

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



VĚTRÁNÍ ŠKOL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracovala:

Barbora Příhodová

Vedoucí práce:

prof. Ing. Karel Kabele CSc.

2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Příhodová Jméno: Barbora Osobní číslo: 494250

Zadávací katedra: K11125 TZB

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor/specializace: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Větrání škol

Název bakalářské práce anglicky: School ventilation

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte studii na téma větrání škol, obsahující mj. přehled problematiky, teoretický základ, vyhodnocení vlastního měření kvality vzduchu v konkrétní škole, přehled systémů a způsobů řešení, příklady řešení větrání škol v ČR a ve světě. Pro měřenou školu proveďte návrh koncepčního řešení větrání a pro vybranou část objektu proveďte návrh vzduchotechniky obsahující technický popis, výpočet množství vzduchu, návrh dimenzí potrubí a distribučních prvků, návrh VZT jednotky a grafickou dokumentaci.

Seznam doporučené literatury:

Kabele a kol. : Energetické a ekologické systémy budov 1 ČVUT (2010)

Papež K., Vyoralová Z., Marková L., Garlík B., Jokl M. Energetické a ekologické systémy budov 2. Vzduchotechnika, chlazení, elektroinstalace, umělé osvětlení. Fakulta stavební, 1. vydání, únor 2007

Gebauer G., Horká H., Rubínová O. Vzduchotechnika, Era - vydavatelství, ISBN: 80-7366-027-X, 262 s., 2005.

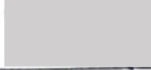
V.Zmrhal a kol.: Větrání škol v souvislostech, STP 2017

Jméno vedoucího bakalářské práce: prof.Ing.Karel Kabele, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2023

Termín odevzdání BP v IS KOS: 22.5.2023

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. 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“.

22.2.2023
Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

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

Barbora Příhodová

V Praze, dne 25. 5. 2023

Poděkování

Největší poděkování patří vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Karlu Kabele CSc. za jeho cenné rady a podněty při konzultacích této práce. Dále děkuji vedení analyzované školy, které mi ochotně umožnilo měření. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům, kteří mi byli oporou nejen při psaní této práce, ale i v průběhu celého studia.

OBSAH

Abstrakt.....	1
I. ÚVOD.....	2
II. CÍLE PRÁCE.....	3
III. VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ.....	3
3.1 TEPELNĚ-VLHKOSTNÍ MIKROKLIMA.....	3
3.2 KVALITA OVZDUŠÍ.....	5
3.2.1 OXID UHLIČITÝ (CO ₂).....	6
3.2.2 ODÉRY.....	7
3.2.3 TĚKAVÉ ORGANICKÉ LÁTKY (VOC).....	8
3.2.4 FORMALDEHYD.....	8
3.2.5 OXID SIŘIČITÝ (SO ₂).....	9
3.2.6 OXIDY DUSÍKU.....	9
3.2.7 OXID UHELNATÝ (CO).....	10
3.2.8 OZON.....	10
3.2.9 RADON.....	10
3.3 MIKROBIÁLNÍ MIKROKLIMA.....	11
3.4 AKUSTICKÉ MIKROKLIMA.....	12
3.5 SVĚTELNÉ MIKROKLIMA.....	13
IV. VYHODNOCENÍ VLASTNÍHO MĚŘENÍ.....	15
4.1 POPIS MĚŘENÍ.....	15
4.2 ANALÝZA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ.....	18
4.2.1 UČEBNA 1.....	19
A. TÝDEN 12. 12.-18. 12.....	19
B. STŘEDA 14. 12.....	23
4.2.2 UČEBNA 2.....	25
A. TÝDEN 12. 12.-18. 12.....	25
B. STŘEDA 14. 12.....	27
4.2.3 VÝPOČTY.....	30
A. NEJVYŠŠÍ KONCENTRACE CO ₂ PODLE RUČNÍHO VÝPOČTU.....	30
B. NUMERICKÝ MODEL.....	33
C. DOPORUČENÁ VÝMĚNA VZDUCHU.....	36
4.3 ZÁVĚR.....	37

V.	VĚTRÁNÍ ŠKOL	38
5.1	HISTORIE VĚTRÁNÍ ŠKOL	38
5.2	ZPŮSOBY VĚTRÁNÍ ŠKOL	40
5.2.1	PŘIROZENÉ VĚTRÁNÍ	40
A.	INFILTRACE	41
B.	PROVĚTRÁVÁNÍ	41
5.2.2	NUCENÉ VĚTRÁNÍ	42
A.	PODTLAKOVÉ VĚTRÁNÍ	42
B.	ROVNOTLAKÉ VĚTRÁNÍ	43
B.1	CENTRÁLNÍ SYSTÉM	43
B.2	LOKÁLNÍ SYSTÉM	44
C.	PŘETLAKOVÉ VĚTRÁNÍ	45
5.2.3	HYBRIDNÍ VĚTRÁNÍ	45
5.3	PŘÍKLADY ŘEŠENÍ Z PRAXE	46
5.4	NÁVRH KONCEPTU VĚTRÁNÍ	50
5.4.1	MNOŽSTVÍ PŘIVÁDĚNÉHO VZDUCHU	50
5.4.2	NÁVRH VĚTRACÍ JEDNOTKY	51
5.4.3	NÁVRH DISTRIBUČNÍCH PRVKŮ	52
5.4.4	DIMENZE POTRUBÍ A VYÚSTEK, TLAKOVÉ ZTRÁTY	53
VI.	ZÁVĚR	63
	Zdroje	62
	Seznam příloh	70
	Seznam obrázků	71
	Seznam tabulek	72
	Seznam grafů	72
	Přílohy	73

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá větráním škol. V první části je popsána problematika vnitřního prostředí, důraz je kladen zejména na kvalitu ovzduší. Poté je popsán průběh a výsledky měření koncentrace CO₂. Měření bylo po dobu tří měsíců prováděno na střední škole, kde byla za účelem úspory energie použita plastová okna, a ukázalo se, že současný režim větrání je nedostatečný. Nejvyšší dosažené koncentrace CO₂, které z důvodu omezeného rozsahu měřícího zařízení nebylo možné změřit, byly dopočítány. Dále je stručně shrnuta historie větrání škol a jsou popsány moderní způsoby řešení. Nakonec je navržen koncept větrání v analyzované škole.

Abstract

This bachelor's thesis deals with the ventilation of schools. In the first part, the issue of the indoor microclimate is described, the emphasis is mainly on air quality. Then there is a description of the course and results of CO₂ concentration measurement. The measurement was carried out for three months in a secondary school where plastic windows were used to save energy, and showed that the current ventilation regime was insufficient. The highest CO₂ concentrations achieved which could not be measured due to the limited range of the measuring device, were calculated. Then the history of school ventilation is briefly summarized and modern solutions are described. Finally, a ventilation concept in the analyzed school is designed.

I. ÚVOD

V současné době tráví lidé 80 až 90 % svého času ve vnitřním prostředí budov [1]. U dětí a dospívajících tvoří významnou část pobyt ve vzdělávacích institucích (mateřské, základní, střední a případně vysoké školy) – podle OECD stráví čeští žáci druhého stupně základní školy v lavicích průměrně 892 hodin za rok [2]. Je proto zarážející, jak málo pozornosti je kvalitě vnitřního prostředí ve školách věnováno.

V posledních letech je trendem zateplování budov a výměna oken za účelem snížení energetické náročnosti budov. Použitím plastových oken dochází k utěšňování budovy a zamezení infiltrace vzduchu. Úspora energií těmito opatřeními je nepopíratelná, často se však zapomíná na zajištění dostatečného větrání. Spoléhá se na přirozené větrání otevíratelnými okny, které je však ve většině případů naprosto nedostatečné. Režim větrání je obvykle plně v režii vyučujících, kteří nejsou o problematice vnitřního prostředí nikterak poučeni. Problém nastává zejména v zimě, kdy se otevírání oken minimalizuje kvůli obavám z tepelného diskomfortu dětí. V současnosti má vliv i nepříznivý stav na trhu s energiemi – vytápění je finančně náročné a otevření oken může působit jako „zbytečná“ ztráta tepla.

Při nedostatečném větrání dochází v místnosti ke zvýšení koncentrace škodlivin (biologické a chemické látky, částice) a k růstu teploty a vlhkosti. Tyto podmínky na přítomné osoby působí velmi negativně a mohou vést až ke zdravotním problémům (nadměrná únava, bolesti hlavy, poruchy paměti a soustředění, zhoršování průběhu astmatu a alergií a další). Nepříznivý vliv je ještě znatelnější u dětí, které při dýchání vdechují větší objem vzduchu v poměru k tělesné hmotnosti, a jsou tedy na kvalitu vnitřního prostředí citlivější.

Řešením tohoto problému by mohl být návrh nuceného větrání, které by zajistilo dostatečný a rovnoměrný přísun vzduchu. Při použití zpětného získávání tepla by se také omezila tepelná ztráta. Tento systém by samozřejmě pro školy znamenal značnou investici, ziskem by však bylo výrazné zlepšení kvality vnitřního prostředí, která přímo ovlivňuje výkon a zdravotní stav jak žáků, tak i učitelů. [1]

II. CÍLE PRÁCE

Tato práce se zabývá vnitřním prostředím škol a zaměřuje se zejména na větrání. Jejím cílem je shrnout problematiku větrání škol, ukázat rizika nedostatečného větrání a uvést možná řešení. Součástí práce je také vyhodnocení vlastního měření koncentrace CO₂ na střední škole a koncepční návrh vzduchotechnického systému v daném objektu.

III. VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ

Kvalita vnitřního prostředí budov je definována jako souhrn fyzikálních, chemických a biologických ukazatelů. Limity na jednotlivé faktory jsou stanoveny ve vyhláškách a při jejich dodržení by nemělo dojít k ohrožení zdraví člověka. Velký vliv na kvalitu vnitřního prostředí má větrání, jehož cílem je odvod vzduchu znehodnoceného škodlivinami a přívod čerstvého vzduchu. [3]

3.1 TEPELNĚ-VLHKOSTNÍ MIKROKLIMA

Tepelně-vlhkostní mikroklima je složka prostředí tvořená tepelnými a vlhkostními toky, které působí na subjekt a spoluvytváří jeho celkový stav. [5] Cílem zařízení upravujících tepelný a vlhkostní stav prostředí (vytápění, větrání a klimatizace) je dosažení tepelné pohody člověka. [1] Tepelná pohoda je tepelný stav člověka, při kterém je dosažena tepelná rovnováha organismu a člověk je s prostředím subjektivně spokojen. Tepelná rovnováha nastává v případě, kdy prostředí odebírá tělu tolik tepla, kolik právě produkuje. [6]

Hlavními faktory tepelně-vlhkostního mikroklimatu jsou venkovní klimatické podmínky a vnitřní zdroje tepla a vodní páry. Vliv venkovních klimatických podmínek se dá významně omezit prostřednictvím tepelně-technických vlastností obvodového pláště budovy. Vnitřními zdroji vodní páry jsou ve školách zejména lidé, případně rostliny. [6]

Nedodržení optimálního tepelně-vlhkostního stavu prostředí skýtá kromě diskomfortu osob i zdravotní rizika. Vysoká vlhkost například přispívá ke vzniku plísní, což může vést k rozvoji onemocnění dýchacích cest. Nízká vlhkost naopak usnadňuje šíření prachu a částic, které mohou být původcem alergií. [6]

Ve vyhlášce 410/2005 Sb. jsou mikroklimatické podmínky pro učebny, pracovní, družiny a další místnosti určené k dlouhodobému pobytu definovány následovně:

- *Zima*

Průměrná výsledná teplota v místnosti: $t_{gprum} = 22 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$

Minimální výsledná teplota v místnosti: $t_{gmin} = 19 \text{ } ^\circ\text{C}$

Rozdíl výsledné teploty v úrovni hlavy a kotníků nesmí být větší než $3 \text{ } ^\circ\text{C}$

- *Léto*

Průměrná výsledná teplota v místnosti: $t_{gprum} = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$

Maximální výsledná teplota v místnosti: $t_{gmin} = 31 \text{ } ^\circ\text{C}$

Při extrémních venkovních teplotách, kdy maximální venková teplota vzduchu je vyšší než $30 \text{ } ^\circ\text{C}$ a kdy je t_{gmax} vyšší než $31 \text{ } ^\circ\text{C}$, musí být přerušeno vyučování nebo zajištěno pro žáky jiné náhradní opatření, např. jejich pobyt mimo budovu a zajištěním pitného režimu.

- Relativní vlhkost je celoročně v rozmezí 30 až 70 % [7]

Tabulka 1: Produkce tepla a vodní páry na 1 osobu pro různé druhy činnosti [1]

Činnost	M [met]	Věk							
		6 let		10 let		15 let		18 let	
		Q_{cit} [W]	M_w [g/h]	Q_{cit} [W]	M_w [g/h]	Q_{cit} [W]	M_w [g/h]	Q_{cit} [W]	M_w [g/h]
Sezení uvolněné	1,0	41	11	57	14	83	19	91	20
Činnost v sedě	1,2	42	25	58	33	84	45	93	48
Lehká činnost v sedě	1,6	43	52	59	70	87	97	97	104
Chůze bez zátěže	1,9	44	73	61	98	89	136	99	147
Tělocvik	3	61	104	85	140	126	195	139	212

Uvedené hodnoty platí pro následující podmínky:

$$t_a = t_r = t_o = 22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

t_a ...teplota vzduchu, t_r ...střední radiační teplota, t_o ...operativní teplota

$I_{od} = 0,7 \text{ clo}$...tepelný odpor oděvu

$W = 0,1 \text{ m/s}$...rychlost proudění vzduchu

50% percentil tělesných proporcí dětí

Použité veličiny:

M [met] ... měrný metabolický tepelný tok

Q_{cit} [W] ... produkce citelného tepla

M_w [g/h] ... produkce vodní páry

3.2 KVALITA OVZDUŠÍ

Na kvalitu vnitřního ovzduší mají velký vliv znečišťující látky, které mohou pocházet buď ze zdrojů ve vnitřním prostředí nebo se do místností dostávají z prostředí venkovního. Zdrojem znečišťujících látek ve vnitřním prostředí jsou hlavně lidé, kteří produkují látky vznikající při metabolických procesech (CO₂, vodní pára). Škodliviny se však mohou do ovzduší šířit i ze stavebních konstrukcí nebo zařízení učeben (např. plasty, nátěry, podlahové krytiny, izolace, pojiva apod.) Jedná se zejména o těkavé organické sloučeniny, ftaláty, formaldehyd a další. [1]

Jako měřítko kvality vzduchu v interiérech se nejčastěji používá koncentrace oxidu uhličitého, kterou je snadné změřit. Jsou-li dodrženy limitní hodnoty pro koncentraci CO₂ (viz níže), uvažujeme, že limitní hodnoty jsou dodrženy i u dalších škodlivin, které je podstatně náročnější měřit. [6]

V následující tabulce jsou uvedeny přípustné expoziční limity a nejvyšší přípustné koncentrace vybraných chemických látek. Některé uvedené škodliviny jsou více rozebrány v jednotlivých podkapitolách.

Tabulka 2: Přípustné expoziční limity a nejvyšší přípustné koncentrace vybraných chemických látek [55]

Ukazatelé	PEL *)	NPK-P **)
	[mg/m ³]	
Formaldehyd (mimo oblast zdravotních služeb, pohřebnictví a balzamovacích služeb)	0,37	0,74
Formaldehyd (pro oblast zdravotních služeb, pohřebnictví a balzamovacích služeb)	0,5	0,74
Hydroxid sodný	1	2
Hydroxid vápenatý	1	4
Chlorovodík	8	15
Jod	0,1	1
Oxid dusičitý (mimo hlubinnou těžbu a ražení tunelů)	0,96	1,91
Oxid dusičitý (při hlubinné těžbě a ražení tunelů)	2	3
Oxid dusnatý (mimo hlubinnou těžbu a ražení tunelů)	2,5	5

Oxid dusnatý (při hlubinné těžbě a ražení tunelů)	10	15
Oxid siřičitý	1,3	2,7
Oxid uhelnatý (mimo hlubinnou těžbu a ražení tunelů)	23	117
Oxid uhelnatý (při hlubinné těžbě a ražení tunelů)	30	150
Oxid uhličitý	9000	45000
Ozon	0,1	0,2
Peroxid vodíku	1	2

Vysvětlivky:

*) PEL je zkratka pro přípustný expoziční limit (vážený průměr koncentrací plynů, par nebo aerosolů v pracovním ovzduší, jimž může být podle současného stavu znalostí exponován zaměstnanec v osmihodinové nebo kratší směně týdenní pracovní doby, aniž by u něho došlo i při celoživotní pracovní expozici k poškození zdraví, k ohrožení jeho pracovní schopnosti a výkonnosti)

***) NPK-P vyjadřuje nejvyšší přípustnou koncentraci (koncentrace chemické látky, které mohou být zaměstnanci exponováni nepřetržitě po krátkou dobu, aniž by pociťovali dráždění očí nebo dýchacích cest nebo bylo ohroženo jejich zdraví a spolehlivost výkonu práce)

[55]

3.2.1 OXID UHLIČITÝ (CO₂)

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, který je běžnou součástí atmosféry, a jeho koncentrace je jedním ze základních ukazatelů kvality vnitřního prostředí. Koncentrace CO₂ se obvykle udává v jednotkách ppm (zkratka pro anglické sousloví parts per million), které vyjadřují poměr jedné složky (CO₂) vůči celku (vzduch). Primárním zdrojem oxidu uhličitého jsou metabolické procesy osob, které závisí na fyzické aktivitě a proporcích člověka. Produkci metabolického CO₂ lze spočítat podle následujícího vzorce:

$$\dot{V}_{\text{CO}_2} = 1,742 \cdot H^{0,725} \cdot m^{0,425} \cdot M \text{ [l/h]} \quad (1)$$

\dot{V}_{CO_2} [l/h] ... objem oxidu uhličitého produkovaného jednou osobou

H [m] ... výška člověka

m [kg] ... hmotnost člověka

M [met] ... měrný metabolický tepelný tok [1]

Zdrojem je v menší míře také venkovní ovzduší, kde se koncentrace CO₂ v posledních letech prudce zvyšuje. Podle měření na ostrově Mauna Loa v lednu 2023 byla koncentrace oxidu uhličitého v ovzduší 420 ppm, zatímco v lednu 2005 byla naměřena hodnota 378 ppm. Hlavními zdroji oxidu uhličitého v ovzduší jsou spalování fosilních paliv, lesní požáry a vulkanické erupce. [4]

Tabulka 3: Koncentrace CO₂ a vliv na člověka [8]

<i>Koncentrace CO₂</i>	<i>Místo výskytu CO₂, vliv na člověka</i>
400 až 700 ppm	koncentrace ve venkovním ovzduší
800 až 1200 ppm	vyhovující koncentrace CO ₂ v obytných prostorách
1500 ppm	maximální přípustná koncentrace CO ₂ v obytných prostorách
>1500 ppm	nastávají příznaky únavy a snižování pozornosti člověka
>2500 ppm	ospalost, letargie, bolesti hlavy
>5000 ppm	nedoporučuje se delší pobyt

Podle vyhlášky č. 268/2009 Sb. [9] nesmí koncentrace CO₂ v místnosti přesáhnout hodnotu 1500 ppm. V nevětraných školních učebnách je však koncentrace oxidu uhličitého často až násobně vyšší, jak bylo prokázáno vlastním měřením na střední škole – viz kapitola IV: Vyhodnocení vlastního měření. Vyšší hodnoty způsobují narušení pohody člověka, dochází k postupnému snižování výkonu a přidávají se i fyzické projevy. Negativní efekt CO₂ na člověka byl prokázán několika studiemi, kde už při hodnotách 945 až 1400 ppm byl pozorován pokles kognitivních funkcí. Bylo také dokázáno, že při dlouhodobém vystavení koncentracím 5000 až 15000 ppm může dojít až k acidóze (lidově překyselení organismu) a ke snížení průtoku krve mozky. [10]

3.2.2 ODÉRY

Odérové látky jsou plynné látky organického nebo anorganického původu, které jsou v ovzduší vnímané jako pachy (vůně nebo zápachy). Nejčastěji jsou produkovány člověkem nebo jeho činnostmi (např. zplodiny z cigaret, pachy kosmetických přípravků apod.), mohou se však i uvolňovat z vnitřního zařízení budovy nebo ze stavebních konstrukcí. Velká část odérů se do interiéru dostává také z vnějšího prostředí (např. produkty spalovacích motorů nebo výrobních procesů). [6]

Samotné odéry přímo neohrožují zdraví člověka, při zvýšené koncentraci však vyvolávají pocit diskomfortu, vedou ke ztrátě výkonnosti i soustředění a může dojít i k pocitům nevolnosti. [5] Díky jejich snadné detekci čichem však může být vyšší koncentrace oděrů impulsem k otevření oken a vyvětrání místnosti.

Hodnocení oděrů je velmi subjektivní, zda je pach příjemný či obtěžující, může každý člověk vnímat jinak. Z vůně se také může pouhým zvýšením koncentrace stát nepříjemný zápach. Odéry lze rozdělit do 5 základních typů podle Zwaardemarkerovy stupnice:

1. Typ éterický (lidské pachy)
2. Typ aromatický (pachy rozkládajícího se zralého ovoce)
3. Typ izovalerický (pachy z kouření tabáku, pach zvířecího potu)
4. Typ zažluklý (pachy mlékárenských produktů)
5. Typ narkotický (pachy rozkládajících se proteinů a vůně tabáku) [5]

3.2.3 TĚKAVÉ ORGANICKÉ LÁTKY (VOC)

Těkavou organickou látkou je jakákoli organická sloučenina nebo směs organických sloučenin, s výjimkou methanu, která při teplotě 20 °C má tlak par 0,01 kPa a více nebo má odpovídající těkavost za konkrétních podmínek jejího použití. [1] Ve školách jsou jejich hlavním zdrojem plastické hmoty obsažené ve vnitřním vybavení (např. umělé podlahové krytiny, nátěry stěn a nábytku), ale mohou pocházet i z čistících a dezinfekčních prostředků. V průmyslu jsou tyto látky obvykle emitovány z výrobních technologií (např. při tepelném zpracování plastů a pryže), anebo jsou jejich zdroji fugitivní emise (úniky znečišťujících látek netěsnostmi procesních aparátů, čerpadel, kompresorů apod.) [11]

Zdravotní účinek není u velkého množství těkavých organických látek znám, u některých z nich však byly prokázány karcinogenní vlivy. Většina VOC je ale charakteristická svým nepříjemným zápachem a někdy i dráždivostí. [1]

3.2.4 FORMALDEHYD

Formaldehyd je dráždivý, mutagenní plyn se štiplavým zápachem. [1] Uvolňuje se zejména ze stavebních konstrukcí, např. z dřevotřískových desek, nátěrových hmot a laků. Je také obsažen v tabákovém dýmu, výfukových plynech a ve zdravotnictví se užívá jako sterilizační prostředek. [6]

Formaldehyd je prokázaným karcinogenem a byla dokázána jeho spojitost s rakovinou nosohltanu. Při koncentraci vyšší než 0,1 ppm může způsobovat slzení a pálení očí, kašel, sípání, nevolnost nebo podráždění kůže. [12]

Vyšší koncentrace formaldehydu jsou ve školní učebně nepravděpodobné – na rozdíl např. od zdravotnických pracovišť nebo průmyslových hal. Jeho účinky jsou však velmi vážné, a proto stojí za pozornost.

3.2.5 OXID SIŘIČITÝ (SO₂)

Oxid siřičitý je bezbarvý reaktivní dráždivý plyn, který je produkován při spalování fosilních paliv a při tavení rud s obsahem síry. [1] [13] Ve vyšších koncentracích může SO₂ způsobovat potíže s dýcháním a má vliv na zhoršování již existujících kardiovaskulárních chorob. [1]

Koncentrace oxidu siřičitého v ovzduší však v České republice v posledních letech klesá – v roce 2018 nebyla na žádné stanici imisního monitoringu překročena hodnota 24hodinového imisního limitu. [13] V běžných interiérech tedy SO₂ nebývá problémem. [6]

3.2.6 OXIDY DUSÍKU

Z oxidů dusíku se jedná zejména o oxid dusnatý NO a oxid dusičitý NO₂, které se do interiéru dostávají primárně z vnějšího prostředí. [1] Vznikají při hoření za vyšších teplot z atmosférického dusíku v dieselových motorech, kotelnách a ve spotřebičích při hoření plynu (např. plynový sporák). [6]

Zdravotní riziko představuje hlavně oxid dusičitý, který dráždí dýchací soustavu a může přispět k rozvoji astma nebo zhoršení jeho příznaků. [14] Dobrou zprávou je, že v roce 2022 nebyl roční imisní limit pro oxid dusičitý potřetí v řadě překročen na žádné stanici ČR. [15]

Koncentrace oxidů dusíku ve školních učebnách bude velmi záležet na okolí objektu. Je však důležité jim věnovat pozornost (zejména NO₂) kvůli rostoucímu množství dětí a dospívajících trpících astmatem – v roce 2016 jím trpělo 10 % dětí. [16]

3.2.7 OXID UHELNATÝ (CO)

Oxid uhelnatý je bezbarvý hořlavý plyn bez chuti a zápachu, který vzniká nedokonalým spalováním všech uhlíkatých materiálů. [1] Do interiéru se může dostávat jak z vnějších zdrojů (hutní průmysl, výroba koksu), tak i z vnitřních (kamna, sporáky, karmy a další spalovací zařízení). [17] Zdrojem je také cigaretový kouř. [1]

Koncentrace oxidu uhelnatého v ovzduší v České republice jen výjimečně přesáhne stanovený limit [1], problémem však mohou být vnitřní zdroje. Při nesprávné instalaci nebo údržbě spalovacích zařízení může dojít k unikání velkého množství CO do interiéru a následné otravě. [17] Už při nízkých koncentracích oxidu uhelnatého může zdravý člověk pociťovat únavu a bolest hlavy, při vyšších koncentracích pak dochází k poruchám vidění a koordinace, silným bolestem hlavy, závratím a nevolnosti. V extrémních případech může způsobit smrt. [18]

3.2.8 OZON

Ozon vzniká zejména ve venkovním prostředí, a to v přízemní vrstvě atmosféry vlivem slunečního záření, v interiérech je produkován kopírovacími stroji a laserovými tiskárnami. [1] [6] Vnitřním zdrojem může být také dezinfekce interiérů ozonem, která získala velkou popularitu během světové pandemie Covid-19.

