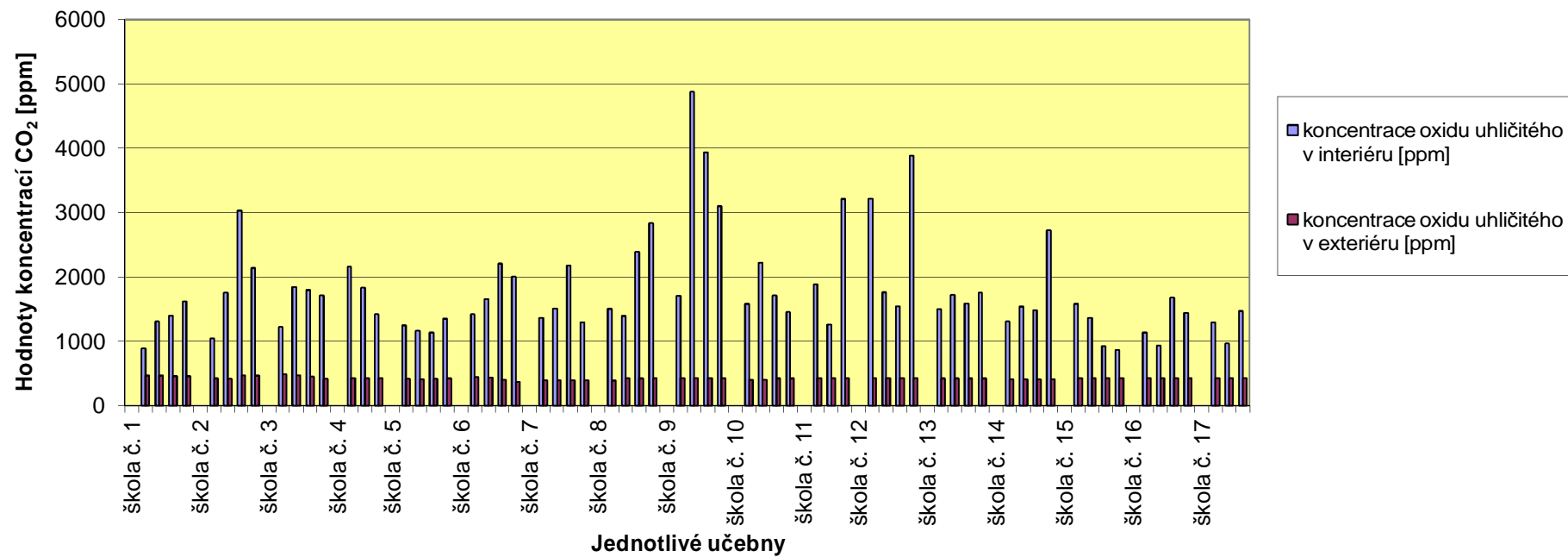
Měření koncentrace CO ₂ ve školách	Objem místnosti m ³	Počet osob	m ³ pro 1 osobu m ³ /osobu	Věk osob roky	Koncentrace CO ₂				Počasí	Teplota		Vlhkost		Typ oken	Poznámky
					Ø	max.	min	v ext.		ext.	int.	ext.	int.		
					ppm	ppm	ppm	ppm		°C	°C	%	%		
škola č. 4															
Třída A	nezjištěno	24	11,3	15-16	2163	2286	2054	435	jasno	14,7	22,1	58,2	56,1	plastová	→ během celé hodiny otevřena ventilačka u třech oken
Třída B	nezjištěno	26	11,3	15-16	1830	2459	1123	435	jasno	14,7	22,1	58,2	52,8	plastová	→ od začátku hodiny do 12:41 otevřena jedna ventilačka
Třída C	nezjištěno	20	11,3	16-17	1419	1905	1183	435	jasno	14,7	24,5	58,2	45,5	plastová	→ od začátku hodiny otevřena ventilačka u třech oken, v 13:39 zavřeno → 13:59 přemístění měřiče více do středu místnosti
škola č. 5															
Třída A	216	19	11,4	13	1251	1377	1118	421	oblačno	12,5	21,8	59,5	45,9	plastová	→ od začátku hodiny otevřena ventilačka u 2 oken → měřič poměrně blízko otevřeného okna
Třída B	216	20	10,8	15	1164	1489	875	412	oblačno	14	21,7	56,5	48,7	plastová	→ od začátku hodiny otevřena ventilačka u 3 oken
Třída C	216	17	12,7	7	1134	1214	1031	417	polojasno	15,4	23,6	47,3	44,1	plastová	→ od začátku hodiny otevřena ventilačka u 6 oken
Třída D	216	19	11,4	7	1351	1693	1137	429	oblačno	15,5	24,2	48,9	44,7	plastová	→ před začátkem hodiny otevřena ventilačka u 2 oken, od 10:43 další 4 ventilačky, velice časté odchody na WC během hodiny = otvírání dveří na chodbu
škola č. 6															
Třída A	220	22	10,0	7	1421	1644	1155	450	oblačno	11,8	21,2	55,1	52,5	plastová	→ od začátku hodiny otevřena ventilačka u 2 oken
Třída B	220	20	11,0	7	1658	1709	1615	443	oblačno	12,6	21,2	54,2	56,3	dřevěná zdvojená	→ od začátku hodiny otevřena ventilačka u 2 oken + celou dobu vzadu otevřené dveře do sousední místnosti o rozměru cca 7,1 × 3 m
Třída C	192	17	11,3	12	2206	2390	2081	404	polojasno	15,8	20,4	47,8	54,5	dřevěná zdvojená	→ od začátku hodiny otevřena ventilačka u 2 oken, v 10:39 obě zavřeny
Třída D	220	28	7,9	8	2007	2253	1691	374	polojasno	16,3	21,4	42,1	49,1	dřevěná zdvojená	→ od začátku hodiny otevřena ventilačka u 1 okna
škola č. 7															
Třída A	236	25	9,5	14	1364	1807	856	401	polojasno	12	22,5	32,0	45,8	plastová	→ od začátku hodiny otevřena ventilačka u 1 okna, cca 8:25 otvírání dveří
Třída B	264	21	12,6	12	1514	1814	1214	401	polojasno	14	22,1	32,0	52,4	plastová	→ u tabule otevřené dveře do další místnosti; odchod 9:15 příchod 9:31; první hodina v této učebně
Třída C	209	25	8,4	8	2182	2505	1865	401	jasno	17	25,4	32,0	49,0	plastová	→ otevřená 1 ventilačka, kolem 10:41 několik odchodů ze třídy
Třída D	218	27	8,1	7	1297	1540	988	401	jasno	18	24,9	32,0	38,0	plastová	→ otevřené 4 ventilačky

