

**Česká zemědělská univerzita v Praze**  
**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**  
**Katedra agroekologie a rostlinné produkce**



**Diplomová práce**  
**Parametry kvality ovzduší ZŠ v závislosti na ventilaci**

**Autor práce Bc. Renáta Vachová**  
**Obor studia Rozvoj venkovského prostoru**

**Vedoucí práce doc. RNDr. Petr Pišoft, Ph.D.**



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Renáta Vachová

Rozvoj venkova a zemědělství

Rozvoj venkovského prostoru

Název práce

**Parametry kvality ovzduší ZŠ v závislosti na ventilaci**

Název anglicky

**A primary school air quality characteristics in relation to ventilation**

### Cíle práce

Obecným cílem práce je analyzovat kvalitu ovzduší ve vybraných základních školách na základě provedeného měření a se zaměřením na vliv ventilace a v souvislosti s případnou rekonstrukcí budovy, zateplením anebo výměnou oken. Specifické cíle práce:

- 1) Vytvořit a aplikovat základní metodiku analýzy, zmapování a srovnání vybraných charakteristik kvality ovzduší z předešlých let. Případné doplnění dalším měřením během řešení diplomové práce.
- 2) Získaná data analyzovat, určit časový vývoj naměřených koncentrací oxidu uhličitého a případně dalších charakteristik. Posoudit výsledky analýzy s platnými normami.
- 3) Po zhodnocení výsledků navrhnout konkrétní opatření pro zlepšení kvality ovzduší a snižování případných negativních dopadů v místech měření. Formulovat obecná doporučení pro podobné případy.

Pracovní hypotézy pro zadání práce: 1) měřené koncentrace oxidu uhličitého jsou závislé zejména na aktivitě v daném místě a míře ventilace, 2) u rekonstruovaných budov s vyměněnými okny dochází k významnému nárůstu měřených koncentrací, 3) sledované koncentrace se mění během roku.

### Metodika

Analyzovat dříve provedená autorizovaná měření kvality ovzduší ve vybraných základních školách, porovnat koncentrace vybraných polutantů a provést srovnání jednotlivých lokalit. Dále analyzovat aktuálně prováděná měření oxidu uhličitého se zaměřením na vliv ventilace a případné výměny oken. Údaje zpracovat do databáze ilustrující vývoj naměřených hodnot koncentrací znečištění. Získané údaje komplexně statisticky analyzovat se zaměřením časové změny, extrémní hodnoty a srovnání měřených lokalit. Vyvodit závěry ohledně vlivu rekonstrukce budov a výměny oken.

Citace se musí řídit normami uvedenými v "Závazná pravidla tvoření citací a seznamů použité literatury pro FAPPZ, ČZU v Praze"

## Doporučený rozsah práce

Minimálně 50 normovaných stran textu bez příloh

## Klíčová slova

Kvalita ovzduší, základní škola, oxid uhličitý, ventilace

---

## Doporučené zdroje informací

- Bartoňová A. 2004. Aktuální otázky znečištění ovzduší. Univerzita Karlova, Praha.  
Braníš M, Hůnová I. 2009. Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší. Karolinum. Praha.  
Desonie, D. 2007. Atmosphere: Air Pollution and Its Effects. Chelsea House Publications. UK.  
Hanáková E. 2008. Práce a zdraví, rizikové faktory pracovního prostředí. Výzkumný ústav bezpečnosti práce. Praha.  
Tiwary A, Colls J. 2010. Air Pollution: Measurement, Modelling and Mitigation. Routledge, USA.  
Vallero DA. 2008. Fundamentals of air pollution. Elsevier. Boston.

---

## Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FAPPZ

## Vedoucí práce

doc. RNDr. Petr Pišoft, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra agroekologie a rostlinné produkce

Elektronicky schváleno dne 6. 1. 2020

**prof. Ing. Josef Soukup, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 1. 2020

**prof. Ing. Iva Langrová, CSc.**

Děkanka

V Praze dne 28. 06. 2020



### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci „Parametry kvality ovzduší ZŠ v závislosti na ventilaci“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou v textu citovány a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne \_\_\_\_\_

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu diplomové práce doc. RNDr. Petrovi Pišoftovi, Ph.D. za vstřícnost a odbornou pomoc při zpracování diplomové práce. Rovněž bych ráda poděkovala ředitelce odboru hygieny dětí a mladistvých Krajské hygienické stanice Královéhradeckého kraje za poskytnutí dat z provedených měření a kolegyním z odboru za součinnost při sběru dalších dat. Dále můj velký dík patří rodině a přátelům za podporu při studiu.

## Souhrn

### Parametry kvality ovzduší ZŠ v závislosti na ventilaci

Diplomová práce se zabývala kvalitou ovzduší v základních školách Královéhradeckého kraje. Toto téma jsem si vybrala proto, že vlivem utěšňování budov dochází ke snižování přirozené výměny vzduchu a ke zhoršování kvality vnitřního ovzduší. Vnitřní ovzduší se zhoršuje ve všech typech budov, ale v základních školách je tento stav o to závažnější, že děti jsou jednou z nejcitlivějších skupin populace. V teoretické části práce byly charakterizovány hlavní ukazatele kvality vnitřního ovzduší, zdroje jejich vzniku jak ve venkovním, tak i vnitřním ovzduší a popsán byl jejich vliv na zdraví lidí.

Cílem práce bylo zjistit ucelené informace o výskytu a koncentracích vybraných parametrů vnitřního ovzduší v učebnách škol. Hlavní pozornost byla věnována monitoringu koncentrace oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) v učebnách, který je obecně prezentován jako zástupce všech znečišťujících látek interiérového ovzduší, v závislosti na větrání.

Další oblastí, kterou se diplomová práce zabývala, byl vliv zateplení a výměny oken vedoucí k utěšnění obálky budov na změnu kvality vnitřního ovzduší. Uvedeny byly různé používané způsoby výměny vzduchu.

Zateplování budov má na jedné straně prokazatelný pozitivní vliv na úsporu energií, což přímo souvisí s emisemi CO<sub>2</sub>, na druhé straně má však také negativní vliv na kvalitu vnitřního ovzduší. Předpokladem bylo, že zateplení a dokonale těsnící plastová okna mají vliv na zvýšenou koncentraci CO<sub>2</sub> ve vnitřním ovzduší.

Pro diplomovou práci byla použita data ze tří vln měření mikroklimatických podmínek a dalších vybraných ukazatelů kvality ovzduší, provedených v letech 2009-2010, 2016-2017 a 2019-2020 v namátkově vybraných školách ve sledované oblasti.

Při provedených analýzách byly stanovovány ukazatele mikroklimatických podmínek - teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu a rychlosti proudění vzduchu, vybrané parametry kvality vnitřního ovzduší - prашný aerosol (frakce prachu PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>1</sub>), celkový počet mikroorganismů, koncentrace plísni, koncentrace formaldehydu a koncentrace CO<sub>2</sub>. Měření byla prováděna v učebnách škol, některá také v tělocvičnách, vždy za běžného provozu za přítomnosti žáků a vyučujících.

Kromě koncentrace formaldehydu byly hodnoty všech ostatních sledovaných parametrů a znečišťujících látek překračovány. Zjištěné výsledky měření prachu, mikroorganismů a plísni byly využity pro edukaci ředitelů příslušných škol, jak je důležitý pečlivý úklid s použitím a správným dávkováním úklidových a dezinfekčních prostředků, což zpravidla vedlo k úpravám provozních řádů škol. Výsledky měření CO<sub>2</sub> posloužily k edukaci všech pedagogů proč je důležité větrat a jaký způsob je pro kvalitní výměnu vzduchu nejvhodnější.

**Klíčová slova:** intenzita větrání, oxid uhličitý, učebny, vnitřní ovzduší, zateplení, výměna oken

## Summary

### **A primary school air quality characteristic in relation to ventilation**

The Final Thesis dealt with the air quality at the primary schools of East-Bohemia region. I chose the topic because sealing of building causes the reduction of natural exchange of air and hence worsening of inner atmosphere. Internal atmosphere deteriorates in all types of buildings, but the situation at primary schools is even more serious since the children are among the most sensitive groups of population. In the theoretical part of the Thesis, the main quality indicators of the internal atmosphere and sources of their emergence were characterised and the influence on health was described.

The aim of the Thesis was to determine coherent information about the occurrence and concentration of selected parameters of classrooms internal atmosphere. The main focus was dedicated to monitoring of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) concentration in the classrooms – which is generally seen as a representative of all the polluting substances of interior atmosphere, depending on the ventilation.

Another field, which the Thesis dealt with, was the effect of the thermal insulation and exchange of the windows leading to sealing of the cover of building, and the change of the internal atmosphere quality. Variety of different methods of air exchange was referred.

The thermal insulation, on the one hand, has proven positive impact on saving the energy, which directly relates to emissions of CO<sub>2</sub>, on the other hand, it also has a negative effect on the internal atmosphere quality. The assumption was that thermal insulation and perfectly sealing plastic windows influence the increased concentration of CO<sub>2</sub> in the internal atmosphere.

The Final Thesis used the data from the three waves of measurement of microclimatic conditions and other selected indicators of air quality, executed in 2009–2010, 2016–2017 and 2019–2020 at randomly chosen schools in the referred area.

When performed analyses, the indicators of microclimatic conditions were established – the air temperature, humidity, the speed of airflow, and the selected parameters of internal atmosphere quality – dusty aerosol (fraction of dust PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>1</sub>), total amount of microorganisms, concentration of mould, concentration of formaldehyde and concentration of CO<sub>2</sub>. The measurements were performed in school classrooms, some of them also in the school gyms, always during the regular operating with the presence of pupils and teachers.

Except for the concentration of formaldehyde, the quantity of all the other pursued parameters and polluting substances were exceeded. The discovered results of measurements of dust, microorganisms and moulds were used for education of the headmasters about the importance of careful cleaning with application and correct dosage of cleaning and disinfection means, which usually led to order of procedure adjustment. The results of CO<sub>2</sub> measurements are used for education of all the teachers, why it is important to ventilate and which ways of quality air exchange is the most suitable.

**Keywords:** the intensity of ventilation, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), classrooms, internal atmosphere, thermal insulation, exchange of windows.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>Vědecká hypotéza a cíle práce.....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>Kvalita vnitřního ovzduší.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>Úspora energie .....</b>	<b>14</b>
<b>3.2</b>	<b>Vliv zateplení budov na kvalitu vnitřního ovzduší .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3</b>	<b>Vliv zateplení budov na pohodu a zdraví lidí .....</b>	<b>17</b>
<b>3.4</b>	<b>Právo na zdravé vnitřní ovzduší.....</b>	<b>17</b>
<b>3.5</b>	<b>Znečištění vnitřního prostředí.....</b>	<b>18</b>
	3.5.1 Vnější zdroje znečištění .....	19
	3.5.2 Vnitřní zdroje znečištění .....	21
<b>4</b>	<b>Faktory vnitřního prostředí .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1</b>	<b>Tepelně-vlhkostní mikroklima .....</b>	<b>22</b>
	4.1.1 Teplo .....	23
	4.1.2 Zdroje tepla a chladu .....	24
	4.1.3 Vliv tepla nebo chladu na zdraví.....	24
	4.1.4 Vlhkost vzduchu.....	24
	4.1.5 Zdroje vlhkosti.....	25
	4.1.6 Vliv vlhkosti vzduchu na zdraví .....	26
	4.1.7 Proudění vzduchu .....	26
<b>4.2</b>	<b>Odérové mikroklima .....</b>	<b>26</b>
	4.2.1 Zdroje oděrů .....	27
	4.2.2 Vliv oděrů na zdraví .....	28
<b>4.3</b>	<b>Toxické mikroklima .....</b>	<b>28</b>
	4.3.1 Zdroje toxických plynů .....	28
	4.3.2 Oxidy síry - SO <sub>x</sub> .....	29
	4.3.3 Zdroje SO <sub>x</sub> .....	29
	4.3.4 Vliv SO <sub>x</sub> na zdraví .....	29
	4.3.5 Oxidy dusíku - NO <sub>x</sub> .....	29
	4.3.6 Zdroje NO <sub>x</sub> .....	29
	4.3.7 Vliv NO <sub>x</sub> na zdraví.....	30
	4.3.8 Oxid uhelnatý - CO .....	30
	4.3.9 Zdroje CO .....	30
	4.3.10 Vliv CO na zdraví .....	30
	4.3.11 Těkavé organické látky - VOC .....	30
	4.3.12 Formaldehyd - HCHO .....	31

4.3.13	Zdroje HCHO .....	31
4.3.14	Vliv HCHO na zdraví .....	31
<b>4.4</b>	<b>Ionizační mikroklima.....</b>	<b>31</b>
4.4.1	Radon - Rn <sup>222</sup> .....	32
4.4.2	Zdroje Rn <sup>222</sup> .....	32
4.4.3	Vliv Rn <sup>222</sup> na zdraví.....	33
<b>4.5</b>	<b>Aerosolové mikroklima.....</b>	<b>34</b>
4.5.1	Prachové částice .....	35
4.5.2	Dělení prachových částic .....	35
4.5.3	Vliv prachových částic na zdraví .....	37
<b>4.6</b>	<b>Mikrobiální mikroklima .....</b>	<b>37</b>
4.6.1	Zdroje bioaerosolu.....	38
4.6.2	Vliv bioaerosolu na zdraví.....	39
<b>5</b>	<b>Větrání.....</b>	<b>40</b>
<b>5.1</b>	<b>Oxid uhličitý - CO<sub>2</sub> .....</b>	<b>42</b>
5.1.1	Zdroje CO <sub>2</sub> .....	42
5.1.2	Vliv CO <sub>2</sub> na zdraví.....	43
<b>5.2</b>	<b>Způsoby větrání.....</b>	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>Legislativa .....</b>	<b>47</b>
<b>6.1</b>	<b>Zákon č. 258/2000 Sb. ....</b>	<b>47</b>
<b>6.2</b>	<b>Vyhláška č. 410/2005 Sb.....</b>	<b>47</b>
<b>6.3</b>	<b>Vyhláška č. 6/2003 Sb. ....</b>	<b>48</b>
<b>6.4</b>	<b>Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. ....</b>	<b>49</b>
<b>6.5</b>	<b>Vyhláška č. 268/2009 Sb.....</b>	<b>50</b>
<b>6.6</b>	<b>Nařízení (EU) č. 305/2011 .....</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>Materiál a metodika.....</b>	<b>51</b>
<b>7.1</b>	<b>Měření v letech 2009-2010 .....</b>	<b>51</b>
<b>7.2</b>	<b>Měření v letech 2016-2017 .....</b>	<b>52</b>
<b>7.3</b>	<b>Měření v letech 2019-2020 .....</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>Výsledky a vyhodnocení výsledků měření .....</b>	<b>54</b>
<b>8.1</b>	<b>Měření v letech 2009-2010 .....</b>	<b>54</b>
8.1.1	Výsledky měření mikroklimatických podmínek.....	56
	Teplota vzduchu: .....	56
8.1.2	Výsledky měření dalších ukazatelů kvality vnitřního ovzduší.....	56
8.1.3	Výsledky měření CO <sub>2</sub> .....	56
<b>8.2</b>	<b>Měření v letech 2016-2017 .....</b>	<b>57</b>
8.2.1	Výsledky měření.....	59
<b>8.3</b>	<b>Měření v letech 2019-2020 .....</b>	<b>60</b>

8.3.1	Výsledky měření.....	61
<b>9</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>66</b>
9.1	Závislost koncentrace CO <sub>2</sub> na míře aktivity žáků a na počtu žáků .....	66
9.2	Závislost koncentrace CO <sub>2</sub> na míře a typu ventilace .....	67
9.3	Závislost koncentrace CO <sub>2</sub> na zateplení a výměně oken.....	68
9.4	Závislost koncentrace CO <sub>2</sub> na ročním období .....	69
<b>10</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>71</b>
<b>11</b>	<b>Literatura .....</b>	<b>74</b>
<b>12</b>	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>85</b>
<b>13</b>	<b>Samostatné přílohy .....</b>	<b>I</b>
13.1	Příloha 1 - měření v letech 2009 a 2010 .....	I
13.2	Příloha 2 - měření v letech 2016 a 2017 .....	XXXIII
13.3	Příloha 3 - měření v roce 2019.....	LX
13.4	Příloha 4 - měření v roce 2020.....	LXXII
13.5	Příloha 5 - fotografie z měření kvality vnitřního ovzduší učeben ZŠ...LXXXI	LXXXI

# 1 Úvod

Diplomová práce je zaměřena na problematiku kvality vnitřního prostředí učeben ve školských zařízeních a na účinnou výměnu vzduchu různými způsoby větrání.

Školní prostředí lze chápat jako pracoviště dětí, které má velký vliv na dětský organismus (Nauš et al. 1955). Je určené pro velké skupiny dětí různého věku. Děti ve školách tráví podstatnou část svého času, často prakticky bez pohybu v uzavřeném prostoru (Stýblo 2010). Stýblo (2010) ve své knize cituje: „*Ve správně navržené škole se děti musí cítit jako účastníci dění, ne jako vězni.*“

Současný trend zateplování budov a s tím související utěšňování schránek budov z důvodu šetření energiemi má vliv na kvalitu vnitřního prostředí. Ve většině základních škol je zajišťováno přirozené větrání okny, větrání pomocí vzduchotechniky je využíváno v menší míře. Původní dřevěná okna zajišťovala přirozenou výměnu vzduchu pomocí infiltrace, nová těsná okna tuto přirozenou výměnu neumožňují. Dostatečnost větrání je tak závislá na lidském faktoru, na zodpovědnosti pedagogů, že větrání učeben otevřením oken zajistí. Největší problémy přináší zejména zimní období, kdy je větrání nejvíce zanedbáváno.

Ve školách, stejně jako i v jiných typech budov, má kvalita vnitřního prostředí vliv nejen na subjektivní pohodu přítomných osob, ale také na jejich zdraví a výkonnost, na pracovní nasazení a soustředění. Školská zařízení jsou navíc specifická tím, že v nich pobývá velké množství dětí, které jsou jednou z nejcitlivějších skupin populace.

Nutnost dostatečného větrání učeben si uvědomovali i naši předkové, například v dokumentu Židovské školy v Praze v Jáchymově ulici „Zásady a pokyny pro větrání škol“ je uvedeno: „*Třída musí být dostatečně větrána, aby školáci neusínali či nebyli myslí mdlé a vzdělávání jim prospívalo k radosti jich i jejich rodičů.*“ Další pokyn těchto zásad říká, že „*místnost, ve které je prováděna výuka našich dětí musí být vytápěna nejlépe na 17-19 °C*“ a „*proto doporučujeme regulovat větrací klapky tak, aby se vzduch ve třídě podle stáří dětí vyměnil 3 až 4x za vyučující hodinu.*“ Nutno říci, že v té době bylo vytápění objektů zajišťované kamny na tuhá paliva, která potřebovala dostatečný přívod vzduchu nutného pro samotné spalování, takže výměna vzduchu v učebně byla zajištěna (Mathauserová 2015).

V teoretické části diplomové práce jsou charakterizovány faktory vnitřního prostředí, které ovlivňují jeho kvalitu. Uvedeny jsou zdroje těchto faktorů, jejich vliv na lidské zdraví a limity dané legislativou.

Dále jsou popsány jednotlivé možné způsoby větrání - přirozené, nucené, hybridní a pomocí klimatizace, jejich přednosti i nedostatky.

V praktické části jsou uvedeny konkrétní výsledky měření kvality ovzduší ve vybraných školách Královéhradeckého kraje. Použita jsou získaná data v rámci měření kvality ovzduší, provedená na základě úkolů hlavního a krajského hygienika, a výsledky měření koncentrace oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), prováděných na základě krajské priority v letech 2019 a 2020.



## 2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Kvůli úspoře energií musí být nové objekty budované jako nízkoenergetické nebo pasivní. U těchto objektů je vnější obálka téměř dokonale tepelně izolovaná a vzduchotěsná.

U stávajících budov jsou stavební úpravy, týkající se zateplení a výměny oken, prováděny i díky dostupným dotacím. Tyto rekonstrukce mohou být prováděny na bytových objektech, rodinných domech i na domech veřejných, jako jsou například školní budovy. Dotace jsou poskytovány také na výměnu zdrojů tepla nebo jiná opatření vedoucí ke snížení energetické náročnosti budovy, například na instalaci vzduchotechnických zařízení vybavených zpětnou rekuperací tepla. Ve školách jsou vzduchotechnická zařízení zatím instalována v minimálním množství. Hlavním způsobem je tak stále přirozené větrání okny.

V letním období přirozená výměna vzduchu většinou nepřináší žádné problémy. Problém nastává v zimním topném období. Větrání učeben často není prováděno v dostatečné frekvenci a dostatečným způsobem. Pro účinnou výměnu vzduchu v místnosti je nejlepší plné otevření protilehlých oken, nebo okna a dveří. Problémem je však zajištění bezpečnosti žáků, takže některé školy přistupují k opatření, že bez přítomnosti pedagoga nesmí být okna naplno otevřena. Některé školy navíc v zimním období záměrně, kvůli úspoře tepla, otvírání oken zakazují.

V diplomové práci byly ověřovány následující hypotézy:

- 1) koncentrace oxidu uhličitého je závislá na aktivitě v daném místě a míře a typu ventilace,
- 2) u rekonstruovaných budov s vyměněnými okny dochází k významnému nárůstu koncentrace oxidu uhličitého, která zejména v zimním období překračuje povolený limit,
- 3) sledované koncentrace se mění během roku.

Cílem práce bylo kvantifikovat koncentrace různých znečišťujících látek, včetně  $\text{CO}_2$ , v učebnách základních škol (ZŠ) především v období topné sezóny, dále porovnat koncentrace naměřené ve školských zařízeních, které prošly a které neprošly rekonstrukcí, spojenou se zateplením a výměnou oken, a porovnat koncentrace  $\text{CO}_2$  v závislosti na ročním období.

### 3 Kvalita vnitřního ovzduší

Kvalita vnitřního prostředí budov se v současné době zhoršuje a ovlivňuje zdraví jeho uživatelů. V souvislosti se snahou o snížení energetické náročnosti budov jsou objekty zateplovány, okna jsou měněna za kvalitnější, těsnější. Schránky budov se tak stávají nepropustnými pro přirozenou výměnu vzduchu mezi interiérem a exteriérem. Díky snížení přirozené výměny vzduchu je koncentrace škodlivých látek ve vnitřním prostředí 2-5x (někdy i více) vyšší oproti vnějšímu ovzduší (Bartoňová 2011).

Legislativa na ochranu veřejného zdraví před vlivem škodlivin z vnitřního prostředí zaostává za předpisy týkající se venkovního ovzduší, potravin nebo vody. Nedostatečná je i informovanost o škodlivinách, vyskytujících se v interiérech, a tak se zvyšuje riziko ohrožení zdraví všech uživatelů různých interiérů, ale hlavně citlivých skupin populace, jako jsou staří lidé, osoby se sníženou imunitou a děti.

Hygienické předpisy definují kvalitu vnitřního prostředí jako souhrn fyzikálních, chemických a biologických ukazatelů, které působí na fyzický a psychický stav člověka. Aby mohlo být vnitřní prostředí považováno za kvalitní, tzn. za zdravotně nezávadné, musí být úroveň jednotlivých složek udržována v optimální hodnotě.

Lidé tráví uvnitř budov velkou část dne, podle dostupných statistik je to často až 90 % času (Braniš et al. 2002; Hrubý 2016). Jde o pobyt v obytném prostředí (v domácnostech), v zaměstnání, v nákupních centrech, ve sportovních halách, ve zdravotnických, kulturních nebo restauračních zařízeních, v dopravních prostředcích. V případě dětí také ve školských zařízeních a v prostorech zájmových kroužků. Mnohé studie se věnují vlivu stavu vnějšího ovzduší na lidské zdraví, vliv vnitřního prostředí na zdraví jeho uživatelů je však zatím opomíjen.

Na výstavbu objektů jsou používány různé materiály, ze kterých se mohou do vnitřního prostředí uvolňovat různé škodlivé látky. Podle Světové zdravotnické organizace (WHO) bylo ve vnitřních prostředích identifikováno více než 170 látek, které mohou mít za určitých okolností negativní vliv na zdraví lidí (Hraška 2017). Různé předpisy sice určují limitní hodnoty koncentrací škodlivých látek v ovzduší, ale hodnotí tyto látky vždy izolovaně. Problémem je, že v ovzduší je často škodlivin více a působí synergicky.

Otázkou kvality vnitřního ovzduší se vědci zabývají již dlouhá léta. Například Artmann (1860) se zamýšlí nad tím, co je to dobrý vzduch a zda je možné zkažený vzduch vyčistit. Uvádí, že za dobrý vzduch je možno považovat takový, který při vdechování v průběhu času nezpůsobuje žádné nepohodlí, ale vyvolává příjemný a trvalý pocit pohodlí. Dále uvádí, že vzduch v určitých oblastech může být poškozen různými procesy rozkladu, výdechy plynů a v uzavřených prostorech lidským dýcháním, spalováním světla a topných materiálů. Uzavírá, že určení rozdílu mezi dobrým a špatným vzduchem je složité, subjektivní hodnocení závisí na vnímavosti a ostrosti smyslů vyšetřovatele.

#### 3.1 Úspora energie

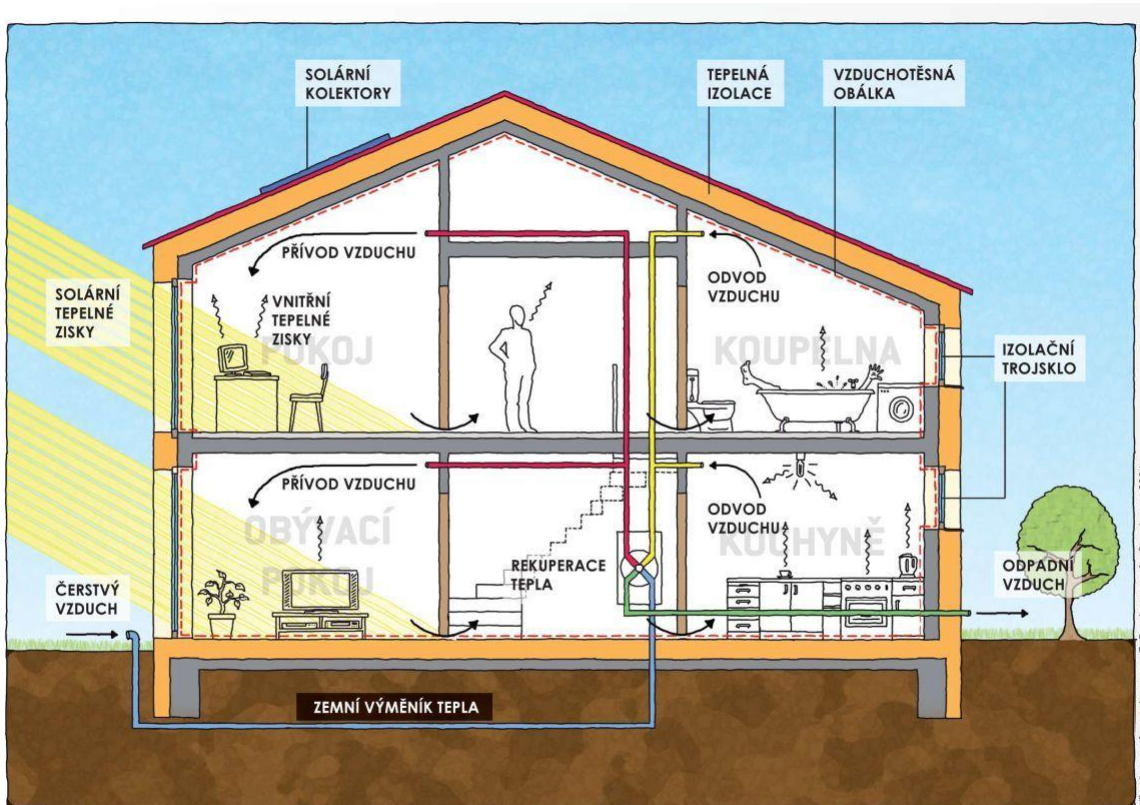
V souvislosti s klimatickými změnami, zmenšující se ozonovou vrstvou a se ztenčujícími se zásobami paliv, což jsou záležitosti současné celosvětové priority, je řešena otázka snižování spotřeby energií a snižování emisí skleníkových plynů. Cortés-Borda et al. (2015) zkoumá,

kteřá odvětví průmyslu ke globálnímu oteplování přispívají největší měrou a zároveň se zamýšlí nad způsoby, jak regulovat spotřebu energií, aby byl zároveň zachován nízký dopad na ekonomiku podniků. Opatření na snížení spotřeby energií, produkce skleníkových plynů a emisí CO<sub>2</sub> musí zavádět nejen velké podniky, ale i všichni obyvatelé naší planety. Energetická náročnost roste v souvislosti se zvyšujícím se počtem populace, s prodlužující se dobou trávenou v budovách, s rozvojem moderních technologií a se zvyšujícím se požadovaným standardem bydlení a služeb. Na spotřebě energie v budovách se nejvíce podílí provozy vytápění, klimatizace, větrání (z 50 %) a osvětlení (z 15 %). Většina energie, která je v budovách využívána, je vyráběna spalováním fosilních paliv. Její spotřeba je v současné době vyšší než spotřeba v průmyslu a dopravě. Budovy spotřebovávají 20-40 % z celkové spotřeby energie, zatímco průmysl 28 % a doprava 32 % (Pérez-Lombard et al. 2008). Největší ztráty energií z budov jsou díky netěsnostem jejich plášťů. Ty je možné eliminovat izolací stěn a střechy, výměnou oken nebo zasklením balkonů a lodžii. Uspořit energie lze také změnou způsobu vytápění.

Podle Mezinárodní energetické agentury (International Energy Agency) bude rostoucí trend spotřeby energií pokračovat. V Evropské unii (EU) je více než 35 % budov starších 50 let a jsou energeticky nevyvážené (Peretti et al. 2015). Ke snížení spotřeby energií by měla přispět výstavba nízkoenergetických domů a rekonstrukce stávajících objektů. Na příkladu rekonstrukce obytné budovy v severní Itálii, kdy bylo realizováno zateplení obvodového pláště budovy a změna způsobu vytápění (plynové topné jednotky byly nahrazeny sálavými stropními systémy), je snížení spotřeby energie patrné. Snížením energetické náročnosti budov by se mohla celková spotřeba energie snížit o 5-6 %, emise CO<sub>2</sub> o 5 % (Peretti et al. 2015).

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011 ve své příloze řeší základní požadavky na stavby. Požadavek 6 se týká úspory energie a ochrany tepla a říká, že „*Stavba a její zařízení pro vytápění, chlazení, osvětlení a větrání musí být navrženy a provedeny takovým způsobem, aby jejich spotřeba energie při provozu byla nízká s ohledem na uživatele a na místní klimatické podmínky. Stavby musejí být rovněž energeticky účinné a musejí v průběhu své výstavby a odstraňování spotřebovat co nejmenší množství energie.*“

V České republice (ČR) je úspora energie v budovách řešena ve vyhlášce Ministerstva pro místní rozvoj č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, ve znění pozdějších předpisů. V § 16 v odst. 1 říká, že „*Budovy musí být navrženy a provedeny tak, aby spotřeba energie na jejich vytápění, větrání, umělé osvětlení, popřípadě klimatizaci bylo co nejnižší. Energetickou náročnost je třeba ovlivňovat tvarem budovy, jejím dispozičním řešením, orientací a velikostí výplní otvorů, použitými materiály a výrobky a systémy technického zařízení budov*“. V odst. 3 je pak uvedeno, že technické vlastnosti konstrukcí a budov jsou dané hodnotami v příslušné technické normě. Touto normou je ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov, která (mimo jiné) definuje pojmy nízkoenergetický dům a pasivní dům. Podle této definice musí mít nízkoenergetické a pasivní domy nízkou, respektive velmi nízkou spotřebu energie. Toho lze dosáhnout provedením kvalitní obálky budovy, dostatečně tepelně izolované a vzduchotěsné. Pasivní domy musí navíc splnit požadavky na větrání s rekuperací tepla, používání úsporných spotřebičů a využívání obnovitelných zdrojů energie.



Obrázek 1: Pasivní dům (Centrum pasivního domu 2019)

### 3.2 Vliv zateplení budov na kvalitu vnitřního ovzduší

Zateplování budov a vybavení těsnými okny je na jedné straně přínosné pro životní prostředí, protože se šetří energie, přínosné je i po ekonomické stránce, kdy se projeví v nižších nákladech na vytápění. Na druhé straně tato opatření často vedou ke znehodnocení vnitřního ovzduší. Při zateplení a výměně oken dochází k utěsnění obálky budovy, systém větrání však většinou zůstává stejný. Spáry původních netěsnících oken jsou zrušeny, přívod čerstvého vzduchu infiltrací je tím pádem nedostatečný. Okna jsou sice většinou otevíratelná, ale často nevhodně navržena. Vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „vyhláška č. 410/2005 Sb.“) v § 18 odst. 6 říká, že v případě těsných oken musí být přirozené větrání zajištěno systémy mikroventilace nebo větracími štěrbinami.

Při nedostatečném větrání se ve vnitřním prostředí hromadí znečišťující látky (ZL), jako jsou například vodní pára,  $\text{CO}_2$  a těkavé organické látky (VOC) uvolňující se ze stavebních materiálů, nábytku, z používaných chemických přípravků, ale i z povrchu přítomných osob a vznikající z činnosti osob. Přítomnost vodní páry se projevuje kondenzací na různých chladných površích, na místech s tepelným mostem, např. na oknech. Tato místa, zařízení a konstrukce vlhnou, jsou narušována a možný je i růst plísní.

### **3.3 Vliv zateplení budov na pohodu a zdraví lidí**

Kvalita vnitřního prostředí je zodpovědná za to, jak se člověk v daném prostředí cítí, zda pociťuje pohodu, či nepohodu. Aby bylo lidem v prostředí příjemně a prostředí nepůsobilo na jejich organismus negativně, musí být zajištěny optimální podmínky prostředí. V případě, že vnitřní podmínky vyhovující nejsou – nejsou subjektivně optimální, stěžují si uživatelé na nepohodu (Leech et al. 2004).

U citlivějších jedinců se zdravotní dopady projeví jako nespecifické symptomy podobné nastydnutí - bolest hlavy, pocit únavy, dýchavičnost, kašel, podráždění kůže, závratě, malátnost, překrvení nosní sliznice, kýčání, podráždění spojivek, nevolnost (Hůnová & Janoušková 2004). Nejvíce vnímaví jsou alergici, lidé trpící astmatem nebo poruchami dýchacího traktu, lidé po chemoterapii, po ozařování a lidé s poškozeným imunitním systémem. Zvýšená citlivost se však může projevit i u zdravých jedinců – u starých lidí, těhotných žen a malých dětí.

Při výskytu škodlivin ve vnitřním prostředí, zejména prachu, VOC, odérů a mnoha dalších, mluvíme o syndromu nemocných budov (překlad z anglického Sick Building Syndromes, SBS). Tento syndrom je častější u moderních budov, ve staré zástavbě se vyskytuje méně často (Jokl 2002; Norhidayah et al. 2013). SBS není nemoc, která by byla důvodem pro pracovní nemocnost nebo by způsobovala trvalé následky, ale jde o soubor příznaků a subjektivních pocitů obyvatel daného interiéru. Mezi tyto pocity patří nejčastěji pocit suchého vzduchu, suché svědící kůže, pálení a slzení očí, ucpaný nos, sucho v ústech a krku, bolest hlavy, únava, ospalost, pocit nedostatku vzduchu. Tyto pocity mohou vyústit v depresivní stavy z nepohody a ve zvýšený počet zánětů horních cest dýchacích, zažívacích potíží a vyrážek (Dina 2015). SBS je popisován u staveb přibližně od 70. let 20. století. Z důvodu energetické krize začaly být v té době budovy zateplovány, omezena byla přirozená ventilace, a tak se zhoršila kvalita vnitřního vzduchu (Redlich et al. 1997; Pišoft 2018).

Utěšňováním budov se nehromadí pouze prach a chemické látky, ale mění se i teplotně-vlhkostní mikroklima. Bylo provedeno mnoho studií v obytných, kancelářských a školských budovách, které prokázaly jak negativní vliv chladného a vlhkého prostředí nezateplených budov, tak i negativní vliv budov zateplených. Maidment et al. (2014) v závěru své studie konstatoval, že energetická opatření mají na zdraví malý, ale prokazatelně pozitivní vliv. Zatímco v nezateplených budovách je vyšší výskyt onemocnění angínou, bolestí hlavy nebo únavy, v zateplených budovách je vyšší výskyt alergií, astmatu a jiných onemocnění dýchacích cest. V prostorech, kde není dostatečná výměna vzduchu, se zvyšuje vlhkost vzduchu, která je ideálním prostředím pro růst plísní, které spolu s dalšími biologickými a fyzikálními faktory rozvoj alergií a astmatu podporují (Sharpe et al. 2015).

### **3.4 Právo na zdravé vnitřní ovzduší**

Lidé na celém světě mají právo na zdravé vnitřní ovzduší. Pracovní skupina WHO se na zasedání v nizozemském Bilthovenu ve dnech 15.-17. května 2000 dohodla na souboru prohlášení o Právu na zdravé vnitřní ovzduší. Základem tohoto prohlášení jsou principy

v oblasti lidských práv, biomedicínské etiky a ekologické udržitelnosti. 23 odborníků pracovní skupiny sestavilo Právo na zdravé vnitřní ovzduší v devíti principech:

1. princip: **Princip lidského práva na zdraví** - každý člověk má právo dýchat zdravé vnitřní ovzduší.
2. princip: **Princip respektování autonomie („sebeurčení“)** - každý člověk má právo na informace o škodlivých expozicích a na poskytnutí účinných prostředků pro kontrolu vnitřních expozic.
3. princip: **Princip nepáchání zla („neškod“)** - do vnitřního ovzduší by se neměla dostat žádná látka v koncentraci, která vystavuje obyvatele vnitřního prostoru zbytečnému ohrožení zdraví.
4. princip: **Princip prospěšnosti („dělání dobra“)** - všichni jednotlivci, skupiny a organizace spojené s určitou budovou mají odpovědnost za teoretické a praktické prosazování kvality ovzduší pro obyvatele vnitřních prostor.
5. princip: **Princip sociální spravedlnosti** - sociálně-ekonomické postavení obyvatel by nemělo mít vliv na jejich přístup ke zdravému vnitřnímu ovzduší, ale zdravotní stav může určovat zvláštní potřeby některých skupin populace.
6. princip: **Princip odpovědnosti** - všechny významné organizace by měly stanovit jasná kritéria pro hodnocení kvality vnitřního ovzduší v budovách a jeho dopadu na zdravotní stav populace a životního prostředí.
7. princip: **Princip předběžné opatrnosti** - v případě rizika expozice škodlivému vnitřnímu prostředí se nesmí nejistota považovat za důvod pro odklad opatření, kterými by bylo možné této expozici předejít.
8. princip: **Princip „původce znečištění platí“** - původce znečištění je odpovědný za jakékoli poškození zdraví a blaha plynoucí z expozice nezdravému vnitřnímu ovzduší. Dále je původce odpovědný za zmírnění a nápravu znečištění.
9. princip: **Princip udržitelnosti** - nelze od sebe oddělovat otázky zdraví a životního prostředí, a dále zajištění zdravého vnitřního ovzduší by nemělo vést k narušení integrity nebo práv budoucích generací (Lajčíková 2001).

### **3.5 Znečištění vnitřního prostředí**

Kvalitu vnitřního prostředí, tzn. jeho čistotu, ovlivňují vnitřní i venkovní podmínky. ZL se do vnitřního prostředí budov dostávají jednak z vnějšího prostředí, anebo mohou vznikat přímo v interiérech. Různými systémy větrání jsou ZL z vnitřního prostředí odstraňovány buď nuceným odsáváním s vývodem do venkovního prostředí, nebo ředěny přívodem čerstvého vzduchu z vnějšího prostředí.

V budovách nejsou často ZL subjektivně identifikovatelné a při nedostatečném větrání dlouhodobě působí na uživatele budov. Pokud jsou škodliviny ve vnitřním ovzduší přítomné v nízkých koncentracích, nezpůsobují zdravotní problémy okamžitě, ale projeví se až po dlouhotrvajícím působení.

### 3.5.1 Vnější zdroje znečištění

Priváděný venkovní vzduch obsahuje vždy určité množství ZL, tuhých částic, které mohou být inertní, ale také chemicky nebo biologicky aktivní, dále plynů a par, které opět mohou být inertní nebo chemicky aktivní. Při větrání přirozeným způsobem, kdy do větraných prostorů proudí venkovní nefiltrovaný vzduch, se mohou ZL z vnějšího prostředí negativně podílet na zhoršené kvalitě vnitřního ovzduší. Součástí systémů nuceného větrání je filtrace priváděného vzduchu, která odstraňuje tuhé ZL. Filtrování chemických ZL v praxi prováděno není, protože v oblastech s ovzduším znečištěným chemickými látkami nesmí být obytné domy ani veřejné budovy, včetně školských budov, stavěny. Jsou však období, kdy v oblastech s čistým, nebo relativně čistým ovzduším, nastanou "nepříznivé" podmínky. Většinou tato situace nastává v podzimním a zimním období při inverzích, kdy jsou škodliviny koncentrovány v přízemních vrstvách atmosféry.

V případě školských zařízení stanoví vyhláška č. 410/2005 Sb. v § 18 odst. 4 povinnost: „*Pokud venkovní stav prostředí neumožňuje využít přirozené větrání pro překročení přípustných hodnot škodlivin ve venkovním prostředí, musí být mikroklimatické podmínky a větrání čerstvým vzduchem zajištěny vzduchotechnickým zařízením.*“

Zdroje znečištění ve venkovním prostředí jsou hlavně zdroje antropogenní - automobilová doprava, lokální topení a průmyslové emise. Vliv na koncentraci škodlivin ve venkovním prostředí má hustota zastavby, zeleň a další (Hraška 2017). Vnější zdroje znečištění ovlivňují v první řadě kvalitu venkovního ovzduší, sekundárně pak mohou při přirozeném větrání ovlivnit vnitřní prostředí objektů. Braun et al. (2013) ve své Příručce ochrany kvality ovzduší uvádí jako nejvýznamnější znečišťující látky oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ ), oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), ozon a suspendované částice.

Oxid siřičitý je především produkt spalování paliv s obsahem síry. Významný je také jeho přírodní zdroj, vulkanická činnost.  $\text{SO}_2$  přechází fotochemickou nebo katalytickou reakcí na oxid sírový a dále hydratací na kyselinu sírovou.

Skupina oxidů dusíku sdružuje oxid dusný, dusnatý, dusičitý a dusičný. Jejich hlavními zdroji je lidská činnost - emise z dopravy a ze spalovacích procesů.  $\text{NO}_x$  v ovzduší postupně přechází na kyselinu dusičnou. Kyselina sírová i dusičná pak reagují s alkalickými prachovými částicemi a zvyšují koncentraci suspendovaných částic. Jeden z  $\text{NO}_x$  - oxid dusičitý ( $\text{NO}_2$ ) přispívá spolu s kyslíkem ( $\text{O}_2$ ) a VOC k tvorbě přízemního ozonu a vzniku tzv. fotochemického smogu (Braun et al. 2013).

Ozon se v atmosféře vyskytuje ve dvou rolích. Stratosférický ozon tvoří ve výšce 20-30 km nad zemí vrstvu, která chrání lidstvo na Zemi před zhoubnými účinky ultrafialového záření Slunce. Ozon v troposféře, v blízkosti zemského povrchu je škodlivá ZL. Přímý zdroj přízemního ozonu není, jedná se o sekundární škodlivinu vzniklou fotochemickým působením slunečního záření na  $\text{NO}_x$  za přítomnosti VOC.

Suspendované částice (aerosol) jsou pestrou směsí organických a anorganických, kapalných a pevných částic s různou velikostí, chemickým složením a původem. Rozlišuje se aerosol

primární a sekundární. Primární aerosol je uvolňován přímo z antropogenních zdrojů (spalování fosilních paliv, doprava, různé technologické procesy, lidská činnost) nebo přírodních zdrojů (mořský aerosol, sopečná činnost, kosmický spad, eroze, lesní požáry, apod.). Sekundární aerosol vzniká z prekurzorů v ovzduší chemickými a fyzikálními procesy, jako je nukleace a kondenzace. Malé částice velikosti do 2,5 μm (fine) a do 100 nm (ultrafine) vznikají koagulací a kondenzací plynů a par, obsahovat mohou různé organické sloučeniny (např. polycyklické aromatické uhlovodíky, PAU), soli (sulfáty, nitráty) nebo těžké kovy. Jejich pH je často v kyselé oblasti a jsou do určité míry rozpustné. V ovzduší setrvávají poměrně dlouhou dobu (7-30 dnů) a mohou být přenášeny na vzdálenost až tisíců kilometrů. Hrubé částice vznikají při nekontrolovaném spalování, erozi zemského povrchu, při demolicích, při znovuzvícení již usazených částic (lidskou činností, větrem). Jejich pH bývá zásadité a jsou spíše nerozpustné. V ovzduší setrvávají kratší dobu (hodiny, max. dny), rychle podléhají sedimentaci, proto jsou přenášeny na krátkou vzdálenost, zhruba kilometry od zdroje (Braun 2013; Pišoft 2018).

WHO v roce 1987 podle určitých kritérií identifikovala 28 sloučenin, které jsou obzvláště důležité z hlediska životního prostředí a zdraví. Tento počet v roce 1999 rozšířila na 35 látek, které mají nepříznivé účinky na zdraví. Tyto účinky, podle Americké agentury pro ochranu životního prostředí (US EPA), mají vliv na činnost celého organismu a na snížení schopnosti odpovědi na další podněty. V následující tabulce 1 jsou příklady nežádoucích účinků uvedeny (Bartoňová 2011).

*Tabulka 1: Vybrané účinky znečištění na zdraví (podle WHO),  
upraveno podle Bartoňové (2011)*

<b>látka</b>	<b>typ účinku</b>
oxid dusičitý (NO <sub>2</sub> )	do jisté míry snížená funkce plic, zvláště u astmatiků, podezření na zvýšený výskyt respiračních chorob
oxid siřičitý (SO <sub>2</sub> )	respirační symptomy, celková, kardiovaskulární a respirační mortalita
částice (PM <sub>2,5</sub> a PM <sub>10</sub> )	respirační symptomy u dospělých a dětí, snížení plicních funkcí, zvýšená respirační morbidita, zvýšená úmrtnost
ozon (O <sub>3</sub> )	snížené funkce plic, zánětlivé reakce, zhoršení astmatických a jiných respiračních symptomů
oxid uhlíku (CO)	únava, díky silnému potenciálu k navázání se na hemoglobin může docházet k problémům u osob s oběhovými potížemi
polyaromatické uhlovodíky PAH)	látky vyvolávající rakovinu
dioxiny	k hlavní expozici dochází z potravního řetězce, kam se dostanou také ze vzduchu; účinky na hormonální systém, reprodukční a vývojové poruchy, vyvolávají rakovinu
těžké kovy	vyvolávají rakovinu
benzen	hemotoxický, genotoxický, vyvolává rakovinu
formaldehyd	zápach, iritace očí a sliznic, snížená funkce plic (při velmi vysokých expozicích může dojít ke smrti); V nízkých koncentracích jsou často nežádoucí zdravotní účinky pozorovatelné jako symptomy.



### 3.5.2 Vnitřní zdroje znečištění

Mezi vnitřní zdroje možného znečištění vzduchu patří samotní uživatelé daného prostoru - jejich činnosti a zvyky, domácí mazlíčci, technologické procesy, které v prostoru probíhají, druh a způsob provozu technických zařízení budov a také například stavební materiály a zařizovací předměty. Stavební materiály mohou být zdrojem např. radonu, minerálních vláken a VOC. Technická zařízení produkují plyny a aerosol. Elektrické přístroje s elektromotory a topná tělesa mohou emitovat aerosolové částice, včetně bioaerosolu, vzduchotechnická zařízení navíc také zápach a VOC. Vytápěcí systémy, jako jsou kotle, kamna, krby, jsou zdrojem polutantů. Z různého vnitřního vybavení (nábytek, koberce, dekorace) je uvolňováno množství těkavých látek. Samotní uživatelé a jejich domácí mazlíčci jsou zdrojem vodní páry, CO<sub>2</sub>, alergenů, roztočů a plísní (Pišoft 2018).

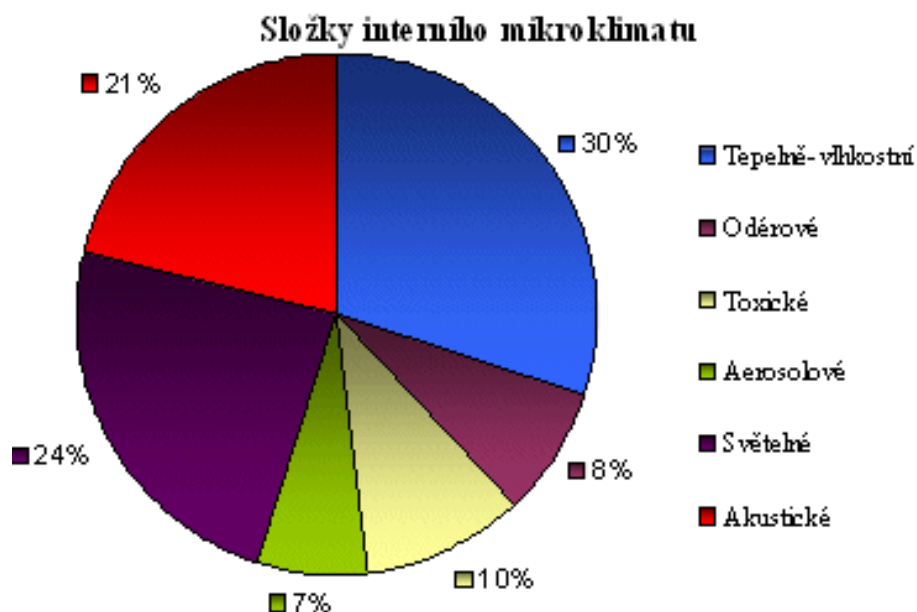
Shrneme-li všechny možné uvolňující se ZL, jedná se o prachové částice nebo vlákna organického i anorganického původu, mikroorganismy (MO), plyny i záření. Všechny tyto látky mají na zdraví člověka různé účinky - infekční, alergizující, karcinogenní, mutagenní, nebo to jsou látky toxické pro reprodukci a vývoj plodu. U některých ZL je jejich účinek na zdraví známý (radon, cigaretový kouř, formaldehyd), je však mnoho jiných látek, chemických sloučenin, u kterých mechanismus účinku na člověka není zcela objasněný. Navíc účinek známe při působení každé látky zvlášť, problémem může být jejich současné synergické působení. Nejdůležitější a nejčastěji se vyskytující ZL ve vnitřním ovzduší jsou popsány v následující kapitole.

## 4 Faktory vnitřního prostředí

Nejdříve je třeba zodpovědět otázku, jaké faktory mají na kvalitu vnitřního prostředí vliv? Složky prostředí lze rozdělit na hmotnostní a energetické. Mezi energetické můžeme zařadit teplo, světlo, UV záření, mikrovlnné záření, ionizující záření, hluk a vibrace. Hmotnostními složkami jsou pevné a kapalné aerosoly, pevné, kapalné a plynné toxické látky, pachy, vlhkost (vodní pára) a pohyb vzduchu.

Stav prostředí může být posuzován z různých hledisek. Je to hledisko hygienické, technologické, biologické a požární. Vnitřní prostředí pobytových místností hodnocené podle potřeb člověka je hodnoceno především z hlediska hygienického (Zmrhal 2014).

Na následujícím grafu je znázorněn průměrný podíl jednotlivých složek interního mikroklimatu. Tyto podíly jsou dané mírou vnímání jednotlivých složek člověkem. Největší podíl zaujímá tepelně-vlhkostní mikroklima, světelné a akustické mikroklima.



Obrázek 2: Průměrné podíly jednotlivých složek na stavu interního mikroklimatu (Doležilková 2006)

Diplomová práce se věnuje také problematice větrání, pozornost je proto dále věnována parametrům, které jsou větráním ovlivnitelné. To jsou tepelné podmínky, vlhkostní podmínky a kvalita ovzduší.

### 4.1 Tepelně-vlhkostní mikroklima

Jak již bylo řečeno výše, člověk nejvíce vnímá, kromě světla a hluku, teplotní a vlhkostní stavy prostředí. Je tedy možné považovat je za nejdůležitější parametry pro zajištění spokojenosti uživatelů daného vnitřního prostředí. Tepelně-vlhkostní mikroklima zahrnuje kromě teploty a relativní vlhkosti také rychlost proudění vzduchu. V interiéru jsou tyto složky tvořeny teplotními a vlhkostními toky (tepla a vodní páry), které působí na povrchy v prostředí i na člověka. Tyto tři parametry jsou na sobě závislé, ovlivňují se a podmiňují. Pokud je jeden parametr změněn, změní se následně i ostatní dva.

### 4.1.1 Teplo

Tepelná pohoda je tradičně nejvýraznějším faktorem hodnocení stavu vnitřního prostředí budov. Vnímána je subjektivně, každý člověk pro svou pohodu potřebuje jinou optimální teplotu. Navíc současná generace je více zhýčkaná, což dokazuje dokument Židovské školy v Praze v Jáchymově ulici, v němž jsou uvedené zásady a pokyny pro větrání škol: „*Místnost, ve které je prováděna výuka našich dětí, musí být vytápěna nejlépe na 17-19 °C.*“ Podle současné legislativy, věnující se školským zařízením, tj. ve vyhlášce č. 410/2005 Sb., je v učebnách požadovaná optimální teplota  $t_{g \text{ opt}} 22 \pm 2$  °C, přičemž minimální teplota  $t_{g \text{ min}}$  musí být větší nebo rovna 20 °C a maximální teplota  $t_{g \text{ max}}$  musí být menší nebo rovna 28 °C. Existují zahraniční studie, podle kterých je dokázáno, že při lehké práci dochází ke stoprocentnímu výkonu člověka při teplotě 22 °C. Při teplotě 27 °C již klesá schopnost podávat plný výkon, a to o 25 %, při 30 °C pak výkon dosahuje pouze 50 % z optima (Mathauserová 2005).

Pro dosažení subjektivní tepelné pohody člověka je nutná rovnováha produkovaného a odebíraného tepla, to znamená stav, kdy se z lidského těla uvolňuje tolik tepla, kolik ho právě produkuje. Za teplotně-pohodový stav vnitřního prostředí je považován takový stav, ve kterém většina jeho uživatelů cítí spokojenost s teplotou a vlhkostí.

Jak nejlépe vyjádřit, co to je tepelná pohoda? Např. Cihelka (1985) říká: „*Tepelná pohoda znamená, že je dosaženo takových tepelných poměrů, kdy člověku není ani chladno, ani příliš teplo - člověk se cítí příjemně.*“ Podle Pulkrábka et al. (1957) se za tepelnou pohodu (neboli tepelnou neutralitu) označuje stav, kdy prostředí odnímá člověku jeho tepelnou produkci bez výrazného (mokrého) pocení. Definice podle standardu ANSI/ASHRAE 55 (2017) vyjadřuje tepelnou pohodu jako stav mysli, jenž vyjadřuje spokojenost s teplotním klimatem a který vychází ze subjektivního hodnocení. Podobně tepelnou pohodu popisuje Fanger (1970): „*Tepelná pohoda představuje stav mysli, který vyjadřuje uspokojení s prostředím.*“ V souvislosti s hodnocením tepelné pohody Fanger (1970) dále říká, že tepelná pohoda znamená stav, ve kterém pohodu prostředí udává největší procento osob z dané skupiny.