Ozon může mít nepříznivé účinky na funkci plic vedoucí k jejich zánětu a respiračním onemocněním, ve vyšších koncentracích dochází drážděním dýchacích cest k jejich zúžení a ztíženému dýchání. [15]

3.2.9 RADON

Radon je přírodní radioaktivní plyn bez barvy, chuti i zápachu, který vzniká radioaktivní přeměnou uranu obsaženého v zemské kůře. Do vnitřního prostředí se dostává z podloží netěsnostmi ve spodní stavbě (např. trhliny nebo netěsné prostupy instalačních vedení). [1]

Je prokázáno, že radon má významný vliv na rozvoj plicních karcinomů – v USA je nejčastější příčinou rakoviny plic u nekuřáků. [19] Podle průzkumu prováděného ve 13 evropských zemích roste riziko rakoviny plic o 16 % při

každém zvýšení koncentrace radonu o 100 Bq/m³ (becquerel na metr krychlový). [1] [20]

Ve vyhlášce č. 422/2016 Sb. je definována referenční úroveň pro koncentraci radonu 300 Bq/m³. Tato koncentrace není neškodná, je ale nežádoucí ji překročit – stane-li se tak, je nutné provést opatření k jejímu snížení. [1] [21] Opatřením může být protiradonová izolace nebo odvětrání podloží, významný vliv má však také dostatečné větrání objektu. [22]

Česká republika má jedny z nejvyšších koncentrací radonu v budovách na světě. Riziko však není na celém území stejné, záleží na vlastnostech geologického podloží. Například v oblasti, kde se nachází střední škola analyzovaná v této práci, je vysoký radonový index, takže je mu potřeba věnovat zvýšenou pozornost. [23]

3.3 MIKROBIÁLNÍ MIKROKLIMA

Mikrobiální mikroklima je složka prostředí tvořená mikroby neboli mikroorganismy (bakterie, viry, plísně) nacházejícími se v ovzduší. Zdrojem mikrobů jsou především lidé, od nichž se mikroorganismy dostávají do vnitřního a venkovního ovzduší. Některé mikroby se však vyskytují i mimo člověka. [5]

Mikrobiální mikroklima je pro člověka nebezpečné kvůli přenášení infekčních chorob (viry a bakterie), ale také kvůli obsahu alergenů – např. plísně jsou jedním z nejčastějších původců alergií. [24] Vliv větrání na šíření infekčních chorob byl prozkoumán v mnoha studiích, které byly často provedeny v návaznosti na světovou pandemii Covid-19. Jednou z nich je italská studie z roku 2022, která zkoumala riziko nákazy koronavirem v závislosti na režimu větrání ve více než 10 000 školních učebnách. Ukázalo se, že ve třídách s nuceným větráním bylo riziko nákazy o 74 % nižší než v učebnách s přirozeným větráním. [25]

Do interiéru se mikroorganismy mohou dostat třemi způsoby: a) z venkovního ovzduší, b) ze vzduchotechnického zařízení, c) produkované přímo člověkem. [5] V budovách s řízeným vzduchotechnickým systémem je významná varianta b) – distribuování mikrobů prostřednictvím vzduchotechnických zařízení. Při špatné údržbě (nevčasná výměna filtrů, používání parního nebo hybridního zvlhčování) se může vzduchotechnické zařízení stát zdrojem a transportní cestou

mikrobiálního znečištění velkého rozsahu. [6] Správně navržený a udržovaný větrací systém (ať už nucený či přirozený otevíráním oken nebo infiltrací) však výrazně omezuje šíření infekčních chorob (viz výše). [25]

3.4 AKUSTICKÉ MIKROKLIMA

Akustické mikroklima je složka prostředí tvořená akustickými toky v ovzduší, které ovlivňují celkový stav člověka. Akustické toky (zvuky), které nepříznivě ovlivňují pohodu osob (narušují klid, znemožňují příjem jiných zvuků nebo dokonce ohrožují zdraví – fyzické i psychické), jsou označovány jako hluk. [5]

Zvuk se do vnitřního prostředí může šířit zvenčí (nejčastěji se jedná o zvuky produkované dopravou či průmyslem), a to pláštěm budovy, stěnami, dveřmi a hlavně okny. Okna mají oproti stěnám nízkou vzduchovou neprůzvučnost a v případě větrání otevřenými okny nepředstavují pro šíření zvuku žádnou překážku. [1] Zdroji hluku v místnosti mohou také být různé přístroje, které jsou součástí vnitřního vybavení, nebo činnosti zde prováděné. [26] Častým vnitřním zdrojem nepříjemných zvuků jsou vzduchotechnická zařízení, a to zejména při použití lokálních větracích systémů. Ochranou v tomto případě může být aplikace zvukoizolačních zákrytů nebo návrh centrálního větracího systému s použitím tlumičů. [1]

Pro popis akustického mikroklimatu se primárně používají následující kritéria:

- *Intenzita zvuku (hladina akustického tlaku) – L [dB]*
- *Frekvence zvuku – f [Hz]*
- *Doba dozvuku – T [s]*

[27]

V nařízení vlády č. 272/2011 Sb. je akustika hodnocena ekvivalentní hladinou akustického tlaku A . Pro přednáškové sítě, učebny a pobytové místnosti škol, jeslí a staveb pro předškolní a školní výchovu a vzdělávání je definován limit $L_{Aeq,T} = 45$ dB. [1][28]

Účinek hluku na lidský organismus je trojího druhu:

- *Účinek na sluchový orgán*
Škodlivost působení hluku na sluch závisí na hladině zvuku, frekvenčním vlnění a délce expozice. Při dlouhodobém zatížení sluchového orgánu může dojít k postupnému snižování citlivosti.
- *Účinek na vegetativní nervový systém*
Účinek na nervový systém není ovlivněn subjektivním vnímáním hluku. Tyto reakce jsou často reverzibilní, při dlouhodobé expozici však mohou nastat závažné změny.
- *Účinek na psychiku člověka*
Velmi obtížně se hodnotí, reakce na různé druhy zvuků jsou u každého člověka trochu odlišné. Reakcí na (podle subjektu) nepříjemné zvuky může být podrážděnost, nespavost, snížení pozornosti či nespavost. Příjemně působící zvuky naopak mohou mít i kladné účinky – např. lepší relaxace. [5]

Vliv akustického mikroklimatu na pohodu a výkon osob v místnosti nelze snadno změřit. Specificky pro školní učebny bylo však provedeno několik studií, které využily buď dotazníky nebo míru úspěšnosti studentů při testech. Například britská studie z roku 2007 sledovala vztah mezi úrovní hluku z vnitřních i vnějších zdrojů a výsledky standardizovaných testů u dětí různého věku. Bylo prokázáno, že hlučnější prostředí má na úspěšnost testů velmi negativní vliv, a to obzvláště u dětí starších 11 let. [29]

3.5 SVĚTELNÉ MIKROKLIMA

Téměř 90 % informací o okolním prostředí získávají lidé prostřednictvím zraku, takže světelné podmínky nás velmi výrazně ovlivňují. [30] Světlo v člověku vyvolává fyziologické a psychologické reakce, které jsou ovlivňovány množstvím světelné energie, jejím časovým a prostorovým rozložením, druhem světla a jeho barevnou jakostí. [31]

Pro popis světelného mikroklimatu se používají následující veličiny:

- *Činitel denní osvětlenosti – D [%]*
- *Osvětlenost – E [lx]*

- *Teplota chromatičnosti – T_{ep} [K]*
- *Index podání barev– R_a [-] (neboli CRI – Color Rendering Index)*
- *Index osvětlení – UGR [-]*

[27]

Okem viditelné světlo se skládá z mnoha barev světelného spektra, jejichž poměr se během dne spolu s celkovou intenzitou světla mění. [32] Tento rytmus je pro lidské tělo přirozený, má vliv na aktivitu, odpočinek a další biologické procesy v těle člověka. V současnosti však trávíme většinu svého času v interiérech s umělým osvětlením, kde téměř ani nemusíme zaznamenat, zda je den či noc.

[31]

Vliv osvětlení na člověka zkoumalo například Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT v Praze (UCEEB) spolu se společností Spectrasol v experimentu na pražském gymnáziu Na Pražačce. Ve třídách byly nainstalovány LED světelné zdroje, které díky vysoké instalované osvětlenosti a spektrálním vlastnostem utvořily v učebně osvětlení blízké dennímu světlu. Po roce bylo zaznamenáno významné zlepšení prospěchu a snížení počtu pozdních příchodů. Byly také provedeny kognitivní testy sledující krátkodobou paměť, které prokázaly lepší výkonnost studentů. [32]

Experimentů potvrzujících pozitivní vliv kvalitního osvětlení na výkon a pohodu člověka bylo provedeno více, lze tedy očekávat, že světelné mikroklima bude v budoucnu čím dál větším tématem, a to nejen ve školách, ale ve všech interiérech.

IV. VYHODNOCENÍ VLASTNÍHO MĚŘENÍ

4.1 POPIS MĚŘENÍ

Měření bylo provedeno na střední škole v zimním období (od 1. prosince 2022 do 1. února 2023). Hlavní budova školy, kde se nachází většina učeben, byla postavena koncem 19. století. Hlavními milníky v historii stavby je rozšíření hlavní budovy (zhruba před 50 lety) a výměna starých oken za nová plastová (kolem roku 2010).

Použita byla inteligentní meteostanice značky Netatmo se třemi přídatnými interiérovými moduly, které každých 5 minut zaznamenávaly teplotu (rozsah 0 °C až 50 °C), relativní vlhkost (%) a koncentraci CO₂ (rozsah 0 ppm až 5000 ppm). Hlavní meteostanice měřila také intenzitu zvuku (rozsah 35 dB až 120 dB) a tlak vzduchu (rozsah 260 mbar až 1160 mbar). Nainstalován byl také jeden exteriérový modul, který zaznamenával teplotu a relativní vlhkost venkovního vzduchu. [33]

Měřicí zařízení byla rozmístěna do dvou učeben, ve kterých každý den probíhá výuka. Učebna 1 je počítačová učebna s kapacitou 20 žáků a rozměry 9,1 na 5,2 metrů. Jsou zde dvě plastová okna. Do této třídy byla umístěna hlavní meteostanice a 1 přídatný modul A. Učebna 2 je klasická třída s kapacitou 32 žáků, kterých je na této střední škole několik. Místnost má na délku 8,8 metrů, na šířku 6,6 metrů a nachází se zde 3 velká plastová okna. Zde byly umístěny přídatné moduly B a C.



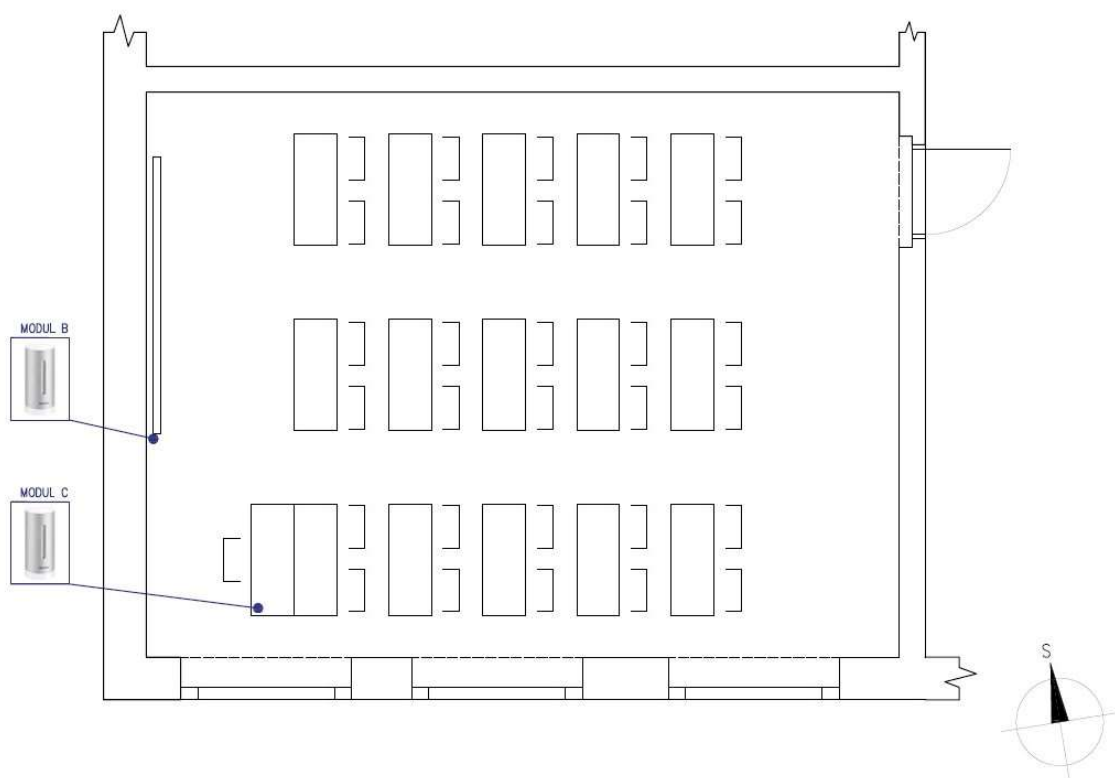
Obrázek 1: Učebna 1 [vlastní zdroj]



Obrázek 2: Učebna 2 [vlastní zdroj]



Obrázek 3: Plánek učebny 1 [vlastní zpracování]

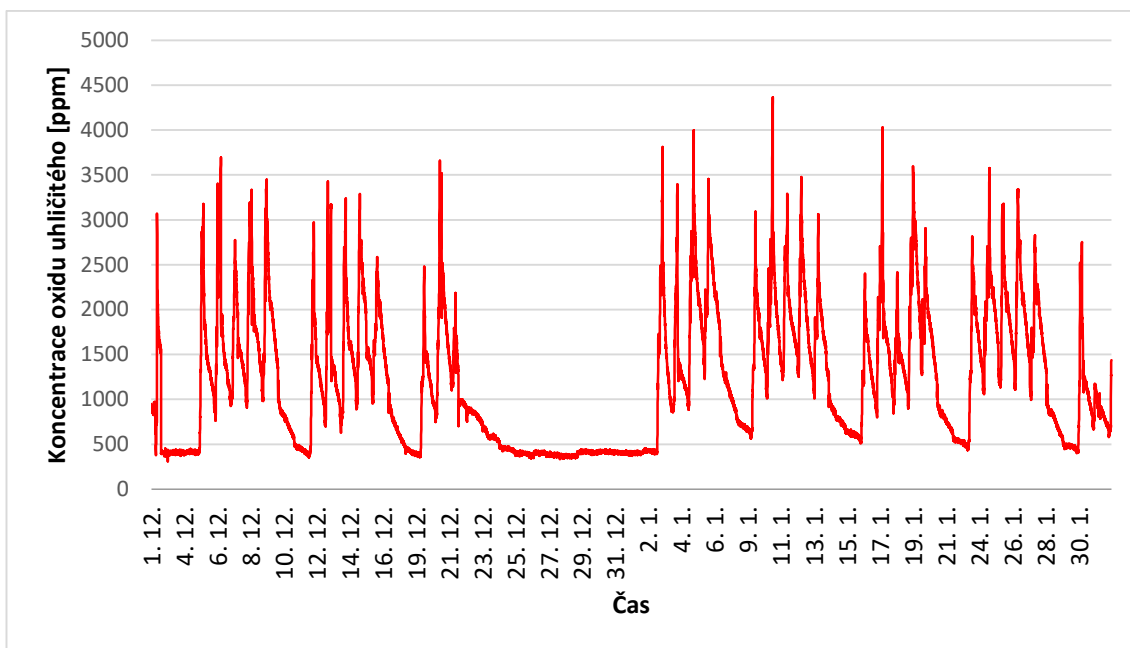


Obrázek 4: Plánek učebny 2 [vlastní zpracování]

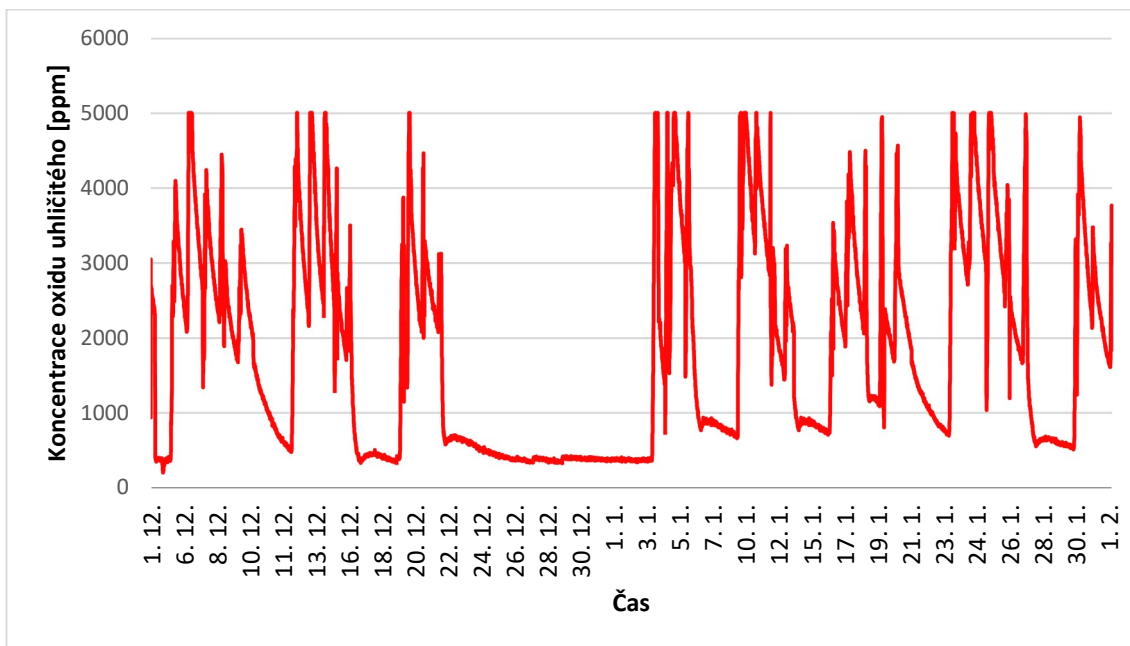
4.2 ANALÝZA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Díky přesně danému rozvrhu hodin, který se po celý školní rok nemění, byly výsledky měření každý týden podobné, což je dobře viditelné na křivce naměřených koncentrací oxidu uhličitého – viz graf 1 a 2. Výjimkou je období vánočních prázdnin zhruba v polovině měření, kdy se hodnoty téměř neměnily.

Graf 1: Průběh koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 (1. 12. – 1. 2.)



Graf 2: Průběh koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 (1. 12. – 1. 2.)



[vlastní zpracování]

Pro zjednodušení bude analyzován týden 12. 12. až 18. 12. 2022. Průměrné teploty a relativní vlhkosti venkovního vzduchu byly v těchto dnech následující:

Tabulka 4: Průměrné denní teploty a relativní vlhkosti venkovního vzduchu

<i>Den</i>	<i>Průměrná teplota</i>	<i>Relativní vlhkost</i>
Pondělí 12. 12.	-4,8 °C	94,2 %
Úterý 13. 12.	-6,7 °C	89,0 %
Středa 14. 12.	-3,7 °C	94,4 %
Čtvrtek 15. 12.	-4,1 °C	94,6 %
Pátek 16. 12.	-3,3 °C	96,7 %
Sobota 17. 12.	-4,2 °C	96,5 %
Neděle 18. 12.	-8,9 °C	90,1 %

[vlastní zpracování]

Podrobnější rozbor bude proveden pro středu 14. 12. Po celý den nestoupla venkovní teplota nad 0 °C – nejvyšší venkovní teplota byla tohoto dne -3,4 °C. Nejnižší hodnoty dosáhla v noci, kdy bylo -4,5 °C. Relativní vlhkost se pohybovala v rozmezí 92–96 %.

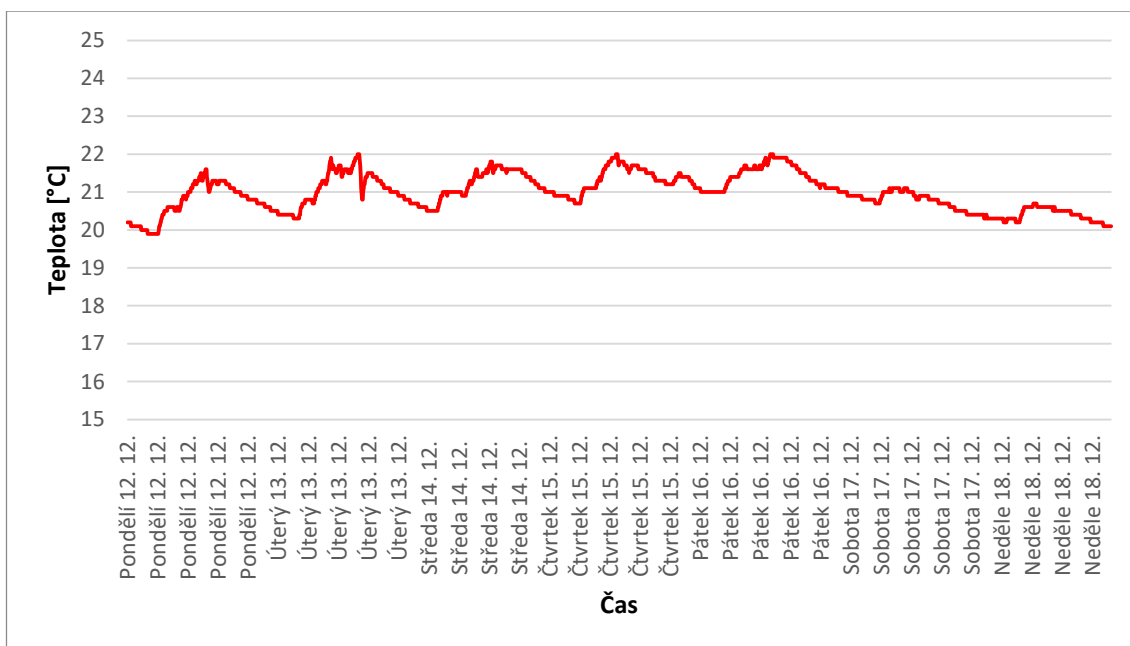
4.2.1 UČEBNA 1

Učebna 1 není oproti učebně 2 tak vytížena. Průměrně se zde učí 4 až 5 hodin denně. Mezi jednotlivými vyučovacími hodinami bývají často časové mezery, kdy se ve třídě nikdo nenachází, což se projevilo na měření. Jedinou výjimkou je čtvrtek dopoledne, kdy v učebně probíhají 4 vyučovací hodiny těsně po sobě.

A. TÝDEN 12. 12.-18. 12.

Teploty se v učebně pohybovaly v rozmezí 19,9 až 22 °C. Normové požadavky pro teplotu v učebně (viz kapitola 3.1) byly tedy v čase vyučování dodrženy. Při porovnání s hodnotami v kapitole 4.2.2 si můžeme všimnout, že v učebně 1 bylo oproti učebně 2 o něco tepleji. Důvodem může být 21 počítačů, které se nachází v učebně 2 a produkují teplo. Nejnižší teplota byla dle očekávání naměřena v noci, nejvyšší hodnota byla zaznamenána v pátek krátce po poledni. Na grafu 3 je zřejmé, že teplota v učebně přes noc klesne a ráno s příchodem studentů postupně stoupá – denních maxim většinou dosahuje kolem poledne. Průběh teploty je každý všední den podobný, jedinou výjimkou bylo v tento týden úterý, kdy kolem 16:30 teplota výrazně poklesla. Odhaduji, že v tento moment byla otevřena okna.

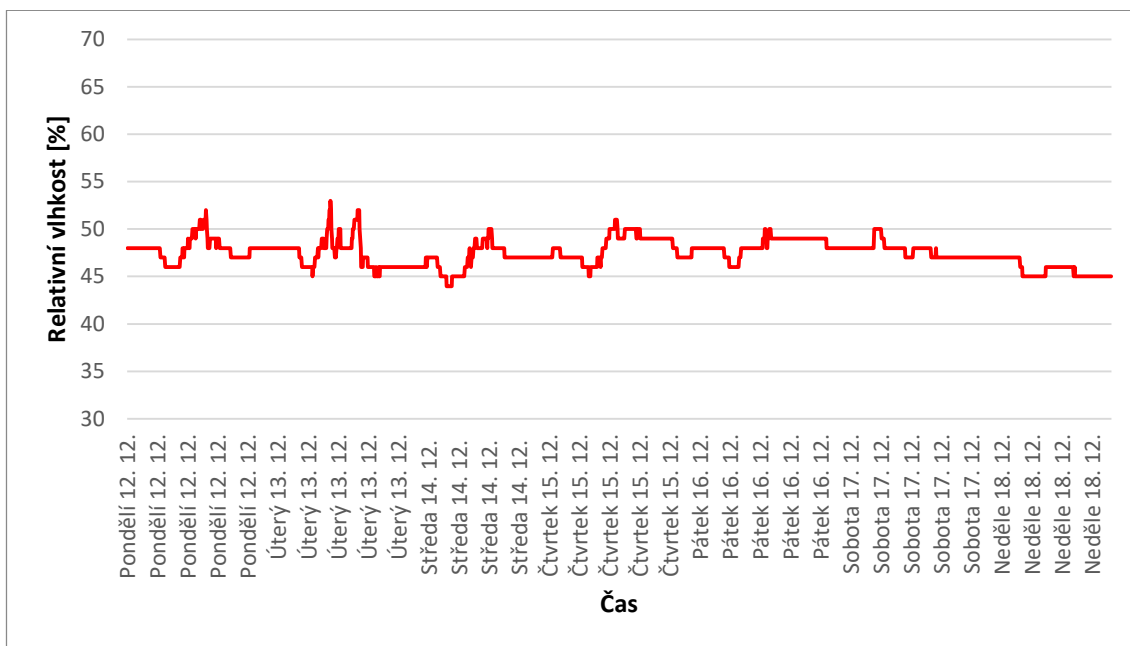
Graf 3: Průběh teploty v učebně 1 (12. 12. – 18. 12.)



[vlastní zpracování]

V relativní vlhkosti nebyly pozorovány žádné větší výkyvy, na grafu 4 je však zřetelný mírný nárůst v časech vyučování. Nejnižší hodnotou bylo 44 %, nejvyšší 53 %. Normové požadavky pro relativní vlhkost v učebně byly dodrženy (viz kapitola 3.1).

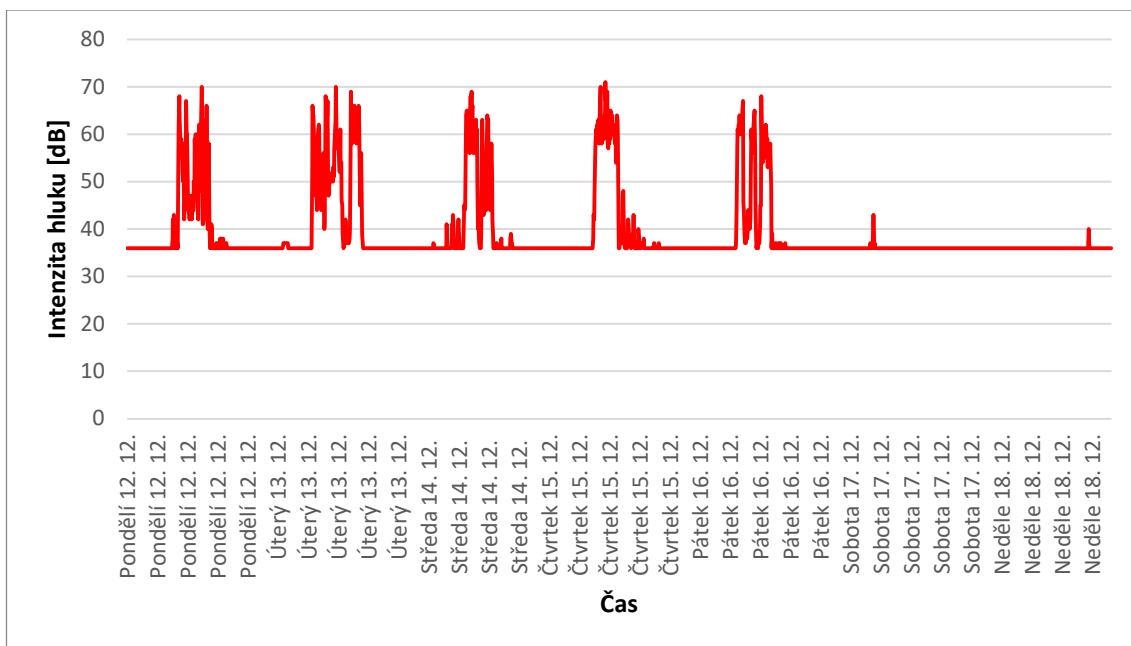
Graf 4: Průběh relativní vlhkosti v učebně 1 (12. 12. – 18. 12.)