Měření koncentrace CO ₂ ve školách	Objem místnosti m ³	Počet osob	m ³ pro 1 osobu m ³ /osobu	Věk osob roky	Koncentrace CO ₂				Počasí	Teplota		Vlhkost		Typ oken	Poznámky
					Ø	max.	min	v ext.		ext.	int.	ext.	int.		
	ppm	ppm	ppm	ppm	°C	°C	%	%							
škola č. 8															
Třída A	114	11	10,4	10	1504	1888	1070	393	oblačno	9,9	19,0	70,0	58,2	plastová	→ na začátku hodiny otevřené dveře na chodbu
Třída B	143	11	13,0	11	1391	1564	1228	433	oblačno	11,1	19,2	66,0	57,4	plastová	→ na začátku hodiny otevřené dveře na chodbu → starý ventilační otvor cca 300 x 500 mm
Třída C	148	8	18,4	14	2387	2573	2204	428	oblačno	10	19,4	71,0	61,6	plastová	→ na začátku hodiny otevřené dveře na chodbu → starý ventilační otvor cca 300 x 500 mm
Třída D	190	14	13,6	15	2836	3233	2375	436	oblačno	12,4	20,4	64,0	61,1	plastová	→ na začátku hodiny otevřené dveře na chodbu → 2 x starý ventilační otvor cca 300 x 300 mm
škola č. 9															
Třída A	172	26	6,6	20	1707	1983	1586	436	oblačno	12	24,9	64,0	44,3	plastová	→ 2 otevřené ventilačky, 14:20 až 14:26 4 odchody celkem 7 lidí
Třída B	191	33	5,8	20	4877	6706	3684	436	oblačno	12	22,8	64,0	56,7	dřevěná z dvojená	
Třída C	260	35	7,4	20	3935	3973	3849	436	oblačno	12	22,0	64,0	57,7	dřevěná z dvojená	→ hodnoceno pouze 5 minut !!!!!
Třída D	191	37	5,2	20	3103	4566	2115	436	polojasno	12	24,0	64,0	51,1	plastová	→ před začátkem měření otevřeno 5 spodních ventilaček, na začátku měření byly uzavřeny
škola č. 10															
Třída A	152	17	8,9	10	1585	2100	1008	407	oblačno	11	19,3	63,0	52,3	plastová; střešní okna dřevěná (izol. dvojsklo)	→ jedná se o podkrovní prostory
Třída B	176	19	9,2	8	2221	2408	2050	407	oblačno	11	20,1	63,0	55,8	plastová; střešní okna dřevěná (izol. dvojsklo)	→ jedná se o podkrovní prostory
Třída C	235	12	19,6	11	1716	2063	1461	424	oblačno	12	20,3	62,0	51,1	plastová	→ o přestávce byla třída přeplněná žáky i z jiných tříd (probíhala zde zkouška vystoupení), na konci přestávky odešli, poté byla otevřena 1 ventilačka a zároveň začalo měření → 2 x starý ventilační otvor
Třída D	235	20	11,8	9	1454	1669	1189	424	oblačno	12	22,8	62,0	43,7	plastová	→ od přestávky otevřeny 4 ventilačky, v 11:12 vše zavřeno → 2 x starý ventilační otvor

