

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

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



Návrh větrání základní školy

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracovala:

Bc. Botagoz Assylkhanova

Vedoucí práce:

Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.

2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Assylkhanova Jméno: Botagoz Osobní číslo: 440741
Zadávající katedra: Technických zařízení budov
Studijní program: Budovy a prostředí
Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Návrh větrání základní školy
Název diplomové práce anglicky: Design of ventilation system of a school building

Pokyny pro vypracování:

Stanovte množství větracího vzduchu pro jednotlivé provozy. Navrhněte koncepci systému větrání. Zpracujte prováděcí projekt, který zahrne návrh jednotlivých prvků (potrubí, distribuční prvky, větrací zařízení, aj.), výkresovou dokumentaci, technickou zprávu a výpis prvků.

V rozšiřující části navrhnete řešení problému větrání učebny v ZŠ Buštěhrad.

Seznam doporučené literatury:

Zmrhal, V. Větrání škol v souvislostech, STP, Praha, ISBN 978-80-02-02718-8, 2017.
Tunga Salthammer et. al. Children's well-being at schools: Impact of climatic conditions and air pollution, Environment International, Volume 94, 2016, p. 196-210, ISSN 0160-4120,
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.05.009>.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 17.2.2020

Termín odevzdání diplomové práce: 17.5.2020

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 diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.

17.2.2020

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

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

Praha, 17.5.2020

Assylkhanova Botagoz

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu této diplomové práce Ing. Danielu Adamovskému, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení a velmi vstřícný přístup při konzultacích a zpracování diplomové práce.

Anotace

Práce se věnuje problematice větrání základní školy.

Diplomová práce je rozdělená do dvou částí. První část se věnuje problematice rychlosti proudění vzduchu a akustického mikroklimatu v učebnách. V rámci této části bylo provedeno experimentální měření vnitřního prostředí ve vybrané třídě Základní školy Oty Pavla v Buštěhradě.

Ve druhé praktické části byl zpracován projekt větrání novostavby základní školy na úrovni prováděcí dokumentaci.

Klíčová slova

Vzduchotechnika, základní škola, větrání základní školy, nucené řízené větrání, akustika v učebnách, rychlost proudění vzduchu, kvalita vnitřního prostředí

Annotation

This thesis addresses the problematics of air ventilation in elementary school building.

The diploma thesis is divided into two parts. The first part deals with the issue of air velocity and acoustic microclimate in classrooms. Within this part, experimental measurements of the indoor environment in a selected classroom of the Ota Pavel Elementary School in Bustehrad were demonstrated.

In the second practical part, the project of ventilation of the new elementary school building was prepared.

Key words

Ventilation, mechanical ventilation, ventilation of school building, air velocity, acoustic microclimate, indoor air quality.

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Charakteristika objektu	8
2.1	Stávající stav a vzniklé problémy.....	8
3	Problematika rychlosti proudění vzduchu	10
3.1	Požadavky na tepelný stav vnitřního prostředí ve školách	10
3.2	Experimentální měření rychlosti proudění vzduchu v učebně	11
3.2.1	Popis měření a měřicí technika	11
3.2.2	Výsledky měření.....	12
3.2.3	Vyhodnocení měření	15
3.3	Řešení problému průvanu	16
3.3.1	Příklady posouzení různých koncových prvků na základě experimentálních měření a simulaci.	16
3.3.2	Alternativní řešení stávajícího problému a příklady z realizace.....	23
4	Problematika hluku.....	27
4.1	Akustické mikroklima v učebnách	27
4.1.1	Legislativní a normové požadavky.....	27
4.1.2	Protihlukové opatření vzduchotechnických systémů.....	28
4.2	Experimentální měření hluku ve třídě	30
4.2.1	Popis měření a měřicí technika	30
4.2.2	Výsledky měření.....	31
5	Závěr.....	33
6	Použité zdroje.....	34

1 Úvod

Školní učebna je prostorem, kde se najednou dlouhodobě tráví čas velké množství lidí. Proto kvalita vnitřního prostředí učeben je důležitá nejen pro schopnost koncentrace ale i zdraví lidí.

Diplomová práce se skládá ze dvou částí. První část práce je rozšiřující a druhá je projekční částí, kde je zpracován projekt větrání základní školy na úrovni prováděcí dokumentace.

Hlavním cílem první části diplomové práce je popis problémů vzniklé v učebně základní školy Oty Pavla, kde je zajištěno řízené nucené větrání učeben, a následně vyhodnocení kvality vnitřního prostředí učebny a návrh alternativního řešení na základě experimentálního měření.

2 Charakteristika objektu

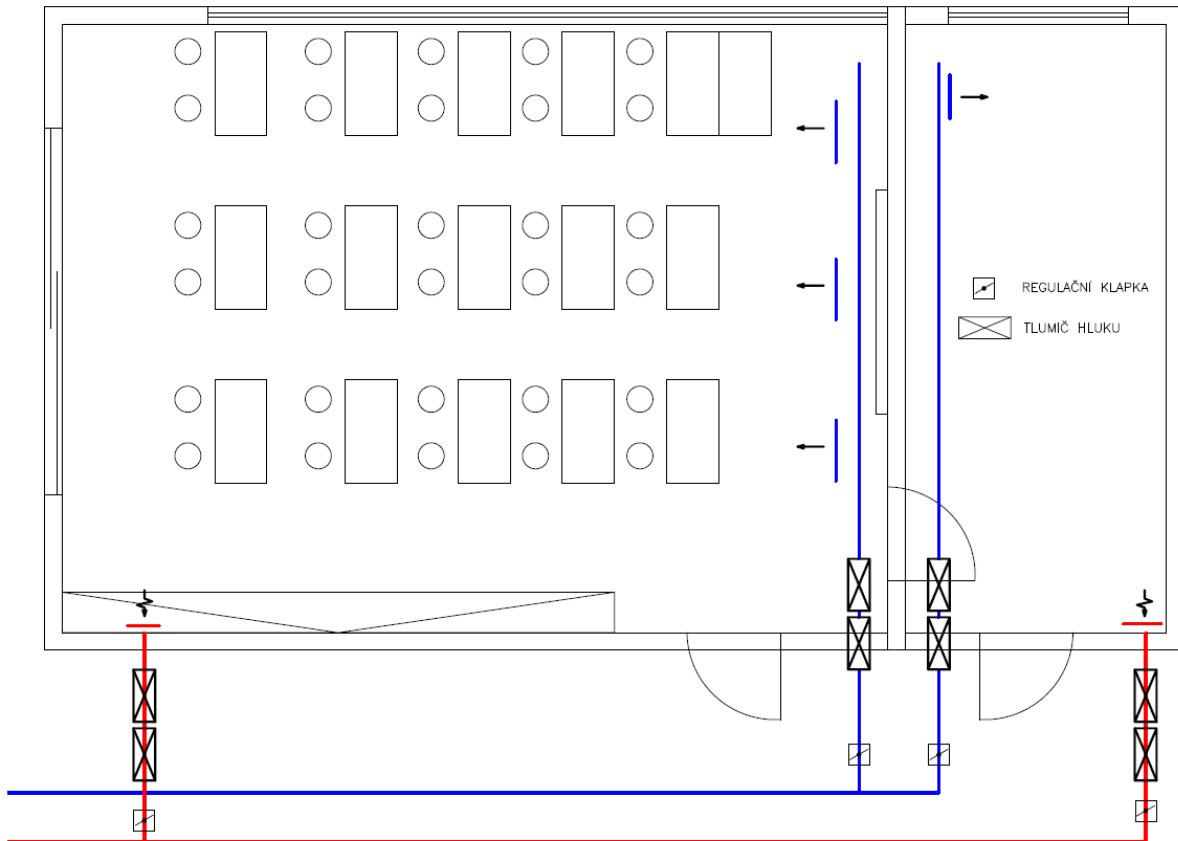
Předmětem této práce je učebna, která se nachází ve 2NP nové části základní školy Oty Pavla v Buštěhradě. Celkem v nové části školy se nachází 4 učebny včetně zázemí pedagogů. Nástavba je realizovaná jako energeticky optimalizovaná dřevostavba z prefabrikovaných panelů [1]. Na střeše jsou instalovány fotovoltaické panely a zde je taky centrální vzduchotechnická jednotka s rekuperací tepla, které zajistí větrání učeben, včetně zázemí učitelů.



Obr. 1 Nástavba základní školy [1]

2.1 Stávající stav a vzniklé problémy

Přívod vzduchu do učebny zajistí 3 nastavitelné výstky vložené do kruhového potrubí. Potrubí je vedeno pod stropem, nad tabulí. Odvod je obdélníkovou stěnovou mřížkou. Hluk v učebnách je řešen kruhovými tlumiči hluku jdoucí za sebou, které jsou částečně ve stěně učebny (viz obr. 2). Regulace je zajištěna regulačními klapky podle koncentraci CO₂ v učebnách. Řízené větrání většinu času není v provozu z důvodu na stížnosti na hluk, průvan, a teplotu přiváděného vzduchu jak v zimním, tak i v letním období. Podle stížnosti učitelky, která se pohybuje každý den v posuzované učebně, kvůli vzduchotechnice v zimě fouká do hlavy chlazený vzduch, vzniká průvan, hlučnost od vzduchotechniky ruší hodinu a v letním období se pak učebna přehřívá.



Obr. 2 Půdorysné schéma učebny [autor]

Podle těchto stížností byla provedena měření pro zhodnocení mikroklimatických podmínek stávajícího stavu. V učebně byly sledovány následující veličiny:

1. Rychlost proudění vzduchu hlavně v úrovni hlavy učitele v blízkosti přívodu vzduchu.
2. Teplota vzduchu
3. Hladina akustického tlaku

Následující kapitoly se budou věnovat problematice uvedených výše a opatření související se vzniklými problémy v posuzované učebně.

3 Problematika rychlosti proudění vzduchu

3.1 Požadavky na tepelný stav vnitřního prostředí ve školách

Jedním z faktorů ovlivňující kvalitu vnitřního prostředí je tepelně-vlhkostní mikroklima. Tepelně-vlhkostní mikroklimatu tvoří teplota, vlhkost a rychlost proudění vzduchu. Tyto tři veličiny spolu s dalšími faktory (viz. tab.1) ovlivňují tepelnou pohodu prostředí [2].