[vlastní zpracování]

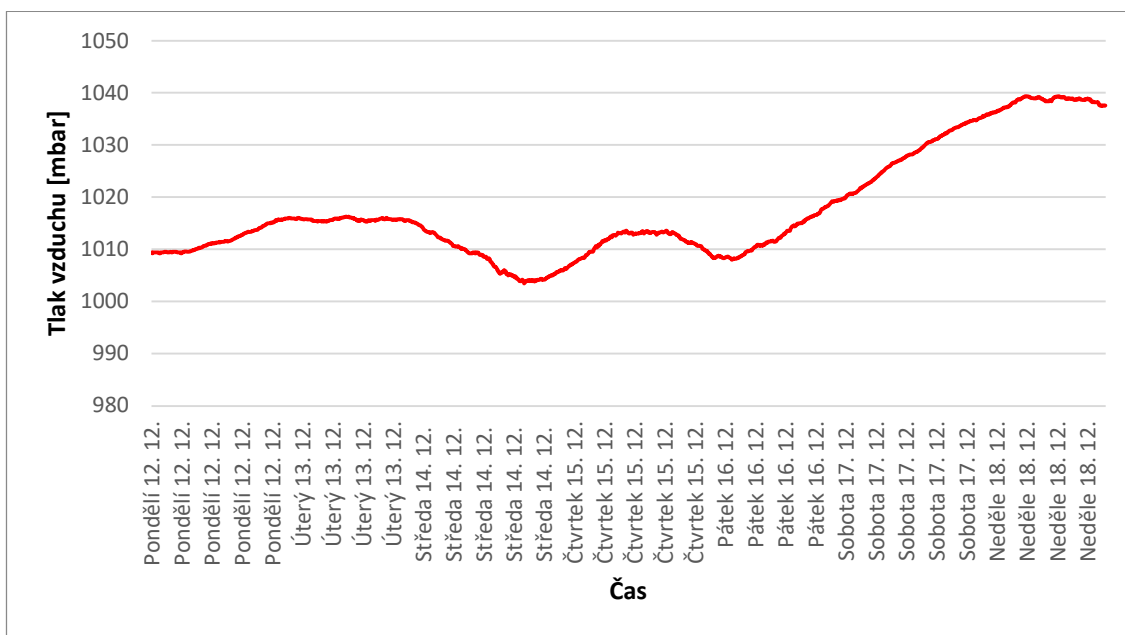
Díky tomu, že byla v této učebně umístěna hlavní meteostanice, byla zde také monitorována intenzita hluku. Z hodnot naměřených v noci a v časech mimo vyučovací hodiny lze odhadnout, že intenzita hluku z vnějších zdrojů činí přibližně 36 dB. Nejvyšší naměřená intenzita byla naměřena ve čtvrtek během velké přestávky a činila 71 dB.

Graf 5: Průběh intenzity hluku v učebně 1 (12. 12. – 18. 12.)



[vlastní zpracování]

Graf 6: Průběh tlaku vzduchu v učebně 1 (12. 12. – 18. 12.)



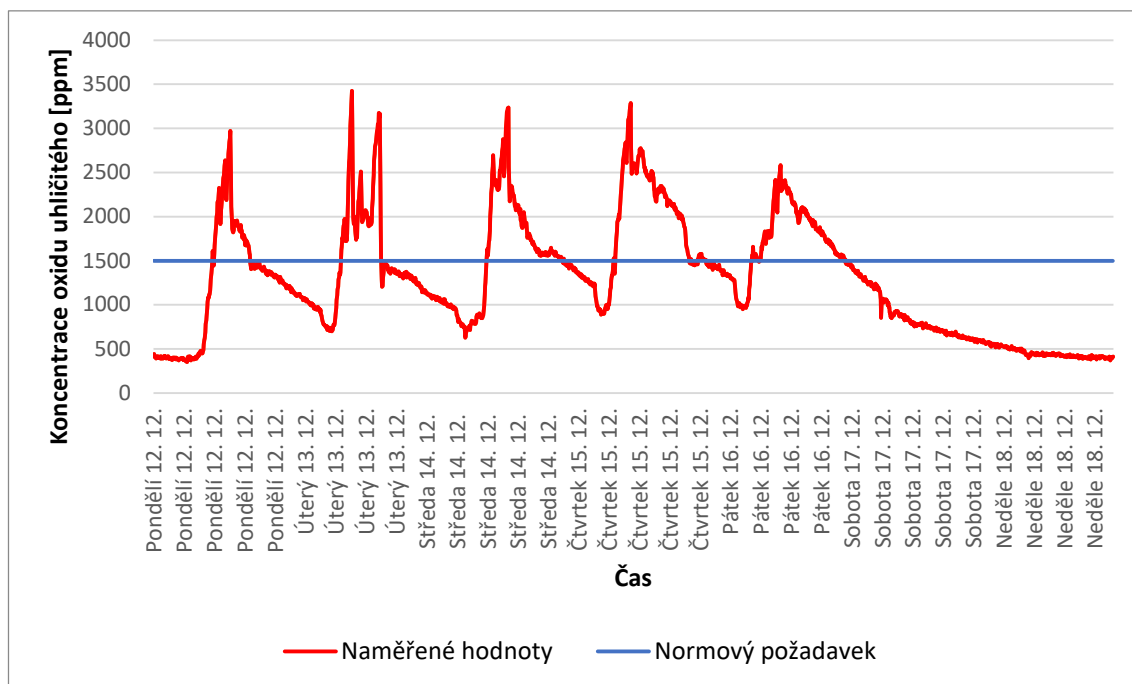
[vlastní zpracování]

Hlavní meteostanicí byl také měřen tlak vzduchu, který se pohyboval v rozmezí 1003 až 1040 mbar (viz graf 6).

Nejnižší naměřená koncentrace oxidu uhličitého byla 354 ppm a byla zaznamenána o víkendu. Nejvyšší hodnota dosáhla v úterý kolem jedenácté hodiny 3428 ppm. Na grafu 7 je dobře zřetelné, že koncentrace CO₂ ve všední dny ráno s příchodem studentů prudce stoupá a během noci postupně klesá. Během pracovního týdne hodnoty pouze výjimečně klesají pod 1000 ppm, a to i v noci. V několika případech byla však během noci všedního dne zachycena i koncentrace 700 ppm. Nižší hodnoty byly naměřeny pouze o víkendu.

Maximální přípustná koncentrace (1500 ppm) je v grafu 7 zvýrazněna modrou čarou. Je zřejmé, že limitní hodnota byla v učebně dodržena pouze v noci a o víkendech. V časech vyučování byla násobně překročena. Průměrná koncentrace oxidu uhličitého byla v čase vyučování 2058 ppm.

Graf 7: Průběh koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 (12. 12. – 18. 12.)

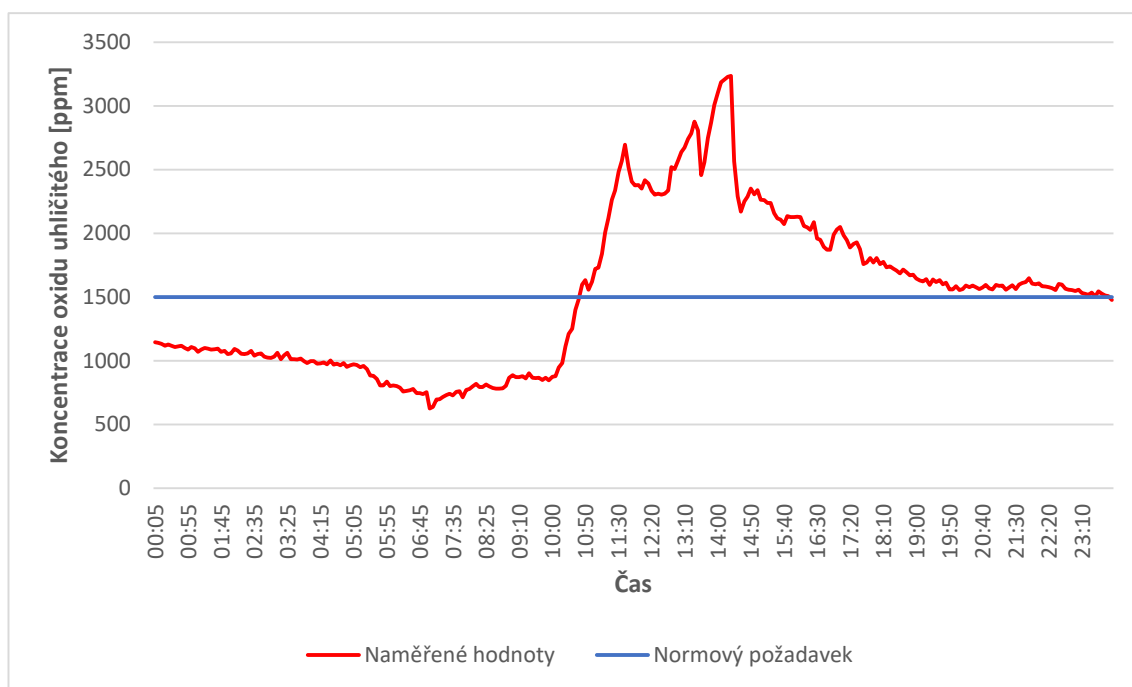


[vlastní zpracování]

B. STŘEDA 14. 12.

V podrobném grafu (č. 8) ze středy 14. 12. můžeme vidět, že zvýšená koncentrace CO₂ koresponduje s obsazeností třídy. V tento den proběhly v učebně dva dvouhodinové bloky výuky – od 10:00 do 11:40 a od 12:45 do 14:20. V 10:00 začala koncentrace oxidu uhličitého prudce stoupat a stoupala až do odchodu studentů v 11:40. Vzhledem k prudkému poklesu v prvních deseti minutách odhaduji, že po odchodu studentů byla v místnosti otevřena okna. Po zbytek pauzy mezi vyučovacími bloky hodnota stagnovala. Od 12:45 křivka opět stoupá. Kolem 13:30 je zřejmý pokles, pravděpodobně byla otevřena okna. Ve 14:22 byla dosažena rekordní hodnota tohoto dne, která činila 3237 ppm. V průběhu odpoledního výukového bloku zřejmě proběhlo další větrání učebny. Po vyučování koncentrace postupně klesala pouze s mírnými výkyvy. Až do půlnoci však neklesla pod požadovanou hodnotu 1500 ppm. V rámci vyučovacích hodin byla tato hodnota dodržena pouze prvních 40 minut výuky.

Graf 8: Průběh koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 dne 14. 12.



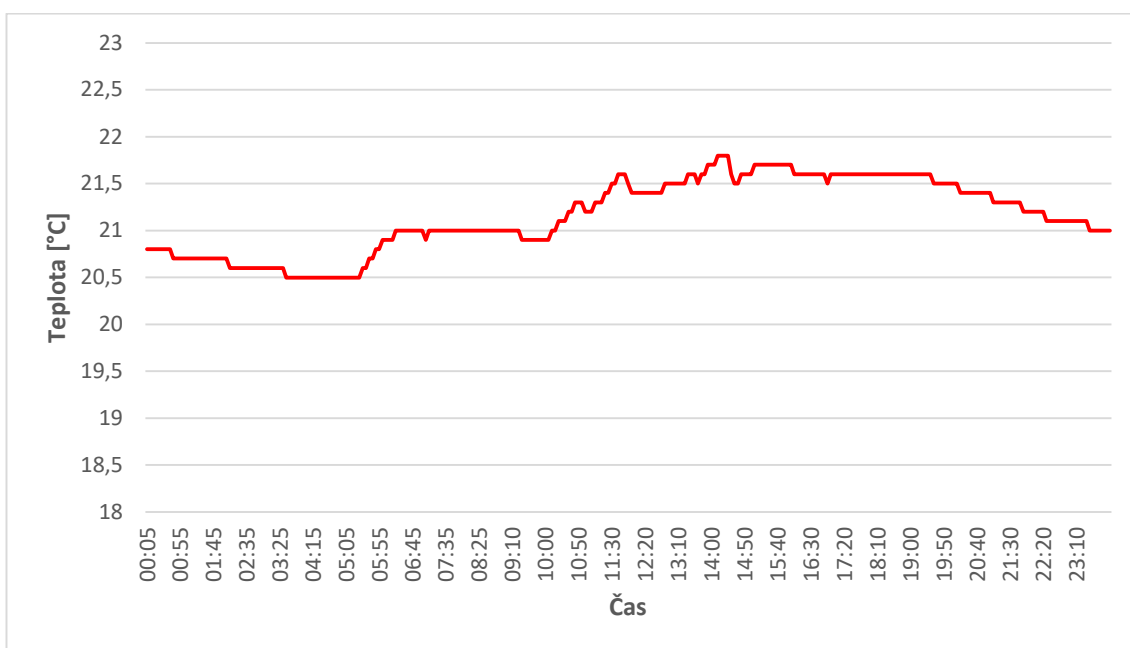
[vlastní zpracování]

V grafech 9 a 10 je znázorněn průběh teploty a relativní vlhkosti ze dne 14. 12. Při porovnání grafů 8, 9 a 10 je zřejmé, že sledované veličiny dosáhly svého denního maxima v podobnou dobu, a to kolem 14:00. Minimální hodnoty

koncentrace CO₂ a relativní vlhkosti korespondují – byly naměřeny kolem 7:00. Nejnižší teplota však byla zaznamenána o něco dříve.

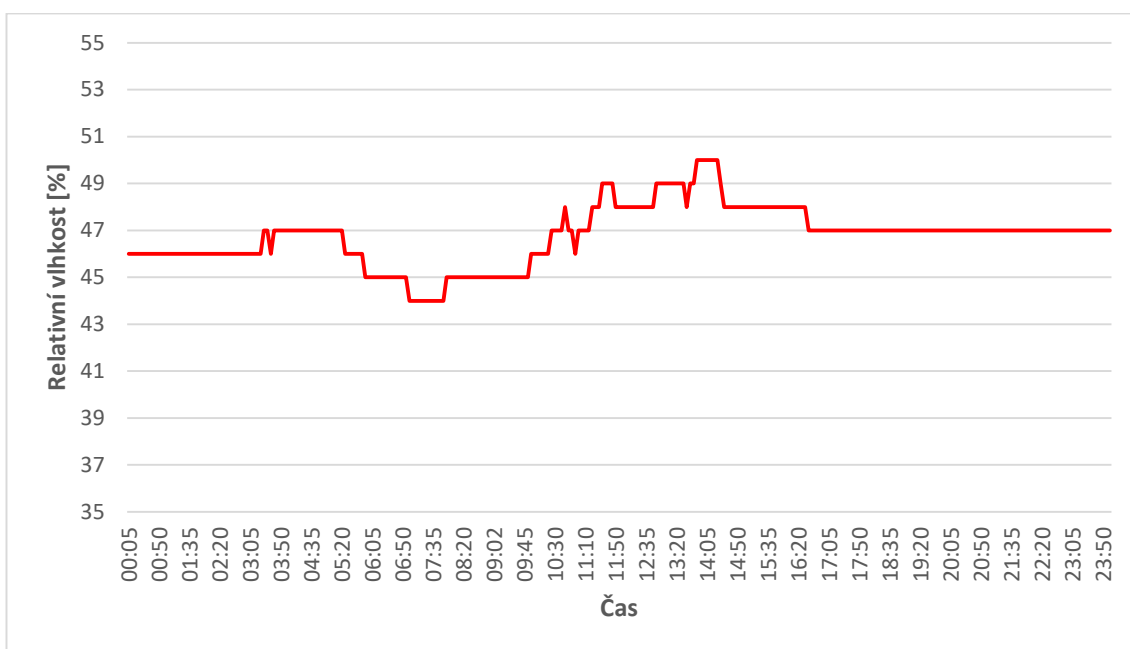
Z průběhu teplot v grafu 9 také lze odhadnout, že se ve třídě topí od 5:30 do 19:00.

Graf 9: Průběh teploty v učebně 1 dne 14. 12.



[vlastní zpracování]

Graf 10: Průběh relativní vlhkosti v učebně 1 dne 14. 12.



[vlastní zpracování]

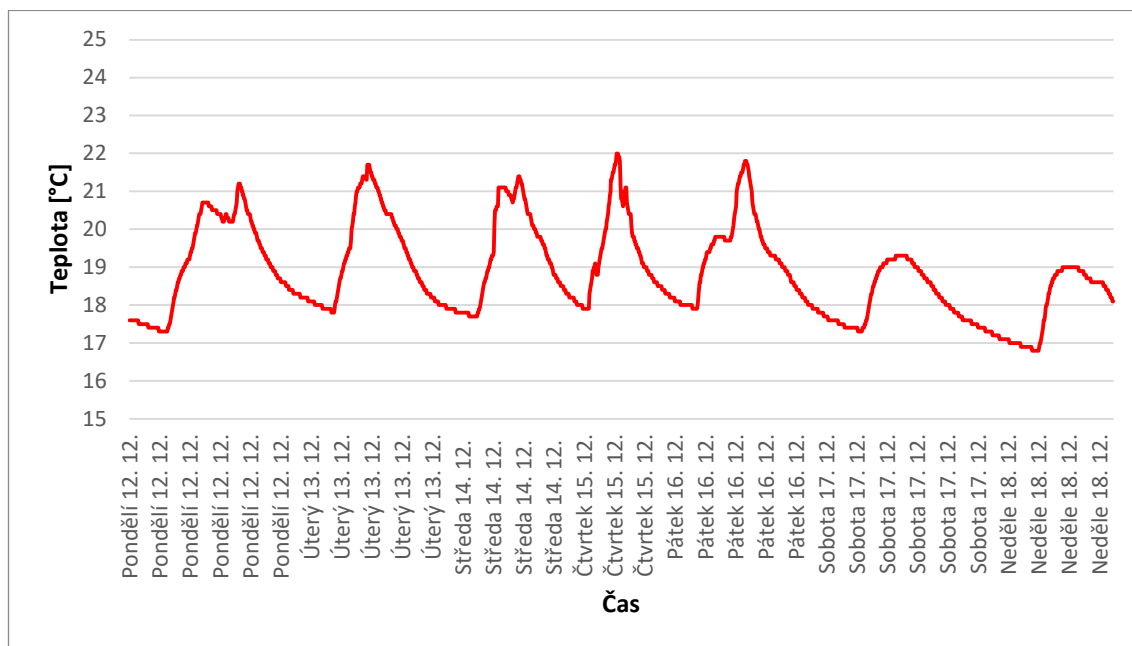
4.2.2 UČEBNA 2

V učebně 2 se každý den vyučuje minimálně šest hodin, vždy od 8:00 do 13:30. Dvakrát za týden probíhá odpolední dvouhodinové vyučování. Třída je tedy velmi vytížena, což se projevilo na výsledcích měření – oproti učebně 1 jsou u všech sledovaných veličin zřejmě větší výkyvy. Se svou vytížeností a kapacitou studentů (32 osob) je však typickým příkladem školní třídy, ve které žáci stráví většinu vyučování.

A. TÝDEN 12. 12.-18. 12.

Teploty v učebně se v týdnu 12. 12. až 18. 12. pohybovaly v rozmezí 16,7 °C až 22 °C. Nejnižší teploty byly naměřeny v noci, v čase vyučování teplota nikdy neklesla pod 19 °C, normové požadavky tedy byly dodrženy (viz kapitola 3.1). Z grafu 11 je zjevné, že teplota každý všední den zhruba v 6:00 začne stoupat a kolem poledne dosáhne svého maxima. Po zbytek dne teplota postupně klesá. V pondělí, ve středu, ve čtvrtek a v pátek jsou na křivce zřetelné mírné poklesy teploty během dne – v těchto momentech nejspíše došlo k otevření oken v učebně.

Graf 11: Průběh teploty v učebně 2 (12. 12. – 18. 12.)

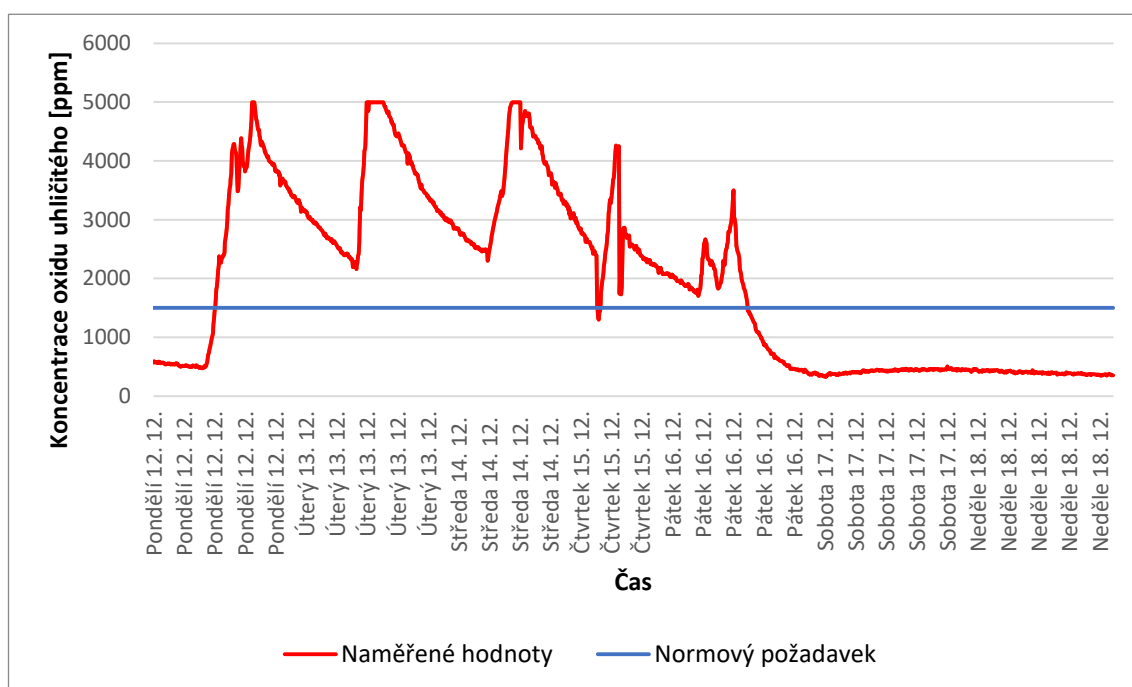


[vlastní zpracování]

V úterý a ve středu si lze všimnout zvláštního tvaru křivky, kdy je po dobu několika hodin zaznamenána stále stejná hodnota – 5000 ppm. Stalo se tak z důvodu, že použitým měřicím přístrojem lze měřit koncentrace pouze do 5000 ppm. V učebně tedy byla překročena nejen limitní normová hodnota, ale také koncentrace 5000 ppm, při které se nedoporučuje dlouhodobý pobyt v dané místnosti (viz kapitola 3.2.1). Tato nebezpečná hodnota byla překročena v pondělí po dobu 30 minut, v úterý po dobu tří hodin a ve středu po dobu hodiny a čtvrt, pokaždé mezi 12:00 až 15:00.

Průměrná koncentrace oxidu uhličitého v čase vyučování byla v učebně 3297 ppm. Reálně však byla ještě vyšší, naměřené hodnoty jsou ovlivněny omezeným rozsahem měřicího přístroje.

Graf 13: Průběh koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 (12. 12. – 18. 12.)



[vlastní zpracování]

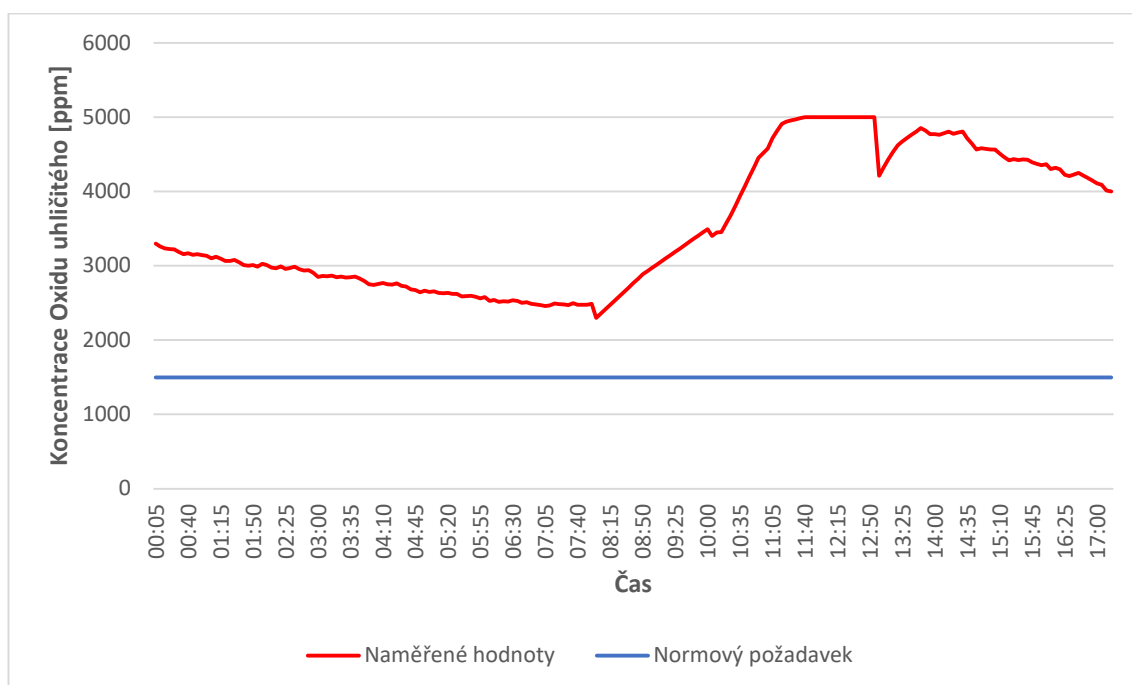
B. STŘEDA 14. 12.

Na grafu 14 můžeme vidět průběh koncentrace oxidu uhličitého ve středu 14. 12. Od půlnoci tohoto dne hodnota rovnoměrně klesala až do 8:00, kdy do třídy začali přicházet studenti. Od 8:00 do 8:05 koncentrace stále klesala, ale výrazně prudčeji – během příchodu žáků byly pravděpodobně otevřené dveře. V 8:05 byla naměřena nejnižší koncentrace CO₂ tohoto dne, která činila 2298 ppm.

