

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV**



**VĚTRÁNÍ MATEŘSKÉ ŠKOLY**  
**V MNICHOVĚ HRADIŠTI**  
**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Vypracovala:

Lucie Veselá

Vedoucí práce:

Ing. Pavla Dvořáková, Ph.D.

2022/2023

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Veselá	Jméno: Lucie	Osobní číslo: 494233
Zadávající katedra: K11125 – Katedra technických zařízení budov		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor/specializace: C – Konstrukce pozemních staveb		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Větrání mateřské školy v Mnichově Hradišti

Název bakalářské práce anglicky: Ventilation of the kindergarten in Mnichovo Hradiště

Pokyny pro vypracování:

Studie na téma: Vnitřní prostředí ve školách.

Vypracujte projekt vzduchotechnicky zadaného objektu. Projekt bude obsahovat příslušné půdorysy, řezy a technickou zprávu. Součástí projektu bude výpočet množství větracího vzduchu podle požadavků prostředí, návrh prvků pro přívod a odvod vzduchu, výpočet rozměrů a určení trasy potrubí, návrh vzduchotechnické jednotky.

Seznam doporučené literatury:  
Doc. Ing. Karel Papež, CSc. a kolektiv - *Energetické a ekologické systémy budov 2*. Praha: ČVUT, 2007.  
Gebauer G., Horká O., Rubínová O. - *Vzduchotechnika*. ERA  
Vladimír Zmrhal a kol., *Větrání škol v souvislostech*, Společnost pro techniku prostředí z s.  
František Drkal, Vladimír Zmrhal - *Větrání*, 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2018  
příslušné normy a předpisy

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Pavla Dvořáková, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 1.3.2023

Termín odevzdání BP v IS KOS: 22.5.2023  
Úsah uveďte v souladu s dělením v časovém plánu příslušného sk. roku.

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

1.3.2023

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze, 22. 5. 2023

Lucie Veselá

## **Poděkování**

Na prvním místě bych ráda poděkovala vedoucí své bakalářské práce Ing. Pavle Dvořákové, Ph.D., která mi svým ochotným a vstřícným přístupem, radami a připomínkami pomohla při vytvoření této práce. Následně bych chtěla poděkovat vedení mateřské školy, které mi umožnilo instalovat měřící přístroje a analyzovat vnitřní prostředí.

# Obsah

Obsah.....	5
Anotace.....	8
Annotation.....	8
1. Úvod.....	9
2. Vnitřní prostředí škol.....	9
2.1. Důvody větrání.....	9
2.2. Vnitřní tepelné prostředí.....	10
2.2.1. Zdroje tepla a chladu.....	10
2.2.2. Fyziologie člověka.....	10
2.2.3. Tepelná pohoda a tepelná rovnováha.....	10
2.2.4. Teplota vzduchu $t_a$ .....	11
2.2.5. Střední radiační teplota $t_r$ .....	11
2.2.6. Operativní (výsledná) teplota.....	11
2.2.7. Rychlost proudění vzduchu $w$ .....	11
2.2.8. Intenzita turbulence $T_u$ .....	11
2.2.9. Intenzita lidské činnosti.....	12
2.2.10. Tepelný odpor oděvu.....	12
2.3. Čistota ovzduší a bilance škodlivin.....	12
2.3.1. Zdroje škodlivin.....	13
2.3.2. Škodlivé látky z vnitřního prostředí.....	13
2.3.3. Škodlivé látky z vnějšího prostředí.....	17
2.3.4. Požadavky na škodliviny.....	21
2.3.5. Zásah do vnitřního prostředí.....	22
2.3.6. Radon.....	24
2.3.7. Mikrobiální mikroklima.....	24
2.4. Požadavky na větrání škol.....	25
2.4.1. Učebny.....	25
2.4.2. Ostatní prostory.....	26
2.5. Akustika.....	27
2.5.1. Zdroje hluku.....	27
2.5.2. Vliv na člověka.....	27
2.5.3. Požadavky na akustiku.....	28
2.5.4. Vzduchotechnická zařízení.....	28

2.6.	Osvětlení .....	29
2.6.1.	Zrakový výkon a zraková pohoda .....	29
2.6.2.	Index podání barev Ra.....	29
2.6.3.	Teplota chromatičnosti Tc.....	29
2.6.4.	Rozložení jasu .....	30
2.6.5.	Osvětlenost .....	30
2.6.6.	Oslnění.....	31
2.6.7.	Požadavky na osvětlení pro mateřské školy.....	31
3.	Principy větrání .....	32
3.1.	Proudění vzduchu .....	32
3.2.	Větrací systémy.....	32
3.2.1.	Přirozené větrání.....	32
3.2.2.	Přirozené větrání okny.....	32
3.2.3.	Nucené větrání.....	33
3.2.4.	Hybridní větrání.....	34
3.2.5.	Rekuperace .....	34
4.	Měření základních veličin vnitřního prostředí .....	36
4.1.	Popis objektu.....	36
4.2.	Měřiče a jejich umístění.....	37
4.3.	Měřené místnosti.....	38
4.3.1.	Učebna a ložnice v I.NP .....	38
4.3.2.	Učebna a ložnice ve II.NP .....	40
4.3.3.	Denní program.....	42
4.4.	Vyhodnocení naměřených dat .....	42
4.4.1.	Měsíční hodnoty .....	42
4.4.2.	Týdenní hodnoty.....	45
4.4.3.	Denní hodnoty .....	49
4.4.4.	Celkové vyhodnocení .....	56
5.	Projektová část .....	57
6.	Zdroje .....	58
6.1.	Literatura.....	58
6.2.	Technické normy .....	58
6.3.	Právní předpisy a legislativa.....	59
6.4.	Přednášky.....	59
6.5.	Internetové zdroje .....	59

6.6.	Seznam tabulek.....	62
6.7.	Seznam obrázků.....	63
7.	Seznam příloh.....	64

## **Anotace**

Bakalářská práce se věnuje tématu vnitřního prostředí škol. Práce je složena ze tří částí. První část je zaměřena na obecnou problematiku vnitřního prostředí a na legislativní požadavky. Druhou částí je vyhodnocení měření základních veličin vnitřního prostředí v mateřské škole. Poslední část zahrnuje projekt vzduchotechniky mateřské školy. Jedná se o dvoupodlažní objekt umístěný v Mnichově Hradišti. Navrženo je rovnotlaké větrání budovy s jednou vzduchotechnickou jednotkou. Součástí projektu je návrh distribučních prvků, dimenzování potrubí a vzduchotechnické jednotky, půdorysy a řezy jednotlivých podlaží a technická zpráva.

### **Klíčová slova**

vnitřní prostředí, mateřská škola, větrání, požadavky

## **Annotation**

The bachelor thesis deals with the indoor environment in schools. The thesis contains three parts. The first part is focused on the general issues of indoor environment and legislative requirements. The second part includes evaluation of measurement of basic quantities of the indoor environment in kindergarten. The last part comprises a project of ventilation in kindergarten. The subject for the project is a two-storey building situated in Mnichovo Hradiště. The equal pressure ventilation with one air handling unit is designed. The project contains designs of distribution elements, dimensions of the air duct and the air handling unit, floor plans and cross sections of each storey and a technical report.

### **Keywords**

indoor environment, kindergarten, ventilation, requirements



## **1. Úvod**

Slovní spojení znečištění vzduchu evokuje představu o škodlivinách ve vnějším prostředí. Takové tvrzení je sice správné, ale zcela opomíjí fakt, že ke znečištění vzduchu dochází i v prostředí vnitřním. A právě škodlivé látky ve vnitřním prostředí nás velmi výrazně ovlivňují. [26]

Průměrný člověk stráví až neuvěřitelných 93 % života uvnitř budov, kde je vystaven právě vnitřnímu prostředí. A pokud je kvalita vnitřního prostředí neuspokojivá, člověk může trpět nepohodlím a jeho školní/pracovní výkon se bude v závislosti na době strávené v prostředí zhoršovat. [27]

Z pohledu budov pro vzdělávání a výchovu dětí byla kvalita vnitřního prostředí v minulosti často zanedbávána, pro výměnu vzduchu se využívalo systému přirozeného větrání okny a infiltrací. Tento systém v dnešní době není dostačující a u novostaveb jsou navrhovány systémy nuceného větrání. [1] Děti, stejně jako dospělí, tráví velké množství času uvnitř budov, zvláště ve školských zařízeních. Kvalita vnitřního prostředí má za následek nejen příznivé prostředí pro děti, studenty a učitele, ale ovlivňuje zdraví, pocit komfortu, soustředěnost a celkově schopnost učení. Vzduchotechnická zařízení regulující množství škodlivých látek ve vnitřním prostředí tak pomáhají plnit hlavní poslání škol – vzdělávání dětí. [28]

## **2. Vnitřní prostředí škol**

### **2.1. Důvody větrání**

Hlavními a zásadními důvody větrání jsou přívod čerstvého vzduchu do větraného prostředí, odvod či ředění škodlivých látek, které se ve větraném prostředí vyskytují, a pasivní chlazení pomocí přiváděného venkovního vzduchu. Ve školských zařízeních jsou důvody pro úpravu vnitřního prostředí nejčastěji hygienické. [23]

Vnitřní prostředí zásadně ovlivňují fyzikální a chemické parametry, jejichž společný účinek vyjadřuje tepelný stav prostředí, čistota ovzduší, akustika prostředí a kvalita osvětlení. Návrh systémů TZB by měl zajistit dosažení takových podmínek, které jsou pro lidský organismus optimální a nemají negativní vliv na fyzický a duševní stav člověka. [1]

## **2.2. Vnitřní tepelné prostředí**

### **2.2.1. Zdroje tepla a chladu**

Zásadním zdrojem tepla i chladu vnitřního prostředí je venkovní klimatická situace, která je do vnitřního prostředí přenášena pomocí obalových konstrukcí budovy – obvodový plášť a výplně otvorů. Pro snížení tepelné ztráty výplněmi otvorů se v dnešní době dbá na jejich provedení a těsnost. Nižší tepelná ztráta vede k úsporám tepla a ke snížení energetické náročnosti budov. Ovšem tento krok často způsobuje znehodnocení vnitřního prostředí, jelikož vzduchu není umožněno procházet skrz netěsnosti ve vnějších výplních. Nedostatečným větráním se zvyšuje množství škodlivých látek, které mají negativní vliv na osoby přítomné v místnosti. [1, 6]

### **2.2.2. Fyziologie člověka**

Tepelný stav vnitřního prostředí je ovlivněn osobami vyskytujícími se uvnitř něj. Během biochemických oxidačních procesů se v lidském těle uvolňuje energie, jejíž množství závisí na intenzitě vykonávané fyzické činnosti. Část této energie, která není spotřebována fyzickou činností, přestupuje z lidského těla do okolního prostředí.

Tato část je označována jako tepelný tok  $Q$  [W] produkovaný lidským organismem a je sdílena z povrchu těla do okolního prostředí. Pro udržení konstantní vnitřní tělesné teploty je nutné vyrovnávat rozdíly mezi teplem člověkem produkovaným a teplem odnímáním okolním prostředím. Tuto funkci zajišťují termoregulační mechanismy, které se projevují zvýšenou cirkulací krve v kůži a většinou odvodu tepla z povrchu těla, pokud vnitřní teplota těla roste. V případě, že vnitřní teplota těla klesá, pracují tyto procesy obráceně. Dalším projevem správné funkce termoregulace je pocení a vypařování potu. Se zvyšující se vnitřní teplotou tělo produkuje na kůži pot a při jeho vypařování do okolního prostředí se tělo ochladí.

Nezanedbatelným faktorem pro tepelný tok produkovaný lidským organismem je tepelný odpor oděvu  $R_{od}$  [ $m^2K/W$ ]. Při vysokém tepelném odporu oděvu nedochází k tak intenzivnímu tepelnému toku mezi lidským tělem a okolním prostředím. [4]

### **2.2.3. Tepelná pohoda a tepelná rovnováha**

Tepelná rovnováha těla a okolí je takový stav, při kterém je zachována rovnost produkovaného tepelného toku  $q$  a toku tepla odnímaného tělu okolím. Teplo je tělu odnímáno několika procesy – konvekcí, sáláním, vypařováním, dýcháním a vedením.

Tepelná pohoda je subjektivní pocit, který vyjadřuje uspokojení s tepelným prostředím. Základní podmínkou pro tepelný komfort je zachování tepelné rovnováhy v prostředí

za optimálních hodnot fyziologických parametrů, mezi které patří teplota povrchu pokožky a tepelný tok odváděný vypařováním z povrchu mokré pokožky. [4]

Tepelná pohoda je ovlivněna parametry stavu prostředí, mezi které se řadí teplota vzduchu, střední radiační teplota, rychlost proudění vzduchu, intenzita turbulence a relativní vlhkost vzduchu. Dále ji ovlivňují veličiny charakterizující stav člověka – intenzita lidské činnosti a tepelný odpor oděvu. Mimo jiné je tepelná pohoda ovlivněna i dalšími nezávislými faktory, jako například pohlaví, stáří nebo zdraví člověka. [1]

#### **2.2.4. Teplota vzduchu $t_a$**

Teplota vzduchu je jedním ze základních parametrů ovlivňujících tepelnou pohodu. Minimální teplota vzduchu pro učebny školských zařízení by měla být přibližně 22 °C (v zimním období). Po většinu roku tepelné zisky prostředí převyšují tepelné ztráty místnosti a teploty vnitřního vzduchu mohou v letním období dosahovat značně vysokých hodnot (až 30 °C), které mohou představovat diskomfort pro lidský organismus. [1]

#### **2.2.5. Střední radiační teplota $t_r$**

Střední radiační teplota je myšlená rovnoměrná společná teplota všech ploch v prostoru, při níž by bylo celkové množství tepla sdílené sáláním mezi povrchem těla a okolními plochami stejné jako ve skutečnosti.

#### **2.2.6. Operativní (výsledná) teplota**

Operativní teplota je vypočtená hodnota definovaná jako jednotná teplota uzavřeného prostoru (prostoru o stejné teplotě vzduchu i stejné střední radiační teplotě), černého z hlediska radiace, ve kterém by lidské tělo sdílelo konvekci i sáláním stejné množství tepla jako ve skutečném, teplotně nesourodém prostředí. [11]

Nejčastěji je měřena pomocí kulového teploměru v maximální výšce 1,1 m nad podlahou měřeného místa. [2]

#### **2.2.7. Rychlost proudění vzduchu $w$**

Rychlost proudění vzduchu v obytných místnostech (učebny) nejčastěji nabývá hodnot do 0,2 m/s. Tato veličina úzce souvisí s intenzitou turbulence. [1]

#### **2.2.8. Intenzita turbulence $T_u$**

Intenzita turbulence je důležitá pro výpočet rizika průvanu. Popisuje rovnoměrnost a nerovnoměrnost rychlosti proudění vzduchu. [29]

### 2.2.9. Intenzita lidské činnosti

S tělesnou aktivitou prudce stoupá i produkce tepla lidským organismem. Toto teplo se nazývá metabolické teplo netto [met], jehož zdrojem jsou především svalové skupiny. V následující tabulce [Tab.1] je přehled základních aktivit a odpovídající produkce tepla. [7]

Tabulka 1: Metabolické teplo při různých typických aktivitách dle ČSN EN ISO 7730 [11]

Aktivita		Metabolismus	
		[W.m <sup>2</sup> ]	[met]
Ležení		46	0,8
Sezení uvolněné		58	1,0
Činnost vsedě (škola, kancelář)		70	1,2
Lehká činnost vstoje (nakupování)		93	1,6
Středně namáhavá činnost vstoje (prodavač, domácí práce)		116	2,0
Chůze po rovině	2 km/h	110	1,9
	3 km/h	140	2,4
	4 km/h	165	2,8
	5 km/h	200	3,4

### 2.2.10. Tepelný odpor oděvu

Oblečení ve velké míře ovlivňuje odvod tepla z lidského těla do okolí. Pro určení tepelného odporu oděvu byla zavedena jednotka clo, 1 tato jednotka odpovídá izolačnímu materiálu s tepelným odporem 0,155 m<sup>2</sup>.K/W. Takový tepelný odpor si lze představit jako odpor běžného pánského saka s bavlněným spodním prádlem. Pro výpočet celkové hodnoty clo pro soubor oblečení se součet jednotlivých hodnot kusů oblečení vynásobí hodnotou 0,82. [30]

### 2.3. Čistota ovzduší a bilance škodlivin

Jedním z důvodů větrání je odvod škodlivých látek z větraného prostředí. Dle množství škodlivé látky (např. znečišťující látky nebo vlhkosti) se stanoví množství vzduchu, který je nutné přivádět, aby množství dané škodliviny nepřesahovalo kritickou hodnotu danou předpisy. [4]

Škodlivé látky se do vnitřního prostředí dostávají z venkovního prostoru, ale také vznikají přímo ve vnitřním prostředí z různých zdrojů. Jedná se o látky s chemickým a biologickým působením, dále jsou pro člověka nebezpečné i jemné pevné částice PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>10</sub>. [1]

V mateřské škole se hygienické předpisy vztahují na místnost označovanou jako učebna, která je dle právního výkladu považována za pobytovou místnost.

### **2.3.1. Zdroje škodlivin**

Zásadním zdrojem škodlivých látek ve vnitřním prostředí je sám člověk, při metabolických procesech totiž vznikají látky jako oxid uhličitý nebo vodní pára a uvolňují se do vnitřního prostředí.

Škodliviny se do ovzduší uvolňují i z materiálů užitých jak ve stavebních konstrukcích, tak ve vnitřním vybavení místností. Nejčastěji se jedná o plasty, nátěry nebo podlahové krytiny. U některých látek byl již prokázán negativní vliv na zdraví člověka (např. formaldehyd), bohužel u nových materiálů v současné době chybí informace o dlouhodobém působení na lidský organismus a nejsou proto nijak omezeny. Pro zajištění dobré kvality vnitřního prostředí a odvádění či alespoň ředění škodlivých látek je zajištění dostatečného přívodu čerstvého vzduchu.

Nečistoty a škodliviny mohou do vnitřního prostředí pronikat i z venkovních prostor, nejčastěji se jedná o umístění budovy v blízkosti rušné komunikace nebo dalších zdrojů znečištění (těžba nerostných surovin, výroba chemických látek, spalování fosilních paliv, skládky odpadů...). [1]

### **2.3.2. Škodlivé látky z vnitřního prostředí**

#### **2.3.2.1. Oxid uhličitý CO<sub>2</sub>**

Jedná se o bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, který se běžně vyskytuje ve vzduchu. Pro venkovní prostředí se hodnoty pohybují v rozmezí 400–500 ppm v závislosti na znečištění v dané oblasti. Mezi největší zdroje této škodliviny patří spalovací a metabolické procesy.