Tab. 1 Faktory ovlivňující tepelnou pohodu [2]

Vnitřní prostředí	Osobní faktory	Doplňující faktory
Teplota vzduchu t_a [°C]	Hodnota metabolismu	Jídlo a pití
Střední radiální teplota t_r [°C]	Oblečení	Aklimatizace (adaptace na venkovní klima)
Operativní teplota t_o [°C]		Aklimace (adaptace na vnitřní prostředí)
Rychlost proudění vzduchu w [m.s-1] a jeho turbulence		Tělesná postava
Relativní vlhkost vzduchu φ [%]		Věk a pohlaví

Z těchto parametrů nás nejvíc bude zajímat teplota vzduchu t_a [°C] a rychlost proudění vzduchu w [m.s-1] ve vnitřním prostředí.

Teplota vzduchu je teplota vnitřního vzduchu bez vlivu sálání z okolních povrchů. Výsledná optimální teplota ve školních učebnách by měla být $22 \pm 2^\circ\text{C}$, pak v letním období nesmí překročit 28°C (viz. tab.2)

Rychlost vzduchu ovlivňuje přenos tepla prouděním a odpařování vlhkosti z pokožky (2), a v školních učebnách by měla být v rozmezí 0,1-0,2 m.s-1 (viz. tab. 2). Při vyšších rychlostech může způsobit i pocit průvanu.

Tab. 2 Celoročně přípustné parametry mikroklimatických podmínek ve školských zařízeních dle vyhlášky č. 410/2005 Sb. [3]

Typ prostoru	Výsledná teplota			Rychlost proudění v_a [m.s ⁻¹]	Relativní vlhkost Rh [%]
	$t_{g \text{ min}}$ [°C]	$t_{g \text{ opt}}$ [°C]	$t_{g \text{ max}}$ [°C]		
Učebny	20	22 ± 2	28	0,1 až 0,2	30 až 65
Tělocvičny	18	20 ± 2	28	0,1 až 0,2	30 až 65
Umývárny	20	22 ± 2	28	–	–
Sprchy	24	–	–	0,1 až 0,2	30 až 65
Záchody	18	–	–	0,1 až 0,2	30 až 65
Chodby	18	–	–	0,1 až 0,2	30 až 65

3.2 Experimentální měření rychlosti proudění vzduchu v učebně

3.2.1 Popis měření a měřicí technika


Měření proběhlo ve vybrané třídě v tomto pořadí:

Tab. 3 Pořadí měření [autor]

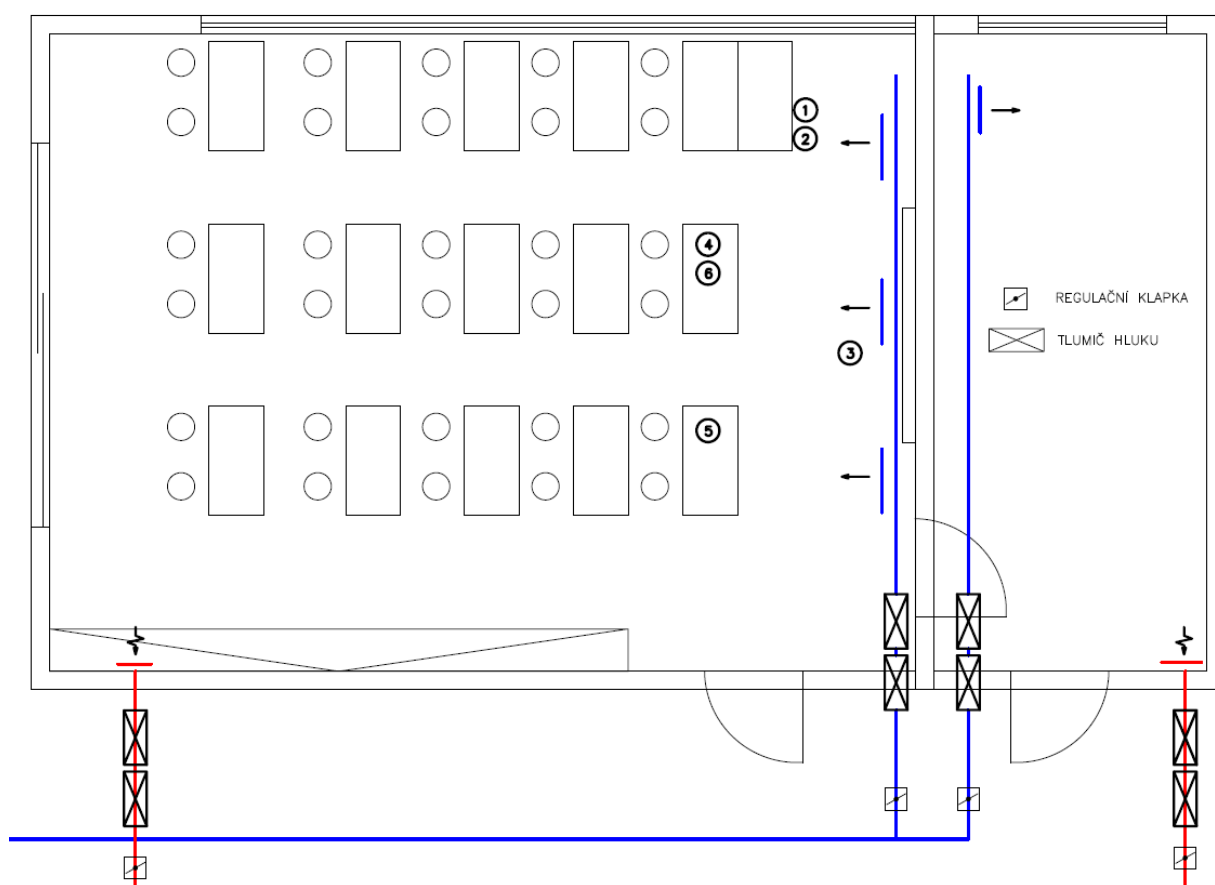
Datum a čas	Místnost	Sledované veličiny
23.10.2019 od 14:30 do 16:00	učebna č .1	<ul style="list-style-type: none"> • rychlost a teplota vzduchu • hladina akustického tlaku*
6.11.2019 od 13:30 do 14:00	učebna č .1	Hladina akustického tlaku* (viz Kapitola 4)

*Pozn. Měření hluku ve třídě bylo zopakováno, z důvodu chybné instalace softwaru měřicí techniky.

Měřicí technika:

Datalogger	Ahlborn ALMEMO 2590-4AS	
Teplota vzduchu	Teplotní čidlo	
Rychlost proudění vzduchu	Termoanemometrický všesměrový snímač AHLBORN ALMEMO	<ul style="list-style-type: none"> • Rozsah 0,01 až 1,00 m/s • Rozlišení 0,001 m/s • Přesnost ±(0.1 m/s + 1.5 % z m.v.)

Čidla teploty vzduchu, anemometr byly upevněny ke stojanu a umístěny v různých místech, v různé výšce, hlavně na úrovni stojícího učitele a sedící osoby těsně vedle distribučních prvků. Pro přívod vzduchu jsou použity 3 nastavitelné výústky vložené do kruhového SPIRO potrubí o rozměru cca 700/75 mm. Celkem bylo změřeno 6 bodů. Hodnoty byly pomocí dataloggeru zaznamenávány v intervalu 10 sekund. Otopná tělesa v době měření nevytápěli místnost, okna a dveře byly zavřeny. Měření proběhlo po výuce, tedy učebna byla prázdná.



Obr. 3 Půdorysné schéma větrání učebny a změřené body [autor].

3.2.2 Výsledky měření

Teploty vzduchu se po celou dobu měření pohybovaly v rozsahu (viz. Tabulka výsledků), který vyhovuje požadavkům vyhlášky č. 410/2005 Sb. tj. optimální teplota v intervalu $22 \pm 2^\circ\text{C}$.

Rychlost vzduchu v učebně byl pohybován od 0,275 m/s do 0,318 m/s. Níže jsou uvedeny výsledky průměrné rychlosti proudění a teploty vzduchu v jednotlivých místech měření.

Tab. 4 Výsledky měření rychlosti a teploty vzduchu [autor]

Bod č.	Umístění	Rychlost vzduchu [m/s]	Teplota vzduchu [°C]
1	úroveň hlavy – stojící učitel	0,296	22,9
2	úroveň hlavy – sedící učitel	0,295	23,247
3	úroveň hlavy stojícího učitele před tabulí	0,287	22,78
4	úroveň hlavy - sedící žák	0,295	23,41
5	úroveň hlavy - sedící žák	0,295	23,146
6	úroveň břicha žáku	0,296	23,5

Rychlost proudění vzduchu pro učebny dle vyhlášky č. 410/2005 Sb. ve znění vyhlášky č. 343/2009 Sb. je pak 0,1 až 0,2m/s a naměřené hodnoty tedy převyšují přípustné parametry.

