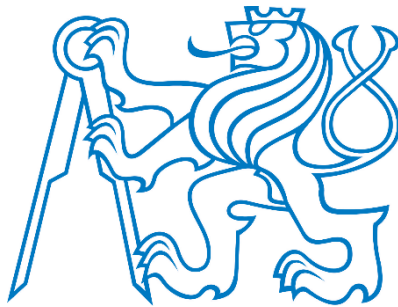


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



VĚTRÁNÍ ZÁKLADNÍ A PRAKTICKÉ ŠKOLY V JIČÍNĚ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BARBARA LAMPOVÁ

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Stanislav Frolík, Ph.D.

2015/2016



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Lampová Jméno: Barbara Osobní číslo: 381260

Zadávající katedra: Katedra technických zařízení budov

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Větrání základní a praktické školy v Jičíně

Název diplomové práce anglicky: Air ventilation proposition for Primary school, Jicin

Pokyny pro vypracování:

Požadavky na vnitřní prostředí učeben ve škole a energetické vyhodnocení školy v Jičíně.

Vypracování projektové dokumentace větrání základní a praktické školy. Obsahem dokumentace budou půdorysy a řezy větracího systému a strojovny vzduchotechniky, výpočet množství vzduchu a hydraulické výpočty potrubí, návrh distribučních elementů, technická zpráva.

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Stanislav Frolík, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 1.3.2016 Termín odevzdání diplomové práce: 20.5.2016

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“.

1.3.2016

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

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

Praha, 26. 6. 2016

Barbara Lampová

Tímto bych chtěla poděkovat všem, kdo mě podporovali, panu inženýrovi Frolíkovi, že to se mnou nevzdal a hlavně celé své rodině, že mi pomohla dojít až sem.

Obsah

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Úvod..... | 8 |
| 2 | Požadavky na vnitřní prostředí školy..... | 9 |
| | 2.1.1 Teplota | 9 |
| | 2.1.2 Relativní vlhkost | 9 |
| | 2.1.3 Množství venkovního (čerstvého) vzduchu..... | 10 |
| | 2.1.4 Znečištění venkovního ovzduší..... | 11 |
| | 2.1.5 CO ₂ | 11 |
| | 2.1.6 Těkavé organické látky a prašnost..... | 12 |
| | 2.1.7 Hluk..... | 12 |
| | 2.1.8 Rychlost proudění větraného vzduchu | 12 |
| | 2.2 Možnosti zlepšení vnitřního prostředí..... | 13 |
| | 2.2.1 Nucené větrání | 13 |
| | 2.3 Současný stav | 14 |
| | 2.3.1 Příklady dobrých realizací | 15 |
| | 2.4 Požadavky na větrání dle jednotlivých typů místností | 15 |
| | 2.4.1 Učebny | 15 |
| | 2.4.2 Sborovny, kabinety, kanceláře | 16 |
| | 2.4.3 Hygienické zázemí..... | 16 |
| | 2.4.4 Centrální šatny | 16 |
| | 2.4.5 Výdejna jídel..... | 16 |
| | 2.4.6 Tělocvična..... | 16 |
| | 2.4.7 Kotelna | 16 |
| | 2.5 Technické zpracování nuceného větrání a zásady návrhu | 17 |
| | 2.5.1 Vzduchovody | 17 |
| | 2.5.2 Vedení | 17 |
| | 2.5.3 Výfuk a sání | 18 |
| | 2.5.4 Proudění..... | 18 |
| | 2.5.5 Distribuční elementy..... | 18 |
| | 2.5.6 Požární ochrana | 19 |
| | 2.5.7 Strojovny vzduchotechniky (umístění jednotky) | 20 |
| | 2.5.8 Vzduchotechnické jednotky | 20 |
| | 2.5.9 Ohřev venkovního vzduchu | 20 |
| | 2.5.10 Hluk a akustika..... | 20 |
| | 2.5.11 Zpětné získávání tepla | 20 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.5.12 | Filtrace vzduchu | 21 |
| 2.5.13 | Měření a regulace | 21 |
| 3 | Základní škola a Praktická škola v Jičíně | 22 |
| 3.1 | Charakteristika školy | 22 |
| 3.2 | Popis a vyhodnocení stavebních konstrukcí školy | 24 |
| 3.3 | Popis energetických zařízení | 24 |
| 3.3.1 | Vytápění | 24 |
| 3.3.2 | Příprava teplé vody | 24 |
| 3.3.3 | Větrání | 25 |
| 3.4 | Údaje o energetických vstupech | 25 |
| 3.5 | Navrhovaná opatření | 26 |
| 3.5.1 | Opatření A - Energetický management | 26 |
| 3.5.2 | Opatření B – Zateplení obvodových stěn | 26 |
| 3.5.3 | Opatření C - Výměna výplní otvorů (oken, dveří a mřížek) | 26 |
| 3.5.4 | Opatření D – Zateplení podlah podkroví | 26 |
| 3.5.5 | Opatření F - instalace vzduchotechniky v budově školy i dílen | 26 |
| 4 | Vstupní údaje k návrhu větrání | 27 |
| 4.1 | Klimatické podmínky | 27 |
| 4.1.1 | Vnější prostředí | 27 |
| 4.1.2 | Vnitřní prostředí | 27 |
| 4.2 | Navrhovaná výměna vzduchu | 27 |
| 4.2.1 | Učebny, dílny | 27 |
| 4.2.2 | Kabinety, kanceláře, sborovna | 28 |
| 4.2.3 | Cvičná kuchyň | 28 |
| 4.2.4 | Hygienická zázemí | 28 |
| 4.2.5 | Šatny | 28 |
| 4.3 | Požadované regulace jednotlivých provozů | 29 |
| 5 | Navrhované koncepty větrání Základní a Praktické školy v Jičíně | 30 |
| 5.1 | Výběr systému větrání | 30 |
| 5.1.1 | Centrální větrání | 30 |
| 5.1.2 | Decentrální | 31 |
| 5.1.3 | Zónové | 32 |
| 5.1.4 | Kombinace decentrálního a zónového - varianta A | 33 |
| 5.2 | Proudění vzduchu | 34 |
| 5.2.1 | Distribuční elementy | 34 |