Ve vnitřním prostředí hodnoty často velmi kolísají v závislosti na počtu přítomných osob, jejich věku a fyzické aktivitě. Oxid uhličitý náleží k dobrým ukazatelům míry znečištění vnitřního prostředí. [1] Pro pobytové místnosti je limitní hodnota 1500 ppm [18].

Zkratka ppm (parts per million) je výraz pro jednu miliontinu celku [31].

Z hlediska vlivu oxidu uhličitého na člověka ve školských zařízeních se nejedná o smrtelně nebezpečnou látku, ovšem při vysokých koncentracích se projevuje snížením pozornosti, únavou, bolestí hlavy a ospalostí. [1]

Tabulka 2: Koncentrace CO<sub>2</sub> a vliv na člověka [1]

Koncentrace CO <sub>2</sub>	Místo výskytu CO <sub>2</sub> , vliv na člověka
400–700 ppm	koncentrace ve venkovním ovzduší
800–1200 ppm	vyhovující koncentrace CO <sub>2</sub> , pobytové prostory
1500 ppm	maximální přípustná koncentrace CO <sub>2</sub> v pobyt. prostorách
> 1500 ppm	nastávají příznaky únavy a snižování pozornosti člověka
> 2500 ppm	ospalost, letargie, bolesti hlavy
> 5000 ppm	nedoporučuje se delší pobyt

### 2.3.2.2. Vodní pára

Stejně jako oxid uhličitý se i vodní pára běžně vyskytuje ve vzduchu. Je považována za znečišťující látku především z důvodu kondenzace. Pokud není dostatečně odváděna z vnitřního prostředí, může dojít k přeměně na kapalnou vodu v místech tepelných mostů a chladnějších částí obvodového pláště budovy. Ke kondenzaci dochází, pokud je teplota povrchu konstrukce nižší než teplota rosného bodu vnitřního vzduchu. Kondenzace vodní páry může dále vést k růstu plísní, v krajních případech dochází i k narušení samotné konstrukce.

Zdrojem vodní páry je člověk, ale i stavba jako taková, pokud není dostatečně chráněna proti vodě. Množství vodní páry souvisí s počtem přítomných osob, jejich věku a fyzické aktivitě. [1]

Ukazatelem množství vodní páry ve vzduchu je relativní vlhkost  $\varphi$  [%], která udává míru nasycení vzduchu vodní parou. Hodnoty se pohybují v rozmezí 0–100 %. Relativní vlhkost 0 % odpovídá suchému vzduchu, naopak relativní vlhkost 100 % odpovídá vzduchu plně nasycenému vodní parou. [32]

Hodnoty relativní vlhkosti v učebnách by se měly pohybovat v rozmezí 30–70 %. Větrání by mělo zajistit dostatečný odvod vodní páry, aby nedošlo k překročení doporučených hodnot a nezvýšilo se riziko kondenzace. Naopak příliš nízká relativní vlhkost způsobuje suché a začervenale oči a podráždění dýchacích cest. [1]

### 2.3.2.3. Pachy a vůně

Pachy a vůně, souhrnně odéry, jsou plynné složky ovzduší, které jsou člověkem vnímány jako pachy. Mohou nám být buď příjemné, poté je nazýváme vůněmi, nebo nepříjemné a označujeme je jako zápachy. Vnímání je velmi subjektivní, jedna osoba může vnímat odér jako příjemný, ale pro druhou je odér naprosto nepříjemný.

Zdrojem odérů ve vnitřním prostředí je člověk a jím vykonávané činnosti, stavební konstrukce a vybavení místnosti (zařizovací předměty, povrchy, nábytek). Tělesnými pachy uvolňujícími se do prostředí jsou aceton a izopren. Činností člověka do ovzduší proniká pyridin, který je zplodinou kouření, dále kosmetické přípravky, čisticí prostředky nebo zápach odpadků.

Odéry se mohou do prostředí dostat také z venkovního ovzduší. Mezi zápachy patří produkty spalovacích motorů, produkty výrobních procesů průmyslových závodů a spaliny např. z kotelen. Příjemným odérem z venkovního prostředí je vůně kvetoucích rostlin, posečené trávy, sena a tajícího sněhu. [6]

Samotné odéry nejsou pro člověka smrtelně nebezpečné, negativně vnímané odéry ve vyšších koncentracích ovšem způsobují ztrátu výkonnosti, soustředění a chuti, způsobují nevolnost a mohou vyvolat úzkostné a depresivní stavy. Také mohou signalizovat kontaminaci prostředí choroboplodnými mikroby. Odéry bývají často hlavním důvodem k návrhu větrání. [1, 6]

Vědec a expert Pawel Wargocki publikoval v roce 1999 studii ohledně kvality vnitřního prostředí. Studie se zabývá spojitostí kvality vnitřního prostředí a pracovního výkonu zaměstnanců v klasické kanceláři. Zatímco byly měřeny faktory jako zdraví, pohodlí a pracovní výkon zaměstnanců, z kanceláře byly odstraňovány zdroje znečišťujících látek, například 20 let starý koberec. Subjekty experimentu se zabývaly každodenní kancelářskou prací vyžadující soustředění (početní operace, paměťová cvičení a psaní textu). Přítomnost koberce v kanceláři způsobila, že osoby psaly o 6,5 % pomaleji a dělaly o 18 % více chyb oproti stavu bez koberce. Zároveň nastaly zdravotní obtíže, především bolest hlavy a podráždění nosu a krku. [33]

#### **2.3.2.4. Těkavé organické látky VOC**

Těkavou organickou látkou (VOC) se rozumí jakákoli organická sloučenina nebo směs organických sloučenin, s výjimkou methanu, která při teplotě 20 °C má tlak par 0,01 kPa nebo více nebo má odpovídající těkavost za konkrétních podmínek jejího použití. [15]

Hlavními zdroji těkavých organických látek ve vnitřním prostředí jsou čisticí prostředky, leštidla, nátěry, dezinfekční prostředky, podlahoviny, lepidla a další.

Jedná se o chemické sloučeniny uvolňující se do prostředí z použitých stavebních materiálů nebo vnitřního zařízení, případně o sloučeniny vznikající vzájemnou reakcí

těchto látek. Jsou charakteristické výrazným zápachem, mohou být dráždivé s alergickým účinkem a karcinogenní. [1]

#### **2.3.2.5. Formaldehyd**

Formaldehyd je dráždivý mutagenní plyn se štiplavým zápachem, u kterého jsou prokázány negativní účinky na zdraví lidského organismu [1].

Jeho zdrojem jsou různé stavební dílce zhotovované z granulovaných organických surovin spojených lepidly, například dřevotřískové, dřevovláknité, pilinotřískové a pazdeřové desky. Dále je produkován předměty z některých plastických hmot, z laků a barev. Může být používán i při konečné úpravě textilních látek, v kosmetickém průmyslu a ve zdravotnictví. [6]

Člověk vystavený formaldehydu po krátkou dobu trpí podrážděním očí, nosu a krku. Zvyšující se koncentrace plynu vede ke kýchání, kašli, nevolnosti a dušnosti. Děti jsou vůči jeho působení mnohem citlivější než dospělí. Byl u něj prokázán karcinogenní účinek. [1]

#### **2.3.2.6. Naftalen**

Za normálních podmínek je naftalen bílá krystalická látka s typickým zápachem, je silně těkavý a jeho páry jsou hořlavé. Jedná se o potenciálně karcinogenní látku.

Mezi přirozené zdroje patří spalování organické hmoty. Naftalen je používán při výrobě PVC, lepidel, léčiv, pryskyřic, maziv, barviv a dalších. Dále je využíván jako dezinfekční činidlo, fungicid a insekticid, vyskytuje se i jako součást deodorantů.

U člověka může být příčinou chudokrevnosti, poškozují játra a ledviny. Při krátkodobé expozici dráždí oči a dýchací cesty, přímým kontaktem s očima hrozí riziko zákalu rohovky nebo zánět spojivek, kontaktem s pokožkou je možný vznik kožních onemocnění. Požitím vyvolává zvracení a průjem. U těhotných může naftalen nenávratně poškodit plod. [34]

#### **2.3.2.7. Azbest**

Jedná se o přirozeně se vyskytující minerál s tenkými odolnými vlákny. Je nebezpečný především z důvodu rizika vdechnutí těchto malých vláken při poškození materiálů vyrobených z azbestu.

V minulosti byl hojně využíván jako stavební, těsnící a izolační materiál, v roce 2006 bylo jeho používání z důvodu zdravotního rizika zakázáno. V dnešní době představuje



největší nebezpečí odstraňování materiálů s azbestem při stavebních úpravách nebo demolicích. V těchto případech je nutné dodržet předpisy a technický postup tak, aby byly dodrženy podmínky ochrany zdraví při práci stanovené nařízením vlády č. 361/2007 Sb. [17]. [1]

Zdravotní riziko azbest představuje v okamžiku rozpadnutí na drobná vlákna a vznikem azbestového prachu, který lze snadno vdechnout. Ohroženi jsou především pracovníci při stavebních úpravách a demolicích. Onemocnění se projeví po dlouhé době, může se jednat o azbestózu – nenávratné zjizvení plic a dýchací potíže, rakovinu plic nebo mezoteliom – rakovina vnitřní výstelky hrudní dutiny nebo stěny břišní. [35]

### **2.3.3. Škodlivé látky z vnějšího prostředí**

#### **2.3.3.1. Oxid siřičitý SO<sub>2</sub>**

Oxid siřičitý je bezbarvý reaktivní dráždivý plyn, který je snadno rozpustitelný ve vodě. Běžně se vyskytuje v ovzduší, průměrné roční koncentrace v Evropě činí 12–45 µg/m<sup>3</sup> a tyto koncentrace dle studií WHO<sup>1</sup> mají klesající tendence. [36]

Pochází jak z přírodních zdrojů, tak i jako produkt lidské činnosti. Vzniká spalováním fosilních paliv, především uhlí a těžkých olejů, a při tavení rud s obsahem síry. V atmosféře podléhá oxidaci na sírany, ze kterých se poté tvoří kyselina sírová.

Mezi účinky na lidský organismus patří dráždivé účinky, ve vyšších koncentracích pak obtížné dýchání, poškození plic a zhoršení již existujících kardiovaskulárních nemocí. Oxid siřičitý má vliv i na prostředí, způsobuje okyselování jezer a toků, poškození zeleně a zemědělských plodin a také snižuje životnost staveb a venkovnímu prostředí vystavených uměleckých děl. [1]

#### **2.3.3.2. Oxidy dusíku NO<sub>x</sub>**

Jedná se o směs dvou plynů. Prvním je oxid dusnatý NO, bezbarvý a málo reaktivní plyn, který je toxický při vyšších koncentracích. Druhým je oxid dusičitý NO<sub>2</sub>, červenohnědý agresivní a toxický plyn. První zmíněný oxid je nebezpečný především z toho důvodu, že v atmosféře pomalu oxiduje na více toxický oxid dusičitý.

Zdrojem plynů jsou spalovací procesy při vysokých teplotách, kdy dochází k reakci kyslíku a dusíku, a reakce paliva obsahujícího dusík a kyslík. Plyny jsou produkovány hlavně silniční, železniční a vodní dopravou. [1]

---

<sup>1</sup> World Health Organisation

Na člověka mají dráždivé účinky, mohou přispět ke snížení imunity. Vazbou na hemoglobin vzniká methemoglobin nebezpečný zvláště pro kojence. Požití vody s obsahem nitrátů je toxické pro dýchací ústrojí a vytváří podpůrné účinky pro vznik a rozvoj rakoviny. [6]

#### **2.3.3.3. Oxid uhelnatý CO**

Oxid uhelnatý je bezbarvý hořlavý plyn bez chuti a zápachu. Běžně se vyskytuje v atmosféře a v nízkých koncentracích není pro člověka nebezpečný. [1]

Vzniká nedokonalým spalováním všech uhlíkatých materiálů a jako produkt zážehových motorů. Pro poměrně malou slučivost s jinými látkami se váže na materiály ve vnitřním prostředí velmi málo, ovšem jeho koncentrace i po odstranění zdroje klesá velmi pomalu.

Plyn je nebezpečný svou schopností vázat se na hemoglobin v krvi, který je následně vyřazen z funkce vázat a přenášet kyslík. Tím způsobuje v organismu stav nízkého obsahu kyslíku v krvi a nedostatek kyslíku ve tkáních. Dalším účinkem je blokáce dýchacích fragmentů ve tkáních, čímž dochází k toxickému poškození buněk. Otrava oxidem uhelnatým se projevuje bolestí hlavy, ztrátou koordinace a schopnosti soustředění, apatií, bolestí celého těla a v krajních případech i křečemi, ztrátou vědomí a smrtí. [6]

#### **2.3.3.4. Aerosoly**

Aerosoly je možné rozdělit na pevné a kapalné částice rozptýlené v ovzduší. Jsou závažnými činiteli čistoty prostředí v interiéru budov. Mezi pevné aerosoly patří i prachové částice  $PM_{2,5}$  a  $PM_{10}$ , ovšem z hlediska nebezpečí pro člověka byly vyčleněny a zavedeny tyto dvě frakce. [1]

Pevné aerosoly vznikají činností člověka, především provozem na komunikacích, stavební činností, opracováním pevných materiálů, spalováním organických látek a při oxidaci anorganických látek. Kapalné aerosoly vznikají rozptýlením kapalných částic v ovzduší vlivem kondenzace nebo v průmyslových provozech. Zdrojem je například nanášení laků stříkáním, mokré broušení a leštění, postřik zemědělských kultur a stromů.

Částice větší, než  $PM_{10}$  mohou způsobovat podráždění kůže, očí a dýchacích cest, ovšem kvůli své velikosti se většina částic usadí na stěnách nosní sliznice a neprojde dál. [6]

#### **2.3.3.5. Částice PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>**

Frakce prachu PM<sub>2,5</sub> – prachové částice s převládající velikostí částic o průměru 2,5 μm, které projdou speciálním selektivním filtrem s 50 % účinností [14].

Frakce prachu PM<sub>10</sub> – prachové částice s převládající velikostí částic o průměru 10 μm, které projdou speciálním selektivním filtrem s účinností 50 % [14].

Zdrojem polétavých částic jsou vysokoteplotní spalovací procesy, těžba v lomech, výroba a zpracování cementu a vápna. Příkladem částic PM<sub>2,5</sub> mohou být organické látky a prvky, mezi částice PM<sub>10</sub> se řadí prachová a pylová zrna a zemina.

Tyto částice se usazují v dýchacích cestách, čím menší částice je, tím dál se dostane do dýchacích cest. Částice menší než 1 μm se mohou dostat až do plicních sklípků. Mezi účinky na lidský organismus patří alergie projevující se citlivostí kůže, spojivek a dýchacích cest. Na polétavý prach se vážou těkavé organické látky VOC, které jsou pro organismus toxické. Inhalace částic PM<sub>10</sub> poškozuje kardiovaskulární a plicní systém, dlouhodobá expozice snižuje délku života a navyšuje kojeneckou úmrtnost. Částice mohou absorbovat látky s mutagenními a karcinogenními účinky, vystavení se jim tedy může způsobovat rakovinu plic. [37]

#### **2.3.3.6. Přízemní ozon O<sub>3</sub>**

Ozon je bezbarvý, ve vyšších koncentracích namodralý plyn, který je těžší než vzduch. Je tvořený třemi atomy kyslíku [38]. Jeho koncentrace ovlivňuje teplota, množství UV záření a relativní vlhkost vzduchu. Přízemní ozon má zastoupení 10 % z celkového množství ozonu v atmosféře. [39]

Vzniká komplexními sekundárními fotochemickými reakcemi v ovzduší, především reakcemi oxidů dusíku a těkavých organických látek. Jedná se tedy o tzv. sekundární polutant.

Působí negativně na dýchací soustavu, kde působí závažné morfologické i funkční změny a tím snižuje celkovou obranyschopnost organismu. [1]

#### **2.3.3.7. Benzen**

Jedná se o těkavou organickou sloučeninu s benzenovým jádrem, při pokojových teplotách je bezbarvý, hořlavý a toxický v kapalném skupenství. Není rozpustný ve vodě a má proti ní také menší hustotu. Při hoření uvolňuje saze. [1]

Zdroje benzenu jsou především spalovací procesy, největší podíl zaujímají spalovací motory dopravního průmyslu. Dále mezi zdroje patří průmyslová výroba, hutní průmysl, spalování odpadů a také cigaretový kouř. [40]

Vdechováním malého množství benzenu hrozí člověku riziko bolesti hlavy, pocitu únavy, zrychleného srdečního tepu, chvění a v krajních případech i ztrátě vědomí. Pokud je lidský organismus vystaven velkým koncentracím, může nastat i smrt. Z dlouhodobého hlediska benzen poškozují kostní dřev, způsobuje chudokrevnost, leukémii a rakovinu plic. [1]

#### **2.3.3.8. Benzo(a)pyren**

Tato aromatická organická látka se řadí mezi uhlovodíky obsahující více benzenových jader. Částice uvolněné ze zdrojů se vážou k povrchu pevných částic frakce PM<sub>2,5</sub> a zůstávají tak v ovzduší po dobu několika dnů až týdnů.

Benzo(a)pyren vzniká v přírodě jen výjimečně, a to při lesních požárech. Ve větším množství je produkován lidskou činností, konkrétně nedokonalým spalováním fosilních paliv ve stacionárních i mobilních zdrojích, dále také v domácích topeništích. Neopomenutelným zdrojem ve vnitřním i vnějším prostředí je spalování tabáku, především vznikající cigaretový kouř. V posledních letech jsou celorepublikové průměrné koncentrace nadlimitní a znečištění benzo(a)pyrenem je jedním z hlavních problémů ovzduší v ČR.

Stejně jako další polyaromatické uhlovodíky je benzo(a)pyren prokazatelně karcinogenní. Do lidského organismu se dostává přes dýchací ústrojí spolu s jemnými částicemi, ovšem může se vstřebávat i pokožkou. Za účinky jsou považovány vznik rakoviny, ohrožení zdravého vývoje plodu a poškození kůže (od podráždění až k popálení). [1]

#### **2.3.3.9. Těžké kovy**

Těžké kovy je označení pro skupinu kovů a metaloidů s hustotou prvku větší než 4 g/cm<sup>3</sup>. Metaloid je nekovový prvek, který má některé vlastnosti kovů. Do této skupiny se řadí následující prvky: arsen, kadmium, chrom, měď, rtuť, nikl, olovo a zinek.

Mezi hlavní zdroje se řadí spalování fosilních paliv, výroba a zpracování železa, spalování odpadu, výroba cementu, skla, chloru a louhu. Částice prvků mají obdobně jako benzo(a)pyren schopnost se navázat na jemné částice PM<sub>2,5</sub> a tímto způsobem

se transportovat na dlouhé vzdálenosti a vyskytovat se v ovzduší po delší období (dny až týdny).