Dále dle naměřených hodnot rychlosti vzduchu byl posouzen index průvanu DR (draught rating). Obtěžování průvanem lze vyjádřit procentuálním podílem lidí, u kterých se předpokládá tento pocit. Ukazatel DR je dán vztahem dle ČSN EN ISO 7730 (Ergonomie tepelného prostředí):

$$DR = (34 - ta) (v - 0,05) 0,62 \cdot (0,37 \cdot v \cdot Tu + 3,14)$$

kde je:

DR - procentuální podíl lidí, kteří jsou nespokojeni v důsledku průvanu (%)

Ta - místní teplota vzduchu (°C)

V - místní průměrná rychlost vzduchu (m/s)

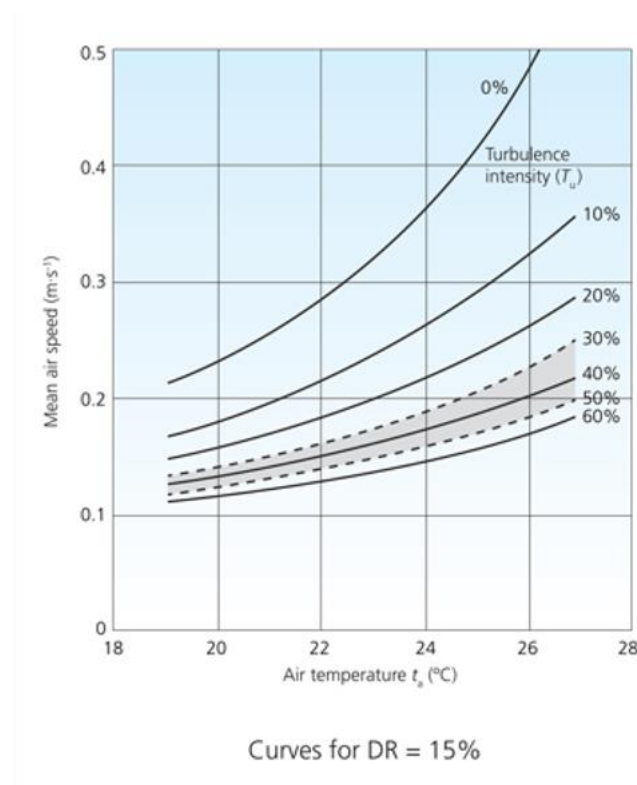
Tu - místní intenzita turbulence v procentech, definovaná jako podíl směrodatné odchylky místní rychlosti a místní průměrné rychlosti (%). Místní intenzita turbulence nebyla známá a byla uvažována jako 40 % [4].

Výsledky jsou uvedeny níže v tabulce:

Tab. 5 Výsledky výpočtu indexu průvanu DR [autor]

Bod č.	Umístění	Rychlost vzduchu [m/s]	Teplota vzduchu [°C]	DR – index průvanu v procentech
1	úroveň hlavy – stojící učitel	0,296	22,9	35
2	úroveň hlavy – sedící učitel	0,295	23,247	32
3	úroveň hlavy stojícího učitele před tabulí	0,287	22,78	34
4	úroveň hlavy - sedící žák	0,295	23,41	33
5	úroveň hlavy - sedící žák	0,295	23,146	34
6	úroveň břicha žáku	0,296	23,5	33

Podle výpočtu pak vychází DR kolem 34%, což je nevyhovující pro komfortní prostředí. To by nemělo překročit hodnotu 15% [5].



Obr. 4 Křivka indexu průvanu pro DR=15% [5]

Podle křivky je vidět, že aby dosáhnout komfortního prostředí při naměřené teplotě kolem 23 °C a rychlosti vzduchu 0,3m/s musí být místní intenzita turbulence 0 až 5 %, což je nepravděpodobné.

Pro dosažení DR = 15% pak musí být rychlost proudění vzduchu kolem 0,15 m/s při optimální intenzitě turbulence 40% a teplotě 23°C. Pak pro vyšší teplotu v letním období, například pro 26 °C rychlost proudění vzduchu by měl být 0,2m/s.

3.2.3 Vyhodnocení měření

Měření ukázalo, že rychlost proudění vzduchu v pobytové zóně přesahuje požadovanou rychlost, stejně jako index průvanu, který přesahuje limit 15%. Nicméně nelze přesně říct, jestli navržená výústka vhodná nebo ne. Na výsledky měření a tím pádem i na posouzení vhodnosti výústky mohou mít vliv několik důležitých věcí jako:

- Regulace – v průběhu měření nebylo známo nastavení regulace (regulační klapky) a tím pádem i průtok vzduchu, které bylo přiváděno na základě regulace. Rychlost vzduchu hodně záleží na množství vzduchu, při větším množství pak může vznikat vysoké rychlosti v pobytové zóně.
- Nastavení výústky, úhel lamel atd.
- Vytápění – v průběhu měření otopná tělesa nevytápěli místnost, jinak by to mělo vliv na proudění vzduchu.
- Chyby měřicího přístroje

Bohužel, kromě uvedených výše parametrů nebyly známé další klíčové parametry jako rychlost vzduchu v potrubí, teplota vzduchu při výstupu z výústky atd., které jsou velmi důležité pro posouzení stávající výústky a výběr nové.

Pro ověření všech těchto parametrů by se pak potřebovalo přesnější měření a tím pádem i větší zásah do přívodního potrubí.

Doporučuji pro tento případ nejdřív zjistit výše uvedené parametry a posuzovat možnosti dalších řešení, popřípadě zopakovat měření rychlosti vzduchu při různé nastavení regulaci, průtoku vzduchu a při vlivu vytápění na proudění vzduchu.

Nicméně riziko průvanu ve vybrané učebně existuje a na základě výše uvedených výsledků a vyhodnocení, v následující kapitole budou popsány příklady posouzení vhodnosti různých koncových prvků pro větrání učeben a následně výběr alternativních řešení.

3.3 Řešení problému průvanu

3.3.1 Příklady posouzení různých koncových prvků na základě experimentálních měření a simulací.

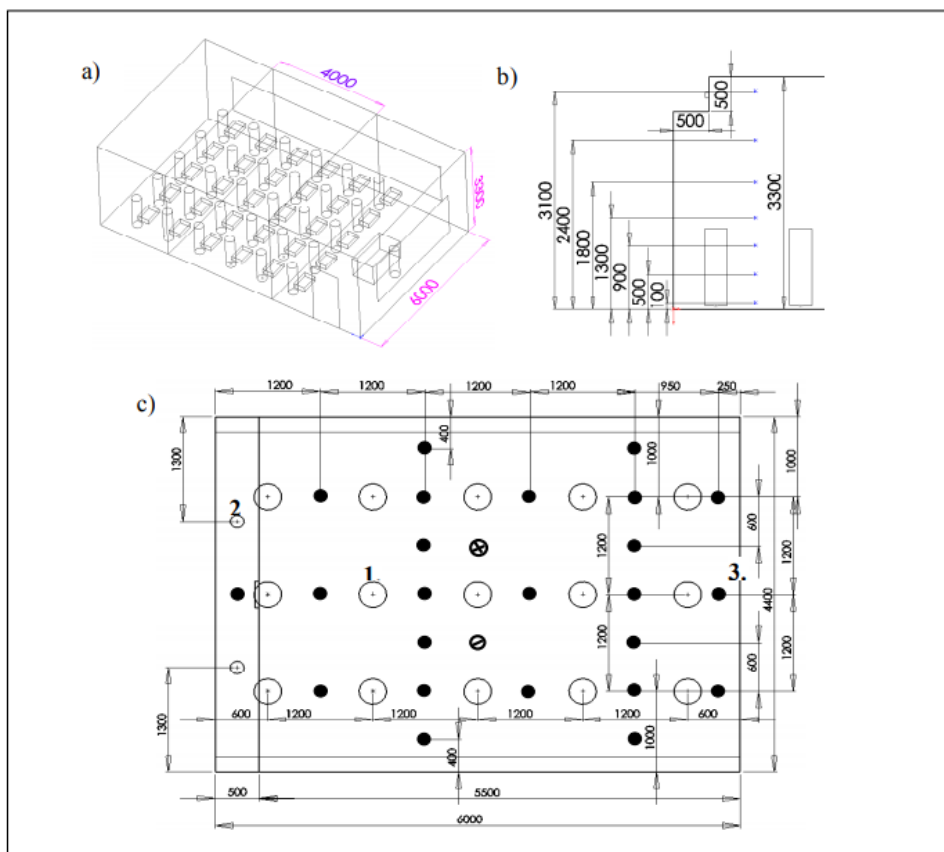
Prvním příkladem je studie porovnání různých typů distribuce vzduchu v experimentálním modelu učebny, kde se měří rychlost vzduchu v zimním i v letním stavu, při různé obsazenosti a tepelné zátěži. V měření byly posouzeny stěnová mřížka (A), zaplavovací distribuce vzduchu – velkoplošná výust' (B), stropní tryskový anemostat (C) a perforovaná mřížka do potrubí (D).

Heat loads and heat losses of the simulated classroom (half size of the actual classroom)	Summer Full Occupancy	Summer Half-Occupancy	Winter Half-Occupancy
Room air temperature	26 °C	24 °C	21 °C
Occupants 58 W/person (total heat load)	15 (870 W)	7 (406 W)	7 (406 W)
Lighting 15 W/m ²	360 W	360 W	360 W
Solar load or heat loss from window (surface temperature of window)	197 W (30 °C)	296 W (30 °C)	-448 W (11 °C)
Power of a radiator underneath window	0 W	0 W	250 W
Total heat gains	1427 W	1062 W	1016 W
Supply airflow rate 90 l/s (supply temperature)	-972 W (17 °C)	-756 W (17 °C)	-324 W (18 °C)
Heat loss through structures	-455 W	-306 W	-244 W
Total heat losses	-1427 W	-1062 W	-1016 W

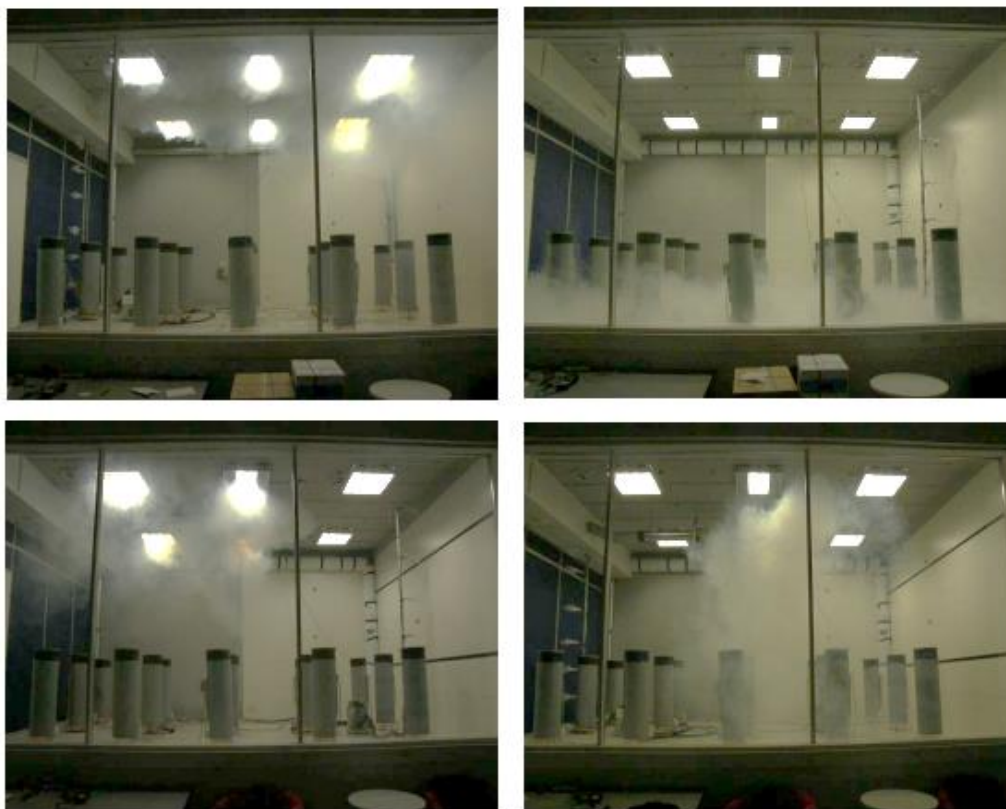
Obr. 5 Obsazenost a tepelná zátěž učebny [6]