Za normálních podmínek je vnitřní teplota lidského těla 37 °C. Tuto teplotu se tělo snaží fyziologickými mechanismy (termoregulací) udržet. Termoregulace vyrovnává vliv vnitřních i venkovních podmínek, to je na jedné straně produkce tepla při fyzické námaze a na druhé straně horké nebo studené okolní prostředí. Teplo je z těla uvolňováno vedením, prouděním, sáláním, dýcháním a vypařováním potu. Účinnost termoregulačních procesů souvisí s věkem, celkovým zdravotním stavem jedince, stavem výživy a pohybovým režimem. Na pohodu či nepohodu mají samozřejmě vliv i další faktory, jako jsou oblečení a tepelně vlhkostní parametry okolního prostředí, mezi které patří rychlost proudění vzduchu, teplota okolních povrchů, teplota vzduchu a vlhkost vzduchu (Zmrhal 2014; Hraška 2017). Tepelná pohoda prostředí je pro pocity dětí důležitá. Děti podstatnou část dne tráví prakticky bez pohybu v uzavřeném prostoru učeben, odborných pracovnách, družinách apod., navíc po skončení výuky doma, v zájmových kroužcích, sportovních halách apod. Za dlouhodobě únosné mikroklimatické podmínky jsou považovány takové podmínky, při kterých je organismus schopný termoregulací udržet tepelnou rovnováhu.

### 4.1.2 Zdroje tepla a chladu

V prostředí školních budov nebývají žádné výrazné technologické zdroje tepla nebo chladu, které by výrazně měnily teplotní stav prostředí, nebo by např. saláním působily na přítomné osoby.

Teplo v učebnách je závislé především na klimatických podmínkách. Během nejteplejšího období roku, v létě, výuka ve školách neprobíhá. Regulace teploty je tím pádem zatím realizována hlavně v chladném období roku, kdy je nutné prostory učeben vytápět. Zdrojem tepla jsou v dnešní době většinou tělesa otopného systému, která se umisťují pod okna. Podlahové vytápění se z investičních důvodů ve školách nerealizuje, nehledě na to, že pro školy je nevhodné kvůli možnosti šíření prachu z podlahy (Stýblo 2010). Vytápění musí zajistit teplotu vzduchu minimálně 20 °C, přičemž rozdíl teploty v úrovni hlavy a kotníků nesmí být, podle vyhlášky č. 410/2005 Sb., větší než 3 °C.

Díky změnám v atmosféře a globálnímu oteplování se však ukazuje, že do budoucna je s potřebou chlazení vnitřního prostředí nutné počítat. V posledních letech je znatelný nárůst počtu dnů s velmi vysokými teplotami vzduchu. Díky zateplování budov se nejen snižuje jejich energetická náročnost, ale snižuje se také jejich přirozené ochlazování chladnějším nočním vzduchem. K přehřívání vnitřního prostředí učeben přispívají také velké prosklené plochy obvodových stěn. Velká okna jsou nutná pro zajištění dostatečné intenzity denního osvětlení, která je rovněž nařízená legislativou. Jsou to okolnosti, které se vzájemně ovlivňují a často je složité je vzájemně skloubit. Ideální je zohlednit optimální orientaci na vhodnou světovou stranu, ale toto lze uplatnit pouze při nové výstavbě. Dále je při stavbě budov možné využít tzv. pasivní způsob chlazení, což obnáší použití stavebních hmot s velkou akumulací schopností. U stávajících budov se přehřívání prostředí dá řešit pouze zastíňováním oken po dobu přímého slunečního svitu, ideálně venkovními žaluziemi nebo instalací vzduchotechnických zařízení, součástí kterých je chlazení přiváděného vzduchu.

### 4.1.3 Vliv tepla nebo chladu na zdraví

Podle Ganonga (2005) celkové působení nadměrného tepla aktivuje mechanismy, jako jsou kožní dilatace (rozšíření cév v kůži), pocení a intenzivnější dýchání. Odpařováním potu se organismus člověka ochlazuje. Pokud by termoregulační systémy situaci nezvládaly nebo z nějakého důvodu nefungovaly, projevil by se tento stav nechutenstvím, apatií a nečinností. Reakcí na chlad je podle Ganonga (2005) svalový třes, hlad, zvýšení aktivity a sekrece noradrenalinu a adrenalinu. Toto se projeví kožní vazokonstrikcí (stažení cév v kůži), zježením chlupů (piloerectio) a choulením se "do klubíčka". Důsledkem těchto projevů je omezení průtoku krve kůží, vzestup krevního tlaku, zrychlení srdeční frekvence a zvýšení spotřeby kyslíku.

### 4.1.4 Vlhkost vzduchu

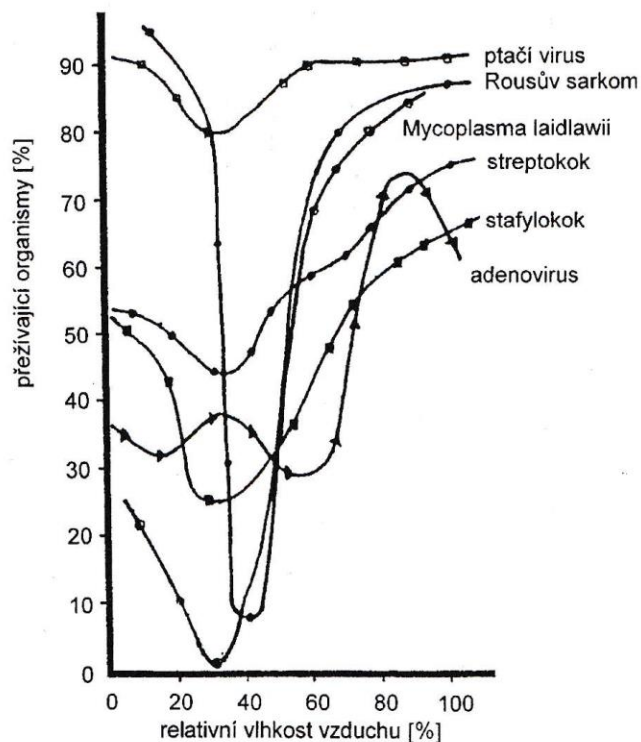
Kromě teploty vzduchu se na pocitu tepelné pohody podílí také vlhkost a proudění vzduchu. Vlhkost je člověkem vnímána v menší míře než teplo, ale i tak může nepřiměřená vlhkost člověka ovlivňovat. Stejně jako teplota vzduchu, tak i jeho vlhkost je vnímána subjektivně každým jedincem rozdílně.

Relativní vlhkost vzduchu vyjadřuje míru nasycení vzduchu vodními parami, hodnota je udávána v procentech (%). Za optimální vlhkost vzduchu je považována hodnota 30 až 50 %. Hodnoty nad 50 % mohou v zimním období způsobovat kondenzaci vodních par na chladném povrchu oken, což vede až k tvorbě a růstu plísní.

#### 4.1.5 Zdroje vlhkosti

Relativní vlhkost vzduchu vnitřního prostředí závisí na vlhkosti venkovního ovzduší, na množství lidí v interiéru (dýchání, odpařování potu) a na technologických zdrojích. V zimním období relativní vlhkost vlivem vytápění klesá pod optimální hodnoty, často na hodnotu pouhých 20 %. Naopak v letním období při vyšší teplotě relativní vlhkost roste. Kromě toho, že vlhkost způsobuje tepelnou nepohodu osob a případné zdravotní poškození, je s ní spojován i výskyt plísní a mikroorganismů.

Optimální hodnota vlhkosti vzduchu může však být posuzována z různých hledisek, které si mohou vzájemně odporovat. Při vlhkosti vzduchu 50-60 %, která je doporučovaná pro zabránění vysychání sliznic, dochází ke vzniku plísní a patogenních spór, současně se zvyšuje množství přežívajících mikroorganismů, jak je patrné z obrázku 3. Naopak nižší relativní vlhkost má příznivý vliv na nižší počet roztočů v textiliích, a tím na menší míru výskytu alergií, zejména astmatu (Morávek 2011). Z uvedeného vyplývá, že jak nízká, tak i vysoká relativní vlhkost vzduchu může mít negativní vliv na zdraví lidí, a to přímo nebo vytvořením podmínek pro rozvoj mikroorganismů a plísní.



Obrázek 3: Procento přežívajících mikroorganismů ve vzduchu v závislosti na vzrůstající vlhkosti vzduchu (Jokl 2002)

#### **4.1.6 Vliv vlhkosti vzduchu na zdraví**

Vlhkost vzduchu vyjádřená obsahem vodních par v ovzduší je důležitý faktor, protože spolu s teplotou vzduchu ovlivňuje fyziologické obranné reakce a subjektivní pocit komfortu.

Vlivem suchého vzduchu, při kterém je koncentrace vodních par nižší než 15 až 20 %, dochází i u zdravých jedinců k vysušování sliznice horních cest dýchacích, snižuje se tvorba hlenu a snižuje se i aktivita řasinek nosní sliznice (Jokl 2002). Sliznice tak ztrácí ochrannou funkci, patogenní mikroorganismy, viry a aerosolové látky ve zvýšené míře pronikají až do dolních cest dýchacích. MUDr. Günther Ritzel (1966) sledoval u dětí z mateřských i základních škol nemocnost z nachlazení a zjistil, že ve třídách, ve kterých byl v době topné sezóny vzduch zvlhčován na 49 %, byl výskyt onemocnění zhruba poloviční než ve třídách, ve kterých vzduch zvlhčován nebyl. Vysvětlit to lze tím, že například adenovirům, které způsobují nemoci z nachlazení, se nejvíce daří až při vlhkosti 60 % a vyšší, jak je patrné z obrázku 3. Suchý vzduch dále podporuje víření pylu, roztočů a prachu, které jsou příčinou alergií.

Při vyšší vlhkosti vzduchu je ovlivněno odpařování potu. Vlhký vzduch není schopen další vlhkost pohlcovat, pot se z pokožky neodpařuje, stéká po ní, ochlazování není účinné a může dojít k přehřátí organismu (Mathausarová 2005). Při rozvoji mikroorganismů a růstu plísní ve vlhkém ovzduší dochází k vyšší nemocnosti uživatelů daného prostoru - k nevolnostem, alergiím, zánětům průdušek, dýchacím potížím, bolestem kloubů a nervovým potížím.

Podle Fanga et al. (1998) bylo prokázáno, že lidé lépe snášejí vzduch suchý a chladný, teplý a vlhký vzduch vnímají jako znečištěný, i když v něm nebyly prokázány ZL.

#### **4.1.7 Proudění vzduchu**

Jak již bylo řečeno, tepelná pohoda je podmíněna tepelnou rovnováhou. Té je možné dosáhnout pouze v případě, kdy okolí odebírá tělu tolik tepla, kolik ho tělo vyprodukuje. Rychlost odnávání tepla tělu souvisí také s prouděním vzduchu. Vyšší rychlost proudění vzduchu (průvan) tělo vnímá pozitivně při vyšší teplotě vzduchu, ale při nižších teplotách může způsobovat nežádoucí nadměrné místní ochlazování těla a jeho prochlazení. Studený vzduch proudící pouze na určitou část těla (nohy, hlava) může vznikat při otevření okna nebo dveří, ale i v klimatizovaných prostorech. Nízká rychlost proudění vzduchu naopak přispívá k nepříjemnému pocitu tzv. stojícího vzduchu.

Doporučené hodnoty rychlosti proudění vzduchu jsou v zimním období maximálně 0,15 m/s, v letním období 0,25 m/s. Proudění o rychlosti více než 0,35 m/s již může způsobovat nepříjemné pocity (Smola 2011).

## **4.2 Odérové mikroklima**

Odérové látky (odéry) jsou plynné anorganické nebo organické látky, které jsou vnímány jako pachy. Mohou být vnímány příjemně, pak mluvíme o vůních, nebo nepříjemně, pak mluvíme o zápaších. Ovšem co je pro jednoho člověka vůní, může být pro druhého člověka zápachem.

Příjemnost nebo nepříjemnost odérových látek je posuzována tzv. hedonickým tónem, který vyjadřuje subjektivní pocity člověka na základě jeho zkušeností, vzpomínek,

psychického stavu. Například vůně kávy je pro milovníky kávy příjemná, na její odpůrce působí nepříjemně. Dokonce různé oděry mohou být stejnými osobami v různém věku vnímány rozdílně. Rovněž oděr běžné koncentrace může být vnímán jako příjemný nebo neutrální, ale při vyšší koncentraci se bude jevit jako nepříjemný, např. silnější vůni čokolády nebo voňavky mohou některé osoby vnímat nepříjemně.

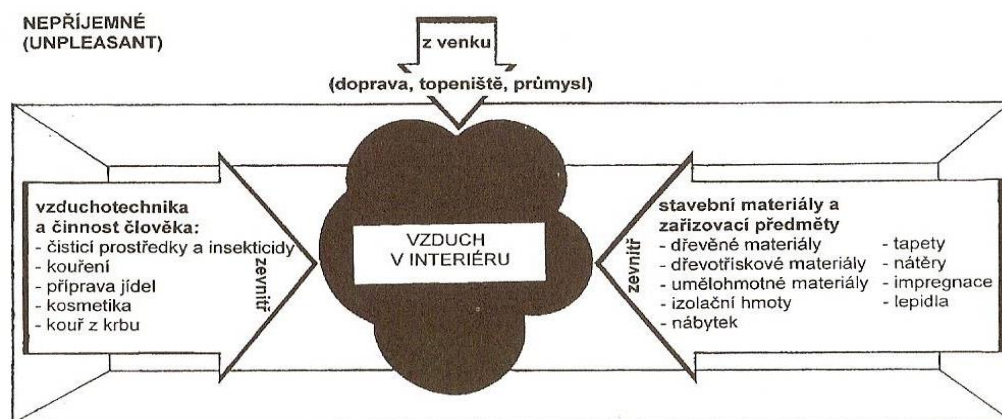
Podle Zwaardermakerovy stupnice lze rozlišovat 5 základních typů oděrů:

- 1) éterický typ (lidské pachy)
- 2) aromatický typ (pach rozkládajícího se zralého ovoce)
- 3) izovalerický typ (pach z kouření tabáku, pach zvířecího potu)
- 4) zažluký typ (pach mlékárenských produktů)
- 5) narkotický typ (pach rozkládajících se proteinů a vůně tabáku) (Jokl 2002).

#### 4.2.1 Zdroje oděrů

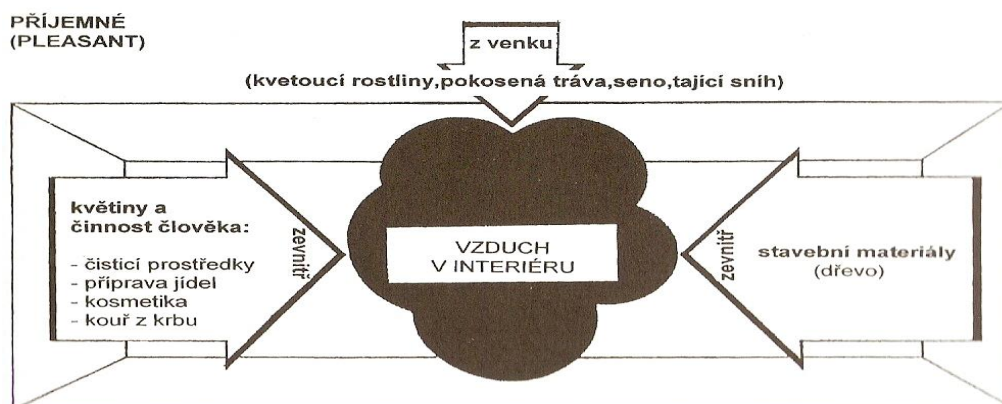
Vůně i zápachy jsou různého původu, nejčastěji jsou produkovány člověkem nebo jeho činnostmi, uvolňovat se mohou také ze stavebních materiálů a zařizovacích předmětů. Mezi vůně můžeme řadit například vůni kvetoucích rostlin, pokosené trávy, sena, čerstvého dřeva, ale i oděry vznikající činnostmi člověka, jako jsou vaření, kouř z krbu, kosmetické přípravky a podobně. Vůně zlepšují náladu a soustředění.

Mezi nepříjemně vnímané oděry zpravidla patří zápachy vznikající z dopravy, spalování a průmyslu, např. oxidy síry a dusíku, oxid uhelnatý, dále zápachy uvolňující se ze stavebních materiálů a zařizovacích předmětů, jako je dřevotříska, plasty, nábytek, tapety, lepidla, nátěry, rozpouštědla, např. formaldehyd, benzín, toluen, chloropren, styreny, dioxin a mnoho dalších. Nepříjemné oděry vstupují do interiéru jak zvenku, tak vznikají přímo v interiéru. Vnitřními zdroji nepříjemných oděrů jsou stavební materiály, vzduchotechnická zařízení, zařizovací předměty a především sám člověk a jeho činnost (Jokl 2002), (viz obrázek 4).



Obrázek 4: Zdroje nepříjemných oděrů v interiéru (Jokl 2002)

Stejně jako zápachy, tak i vůně vstupují do interiéru zvenku. Je to například vůně kvetoucích rostlin, pokosené trávy, sena, tajícího sněhu. Ve vnitřním prostředí jsou zdrojem vůní kvetoucí pokojové rostliny a sám člověk a jeho činnost (Jokl 2002), (viz obrázek 5).



Obrázek 5: Zdroje příjemných odérů v interiéru (Jokl 2002)

#### 4.2.2 Vliv odérů na zdraví

Odéry nepůsobí na zdraví člověka přímo, ale při určité koncentraci mohou způsobovat pokles výkonnosti, ztrátu soustředění, nebo mohou vyvolávat pocit nevolnosti. Jejich dlouhodobé působení může způsobit úzkost, deprese a chronickou únavu.

### 4.3 Toxické mikroklima

Toxické mikroklima je tvořené, stejně jako odérové mikroklima, organickými nebo anorganickými plyny, které jsou však pro lidský organismus toxické. Některé pachové látky se mohou řadit do odérového i toxického mikroklimatu, některé toxické látky mohou být bez zápachu.

Toxické plyny zahrnují především oxidy síry ( $\text{SO}_x$ ), dusíku ( $\text{NO}_x$ ), oxid uhelnatý (CO), formaldehyd a mnoho dalších.

#### 4.3.1 Zdroje toxických plynů

Do vnitřního ovzduší se dostávají opět jak z vnějšího prostředí, tak mohou vznikat i přímo ve vnitřním prostředí.

Do vnějšího prostředí se toxické plyny dostávají v menší míře přírodními emisemi (sopečnou činností, biologickými procesy apod.), ale především antropogenními emisemi - spalováním fosilních paliv, z dopravy a průmyslu, jako primární polutanty, které mají vždy svůj emisní zdroj, nebo jako sekundární polutanty, které vznikají chemickou reakcí z primárních polutantů (Pišoft 2018).

Nebezpečné koncentrace některých toxických plynů mohou vznikat přímo ve vnitřním prostředí, např. CO. Vnitřními zdroji jsou různé výrobní procesy, stavební materiály, vybavení interiéru a také činnost lidí. Uvolňovat se mohou z barev, lepidel, plastů, fungicidních nátěrů apod. (Hraška 2017).



Které toxické plyny se mohou ve vnitřním prostředí vyskytovat, jaké jsou jejich zdroje a jaký mají vliv na lidské zdraví je uvedeno v následujících kapitolách.

#### **4.3.2 Oxidy síry - SO<sub>x</sub>**

Oxidy síry patří mezi nejškodlivější látky a spolu se suspendovanými částicemi jsou hlavními složkami směsi znečišťující ovzduší v městských oblastech. Mokrou depozicí se podílejí na vzniku kyselých dešťů, které překyselují půdu, způsobují odumírání jehličnatých stromů, poškozují stavební konstrukce a nepříznivě působí na zdraví lidí. Nejvýznamnějšími oxidy síry jsou oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>) a oxid sírový (SO<sub>3</sub>).

#### **4.3.3 Zdroje SO<sub>x</sub>**

Oxidy síry vznikají především ve venkovním prostředí. Přírodními zdroji je vulkanická činnost a lesní požáry. Hlavními zdroji je však průmyslová výroba kyseliny sírové a spalování fosilních paliv, v nichž je obsažena síra. V běžném vnitřním prostředí se zdroje SO<sub>x</sub> nevyskytují, do vnitřního prostředí se tak dostávají při větrání. Vyšší koncentrace ve vnitřním prostředí se vyskytuje zejména v oblastech, ve kterých je vnější ovzduší ovlivněno emisemi z tepelných elektráren.

#### **4.3.4 Vliv SO<sub>x</sub> na zdraví**

Vyšší koncentrace oxidů síry způsobuje podráždění sliznice očí, horních cest dýchacích a plic. Může být i příčinou rozvoje astmatu (Arnika 2014; Pišoft 2018). Na působení oxidů síry jsou citlivější děti, starší a chronicky nemocní jedinci. SO<sub>x</sub> se váží na pevné aerosolové částice (popílek, saze, prach), při jejichž vdechování je pak dráždění dýchacích cest větší. Oxidy síry také negativně působí na vegetaci a stavební materiály.

#### **4.3.5 Oxidy dusíku - NO<sub>x</sub>**

Termín „oxidy dusíku“ zahrnuje směs oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO<sub>2</sub>). Obecně jsou do této skupiny řazeny i další oxidy, např. oxid dusný (N<sub>2</sub>O), oxid dusitý (N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), tetraoxid dusíku (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), oxid dusičitý (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) a další, které se vyskytují v menším množství. Nejvyšší podíl (více než 90 %) ve směsi oxidů dusíku má NO (Pišoft 2018).

#### **4.3.6 Zdroje NO<sub>x</sub>**

Oxidy dusíku vznikají při spalování fosilních paliv (reakcí kyslíku a dusíku v plameni) za vysokých teplot, vznikají však i spalováním ušlechtilých paliv (plynu, nafty) a biomasy (Murtinger 2013). Zdrojem jsou také přirozené biologické procesy mikroorganismů probíhající v půdě a bouřkové výboje v atmosféře. Do vnitřního prostředí pronikají oxidy dusíku z venkovního prostředí, zdrojem přímo ve vnitřním prostoru mohou být plynové spotřebiče, naftová kamna, uvolňují se při kouření tabáku.

#### 4.3.7 Vliv NO<sub>x</sub> na zdraví

Toxický účinek vdechovaného vzduchu kontaminovaného oxidy dusíku se projeví poškozením dolních cest dýchacích, drážděním očí, poklesem tlaku krve a bolestí hlavy. Nebezpečné je působení malých koncentrací po dobu delší než 30 minut, kdy se účinky projeví až po dlouhé době. Způsobují snížení imunity, zvyšují výskyt respiračních onemocnění, vysoké koncentrace mohou být příčinou edému plic, který často končí smrtí (Mathauserová 2018).

#### 4.3.8 Oxid uhelnatý - CO

Oxid uhelnatý je jednou z nejběžnějších a nejrozšířenějších látek znečišťujících vnější i vnitřní ovzduší. Je to bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, je lehčí než vzduch a je nedráždivý. Pro tyto své vlastnosti je těžko postřehnutelný.

#### 4.3.9 Zdroje CO

Vzniká při nedokonalém spalování jakéhokoliv paliva - uhlí, dřeva, zemního plynu, benzínu, atd., obsažen je v cigaretovém kouři, zdrojem mohou být různé vonné tyčinky. Důvodem vyšší koncentrace v interiéru je nedostatečné odvětrání místností, kde jsou špatně čištěná, neseřizovaná kamna, sporáky, karmy a jiná spalovací zařízení, nebo netěsnící spalínové cesty a komíny. Do organismu se dostává dýchacími cestami.

#### 4.3.10 Vliv CO na zdraví

CO se v krvi snadno váže na hemoglobin za vzniku karbonyl-hemoglobinu (COHb). Tato vazba je velmi pevná, 250-300x pevnější než vazba kyslíku. V důsledku této vazby může dojít k buněčné hypoxii. Nejvíce ohrožené jsou tělní orgány citlivé na nedostatek kyslíku - mozek a srdce. Určité množství COHb je přirozené, u obyvatel měst se jedná o cca 2 % COHb z celkového množství hemoglobinu. Při pobytu v prostředí s koncentrací CO 0,1 %, může množství COHb stoupnout až na 50 %. Nízké koncentrace oxidu uhelnatého v ovzduší způsobují únavu a bolest hlavy, vyšší koncentrace pak poruchy vidění a koordinace, snížení pozornosti, silné bolesti hlavy, závratě a nevolnost. Velmi vysoké koncentrace jsou smrtelné (SZÚ 2018).

#### 4.3.11 Těkavé organické látky - VOC

Těkavé organické látky jsou látky, které za běžných podmínek (tlaku a teploty) snadno přecházejí do plynného stavu. Působením slunečního záření reagují s NO<sub>x</sub> a vznikají látky, které poškozují ozonovou vrstvu, lidské zdraví a mají velký podíl na vzniku přízemního ozonu. Do této skupiny patří velké množství látek s výrazným příjemným nebo i nepříjemným aroma, látky známé z přírody (mentol, pižmo, terpeny v koření apod.) nebo uměle vyrobené (toluen, aceton, benzen, chloroform, ftaláty, formaldehyd apod.). VOC mají různý vliv na pohodu a zdraví lidí - způsobují bolest hlavy, nevolnost, kašel, chraptot, svědění, pocit suché kůže apod. (Hraška 2017). V přednášce Ing. Mathauserové (2007) zaznělo, že „*dlouhodobé*

*působení nižších koncentrací způsobuje jemné neurologické změny, akutní působení se může projevit jako otrava, některé z látek této skupiny mají karcinogenní a mutagenní účinek“.*

Typickým zástupcem, který se ve větší míře může vyskytovat ve vnitřním prostředí budov, je formaldehyd.

#### **4.3.12 Formaldehyd - HCHO**

Formaldehyd (neboli metanal) je přirozeně se vyskytující jedovatá plynná látka s charakteristickým štiplavým zápachem. Vyskytuje se i v kapalné formě (formalín), protože je snadno rozpustný ve vodě, a v jiných polárních rozpouštědlech. Formalín polymerizací přechází do pevné formy (paraformaldehyd), (Kazmarová & Velická 2006).

#### **4.3.13 Zdroje HCHO**

HCHO vzniká přirozenou fotochemickou oxidací uhlovodíků v troposféře, hlavním zdrojem ve venkovním prostředí jsou však lidské činnosti - nedokonalé spalování paliv a doprava. V menší míře vzniká rozkladem zbytků rostlin, také je součástí tabákového dýmu. Jeho výskyt ve venkovním prostředí však jen velmi málo ovlivňuje jeho koncentraci v prostředí budov. HCHO je součástí syntetických pryskyřic a lepidel používaných při výrobě nábytku, používáný je i v textilním průmyslu. Proto je v interiérech jeho hlavním zdrojem nábytek, podlahové krytiny, koberce, tapety a laky. Obsažen je rovněž v kosmetických, čistících a dezinfekčních prostředcích, v mořidlech na nábytek a nekvalitních plyšových hračkách. Míra uvolňování HCHO a jeho koncentrace v interiéru závisí na teplotě a vlhkosti ovzduší, na stáří a množství nábytku a textilií, a také na tom, zda byly na konstrukci domu použity dřevotřískové desky nebo močovino-formaldehydové izolace (Doležilková 2010; Salthammer 2013).

#### **4.3.14 Vliv HCHO na zdraví**

Vstupními cestami do organismu je dýchací, zažívací trakt a pokožka. Zvýšená koncentrace formaldehydu ( $0,1-1 \text{ mg/m}^3$ ) způsobuje podráždění sliznice horních cest dýchacích a spojivek, což se projeví jako sucho v ústech, dráždění ke kašli, pálení očí a slzení, dále bolest hlavy, nevolnost, únava a nesoustředění. Při vyšších koncentracích nastává silné slzení, otoky a zánět plic, poruchy paměti, atopické ekzémy a jiné alergie, velmi vysoké koncentrace mohou způsobit zákal rohovky, ztrátu zraku nebo až smrt. Pokusy na zvířatech prokázaly karcinogenitu a mutagenitu HCHO při inhalaci (Doležilková 2010; Salthammer 2013).

### **4.4 Ionizační mikroklima**

Ionizující záření je produktem přírodních radioaktivních látek (radionuklidů) nebo umělých zdrojů (např. rentgenové přístroje). Je to sumární označení pro záření o takové vlnové délce elektromagnetických vln a energetických částic, které jsou schopné ionizovat látku, kterou prochází. Ionizací je látce dodávána energie, atomy jsou elektricky nabitý buď záporně, pokud získaly elektron, nebo kladně, pokud elektron ztratily (Hack 1989). Intenzita radioaktivního

záření je udávána v Becquerelech (Bq) a objemová aktivita radioaktivního prvku v  $\text{Bq/m}^3$ . Hodnota pak odpovídá počtu radioaktivních přeměn v jednom kubickém metru vzduchu ( $\text{m}^3$ ). Radioaktivní materiály jsou takové, které produkují alfa, beta, gama a neutronové nebo rentgenové záření (Jokl 2002). Pokud se hovoří o radioaktivitě v budovách, hovoří se o radonu.

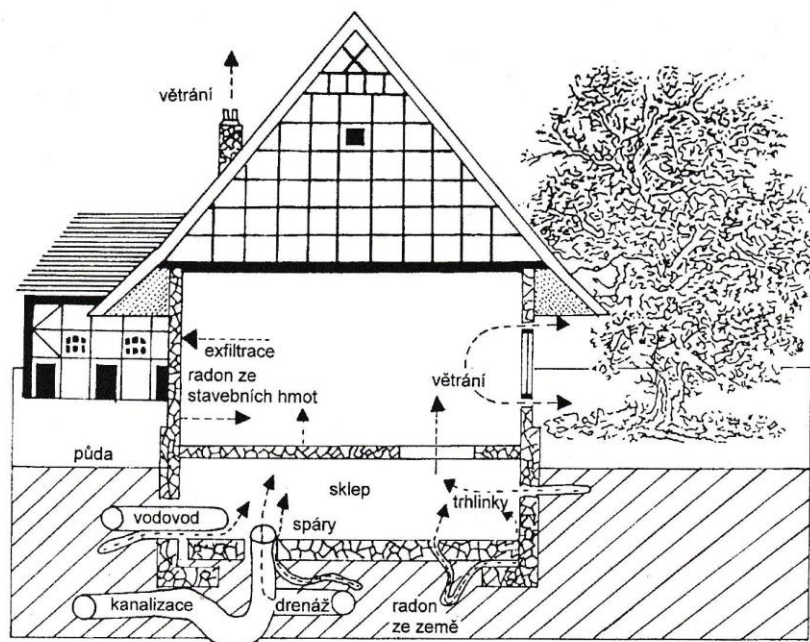
#### 4.4.1 Radon - $\text{Rn}^{222}$

Radon je přirozeně se vyskytující chemický prvek, v periodické tabulce prvků je řazen mezi vzácné plyny. Je bezbarvý, bez chuti a bez zápachu, je nereaktivní a nehořlavý, rozpustný ve vodě. Z tohoto důvodu ho není možné v ovzduší smyslově identifikovat. Radon je radioaktivní prvek, který vzniká postupnou přeměnou uranu a radia a zaniká dalším radioaktivním rozpadem, za vzniku dalších radioaktivních prvků (izotopy polonia, olova a bismutu). Nemá žádné stabilní izotopy. Radon i jeho dceřiné produkty patří mezi alfa zářiče, které mají mutagenní a teratogenní účinek.

#### 4.4.2 Zdroje $\text{Rn}^{222}$

Z půdního vzduchu se radon uvolňuje do atmosféry, kde se dále přeměňuje na další radioaktivní prvky. Z atmosféry se radon dostává do objektů. Jak vyplývá z dokumentu Radonový program ČR 2010 až 2019 - Akční plán, je v České republice průměrná koncentrace radonu v budovách  $119 \text{ Bq/m}^3$ , zatímco ve venkovní atmosféře přibližně  $5 \text{ Bq/m}^3$  (SÚRO 2009). Některé objekty však překračují referenční úroveň pro přírodní ozáření uvnitř budovy. Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, což je prováděcí předpis k atomovému zákonu (zákon č. 263/2016 Sb.), v § 97 stanoví pro obytné nebo pobytové místnosti uvnitř budovy referenční úroveň  $300 \text{ Bq/m}^3$ . Pokud je tato úroveň překročena, musí vlastník objektu provést opatření ke snížení míry ozáření.

Do budov se radon může dostávat z okolní atmosféry, ale hlavně z podloží, z vody nebo ze stavebních materiálů, jak je zobrazeno na obrázku6.

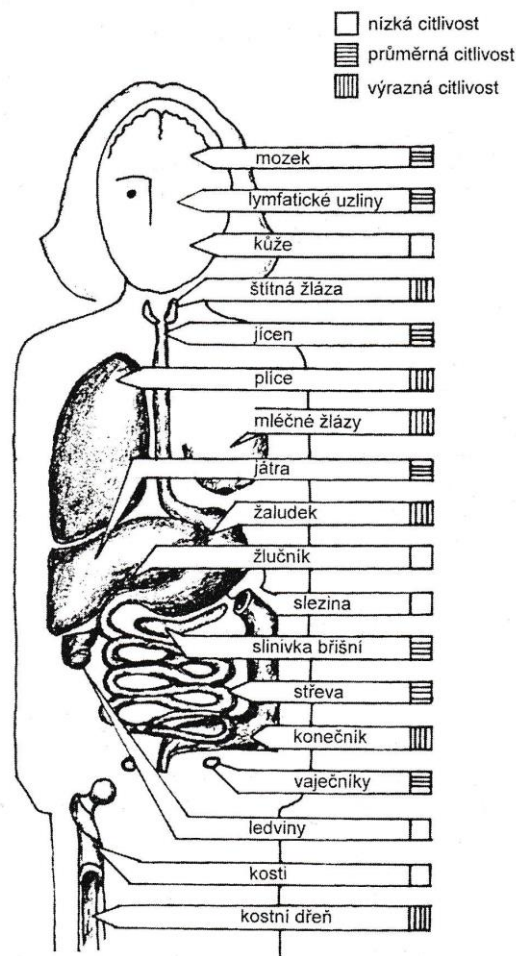


Obrázek 6: Cesty průniku radonu do objektu a jeho průchod objektem (Jokl 2002)

Velký vliv na koncentraci radonu ve vnitřním prostředí má větrání, celkový přísun radonu a meteorologické podmínky. Z těchto důvodů jeho koncentrace ve vnitřním ovzduší kolísá jak v průběhu dne a noci, tak i v průběhu ročních období a let.

#### 4.4.3 Vliv $Rn^{222}$ na zdraví

Radioaktivní prvky, které rozpadem radonu vznikají (polonium, olovo, bismut), jsou zachytávány v dýchacím ústrojí a ozařují plicní tkáň. Působení těchto částic může poškodit plicní buňky a může vést až ke vzniku rakoviny.  $Rn^{222}$  je po kouření druhou hlavní příčinou rakoviny plic (Seo et al. 2019). Do organismu se radioaktivní látky dostávají také trávicím ústrojím, přes kůži nebo sliznice. V organismu se pak chovají různě a nepředvídatelně. Mohou se ukládat rovnoměrně, takže nelze určit orgán, kde se budou ukládat, nebo nerovnoměrně, kdy se kumulují např. v kostech. V tomto případě je tento konkrétní orgán označován jako kritický orgán (Jokl 2002).



Obrázek 7: Citlivost tělních orgánů k ionizujícímu záření (Jokl 2002)

Trvalé účinky ionizujícího záření na organismus jsou somatické nebo genetické. Somatické postihují exponovaného jedince, genetické jeho potomky. Zároveň účinky mají stochastický nebo nestochastický charakter. Stochastický účinek znamená, že postiženy nebudou všechny exponované osoby, ale podle dávky ozáření je zde určitá pravděpodobnost poškození. Nestochastický účinek pak znamená, že postiženy budou všechny exponované osoby, dávka ozáření ovlivní závažnost poškození organismu (Jokl 2002).

Různé orgány lidského těla jsou různě vnímavé k ionizujícímu záření. Z obrázku 7 vyplývá, že nejcitlivějšími orgány je štítná žláza, plíce, mléčné žlázy, žaludek, konečník a kostní dřeň.

#### 4.5 Aerosolové mikroklima

Aerosol se v ovzduší vyskytuje v kapalně nebo pevně formě. Jsou to veškeré suspendované částice, které se šíří prouděním vzduchu. V případě rozptýlených kapalných částic mluvíme o mlze nebo páře, jsou-li v ovzduší rozptýlené pevné částice, mluvíme o prachových částicích.

#### 4.5.1 Prachové částice

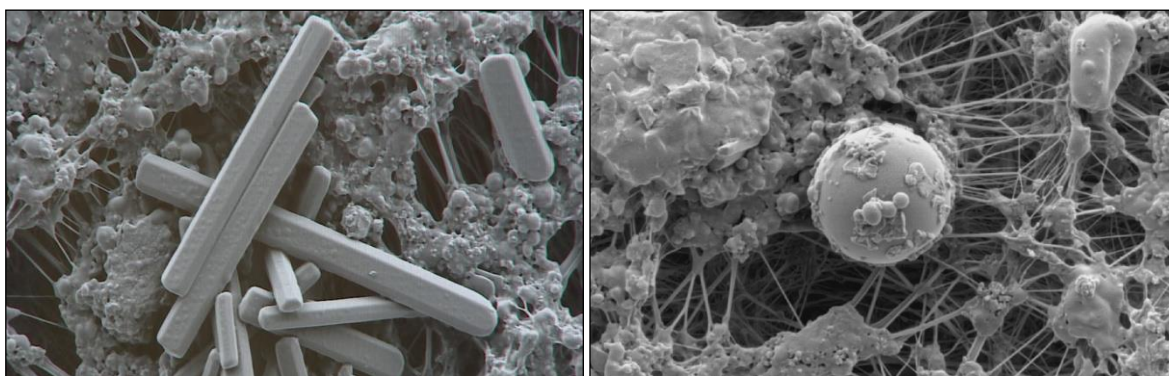
Původ prachových částic může být organický (živočišný, rostlinný) nebo anorganický (nekovový, kovový). Jejich koncentrace ve venkovním ovzduší je velmi rozdílná. Zatímco ve městech se pohybuje běžně kolem 1 až 3 mg/m<sup>3</sup>, v horských oblastech je to pouze 0,02 až 0,5 mg/m<sup>3</sup> (Hraška 2017).

#### 4.5.2 Dělení prachových částic

Rozdělení prachových částic lze pojmut z různých hledisek, podle původu, podle chemického složení, podle velikosti.

1) Podle původu dělíme prachové částice na primární a sekundární. Primární částice se do ovzduší dostávají přímo z různých zdrojů, a to jak z přirozených, tak z antropogenních. Mohou to být např. částice uvolněné při zvětrávání a erozi půdy, pyly z rostlin nebo částice vznikající při spalovacích procesech v dopravě a různých druzích průmyslu (saze, popílek). Sekundární částice se tvoří interakcemi v atmosféře. Mezi sekundární prašnost se řadí také zvíření již usazeného prachu, např. při provozu na komunikacích.

2) Podle složení se rozlišují částice organické a anorganické. Převládající podíl mají částice organické (36-81 %). Z anorganických složek se uplatňuje uhlík, amoniak, dusičnany, sírany a chloridy (Lanz et al. 2010). Speciálním druhem prachu je prach azbestový.

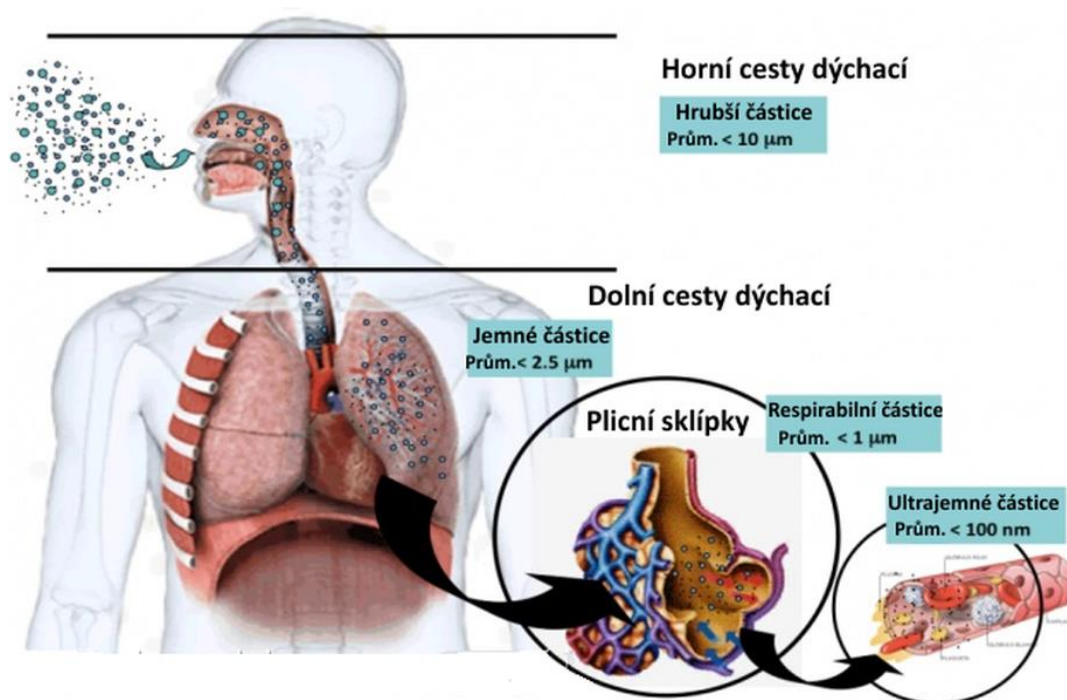


Obrázek 8: Prachové částice (Skeřil 2017)

3) Podle velikosti - velikost i tvar prachových částic jsou různé, jak je patrné z obrázku 8. Čím je částice menší, tím déle zůstává v ovzduší a snadněji se přenáší na větší vzdálenosti, často i na desítky až stovky kilometrů. Prachové částice v ovzduší se označují jako polétavý prach, nebo jako PM, což je zkratka z anglického výrazu „Particulate Matter“. Celosvětově jsou ustanoveny kategorie velikosti (frakce) PM částic - PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1</sub> a PM<sub>0,1</sub>. Sice jsou prachové částice spojované především se znečištěním venkovního prostředí, ale mohou se vyskytovat i v prostředí vnitřním, kam se dostávají při větrání. Podle velikosti prachových částic dochází k jejich většímu či menšímu usazování vlivem zemské gravitace. Sedimentace velkých částic velikosti 100 μm je rychlá, trvá přibližně jen 3 až 4 sekundy, sedimentace částic velikosti 10 μm proběhne v řádech minut (5 až 6 minut). Řádově hodiny trvá usazení částic velikosti 1 μm (7 až 8 hodin), ultrajemné částice velikosti 0,1 μm v ovzduší zůstávají



nejdéle, k jejich sedimentaci dojde až za 29 až 34 dnů. Usazený prach může být následně při pohybu osob v místnosti rozvířován. Např. člověk při lehkých pohybech rukou ve stoje nebo vsedě dodává do ovzduší až 500 tisíc částic za minutu, při usednutí na židli až 2,5 milionů částic za minutu. Pomalou chůzí je do ovzduší zpětně dodáno cca 5 mil částic za minutu, při cvičení nebo při hře dokonce až 30 milionů prachových částic za minutu (Dvořáková 2016). Dělení velikostních frakcí prachu bylo zvoleno podle vlivu působení na organismus a zdraví lidí a podle průniku do plic (viz obrázek 9).



Obrázek 9: Průnik aerosolu do plic (Skeřil 2017)

**PM<sub>10</sub>** jsou hrubé částice s aerodynamickým průměrem 2,5-10  $\mu\text{m}$ , jejich primárním zdrojem je lokální vytápění a polní práce. V dýchacím traktu jsou zachyceny v horních cestách dýchacích a v nosní dutině.

**PM<sub>2,5</sub>** jsou jemné částice s aerodynamickým průměrem 1-2,5  $\mu\text{m}$ , primárním zdrojem je opět lokální vytápění, dále doprava a energetika. V dýchacím traktu pronikají hlouběji, jsou zachytávány až v dolních cestách dýchacích. Jsou tedy více škodlivé než částice PM<sub>10</sub>.

**PM<sub>1</sub>** jsou velmi jemné částice prachu s aerodynamickým průměrem menším než 1  $\mu\text{m}$ , jsou ještě více škodlivé, protože se snadno dostávají až do plicních sklípků.

**PM<sub>0,1</sub>** jsou ultrajemné částice, které mohou z plic přecházet do krve, a tím i do různých tělních orgánů.



### 4.5.3 Vliv prachových částic na zdraví

Prachové částice na lidský organismus působí přímo - dráždí dýchací cesty, pokožku, oční spojivky, způsobují častější infekce a nespecifické záněty. Dlouhodobým působením může dojít k rozvoji vážnějších onemocnění dýchacích cest - k chronické obstrukční chorobě plic nebo k rakovině. Mohou také na svém povrchu vázat další látky, například VOC, PAU, těžké kovy nebo MO.

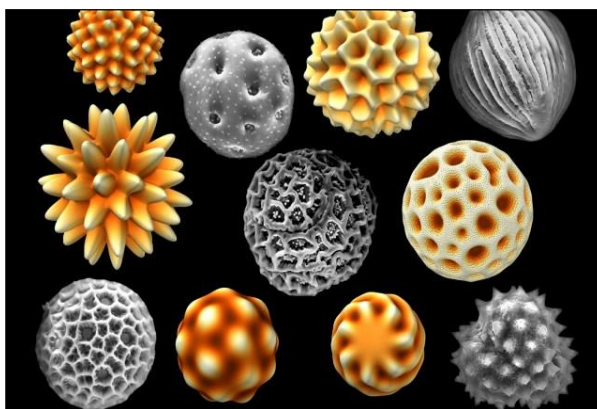
Působení prachu na lidský organismus může být dráždivé, fibrogenní, toxické, alergizující nebo karcinogenní. Záleží na jeho koncentraci, době expozice, fyzikálních a chemických vlastnostech, tvaru, rozpustnosti atd.

### 4.6 Mikrobiální mikroklima

Jedním z typů atmosférického aerosolu je tzv. bioaerosol. V tomto případě jsou v ovzduší rozptýlené částice výhradně organického původu o průměru 0,1-100  $\mu\text{m}$ , označované také jako mikroorganismy. Jedná se například o bakterie, viry, plísně, spóry plísní, rostlinné pyly, roztoče, částičky kůže, srsti zvířat atd. (Jokl 2002). Na obrázcích 10 až 14 jsou uvedeny zástupci bioaerosolu. Jejich vyšší koncentrace negativně ovlivňuje lidské zdraví. Největším zdrojem bakterií, a to i patogenních bakterií, je člověk a zvířata.



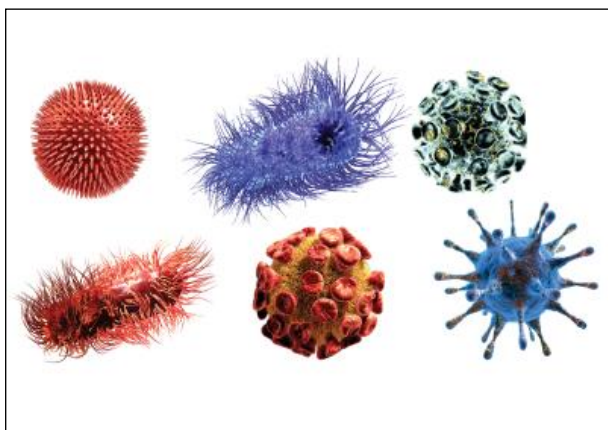
Obrázek 10: Plíseň (Lobdell 2019)



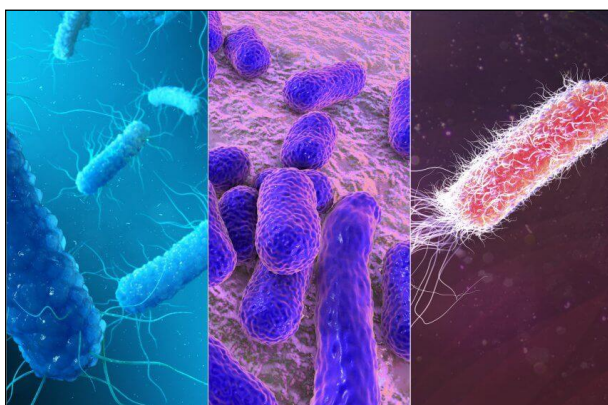
Obrázek 11: Pylové částice (Radja & Lavrentovich 2019)



Obrázek 12: Roztoči a výkaly roztočů (Zeldovich 2017)



Obrázek 13: Viry (Offord 2019)



Obrázek 14: Bakterie (WHO 2018)

#### 4.6.1 Zdroje bioaerosolu

Bioaerosol vzniká ve venkovním i ve vnitřním prostředí, z venkovního prostředí se dostává při větrání zpět do prostředí vnitřního přímo (např. pyl) nebo navázané na kapalných či prachových částicích (např. bakterie, viry, roztoči). Člověk uvolňuje MO do ovzduší při hovoru, kašli a kýchání. V drobných vodních kapénkách zůstává v ovzduší bez sedimentace dlouhou dobu, v závislosti na velikosti kapének. MO se mohou do ovzduší uvolňovat také ze stavebních konstrukcí nebo z nedostatečně čištěného vzduchotechnického zařízení.

Ve vnitřním prostředí obytných místností jsou největším problémem plísně. Plísně jsou vláknité MO, patří do říše hub, rozmnožují se pomocí spór. Substrátem plísní mohou být různé materiály - potraviny, papír, dřevo, textil, plasty, stavební materiál a další (Jokl 2002). Jsou velmi odolné vnějšmu prostředí, obecně snášejí teploty od -8 do +90 °C, pH od 1,5 do 11. Samozřejmě každý druh plísní potřebuje pro růst a rozmnožování své optimální podmínky. Potřeba vlhkého prostředí, tepla a kyslíku je společná pro většinu druhů plísní. Plísně rostou nejčastěji v prostředí s vlhkostí 70-80 %. V suchém prostředí jsou však schopné přežít ve formě spór, které pak při vzniku vhodných podmínek klíčí.

Růst, rozmnožování a šíření MO podporuje zvýšená vlhkost vnitřního prostředí (substrátu a ovzduší). Vlhkost v budovách se zvyšuje při snaze o snížení energetických ztrát, kvůli kterým jsou instalována nová těsná okna, budovy jsou zateplovány a omezuje se větrání. Zvýšenou relativní vlhkostí vzduchu dochází ke kondenzaci na nedokonale zateplených nebo nezateplených konstrukcích, tedy konstrukcích s nízkými tepelně izolačními vlastnostmi. Na těchto místech (nejčastěji zdi a okna) vzdušná vlhkost kondenzuje a vsakuje se do materiálu. Výskyt plísní je spojován také s omezeným větráním. V současné době je v obytných budovách vzduch vlhčí, než byl dříve, mimo jiné i proto, že se změnil způsob vytápění. Lokální topení kamny, ve kterých bylo spalováno dřevo nebo uhlí, podporovalo přísun čerstvého suchého vzduchu z vnějšku a odvod vlhkého vzduchu znehodnoceného spalinami komínem ven.

Podle studie Zhengshenga et al. (2018), provedené v období duben 2016 až únor 2017 v čínském Xi'anu, koncentrace celkových vzdušných mikrobů (Total Airborne Microbes, TAM) v průběhu roku výrazně kolísá. Nejvyšší je v zimním a podzimním období, nižší je v jarním a nejnižší v letním období. Vyšší výskyt TAM je rovněž během mlhavých dnů. Důležitým mechanismem, který ovlivňuje koncentraci bioaerosolu, je společné působení meteorologických a environmentálních faktorů.

#### **4.6.2 Vliv bioaerosolu na zdraví**

Mikrobiální znečišťující látky v ovzduší mají velký vliv na zdraví lidí. MO jsou všudypřítomné a v ovzduší se vyskytují odnepaměti. Člověk je na jejich přítomnost adaptovaný, v současné době jsou však prostředí, kde je koncentrace MO vyšší. V těchto případech mohou u člověka způsobit patologické stavy, nejčastěji alergie nebo respirační choroby. Nejvíce ovlivněné jsou osoby zranitelné z důvodu svého zdravotního stavu se sníženou imunitou, např. pacienti s diabetem, tuberkulózou, AIDS, rakovinou, po chemoterapii, nebo věku (Klánová 2013). Vznik onemocnění je závislé na virulenci mikroorganismu, jeho koncentraci, délce expozice a stavu imunitního systému daného jedince. Zvýšená koncentrace bioaerosolu je spojována s bolestmi hlavy, únavou, ale také respiračními příznaky, alergiemi, astmatem, mykózami a různými imunologickými reakcemi, které mohou ve vážných případech končit i smrtí (WHO 2009). Plísně při svém růstu uvolňují mykotoxiny, které kontaminují nejčastěji potraviny a způsobují otravy po jejich požití. Do organismu se dostávají také z aerosolových částic respirační cestou. Mykotoxiny jsou alkoholy, ketony, aldehydy, estery a terpeny, které snižují odolnost organismu vůči infekcím, mohou mít však také účinek mutagenní, teratogenní, neurotoxický a karcinogenní (Klánová 2013).

## 5 Větrání

Jedna ze základních potřeb člověka je kvalitní čisté ovzduší. A to jak ovzduší venkovní, tak i ovzduší v interiérech budov. Podle Lajčíkové (2012) až 50 % všech onemocnění vzniká v souvislosti s nedostatečnou kvalitou vnitřního prostředí budov. Podle způsobu, jak jsou budovy užívány, je rozlišováno vnitřní prostředí obytné, pobytové a pracovní. Kvalita pobytového a pracovního prostředí, kam se řadí i prostředí školských zařízení, je řešena legislativně (vyhláška č. 6/2003 Sb., nařízení vlády č. 361/2007 Sb., vyhláška č. 410/2005 Sb., vyhláška č. 268/2009 Sb.). Ve vyhláškách jsou dané limitní hodnoty fyzikálních, chemických i biologických faktorů. O zdravotní závadnosti nebo nezávadnosti vnitřního prostředí rozhoduje stav samotné budovy - použitý stavební materiál a technologie, technická zařízení, a také způsob, jak člověk stavbu užívá, čím pobytový prostor vybavuje, jaký zvolí způsob a míru vytápění a větrání.

Špatná kvalita vnitřního vzduchu ve školských zařízeních způsobuje snížení výkonu a zhoršení soustředění žáků, ale i učitelů. Ve značné míře kvalitu vnitřního vzduchu ovlivňuje počet osob. V učebnách je zpravidla vyšší hustota obsazenosti, než je například v kancelářích. Vyhláška č. 410/2005 Sb. udává, že v učebnách musí mít každý žák k dispozici 1,65 m<sup>2</sup>, v odborných učebnách 2 m<sup>2</sup>, v dílnách 4 m<sup>2</sup> podlahové plochy. Clements-Croome et al. (2008) srovnávají požadavek na podlahovou plochu v učebnách a v kancelářích. Zatímco v učebnách je na osobu požadovaná plocha pouze 1,8 až 2,4 m<sup>2</sup>, v kancelářích je to 10 m<sup>2</sup>/osobu.

Nejpodstatnější vliv na kvalitu vnitřního prostředí má větrání, které zajišťuje přívod čerstvého venkovního vzduchu do vnitřních prostor objektů, a odvod znehodnoceného vzduchu z interiéru do exteriéru. Povinnost větrat všechny pobytové prostory je daná legislativou. Např. nařízení vlády č. 361/2007, které řeší pracovní prostředí, v § 41 říká, že *„Na pracovišti musí být k ochraně zdraví zaměstnance zajištěna dostatečná výměna vzduchu přirozeným, nuceným nebo kombinovaným větráním. Množství vyměňovaného vzduchu se určuje s ohledem na vykonávanou práci a její fyzickou náročnost.“*, a vyhláška č. 410/2005 Sb., řešící prostředí školských budov, v § 18 říká, že *„Prostory zařízení pro výchovu a vzdělávání a provozoven pro výchovu a vzdělávání určených k pobytu musí být přímo větratelné.“*

Je jasné, že přirozené větrání je energeticky náročné zejména v zimním období (Rosbach et al. 2013). Při současném trendu je maximální snaha o šetření energiemi a hledají se různé způsoby jak energiemi šetřit. Přesto je nutné zdůraznit, že hygienické požadavky na větrání jsou nadřazené požadavkům o energetické úspory a musí být ve vnitřním prostředí budov dodrženy i při zateplení obvodového pláště a výměně výplní okenních otvorů (Mathauserová 2015). Zde při rekonstrukcích a výstavbách školských budov hygienici často naráží na problém při projektování vzduchotechnických (VZT) zařízení. Zatímco vyhláška č. 410/2005 v příloze č. 3 požaduje výměnu vzduchu 20 až 30 m<sup>3</sup> na 1 žáka, Metodický pokyn pro návrh větrání škol, vydaný Ministerstvem životního prostředí ČR (MŽP), navrhuje množství větracího vzduchu přiváděného do učeben podle věku žáků, tak jak je uvedeno v tabulce 2.