Ve stopovém množství jsou některé těžké kovy lidskému organismu prospěšné a pro zdravý vývoj a fungování dokonce nezbytné. Ovšem při vyšších koncentracích vykazují toxicitu. Může dojít k poškození nervové a oběhové soustavy a také ke vzniku rakoviny. [1]

### 2.3.4. Požadavky na škodliviny

Tabulka 3: Limitní koncentrace škodlivých látek ve vnitřním prostředí staveb dle vyhlášky č. 6/2003 Sb. [16]

Ukazatel	Limitní koncentrace
Oxid dusičitý	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Frakce prachu PM <sub>10</sub>	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Frakce prachu PM <sub>2,5</sub>	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Oxid uhelnatý	5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ozon	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Azbestová a minerální vlákna	1000 vláken/ $\text{m}^3$
Amoniak	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Benzen	7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Toluen	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Suma xylenů	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Styren	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Etylbenzen	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Formaldehyd	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Trichloretylen	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Tetrachloretylen	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabulka 4: Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení dle zákona č. 201/2012 Sb. [15]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální počet překročení
Oxid siřičitý	1 hodina	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24
Oxid siřičitý	24 hodin	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3
Oxid dusičitý	1 hodina	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	18
Oxid dusičitý	1 kalendářní rok	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0
Oxid uhelnatý	max. denní osmihodinový průměr	10 $\text{mg}/\text{m}^3$	0
Benzen	1 kalendářní rok	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0
Částice PM <sub>10</sub>	24 hodin	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35
Částice PM <sub>10</sub>	1 kalendářní rok	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0
Částice PM <sub>2,5</sub>	1 kalendářní rok	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0
Olovo	1 kalendářní rok	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0

Tabulka 5: Imisní limity pro celkový obsah znečišťující látky v částicích PM<sub>10</sub> dle zákona č. 201/2012 Sb. [15]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit
Arsen	1 kalendářní rok	6 ng/m <sup>3</sup>
Kadmium	1 kalendářní rok	5 ng/m <sup>3</sup>
Nikl	1 kalendářní rok	20 ng/m <sup>3</sup>
Benzo(a)pyren	1 kalendářní rok	1 ng/m <sup>3</sup>

### 2.3.5. Zásah do vnitřního prostředí

#### 2.3.5.1. Omezení šíření škodlivin

Šíření škodlivých látek lze omezit vhodnými konstrukčními úpravami budovy, které jsou sice účinné, ale nejsou dobře proveditelné u rozsáhlejších a vícepodlažních budov. Dalším způsobem je vhodné umístění zdrojů škodlivin v budově tak, aby se nacházely ve vyšších podlažích a nedocházelo tak k zamoření celé budovy škodlivinou vlivem tepelného vztlaku. [6]

#### 2.3.5.2. Výměna vzduchu

Koncentrace škodlivých látek se dá upravit pomocí výměny vzduchu. Do místnosti se přivádí čerstvý vzduch v takovém množství, aby byla udržena předepsaná nejvýše přípustná koncentrace škodlivé látky. [6] Pro tento postup je množství čerstvého vzduchu dáno tímto vztahem:

$$V_p = \frac{\psi}{\psi_2 - \psi_1} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

$$V_p \quad \text{provozní množství vzduchu (vzduchový výkon)} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

$$\psi \quad \text{celková produkce škodlivin v prostoru} \quad [\text{mg}/\text{h}]$$

$$\psi_2 \quad \text{dovolená nejvyšší koncentrace škodliviny} \quad [\text{mg}/\text{m}^3]$$

$$\psi_1 \quad \text{koncentrace škodlivin obsažená v přiváděném vzduchu} \quad [\text{mg}/\text{m}^3]$$

[3]

Pokud dojde k současnému vystavení několika škodlivým látkám naráz, je nutné zjistit, zda se působení látek sčítá nebo zda látky působí nezávisle na sobě. V prvním případě se vypočtená množství přiváděného vzduchu sčítají. V případě druhém se volí největší vypočítané množství. [6]

### 2.3.5.3. Filtrace vzduchu

Pobytové místnosti jsou dle kvality vnitřního ovzduší rozděleny do následujících kategorií dle ČSN EN 16798-3 [12]:

- IDA 1 – kvalita vnitřního ovzduší velmi vysoká
- IDA 2 – kvalita vnitřního ovzduší střední
- IDA 3 – kvalita vnitřního ovzduší průměrná
- IDA 4 – kvalita vnitřního prostředí nízká

Venkovní ovzduší je dle znečištění zaříděno do následujících tříd dle ČSN EN 16798-3 [12]:

- ODA 1 – venkovní vzduch, který může být dočasně znečištěn prachem
- ODA 2 – znečištěný venkovní vzduch, který obsahuje vysoké koncentrace prachu nebo plynných znečišťujících látek (znečištění venkovního ovzduší překračuje směrné hodnoty nejvýše do 1,5násobku)
- ODA 3 – velmi znečištěný venkovní vzduch s velmi vysokými koncentracemi prachu nebo plynných znečišťujících látek (znečištění venkovního ovzduší překračuje směrné hodnoty více než 1,5násobně)

Dle zařídění pobytové místnosti a venkovního ovzduší jsou následně určeny doporučené minimální třídy filtrů pro větrání s označením G1–G4 (hrubé filtry), M5–M6 (střední filtry) a F7–F9 (jemné filtry). GF je označení pro uhlíkový nebo chemický filtr. Z hygienických důvodů je také doporučeno provádět vícestupňovou filtraci za použití různých tříd filtrů (především pro IDA 1 a IDA 2). [41]

*Tabulka 6: Doporučené minimální třídy filtrů u větrání nebytových budov pro jednotlivé kombinace tříd kvality venkovního ovzduší ODA a požadované kvality vnitřního prostředí IDA [1]*

Kvalita venkovního ovzduší ODA	Kvalita vnitřního ovzduší IDA			
	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
ODA 1	F9	F8	F7	M5
ODA 2	F7 + F9	M6 + F8	M5 + F7	M5 + M6
ODA 3	F7 + GF + F9	F7 + GF + F9	M5 + F7	M5 + M6

#### **2.3.5.4. Odstranění ionizací**

Intenzivní ionizace vzduchu dokáže odstranit toxické látky jako formaldehyd, oxid siřičitý a dioxin. V místnosti je umístěn ionizátor, který slouží k produkci negativních iontů, ventilátor, který zajišťuje cirkulaci vzduchu, a elektroda připojená ke kladnému pólu zdroje stejnosměrného proudu. [6]

#### **2.3.6. Radon**

Jedná se o přírodní radioaktivní bezbarvý plyn bez chuti a zápachu. Je produktem přeměny uranu, který se vyskytuje v zemské kůře. Na území ČR se koncentrace radonu v půdním vzduchu pohybují v rozmezí 10 000–100 000 Bq/m<sup>3</sup>. Radon se dále uvolňuje do atmosféry, typické koncentrace po naředění jsou jednotky až desítky Bq/m<sup>3</sup>. Nebezpečí radonu spočívá především v hromadění ve spodní stavbě, odkud může netěsnostmi ve vysoké koncentraci pronikat až do budovy.

Při dlouhodobém vystavení se radonu hrozí nebezpečí ozáření plic spojené s onemocněním rakovinou. Dle Světové zdravotnické organizace (WHO) je ozáření radonem druhou nejčastější příčinou vzniku rakoviny plic.

Pro snížení rizika onemocnění na přijatelnou míru se zákonem č. 263/2016 Sb. [20] a prováděcí vyhláškou č. 422/2016 Sb. [21] zavedla směrná hodnota pro nové a stávající stavby 300 Bq/m<sup>3</sup> pro průměrnou koncentraci radonu při intenzitě větrání odpovídající běžnému užívání.

Z hlediska škol je vhodné navrhovat novostavby tak, aby koncentrace radonu nepřesáhla hodnotu 100 Bq/m<sup>3</sup>. Při zavádění dodatečných protiradonových opatření stávajících budov by koncentrace neměla přesáhnout hodnotu 200 Bq/m<sup>3</sup>. Tyto hodnoty zohledňují skokový růst koncentrace během noci a rána, kdy se ve školách nevětrá a jsou zavřená okna, a také fakt, že ani přirozené větrání okny nemusí vždy stačit pro snížení koncentrace radonu pod předepsanou hodnotu. [1]

#### **2.3.7. Mikrobiální mikroklima**

Mikrobiální mikroklima je složka prostředí, která je vytvářena mikroby a mikroorganismy (nejčastěji bakterie, plísňe a viry) o průměru od 0,1 μm do 100 μm.

Zdrojem patogenních mikroorganismů je sám člověk, od něž se původci infekce šíří do vnitřního prostředí budovy. Bioaerosoly se do vnitřního prostředí mohou dostat i z venkovního ovzduší, přímo z klimatizačních a větracích zařízení nebo ze stavebních konstrukcí. Vážou se na aerosoly a společně s nimi poté přenášejí do vnitřního ovzduší.



Kapalný aerosol je nositelem tyčinkových bakterií (*Legionella*), s pevným aerosolem se šíří roztoči a spory hub. Důležitým faktorem pro výskyt a šíření mikroorganismů je také vodní pára se svou schopností kondenzace, vlhké prostředí je ideální pro rozvoj virů a plísní.

Vliv mikroorganismů na člověka se projevuje jako kožní onemocnění a alergie. Známa je i legionářská nemoc, jejíž původcem je soubor bakterií *Legionella* vyskytujících se ve vodovodních sítích. Způsobuje zápal plic a pontiackou horečku. Spory plísní snižují funkci plic, projevem jsou bolesti hlavy, letargie, závratě, dýchací potíže a astmatické záchvaty. Pro zdravého člověka mikroorganismy nepředstavují smrtelné nebezpečí, ohroženy jsou ale osoby s oslabenou imunitou a chronickými onemocněními. [6]

## 2.4. Požadavky na větrání škol

Kvalita vnitřního prostředí budov se upravuje pomocí větrání, do místností se přivádí čerstvý venkovní vzduch a znehodnocený vzduch je odváděn pryč. Intenzita větrání a množství přiváděného čerstvého vzduchu jsou dány hygienickými požadavky dle využití místnosti.

*Tabulka 7: Množství přiváděného vzduchu v učebnách a tělocvičnách a množství odváděného vzduchu v šatnách a hygienických zařízeních pro výchovu a vzdělávání a provozovnách pro výchovu a vzdělávání dle vyhlášky č. 410/2005 Sb. [17]*

Typ prostoru	Přiváděný vzduch [m <sup>3</sup> /hod]	Odváděný vzduch [m <sup>3</sup> /hod]
Učebny	20 na 1 dítě/žáka	
Tělocvičny	20 na 1 dítě/žáka	
Šatny		20 na 1 dítě/žáka
Umývárny		30 na 1 umyvadlo
Sprchy		150–200 na 1 sprchu
Záchody		50 na 1 kabinu, 25 na 1 pisoár

### 2.4.1. Učebny

Závazné požadavky jsou dány vyhláškou č. 410/2005 Sb. [17], která definuje minimální množství přiváděného venkovního vzduchu na 20 m<sup>3</sup>/h na 1 dítě a minimálně 25 m<sup>3</sup>/h na 1 dospělou osobu. V oblastech bez výrazného znečištění vzduchu slouží jako indikátor kvality vnitřního prostředí oxid uhličitý. Vyhláškou č. 268/2009 Sb. [18] jsou uvedeny přípustné koncentrace CO<sub>2</sub> v pobytových prostorách. Pro mateřské školy není udána

žádná přípustná koncentrace, množství vzduchu je tedy určováno na základě vyhlášky č. 410/2005 Sb. [17].

Minimální průtok venkovního vzduchu z hlediska produkce CO<sub>2</sub> lze vypočítat pomocí následujícího vzorce:

$$V_e = \frac{V_{CO_2}}{C_p - C_e} \quad [m^3/h]$$

$V_e$  minimální průtok venkovního vzduchu [m<sup>3</sup>/h]

$V_{CO_2}$  objemový tok CO<sub>2</sub> [m<sup>3</sup>/h]

$C_p$  přípustná koncentrace škodliviny (CO<sub>2</sub>) ve vnitřním ovzduší [% obj.]

$C_e$  koncentrace škodliviny (CO<sub>2</sub>) ve vnitřním ovzduší [% obj.]

Následující tabulka [Tab. 8] uvádí porovnání přepisů a návrhové množství venkovního vzduchu pro větrání učeben od mateřské školy po střední školy. Je tedy zřejmé, že pro hospodárnost provozu je možné požadované množství větracího vzduchu snížit. [1]

*Tabulka 8: Srovnání požadavků na koncentraci CO<sub>2</sub> a minimální průtok vzduchu na žáka dle vyhlášky č. 410/2005 Sb. [17], vyhlášky č. 268/2009 Sb. [18] a metodického pokynu pro návrh větrání škol [25]*

Předpis	Přípustná koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	Průtok vzduchu na žáka [m <sup>3</sup> /h]			
		3–6 let	6–10 let	10–15 let	15–18 let
Vyhláška č. 410/2005 Sb.	--	20–30			
Vyhláška č. 268/2009 Sb.	1500	--			
Metodický pokyn pro návrh větrání škol	--	10	12	18	20

#### 2.4.2. Ostatní prostory

Vyhláška č. 410/2005 Sb. [17] udává požadavky na množství přiváděného a odváděného vzduchu i pro ostatní prostory mateřských, základních a středních škol. Větrání šaten je stejně jako větrání učeben navrženo na počet žáků, hygienické zázemí je navrhováno výhradně jako podtlakové a v závislosti na počtech zařizovacích předmětů.

Prostory jako kanceláře, kabinety, sborovny a ředitelny nespádají do kategorie trvalých pracovišť a připouští se přirozené větrání okny.

## 2.5. Akustika

Akustické mikroklima je nedílnou součástí vnitřního prostředí, působí na subjekt a spoluvytváří jeho celkový stav. Jedná se o složku tvořenou akustickými toky v ovzduší. [6]

Z hlediska akustiky lze rozdělit zvuky na dvě skupiny: tóny a hluky. Jako tón lze označit zvuk s periodickým průběhem kmitů, který vzniká pravidelným chvěním. Naopak hlukem nazýváme zvuk s nepravidelným kmitáním nebo krátké nepravidelné rozruchy. [42] Hluky nepříznivě ovlivňují pohodu člověka a mohou i ohrozit zdraví. Podobně jako u oděrů je i akustické mikroklima vnímáno každým jedincem odlišně [6].

### 2.5.1. Zdroje hluku

Hluk je podobně jako škodlivé látky produkován jak v exteriéru budovy a následně proniká dovnitř, tak jsou zdrojem i osoby a zařízení v interiéru.

Mezi největší zdroje hluku z vnějšího prostředí se řadí dopravní prostředky, průmysl a meteorologické jevy provázené s vysokou rychlostí proudícího vzduchu (bouře, tornáda, vítr).

Hluk v interiéru je z podstatné části produkován člověkem a jeho činností. Následující tabulka [Tab. 9] uvádí druhy hluku a jejich intenzitu. [6]

*Tabulka 9: Hluky produkované člověkem a jejich intenzita [6]*

Druh hluku produkovaného člověkem	Intenzita [dB]
Šum počítače	10
Tíkot náramkových hodinek	20
Šepot	30
Běžný rozhovor	60
Sekačka trávy	90–100
Motor auta (ve vyšších obrátkách)	100–110

### 2.5.2. Vliv na člověka

Člověk vnímá hluk pomocí sluchového orgánu – ucha. Tento orgán vnímá frekvence zvukových vln i jejich intenzitu. Zvuk vytváří akustický tlak, který je vnímán právě jako intenzita zvuku.

Obecně lze uvést, že hluk nad 30 dB má negativní účinky na psychické zdraví člověka, nad 65 dB působí negativně na vegetativní nervový systém, nad 85 dB ohrožuje sluchové ústrojí a nad 120 dB může mít za následek trvalé poškození buněk a tkání. Jako mezní hodnota je udáváno 115 dB, při jejím překročení musejí být dodrženy podmínky určené orgány hygienické služby (použití sluchátkových chráničů apod.).

K negativním projevům dlouhodobého působení hluku na lidský organismus patří zvýšení tepové frekvence, změna prokrvení kůže, zvýšení hladiny krevního cukru, změna hladiny inzulinu v krvi, narušení pohybové koordinace, ovlivnění mentální činnosti člověka, zvýšení únavy a podrážděnosti. U dětí jsou projevy podobné, vyskytují se problémy při čtení, zhoršená paměť, sklony k rychlé frustraci a zvýšený krevní tlak. [6]

### **2.5.3. Požadavky na akustiku**

Limitním hodnotám se věnuje nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [22]. Hluk pronikající do vnitřního prostředí z exteriéru je hodnocen pomocí ekvivalentní hladiny  $L_{Aeq,T}$  akustického tlaku A za časový úsek T. Limitní hodnota pro učebny je 45 dB.

V případě hluku produkovaného zdroji uvnitř vnitřního prostředí je posuzovaná veličinou maximální hladina akustického tlaku A  $L_{Amax}$ . Limitní hodnota pro učebny je 45 dB. [1]

Další sledovanou veličinou je doba dozvuku T. Vyjadřuje vzájemné působení zdroje zvuku a vlastností daného prostoru, přičemž je do hodnocení brán i faktor času. Laicky řečeno je to doba, po kterou je v místnosti slyšet ozvěna daného zvuku. Optimální hodnoty pro prostory se velmi liší, například ideální hodnota pro přednáškový sál se pohybuje v rozmezí 0,5–1,1 s v závislosti na objemu místnosti. [43]

Nelze opomenout ani činitel pohltivosti  $\alpha$ , který se stanovuje z doby dozvuku T. Nabývá hodnot v rozsahu 0–1. Čím kratší je doba dozvuku, tím vyšší je pohltivost prostoru. [1]

### **2.5.4. Vzduchotechnická zařízení**

Zdrojem hluku ve vnitřním prostředí jsou i vzduchotechnická zařízení. Nejčastěji se jedná o ventilátor, ale hluk mohou způsobit i distribuční prvky. Eliminace nežádoucího hluku probíhá především ve fázi návrhu vzduchotechnického zařízení, zejména umístění vzduchotechnické jednotky a součástí vzduchotechnického potrubí. Vhodná je instalace tlumičů za zdroj hluku (vzduchotechnickou jednotku), které zajistí útlum samotného

zdroje i hluku generovaného součástmi potrubí (kolena, odbočky apod.) Dále je třeba dbát na údržbu systému, zanešené filtry mohou způsobit zvýšení hlučnosti. [1]

## 2.6. Osvětlení

Osvětlení se rozděluje na osvětlení denní, které je po psychofyziologické stránce nepostradatelné, a osvětlení umělé, které jej může vhodně doplnit, dokonce i zcela nahradit. Osvětlení je definováno jako stav předmětu, na který dopadá světlo a je charakterizováno světelně technickými veličinami. [2]

### 2.6.1. Zrakový výkon a zraková pohoda

Zrakový výkon je množství informací zpracovaných zrakem za jednotku času. Závisí nejen na stavu pozorovatele, ale i na stavu okolního prostředí.