Měření koncentrace CO ₂ ve školách	Objem místnosti m ³	Počet osob	m ³ pro 1 osobu m ³ /osobu	Věk osob roky	Koncentrace CO ₂				Počasí	Teplota		Vlhkost		Typ oken	Poznámky
					Ø	max.	min	v ext.		ext.	int.	ext.	int.		
					ppm	ppm	ppm	ppm		°C	°C	%	%		
škola č. 11															
Třída A	206	26	7,9	16	1890	2510	1232	nezjištěno	oblačno, mlha	nezjištěno	19,3	nezjištěno	57,9	plastová	
Třída B	293	23	12,8	16	1262	1729	735	nezjištěno	oblačno, mlha	nezjištěno	18,8	nezjištěno	54,3	plastová	→ první hodina v této učebně
Třída C	206	28	7,4	16	3209	4734	2299	nezjištěno	polojasno	nezjištěno	22,2	nezjištěno	57,6	plastová	
škola č. 12															
Třída A	192	26	7,4	18	3217	4017	2491	nezjištěno	oblačno	nezjištěno	21,0	nezjištěno	60,1	plastová	→ již druhá hodina v učebně
Třída B	155	21	7,4	16	1764	1949	1411	nezjištěno	oblačno	nezjištěno	20,7	nezjištěno	51,9	plastová	→ otevřené 2 ventilačky
Třída C	138	24	5,7	17	1546	1940	1053	nezjištěno	oblačno	nezjištěno	23,3	nezjištěno	47,7	plastová	→ od přestávky otevřené 2 ventilačky, 1 okenní křídlo a dveře na chodbu, 10:03 zavřené dveře; 10:07 zavřené okenní křídlo a otevřeno jako ventilačka + otevření další ventilačky; 10:26 úplně otevřeno celé 1 okenní křídlo
Třída D	105	9	11,7	18	3889	4879	2708	nezjištěno	oblačno	nezjištěno	23,4	nezjištěno	53,2	plastová	
škola č. 13															
Třída A	179	24	7,4	10	1502	1895	1045	426	oblačno	nezjištěno	22,3	nezjištěno	44,3	dřevěná zdvojená	→ otevřena 1 ventilačka, během hodiny otevřena další
Třída B	179	22	8,1	11	1725	1970	1445	426	oblačno	nezjištěno	23,1	nezjištěno	46,8	dřevěná zdvojená	→ otevřené 2 ventilačky
Třída C	187	27	6,9	9	1591	2105	1078	426	oblačno	nezjištěno	22,8	nezjištěno	47,6	dřevěná zdvojená	→ předešlou hodinu byla učebna prázdná a intenzivně větraná, na začátku měřené hodiny byla všechna okna zavřena
Třída D	187	25	7,5	10	1760	1910	1584	426	oblačno	nezjištěno	22,6	nezjištěno	48,7	dřevěná zdvojená	→ od začátku otevřené 4 ventilačky
škola č. 14															
Třída A	234	20	11,7	7	1310	1590	1022	413	oblačno	10	20,3	63,0	54,2	plastová	
Třída B	254	23	11,0	8	1543	1661	1240	413	oblačno	10	20,6	63,0	53,4	plastová	→ otevřená 1 ventilačka, 9:29 otevřené dveře na chodbu, 9:30 zavřené, 9:40 otevřené
Třída C	256	15	17,1	13	1488	2340	1270	413	oblačno	10	21,2	63,0	48,9	plastová	→ na začátku hodiny otevřená celá 2 okenní křídla, 10:09 1 křídlo přivřeno na ventilačku, 10:21 až 10:30 druhé křídlo přivřeno na ventilačku
Třída D	261	27	9,7	14	2725	3465	2064	413	oblačno	10	21,2	63,0	56,1	plastová	→ o přestávce otevřená 1 ventilačka, na začátku hodiny zavřena