Tabulka 2: Minimální množství venkovního vzduchu (MŽP 2015)

Množství venkovního vzduchu [m <sup>3</sup> /hod·žáka]			
3-6 let	6-10 let	10-15 let	15-18 let
MŠ	1. stupeň ZŠ	2. stupeň ZŠ	SŠ
<b>10</b>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>20</b>

Podle Mathauserové (2015) se větráním dají ovlivnit v podstatě všechny složky vnitřního ovzduší:

- chemické látky v ovzduší, oděry,
- tepelně vlhkostní složky,
- prašnost,
- mikrobiální kontaminace,
- hluk a vibrace,
- elektromagnetické a elektrické pole,
- osvětlení,
- ionizace vzduchu.

Základním požadavkem, podle kterého je stanovována dávka čerstvého vzduchu na každého uživatele objektu, je Pettenkoferovo kritérium z 19. století.

Max von Pettenkofer (\*1818 - †1901) byl mnichovský lékař. Byl profesorem chemie na lékařské fakultě mnichovské univerzity a položil základy hygieny a pracovního lékařství. V roce 1876 zřídil v Mnichově Hygienický ústav. Zabýval se otázkami vlivu vody a ovzduší na člověka, zkouškami čistoty těchto prostředí a zkoumal souvislosti s infekčními nemocemi. Na základě toho prosazoval nutnost budování vodovodů a kanalizací (Klein & Bencko 2008). Mimo jiné při zkoumání vzduchu v bytech, školách, přednáškových sálech, veřejných domech a dalších objektech prokázal, že hlavními znečišťujícími metabolity jsou CO<sub>2</sub> a vodní pára. Množství CO<sub>2</sub> měřil i ve vydechovaném vzduchu a zjistil, že jeho koncentrace souvisí s fyzickou aktivitou člověka. Člověk v bdělém stavu vyprodukuje zhruba 16 litrů CO<sub>2</sub> za hodinu (SZÚ 2015; Mathauserová 2015). Produkci CO<sub>2</sub> člověkem udává tabulka 3.

Tabulka 3: Produkce CO<sub>2</sub> člověkem při různé aktivitě (upraveno podle ČVUT, Fakulta stavební)

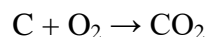
Člověk v klidu	13 l/hod
Člověk při lehké činnosti	19 l/hod
Člověk při středně těžké práci	60 l/hod
Člověk při těžké práci	77 l/hod

Pettenkofer zároveň odvodil, že koncentrace CO<sub>2</sub> udává, jaká je kvalita vnitřního prostředí a větrání, a za „dobrou“ míru koncentrace CO<sub>2</sub> v místnosti určil hodnotu 0,1 % (= 1000 ppm), (Locher 2007). Z této hodnoty pak určil potřebnou dávku čerstvého vzduchu 25 m<sup>3</sup>/h pro dospělého (Mathauserová 2015). Stejnou hodnotu, jako minimální limit výměny vzduchu v pracovním prostředí, požaduje Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví

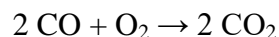
podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění pozdějších předpisů a také ČSN EN 15 665 Větrání budov - Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov. Při hodnocení kvality vnitřního ovzduší, spojené s dostatečným a účinným větráním, je sledována koncentrace CO<sub>2</sub>, která zastupuje i koncentrace dalších ZL (VOC, prachu, MO, vodní páry, Rn<sup>222</sup> apod.) odstranitelných z interiéru větráním. Koncentrace CO<sub>2</sub> je hodnocena podle požadavku § 11 odst. 5 vyhlášky č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, ve znění pozdějších předpisů, který říká, že „*Pobytové místnosti musí mít zajištěno dostatečné přirozené nebo nucené větrání a musí být dostatečně vytápěny s možností regulace vnitřní teploty. Pro větrání pobytových místností musí být zajištěno v době pobytu osob minimální množství vyměňovaného venkovního vzduchu 25 m<sup>3</sup>/h na osobu, nebo minimální intenzita větrání 0,5 l/h. Jako ukazatel kvality vnitřního prostředí slouží oxid uhličitý CO<sub>2</sub>, jehož koncentrace ve vnitřním vzduchu nesmí překročit hodnotu 1500 ppm.*“

## 5.1 Oxid uhličitý - CO<sub>2</sub>

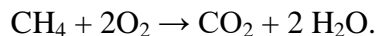
Oxid uhličitý je bezbarvý plyn, bez chuti a bez zápachu. Je 1,5x těžší než vzduch, vzniká při dokonalém spalování fosilních paliv a biomasy, reakcí uhlíku s kyslíkem:



nebo hořením oxidu uhelnatého (svítiplynu):



nebo organických látek (např. methanu):



Ve vodě je snadno rozpustný za vzniku kyseliny uhličitě. Oxid uhličitý je v zelených rostlinách asimilován fotosyntézou. Touto reakcí, katalyzovanou chlorofylem a sluneční energií, vznikají monosacharidy.

Oxid uhličitý je běžnou součástí atmosféry, jeho koncentrace kolísá v závislosti na nadmořské výšce, relativní vlhkosti ovzduší, denní a roční době a na míře urbanizace v oblasti. Čím více je oblast znečištěná, tím vyšší jsou hodnoty koncentrace. Koncentrace CO<sub>2</sub> se vyjadřuje nejčastěji v jednotkách ppm (parts per million) nebo v %, méně často také v mg/m<sup>3</sup>. Přepočítání mezi jednotkami je následující: 0,1 % = 1 000 ppm = 18 000 mg/m<sup>3</sup>. Průměrná koncentrace CO<sub>2</sub> ve venkovním ovzduší neustále roste. Za reprezentativní vzorky jsou brány hodnoty naměřené v jedné z nejčistších lokalit na Zemi, na observatoři Mauna Loa na Havajských ostrovech. V lednu roku 2018 dosáhla hodnota koncentrace CO<sub>2</sub> 408,05 ppm, v roce 2019 410,92 ppm a v únoru 2020 413,37 ppm (ESRL/GMD 2020). Pro srovnání v 60. letech 20. století byla průměrná koncentrace CO<sub>2</sub> méně než 330 ppm. CO<sub>2</sub> se značnou měrou podílí na vzniku skleníkového efektu.

### 5.1.1 Zdroje CO<sub>2</sub>

Zvyšování koncentrace CO<sub>2</sub> v ovzduší je způsobeno hlavně spalováním fosilních paliv a úbytkem lesů, což je důsledek lidské činnosti a neustále se zvyšující potřeby energií. Přirozeně vzniká během kompostování, při tlení a kvašení. Koncentrace v exteriéru je však zanedbatelná ve srovnání s jeho koncentrací v interiérech budov (Hrubý 2016). Hlavním zdrojem CO<sub>2</sub> ve vnitřním ovzduší je člověk a jiné živé organismy - jejich metabolismus,

dýchání, při kterém je spolu s vodou konečným produktem při přeměně živin z potravy (Kožíšek 2003), a termoregulační pochody. Koncentrace CO<sub>2</sub> v interiéru je proto závislá především na počtu a fyzické aktivitě přítomných osob, velikosti prostoru a na intenzitě větrání.

Vydechovaný vzduch obsahuje cca 4 % CO<sub>2</sub> (= 40 000 ppm), přičemž spotřeba vzduchu je závislá na fyzické zátěži člověka. Při tzv. vnitřním dýchání je kyslík krví přiváděn k jednotlivým buňkám lidského těla, zde na hemoglobinu proběhne výměna molekuly kyslíku za molekulu CO<sub>2</sub>, za současného uvolnění tepla (toto teplo je využíváno k udržení optimální tělesné teploty). CO<sub>2</sub> je krví transportován do plic a vydechován z těla do vnějšího prostředí (Šubrt 2011).

### 5.1.2 Vliv CO<sub>2</sub> na zdraví

Oxid uhličitý je dusivý plyn, při nadýchání většího množství způsobuje rozpouštění CO<sub>2</sub> na vlhkých sliznicích štíplavý pocit a ve slinách kyselou chuť vznikem slabého roztoku kyseliny uhličitě.

Běžně je ale CO<sub>2</sub> smyslově nepostřehnutelný, a subjektivní hodnocení je proto nespolehlivé. Účinky CO<sub>2</sub> na lidský organismus závisí na jeho koncentraci ve vnitřním prostředí, jak uvádí tabulka 4.

Tabulka 4: Účinky CO<sub>2</sub> na lidský organismus (upraveno podle Mathauserové 2013)

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

Podle Mathauserové (2013) i podle Murtingera (2013) se při koncentraci CO<sub>2</sub> 1000 ppm objevuje pocit ospalosti a vydýchaného vzduchu, při 1500 ppm je již ovlivňováno dýchání, nad 2000 ppm nastává horší schopnost koncentrace, při 3000 ppm dochází až k bolesti hlavy, nevolnosti a zvracení. Při 5000 až 8000 ppm se zvyšuje tep, nastává letargie a ztráta vědomí. Děti jsou citlivá skupina populace, vyšší koncentrace CO<sub>2</sub> u nich způsobuje únavu, snížení pozornosti a nesoustředěnost, bolest hlavy až nevolnost.



## 5.2 Způsoby větrání

Větrání (ventilace) vyjadřuje výměnu vnitřního znečištěného nebo „vydýchaného“ vzduchu za vzduch venkovní čerstvý a zajišťuje nařazení a odvod ZL. Větrání může být realizované různými způsoby - přirozeně, nuceně nebo s použitím klimatizace.

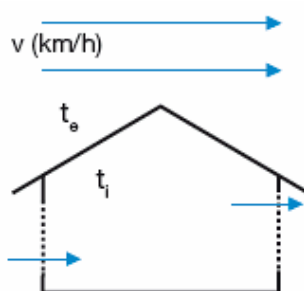
Při přirozeném větrání je uplatňována infiltrace a exfiltrace, aerace, provětrávání a šachtové větrání.

1) Infiltrace, exfiltrace (obrázek 15): Jedná se o historicky nejstarší, bezúdržbový a přirozený způsob výměny vzduchu mezi interiérem a exteriérem, a to díky netěsnosti obálky budovy, netěsnosti oken a dveří, a lokálnímu vytápění. Je energeticky náročné a není možná jeho regulace a kontrola podle hygienických požadavků. Závislé je na rychlosti větru (mluvíme o infiltraci) a/nebo na rozdílu teplot venkovního a vnitřního vzduchu (mluvíme o exfiltraci). Při současném zateplování budov a výměně oken není tento systém funkční, je nutné pravidelné mechanické větrání otevíráním oken (provětrávání). Nevýhodou je velká závislost na lidském faktoru, v topném období značné tepelné ztráty, průvan a tepelný diskomfort s rizikem onemocnění a ovlivňování hlukem z vnějšího prostředí. Částečným řešením je instalace takových okenních výplní, které obsahují větrací elementy pro zajištění regulace přívodu vnějšího vzduchu za současného zachování akustického komfortu.

$v$  - rychlost proudění vzduchu

$t_e$  - teplota vzduchu exteriéru

$t_i$  - teplota vzduchu interiéru



funkční jen pro  $t_i > t_e$

Obrázek 15: Přirozené větrání infiltrací/exfiltrací (Cifrinec 2010)

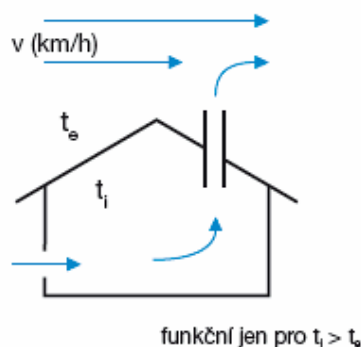
2) Aerace je založena na podobném principu jako infiltrace a exfiltrace, ale v tomto případě jsou pro přívod a odvod vzduchu vytvořeny v různých výškách místnosti příslušné otvory v obvodových zdech objektu.

3) Provětrávání je opakované větrání otevřenými okny. V chladném období roku není vhodné dlouhodobé vyklopení křídla oken do ventilační polohy, vhodnější je krátkodobé plné otevření okna. Při vyklopení okna na delší dobu není vzduch dostatečně vyměněn a navíc dochází k velkému ochlazení stěn v okolí okna. Vzduch v místnosti je zbytečně ochlazován. Plné otevření okna, ideálně za současného otevření druhého protilehlého okna nebo dveří, zajistí rychlou výměnu vzduchu v místnosti, stačí 4-6 minut. Za tuto dobu stěny nestihnou prochládnout, takže po zavření oken se teplota vzduchu, díky otopným tělesům a tepelné stabilitě stěn, rychle vrací k původním hodnotám. Otvírání oken je prováděno mechanicky

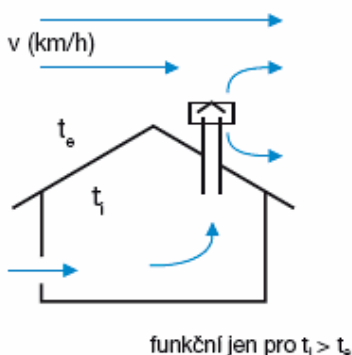


podle pocitu a potřeb člověka. Může být také automatické podle časového nastavení, podle čidla koncentrace CO<sub>2</sub>, případně podle čidla kontroly teploty nebo vlhkosti vzduchu.

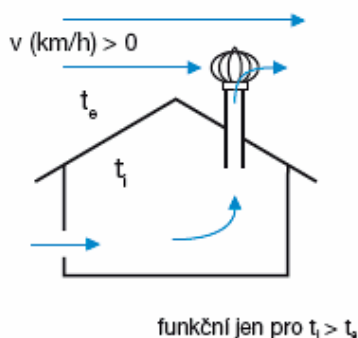
4) Šachtové větrání (obrázky 16 až 18) je založeno na rozdílu teplot uvnitř a vně budovy. Pro přívod vzduchu jsou zřizovány přívodní otvory (zpravidla za otopným tělesem z důvodu ohřevu přiváděného vzduchu v zimním období), odváděný vzduch je veden šachtou. Šachta je podobná komínu nebo světlíku. Nad úrovní střechy může být zakončena větrací hlavicí nebo rotační hlavicí, které zvyšují nasávání odváděného vzduchu (Cifrinec 2010).



Obrázek 16: Šachtové větrání (Cifrinec 2010)

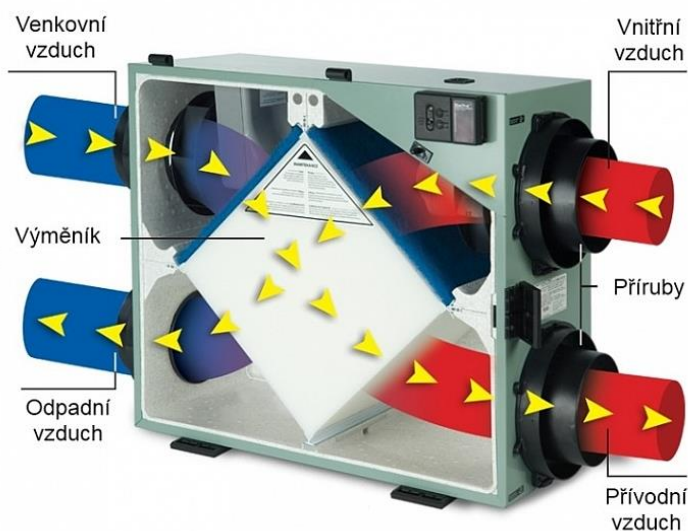


Obrázek 17: Šachtové větrání s větrací hlavicí (Cifrinec 2010)



Obrázek 18: Šachtové větrání s rotační hlavicí (Cifrinec 2010)

Nucené větrání je doporučováno při zateplování a utěšňování schránky budovy. Nuceným větráním je zajištěna stálá výměna vzduchu v místnosti, nebo výměna vzduchu „podle potřeby“ (DCV - Demand Control Ventilation) na základě koncentrace CO<sub>2</sub> nebo relativní vlhkosti. Volit lze nucené podtlakové, rovnotlaké nebo hybridní větrání. Rozdíl je v přívodu a odvodu vzduchu do/z větraného prostoru. U podtlakového větrání je realizovaný nucený pouze odvod vzduchu z interiéru, přívod je zajištěn přívodními otvory integrovanými v okenních otvorech nebo zabudovanými v obvodové stěně. Jedná se o jednoduché a levné zařízení. Nevýhodou jsou vyšší provozní náklady, spočívající v ohřevu větracího vzduchu. Rovnotlaké větrání zajišťuje vyšší kvalitu větrání než větrání podtlakové. Používá se tam, kde není vhodný přívod venkovního vzduchu bez úpravy - v oblastech se znečištěným venkovním vzduchem nebo v hlučných prostředích (v blízkosti zdrojů znečištění, komunikací). Zajištěn je jak nucený přívod, tak i odvod vzduchu do/z interiéru. Přiváděný vzduch může být filtrován a ohříván. Tento systém lze doplnit o výměník zpětného získávání tepla, takže lze spořit náklady na ohřev vzduchu. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady, potřeba energie na pohon ventilátorů, prostorové nároky na umístění zařízení a vzduchovodů a údržba zařízení. Hybridní systém větrání kombinuje přirozené a nucené větrání. Nucené větrání je aktivováno pouze, pokud je to nezbytné podle aktuální situace, např. při zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub>. Ještě více propracovaný je systém klimatizace, kdy je přiváděný venkovní vzduch nejen filtrován, ale také je upravována jeho teplota a vlhkost. Většinou je vybavený VZT jednotkou pro zpětné získávání tepla (jednotka ZZT), která minimalizuje tepelné ztráty. Průchod čerstvého studeného vzduchu a odváděného teplého vzduchu je zřejmý z obrázku 19. Čerstvý vzduch je přiváděn do jednotky ZZT, při průchodu křížovým výměníkem je ohříván teplem, získaným z odváděného vzduchu (Zmrhal 2014).



Obrázek 19: Rekuperační jednotka (Tempeco.cz 2013)

## 6 Legislativa

Kvalitní vnitřní prostředí v budovách je v hygienických předpisech definováno jako „souhrn fyzikálních, chemických a biologických ukazatelů“. Vnitřní prostředí je obecný termín, který je použitelný pro budovy s různým využitím - pro výrobu a skladování, pro služby, zdravotnická, kulturní, školská zařízení, zemědělské stavby, obytné, rekreační budovy, budovy pro sport apod. Podrobnosti hygienických požadavků a limity jednotlivých faktorů vnitřního prostředí jsou obsaženy v prováděcích předpisech k příslušným zákonům, tj. v nařízeních vlády a vyhláškách. Tyto legislativní dokumenty mohou dále odkazovat na hodnoty v normách.

### 6.1 Zákon č. 258/2000 Sb.

Pro školská zařízení je základním právním předpisem zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. Ten v § 7 říká, že zařízení pro výchovu a vzdělávání „*jsou povinna zajistit, aby byly splněny hygienické požadavky upravené prováděcím právním předpisem na prostorové podmínky, vybavení, provoz, osvětlení, vytápění, mikroklimatické podmínky, zásobování vodou, úklid a nakládání s prádlem*“. Tuto povinnost ukládá i osobám provozujícím živnost v provozovnách, pokud je náplní živnosti péče o děti do 3 let věku, mimoškolní vzdělávání dětí starších 3 let v předškolním zařízení, péče o děti v dětských skupinách s počtem více než 12 dětí a provoz školských zařízení nezařazených v rejstříku škol.

### 6.2 Vyhláška č. 410/2005 Sb.

Prováděcím předpisem k zákonu č. 258/2000 Sb. je i vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých. Vyhláška mimo jiné stanoví hygienické požadavky na vytápění a mikroklimatické podmínky včetně větrání. Tyto požadavky jsou řešené v § 17, § 18 a v příloze č. 3 k této vyhlášce.

V § 17 je daný požadavek na takové řešení obvodových stěn, které vyloučí velký rozdíl teplot povrchu obvodových stěn a vzduchu v místnosti, a to po celý rok. Řešeno je i zajištění oken proti rozbití v důsledku průvanu a dosažitelnost jejich ovládání z úrovně podlahy.

V § 18 je stanovena podmínka přímé větratelnosti obytných prostor, řešena jsou také opatření při překročení limitů minimální i maximální teploty vzduchu v učebnách. Dále je v § 18 stanoven nucený způsob větrání, pokud znečištění venkovního ovzduší znemožňuje větrání přirozeným způsobem, a také povinnost vybavení těsných oken systémem mikroventilace nebo větracími šterbinami pro zajištění přirozeného větrání.

V příloze 3 k této vyhlášce (v tabulkách 1 a 2) jsou uvedeny požadavky na větrání a parametry mikroklimatických podmínek (viz tabulky 5 a 6).

Tabulka 5: Množství přiváděného čerstvého vzduchu  
(upraveno podle vyhlášky č. 410/2005 Sb.)

Typ prostoru	Množství vzduchu
Učebny	20-30 m <sup>3</sup> /hod na žáka
Tělocvičny	20-90 m <sup>3</sup> /hod na 1 žáka (s ohledem na využití a kapacitu tělocvičny)
Šatny	20 m <sup>3</sup> /hod na 1 žáka
Umývárny	30 m <sup>3</sup> /hod na 1 umyvadlo
Sprchy	150-200 m <sup>3</sup> /hod na 1 sprchu
Záchody	50 m <sup>3</sup> /hod na 1 kabinu, 25 m <sup>3</sup> /hod na 1 pisoár

Tabulka 6: Celoročně přípustné průměrné hodnoty parametrů mikroklimatických podmínek  
(upraveno podle vyhlášky č. 410/2005 Sb.)

Typ prostoru	Výsledná teplota			Rychlost proudění	Relativní vlhkost
	t <sub>g</sub> min [°C]	t <sub>g</sub> opt [°C]	t <sub>g</sub> max [°C]	v <sub>a</sub> [m/s]	rh [%]
Učebny, pracovní určené k dlouhodobému pobytu	20	22±2	28	0,1-0,2	30-65
Tělocvičny	18	20±2	28	0,1-0,2	30-65
Šatny	20	22±2	28	0,1-0,2	30-65
Sprchy	24	-	-	-	-
Záchody	18	-	-	0,1-0,2	30-65
Chodby	18	-	-	0,1-0,2	30-65

Limity dané touto vyhláškou pro množství přiváděného čerstvého vzduchu však vyvolávají nejasnosti - např. je pro učebny stanovený přívod čerstvého vzduchu 20 nebo 30 m<sup>3</sup>/hodinu? Protože by tento limit měl platit vždy - je vůbec zajistitelný při přirozeném větrání? Budou pedagogové natolik zodpovědní, aby okna o přestávce otevřeli?

Díky snahám o snižování energetické náročnosti jsou budovy škol rekonstruovány - zateplovány, okna jsou měněna za dokonale těsnící. Pokud provozovatelé škol žádají o dotace na tyto stavební úpravy z Operačního programu životního prostředí, prioritní osy 5, musí být v rámci projektu navržen i systém větrání. K tomu je k dispozici Metodický pokyn pro návrh větrání škol MŽP, který vědomě nerespektuje závazný požadavek vyhlášky č. 410/2005 Sb. a stanoví množství přiváděného čerstvého vzduchu pouze 10 až 20 m<sup>3</sup>/hod, tak jak bylo uvedeno v tabulce 2.

### 6.3 Vyhláška č. 6/2003 Sb.

Stanovení požadavků na kvalitu vnitřního prostředí je v legislativě řešeno různým způsobem. Zatímco jsou v některých předpisech řešena pouze konkrétní prostředí, jako např. ve vyhlášce č. 410/2005 Sb., která řeší mikroklimatické podmínky ve školských zařízeních, v jiných předpisech jsou řešeny jednotlivé faktory bez ohledu na typ prostoru. Takovou vyhláškou je např. vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních

a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb. Určena je pro školská zařízení, školy v přírodě, stavby pro zotavovací akce, zdravotnická zařízení, ústavy sociální péče, ubytovací zařízení, stavby pro obchod a stavby pro shromažďování většího počtu osob.

V § 3 a v příloze č. 1 k této vyhlášce jsou řešeny limity mikroklimatických podmínek a větrání, v § 4 a v příloze 2 k této vyhlášce jsou uvedeny limitní koncentrace chemických faktorů a prachu (viz tabulka 7). § 5 je věnován koncentraci MO - bakterií a plísní.

*Tabulka 7: Limitní hodinové koncentrace chemických ukazatelů a prachu  
(upraveno podle vyhlášky č. 6/2003 Sb.)*

<b>Ukazatel</b>	<b>limit</b>
oxid dusičitý	100 µg/m <sup>3</sup>
frakce prachu PM <sub>10</sub>	150 µg/m <sup>3</sup>
frakce prachu PM <sub>2,5</sub>	80 µg/m <sup>3</sup>
oxid uhelnatý	5000 µg/m <sup>3</sup>
ozón	100 µg/m <sup>3</sup>
azbestová a minerální vlákna	1000 počet vláken/m <sup>3</sup>
amoniak	200 µg/m <sup>3</sup>
benzen	7 µg/m <sup>3</sup>
toluen	300 µg/m <sup>3</sup>
suma xyleňů	200 µg/m <sup>3</sup>
styren	40 µg/m <sup>3</sup>
etylbenzen	200 µg/m <sup>3</sup>
formaldehyd	60 µg/m <sup>3</sup>
trichloretylen	150 µg/m <sup>3</sup>
tetrachloretylen	150 µg/m <sup>3</sup>

Podle požadavku § 5 nesmí být nárůst plísní na zdech viditelný, případně jejich maximální koncentrace ve vzorku vzduchu odebraném aeroskopem nesmí přesáhnout 500 KTJ/m<sup>3</sup>. Stejný limit 500 KTJ/m<sup>3</sup> je stanovený pro maximální koncentraci bakterií. Jednotka KTJ/m<sup>3</sup> vyjadřuje počet kolonií tvořících jednotek v m<sup>3</sup>.

#### **6.4 Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.**

Dalším předpisem stanovujícím limity jednotlivých faktorů vnitřního prostředí je Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany při práci. Stanoví limity rizikových faktorů na pracovištích a v pracovním prostředí. Řeší mikroklimatické podmínky, různé chemické faktory, jako jsou chemické látky a směsi, olovo, prach, karcinogeny, mutageny, látky toxické pro reprodukci nebo azbest, biologické činitele, ale také celkovou a lokální fyzickou zátěž, pracovní polohy a manipulaci s břemeny.

## **6.5 Vyhláška č. 268/2009 Sb.**

Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby řeší výměnu vzduchu a regulaci teploty v obytných místnostech. Jako ukazatel dosažené kvality vnitřního prostředí jí slouží oxid uhličitý. Podle § 11 odst. 5 nesmí koncentrace CO<sub>2</sub> překročit hodnotu 1500 ppm.

## **6.6 Nařízení (EU) č. 305/2011**

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011 stanoví podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh. Součástí tohoto nařízení jsou různé požadavky, z nichž jeden (požadavek 3) se týká hygieny, ochrany zdraví a životního prostředí. Stanovuje, že stavba nesmí ohrožovat hygienu a zdraví uživatelů stavby ani jejich sousedů. Toto ohrožení se vztahuje na toxické plyny, nebezpečné částice a plyny v ovzduší, nebezpečné záření, znečišťování vody a půdy, zneškodňování odpadních vod, kouře a tuhých nebo kapalných odpadů a také na výskyt vlhkosti ve stavbách.

## 7 Materiál a metodika

Hlavním cílem práce byla analýza kvality ovzduší ve vybraných základních školách na základě provedeného měření a srovnání toho, jaký vliv má na kvalitu vnitřního ovzduší zateplení budov spojené s výměnou oken, větrání přirozeným způsobem (okny) a vzduchotechnickým zařízením. Práce se zamýšlí nad otázkou, jak závažné je nedodržování kvality vnitřního ovzduší vzhledem k negativním dopadům na zdraví lidí a na kvalitu jejich života, ve školách pak také na soustředění, únavu a výkon žáků.

V letech 2009-2010 a následně v letech 2016-2017 byla krajským hygienikem Královéhradeckého kraje stanovena krajská priorita - měření mikroklimatických podmínek a vybraných ukazatelů kvality vnitřního ovzduší v učebnách základních škol Královéhradeckého kraje.

### 7.1 Měření v letech 2009-2010

Vždy na dvou základních školách okresů Hradec Králové, Náchod, Rychnov nad Kněžnou a Trutnov byly stanovovány parametry mikroklimatických podmínek a ukazatele kvality vnitřního ovzduší. Měření byla Krajskou hygienickou stanicí Královéhradeckého kraje (KHS HK) zadána u Zdravotního ústavu (ZÚ) se sídlem v Hradci Králové, Centrum hygienických laboratoří v Hradci Králové - zkušební laboratoř č. 1388 akreditovaná ČIA, pracoviště č. 3 Náchod, pracoviště č. 7 Trutnov, a u Státního zdravotního ústavu (SZÚ) Praha, Centrum laboratorních činností, Odbor chemických a fyzikálních laboratoří, laboratoř ovzduší - zkušební laboratoř č. 1206 akreditovaná ČIA. Měření provedli pracovníci ZÚ a SZÚ na základě písemných pověření. Vždy ve dvou učebnách a v tělocvičně vybraných základních škol byla stanovována teplota, relativní vlhkost a rychlost proudění vzduchu, koncentrace formaldehydu, koncentrace prachových částic frakcí PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>1,0</sub>, a koncentrace CO<sub>2</sub>. Měření byla provedena v období topné sezóny (březen, listopad, prosinec) a probíhala vždy za běžného provozu, to znamená za přítomnosti žáků a vyučujícího. Měření byla zahájena před začátkem první vyučovací hodiny a probíhala kontinuálně po dobu 4 vyučovacích hodin včetně přestávek.

Měření mikroklimatických podmínek bylo provedeno podle Standardního operačního postupu (SOP) SOP HK 474. Měření výsledné teploty  $t_g$  bylo provedeno pro určení operativní teploty  $t_o$ , pro měření byl použit Vernon-Joklův kulový teploměr v příslušných výškách nad podlahou (v úrovni hlavy, břicha a kotníků). Teplota vzduchu  $t_a$ , relativní vlhkost vzduchu  $r_h$  a rychlost proudění vzduchu  $v_a$  byly měřeny přístrojem TESTO 435-1 s připojitelnou sondou pro současné měření uvedených ukazatelů, kalibrovanou na všechny tři veličiny dne 6. 3. 2007.

Odběr vzorku a stanovení formaldehydu bylo provedeno podle SOP VZ HK 109 (odběr) a SOP HK 312.01 (stanovení). Pro odběr byly použity aparatury Airchek 2000 OFP/AONA-M27, M28 a M30.

Měření CO<sub>2</sub> bylo provedeno přístrojem typu TESTO podle SOP 14/1.2, stanovení počtu částic a hmotnostní koncentrace suspendovaných částic bylo stanoveno fotometricky analyzátořem GRIMM podle SOP 12/1.2.

## **7.2 Měření v letech 2016-2017**

Měření byla uskutečněna vždy na dvou základních školách okresů Rychnov nad Kněžnou, Jičín a Trutnov a ve třech základních školách okresu Hradec Králové. Měření byla zadána KHS HK u ZÚ se sídlem v Ústí nad Labem. Měření provedli pracovníci ZÚ pracoviště P1, Jana Černého 361, Hradec Králové, na základě písemného pověření. Ve dvou učebnách školských zařízení, u kterých bylo provedeno zateplení budovy a výměna oken, byly stanovovány mikroklimatické podmínky (teplota, vlhkost a rychlost proudění vzduchu) a byly odebrány vzorky ke stanovení koncentrace CO<sub>2</sub>, prachu (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>1,0</sub>) a MO (bakterií a plísní). Měření bylo prováděno ve dvou dnech vždy po dobu čtyř vyučovacích hodin včetně přestávek, za běžného provozu, tj. za přítomnosti žáků a vyučujícího. Během měření bylo průběžně větráno okny a dveřmi. Měřeným místem byla zvolena poslední lavice v prostřední řadě. Měření byla provedena v období topné sezóny (listopad a prosinec 2016, leden, únor a březen 2017) a probíhala vždy za běžného provozu, za přítomnosti žáků a vyučujícího. Měření byla zahájena vždy před začátkem první vyučovací hodiny a probíhala kontinuálně po dobu 4 vyučovacích hodin včetně přestávek.

Měření mikroklimatických podmínek bylo provedeno dle příslušného SOP 474, k měření teploty, relativní vlhkosti vzduchu a rychlosti proudění vzduchu byla použita souprava TESTO typ 435-4 se sondou 0635.1535. Mikroklimatické parametry byly hodnoceny v souladu s požadavky § 7 zákona č. 258/2000 Sb., ve spojení s vyhláškou č. 410/2005 Sb.

K měření koncentrace CO<sub>2</sub> byla použita souprava TESTO typ 435-4 se sondou 0632.1535. Hodnoty koncentrace byly odečítány v pětiminutových intervalech. Hodnocení naměřené koncentrace CO<sub>2</sub> bylo provedeno dle vyhlášky č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, v platném znění, kdy dle § 11 odst. 5 CO<sub>2</sub> slouží jako ukazatel kvality vnitřního prostředí.

Stanovení mikrobiální kontaminace ovzduší kultivačně bylo provedeno dle SOP 928, metoda je akreditovaná. Vzorky byly odebírány zařízením Aeroskop SPIN AIR BASIC, které bylo umístěno vertikálně cca v inhalační zóně. Pro stanovení koncentrace bakterií a plísní bylo odebráno vždy určité množství vzduchu přímo na kultivační půdy, doba mezi jednotlivými odběry byla 10 minut. Stanovení mikrobiální kontaminace bylo provedeno podle příslušného SOP na oddělení biologických analýz ZÚ. Pro porovnání byl proveden odběr vzorku venkovního ovzduší na stanovení celkového počtu MO a směsné populace plísní. Výsledná mikrobiální kontaminace ovzduší byla vyhodnocena dle § 5 odst. 2 vyhlášky č. 6/2003 Sb. v platném znění, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.

Stanovení koncentrace prachu frakcí PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>1,0</sub> bylo provedeno v pětiminutových intervalech laserovým kontinuálním analyzátozem GRIMM Serie 1.100 Portable Dust Monitor, typ GRIMM 11-A. Chemické faktory (prach) byly hodnoceny dle vyhlášky č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.

Pro měření vzdáleností byl použit laserový dálkoměr HANS CA 770.



### **7.3 Měření v letech 2019-2020**

Vzhledem k tomu, že výsledky uvedených měření prokázaly překračování stanovených limitů pro měřené faktory kvality vnitřního ovzduší, byla přijata priorita státního zdravotního dozoru spočívající v monitoringu koncentrace CO<sub>2</sub>, jako zástupce kvality vnitřního prostředí, který zároveň charakterizuje účinnou výměnu vzduchu v interiéru. Monitoring byl proveden v širší síti ZŠ Královéhradeckého kraje. V topné sezóně (listopad, prosinec) roku 2019 a (leden, únor) roku 2020 provedly pracovnice KHS HK oddělení hygieny dětí a mladistvých jednotlivých územních pracovišť Hradec Králové, Náchod, Rychnov nad Kněžnou, Trutnov a Jičín orientační měření okamžitých hodnot koncentrací CO<sub>2</sub>. Pro tento úkol zakoupila KHS HK měřicí přístroj typu TESTO 435-2 s přípojitelnou sondou pro měření koncentrace CO<sub>2</sub>, teploty a dalších mikroklimatických parametrů. Použitý přístroj s evidenčním číslem DM 7090 byl kalibrován dne 2. 1. 2019.

Vždy ve dvou až třech kmenových nebo odborných učebnách v celkem čtyřiceti dvou namátkově vybraných ZŠ Královéhradeckého kraje byla jednorázově změřena koncentrace CO<sub>2</sub> a teplota vzduchu přibližně v polovině druhé vyučovací hodiny s následným kontrolním měřením na začátku třetí vyučovací hodiny (po velké přestávce). První naměřené hodnoty zviditelnily úroveň větrání před zahájením výuky a během ní, následné měření prokázalo účinek větrání, běžně prováděného pedagogy během přestávky. Výsledky byly využity pro edukaci vyučujících o nutnosti a vhodném způsobu větrání. Měření byla provedena dle možností ve školách s různými typy větrání:

- 1) s přirozeným větráním učeben v budovách škol s původními dřevěnými okny,
- 2) s přirozeným větráním učeben v budovách škol, kde bylo provedeno zateplení a/nebo byla okna vyměněna za nová dokonale těsnící,
- 3) s větráním pomocí vzduchotechnického zařízení s čidlem koncentrace oxidu uhličitého.

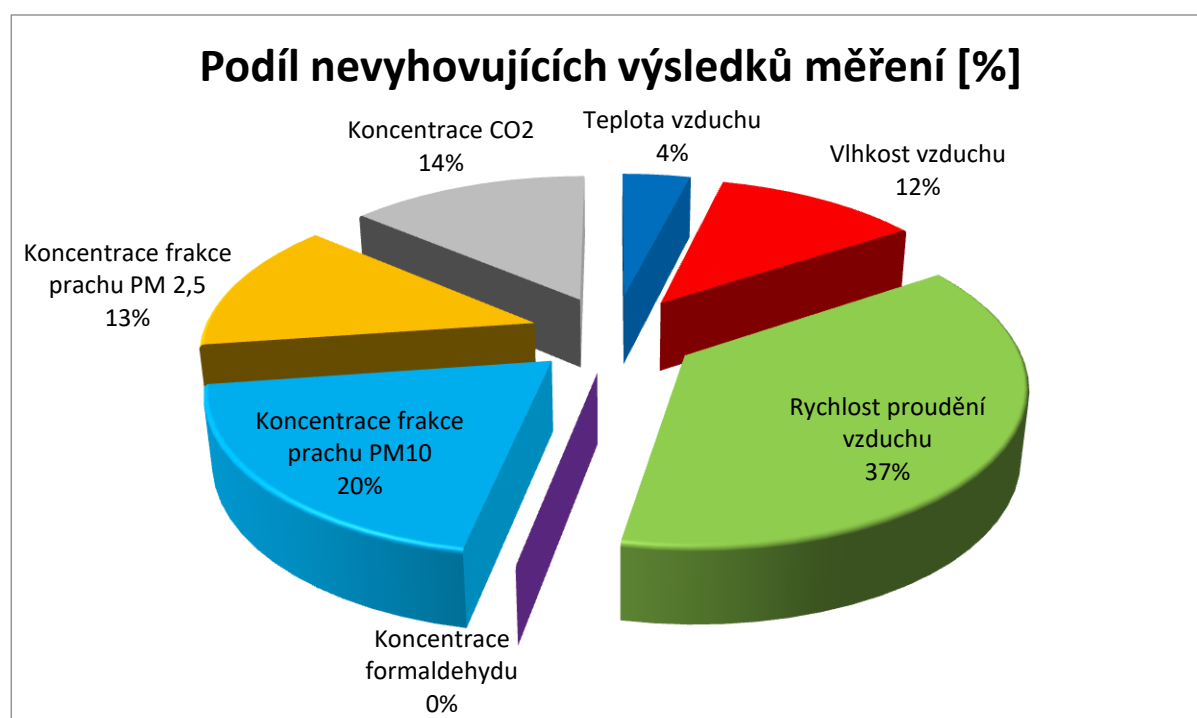
## 8 Výsledky a vyhodnocení výsledků měření

### 8.1 Měření v letech 2009-2010

Pro měření mikroklimatických podmínek a vybraných ukazatelů kvality vnitřního prostředí byla v uvedeném období vybrána tato školská zařízení:

1. škola:	26. 3. 2009	ZŠ Štefánikova 566, Hradec Králové
2. škola:	19. 3. 2009	ZŠ Pražská 198, Hradec Králové
3. škola:	25. 3. 2009	ZŠ 5. května, 28. října 731, Dvůr Králové nad Labem
4. škola:	2. 11. 2009	ZŠ Javornická 1596, Rychnov nad Kněžnou
5. škola:	5. 11. 2009	ZŠ F. Kupky 433, Dobruška
6. škola:	1. 12. 2010	ZŠ T. G. Masaryka, Bartoňova 1005, Náchod
7. škola:	3. 12. 2010	ZŠ Rooseveltova 106, Teplice nad Metují
8. škola:	2. 12. 2010	ZŠ V Domcích 488, Trutnov

V těchto školách bylo provedeno celkem 24 měření. Celkové výsledky jsou patrné z obrázku 20 a tabulky 8.



Obrázek 20: Graf procentuálního zastoupení nevyhovujících výsledků podle jednotlivých ukazatelů kvality ovzduší.

Tabulka 8: Souhrnné výsledky měření kvality ovzduší ve vybraných školských zařízeních v letech 2009-2010

2009-2010		teplota vzduchu*	relativní vlhkost vzduchu	rychlost proudění vzduchu	konzentrace formaldehydu	max. hodnota koncentrace PM <sub>10</sub>	max. hodnota koncentrace PM <sub>2,5</sub>	max. hodnota koncentrace PM <sub>1,0</sub>	max. hodnota koncentrace CO <sub>2</sub> **
jednotky		°C	%	m/s	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	%
limity		20-24/ 18-22	30-65	0,1-0,2	60	150	80	není	0,150
1. škola	učebna 1	21,8	39,0	<b>0,04</b>	9,80	83	41	31	0,089
	učebna 2	21,9	46,0	<b>0,05</b>	13,55	<b>271</b>	<b>99</b>	38	<b>0,194</b>
	tělocvična	20,0	42,0	<b>0,09</b>	13,85	138	55	29	0,072
2. škola	učebna 1	20,4	39,0	<b>0,09</b>	12,20	<b>187</b>	52	17	<b>0,140</b>
	učebna 2	20,9	39,0	<b>0,08</b>	8,65	141	41	13	<b>0,206</b>
	tělocvična	21,8	34,0	0,10	12,70	90	27	9	0,089
3. škola	učebna 1	21,4	39,9	<b>0,01</b>	16,60	<b>340</b>	<b>106</b>	53	<b>0,141</b>
	učebna 2	22,5	<b>23,7</b>	<b>0,04</b>	10,60	94	71	59	0,092
	tělocvična	18,0	40,1	<b>0,08</b>	11,95	150	72	41	<b>0,106</b>
4. škola	učebna 1	22,1	34,1	<b>0,04</b>	8,80	93	42	24	0,096
	učebna 2	21,8	41,4	<b>0,03</b>	20,40	<b>229</b>	<b>89</b>	32	<b>0,238</b>
	tělocvična	20,8	33,2	0,15	8,05	87	48	38	0,073
5. škola	učebna 1	22,4	<b>24,8</b>	<b>0,02</b>	10,30	115	40	17	<b>0,135</b>
	učebna 2	23,9	43,4	<b>0,00</b>	18,50	109	43	14	<b>0,192</b>
	tělocvična	19,6	42,5	0,11	7,40	<b>539</b>	<b>116</b>	20	<b>0,119</b>
6. škola	učebna 1	<b>19,8</b>	<b>25,2</b>	<b>0,02</b>	4,60	<b>260</b>	<b>82</b>	27	<b>0,141</b>
	učebna 2	22,0	31,1	<b>0,03</b>	11,95	137	47	22	<b>0,179</b>
	tělocvična	<b>17,4</b>	37,0	0,12	24,60	<b>610</b>	<b>134</b>	34	0,094
7. škola	učebna 1	23,8	<b>21,0</b>	<b>0,08</b>	11,80	102	31	12	0,090
	učebna 2	22,7	<b>21,0</b>	<b>0,08</b>	11,65	80	28	14	0,088
	tělocvična	18,1	<b>26,0</b>	<b>0,08</b>	12,70	87	24	13	0,077
8. škola	učebna 1	22,4	32,0	<b>0,00</b>	34,80	<b>213</b>	<b>92</b>	16	<b>0,202</b>
	učebna 2	22,1	34,1	<b>0,04</b>	38,20	<b>355</b>	<b>122</b>	24	<b>0,280</b>
	tělocvična	<b>17,7</b>	36,3	0,11	19,40	<b>213</b>	<b>95</b>	25	0,075

\* limitní hodnoty teploty vzduchu 20-24 °C jsou dané pro učebny, 18-22 °C pro tělocvičny (Vyhláška č. 410/2005 Sb.)

\*\* Červeně jsou vyznačené hodnoty, které překračují povolené limity, modře zvýrazněné jsou hodnoty oxidu uhličitého, které překračují doporučenou hodnotu koncentrace.

### 8.1.1 Výsledky měření mikroklimatických podmínek

#### Teplota vzduchu:

Naměřené hodnoty teploty vzduchu ve většině měření vyhověly požadavkům legislativy. Pouze jednou byla zjištěna snížená teplota vzduchu v učebně, dvakrát v tělocvičně. Průměrná teplota v učebnách činila 22 °C, v tělocvičnách 19,3 °C.

#### Relativní vlhkost vzduchu:

Stanovená relativní vlhkost vzduchu nebyla dodržena v pěti učebnách a jedné tělocvičně, to je ve 25 % všech měření. Nevyhovující hodnoty byly vždy pod dolní hranicí limitu 30-65 %. Průměrná vlhkost 34,4 % byla lehce nad dolní hranicí tohoto limitu.

#### Rychlost proudění vzduchu:

Pouze 5 měření rychlosti proudění vzduchu vyhověla požadavkům legislativy, vždy to byla měření provedená v tělocvičně, v učebnách byl nevyhovující výsledek ve všech případech. To znamená, že limit rychlosti proudění vzduchu nevyhověl celkově v 79,2 % měření. Nízká rychlost proudění vzduchu jistě souvisela s těsníci okny, která neumožňovala přirozenou infiltraci venkovního vzduchu.

### 8.1.2 Výsledky měření dalších ukazatelů kvality vnitřního ovzduší

#### Koncentrace formaldehydu:

Všechna měření prokázala koncentraci formaldehydu hluboko pod stanoveným limitem 60 µg/m<sup>3</sup>.

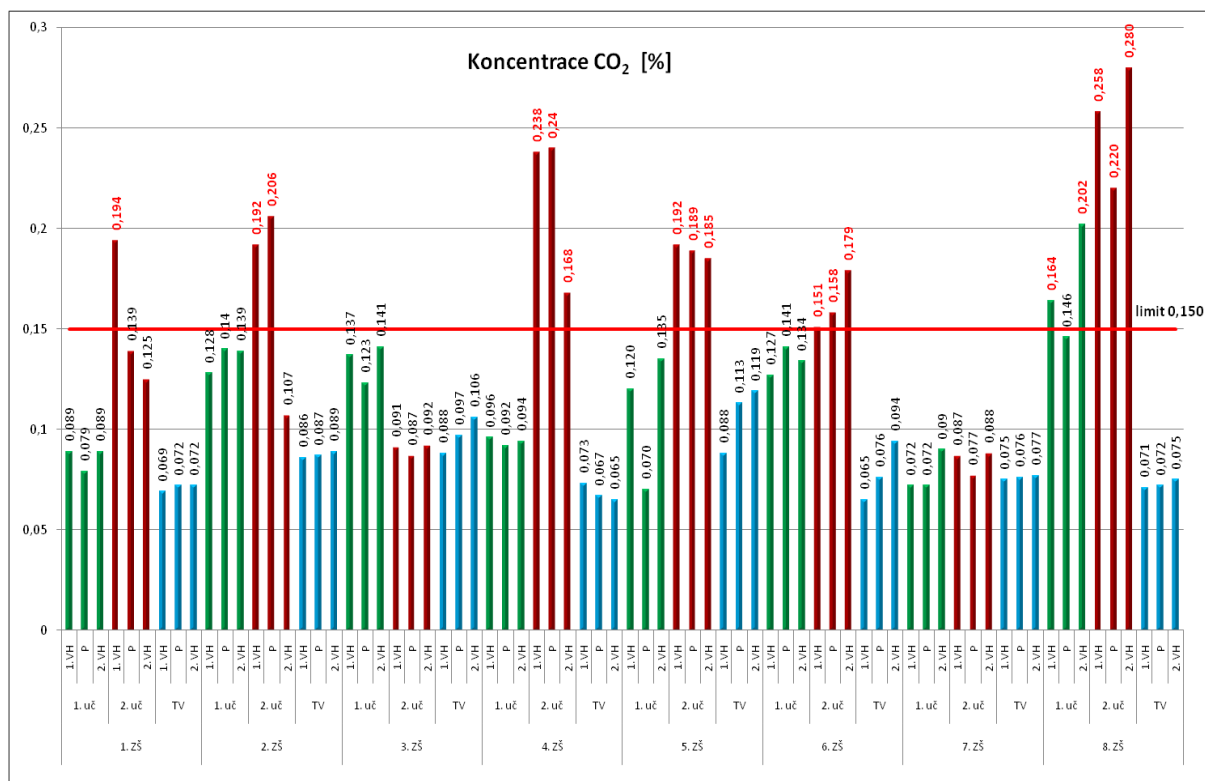
#### Prašný aerosol:

Limitní hodnoty prашných částic jsou dané pouze pro frakce PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>. Desetkrát překročena byla koncentrace prachu frakce PM<sub>10</sub> (tj. 41,7 %), devětkrát frakce PM<sub>2,5</sub> (tj. 37,5 %). V podstatě vždy se jednalo o překročení limitů ve stejných učebnách. Vzhledem k tomu, že většina zahrnutých škol se nenacházela v blízkosti rušných komunikací, nebo ve znečištěných průmyslových oblastech, souvisela zvýšená prašnost s nedostatečným úklidem. Po projednání výsledků měření s řediteli škol byla přijata opatření, spočívající ve zvýšeném úklidu učeben stíráním podlah navlhko i všech zařízení včetně otopných těles.

### 8.1.3 Výsledky měření CO<sub>2</sub>

Graf na obrázku 21 udává hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub> v jednotlivých učebnách (zelené a červené sloupce) a v tělocvičnách (modré sloupce). Měření bylo provedeno v průběhu 1. vyučovací hodiny, během přestávky a v průběhu 2. vyučovací hodiny. Měření v šesti učebnách prokázalo, alespoň jedním stanovením, překročení doporučené hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub> 0,100 % (tj. 25 % celkového počtu měření). V dalších sedmi učebnách byl překročen i maximální limit 0,150 % (tj. 29,2 %). Celkem je to 13 výsledků z 24 (tj. 54,2 %), která jsou nad doporučenou hranicí koncentrace CO<sub>2</sub>.

Ne ve všech vybraných školách bylo provedeno zateplení a výměna oken za těsná, ale všechny měřené učebny byly shodně větrány přirozeným způsobem okny, bez pomoci klimatizace. Výměna vzduchu byla tedy zcela závislá na lidském faktoru, kdy a na jak dlouho byla okna otevřena, jak intenzivní bylo provětrání. I v tomto ohledu školy přijaly opatření, která spočívala v úpravě provozního řádu s ohledem na způsob a režim větrání a edukaci vyučujících.



Obrázek 21: Graf výsledků měření koncentrací oxidu uhličitého v jednotlivých učebnách školských zařízení.

1. VH = 1. vyučovací hodina, 2. VH = 2. vyučovací hodina, P = přestávka

Podrobné výsledky, popis učeben, ve kterých probíhalo měření, a podmínky při měření jsou uvedeny v příloze 1.

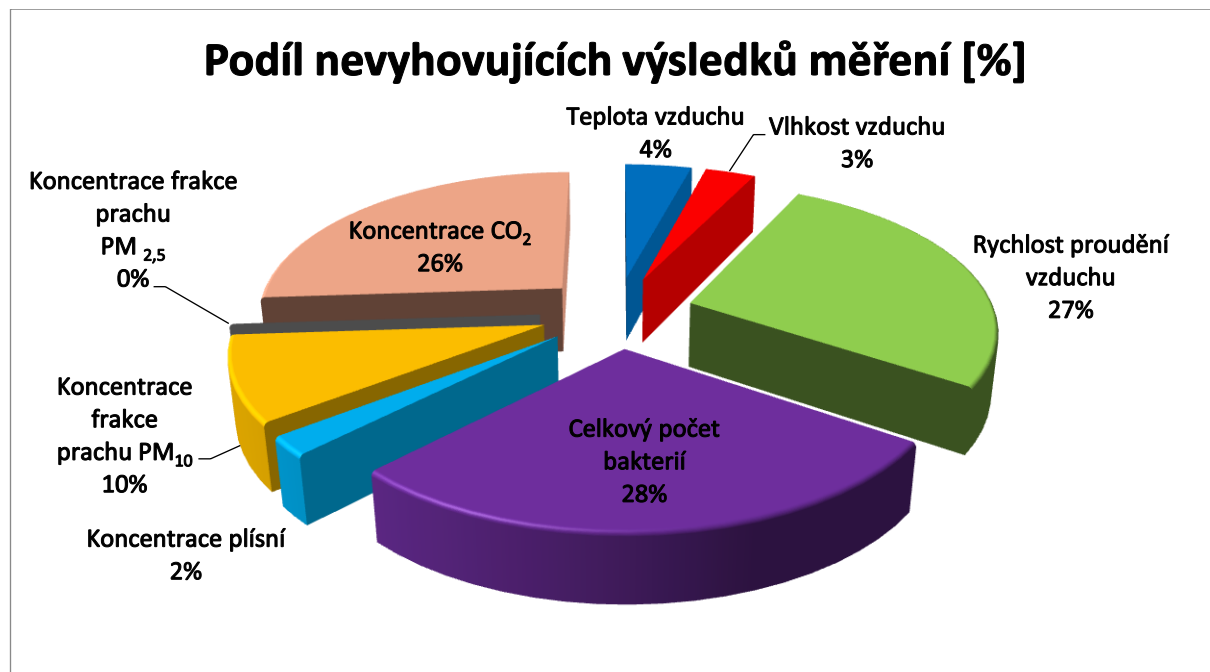
## 8.2 Měření v letech 2016-2017

Pro měření mikroklimatických podmínek a vybraných ukazatelů kvality vnitřního prostředí byla v uvedeném období vybrána tato školská zařízení:

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| 1. škola: 28., 29. 11. 2016    | SPŠ stavební, Pospíšilova tř. 787, Hradec Králové       |
| 2. škola: 30. 11., 1. 12. 2016 | ZŠ Habrmanova 130, Hradec Králové                       |
| 3. škola: 12., 13. 12. 2016    | ZŠ Školská 333, Nechanice                               |
| 4. škola: 17., 18. 1. 2017     | ZŠ F. Kupky 350, Dobruška                               |
| 5. škola: 23., 24. 1. 2017     | SŠ Podorlické vzdělávací centrum, Pulická 695, Dobruška |

6. škola:	30., 31. 1. 2017	ZŠ Školní 1336, Vrchlabí
7. škola:	6., 7. 2. 2017	ZŠ Radvanice 171
8. škola:	2., 22. 2. 2017	ZŠ Železnická 460, Jičín
9. škola:	10. 2., 10. 3. 2017	ZŠ Masarykova, Tyršova 336, Železnice

V těchto školách bylo provedeno celkem 18 měření. Graf na obrázku 22 znázorňuje zastoupení výsledků, které nevyhověly legislativním limitům, souhrn výsledků je uvedený v tabulce 9.