Zraková pohoda je příjemný psychofyziologický stav potřebný pro práci i odpočinek. Závisí především na osvětlenosti, jakosti osvětlení a vlastnostech prostoru. [2]

### 2.6.2. Index podání barev Ra

Vlnová délka optického záření určuje barvu světla a předměty se jeví v té barvě, kterou odrážejí. Například červené těleso odráží červené světlo a zbytek spektra pohlcuje. Světelný zdroj má pomocí svého světelného toku věrně podávat obraz pozorovaného předmětu. Hodnoty indexu se pohybují v rozmezí 0–100, čím nižší je hodnota, tím dochází k většímu zkreslení barev. [2]

Tabulka 10: Hodnoty indexu barevného podání [2]

Barevné podání	Index barevného podání Ra [-]
Velmi dobré	> 90
	80–89
Dobré	70–79
	60–69
Vyhovující	40–59
Nevyhovující	< 39

### 2.6.3. Teplota chromatičnosti Tc

Teplota chromatičnosti slouží k popisu barvy nebo k vystižení barevných vlastností světla, které jsou vyzařovány teplotním zdrojem. Je udávána pomocí absolutní teploty černého zářiče, jehož záření vykazuje stejnou barevnou jakost světla jako uvažované světlo. [2] Následující tabulka [Tab. 11] uvádí běžné světelné zdroje a jejich přibližnou teplotu chromatičnosti.

Tabulka 11: Světelné zdroje a jejich přibližná teplota chromatičnosti [2]

Světelný zdroj		Teplota chromatičnosti $T_c$ [K]
Denní světlo		5900
Obloha mírně zatažená		13600
Modrá obloha		6800
Parafínová svíčka		1720
Petrolejová lampa		1870
Žárovka	Čirá	2700
	Matná	2800
Zářivka	Denní	6500
	Bílá	4000
	Teple bílá	2700

#### 2.6.4. Rozložení jasu

Úroveň jasu a jeho rozložení ovlivňuje ostrost vidění, kontrastní citlivost oka a účinnost zrakových funkcí. Pokud dojde k nevhodnému rozložení jasu, může dojít ke zvýšené námaze zraku a obtížím, případně k oslnění. Mezi projevy patří únava, nižší zrakový výkon a zhoršení zrakové pohody. K vytvoření vyváženého rozložení jasů je nutné zohlednit jasy všech povrchů. Ty jsou určeny činitelem odrazu a osvětleností. [13, 44]

Tabulka 12: Doporučená rozmezí hodnot činitele odrazu pro výběr materiálu dle ČSN EN 12 464-1 [13]

Povrch místnosti	Činitel odrazu [-]
Strop	0,6–0,9
Stěny	0,3–0,8
Pracovní roviny	0,2–0,6
Podlaha	0,1–0,5
Hlavní předměty (nábytek)	0,2–0,7

#### 2.6.5. Osvětlenost

Osvětlenost a její rozložení v místě zrakového úkolu a v jeho bezprostřední blízkosti mají velký vliv na rychlost, bezpečnost a pohodlnost vnímání a vykonání zrakového úkolu. [2] Bezprostřední okolí tvoří pás o šířce alespoň 0,5 m kolem místa zrakového úkolu v zorném poli [13].

Tabulka 13: Vztah mezi osvětleností bezprostředního okolí a osvětleností místa zrakového úkolu nebo místa činnosti dle ČSN EN 12 464-1 [13]

Osvětlenost místa zrakového úkolu nebo místa činnosti [lx]	Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu [lx]
$\geq 750$	500
500	300
300	200
200	150
$\leq 150$	stejná jako pro místo zrakového úkolu

### 2.6.6. Oslnění

K oslnění denním světlem dochází vlivem přímého slunečního světla, které proniká osvětlovacími otvory do vnitřního prostředí, a také pokud je jas v zorném poli příliš vysoký v porovnání s úrovní jasu, na kterou je uživatel v daném okamžiku adaptován. [11] Oslnění se dá tedy označit za nepříznivý stav zraku, který znemožňuje provádění zrakového úkolu a narušuje zrakovou pohodu [45].

### 2.6.7. Požadavky na osvětlení pro mateřské školy

Tabulka 14: Specifické požadavky na osvětlení pro mateřské školy a jesle dle ČSN EN 12 464-1 [13]

Druh místa zrakového úkolu/činnosti		Místnost pro dětské hry	Dětské pokoje	Místnosti pro ruční práce
Udržovaná osvětlenost místa zrakového úkolu/činnosti $\bar{E}_m$ [lx]	požadovaná	300	300	300
	upravená (zohlednění rozložení jasu)	500	500	500
Rovnoměrnost osvětlení $U_o$		0,4	0,4	0,6
Index podání barev $R_a$		80	80	80
Hodnota indexu osvětlení dle UGL $R_{UGL}$		22	22	19
Udržovaná osvětlenost prostoru $\bar{E}_{m,z}$ [lx]		100	100	100
Udržovaná osvětlenost stěn $\bar{E}_{m,wall}$ [lx]		100	100	100
Udržovaná osvětlenost stropu $\bar{E}_{m,ceiling}$ [lx]		75	75	75

### **3. Principy větrání**

#### **3.1. Proudění vzduchu**

Větrání představuje výměnu znehodnoceného vzduchu ve vnitřním prostředí za venkovní čerstvý vzduch. Pohyb vzduchu je zajištěn rozdílem tlaků vzduchu. [23]

#### **3.2. Větrací systémy**

##### **3.2.1. Přirozené větrání**

Uvnitř a vně budovy je přirozený rozdíl tlaků, který vyvolává průtok vzduchu a na tomto principu je založeno přirozené větrání. Děj probíhá za pomoci otvorů v budově, může být trvalé za předpokladu, že je ve větraném prostoru umístěn stálý zdroj tepla, nebo nahodilé, které je závislé na tlakových účincích větru a vnitřních a vnějších klimatických podmínkách.

Výhodou přirozeného větrání je nulová spotřeba energie pro dopravu vzduchu.

Mezi nevýhody přirozeného větrání se řadí malá možnost jakékoli úpravy přiváděného vzduchu – filtrace nebo tepelná úprava, a nízký účinný tlak, který nestačí k překonání tlakových ztrát prvků. [4]

Přirozené větrání není trvale účinné a pro větrání obytných místností je tedy nevyhovující z hlediska platných právních předpisů.

##### **3.2.2. Přirozené větrání okny**

Přirozené větrání okny zajišťuje výměnu vzduchu pomocí otevření okenních otvorů, případně infiltrací (průvzdušnost spár oken). V minulosti se jednalo o jediný větrací systém obytných budov. V dnešní době je tento způsob větrání nevyhovující a neodpovídá požadavkům právních předpisů. Využívá se pro jednorázové občasně větrání. [2]

###### **3.2.2.1. Provětrávání**

Tento způsob výměny vzduchu je stejně jako přirozené větrání okny v dnešní době zastaralý a nevyhovující. Funkčnost zajišťují otevřená okna dispozičně umístěná v následnosti za sebou. Provětrávání může být jednostranné, kdy se pro přívod i odvod vzduchu použije stejný otvor, a příčné, při kterém probíhá výměna vzduchu na stejném podlaží, ale přes celou šířku budovy. Přiváděný vzduch dosahuje obvykle vysokých rychlostí, hrozí tedy nebezpečí vzniku průvanu. [2]



### **3.2.2.2. Přirozené větrání šachtové**

Šachtové větrání funguje díky rozdílu teplot vzduchu uvnitř a vně budovy. Znehodnocený vzduch z místnosti putuje do sběrné větrací šachty společné pro všechna podlaží, která je vyvedena nad rovinu střechy. V případě přívodu vzduchu šachtou je směr proudění opačný, ovšem toto řešení není časté. Pro zajištění dostatečné výměny vzduchu je možné umístit do vrcholu šachty pomocnou turbínu. [46]

### **3.2.3. Nucené větrání**

Principem nuceného větrání je využití mechanického zařízení, které svou prací způsobuje změnu tlaku a zajišťuje tak pohyb vzduchu. Ventilátor zajišťuje překonání tlakových ztrát proudícího vzduchu a jeho pohyb potrubím. Z hlediska umístění ventilátoru rozlišujeme tři různé typy nuceného větrání. [23]

Větrání je řízené, je možné využít ruční spínač, spínač společně s osvětlením nebo spuštění dle senzoru, který detekuje množství škodlivin.

#### **3.2.3.1. Nucené podtlakové větrání**

Přívod venkovního vzduchu je zajištěn ventilátorem vytvářejícím v daném prostředí podtlak. Množství odváděného vzduchu je tedy větší než množství vzduchu přiváděného a tento rozdíl je vyrovnáván přívodem venkovního vzduchu přes větrací otvory. [24]

Tento typ lze využít v případě, že venkovní vzduch má požadovanou kvalitu a prvky pro přívod venkovního vzduchu musí splňovat tepelně technické a akustické požadavky. [5]

Konkrétně se podtlakového větrání využívá, pokud je ve větraném prostoru zdroj škodlivin a je nutno bránit jejich šíření do dalších prostor. Běžně se tak jedná o koupelny a toalety.

Nespornými výhodami podtlakového větrání je určené množství odváděného vzduchu, snadná obsluha a spuštění pomocí spínače, po spuštění systém začíná ihned pracovat a odvádět škodliviny. Dále se jedná o poměrně levný a jednoduchý systém, který se dá snadno instalovat.

Nevýhodami jsou riziko hlučnosti ventilátorů umístěných v místnosti, diskomfort v blízkosti otvorů především v zimním období a také lidský faktor uživatele z hlediska plné kontroly provozu zařízení. [24]

### **3.2.3.2. Nucené přetlakové větrání**

Prívod venkovního vzduchu je zajištěn ventilátorem vytvářejícím v daném prostředí mírný přetlak. Množství přiváděného vzduchu je větší než množství vzduchu odváděného a tento rozdíl je vyrovnáván únikem vzduchu před větrací otvory.

Tento systém je využíván převážně jako pomocné větrání nebo v případě čistých prostor, kdy je potřeba zabránit vniknutí škodlivin z okolních prostor do větraného prostředí – laboratoře a operační sály.

Mezi výhody systému patří určené množství přiváděného vzduchu, možnost převedení škodlivých látek i tepelného zisku z větraného prostředí do sousedících prostor a také možnost úpravy vlastností přiváděného vzduchu pomocí procesů jako filtrace, ohřev, chlazení anebo vlhčení.

Nevýhodou je velké riziko průvanu přiváděným vzduchem. [24]

### **3.2.3.3. Nucené rovnotlaké větrání**

Principem rovnotlakého větrání je současný prívod i odvod vzduchu z větraného prostředí. Prívod i odvod je zajišťován ventilátorem.

Výhodami systému je především kontrolované množství a kvalita přiváděného i odváděného vzduchu. Jedná se o univerzální systém větrání budov, který je možné řídit podle množství škodlivin i dalších parametrů větraného prostředí. Rovnotlaké větrání má také výhodu využití zpětného získávání tepla z odváděného vzduchu.

Systém je složitější a skládá se z více komponentů, dále má vyšší spotřebu energie na provoz a mezi další nevýhody patří vyšší náklady na realizaci a provoz. [24]

### **3.2.4. Hybridní větrání**

Hybridní větrání obsahuje prvky přirozeného i nuceného větrání a kombinuje je dohromady. Principem je střídání obou režimů s cílem udržení kvality vnitřního vzduchu bez vysokých nároků na spotřebu energií. Pro zajištění fungování je nutný řídicí systém, který přepíná mezi oběma režimy dle nastavených požadavků (koncentrace CO<sub>2</sub>). Tento způsob větrání je při vhodně zvoleném řízení schopen podstatně snížit tepelnou ztrátu větrání. [47]

### **3.2.5. Rekuperace**

Rekuperace neboli zpětné získávání tepla je termín používaný u systémů s nuceným oběhem vzduchu. Soustava je připojena na vzduchotechnickou jednotku vybavenou rekuperačním zařízením. Přiváděný venkovní vzduch prochází přes rekuperační

výměník, do kterého z druhé strany vstupuje teplejší znehodnocený vzduch odváděný z místnosti. Pomocí výměníku dojde k přehřátí přiváděného vzduchu a k úspoře energie. Účinnost rekuperačních výměníků dosahuje až 90 %. [48, 49]

## 4. Měření základních veličin vnitřního prostředí

### 4.1. Popis objektu

Objektem měření je mateřská škola v centru města. Jedná se o budovu s půdorysným tvarem písmene “L” o 1 podzemním a 3 nadzemních podlažích. Objekt byl v roce 2021 předmětem stavebních úprav, měnila se okna a částečně se upravovala vnitřní dispozice. Vzniklo nové zázemí pro učitelský sbor a došlo k propojení dvou stávajících budov. Z hygienických důvodů byla v I.NP realizována vzduchotechnika pro vybrané místnosti. Stavebním úpravám také podlehla celá fasáda objektu a střecha.



Obrázek 1: Objekt měření, pohled z ulice



Obrázek 2: Objekt měření, pohled ze zahrady

V budově se nacházejí celkem 4 třídy, každá pro maximální počet 24 dětí. Třída má dvě místnosti propojené skládacími dveřmi (učebna a ložnice). Dále se v budově nachází šatny pro děti i učitele, ředitelna, sborovna, kancelář hospodářky, přípravná dovážených jídel, hygienická zázemí a celé podzemní podlaží slouží jako technické zázemí budovy (kotelna, prádelna, sušárna, sklady).

Projekt vzduchotechniky řeší nucené větrání učeben v I.NP budovy. Je uvažováno minimální množství přiváděného vzduchu 18 m<sup>3</sup>/h na dítě a 40–50 m<sup>3</sup>/h na dospělého (celkem max. 500 m<sup>3</sup>/h). Byla navržena samostatná vzduchotechnická jednotka s rekuperací určena pro trvalý chod po celou vyučovací dobu. VZT jednotka je umístěna přímo v učebně, je vybavena filtrací, protiproudým rekuperátorem s obtokem a ventilátory pro přívod a odvod vzduchu. Větrání učebny je navrženo jako rovnotlaké a bez možnosti směšování. Vzduchotechnické potrubí je navrženo pod stropem učebny, distribuce vzduchu do místnosti je zajištěna kruhovou textilní výustí. Sání a výfuk je zajištěno přes fasádu objektu a toto potrubí je po celé délce tepelně izolováno.

Chod VZT jednotky je řízen digitální automatickou regulací. Řízení je zcela autonomní a plynulé v závislosti na koncentraci CO<sub>2</sub>.

#### **4.2. Měřiče a jejich umístění**

Měření probíhalo ve dnech **17. 3. 2023–20. 4. 2023** a bylo provedeno pomocí inteligentní meteostanice značky Netatmo a tří přídatných modulů. Samotná meteostanice byla umístěna do učebny v I.NP a první přídatný modul do vedlejší místnosti učebny (ložnice) v I.NP. Druhý přídatný modul byl umístěn do učebny ve II.NP a třetí přídatný modul do vedlejší místnosti učebny (ložnice) ve II.NP. Pro zaznamenání exteriérových hodnot byl použit modul umístěný u vchodu do MŠ, vzhledem k poruše ale nebyla získána žádná data a pro další zpracování byl využit modul měřící hodnoty severně od Prahy.

Měřicí stanice byly umístěny přibližně ve výšce 1,2 m nad podlahou, mimo dosah dětí (poličky, stoly) a při obvodu místnosti. Z hlediska metodiky měření nebyly meteostanice ani moduly umístěny optimálně, ovšem primární bylo nenápadné umístění, aby nedocházelo k přílišné manipulaci s přístroji.