| | | |
|----|--------------------------------|----|
| 6 | Vybraná varianta větrání | 36 |
| 7 | Seznam obrázků | 37 |
| 8 | Seznam tabulek | 37 |
| 9 | Seznam grafů..... | 37 |
| 10 | Závěr..... | 38 |
| 11 | Bibliografie..... | 39 |

Anotace

Práce řeší jednotlivé požadavky na vnitřní prostředí škol, analyzuje situaci větrání ve školních budovách a zároveň navrhuje varianty, které by vnitřní mikroklima zlepšily.

Popsané varianty se zabývají nuceným větráním, konkrétně se jedná o decentrální, centrální, zónové a kombinované systémy větrání.

Je podrobně zpracována a vyprojektována zónová varianta pro hlavní budovu školy a centrální varianta pro objekt školních dílen, které jsou pro dané objekty vyhodnoceny jako nejlepší. Dokumentace je řešena v rozsahu pro stavební povolení.

Klíčová slova

větrání ve školách, vzduchotechnika, decentrální větrání, centrální větrání, zónové větrání, vnitřní mikroklima ve školách, nucené větrání, vzduchotechnická jednotka, regulace podle CO₂, větrání učeben, zpětné získávání tepla, obdélníková vyústka, tlakové ztráty ve vzduchotechnice

Anotation

The thesis investigates the requirements on interior environment of schools, analyzes ventilation of school buildings and proposes variant solutions which could improve the inner climate.

Described solutions are investigating forced ventilation, specifically centralized, decentralized, zoned and combined Air Conditioning Systems.

A zone variant for the main school building and a central variant for the workshop building were determined as ideal for given buildings and are described in detail. Documentation included is up to a planning permission stage.

Keywords

School ventilation, air conditioning, centralized air conditioning system, decentralized air conditioning system, zoned air conditioning system, interior micro-climate in schools, forced ventilation, ventilation (air conditioning) unit), regulation per carbon dioxide, classroom ventilation, heat recuperation, pressure losses in ventilation systems

1 Úvod

V současné době je trend zateplovat obálku budov s cílem snížit spotřebu energie na vytápění. Tímto opatřením však dojde k omezení přirozeného větrání budovy netěsnostmi, které však zajišťovalo přirozenou výměnu znehodnoceného vzduchu. Při utěsnění obálky je nutné čerstvý vzduch zajistit jinak. V opačném případě vznikají škodlivé látky, které mají negativní vliv na osoby uvnitř budovy.