Obrázek 22: Graf procentuálního zastoupení nevyhovujících výsledků podle jednotlivých ukazatelů kvality ovzduší při měřeních v letech 2016-2017

Tabulka 9: Souhrnné výsledky měření kvality ovzduší ve vybraných školských zařízeních v letech 2016-2017

2016-2017		teplota vzduchu	relativní vlhkost	rychlost proudění	konzentrace bakterií	konzentrace plísní	max. konc. PM <sub>10</sub>	max. konc. PM <sub>2,5</sub>	max. konc. PM <sub>1,0</sub>	max. hodnota konc. CO <sub>2</sub> *
jednotky		°C	%	m/s	KTJ/m <sup>3</sup>	KTJ/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	ppm
limity		20-24	30-65	0,1-0,2	500	500	150	80	není	1500
1.škola	učebna 1	21,4	34,8	<b>0,07</b>	<b>1 140</b>	<b>515</b>	<b>212,6</b>	15,3	6,6	<b>2 399</b>
	učebna 2	22,3	37,7	<b>0,04</b>	<b>975</b>	125	36,5	11,1	7,3	<b>1 833</b>
2.škola	učebna 1	22,6	30,7	<b>0,06</b>	<b>2 656</b>	130	69,8	32,1	26,3	<b>2 770</b>
	učebna 2	23,5	39,9	<b>0,06</b>	<b>1 830</b>	350	<b>185,7</b>	25,2	11,4	<b>2 269</b>
3.škola	učebna 1	22,4	37,6	<b>0,07</b>	<b>710</b>	28	129,0	19,7	4,6	<b>1 399</b>

	učebna 2	21,5	35,3	<b>0,06</b>	<b>530</b>	25	<b>184,2</b>	29,6	14,0	<b>1 877</b>
4.škola	učebna 1	23,7	39,6	0,12	<b>2 400</b>	65	<b>163,9</b>	27,0	12,6	<b>1 860</b>
	učebna 2	22,3	<b>25,5</b>	<b>0,08</b>	<b>985</b>	80	134,9	33,8	27,0	<b>1 512</b>
5.škola	učebna 1	<b>24,3</b>	39,8	<b>0,04</b>	<b>755</b>	195	82,9	22,9	15,9	<b>2 689</b>
	učebna 2	<b>24,7</b>	32,1	<b>0,06</b>	<b>638</b>	155	105,3	37,0	28,6	<b>2 351</b>
6.škola	učebna 1	22,6	30,7	<b>0,08</b>	<b>1 040</b>	165	<b>211,6</b>	36,7	28,1	<b>2 751</b>
	učebna 2	<b>19,6</b>	<b>28,4</b>	<b>0,09</b>	<b>1 940</b>	175	<b>175,7</b>	32,8	22,8	790
7.škola	učebna 1	21,0	48,3	<b>0,06</b>	<b>3 190</b>	70	129,6	34,7	15,0	<b>2 858</b>
	učebna 2	20,1	50,3	<b>0,07</b>	<b>4 770</b>	<b>2445</b>	<b>222,0</b>	31,8	14,3	<b>2 804</b>
8.škola	učebna 1	<b>24,2</b>	<b>25,8</b>	<b>0,06</b>	<b>753</b>	50	126,6	45,6	40,5	<b>1 836</b>
	učebna 2	21,8	43,9	<b>0,07</b>	<b>1 125</b>	105	<b>154,1</b>	25,5	14,9	<b>2 820</b>
9.škola	učebna 1	22,2	46,1	<b>0,04</b>	<b>1 143</b>	133	84,3	25,0	18,3	<b>2 452</b>
	učebna 2	22,4	39,3	<b>0,06</b>	<b>1 320</b>	163	<b>245,8</b>	26,0	7,8	<b>2 045</b>

\* Červeně jsou vyznačené hodnoty, které překračují povolené limity, modře zvýrazněná je hodnota CO<sub>2</sub>, která překročila doporučenou hodnotu koncentrace.

### 8.2.1 Výsledky měření

#### Celkový počet bakterií a koncentrace plísní:

Počet překročení limitu nově zařazeného ukazatele koncentrace bakterií je znepokojující - 100 % výsledků je nad hranicí 500 KTJ/m<sup>3</sup>. Nevyšší zjištěná koncentrace bakterií byla 4770 KTJ/m<sup>3</sup>, nejnižší 530 KTJ/m<sup>3</sup>. Koncentrace plísní byla nad hranicí 500 KTJ/m<sup>3</sup> pouze 2x. Jak již bylo napsáno dříve, výskyt plísní je spojený s vyšší vlhkostí. V měřených učebnách byla relativní vlhkost stanovena vždy pod horní povolenou hranicí, ve třech případech byla dokonce zjištěna hodnota pod dolní hranicí povoleného limitu. To zřejmě přispělo k nízkým hodnotám koncentrací plísní. Výsledky měření byly projednány s řediteli škol, kteří přijali opatření spočívající ve zvýšeném úklidu s použitím dezinfekčních prostředků.

Ve škole s nejvyšším CPM (celkový počet mikroorganismů) byla zároveň stanovena i nejvyšší koncentrace plísní (2445 KTJ/m<sup>3</sup>). Této škole byl udělen finanční postih. V roce 2018 bylo provedeno kontrolní měření, při kterém bylo zjištěno výrazné snížení výskytu MO - naměřen byl celkový počet mikroorganismů CPM 820 KTJ/m<sup>3</sup> a koncentrace plísní 170 KTJ/m<sup>3</sup>.

#### Prašný aerosol:

Měřeními byla zjištěna nižší prašnost než v letech 2009-2010. Nevyhovujících výsledků měření frakce PM<sub>10</sub> bylo 9 z 18 měření, tj. 33,3 %, oproti 41,7 % v letech 2009, 2010. Koncentrace frakce PM<sub>2,5</sub> nebyla tentokrát překročena ani v jednom případě. Pro připomenutí v letech 2009-2010 byla překročena v 9 z 24 měření (37,5 %).

#### Oxid uhličitý:

Z tabulky 9 a grafu na obrázku 22 jsou zřejmé nevyhovující výsledky koncentrací CO<sub>2</sub>. Překročení limitu 1500 ppm bylo zjištěno v 16 z celkových 18 měření, tj. v 88,9 % měření. Další jedna hodnota byla zjištěna nad doporučenou hranicí 1000 ppm. Dá se předpokládat, že

tyto nevyhovující hodnoty jsou způsobeny výběrem budov, které při rekonstrukci prošly zateplením obálky a výměnou oken. Jediné měření, při kterém nebyl překročen ani maximální ani doporučený limit, je měření provedené v tělocvičně. Zřejmě díky velké světlé výšce a celkově velkému prostoru nebyla v tělocvičně (ani v jiných tělocvičnách v předchozí vlně měření) hodnota limitu koncentrace CO<sub>2</sub> překročena.

Podrobné výsledky a popis učeben, ve kterých probíhalo měření, jsou uvedeny v příloze 2.

### **8.3 Měření v letech 2019-2020**

Pro měření hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub>, doplněné měřením teploty vzduchu v učebnách, byla v uvedeném období vybrána tato školská zařízení:

#### **2019**

1. škola:	25. 3. 2019	ZŠ J. A. Komenského, Vlčice 193
2. škola:	4. 4. 2019	ZŠ Velké Svatoňovice 198
3. škola:	9. 10. 2019	ZŠ Školní 81, Janské Lázně
4. škola:	10. 10. 2019	ZŠ R. Frimla 816, Trutnov
5. škola:	16. 10. 2019	Speciální ZŠ a Praktická škola Hradecká 1231, Hradec Králové
6. škola:	17. 10. 2019	ZŠ F. Palackého 1240, Nový Bydžov
7. škola:	22. 10. 2019	ZŠ K. H. Borovského 99, Vysoké Veselí
8. škola:	23. 10. 2019	ZŠ Štefánikova 566, Hradec Králové
9. škola:	24. 10. 2019	ZŠ Hořiněves 4
10. škola:	5. 11. 2019	ZŠ Gutha-Jarkovského, Palackého nám. 45, Kostelec nad Orlicí
11. škola:	6. 11. 2019	ZŠ Nádražní 313, Opočno
12. škola:	7. 11. 2019	ZŠ Komenského 828, Týniště nad Orlicí
13. škola:	11. 11. 2019	ZŠ Voděrady 2
14. škola:	12. 11. 2019	ZŠ Slatina nad Zdobnicí 45
15. škola:	15. 11. 2019	ZŠ Hořičky 19
16. škola:	18. 11. 2019	ZŠ Provodov–Šonov 6
17. škola:	20. 11. 2019	ZŠ Studnice 57, Studnice
18. škola:	21. 11. 2019	ZŠ Bratří Čapků 138, Červený Kostelec, Lhota
19. škola:	25. 11. 2019	ZŠ Horní Kostelec 182, Červený Kostelec
20. škola:	27. 11. 2019	ZŠ Milovice u Hořic 8, Hořice
21. škola:	29. 11. 2019	ZŠ Chodovice 2, Holovousy
22. škola:	3. 12. 2019	ZŠ Komenského 338, Hořice
23. škola:	5. 12. 2019	ZŠ Bezručova 1468, Hradec Králové
24. škola:	8. 12. 2019	ZŠ Jičínská 30, Valdice
25. škola:	11. 12. 2019	ZŠ Podhart', Máchova 884, Dvůr Králové nad Labem
<b>měření mimo topnou sezónu:</b>		
26. škola:	14. 5. 2019	ZŠ Chotěvice 74
27. škola:	21. 5. 2019	ZŠ Náchodská 18, Trutnov 3



29. škola: 4. 6. 2019 ZŠ Školní 662, Rtyně v Podkrkonoší

**2020 (k 28. 2. 2020)**

1. škola:	14. 1. 2020	ZŠ Pohoří 96, Dobruška
2. škola:	15. 1. 2020	ZŠ Gutha-Jarkovského, Drtinova 662, Kostelec nad Orlicí
3. škola:	20. 1. 2020	ZŠ Čs. armády 15, Hronov
4. škola:	21. 1. 2020	ZŠ Na Ostrově 4, Jaroměř
5. škola:	24. 1. 2020	ZŠ Vodárenská 370, Jaroměř – Josefov
6. škola:	29. 1. 2020	ZŠ Na Babí 190, Police nad Metují
7. škola:	3. 2. 2020	ZŠ Školní 236, Meziměstí
8. škola:	4. 2. 2020	ZŠ Batňovice 181
9. škola:	5. 2. 2020	ZŠ Kunčice nad Labem 73
10. škola:	12. 2. 2020	ZŠ Bílý Újezd 47, Dobruška
11. škola:	13. 2. 2020	Církevní ZŠ, Nádražní 233, Borohrádek
12. škola:	17. 2. 2020	ZŠ Masarykova, P. Jilemnického 420, Hradec Králové-Plotiště
13. škola:	18. 2. 2020	ZŠ Pražská 198, Hradec Králové
14. škola:	19. 2. 2020	ZŠ Libčany 1
15. škola:	20. 2. 2020	ZŠ Lužany 155
16. škola:	26. 2. 2020	ZŠ Husova 170, Jičín
17. škola:	27. 2. 2020	ZŠ 17. listopadu 109, Jičín

Celkem bylo provedeno měření v 94 učebnách ve 45 školách. Výsledky jsou rozděleny na měření v topném a netopném období. Měření byla vždy provedena za běžného provozu, to znamená během výuky, za přítomnosti žáků a vyučujících.

V některých školách byla v minulých letech provedena rekonstrukce, při které byla vyměněna okna za nová těsnící, a bylo provedeno zateplení obvodového pláště. Z celkového počtu 45 měřených škol byla okna vyměněna u 36 škol, tj. 80 %, zatepleno bylo 28 budov škol, tj. 62,2 %. Použita byla okna dřevěná nebo plastová s EURO profilem, vybavená systémem mikroventilace. U dvou objektů, které jsou památkově chráněné, byly použity dřevěné repliky původních oken. Vzduchotechnické zařízení bylo nainstalované pouze v jedné měřené škole. Ve většině škol přetrvává větrání přirozeným způsobem okny. V Královéhradeckém kraji na několika dalších školách probíhají rekonstrukce větrání, které spočívají v instalaci VZT zařízení, ty však bohužel do současné doby nebyly dokončeny nebo zkolaudovány a měření nebylo možné v těchto školách provést. Další školy mají tyto rekonstrukce ve fázi stavebního řízení nebo projektových dokumentací.

### **8.3.1 Výsledky měření**

#### **Měření mimo topné období:**

V období květen a červen (mimo topnou sezónu) 2019 bylo provedeno celkem 6 měření koncentrace CO<sub>2</sub> ve 3 základních školách okresu Trutnov. Hodnoty koncentrací CO<sub>2</sub> byly zjištěny téměř ve všech případech pod limitem (jedna hodnota byla těsně nad limitem

doporučené hodnoty 1000 ppm). Pro realizaci měření bylo vybráno období, ve kterém byla vyšší venkovní teplota a kdy vytápění ve školách již nebylo v provozu. Vzhledem k těmto podmínkám byla při měření okenní křídla v učebnách otevřena plně, nebo minimálně ve ventilační poloze. Dle sdělení ředitelů škol byla okna otevřena po celou dobu výuky, případně byla otevřena již v průběhu 1. vyučovací hodiny. Během přestávky nebylo otevření oken navyšováno ani jinak upravováno, pro zintenzivnění větrání byly otevřeny dveře vedoucí z učebny do chodby. Druhá měření v průběhu 3. vyučovací hodiny prokázala pokles koncentrace CO<sub>2</sub>. Podle výsledků měření v době mimo topnou sezónu lze říci, že vyšší koncentrace CO<sub>2</sub> se v učebnách s největší pravděpodobností nevyskytují. Při stálém otevření oken se hodnoty CO<sub>2</sub> výrazně nezvyšují, ani výrazněji nekolísají. Tyto výsledky měření nebyly do souhrnné tabulky naměřených hodnot zahrnuty, aby nebyly zkresleny hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub> ve vnitřním ovzduší učeben v topné sezóně, které více vypovídají o problému expozice žáků CO<sub>2</sub> ve školských zařízeních a o významu a důležitosti větrání.

### Měření v topném období:

Následující tabulky 10 a 11 udávají naměřené hodnoty teploty vzduchu a koncentrace CO<sub>2</sub> v jednotlivých letech 2019 a 2020. Z prvních hodnot koncentrací CO<sub>2</sub>, tj. z prvního měření, lze odhadnout, do jaké míry byly učebny vyvětrány před zahájením výuky a zda byly větrány v průběhu 1. a 2. vyučovací hodiny.

Tabulka 10: Naměřené hodnoty teploty vzduchu a koncentrace CO<sub>2</sub> ve vybraných ZŠ v roce 2019

2019	výměna oken	zateplení		2. vyučovací hodina		Přestávka		3. vyučovací hodina	
				T	CO <sub>2</sub>	Otevřena		T	CO <sub>2</sub>
				°C	ppm	okna	dveře	°C	ppm
1. ZŠ	ano	ano	uč. 1	20,4	1002	ano	ano	21,7	920
			uč. 2	22,6	1062	ano	ano	21,6	940
2. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,1	1510	ano	ano	21,6	930
			uč. 2	21,4	1440	ano	ano	21,1	814
3. ZŠ	ne	ne	uč. 1	21	1197	ano	ano	21,4	1090
			uč. 2	21,5	1086	ano	ano	21,7	1140
4. ZŠ	ano	ano	uč. 1	23	2427	ano	ano	22,5	1077
			uč. 2	23,4	2236	ano	ano	22,2	1153
5. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,2	1314	ano	ano	24	743
			uč. 2	22,4	1045	ano	ano	23,6	762
6. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,5	1247	ano	ano	22,7	740
			uč. 2	22,9	1771	ano	ano	22,3	643
7. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,7	1267	ano	ano	24,5	1005
			uč. 2	22	1119	ano	ano	25	764
8. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,7	1965	ano	ano	20	747
			uč. 2	23,3	2077	ano	ano	20,6	830
9. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,8	979	ano	ano	23,9	978
			uč. 2	22,2	876	ano	ano	23,1	978

10. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,1	1491	ano	ano	24	2148**
			uč. 2	23,7	1774	ano	ano	24	2078**
11. ZŠ	ano	ano	uč. 1	21,9	868	ne	ano	24,6	1086
			uč. 2	22,8	1450	ne	ano	24,2	1434
			uč. 3	22,9	1419	ne	ano	22,9	1148
12. ZŠ	ano	ano	uč. 1	23,4	1040	ano	ano	22,3	722
			uč. 2	23,7	1189	ano	ano	22,6	720
13. ZŠ	ano	ano	uč. 1	21,7	1370	ano	ano	20,7	1097
			uč. 2	21,6	1475	ano	ano	21	1399
14. ZŠ	ano	ano	uč. 1	21,7	961	ne	ne	21,7	1302*
			uč. 2	21,7	1703	ne	ne	21,6	1911*
			uč. 3	21,3	1440	ne	ne	21,5	1609*
15. ZŠ	ano	ne	uč. 1	20,2	950	ano	ano	21,6	677
			uč. 2	20,6	903	ano	ano	21,5	713
16. ZŠ	ano	ne	uč. 1	21,7	1379	ano	ano	21	857
			uč. 2	22	1377	ano	ano	20,6	894
17. ZŠ	ano	ano	uč. 1	23	1065	ano	ano	22,4	865
			uč. 2	23	963	ano	ano	22,5	911
18. ZŠ	ne	ano	uč. 1	22,5	1531	ano	ano	21,2	1197
			uč. 2	22	1573	ano	ano	20,4	939
19. ZŠ	ano	ne	uč. 1	21,5	1258	ano	ano	20,9	1362
			uč. 2	21,9	903	ano	ano	20,3	647
20. ZŠ	ano	ne	uč. 1	21	1920	ano	ano	22,1	1361
			uč. 2	22,1	1882	ano	ano	22,6	1446
21. ZŠ	ano	ano	uč. 1	20,6	1258	ano	ano	21,8	1177
			uč. 2	21,4	1583	ano	ano	21,9	1131
22. ZŠ	ano	ano	uč. 1	21,1	1295	ano	ano	20,3	1008
			uč. 2	21,3	1266	ano	ano	20,2	980
23. ZŠ	ano	ne	uč. 1	21,3	1079	ano	ano	21,5	1360
			uč. 2	21,5	1817	ano	ano	20,8	1243
24. ZŠ	ano	ne	uč. 1	21	1492	ano	ano	20,1	1200
			uč. 2	20,8	1241	ano	ano	21,7	1436
25. ZŠ	ano	ne	uč. 1	22,3	2306	ano	ano	22,4	1396
			uč. 2	22,6	1577	ano	ano	21,9	1203

\* instalovaná VZT jednotka s čidlem CO<sub>2</sub>

Tabulka 11: Naměřené hodnoty teploty vzduchu a koncentrace CO<sub>2</sub> ve vybraných ZŠ v roce 2020

2020	výměna oken	zateplení		2. vyučovací hodina		Přestávka		3. vyučovací hodina	
				T	CO <sub>2</sub>	otevřena		T	CO <sub>2</sub>
				°C	ppm	okna	dveře	°C	ppm
1. ZŠ	ano	ano	uč. 1	21,6	1198	ne	ano	22,7	1149
			uč. 2	22	1578	ano	ano	22,6	1194

2. ZŠ	ano	ano	uč. 1	21	907	ano	ano	22,1	1099
			uč. 2	21,6	1352	ano	ano	21,7	1043
3. ZŠ	ano	ano	uč. 1	20,9	1188	ano	ano	21,2	1265
			uč. 2	21,5	1271	ano	ano	21	920
4. ZŠ	ne	ne	uč. 1	21,4	1011	ne	ano	22,6	1010
			uč. 2	21,8	1011	ne	ano	23,7	1010
5. ZŠ	ano	ano	uč. 1	23,5	1802	ano	ano	22,1	1034
			uč. 2	22,9	1250	ano	ano	22,2	1046
6. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,4	1830	ano	ano	20,5	904
			uč. 2	23	1474	ano	ano	21,6	1084
			uč. 3	23,9	1652	ano	ano	22	956
7. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,2	1058	ano	ne	23	1031
			uč. 2	22,5	1312	ano	ne	22,8	1231
8. ZŠ	ne	ne	uč. 1	24,1	1830	ano	ano	23	1299
			uč. 2	24,1	1418	ano	ano	23	1275
			uč. 3	24,2	1807	ano	ano	23,1	1364
9. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,8	1490	ano	ano	21,9	973
			uč. 2	22,9	1830	ano	ano	22	983
10. ZŠ	ano	ano	uč. 1	21,4	1328	ano	ano	21,3	906
			uč. 2	21,9	1089	ano	ano	21,3	1028
11. ZŠ	ne	ne	uč. 1	20,3	1651	ano	ano	20,3	1342
			uč. 2	21,3	1543	ano	ano	20,5	1280
12. ZŠ	ne	ne	uč. 1	21	1348	ano	ano	22,6	814
			uč. 2	22,1	1524	ano	ano	22,8	1396
13. ZŠ	ano	ne	uč. 1	21,6	1256	ano	ano	21,9	970
			uč. 2	22,2	1375	ano	ano	21,6	976
14. ZŠ	ano	ne	uč. 1	23,3	1413	ano	ano	21,1	888
			uč. 2	22,9	2137	ano	ano	20	666
15. ZŠ	ano	ano	uč. 1	20	1500	ano	ano	20,5	950
			uč. 2	21,1	1145	ano	ano	20,9	907
16. ZŠ	ne	ne	uč. 1	22,5	1144	ano	ano	21	953
			uč. 2	22,7	1528	ano	ano	22,4	1418
17. ZŠ	ne	ne	uč. 1	24	1224	ano	ano	23,2	924
			uč. 2	23	1262	ano	ano	22	1003

### Výsledky měření v roce 2019:

Při prvním měření byla hodnota koncentrace CO<sub>2</sub> nad legislativním limitem zjištěna v 16 učebnách, tj. ve 30,8 % měření. Hodnoty se vyskytovaly v rozmezí 1510 až 2427 ppm, průměrně 1853 ppm. Po běžném vyvětrání již byla hodnota koncentrace CO<sub>2</sub> nad limitem 1500 ppm zjištěna pouze ve 4 učebnách, tj. 7,7 % učeben. Počet učeben s hodnotou koncentrace CO<sub>2</sub> pod doporučeným limitem stoupl z počtu 8 před přestávkou na 24 po přestávce, tj. z 15,4 % na 46,2 %. Z těchto výsledků je zřejmý účinek větrání na pokles koncentrace CO<sub>2</sub>. Důležité je také zmínit skutečnost, že téměř všechny hodnoty, které byly

nad limitem 1500 ppm, byly naměřeny v učebnách, kde nebyla při prvním měření otevřena okna ani dveře.

Teplota vzduchu byla ve všech případech měření zjištěna v rozmezí stanoveného limitu  $22\pm 2$  °C (zjištěná průměrná hodnota byla 22,0 °C).

#### **Výsledky měření v roce 2020:**

První měření v průběhu 2. vyučovací hodiny prokázalo překročení povoleného maximálního limitu ve 12 učebnách, tj. ve 33,3 % měření. Zjištěné byly hodnoty 1524 až 2137 ppm, průměrně 1726 ppm. Stejně jako při měření v roce 2019 se jednalo o učebny, ve kterých nebyla otevřena okna a dveře, případně byla 1 až 2 okenní křídla otevřena ve vyklopené ventilační poloze. Ve všech ostatních učebnách byla při prvním měření zjištěna hodnota koncentrace CO<sub>2</sub> nad doporučeným limitem 1000 ppm (1011 až 1500 ppm, průměrně 1259 ppm). Po vyvětrání během přestávky již hodnoty nad 1500 ppm nebyly zjištěné v žádné měřené učebně. Z původních 12 překročených hodnot jich 8 zůstalo nad doporučeným limitem, u ostatních 4 stanovená hodnota klesla až pod tento doporučený limit.

Teplota vzduchu byla mimo stanovený limit  $22\pm 2$  °C zjištěna ve 3 případech, vždy byla překročena maximální hodnota limitu. Průměrná teplota v měřených učebnách byla 22,3 °C.

## 9 Diskuze

Špatná a stále se zhoršující kvalita vnitřního ovzduší je častým námětem diskuzí. Vzhledem k tomu, že jsme v interiérech často obklopeni ovzduším více či méně znehodnoceným znečišťujícími látkami, jsou tyto diskuze na místě, ovšem musí být spojeny s přijetím a realizací účinných řešení problému.

Děti a mladiství jsou jednou z nejzranitelnějších skupin vlivem podmínek jejich životního prostředí. Protože značnou část svého času tráví ve školách a školských zařízeních, jsou biologickými, chemickými i fyzikálními rizikovými faktory značně ovlivňováni. Zkvalitněním obálky budov je přívod čerstvého vzduchu do učeben nedostačující, čímž koncentrace rizikových faktorů narůstá. Samozřejmě záleží na způsobu užívání budov, na vybavení technologiemi a na výběru stavebních materiálů, ze kterých jsou objekty vystavěny.

V této diplomové práci jsou shrnuty získané výsledky při měření provedených ve školských zařízeních Královéhradeckého kraje v rámci stanovených krajských priorit. Podle požadavků na úsporu energií jsou školy zateplovány, okna jsou měněna za těsná. Instalace VZT jednotek, která by zajistila řízenou výměnu vzduchu, se teprve začínají realizovat, a tak je stále ve většině škol k větrání využíván systém mechanické ventilace plně závislý na lidském faktoru. K dostatečnému větrání často nedochází, protože ekonomické důvody převyšují nad udržováním zdravého vnitřního ovzduší. Kromě tohoto ekonomického hlediska je nutné zmínit i hledisko bezpečnostní. Školy často přijímají opatření, které spočívá v zákazu otevírání oken kvůli prevenci zranění žáků. Intenzivní větrání je tak prováděno pouze v přítomnosti pedagogů. O přestávkách, kdy pedagog ve třídě není přítomen, jsou okna otevřena maximálně do ventilační polohy, při které výměna vzduchu probíhá pomalu a nekvalitně. Na začátku vyučovací hodiny jsou pak okna na krátkou dobu otevřena, čímž jsou ale zároveň chladem ovlivněni žáci sedící v blízkosti oken. Na malých vesnických školách, kde je provoz téměř rodinný a žáci jsou soustředěni do dvou až tří učeben, pobývají pedagogové často v učebnách i po celou dobu přestávek. V těchto případech problém s vyvětráním nebývá.

### 9.1 Závislost koncentrace CO<sub>2</sub> na míře aktivity žáků a na počtu žáků

Při zpracování výsledků byly zjištěné hodnoty porovnány s mírou aktivity žáků v učebnách. Vzhledem k tomu, že při téměř všech měřeních žáci v době vyučovacích hodin pracovali v lavicích, nebylo možné výsledky vztáhnout na různou míru aktivity. Aktivita žáků při hodinách byla ve všech případech lehká, při některých měřeních by se dala označit max. jako střední. Žáci většinou pracovali v lavicích, případně vždy jeden nebo několik žáků přešlo k tabuli a psalo na tabuli. V jednom případě žáci zpívali a v několika případech zařadil pedagog v průběhu hodiny několikaminutovou rozcvičku. Tyto případné aktivity ve větší míře nezpůsobily zvýšení produkce CO<sub>2</sub> přítomnými osobami.

Výsledky měření získané v roce 2019 lze využít k porovnání hodnot koncentrace CO<sub>2</sub> a počtu přítomných žáků. Jejich porovnáním bylo zjištěno, že při vyšším počtu žáků (21 až 26 žáků v učebně, tj. v 9 případech) je limit 1500 ppm, až na jednu výjimku, vždy překročen.

V učebnách s nižším počtem žáků je nevyhovující hodnota koncentrace CO<sub>2</sub> spíše náhodná. Vzhledem k tomu, že učebny nemají stejnou podlahovou plochu a plocha připadající na jednoho žáka není vždy stejná, bylo by pro podrobnější vyhodnocení nutné zaznamenat, kolik plošných metrů, respektive kolik objemových metrů vzduchu připadne na 1 přítomného žáka.

## **9.2 Závislost koncentrace CO<sub>2</sub> na míře a typu ventilace**

Kromě jedné školy nebyla VZT zařízení ve vybraných školách k dispozici. Větrání bylo přirozené a probíhalo ručním otevíráním oken. Bylo tedy zcela závislé na lidském faktoru. Zjištěné koncentrace CO<sub>2</sub> často přesáhly nejen doporučený limit 1000 ppm, ale i maximální stanovený limit 1500 ppm. Podle experimentu Santamourise et al. (2008), provedeného v přirozeně větraných 27 řeckých školách (v 62 učebnách), byla prokázána snížená rychlost proudění vzduchu za současně zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub>. Výsledky studie byly porovnány s dalšími studii ze 182 škol (287 učeben) s přirozeným způsobem větrání. Studii byla prokázána souvislost mezi rychlostí proudění vzduchu a hodnotou koncentrace CO<sub>2</sub>.

Měření koncentrace CO<sub>2</sub> v letech 2016-2017 bylo zaznamenáváno v pětiminutových intervalech. Z těchto měření bylo možné sestavit grafy koncentrace CO<sub>2</sub> v závislosti na čase. Grafy na obrázcích 23 až 40 v příloze 2 ukazují průběhy měřené koncentrace CO<sub>2</sub>. Modrými poli jsou označeny vyučovací hodiny. Z grafů jasně vyplývá vliv větrání na hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub>. V době vyučovacích hodin, kdy není otevřeno okno ani ventilace, stoupá křivka koncentrace strměji než při otevření okna do ventilační polohy. O přestávkách, kdy jsou okna a většinou i dveře otevřeny, křivka koncentrace nestoupá, při většině měření došlo k celkem strmému poklesu křivky. Z těchto výsledků je jasně vidět vliv větrání na hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub>. Rozeznatelný je i rychlejší pokles koncentrace CO<sub>2</sub> při průvanovém větrání, při kterém jsou zároveň otevřena okna a protilehlé dveře.

V naměřených výsledcích v roce 2019 se zviditelnilo několik zajímavostí. Např. ve 14. škole jsou v učebnách instalovány vzduchotechnické jednotky s čidlem CO<sub>2</sub>. Měření bylo provedeno ve třech učebnách. Při 1. měření byla v jedné učebně zjištěna hodnota koncentrace CO<sub>2</sub> pod doporučeným limitem 1000 ppm, v druhé učebně nad limitem 1500 ppm a ve třetí učebně mezi těmito limity. Během přestávky okna ani dveře nebyly otevřeny, větrání je pouze nucené pomocí těchto VZT jednotek. Spuštění VZT jednotek je aktivováno při koncentraci CO<sub>2</sub> 650 ppm. Se zvyšující se hodnotou koncentrace se zvyšuje i výkon VZT jednotek. Přesto bylo při druhém měření zjištěno zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub> ve všech třech učebnách. Podle vyjádření ředitelky školy byla nedlouho před naším měřením provedena revize VZT, seřízení a výměna filtrů. Po měření byla kontaktována odborná firma, která opakovaně provedla revizi, a bylo objednáno měření koncentrace CO<sub>2</sub> u akreditované laboratoře. Zjištěná skutečnost mohla být způsobena poddimenzováním výkonu VZT jednotek podle Metodického návodu MŽP. Ten, jak je uvedeno výše, není plně v souladu s požadavky na výměnu vzduchu podle hygienické vyhlášky č. 410/2005 Sb.

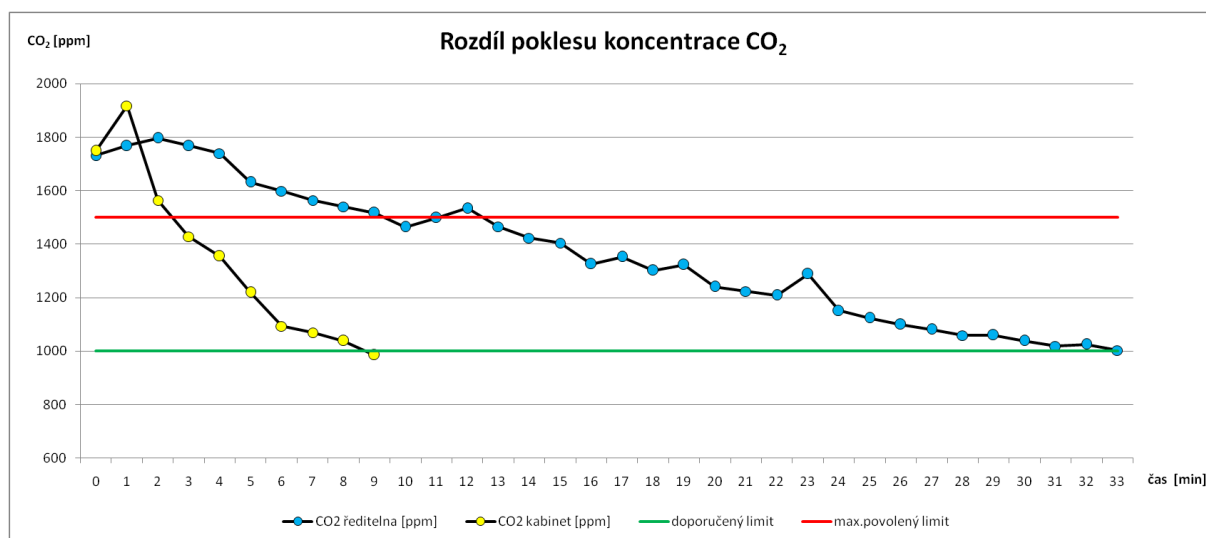
Na dalším případě lze demonstrovat účinek průvanového vyvětrání. V učebnách 10. školy bylo větrání o přestávce umožněno pouze otevřením okenních křídel do vyklopené ventilační polohy. Z důvodu bezpečnosti žáků a bezpečnosti provozu chodníku pod okny školy byla okna trvale uzamčena, umožňovala tak pouze vyklopení do ventilační polohy.

Přestože byla otevřena všechna okenní křídla za současného otevření dveří, stoupla koncentrace CO<sub>2</sub> až na hodnotu přesahující 2000 ppm.

Na základě této zkušenosti byla hypotéza, že koncentrace CO<sub>2</sub> je závislá na typu ventilace, experimentálně ověřena v kanceláři ředitele školy a v jednom kabinetu. Jednalo se o velikostně shodné prostory, podlahová plocha činila 16 m<sup>2</sup>, užívána byla vždy jednou osobou. Zjišťován byl rozdíl rychlosti poklesu koncentrace CO<sub>2</sub> při rozdílné intenzitě větrání. V prvním případě bylo po změření počáteční koncentrace otevřeno 1 okenní křídlo do ventilační polohy, ve druhém případě bylo okenní křídlo plně otevřeno a současně byly otevřeny dveře do chodby. S výsledky byl seznámen ředitel školy i přítomní pedagogové. Experiment posloužil k edukaci pedagogů.

Výsledek experimentu: Při prvním měření v ředitelně byla počáteční hodnota koncentrace CO<sub>2</sub> 1732 ppm, ke snížení koncentrace na hodnotu 1500 ppm došlo za 9 minut 12 vteřin, na hodnotu 1000 ppm za 33 minut a 15 vteřin. Na začátku měření byly v místnosti přítomné 2 dospělé osoby, 1 osoba v 9. minutě měření místnost opustila. Při druhém měření v kabinetu byla počáteční koncentrace CO<sub>2</sub> 1749 ppm, což je hodnota srovnatelná s hodnotou v ředitelně. Ke snížení koncentrace na hodnotu 1500 ppm došlo za 2 minuty a 15 vteřin, na hodnotu 1000 ppm za cca 8 minut a 35 vteřin. Po celou dobu měření byly v místnosti přítomné 2 dospělé osoby. Venkovní teplota byla v době měření 1 °C.

Z experimentu a grafu na obrázku 23 je patrný rozdíl v rychlosti snižování koncentrace CO<sub>2</sub>. Zatímco při otevření pouze jedné ventilace klesla za 9 minut hodnota CO<sub>2</sub> na 1500 ppm, při současném plném otevření okna a protilehlých dveří stihla za 9 minut hodnota CO<sub>2</sub> klesnout až na doporučenou hodnotu 1000 ppm.



Obrázek 23: Graf rozdílu rychlosti poklesu koncentrace CO<sub>2</sub> při otevření 1 ventilace v ředitelně a při současném plném otevření okna a protilehlých dveří v kabinetu.

### 9.3 Závislost koncentrace CO<sub>2</sub> na zateplení a výměně oken

V letech 2016-2017 byla pro měření kvality vnitřního ovzduší vybrána školská zařízení, jejichž budovy prošly rekonstrukcí spojenou se zateplením a výměnou oken. Z celkových 18 měřených učeben v 17 učebnách přesáhla max. zjištěná koncentrace hodnotu 1000 ppm,



v 16 učebnách i hodnotu 1500 ppm. Pouze v jedné učebně byla maximální naměřená hodnota pod doporučeným limitem. Jednalo se o tělocvičnu, ve které na jednoho žáka připadlo více podlahové plochy než v běžné učebně. Vyjmeme-li hodnotu zjištěnou v této tělocvičně, průměrné hodnoty koncentrací v učebnách se pohybovaly v rozmezí 923 až 2282 ppm. Hodnotu 1500 ppm překročily v 10 případech, v dalších 6 případech překročily doporučenou hodnotu 1000 ppm.

Ze závěrů některých studií vyplývá, že zateplením a výměnou oken došlo ke zlepšení vnitřního ovzduší, a tím ke zlepšení pohody a zdraví obyvatel (Jacobs 2015). Naším měřením zjištěné výsledky však hovoří opačně. Vyplývá z nich, že zateplení a výměna oken vede k utěsnění budovy a k zabránění přirozené infiltrace. Zhoršuje se kvalita vnitřního vzduchu, což má pak vliv na pohodu a zdraví osob. Ke stejným závěrům se přiklání řada dalších studií - negativní vliv zateplení ve svých studiích uvádí např. Leech (2004), Sharpe (2015) nebo Wells (2015). Podle nich v zateplených domech přirozená infiltrace není funkční, do vnitřního prostoru budov není čerstvý vzduch dodáván v dostatečném množství a úspory energie vítězí nad kvalitou vzduchu. Vlivem nižší rychlosti proudění vzduchu se snižuje kvalita vzduchu v interiéru a hromadí se různé škodliviny, včetně CO<sub>2</sub>. Studie Ng (2015) tyto závěry rovněž potvrzuje, říká, že zvýšení těsnosti budovy negativně ovlivní koncentraci CO<sub>2</sub> a také např. formaldehydu. Zároveň ale upozorňuje na fakt, že nedochází ke zvyšování koncentrací ZL vznikajících ve venkovním prostředí, které mohou pronikat do prostředí vnitřního (např. troposférický ozón).

Z výsledků získaných v letech 2019-2020 nelze vliv těsných oken a zateplení na koncentraci CO<sub>2</sub> vyhodnotit pro nízký počet učeben s původními netěsnými okny. Původní okna zůstala pouze u čtyř učeben, z nichž ve dvou byla koncentrace CO<sub>2</sub> překročena a u dvou ne. Stejně tak i provedené zateplení nemělo průkazný vliv na hodnotu koncentrace CO<sub>2</sub>. Z 16 nezateplených učeben byl překročený limit 1500 ppm v pěti učebnách, tj. 31,2 %, z 36 zateplených učeben byl limit překročený v 11 případech, tj. 30,6 %. Rozdíl 0,6 % je zanedbatelný. Tuto skutečnost lze vysvětlit pravděpodobně tak, že nová těsnící okna musí být vybavena systémem mikroventilace, která imituje přirozenou infiltraci venkovního vzduchu. Tímto způsobem dochází k průběžné výměně vzduchu mezi interiérem a exteriérem. Závisí pak na rozdílu teplot vně a uvnitř budovy, jakou rychlostí je vzduch vyměňován.

#### **9.4 Závislost koncentrace CO<sub>2</sub> na ročním období**

V roce 2019 bylo měření provedeno v období topné sezóny i v období mimo topnou sezónu. Jak je uvedeno výše, měření provedená v měsících květen a červen neprokázala hodnoty nad 1500 ppm. Kromě jedné se všechny naměřené hodnoty pohybovaly pod limitem 1000 ppm. V zimním období bylo pod tímto doporučeným limitem zjištěno hodnot mnohem méně. V letech 2009-2010 to bylo 16 hodnot ze 42 stanovení provedených v učebnách, což je 38,1 %, v letech 2016-2017 to byla 1 hodnota z 18 stanovení, což je 5,6 % a v letech 2019-2020 bylo pod limitem 1000 ppm zjištěno 20 hodnot z 88 stanovení, což je 22,7 %.

Nižší koncentrace CO<sub>2</sub> v letních měsících je odrazem obecně větší ochoty větrat otevřenými okny. V chladných částech roku vystupuje do popředí ekonomické hledisko se snahou uspořit energie na vytápění interiéru, učebny jsou často celé vyučovací hodiny uzavřeny. V letních měsících jsou okna bez problémů otevírána častěji, větrání je

intenzivnější. K podobnému zjištění, že intenzita větrání je v zimních měsících nižší než v letních, došel ve své studii Dimitroulopoulou (2012), který svou studii provedl ve Skandinávských zemích.

Způsob větrání je v letním a zimním období odlišný. V letním období je účinná metoda větrání vyklopením křídla oken, doplněná v době přestávky nárazovým prudkým vyvětráním. V zimním období je větrání vyklopením křídla oken nevhodné, protože pomalým větráním dochází za chladného počasí k prochlazení zdí. Vhodné je nárazové prudké větrání, které zajistí rychlou výměnu části vydýchaného vzduchu, přičemž teplota zdí zůstane stejná. Nárazové větrání lze uskutečnit současně plným otevřením oken a protilehlých dveří nebo jiného protilehlého okna. V době několika minut dojde ke kvalitní výměně vzduchu, teplé zdi a topení čerstvý vzduch pak rychle ohřejí na původní teplotu. Účinek průvanového větrání byl experimentálně ověřen, výsledek je popsán výše v kapitole 9.2.

## 10 Závěr

Děti a mladiství jsou jednou z nejzranitelnějších skupin vlivem podmínek v jejich životním prostředí. Protože značnou část svého času tráví ve školách a školských zařízeních, jsou biologickými, chemickými i fyzikálními rizikovými faktory značně ovlivňováni. Člověk pobývající ve špatně větraném prostoru, pociťuje brzy únavu, poruchy učení a soustředění, bolest hlavy, pálení očí. Současně u něho klesá pracovní výkon a je vnímavější k infekčním chorobám.

Zkvalitněním obálky budov je přívod čerstvého vzduchu do učeben nedostačující, čímž je znehodnocováno vnitřní ovzduší. Samozřejmě záleží na způsobu užívání budov, na vybavení technologiemi a na výběru stavebních materiálů, ze kterých jsou objekty vystavěny.

Cílem práce bylo kvantifikovat koncentrace různých znečišťujících látek, včetně CO<sub>2</sub>, v učebnách základních škol především v období topné sezóny. Tento cíl byl zcela splněn. Celkem byly ve třech vlnách měření sledovány parametry mikroklimatických podmínek (teplota, vlhkost a rychlost proudění vzduchu), koncentrace formaldehydu, koncentrace prašných částic, koncentrace mikroorganismů (bakterií a plísní) a koncentrace oxidu uhličitého. Zjištěno bylo, že kromě koncentrace formaldehydu všechny sledované veličiny více či méně překračují hodnoty povolených limitů. Dále bylo cílem práce porovnat koncentrace naměřené ve školských zařízeních, které prošly a které neprošly rekonstrukcí, spojenou se zateplením a výměnou oken, a porovnat koncentrace CO<sub>2</sub> v závislosti na ročním období. Zjištěné koncentrace CO<sub>2</sub> byly po provedených měřeních vzájemně porovnány, zvýšená pozornost byla věnována hodnotám zjištěným v budovách po provedené rekonstrukci a v různém ročním období. Vliv zateplení a výměny oken na hodnotu koncentrace CO<sub>2</sub> byl prokázán zejména měřeními v letech 2016-2017, jak je podrobněji popsáno níže v hodnocení hypotézy 3. Závislost koncentrace CO<sub>2</sub> na ročním období je popsána rovněž v textu dále, v hodnocení hypotézy 4.

Pro řešení diplomové práce byly stanoveny následující hypotézy:

- 1) koncentrace CO<sub>2</sub> je závislá na míře aktivity a počtu žáků,
- 2) koncentrace CO<sub>2</sub> je závislá na míře a typu ventilace,
- 3) u rekonstruovaných budov s vyměněnými okny dochází k významnému nárůstu koncentrace CO<sub>2</sub>, především v zimním období překračují limit,
- 4) sledované koncentrace CO<sub>2</sub> se mění během roku.

První hypotéza byla ověřena pouze zčásti. Z výsledků měření v roce 2019 lze vyčíst, že na koncentraci CO<sub>2</sub> počet přítomných osob vliv má. V devíti učebnách, kde byl vyšší počet žáků (21-26), byla hodnota koncentrace CO<sub>2</sub>, až na jednu výjimku, vždy nad limitem 1500 ppm. V ostatních čtyřiceti třech učebnách s menším počtem žáků byl maximální limit překročen výjimečně (celkem 8x). Vliv fyzické aktivity nebylo možné při žádném měření ověřit. Při hodinách žáci ve většině případů seděli a pracovali v lavicích. V tělocvičnách, ve kterých bylo měření prováděno v letech 2009-2010, sice vyšší fyzická aktivita byla realizovaná, ale vzhledem k větší podlahové ploše a světlé výšce tělocvičen se zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub> neprojevovalo. Pro přesné ověření této hypotézy by bylo nutné měření provádět

za shodných podmínek - buď v jedné stejné učebně, nebo v učebnách o stejné podlahové ploše za přítomnosti různého počtu žáků.

Druhá hypotéza byla plně ověřena. Z měření z let 2016-2017, kdy hodnoty CO<sub>2</sub> byly zaznamenávány v pětiminutových intervalech, bylo možné sestrojít grafy závislosti koncentrace CO<sub>2</sub> na čase. V době vyučovacích hodin, kdy nebyla otevřena okna, křivka koncentrace CO<sub>2</sub> stoupala strměji než při otevření oken do ventilační polohy. V době přestávek při otevření více ventilací nebo plném otevření jednoho a více oken a současném otevření protilehlých dveří došlo k poměrně strmému poklesu koncentrace CO<sub>2</sub>. Ve většině škol stále přetrvává přirozený způsob výměny vzduchu otevřenými okny a je tedy plně závislý na lidském faktoru. Protože při delším pobytu žáků a pedagogů v uzavřeném prostoru dochází k jejich adaptaci na dané prostředí, není spoleh na včasné a dostatečné provětrání učebny v průběhu vyučovacích hodin. Bezpečnostní opatření, spočívající v zákazu otevírání oken během přestávky, rovněž dostatečný přívod čerstvého vzduchu znemožňuje. Pro demonstraci účinnosti průvanového větrání bylo v rámci měření v jedné ze škol provedeno kontrolní měření koncentrace CO<sub>2</sub> v kanceláři ředitele a v jednom kabinetu. V podstatě za shodných podmínek byla experimentálně ověřena rozdílná rychlost poklesu koncentrace CO<sub>2</sub> při otevření jedné ventilace a při současném otevření okna a protilehlých dveří. Výsledek experimentu je popsán v kapitole 9.2. Větrání pomocí VZT jednotek nebylo v měřených školách, kromě jedné, realizováno. V tomto jediném případě však nebylo možné ověřit, zda nucené větrání spínané pomocí čidla koncentrace CO<sub>2</sub>, přispívá ke kvalitnějšímu ovzduší. Hodnoty CO<sub>2</sub> v průběhu celého měření neustále stoupaly, odhalena tak byla závada na zařízení. Nedostatečná výměna vzduchu však mohla být také způsobena poddimenzovaným výkonem VZT jednotky, protože instalace této jednotky byla provedena bez předchozího stavebního souhlasu a bez schválení orgánem ochrany veřejného zdraví (hygienickou službou).

Hypotéza o vlivu zateplení a výměně oken na zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub> byla prokázána. V letech 2016-2017 byla měření prováděna pouze v objektech škol zateplených a s vyměněnými okny. Při tomto měření v učebnách byla zjištěna koncentrace CO<sub>2</sub> vždy nad hodnotou 1500 ppm. Z toho je možné vyvodit závěr, že zateplení a výměna oken negativně ovlivňuje hodnotu koncentrace CO<sub>2</sub>. Z výsledků ostatních měření nebylo možné tuto hypotézu ověřit. Protože měření byla prováděna za běžného provozu, za přítomnosti pedagogů a žáků, za otvírání oken a dveří podle zvyklostí, nebyly podmínky při měření shodné. V každé učebně byl jiný počet otevřených oken a jiný způsob jejich otevření. Některé měřené objekty škol prošly rekonstrukcí, při které byly zatepleny, a byla provedena výměna oken. Ne vždy výměna oken podléhala stavebnímu povolení, takže okna v některých případech byla vybavena systémem mikroventilace, v jiných případech ne. Systém mikroventilace by měl zajistit výměnu vzduchu podobnou infiltraci venkovního vzduchu u netěsných oken. Ne vždy bylo možné zjistit, zda okna učeben tento systém mikroventilace mají.

Poslední hypotéza s předpokladem rozdílné úrovně koncentrace v letním a zimním období byla plně prokázána. Šest měření bylo provedeno v měsících květen a červen, kdy

byla teplota venkovního ovzduší vyšší. Okna učeben byla během vyučovacích hodin i přestávek trvale otevřena minimálně ve ventilační poloze. Přívod čerstvého venkovního vzduchu byl umožněn stále. O přestávkách byl navíc podpořen otevřenými dveřmi z učebny do chodby. Hodnota koncentrace CO<sub>2</sub> kromě jednoho případu nepřekročila doporučenou hodnotu 1000 ppm. Narozdíl od zimního období neměli v letním období pedagogové obavy ze ztráty tepla a ochota otevřít okna nebyla ničím omezena. Při měření v zimním období byly koncentrace často nad doporučeným limitem a některé hodnoty i nad maximálním limitem. V zimním období hraje velkou roli subjektivní pocit chladu a adaptace na oděry, takže otvírání oken není prováděno v ideální míře.

Data zjištěná při měření ve školách Královéhradeckého kraje přinesla informace o špatné kvalitě vnitřního ovzduší. Nedodrženy byly mikroklimatické podmínky, limity prašného aerosolu, MO (CPM, plísni) i CO<sub>2</sub>. Jediným ukazatelem, u něhož zjištěné hodnoty nepřekročily požadovaný limit, byl formaldehyd.

Práce bude využita jako přehled o kvalitě vnitřního ovzduší v učebnách Královéhradeckých škol. Využita by mohla být také pro edukaci ředitelů i pedagogů škol o nutnosti dostatečného větrání a o vhodných způsobech větrání.

# 11 Literatura

## Tištěné monografie a samostatné kapitoly v tištěných monografiích

- Artmann F. 1860. Allgemeine Bemerkungen über Ventilation und die verschiedenen auf die Güte der Luft Einfluss nehmenden Verhältnisse. Carl Bellmann, Praha.
- ASHRAE. 2017. ANSI/ASHRAE Standard 55-2017 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- Bartoňová A. 2011. Účinky znečištění ovzduší Pages 264-279 in Braniš M, Hůnová I, editors. Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší. Karolinum, Praha.
- Braun P, Hlínová Y, Keder J, Kojanová I, Krýsl S, Matoušková L, Modlík M. 2013. Příručka ochrany kvality ovzduší. Sdružení společností IREAS centrum, s.r.o., Praha a Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o., Chrudim.
- Cihelka J. 1985. Vytápění, větrání a klimatizace. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- Fanger PO. 1970. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. Danish technical Press, Copenhagen.
- Ganong WF. 2005. Přehled lékařské fyziologie. Galén, Praha.
- Hack RC. 1989. Ionizing radiation. Pages 24 in Waldron HA, editor. Occupational Health Practice, Third Edition. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Hirš J, Gebauer G. 2005. TZB - VZDUCHOTECHNIKA. MODUL BT02-03 ZÁKLADY MIKROKLIMATU BUDOV. Vysoké učení technické, fakulta stavební, Brno.
- Hraška J. 2017. Pohodové vnútorné prostredie budov. Denné osvetlenie a preslnenie. Tepelná pohoda. Kvalita vnútorného vzduchu. Tribun EU, s.r.o., Brno.
- Hrubý L. 2016. Zpráva o kvalitě vnitřního prostředí na školách. Centrum pasivního domu, Brno.
- Hůnová I, Janoušková S. 2004. Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší. Karolinum, Praha.
- Jokl M. 2002. Zdravé obytné a pracovní prostředí. Academia, Praha.
- Klánová K. 2013. Plísně v domě a bytě: odstraňování a prevence. Grada Publishing a.s., Praha.

- Ministerstvo životního prostředí. 2015. Metodický pokyn pro návrh větrání škol, Ministerstvo životního prostředí, Praha.
- Pišoft P. 2018. Studijní materiály k přednášce AAA70E Kvalita ovzduší. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Pulkrábek J, Cihelka J, Oppl J. 1957. Větrání. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- Salthammer T. 2013. Formaldehyde in the Ambient Atmosphere: From an Indoor Pollutant to an Outdoor Pollutant?. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Smola J. 2011. Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů. Grada Publishing a.s., Praha.
- Stýblo Z. 2010. Nauka o stavbách Školské stavby. České vysoké učení technické, Praha.
- Šubrt R. 2011. Mikroklima ve veřejných budovách jako důvod instalace rekuperace. Energy Consulting Service, s.r.o., České Budějovice.
- World Health Organization. Regional Office for Europe. 2000. The Right to Healthy Indoor Air. Report on a WHO Meeting. WHO, Bilthoven.
- World Health Organization. 2009. Who Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould. WHO Regional Office for Europe, Denmark.
- Zmrhal V. 2014. Větrání rodinných a bytových domů. Grada Publishing, a.s., Praha.

#### **Články v periodikách:**

- Bakó-Biró Z, Clements-Croome DJ, Kochhar N, Awbi HB, Williams MJ. 2012. Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and Environment* **48**:215-223.
- Braniš M, Řezáčová P, Guignon M. 2002. Fine Particles (PM<sub>1</sub>) in Four Different Indoor Environments. *Indoor Built Environment* **11**:184-190.
- Clements-Croome DJ, Awbi HB, Bakó-Biró Z, Kochhar N, Williams M. 2008. Ventilation rates in schools. *Building and Environment* **43**:362-367.
- Cortés-Borda D, Ruiz-Hernández A, Guillén-Gosálbez G, Llop M, Guimerà R, Sales-Pardo M. Identifying strategies for mitigating the global warming impact of the EU-25 economy using a multi-objective input-output approach. *Energy Policy* **77**:21-30.
- Dimitroulopoulou C. 2012. Ventilation in European dwellings: A review. *Building and Environment* **47**:109-125.

- Dina N, Akasah ZA, Razzaly W. 2015. Architectural Evaluation of Thermal Comfort: Sick Building Syndrome Symptoms in Engineering Education Laboratories. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* **204**:19-28.
- Fang L, Clausen G, Fanger PO. 1998. Impact of Temperature and Humidity on the Perception of Indoor Air Quality. *Indoor Air* **8**:80-90.
- Jacobs DE et al. (2015). Moving Into Green Healthy Housing. *Journal of Public Health Management and Practice* **21**:345-354.
- Klein O, Bencko V. 2008. Max Josef von Pettenkofer (1818-1901) - "Velekněz" hygieny. *Hygiena* **53**:143-145.
- Lajčiková A. 2012. Vnitřní prostředí a zdraví. Vytápění, větrání, instalace **21**:234-237.
- Lanz VA et al. 2010. Characterization of aerosol chemical composition with aerosol mass spectrometry in Central Europe: an overview. *Atmospheric Chemistry and Physics* **10**:10453-10471.
- Leech JA, Raizenne M, Gusdorf J. 2004. Health in occupants of energy efficient new homes. *Indoor Air* **14**:169-173.
- Locher WG. 2007. Max von Pettenkofer (1818-1901) as a pioneer of modern hygiene and preventive medicine. *Environmental Health and Preventive Medicine* **12**:238-245.
- Maidment CD, Jones CR, Webb TL, Hathway EA, Gilbertson JM. 2014. The impact of household energy efficiency measures on health: A meta-analysis. *Energy Policy* **65**:583-593.
- Nauš A, Odcházelová E, Uhrová J. 1955. Některé poznatky o vlivu mikroklimatu na výkonnost školní mládeže. *Pedagogika* **07/1955**:547-552.
- Ng L, Persily A, Emmerich SJ. 2015. IAQ and energy impacts of ventilation strategies and building envelope airtightness in a big box retail building. *Building and Environment* **92**:627-634.
- Norhidayah A, Chia-Kuang L, Azhar MK, Nurulwahida S. 2013. Indoor Air Quality and Sick Building Syndrome in Three Selected Buildings. *Procedia Engineering* **53**:93-98.
- Peretti C, Pasut W, Emmi G, De Carli M. 2015. Comfort and Perceived Air Quality in Refurbished Social Houses with Mechanical Ventilation System: The Impact of Occupants Behaviour. *Energy Procedia* **78**:2887-2892.