Meteostanice měřila tyto veličiny: teplota, vlhkost, koncentrace CO<sub>2</sub>, hluk, tlak

Přídatné moduly měřily tyto veličiny: teplota, vlhkost, koncentrace CO<sub>2</sub>

Exteriérový modul měřil tyto veličiny: teplota, vlhkost

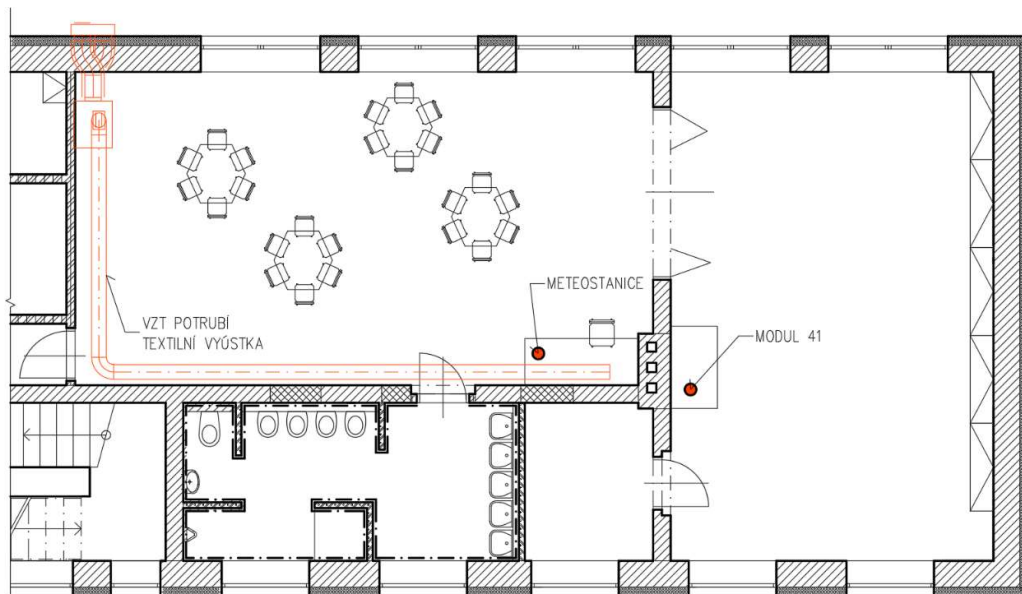
### 4.3. Měřené místnosti

#### 4.3.1. Učebna a ložnice v I.NP

Tabulka 15: Základní údaje třídy v I.NP

Základní údaje	Hodnoty
Plocha učebny	52,74 m <sup>2</sup>
Plocha ložnice	47,05 m <sup>2</sup>
Celková plocha	99,79 m <sup>2</sup>
Světlá výška	2,65 m
Počet dětí	24
Okna učebna	3x okno 2050x2300 (francouzské)
Okna ložnice	2x okno 2050x2300 (francouzské) 2x okno 1500x1750

Třída se nachází v I.NP mateřské školy. Výměry a světlá výška jsou zapsány v tabulce výše [Tab. 15]. V části učebna je nainstalováno vzduchotechnické potrubí zajišťující přívod vzduchu do místnosti pomocí textilní vyústky. Meteostanice a modul byly umístěny dle nákresu níže [Obr. 1]



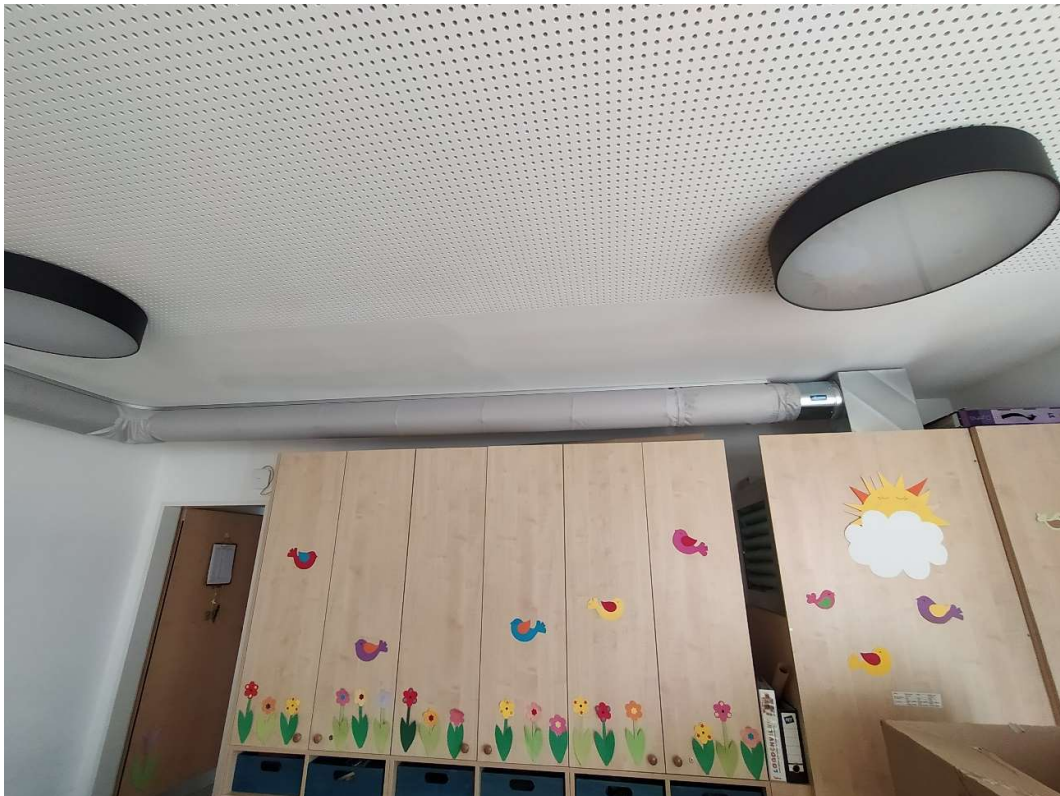
Obrázek 3: Půdorys třídy v I.NP



Obrázek 4: Umístění meteostanice



Obrázek 5: Umístění modulu 41



Obrázek 6: Vzduchotechnika v učebně



Obrázek 7: Distribuční prvek vzduchotechniky v učebně

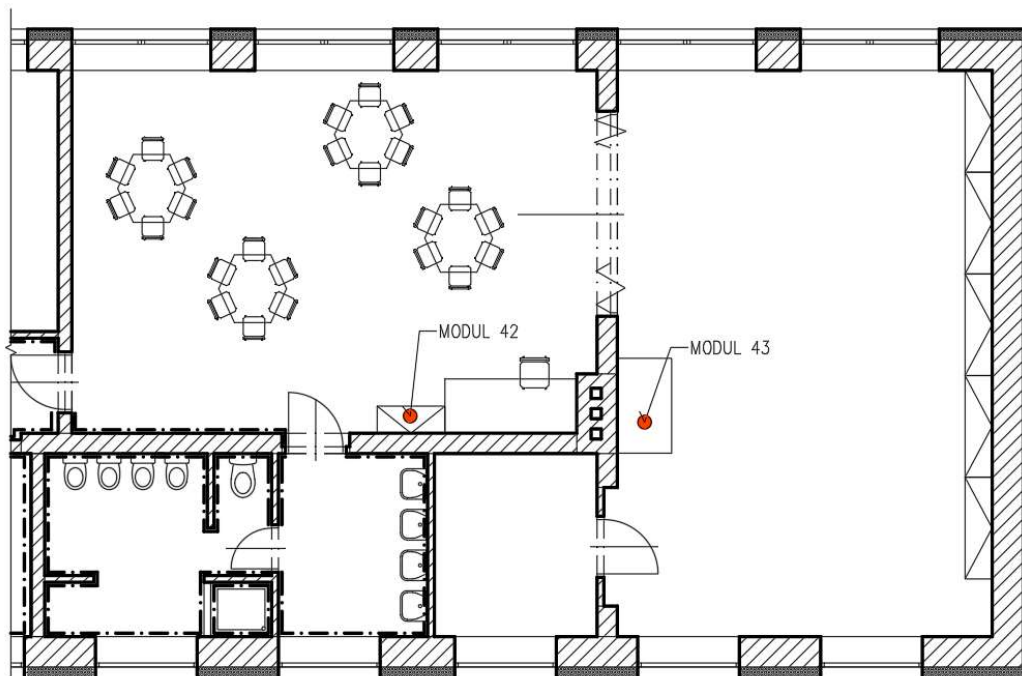
#### 4.3.2. Učebna a ložnice ve II.NP

Tabulka 16: Základní údaje třídy ve II.NP

Základní údaje	Hodnoty
Plocha učebny	43,34 m <sup>2</sup>
Plocha ložnice	47,05 m <sup>2</sup>
Celková plocha	90,39 m <sup>2</sup>
Světlá výška	3,25 m
Počet dětí	24
Okna učebna	3x okno 2050x2200
Okna ložnice	2x okno 2050x2200 2x okno 1500x1750

Třída se nachází ve II.NP mateřské školy. Výměry a světlá výška jsou zapsány v tabulce výše [Tab. 16]. Moduly byly umístěny dle nákresu níže [Obr. 6].





Obrázek 8: Půdorys třídy ve II.NP



Obrázek 9: Umístění modulu 42



Obrázek 10: Umístění modulu 43

### 4.3.3. Denní program

Tabulka 17: Denní program mateřské školy

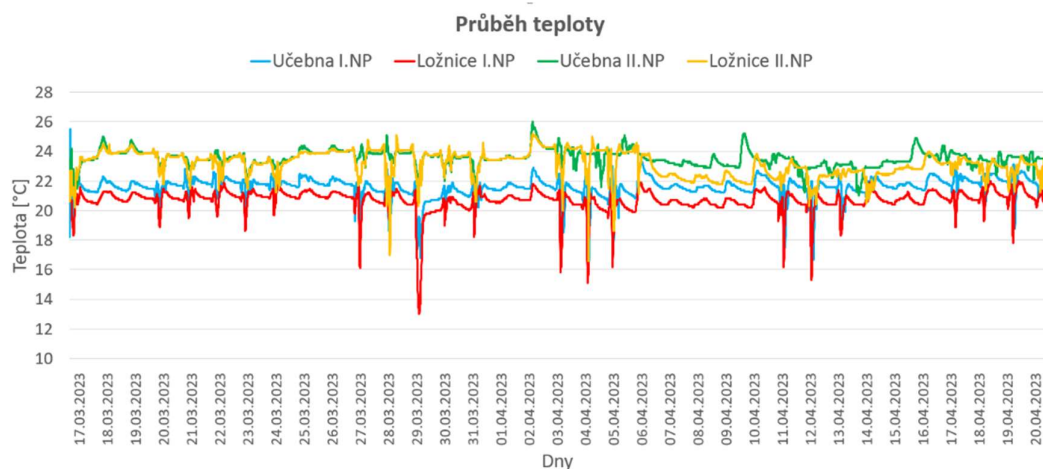
Čas	Aktivita
6:00	Příchod dětí do třídy
6:00–8:30	Ranní setkávání, volné i didakticky cílené hry
8:30–9:00	Komunitní kruh, cvičení a hra, hygiena a svačina
9:00–9:30	Spontánní i řízené činnosti
9:30–11:40	Pobyt venku (procházka)
11:40–12:15	Hygiena a oběd
12:15–13:50	Odpočinek, klidové aktivity
13:50–14:10	Hygiena a svačina
14:10–16:30	Volné a didakticky cílené hry
16:30	Odchod dětí ze třídy

## 4.4. Vyhodnocení naměřených dat

### 4.4.1. Měsíční hodnoty

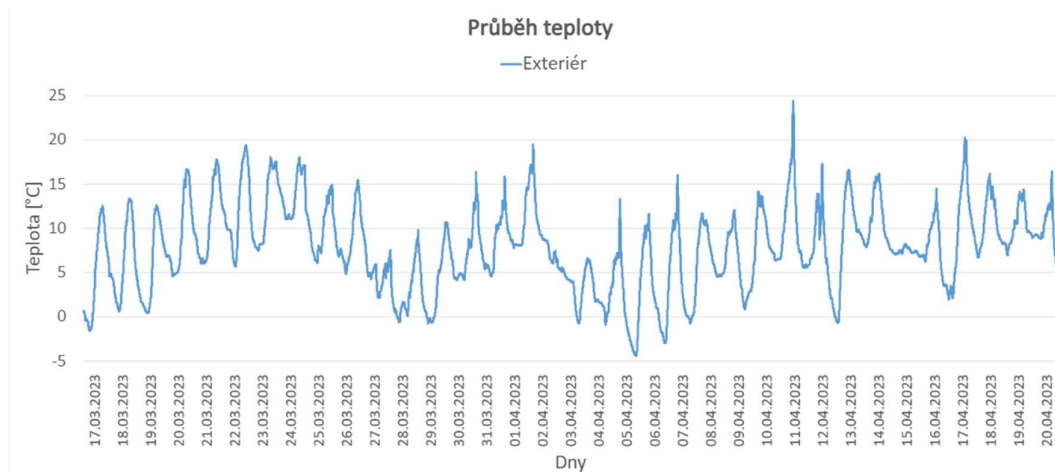
#### 4.4.1.1. Teplota

Teplota v I.NP je průměrně o 2 °C nižší, než teplota ve II.NP. Její průběh odpovídá týdenním cyklům chodu mateřské školy. Při příchodu dětí teplota stoupá, při vyvětrání okny a spuštění vzduchotechnické jednotky rapidně klesá. Během noci se ustálí na průměrné hodnotě 20 °C v nižším podlaží a 22 °C ve vyšším.



Obrázek 11: Měsíční graf průběhu teploty v interiéru

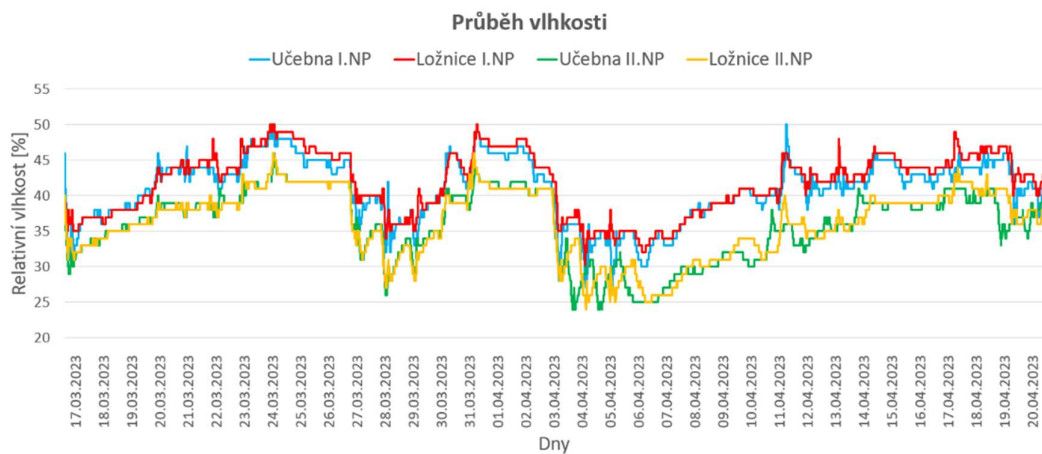
Teplota v exteriéru nabízí pohled na velké rozdíly mezi dnem a nocí. Zatímco denní teploty se v průměru pohybovaly okolo 10 °C, noční teploty zřídka překročily 5 °C, začátkem dubna dokonce nabývaly hodnot nižších než 0 °C.



Obrázek 12: Měsíční graf průběhu teploty v exteriéru

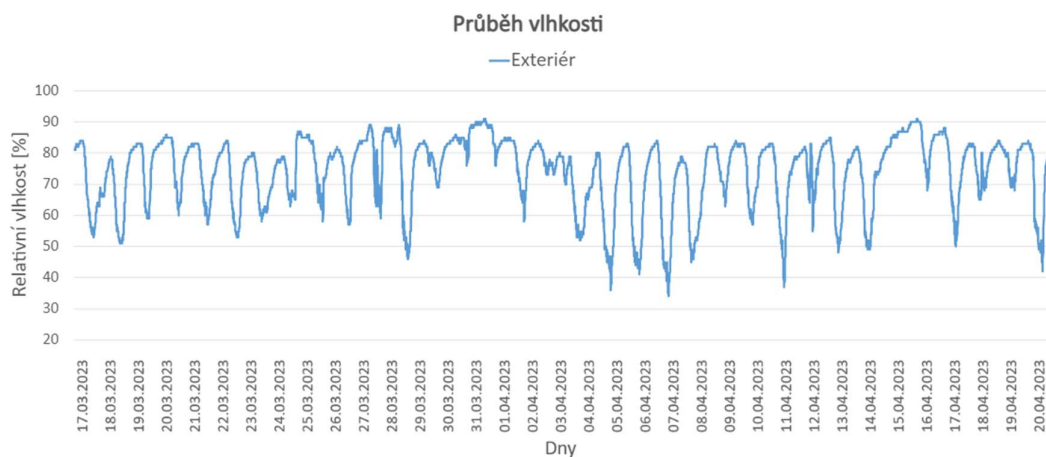
#### 4.4.1.2. Vlhkost

Relativní vlhkost v I.NP je průměrně o 5 % vyšší, než ve II.NP, což odpovídá rozdílům v teplotách. Relativní vlhkost se s rostoucí teplotou snižuje. Při vyvětrání okny tedy relativní vlhkost lehce stoupne. Maximální naměřená hodnota relativní vlhkosti činí 50 % a minimální 24 %.



Obrázek 13: Měsíční graf průběhu vlhkosti v interiéru

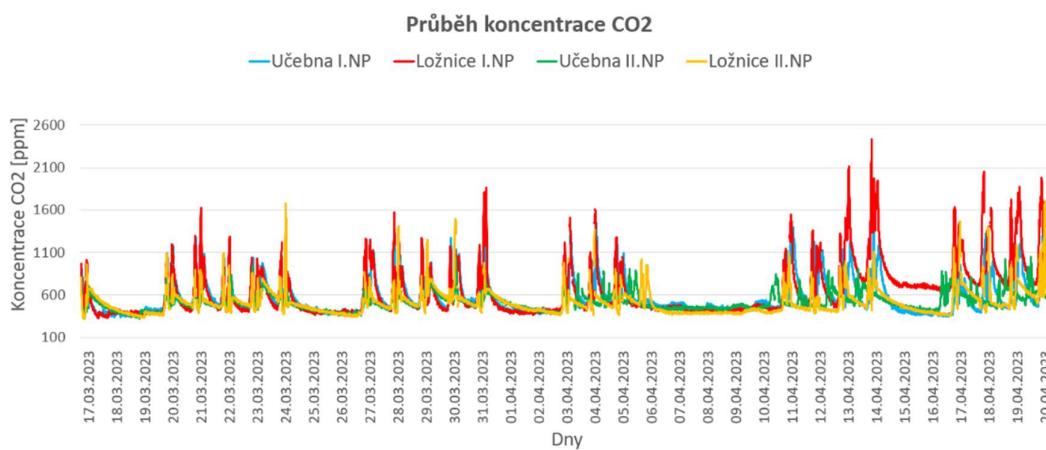
Relativní vlhkost v exteriéru kolísala mnohem dramatičtěji. Stejně jako u teploty v exteriéru je i zde jasně vidět rozdíl mezi dnem a nocí. Relativní vlhkost během dne dosahovala 50–60 %, během noci pak vystoupala nad 80 %. Nízké teploty na přelomu března a dubna způsobily vyšší hodnoty relativní vlhkosti, která během dne nespadla pod hodnotu 70 %.



Obrázek 14: Měsíční graf průběhu vlhkosti v exteriéru

#### 4.4.1.3. Koncentrace CO<sub>2</sub>

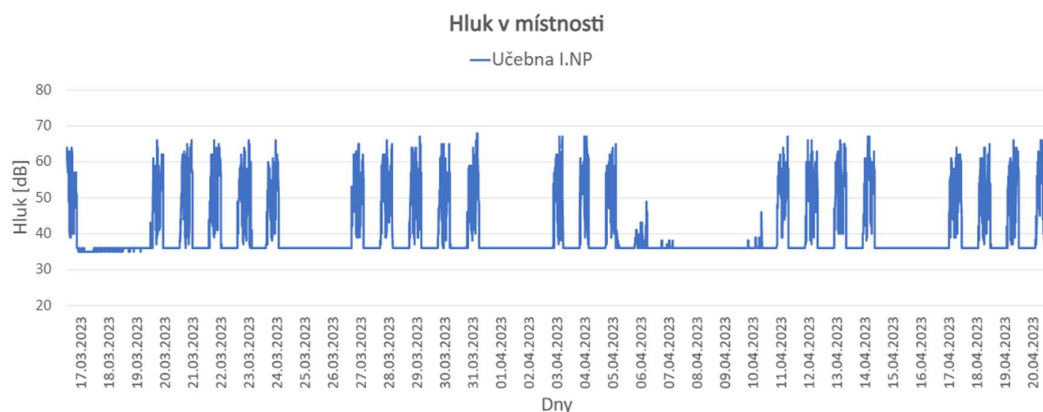
Graf koncentrace CO<sub>2</sub> nejlépe vystihuje pobyt osob v dané třídě. Při příchodu dětí hodnoty prudce narostou, vyvětráním naopak klesají. Během noci se koncentrace ustálí na hodnotě 450 ppm. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v ložnici v I.NP, maximum bylo 2438 ppm. Limitní hodnota 1500 ppm [18] byla překročena hned několik dní v měsíci.