Školské stavby mají dle příslušné legislativy přísné požadavky na kvalitu vnitřního prostředí. Děti ve školách tráví velké množství času, jsou tedy budovou velmi ovlivňovány. Je důležité, vytvořit vnitřní prostředí co možná nejvhodnější s ohledem na zdraví a výkon žáků. Nevhodné vnitřní prostředí může způsobovat nesoustředěnost, nemoci a nechut chodit do školy a vzdělávat se. Kvalitu vnitřního prostředí školských staveb ovlivňuje mnoho faktorů, které jsou níže podrobně popsány.

2 Požadavky na vnitřní prostředí školy

2.1.1 Teplota

Teplota je základní ukazatel příjemnosti prostředí. Lze ji přesně změřit a zároveň subjektivně definovat, zda je pobyt v prostoru příjemný či nepříjemný.

| Typ prostoru | Výsledná teplota | | |
|--|--|--|--|
| | $t_{g \text{ min}} [^{\circ}\text{C}]$ | $t_{g \text{ opt}} [^{\circ}\text{C}]$ | $t_{g \text{ max}} [^{\circ}\text{C}]$ |
| Učebny, pracovny, místnosti určené k dlouhodobému pobytu | 20 | 22 ± 2 | 28 |
| Tělocvičny | 18 | 20 ± 2 | 28 |
| Šatny | 20 | 22 ± 2 | 28 |
| Sprchy | 24 | - | - |
| Záchody | 18 | - | - |
| Chodby | 18 | | |

Tab. 1 Základní teplotní požadavky na místnosti ve školách (1)

„Rozdíl výsledné teploty v úrovni hlavy a kotníků nesmí být větší než 3 °C.

Tam, kde je rozdíl mezi výslednou teplotou kulového teploměru t_g a teplotou vzduchu t_a menší než 1 °C, lze jako výslednou hodnotu teploty použít hodnotu t_a [°C] naměřenou suchým teploměrem.

Orientační kontrolu teploty vzduchu v prostotách s pobytem lze zabezpečit pomocí nástěnných teploměrů. Teploměry se nesmí umísťovat na stěny s okny a stěny vystavené přímému dopadu slunečního záření.“ (1) – 2009, str. 4805)

Je nutné brát v úvahu, že teplotu místnosti ovlivňuje mnoho faktorů, kterými jsou např. osvětlení, barevnost interiéru, teplo vydávané člověkem, oblečení, čas pobytu v místnosti, okolní vzduch, jeho teplota a rychlost proudění.

Vyhláška, která definuje teploty vnitřních prostor, které se mohou nacházet ve škole, je vyhláška č. 6/2003 Sb., Vyhláška, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb (dále jen Vyhláška č. 6/2003).

| Typ obytných místností ¹⁾ | Výsledná teplota t_g (°C) období roku | |
|---|---|----------------|
| | teplé | chladné |
| Zasedací místnost staveb pro shromažďování většího počtu osob | $24,5 \pm 1,5$ | $22,0 \pm 2,0$ |
| Haly kulturních a sportovních zařízení | $24,5 \pm 1,5$ | $22,0 \pm 2,0$ |

Tab. 2 Požadavky na výslednou teplotu kulového teploměru (2)