- Pérez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. 2008. A review on buildings energy consumption information. *Energy and Building* **40**:394-398.
- Redlich CA, Sparer J, Cullen MR. 1997. Sick-building syndrome. *The Lancet* **349**:1013-1016.
- Rosbach JT, Vonk M, Duijm F, Ginkel JT, Gehring U, Brunekreef B. 2013. A ventilation intervention study in classrooms to improve indoor air quality: the FRESH study. *Environmental Health* **12**:110. DOI: 10.1186/1476-069X-12-110.
- Santamouris M, Synnefa A, Assimakopoulos M, Livada I, Pavlou K, Papaglastra M, Gaitani N, Kolokotsa D, Assimakopoulos V. 2008. Experimental investigation of the air flow and indoor carbon dioxide concentration in classrooms with intermittent natural ventilation. *Energy and Buildings* **40**:1833-1843.
- Seo S, Ha WH, Kang JK, Lee D, Park S, Kwon TE, Jin YW. 2019. Health effects of exposure to radon: implications of the radon bed mattress incident in Korea. *Epidemiology and Health* **41**:1-7.
- Sharpe RA, Thornton CR, Nikolaou V, Osborne NJ. 2015. Higher energy efficient homes are associated with increased risk of doctor diagnosed asthma in a UK subpopulation. *Environment International* **75**:234-244.
- Wells EM, Berges M, Metcalf M, Kinsella A, Foreman K, Dearborn DG, Greenberg S. 2015. Indoor air quality and occupant comfort in homes with deep versus conventional energy efficiency renovations. *Building and Environment* **93**:331-338.
- Zhengsheng X, Yanpeng L, Rui L, Wanxin L, Chunlan F, Pengxia L, Jinlong W, Wenke W. 2018. Characteristics of total airborne microbes at various air quality levels. *Journal of Aerosol Science* **116**:57-65.
- Zmrhal V. 2016. Metodický pokyn pro návrh větrání škol. *Větrání a klimatizace* **2/2016**:72-75.

#### **Technické normy a Legislativní dokumenty:**

ČSN 73 0540. 2005. Tepelná ochrana budov. Český normalizační institut, Praha.

Evropský parlament, Rada Evropské unie. 2011. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011 ze dne 9. března 2011, kterým se stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh a kterým se zrušuje směrnice Rady 89/106/EHS (Texts významem pro EHP). The Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Ministerstvo pro místní rozvoj. 2009. Vyhláška č. 268 ze dne 12. srpna 2009 o technických požadavcích na stavby. Pages 3702-3719 in *Sbírka zákonů České republiky, 2009, částka 81*. Česká republika.

Ministerstvo zdravotnictví, Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy, Ministerstvo práce a sociálních věcí. 2005. Vyhláška č. 410 ze dne 4. října 2005 o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých. Pages 7478-7488 in Sběrka zákonů České republiky, 2005, částka 141. Česká republika.

Parlament České republiky. 2000. Zákon č. 258 ze dne 14. července 2000 o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. Pages 3622-3662 in Sběrka zákonů České republiky, 2000, částka 74. Česká republika.

Vláda České republiky. 2007. Nařízení vlády č. 361 ze dne 12. prosince 2007, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. Pages 5086-5229 in Sběrka zákonů České republiky, 2007, částka 111. Česká republika.

### **Webové stránky**

Centrum pasivního domu. 2019. Z čeho postavit pasivní dům a jak ho větrat? Poradí experti Centra pasivního domu! Centrum pasivního domu, Brno. Available from <https://www.ceskestavby.cz/firmy/centrum-pasivniho-domu.html> (accessed February 2020).

Cífrinec I. 2010. Větrání bytových domů - Základy teorie větrání. Topinfo s.r.o., Praha. Available from <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-bytovych-domu/6507-vetrani-bytovych-domu-zaklady-teorie-vetrani> (accessed January 2020).

České vysoké učení technické, Fakulta stavební. Pomocné tabulky. České vysoké učení technické. Available from [tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/62/du1\\_pomocne-tabulky.pdf](https://tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/62/du1_pomocne-tabulky.pdf) (accessed March 2020).

Doležilková. 2006. Bytové větrání ve vztahu k produkci CO<sub>2</sub>, vlhkosti a škodlivin. Topinfo s.r.o., Praha. Available from <https://www.tzb-info.cz/3029-bytove-vetrani-ve-vztahu-k-produkci-co2-vlhkosti-a-skodlivin-i> (accessed January 2020).

Doležilková H. 2010. Kvalita vnějšího a vnitřního vzduchu. Stavební fakulta ČVUT, Praha. Available from: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/6486-kvalita-vnejsiho-a-vnitriho-vzduchu> (accessed January 2020).

Dvořáková P. 2016. Teorie vnitřního prostředí budov: Kvalita vzduchu. ČVUT, Praha. Available from <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125tvnp/prednasky/125tvnp-04.pdf> (accessed March 2020).

Earth System Research Laboratory/Global Monitoring Division (ESRL/GMD). 2020. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Monthly Average Mauna Loa CO<sub>2</sub>. Earth System Research Laboratory/ Global Monitoring Division, Boulder. Available from <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/> (accessed March 2020).

- Kazmarová H, Velická H. 2006. Jsou problémy s formaldehydem minulostí? Aktuální pohled na zdravotní účinky. SZÚ, Praha. Available from [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/konz\\_dny\\_a\\_seminare/2010/08\\_formaldehyd\\_2010.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/konz_dny_a_seminare/2010/08_formaldehyd_2010.pdf) (accessed February 2020).
- Kožíšek F. 2003. Účinky vody s oxidem uhličitým na lidské zdraví. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha. Available from: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bv\\_co2.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bv_co2.pdf) (accessed March 2020).
- Lobdell S. 2019. Live Love Fruit: Black Mold and Mycotoxins. Interllipure, Pulaski. Available from <https://www.intellipure.com/dangers-of-black-mold-and-mycotoxins/> (accessed January 2020).
- Mathauserová Z. 2005. Kvalita vnitřního prostředí v našich předpisech - mikroklima. Státní zdravotní ústav, Praha. Available from: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitni-prostredi/2470-kvalita-vnitriho-prostredi-v-nasich-predpisech-mikroklima> (accessed December 2019).
- Mathauserová Z. 2013. Hygienické požadavky na vnitřní prostředí staveb. Státní zdravotní ústav, Praha. Available from: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitni-prostredi/9595-hygienicke-pozadavky-na-vnitni-prostredi-staveb> (accessed December 2019).
- Mathauserová. 2015. Větrání Vzduchotechnika. Státní zdravotní ústav, Praha. Available from: <https://docplayer.cz/2605894-V-e-t-r-a-n-i-vzduchotechnika-zuzana-mathauserova-statni-zdravotni-ustav-praha.html> (accessed December 2019).
- Mathauserová Z. 2018. Kvalita vnitřního prostředí budov a požadavky naší legislativy. Státní zdravotní ústav, Praha. Available from: <https://www.korado.cz/cs/download/kvalita-vnitriho-prostredi-budov-a-pozadavky-nasi-legislativy.pdf> (accessed December 2019).
- Morávek P/ATREA. 2011. Mikroklima pasivních domů. TZB-info, Praha. Available from: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitni-prostredi/8144-mikroklima-pasivnich-domu> (accessed January 2020).
- Murtinger K. 2013. Pozor na koncentraci CO<sub>2</sub> v domácnosti - správné větrání je základ. Nazeleno.cz. Available from: <https://www.nazeleno.cz/bydleni/vetrani-1/pozor-na-koncentraci-co2-v-domacnosti-spravne-vetrani-je-zaklad.aspx> (accessed February 2020).
- Offord C. 2019. Researchers Discover New Family of Viruses. The Scientist Magazine of The Life Sciences, Midland Ontario. Available from <https://www.the-scientist.com/the-literature/researchers-discover-new-family-of-viruses-66334> (accessed January 2020).
- Radja A, Lavrentovich M. 2019. Nature Prefers Asymmetrical Pollen Grains, Study Finds. The University of Tennessee, Knoxville Available from <https://news.utk.edu/2019/02/12>

- /nature-prefers-asymmetrical-pollen-grains-study-finds/ (accessed January 2020).
- Ritzel G. 1966. Kontrollierte Studie an Kindergartenkindern Einfluss künstlicher Luftbefeuchtung. Condair GmbH, Garching bei München. Available from <https://www.condair.de/medizinische-studien/kontrollierte-studie-an-kindergartenkinder-einfluss-luftbefeuchtung> (accessed February 2020).
- Skeřil R. 2017. Zvětšené částice prachu jsou krásné, ale nezdravé. Co dýchají lidé v Brně, ukáže výstava. Česká televize, Brno. Available from <https://ct24.ceskatelevize.cz/regiony/2227666-zvetsene-castice-prachu-jsou-krasne-ale-nezdrave-co-dychaji-lide-v-brne-ukaze> (accessed January 2020).
- Skeřil R. 2017. Co je to za prach to PM10 a PM 2,5? Skeřil, Brno Available from <http://www.ovzdusi-brno-jm.cz/index.php/2017/07/20/co-je-to-za-prach-to-pm10-a-pm25/> (accessed January 2020).
- Státní ústav radiační ochrany, v.v.i. 2009. Přírodní radioaktivita a problematika radonu. Státní ústav radiační ochrany, v.v.i., Praha. Available from: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz> (accessed February 2020).
- Státní úřad pro jadernou bezpečnost. 2016. Radonový program ČR. Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Praha. Available from <https://www.radonovyprogram.cz/uvodni-strana/> (accessed February 2020).
- Státní zdravotní ústav. 2015. Indoor - Základní faktory ovlivňující kvalitu vnitřního prostředí. Státní zdravotní ústav, Praha Available from [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/Vnitri\\_ovzdusi/indoor\\_Zakladni\\_faktory\\_ovlivnujici\\_kvalitu\\_vnitrnihoprostredi\\_4\\_.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/Vnitri_ovzdusi/indoor_Zakladni_faktory_ovlivnujici_kvalitu_vnitrnihoprostredi_4_.pdf) (accessed January 2020).
- Tempeco.cz. 2013. Větrání s rekuperací tepla. Český kůtil, Praha. Available from <https://www.ceskykutil.cz/clanek-12877-vetrani-s-rekuperaci-tepla> (accessed January 2020).
- World Health Organization. 2018. WHO "priority pathogens" list: The most dangerous bacteria in the world. Hygiene in Practice. Available from <https://www.hygiene-in-practice.com/publication/who-priority-pathogens-list-the-most-dangerous-bacteria-in-the-world/> (accessed January 2020).
- Zeldovich L. 2017. A holiday Guest Is Leaving Dangerous Poop in Your Couch. Nautilus, New York. Available from <http://nautil.us/blog/-a-holiday-guest-is-leaving-dangerous-poop-in-your-couch> (accessed January 2020).

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Pasivní dům (Centrum pasivního domu 2019).....	16
Obrázek 2: Průměrné podíly jednotlivých složek na stavu interního mikroklimatu.....	22
Obrázek 3: Procento přežívajících mikroorganismů ve vzduchu v závislosti na vzrůstající vlhkosti vzduchu (Jokl 2002).....	25
Obrázek 4: Zdroje nepříjemných odérů v interiéru (Jokl 2002).....	27
Obrázek 5: Zdroje příjemných odérů v interiéru (Jokl 2002).....	28
Obrázek 6: Cesty průniku radonu do objektu a jeho průchod objektem (Jokl 2002).....	33
Obrázek 7: Citlivost tělních orgánů k ionizujícímu záření (Jokl 2002).....	34
Obrázek 8: Prachové částice (Skeřil 2017).....	35
Obrázek 9: Průnik aerosolu do plic (Skeřil 2017).....	36
Obrázek 10: Plíseň (Lobdell 2019).....	37
Obrázek 11: Pylové částice (Radja& Lavrentovich 2019).....	37
Obrázek 12: Roztoči a výkaly roztočů (Zeldovich 2017).....	38
Obrázek 13: Viry (Offord 2019).....	38
Obrázek 14: Bakterie (WHO 2018).....	38
Obrázek 15: Přírozené větrání infiltrací/exfiltrací (Cifrinec 2010).....	44
Obrázek 16: Šachtové větrání (Cifrinec 2010).....	45
Obrázek 17: Šachtové větrání s větrací hlavici (Cifrinec 2010).....	45
Obrázek 18: Šachtové větrání s rotační hlavici (Cifrinec 2010).....	45
Obrázek 19: Rekuperační jednotka (Tempeco.cz 2013).....	46
Obrázek 20: Graf procentuálního zastoupení nevyhovujících výsledků podle jednotlivých ukazatelů kvality ovzduší.....	54
Obrázek 21: Graf výsledků měření koncentrací oxidu uhličitého v jednotlivých učebnách školských zařízení.....	57
Obrázek 22: Graf procentuálního zastoupení nevyhovujících výsledků podle jednotlivých ukazatelů kvality ovzduší při měřeních v letech 2016-2017.....	58
Obrázek 23: Graf rozdílu rychlosti poklesu koncentrace CO <sub>2</sub> při otevření 1 ventilace v ředitelně a při současném plném otevření loka a protilehlých dveří v kabinetu.....	68
Obrázek 24: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1.....	XXXV
Obrázek 25: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2.....	XXXV
Obrázek 26: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1.....	XXXVIII
Obrázek 27: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2.....	XXXVIII
Obrázek 28: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 ZŠ Školská, Nechanice.....	XLI
Obrázek 29: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 ZŠ Školská, Nechanice.....	XLI
Obrázek 30: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 ZŠ F. Kupky, Dobruška.....	XLIV
Obrázek 31: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 ZŠ F. Kupky, Dobruška.....	XLIV
Obrázek 32: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 SŠ Pulická, Dobruška.....	XLVII
Obrázek 33: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 SŠ Pulická, Dobruška.....	XLVII
Obrázek 34: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 ZŠ Školní, Vrchlabí.....	L
Obrázek 35: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v tělocvičně ZŠ Školní, Vrchlabí.....	L
Obrázek 36: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 ZŠ Radvanice.....	LIII
Obrázek 37: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 ZŠ Radvanice.....	LIII
Obrázek 38: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 ZŠ Železnická, Jičín.....	LVI

Obrázek 39: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 ZŠ Železnická, Jičín ..	LVI
Obrázek 40: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 ZŠ Masarykova, Železnice .....	LIX
Obrázek 41: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 ZŠ Masarykova, Železnice .....	LIX
Obrázek 42: Graf počtu hodnot koncentrací CO <sub>2</sub> pod a nad limity 1000 ppm a 1500 ppm	LXX
Obrázek 43: Graf změny hodnot CO <sub>2</sub> mezi 1. a 2. měřením.....	LXX
Obrázek 44: Graf změny hodnot CO <sub>2</sub> mezi 1. a 2. měřením.....	LXXI
Obrázek 45: Graf počtu hodnot koncentrací CO <sub>2</sub> pod a nad limity 1000 ppm a 1500 ppm .....	LXXIX
Obrázek 46: Graf změny hodnot CO <sub>2</sub> mezi 1. a 2. měřením.....	LXXX
Obrázek 47: Graf změny hodnot CO <sub>2</sub> mezi 1. a 2. měřením.....	LXXX
Obrázek 48: Výhled z okna na okolí školy (ZŠ Radvanice) .....	LXXXI
Obrázek 49: Měření kvality vnitřního ovzduší v učebně .....	LXXXI
Obrázek 50: Měření kvality ovzduší v tělocvičně .....	LXXXII
Obrázek 51: Přístroje na měření kvality ovzduší .....	LXXXII
Obrázek 52: Zápis v průběhu měření (čas, koncentrace CO <sub>2</sub> , relativní vlhkost, teplota vzduchu, rychlost proudění vzduchu, počet přítomných osob, D - otevření dveří, O/V - otevření oken/ventilací) .....	LXXXIII
Obrázek 53: Měření prašného aerosolu .....	LXXXIII
Obrázek 54: Odběr vzorku vzduchu pro stanovení MO .....	LXXXIV
Obrázek 55: Přístroj TESTO se sondou na měření teploty .....	LXXXIV
Obrázek 57: Přístroj TESTO se sondou .....	LXXXV
Obrázek 56: Vernon-Joklův kulový teploměr .....	LXXXV

## Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Vybrané účinky znečištění na zdraví (podle WHO),</i>	20
<i>Tabulka 2: Minimální množství venkovního vzduchu (MŽP 2015)</i>	41
<i>Tabulka 3: Produkce CO<sub>2</sub> člověkem při různé aktivitě (upraveno podle ČVUT, Fakulta stavební)</i>	41
<i>Tabulka 4: Účinky CO<sub>2</sub> na lidský organismus (upraveno podle Mathauserové 2013)</i>	43
<i>Tabulka 5: Množství přiváděného čerstvého vzduchu</i>	48
<i>Tabulka 6: Celoročně přípustné průměrné hodnoty parametrů mikroklimatických podmínek (upraveno podle vyhlášky č. 410/2005 Sb.)</i>	48
<i>Tabulka 7: Limitní hodinové koncentrace chemických ukazatelů a prachu</i>	49
<i>Tabulka 8: Souhrnné výsledky měření kvality ovzduší ve vybraných školských zařízeních v letech 2009-2010.</i>	55
<i>Tabulka 9: Souhrnné výsledky měření kvality ovzduší ve vybraných školských zařízeních v letech 2016-2017</i>	58
<i>Tabulka 10: Naměřené hodnoty teploty vzduchu a koncentrace CO<sub>2</sub> ve vybraných ZŠ</i>	62
<i>Tabulka 11: Naměřené hodnoty teploty vzduchu a koncentrace CO<sub>2</sub> ve vybraných ZŠ</i>	63
<i>Tabulka 12: Koncentrace formaldehydu ve dvou učebnách a v tělocvičně</i>	II
<i>Tabulka 13: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách a v tělocvičně</i>	III
<i>Tabulka 14: Hodnoty koncentrací frakcí prachu a oxidu uhličitého ve dvou učebnách</i>	IV
<i>Tabulka 15: Koncentrace formaldehydu ve dvou učebnách a ve sportovní hale</i>	VI
<i>Tabulka 16: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách a ve sportovní hale</i>	VII
<i>Tabulka 17: Hodnoty koncentrací frakcí prachu a oxidu uhličitého ve dvou učebnách</i>	VIII
<i>Tabulka 18: Koncentrace formaldehydu ve dvou učebnách a v tělocvičně</i>	X
<i>Tabulka 19: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách a v tělocvičně</i>	XI
<i>Tabulka 20: Hodnoty koncentrací frakcí prachu a oxidu uhličitého ve dvou učebnách</i>	XII
<i>Tabulka 21: Koncentrace formaldehydu ve dvou učebnách a v tělocvičně</i>	XIV
<i>Tabulka 22: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách a v tělocvičně</i>	XV
<i>Tabulka 23: Hodnoty koncentrací frakcí prachu a oxidu uhličitého ve dvou učebnách</i>	XVI
<i>Tabulka 24: Koncentrace formaldehydu ve dvou učebnách a v tělocvičně</i>	XVIII
<i>Tabulka 25: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách a v tělocvičně</i>	XIX
<i>Tabulka 26: Hodnoty koncentrací frakcí prachu a oxidu uhličitého ve dvou učebnách</i>	XX
<i>Tabulka 27: Koncentrace formaldehydu ve dvou učebnách a v tělocvičně</i>	XXII
<i>Tabulka 28: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách a v tělocvičně</i>	XXIII
<i>Tabulka 29: Hodnoty koncentrací frakcí prachu a oxidu uhličitého ve dvou učebnách</i>	XXIV
<i>Tabulka 30: Koncentrace formaldehydu ve dvou učebnách a v tělocvičně</i>	XXVI
<i>Tabulka 31: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách a v tělocvičně</i>	XXVII
<i>Tabulka 32: Hodnoty koncentrací frakcí prachu a oxidu uhličitého ZŠ V Domcích, Trutnov</i>	XXVIII
<i>Tabulka 33: Koncentrace formaldehydu ve dvou učebnách a v tělocvičně</i>	XXX
<i>Tabulka 34: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách a v tělocvičně</i>	XXXI
<i>Tabulka 35: Hodnoty koncentrací frakcí prachu a oxidu uhličitého ve dvou učebnách</i>	XXXII
<i>Tabulka 36: Koncentrace mikrobiálního znečištění ve dvou učebnách SPŠ, Hradec Králové</i>	XXXIII
<i>Tabulka 37: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách SPŠ, Hradec Králové</i>	XXXIV
<i>Tabulka 38: Koncentrace frakcí prachu ve dvou učebnách SPŠ, Hradec Králové</i>	XXXIV
<i>Tabulka 39: Koncentrace mikrobiálního znečištění ve dvou učebnách</i>	XXXVI
<i>Tabulka 40: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách</i>	XXXVII
<i>Tabulka 41: Koncentrace frakcí prachu ve dvou učebnách ZŠ Habrmanova, Hradec Králové</i>	XXXVII

<i>Tabulka 42: Koncentrace mikrobiálního znečištění ve dvou učebnách ZŠ Školská, Nechanice</i>	XXXIX
<i>Tabulka 43: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách ZŠ Školská, Nechanice</i>	XL
<i>Tabulka 44: Koncentrace frakcí prachu ve dvou učebnách ZŠ Školská, Nechanice</i>	XL
<i>Tabulka 45: Koncentrace mikrobiálního znečištění ve dvou učebnách ZŠ F. Kupky, Dobruška</i>	XLII
<i>Tabulka 46: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách ZŠ F. Kupky, Dobruška</i>	XLIII
<i>Tabulka 47: Koncentrace frakcí prachu ve dvou učebnách ZŠ F. Kupky, Dobruška</i>	XLIII
<i>Tabulka 48: Koncentrace mikrobiálního znečištění ve dvou učebnách SŠ Pulická, Dobruška</i>	XLV
<i>Tabulka 49: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách SŠ Pulická, Dobruška</i>	XLVI
<i>Tabulka 50: Koncentrace frakcí prachu ve dvou učebnách SŠ Pulická, Dobruška</i>	XLVI
<i>Tabulka 51: Koncentrace mikrobiálního znečištění v učebně a v tělocvičně</i>	XLVIII
<i>Tabulka 52: Hodnoty mikroklimatických podmínek v učebně a tělocvičně ZŠ Školní, Vrchlabí</i>	XLIX
<i>Tabulka 53: Koncentrace frakcí prachu v učebně a v tělocvičně ZŠ Školní, Vrchlabí</i>	XLIX
<i>Tabulka 54: Koncentrace mikrobiálního znečištění ve dvou učebnách ZŠ Radvanice</i>	LI
<i>Tabulka 55: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách ZŠ Radvanice</i>	LII
<i>Tabulka 56: Koncentrace frakcí prachu ve dvou učebnách ZŠ Radvanice</i>	LII
<i>Tabulka 57: Koncentrace mikrobiálního znečištění ve dvou učebnách ZŠ Železnická, Jičín</i>	LIV
<i>Tabulka 58: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách ZŠ Železnická, Jičín</i>	LV
<i>Tabulka 59: Koncentrace frakcí prachu ve dvou učebnách ZŠ Železnická, Jičín</i>	LV
<i>Tabulka 60: Koncentrace mikrobiálního znečištění ve dvou učebnách</i>	LVII
<i>Tabulka 61: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách</i>	LVIII
<i>Tabulka 62: Koncentrace frakcí prachu ve dvou učebnách ZŠ Masarykova, Železnice</i>	LVIII
<i>Tabulka 63: Naměřené hodnoty teploty vzduchu a koncentrace CO<sub>2</sub></i>	LXVIII
<i>Tabulka 64: Naměřené hodnoty teploty vzduchu a koncentrace CO<sub>2</sub></i>	LXXVII



## 12 Seznam použitých zkratk a symbolů

ANSI	American National Standards Institute - Americký národní standardizační institut
apod.	a podobně
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - profesní sdružení všech subjektů v USA činných v oboru výroby topných, chladicích, větracích a klimatizačních systémů
atd.	a tak dál
Bq	Becquerel - jednotka intenzity záření zdroje radioaktivního záření
CO	oxid uhelnatý
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
CPM	celkový počet mikroorganismů
ČR	Česká republika
ČVUT	České vysoké učení technické
DCV	Demand Control Ventilation - Systém řízené ventilace
EU	Evropská unie
KHS	Krajská hygienická stanice
m <sup>3</sup>	metr krychlový
max.	maximální
min.	minimální
MO	mikroorganismy
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
např.	například
NO <sub>x</sub>	oxidy dusíku
NO <sub>2</sub>	oxid dusnatý
O <sub>2</sub>	kyslík
PAU	Polycyklické aromatické (Polyaromatické) uhlovodíky
PM	Particulate matter - pevné (prachové) částice
PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>1</sub> , PM <sub>0,1</sub>	prachové částice frakce do 10 μm, 2,5 μm, 1 μm, 0,1 μm
ppm	Parts per milion - (počet) částic na jeden milion
r <sub>h</sub>	relativní vlhkost vzduchu
Rn <sup>222</sup>	radon
SBS	Sick Building Syndroms - Syndrom nemocných budov
SO <sub>x</sub>	oxidy síry
SO <sub>2</sub>	oxid siřičitý
SOP	Standard Operating Procedure - Standardní pracovní postup
SZÚ	Státní zdravotní ústav
TAM	Total Airborne Microbe - Celkové vzdušné mikroby
tj.	to je
t <sub>g</sub>	výsledná teplota vzduchu
t <sub>o</sub>	operativní teplota vzduchu
t <sub>a</sub>	teplota vzduchu
TZB	Technická zařízení budov

tzn.	to znamená
$v_a$	rychlost proudění vzduchu
VOC	Volatile organic compound - Těkavá organická látka
VZT	vzduchotechnická
WHO	World Health Organization - Světová zdravotnická organizace
ZL	znečišťující látky
ZŠ	základní škola
ZÚ	Zdravotní ústav
%	procento

## 13 Samostatné přílohy

### 13.1 Příloha 1 - měření v letech 2009 a 2010

#### **1. škola:** ZŠ Štefánikova 566, Hradec Králové

ZŠ je situovaná v rozlehlém školním areálu, ze tří stran je areál obklopen bytovou výstavbou, čtvrtou stranou sousedí s parkem, místní komunikace je vzdálená cca 220 m

učebna 1: 9. ročník

umístění: 1. NP

popis učebny: podlahová plocha 66 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 3,2 m  
podlaha kryta PVC

1 stěna opatřena do výšky 2 m textilním kobercem

vytápění: ústřední teplovodní - 3 radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené - 3 okna v JV stěně, opatřená žaluziemi a záclonami  
dveře ve stěně protilehlé oknům

učebna 2: 4. ročník

umístění: 1. NP

popis učebny: podlahová plocha 68 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 3,2 m  
podlaha kryta PVC

1 stěna opatřena rákosovou rohoží

vytápění: ústřední teplovodní - 3 radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené - 3 okna v JV stěně, opatřená žaluziemi, 1 okno textilním závěsem  
dveře ve stěně protilehlé oknům

#### tělocvična:

umístění: 1. NP

popis tělocvičny: podlahová plocha 174 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 5,9 m  
podlaha dřevěná

1 delší stěna opatřena do výšky cca 1,3 m dřevěným obložením, 2 kratší stěny obloženy deskami z kabřince, na stropě dřevěný obklad

vytápění: ústřední teplovodní - 15 radiátorů umístěných za dřevěným obložením

větrání: přirozené - okna po celé délce JV stěny (parapet ve výšce cca 1,3 m nad podlahou), v protilehlé stěně pod stropem 4 osmidílná okna (parapet ve výšce cca 4 m nad podlahou)

dveře vedoucí do chodby, bez nucené výměny vzduchu

#### **podmínky při měření**

**učebna 1:** měření během 2 vyučovacích hodin (VH) (1. a 2. VH) včetně přestávky mezi hodinami, při běžné výuce

1. VH: matematika

přítomno: 24 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření

aktivita: žáci pracovali v lavicích nebo individuálně docházeli k tabuli

*větrání:* po celou dobu VH částečně otevřené 1 okno  
*přestávka:* okna zavřená, dveře otevřené  
**2. VH:** český jazyk  
*přítomno:* 24 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření  
*aktivita:* žáci pracovali v lavicích nebo individuálně docházeli k tabuli  
*větrání:* po celou dobu částečně otevřená 1 až 2 okna, střídavě otevírané a zavírané dveře

**učebna 2:** měření během 2 vyučovacích hodin (3. a 4. VH) včetně přestávky mezi hodinami, při běžné výuce

**3. VH:** vlastivěda  
*přítomno:* 19 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření  
*aktivita:* žáci pracovali v lavicích nebo se individuálně pohybovali po učebně a cvičili  
*větrání:* po celou dobu VH částečně otevřená 2 okna  
*přestávka:* 1 okno a dveře otevřené  
**4. VH:** český jazyk  
*přítomno:* 19 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření  
*aktivita:* žáci pracovali v lavicích nebo se individuálně pohybovali po učebně a cvičili  
*větrání:* po celou dobu otevřená 1 až 2 okna, dveře zavřené

**tělocvična:** měření během 2 vyučovacích hodin (5. a 6. VH) včetně přestávky mezi hodinami, při běžné výuce

**5. (VH):** tělesná výchova  
*přítomno:* 13 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření  
*aktivita:* žáci hráli míčové hry  
*větrání:* po celou dobu VH částečně otevřená 2 okna  
*přestávka:* přítomny pouze osoby provádějící měření, otevřené dveře  
**6. VH:** tělesná výchova  
*přítomno:* 15 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření  
*aktivita:* žáci cvičili na náradí, hráli floorball  
*větrání:* po celou dobu otevřená 1 až 2 okna, dveře zavřené

Tabulka 12: Koncentrace formaldehydu ve dvou učebnách a v tělocvičně  
 ZŠ Štefánikova, Hradec Králové

ZŠ Štefánikova 566, Hradec Králové - koncentrace formaldehydu		
	Naměřené hodnoty	Průměrná hodnota
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
limit	60	
1.učebna (číslo dveří 56, 9.A)	10,9	9,8
	8,7	
2.učebna (číslo dveří 2, 4.C)	13,6	13,55
	13,5	
velká tělocvična	12,3	13,85

	15,4	
exteriér	6,7	

Tabulka 13: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách a v tělocvičně  
ZŠ Štefánikova 566, Hradec Králové

ZŠ Štefánikova 566, Hradec Králové - 1. učebna (číslo dveří 56, 9. A)						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				20-24	30-65	0,1-0,2
8.00	22,5	22,0	21,0	21,9	39,0	0,04
8.30	23,5	22,5	21,5	22,5	42,0	0,02
9.00	21,5	21,0	19,5	20,8	38,0	0,06
9.30	23,0	22,0	21,0	22,0	37,0	0,04
průměr	22,6	21,9	20,8	21,8	39,0	0,04
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 1,8 °C						

ZŠ Štefánikova 566, Hradec Králové - 2. učebna (číslo dveří 2, 4. C)						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				20-24	30-65	0,1-0,2
10.00	23,0	22,5	22,0	22,5	45,0	0,04
10.30	22,5	22,5	21,5	22,3	47,0	0,06
11.00	22,0	21,5	20,5	21,4	46,0	0,05
11.30	22,0	21,5	20,5	21,4	44,0	0,04
průměr	22,4	22,0	21,1	21,9	46,0	0,05
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 1,3 °C						

ZŠ Štefánikova 566, Hradec Králové - velká tělocvična						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				18-22	30-65	0,1-0,2
12.00	20,0	20,0	20,0	20,0	38,0	0,08
12.30	20,0	20,0	20,0	20,0	42,0	0,08
13.00	19,5	20,0	19,5	19,8	40,0	0,10
13.30	20,0	20,0	20,0	20,0	46,0	0,11
průměr	19,9	20,0	19,9	20,0	42,0	0,09
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 0,0 °C						

Tabulka 14: Hodnoty koncentrací frakcí prachu a oxidu uhličitého ve dvou učebnách a v tělocvičně ZŠ Štefánikova 566, Hradec Králové

<b>ZŠ Štefánikova 566, HK - 1. učebna (číslo dveří 56, 9. A) - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
1. vyučovací hodina	67	40	31	0,089
přestávka	83	41	30	0,079
2. vyučovací hodina	45	34	29	0,089

<b>ZŠ Štefánikova 566, HK - 2. učebna (číslo dveří 2, 4.C) - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
1. vyučovací hodina	271	99	27	0,194
přestávka	207	84	38	0,139
2. vyučovací hodina	179	76	35	0,125

<b>ZŠ Štefánikova 566, Hradec Králové - velká tělocvična - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
1. vyučovací hodina	138	55	29	0,069
přestávka	121	54	29	0,072
2. vyučovací hodina	135	53	28	0,072

## **2. škola: ZŠ Pražská 198, Hradec Králové**

ZŠ je situovaná v okrajové části města, jednou stranou přiléhá k frekventované komunikaci (vzdálenost cca 10 m), z druhé strany sousedí s bytovou zástavbou, na třetí straně je školní hřiště, na čtvrté straně jsou louky.

**učebna 1:** 2. ročník

**popis učebny:** podlahová plocha 63 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 3,25 m

podlaha kryta dřevěnými parketami, uprostřed učebny koberec, před tabulí PVC

stěny do výšky cca 160 cm opatřeny olejovým nátěrem

**vytápění:** ústřední teplovodní - 3 článkové radiátory umístěné pod okny

**větrání:** přirozené - 3 dřevěná trojdílná okna se 2 ventilacemi pod každým oknem, opatřená mezi skly hliníkovými žaluziemi, bez záclon  
dveře ve stěně protilehlé oknům

**učebna 2:** 7. ročník

**popis učebny:** podlahová plocha 74 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 4,0 m

podlaha kryta PVC

stěny opatřeny do výšky cca 160 cm olejovým nátěrem

**vytápění:** ústřední teplovodní - 4 článkové radiátory umístěné pod okny

**větrání:** přirozené - 4 dřevěná dvoudílná špaletová okna s ventilací nad každým oknem, opatřená záclonami před ventilacemi  
dveře ve stěně protilehlé oknům

**tělocvična:**

**popis tělocvičny:** podlahová plocha 1056 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 8 m

podlaha - lakované parkety

všechny stěny opatřeny do výšky cca 2 m dřevěným obložením

**vytápění:** ústřední teplovodní - článkové radiátory

**větrání:** přirozené - okna po celé délce obou delších stěn, vyplněná dutinkovým polykarbonátem, možnost zastínění lehkými závěsy  
dveře vedoucí do chodby, bez nucené výměny vzduchu

### **podmínky při měření**

**učebna 1:** měření během 2 vyučovacích hodin (1. a 2. VH) včetně přestávky mezi hodinami, při běžné výuce

**1. VH:** český jazyk

**přítomno:** 16 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření

**aktivita:** 10 min po začátku hodiny žáci seděli na koberci, dalších 10 minut pracovali v lavicích, dalších 5 minut seděli na koberci, posledních 20 minut pracovali v lavicích nebo individuálně docházeli k tabuli

**větrání:** 20 minut všechna okna zavřená, 15 minut otevřená 1 ventilace, 10 minut otevřené 2 ventilace

**přestávka:** okna zavřená, dveře otevřené, větší pohyb žáků po třídě

- 2. VH:** matematika  
**přítomno:** 16 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření  
**aktivita:** žáci pracovali v lavicích  
**větrání:** po celou dobu otevřená 1 ventilace  
**učebna 2:** měření během 2 vyučovacích hodin (3. a 4. VH) včetně přestávky mezi hodinami, při běžné výuce
- 3. VH:** zeměpis  
**přítomno:** 25 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření  
**aktivita:** žáci pracovali v lavicích  
**větrání:** po celou dobu okna zavřená, 5 minut před koncem VH minutové vyvětrání otevřením obou křídel jednoho okna  
**přestávka:** dveře otevřené, větší pohyb žáků po učebně
- 4. VH:** anglický jazyk  
**přítomno:** 13 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření  
**aktivita:** žáci pracovali v lavicích  
**větrání:** 15 minut otevřené vždy 1 křídlo u 2 oken, dalších 10 minut otevřeno 1 křídlo 1 okna, zbytek VH okna zavřená
- tělocvična:** měření během 2 vyučovacích hodin (5. a 6. VH) včetně přestávky mezi hodinami, při běžné výuce
- 5. (VH):** tělesná výchova  
**přítomno:** 25 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření  
**aktivita:** na jedné polovině učebny žáci skákali do výšky, na druhé polovině hráli fotbal  
**větrání:** po celou dobu okna i dveře zavřené  
**přestávka:** přítomny pouze osoby provádějící měření, otevřené dveře
- 6. VH:** tělesná výchova  
**přítomno:** 19 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření  
**aktivita:** na jedné polovině učebny žáci skákali do výšky, na druhé polovině hráli fotbal  
**větrání:** po celou dobu okna i dveře zavřené

Tabulka 15: Koncentrace formaldehydu ve dvou učebnách a ve sportovní hale  
 ZŠ Pražská, Hradec Králové

ZŠ Pražská 198, Hradec Králové - koncentrace formaldehydu		
	Naměřené hodnoty	Průměrná hodnota
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
limit	60	
1.učebna (2.B)	10,6	12,2
	13,8	
2.učebna (7.B)	8,9	8,65
	8,4	
sportovní hala	10,4	12,7
	15,0	
exteriér	5,3	



Tabulka 16: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách a ve sportovní hale  
ZŠ Pražská, Hradec Králové

<b>ZŠ Pražská 198, Hradec Králové - 1. učebna (2. B)</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				20-24	30-65	0,1-0,2
8.00	20,0	19,8	19,2	19,7	36,0	0,10
8.30	21,0	20,7	20,5	20,7	42,0	0,07
9.00	20,6	20,6	20,0	20,5	38,0	0,09
9.30	20,6	21,0	20,5	20,8	40,0	0,08
průměr	20,6	20,5	20,1	20,4	39,0	0,09
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 0,5 °C						

<b>ZŠ Pražská 198, Hradec Králové - 2. učebna (7. B)</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				20-24	30-65	0,1-0,2
10.05	20,0	20,0	19,0	19,8	43,0	0,07
10.35	22,6	22,5	20,5	22,0	45,0	0,08
11.05	21,8	20,9	18,5	20,5	32,0	0,09
11.35	21,8	21,6	19,2	21,1	36,0	0,08
průměr	21,6	21,3	19,3	20,9	39,0	0,08
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 2,3 °C						

<b>ZŠ Pražská 198, Hradec Králové - sportovní hala</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				18-22	30-65	0,1-0,2
12.00	21,2	21,1	20,3	20,9	34,0	0,08
12.30	21,9	21,8	20,8	21,6	34,0	0,08
13.00	22,6	22,4	21,2	22,2	34,0	0,13
13.30	22,5	23,0	21,9	22,6	35,0	0,11
průměr	22,1	22,1	21,1	21,8	34,0	0,10
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 1,0 °C						

Tabulka 17: Hodnoty koncentrací frakcí prachu a oxidu uhličitého ve dvou učebnách a ve sportovní hale ZŠ Pražská, Hradec Králové

<b>ZŠ Pražská 198, Hradec Králové - 1. učebna (2. B) - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
1. vyučovací hodina	187	52	17	0,128
přestávka	141	44	14	0,140
2. vyučovací hodina	106	34	12	0,139

<b>ZŠ Pražská 198, Hradec Králové - 2. učebna (7. B) - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
3. vyučovací hodina	108	34	9	0,192
přestávka	141	41	11	0,206
4. vyučovací hodina	48	22	13	0,107

<b>ZŠ Pražská 198, Hradec Králové - sportovní hala - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
5. vyučovací hodina	90	27	9	0,086
přestávka	66	25	9	0,087
6. vyučovací hodina	77	26	9	0,089

### **3. škola: ZŠ Javornická 1596, Rychnov nad Kněžnou**

ZŠ je situovaná v okrajové části města, v okolí je panelová zástavba a rodinné domy. Jednou stranou přiléhá k frekventované komunikaci (vzdálenost cca 10 m).

učebna 1: 6. ročník

umístění: 2. NP

popis učebny: podlahová plocha 55 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 3,10 m

podlaha kryta PVC

stěny vymalované

vytápění: ústřední teplovodní – 2 deskové radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené – 2 čtyřdílná plastová okna s izolačním dvojsklem, možnost

ventilační polohy, vybavená vertikálními žaluziemi

dveře v protilehlé stěně

učebna 2: 1. ročník

umístění: 1. NP

popis učebny: podlahová plocha 55 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 3,3 m

podlaha kryta PVC, v zadní části učebny kobercem

stěny vymalované

vytápění: ústřední teplovodní – 2 deskové radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené - 2 čtyřdílná plastová okna s izolačním dvojsklem, možnost

ventilační polohy, vybavená vertikálními žaluziemi

dveře v protilehlé stěně

tělocvična:

umístění: 1. NP

popis tělocvičny: podlahová plocha 375 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 7,0 m

podlaha - dřevěná palubovka

všechny stěny obložené do výšky cca 3 m dřevěným obložením

vytápění: ústřední teplovodní – 8 deskových radiátorů podél obou delších stěn za

dřevěným obložením

větrání: přirozené - okna po celé délce obou delších stěn, s možností ventilační polohy,

2 dveře do vstupní chodby, nucené větrání - 2 ventilátory

### **podmínky při měření**

**učebna 1:** měření během 2 vyučovacích hodin (1. a 2. VH, 8.00–9.40 hod.) včetně přestávky mezi hodinami, při běžné výuce

1. VH: 8.00–8.45 hod, geometrie

přítomno: 16 žáků 6. ročníku, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření

aktivita: 15 min od začátku hodiny při výkladu vždy jeden žák u tabule, ostatní žáci seděli v lavicích, zbytek hodiny všichni procvičovali látku v lavicích

větrání: 8.28–8.55 hod otevřeny 2 ventilace, 8.38–8.45 hod otevřeny dveře

přestávka: okna zavřená, dveře otevřené, větší pohyb žáků po třídě

2. VH: 8.55–9.40 hod, matematika

- přítomno:* 23 žáků 7. ročníku, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření  
*aktivita:* žáci pracovali v lavicích, 1 žák vždy u tabule  
*větrání:* 8.55–9.06 hod otevřeny 3 ventilace  
**učebna 2:** měření během 2 vyučovacích hodin (3. a 4. VH, 10.00–11.40 hod) včetně přestávků mezi hodinami, při běžné výuce  
**3. VH:** 10.00–10.45 hod, výtvarná výchova  
*přítomno:* 18 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření  
*aktivita:* žáci malovali v lavicích, od 10.30 hod. postupně představovali své práce u tabule a odevzdávali je, následoval úklid pomůcek  
*větrání:* 10.00–10.18 hod otevřeny 2 ventilace, 10.18–10.45 hod otevřeny 3 ventilace  
*přestávka:* otevřeny 2 ventilace a dveře, větší pohyb žáků po učebně  
**4. VH:** 10.55–11.40 hod, český jazyk  
*přítomno:* 18 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření  
*aktivita:* rozvíčka, poté žáci pracovali v lavicích – společné čtení, 11.17–11.19 hod žáci hráli u tabule pohádku, poté pracovali v lavicích  
*větrání:* 10.55–11.10 hod otevřeny 2 ventilace, 11.10–11.40 hod otevřeny 3 ventilace
- tělocvična:** měření během 2 vyučovacích hodin (5. a 6. VH 11.55–13.35 hod)  
**5. a 6. VH:** tělesná výchova  
*přítomno:* 18 žáků 9. ročníku (z toho 2 necvičící), 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření  
*aktivita:* nástup, rozvíčka, rozvíčovací hry, od 12.14 hod nácvik basketbalových technik a různé soutěže  
*větrání:* po celou dobu okna zavřená, otevřeny dveře na chodbu

*Tabulka 18: Koncentrace formaldehydu ve dvou učebnách a v tělocvičně  
 ZŠ Javornická, Rychnov nad Kněžnou*

ZŠ Javornická 1596, Rychnov n. K. - koncentrace formaldehydu		
	Naměřené hodnoty	Průměrná hodnota
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
limit	60	
1.učebna (číslo dveří 2067, 6.A)	15,4	16,6
	17,8	
2.učebna (číslo dveří 1042, 1.D)	7,7	10,6
	13,5	
tělocvična (číslo dveří 1020)	11,0	11,95
	12,9	
exteriér	6,1	

Tabulka 19: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách a v tělocvičně  
ZŠ Javornická, Rychnov nad Kněžnou

<b>ZŠ Javornická 1596, Rychnov n. K. - 1. učebna (číslo dveří 2067, 6. A)</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				20-24	30-65	0,1-0,2
8.00	20,5	20,5	20,3	20,5	47,5	0,03
8.30	22,1	22,1	21,4	21,9	43,5	0,00
9.00	21,5	21,9	21,0	21,6	33,9	0,00
9.30	21,9	22,0	21,1	21,8	34,6	0,01
průměr	21,5	21,6	21,0	21,4	39,9	0,01
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 0,5 °C						

<b>ZŠ Javornická 1596, Rychnov n. K. - 2. učebna (číslo dveří 1042, 1. D)</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				20-24	30-65	0,1-0,2
10.00	21,5	21,5	20,6	21,3	25,6	0,00
10.30	23,0	22,9	21,9	22,7	22,6	0,08
11.00	23,0	23,0	22,2	22,8	23,1	0,08
11.30	23,5	23,5	22,5	23,3	23,4	0,00
průměr	22,8	22,7	21,8	22,5	23,7	0,04
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 1,0 °C						

<b>ZŠ Javornická 1596, Rychnov n. K. - tělocvična (číslo dveří 1020)</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				18-22	30-65	0,1-0,2
12.00	18,4	18,0	17,5	18,0	35,0	0,08
12.30	18,1	18,0	17,5	17,9	40,0	0,06
13.00	18,1	17,9	17,5	17,9	41,3	0,10
13.30	18,4	18,2	17,8	18,2	44,2	0,06
průměr	18,3	18,0	17,6	18,0	40,1	0,08
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 0,7 °C						

Tabulka 20: Hodnoty koncentrací frakcí prachu a oxidu uhličitého ve dvou učebnách a v tělocvičně ZŠ Javornická, Rychnov nad Kněžnou

<b>ZŠ Javornická 1596, Rychnov n. K.-1. učebna (dveře 2067, 6. A) - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
1. vyučovací hodina	340	106	46	0,137
přestávka	296	106	52	0,123
2. vyučovací hodina	175	86	53	0,141

<b>ZŠ Javornická 1596, Rychnov n. K.-2. učebna (dveře 1042, 1. D) - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
3. vyučovací hodina	69	63	53	0,091
přestávka	94	71	59	0,087
4. vyučovací hodina	78	64	53	0,092

<b>ZŠ Javornická 1596, Rychnov n. K.-tělocvična (dveře 1020) - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
5. vyučovací hodina	147	70	40	0,088
přestávka	150	70	41	0,097
6. vyučovací hodina	146	72	41	0,106

#### **4. škola: ZŠ F. Kupky 433, Dobruška**

ZŠ je situovaná v okrajové části města, jednou stranou přiléhá k místní komunikaci (vzdálenost cca 10 m), z druhé strany sousedí s bytovou zástavbou, na třetí straně je školní hřiště, na čtvrté straně louky.

učebna 1: 2. ročník

umístění: 2. NP

popis učebny: podlahová plocha 70 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 4,0 m  
podlaha kryta dřevěnými parketami, v zadní části textilní koberec (2,5 x 4 m)  
stěny vymalované

vytápění: ústřední teplovodní – 2 článkové radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené – 2 šestidílná dřevěná okna opatřená žaluziemi, možnost ventilační polohy dveře v protilehlé stěně

učebna 2: 7. ročník

umístění: 2. NP

popis učebny: podlahová plocha 67,5 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 3,25 m  
podlaha kryta PVC po celé ploše  
stěny vymalované

vytápění: ústřední teplovodní – 3 článkové radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené – 6 dvoudílných dřevěných oken, možnost ventilační polohy, okna opatřená žaluziemi  
dveře v protilehlé stěně

tělocvična:

umístění: 2. NP

popis tělocvičny: podlahová plocha 450 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 6,0 m  
podlaha dřevěná lakovaná  
stěny vymalované

vytápění: ústřední teplovodní – 5 deskových radiátorů umístěných pod stropem

větrání: přirozené – 18 dvoudílných plastových oken po celé délce dvou delších stěn, možnost ventilační polohy  
bez nuceného větrání

#### **podmínky při měření:**

**učebna 1:** měření během 2 vyučovacích hodin (1. a 2. VH, 7.45–9.25 hod.) včetně přestávk mezi hodinami, při běžné výuce

1.VH: 7.45–8.30 hod, český jazyk

přítomno: 20 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření

aktivita: 15 minut žáci střídavě psali na tabuli, dále pracovali v lavicích

větrání: 8.00–8.10 hod otevřena 1 ventilace, 8.10–8.30 hod otevřeno 2 ventilace

přestávka: otevřena 1 ventilace a dveře, větší pohyb žáků po třídě

2. VH: 8.40–9.25 hod, matematika

přítomno: 20 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření

*aktivita:* 8.40–9.05 hod početní soutěž – všichni žáci stáli u tabule, poté pracovali v lavicích

*větrání:* 8.40–9.25 hod otevřena 1 ventilace

**učebna 2:** měření během 2 vyučovacích hodin (3. a 4. VH, 9.45–11.25 hod.) včetně přestávky mezi hodinami, při běžné výuce

**3.VH:** 9.45–10.30 hod, český jazyk

*přítomno:* 19 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření

*aktivita:* práce v lavicích, 1 žák u tabule, od 10.10 hod práce v lavicích všech žáků

*větrání:* po celou dobu okna i dveře zavřené

*přestávka:* otevřeny dveře do chodby, větší pohyb žáků po třídě

**4. VH:** 10.40–11.25 hod, anglický jazyk

*přítomno:* 19 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření

*aktivita:* práce v lavicích, od 11.15 hod se žáci střídali v psaní na tabuli

*větrání:* 10.40–11.25 otevřeny 2 ventilace

**tělocvična:** měření během 2 vyučovacích hodin (5. a 6. VH, 11.35–13.15 hod)

**5. a 6. VH:** tělesná výchova

*přítomno:* 19 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření

*aktivita:* rozevička, florbal

*větrání:* 11.35–13.15 otevřeny dveře na chodbu a 8 okenních ventilací

*Tabulka 21: Koncentrace formaldehydu ve dvou učebnách a v tělocvičně  
ZŠ F. Kupky, Dobruška*

ZŠ F. Kupky 433, Dobruška - koncentrace formaldehydu		
	Naměřené hodnoty	Průměrná hodnota
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
limit	60	
1.učebna (číslo dveří 16, 2.A)	8,8	8,8
	8,8	
2.učebna (číslo dveří 201, 7.A)	21,2	20,4
	19,6	
tělocvična (číslo dveří 9)	7,1	8,05
	9,0	
exteriér	1,7	



Tabulka 22: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách a v tělocvičně  
ZŠ F. Kupky, Dobruška

<b>ZŠ F. Kupky 433, Dobruška - 1. učebna (číslo dveří 16, 2. A)</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				20-24	30-65	0,1-0,2
8.00	22,7	22,6	21,8	22,4	38,9	0,05
8.30	22,6	22,6	21,8	22,4	34,7	0,03
9.00	22,0	21,8	20,9	21,6	31,6	0,03
9.30	22,4	22,0	21,2	21,9	31,2	0,03
průměr	22,4	22,3	21,4	22,1	34,1	0,04
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 1,0 °C						

<b>ZŠ F. Kupky 433, Dobruška - 2. učebna (číslo dveří 201, 7. A)</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				20-24	30-65	0,1-0,2
9.45	22,5	22,1	22,1	22,2	39,4	0,02
10.15	22,9	22,2	22,0	22,3	45,4	0,00
10.45	22,7	21,6	20,6	21,6	42,3	0,00
11.15	22,1	21,2	20,4	21,2	38,4	0,10
průměr	22,6	21,8	21,3	21,8	41,4	0,03
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 1,3 °C						

<b>ZŠ F. Kupky 433, Dobruška - tělocvična (číslo dveří 9)</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				18-22	30-65	0,1-0,2
11.45	22,0	22,5	21,7	22,2	31,9	0,13
12.15	21,1	21,1	21,0	21,1	32,0	0,20
12.45	20,0	19,9	20,0	20,0	34,6	0,17
13.15	20,0	19,9	19,8	19,9	34,1	0,11
průměr	20,8	20,9	20,6	20,8	33,2	0,15
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 0,2 °C						

Tabulka 23: Hodnoty koncentrací frakcí prachu a oxidu uhličitého ve dvou učebnách a v tělocvičně ZŠ F. Kupky, Dobruška

<b>ZŠ F. Kupky 433, Dobruška - 1. učebna (číslo dveří 16, 2. A) - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
1. vyučovací hodina	93	42	24	0,096
přestávka	91	39	23	0,092
2. vyučovací hodina	74	36	23	0,094

<b>ZŠ F. Kupky 433, Dobruška - 2. učebna (číslo dveří 201, 7. A) - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
3. vyučovací hodina	204	89	27	0,238
přestávka	229	82	29	0,24
4. vyučovací hodina	106	58	32	0,168

<b>ZŠ F. Kupky 433, Dobruška - tělocvična (číslo dveří 9) - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
5. vyučovací hodina	87	42	27	0,073
přestávka	66	43	33	0,067
6. vyučovací hodina	67	48	38	0,065

**5. škola: ZŠ T. G. Masaryka, Bartoňova 1005, Náchod**

ZŠ je situovaná na okraji města. Zasažena je uprostřed zeleně (park, louky), místní komunikace je ve vzdálenosti cca 10 m.

učebna 1: 7. ročník

umístění: 2. NP

popis učebny: podlahová plocha 62 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 3,7 m

podlaha kryta PVC

stěny vymalované

vytápění: ústřední teplovodní – 4 článkové radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené – 2 desetidílná okna

dveře v protilehlé stěně

učebna 2: 3. ročník

umístění: 2. NP

popis učebny: podlahová plocha 64,8 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 3,7 m

podlaha kryta PVC, v zadní části koberec (3x3 m)

stěny vymalované

vytápění: ústřední teplovodní – 4 článkové radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené – 2 desetidílná okna

dveře v protilehlé stěně

tělocvična:

umístění: 1. NP

popis tělocvičny: podlahová plocha 184 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 7,4 m

podlaha kryta dřevěnými parketami

stěny vymalované

vytápění: ústřední teplovodní – 3 článkové radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené – 3 čtyřdílná okna podél jedné delší stěny

bez nuceného větrání

**podmínky při měření**

**učebna 1:** měření během 2 vyučovacích hodin (1. a 2. VH, 8.00–9.40 hod.) včetně přestávky mezi hodinami, při běžné výuce

1. VH: 8.00–8.45 hod, anglický jazyk

přítomno: 14 žáků, 1 vyučující, 3 osoby provádějící měření

aktivita: žáci pracovali v lavicích, střídavě vždy 1 žák psal na tabuli

větrání: 8.00–8.10 hod otevřeno 3 díly okna, 8.10–8.45 hod otevřen 1 díl okna

přestávka: otevřen 1 díl okna a dveře, větší pohyb žáků po třídě

2. VH: 8.55–9.40 hod, český jazyk

přítomno: 15 žáků, 1 vyučující, 3 osoby provádějící měření

aktivita: žáci pracovali v lavicích

větrání: po celou dobu otevřen 2 díly oken

- učebna 2:** měření během 2 vyučovacích hodin (3. a 4. VH, 9.50–11.25 hod.) včetně přestávky mezi hodinami, při běžné výuce
- 3. VH:** 9.50–10.35 hod, anglický jazyk
- přítomno:** 15 žáků, 1 vyučující, 3 osoby provádějící měření
- aktivita:** žáci pracovali v lavicích
- větrání:** 9.50–10.00 hod otevřeny 3 díly okna, 10.10–10.35 hod otevřen 1 díl okna
- přestávka:** otevřen 1 díl okna a dveře, větší pohyb žáků po třídě
- 4. VH:** 10.40–11.25 hod, matematika
- přítomno:** 15 žáků, 1 vyučující, 3 osoby provádějící měření
- aktivita:** žáci pracovali v lavicích, střídavě vždy jeden žák u tabule
- větrání:** po celou dobu otevřen 2 díly oken
- 
- tělocvična:** měření během 2 vyučovacích hodin (5. a 6. VH, 10.00–11.35 hod) včetně přestávky mezi hodinami, při běžné výuce
- 5. a 6. VH:** tělesná výchova
- přítomno:** 20 žáků, 1 vyučující, 1 osoba provádějící měření
- aktivita:** 3. VH rozcvička, běh, pohybové hry  
4. VH vybíjená
- větrání:** po celou dobu výuky byla zavřena okna i dveře