Obrázek 15: Měsíční graf průběhu koncentrace CO<sub>2</sub>

#### 4.4.1.4. Hluk

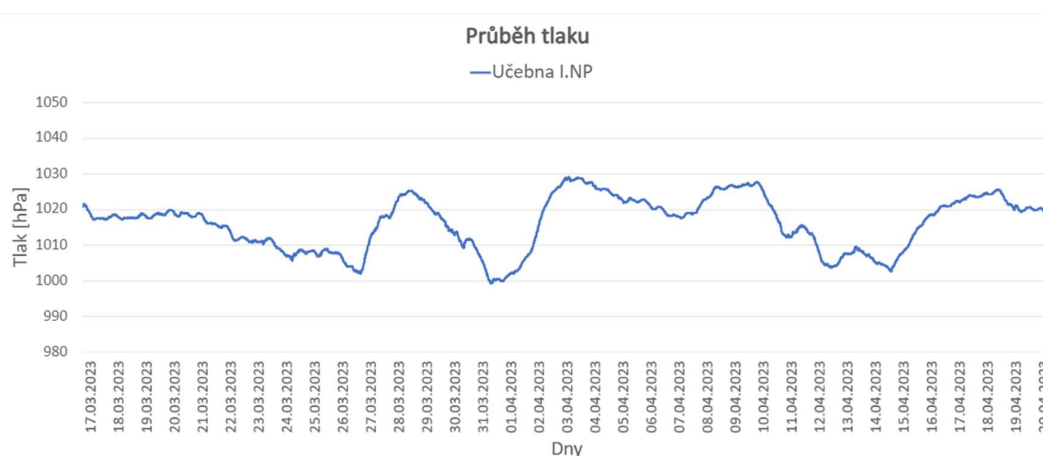
Hluk byl měřen pouze hlavní meteostanicí umístěné v učebně v I.NP. I v tomto grafu je jasně patrné, kdy byly děti přítomny. Hodnoty hluku dosahují maxima 66 dB, v noci se ustálily na 36 dB.



Obrázek 16: Měsíční graf průběhu hluku

#### 4.4.1.5. Tlak

Tlak byl měřen pouze hlavní meteorostanicí umístěné v učebně v I.NP. Průběh je stálý bez větších výkyvů, průměrná hodnota činí 1015 hPa.



Obrázek 17: Měsíční graf průběhu tlaku

#### 4.4.2. Týdenní hodnoty

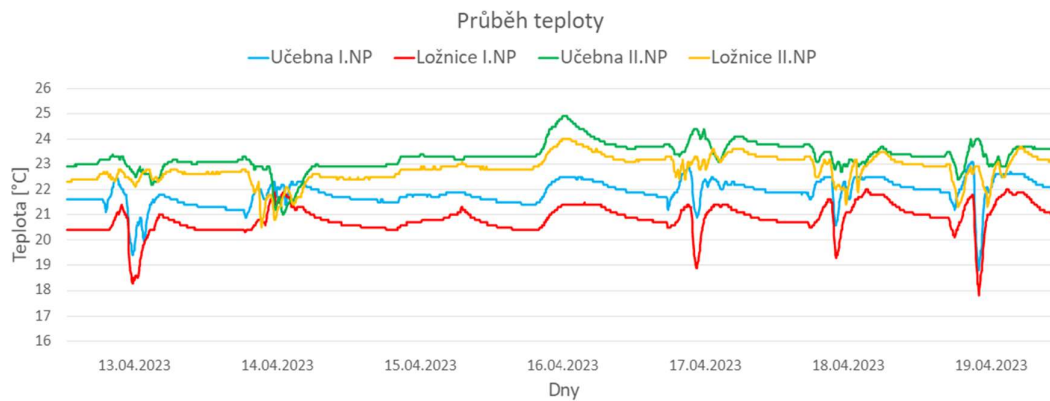
Jak je patrné z měsíčních grafů, průběhy hodnot jsou v rámci jednotlivých týdnů velmi obdobné. Proto byl vybrán jeden týden pro detailnější rozbor. Vybraný týden měření začíná ve čtvrtek 13. 4. 2023 a končí ve středu 19. 4. 2023. V grafech je dobře viditelný víkend, kdy jsou hodnoty po celý den téměř konstantní.

##### 4.4.2.1. Teplota

Z grafu pro hodnoty teplot lze vyčíst rozdíly v jednotlivých místnostech. V učebnách byly naměřeny vyšší teploty než v ložnicích. To může být způsobeno vyšší koncentrací dětí v učebně, velkými okny směřovanými na jihovýchod, kterými proudí do místností sluneční záření, a také těsná blízkost k hygienickému zázemí, které je zpravidla vytápěno

na vyšší teploty než místnost. Zároveň ve II.NP jsou teploty vyšší, než v I.NP. Důvodem těchto rozdílů jsou místnosti v patrech pod nimi. V I.NP jsou místnosti vytápěny na teploty okolo 18 °C, tudíž nepředávají stropem tolik tepla jako místnosti v I.NP, ve kterých jsou teploty okolo 22 °C. Dalším faktorem je vzduchotechnické potrubí v I.NP, které přívodem čerstvého vzduchu místnost také lehce ochlazuje.

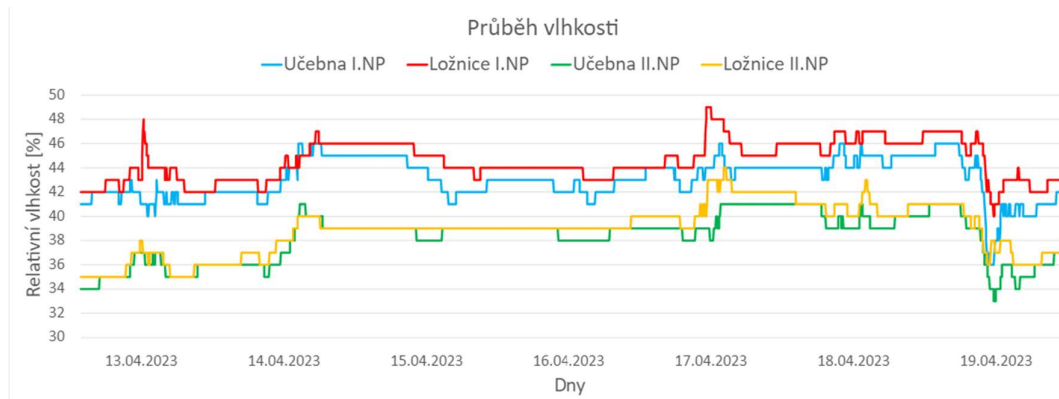
Dále je zřejmé, že pravidelně dochází k prudkým poklesům teplot. Ty jsou způsobené větráním pomocí oken a spuštěním vzduchotechniky vždy v podobných časech – krátce před polednem. Větrá se především z důvodu vysoké koncentrace CO<sub>2</sub>, která bude zobrazena na grafu v kapitole 5.5.3. Koncentrace CO<sub>2</sub>. Po vyvětrání se teploty opět vrátí k původním hodnotám. Dne 14. 4. 2023 došlo k vyvětrání okny pouze ve II.NP, v I.NP větrání proběhlo pomocí vzduchotechnicky, je tak vidět mnohem menší pokles teploty a rychlejší opětovný nárůst.



Obrázek 18: Týdenní graf průběhu teploty

#### 4.4.2.2. Vlhkost

Hodnoty relativní vlhkosti korespondují s hodnotami teplot. Ve II.NP je relativní vlhkost nižší, než v I.NP. Zřetelně jsou vidět skokové nárůsty hodnot relativních vlhkostí, které odpovídají časům vyvětrání. V I.NP jsou hodnoty pro vnitřní prostředí zcela optimální, ve II.NP se často nacházejí na hranici doporučených hodnot (30–70 %) [1].

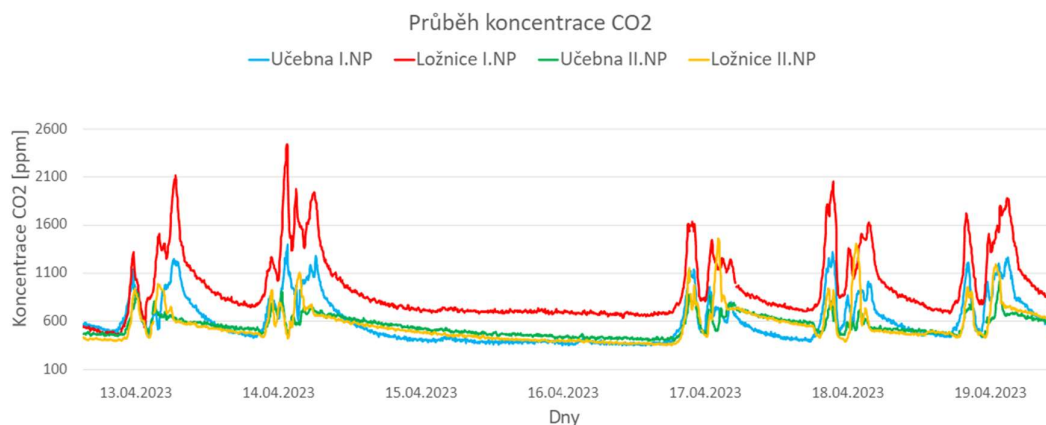


Obrázek 19: Týdenní graf průběhu vlhkosti

#### 4.4.2.3. Koncentrace CO<sub>2</sub>

Tento týden byl vybrán právě kvůli hodnotám koncentrace CO<sub>2</sub>. V tomto týdnu bylo dosaženo maxima – 2438 ppm. Stejně jako v předchozích grafech lze rozeznat jednotlivé dny. Koncentrace stoupá po příchodu dětí do učeben a ložnic a maximálních hodnot dosahuje během dopoledne. Po krátkém vyvětrání hodnoty klesají. Další vrchol se objeví po 12. hodině, kdy děti odpočívají v ložnicích. V tuto dobu už se nevětrá a dochází k velké produkci CO<sub>2</sub>. Při odchodu na odpolední procházku se nechají otevřená okna a místnosti větrají, hodnoty opět klesají až do návratu dětí. Vyšší hodnoty v I.NP lze vysvětlit menší mírou větrání okny (využití vzduchotechniky) a menší světlou výškou místností (2,65 m), celkové množství vzduchu v místnosti je menší a koncentrace CO<sub>2</sub> při srovnatelné produkci dětmi v I.NP bude oproti II.NP vyšší.

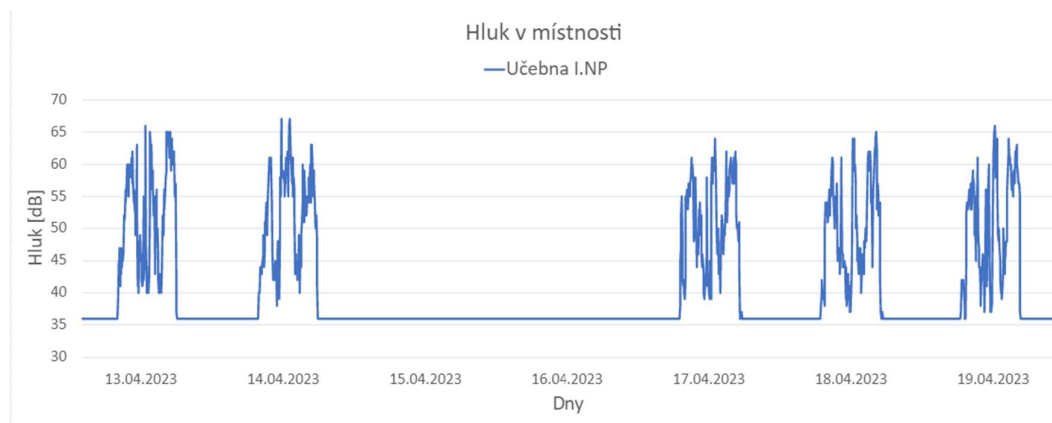
Učebna v I.NP je vybavena vzduchotechnickým zařízením, z grafu je patrná jeho funkčnost. Hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub> jsou podstatně nižší než ve vedlejší ložnici, kam vzduchotechnické potrubí nezasahuje. Limitní hodnota 1500 ppm je překročena každý den v týdnu kromě víkendu. Je tedy zřejmé, že přirozené větrání okny je nedostačující způsob větrání. Pro tuto část místnosti by byl jistě vhodný návrh vzduchotechnického zařízení jako je ve vedlejší učebně.



Obrázek 20: Týdenní graf průběhu koncentrace CO<sub>2</sub>

#### 4.4.2.4. Hluk

Na grafu popisujícím hluk v místnosti je opět vidět rozdíly mezi dnem a nocí, všedními dny a víkendem. Hluk narůstá s příchodem dětí do učebny, po obědě hodnoty klesají – děti jdou odpočívat do ložnice. Po odpočinku hodnoty znovu vzrostou. Odpolední procházka značí další pokles na hodnotu 40 dB. Po návratu až do odchodu dětí z MŠ se hlučnost navýší. Hodnoty byly měřeny pouze v učebně v I.NP, proto je nelze porovnávat s dalšími místnostmi. Předpokládá se ale velmi podobný průběh.

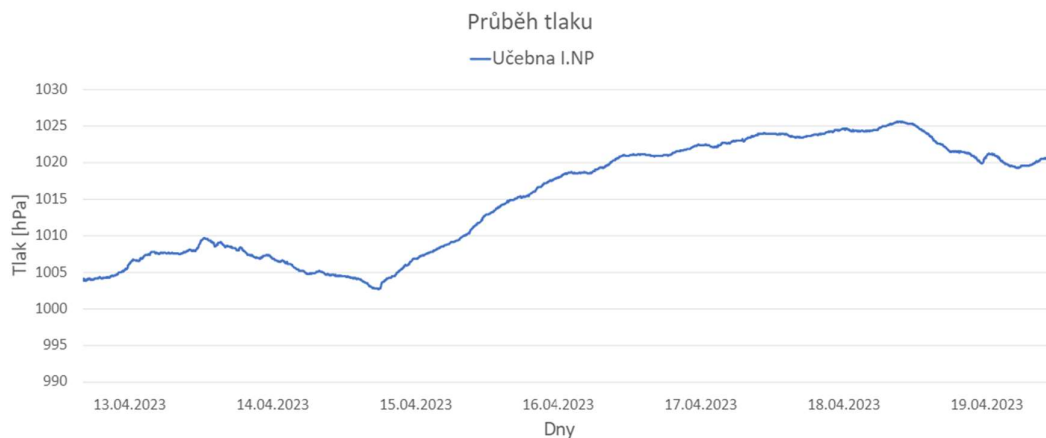


Obrázek 21: Týdenní graf průběhu hluku

#### 4.4.2.5. Tlak

Z grafu průběhu tlaku na rozdíl od ostatních grafů nelze vyčíst rozdíl mezi dnem a nocí ani mezi všedními dny a víkendem. Maximální hodnoty 1025 hPa bylo dosaženo v pondělí večer, minima 1003 hPa v pátek ráno.





Obrázek 22: Týdenní graf průběhu tlaku

#### 4.4.3. Denní hodnoty

Pro podrobný rozbor průběhů měřených hodnot byly vybrány 3 dny, ve kterých byly zachyceny extrémní hodnoty pozorovaných veličin.

Dne **14. 4. 2023** (pátek) byla naměřena nejvyšší koncentrace CO<sub>2</sub>.

Dne **29. 3. 2023** (středa) byla naměřena nejnižší teplota.

Nejnižší hodnoty relativní vlhkosti byly naměřeny dne 4. 4. 2023, ovšem při podrobnějším prozkoumání hodnot měření bylo zjištěno, že moduly i meteostanice měly během dne výpadky měření. Grafy vytvořené z těchto hodnot by tedy byly zkreslené a nepoužitelné. K výpadkům došlo pravděpodobně kvůli manipulaci se zařízením, případně krátkodobým vypojením přístroje ze zásuvky. Z těchto důvodů byl jako reprezentativní soubor hodnot den **28. 3. 2023** (úterý).

##### 4.4.3.1. Maximální hodnota koncentrace CO<sub>2</sub>

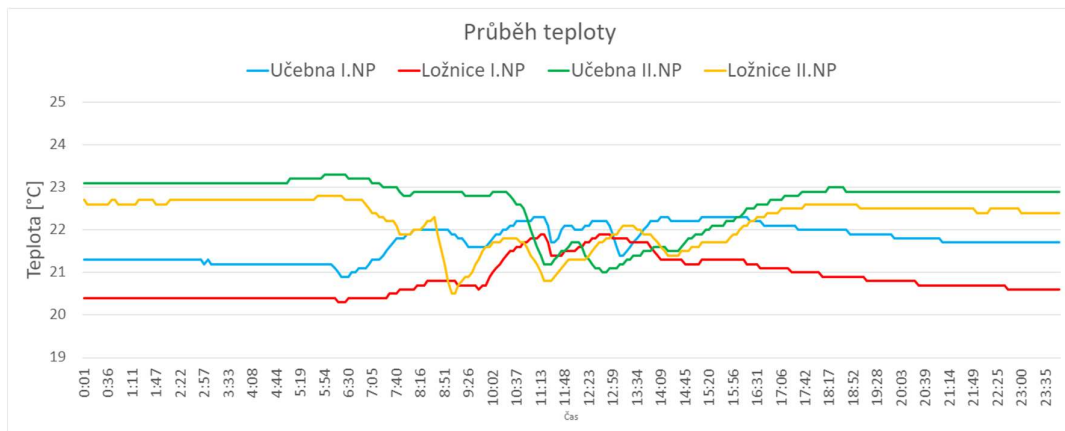
Maximální koncentrace oxidu uhličitého byla naměřena dne 14. 4. 2023.

Průběh teploty během dne se liší pro jednotlivá patra a místnosti.