Měření koncentrace CO ₂ ve školách	Objem místnosti m ³	Počet osob	m ³ pro 1 osobu m ³ /osobu	Věk osob roky	Koncentrace CO ₂				Počasí	Teplota		Vlhkost		Typ oken	Poznámky
					Ø	max.	min	v ext.		ext.	int.	ext.	int.		
					ppm	ppm	ppm	ppm		°C	°C	%	%		
škola č. 15															
Třída A	111	10	11,1	9-10	1583	2010	1109	nezjištěno	oblačno	nezjištěno	22,2	nezjištěno	51,8	dřevěná zdvojená	→ před hodinou vyvětráno
Třída B	265	18	14,7	3-6	1369	1535	1161	nezjištěno	oblačno	nezjištěno	22,1	nezjištěno	46,2	dřevěná zdvojená	→ 8:50 otevřené dveře do sousední místnosti, 9:00 všichni odešli na svačinu, 9:25 všichni se vrátili, 9:26 zavřeny dveře do sousední místnosti
Třída C	265	24	11,0	7-8	927	1164	752	nezjištěno	oblačno	nezjištěno	21,0	nezjištěno	45,8	dřevěná zdvojená	→ celou dobu otevřené celé jedno okenní křídlo, 1 ventilačka a dveře na chodbu
Třída D	111	23	4,8	7-8	864	956	785	nezjištěno	oblačno	nezjištěno	21,6	nezjištěno	46,4	dřevěná zdvojená	→ před měřením prázdná učebna, od začátku měření otevřené dveře na chodbu, 10:30 zavřeny, 10:39 otevřeny
škola č. 16															
Třída A	158	18	8,8	8	1140	1393	832	nezjištěno	jasno	nezjištěno	22,6	nezjištěno	42,4	dřevěná dvojitá (špaletová)	→ 7:51 otevřeny dveře ne chodbu, ± 8:00 zavřeny
Třída B	298	17	17,6	9	937	1042	853	nezjištěno	jasno	nezjištěno	22,6	nezjištěno	39,5	dřevěná dvojitá (špaletová)	→ již od přestávky otevřené 1 okno (u tabule)
Třída C	159	14	11,3	14	1678	1775	1541	nezjištěno	jasno	nezjištěno	25,6	nezjištěno	39,2	dřevěná dvojitá (špaletová)	→ 9:39 vzadu otevřeno okno
Třída D	159	11	14,4	13	1445	1523	1363	nezjištěno	jasno	nezjištěno	26,5	nezjištěno	36,9	dřevěná dvojitá (špaletová)	→ starý ventilační otvor cca 500 x 500 mm
škola č. 17															
Třída A	270	16	16,8	3-6	1300	1444	1180	nezjištěno	oblačno	nezjištěno	22,9	nezjištěno	46,9	plastová	→ 8:14 otevřené dveře na chodbu, 8:15 zavřené, 8:21 všichni odešli na svačinu a nechali otevřené dveře, 8:43 návrat a zavření dveří, 9:05 otevřeny 2 ventilačky, po chvíli zavřeny
Třída B	188	10	18,8	9-10	971	1083	931	nezjištěno	oblačno	nezjištěno	22,0	nezjištěno	44,3	plastová	→ od přestávky otevřeny 2 ventilačky → 2 x starý ventilační otvor ± 600 x 600 mm
Třída C	188	10	18,8	7-8	1474	1693	1330	nezjištěno	oblačno	nezjištěno	22,4	nezjištěno	47,2	plastová	→ od přestávky otevřena 1 ventilačka a dveře na chodbu, 11:00 dveře zavřeny, 11:16 2x odchod a příchod, ± 11:20 zavřena ventilačka → 2 x starý ventilační otvor ± 600 x 600 mm