Od 8:05 do 10:00 křivka prudce stoupá, poté nastává mírný pokles – během velké přestávky byly pravděpodobně otevřeny dveře. Poté koncentrace opět strmě stoupá až do 11:40, kdy byla dosažena nejvyšší měřitelná hodnota 5000 ppm. Kolem 12:45 byla nejspíše znovu otevřena okna, neboť koncentrace CO₂ poklesla zpátky na měřitelné hodnoty. Do odchodu studentů ve 13:50 hodnoty opět vystoupají až na 4850 ppm.

Po zbytek dne koncentrace klesá, nikdy však neklesne pod normou požadovanou hodnotu 1500 ppm, ba se jí ani nepřiblíží.

Graf 14: Průběh koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 dne 14. 12.

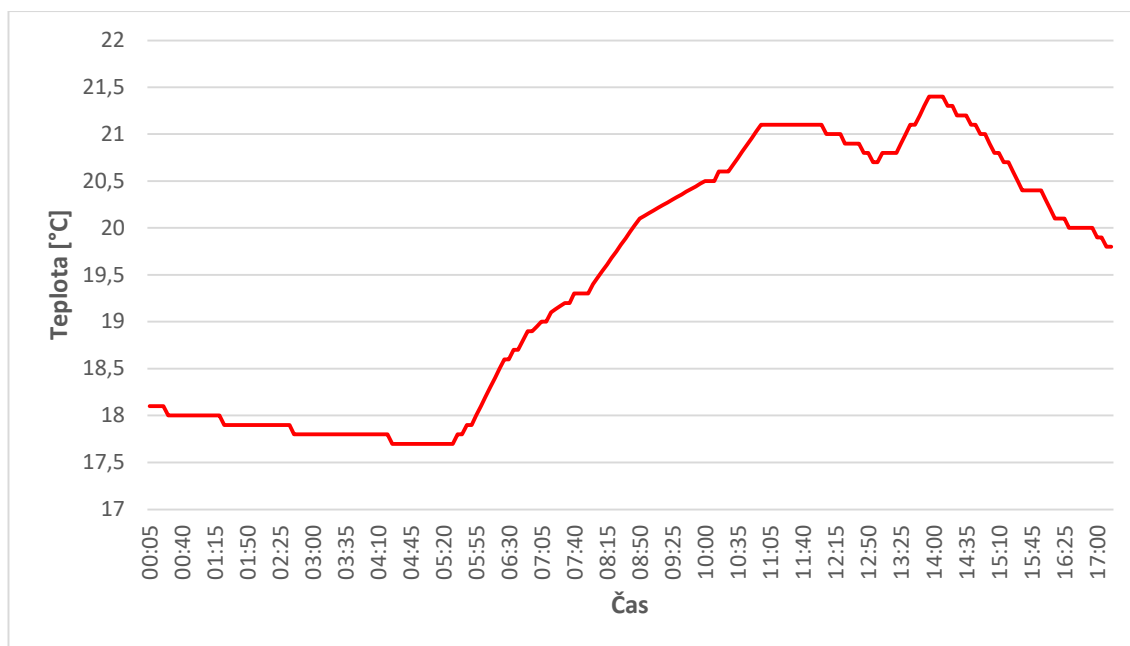


[vlastní zpracování]

Na grafu 15 můžeme vidět průběh teploty v učebně. Z grafu teploty je zřejmé, že se v učebně začíná topit kolem 5:30, neboť v tomto čase začíná teplota stoupat z nočních 18 °C. S příchodem studentů v 8:00 je zřetelný strmý nárůst teploty. Nejvyšší teplota dne (21,4 °C) byla zaznamenána ve 14:00.

Kolem 12:45 je zřejmý pokles teploty, což dokazuje předpoklad, že v tuto dobu byla otevřena okna (viz výše).

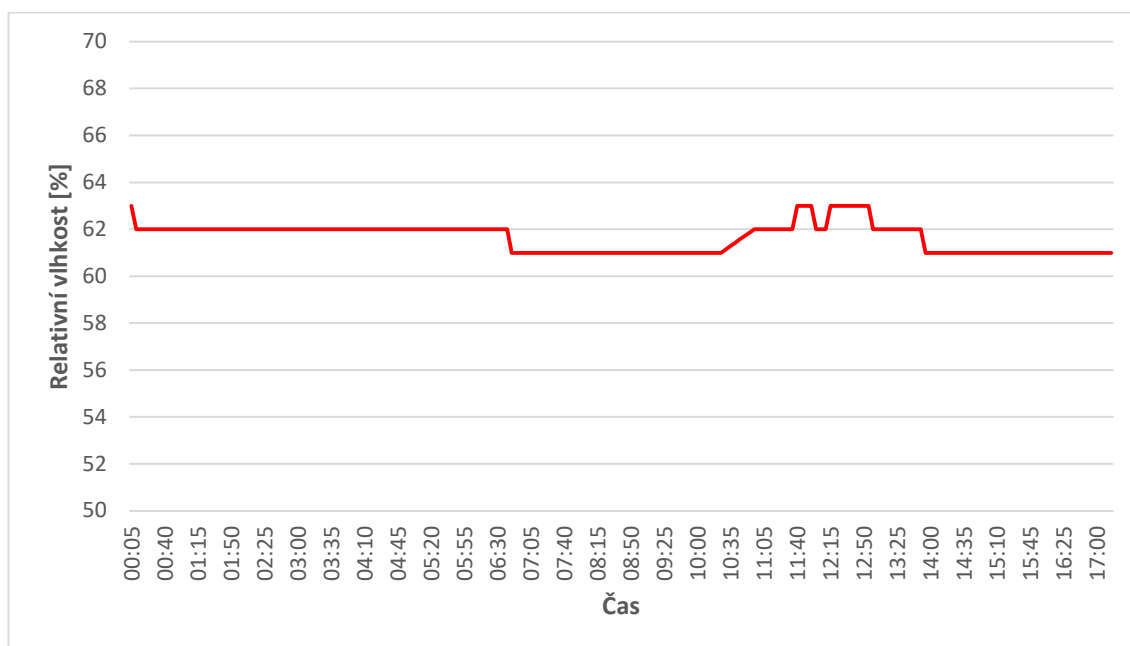
Graf 15: Průběh teploty v učebně 2 dne 14. 12.



[vlastní zpracování]

Graf 16 zobrazuje průběh relativní vlhkosti ve třídě. Tento den nedošlo k žádným velkým výkyvům, hodnota se držela v rozmezí 61-63 %. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v 11:50 a 12:30, což koresponduje s nejvyššími koncentracemi oxidu uhličitého v učebně.

Graf 16: Průběh relativní vlhkosti v učebně 2 dne 14. 12.



[vlastní zpracování]

4.2.3 VÝPOČTY

Přestože se nejvyšší hodnotu koncentrace oxidu uhličitého nepodařilo kvůli omezenému rozsahu měřicího přístroje zaznamenat, lze ji odhadnout výpočtem. Pro výpočet budou použita data ze středy 14. 12. v učebně 2.

A. NEJVYŠŠÍ KONCENTRACE CO₂ PODLE RUČNÍHO VÝPOČTU

Uvažuji, že v 11:40 byla dosažena hodnota 5000 ppm a rovnoměrně rostla až do 12:45, kdy byla otevřena okna. Počet osob v učebně včetně vyučujícího odhaduji na 25. Nejdříve je nutné spočítat produkci CO₂ z vnitřních zdrojů. Produkci CO₂ pro jednu osobu lze spočítat podle vzorce (1). Výška člověka je uvažována jako 170 cm, hmotnost 57 kg – v tuto dobu se ve třídě nacházeli žáci ve věku 15 let a odhaduji poměr dívek a chlapců 50:50. [34] Měrný metabolický tok uvažuji 1 met (pro sezení uvolněné – viz kapitola 3.1).

$$\dot{V}_{CO_2} = 1,742 \cdot H^{0,725} \cdot m^{0,425} \cdot M \text{ [l/h]} \quad (1)$$

\dot{V}_{CO_2} [l/h] ... objem oxidu uhličitého produkovaného jednou osobou

H [m] ... výška člověka

m [kg] ... hmotnost člověka

M [met] ... měrný metabolický tepelný tok

$$\dot{V}_{CO_2} = 1,742 \cdot 1,7^{0,725} \cdot 57^{0,425} \cdot 1 = 14,27 \text{ l/h} = \mathbf{0,01427 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Pro výpočet výsledné koncentrace použijeme rovnici (2).

$$c = \left(\frac{q_{CO_2}}{n \cdot V} \right) * \left(1 - \frac{1}{e^{n \cdot t}} \right) + (c_0 - c_i) * \left(\frac{1}{e^{n \cdot t}} \right) + c_i \quad (2)$$

q_{CO_2} [m³/h] ... množství oxidu uhličitého produkované v místnosti

n [h⁻¹] ... výměna vzduchu v místnosti

V [m³] ... objem místnosti

t [h] ... časový interval

c_0 [m³/m³] ... koncentrace oxidu uhličitého na začátku časového intervalu (t=0)

c_i [m³/m³] ... koncentrace oxidu uhličitého ve větracím vzduchu

c [m^3/m^3] ... koncentrace oxidu uhličitého na konci časového intervalu

[35]

Pro výpočet však ještě potřebujeme znát hodnotu násobnosti výměny vzduchu v místnosti n [h^{-1}], kterou si opět spočteme z rovnice (2). Tentokrát však použijeme interval mezi 1:00 a 2:00, kdy koncentrace oxidu uhličitého klesala z 3131 ppm na 3027 ppm. V noci i v časovém intervalu použitém pro výpočet maximální koncentrace CO_2 byla ve třídě zavřená okna, výměnu vzduchu lze tedy v těchto dvou obdobích uvažovat jako stejnou.

$$n = ? \text{ h}^{-1}$$

$$q_{\text{CO}_2} = 0 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = a * b * h = 8,8 * 6,6 * 3,5 = 203,28 \text{ m}^3$$

a, b [m]...půdorysné rozměry učebny

h [m]...světlná výška učebny

$$t = 1 \text{ h}$$

$$c_0 = 3131 \text{ ppm} = 0,00313 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

$$c = 3027 \text{ ppm} = 0,00303 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

$$c_i = 420 \text{ ppm} = 0,00042 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

$$0,00303 = \left(\frac{0}{n * 203,28} \right) * \left(1 - \frac{1}{e^{n*1}} \right) + (0,00313 - 0,00042) * \left(\frac{1}{e^{n*1}} \right) + 0,00042$$

$$0,00261 = \frac{0,00271}{e^n}$$

$$e^n = \frac{0,00271}{0,00261} = 1,03831$$

$$\mathbf{n = 0,0376 \text{ h}^{-1}}$$

Násobnost výměny vzduchu ve třídě vyšla $0,0376 \text{ h}^{-1}$, takže už známe všechny veličiny potřebné pro výpočet výsledné koncentrace oxidu uhličitého.

$$n = 0,0376 \text{ h}^{-1}$$

$$q_{\text{CO}_2} = 25 * \dot{V}_{\text{CO}_2} = 25 * 0,01427 = 0,35675 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = 203,28 \text{ m}^3$$

$$t = 1,0833 \text{ h}$$

$$c_0 = 5000 \text{ ppm} = 0,005 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

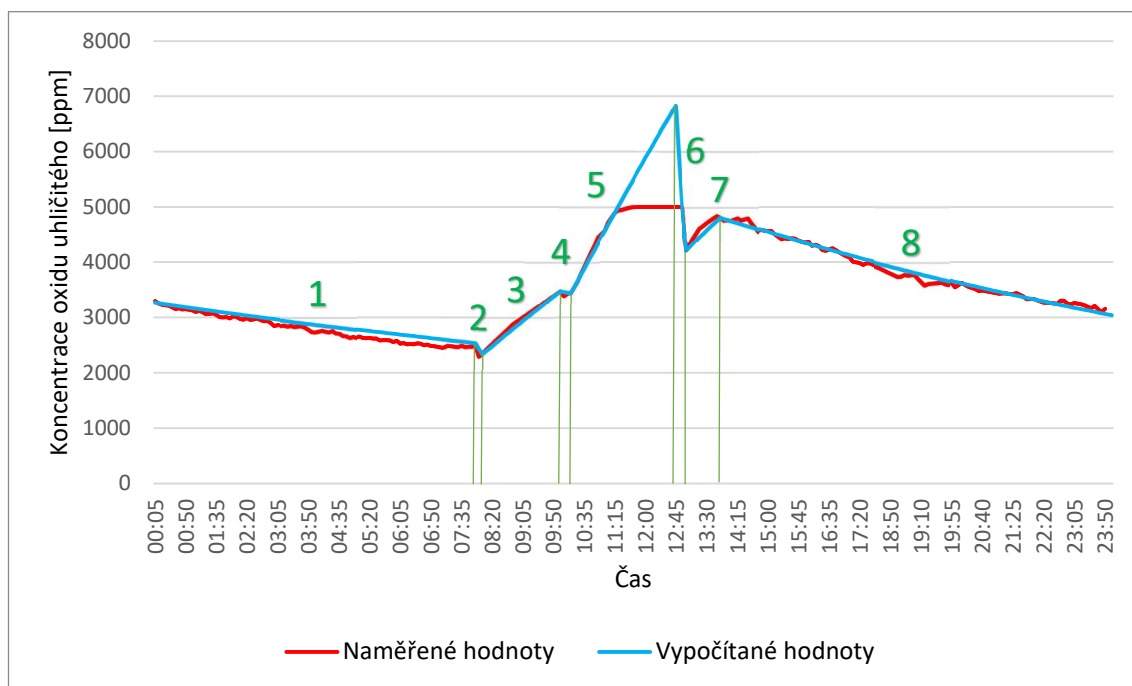
$$c_i = 420 \text{ ppm} = 0,00042 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$c = \left(\frac{0,35675}{0,0376 * 203,28} \right) * \left(1 - \frac{1}{e^{0,0376 * 1,0833}} \right) + (0,005 - 0,00042) * \left(\frac{1}{e^{0,0376 * 1,0833}} \right) + 0,00042 = 0,006680 \text{ m}^3/\text{m}^3 = \mathbf{6680 \text{ ppm}}$$

B. NUMERICKÝ MODEL

Pro získání nejpřesnějších výsledků byl v MS Excel vytvořen numerický model. Výpočet byl opět proveden na principu rovnice (2) a cílem bylo prostřednictvím citlivostní analýzy získat křivku co nejpodobnější křivce naměřených hodnot. Pro účely výpočtu byl den rozdělen do osmi fází, které jsou znázorněny v grafu 17. V každé fázi byla známa buď násobnost výměny vzduchu nebo množství produkovaného oxidu uhličitého vnitřními zdroji a druhá veličina byla dopočítána tak, aby křivka spočítaných hodnot měla stejný sklon jako křivka hodnot naměřených. Ve fázích s neznámým počtem osob byla uvažována násobnost výměny vzduchu $n = 0,0376 \text{ h}^{-1}$, která byla spočítána v odstavci A. Výpočet byl proveden po pěti minutách a výchozí hodnotou byla naměřená koncentrace CO_2 v 00:00 (3276 ppm).

Graf 17: Průběh koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 dne 14. 12



[vlastní zpracování]

- *Fáze 1 (00:00-08:00)*

Produkce CO₂ z vnitřních zdrojů: $q_{CO_2} = 0 \text{ m}^3/\text{h}$

Násobnost výměny vzduchu: $n = 0,0376 \text{ h}^{-1}$

Během první fáze se v učebně nikdo nenacházel a koncentrace CO₂ postupně klesala. Násobnost výměny vzduchu zde byla uvažována $n = 0,0376 \text{ h}^{-1}$, což je shodné s hodnotou použitou v ručním výpočtu (viz výše). Křivka naměřených a vypočítaných hodnot je v této fázi téměř shodná, což je důkazem, že výpočet v odstavci A byl proveden správně. Fáze končí v 8:00 s příchodem studentů do učebny.

- *Fáze 2 (08:00-08:05)*

Produkce CO₂ z vnitřních zdrojů: $q_{CO_2} = 0,1411 \text{ m}^3/\text{h}$

Násobnost výměny vzduchu: $n = 0,9405 \text{ h}^{-1}$

Ve fázi 2 je na křivce zřejmý pokles. Počet osob (a tedy i objem produkovaného CO₂) byl uvažován stejný jako ve fázi 3. Výměna vzduchu byla vyšší než v předchozí fázi, což mohlo způsobit otevření dveří po dobu příchodu studentů.

- *Fáze 3 (08:05-10:00)*

Produkce CO₂ z vnitřních zdrojů: $q_{CO_2} = 0,1411 \text{ m}^3/\text{h}$

Násobnost výměny vzduchu: $n = 0,0376 \text{ h}^{-1}$

Ve třetí fázi byla výměna vzduchu opět uvažována $0,0376 \text{ h}^{-1}$. Dopočítaný objem produkovaného CO₂ vyšel na $0,1411 \text{ m}^3/\text{h}$. Pokud jedna osoba produkuje objem oxidu uhličitého $0,01457 \text{ m}^3/\text{h}$ (jak bylo spočítáno ze vzorce (1) v odstavci A), vychází nám, že se v učebně nacházelo deset osob. Deset žáků se jeví jako nízký počet vzhledem ke kapacitě učebny (v odstavci A bylo uvažováno s 25 osobami v učebně). Výpočet objemu CO₂ produkovaného jednou osobou byl proveden pouze na základě odhadu tělesných proporcí lidí v učebně, může být tedy nepřesný a reálný počet studentů mohl být o něco vyšší.

- *Fáze 4 (10:00-10:15)*

Produkce CO₂ z vnitřních zdrojů: $q_{CO_2} = 0,1411 \text{ m}^3/\text{h}$

Násobnost výměny vzduchu: $n = 0,2773 \text{ h}^{-1}$

Čtvrtá fáze probíhala během velké přestávky. Na křivce je v této fázi zřejmý mírný pokles, výměna vzduchu tedy o něco vzrostla. O přestávce byly pravděpodobně otevřeny dveře nebo malé okno. Objem produkovaného CO₂ je uvažován stejný jako ve fázi 3.

- *Fáze 5 (10:15-12:45)*

Produkce CO₂ z vnitřních zdrojů: $q_{CO_2} = 0,3018 \text{ m}^3/\text{h}$

Násobnost výměny vzduchu: $n = 0,0376 \text{ h}^{-1}$

V této fázi je křivka strmější, z čehož lze usoudit, že vzrostl objem produkovaného CO₂, tedy počet osob. Pokud budeme opět pro jednu osobu uvažovat 0,01457 m³ CO₂ za hodinu, zjistíme, že se v učebně nacházelo 21 osob. Pro získání předpokládaného průběhu v druhé polovině byly po celou dobu této fáze uvažovány stejné podmínky. Z tohoto odhadu vychází, že nejvyšší dosažená koncentrace oxidu uhličitého činila v tento den **6826 ppm**.

- *Fáze 6 (12:45-13:00)*

Produkce CO₂ z vnitřních zdrojů: $q_{CO_2} = 0,3018 \text{ m}^3/\text{h}$

Násobnost výměny vzduchu: $n = 2,4043 \text{ h}^{-1}$

Ve fázi 6 došlo k velkému poklesu koncentrace CO₂, musela tedy být otevřena velká okna. Počet osob je uvažován shodný s fází 5.

- *Fáze 7 (13:00-13:50)*

Produkce CO₂ z vnitřních zdrojů: $q_{CO_2} = 0,1794 \text{ m}^3/\text{h}$

Násobnost výměny vzduchu: $n = 0,0376 \text{ h}^{-1}$

Po zavření oken začala koncentrace CO₂ opět stoupat, ne však tak prudce jako ve fázi 5. Podle vypočítané produkce oxidu uhličitého lze odhadnout, že se v učebně nacházelo 18 osob.

- **Fáze 8 (13:50-00:00)**

Produkce CO₂ z vnitřních zdrojů: $q_{CO_2} = 0 \text{ m}^3/\text{h}$

Násobnost výměny vzduchu: $n = 0,0539 \text{ h}^{-1}$

Během osmé fáze byla třída opět prázdná a na křivce je zřejmý pokles. Dalo by se předpokládat, že výměna vzduchu bude v této fázi stejná jako ve fázi 1, vyšla však o něco vyšší. To mohlo způsobit například nedůsledné zavření dveří nebo vyšší rychlost větru.

C. DOPORUČENÁ VÝMĚNA VZDUCHU

Z rovnice (2) můžeme také spočítat, jaká minimální výměna vzduchu by musela být v učebně 2, aby koncentrace oxidu uhličitého ani po šesti hodinách výuky (při plné obsazenosti – 32 žáků) nepřesáhla normovou hodnotu 1500 ppm. Jako výchozí koncentraci CO₂ uvažují 500 ppm – na tuto hodnotu koncentrace klesla přes víkend.

$$n = ? \text{ h}^{-1}$$

$$q_{CO_2} = 0,01427 * 32 = 0,4566 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = 203,28 \text{ m}^3$$

$$t = 6 \text{ h}$$

$$c_0 = 500 \text{ ppm} = 0,0005 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$c = 1500 \text{ ppm} = 0,0015 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$c_i = 420 \text{ ppm} = 0,00042 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$0,0015 = \left(\frac{0,4566}{n * 203,28} \right) * \left(1 - \frac{1}{e^{n*6}} \right) + (0,0005 - 0,00042) * \left(\frac{1}{e^{n*6}} \right) + 0,00042$$

$$0,00108 = \frac{0,4566}{n * 203,28} - \frac{0,4566}{203,28 * n * e^{n*6}} + \frac{0,00008}{e^{n*6}}$$

$$0,00108 = \frac{0,4566 * e^{n*6} - 0,4566 + 0,1626 * n}{203,28 * n * e^{n*6}}$$

$$n = 2,079 \text{ h}^{-1}$$

Pro dodržení normou stanovené hodnoty 1500 ppm by bylo ve třídě 2 nutné zajistit výměnu vzduchu $2,079 \text{ h}^{-1}$, což je více než padesátinásobek současné výměny vzduchu ($0,0376 \text{ h}^{-1}$), která byla spočtena v odstavci A. Při objemu místnosti $203,28 \text{ m}^3$ by bylo pro dosažení takové výměny vzduchu nutné přivádět do třídy $422,62 \text{ m}^3$ vzduchu za hodinu.

4.3 ZÁVĚR

Výsledky měření celkově hodnotím jako alarmující, dosavadní způsob větrání (přirozené otevíráním oken) se ukázal jako nedostatečný. Teplota a relativní vlhkost se po celou dobu měření pohybovaly v normou stanovených mezích, extrémních hodnot však dosáhla koncentrace oxidu uhličitého. Podstatně hůře dopadla učebna 2, kde se nejvyšší dosažená hodnota nacházela mimo měřitelný rozsah 0 až 5000 ppm. V učebně 1 byly hodnoty znatelně nižší (většinou se držely pod 4000 ppm), tento typ třídy je však ve škole spíše výjimkou, většina tříd je podobná učebně 2. Takto vysoké koncentrace CO_2 musí mít na studenty i učitele výrazný vliv (podrobněji popsáno v kapitole 3.2.1), je proto s podivem, že větrání učeben není na této škole větším tématem.

Pomocí výpočtu se podařilo odhadnout nejvyšší dosaženou koncentraci oxidu uhličitého ve vybraný den. Výpočet byl proveden dvěma způsoby. Nejprve ručním výpočtem – výsledkem bylo 6680 ppm. Z numerického modelu v MS Excel byla získána koncentrace 6826 ppm. Bylo tedy prokázáno, že koncentrace oxidu uhličitého ve třídě přesáhla čtyřnásobek normou stanovené hodnoty. Spočtena byla také výměna vzduchu, kterou by bylo potřeba zajistit, aby koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 nepřesáhla 1500 ppm – výsledkem byla hodnota $2,079 \text{ h}^{-1}$, což odpovídá množství přiváděného vzduchu $422,62 \text{ m}^3/\text{h}$.

Na závěr je důležité poznamenat, že měření probíhalo v zimním období, kdy se podle slov vyučujících okna otevírají výrazně méně než v létě. Hlavními důvody jsou finanční úspora plynoucí z nižších tepelných ztrát a obavy o zdraví studentů.