V I.NP dochází po 6. hodině ranní ke zvýšení teploty vlivem příchodu dětí do učebny a ložnice. Dále je patrné první vyvětrání kolem 10. hodiny, poté teplota opět stoupá. Před polednem se teplota sníží kvůli dalšímu otevření oken. Po 12. hodině se průběhy lehce odlišují, v ložnici už nedochází k dalšímu větrání a teplota zůstává konstantní, od 14. hodiny klesá na hodnotu 20,5 °C naměřenou v pozdních večerních hodinách. Učebna se naopak ještě jednou vyvětrá, od 14. hodiny jsou děti shromážděny právě v této

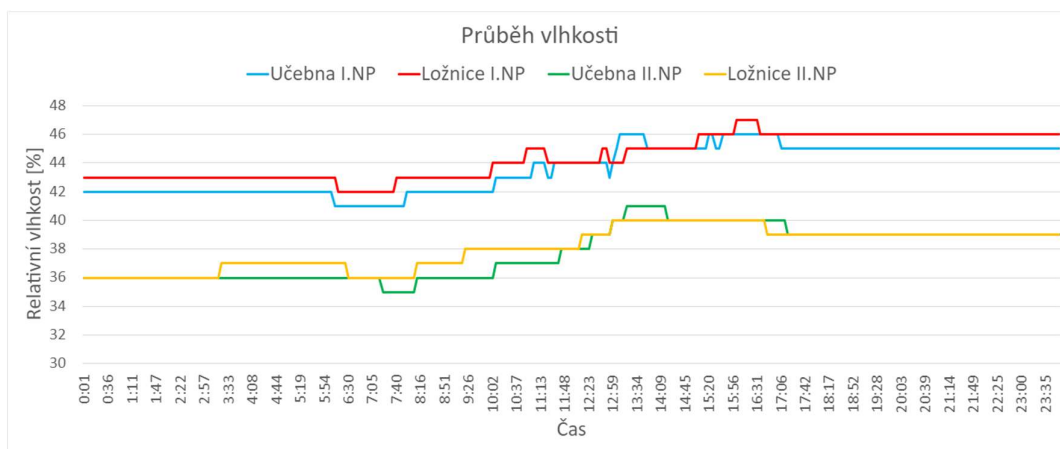
části třídy, teplota se drží na hodnotě přes 22 °C. Po odchodu dětí se teplota snižuje na konstantní hodnotu 21,5 °C během večera a noci.

Ve II.NP je také patrný příchod dětí po 6. hodině ranní, ovšem vyšší teploty z noci jsou sníženy vyvětráním během celého dopoledne. Ložnice je větrána s větší intenzitou, kolem 9. hodiny se teplota snížila až o 2 °C. Učebna se vyvětrala před obědem a během poledního klidu, kdy děti odpočívají v ložnici. Tam během poledního klidu teplota naopak stoupá. Okolo 15. hodiny děti třídu opouštějí a stěhují se do nižšího patra. Teploty v obou místnostech kvůli absenci větrání opět stoupnou na hodnoty těsně pod 23 °C.



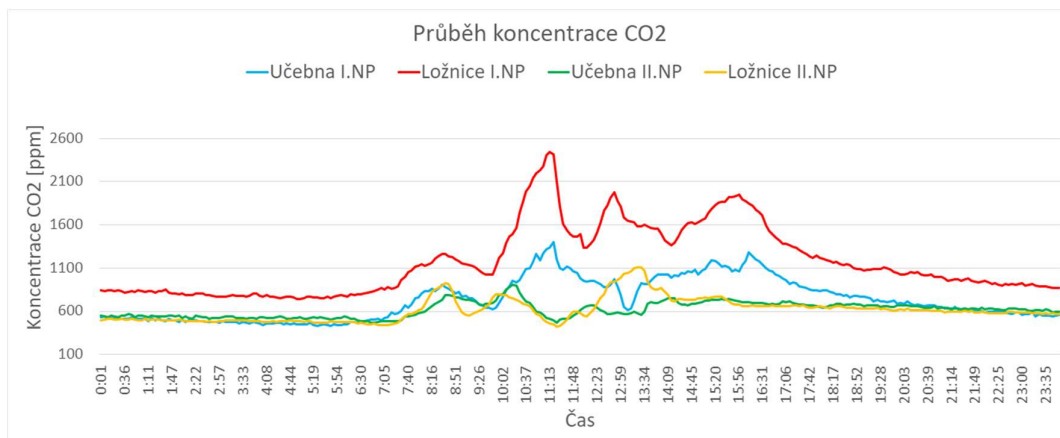
Obrázek 23: Denní graf průběhu teploty pro maximální koncentraci CO<sub>2</sub>

Průběhy vlhkosti jsou na rozdíl od teplot poměrně ustálené. Pokud dojde ke zvýšení teploty, hodnoty relativní vlhkosti klesají a naopak. Jasným potvrzením tohoto zákona jsou vyšší hodnoty pro I.NP, kde byly teploty nižší (21 °C), a nižší hodnoty vlhkosti pro II.NP, kde byly teploty vyšší (přes 22 °C). Při vyvětrání místnosti teplota klesne a dojde ke zvýšení relativní vlhkosti. Během dopoledne, kdy se místnosti větraly, je zřejmý vzrůst hodnot v grafu. Průměrné hodnoty relativní vlhkosti pro I.NP jsou 44 % a pro II.NP 38 %.



Obrázek 24: Denní graf průběhu vlhkosti pro maximální koncentraci CO<sub>2</sub>

Graf koncentrace CO<sub>2</sub> je v tento den ten nejpodstatnější. Kolem 7. hodiny začnou koncentrace stoupat ve všech místnostech. Samotný začátek grafu ukazuje, že koncentrace v ložnici I.NP jsou výrazně vyšší oproti ostatním měřeným místnostem. Příčinou může být nedostatečné vyvětrání na konci dne. Vyšší frekvence větrání ve II.NP má za následek nízké koncentrace CO<sub>2</sub> během dne, hodnoty nepřekročily 1100 ppm, které je dosaženo během polední pauzy v ložnici. Koncentrace v učebně v I.NP se před obědem nebezpečně přiblíží doporučené limitní hodnotě 1500 ppm [18]. vyvětráním a činností vzduchotechnické jednotky je snížena, po 13. hodině opět vzroste vlivem příchodu dětí z vyššího podlaží. Po 16. hodině koncentrace rychle klesá na hodnotu 500 ppm, která zůstává konstantní po celý večer a noc. Koncentrace v ložnici I.NP se dostane na maximum v 10:30 hod., kdy by podle denního programu měly děti být na procházce, ovšem kvůli deštivému počasí zůstaly v prostorách MŠ. Zatímco v učebně zafungovala vzduchotechnika, v ložnici došlo k extrémním hodnotám a překročení doporučené limitní koncentrace. Před obědem byla místnost vyvětrána, koncentrace se skokově snížila. Během poledního klidu opět stoupla a přesáhla limit. Kolem 14. hodiny koncentrace klesla. Po příchodu dětí z vyšších podlaží ale znovu stoupla a opět se dostala nad limit. Odchodem dětí koncentrace drasticky klesá na hodnotu 850 ppm, která zůstane konstantní celý večer a noc.

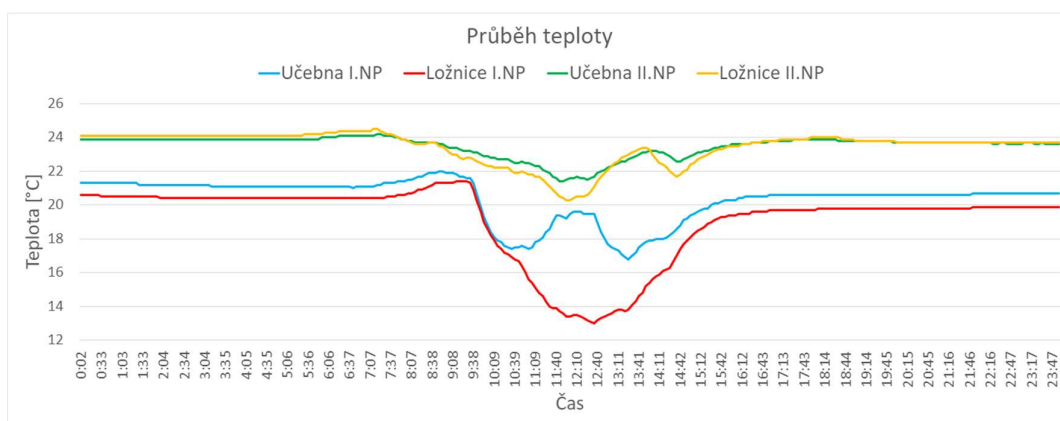


Obrázek 25: Denní graf průběhu koncentrace CO<sub>2</sub> pro maximální koncentraci CO<sub>2</sub>

#### 4.4.3.2. Minimální hodnota teploty

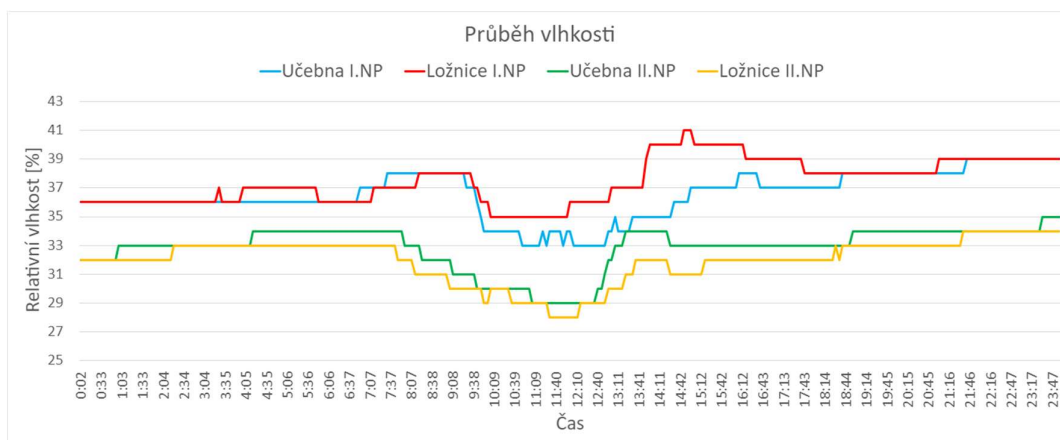
Minimální hodnota teploty byla naměřena dne 29. 3. 2023.

V grafu průběhu teploty v tento den není úplně zřejmý příchod dětí do tříd. Je to způsobeno faktem, že byl jiný program mateřské školy. Děti se v místnostech nacházely pouze ráno do 9. hodiny, a poté vyrážely mimo MŠ. Třída ve II.NP se z výletu vrátila kolem 13. hodiny, třída v I.NP byla pryč celé dopoledne i odpoledne. Ve všech místnostech se po odchodu dětí nechala otevřená okna, teploty pozvolna klesají. K extrému dojde v ložnici v I.NP, která byla větrána s největší intenzitou a po nejdelší čas. Teplota se přiblíží hodnotě teploty exteriéru, klesne až na 13 °C. Nárůst teploty v učebně v I.NP je způsobený zavřením oken. Po příchodu dětí se teploty dostanou na obvyklé průměrné hodnoty.



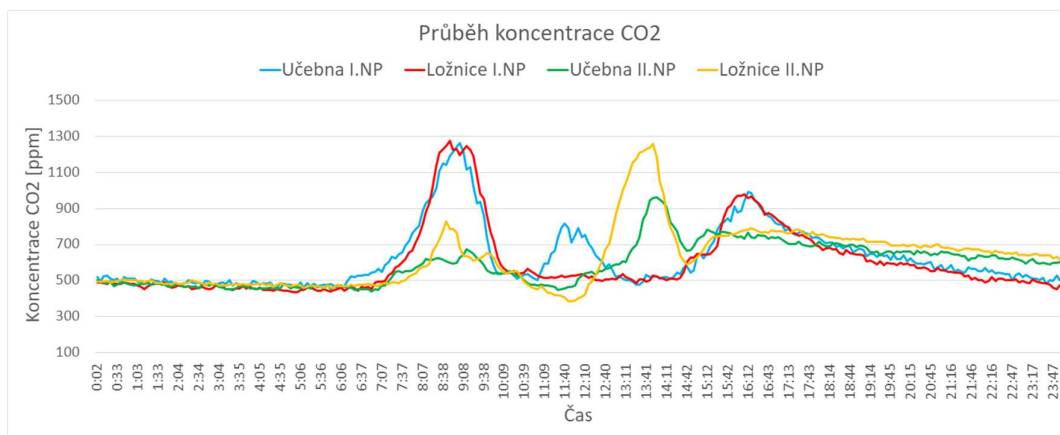
Obrázek 26: Denní graf průběhu teploty pro minimální hodnotu teploty

Vlhkost velice kolísá v závislosti na větrání místností. Hodnoty ve II.NP se i tak dostanou za hranici doporučených mezí pro relativní vlhkosti v interiéru (30–70 %) [1].



Obrázek 27: Denní graf průběhu vlhkosti pro minimální hodnotu teploty

Graf koncentrace CO<sub>2</sub> zobrazuje skokový nárůst hodnot pro I.NP od 6:30 hod., tedy od příchodu dětí. Po odchodu dětí mimo MŠ koncentrace stejně tak náhle klesne vlivem nepřítomnosti dětí a větrání. Po zavření oken v učebně I.NP dojde opět k lehkému zvýšení hodnot, pravděpodobně se místnost uklízela a byly přítomny dospělé osoby. Od 13. hodiny hodnoty koncentrace stoupají ve II.NP, kam se vrátily děti. Graf také krásně zobrazuje odpolední přesuny dětí v rámci školy. Ze II.NP děti vždy kolem 15. hodiny zamíří do třídy v I.NP. Zatímco hodnoty pro II.NP začínají klesat, hodnoty v I.NP naopak znovu stoupají. Po 16:30 hod. všechny hodnoty klesnou na úroveň 500 ppm.



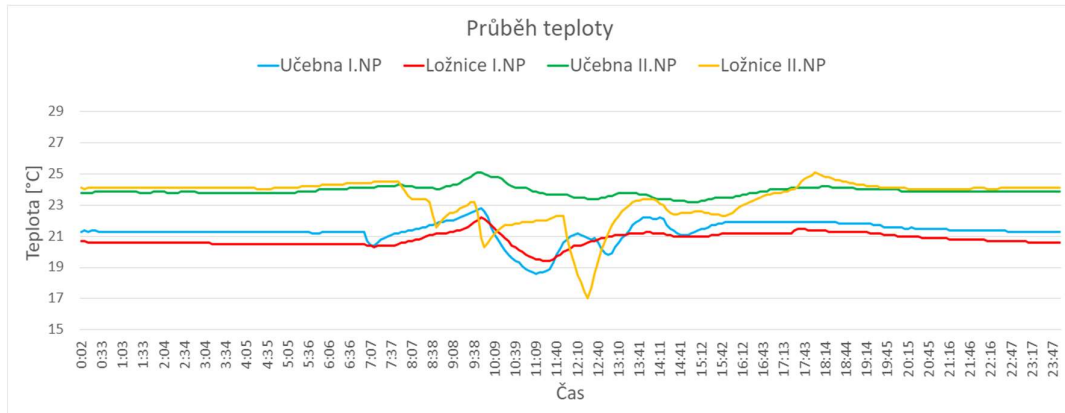
Obrázek 28: Denní graf průběhu koncentrace CO<sub>2</sub> pro minimální hodnotu teploty

#### 4.4.3.3. Minimální hodnota vlhkosti

Minimální hodnota vlhkosti byla naměřena dne 28. 3. 2023.

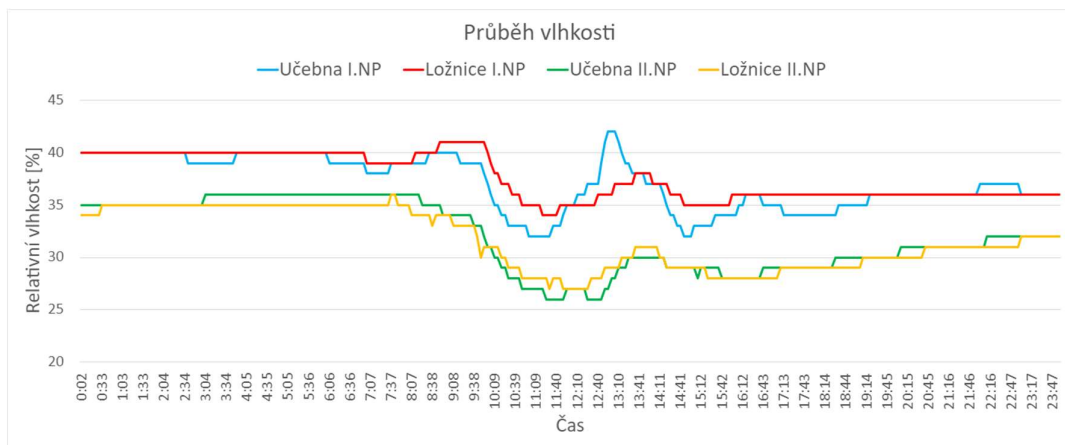
Graf teploty znovu ukazuje, že ve vyšším patře jsou teploty v průměru o 2 °C vyšší než v nižším podlaží. Po příchodu dětí teplota stoupne, během dopoledne jsou učebny i ložnice vyvětrány. Ložnice ve II.NP je větrána intenzivněji než ostatní místnosti,

do 12. hodiny lze rozeznat dvě velká větrání a následné zvýšení teploty po zavření oken. Před obědem se větrá nejvíce a ve všech místnostech, v ložnici ve II.NP okna zůstanou otevřená i přes obědovou pauzu a dojde k poklesu teploty až na 17 °C. Během poledního klidu teplota vzroste, kolem 14:30 hod. proběhne poslední větší vyvětrání místností. Poté se teploty ustálí a výrazně nekolísají.



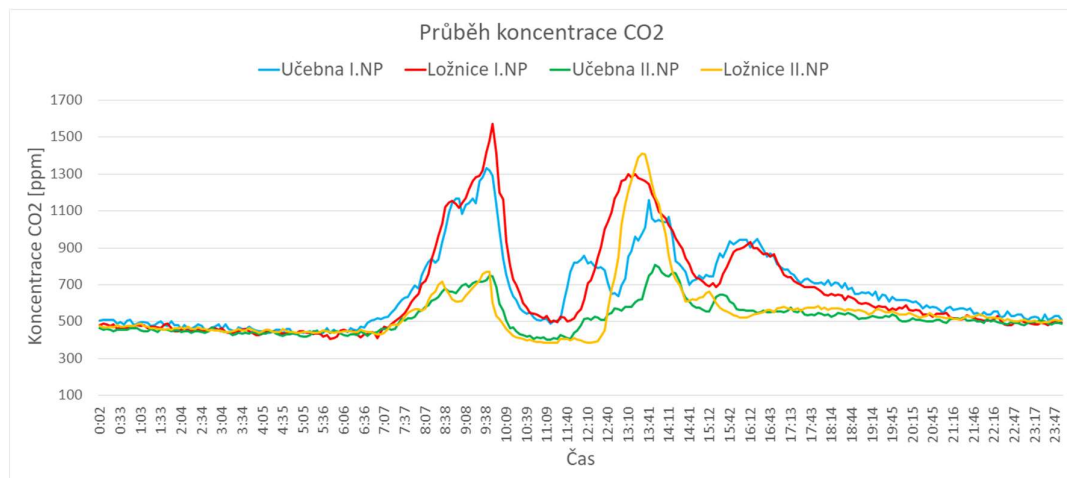
Obrázek 29: Denní graf průběhu teploty pro minimální hodnotu vlhkosti

Průběh vlhkosti odpovídá průběhům teploty. Dopolední vyvětrání způsobí lehký vzrůst relativní vlhkosti, zvýšení teploty v době oběda vyvolá v obou podlažích výrazný pokles hodnot. Nejnižší hodnoty jsou naměřeny v čase 11:50 hod. v učebně ve II.NP, kde byla po celý den téměř konstantní teplota, ovšem vlivem kolísání teploty ve vedlejší místnosti došlo i ke kolísání vlhkosti v celé třídě. Nejnižší hodnota vlhkosti je 26 %, což značí velmi suchý vzduch v místnosti. Větrání během poledního klidu se projeví nárůstem vlhkosti. Poté relativní vlhkost kolísá v učebně I.NP, opět tedy koresponduje s průběhem teploty. Po odchodu dětí se v I.NP vlhkost ustálí a ve II.NP má rostoucí tendenci.