Shrnutí průměrných hodnot koncentrací CO₂ v učebnách v průběhu jedné vyučovací hodiny



10 ZÁVĚR

Vzhledem k výsledkům měření (viz kapitola 9) a předepsaným hygienickým limitům (viz kapitola 3 a 6) doporučujeme provozovatelům veřejných budov, zejména školních, zabývat se větráním objektů. Doporučujeme zvážení instalace rekuperační jednotky osazené spínacím čidlem CO₂ tak, aby docházelo k řízenému větrání v závislosti na koncentraci CO₂ v místnosti. Tak dojde k omezení nákladů na vytápění a k větrání v době, kdy je to nezbytné. Instalací rekuperace zároveň dojde ke snížení spotřeby energie na vytápění, i když je nutné podotknout, že dojde k mírnému zvýšení spotřeby elektřiny potřebné pro pohon ventilátoru. Provozovatelům školních, případně i jiných veřejných budov lze doporučit nechat si provést kontrolní měření koncentrace CO₂ certifikovaným měřicím přístrojem pro přesnější představu v konkrétních prostorech a z měření vyvodit příslušné opatření pro větrání. Z energetického hlediska lze doporučit řízené větrání s rekuperačními jednotkami. Toto bývá obvykle i nejekonomičtější způsob zajištění hygieny prostředí.

POZOR: Každá rekuperační jednotka se musí pravidelně udržovat, zejména musí docházet k výměně filtrů. Návod na údržbu vzduchotechnického zařízení by měl dodat výrobce či prodejce jako součást dodávky.