Obr. 6 Posouzené distribuční prvky [10]



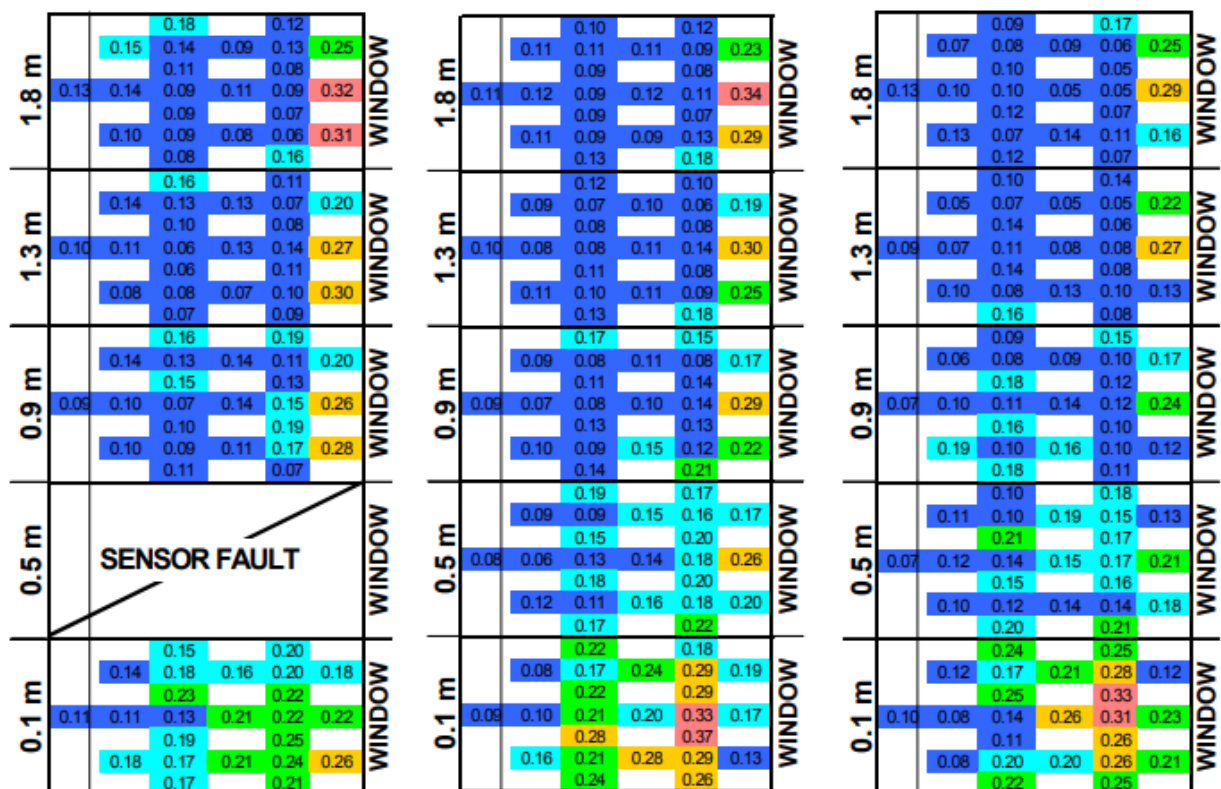
Obr. 7 Schéma umístění měřicích bodů ve vybraném úseku místnosti [10]



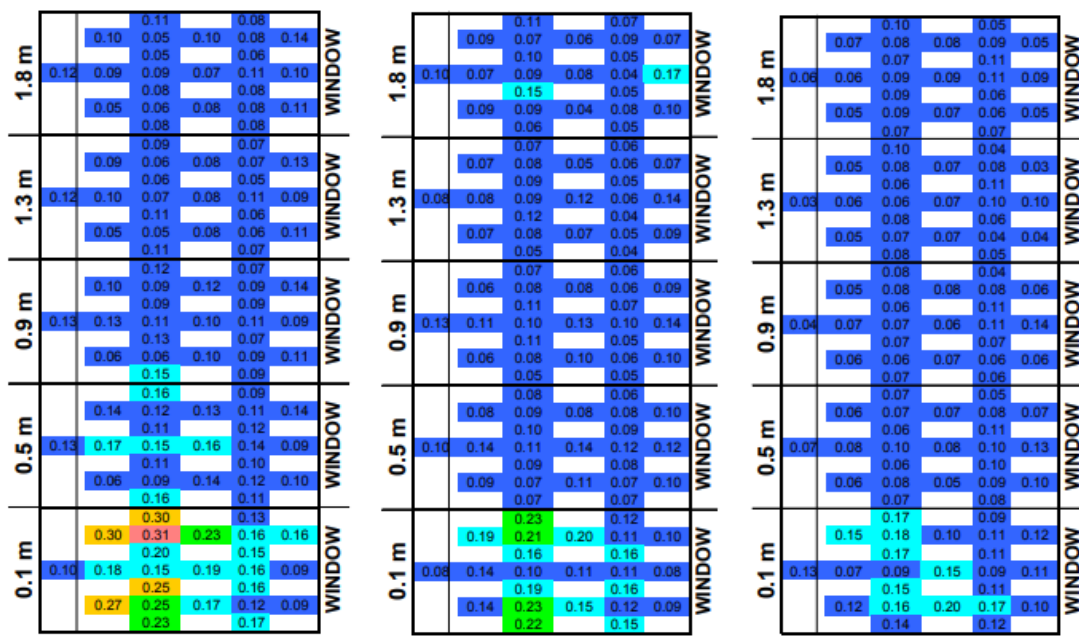
Obr. 8 Proudění vzduchu v letním stavu [6]

Simulace ukázala, že nejmíň vhodným prvkem je stěnové mřížky, kde se vyskytují vysoké rychlosti vzduchu v zimním i letním stavu (viz obr. 9). Distribuce vzduchu mřížkami je možné optimalizovat jen pro jeden vybraný stav. Dosah proudu mřížky je možné optimalizovat pro zimní stav výběrem větší mřížky, které následně sníží rychlost proudění vzduchu v pobytové zóně. Nicméně, to by se pak přivedlo k riziku průvanu v letním stavu, kde kvůli teplotnímu rozdílu, proud chlazeného vzduchu bude klesat dříve.

Při použití perforovaných mřížek, distribuce vzduchu je nestabilní a může se vyskytovat riziko průvanu (obr. 10). U obou případů se dozvědělo, že distribuce vzduchu je citlivé na hodnotu tepelné zátěže a její polohu v místnosti [7].

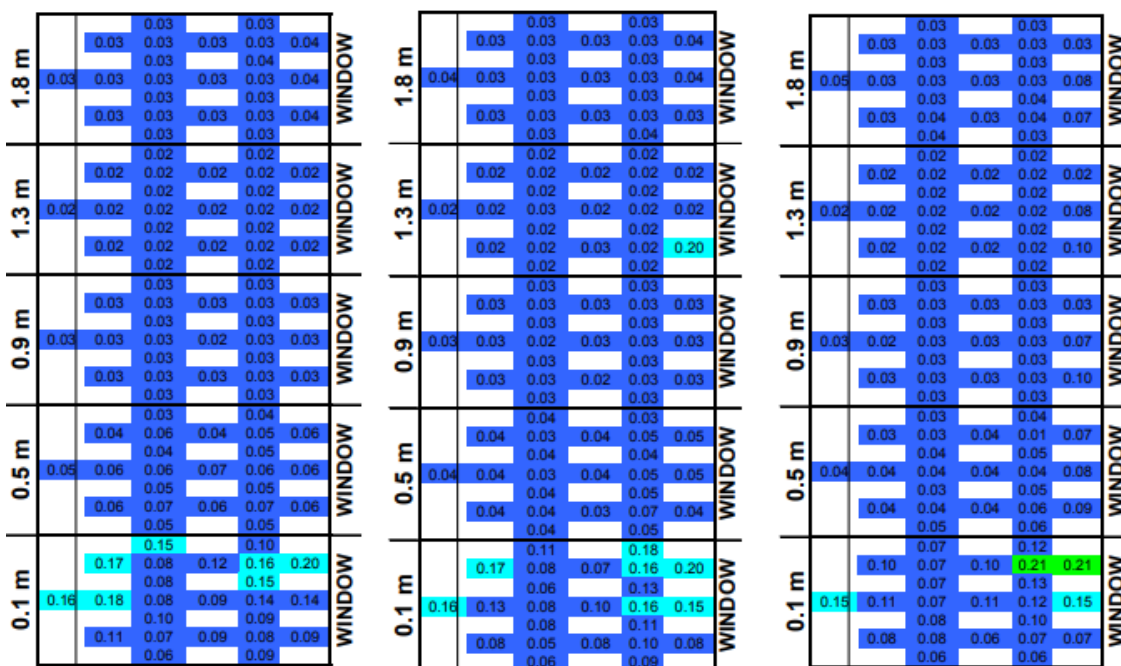


Obr. 9 Stěnová mřížka. Rychlost proudění vzduchu v různé výškové úrovni v pořadí: letní stav – plná obsazenost, letní stav – poloviční obsazenost, zimní stav – poloviční obsazenost [7]