Obrázek 30: Denní graf průběhu vlhkosti pro minimální hodnotu vlhkosti

Průběh koncentrace CO<sub>2</sub> znovu poukazuje na dvě krizová místa během dne – dopolední aktivity a poobědovou pauzu. Hodnoty rostou od 6:30 hod. po příchodu dětí, maxima je dosaženo kolem 10. hodiny, v I.NP jsou koncentrace výrazně vyšší než ve II.NP, tento rozdíl je způsoben pravidelností větrání a světlou výškou místnosti. Koncentrace CO<sub>2</sub> překročila doporučený limit 1500 ppm [18]. Poté dojde k prudkému poklesu způsobenému vyvětráním a nepřítomností dětí, které mají v harmonogramu naplánovanou procházku a venkovní aktivity. Od 12. hodiny koncentrace znovu vystoupá a nebezpečně se přiblíží limitu, především v obou ložnicích. Poslední nárůst hodnot je zaznamenán v I.NP kolem 15:30 hod., když se děti shromáždí právě v této třídě. Po odchodu dětí hodnoty klesají až na koncentraci 500 ppm.



Obrázek 31: Denní graf průběhu koncentrace CO<sub>2</sub> pro minimální hodnotu vlhkosti

#### 4.4.4. Celkové vyhodnocení

Měření v mateřské škole krásně vykreslilo její denní režim, kritické časy měření i nedostatky přirozeného větrání okny. K překročení doporučené limitní koncentrace CO<sub>2</sub> o hodnotě 1500 ppm [18] došlo téměř každý den měření, nikdy ale ne na dobu delší než 1 hodinu. Díky harmonogramu mateřské školy byla koncentrace brzy snížena na přijatelné hodnoty. Grafy koncentrace CO<sub>2</sub> poukazují i na funkčnost větrací jednotky, která koncentraci reguluje v učebně v I.NP a zabraňuje překročení doporučeného limitu.

Pro zajištění kvalitního vnitřního prostředí by bylo ideální realizovat vzduchotechniku i ve všech zbývajících učebnách a ložnicích. Tímto krokem by se eliminovalo nebezpečí vysokých koncentrací CO<sub>2</sub> v místnostech a také lidský faktor při využití přirozeného větrání okny. Měřením se ukázalo, že stávající VZT v učebně funguje a je účinné, ostatní místnosti tedy mohou být řešeny stejným způsobem a kvalita vnitřního prostředí se znatelnělepší.



## **5. Projektová část**

Projektová část řeší návrh větrání mateřské školy. Navržený objekt vychází z dispozičního řešení mateřské školy, kde bylo uskutečněno měření. Budova je navržena jako dvoupodlažní s plochou střechou. Větrání je řešeno jako nucené rovnotlaké s jednou vzduchotechnickou jednotkou. Cílem této části je zajistit požadovanou kvalitu vnitřního prostředí z hlediska teploty, vlhkosti a koncentrace CO<sub>2</sub>.

## 6. Zdroje

### 6.1. Literatura

1. ZMRHAL, Vladimír. *Větrání škol v souvislostech*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2017. ISBN: 978-80-02-02718-8.
2. PAPEŽ, Karel. *Energetické a ekologické systémy budov 2: vzduchotechnika, chlazení, elektroinstalace a osvětlení*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN: 978-80-01-03622-8.
3. BYSTRICKÝ, Václav a Antonín POKORNÝ. *Technická zařízení budov – B. Vyd. 2*. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN: 80-01-03450-x.
4. DRAKAL, František a Vladimír ZMRHAL. *Větrání*. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2018. ISBN: 978-80-01-06378-1.
5. DRKAL, František a Vladimír ZMRHAL. *Vybrané statě z větrání a klimatizace*. V Praze: České vysoké učení technické, 2018. ISBN: 978-80-01-06458-0.
6. JOKL, Miloslav. *Zdravé obytné a pracovní prostředí*. Praha: Academia, 2002. ISBN: 80-200-0928-0.
7. JOKL, Miloslav. *Teorie vnitřního prostředí budov*. 2. přeprac. vyd. Praha: ČVUT, 1991. ISBN: 80-01-00481-3.
8. GEBAUER, Günter, Olga RUBINOVÁ a Helena HORKÁ. *Vzduchotechnika*. Brno: ERA, 2005. Technická knihovna (ERA). ISBN 807366027x.
9. Rehva guidebook 14: *Indoor climate Quality Assessment*, 2011. ISBN: 978-2-93521-05-3.
10. Rehva guidebook 1: *Displacement ventilation in non-industrial premises*, 2002. ISBN: 82-594-2369-3.

### 6.2. Technické normy

11. ČSN EN ISO 7730 – *Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtů ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.
12. ČSN EN 16798-3 – *Energetická náročnost budov – Větrání budov – Část 3: Pro nebytové budovy – Výkonové požadavky na větrací a klimatizační systémy místností (Moduly M5-1, M5-4)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.

13. ČSN EN 12464-1 – *Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovišť – Část 1: Vnitřní pracoviště*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2022.
14. ČSN 12 7010 – *Vzduchotechnická zařízení – Navrhování větracích a klimatizačních zařízení – Obecná ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.

### **6.3. Právní předpisy a legislativa**

15. Zákon č. 201/2012 Sb., zákon o ochraně ovzduší.
16. Vyhláška č. 6/2003 Sb., vyhláška, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb.
17. Vyhláška č. 410/2005 Sb., vyhláška o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání mladistvých.
18. Vyhláška č. 268/2009 Sb., vyhláška o technických požadavcích na stavby.
19. Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci.
20. Zákon č. 263/2016 Sb., zákon atomový zákon.
21. Vyhláška č. 422/2016 Sb., vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.
22. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

### **6.4. Přednášky**

23. ADAMOVSKEJ, Daniel. *Přirozené a hybridní větrání, principy návrhu* [přednáška]. Praha: ČVUT v Praze, 27. září 2022.
24. ADAMOVSKEJ, Daniel. *Nucené větrání, teplovzdušné vytápění. Větrání obytných budov* [přednáška]. Praha: ČVUT v Praze, 4. října 2022.

### **6.5. Internetové zdroje**

25. Metodický pokyn pro návrh větrání škol [online]. SFŽP, 2015. Dostupné z: <http://www.opzp.cz/dokumenty>
26. VAICEKONYTE, Regina. *5 Key Indoor Air Quality Issues in Schools and Ways to Address Them* [online]. 3.7.2021 [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://delos.com/resources/blog/how-to-improve-indoor-air-quality-in-schools/>

27. U.S. Environmental Protection Agency. 1989. Report to Congress on indoor air quality: Volume 2. EPA/400/1-89/001C. Washington, DC. [cit. 2023-05-13].  
Dostupné z:  
[https://irpcdn.multiscreensite.com/c4e267ab/files/uploaded/kt34RqduTIGjxf3s0eQ\\_EPA\\_Report%20to%20Congress%20on%20Indoor%20Air%20Quality\\_Volume%20II\\_Assessment%20and%20Control%20of%20Indoor%20Air%20Pollution\\_1989.pdf](https://irpcdn.multiscreensite.com/c4e267ab/files/uploaded/kt34RqduTIGjxf3s0eQ_EPA_Report%20to%20Congress%20on%20Indoor%20Air%20Quality_Volume%20II_Assessment%20and%20Control%20of%20Indoor%20Air%20Pollution_1989.pdf)
28. *Reference Guide for Indoor Air Quality in Schools* [online]. [cit. 2023-05-13].  
Dostupné z: <https://www.epa.gov/iaq-schools/reference-guide-indoor-air-quality-schools>
29. Měření stupně turbulence a průvanu. In: *TZB-info* [online]. 8.7.2019 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/merici-a-regulacni-technika/19291-mereni-stupne-turbulence-a-pruvanu/>
30. CENTNEROVÁ, Lada. Tepelná pohoda a nepohoda. In: *TZB-info* [online]. 13.12.2000 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>
31. Co je ppm?. In: *Lakshmi Naryan* [online]. 13.7.2019 [cit. 2023-05-19].  
Dostupné z: <https://www.koloidy.cz/blog/co-je-ppm/>
32. KRÁLOVÁ, Magda. Vlhkost vzduchu. In: *Techmania Science Center* [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z:  
<http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/meteorologie/vlhkost-vzduchu>
33. WYON, David P. a Pawel WARGOCKI. *Indoor Air Quality Effects On Office Work* [online]. London, 2005 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z:  
[https://www.researchgate.net/publication/288154576\\_Indoor\\_air\\_quality\\_effects\\_on\\_office\\_work](https://www.researchgate.net/publication/288154576_Indoor_air_quality_effects_on_office_work). Technical University of Denmark.
34. HAVEL, Milan a Petr VÁLEK. Naftalen. In: *Arnika* [online]. 14.12.2010 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/naftalen>
35. Azbest: Bezpečnost a ochrana zdraví. In: *SAMANCTA* [online]. 15.7.2021 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z:  
[https://ec.europa.eu/taxation\\_customs/dds2/SAMANCTA/CS/Safety/Asbestos\\_CS.htm](https://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/SAMANCTA/CS/Safety/Asbestos_CS.htm)
36. Oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>). In: *Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě* [online]. 2.6.2020 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://zuova.cz/Home/Clanek/oxid-siricity-so2>

37. Polétavý prach PM10, PM2,5,PM1,0. In: *Čisté nebe* [online]. [cit. 2023-05-19].  
Dostupné z: <https://www.cistenebe.cz/stav-ovzdusi-na-ostravsku/slovnicek-pojmu/16cs-poletavy-prach-pm10-pm25-pm10>
38. VOJÁČKOVÁ, Šárka. Co je ozón, jak vzniká, jak likviduje bakterie, viry, houby, plísně, hmyz a roztoče?. In: *CVB Ventilátory* [online]. 21.2.2023 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.ventilatory-shop.cz/clanek/co-je-ozon-jak-vznika-jak-likviduje-bakterie-viry-houby-plisne-hmyz-roztoce>
39. BRZEZINA, Jáchym. Není ozon, jako ozon. In: *Blog pracovníků Českého hydrometeorologického ústavu pobočky Brno* [online]. 1.8.2018 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://chmibrno.org/blog/2018/08/01/neni-ozon-jako-ozon/>
40. PETRLÍK, Jindřich a Petr VÁLEK. Benzen. In: *Arnika* [online]. 26.11.2010 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/benzen>
41. VYBÍRAL, Pavel. Filtrace ve VZT jednotkách pro nucené větrání rodinných domů I.: Zaměřeno na malé jednotky určené pro nucené větrání rodinných domů. In: *TZB-info* [online]. 13.6.2016 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/14330-filtrace-ve-vzt-jednotkach-pro-nucene-vetrani-rodinnych-domu-i>
42. JELÍNEK, Ondřej, Aleš RUBINA a Petr BLASINSKI. Akustika a protihluková opatření ve vzduchotechnice. In: *TZB-info* [online]. 9.9.2013 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/10319-akustika-a-protihlukova-opatreni-ve-vzduchotechnice>
43. Prostorová akustika. In: *Rigips Saint-Gobain* [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.rigips.cz/pro-odborniky/prostorova-akustika/>
44. ŽÁK, Petr. Rozložení jasu při návrhu osvětlení. In: *Profi elektrika* [online]. 8.6.2011 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/rozlozeni-jasu-pri-navrhu-osvetleni/view>
45. Oslnění ve vnitřních osvětlovacích soustavách. In: *Světlo v praxi* [online]. 17.7.2018 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://svetlovpraxi.cz/2018/07/17/oslneni-ve-vnitrnich-osvetlovacich-soustavach/>
46. CIFRINEC, Ivan. Způsoby větrání bytových domů, jejich výhody a nevýhody. In: *TZB-info* [online]. 26.5.2010 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z:

<https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-bytovych-domu/6507-vetrani-bytovych-domu-zaklady-teorie-vetrani>

47. ZMRHAL, Vladimír a Jiří PETLACH. Systémy větrání obytných budov.  
In: *TZB-info* [online]. 17.10.2011 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z:  
<https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/7937-systemy-vetrani-obytnych-budov>
48. Co je to rekuperace?. In: *Atrea* [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z:  
<https://www.atrea.cz/cz/co-je-to-rekuperace>
49. Co je to rekuperace?. In: *Atrea* [online]. 13.12.2021 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.luftuj.cz/clanky/co-je-to-rekuperace/>

## 6.6. Seznam tabulek

Tabulka 1: Metabolické teplo při různých typických aktivitách dle ČSN EN ISO 7730 .....	12
Tabulka 2: Koncentrace CO <sub>2</sub> a vliv na člověka.....	14
Tabulka 3: Limitní koncentrace škodlivých látek ve vnitřním prostředí staveb dle vyhlášky č. 6/2003 Sb.....	21
Tabulka 4: Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení dle zákona č. 201/2012 Sb.....	21
Tabulka 5: Imisní limity pro celkový obsah znečišťující látky v částicích PM10 dle zákona č. 201/2012 Sb.....	22
Tabulka 6: Doporučené minimální třídy filtrů u větrání nebytových budov pro jednotlivé kombinace tříd kvality venkovního ovzduší ODA a požadované kvality vnitřního prostředí IDA .....	23
Tabulka 7: Množství přiváděného vzduchu v učebnách a tělocvičnách a množství odváděného vzduchu v šatnách a hygienických zařízeních pro výchovu a vzdělávání a provozovnách pro výchovu a vzdělávání dle vyhlášky č. 410/2005 Sb.....	25
Tabulka 8: Srovnání požadavků na koncentraci CO <sub>2</sub> a minimální průtok vzduchu na žáka dle vyhlášky č. 410/2005 Sb., vyhlášky č. 268/2009 Sb. a metodického pokynu pro návrh větrání škol.....	26
Tabulka 9: Hluky produkované člověkem a jejich intenzita .....	27
Tabulka 10: Hodnoty indexu barevného podání [2].....	29
Tabulka 11: Světelné zdroje a jejich přibližná teplota chromatičnosti [2].....	30

Tabulka 12: Doporučená rozmezí hodnot činitele odrazu pro výběr materiálu dle ČSN EN 12 464-1 .....	30
Tabulka 13: Vztah mezi osvětlenostmi bezprostředního okolí a osvětleností místa zrakového úkolu nebo místa činnosti dle ČSN EN 12 464-1 .....	31
Tabulka 14: Specifické požadavky na osvětlení pro mateřské školy a jesle dle ČSN EN 12 464-1 .....	31
Tabulka 15: Základní údaje třídy v I.NP .....	38
Tabulka 16: Základní údaje třídy ve II.NP .....	40
Tabulka 17: Denní program mateřské školy .....	42

## 6.7. Seznam obrázků

Obrázek 1: Objekt měření, pohled z ulice .....	36
Obrázek 2: Objekt měření, pohled ze zahrady .....	36
Obrázek 3: Půdorys třídy v I.NP .....	38
Obrázek 4: Umístění meteostanice .....	39
Obrázek 5: Umístění modulu 41 .....	39
Obrázek 6: Vzduchotechnika v učebně .....	39
Obrázek 7: Distribuční prvek vzduchotechniky v učebně.....	40
Obrázek 8: Půdorys třídy ve II.NP .....	41
Obrázek 9: Umístění modulu 42.....	41
Obrázek 10: Umístění modulu 43.....	41
Obrázek 11: Měsíční graf průběhu teploty v interiéru .....	42
Obrázek 12: Měsíční graf průběhu teploty v exteriéru.....	43
Obrázek 13: Měsíční graf průběhu vlhkosti v interiéru.....	43
Obrázek 14: Měsíční graf průběhu vlhkosti v exteriéru.....	44
Obrázek 15: Měsíční graf průběhu koncentrace CO <sub>2</sub> .....	44
Obrázek 16: Měsíční graf průběhu hluku .....	45
Obrázek 17: Měsíční graf průběhu tlaku .....	45
Obrázek 18: Týdenní graf průběhu teploty .....	46
Obrázek 19: Týdenní graf průběhu vlhkosti.....	47
Obrázek 20: Týdenní graf průběhu koncentrace CO <sub>2</sub> .....	48
Obrázek 21: Týdenní graf průběhu hluku .....	48
Obrázek 22: Týdenní graf průběhu tlaku.....	49

Obrázek 23: Denní graf průběhu teploty pro maximální koncentraci CO <sub>2</sub> .....	50
Obrázek 24: Denní graf průběhu vlhkosti pro maximální koncentraci CO <sub>2</sub> .....	51
Obrázek 25: Denní graf průběhu koncentrace CO <sub>2</sub> pro maximální koncentraci CO <sub>2</sub> .....	52
Obrázek 26: Denní graf průběhu teploty pro minimální hodnotu teploty .....	52
Obrázek 27: Denní graf průběhu vlhkosti pro minimální hodnotu teploty .....	53
Obrázek 28: Denní graf průběhu koncentrace CO <sub>2</sub> pro minimální hodnotu teploty .....	53
Obrázek 29: Denní graf průběhu teploty pro minimální hodnotu vlhkosti .....	54
Obrázek 30: Denní graf průběhu vlhkosti pro minimální hodnotu vlhkosti .....	54
Obrázek 31: Denní graf průběhu koncentrace CO <sub>2</sub> pro minimální hodnotu vlhkosti .....	55

## 7. Seznam příloh

1. Technická zpráva – část vzduchotechnika	
1.1. Technický list vzduchotechnické jednotky	
1.2. Technické listy distribučních prvků	
2. Výpočtová část	
2.1. Návrh distribučních prvků	
2.2. Dimenze přívodního potrubí	
2.3. Dimenze odvodního potrubí	
2.4. Výpis prvků	
3. Výkresová část	
3.1. Schéma trasy vzduchotechnického potrubí I.NP	1:100
3.2. Schéma trasy vzduchotechnického potrubí II.NP	1:100
3.3. Půdorys I.NP	1:75
3.4. Půdorys II.NP	1:75
3.5. Řezy	1:75
3.6. Umístění vzduchotechnické jednotky	1:75