2.1.2 Relativní vlhkost

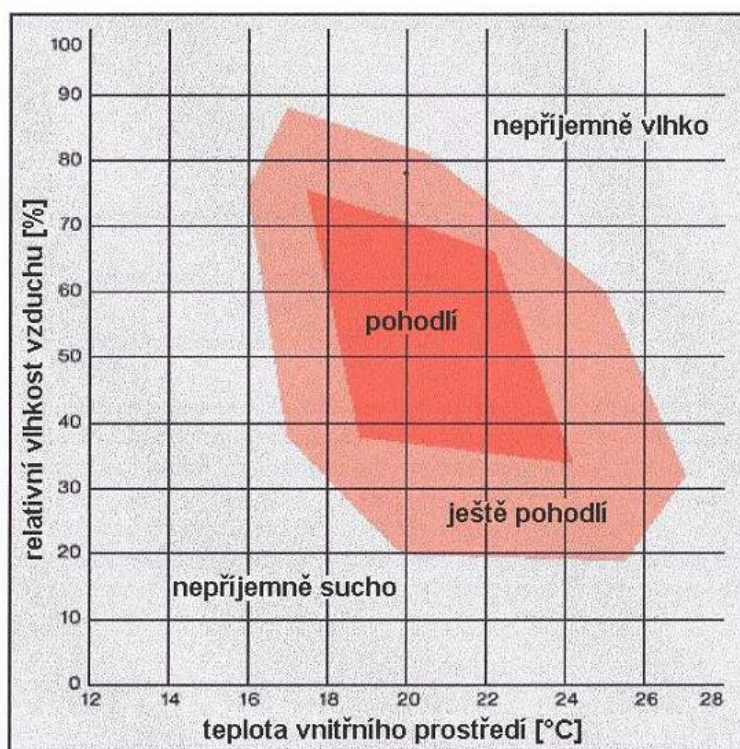
Relativní vlhkost je další z veličin, kterou lze přesně změřit a zároveň subjektivně definovat, zda je pobyt v prostoru příjemný či nepříjemný, podle toho, zda je vzduch v prostoru suchý nebo vlhký.

| Typ prostoru | Relativní vlhkost |
|--|-------------------|
| | rh [%] |
| Učebny, pracovny, místnosti určené k dlouhodobému pobytu | 30-65 |
| Tělocvičny | 30-65 |
| Šatny | 30-65 |
| Sprchy | - |
| Záchody | 30-65 |
| Chodby | 30-65 |

Tab. 3 Základní vlhkostní požadavky pro místnosti ve školách (1)

Pro ostatní pobytové místnosti je definována minimální relativní vlhkost 30% a maximální 65% (2).

Závislostí vlhkosti na teplotě a jejím vnímáním se zabývá mnoho výzkumů. Nejlépe poznatky znázorňuje následující diagram, ze kterého je patrné, že vlhkost vnitřního prostředí je stejně důležitá jako teplota.



Obr. 1 Diagram s vyznačeným polem pohodlí v závislosti od teploty a vlhkosti (3)

2.1.3 Množství venkovního (čerstvého) vzduchu

Množství venkovního vzduchu ve vnitřním prostoru se liší podle prováděných činností, doby pobytu a dalších faktorů. Norma shrnuje požadované množství pro nejobvyklejší provoz ve školských stavbách.

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

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

Tab. 4 - Množství přiváděného čerstvého vzduchu v učebnách, tělocvičnách, šatnách a hygienických zařízeních v zařízeních pro výchovu a vzdělávání (1)

Uváděné množství vzduchu nezohledňuje věk (velikost) žáka, tzn. konkrétní požadavky na množství vzduchu. V případě dětí na nižších stupních by byl návrh větrání podle těchto čísel značně nevhodný a předimenzovaný. Je proto možné množství vzduchu trvale přiváděného do učebny počítat podle následující tabulky, která je odvozena na základě znalosti produkce metabolického tepla lidí při vykonávání malé fyzické aktivity a plochy jejich těla.

| Množství vzduchu [m ³ /(hod.osoba)] | | | |
|--|--------------|--------------|-------------|
| 3 - 6 let | 6 -10 let | 10 -15 let | 15 – 18 let |
| školka | 1. stupeň ZŠ | 2. stupeň ZŠ | SŠ |
| 10 | 12 | 18 | 20 |

Tab. 5 minimální množství venkovního vzduchu (4)

Pro vyučující (dospělé osoby) platí, že větrání v pobytové místnosti (učebna, kancelář) musí zajišťovat minimální množství venkovního vzduchu 25 m³/h nebo musí být splněna minimální požadovaná výměna 0,5 1/h. Hladina CO₂ nesmí v těchto prostorách překročit 1500 ppm (5).