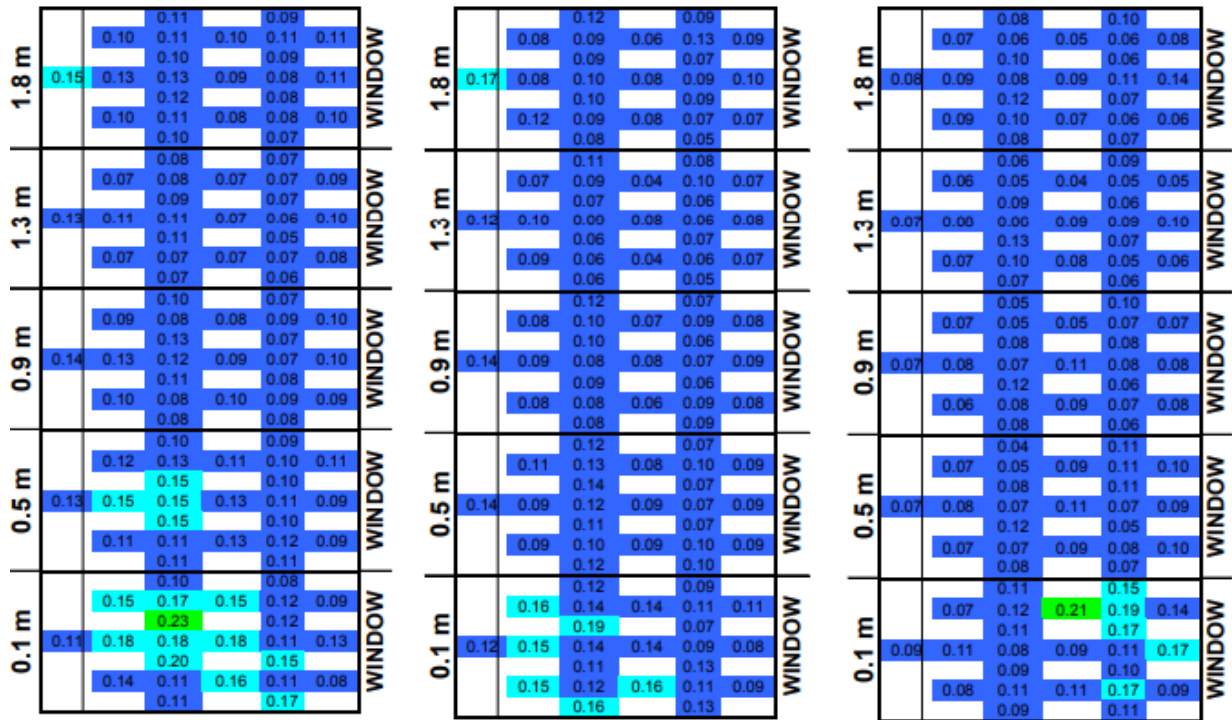


Obr. 10 Perforovaná mřížka. Rychlost proudění vzduchu v různé výškové úrovni v pořadí: letní stav – plná obsazenost, letní stav – poloviční obsazenost, zimní stav – poloviční obsazenost[7]

Na základě měření se ukázalo, že nejmenší citlivý prvek na tepelnou zátěž ve všech stavech je velkoplošná výust', při které bylo poskytováno rovnoměrné větrání jak v letním tak i v zimním stavu (obr. 11). V případě stropního anemostatu rychlosti vzduchu byly nízké ve všech stavech, v zimním stavu distribuce vzduchu byla rovnoměrná (obr. 12). V závěru se pak doporučuje používat pro větrání učeben kombinaci stropního tryskového anemostatu a velkoplošné výustí.

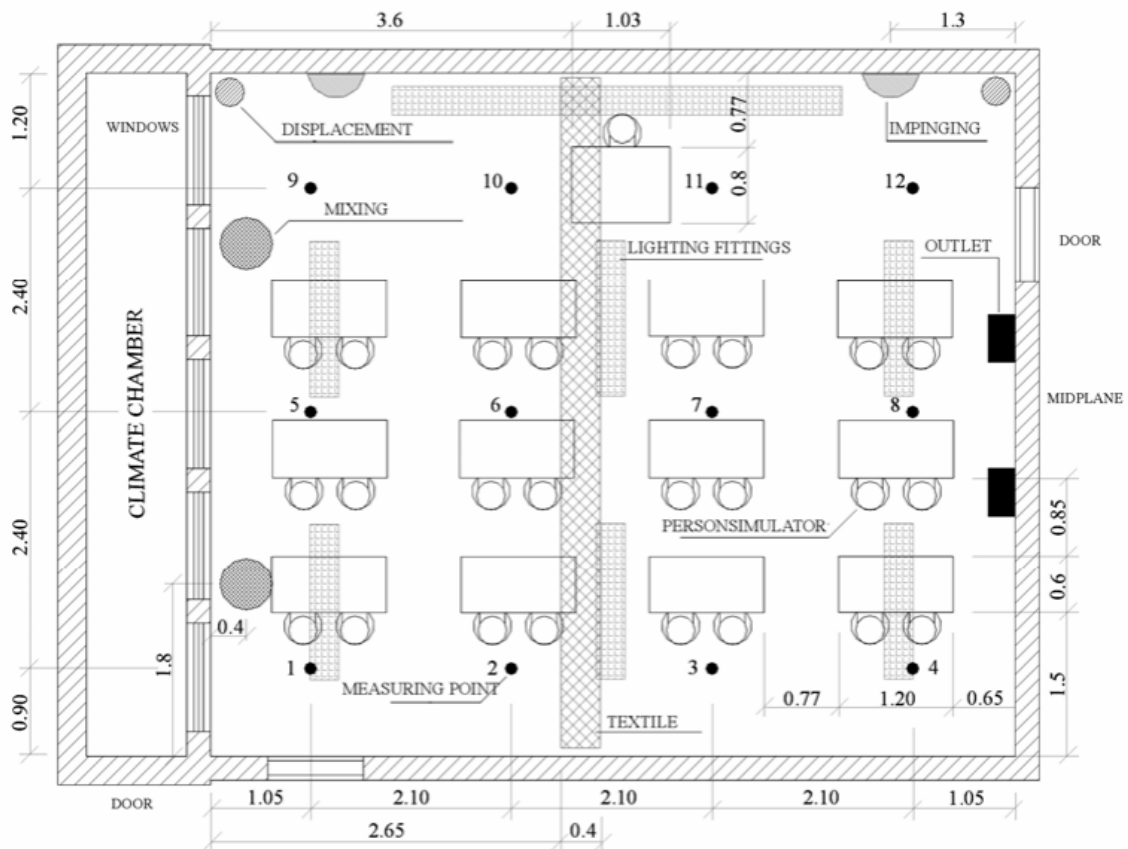


Obr. 11 Zaplavovací větrání. Rychlost proudění vzduchu v různé výškové úrovni v pořadí: letní stav - plná obsazenost, letní stav – poloviční obsazenost, zimní stav – poloviční obsazenost[7]



Obr. 12 Stropní tryskový anemostat. Rychlost proudění vzduchu v různé výškové úrovni v pořadí: letní stav – plná obsazenost, letní stav – poloviční obsazenost, zimní stav – poloviční obsazenost [7]

V dalším studiu porovnání distribučních prvků pro větrání učebny byly posouzeny obdobné prvky, směšovací větrací prvky a zaplavovací větrací prvky.



Obr. 13 Půdorysné schéma učebny a měřících bodů [8]

Porovnání prvků proběhlo pomocí CFD simulací. Výsledky jsou uvedeny níže.

Stand no.	5		6		7		8		Case
	Measured	Predicted	Measured	Predicted	Measured	Predicted	Measured	Predicted	
Mixing	0.23	0.23	0.13	0.17	0.16	0.06	0.14	0.10	Winter
	0.11	0.10	0.18	0.08	0.17	0.11	0.11	0.14	Summer
Displacement	0.12	0.13	0.11	0.11	0.11	0.10	0.14	0.14	Winter
	0.14	0.07	0.11	0.09	0.12	0.11	0.14	0.10	Summer
Impinging jet	0.09	0.12	0.15	0.11	0.10	0.11	0.11	0.12	Winter
	0.14	0.12	0.11	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	Summer
Textile	0.11	0.10	0.22	0.16	0.17	0.17	0.08	0.09	Winter
	0.13	0.06	0.13	0.12	0.30	0.17	0.14	0.12	Summer

Obr. 14 Rychlosti proudění vzduchu v bodech 5,6,7,8 ve výšce 0,1m od podlahy [8].

Velké rozdíly mezi změřené a předpověděné rychlosti vzduchu (například u textilní výstě) se vysvětluje různými příčinami jako například zjednodušené modely v simulaci, chyby v měření apod.

Podle simulací, větrání pomocí směšování v letním období rozloží teplotu rovnoměrně, v zimním období teplota vzduchu v místnosti je rovnoměrná při nižším průtoku vzduchu. Rychlost vzduchu v některých

místech pobytové zóny je vyšší jak v letním, tak i v zimním období, z hlediska akustiky pak je nejhluchnějším způsobem větrání.

Zaplavovací větrání pomocí velkoplošné výustě ukázalo nižší teploty vzduchu v úrovni podlahy a vyšší rychlosti v blízkosti distribučního prvků jak v letním, tak i v zimním období. Z hlediska akustiky je pak vyhovující. Teplota vzduchu při druhém způsobu zaplavovacího větrání je nižší v úrovni podlahy a v blízkosti přívodu vzduchu. Rychlost vzduchu je nižší v úrovni podlahy.

Textilní rukávec poskytuje rovnoměrné rozložení teploty v letním stavu, v zimním stavu pak teplota klesá v blízkosti oken. Rychlost vzduchu v letním období klesá přímo pod rukávцем a nějak nižší v zimě.

V závěru měření se pak uvádí, že jednotlivé systémy distribuci vzduchu mají své výhody a nevýhody. Systémy, které přivádí vzduch přímo do pobytové zóny (zaplavovací větrání) omezují využití této plochy, ale poskytují efektivní větrání učebny, což je pravda. Ve většině škol vybavení interiéru učebny neumožňuje instalaci zaplavovacího větrání a při nuceném větrání českých škol se tento způsob distribuce vzduchu moc nepoužívá. Směšovací větrání je oproti tomu méně efektivní, ale neomezí podlažní plochu [8].