11 SEZNAM CITOVANÉ LITERATURY

Knihy:

1. Wohlschlägerová, Iva. *Diplomová práce – Hodnocení vnitřního prostředí z hlediska koncentrace oxidu uhličitého*. Praha: ČVUT v Praze, 2010. 118 s.
2. *Demand-controlled ventilation: Control strategy and applications for energy-efficient operation*. Switzerland: Siemens Switzerland Ltd, 2010. 69 s.
3. JOKL, Miloslav. *Zdravé obytné a pracovní prostředí*. 2002. Praha: Akademie věd České republiky, 2002. 261 s. ISBN 80-200-0928-0.
4. KABELÉ, Karel, et al. *Energetické a ekologické systémy budov 1 : Zdravotní technika, vytápění*. Dotisk prvního vydání. Praha: ČVUT v Praze, 2007. 281 s. ISBN 978-80-01-03327-2
5. KLEMENTA, Josef, et al. *Somatologie a antropologie*. 1. vydání. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1981. 504 s.
6. PAPEŽ, Karel, et al. *Energetické a ekologické systémy budov 2 : Vzduchotechnika, chlazení, elektroinstalace a osvětlení*. Praha: ČVUT v Praze, 2007. 284 s. ISBN 978-80-01-03622-8

Internetové stránky:

7. *Ahlborn.cz* [online]. c2010 [cit. 2011-09-30]. Měřicí ústředny. Dostupné z WWW: <<http://www.ahlborn.cz/cs/kategorie/merici-ustredny/>>.
8. *Irz.cz* [online]. c2005-2008 [cit. 2011-09-30]. Oxid uhličitý. Dostupné z WWW: <http://www.irz.cz/repository/latky/oxid_uhlicity.pdf>
9. *Ms.gymspgs.cz* [online]. c2008-2010 [cit. 2011-09-30]. Biologie člověka. Dostupné z WWW: <http://www.gsospg.cz:5050/bio/Sources/Textbook_Textbook.php?intSectionId=52700>.
10. *Osel.cz* [online]. 2006-06-30 [cit. 2011-09-30]. Supertvrdé sklo ze suchého ledu. Dostupné z WWW: <<http://www.osel.cz/index.php?clanek=1996>>.
11. *Protronix.cz* [online]. c2008 [cit. 2011-09-30]. Slovník pojmů. Dostupné z WWW: <<http://www.protronix.cz/cz/slovník-pojmu/>>.
12. *Protronix.cz* [online]. c2008 [cit. 2011-09-30]. Měření CO₂. Dostupné z WWW: <http://www.protronix.cz/data/cz_files/mereni_CO220081121121755.pdf>.
13. *Protronix.cz* [online]. c2008 [cit. 2011-09-30]. Čidla kvality vzduchu. Dostupné z WWW: <<http://www.protronix.cz/cz/produkty/katalog.php?prod=zg%20106>>.

14. *Testo.cz* [online]. c2010 [cit. 2011-09-30]. Měřicí přístroje. Dostupné z WWW: <[http://www.testo.cz/online/abaxx-?%24part=PORTAL.CZE.SimpleContentDesk&%24event=show-from-menu&categoryid=5756842](http://www.testo.cz/online/abaxx-?%24part=PORTAL.CZE.SimpleContentDesk%26%24event=show-from-menu%26categoryid=5756842)>.
15. *Testo.cz* [online]. c2010 [cit. 2011-09-30]. Měřicí technika pro klimatizace a větrání. Dostupné z WWW: <[http://www.testo.cz/online/abaxx-?%24part=PORTAL.CZE.SectorDesk&%24event=show-from-menu&categoryid=4741348](http://www.testo.cz/online/abaxx-?%24part=PORTAL.CZE.SectorDesk%26%24event=show-from-menu%26categoryid=4741348)>.
16. *tzb-info.cz* [online]. 2 [cit. 2011-09-30]. Analýza energetické náročnosti větrání pro různé dávky větracího vzduchu. Dostupné z WWW: <<http://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/5996-analyza-energeticke-narocnosti-vetrani-pro-ruzne-davky-vetraciho-vzduchu>>.
17. *Bristec.cz* [online]. c2010 [cit. 2011-09-30]. Energetická úspora a ventilace. Dostupné z WWW: <<http://www.bristec.cz/editor/filestore/File/Energeticka%20uspora%20a%20ventilace.pdf>>.