2.1.4 Znečištění venkovního ovzduší

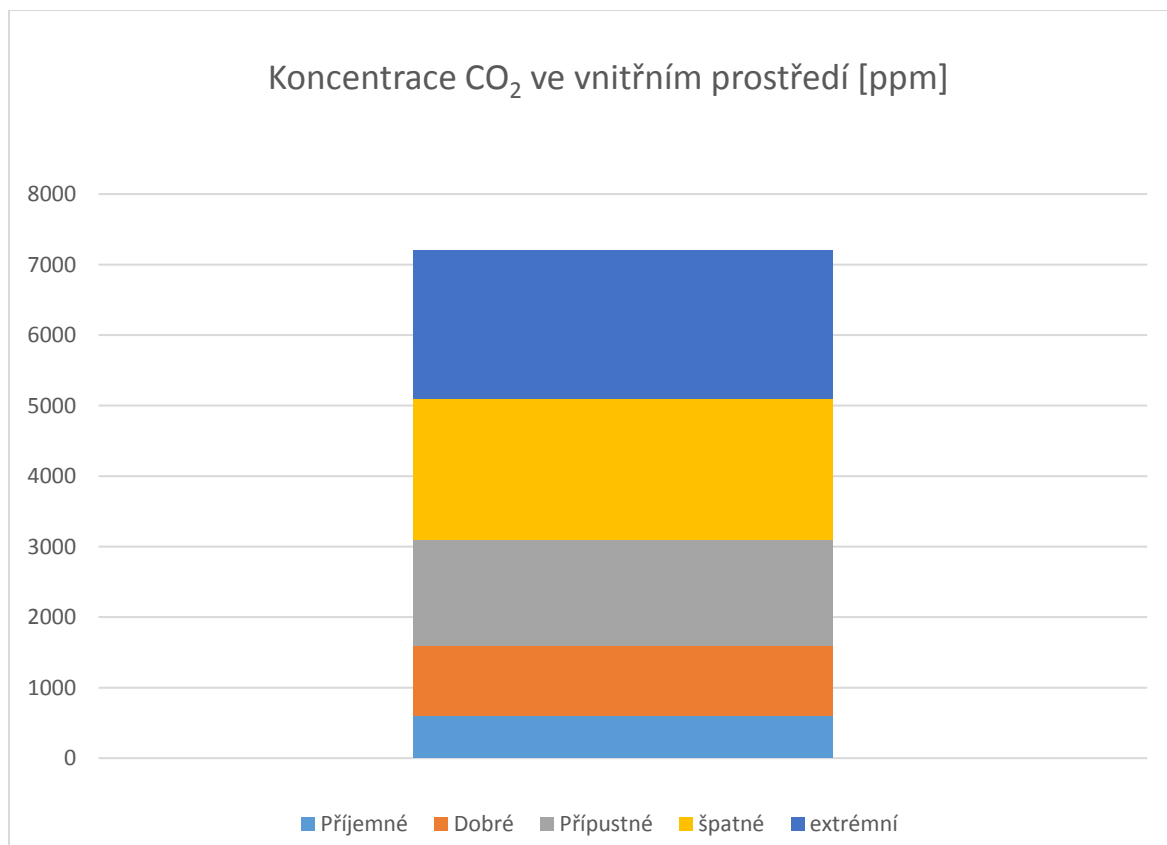
Při návrhu větrání čerstvým vzduchem je třeba počítat s kvalitou venkovního ovzduší. Tento jev je znázorněn v mapách znečištění ovzduší od Českého hydrometeorologického ústavu. Při návrhu přívodu vzduchu ve znečištěných oblastech je nutné zohlednit čištění čerstvého venkovního vzduchu.

2.1.5 CO₂

Koncentrace CO₂ je pro většinu lidí nejméně představitelná hodnota. Málokdo se setká s měřičem koncentrace oxidu uhličitého v místnosti a tak člověk nemá představu o tom, jak moc ovlivňuje kvalitu vnitřního prostředí.

V současné době se často řeší utěšňování obálky konstrukcí z důvodu zamezení úniku tepla, ale již se nevěnuje pozornost tomu, že je zároveň zabráněno přirozenému úniku škodlivin z interiéru a tím vzniká zvýšená koncentrace CO₂. Proto je problém koncentrace CO₂ v místnostech vlastně „moderní záležitostí“. Dříve se automaticky škodliviny vyvětraly netěsnostmi v obálce.