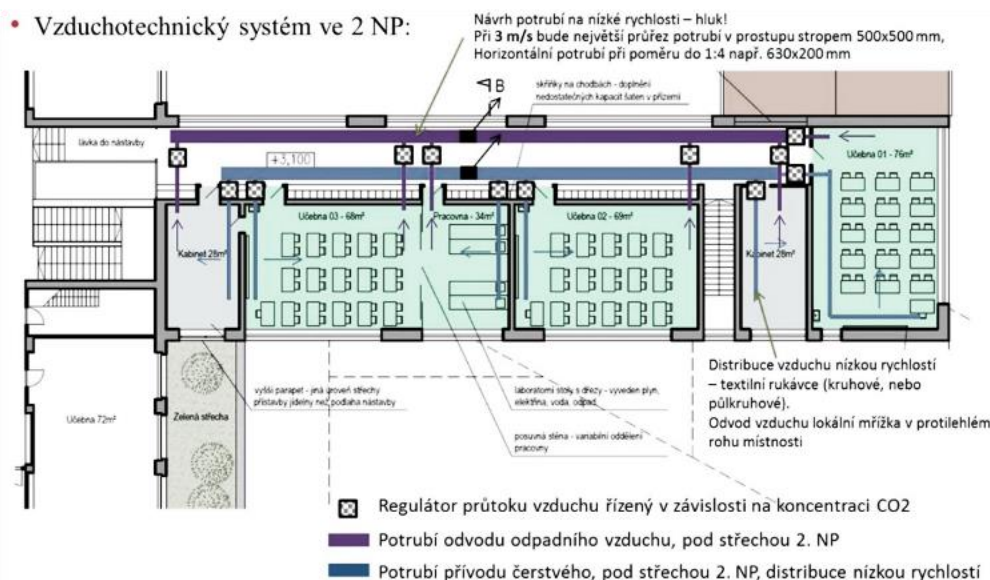
3.3.2 Alternativní řešení stávajícího problému a příklady z realizace.

Jako alternativní řešení bych doporučila výměnu stávajících výustek ve vybrané učebně na jiný distribuční prvek. Nejvhodnějším distribučním prvkem v této situaci je textilní výustky (rukávce).

Výhody textilních výustek jsou:

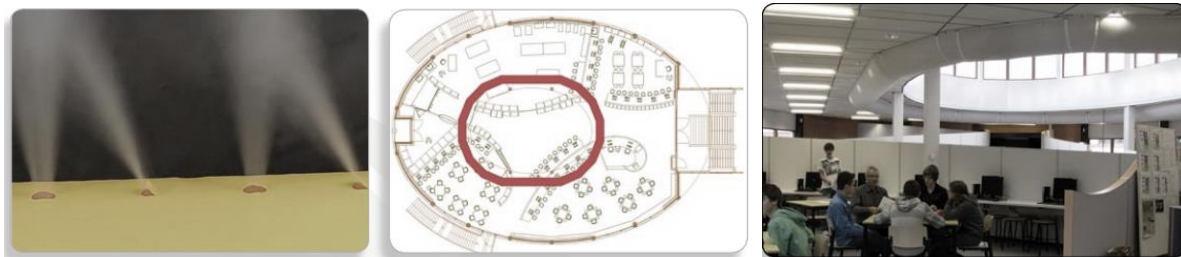
- Řešení nebude moc zasahovat do stávajícího systému vzduchotechniky základní školy. Vymění se stávající potrubí za tlumičem hluku na textilní rukávce.
- Oproti výustkám vložené do potrubí poskytuje větrání celým povrchem textilního rukávce, a tím rovnoměrně provětrá a rozloží teplotu.
- Nízká hlučnost oproti potrubním výustkám. Posouzení hlučnosti od vzduchotechniky stávajícího systému je uváděno v kapitole 4.
- Snadná čištění a údržba
- Estetický vzhled

Zajímavé je to, že v konceptu větrání projektu rozšíření základní školy bylo počítáno s textilními rukávci. (viz. Obr. 15) Ve skutečnosti se pak zrealizovalo pozinkované spiro potrubí s obdélníkovými výustkami.



Obr. 15 Koncept větrání učeben základní školy Oty Pavla [9]

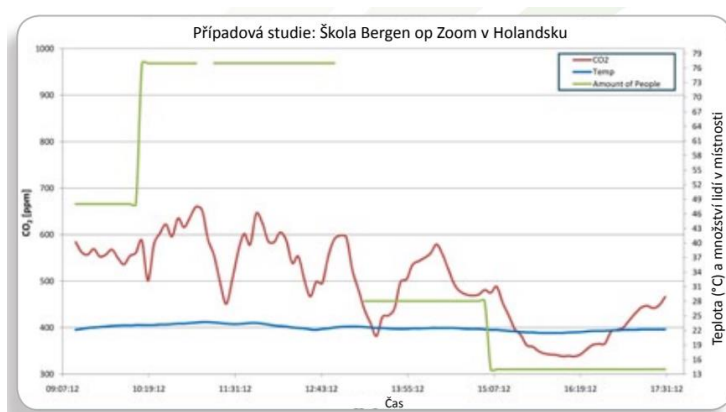
V dnešní době se textilní výustky stávají být novým trendem v použití pro větrání v průmyslu, a i v administrativních stavbách, kde jsou vhodné nejen pro větrání, a i pro chlazení místnosti. Nejsou výjimkou i školské stavby. Příkladem tomu je použití systému Euro Air DFC indukce do vědecké učebny ve škole Bergen v Holandsku. Systém používá větrání, kde vzduch přiváděn částečně povrchem tkaniny a částečně patentovaným systémem směrových klapek v textilním rozvodu (viz. Obr. 16).



Obr. 16 Systém Euro Air DFC Indukce [10]

Budova školy je novostavbou a děti pracují na různých vědeckých projektech ve skupinách. Studenti a učitelé podávají pozitivní zpětnou vazbu o navržené ventilaci.

Výhodou systému je vysoká schopnost výměny vzduchu bez vzniku nepříjemného průvanu. Směrové klapky nedovolí vzniknout turbulence v okolí rukávu [10].



Obr. 17 Případová studie Škola Bergen [10]

Dalším příkladem použití textilních rukávců v školských stavbách je větrání učeben na ČVUT fakulta stavební. Ve 4.pátře bylo instalováno nucené větrání zejména pro použití v zimním období. Větrání učeben, konferenčních místností a kanceláří zajišťuje centrální jednotka s rekuperací, která se nachází pod stropem v hygienickém zázemí [11]. Pro přívod vzduchu se do učeben a konferenčních místností používají textilní rukávce a odvod vzduchu je obdélníkovými výstky (viz. Obr. 18).



Obr. 18 Textilní vyústka v konferenční místnosti. Fakulta stavební ČVUT v Praze [11]

Další příklady použití textilních rukávců.



Obr. 19 ZŠ Malý Újezd. Přívod vzduchu textilními rukávci a odvod vzduchu vyústí [12]



Obr. 20 Použití textilních rukávců při větránírekonstruovaných škol [13].

Větrání učebny v Innsbrucku. Vzduch, který byl ohříván v centrální rekuperační jednotce a následně pak přiváděn přes schodiště do chodeb, se do učebny dostává pomocí malého lokálního ventilátoru a textilního rukávce (viz. Obr. 20).



Obr. 21 Půlkruhová textilní vyústka v učebně školy Baaring Denmark [14].

4 Problematika hluku

4.1 Akustické mikroklima v učebnách

Akustické mikroklima je dalším faktorem ovlivňující kvalitu vnitřního prostředí a velmi důležité ve školním prostředí. Hluk v školním prostředí má vliv na pozornost vnímání a produktivitu práce.

V prostorách, kde se větrá nuceně, nejvýznamnějším zdrojem hluku je ventilátory vzduchotechnického zařízení. Jedná se hlavně o hluk aerodynamického původu. Hluk se od ventilátoru šíří hlavně potrubím, a může se šířit jak do interiéru, tak i do exteriéru. Vedlejší zdroje hluku vznikají při obtékání překážek ve vzduchotechnickém potrubí. Například vstup a výstup vzduchu do mezery mezi kulisami tlumiče hluku, obtékání listu regulační klapky, výtok vzduchu z distribučních elementů, kde dochází k náhlé změně průřezu a na dalších místech [15].

4.1.1 Legislativní a normové požadavky

Větrací zařízení musí být navrženo tak, aby hladina akustického tlaku A v učebně při jeho provozu nepřevyšovala limitní hodnoty dané nařízením vlády č. 272/2011 Sb. vč. vlivu pronikání vnějšího hluku. Podle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. je hluk v učebnách hodnocena ekvivalentní hladinou akustického tlaku A (za časový úsek T) L_{AeqT} v dB. Hygienický limit pro učebny je $L_{AeqT} = 45$ dB [11].

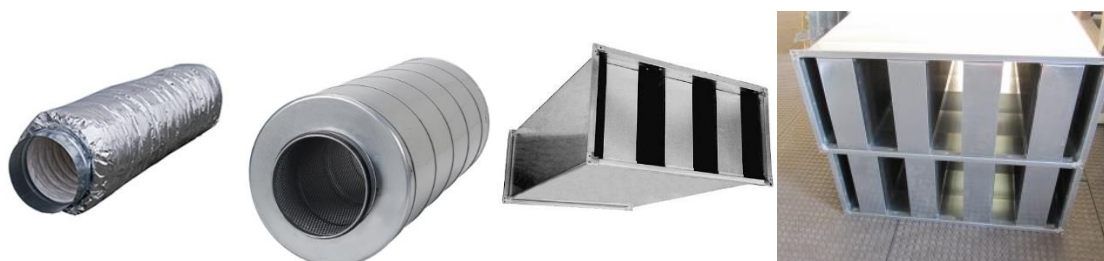
Podle normy ČSN EN 15 251 větrací zařízení je nutno navrhovat tak, aby hladina akustického tlaku A v učebnách nepřekročila hodnotu 40 dB z důvodu nejistoty měření a možném výskytu tónové složky [16].