Legislativní předpisy a normy:

18. Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. ze dne 12. prosince 2007, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. Sbírka zákonů ČR
19. Vyhláška č. 6/2003 Sb. ze dne 16. prosince 2002, kterou se stanoví hygienické limity, chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb. Sbírka zákonů ČR
20. Vyhláška č. 268/2009 Sb. ze dne 26. srpna 2009, o technických požadavcích na stavby. Sbírka zákonů ČR
21. Vyhláška č. 410/2005 Sb. ze dne 4. října 2005, o hygienických požadavcích na prostory a provozy zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělání dětí a mladistvých. Sbírka zákonů ČR
22. Zákon č. 258/2000 Sb. ze dne 14. července 2000, o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. Sbírky zákonů ČR
23. ČSN EN 15 251, 2007. *Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, teplotního prostředí, osvětlení a akustiky*. Český normalizační institut
24. EUR 14449 EN, 1992. *Indoor air quality & its impact on man*. Commission of the European Communities

25. Zákon č. 183/2006 Sb. Za dne 14. března 2006, o územním plánování a stavebním řádu (Stavební zákon). Sbírky zákonů ČR

12 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

<i>Obrázek 1 Molekula oxidu uhličitého</i>	7
<i>Obrázek 2 Transport kyslíku a oxidu uhličitého</i>	10
<i>Obrázek 3 Schéma výměny kyslíku a oxidu uhličitého v plicním sklípku</i>	11
<i>Obrázek 4 Schéma transportu a přeměny sacharidů</i>	13
<i>Obrázek 5 Schéma transportu a přeměny tuků</i>	13
<i>Obrázek 6 Čidla pracující na principu NDIR – schéma</i>	14
<i>Obrázek 7 Schéma elektrochemického čidla</i>	15
<i>Obrázek 8 Princip elektroakustického čidla</i>	16
<i>Obrázek 9 Napěťový výstup 0-10V a proudový výstup 0-20mA</i>	16
<i>Obrázek 10 Ukázka měřících přístrojů a čidel na měření kvality vzduchu</i>	18
<i>Obrázek 11 Prostorové čidlo ZG 106 od firmy Protronix</i>	23
<i>Obrázek 12 Ukázky kanálových čidel firmy Protronix a Siemens</i>	23
<i>Obrázek 13 Větrací rekuperační jednotka od firmy EXHAUSTO A/S</i>	30
<i>Obrázek 14 Zjednodušený výpočet teploty přívodního a odpadního vzduchu na stránkách firmy ATREA</i>	32
<i>Obrázek 15 Blower door test</i>	33
<i>Tabulka 1 Vlastnosti oxidu uhličitého</i>	6
<i>Tabulka 2 Ustálený stav - hodnoty koncentrace oxidu uhličitého v místnosti jako funkce vnějšího vzduchu</i>	8
<i>Tabulka 3 Procentuelní složení atmosférického, alveolárního a vydechovaného vzduchu</i>	11
<i>Tabulka 4 Odlišnosti měřících přístrojů TESTO 435</i>	17
<i>Tabulka 5 Porovnání měřících přístrojů s čidly na měření koncentrace oxidu uhličitého podle výrobců</i>	19
<i>Tabulka 6 Někteří z výrobců kanálových čidel na měření koncentrace oxidu uhličitého ...</i>	23
<i>Tabulka 7 Přehled a porovnání pevných čidel různých výrobců</i>	24
<i>Tabulka 8 Množství přiváděného vzduchu dle typu prostoru</i>	27
<i>Tabulka 9 Množství přiváděného vzduchu dle typu prostoru</i>	27
<i>Tabulka 10 Přehled některých výrobců rekuperačních zařízení</i>	31