V. VĚTRÁNÍ ŠKOL

V minulých kapitolách byl ukázán význam kvality ovzduší a celkově vnitřního prostředí ve školách. Tato část bude věnována základnímu prostředku k zajištění požadované kvality ovzduší – větrání. Základním principem větrání je přívod čerstvého (venkovního) vzduchu do vnitřních prostor a odvod vzduchu znehodnoceného. [1]

5.1 HISTORIE VĚTRÁNÍ ŠKOL

Problematika větrání škol není, jak by se mohlo zdát, tématem pouze poslední doby. Již na přelomu 17. a 18. století byl v jezuitských dokumentech v rámci pokynů pro vyučující zmíněn základní princip větrání učeben. Pro bdělost žáků bylo doporučeno o přestávce třídu vyvětrat otevřenými okny a děti rozpohybovat na chodbě. [1]

Ve sbírce Zákony a nařízení u věcech obecného školství na ten čas platné v království Českém z roku 1878 je větrání věnována jedna kapitola. Tato publikace také doporučuje po vyučování třídu provětrat otevřenými dveřmi a okny, klade však důraz i na stálý průtok vzduchu místností. V otopném období by měla výměnu vzduchu zajišťovat plášťová kamna (viz níže) umístěná v učebně. Spalováním vznikal podtlak, díky kterému byl nasáván čerstvý vzduch. Ventilací otvory kamen měly být také opatřeny šoupátky nebo klapkami, které umožňovaly regulaci. V teplejších obdobích, kdy se v učebnách netopilo, bylo větrání zajištěno okny. Zdůrazněn byl fakt, že větrací otvory by měly být umístěny na protějších stranách místnosti. [36]

Zajímavé je, že už v knize Die Gesundheitspflege in der Mittelschule vydané ve Vídni roku 1887, je kladen velký důraz na koncentrace oxidu uhličitého. Je zde popsáno několik měření, ze kterých vychází, že koncentrace CO₂ ve třídách převyšovala hygieniky doporučené hodnoty. Autor upozorňuje na to, že se školy o kvalitu ovzduší málo zajímají a neotevírají okna dostatečně často. Poznatky o oxidu uhličitém jsou v podstatě stále aktuální, některé části publikace však dnes působí až úsměvným dojmem. Mezi škodlivinami ve vnitřním prostředí jsou zmíněny například exhaláty ze zkažených zubů, kterých údajně tehdejší žactvo mělo nadbytek. [37]

V roce 1895 vyšel v týdeníku Beseda učitelská článek O větrání školních místností od Linharta Bergmanna, který reaguje na oběžník zemské rady školní. V oběžníku bylo oznámeno, že větrání učeben je nedostatečné a doporučuje se tomuto tématu věnovat. Jako hlavní důvod je v článku uvedeno používání nekvalitních kamen, která místnost nevytopí, a učitelé poté nechtějí otevírat okna, aby teplotu v učebně ještě nesnížili. Zmíněny jsou však i školy, na kterých se nevětrá ani v létě, což je slovy autora k neuvěření. Škola by podle něj měla jít příkladem a naučit děti, že větrání je důležité. V článku se objevil i následující apel na vyučující:

„Či snad by i učitel věřil předsudku, že výpary z dětí jsou zdravé? Což vydychuje dítě něco jiného než kyselinu uhličitou? A co jiných výparů, plynů, prachu a zárodků všelikých nemocí za jediný den ve škole se nashromáždí! To že by bylo zdravé? A kdyby nám nehrozilo přímé nebezpečení nějaké nákazy (krtičnatosti, tuberkulosy), jest přece naší povinností, abychom před nebezpečstvím takovým svěřené nám dítky chránili.“

Tuberkulóza ani krtičnatost už dnes není tak velkým rizikem, princip tohoto citátu je však aplikovatelný v současnosti. [38]

V příručce Ventilace a topení škol z roku 1898 od Františka Srbka je podrobně popsáno několik možností větrání tříd. Nejčastěji se ve třídách topilo kachlovými nebo železnými kamny, avšak bez potrubí pro přívod vzduchu – do místnosti pronikal pouze infiltrací, což autor považuje za nevhodné. Dále popisuje systém plášťových neboli ventilačních kamen, které byly doporučeny ve výše zmíněné sbírce zákonů z roku 1878. Mezi plášť a kamna se přivádí čerstvý vzduch zvenku kanály vedenými v podlaze a po ohřátí proudí do místností. Jako nevýhoda tohoto řešení je zmíněno zanášení potrubí v podlaze, které také může sloužit jako úkryt hlodavcům. Zajímavý je způsob ventilace prostřednictvím otopných těles na páru o nízkém tlaku zabudovaných do okenních parapetů, přičemž vzduch proudí zvenku kanálem s otočnou klapkou. Je zde také zmínka o měření koncentrace CO₂ – jako zdravé jsou zde označeny hodnoty do 1,5 ‰ (1500 ppm), v některých školách však údajně přesahují i 8 ‰ (8000 ppm). [39]

Gustav Kabrhel, český lékař a hygienik, ve své publikaci Větrání a vytápění škol z roku 1903 zmiňuje dokonce konkrétní množství vzduchu, které by do třídy mělo

být přiváděno. Na průměrného školáka uvádí 20 m³/h, pro menší žáky by mělo stačit 15 m³/h, ve třídách s dospělými žáky doporučuje 25 m³/h, což odpovídá hodnotám používaným dnes. Je zde také podrobně popsán systém vzduchového vytápění, které slučuje vytápění s ventilací. Nejprve byl čerstvý vzduch průduchy přiveden do čistící komory, kde byl filtračními rámy zbaven nečistot. Dále putoval do topných komor (obvykle umístěny ve sklepě), kde byl ohříván kalorifery (šamotem vyzděné pece), případně i zvlhčen. Poté byl vzduch rozveden do jednotlivých tříd. Odpadní vzduch byl odváděn speciálními průduchy u podlahy, odkud putoval nad střechem nebo byl veden svislými průduchy ke společnému sacímu komínu. [40]

Je tedy zřejmé, že důležitost větrání (nejen) učeben si lidé uvědomovali už před více než sto lety. Už v této době naši předci věděli, že přirozené větrání je často nevyhovující a pro dostatečnou kvalitu vnitřního prostředí je třeba navrhnout sofistikovaný větrací systém. Nutno podotknout, že k tomuto závěru došli dlouho před vynálezem plastových oken s téměř dokonalým těsněním, která situaci ještě zhoršila. Velký důraz byl také kladen na propojení větrání s vytápěním. [1] Závěrem budiž uveden citát výše zmiňovaného Linharta Bergmanna, který shrnuje poselství této práce: „Čistý vzduch jest Boží duch.“ [38]

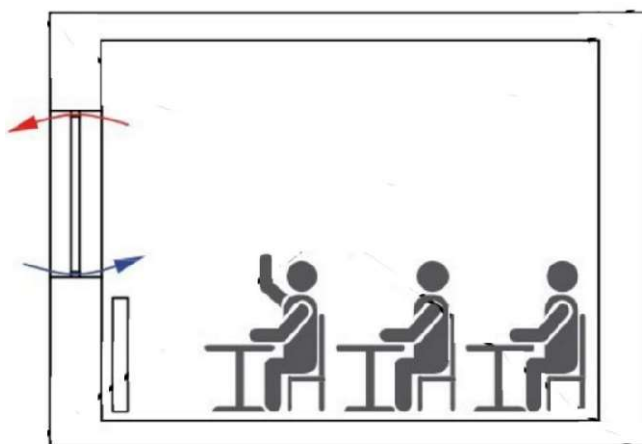
5.2 ZPŮSOBY VĚTRÁNÍ ŠKOL

5.2.1 PŘIROZENÉ VĚTRÁNÍ

U přirozeného větrání dochází k výměně vzduchu v budově vlivem tlakového rozdílu. Tlakový rozdíl je vyvolán účinkem přírodních sil, které vznikají dvěma způsoby: rozdílem teplot uvnitř a vně budovy nebo dynamickým tlakem větru, který vzniká v důsledku silového působení na budovu. [6] Působení zdrojů pohybu vzduchu je tedy nahodilé a zajištění stálého průtoku venkovního vzduchu je téměř nemožné. Velkou nevýhodou je také nemožnost filtrace a ohřevu přiváděného vzduchu. Vzduch je ohříván až uvnitř místnosti otopnou soustavou, což může být zejména v zimním období velkým zdrojem diskomfortu. Přirozené větrání se pro školy obecně nedoporučuje. [1]

A. INFILTRACE

Při větrání infiltrací dochází k výměně vzduchu vlivem netěsností stavebních konstrukcí (spáry oken nebo dveří). [6] Použitím dnes velmi populárních plastových oken se však stává použití přirozeného větrání infiltrací nemožným, a to kvůli jejich důkladnému těsnění. V zimním období může také docházet ke kondenzaci vodních par na vnitřním povrchu nedostatečně tepelně izolovaných obvodových konstrukcí, což vede k jejich navlhání a následné tvorbě plísní. [1]



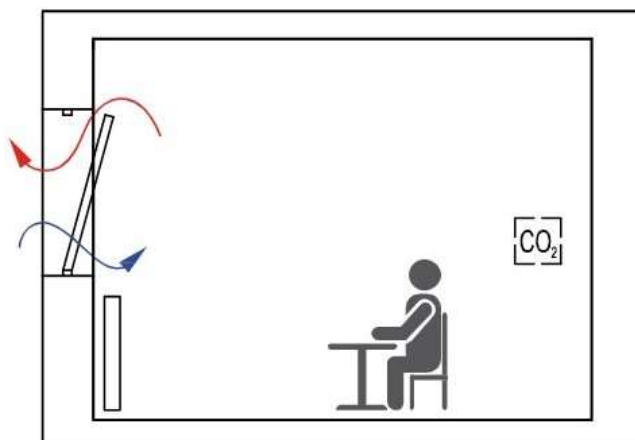
Obrázek 5: Infiltrace [1]

B. PROVĚTRÁVÁNÍ

Provětrávání je způsob větrání prostřednictvím občasného otevírání oken. [1] Tento způsob patří v současnosti v českých učebnách k nejčastějším. Provětrávání velmi závisí na chování uživatelů (v případě škol učitelů, popř. žáků) – okna bývají otevřena v momentě, kdy se uživatel začne cítit nekomfortně. Intenzita větrání tedy závisí na subjektivním názoru, což není spolehlivé. Pro lepší funkčnost tohoto systému lze v místnosti nainstalovat čidla CO₂, které při překročení požadované koncentrace signalizují nutnost vyvětrání. [33] Čidla lze také napojit na mechanické otevírání oken, takže při zhoršení kvality ovzduší dojde automaticky k vyvětrání. [1]

Provětrávání je zpravidla provozováno jen po omezenou dobu, nesplňuje tedy požadavek na trvalé větrání a zejména v zimním období nedokáže zajistit dostatečnou kvalitu vnitřního ovzduší. [41] Nevýhodou je také vliv rušivých prvků z okolního prostředí při otevření oken v místnosti – např. ve škole analyzované

v této práci směřuje většina oken v učebnách na rušnou ulici, což výrazně omezuje možnost provětrávání během vyučovacích hodin.



Obrázek 6: Provětrávání ručně otevíratelnými okny [1]

5.2.2 NUCENÉ VĚTRÁNÍ

V případě nuceného větrání je proudění vzduchu vyvoláno mechanicky ventilátorem, který je součástí vzduchotechnické jednotky nebo strojovny. Systém nuceného větrání umožňuje výměnu vzduchu v prostoru, úpravu přírodního vzduchu (filtraci, ohřev, chlazení, vlhčení, ...), řízení tlakových poměrů v budově a zpětné využití tepla. [6]

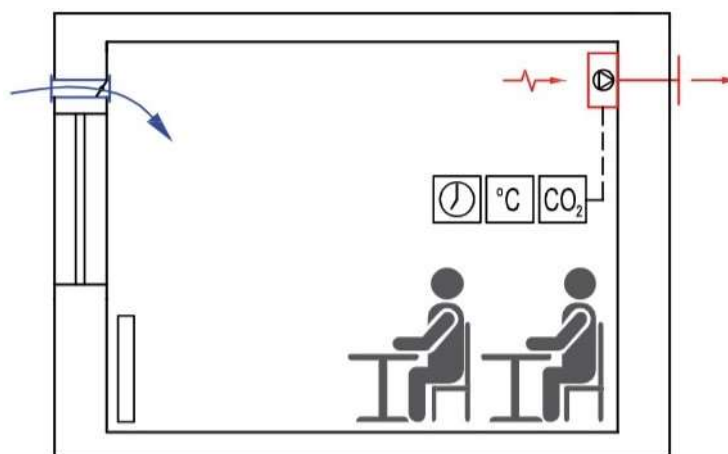
Nucené větrání lze podle poměru průtoků přiváděného vzduchu V_p [m^3/h] a vzduchu odváděného V_o [m^3/h] rozdělit následujícím způsobem:

A. PODTLAKOVÉ VĚTRÁNÍ ($V_o > V_p$)

V tomto systému je ventilátorem zajištěn odvod vzduchu a vlivem podtlaku (přísávání) je venkovní vzduch přiváděn větracími otvory, které jsou zabudovány do vnější stěny budovy. Variantou je přívod vzduchu pomocí ventilátoru s nižším průtokem vzduchu než u ventilátoru, který vzduch odvádí. Varianta se dvěma ventilátory je vhodná zejména v případě, kdy v místnosti vznikají znečišťující látky (např. šatny nebo hygienické zázemí) – zamezí se jejich šíření do sousedního prostoru.

Nevýhodou podtlakového větrání je riziko narušení tepelné pohody v zimním období, zejména v okolí otvorů pro přívod vzduchu. Použitím varianty se dvěma ventilátory však lze toto riziko minimalizovat – vzduch přiváděný ventilátorem je

zpravidla ohříván. Dalším negativem je fakt, že sání nuceného podtlakového větrání je nutné provést v místech s dostatečnou kvalitou venkovního vzduchu. Sání tedy nelze realizovat např. u frekventované silnice, kde je vzduch znehodnocen exhalacemi z dopravy, pachy a prachem, a hrozí zde také narušování akustické pohody. [41]



Obrázek 7: Podtlakové větrání s odsáváním lokálním ventilátorem [1]

B. ROVNOTLAKÉ VĚTRÁNÍ ($V_o = V_p$)

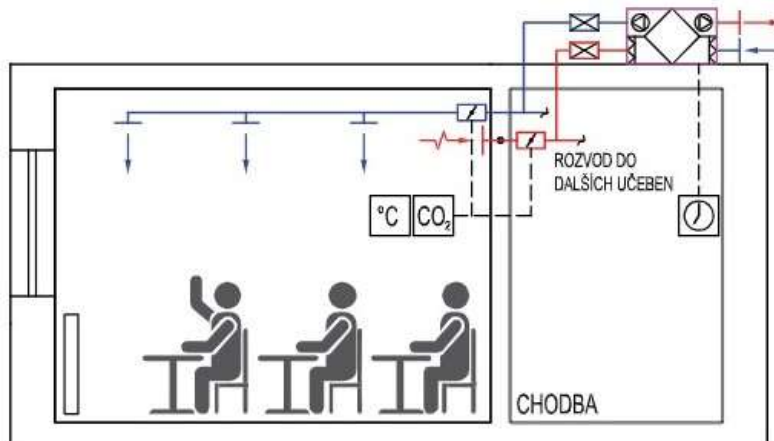
Nucené rovnolaké větrání je systém, ve kterém je zajištěn nucený přívod i odvod vzduchu, a v místnosti je shodný průtok přívodního a odváděného vzduchu. [6] Pro větrání slouží větrací jednotka, která má následující části: ventilátory, filtry, výměník zpětného získávání tepla, popř. ohříváč. Ve výměníku zpětného získávání tepla dochází k přehřevu venkovního vzduchu, případný dohřev zajistí otopná soustava přímo v místnosti. [41]

Hlavní nevýhodou tohoto systému je finanční náročnost a nutnost pravidelné údržby a servisu. [1] Rovnotlaké větrání však poskytuje rovnoměrné provětrání prostoru a vyšší kvalitu větrání než v případě podtlakového větrání. Velkou výhodou je také možnost zpětného získávání tepla. [41]

B.1 CENTRÁLNÍ SYSTÉM

Větrání učeben zajišťuje společná jednotka, ze které je do jednotlivých místností rozvedeno potrubí pro přívod a odtah vzduchu. Jednou z hlavních výhod centrálního systému je cena – při přepočtu ceny jednotky na počet učeben vychází levněji než systém lokální. Tento systém je také výhodný z hlediska

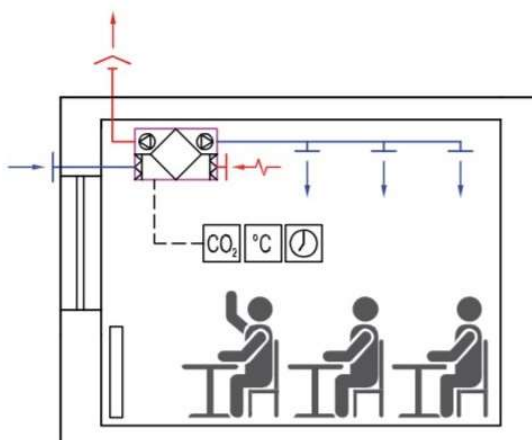
akustiky, neboť jednotka je umístěna ve strojovně nebo na střeše budovy, kde nikoho nevyrušuje. Nevýhodou jsou poté poměrně rozsáhlé stavební práce, které je nutné pro umístění rozvodů provést. [42]



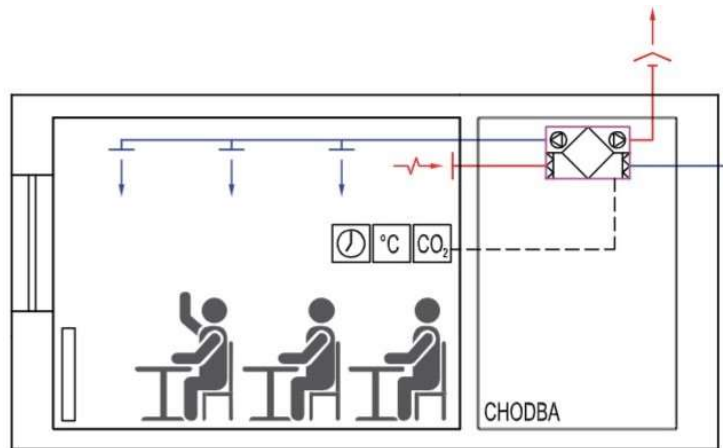
Obrázek 8: Nucené větrání s centrální jednotkou [1]

B.2 LOKÁLNÍ SYSTÉM (decentrální)

Při použití lokálního systému se jednotlivé jednotky umísťují přímo do místností, v případě škol do učeben. Jedna jednotka zpravidla slouží k větrání jedné místnosti. [1] Hlavním přínosem je menší objem stavebních prací, potrubní rozvody jsou v tomto případě krátké. U lokálních jednotek je také oproti centrálním snazší regulace. [42] Nevýhodou může být narušování akustické pohody v místnosti, lokální jednotky však bývají opatřeny výkonnými tlumiči hluku. Tento problém lze také vyřešit použitím zvukoizolačních zákrytů nebo umístěním jednotky mimo učebnu, např. na chodbu. [1]



Obrázek 9: Nucené větrání s lokální jednotkou v učebně [1]



Obrázek 10: Nucené větrání s lokální jednotkou vně učebny [1]

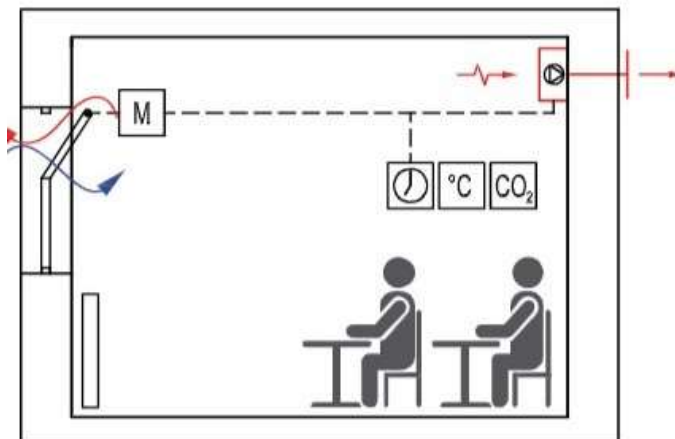
C. PŘETLAKOVÉ VĚTRÁNÍ ($V_o < V_p$)

U přetlakového větrání se do místnosti přivádí vzduch o větším průtoku, než je průtok vzduchu odváděného. Odvod vzduchu je buď přirozený nebo nucený. Přívod je kontrolovaný a umožňuje ohřev i filtraci vzduchu. Velkou výhodou tohoto systému je zamezení pronikání znečištěného vzduchu z okolí netěsnostmi. [6] Využívá se proto k větrání chráněných únikových cest nebo čistých prostor. [43] [44] Ve školních učebnách není tento systém běžný.

5.2.3 HYBRIDNÍ VĚTRÁNÍ

Hybridní větrání kombinuje přirozené a nucené větrání – dochází ke spojení účinků přirozených vztakových sil a síly mechanické. Provozní režimy přirozeného a nuceného větrání se střídají tak, aby byla dodržena minimální výměna vzduchu v místnosti. Pokud není přirozený tlakový rozdíl dostatečný, spustí se ventilátor a systém funguje jako podtlakový. Systém je většinou regulován čidly CO_2 a jeho součástí jsou často okna otevíraná mechanicky servopohonem. [1]

Hlavní výhodou hybridního větrání je zajištění kvalitnějšího větrání než u přirozeného a minimální finanční náročnost. Nevýhodou je nemožnost úpravy přiváděného vzduchu. [44]



Obrázek 11: Hybridní větrání s mechanicky otevíratelnými okny [1]

5.3 PŘÍKLADY ŘEŠENÍ Z PRAXE

- *ZŠ Pačejov (ČR)*

Na základní škole v Pačejově byl zvolen systém nuceného větrání s lokálními jednotkami umístěnými nastojato ve třídě. Distribuci vzduchu zajišťuje textilní vyústka zavěšená pod stropem. Podobný systém je navržen i v analyzované škole – viz níže.



Obrázek 12: Textilní vyústka s dvojitým zavěšením [archiv Příhoda s.r.o.]

- *Endrupskolen (Dánsko)*

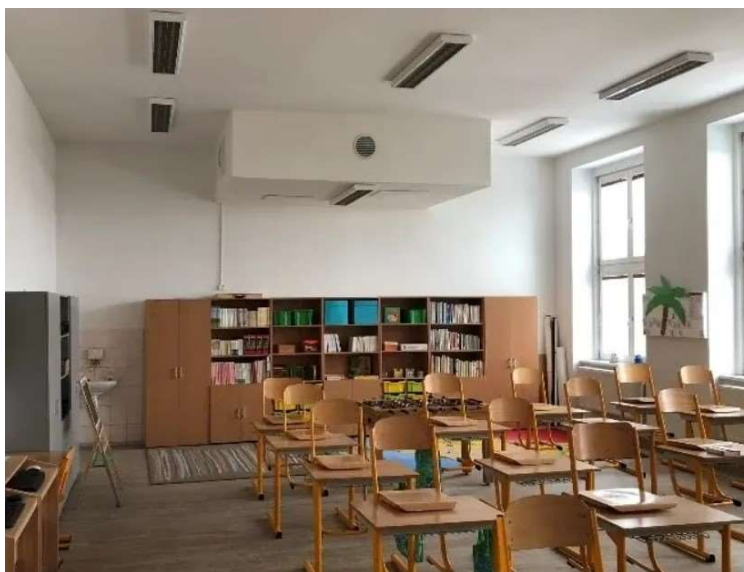
Endrupskolen je státní škola, kterou navštěvuje více než 500 žáků od mateřské školy až po 9. třídu. [46] K větrání slouží mechanicky otevíratelná okna s čidlem CO₂, jedná se tedy o systém přirozeného větrání. [47]



Obrázek 13: Třída s mechanicky otevíratelnými okny v Dánsku [47]

- *ZŠ Řepín (ČR)*

V Řepíně byly stejně jako v Pačejevě zvoleny lokální větrací jednotky, tentokrát jsou však umístěny pod stropem. K jednotce nejsou připojeny žádné dodatečné distribuční prvky. [48]



Obrázek 14: Třída s lokální podstropní jednotkou v Řepíně [48]

- *Littleport Academy (Velká Británie)*

Littleport Academy zahrnuje základní, střední a speciální školu a navštěvuje ji přes 650 žáků. Do tříd byla nainstalována zařízení pro hybridní větrání s možností ohřevu vzduchu a automatickou regulací. [49]



Obrázek 15: Třída s hybridním větráním ve Velké Británii [49]

- *ZŠ Karla Svobinského, Kunčice pod Ondřejníkem (ČR)*

Na základní škole Karla Svobinského byl použit centrální větrací systém. Ve škole jsou umístěny dvě vzduchotechnické jednotky – jedna na střeše a druhá uvnitř budovy, které rozvádí vzduch do jednotlivých úseků objektu. [50]



Obrázek 16: Vnitřní centrální jednotka v ZŠ Karla Svobinského [50]

- *Oberentfelden Schule (Švýcarsko)*

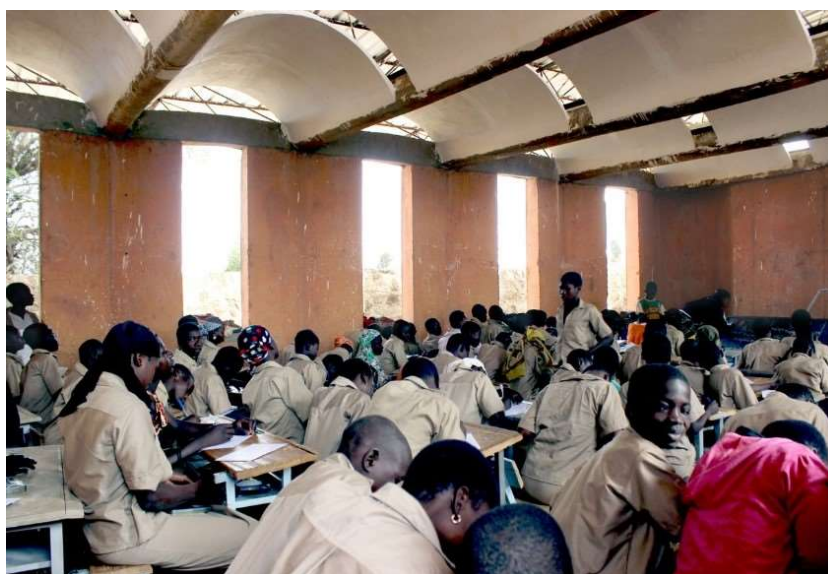
V této švýcarské škole jsou použity lokální větrací jednotky, umístěné nastojato přímo v učebně. Zajímavé je připojení potrubí pro sání a odvod vzduchu přes okno, které velmi zjednoduší instalaci jednotky. [51]



Obrázek 17: Lokální jednotka ve švýcarské škole [51]

- *Škola Gando (Burkina Faso)*

V Gando byl navržen velmi promyšlený systém přirozeného větrání. Zhruba metr nad hliněným stropem je plechová střeška, která je ohřívána sluncem. Vzduch mezi střeškou a stropem se tedy zahřívá a stoupá vzhůru a zespoda je otvory ve stěně nasáván chladný vzduch. Vzniká tedy stálý průtok vzduchu. [52]



Obrázek 18: Škola v Burkina Faso [52]

5.4 NÁVRH KONCEPTU VĚTRÁNÍ

Pro větrání analyzované školy bylo zvoleno nucené rovnotlaké větrání s použitím lokálních větracích jednotek, které budou umístěny přímo ve třídách. Velkou výhodou tohoto řešení je minimální náročnost instalace a projektové přípravy. Jedinou stavební prací při instalaci bude probourání dvou otvorů o průměru 300 mm do obvodové zdi v každé třídě pro sání čerstvého venkovního vzduchu a výstup odpadního. Při použití centrální větrací jednotky by stavební práce byly výrazně náročnější a nebylo by je možné provádět za provozu školy. Větrání sociálního zázemí zůstane nezměněno.

5.4.1 MNOŽSTVÍ PŘIVÁDĚNÉHO VZDUCHU

Při výpočtu množství větracího vzduchu uvažuji podle vyhlášky č. 410/2005 Sb. 20 m³/h přiváděného venkovního vzduchu na jednoho žáka. [7] Podle metodického pokynu pro návrh větrání škol vydaného operačním programem Životní prostředí, lze hodnotu pro žáky nižšího věku snížit, neboť díky menším tělesným proporcím produkují méně oxidu uhličitého – viz tabulka 5. [53]

Při dodržení hodnot v tabulce 5 by koncentrace CO₂ ve vnitřním prostředí neměla přesáhnout 1200 ppm (při 400 ppm ve venkovním ovzduší), což je ještě méně, než je požadováno normou (1500 ppm). V případě vyšší koncentrace CO₂ ve venkovním ovzduší např. ve městech (až 700 ppm) bude koncentrace ve vnitřním prostředí vyšší, požadovanou hodnotu 1500 ppm však nepřesáhne. [54] V této práci se jedná o střední školu, počítám tedy s hodnotou 20 m³/h. Počet žáků v obou učebnách je ve výpočtu uvažován pro naplněnou kapacitu třídy – 20 žáků v učebně 1 a 32 v učebně 2. Tato situace sice v učebnách nastává výjimečně (počet studentů bývá nižší, a to zejména v učebně 2 – viz kapitola 4.2), je však třeba s touto možností počítat.

Pro vyučujícího uvažuji podle vyhlášky č. 361/2007 množství venkovního vzduchu 25 m³/h – pedagoga jsem zařadila do třídy práce IIb. [55] Pro výpočet bude použit vzorec (3).

Tabulka 5: Požadované množství přiváděného vzduchu [53]

Množství venkovního vzduchu [m ³ /h na žáka]			
3–6 let	6–10 let	10–15 let	15–18 let
Mateřská škola	1. stupeň ZŠ	2. stupeň ZŠ	SŠ
10	12	18	20

$$V_e = \Sigma V_{os} * p \quad (3)$$

V_e [m³/h] ... celkové množství přiváděného venkovního vzduchu

V_{os} [m³/h] ... požadované množství přiváděného venkovního vzduchu na osobu

p [-] ... počet osob v místnosti

Protože se jedná o rovnotlaké větrání, bude množství odváděného vzduchu stejné jako množství přiváděného.