Typ prostoru	Ekvivalentní hladina akustického tlaku A	
	Typický rozsah [dB]	Návrhová hodnota
Školky	30 – 45	40
Učebny	30 – 40	35
Chodby	35 – 50	40
Tělocvičny	35 – 45	40
Kabinety	30 – 40	35
Záchody a šatny	40 – 50	45

Obr. 22 Doporučené hladiny akustického tlaku ve školách podle ČSN EN 11 251 [11]

4.1.2 Protihlukové opatření vzduchotechnických systémů

Mezi základními prvky útlumu hluku ve vzduchotechnice patří tlumiče hluku. Tlumiče jsou v podstatě části rovného potrubního rozvodu vyložené hlukově pohltivým materiálem, nejčastěji minerální vlnou. Povrch pohltivé hmoty bývá upraven děrovaným plechem, netkanou textilií nebo plastovou fólií (pro hygienické provedení), případně kombinacemi uvedeného [15]. Rozdělení typu tlumičů dle konstrukce je uvedeno níže na Obr. 23.



Obr. 23 Typy tlumiči hluku dle konstrukce v pořadí: ohebné kruhové, kruhové, kulisový tlumič, buňkový tlumič hluku

Další opatření je správný návrh vzduchotechnického systému, jako zmenšení tlakových ztrát, správný návrh zúžení v potrubí, správný návrh rychlosti vzduchu v potrubí. Tvarovky, zejména větších rozměrů, mají lepší útlum hluku (hlavně odrazem) než rovné potrubí. Málo větvené trasy mají horší vlastnosti útlumu hluku [15].

Existují i takové potrubí, které samo o sebe představují akustickou izolaci. Například systém vzduchotechnických potrubí Climaver od Isoveru. Jde o panely o tloušťce 25mm nebo 40mm zhotovené ze skelní vlny s vnějším hliníkovým polepem, působící jako parozábrana. Z panelů lze jednoduše vytvořit přímý vzduchovod nebo tvarovky. Panely mají lepší tepelné a akustické vlastnosti a vysokou úroveň vzduchotěsnosti. Jak uvádí výrobce, vzduchovody z těchto panelů tlumí nejen hluk z klimatizačního zařízení ale i hluk vznikající vibracemi samotného vedení, jak to bývá s plechovým pozinkovaným potrubím [17].

Akustické vlastnosti systému CLIMAVER® A2 Neto:

Frekvence (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Tloušťka d (mm)	Koeficient pohltivosti alpha dle EN ISO 354 / EN ISO 11654					
25	0,35	0,65	0,75	0,85	0,9	0,9
Průměr potrubí (mm)	Hlukový útlum v přímém kanálu ΔL (dB/m)					
200x200	4,83	11,49	14,04	16,73	18,12	18,12
300x400	2,82	6,70	8,19	9,76	10,57	10,57
400x500	2,17	5,17	6,32	7,53	8,15	8,15
400x700	1,90	4,51	5,51	6,57	7,12	7,12
500x1000	1,45	3,45	4,21	5,02	5,44	5,44

Obr. 24 Akustické vlastnosti potrubí Climaver A2 Neto [17].



Obr. 25 Montáž potrubí z panelu [17]

Výhodami systému oproti tradičnímu potrubí jsou:

- Akustické vlastnosti, v případě větrání administrativních a školských staveb není nutno instalovat tlumiče hluku před každou učebnou apod.
- Tepelně izolační vlastnosti a vzduchotěsnost a tím i úspora energie.
- Flexibilní montáž přímo na stavbě, a tím i úspory na dopravě, oproti tradičnímu metalickému potrubí velkých rozměrů.
- Nezatíží konstrukci, jsou lehčí než tradiční metalické potrubí

Níže jsou uvedeny referenční školské stavby, kde jsou navrženy potrubí Climaver.



Obr. 26 Střední škola HOŘOVICE-TLUSTICE [17]



Obr. 27 Využití potrubí Climaver ve vzdělávacích stavbách ve Španělsku. Důvody pro výběr systému jsou akustické požadavky, finanční úspory a úspory energie [18]

4.2 Experimentální měření hluku ve třídě


4.2.1 Popis měření a měřicí technika

Měření proběhlo ve vybrané třídě v tomto pořadí:

Datum a čas	Místnost	Sledované veličiny
23.10.2019 od 14:30 do 16:00	učebna č.1	<ul style="list-style-type: none">• rychlost a teplota vzduchu• hladina akustického tlaku*
6.11.2019 od 13:30 do 14:00	učebna č.1	Hladina akustického tlaku*

*Pozn. Měření hluku ve třídě bylo zopakováno, z důvodu chybné instalace softwaru měřicí techniky.

Měřicí technika:

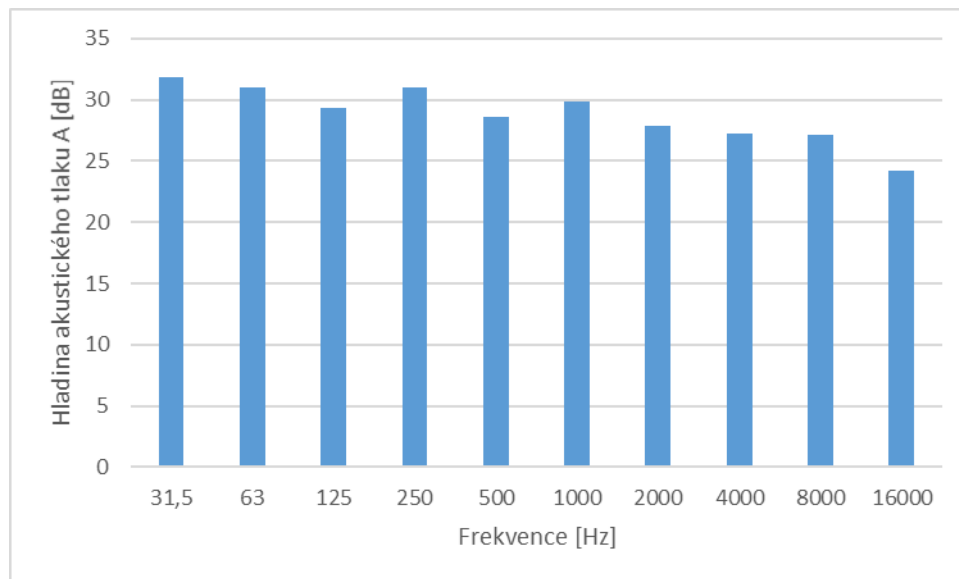
Multifunkční akustický analyzátor	MINILINK ACOUSTILYZER AL1	
Měřicí Mikrofon MiniSPL	<ul style="list-style-type: none">• (20 ± 2) mV/Pa,• (-34 ± 1) dBV/Pa @ 1 kHz, 20°C• $+0.05$ dB SPL / °C	

Během měření hluku okna a dveře byly zavřeny a učebna nebyla negativně ovlivněna hlukem z venkovního prostředí.

Podle stížnosti učitelky hlučnost od vzduchotechniky je moc rušivý, i když požadavek na hlučnost byl splněn dle předchozích měření. Proto hlučnost v učebně byla změřena v jednotlivých oktávních pásmech.

4.2.2 Výsledky měření

Hodnota ekvivalentní hladiny akustického tlaku A v učebně se zapnutým nuceným větráním je 36,6 dB. Hluk byl minimální a pro mě přišel vůbec nevímátelný. Výsledky hladiny hluku v jednotlivých pásmech jsou uvedeny níže:



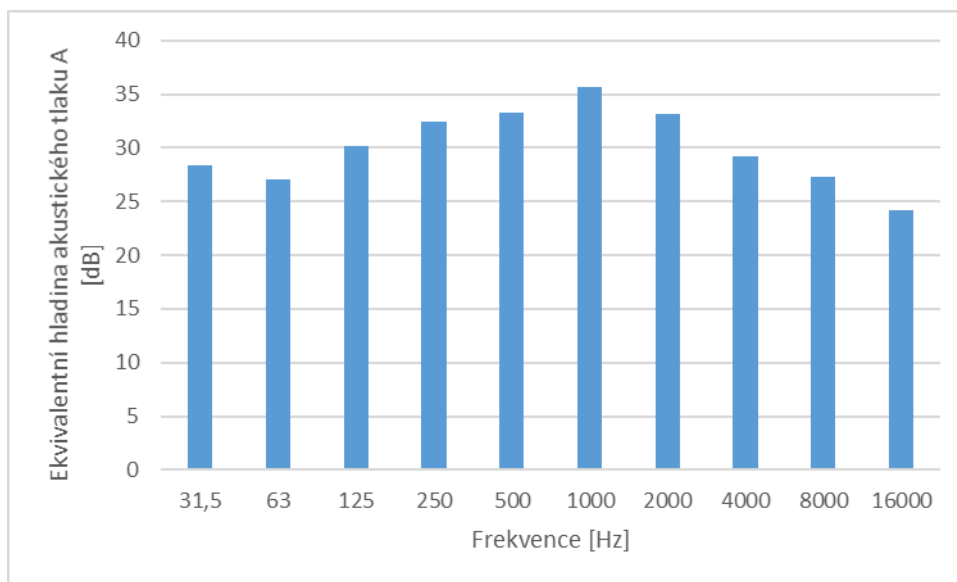
Graf 1 Průběh ekvivalentní hladiny akustického tlaku v jednotlivých pásmech [autor]

Tab. 6 Hodnota hladiny akustického tlaku v jednotlivých pásmech [autor]

Band [Hz]	LAeq [dB]
31,5	31,8
63	31
125	29,3
250	31
500	28,6
1000	29,9
2000	27,9
4000	27,2
8000	27,1
16000	24,2

Na základě hodnot z tab.6 legislativní požadavek byl splněn.

Zajímavým bylo to, že jakmile se otevíraly dveře místnosti, která se nachází vedle, začal se vznikat průvan a tím se zvyšovala hlučnost ve třídě. Příčinou tohoto průvanu a hlučnosti nebyla vzduchotechnika. Nejdřív to bylo vnímáno tak, že ten hluk dělал vzduchotechnický systém, ale pak se to dozvědělo, že hluk byl od umývadla, a to vívem průvanu vzniklým otevřením dveří. Ekvivalentní hladina akustického tlaku A se pak pohybovala od 38 dB do 40,3 dB. I když v tomto případě legislativní požadavek byl splněn, tento rozdíl je velice vnímátelný. Podle učitelky pak přesně tenhle hluk při otevřených dveřích vedlejší místnosti moc ruší výuku.