Tabulka 24: Koncentrace formaldehydu ve dvou učebnách a v tělocvičně  
ZŠ T. G. Masaryka, Náchod

ZŠ T. G. Masaryka, Bartoňova 1005, Náchod - koncentrace formaldehydu		
	Naměřené hodnoty	Průměrná hodnota
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
limit	60	
1. učebna	7,7	10,3
	12,8	
2. učebna	21,3	18,5
	15,6	
tělocvična	6,0	7,4
	8,8	
exteriér	3,3	

Tabulka 25: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách a v tělocvičně  
ZŠ T. G. Masaryka, Náchod

<b>ZŠ T. G. Masaryka, Bartoňova 1005, Náchod - 1. učebna</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				20-24	30-65	0,1-0,2
8.00	21,2	20,6	19,9	20,6	25,5	0,00
8.30	23,5	23,0	22,5	23,0	24,7	0,06
9.00	22,5	22,0	21,9	23,5	24,6	0,00
9.30	23,0	22,8	22,7	22,6	24,5	0,03
průměr	22,6	22,1	21,8	22,4	24,8	0,02
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 0,8 °C						

<b>ZŠ T. G. Masaryka, Bartoňova 1005, Náchod - 2. učebna</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				20-24	30-65	0,1-0,2
9.45	23,7	23,3	21,8	23,6	44,3	0,00
10.15	24,9	24,7	22,4	24,0	43,1	0,01
10.45	24,4	24,1	22,4	24,1	42,8	0,00
11.15	24,5	24,4	22,4	24,0	43,2	0,00
průměr	24,4	24,1	22,3	23,9	43,4	0,00
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 2,1 °C						

<b>ZŠ T. G. Masaryka, Bartoňova 1005, Náchod - tělocvična</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				18-22	30-65	0,1-0,2
11.45	20,0	20,0	19,5	19,9	47,5	0,07
12.15	20,4	20,1	19,6	20,1	45,7	0,11
12.45	19,9	19,7	19,2	19,6	40,2	0,15
13.15	19,0	18,8	18,6	18,8	36,5	0,11
průměr	19,8	19,7	19,2	19,6	42,5	0,11
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 0,6 °C						

Tabulka 26: Hodnoty koncentrací frakcí prachu a oxidu uhličitého ve dvou učebnách a v tělocvičně ZŠ T. G. Masaryka, Náchod

<b>ZŠ T. G. Masaryka, Bartoňova 1005, Náchod - 1. učebna - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
1. vyučovací hodina	115	40	17	0,120
přestávka	114	38	15	0,070
2. vyučovací hodina	107	38	14	0,135

<b>ZŠ T. G. Masaryka, Bartoňova 1005, Náchod - 2. učebna - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
3. vyučovací hodina	102	43	14	0,192
přestávka	109	43	14	0,189
4. vyučovací hodina	76	36	13	0,185

<b>ZŠ T. G. Masaryka, Bartoňova 1005, Náchod - tělocvična - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
5. vyučovací hodina	353	75	16	0,088
přestávka	539	116	19	0,113
6. vyučovací hodina	488	114	20	0,119

**6. škola: ZŠ Rooseveltova 106, Teplice nad Metují**

ZŠ je situovaná v okrajové části obce. Areál školy obklopují louky a park. Místní komunikace z jedné strany těsně přiléhá k budově školy.

učebna 1: 4. ročník

umístění: 2. NP

popis učebny: podlahová plocha 58,5 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 4,0 m  
podlaha kryta PVC, část textilním kobercem (2 x 3 m)  
stěny vymalované

vytápění: ústřední teplovodní – 2 článkové radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené – 3 šestidílná dřevěná okna opatřená roletami, možnost ventilační polohy, dveře v protilehlé stěně

učebna 2: 2. ročník

umístění: 2. NP

popis učebny: podlahová plocha 60,0 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 4,0 m  
podlaha kryta PVC, část textilním kobercem (2 x 3 m)  
stěny vymalované

vytápění: ústřední teplovodní – 2 článkové radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené – 3 šestidílná dřevěná okna opatřená roletami, možnost ventilační polohy, dveře v protilehlé stěně

tělocvična:

umístění: 1. PP

popis tělocvičny: podlahová plocha 82,8 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 5,0 m  
podlaha kryta opotřeбенými dřevěnými parketami  
stěny vymalované

vytápění: ústřední teplovodní – 2 trubkové radiátory umístěnými na dělicích stěnách tělocvičny

větrání: přirozené – 4 devítidílná okna po celé délce delší stěny bez nuceného větrání

**podmínky při měření:**

učebna 1: měření během 2 vyučovacích hodin (3. a 4. VH, 9.55–11.35 hod.) včetně přestávk mezi hodinami, při běžné výuce

3.VH: 9.55–10.40 hod, český jazyk

přítomno: 15 žáků, 1 vyučující, 1 osoba provádějící měření

aktivita: žáci pracovali v lavicích a střídavě u tabule

větrání: 9.55–10.15 otevřen 1 díl okna

přestávka: otevřeny dveře na chodbu, větší pohyb žáků po třídě

4. VH: 10.50–11.35 hod, vlastivěda

přítomno: 20 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření

aktivita: žáci pracovali v lavicích

větrání: 10.55–11.10 hod otevřena 1 ventilace, 11.10–11.15 hod otevřen 1 díl okna

**učebna 2:** měření během 2 vyučovacích hodin (5. a 6. VH, 11.55–13.35 hod.) včetně přestávky mezi hodinami, při běžné výuce

**5. VH:** 11.55–12.40 hod, český jazyk – čtení

**přítomno:** 20 žáků, 1 vyučující, 1 osoba provádějící měření

**aktivita:** žáci pracovali v lavicích

**větrání:** 11.55–12.10 otevřen 1 díl okna

**přestávka:** otevřeny dveře na chodbu, větší pohyb žáků po třídě

**6. VH:** 12.50–13.35 hod, matematika

**přítomno:** 20 žáků, 1 vyučující, 4 osoby provádějící měření

**aktivita:** žáci pracovali v lavicích

**větrání:** 12.55–13.10 hod otevřena 1 ventilace, 13.10–13.20 hod otevřen 1 díl okna

**tělocvična:** měření během 2 vyučovacích hodin (1. a 2. VH, 8.00–9.20 hod, v době 9.20–9.40 hod nebyla tělocvična využívána)

**1. VH:** 8.00–8.45 hod, tělesná výchova žáků 7. a 9. ročníku praktické školy

**přítomno:** 9 žáků, 1 vyučující, 1 osoba provádějící měření

**aktivita:** v tělocvičně probíhala pohybová cvičení, míčové hry a běh žáků

**větrání:** po celou dobu otevřeny dveře na chodbu

**2. VH:** 8.55–9.20 hod, tělesná výchova žáků 5. a 8. ročníku praktické školy

**přítomno:** 6 žáků, 1 vyučující, 1 osoba provádějící měření

**aktivita:** žáci soutěžili s míčem, hráli pohybové hry

**větrání:** po celou dobu otevřeny dveře na chodbu

*Tabulka 27: Koncentrace formaldehydu ve dvou učebnách a v tělocvičně  
ZŠ Rooseveltova, Teplice nad Metují*

<b>ZŠ Rooseveltova 106, Teplice nad Metují - koncentrace formaldehydu</b>		
	<b>Naměřené hodnoty</b>	<b>Průměrná hodnota</b>
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
limit	60	
1. učebna (3. třída)	4,3	4,6
	4,9	
2. učebna (9. třída)	13,0	11,95
	10,9	
tělocvična	33,4	24,6
	15,8	
exteriér	2,3	



Tabulka 28: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách a v tělocvičně  
ZŠ Rooseveltova, Teplice nad Metují

<b>ZŠ Rooseveltova 106, Teplice nad Metují - 1. učebna (3. třída)</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				20-24	30-65	0,1-0,2
10.00	19,5	19,2	18,0	19,0	26,0	0,02
10.30	21,2	21,0	17,0	20,1	24,3	0,03
11.00	21,5	21,0	19,3	20,2	25,2	0,00
11.30	21,5	21,0	17,5	19,9	25,4	0,01
průměr	20,9	20,6	18,0	19,8	25,2	0,02
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 2,9 °C						

<b>ZŠ Rooseveltova 106, Teplice nad Metují - 2. učebna (9. třída)</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				20-24	30-65	0,1-0,2
12.00	22,0	21,5	20,5	21,0	28,4	0,02
12.30	21,9	21,6	20,3	22,0	29,0	0,05
13.00	22,8	21,5	20,5	22,8	32,6	0,03
13.30	22,9	21,5	20,5	22,0	34,5	0,02
průměr	22,4	21,5	20,5	22,0	31,1	0,03
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 1,9 °C						

<b>ZŠ Rooseveltova 106, Teplice nad Metují - tělocvična</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				18-22	30-65	0,1-0,2
8.00	16,0	16,0	15,0	15,8	38,5	0,28
8.30	18,0	18,0	17,5	17,9	38,0	0,15
9.00	18,0	18,0	17,5	17,9	35,8	0,02
9.30	18,0	18,0	17,5	17,9	35,8	0,01
průměr	17,5	17,5	16,9	17,4	37,0	0,12
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 0,6 °C						

Tabulka 29: Hodnoty koncentrací frakcí prachu a oxidu uhličitého ve dvou učebnách a v tělocvičně ZŠ Rooseveltova, Teplice nad Metují

<b>ZŠ Rooseveltova 106, Teplice nad Metují - 1. učebna - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
3. vyučovací hodina	176	71	27	0,127
přestávka	260	82	27	0,141
4. vyučovací hodina	167	65	27	0,134

<b>ZŠ Rooseveltova 106, Teplice nad Metují - 2. učebna - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
5. vyučovací hodina	95	43	22	0,151
přestávka	137	47	21	0,158
6. vyučovací hodina	105	44	20	0,179

<b>ZŠ Rooseveltova 106, Teplice nad Metují - tělocvična - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
1. vyučovací hodina	275	76	28	0,065
přestávka	572	128	34	0,076
2. vyučovací hodina	610	134	34	0,094

## **7. škola: ZŠ V Domcích 488, Trutnov**

ZŠ je situovaná v okrajové části města. Ze dvou stran sousedí s volným zatravněným prostranstvím, na třetí straně jsou rodinné domy a čtvrtá strana je orientovaná k frekventované komunikaci se silným dopravním zatížením.

**učebna 1:** 1. ročník

**umístění:** 2. NP

**popis učebny:** podlahová plocha 63,6 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 3,2 m  
podlaha kryta PVC, v zadní části textilní koberec (3x3 m)  
stěny vymalované

**vytápění:** ústřední teplovodní – 3 článkové radiátory umístěné pod okny

**větrání:** přirozené – 3 dvoudílná dřevěná okna opatřená žaluziemi a záclonami  
dveře v protilehlé stěně

**učebna 2:** 8. ročník

**umístění:** 2. NP

**popis učebny:** podlahová plocha 63,6 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 3,2 m  
podlaha PVC, v zadní části textilní koberec (3x3 m)  
stěny vymalované

**vytápění:** ústřední teplovodní – 3 článkové radiátory umístěné pod okny

**větrání:** přirozené – 3 čtyřdílná dřevěná okna opatřená žaluziemi a záclonami  
dveře v protilehlé stěně

### **tělocvična:**

**umístění:** 1. NP

**popis tělocvičny:** podlahová plocha 345,6 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 8,0 m  
podlaha - dřevěná palubovka  
stěny vymalované, zčásti keramický obklad

**vytápění:** ústřední teplovodní – 14 článkových radiátorů umístěných podél obou delších stěn

**větrání:** přirozené – plastová okna v SV stěně, v JZ stěně osvětlovací otvory vyplněny skleněnými luxfery  
nucené - pod stropem 2 ventilátory

### **podmínky při měření:**

**učebna 1:** měření během 2 vyučovacích hodin (1. a 2. VH, 8.00–9.45 hod) včetně přestávků mezi hodinami, při běžné výuce

**1.VH:** 8.00–8.45 hod, český jazyk

**přítomno:** 18 žáků, 1 vyučující, 2 osoby provádějící měření

**aktivita:** 8.00–8.15 hod žáci seděli v zadní části učebny na koberci – četli, 8.15–8.40 hod pracovali v lavicích, 8.40–8.45 hod žáci společně psali na tabuli

**větrání:** po celou dobu částečně otevřeny 2 díly oken

**přestávka:** částečně otevřeny 2 díly oken a dveře na chodbu, větší pohyb žáků po třídě

**2. VH:** 9.00–9.45 hod, matematika

*přítomno:* 18 žáků, 1 vyučující, 2 osoby provádějící měření  
*aktivita:* 9.00–9.15 hod žáci seděli na koberci, počítali, 9.15–9.20 hod – hráli výukovou hru, žáci se pohybovali po učebně, 9.20–9.40 hod – žáci seděli na koberci, soutěžili v počítání příkladů  
*větrání:* po celou dobu částečně otevřeny 2 díly oken

**učebna 2:** měření během 2 vyučovacích hodin (3. a 4. VH, 9.55–11.45 hod) včetně přestávk mezi hodinami, při běžné výuce

**3.VH:** 9.55–10.40 hod, matematika

*přítomno:* 26 žáků, 1 vyučující, 2 osoby provádějící měření

*aktivita:* žáci pracovali v lavicích, vždy 1 žák u tabule

*větrání:* po celou dobu otevřeny 4 ventilace

**přestávka:** 10.50–11.00 hod otevřeny 3–4 ventilace a dveře na chodbu, větší pohyb žáků po třídě

**4. VH:** 11.00–11.45 hod, chemie

*přítomno:* 26 žáků, 1 vyučující, 2 osoby provádějící měření

*aktivita:* 11.00–11.35 hod byl zkoušen 1 žák u tabule, poté všichni žáci pracovali v lavicích

*větrání:* po celou dobu otevřeny 4 ventilace

**tělocvična:** měření během 2 vyučovacích hodin (5. a 6. VH, 11.55–13.35 hod) včetně přestávk mezi hodinami, při běžné výuce

**5. a 6. VH:** tělesná výchova

*přítomno:* 5. VH - 18 žáků, z toho 3 necvičící

*aktivita:* rozcvička, žáci cvičili na kruzích, běhali

6. VH - 13 žáků, z toho 1 necvičící

*aktivita:* rozcvička, žáci běhali, skákali přes švihadla

*větrání:* po celou dobu byly ventilátory mimo provoz  
dveře i okna zavřené

*Tabulka 30: Koncentrace formaldehydu ve dvou učebnách a v tělocvičně  
ZŠ V Domcích, Trutnov*

<b>ZŠ V Domcích 488, Trutnov - koncentrace formaldehydu</b>		
	<b>Naměřené hodnoty</b>	<b>Průměrná hodnota</b>
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
limit	60	
1. učebna (číslo dveří 211, 2. A)	10,9	11,8
	12,7	
2. učebna (číslo dveří 202, 8. A)	9,4	11,65
	13,9	
tělocvična I. (levá)	11,3	12,7
	14,1	
exteriér	8,9	

Tabulka 31: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách a v tělocvičně  
ZŠ V Domcích, Trutnov

<b>ZŠ V Domcích 488, Trutnov - 1. učebna (číslo dveří 211, 2. A)</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				20-24	30-65	0,1-0,2
8.00	23,8	23,4	21,9	23,1	23,0	0,09
8.30	25,0	24,8	22,5	24,3	20,0	0,08
9.00	24,5	24,2	22,5	23,9	20,0	0,08
9.30	24,6	24,5	22,5	24,0	22,0	0,08
průměr	24,5	24,2	22,4	23,8	21,0	0,08
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 2,1 °C						

<b>ZŠ V Domcích 488, Trutnov - 2. učebna (číslo dveří 202, 8. A)</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				20-24	30-65	0,1-0,2
10.05	23,0	22,8	20,9	22,4	21,0	0,07
10.35	23,9	23,3	21,9	23,1	21,0	0,08
11.05	23,1	22,6	20,8	22,3	22,0	0,08
11.35	24,0	23,2	21,7	23,0	21,0	0,08
průměr	23,5	23,0	21,3	22,7	21,0	0,08
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 2,2 °C						

<b>ZŠ V Domcích 488, Trutnov - tělocvična I. (levá)</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				18-22	30-65	0,1-0,2
12.05	18,6	19,0	18,3	18,7	24,0	0,10
12.35	18,8	19,0	17,5	18,6	26,0	0,07
13.05	17,6	17,5	17,0	17,6	26,0	0,08
13.35	17,8	17,7	17,3	17,6	28,0	0,08
průměr	18,2	18,3	17,5	18,1	26,0	0,08
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 0,7 °C						

Tabulka 32: Hodnoty koncentrací frakcí prachu a oxidu uhličitého ZŠ V Domcích, Trutnov

<b>ZŠ V Domcích 488, Trutnov - 1. učebna (číslo dveří 211, 1. A) - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
1. vyučovací hodina	56	22	12	0,072
přestávka	57	23	11	0,072
2. vyučovací hodina	102	31	10	0,09

<b>ZŠ V Domcích 488, Trutnov - 2. učebna (číslo dveří 202, 8. A) - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
3. vyučovací hodina	54	22	12	0,087
přestávka	80	28	14	0,077
4. vyučovací hodina	51	23	14	0,088

<b>ZŠ V Domcích 488, Trutnov - tělocvična I. (levá) - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
5. vyučovací hodina	76	23	12	0,075
přestávka	74	23	12	0,076
6. vyučovací hodina	87	24	13	0,077

**8. škola: ZŠ 5. května, 28. října 731, Dvůr Králové nad Labem**

ZŠ je situovaná v okrajové části města. Obklopena je panelovou zástavbou a rodinnými domy. Místní komunikace se středním dopravním zatížením je ve vzdálenosti cca 15 m.

učebna 1: 8. ročník

umístění: 2. NP

popis učebny: podlahová plocha 64,5 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 3,3 m

podlaha kryta PVC

stěny vymalované, část luxfery

vytápění: ústřední teplovodní – 3 deskové radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené – 3 dvoudílná dřevěná okna s ventilací nad každým dílem, opatřená žaluziemi

dveře v protilehlé stěně

učebna 2: 3. ročník

umístění: 1. NP

popis učebny: podlahová plocha 61,1 m<sup>2</sup> (v zadní části učebny výklenek), světlá výška cca 3,3 m

podlaha kryta PVC

stěny vymalované

vytápění: ústřední teplovodní – 3 deskové radiátory umístěné pod okny + 2 radiátory ve výklenku

větrání: přirozené – 3 dvoudílná dřevěná okna s ventilací nad každým dílem, opatřená žaluziemi, 3 menší okna ve výklenku

dveře v protilehlé stěně

tělocvična:

umístění: 1. NP

popis tělocvičny: podlahová plocha 353,6 m<sup>2</sup>, světlá výška cca 7,0 m (ve štítu 10 m)

podlaha kryta speciální gumovou krytinou

stěny vymalované, stěny ochozu kryty kobercem do výšky cca 3 m

na stropě dřevěný obklad

vytápění: podlahové

větrání: přirozené – 16 oken s ventilací

nucené – 2 ventilátory ve štítu

**podmínky při měření:**

učebna 1: měření během 2 vyučovacích hodin (1. a 2. VH, 8.00–9.40 hod) včetně přestávky mezi hodinami, při běžné výuce

1.VH: 8.00–8.45 hod, český jazyk

přítomno: 13 žáků, 1 vyučující, 2 osoby provádějící měření

aktivita: žáci pracovali v lavicích (kontrolní test, výuka, psaní do sešitů)

větrání: 8.00–8.40 hod okna zavřena, 8.40–8.45 hod otevřen 1 díl okna

přestávka: otevřen 1 díl okna, větší pohyb žáků po třídě

**2. VH:** 8.55–9.40 hod, matematika  
**přítomno:** 13 žáků, 1 vyučující, 2 osoby provádějící měření  
**aktivita:** 9.05–9.15 hod 2 žákyně pracovaly u tabule, poté všichni žáci v lavicích  
**větrání:** po celou dobu okna zavřena

**učebna 2:** měření během 2 vyučovacích hodin (3. a 4. VH, 10.00–11.40 hod.) včetně přestávky mezi hodinami, při běžné výuce

**3.VH:** 10.00–10.45 hod, matematika  
**přítomno:** 19 žáků, 1 vyučující, 2 osoby provádějící měření  
**aktivita:** žáci pracovali v lavicích, vždy 1 žák u tabule  
**větrání:** po celou dobu otevřena 1 ventilace  
**přestávka:** po celou dobu okna zavřena, otevřeny dveře na chodbu, větší pohyb žáků po třídě

**4. VH:** 10.55–11.40 hod, prvouka  
**přítomno:** 19 žáků, 1 vyučující, 2 osoby provádějící měření  
**aktivita:** žáci pracovali v lavicích  
**větrání:** 11.00–11.40 hod otevřeny 2 ventilace

**tělocvična:** měření během 2 vyučovacích hodin (5. a 6. VH, 11.55–13.30 hod), včetně přestávky mezi hodinami, při běžné výuce

**5.VH:** tělesná výchova  
**přítomno:** 21 žáků, z toho 3 necvičící (4. ročník)  
**aktivita:** rozevídka, probíhaly pohybové soutěže

**6. VH:** tělesná výchova  
**přítomno:** 7 žáků (chlapci, 9. ročník)  
**aktivita:** rozevídka, žáci skákali do výšky, od 13.10 hod hráli florbal  
**větrání:** po celou dobu byly ventilátory mimo provoz, dveře i okna zavřené

Tabulka 33: Koncentrace formaldehydu ve dvou učebnách a v tělocvičně  
 ZŠ 5. května, Dvůr Králové nad Labem

ZŠ 5. května, 28. října 731, Dvůr Králové nad Labem - koncentrace formaldehydu		
	Naměřené hodnoty	Průměrná hodnota
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
limit	60	
1.učebna (8. třída)	38,1	34,8
	31,4	
2.učebna (3. třída)	38,6	38,2
	37,7	
tělocvična	24,3	19,4
	14,5	
exteriér	18,8	



Tabulka 34: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách a v tělocvičně  
ZŠ 5. května, Dvůr Králové nad Labem

<b>ZŠ 5. května, 28. října 731, Dvůr Králové nad Labem - 1. učebna (8. třída)</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				20-24	30-65	0,1-0,2
9.00	22,0	21,3	20,8	21,5	30,0	0,01
9.30	23,0	22,6	21,8	22,5	30,0	0,00
10.00	23,0	22,7	21,6	22,5	33,0	0,00
10.30	23,6	23,4	22,2	23,2	35,0	0,00
průměr	22,9	22,5	21,6	22,4	32,0	0,00
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 1,3 °C						

<b>ZŠ 5. května, 28. října 731, Dvůr Králové nad Labem - 2. učebna (3. třída)</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				20-24	30-65	0,1-0,2
11.00	22,7	22,6	21,8	22,4	38,9	0,05
11.30	22,6	22,6	21,8	22,4	34,7	0,03
12.00	22,0	21,8	20,9	21,6	31,6	0,03
12.30	22,4	22,0	21,2	21,9	31,2	0,03
průměr	22,4	22,3	21,4	22,1	34,1	0,04
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 1,0 °C						

<b>ZŠ 5. května, 28. října 731, Dvůr Králové nad Labem - tělocvična</b>						
	$t_g$ hlava	$t_g$ břicho	$t_g$ kotník	$t_o$	rh	$v_a$
	°C	°C	°C	°C	%	m/s
limity				18-22	30-65	0,1-0,2
11.00	17,5	17,9	17,6	17,7	35,0	0,10
11.30	17,2	17,5	17,8	17,5	36,0	0,10
12.00	17,4	17,5	18,0	17,6	36,0	0,16
12.30	17,6	18,0	18,4	18,0	38,0	0,06
průměr	17,4	17,7	18,0	17,7	36,3	0,11
rozdíl mezi $t_g$ hlava a $t_g$ kotník: 0,7 °C						

Tabulka 35: Hodnoty koncentrací frakcí prachu a oxidu uhličitého ve dvou učebnách a v tělocvičně ZŠ 5. května, Dvůr Králové nad Labem

<b>ZŠ 5. května, 28. října 731, Dvůr Králové nad Labem - 1. učebna (8.třída) - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
1. vyučovací hodina	183	87	15	0,164
přestávka	213	92	12	0,146
2. vyučovací hodina	195	79	16	0,202

<b>ZŠ 5. května, 28. října 731, Dvůr Králové nad Labem - 2. učebna (3.třída) - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
3. vyučovací hodina	275	104	22	0,258
přestávka	355	122	24	0,220
4. vyučovací hodina	230	105	21	0,280

<b>ZŠ 5. května, 28. října 731, Dvůr Králové nad Labem - tělocvična - prach, CO<sub>2</sub></b>				
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>1,0</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	%
limity	150	80		0,150
5. vyučovací hodina	170	89	17	0,071
přestávka	183	95	20	0,072
6. vyučovací hodina	213	70	25	0,075

## 13.2 Příloha 2 - měření v letech 2016 a 2017

**1. škola:** Střední průmyslová škola stavební, Pospíšilova tř. 787, Hradec Králové  
SPŠ se nachází v cihlovém objektu se 4 nadzemními podlažími. Škola byla postavena v roce 1931, situována je v městské obytné zástavbě. Komunikace se střední zátěží je ve vzdálenosti cca 50 m.

učebna 1: 28. 11. 2016

umístění: 1. NP

vzhled učebny: podlahová plocha 69 m<sup>2</sup>, světlá výška 3,7 m

podlaha kryta dřevěnými parketami, stupínek PVC

stěny vymalované, v okolí umývadla keramický obklad

vytápění: ústřední teplovodní – 3 radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené – plastová okna opatřená žaluziemi, orientovaná na JV do ulice  
dveře ve stěně protilehlé oknům  
bez klimatizace

učebna 2: 29. 11. 2016

umístění: 3. NP

vzhled učebny: podlahová plocha 87,7 m<sup>2</sup>, světlá výška 3,7 m

podlaha kryta dřevěnými parketami

stěny vymalované, v okolí umývadla keramický obklad

vytápění: ústřední teplovodní – 4 radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené – 1 dvoudílné a 3 čtyřdílná plastová okna, opatřená žaluziemi,  
orientovaná na SZ do dvora  
dveře ve stěně protilehlé oknům  
bez klimatizace

Tabulka 36: Koncentrace mikrobiálního znečištění ve dvou učebnách SPŠ, Hradec Králové

SPŠ stavební, Pospíšilova 787, Hradec Králové - učebna 1 - mikrobiální kontaminace				
			limit ve vnitřním prostředí	
učebna	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>	500	1140
	plísňe	KTJ/m <sup>3</sup>	500	515
venkovní ovzduší	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>		240
	plísňe	KTJ/m <sup>3</sup>		480

PŠ stavební, Pospíšilova 787, Hradec Králové - učebna 2 - mikrobiální kontaminace				
			limit ve vnitřním prostředí	
učebna	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>	500	975
	plísňe	KTJ/m <sup>3</sup>	500	125
venkovní ovzduší	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>		350
	plísňe	KTJ/m <sup>3</sup>		250

Tabulka 37: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách SPŠ, Hradec Králové

SPŠ stavební, Pospíšilova 787, Hradec Králové - učebna 1 - mikroklimatické podmínky			
čas měření [hod]	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění vzduchu [m/s]
limity	20–24	30–65	0,1–0,2
7.46	22,4	36,1	0,15
8.46	23,7	44,7	0,03
9.46	17,7	32,0	0,04
10.46	18,5	32,4	0,09
11.46	22,5	31,6	0,05

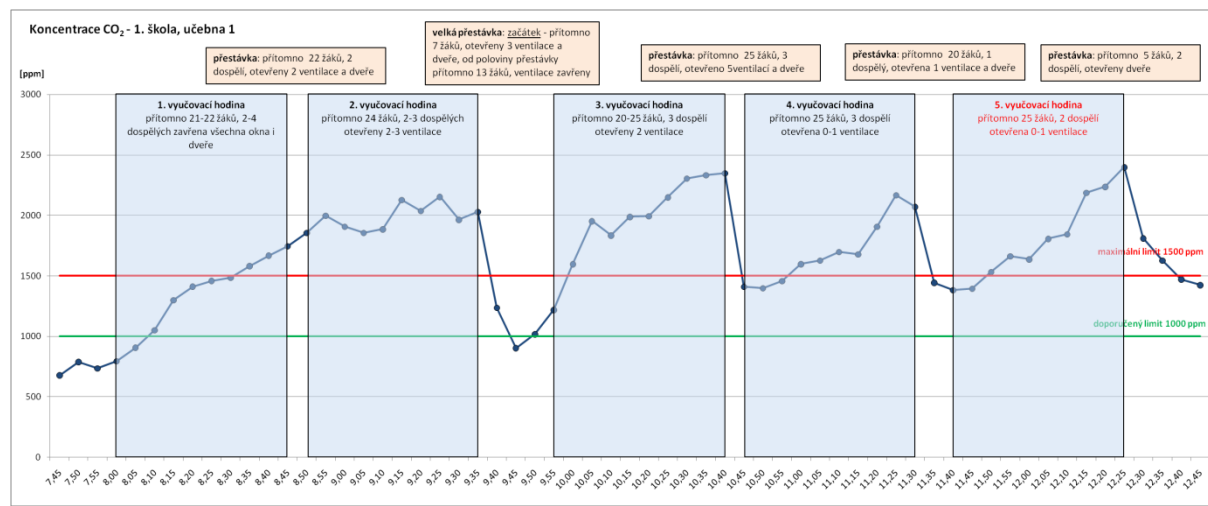
SPŠ stavební, Pospíšilova 787, Hradec Králové - učebna 2 - mikroklimatické podmínky			
čas měření [hod]	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění vzduchu [m/s]
limity	20–24	30–65	0,1–0,2
7.50	20,2	39,5	0,02
8.50	22,7	37,5	0,05
9.50	22,8	36,9	0,05
10.50	23,0	38,5	0,03
11.50	22,9	36,1	0,06

Tabulka 38: Koncentrace frakcí prachu ve dvou učebnách SPŠ, Hradec Králové

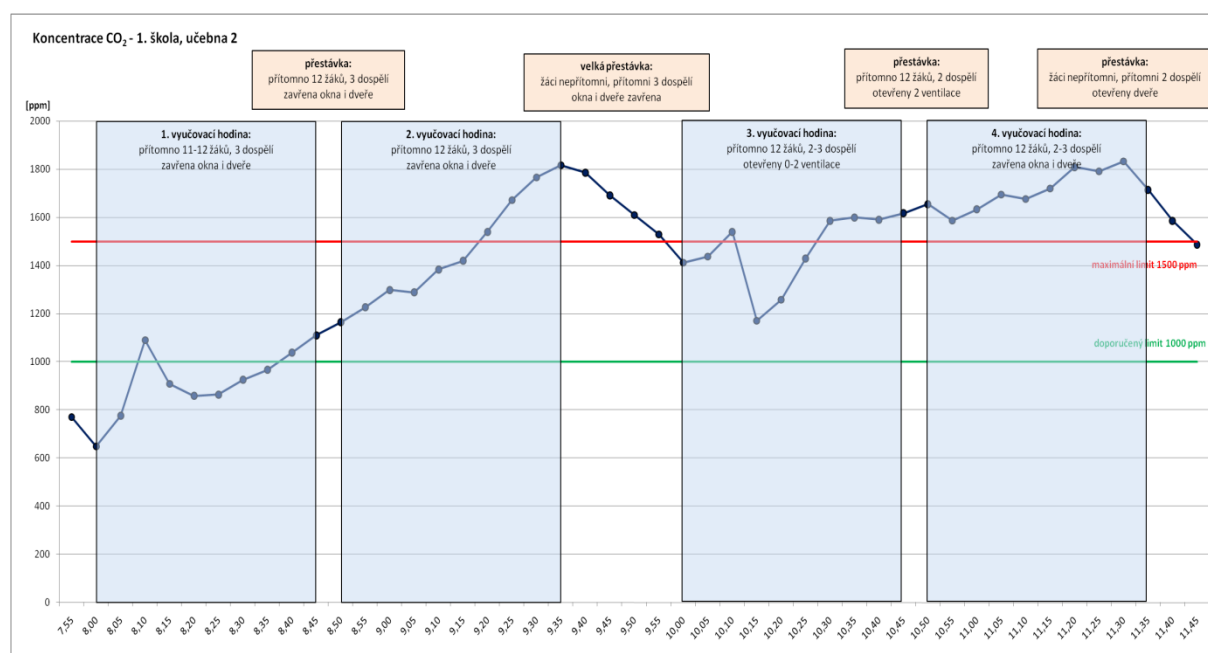
SPŠ stavební, Pospíšilova 787, Hradec Králové - učebna 1 - koncentrace prachu			
doba odběru	koncentrace prachu		
	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>1,0</sub> μg/m <sup>3</sup>
limity	150	80	
1.VH	57,7	10,5	3,0
2.VH	72,5	10,2	4,0
velká přestávka	32,1	9,4	6,2
3.VH	69,1	9,6	4,7
4.VH	63,9	9,0	3,9
přestávka	55,2	8,8	3,1

SPŠ stavební, Pospíšilova 787, Hradec Králové - učebna 2 - koncentrace prachu			
doba odběru	koncentrace prachu		
	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>1,0</sub> μg/m <sup>3</sup>
limity	150	80	
1.VH	69,1	9,6	4,7
2.VH	63,9	9,0	3,9
velká přestávka	41,9	7,7	3,4
3.VH	43,6	7,5	3,0

4.VH	52,7	9,5	4,0
přestávka	57,6	8,6	3,9



Obrázek 24: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 SPŠ stavební, Hradec Králové



Obrázek 25: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 SPŠ stavební, Hradec Králové

## **2. škola: Základní škola Habrmanova 130, Hradec Králové**

Učebny ZŠ se nachází v hlavním dvoupatrovém cihlovém objektu. Škola byla postavena v letech 1965–1967, situována je v centru města. Komunikace se střední zátěží je ve vzdálenosti cca 50 m.

**učebna 1:** 30. 11. 2016

**umístění:** 1. NP, 1. ročník

**vzhled učebny:** podlahová plocha 56,3 m<sup>2</sup>, světlá výška 3,2 m

podlaha kryta PVC

stěny vymalované, v okolí umývadla omyvatelný nátěr

**vytápění:** ústřední teplovodní – 3 radiátory umístěné pod okny

**větrání:** přirozené – 3 čtyřdílná plastová okna opatřená žaluziemi a záclonkami,

orientovaná směrem na hřiště na jih

dveře ve stěně protilehlé oknům

bez klimatizace

**učebna 2:** 1. 12. 2016

**umístění:** 3. NP, 5. ročník

**vzhled učebny:** podlahová plocha 60,3 m<sup>2</sup>, světlá výška 3,2 m

podlaha kryta PVC

stěny vymalované, v okolí umývadla keramický obklad

**vytápění:** ústřední teplovodní – 4 radiátory umístěné pod okny

**větrání:** přirozené – 3 čtyřdílná plastová okna, orientovaná do silnice na východ

dveře ve stěně protilehlé oknům

bez klimatizace

*Tabulka 39: Koncentrace mikrobiálního znečištění ve dvou učebnách*

*ZŠ Habrmanova, Hradec Králové*

<b>ZŠ Habrmanova 130, Hradec Králové - učebna 1 - mikrobiální kontaminace</b>				
			limit ve vnitřním prostředí	
učebna	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>	500	2565
	plísň	KTJ/m <sup>3</sup>	500	130
venkovní ovzduší	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>		170
	plísň	KTJ/m <sup>3</sup>		390

<b>ZŠ Habrmanova 130, Hradec Králové - učebna 2 - mikrobiální kontaminace</b>				
			limit ve vnitřním prostředí	
učebna	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>	500	1830
	plísň	KTJ/m <sup>3</sup>	500	350
venkovní ovzduší	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>		130
	plísň	KTJ/m <sup>3</sup>		525

Tabulka 40: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách  
ZŠ Habrmanova, Hradec Králové

<b>ZŠ Habrmanova 130, Hradec Králové - učebna 1 - mikroklimatické podmínky</b>			
čas měření [hod]	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění vzduchu [m/s]
limity	20–24	30–65	0,1–0,2
8.00	21,5	34,1	0,07
9.00	22,9	28,2	0,05
10.00	22,7	31,3	0,09
11.00	21,6	27,7	0,07
12.00	24,1	32,3	0,04

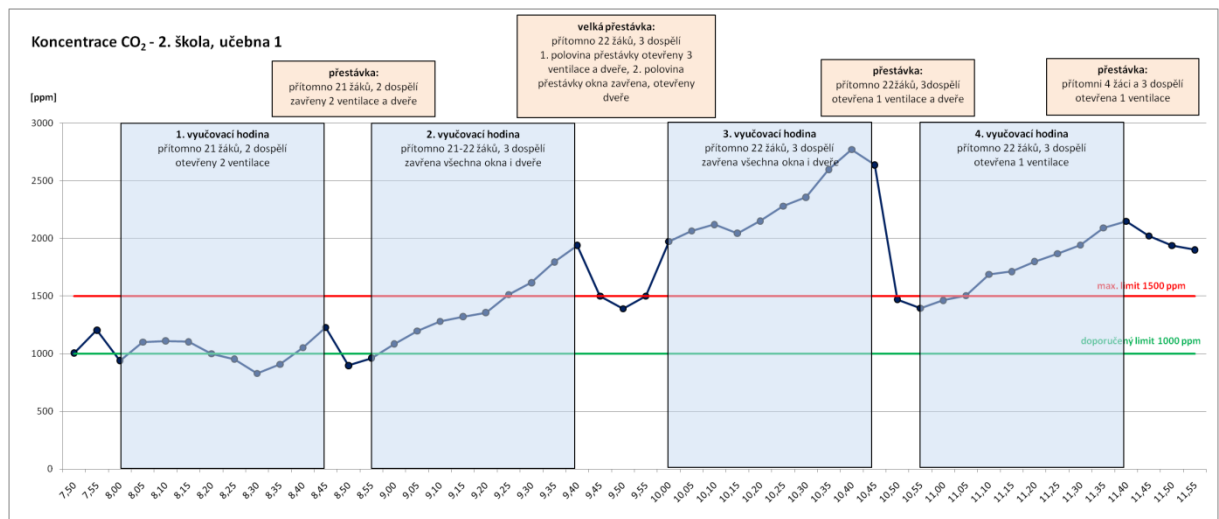
<b>ZŠ Habrmanova 130, Hradec Králové - učebna 2 - mikroklimatické podmínky</b>			
čas měření [hod]	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění vzduchu [m/s]
limity	20–24	30–65	0,1–0,2
7.42	22,9	41,7	0,06
8.42	23,1	36,4	0,05
9.42	24,3	42,7	0,04
10.42	23,5	39,5	0,04
11.42	23,6	39,2	0,09

Tabulka 41: Koncentrace frakcí prachu ve dvou učebnách ZŠ Habrmanova, Hradec Králové

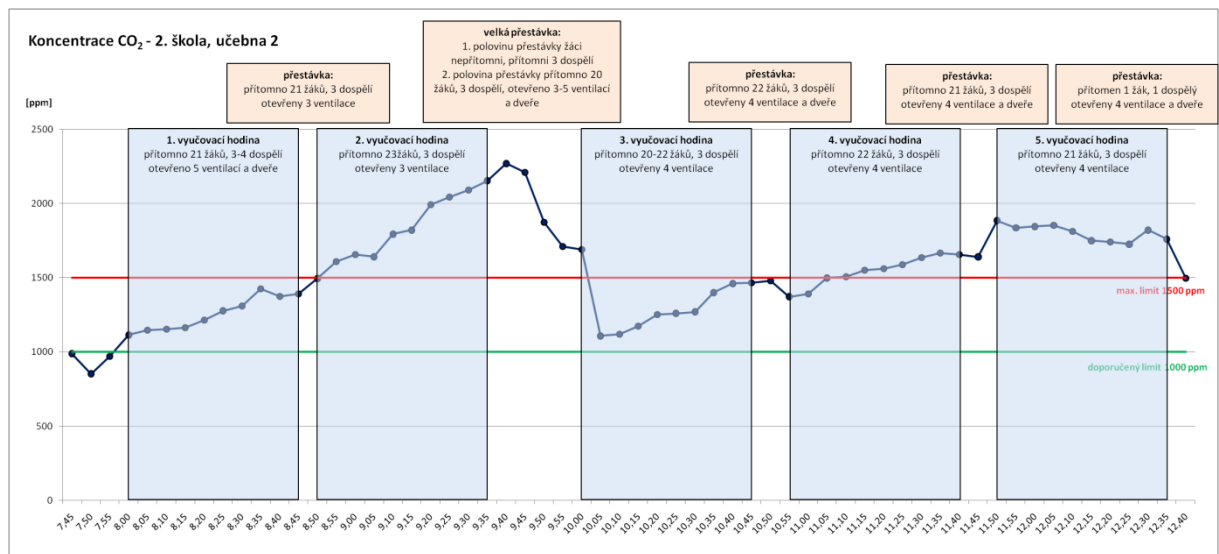
<b>ZŠ Habrmanova 130, Hradec Králové - učebna 1 - koncentrace prachu</b>			
doba odběru	koncentrace prachu		
	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>1,0</sub> μg/m <sup>3</sup>
limity	150	80	
1.VH	75,9	29,4	23,2
2.VH	92,1	28,3	19,8
velká přestávka	89,3	27,1	19,1
3.VH	100,3	25,7	15,5
4.VH	118,7	29,1	18,3
přestávka	134,2	27,4	15,6

<b>ZŠ Habrmanova 130, Hradec Králové - učebna 2 - koncentrace prachu</b>			
doba odběru	koncentrace prachu		
	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>1,0</sub> μg/m <sup>3</sup>
limity	150	80	
1.VH	92,9	18,2	9,4
2.VH	93,3	17,8	6,9
velká přestávka	121,1	20,3	7,3

3.VH	88,5	18,1	9,3
4.VH	101,7	18,1	7,7
5.VH	125,6	21,0	8,1



Obrázek 26: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1  
ZŠ Habrmanova, Hradec Králové



Obrázek 27: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2  
ZŠ Habrmanova, Hradec Králové



### **3. škola: Základní škola, Školská 333, Nechanice**

Základní škola je tvořena 3 samostatnými budovami. Učebny 1. stupně se nachází ve Školské ulici. Budova je zděná třípatrová z 30. let 20. století, provedeno bylo zateplení a výměna oken. Okolní zástavbu tvoří rodinné domy, volné prostranství a les, situovaná je v okrajové části města. Komunikace s nízkou dopravní zátěží je ve vzdálenosti cca 50 m.

učebna 1: 12. 12. 2016

umístění: 2. NP, 1. ročník

vzhled učebny: podlahová plocha 66,3 m<sup>2</sup>, světlá výška 3,45 m

podlaha kryta PVC, v zadní části malý koberec

stěny vymalované, v okolí umývadla keramický obklad

vytápění: ústřední teplovodní – 4 radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené – 4 dvoudílná plastová okna opatřená žaluziemi a záclonami, orientovaná na jih

dveře ve stěně protilehlé oknům

bez klimatizace

učebna 2: 12. 12. 2016

umístění: 3. NP, 5. ročník

vzhled učebny: podlahová plocha 70 m<sup>2</sup>, světlá výška 3,3 m

podlaha kryta PVC, v zadní části malý koberec

stěny vymalované, v okolí umývadla keramický obklad

vytápění: ústřední teplovodní – 4 radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené – 4 dvoudílná plastová okna opatřená žaluziemi, orientovaná na jih

dveře ve stěně protilehlé oknům

bez klimatizace

Tabulka 42: Koncentrace mikrobiálního znečištění ve dvou učebnách ZŠ Školská, Nechanice

<b>ZŠ Školská 333, Nechanice - učebna 1 - mikrobiální kontaminace</b>				
			limit ve vnitřním prostředí	
učebna	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>	500	710
	plísňe	KTJ/m <sup>3</sup>	500	28
venkovní ovzduší	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>		55
	plísňe	KTJ/m <sup>3</sup>		70

<b>ZŠ Školská 333, Nechanice - učebna 2 - mikrobiální kontaminace</b>				
			limit ve vnitřním prostředí	
učebna	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>	500	530
	plísňe	KTJ/m <sup>3</sup>	500	25
venkovní ovzduší	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>		175
	plísňe	KTJ/m <sup>3</sup>		20

Tabulka 43: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách ZŠ Školská, Nechanice

ZŠ Školská 333, Nechanice - učebna 1 - mikroklimatické podmínky			
čas měření [hod]	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění vzduchu [m/s]
limity	20–24	30–65	0,1–0,2
7.25	21,6	43,9	0,06
8.25	23,3	39,4	0,05
9.25	22,4	34,8	0,08
10.25	22,6	35,2	0,07
11.25	22,2	34,7	0,07

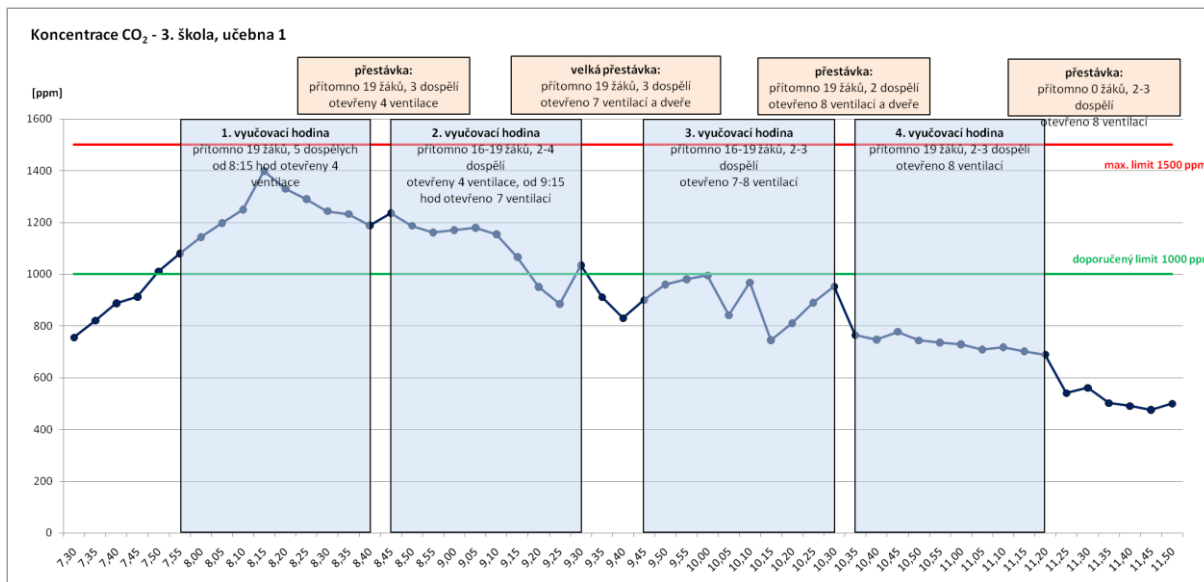
ZŠ Školská 333, Nechanice - učebna 2 - mikroklimatické podmínky			
čas měření [hod]	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění vzduchu [m/s]
limity	20–24	30–65	0,1–0,2
7.23	19,9	44,6	0,08
8.23	22,1	35,5	0,05
9.23	21,8	32,6	0,05
10.23	20,9	28,9	0,07
11.23	22,8	34,7	0,06

Tabulka 44: Koncentrace frakcí prachu ve dvou učebnách ZŠ Školská, Nechanice

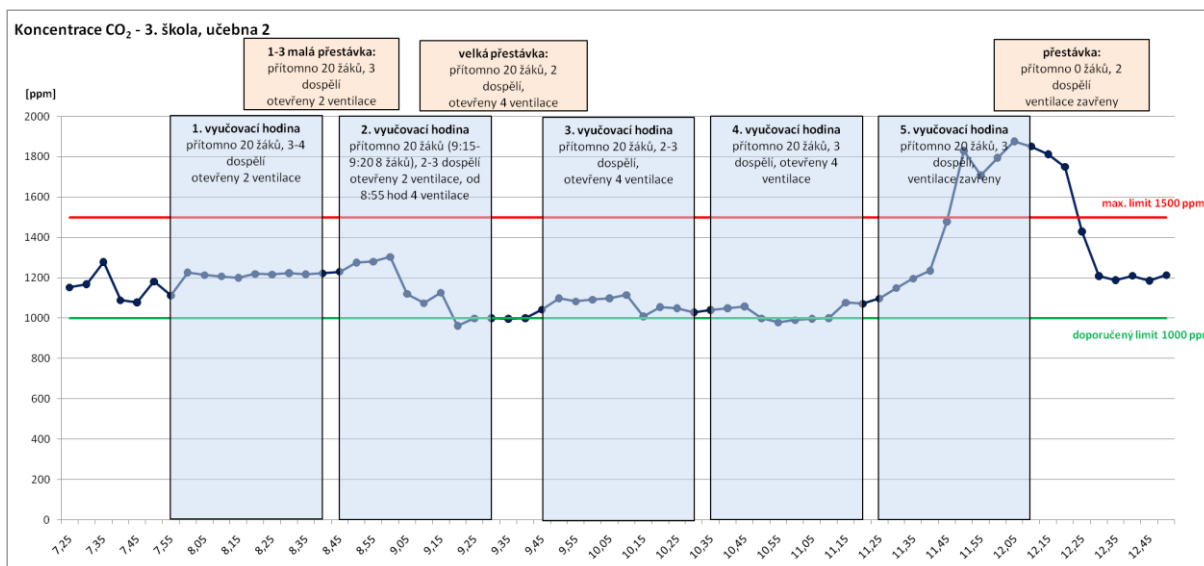
ZŠ Školská 333, Nechanice - učebna 1 - koncentrace prachu			
doba odběru	koncentrace prachu		
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>1,0</sub>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>
limity	150	80	
1.VH	100,5	16,9	4,3
2.VH	85,7	13,6	3,9
velká přestávka	64,6	10,5	3,6
3.VH	71,9	10,9	3,3
4.VH	58,5	8,5	2,8

ZŠ Školská 333, Nechanice - učebna 2 - koncentrace prachu			
doba odběru	koncentrace prachu		
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>1,0</sub>
	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>
limity	150	80	
1.VH	141,8	26,4	11,7
2.VH	123,4	24,8	12,1
velká přestávka	124,4	24,0	12,4
3.VH	109,5	21,6	11,5

4.VH	105,3	21,9	11,8
5.VH	105,5	22,7	10,2



Obrázek 28: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 ZŠ Školská, Nechanice



Obrázek 29: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 ZŠ Školská, Nechanice

#### **4. škola: Základní škola Františka Kupky 350, Dobruška**

Základní škola je tvořena 3 samostatnými budovami. Budova s učebnami 1. stupně byla vybudovaná v roce 1880, je cihlová, třípodlažní. budova s učebnami 2. stupně je panelová, čtyřpodlažní. Obě budovy jsou zateplené s vyměněnými okny. Areál ZŠ se nachází v okrajové zóně města, okolní zástavbu tvoří rodinné domy a panelová výstavba (sídlště). Komunikace se střední dopravní zátěží je ve vzdálenosti cca 30 m.

**učebna 1:** 17. 1. 2017

**umístění:** 3. NP, 3. ročník

**vzhled učebny:** podlahová plocha 68,3 m<sup>2</sup>, světlá výška 4,0 m

podlaha kryta dřevěnými parketami

stěny vymalované, v okolí umývadla omyvatelný nátěr

**vytápění:** ústřední teplovodní – 2 radiátory umístěné pod okny

**větrání:** přirozené – 2 šestiokenná plastová okna opatřená žaluziemi, orientovaná na jih

dveře ve stěně protilehlé oknům

bez klimatizace

**učebna 2:** 18. 1. 2017

**umístění:** 2. NP, 6. ročník

**vzhled učebny:** podlahová plocha 69,4 m<sup>2</sup>, světlá výška 3,3 m

podlaha kryta PVC

stěny vymalované, v okolí umývadla keramický obklad

**vytápění:** ústřední teplovodní – 2 radiátory umístěné pod okny

**větrání:** přirozené – 2 šestiokenná plastová okna vybavená žaluziemi, orientovaná na

západ

dveře ve stěně protilehlé oknům

bez klimatizace

Tabulka 45: Koncentrace mikrobiálního znečištění ve dvou učebnách ZŠ F. Kupky, Dobruška

<b>ZŠ Františka Kupky 350, Dobruška - učebna 1 - mikrobiální kontaminace</b>				
			limit ve vnitřním prostředí	
učebna	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>	500	2400
	plísně	KTJ/m <sup>3</sup>	500	65
venkovní ovzduší	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>		1700
	plísně	KTJ/m <sup>3</sup>		125

<b>ZŠ Františka Kupky 350, Dobruška - učebna 2 - mikrobiální kontaminace</b>				
			limit ve vnitřním prostředí	
učebna	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>	500	985
	plísně	KTJ/m <sup>3</sup>	500	80
venkovní ovzduší	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>		100
	plísně	KTJ/m <sup>3</sup>		40

Tabulka 46: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách ZŠ F. Kupky, Dobruška

<b>ZŠ Františka Kupky 350, Dobruška - učebna 1 - mikroklimatické podmínky</b>			
čas měření [hod]	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění vzduchu [m/s]
limity	20–24	30–65	0,1–0,2
7.45	20,5	53,1	0,09
8.45	23,9	36,2	0,12
9.45	25,3	36,6	0,18
10.45	25,3	38,1	0,14
11.45	24,3	34,1	0,08

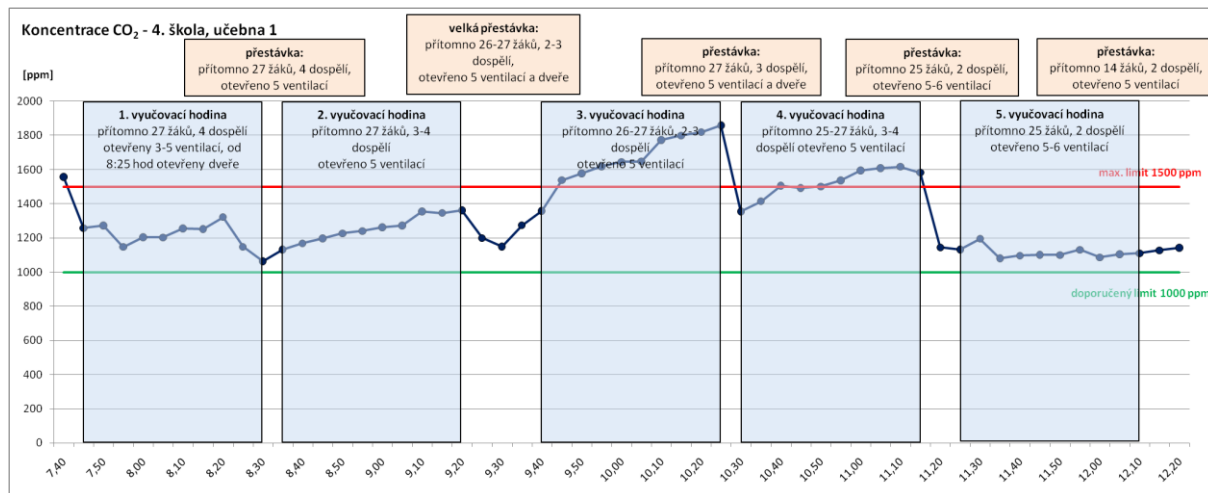
<b>ZŠ Františka Kupky 350, Dobruška - učebna 2 - mikroklimatické podmínky</b>			
čas měření [hod]	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění vzduchu [m/s]
limity	20–24	30–65	0,1–0,2
7.35	18,2	31,2	0,10
8.35	21,9	26,1	0,10
9.35	24,5	26,7	0,09
10.35	23,8	22,6	0,05
11.35	23,3	21	0,05

Tabulka 47: Koncentrace frakcí prachu ve dvou učebnách ZŠ F. Kupky, Dobruška

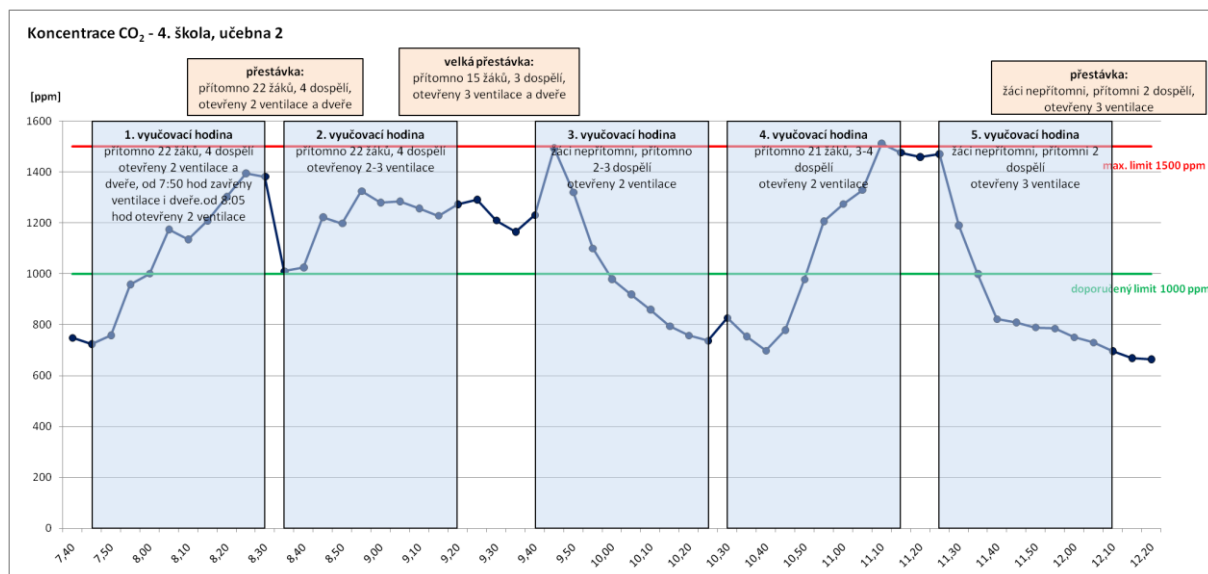
<b>ZŠ Františka Kupky 350, Dobruška - učebna 1 - koncentrace prachu</b>			
doba odběru	koncentrace prachu		
	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>1,0</sub> μg/m <sup>3</sup>
limity	150	80	
1.VH	76,5	17,6	10,7
2.VH	76,7	17,4	9,7
velká přestávka	111,3	20,1	9,9
3.VH	102,4	21,6	10,7
4.VH	107,2	23,2	11,8
5.VH	89,9	19,7	11,1

<b>ZŠ Františka Kupky 350, Dobruška - učebna 2 - koncentrace prachu</b>			
doba odběru	koncentrace prachu		
	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>1,0</sub> μg/m <sup>3</sup>
limity	150	80	
1.VH	73,7	29,0	23,6
2.VH	83,9	28,5	21,6
velká přestávka	78,8	24,0	17,8
3.VH	59,2	22,5	18,2

4.VH	63,6	22,2	17,7
5.VH	41,8	19,9	17,0



Obrázek 30: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 ZŠ F. Kupky, Dobruška



Obrázek 31: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 ZŠ F. Kupky, Dobruška

**5. škola:** Střední škola - Podorlické vzdělávací centrum, Pulická ul. 695, Dobruška  
 Budova s učebnami byla vybudovaná v roce 1985, má dvě podlaží, v roce 2013 bylo provedeno zateplení a výměna oken. Nachází se v okrajové zóně města, komunikace se střední dopravní zátěží je ve vzdálenosti cca 100 m.