5.4.2 NÁVRH VĚTRACÍ JEDNOTKY

Pro větrání dvou analyzovaných učeben jsem zvolila jednotky DUPLEX 850 Inter značky Atrea se zpětným získáváním tepla. Tato jednotka umožňuje digitální regulaci přes web-server nebo automatický provoz podle čidla CO₂ – ovládání je tedy velmi snadné. K jednotce bude nutné probourat dva otvory o průměru 300 mm do obvodové zdi pro sání čerstvého venkovního vzduchu a výstup odpadního. Jednotka slouží pro průtoky od 400 do 850 m³/h.

Jako potenciální nevýhoda lokálního systému se může jevit narušování akustické pohody ve třídě jednotkami. Výrobce zvolené jednotky DUPLEX 850 Inter však slibuje minimální hlučnost díky umístění kulisových akustických tlumičů v horní části jednotky.

Výrobce nabízí větrací jednotku DUPLEX 850 Inter ve dvou variantách finální úpravy: s lamino obkladem (viz obrázek 19) nebo s lakovaným povrchem (viz obrázek 20). Jednotka tedy nenarušuje vnitřní prostředí učebny ani z hlediska estetiky. [56]

Pro učebnu 1 vyšlo množství přiváděného vzduchu 430 m³/h, což se nachází na spodní hranici rozmezí, které jednotka umožňuje (400 až 850 m³/h). Stálo by tedy za zvážení, zda do menších učeben neumístit jiný (menší) typ jednotky – např. DUPLEX 500 Multi. Myslím si však, že jednotka DUPLEX 850 Inter má mnoho

výhod (zejména velmi nízká hlučnost, snadná regulace, estetika) a je tedy dobrou volbou i pro menší učebny.



Obrázek 19: Větrací jednotka s lamino obkladem [56]



Obrázek 20: Varianty lakovaného povrchu větrací jednotky [56]

5.4.3 NÁVRH DISTRIBUČNÍCH PRVKŮ

Zvolenou jednotku DUPLEX 850 Inter lze použít i samostatně bez přídavných distribučních prvků – viz obr. 21). [56] Pro rovnoměrný přívod vzduchu po celé místnosti je však vhodné jednotku zkombinovat s přívodní textilní vyústkou. Montáž textilních vyústek je rychlá a snadná, mají nízkou hmotnost a je možné je dokonale vyčistit vypráním v pračce. Velkou výhodou je také možnost libovolného potisku, čehož lze ve školním prostředí, které by mělo být přívětivé a stimulující, dobře využít. Při vhodném zkombinování potisku s finální úpravou

větrací jednotky (viz obrázek 20) pak vznikne větrací systém, který bude nejen funkční, ale také estetický. [57] Odvod vzduchu bude zajištěn samotnou jednotkou bez dalších přídatných prvků.



Obrázek 21: Větrací jednotka bez distribučních prvků [58]

V obou třídách budou použity kruhové textilní vyústky firmy Příhoda s.r.o. a vzduch z nich bude vystupovat mikroperforací – otvory ve tkanině o průměru 200-400 μm . Vyústky budou pomocí dvojitého zavěšení nainstalovány do hliníkových profilů, které se upevní na strop. Tento typ instalace je vidět na obrázku 12, kde je stejně jako v tomto případě použita lokální větrací jednotka. [57]

5.4.4 DIMENZE POTRUBÍ A VYÚSTEK, TLAKOVÉ ZTRÁTY

Z větrací jednotky vzduch povede nejprve spiro potrubím z pozinkovaného plechu, na které bude pod stropem napojena textilní vyústka. Díky jednoduchosti systému a použití pouze jedné vyústky u každé větrací jednotky budou mít spiro potrubí i textilní rukáv stejnou dimenzi.

Pro výpočet dimenzí potrubí bude použita rovnice kontinuity pro ustálené proudění ideální tekutiny – vzorec (3) a vzorec pro výpočet obsahu kruhu – vzorec (4).

$$V_e = S * v \tag{3}$$

V_e [m^3/s] ... průtok vzduchu

S [m²] ... plocha průřezu potrubí

v [m/s] ... rychlost proudění vzduchu

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (4)$$

S [m²] ... plocha průřezu potrubí

d [m] ... průměr potrubí

Po spojení rovnic (3) a (4) lze získat vzorec (5) pro výpočet průměru potrubí.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V_e}{\pi \cdot v}} \quad (5)$$

Pro výpočet tlakových ztrát potrubí bude použit vzorec (6):

$$\Delta p_z = \Delta p_{tř} + \Delta p_\xi \quad (6)$$

Δp_z [Pa] ... celková tlaková ztráta úseku potrubí

$\Delta p_{tř}$ [Pa] ... tlaková ztráta třením

Δp_ξ [Pa] ... tlaková ztráta vřazenými odpory

Tlaková ztráta třením $\Delta p_{tř}$ bude spočítána podle vzorce (7), který platí pro potrubí kruhového průřezu.

$$\Delta p_{tř} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho \quad (7)$$

λ [-] ... součinitel tření

l [m] ... délka úseku potrubí

d [m] ... průměr průtočného průřezu

v [m/s] ... rychlost proudění vzduchu

ρ [kg/m³] ... měrná hmotnost vzduchu

- pro vzduch o teplotě 20 °C: $\rho = 1,188 \text{ kg/m}^3$

Součinitel tření λ závisí na Reynoldsově čísle Re a relativní drsnosti stěn ε . Reynoldsovo číslo lze spočítat ze vzorce (8).

$$Re = \frac{d \cdot v}{\nu} \quad (8)$$

ν [m²/s] ... kinematická viskozita tekutiny

- pro vzduch o teplotě 20 °C: $\nu = 15,32 \cdot 10^{-6}$ m²/s [59]

Relativní drsnost stěn ε bude spočítána z následujícího vzorce:

$$\varepsilon = \frac{k}{d} \quad (9)$$

ε [-] ... relativní drsnost stěn

d [mm] ... průměr potrubí

k [mm] ... absolutní drsnost stěn potrubí

- pro pozinkovaný ocelový plech: $k = 0,15$ mm

Pro obě místnosti vyšlo Reynoldsovo číslo Re vyšší než 2300, v potrubí se tedy jedná o turbulentní proudění a pro výpočet součinitele tření λ může být použit vzorec (10).

$$\lambda = \frac{1,318}{\left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7 \cdot d} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (10)$$

ε [-] ... relativní drsnost stěn

Re [-] ... Reynoldsovo číslo

d [m] ... průměr potrubí

Tlaková ztráta vřazenými odpory Δp_{ξ} bude spočítána podle vzorce (11):

$$\Delta p_{\xi} = \frac{1}{2} \cdot \xi \cdot \rho \cdot v^2 \quad (11)$$

ξ [-] ... součinitel vřazeného odporu

ρ [kg/m³] ... měrná hmotnost vzduchu

- pro vzduch o teplotě 20 °C: $\rho = 1,188$ kg/m³

v [m/s] ... rychlost proudění vzduchu

[60]

Součinitele vřazeného odporu ξ byly stanoveny pomocí webové kalkulačky (<https://www.gpro.cz/Tlakova-ztrata-mistnimi-odpory-Strana-2>). Do kalkulačky se zadá typ tvarovky (v tomto případě hladký kruhový oblouk, který je na obou počítaných trasách použito dvakrát), její rozměry, hustota vzduchu a rychlost proudění. Výsledkem je součinitel vřazeného odporu.

Tlaková ztráta distribučního prvku byla navržena na 50 Pa. Textilní vyústky jsou vyráběny na míru, požadovanou tlakovou ztrátu si tedy může určit projektant.

Na obrázcích 22-27 je návrh větrání v obou učebnách graficky znázorněn. Na obrázku 28 je vizualizace učebny 2 s větrací jednotkou a textilní vyústkou.

Tabulka 6: Návrh množství přiváděného vzduchu

Místnost			Žáci		Vyučující		Požadované množství přiváděného vzduchu V_e	Navržené množství přiváděného vzduchu
Název	Plocha [m ²]	Světelná výška [m]	Objem [m ³]	Počet p	Přiváděný vzduch V_{os} [m ³ /h]	Počet p	Přiváděný vzduch V_{os} [m ³ /h]	[m ³ /h]
Učebna 1	47,32	3,5	165,62	20	20	1	25	430
Učebna 2	58,08	3,5	203,28	32	20	1	25	670

Tabulka 7: Návrh dimenzí potrubí

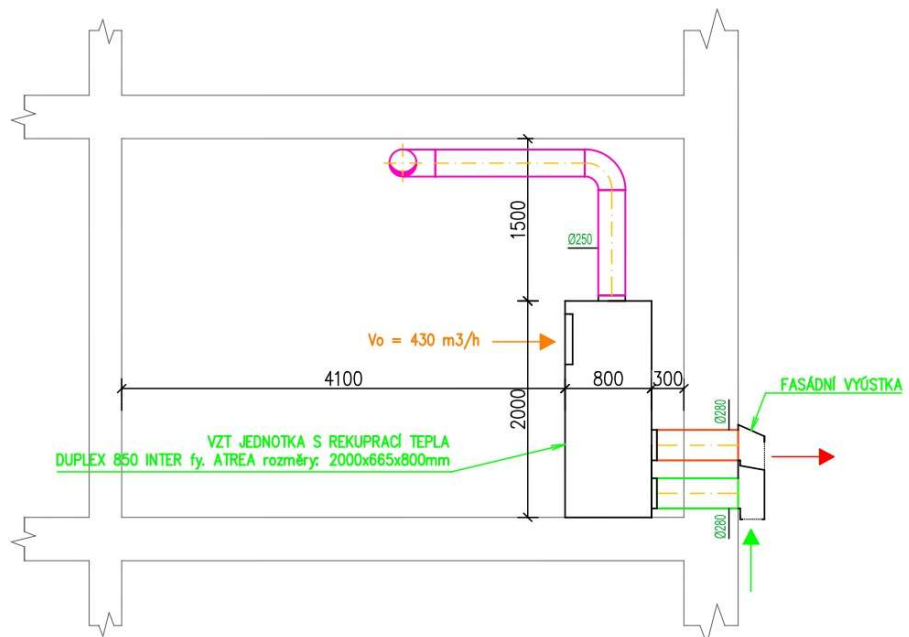
Místnost:	Průtok vzduchu V_e		Maximální rychlost v' [m/s]	Předběžná plocha S' [m ²]	Předběžný průměr d' [mm]	Navržený průměr d [mm]	Skutečná plocha S [m ²]	Skutečná rychlost v [m/s]
	[m ³ /h]	[m ³ /s]						
Učebna 1	430	0,119	3	0,040	0,225	250	0,049	2,433
Učebna 2	670	0,186	3	0,062	0,281	315	0,078	2,388

Tabulka 8: Výpočet tlakových ztrát

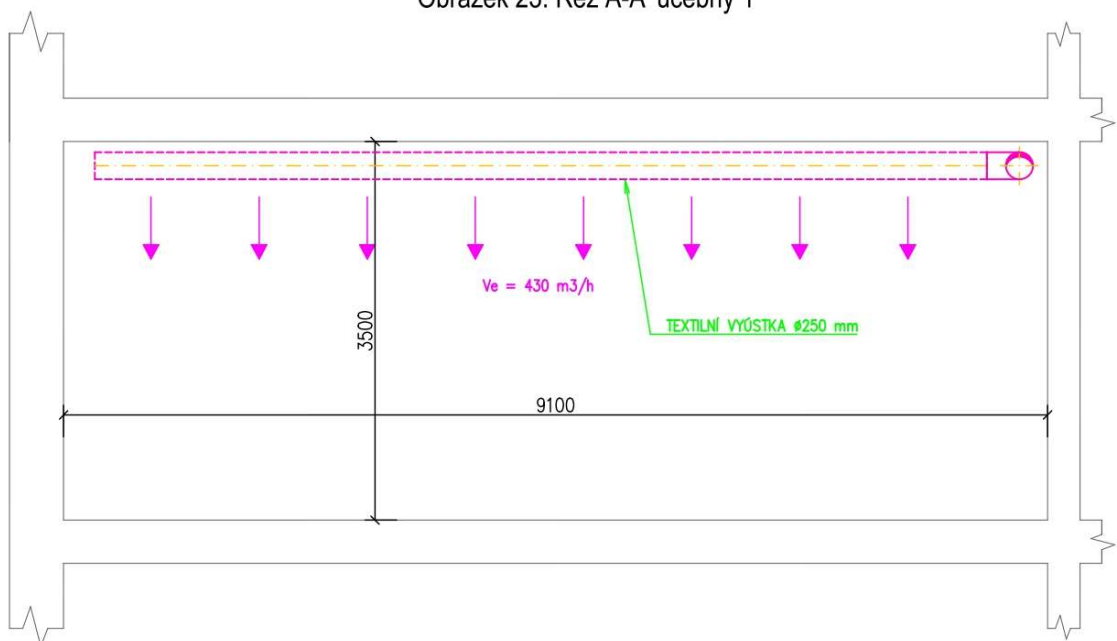
Místnost	Průtok vzduchu V_e		Délka potrubí l [m]	Plocha průřezu S [m ²]	Rychlost proudění v [m/s]	Kinematická viskozita ν [m ² /s]	Reynoldsovo číslo Re	Relativní drsnost stěn ϵ	Součinitel tření λ	Ztráta třením Δp_{tr} [Pa]	Součinitel vřazeného odporu ξ	Místní ztráty Δp_{ξ} [Pa]	Celkové ztráty Δp_{z} [Pa]
	[m ³ /h]	[m ³ /s]											
Učebna 1	430	0,119	250	0,250	2,433	0,00001532	39707,93	0,000600	0,022	0,9908	0,392	1,3787	2,3695
Učebna 2	670	0,186	315	0,315	2,388	0,00001532	49103,57	0,000476	0,021	0,9102	0,398	1,3483	2,2586
Distribuční prvek											50		
CELKEM											52,3695		
Distribuční prvek											50		
CELKEM											52,2586		



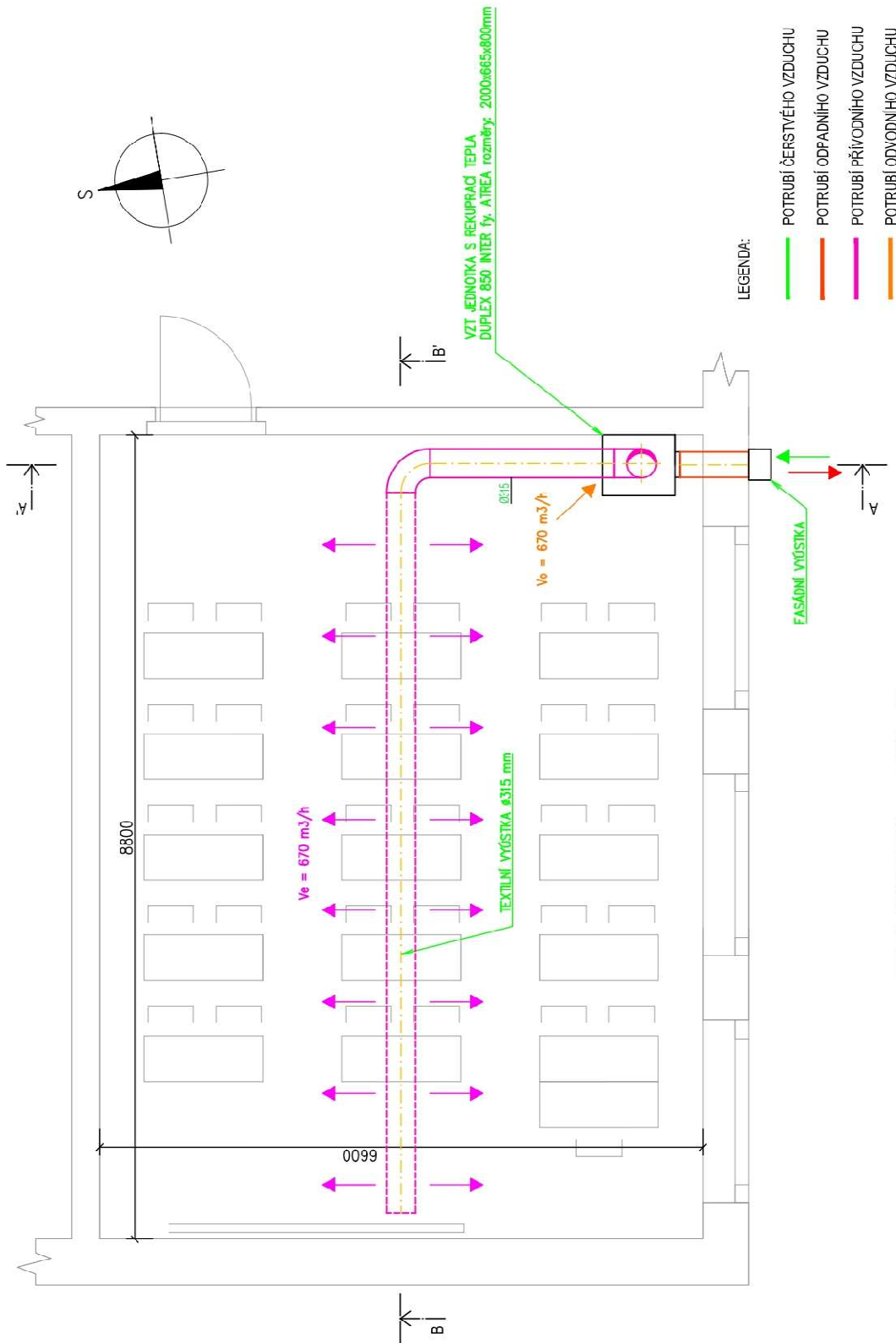
Obrázek 22: Půdorys učebny 1



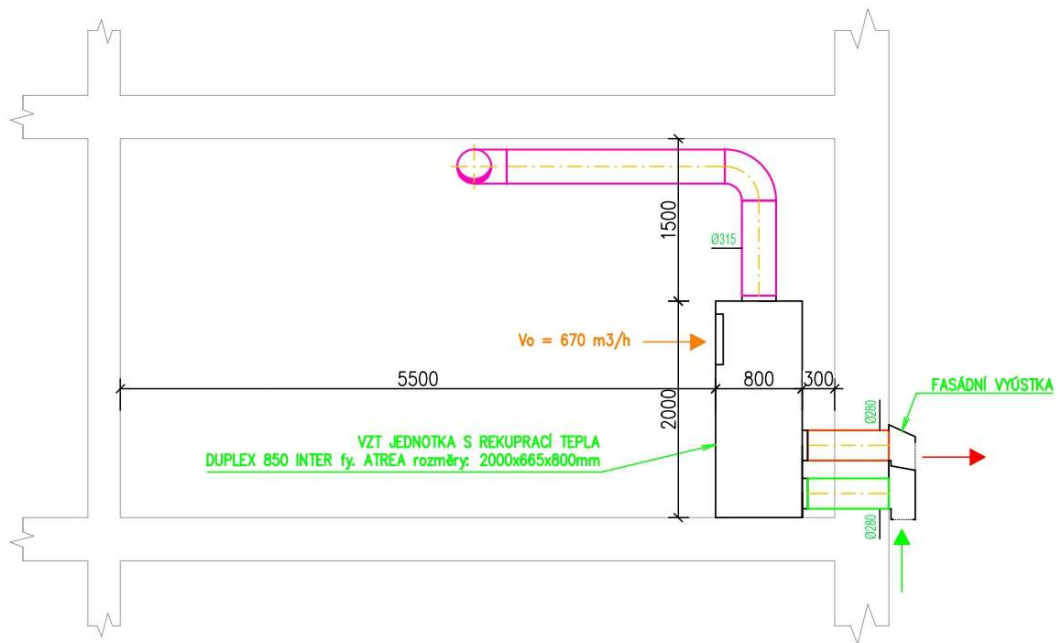
Obrázek 23: Řez A-A' učebny 1



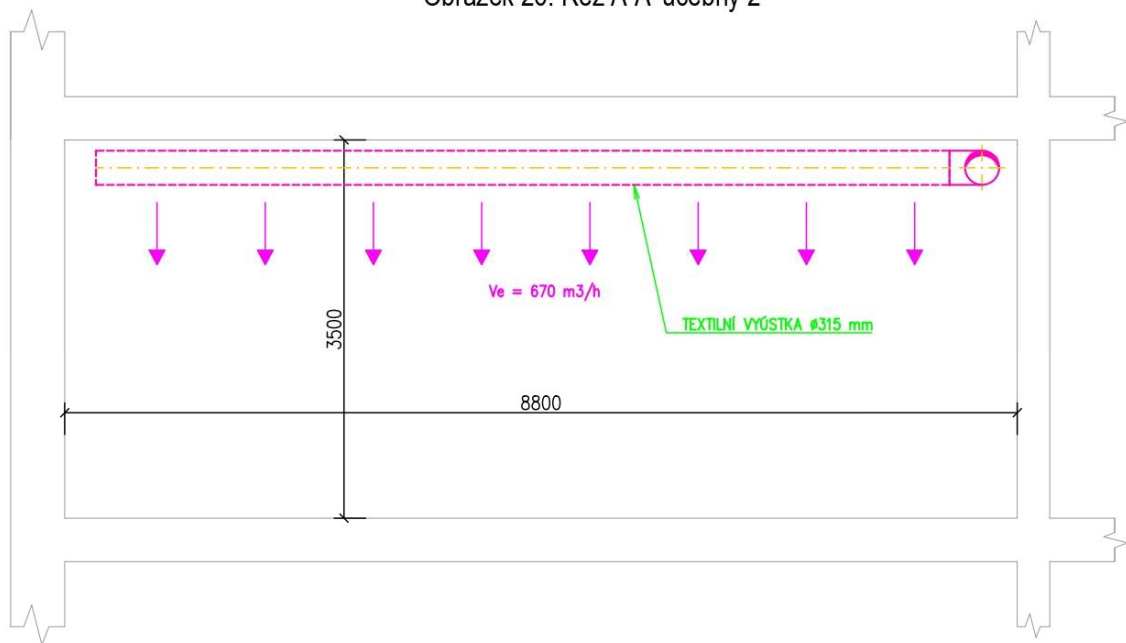
Obrázek 24: Řez B-B' učebny 1



Obrázek 25: Půdorys učebny 2



Obrázek 26: Řez A-A' učebny 2



Obrázek 27: Řez B-B' učebny 2



Obrázek 28: Vizualizace učebny 2 s větracím systémem

VI. ZÁVĚR

V této práci byla popsána problematika vnitřního prostředí škol s důrazem zejména na kvalitu ovzduší. Byla provedena analýza hodnot koncentrace CO₂, které byly naměřeny na nejmenované střední škole. Ukázalo se, že koncentrace ve třídách dosahuje extrémních hodnot, nejvyšší hodnoty se ani kvůli omezenému rozsahu měřicího přístroje nepodařilo změřit. Výpočtem však bylo prokázáno, že koncentrace přesáhla 6000 ppm. Dále byly popsány možnosti větrání škol, které jsou ukázány na konkrétních příkladech z praxe. Na závěr byl navržen koncept systému nuceného větrání, který by zlepšil situaci v analyzované škole.

Cílem práce bylo poukázat na důležitost větrání, a to zejména ve školách. Prostřednictvím naměřených dat bylo dokázáno, že situace v dané škole je velmi nepříznivá. Tato škola bohužel nebude výjimkou, troufám si říct, že podobná situace je na většině českých vzdělávacích institucích. Doufám však, že po provedeném měření se stav alespoň na této škole trochulepší. I pokud nedojde k instalaci navrženého (nebo podobného) větracího systému, tak věřím, že se alespoň zvýší frekvence otevírání oken.

Zdroje

- [1] ZMRHAL, Vladimír. *Větrání škol v souvislostech*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2017. ISBN 978-80-02-02718-8.
- [2] OECD (2021), "*How much time do students spend in the classroom?*", in *Education at a Glance 2021: OECD Indicators*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/399475ac-en>.
- [3] ŠUŠOLIAKOVÁ, O. a Z. MATHAUSEROVÁ. *Větrání škol*. Hygiena. 2018, 2018(1), 4.
- [4] *Carbon Dioxide*. NASA [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>
- [5] JOKL, Miloslav. *Teorie vnitřního prostředí budov*. Praha: České vysoké učení technické, 1986.
- [6] GEBAUER, Günter, Olga RUBINOVÁ a Helena HORKÁ. *Vzduchotechnika*. Brno: ERA, 2005. Technická knihovna (ERA). ISBN 80-7366-027-x.
- [7] Vyhláška č. 410/2005 Sb., *Vyhláška o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých*. In: Sběrka zákonů. 141/2005. ISSN 1211-1244.
- [8] DRKAL, František a Vladimír ZMRHAL. *Vybrané statě z větrání a klimatizace*. V Praze: České vysoké učení technické, 2018. ISBN 978-80-01-06458-0.
- [9] Vyhláška č. 268/2009 Sb., *Vyhláška o technických požadavcích na stavby*. In: Sběrka zákonů. 81/2009. ISSN 1211-1244.
- [10] L.R. López, P. Dessì, A. Cabrera-Codony, L. Rocha-Melogno, B. Kraakman, V. Naddeo, M.D. Balaguer, S. Puig, CO₂ in indoor environments: *From environmental and health risk to potential renewable carbon source*, *Science of The Total Environment*, Volume 856, Part 2, 2023, 159088, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159088>.

- [11] *Těkavé organické látky*. Encyklopedie BOZP [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://ebozp.vubp.cz/wiki/index.php?title=T%C4%9Bkav%C3%A9_organick%C3%A9_l%C3%A1tky
- [12] *Formaldehyde and Cancer Risk*. American Cancer Society [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.cancer.org/healthy/cancer-causes/chemicals/formaldehyde.html>
- [13] *Oxid siřičitý (SO₂)*. Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://zuova.cz/Home/Clanek/oxid-siricity-so2>
- [14] *Basic Information about NO₂*. U.S. Environmental Protection Agency [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2>
- [15] *Kvalita ovzduší na území ČR v roce 2022*. Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://info.chmi.cz/zpravy/UKO_AIM2022/#chapter11
- [16] *Alergická onemocnění u dětí v ČR*. Státní zdravotní ústav [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://szu.cz/tema/studie-zdravotniho-stavu-obyvatelestva/deti/alergie/>
- [17] *Zdroje oxidu uhelnatého v domácnosti*. MSA Bacharach Inc. [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.mybacharach.com/cs/zdroje-oxidu-uhelnat%C3%A9ho-v-dom%C3%A1cnosti/>
- [18] *Oxid uhelnatý*. Státní zdravotní ústav [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://szu.cz/tema/zivotni-prostredi/ovzdusi/vnitri/oxid-uhelnaty/>
- [19] *Health Risk of Radon*. U.S. Environmental Protection Agency [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/radon/health-risk-radon>
- [20] Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios J M, Baysson H, Bochicchio F et al. *Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual*

data from 13 European case-control studies BMJ 2005; 330 :223 doi: 10.1136/bmj.38308.477650.63

[21] Vyhláška č. 422/2006 Sb., *Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje*. In: Sbírka zákonů. 172/2016. ISSN 1211-1244.