Graf 2 Průběh ekvivalentní hladiny akustického tlaku v jednotlivých pásmech [autor]

Tab. 7 Hodnota ekvivalentní hladiny akustického tlaku v jednotlivých pásmech pro $L_{Aeq} = 40,3$ dB. [autor]

Band[Hz]	L_{Aeq} [dB]
31,5	28,4
63	27
125	30,2
250	32,4
500	33,3
1000	35,7
2000	33,1
4000	29,2
8000	27,3
16000	24,2

V obou případech byl tedy splněn legislativní požadavek.

Pak byl změřen hluk na chodbě, kde jsou hlavní rozvody vzduchotechniky. Ekvivalentní hladina akustického hluku A bylo změřeno 47 dB. V průběhu měření ale chodba byla ovlivněna hlučností z venku a výuky hudby z vedlejších učeben, a výsledky z měření v tomhle případě nebyly přesné a nebyly brány v úvahu.

Měření ukázalo, že hluk od vzduchotechnického systému splňuje normové a legislativní požadavky a dle stížnosti učitelky na hlučnost, příčinou nebyla vzduchotechnika. Avšak nutno poznamenat že hodnocení hlučnosti je subjektivní, a i při vyhovující hladině akustického tlaku A 36,6 dB, to může být velmi vnímatelné citlivým lidem.

5 Závěr

První část diplomové práce rozebírá problematiku kvality vnitřního prostředí učebny, kde je řízené větrání s rekuperací.

Z výsledků experimentálního měření vyplývá potřeba návrhu opatření pro zlepšení mikroklimatických podmínek, které pak zvyšuje komfort při dlouhodobém pobytu osob v učebně. Tímto opatřením se rozumí návrh distribučního prvku, které zajistí větrání bez rizika vzniku průvanu. Neboť jak ukázalo měření, rychlost vzduchu v pobytové zóně převyšuje limitní hodnotu pro učebny.

V projekční části jsem využívala všechny poznatky zjištěné během zpracování teoretické a experimentální části.

6 Použité zdroje

- [1] Rozšíření kapacity Základní školy a Mateřské školy Oty Pavla v Buštěhradě. UCEEB [online]. 04.11.2016. Dostupné z <https://www.uceeb.cz/rozsireni-kapacity-zakladni-skoly-materske-skoly-oty-pavla-v-bustehrade>
- [2] ING. CENTNEROVÁ, Lada. Tepelná pohoda a nepohoda. T zb-info [online]. 13.12.2000. Dostupné z <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitni-prostredi/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>
- [3] ING. MATHAUSEROVÁ, Zuzana. Hygienické požadavky na vnitřní prostředí staveb. T zb-info [online]. 25.2.2013. Dostupné z <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitni-prostredi/9595-hygienicke-pozadavky-na-vnitni-prostredi-staveb>
- [4] HRUŠKA, František. Regulace parametrů prostředí podle indexů tepelné pohody člověka. VI [online]. 2003, 12(1/2003), 46-47. Dostupné z <http://www.stpcr.cz/cz/cislo-1-2003>
- [5] LANG, Steven. Final draught [online]. 2018. Dostupné z https://modbs.co.uk/news/fullstory.php/aid/17973/Final_draught.html
- [6] REHVA Journal 05/2015 - Air distribution in a classroom. Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations [online]. Copyright © [cit. 24.04.2020]. Dostupné z <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/air-distribution-in-a-classroom>
- [7] Ventilation in Classroom: a Case-Study of the Performance of Different Air Distribution Methods Risto Kosonen and Panu Mustakallio
- [8] KARIMIPANAH, Taghi and SANDBERG, Mats and AWBI, H.B. A comparative study of different air distribution systems in a classroom. In: ROOMVENT 2000 conference [online]. Reading: ROOMVENT, 2000. [vid. 19.03.2020]. Dostupné z https://www.researchgate.net/publication/237716608_A_comparative_study_of_different_air_distribution_systems_in_a_classroom
- [9] MANČÍK, Štěpán. JAK NAVRHNOUT A POSTAVIT ENERGETICKY EFEKTIVNÍ BUDOVU: Letní škola odpovědného zadávání, Slapy [online]. Univerzitní centrum energeticky efektivních budov - UCEEB MPSV [cit. 2020-04-24]. Dostupné z <http://sovz.cz/wp-content/uploads/2018/09/cvut-praha-jak-navrhnout-a-postavit-energeticky-efektivni-budovu.pdf>

- [10] Euro Air – Příklady instalací textilních výustek [online]. 2019 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z <https://www.euroair.eu/cz/ke-sta%C5%BEEen%C3%AD/katalogy/>
- [11] ZMRHAL, Vladimír a kol. Větrání škol v souvislostech. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2017. ISBN 978-80-02-02718-8.
- [12] ZŠ MALÝ ÚJEZD – NOVÝ PAVILON [online]. 2019 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z <https://www.pasivnidomy.cz/domy/zs-maly-ujezd-novy-pavilon-786#technicke-zarizeni>
- [13] PFLUGNER, Rainer. Special HVAC Solutions for the Refurbishment of Historic Buildings. Rehva.eu [online]. 2013 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/special-hvac-solutions-for-the-refurbishment-of-historic-buildings>
- [14] Baaring school. Textile Based Ventilation [online]. Copyright ©2020 All rights reserved [cit. 24.05.2020]. Dostupné z <https://www.ke-fibertec.com/en/cases/baaring-school/>
- [15] JELÍNEK, Ondřej, Aleš RUBINA a Petr BLASINSKI. Akustika a protihluková opatření ve vzduchotechnice. Vetrani.tzb-info.cz/ [online]. 2013 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z <https://vetrani.tzb-info.cz/10319-akustika-a-protihlukova-opatreni-ve-vzduchotechnice>
- [16] Metodický pokyn pro návrh větrání škol pro SC 5.1 a SC 5.3, PO5, OPŽP, Výzva č. 121 a 135
- [17] Climaver Neto :: Climaver. Vzduchové potrubí: Climaver [online]. Dostupné z <https://www.climaver.cz/produkty/climaver-neto/>
- [18] ISOVER Technical Insulation. ISOVER Technical Insulation [online]. Dostupné z <https://www.isover-technical-insulation.com/>

Seznam obrázků

Obr. 1 Nástavba základní školy [1]	8
Obr. 2 Půdorysné schéma učebny [autor]	9
Obr. 3 Půdorysné schéma větrání učebny a změřené body [autor].....	12
Obr. 4 Křivka indexu průvanu pro DR=15% [5]	14
Obr. 5 Obsazenost a tepelná zátěž učebny [6]	16
Obr. 6 Posouzené distribuční prvky [10]	16
Obr. 7 Schéma umístění měřících bodu ve vybraném úseku místnosti [10]	17
Obr. 8 Proudění vzduchu v letním stavu [6]	17
Obr. 9 Stěnová mřížka. Rychlost proudění vzduchu v různé výškové úrovni v pořadí: letní stav – plná obsazenost, letní stav – poloviční obsazenost, zimní stav – poloviční obsazenost [7]	18
Obr. 10 Perforovaná mřížka. Rychlost proudění vzduchu v různé výškové úrovni v pořadí: letní stav – plná obsazenost, letní stav – poloviční obsazenost, zimní stav – poloviční obsazenost [7]	19
Obr. 11 Zaplavovací větrání. Rychlost proudění vzduchu v různé výškové úrovni v pořadí: letní stav - plná obsazenost, letní stav – poloviční obsazenost, zimní stav – poloviční obsazenost [7]	19
Obr. 12 Stropní tryskový anemostat. Rychlost proudění vzduchu v různé výškové úrovni v pořadí: letní stav – plná obsazenost, letní stav – poloviční obsazenost, zimní stav – poloviční obsazenost [7]	20
Obr. 13 Půdorysné schéma učebny a měřících bodů [8]	21
Obr. 14 Rychlosti proudění vzduchu v bodech 5,6,7,8 ve výšce 0,1m od podlahy [8].	21
Obr. 15 Koncept větrání učeben základní školy Oty Pavla [9]	23
Obr. 16 Systém Euro Air DFC Indukce [10].....	24
Obr. 17 Případová studie Škola Bergen [10].....	24
Obr. 18 Textilní výústka v konferenční místnosti. Fakulta stavební ČVUT v Praze [11]	25
Obr. 19 ZŠ Malý Újezd. Přívod vzduchu textilními rukávci a odvod vzduchu vyústí [12]	25
Obr. 20 Použití textilních rukávců při větrání rekonstruovaných škol [13].	25
Obr. 21 Půlkruhová textilní vyústka v učebně školy Baaring Denmark [14].	26
Obr. 22 Doporučené hladiny akustického tlaku ve školách podle ČSN EN 11 251 [11]	27
Obr. 23 Typy tlumiči hluku dle konstrukce v pořadí: ohebné kruhové, kruhové, kulisový tlumič, buňkový tlumič hluku	28
Obr. 24 Akustické vlastnosti potrubí Climaver A2 Neto [17].	28
Obr. 25 Montáž potrubí z panelu [17]	29
Obr. 26 Střední škola HOŘOVICE-TLUSTICE [17]	29

Obr. 27 Využití potrubí Climaver ve vzdělávacích stavbách ve Španělsku. Důvody pro výběr systému jsou akustické požadavky, finanční úspory a úspory energie [18]29

Seznam tabulek

Tab. 1 Faktory ovlivňující tepelnou pohodu [2]	10
Tab. 2 Celoročně přípustné parametry mikroklimatických podmínek ve školských zařízeních dle vyhlášky č. 410/2005 Sb. [3]	11
Tab. 3 Pořadí měření [autor].....	11
Tab. 4 Výsledky měření rychlosti a teploty vzduchu [autor]	13
Tab. 5 Výsledky výpočtu indexu průvanu DR [autor]	14
Tab. 6 Hodnota hladiny akustického tlaku v jednotlivých pásmech [autor]	31
Tab. 7 Hodnota ekvivalentní hladiny akustického tlaku v jednotlivých pásmech pro LAeq = 40,3 dB. [autor].....	32