Množství CO₂ v ovzduší přitom výrazně ovlivňuje pocit člověka. S vysokou koncentrací souvisí únava nebo ztráta soustředěnosti, což je hlavním důvodem, proč je zejména ve školních budovách důkladné větrání nezbytné.



Graf 1 Koncentrace CO₂ ve vnitřním prostředí a jeho vliv na pocit člověka

2.1.6 Těkavé organické látky a prašnost

Zvýšené množství těkavých organických látek a prašnost prostředí nastává hlavně ve speciálních provozech. Ve školách těmito provozy mohou být učebny chemie, výtvarné učebny, případně dílny, kde se tvoří velké množství prachu. K návrhu větrání v těchto prostorách je třeba speciální přístup, který zohledňuje konkrétní škodlivinu.

2.1.7 Hluk

Velmi důležitým vjemem v učebnách je hluk. Jakékoliv nepříjemné hluky mohou způsobovat nepohodu nejen pro žáky. Důležité je udržovat nízkou hladinu akustického tlaku (bez hluku) a omezit další šíření zvuku i do dalších místností.

V současnosti má hlukový limit podle nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, hodnotu 45 dB.

Doporučená hladina hluku je 30 – 40 dB (norma ČSN EN 15 251).

2.1.8 Rychlost proudění větraného vzduchu

Častým zdrojem nemocí a diskomfortu bývá velká rychlost proudícího vzduchu. Při větrání okny není možné ovlivnit rychlost přiváděného vzduchu, ten pak může způsobit průvan a následná nachlazení. Proto je důležité dbát na optimální rychlost proudění vzduchu v obytných prostorách.

| Typ prostoru | Rychlost proudění |
|--|-------------------|
| | v_a [m.s-1] |
| Učebny, pracovny, místnosti určené k dlouhodobému pobytu | 0,1-0,2 |
| Tělocvičny | 0,1-0,2 |
| Šatny | 0,1-0,2 |
| Sprchy | - |
| Záchody | 0,1-0,2 |
| Chodby | 0,1-0,2 |

Tab. 6 Rychlost proudění vzduchu v obytných místnostech (1)

| | |
|---------------------|-----------|
| teplé období roku | 0,16-0,25 |
| chladné období roku | 0,13-0,20 |

Tab. 7 Rychlost proudění vzduchu v obytných místnostech v průběhu roku (2)

2.2 Možnosti zlepšení vnitřního prostředí

Největší pozornost je potřeba věnovat místnostem, kde žáci tráví nejvíce času a kde se tvoří větší množství škodlivin. V těchto prostorách je třeba zajistit kvalitní ovzduší. V odůvodněných případech lze přirozené větrání použít jako doplňkovou variantu k větrání strojnímu.

2.2.1 Nucené větrání

Tento způsob je nutno používat zejména v učebnách, protože zajišťuje vždy požadované množství větracího vzduchu a splňuje tak všechny požadavky na kvalitní vnitřní prostředí.

Nabízí se více variant a je třeba vždy individuálně přistupovat ke každému návrhu a zvlášť posoudit jeho přínosy a zápory.

2.2.1.1 Centrální

Případ užití jedné centrální jednotky, která se nachází buď v centrální strojovně, nebo je umístěna ve venkovním prostoru a upravuje vzduch pro celý provoz.

Jednotka se umísťuje ideálně v nejvyšších patrech objektů. V nižších podlažích je velmi nepraktický výfuk odpadního vzduchu a zároveň může být problematické i nasávání.

přínosy:

- + klapky jsou napojeny na čidla CO₂ a teplot,
- + dobré umístění nasávání a odsávání,
- + pouze jeden výfukový a nasávací otvor,
- + dobrá regulace centrální soustavy,
- + nízké náklady na zapojení energií,
- + údržba jen jedné jednotky.

zápory:

- vyšší tlakové ztráty,

- nutnost dlouhého potrubí,
- horší regulovatelnost jednotlivých místností,
- nároky na umístění jednotky,
- tlumiče hluku kvůli hlučnému ventilátoru,
- vyšší požadavky na požární bezpečnost stavby v místech prostupu požárně dělícími konstrukcemi,
- údržba protipožárních klapek.