[22] JIRÁNEK, Martin. *Úvod do navrhování a provádění protiradonových opatření*. TZBinfo [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-proti-vode-a-radonu/12090-uvod-do-navrhovani-a-provadeni-protiradonovych-opatreni>

[23] *Radon v ČR*. Radonový program ČR [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.radonovyprogram.cz/radon-v-pardubickem-kraji/>

[24] Buonanno G, Ricolfi L, Morawska L and Stabile L (2022) *Increasing ventilation reduces SARS-CoV-2 airborne transmission in schools: A retrospective cohort study in Italy's Marche region*. Front. Public Health 10:1087087. doi: 10.3389/fpubh.2022.1087087

[25] RUBINOVÁ, Olga, POČINKOVÁ Marcela a RAPUTA Pavel. *Mikrobiální mikroklima budov (III)*. TZBinfo [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/13672-mikrobalni-mikroklima-budov-iii>

[26] *Hluk – zdroje hluku v domácnosti*. Poradme se [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: [http://poradme.se/index.php?title=Hluk - zdroje hluku v dom%C3%A1cnosti](http://poradme.se/index.php?title=Hluk_-_zdroje_hluku_v_dom%C3%A1cnosti)

[27] KABELE, Karel, Zuzana VEVERKOVÁ a Miroslav URBAN. *Hodnocení kvality vnitřního prostředí budov s nízkou spotřebou energie*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2018. ISBN 978-80-02-02811-6.

[28] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., *Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací*. In: Sbírka zákonů. 97/2011. ISSN 1211-1244.

[29] Shield BM, Dockrell JE. *The effects of environmental and classroom noise on the academic attainments of primary school children*. J Acoust Soc Am. 2008 Jan;123(1):133-44. doi: 10.1121/1.2812596. PMID: 18177145.

- [30] KAREL, Kabele. *Úspory energie a vnitřní prostředí budov*. Stavebnictví. 2020, 2020(06-07), str. 18-29.
- [31] SOKANSKÝ, Karel a kolektiv. *Základy základů světelné techniky*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2007.
- [32] MAIEROVÁ, Lenka. *Světlem pro zdraví a vitalitu: Platforma pro zdravé osvětlování*. TecniCall. 2019, 2019(podzim), str. 24-25.
- [33] *Netatmo S.A.* [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.netatmo.com/cs-cz/smart-weather-station>
- [34] *Průměrná výška a váha dětí podle věku*. Epřehledy [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://eprehledy.cz/prumerna_vyska_a_vaha_ditete_dle_veku.php
- [35] Adîncu, D & Popescu, A & Atanasiu, M. (2020). *Experimental measurements of CO₂ concentrations in sleeping rooms*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 997. 012137. 10.1088/1757-899X/997/1/012137.
- [36] ČELAKOVSKÝ, Jaromír, ed. *Zákony a nařízení u věcech obecného školství na ten čas platné v království Českém*. 2. doplněné vyd. V Praze: Ed. Grégr, 1878.
- [37] BURGERSTEIN, Leo. *Die Gesundheitspflege in der Mittelschule: Hygiene des Körpers nebst beiläufigen Bemerkungen*. Ve Vídni: Alfred Hölder, 1887.
- [38] BERGMANN, Linhart. *O větrání školních místností*. Beseda Učitelská: Týdenník pro učitele a přátele školství národního. 1895, 27(9), 9-10. ISSN 1804-8943.
- [39] SRBEK, František. *Ventilace a topení škol*. V Praze: nákladem spisovatelovým, 1898.
- [40] KABRHEL, Gustav. *Větrání a vytápění škol*. Ve Vídni: Josef Šafář, 1903.

[41] DRKAL, František a Vladimír ZMRHAL. Vybrané statě z větrání a klimatizace. V Praze: České vysoké učení technické, 2018. ISBN 978-80-01-06458-0.

[42] *Větrání škol*. AirProject group s.r.o. [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://airproject.cz/vetrani-skol/>

[43] *Přetlakové větrání CHÚC*. TROX Austria GmbH [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.trox.cz/v%C3%BDrobky/p%C5%99etlakov%C3%A9-v%C4%9Btr%C3%A1n%C3%AD-%E2%80%9Ech%C3%BAc%E2%80%9C-bfd44c768ae510e5>

[44] LINHA, Jan. *Čisté prostory*. TZBinfo [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitni-prostredi/10582-ciste-prostory>

[45] DE GIDS, W. F. a Miroslav JÍCHA. *Hybridní ventilace – 1. část*. TZBinfo [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/usporj-energie-vetrani-klimatizace/10866-hybridni-ventilace-1-cast>

[46] *Endrupskolen* [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://endrupskolen.aula.dk/#nolink>

[47] CHRISTOFFERSEN, Jens, Anna Karina HAMMELEV HANSEN, Karsten ANDERSEN, Peter FOLDBJERG a Thorbjørn Færing ASMUSSEN. *Daylight and indoor climate in a renovated danish school*. The Daylight Site, VELUX [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <http://thedaylightsite.com/indoor-climate-in-a-renovated-danish-school/>

[48] *Reference*. Entalpa s.r.o. [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.entalpa.cz/reference/>

[49] *Multi-million pound school complex benefits from wide range of Monodraught ventilation solutions*. Monodraught Ltd [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.monodraught.com/projects/multi-million-pound-school-complex-benefits-from-wide-range-of-monodraught-ventilation-solutions>

[50] *Vzduchotechnika a chlazení na ZŠ Karla Svobinského*. TEMEX, spol. s r.o. [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z:

<https://www.temex.cz/reference/vzduchotechnika-a-klimatizace/vzduchotechnika-a-chlazení-na-zs-karla-svolinskeho/>

[51] HÄGLER, Fabian. *Pandemie bringt auch neue Chancen: Zehnder Group testet Lüftung gegen Coronaviren im Schulhaus Oberentfelden*. Aargauer Zeitung [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z:

<https://www.aargauerzeitung.ch/aargau/kanton-aargau/jahresabschluss-corona-schadet-und-hilft-der-zehnder-group-weniger-umsatz-mehr-gewinn-und-saubere-luft-als-kundenbeduerfnis-ld.2106212>

[52] *Secondary school with passive ventilation system in Burkina Faso*. Holcim Foundation [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z:

<https://www.holcimfoundation.org/projects/secondary-school-with-passive-ventilation-system>

[53] *Metodický pokyn pro návrh větrání škol pro SC 5.1 a SC 5.3, PO5, OPŽP, Výzva č. 121 a 135*. Operační program Životní prostředí [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://opzp.cz/>

[54] ZMRHAL, Vladimír. *Metodický pokyn pro návrh větrání škol*. Vytápění, větrání, instalace. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2016(2), 72-74. ISSN 1210-1389.

[55] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., *Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci*. In: Sběrka zákonů. 111/2007. ISSN 1211-1244.

[56] *DUPLEX 850 Inter*. Atrea s.r.o. [online]. [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: https://www.atrea.cz/cz/d1_inter

[57] *Příhoda s.r.o.* [online]. [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://www.prihoda.com/cs/>

[58] *DUPLEX 850 Inter, ATREA*. Luftuj.cz [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.luftuj.cz/p/duplex-850-inter-univerzalni-vetraci-jednotka-s-rekuperaci-tepla-atrea/>

[59] *Fyzikální hodnoty pro suchý vzduch při tlaku 100 kPa*. TZBinfo [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/38-fyzikalni-hodnoty-pro-suchy-vzduch-pri-tlaku-100-kpa>

[60] ZMRHAL, Vladimír. *PROJEKT – vzduchotechnika: 4. Návrh potrubní sítě*. Fakulta strojní ČVUT, podklady pro výuku [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Projekt3/Podklady/04_Navrh%20potrubni%20site.pdf

Seznam příloh

1. Technický list vzduchotechnické jednotky

Seznam obrázků

Obrázek 1: Učebna 1	16
Obrázek 2: Učebna 2	16
Obrázek 3: Plánek učebny 1	17
Obrázek 4: Plánek učebny 2	17
Obrázek 5: Infiltrace	41
Obrázek 6: Provětrávání ručně otevíratelnými okny	42
Obrázek 7: Podtlakové větrání s odsáváním lokálním ventilátorem	43
Obrázek 8: Nucené větrání s centrální jednotkou	44
Obrázek 9: Nucené větrání s lokální jednotkou v učebně	44
Obrázek 10: Nucené větrání s lokální jednotkou vně učebny	45
Obrázek 11: Hybridní větrání s mechanicky otevíratelnými okny	46
Obrázek 12: Textilní vyústka s dvojitým zavěšením	46
Obrázek 13: Třída s mechanicky otevíratelnými okny v Dánsku	47
Obrázek 14: Třída s lokální podstropní jednotkou v Řepíně	47
Obrázek 15: Třída s hybridním větráním ve Velké Británii	48
Obrázek 16: Vnitřní centrální jednotka v ZŠ Karla Svolinského	48
Obrázek 17: Lokální jednotka ve švýcarské škole	49
Obrázek 18: Škola v Burkina Faso	49
Obrázek 19: Větrací jednotka s lamino obkladem	52
Obrázek 20: Varianty lakovaného povrchu větrací jednotky	52
Obrázek 21: Větrací jednotka bez distribučních prvků	53
Obrázek 22: Půdorys učebny 1	58
Obrázek 23: Řez A-A' učebny 1	59
Obrázek 24: Řez B-B' učebny 1	59
Obrázek 25: Půdorys učebny 2	60
Obrázek 26: Řez A-A' učebny 2	61
Obrázek 27: Řez B-B' učebny 2	61
Obrázek 28: Vizualizace učebny 2 s větracím systémem	62

Seznam tabulek

Tabulka 1: Produkce tepla a vodní páry na 1 osobu pro různé druhy činnosti....	4
Tabulka 2: Přípustné expoziční limity a nejvyšší přípustné koncentrace vybraných chemických látek	5
Tabulka 3: Koncentrace CO ₂ a vliv na člověka	7
Tabulka 4: Průměrné denní teploty a relativní vlhkosti venkovního vzduchu	19
Tabulka 5: Požadované množství přiváděného vzduchu	51
Tabulka 6: Návrh množství přiváděného vzduchu	57
Tabulka 7: Návrh dimenzí potrubí	57
Tabulka 8: Výpočet tlakových ztrát	57

Seznam grafů

Graf 1: Průběh koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 (1. 12. – 1. 2.).....	18
Graf 2: Průběh koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 (1. 12. – 1. 2.).....	18
Graf 3: Průběh teploty v učebně 1 (12. 12. – 18. 12.)	20
Graf 4: Průběh relativní vlhkosti v učebně 1 (12. 12. – 18. 12.)	20
Graf 5: Průběh intenzity hluku v učebně 1 (12. 12. – 18. 12.)	21
Graf 6: Průběh tlaku vzduchu v učebně 1 (12. 12. – 18. 12.).....	21
Graf 7: Průběh koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 (12. 12. – 18. 12.).....	22
Graf 8: Průběh koncentrace oxidu uhličitého v učebně 1 dne 14. 12.	23
Graf 9: Průběh teploty v učebně 1 dne 14. 12.	24
Graf 10: Průběh relativní vlhkosti v učebně 1 dne 14. 12.....	24
Graf 11: Průběh teploty v učebně 2 (12. 12. – 18. 12.)	25
Graf 12: Průběh relativní vlhkosti v učebně 2 (12. 12. – 18. 12.)	26
Graf 13: Průběh koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 (12. 12. – 18. 12.)...	27
Graf 14: Průběh koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 dne 14. 12.....	28
Graf 15: Průběh teploty v učebně 2 dne 14. 12.....	29
Graf 16: Průběh relativní vlhkosti v učebně 2 dne 14. 12.....	29
Graf 17: Průběh koncentrace oxidu uhličitého v učebně 2 dne 14. 12.....	33

PŘÍLOHY

DUPLEX Inter

II. generace

Nová decentrální větrací jednotka s rekuperací tepla

Určení

Interiérové větrací jednotky řady DUPLEX Inter jsou určeny pro rovnotlaké větrání školních učeben, velkoprostorových kanceláří, provozoven, restaurací, obchodů, všude tam, kde je vyžadována jejich přímá vestavba do vnitřních obytných prostor s požadovanou minimální hladinou akustického tlaku.

Základní popis

Jednotky se vyznačují vysokou účinností zpětného získávání tepla, velmi nízkou hlučností, nízkým instalovaným elektrickým příkonem a minimální náročností instalace a projektové přípravy.

Jednotky jsou vybaveny špičkovým regulačním modulem ATREA aMotion pro řízení všech potřebných funkcí.

Patentované jednotky DUPLEX Inter obsahují pružně uložené EC ventilátory, protiproudý výměník tepla, výsuvný filtr přiváděného vzduchu, by-pass výměníku tepla, samotahové uzavírací klapky a skříň regulace. Bezodtoková vana kondenzátu je vyhřívána elektrickým článkem s automatickým spínáním. V horní části jsou umístěny kulisové akustické tlumiče, stropní nastavitelné žaluzie tryskového přívodu vzduchu, filtr odsávaného vzduchu a standardně vnější čidlo CO₂. Dno jednotky opatřeno distančním rámečkem z protiotřesové pryže.

Splnění evropských norem

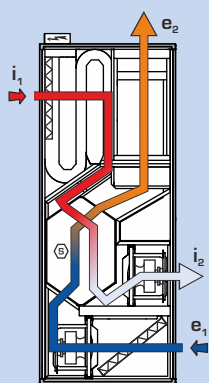
- Nařízení komise (EU) č. 1253/2014 (Ecodesign) pro rok 2018
- Charakteristika pláště dle EN 1886
- EC motory vyhovují ErP 2015
- SFP v rozsahu 0,27 ÷ 0,37 W/m³/h dle požadavku Passiv Haus



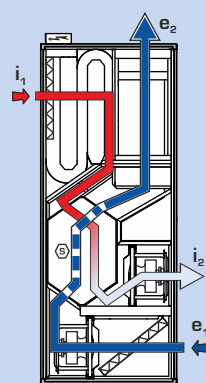
Přednosti jednotek DUPLEX Inter

- velmi nízká hlučnost umožňující instalaci přímo do obytných prostor budov s nejvyššími akustickými nároky
- zcela autonomní provoz jednotky pouze podle koncentrace CO₂
- bezpotrubní systém nevyžadující žádné potrubní rozvody v objektu
- odpadá náročný odvod kondenzátu (!)
- standardně digitální regulace aMotion, která umožňuje vzdálenou správu přes web
- dokonalé provětrání prostor při dosahu proudu až 10 m
- velmi jednoduchá instalace nevyžaduje vypracování profesního projektu ani odbornou montáž VZT a elektro
- vysoká účinnost rekuperace až 93 %
- by-pass uzavírá vstup do rekuperátoru a umožňuje noční vychlazování
- automatická protimrazová ochrana
- možnost instalace dohřevu přiváděného vzduchu
- při odsazení jednotky od obvodové stěny s okny možnost instalace potrubních tlumičů hluku vůči fasádě
- vyhovuje Ecodesign 2018
- připojení elektro pouze pohyblivým přívodem na stávající zásuvky (16 A)
- elektrický přehříváč integrovaný v jednotce

PROVOZNÍ REŽIMY



1. rovnotlaké větrání s rekuperací tepla



2. noční vychlazování by-passem v létě

- ➔ e₁ ... sání čerstvého venkovního vzduchu
- ➔ e₂ ... výstup čerstvého ohřátého vzduchu
- ➔ i₁ ... sání odpadního vzduchu
- ➔ i₂ ... výstup odpadního vzduchu

NÁVRHOVÝ SOFTWARE



Pro podrobný návrh jednotek řady DUPLEX, příslušenství a regulace doporučujeme využít specializovaný návrhový program. Naleznete jej na našich internetových stránkách www.atrea.cz, nebo si jej vyžádejte na CD na naší adrese.



VĚTRÁNÍ A VYTÁPĚNÍ RODINNÝCH DOMŮ A BYTŮ

ATREA s.r.o., Čs. armády 32
466 05 Jablonec n. Nisou
Česká republika



Tel.: +420 483 368 133
Fax: +420 483 368 112
E-mail: rd@atrea.cz

www.atrea.cz

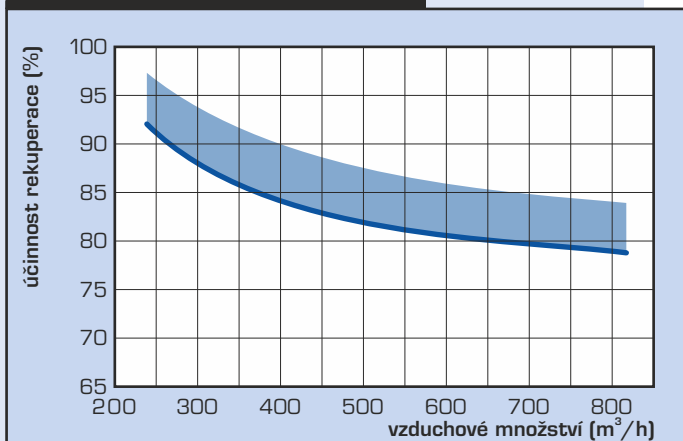
VÝKONOVÉ GRAFY

TECHNICKÉ PARAMETRY

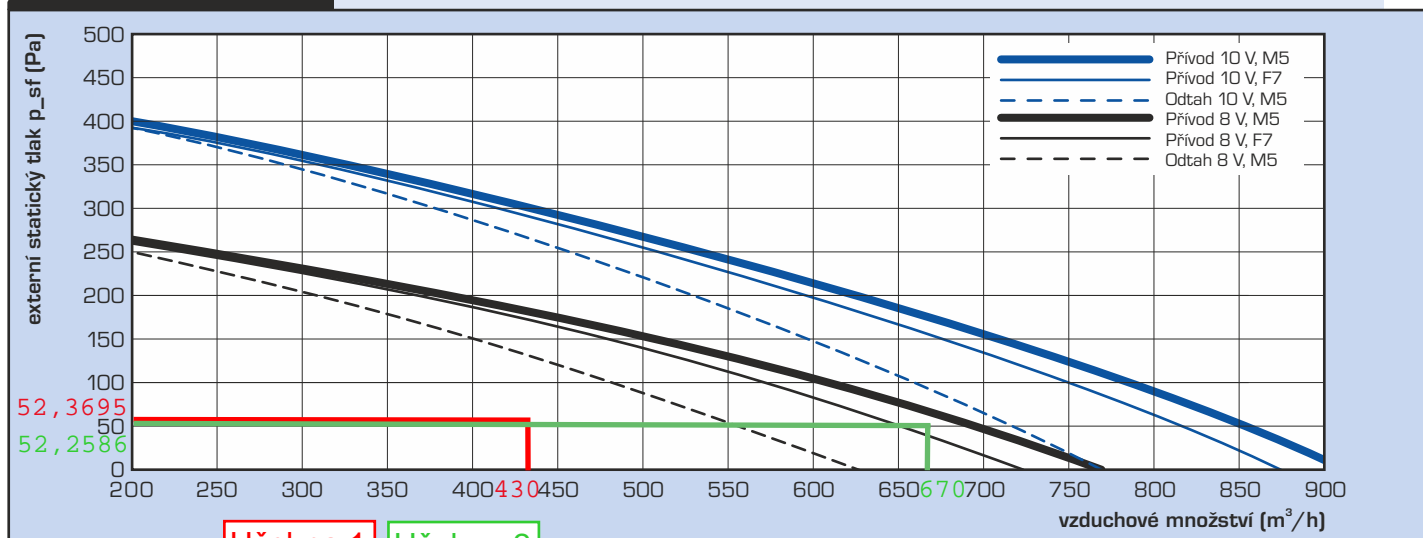
DUPLIX Inter		850
účinnost rekuperace ¹⁾	%	až 93 %
elektrický příkon - ventilátory	W	viz. graf
elektrický přehřev	W	1 100
napětí	V	230
frekvence	Hz	50
počet otáček - max.	min ⁻¹	1 910
třída filtrace	-	M5 / M5, volitelně F7
dohřev - elektro	W	na zakázku
vestavěná regulace - automat	-	CO ₂
by-pass (100 %)	-	standardně
dosah proudu (0,15 m/s)	m	8-10

¹⁾ dle množství vzduchu

ÚČINNOST REKUPERACE



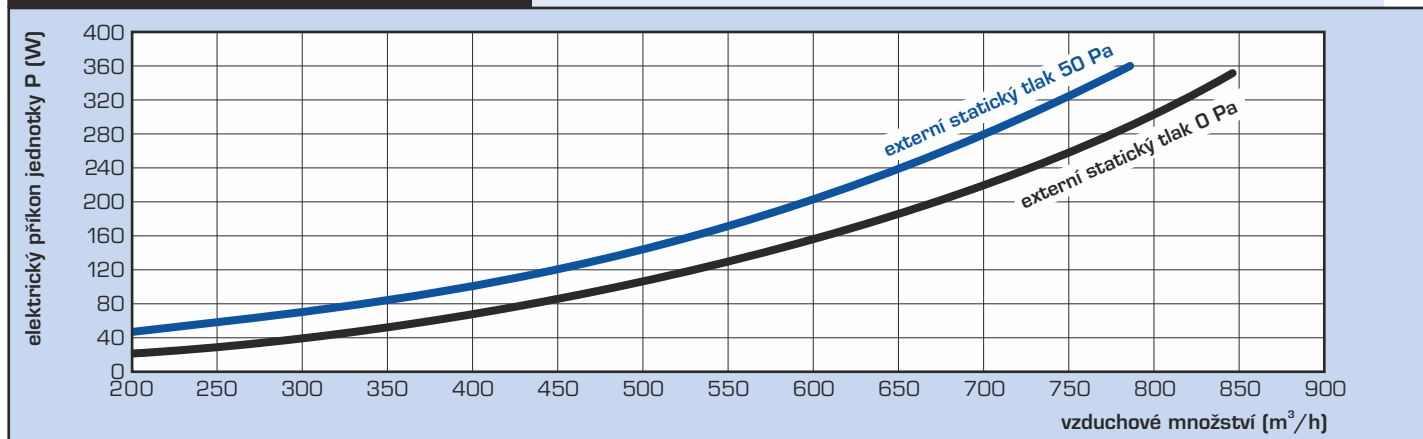
VÝKONOVÉ ÚDAJE



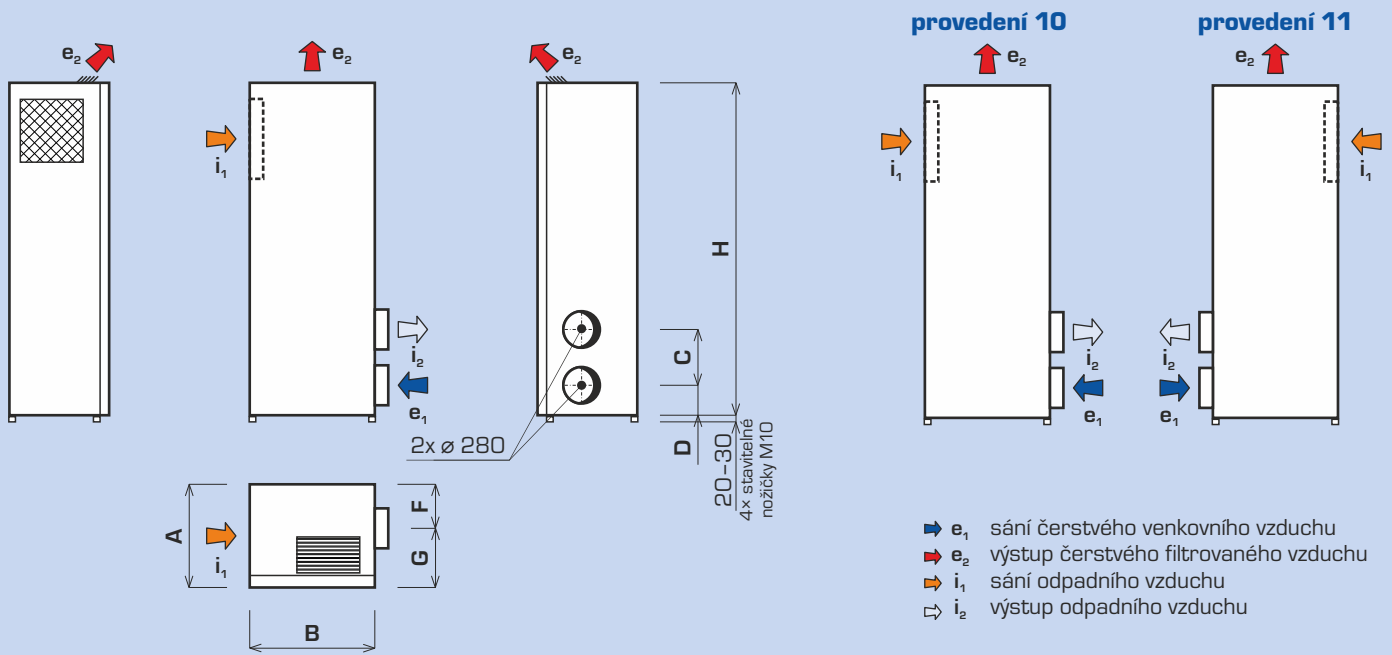
Učebna 1

Učebna 2

PŘÍKONOVÁ CHARAKTERISTIKA



ZÁKLADNÍ ROZMĚRY



Jednotka		H	A	B	C	D	E	F	G
850 Inter	mm	2 000	665	800	445	192	280	325	340

* Rozměry platí pro provedení bez lamino obkladu. Desky lamino obkladu mají tloušťku 18 mm.

ZÁKLADNÍ KOMPONENTY



Legenda:

- 1 Protiproudý deskový výměník
- 2 EC ventilátor (odvodní)
- 3 EC ventilátor (přívodní)
- 4 Filtr vzduchu (přívodní)
- 5 Filtr vzduchu (odvodní)
- 6 Tlumič přívodní
- 7 Tlumič odvodní
- 8 Připojovací svorkovnice externí a signalizační dioda
- 9 Regulece aMotion
- 10 Alternativní odvod kondenzátu
- 11 Vestavné čidlo CO₂

MANIPULAČNÍ PROSTORY

Manipulační prostory

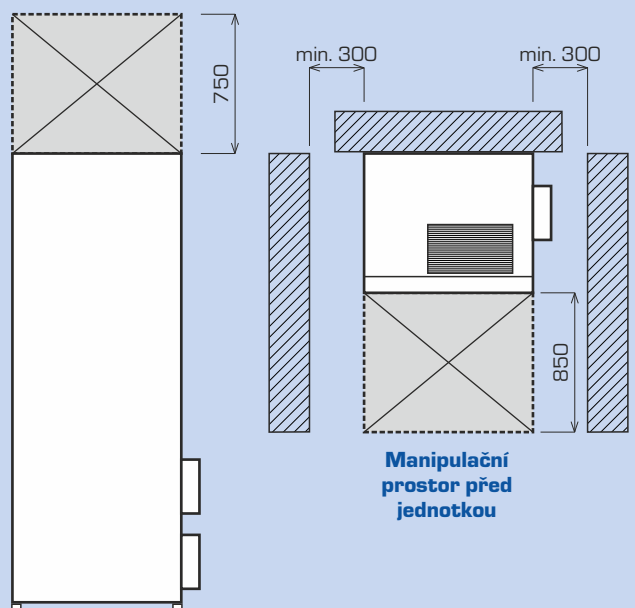
Při instalaci jednotek DUPLEX Inter je nutno dbát na zajištění předepsaného manipulačního prostoru v okolí jednotky.