**učebna 1:** 23. 1. 2017  
**umístění:** 2. NP, počítačová učebna  
**vzhled učebny:** podlahová plocha 59,5 m<sup>2</sup>, světlá výška 3,2 m  
 podlaha kryta PVC  
 stěny vymalované, v okolí umývadla omyvatelný nátěr,  
**vytápění:** ústřední teplovodní – 3 litinové radiátory umístěné pod okny  
**větrání:** přirozené – 3 plastová okna, orientovaná na sever  
 3 dveře  
 bez klimatizace

**učebna 2:** 24. 1. 2017  
**umístění:** 1. NP, č. 13  
**vzhled učebny:** podlahová plocha 59,4 m<sup>2</sup>, světlá výška 3,2 m  
 podlaha kryta keramickou dlažbou  
 stěny vymalované  
**vytápění:** ústřední teplovodní – 3 litinové radiátory umístěné pod okny  
**větrání:** přirozené – 3 plastová okna, orientovaná na sever  
 dveře ve stěně protilehlé oknům  
 bez klimatizace

Tabulka 48: Koncentrace mikrobiálního znečištění ve dvou učebnách SŠ Pulická, Dobruška

SŠ Podorlické vzdělávací centrum, Pulická 695, Dobruška - učebna 1 - mikrobiální kontaminace				
			limit ve vnitřním prostředí	
učebna	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>	500	755
	plísně	KTJ/m <sup>3</sup>	500	195
venkovní ovzduší	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>		25
	plísně	KTJ/m <sup>3</sup>		50

SŠ Podorlické vzdělávací centrum, Pulická 695, Dobruška - učebna 2 - mikrobiální kontaminace				
			limit ve vnitřním prostředí	
učebna	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>	500	638
	plísně	KTJ/m <sup>3</sup>	500	155
venkovní ovzduší	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>		10
	plísně	KTJ/m <sup>3</sup>		10

Tabulka 49: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách SŠ Pulická, Dobruška

SŠ Podorlické vzdělávací centrum, Pulická 695, Dobruška - učebna 1 - mikroklimatické podmínky			
čas měření [hod]	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění vzduchu [m/s]
limity	20–24	30–65	0,1–0,2
7.35	22,4	42,5	0,02
8.35	22,8	43,9	0,04
9.35	24,9	37,3	0,04
10.35	25,5	35,6	0,04
11.35	25,8	39,5	0,06

SŠ Podorlické vzdělávací centrum, Pulická 695, Dobruška - učebna 2 - mikroklimatické podmínky			
čas měření [hod]	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění vzduchu [m/s]
limity	20–24	30–65	0,1–0,2
8.00	23,6	37,1	0,06
9.00	25,1	34,4	0,05
10.00	25	30,4	0,07
11.00	25,1	29,8	0,07
12.00	24,7	28,6	0,06

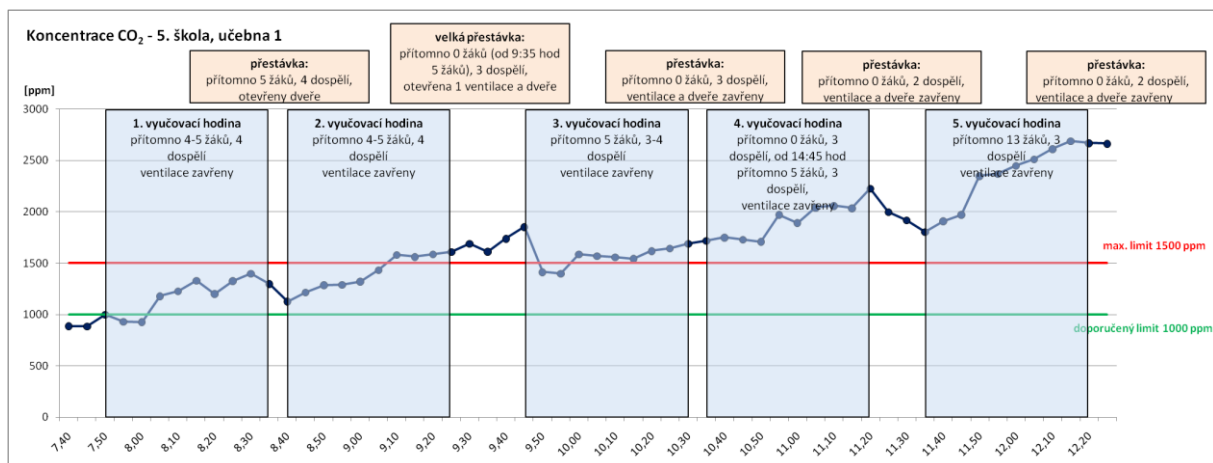
Tabulka 50: Koncentrace frakcí prachu ve dvou učebnách SŠ Pulická, Dobruška

SŠ Podorlické vzdělávací centrum, Pulická 695, Dobruška - učebna 1 - koncentrace prachu			
doba odběru	koncentrace prachu		
	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>1,0</sub> μg/m <sup>3</sup>
limity	150	80	
1.VH	29,6	13,7	11,0
2.VH	32,7	15,0	12,2
velká přestávka	42,4	16,7	12,6
3.VH	38,4	18,3	14,6
4.VH	35,3	17,7	13,8

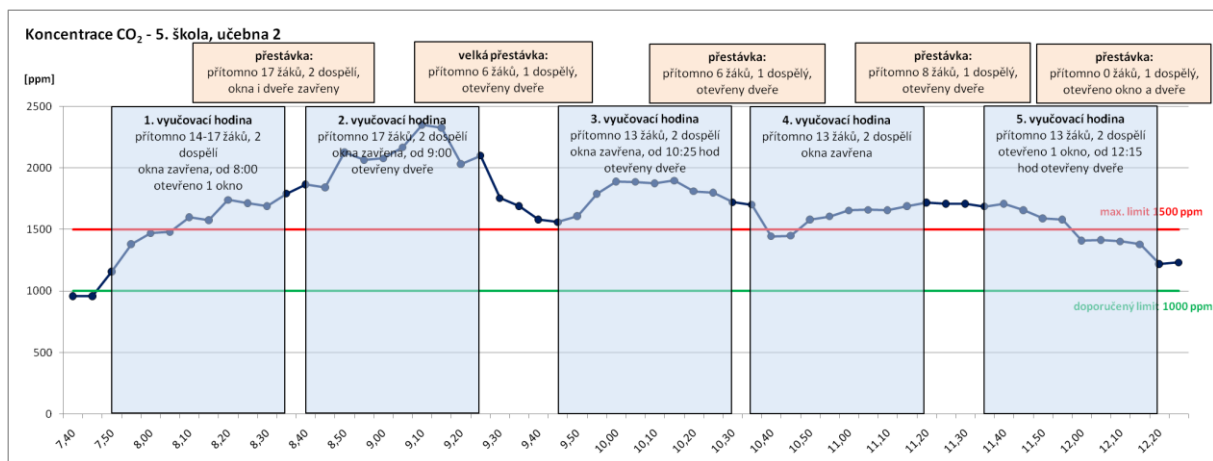
SŠ Podorlické vzdělávací centrum, Pulická 695, Dobruška - učebna 2 - koncentrace prachu			
doba odběru	koncentrace prachu		
	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>1,0</sub> μg/m <sup>3</sup>
limity	150	80	
1.VH	58,7	27,9	23,0



2.VH	71,6	32,6	27,5
velká přestávka	98,9	34,8	25,3
3.VH	62,1	29,4	21,9
4.VH	51,9	26,4	20,3



Obrázek 32: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 SŠ Pulická, Dobruška



Obrázek 33: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 SŠ Pulická, Dobruška

## **6. škola: Základní škola, Školní 1336, Vrchlabí**

Základní škola je tvořena 6 pavilony. Všechny objekty jsou dvoupodlažní, panelové, kolaudované v roce 1986, zateplené s vyměněnými okny. Areál ZŠ se nachází v okrajové části města, okolní zástavbu tvoří panelová výstavba (sídliště). Komunikace s nízkou dopravní zátěží je ve vzdálenosti cca 180 m.

**učebna 1:** 30. 1. 2017

**umístění:** 1. NP, 2. ročník

**vzhled učebny:** podlahová plocha 63,0 m<sup>2</sup>, světlá výška 3,3 m  
podlaha kryta PVC, v zadní části kobercem  
stěny vymalované, v okolí umývadla omyvatelný nátěr

**vytápění:** ústřední teplovodní – 3 radiátory umístěné pod okny

**větrání:** přirozené – 6 plastových oken s nadokenními ventilacemi, okna opatřená žaluziemi, orientovaná na jih  
dveře ve stěně protilehlé oknům  
bez klimatizace

**tělocvična:** 31. 1. 2017

**umístění:** 1. NP

**vzhled učebny:** podlahová plocha 272,5 m<sup>2</sup>, světlá výška 6,8 m  
podlaha kryta dřevěnými parketami  
stěny vymalované, částečně s dřevěným obložením

**vytápění:** ústřední teplovodní – 11 litinových radiátorů

**větrání:** přirozené – 24 plastových oken, 1 dveře  
bez klimatizace

*Tabulka 51: Koncentrace mikrobiálního znečištění v učebně a v tělocvičně  
ZŠ Školní, Vrchlabí*

<b>ZŠ Školní 1336, Vrchlabí - učebna 1 - mikrobiální kontaminace</b>				
			limit ve vnitřním prostředí	
učebna	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>	500	1040
	plísň	KTJ/m <sup>3</sup>	500	165
venkovní ovzduší	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>		40
	plísň	KTJ/m <sup>3</sup>		25

<b>ZŠ Školní 1336, Vrchlabí - tělocvična - mikrobiální kontaminace</b>				
			limit ve vnitřním prostředí	
tělocvična	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>	500	1940
	plísň	KTJ/m <sup>3</sup>	500	175
venkovní ovzduší	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>		640
	plísň	KTJ/m <sup>3</sup>		75

Tabulka 52: Hodnoty mikroklimatických podmínek v učebně a tělocvičně ZŠ Školní, Vrchlabí

ZŠ Školní 1336, Vrchlabí - učebna 1 - mikroklimatické podmínky			
čas měření [hod]	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění vzduchu [m/s]
limity	20–24	30–65	0,1–0,2
7.50	20,5	32,7	0,05
8.50	23,6	32,7	0,07
9.50	23,6	32,9	0,08
10.50	22,6	28,3	0,11
11.50	22,6	28,8	0,10
12.50	22,7	28,7	0,05

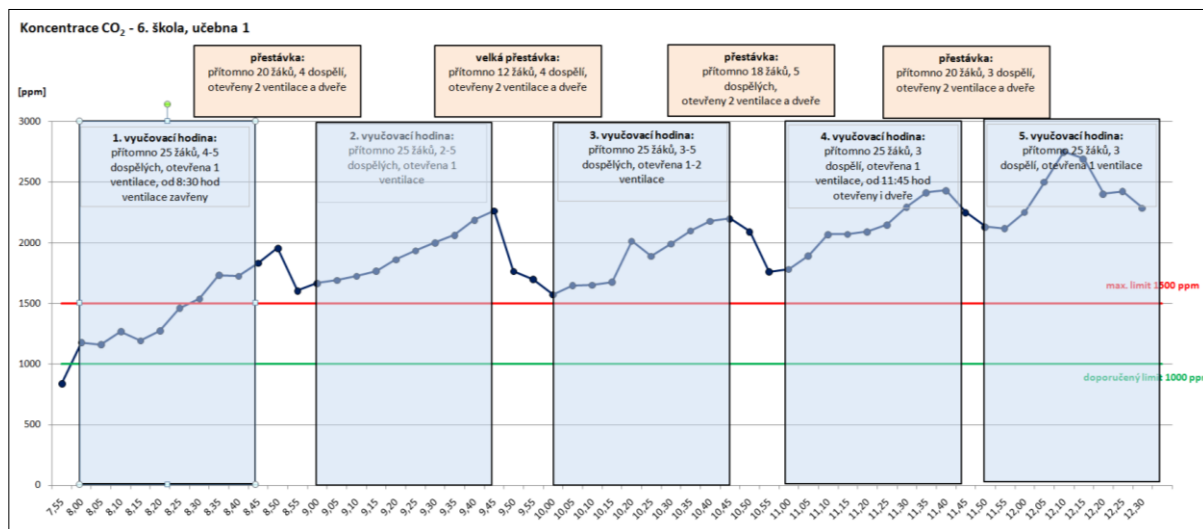
ZŠ Školní 1336, Vrchlabí - tělocvična - mikroklimatické podmínky			
čas měření [hod]	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění vzduchu [m/s]
limity	20–24	30–65	0,1–0,2
8.00	17,2	32,1	0,08
9.00	20,2	27,4	0,09
10.00	20,7	26,8	0,09
11.00	19,2	29,4	0,10
12.00	20,7	26,2	0,10

Tabulka 53: Koncentrace frakcí prachu v učebně a v tělocvičně ZŠ Školní, Vrchlabí

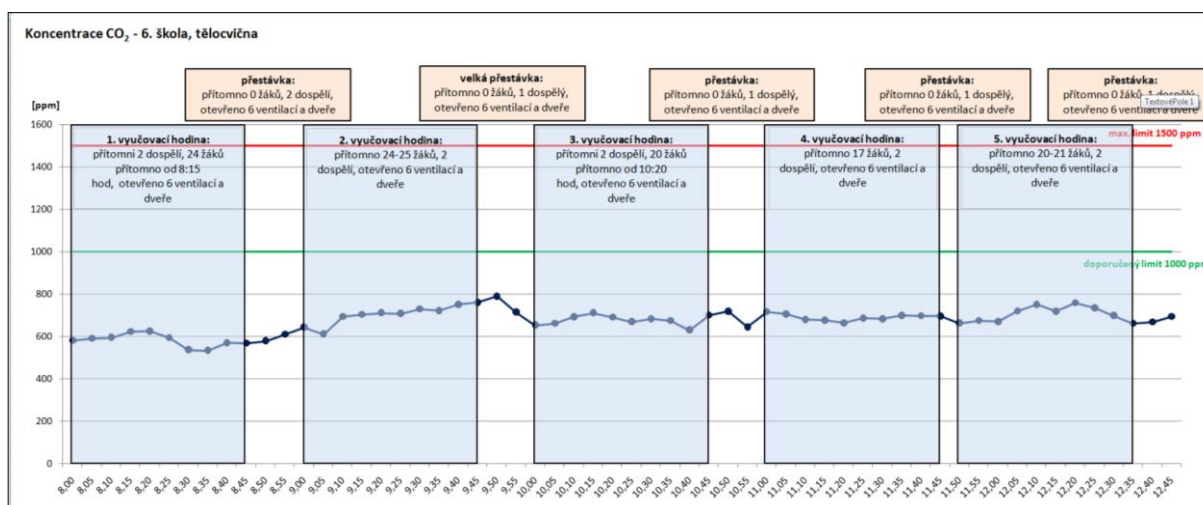
ZŠ Školní 1336, Vrchlabí - učebna 1 - koncentrace prachu			
doba odběru [hod]	koncentrace prachu		
	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>1,0</sub> μg/m <sup>3</sup>
limity	150	80	
1.VH	92,8	31,1	25,7
2.VH	93,3	30,4	24,5
velká přestávka	82,2	29,6	24,9
3.VH	134,7	30,5	23,2
4.VH	110,8	30,8	23,4
5.VH	131,5	31,3	23,2

ZŠ Školní 1336, Vrchlabí - tělocvična - koncentrace prachu			
doba odběru [hod]	koncentrace prachu		
	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>1,0</sub> μg/m <sup>3</sup>
limity	150	80	
1.VH	66,1	24,5	21,4
2.VH	139,8	29,4	21,5
velká přestávka	118,6	29,7	22,6

3.VH	107,9	29,0	22,5
4.VH	114,5	28,9	21,9



Obrázek 34: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 ZŠ Školní, Vrchlabí



Obrázek 35: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v tělocvičně ZŠ Školní, Vrchlabí

**7. škola: Základní škola, Radvanice 171**

Budova základní školy je dvoupodlažní, cihlová, zkolaudovaná v roce 1960. V roce 2005 prošla rozsáhlou rekonstrukcí, při které bylo provedeno i zateplení a výměna oken. Nachází se v okrajové části obce, okolní zástavbu tvoří panelová výstavba (sídliště) a volné prostranství. Komunikace s nízkou dopravní zátěží je ve vzdálenosti cca 30 m.

učebna 1: 6. 2. 2017

umístění: 2. NP, 4. ročník

vzhled učebny: podlahová plocha 52,7 m<sup>2</sup>, světlá výška 3,1 m

podlaha kryta PVC

stěny vymalované, v okolí umývadla omyvatelný nátěr

vytápění: ústřední teplovodní – 3 radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené – 3 čtyřdílná plastová okna opatřená žaluziemi a záclonami, orientovaná na jih

dveře ve stěně protilehlé oknům

bez klimatizace

učebna 2: 7. 2. 2017

umístění: 2. NP, 3. ročník

vzhled učebny: podlahová plocha 52,7 m<sup>2</sup>, světlá výška 3,1 m

podlaha kryta PVC

stěny vymalované, v okolí umývadla keramický obklad

vytápění: ústřední teplovodní – 3 radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené – 3 čtyřdílná plastová okna vybavená žaluziemi, orientovaná na jih

dveře ve stěně protilehlé oknům

bez klimatizace

Tabulka 54: Koncentrace mikrobiálního znečištění ve dvou učebnách ZŠ Radvanice

ZŠ Radvanice 171 - učebna 1 - mikrobiální kontaminace				
			limit ve vnitřním prostředí	
učebna	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>	500	3190
	plísň	KTJ/m <sup>3</sup>	500	70
venkovní ovzduší	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>		1180
	plísň	KTJ/m <sup>3</sup>		50

ZŠ Radvanice 171 - učebna 2 - mikrobiální kontaminace				
			limit ve vnitřním prostředí	
učebna	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>	500	4770
	plísň	KTJ/m <sup>3</sup>	500	2445
venkovní ovzduší	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>		50
	plísň	KTJ/m <sup>3</sup>		10

Tabulka 55: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách ZŠ Radvanice

ZŠ Radvanice 171 - učebna 1 - mikroklimatické podmínky			
čas měření [hod]	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění vzduchu [m/s]
limity	20–24	30–65	0,1–0,2
7.30	20,0	46,8	0,08
8.30	21,5	48,4	0,06
9.30	21,5	49,0	0,05
10.30	20,5	48,3	0,06
11.30	21,3	48,9	0,06

ZŠ Radvanice 171 - učebna 3. třídy - mikroklimatické podmínky			
čas měření [hod]	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění vzduchu [m/s]
limity	20–24	30–65	0,1–0,2
7.20	19,1	51,5	0,06
8.00	19,4	48,9	0,05
9.00	19,6	50,1	0,08
10.00	21,3	47,4	0,06
11.00	20,7	51,4	0,09
12.00	20,3	52,3	0,06

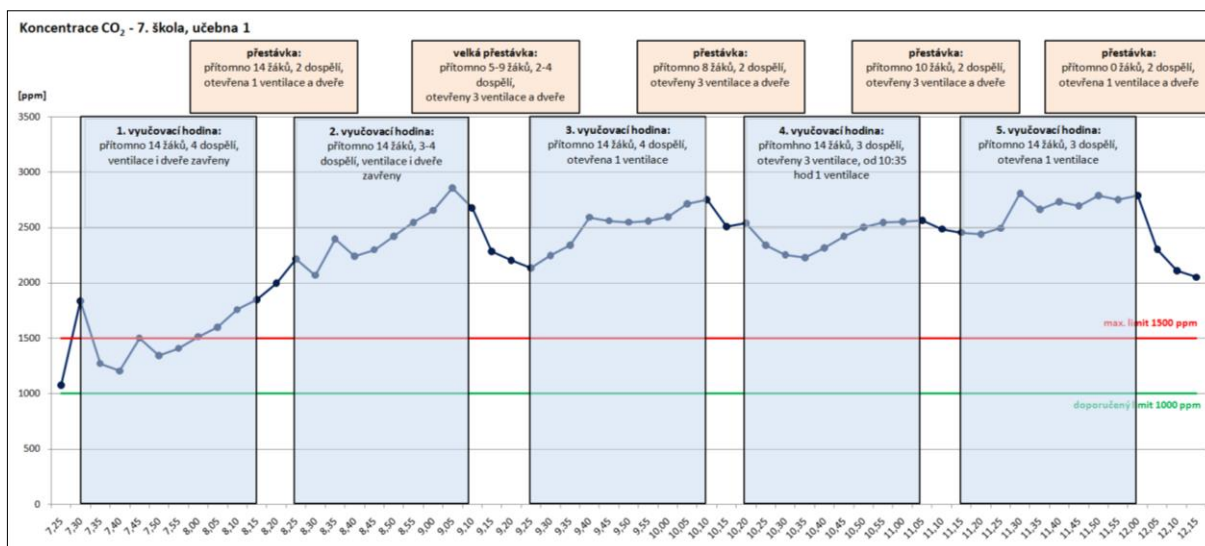
Tabulka 56: Koncentrace frakcí prachu ve dvou učebnách ZŠ Radvanice

ZŠ Radvanice 171 - učebna 1 - koncentrace prachu			
doba odběru	koncentrace prachu		
	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>1,0</sub> μg/m <sup>3</sup>
limity	150	80	
1.VH	57,6	12,8	7,8
2.VH	63,4	15,0	7,7
velká přestávka	109,4	24,7	9,7
3.VH	102,3	26,5	10,9
4.VH	94,7	30,8	14,0
5.VH	95,3	29,9	14,7

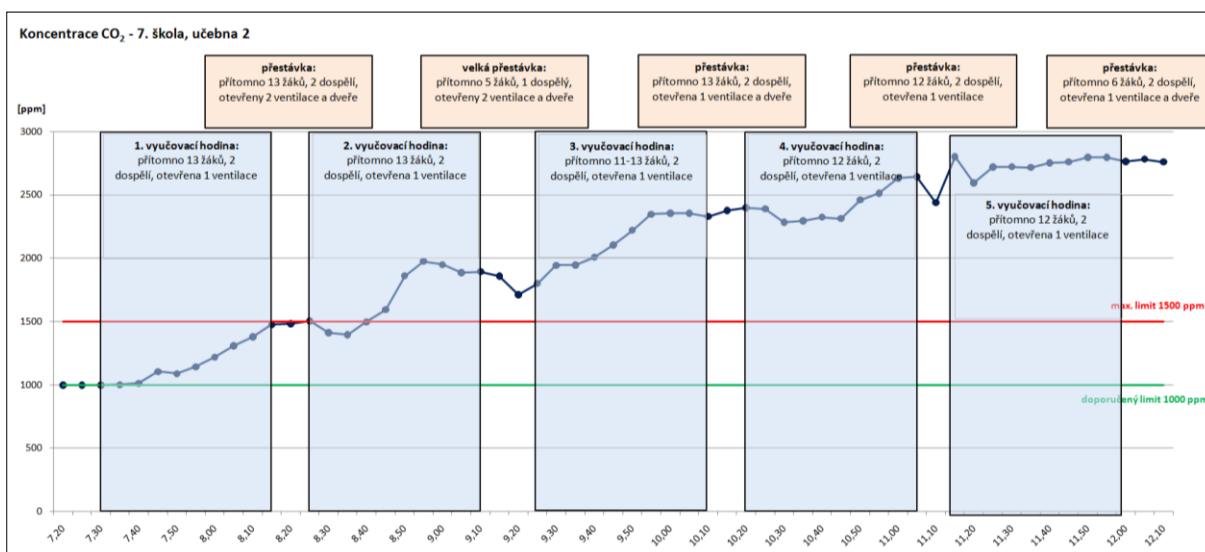
  

ZŠ Radvanice 171 - učebna 2 - koncentrace prachu			
doba odběru	koncentrace prachu		
	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>1,0</sub> μg/m <sup>3</sup>
limity	150	80	
1.VH	65,8	17,4	12,3
2.VH	104,0	26,1	13,6
velká přestávka	116,6	26,0	13,6

3.VH	130,8	27,8	13,3
4.VH	100,9	25,9	13,3
5.VH	79,1	24,9	13,5



Obrázek 36: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 ZŠ Radvanice



Obrázek 37: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 ZŠ Radvanice

**8. škola: Základní škola, Železnická 460, Jičín**

Základní škola zahrnuje 5 dvoupodlažních pavilonů z betonových panelů, založena byla v roce 1980. V roce 2014 bylo provedeno zateplení a výměna oken. Nachází se v centrální části města, okolní zástavbu tvoří panelová výstavba (sídliště) a rodinné domy. Komunikace se střední dopravní zátěží je ve vzdálenosti cca 50 m.

**učebna 1:** 2. 2. 2017

**umístění:** 2. NP, 2. ročník

**vzhled učebny:** podlahová plocha 62,0 m<sup>2</sup>, světlá výška 3,3 m  
podlaha kryta PVC, v zadní části plastové puzzle desky  
stěny vymalované, v okolí umývadla keramický obklad

**vytápění:** ústřední teplovodní – 3 litinové radiátory umístěné pod okny

**větrání:** přirozené – 3 plastová okna opatřená žaluziemi, orientovaná na východ směrem do ulice  
dveře ve stěně protilehlé oknům  
bez klimatizace

**učebna 2:** 22. 2. 2017

**umístění:** 2. NP, 9. ročník

**vzhled učebny:** podlahová plocha 55,3 m<sup>2</sup>, světlá výška 3,3 m  
podlaha kryta PVC  
stěny vymalované, v okolí umývadla keramický obklad

**vytápění:** ústřední teplovodní – 3 litinové radiátory umístěné pod okny

**větrání:** přirozené – 3 plastová okna vybavená žaluziemi, orientovaná na východ  
dveře ve stěně protilehlé oknům  
bez klimatizace

Tabulka 57: Koncentrace mikrobiálního znečištění ve dvou učebnách ZŠ Železnická, Jičín

ZŠ Železnická 460, Jičín - učebna 1 - mikrobiální kontaminace				
			limit ve vnitřním prostředí	
učebna	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>	500	753
	plísně	KTJ/m <sup>3</sup>	500	50
venkovní ovzduší	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>		770
	plísně	KTJ/m <sup>3</sup>		20

ZŠ Železnická 460, Jičín - učebna 2 - mikrobiální kontaminace				
			limit ve vnitřním prostředí	
učebna	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>	500	1125
	plísně	KTJ/m <sup>3</sup>	500	105
venkovní ovzduší	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>		250
	plísně	KTJ/m <sup>3</sup>		140



Tabulka 58: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách ZŠ Železnická, Jičín

ZŠ Železnická 460, Jičín - učebna 1 - mikroklimatické podmínky			
čas měření [hod]	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění vzduchu [m/s]
limity	20–24	30–65	0,1–0,2
8.00	24,0	29,0	0,05
9.00	23,6	22,9	0,06
10.00	22,8	23,5	0,07
11.00	25,4	26,6	0,06
12.00	25,2	26,8	0,04

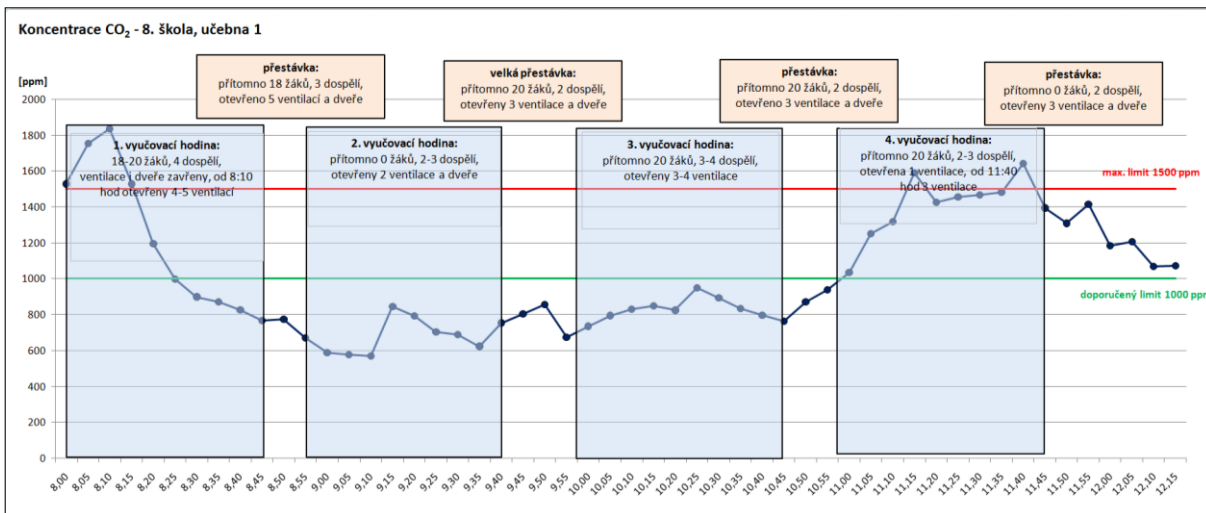
ZŠ Železnická 460, Jičín - učebna 2 - mikroklimatické podmínky			
čas měření [hod]	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění vzduchu [m/s]
limity	20–24	30–65	0,1–0,2
8.00	22,7	42,4	0,08
9.00	21,1	44,8	0,06
10.00	21,3	44,2	0,07
11.00	22,1	44,2	0,06

Tabulka 59: Koncentrace frakcí prachu ve dvou učebnách ZŠ Železnická, Jičín

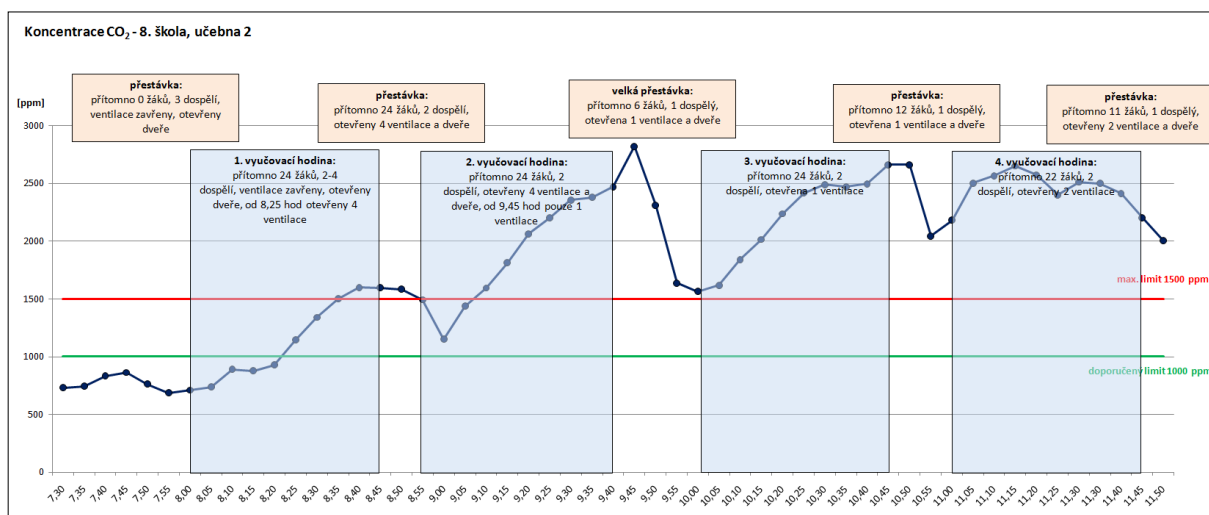
ZŠ Železnická 460, Jičín - učebna 1 - koncentrace prachu			
doba odběru	koncentrace prachu		
	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>1,0</sub> μg/m <sup>3</sup>
limity	150	80	
1.VH	91,2	40,8	35,2
2.VH	56,5	38,0	34,9
velká přestávka	66,5	36,4	32,9
3.VH	69,8	31,0	26,8
4.VH	95,0	28,2	20,9
5.VH	84,0	26,5	19,8

ZŠ Železnická 460, Jičín - učebna 2 - koncentrace prachu			
doba odběru	koncentrace prachu		
	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>1,0</sub> μg/m <sup>3</sup>
limity	150	80	
1.VH	47,6	13,9	9,0
2.VH	78,4	17,4	10,0
velká přestávka	129,4	24,8	11,9
3.VH	69,2	20,1	13,2
4.VH	76,3	17,4	10,4



Obrázek 38: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 ZŠ Železnická, Jičín



Obrázek 39: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 ZŠ Železnická, Jičín

**9. škola: Základní škola Masarykova, Tyršova 336, Železnice**

Budova základní školy je dvoupodlažní, cihlová, postavena v roce 1935. V roce 2015 bylo provedeno zateplení a výměna oken. Nachází se v obytné zóně obce, okolní zástavbu tvoří rodinné domy. Komunikace se střední dopravní zátěží je ve vzdálenosti cca 15 m.

učebna 1: 10. 2. 2017

umístění: 2. NP, 7. ročník

vzhled učebny: podlahová plocha 54,8 m<sup>2</sup>, světlá výška 3,5 m

podlaha kryta PVC

stěny vymalované

vytápění: ústřední teplovodní – 2 radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené – plastová okna

dveře ve stěně protilehlé oknům

bez klimatizace

učebna 2: 10. 3. 2017

umístění: 1. NP, 3. ročník

vzhled učebny: podlahová plocha 59 m<sup>2</sup>, světlá výška 3,4 m

podlaha kryta PVC

stěny vymalované

vytápění: ústřední teplovodní – 2 radiátory umístěné pod okny

větrání: přirozené – 2 trojdílná plastová okna s ventilacemi

dveře ve stěně protilehlé oknům

bez klimatizace

*Tabulka 60: Koncentrace mikrobiálního znečištění ve dvou učebnách  
ZŠ Masarykova, Železnice*

ZŠ Tyršova 336, Železnice - učebna 1 - mikrobiální kontaminace				
			limit ve vnitřním prostředí	
učebna	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>	500	1143
	plísň	KTJ/m <sup>3</sup>	500	133
venkovní ovzduší	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>		0
	plísň	KTJ/m <sup>3</sup>		60

ZŠ Tyršova 336, Železnice - učebna 2 - mikrobiální kontaminace				
			limit ve vnitřním prostředí	
učebna	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>	500	1320
	plísň	KTJ/m <sup>3</sup>	500	163
venkovní ovzduší	CPM	KTJ/m <sup>3</sup>		50
	plísň	KTJ/m <sup>3</sup>		110

Tabulka 61: Hodnoty mikroklimatických podmínek ve dvou učebnách  
ZŠ Masarykova, Železnice

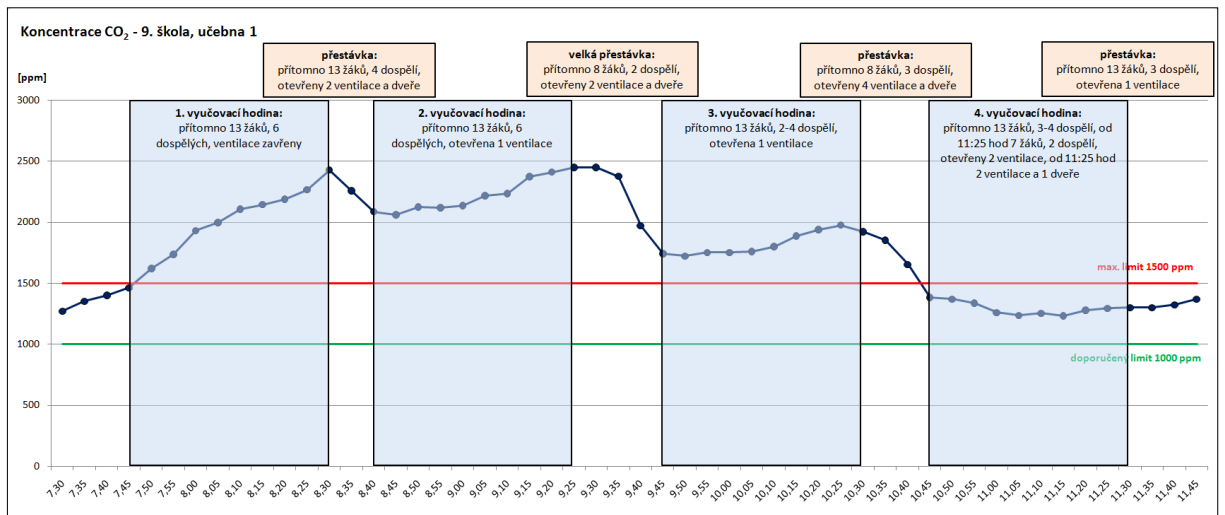
ZŠ Tyršova 336, Železnice - učebna 1 - mikroklimatické podmínky			
čas měření [hod]	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění vzduchu [m/s]
limity	20–24	30–65	0,1–0,2
7.30	18,4	54,6	0,02
8.30	23,3	50,8	0,04
9.30	23,5	44,0	0,05
10.30	23,1	44,0	0,05
11.30	22,8	37,3	0,06

ZŠ Tyršova 336, Železnice - učebna 2 - mikroklimatické podmínky			
čas měření [hod]	teplota vzduchu [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění vzduchu [m/s]
limity	20–24	30–65	0,1–0,2
8.00	22,3	40,9	0,06
9.00	23,5	40,2	0,05
10.00	21,6	37,4	0,06
11.00	22,1	38,6	0,07

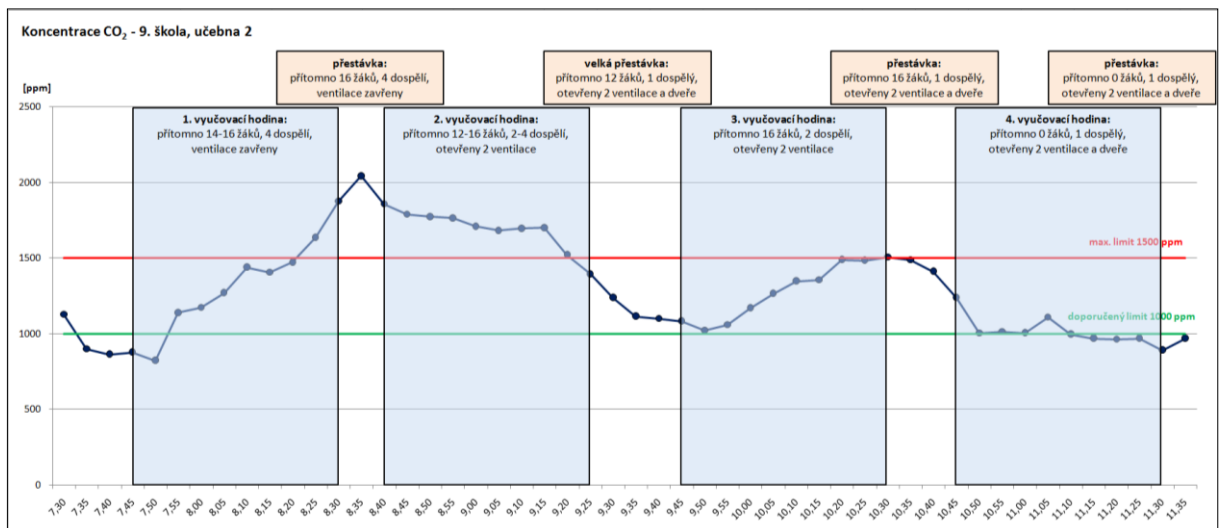
Tabulka 62: Koncentrace frakcí prachu ve dvou učebnách ZŠ Masarykova, Železnice

ZŠ Tyršova 336, Železnice - učebna 1 - koncentrace prachu			
doba odběru	koncentrace prachu		
	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>1,0</sub> μg/m <sup>3</sup>
limity	150	80	
1.VH	68,1	22,3	15,2
2.VH	73,7	23,9	15,5
velká přestávka	75,6	23,7	15,4
3.VH	65,5	22,7	15,2
4.VH	55,0	22,3	17,2
P	72,1	23,4	16,6

ZŠ Tyršova 336, Železnice - učebna 2 - koncentrace prachu			
doba odběru	koncentrace prachu		
	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>1,0</sub> μg/m <sup>3</sup>
limity	150	80	
1.VH	102,8	15,7	7,3
2.VH	168,3	20,4	6,2
velká přestávka	102,7	13,9	4,3
3.VH	149,7	15,7	3,6
4.VH	46,4	7,8	3,4



Obrázek 40: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 ZŠ Masarykova, Železnice



Obrázek 41: Graf průběhu koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 ZŠ Masarykova, Železnice

### **13.3 Příloha 3 - měření v roce 2019**

#### **1. škola: ZŠ J. A. Komenského, Vlčice 193**

##### **učebna 1: 1. a 2. třída**

2. VH:	přítomno:	7 žáků, 4 dospělí
	větrání:	otevřena 1 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřené 2 ventilace a dveře
3. VH:	přítomno:	7 žáků, 4 dospělí
	větrání:	otevřena 1 ventilace, dveře zavřené

##### **učebna 2: 3. - 5. třída**

2. VH:	přítomno:	14 žáků, 4 dospělí
	větrání:	otevřena 1 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřené 3 ventilace a dveře
3. VH:	přítomno:	14 žáků, 4 dospělí
	větrání:	otevřena 1 ventilace, dveře zavřené

#### **2. škola: ZŠ Velké Svatoňovice 198**

##### **učebna 1: 1. a 2. třída**

2. VH:	přítomno:	12 žáků, 4 dospělí
	větrání:	otevřené 3 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřena 3 celá okna a dveře
3. VH:	přítomno:	12 žáků, 4 dospělí
	větrání:	okna i dveře zavřené

##### **učebna 2: 3. a 4. třída**

2. VH:	přítomno:	11 žáků, 4 dospělí
	větrání:	otevřené 2 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřena 3 celá okna a dveře
3. VH:	přítomno:	9 žáků, 4 dospělí
	větrání:	otevřeno 6 ventilací, dveře zavřené

#### **3. škola: ZŠ Školní 81, Janské Lázně**

##### **učebna 1: 1. a 2. třída**

2. VH:	přítomno:	9 žáků, 5 dospělí
	větrání:	otevřeno 1 okenní křídlo, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřeno 1 okenní křídlo a dveře
3. VH:	přítomno:	9 žáků, 3 dospělí
	větrání:	otevřeno 1 okenní křídlo, dveře zavřené

##### **učebna 2: 3. - 5. třída**

2. VH:	přítomno:	19 žáků, 2 dospělí
	větrání:	otevřena 2 okenní křídla, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	okenní křídlo otevřené pod dobu 10 min, poté zavřené, dveře otevřené po celou dobu přestávky
3. VH:	přítomno:	19 žáků, 2 dospělí
	větrání:	otevřena 2 okenní křídla, dveře zavřené

<b>4. škola:</b>	<b>ZŠ R. Frimla 816, Trutnov</b>
<u>učebna 1:</u>	<b>3. třída</b>
2. VH:	přítomno: 24 žáků, 3 dospělí větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání: otevřeny 4 ventilace a dveře
3. VH:	přítomno: 24 žáků, 3 dospělí větrání: otevřeno 5 ventilací, dveře zavřené
<u>učebna 2:</u>	<b>7. třída</b>
2. VH:	přítomno: 21 žáků, 3 dospělí větrání: okna i dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání: otevřeny 4 ventilace a dveře
3. VH:	přítomno: 21 žáků, 3 dospělí větrání: otevřeny 4 ventilace, dveře zavřené
<b>5. škola:</b>	<b>Speciální ZŠ a Praktická škola Hradecká 1231, Hradec Králové</b>
<u>učebna 1:</u>	<b>autistická třída</b>
2. VH:	přítomno: 5 žáků, 3 dospělí větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání: otevřeny ventilace a dveře
3. VH:	přítomno: 5 žáků, 2 dospělí větrání: otevřena 1 ventilace a dveře
<u>učebna 2:</u>	<b>speciální třída</b>
2. VH:	přítomno: 4 žáků, 3 dospělí větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání: otevřeny ventilace a dveře
3. VH:	přítomno: 4 žáků, 3 dospělí větrání: okna zavřená, dveře otevřené
<b>6. škola:</b>	<b>ZŠ F. Palackého 1240, Nový Bydžov</b>
<u>učebna 1:</u>	<b>1., 3.–5. třída</b>
2. VH:	přítomno: 8 žáků, 4 dospělí větrání: otevřeny 3 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání: otevřené 3 ventilace, 1 celé okno a dveře
3. VH:	přítomno: 8 žáků, 3 dospělí větrání: otevřeny 3 ventilace, dveře zavřené
<u>učebna 2:</u>	<b>7. a 9. třída</b>
2. VH:	přítomno: 11 žáků, 3 dospělí větrání: otevřeny 3 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání: otevřené 3 ventilace, 1 celé okno a dveře
3. VH:	přítomno: 0 žáků, 3 dospělí větrání: otevřeno 1 celé okno a dveře
<b>7. škola:</b>	<b>ZŠ K. H. Borovského 99, Vysoké Veselí</b>

učebna 1: **6. třída**  
2. VH: přítomno: 14 žáků, 2 dospělí  
větrání: otevřeno 1 okenní křídlo, dveře zavřené  
*přestávka:* větrání: otevřeny 3 ventilace a dveře  
3. VH: přítomno: 14 žáků, 2 dospělí  
větrání: okna zavřena. otevřeny dveře

učebna 2: **8. třída**  
2. VH: přítomno: 16 žáků, 2 dospělí  
větrání: otevřena 4 okenní křídla, dveře zavřené  
*přestávka:* větrání: otevřeny 3 ventilace a dveře  
3. VH: přítomno: 16 žáků, 2 dospělí  
větrání: okna zavřena, otevřeny dveře

**8. škola: ZŠ Štefánikova 566, Hradec Králové**

učebna 1: **9. třída**  
2. VH: přítomno: 24 žáků, 2 dospělí  
větrání: okna i dveře zavřené  
*přestávka:* větrání: otevřeny ventilace a dveře  
3. VH: přítomno: 18 žáků, 2 dospělí  
větrání: okna i dveře zavřené

učebna 2: **7. třída**  
2. VH: přítomno: 21 žáků, 2 dospělí  
větrání: okna i dveře zavřené  
*přestávka:* větrání: otevřeny ventilace a dveře  
3. VH: přítomno: 11 žáků, 2 dospělí  
větrání: okna i dveře zavřené

**9. škola: ZŠ Hořiněves 4**

učebna 1: **1. a 2. třída**  
2. VH: přítomno: 9 žáků, 2 dospělí  
větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené  
*přestávka:* větrání: otevřeny ventilace a dveře  
3. VH: přítomno: 9 žáků, 2 dospělí  
větrání: otevřena 1 ventilace a dveře

učebna 2: **učebna výpočetní techniky**  
2. VH: přítomno: 12 žáků, 3 dospělí  
větrání: okna zavřená, dveře otevřené  
*přestávka:* větrání: otevřeny ventilace a dveře  
3. VH: přítomno: 12 žáků, 2 dospělí  
větrání: okna zavřená, dveře otevřené

**10. škola: ZŠ Gutha-Jarkovského, Palackého nám. 45, Kostelec nad Orlicí**

učebna 1: **8. třída**  
2. VH: přítomno: 15 žáků, 3 dospělí



	větrání:	otevřena 1 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřena 1 ventilace a dveře
3. VH:	přítomno:	19 žáků, 3 dospělí
	větrání:	otevřena 1 ventilace, dveře zavřené
<u>učebna 2:</u>	<b>učebna fyziky a chemie</b>	
2. VH:	přítomno:	26 žáků, 4 dospělí
	větrání:	okna i dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	okna i dveře zavřené
3. VH:	přítomno:	22 žáků, 4 dospělí
	větrání:	otevřeny 3 ventilace, dveře zavřené

**11. škola: ZŠ Nádražní 313, Opočno**

učebna 1:

**7.B třída**

2. VH:	přítomno:	19 žáků, 4 dospělí
	větrání:	okna i dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřené 4 ventilace, dveře zavřené
3. VH:	přítomno:	20 žáků, 4 dospělí
	větrání:	otevřené 4 ventilace, dveře zavřené

učebna 2:

**8. třída**

2. VH:	přítomno:	13 žáků, 4 dospělí
	větrání:	okna i dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	okna zavřená, dveře otevřené
3. VH:	přítomno:	13 žáků, 4 dospělí
	větrání:	okna i dveře zavřené

učebna 3:

**7.A třída**

2. VH:	přítomno:	19 žáků, 4 dospělí
	větrání:	otevřené 4 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	okna zavřená, dveře otevřené
3. VH:	přítomno:	0 žáků, 3 dospělí
	větrání:	otevřené 4 ventilace, dveře zavřené

**12. škola: ZŠ Komenského 828, Týniště nad Orlicí**

učebna 1:

**2. třída**

2. VH:	přítomno:	15 žáků, 3 dospělí
	větrání:	okna i dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřena 1 ventilace a dveře
3. VH:	přítomno:	15 žáků, 3 dospělí
	větrání:	otevřeny 2 ventilace a dveře

učebna 2:

**1. třída**

2. VH:	přítomno:	17 žáků, 3 dospělí
	větrání:	okna i dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřeno 6 ventilací a dveře
3. VH:	přítomno:	17 žáků, 3 dospělí
	větrání:	okna i dveře zavřené

**13. škola: ZŠ Voděrady 2**  
**učebna 1: 6. třída**

2. VH: přítomno: 11 žáků, 4 dospělí  
větrání: okna i dveře zavřené  
přestávka: větrání: otevřena 1 ventilace a dveře  
3. VH: přítomno: 13 žáků, 4 dospělí  
větrání: otevřeny 4 ventilace a dveře

**učebna 2: 5. třída**

2. VH: přítomno: 18 žáků, 4 dospělí  
větrání: otevřeny 1 ventilace, dveře zavřené  
přestávka: větrání: otevřena 1 ventilace a dveře  
3. VH: přítomno: 0 žáků, 3 dospělí  
větrání: otevřena 1 ventilace a dveře

**14. škola: ZŠ Slatina nad Zdobnicí 45**  
**učebna 1: 3. třída**

2. VH: přítomno: 10 žáků, 4 dospělí  
větrání: okna i dveře zavřené  
přestávka: větrání: instalovaná VZT jednotka se ZZT, okna zavřena, tevěny  
dveře  
3. VH: přítomno: 10 žáků, 4 dospělí  
větrání: okna i dveře zavřené

**učebna 2: 6. třída**

2. VH: přítomno: 24 žáků, 4 dospělí  
větrání: okna i dveře zavřené  
přestávka: větrání: instalovaná VZT jednotka se ZZT, okna zavřena, tevěny  
dveře  
3. VH: přítomno: 24 žáků, 4 dospělí  
větrání: okna zavřená, dveře otevřené

**učebna 3: 4. třída**

2. VH: přítomno: 14 žáků, 5 dospělí  
větrání: okna i dveře zavřené  
přestávka: větrání: instalovaná VZT jednotka se ZZT, okna zavřena,  
otevřeny dveře  
3. VH: přítomno: 14 žáků, 5 dospělí  
větrání: okna i dveře zavřené

**15. škola: ZŠ Hoříčky 19**  
**učebna 1: 5. třída**

2. VH: přítomno: 13 žáků, 3 dospělí  
větrání: otevřeny 4 ventilace a dveře  
přestávka: větrání: otevřeny ventilace a dveře  
3. VH: přítomno: 13 žáků, 4 dospělí  
větrání: otevřeny 2 ventilace a dveře

<u>učebna 2:</u>	<b>1. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	18 žáků, 3 dospělí
	větrání:	otevřeny 4 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřeny ventilace a dveře
3. VH:	přítomno:	18 žáků, 6 dospělí
	větrání:	otevřeny 3 ventilace, dveře zavřené

**16. škola: ZŠ Provodov–Šonov 6**

<u>učebna 1:</u>	<b>3. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	10 žáků, 4 dospělí
	větrání:	otevřena 1 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřena 2 okna a dveře
3. VH:	přítomno:	10 žáků, 3 dospělí
	větrání:	otevřeny 2 ventilace, dveře zavřené

<u>učebna 2:</u>	<b>5. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	20 žáků, 4 dospělí
	větrání:	otevřena 1 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřeno 6 ventilací a dveře
3. VH:	přítomno:	20 žáků, 3 dospělí
	větrání:	otevřeny 3 ventilace, dveře zavřené