Z čela jednotky je nutno dodržet manipulační prostor pro otevírání čelních dveří, výměnu filtrů a servisní a montážní přístup k jednotlivým prvkům jednotky.

Na jednotlivých schématech je uveden minimální manipulační rozměr.

Manipulační prostor nad jednotkou

Odstup od vnější stěny



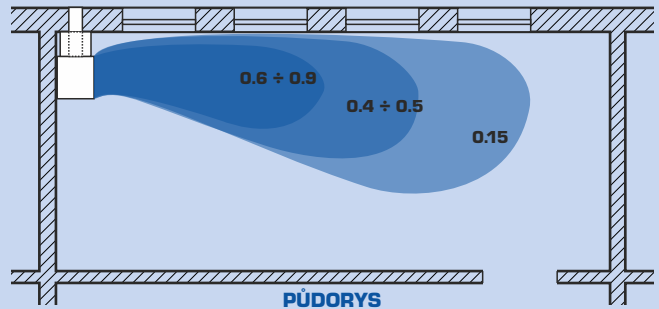
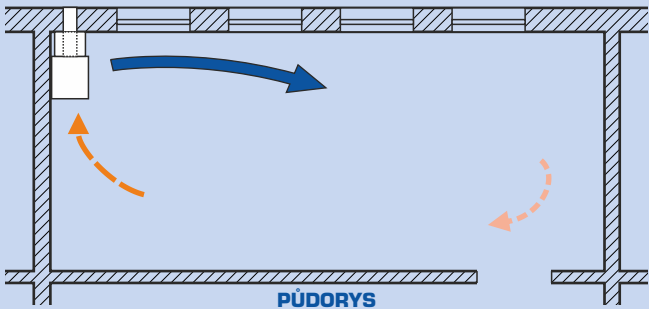
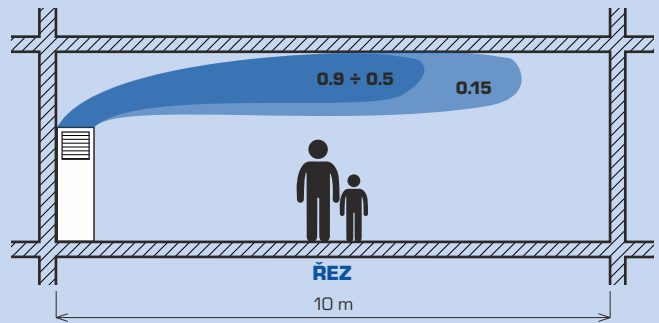
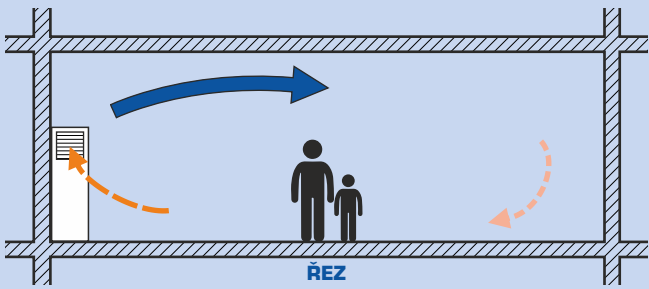
INSTALACE A VOLITELNÉ PŘÍSLUŠENSTVÍ

STANDARDNÍ SITUOVÁNÍ JEDNOTKY V UČEBNĚ

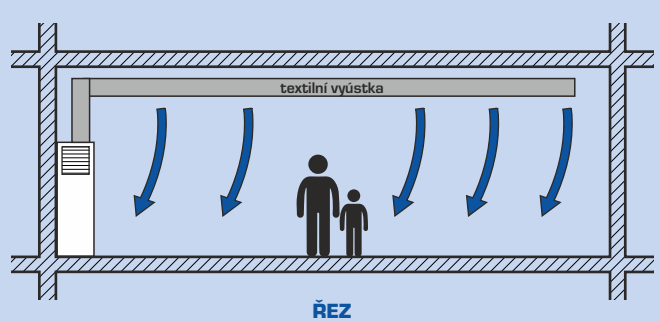
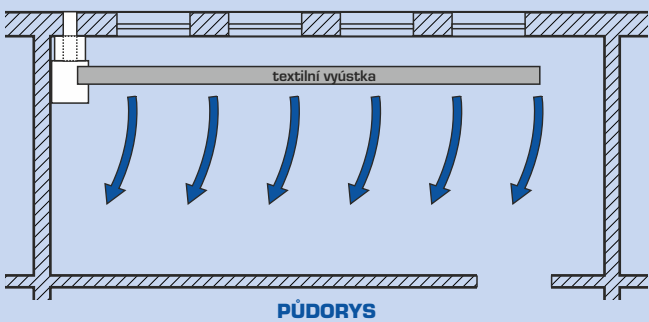
CHARAKTERISTIKA DISTRIBUCE

IZOTERMNÍ RYCHLOSTNÍ PROFIL PROUDĚNÍ (m/s)

$V = 620 \text{ m}^3/\text{h}$



VARIANTA ROZVODU TEXTILNÍ VYÚSTKOU



DETAIL INSTALACE A FASÁDNÍCH PROSTUPŮ

Část Jednotka

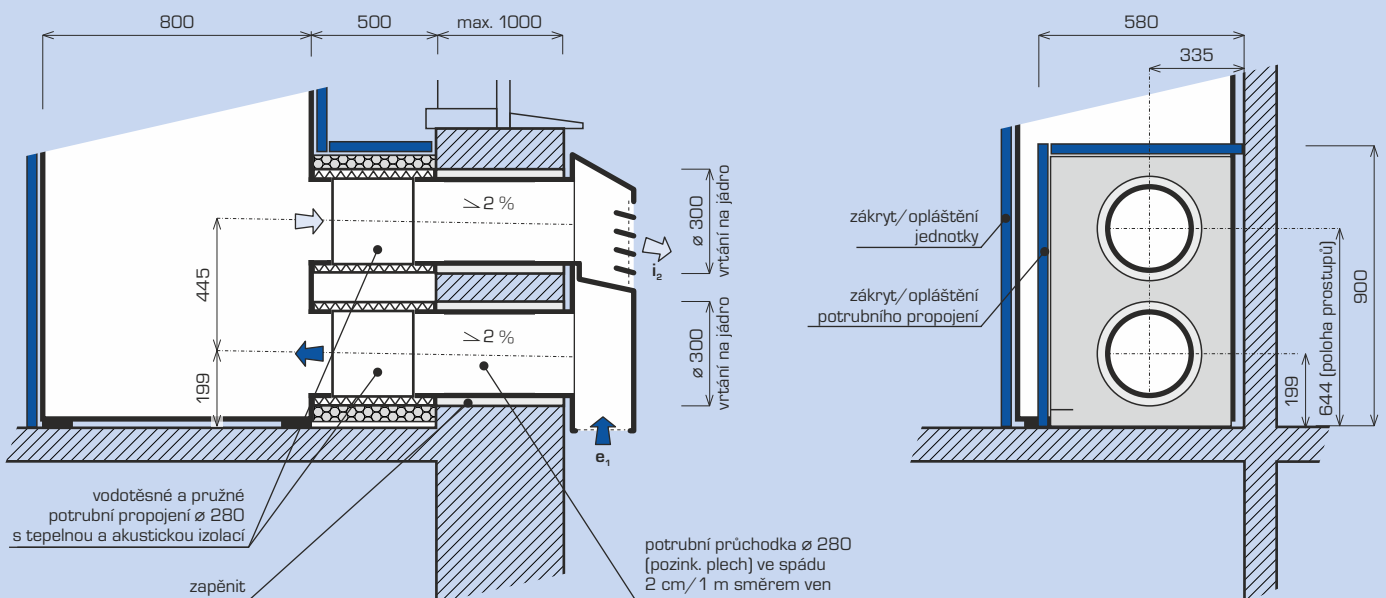
Jednotka DUPLEX Inter
*Opláštění jednotky

Část Potrubní propojení

*Set - zákryt potrubního propojení
*Opláštění potrubního propojení

Část Vyústka

*Set - fasádní výústka
(vč. průchodek fasádou)



* Volitelné příslušenství

INSTALACE A VOLITELNÉ PŘÍSLUŠENSTVÍ

VOLITELNÉ PŘÍSLUŠENSTVÍ - POVRCHOVÉ ÚPRAVY

Jednotky DUPLEX Inter v základu bez finální povrchové úpravy. Pro finální povrch lze použít následující možnosti:

1) Lakovaný plech – v bílé (RAL 9010) nebo stříbrné (RAL 9006) barvě.

2) Lamino obklad – volitelný prvek je rozdělen do dvou částí – obklad jednotky a potrubního zákrytu, jedná se o dva samostatné prvky. Oba jsou zhotoveny z lamino desek tl. 18 mm, které jsou uzpůsobeny k montáži na jednotku a zákryt. Součástí dodávky je veškerý spojovací materiál nutný k montáži vč. rohových lišt pro zákryt jednotky. Provedení je možné volit ze tří základních dekorů.

Dub přírodní



8925 BS - Lissa Oak

Buk přírodní



Bávaria 381 BS

Dub Bardolino

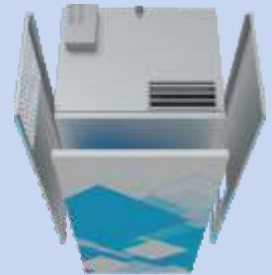


H1145ST10

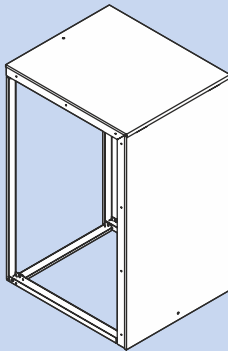
3) Lakovaný dekor – je možné vybrat z 20 typizovaných vzorů (viz. vzorník, ilustrativní dekor na titulní straně) nebo vyhotovit na míru dle vlastního návrhu.



Pozn.: Všechny povrchové úpravy zakrývají pouze tři strany zařízení, zadní strana je bez povrchové úpravy.



VOLITELNÉ PŘÍSLUŠENSTVÍ - ZÁKRYT POTRUBNÍHO PŘIPOJENÍ

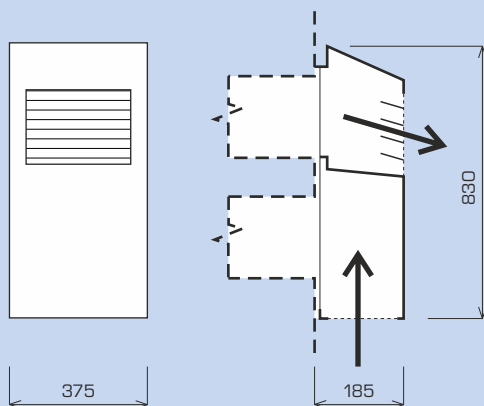


- Stabilní, volně stojící prvek pro zakrytí rozvodů na fasádu v délce 500 mm.
- Barevné provedení lze objednat stejné jako jednotka vč. lamino obkladů a lakovaných dekorů.
- Bez nutnosti fixování do zdi nebo podlahy – pouze rozepřením mezi stěnu a jednotku.
- Montáž na stavbě, určeno pouze pro vertikální mřížku.

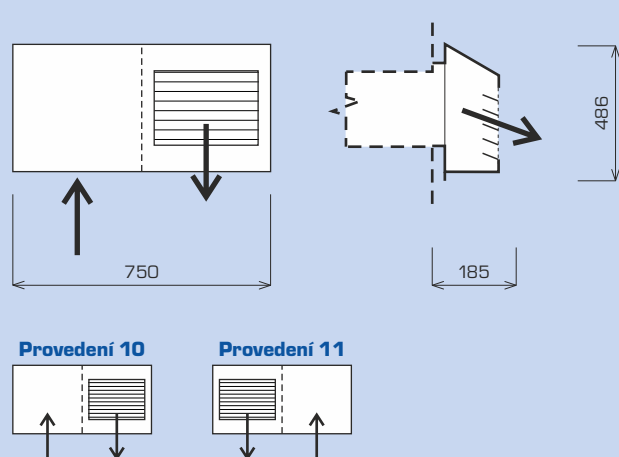
Pozn.: Nezakrývá rozvody ze zadní strany.

VOLITELNÉ PŘÍSLUŠENSTVÍ - FASÁDNÍ KOMBINOVANÉ VYÚSTKY

VERTIKÁLNÍ



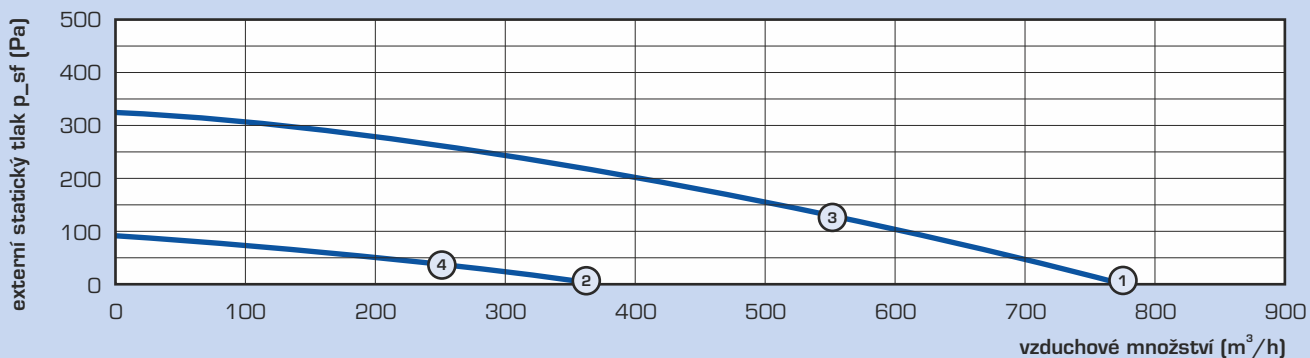
HORIZONTÁLNÍ



- Mřížka obsahuje dva potrubní průchody.
- Montáž se provádí zavěšením na potrubní průchody pojištěním jedním šroubem do fasády objektu (není součástí dodávky).
- Základní provedení je z pozinkovaného plechu. Dále nabízíme provedení bílý lak a černý lak

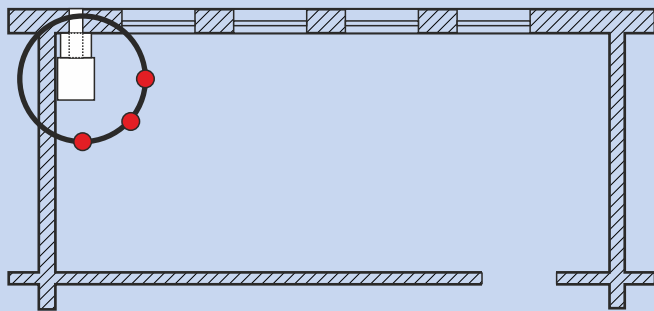
HLADINY AKUSTICKÉHO VÝKONU L_w (A) A AKUSTICKÉHO TLAKU L_p (A)

DUPLEX 850 Inter



		pracovní bod	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Σ (dB[A])
Akustika do okolí (jednotka, e_2, i_1)	L_p 1 m (dB)	1 (770 m^3/h , 0 Pa)	44	43	41	32	<25	<25	<25	<25	36
		2 (360 m^3/h , 0 Pa)	41	35	<25	<25	<25	<25	<25	<25	24
		3 (550 m^3/h , 125 Pa)	50	47	37	26	<25	<25	<25	<25	35
		4 (260 m^3/h , 30 Pa)	43	36	<25	<25	<25	<25	<25	<25	23
Výkon i_2	L_w (dB)	1 (770 m^3/h , 0 Pa)	47	48	51	47	46	40	32	32	50
		2 (360 m^3/h , 0 Pa)	33	34	35	29	29	<25	<25	<25	33
		3 (550 m^3/h , 125 Pa)	53	56	52	50	48	49	39	29	53
		4 (260 m^3/h , 30 Pa)	40	42	39	33	32	29	<25	<25	37
Výkon e_1	L_w (dB)	1 (770 m^3/h , 0 Pa)	45	47	49	45	40	38	33	34	48
		2 (360 m^3/h , 0 Pa)	30	30	31	32	27	25	<25	<25	32
		3 (550 m^3/h , 125 Pa)	48	54	50	47	46	40	36	29	50
		4 (260 m^3/h , 30 Pa)	35	39	33	29	28	<25	<25	<25	32

Pozn.: - Hodnoty akustického tlaku v okolí jednotky platí pouze pro instalaci s originálním zákrytem potrubního připojení a jsou měřeny ve vzdálenosti 1 m.
 - Hodnoty akustického tlaku jsou dány společným působením pláště jednotky, přívodní výústky a odvodní výústky na jednotce.



Půdorys se znázorněním mikrofonů umístěných ve vzdálenosti 1 m od jednotky.

UKÁZKY REALIZACÍ



ZŠ Nehvizdy



ZŠ Huntířov

DUPLEX INTER - ZÁKLADNÍ SESTAVA



DUPLEX 850 Inter

Kompaktní jednotka v základní sestavě obsahuje přívodní a odtažový ventilátor s volným oběžným kolem vč. anti-vibračního uložení, vyjímatelný protiproudý rekuperační výměník z tenkostěnných plastových desek, výsuvné filtry přiváděného a odsávaného vzduchu třídy M5 nebo F7 a odvodňovací vanu s hadicí DN 32 pro odvod kondenzátu. Horní dveře zajišťují snadný přístup ke všem vestavěným agregátům. Boční dveře umožní snadnou manipulaci s odvodem kondenzátu a přístup k regulaci.

DUPLEX Inter



Ventilátory

Jednotky DUPLEX 850 Inter jsou vybaveny vysoce účinnými ventilátory s volnými oběžnými koly a dozadu zahnutými lopatkami. Ventilátory splňují požadavky evropské směrnice ErP 2015.

Me.xxx; Mi.xxx



Rekuperační výměník

Rekuperační výměník je vyroben z plastu v protiproudém provedení s vysokou účinností. Plastový rekuperátor v jednotce DUPLEX Inter dosahuje účinnosti až 93 %.

S4



By-passová klapka („B“)

Obtok deskového rekuperačního výměníku, včetně serповohonu. Při otevření by-passu se automaticky uzavírá průtok rekuperačním výměníkem a nedochází tak k přestupu tepla.

B.x



Elektrický předehříváč

Pro jednotky řady DUPLEX Inter je vestavěný elektrický předehřev EDO.INT 1,1 o výkonu 1,1 kW obsažen již v základním provedení. Předehřev je řízen regulací jednotky tak, aby nedocházelo k namrzání rekuperátoru.



Čidlo koncentrace CO₂

Pro jednotky DUPLEX Inter je čidlo koncentrace CO₂ s IR senzorem již v základní sestavě. Čidlo je umístěno v horní části jednotky u nasávacího otvoru. Umožňuje spojitou regulaci výkonu jednotky podle aktuální obsazenosti v místnosti.

DUPLEX INTER - VOLITELNÉ PŘÍSLUŠENSTVÍ



- Určeno pro integraci do jednotky jako volitelné příslušenství, instalace na předem určené místo uvnitř jednotky vč. instalačního rámu
- Elektrický dohříváč EDO.INT 1,1 je určen pro dohřev přiváděného vzduchu o výkonu 1,1 kW

PŘEHLED OBJEDNÁVKOVÝCH POLOŽEK PRO DUPLEX INTER

	DUPLEX 850 Inter (prov. 10, pozink, pro opláštění) - 2. generace	obj. č. A350100-L		Ovladač s barevným dotykovým displejem 4,3" (pro regulaci aMotion L, E)	obj. č. A145500
	DUPLEX 850 Inter (prov. 11, pozink, pro opláštění) - 2. generace	obj. č. A350101-L		Ovladač designový s displejem - potisk základní - černý (pro regulaci aMotion L, E)	obj. č. A145550
	DUPLEX 850-L Inter + EDO.INT (provedení 10, pozink, pro opláštění, vč. dohříváče) - 2. gen	obj. č. A350103-L		Ovladač designový s displejem - potisk základní - bílý (pro regulaci aMotion L, E)	obj. č. A145551
	DUPLEX 850-L Inter + EDO.INT (provedení 11, pozink, pro opláštění, vč. dohříváče) - 2. gen	obj. č. A350104-L		Integrovaný dohříváč vzduchu 1,1 kW	obj. č. A350010
	Opláštění jednotky, bílý lakovaný plech (prov. 10, 850 Inter) - 2. gen	obj. č. A350126		FK 850 INT - M5	obj. č. A350090
	Opláštění jednotky, bílý lakovaný plech (prov. 11, 850 Inter) - 2. gen	obj. č. A350127		FK 850 INT - F7	obj. č. A350091
	Opláštění jednotky, stříbrný lakovaný plech (prov. 10, 850 Inter) - 2. gen	obj. č. A350128		FT 850 INT - M5 (10 ks)	obj. č. A350093
	Opláštění jednotky, stříbrný lakovaný plech (prov. 11, 850 Inter) - 2. gen	obj. č. A350129		FT 850 INT - F7 (10 ks)	obj. č. A350094
	Opláštění jednotky, lakovaný dekor - výběr z motivů	viz samostatný podklad		Přechod výstupu E2 na hrdlo D315	obj. č. A350033
	Opláštění jednotky, lakovaný dekor - motiv na přání	viz samostatný podklad		Přechod výstupu E2 na hrdlo D250	obj. č. A350034
	Obklad jednotky, lamino tl. 18 mm	viz samostatný podklad		Set integrovaná fasádní vyústka přívod+odvod - vertikální (prov. 10 a 11, vč. průchodek fasádou max. 1000 mm)	obj. č. A350140
	Set potrubní propojení 500 mm včetně montážního příslušenství	obj. č. A350141		Set integrovaná fasádní vyústka přívod+odvod - horizontální (prov. 10, vč. průchodek fasádou max. 1000 mm)	obj. č. A350149
	Set - zkrýt potrubního propojení 500 mm (pozink, pro opláštění)	obj. č. A350142		Set integrovaná fasádní vyústka přívod+odvod - horizontální (prov. 11, vč. průchodek fasádou max. 1000 mm)	obj. č. A350150
	Obklad potrubního propojení 500 mm, lamino tl. 18 mm (prov. 10 a 11, buk)	obj. č. A350143		Set integrovaná fasádní vyústka přívod+odvod - vertikální (prov. 10 a 11, vč. průchodek fasádou max. 1000 mm) - bílý lak RAL9010	obj. č. A350140W
	Obklad potrubního propojení 500 mm, lamino tl. 18 mm (prov. 10 a 11, dub přírodní)	obj. č. A350144		Set integrovaná fasádní vyústka přívod+odvod - horizontální (prov. 10 a 11, vč. průchodek fasádou max. 1000 mm) - černý lak RAL9005	obj. č. A350140B
	Obklad potrubního propojení 500 mm, lamino tl. 18 mm (prov. 10 a 11, dub bardolino)	obj. č. A350145		Set integrovaná fasádní vyústka přívod+odvod - horizontální (prov. 10, vč. průchodek fasádou max. 1000 mm) - bílý lak RAL9010	obj. č. A350149W
	Opláštění potrubního propojení 500 mm, bílý lakovaný plech (prov. 10 a 11)	obj. č. A350146		Set integrovaná fasádní vyústka přívod+odvod - horizontální (prov. 10, vč. průchodek fasádou max. 1000 mm) - černý lak RAL9005	obj. č. A350149B
	Opláštění potrubního propojení 500 mm, stříbrný lakovaný plech (prov. 10 a 11)	obj. č. A350147		Set integrovaná fasádní vyústka přívod+odvod - horizontální (prov. 11, vč. průchodek fasádou max. 1000 mm) - bílý lak RAL9010	obj. č. A350150W
	Opláštění potrubního propojení 500 mm, lakovaný dekor - motiv na přání (prov. 10 a 11)	obj. č. A350148		Set integrovaná fasádní vyústka přívod+odvod - horizontální (prov. 11, vč. průchodek fasádou max. 1000 mm) - černý lak RAL9005	obj. č. A350150B

Jednotky DUPLEX Inter jsou standardně vybaveny nejvyšší řadou digitální regulace aMotion, která umožňuje vzdálený přístup přes web-server.

Digitální řídicí modul typu aMotion představuje nejmodernější způsob řízení jednotky. Zajišťuje všechny základní funkce a současně i obsahuje celou řadu dalších vstupů a výstupů pro propojení s čidly. Veškeré volitelné prvky vč. napájení se připojují do rozvodnice umístěné na horní straně jednotky.

Standardní součástí jednotky je rovněž vestavné kouřové čidlo, které zajistí odstavení jednotky při nasátí zplodin.

Výhody systémů regulace firmy ATREA:

- výběr vhodného a efektivního typu regulace podle skutečné funkce u konkrétní aplikace, s nejnižšími náklady
- systém regulace je integrovaný do zařízení, většina prvků je již zapojena a odzkoušena z výroby, odpadá tak většina rizik způsobených špatným zapojením
- u standardních řešení není nutný projekt systému regulace, lze využít typizovaných schémat sestav výrobce
- jednoduchost propojení, přehlednost, indikace poruch
- kvalifikovaná technická podpora a poradenství

REGULACE AMOTION PRO JEDNOTKY DUPLEX INTER

regulace „aMotion“

Standardní funkce regulace „aMotion“

- ovládání otáček EC ventilátorů (dle nastaveného režimu)
- automatické ovládání polohy klapky by-passu (rekuperace tepla i chladu)
- vyhodnocuje a zamezuje havarijním stavům dle měřených teplot
- nastavení týdenního programu větrání a nastavení teplot
- standardně vestavěný web-server a rozhraní Ethernet pro komunikaci se vzdáleným připojením po internetu
- 1 × vstup – externí čidlo kvality vzduchu [0–10V / kontakt]
- 1 × bezpotenciální vstup – externí ovládání provozu VZT (kontakt)
- výstupy pro ovládání elektrického ohřívače (pulsně spínáno 10 V)
- provoz jednotky ve vybraných režimech – rovnotlaké větrání / noční předchlazení / přetlakové větrání
- automatické přepínání mezi režimy dle nastavené teploty
- regulace výkonu dle momentální vnitřní koncentrace CO₂ včetně automatického zvyšování výkonu
- automatické přepínání topné a netopné sezóny
- standardně web-server / komunikace ModBUS

Převodník BACnet / KNX

- volitelný převodník umožňující připojení na nadřazený systém protokolem BACnet nebo KNX

Koncentrace CO₂

- jedno vestavěné čidlo součástí dodávky
- možnost automatického provozu podle čidel – koncentrace CO₂ (jedno čidlo součástí dodávky), k jednotce je možné připojit druhé čidlo kvality vzduchu, relativní vlhkosti nebo VOC (volitelné příslušenství)

EPS

- možnost připojení signálu od EPS (elektronická požární signalizace) pro odstavení jednotky při požárním poplachu

Kouřové čidlo

- standardní součástí jednotky je rovněž vestavěné kouřové čidlo, které zajistí odstavení jednotky při nasátí zplodin

aTouch (dotykový ovladač)



aDot (dotykový ovladač)



aSpace (internetové rozhraní)



Čidlo CO₂ (1 × vestavěné ve standardu)