**17. škola: ZŠ Studnice 57, Studnice**

<u>učebna 1:</u>	<b>1.–3. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	7 žáků, 3 dospělí
	větrání:	otevřeny 4 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřeny 4 ventilace, 1 celé okenní křídlo a dveře
3. VH:	přítomno:	16 žáků, 3 dospělí
	větrání:	otevřeny 4 ventilace, dveře zavřené

<u>učebna 2:</u>	<b>4. a 5. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	18 žáků, 3 dospělí
	větrání:	otevřena 1 ventilace, 1 celé okenní křídlo, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřeny 4 ventilace, 1 celé okenní křídlo a dveře
3. VH:	přítomno:	17 žáků, 3 dospělí
	větrání:	2 okenní křídla pootevřené, dveře zavřené

**18. škola: ZŠ Bratří Čapků 138, Červený Kostelec, Lhota**

<u>učebna 1:</u>	<b>4. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	14 žáků, 5 dospělých
	větrání:	okna zavřena, dveře otevřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřena 2 okenní křídla a dveře
3. VH:	přítomno:	14 žáků, 5 dospělých
	větrání:	otevřena 2 okenní křídla a dveře

<u>učebna 2:</u>	<b>1. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	10 žáků, 4 dospělí

*přestávka:* větrání: otevřeno 1 okenní křídlo a dveře  
3. *VH:* větrání: otevřena 2 okenní křídla a dveře  
přítomno: 10 žáků, 4 dospělí  
větrání: otevřena 2 okenní křídla, dveře zavřené

**19. škola: ZŠ Horní Kostelec 182, Červený Kostelec**

**učebna 1:**

**2. třída**

2. *VH:* přítomno: 19 žáků, 3 dospělí  
větrání: otevřeny 2 ventilace, dveře zavřené  
*přestávka:* větrání: otevřeny 3 ventilace a dveře  
3. *VH:* přítomno: 26 žáků, 3 dospělí  
větrání: otevřeny 2 ventilace, dveře zavřené

**učebna 2:**

**4. třída**

2. *VH:* přítomno: 22 žáků, 3 dospělí  
větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené  
*přestávka:* větrání: otevřeny 3 ventilace a dveře  
3. *VH:* přítomno: 22 žáků, 3 dospělí  
větrání: otevřeny 3 ventilace, dveře zavřené

**20. škola: ZŠ Milovice u Hořic 8, Hořice**

**učebna 1:**

**1. a 2. třída**

2. *VH:* přítomno: 9 žáků, 2 dospělí  
větrání: okna zavřena, dveře otevřené  
*přestávka:* větrání: otevřeny ventilace a dveře  
3. *VH:* přítomno: 0 žáků, 1 dospělý  
větrání: otevřeny 3 ventilace a dveře

**učebna 2:**

**3.–5. třída**

2. *VH:* přítomno: 12 žáků, 2 dospělí  
větrání: okna i dveře zavřené  
*přestávka:* větrání: otevřeny ventilace a dveře  
3. *VH:* přítomno: 12 žáků, 2 dospělí  
větrání: otevřeny 3 ventilace a dveře

**21. škola: ZŠ Chodovice 2, Holovousy**

**učebna 1:**

**1. třída**

2. *VH:* přítomno: 17 žáků, 3 dospělí  
větrání: otevřeny 3 ventilace a dveře  
*přestávka:* větrání: otevřeny ventilace a dveře  
3. *VH:* přítomno: 12 žáků, 2 dospělí  
větrání: otevřeny 3 ventilace a dveře

**učebna 2:**

**2. třída**

2. *VH:* přítomno: 7 žáků, 2 dospělí  
větrání: otevřeny 2 ventilace a dveře  
*přestávka:* větrání: otevřeny ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 0 žáků, 2 dospělí  
větrání: otevřeny 3 ventilace a dveře

**22. škola: ZŠ Komenského 338, Hořice**

učebna 1: **7. třída**

2. VH: přítomno: 20 žáků, 2 dospělí  
větrání: otevřeny 3 ventilace a dveře

*přestávka:* větrání: otevřeny ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 22 žáků, 2 dospělí  
větrání: zavřená okna i dveře

učebna 2: **4. třída**

2. VH: přítomno: 19 žáků, 2 dospělí  
větrání: okna zavřená, dveře otevřené

*přestávka:* větrání: otevřeny ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 12 žáků, 2 dospělí  
větrání: otevřena 1 ventilace a dveře

**23. škola: ZŠ Bezručova 1468, Hradec Králové**

učebna 1: **8. třída**

2. VH: přítomno: 17 žáků, 2 dospělí  
větrání: otevřena 2 okenní křídla, dveře zavřené

*přestávka:* větrání: otevřeny 3 ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 26 žáků, 1 dospělý  
větrání: otevřena 4 okenní křídla a dveře

učebna 2: **hudebna**

2. vyučovací hodina: přítomno: 25 žáků, 2 dospělí  
větrání: okna i dveře zavřené

*přestávka:* větrání: otevřeny 2 ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 0 žáků, 1 dospělý  
větrání: okna zavřena, otevřeny dveře

**24. škola: ZŠ Jičínská 30, Valdice**

učebna 1: **5. třída**

2. VH: přítomno: 14 žáků, 2 dospělí  
větrání: okna zavřená, dveře otevřené

*přestávka:* větrání: otevřeny ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 14 žáků, 3 dospělí  
větrání: okna i dveře zavřené

učebna 2: **2. třída**

2. VH: přítomno: 16 žáků, 3 dospělí  
větrání: okna zavřená, dveře otevřené

*přestávka:* větrání: otevřeny ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 25 žáků, 3 dospělí  
větrání: okna zavřená, dveře otevřené

**25. škola: ZŠ Podhart', Máchova 884, Dvůr Králové nad Labem**  
**učebna 1: 6. třída**

2. VH: přítomno: 23 žáků, 5 dospělých  
 větrání: okna i dveře zavřené  
 přestávka: větrání: otevřeny ventilace a dveře  
 3. VH: přítomno: 24 žáků, 5 dospělých  
 větrání: otevřeno 5 ventilací, dveře zavřené

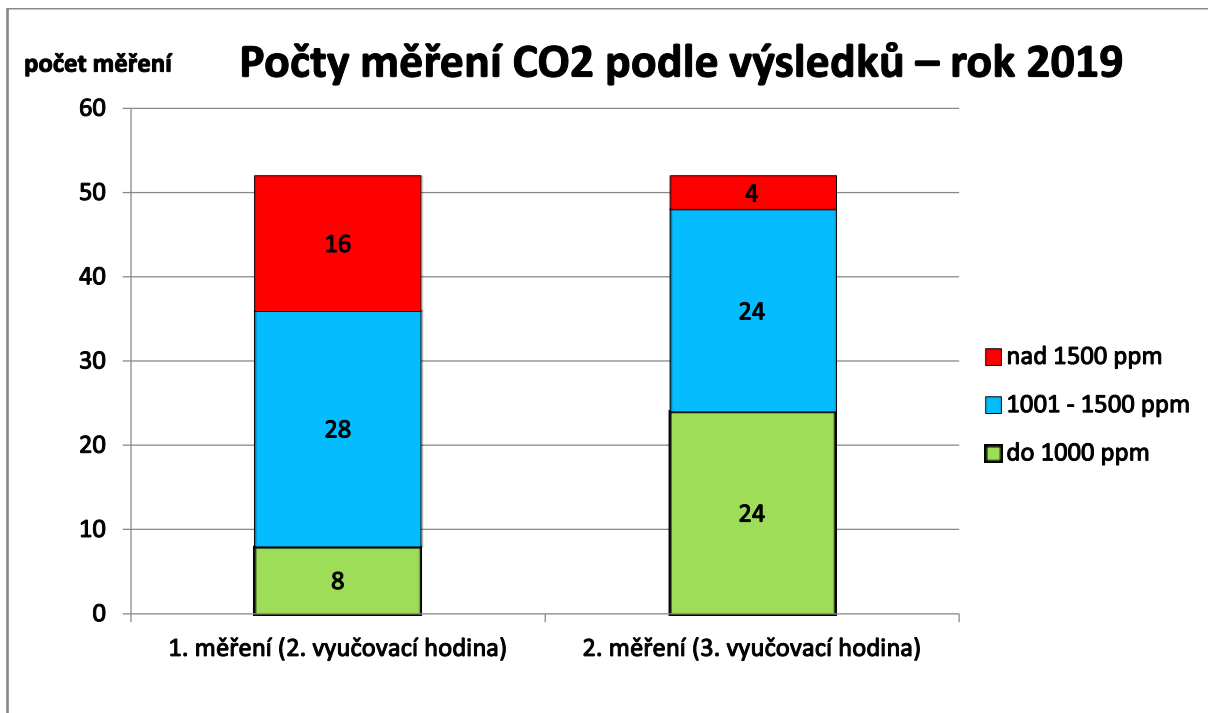
**učebna 2: 5. třída**

2. VH: přítomno: 16 žáků, 4 dospělí  
 větrání: okna i dveře zavřené  
 přestávka: větrání: otevřeny ventilace a dveře  
 3. VH: přítomno: 16 žáků, 4 dospělí  
 větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené

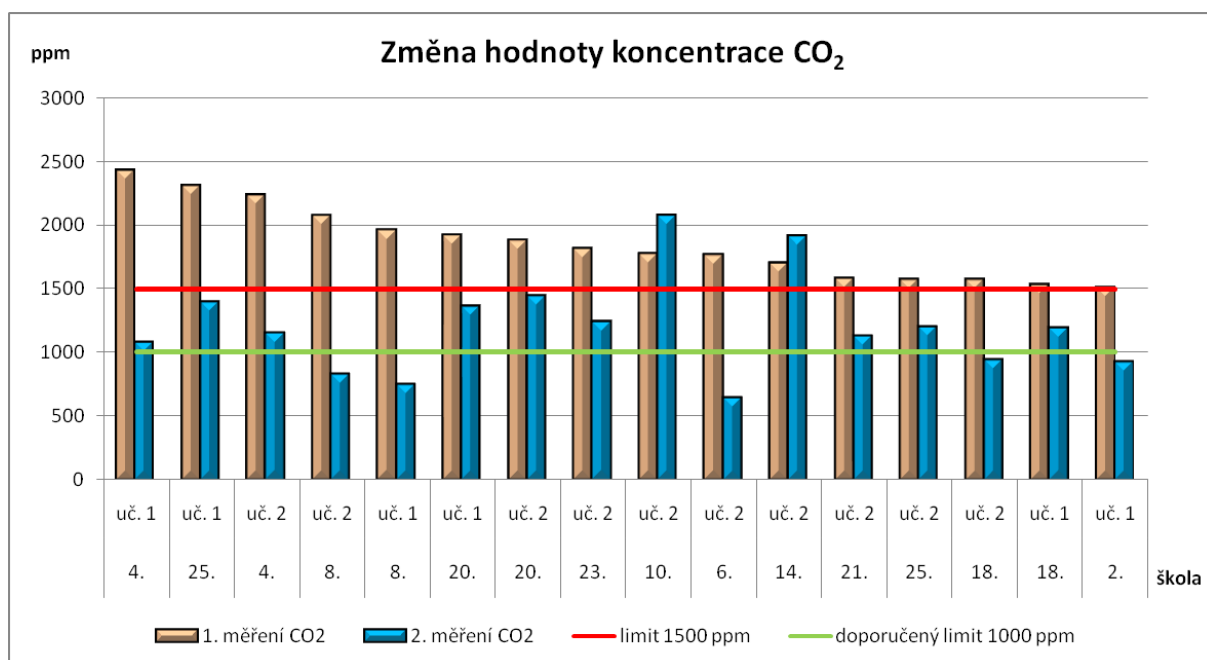
*Tabulka 63: Naměřené hodnoty teploty vzduchu a koncentrace CO<sub>2</sub> ve vybraných ZŠ v roce 2019*

	výměna oken	zateplení		2. vyučovací hodina		Přestávka		3. vyučovací hodina	
				T	CO <sub>2</sub>	Otevřena		T	CO <sub>2</sub>
				°C	ppm	okna	dveře	°C	ppm
			limity	20–24	1000/1500			20–24	1000/1500
1. ZŠ	ano	ano	uč. 1	20,4	1002	ano	ano	21,7	920
			uč. 2	22,6	1062	ano	ano	21,6	940
2. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,1	1510	ano	ano	21,6	930
			uč. 2	21,4	1440	ano	ano	21,1	814
3. ZŠ	ne	ne	uč. 1	21	1197	ano	ano	21,4	1090
			uč. 2	21,5	1086	ano	ano	21,7	1140
4. ZŠ	ano	ano	uč. 1	23	2427	ano	ano	22,5	1077
			uč. 2	23,4	2236	ano	ano	22,2	1153
5. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,2	1314	ano	ano	24	743
			uč. 2	22,4	1045	ano	ano	23,6	762
6. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,5	1247	ano	ano	22,7	740
			uč. 2	22,9	1771	ano	ano	22,3	643
7. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,7	1267	ano	ano	24,5	1005
			uč. 2	22	1119	ano	ano	25	764
8. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,7	1965	ano	ano	20	747
			uč. 2	23,3	2077	ano	ano	20,6	830
9. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,8	979	ano	ano	23,9	978
			uč. 2	22,2	876	ano	ano	23,1	978
10. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,1	1491	ano	ano	24	2148**
			uč. 2	23,7	1774	ano	ano	24	2078**
11. ZŠ	ano	ano	uč. 1	21,9	868	ne	ano	24,6	1086
			uč. 2	22,8	1450	ne	ano	24,2	1434
			uč. 3	22,9	1419	ne	ano	22,9	1148

12. ZŠ	ano	ano	uč. 1	23,4	1040	ano	ano	22,3	722
			uč. 2	23,7	1189	ano	ano	22,6	720
13. ZŠ	ano	ano	uč. 1	21,7	1370	ano	ano	20,7	1097
			uč. 2	21,6	1475	ano	ano	21	1399
14. ZŠ	ano	ano	uč. 1	21,7	961	ne	ne	21,7	1302
			uč. 2	21,7	1703	ne	ne	21,6	1911
			uč. 3	21,3	1440	ne	ne	21,5	1609
15. ZŠ	ano	ne	uč. 1	20,2	950	ano	ano	21,6	677
			uč. 2	20,6	903	ano	ano	21,5	713
16. ZŠ	ano	ne	uč. 1	21,7	1379	ano	ano	21	857
			uč. 2	22	1377	ano	ano	20,6	894
17. ZŠ	ano	ano	uč. 1	23	1065	ano	ano	22,4	865
			uč. 2	23	963	ano	ano	22,5	911
18. ZŠ	ne	ano	uč. 1	22,5	1531	ano	ano	21,2	1197
			uč. 2	22	1573	ano	ano	20,4	939
19. ZŠ	ano	ne	uč. 1	21,5	1258	ano	ano	20,9	1362
			uč. 2	21,9	903	ano	ano	20,3	647
20. ZŠ	ano	ne	uč. 1	21	1920	ano	ano	22,1	1361
			uč. 2	22,1	1882	ano	ano	22,6	1446
21. ZŠ	ano	ano	uč. 1	20,6	1258	ano	ano	21,8	1177
			uč. 2	21,4	1583	ano	ano	21,9	1131
22. ZŠ	ano	ano	uč. 1	21,1	1295	ano	ano	20,3	1008
			uč. 2	21,3	1266	ano	ano	20,2	980
23. ZŠ	ano	ne	uč. 1	21,3	1079	ano	ano	21,5	1360
			uč. 2	21,5	1817	ano	ano	20,8	1243
24. ZŠ	ano	ne	uč. 1	21	1492	ano	ano	20,1	1200
			uč. 2	20,8	1241	ano	ano	21,7	1436
25. ZŠ	ano	ne	uč. 1	22,3	2306	ano	ano	22,4	1396
			uč. 2	22,6	1577	ano	ano	21,9	1203

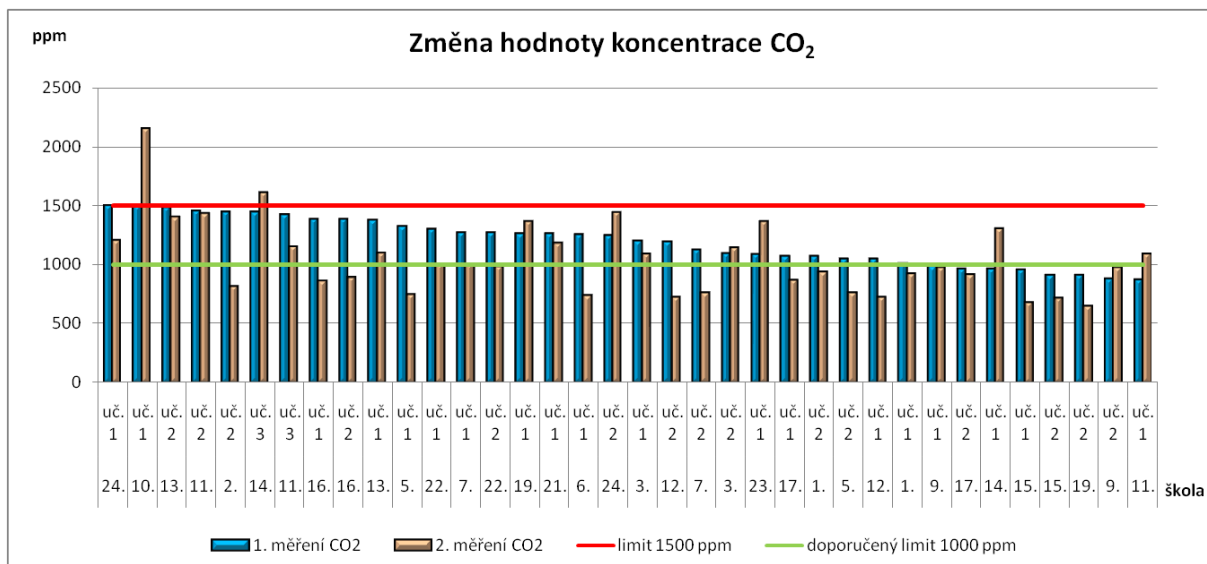


Obrázek 42: Graf počtu hodnot koncentrací CO<sub>2</sub> pod a nad limity 1000 ppm a 1500 ppm



Obrázek 43: Graf změny hodnot CO<sub>2</sub> mezi 1. a 2. měřením (hodnoty překračující při 1. měření limit 1500 ppm)





*Obrázek 44: Graf změny hodnot CO<sub>2</sub> mezi 1. a 2. měřením  
(hodnoty nepřekračující při 1. měření limit 1500 ppm)*

## 13.4 Příloha 4 - měření v roce 2020

**1. škola: ZŠ Pohoří 96, Dobruška**

učebna 1: **4. a 5. třída**

2. VH: přítomno: 12 žáků, 3 dospělí  
větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené  
*přestávka:* větrání: otevřena 3 ventilace prvních 5 min. přestávky, dveře  
otevřeny po celou dobu přestávky

3. VH: přítomno: 12 žáků, 3 dospělí  
větrání: okna i dveře zavřené

učebna 2: **2. a 3. třída**

2. VH: přítomno: 17 žáků, 3 dospělí  
větrání: okna i dveře zavřené

*přestávka:* větrání: otevřena 3 ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 17 žáků, 3 dospělí  
větrání: otevřeny 2 ventilace, dveře zavřené

**2. škola: ZŠ Gutha-Jarkovského, Drtinova 662, Kostelec nad Orlicí**

učebna 1: **5. třída**

2. VH: přítomno: 26 žáků, 3 dospělí  
větrání: otevřeny 2 ventilace a dveře

*přestávka:* větrání: otevřeny 4 ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 26 žáků, 4 dospělí  
větrání: otevřeny 4 ventilace, dveře zavřené

učebna 2: **2. třída**

2. VH: přítomno: 22 žáků, 5 dospělých  
větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené

*přestávka:* větrání: otevřeny 2 ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 22 žáků, 5 dospělých  
větrání: otevřeny 2 ventilace, dveře zavřené

**3. škola: ZŠ Čs. armády 15, Hronov**

učebna 1: **8. A třída**

2. VH: přítomno: 28 žáků, 4 dospělí  
větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené

*přestávka:* větrání: otevřeny 4 ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 28 žáků, 3 dospělí  
větrání: otevřeny 3 ventilace, dveře zavřené

učebna 2: **8. B třída**

2. VH: přítomno: 24 žáků, 4 dospělí  
větrání: otevřeny 3 ventilace, dveře zavřené

*přestávka:* větrání: otevřeny 4 ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 24 žáků, 3 dospělí  
větrání: otevřeny 3 ventilace, dveře zavřené

<b>4. škola:</b>	<b>ZŠ Na Ostrově 4, Jaroměř</b>	
<u>učebna 1:</u>	<b>6. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	20 žáků, 4 dospělí
	větrání:	otevřena 1 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřena 2 celá okna, dveře zavřené
3. VH:	přítomno:	14 žáků, 4 dospělí
	větrání:	okna i dveře zavřené
<u>učebna 2:</u>	<b>4. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	32 žáků, 4 dospělí
	větrání:	otevřeno 1 celé okno, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	okna zavřená, dveře otevřené
3. VH:	přítomno:	25 žáků, 4 dospělí
	větrání:	okna zavřená, dveře otevřené

<b>5. škola:</b>	<b>ZŠ Vodárenská 370, Jaroměř–Josefov</b>	
<u>učebna 1:</u>	<b>8. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	20 žáků, 3 dospělí
	větrání:	okna i dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřeny ventilace a dveře
3. VH:	přítomno:	20 žáků, 3 dospělí
	větrání:	otevřeny 4 ventilace, dveře zavřené
<u>učebna 2:</u>	<b>6. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	15 žáků, 4 dospělí
	větrání:	otevřeny 2 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřeny ventilace a dveře
3. VH:	přítomno:	15 žáků, 3 dospělí
	větrání:	otevřeny 2 ventilace, dveře otevřené

<b>6. škola:</b>	<b>ZŠ Na Babí 190, Police nad Metují</b>	
<u>učebna 1:</u>	<b>6. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	21 žáků, 4 dospělí
	větrání:	otevřeny 2 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřeny ventilace a dveře
3. VH:	přítomno:	21 žáků, 3 dospělí
	větrání:	okna i dveře zavřené
<u>učebna 2:</u>	<b>5. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	16 žáků, 4 dospělí
	větrání:	otevřena 1 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřeny ventilace a dveře
3. VH:	přítomno:	16 žáků, 3 dospělí
	větrání:	otevřeny 2 ventilace, dveře zavřené
<u>učebna 3:</u>	<b>1. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	15 žáků, 4 dospělí

*přestávka:* větrání: okna i dveře zavřené  
3. *VH:* větrání: otevřeny ventilace a dveře  
přítomno: 15 žáků, 3 dospělí  
větrání: otevřeny 3 ventilace, dveře zavřené

**7. škola: ZŠ Školní 236, Meziměstí**

**učebna 1:**

**3. třída**

2. *VH:* přítomno: 17 žáků, 4 dospělí  
větrání: otevřeny 3 ventilace, dveře zavřené

*přestávka:*

3. *VH:* větrání: otevřeny 3 ventilace, dveře zavřené  
přítomno: 17 žáků, 3 dospělí  
větrání: otevřeny 2 ventilace, dveře zavřené

**učebna 2:**

**9. třída**

2. *VH:* přítomno: 16 žáků, 4 dospělí  
větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené

*přestávka:*

3. *VH:* větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené  
přítomno: 16 žáků, 3 dospělí  
větrání: otevřeny 3 ventilace, dveře zavřené

**8. škola: ZŠ Batňovice 181**

**učebna 1:**

**2. třída**

2. *VH:* přítomno: 13 žáků, 4 dospělí  
větrání: okna i dveře zavřené  
*přestávka:* větrání: otevřeno 1 celé okno a dveře  
3. *VH:* přítomno: 12 žáků, 4 dospělí  
větrání: otevřeno 1 okenní křídlo a dveře

**učebna 2:**

**1. a 3. třída**

2. *VH:* přítomno: 14 žáků, 5 dospělých  
větrání: otevřeno 1 okenní křídlo, dveře zavřené  
*přestávka:* větrání: otevřeno 1 celé okno a dveře  
3. *VH:* přítomno: 14 žáků, 5 dospělých  
větrání: otevřeno 1 okenní křídlo, 1 ventilace, dveře zavřené

**učebna 3:**

**4. a 5. třída**

2. *VH:* přítomno: 10 žáků, 4 dospělí  
větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené  
*přestávka:* větrání: otevřeno 1 celé okno a dveře  
3. *VH:* přítomno: 10 žáků, 3 dospělí  
větrání: okna i dveře zavřené

**9. škola: ZŠ Kunčice nad Labem 73**

**učebna 1:**

**1. a 2. třída**

2. *VH:* přítomno: 16 žáků, 3 dospělí  
větrání: otevřena 1 ventilace, dveře otevřené  
*přestávka:* větrání: otevřena 2 okenní křídla, 1 ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 16 žáků, 3 dospělí  
 větrání: otevřeny 2 ventilace, dveře zavřené

učebna 2: **3. až 5. třída**

2. VH: přítomno: 14 žáků, 4 dospělí  
 větrání: okna zavřená, dveře otevřené

*přestávka:* větrání: otevřena 2 okenní křídla, 1 ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 8 žáků, 4 dospělí  
 větrání: otevřena 2 okenní křídla, 1 ventilace, dveře zavřené

**10. škola: ZŠ Bílý Újezd 47, Dobruška**

učebna 1: **2. třída**

2. VH: přítomno: 17 žáků, 3 dospělí  
 větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené

*přestávka:* větrání: otevřeny 4 ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 10 žáků, 3 dospělí  
 větrání: okna i dveře zavřené

učebna 2: **1. třída**

2. VH: přítomno: 20 žáků, 5 dospělých  
 větrání: otevřeny 4 ventilace, dveře zavřené

*přestávka:* větrání: otevřeny 4 ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 16 žáků, 4 dospělí  
 větrání: otevřeny 4 ventilace, dveře zavřené

**11. škola: Církevní ZŠ, Nádražní 233, Borohrádek**

učebna 1: **3. třída**

2. VH: přítomno: 11 žáků, 5 dospělých  
 větrání: otevřeno 1 celé okno, 2 ventilace, dveře zavřené

*přestávka:* větrání: otevřena 2 celá okna a dveře

3. VH: přítomno: 10 žáků, 5 dospělých  
 větrání: otevřeno 1 celé okno, 2 ventilace, dveře zavřené

učebna 2: **2. třída**

2. VH: přítomno: 8 žáků, 5 dospělých  
 větrání: okna i dveře zavřené

*přestávka:* větrání: otevřena 2 celá okna a dveře

3. VH: přítomno: 8 žáků, 5 dospělých  
 větrání: okna i dveře zavřené

**12. škola: ZŠ Masarykova, P.Jilemnického 420, Hradec Králové-Plotiště**

učebna 1: **1. třída**

2. VH: přítomno: 17 žáků, 2 dospělí  
 větrání: okna i dveře zavřené

*přestávka:* větrání: otevřeny ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 17 žáků, 2 dospělí  
 větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené

<u>učebna 2:</u>	<b>6. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	15 žáků, 2 dospělí
	větrání:	okna i dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřeny ventilace a dveře
3. VH:	přítomno:	15 žáků, 3 dospělí
	větrání:	otevřeny 2 ventilace, dveře zavřené

**13. škola: ZŠ Pražská 198, Hradec Králové**

<u>učebna 1:</u>	<b>1. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	18 žáků, 2 dospělí
	větrání:	otevřena 1 ventilace a dveře
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřeny ventilace a dveře
3. VH:	přítomno:	18 žáků, 3 dospělí
	větrání:	otevřena 1 ventilace, dveře zavřené
<u>učebna 2:</u>	<b>3. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	21 žáků, 2 dospělí
	větrání:	otevřena 1 ventilace a dveře
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřeny ventilace a dveře
3. VH:	přítomno:	21 žáků, 2 dospělí
	větrání:	otevřeny 2 ventilace, dveře zavřené

**14. škola: ZŠ Libčany 1**

<u>učebna 1:</u>	<b>1. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	12 žáků, 2 dospělí
	větrání:	okna zavřena, dveře otevřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřeny ventilace a dveře
3. VH:	přítomno:	12 žáků, 2 dospělí
	větrání:	okna zavřena, dveře otevřené
<u>učebna 2:</u>	<b>5. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	14 žáků, 2 dospělí
	větrání:	otevřena 1 ventilace a dveře
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřeny ventilace a dveře
3. VH:	přítomno:	14 žáků, 2 dospělí
	větrání:	okna zavřena, dveře otevřené

**15. škola: ZŠ Lužany 155**

<u>učebna 1:</u>	<b>1. a 2. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	11 žáků, 2 dospělí
	větrání:	otevřena 1 ventilace, dveře zavřené
<i>přestávka:</i>	větrání:	otevřeny ventilace a dveře
3. VH:	přítomno:	11 žáků, 2 dospělí
	větrání:	otevřeno 5 ventilací a dveře
<u>učebna 2:</u>	<b>3. až 5. třída</b>	
2. VH:	přítomno:	22 žáků, 2 dospělí

přestávka: větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené  
 3. VH: větrání: otevřeny ventilace a dveře  
 přítomno: 22 žáků, 2 dospělí  
 větrání: otevřeno 7 ventilací a dveře

**16. škola: ZŠ Husova 170, Jičín**

**učebna 1: 6. třída**

2. VH: přítomno: 11 žáků, 2 dospělí  
 větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené

přestávka: větrání: otevřeny ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 11 žáků, 2 dospělí  
 větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené

**učebna 2: 8. třída**

2. VH: přítomno: 22 žáků, 2 dospělí  
 větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené

přestávka: větrání: otevřeny ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 22 žáků, 2 dospělí  
 větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené

**17. škola: ZŠ 17. listopadu 109, Jičín**

**učebna 1: 8. třída**

2. VH: přítomno: 25 žáků, 2 dospělí  
 větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené

přestávka: větrání: otevřeny ventilace a dveře

3. VH: přítomno: 25 žáků, 2 dospělí  
 větrání: otevřena 1 ventilace a dveře

**učebna 2: 7. třída**

2. VH: přítomno: 21 žáků, 2 dospělí  
 větrání: otevřena 1 ventilace, dveře zavřené

přestávka: větrání: otevřeny ventilace a dveře

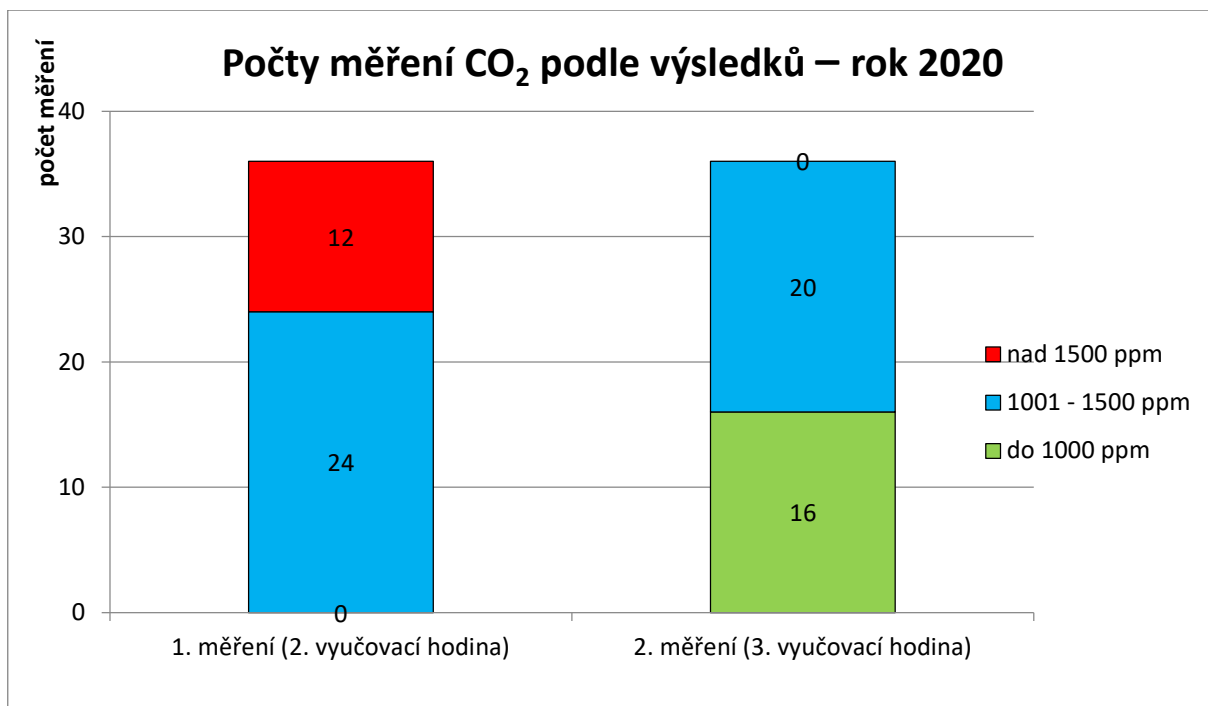
3. VH: přítomno: 21 žáků, 2 dospělí  
 větrání: otevřeno 1 celé okno, dveře zavřené

Tabulka 64: Naměřené hodnoty teploty vzduchu a koncentrace CO<sub>2</sub> ve vybraných ZŠ v roce 2020

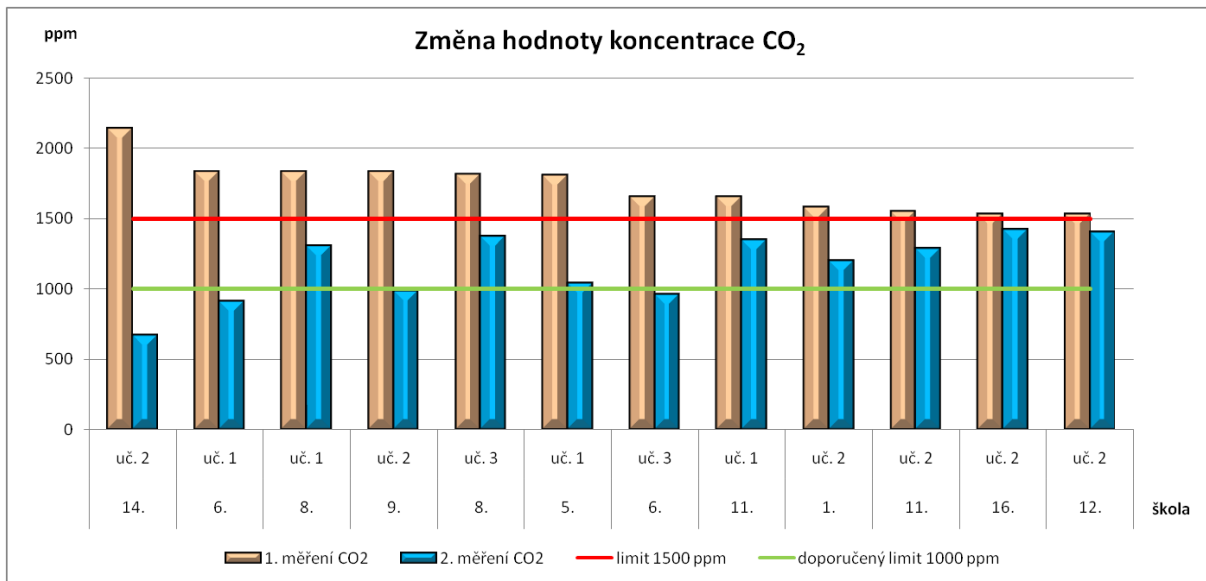
	výměna oken	zateplení		2. vyučovací hodina		Přestávka		3. vyučovací hodina	
				T	CO <sub>2</sub>	otevřena		T	CO <sub>2</sub>
				°C	ppm	okna	dveře	°C	ppm
			limity	20–24	1000/1500			20–24	1000/1500
1. ZŠ	ano	ano	uč. 1	21,6	1198	ne	ano	22,7	1149
			uč. 2	22	1578	ano	ano	22,6	1194
2. ZŠ	ano	ano	uč. 1	21	907	ano	ano	22,1	1099
			uč. 2	21,6	1352	ano	ano	21,7	1043
3. ZŠ	ano	ano	uč. 1	20,9	1188	ano	ano	21,2	1265

			uč. 2	21,5	1271	ano	ano	21	920
4. ZŠ	ne	ne	uč. 1	21,4	1011	ne	ano	22,6	1010
			uč. 2	21,8	1011	ne	ano	23,7	1010
5. ZŠ	ano	ano	uč. 1	23,5	1802	ano	ano	22,1	1034
			uč. 2	22,9	1250	ano	ano	22,2	1046
6. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,4	1830	ano	ano	20,5	904
			uč. 2	23	1474	ano	ano	21,6	1084
			uč. 3	23,9	1652	ano	ano	22	956
7. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,2	1058	ano	ne	23	1031
			uč. 2	22,5	1312	ano	ne	22,8	1231
8. ZŠ	ne	ne	uč. 1	24,1	1830	ano	ano	23	1299
			uč. 2	24,1	1418	ano	ano	23	1275
			uč. 3	24,2	1807	ano	ano	23,1	1364
9. ZŠ	ano	ano	uč. 1	22,8	1490	ano	ano	21,9	973
			uč. 2	22,9	1830	ano	ano	22	983
10. ZŠ	ano	ano	uč. 1	21,4	1328	ano	ano	21,3	906
			uč. 2	21,9	1089	ano	ano	21,3	1028
11. ZŠ	ne	ne	uč. 1	20,3	1651	ano	ano	20,3	1342
			uč. 2	21,3	1543	ano	ano	20,5	1280
12. ZŠ	ne	ne	uč. 1	21	1348	ano	ano	22,6	814
			uč. 2	22,1	1524	ano	ano	22,8	1396
13. ZŠ	ano	ne	uč. 1	21,6	1256	ano	ano	21,9	970
			uč. 2	22,2	1375	ano	ano	21,6	976
14. ZŠ	ano	ne	uč. 1	23,3	1413	ano	ano	21,1	888
			uč. 2	22,9	2137	ano	ano	20	666
15. ZŠ	ano	ano	uč. 1	20	1500	ano	ano	20,5	950
			uč. 2	21,1	1145	ano	ano	20,9	907
16. ZŠ	ne	ne	uč. 1	22,5	1144	ano	ano	21	953
			uč. 2	22,7	1528	ano	ano	22,4	1418
17. ZŠ	ne	ne	uč. 1	24	1224	ano	ano	23,2	924
			uč. 2	23	1262	ano	ano	22	1003

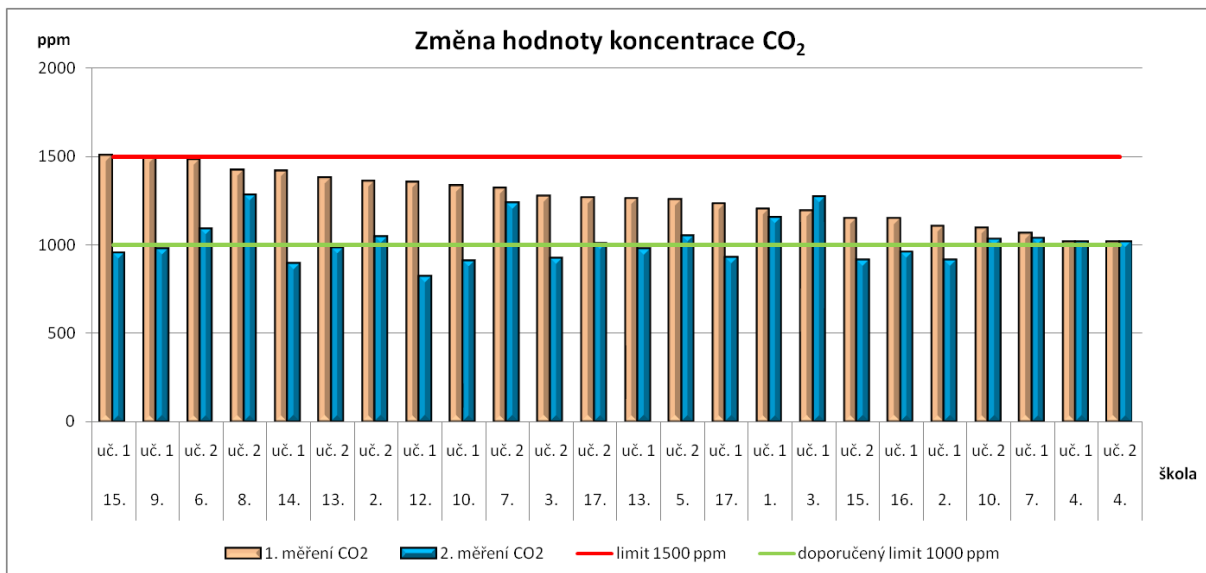




Obrázek 45: Graf počtu hodnot koncentrací CO<sub>2</sub> pod a nad limity 1000 ppm a 1500 ppm



Obrázek 46: Graf změny hodnot CO<sub>2</sub> mezi 1. a 2. měřením (hodnoty překračující při 1. měření limit 1500 ppm)

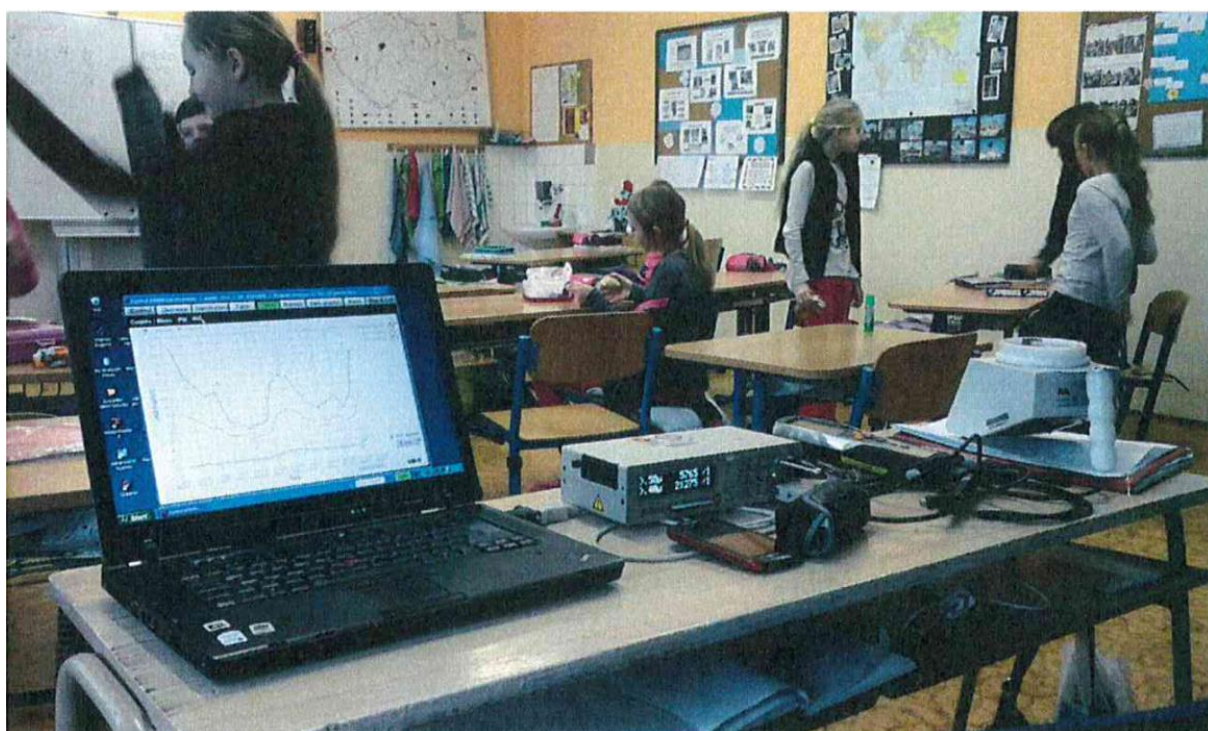


Obrázek 47: Graf změny hodnot CO<sub>2</sub> mezi 1. a 2. měřením (hodnoty nepřekračující při 1. měření limit 1500 ppm)

### 13.5 Příloha 5 - fotografie z měření kvality vnitřního ovzduší učeben ZŠ



*Obrázek 48: Výhled z okna na okolí školy (ZŠ Radvanice)*

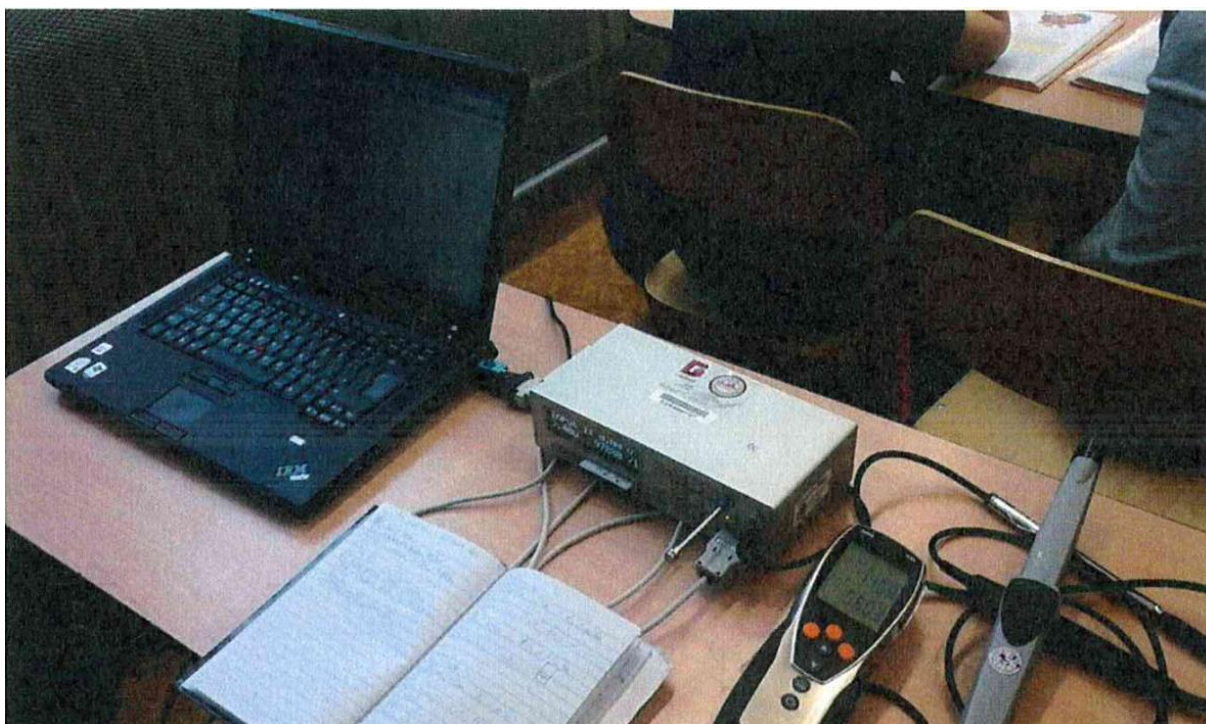


*Obrázek 49: Měření kvality vnitřního ovzduší v učebně*



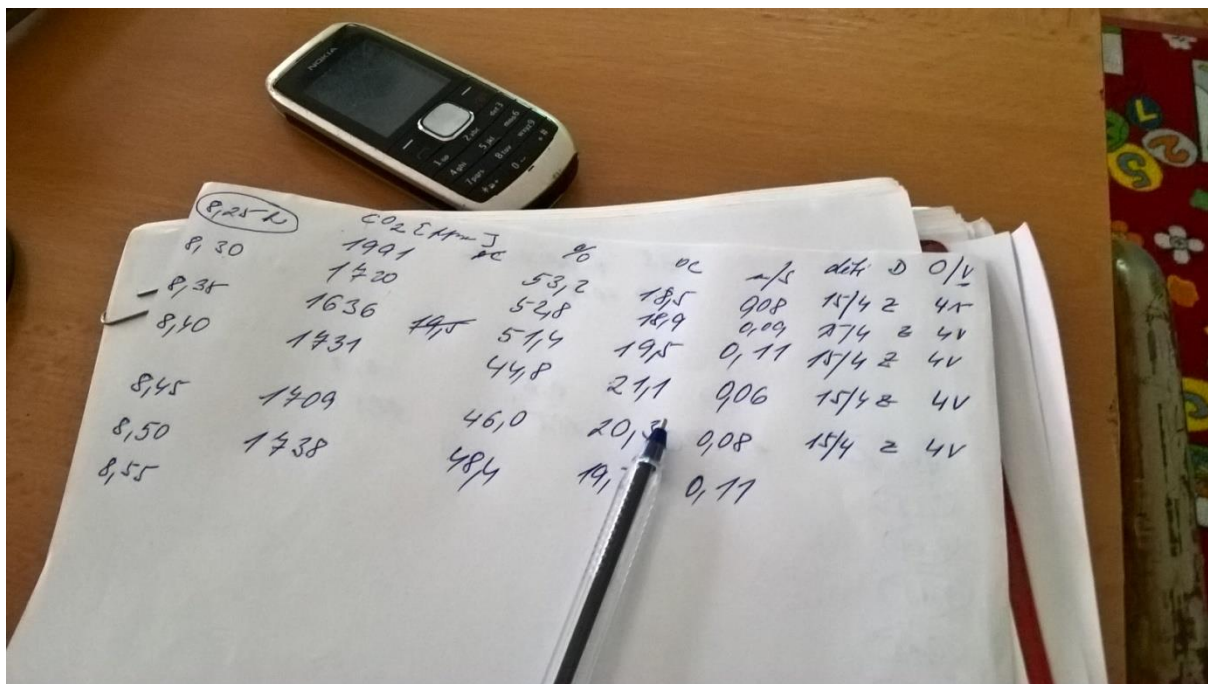


*Obrázek 50: Měření kvality ovzduší v tělocvičně*

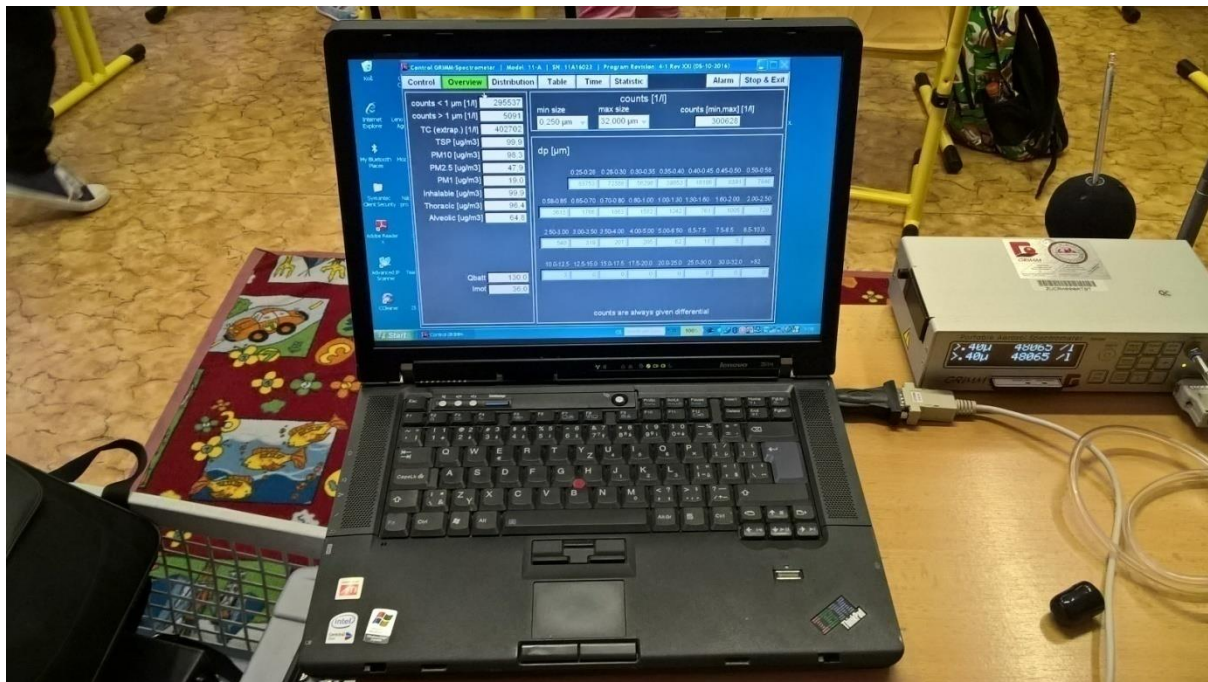


*Obrázek 51: Přístroje na měření kvality ovzduší*





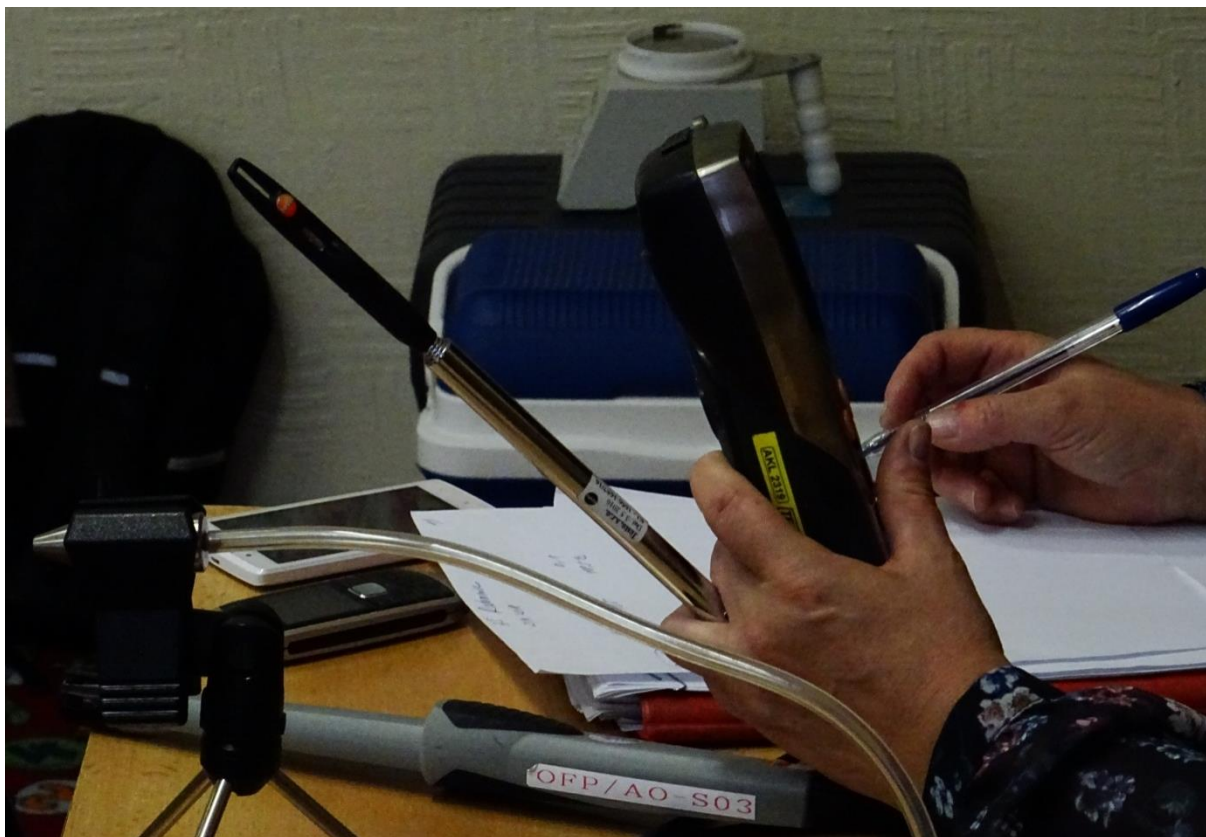
Obrázek 52: Zázpis v průběhu měření (čas, koncentrace CO<sub>2</sub>, relativní vlhkost, teplota vzduchu, rychlost proudění vzduchu, počet přítomných osob, D - otevření dveří, O/V - otevření oken/ventilací)



Obrázek 53: Měření prášného aerosolu



*Obrázek 54: Odběr vzorku vzduchu pro stanovení MO*



*Obrázek 55: Přístroj TESTO se sondou na měření teploty*





*Obrázek 57: Příklad TESTO se sondou na měření CO<sub>2</sub>*



*Obrázek 56: Vernon-Joklův kulový teploměr*