2.2.1.2 Decentrální

Tento způsob předpokládá rozdělení větrání mezi více jednotek.

přínosy:

- + snadná regulace podle teploty a CO₂,
- + dobrá regulovatelnost,
- + nejsou zapotřebí rozvody,
- + lepší protipožární vlastnosti.

zápory:

- výustí na fasádě (vzhled),
- přívod a vývod ve stejném místě,
- nutnost samostatného dohřevu,
- tepelná, hluková a vlhkostní ochrana prostupu fasádou,
- složitější celkový energetický management,
- složitá údržba všech decentrálních komponent.

2.2.1.3 Zónové větrání

Tento způsob kombinuje obě výše uvedené možnosti. Princip funguje na rozdělení prostoru do zón s podobnými požadavky na provoz a užívání. Každou zónu poté zajišťuje jedna jednotka.

Na rozdíl od centrální jednotky je zde použito méně rozvodů, snadněji se soustava reguluje a nedochází tedy k příliš velkým tlakovým ztrátám. Nevýhodou je větší množství nasávacích a výfukových otvorů, které mohou při prostupu konstrukcemi zhoršovat jejich tepelně technické vlastnosti. Finanční náklady na více menších jednotek jsou větší než na jednu velkou.

2.3 Současný stav

V současné době se mnoho škol snaží dosáhnout energetických úspor a to také s pomocí dotačních programů na zateplení fasády a výměnu oken. Dlouhou dobu se však zapomínalo na následnou kvalitu vnitřního prostředí. Problém nastával hlavně v případě rekonstrukcí. Od roku 2016 vznikla snaha dotačního programu OPŽP zkvalitňovat vnitřní prostředí budov. Pokud chce škola získat finanční podporu na energetickou úsporu, musí zajistit i požadovanou výměnu venkovního vzduchu. Z toho důvodu vzniká v současnosti mnoho projektů pro návrh nuceného větrání v již stojících budovách pro vzdělávání.

Při realizaci nových budov pro výchovu a vzdělávání se nucený přívod čerstvého vzduchu navrhuje již ve většině případů.

2.3.1 Příklady dobrých realizací

▪ **Rekonstrukce polytechnické školy Schwanenstadt, Rakousko**

V této škole proběhla instalace decentrální vzduchotechniky pro množství větraného vzduchu 500 m³/h. V jednotce se nachází křížový protiproudý deskový výměník, elektrická protimrazová ochrana a filtry. Zároveň je jednotka automaticky regulována podle přítomnosti osob (pohyb a množství CO₂) a vlhkosti.

▪ **Základní škola Květnového vítězství v Praze, ČR**

O instalaci vzduchotechnického systému s rekuperací tepla se v tomto případě zasloužila firma Multi-VAC. Konkrétně řada rekuperačních jednotek VENUS Recover, které se vyrábí v rozsáhlých vzduchových výkonech (150 – 750 m³/h). Konkrétně ve třídě této školy byla instalovaná jednotka pro 700 m³/h, vybavená komfortním ovládáním s možností automatického řízení signálem z čidel pro CO₂, pohyb nebo hygroskop. Obsahuje dále možnost tzv. freecoolingu, který slouží k předchlazení tříd nočním studenějším vzduchem pro horké letní dny. Jednotka je umístěna u stropu v prostoru nad tabulí, kde se zároveň nachází i přívodní a odvodí potrubí a odvod kondenzátu. Instalace celého systému trvala 2 dny.

▪ **Základní škola Kostelní Lhota, ČR**

Ve škole bylo potřeba zajistit větrání pro dvě třídy s odlišnými požadavky na větrání a způsobit co nejméně stavebních úprav. Byla zvolena centrální rovnotlaká větrací jednotka Atrea – Duplex 510 EC4 s rekuperačním výměníkem, která byla osazena do prostoru chlapecských toalet. Nasávání čerstvého i výfuk odpadního vzduchu je umístěn na fasádu přímo u jednotky. V každé třídě je zároveň umístěno čidlo CO₂, které automaticky reguluje větrací výkon jednotky. Větrací rozvody i jednotka byly zasazeny do interiéru, aby působily co nejméně rušivě jak vizuálně, tak poslechově.

▪ **Základní škola Líbeznice, ČR**

Výhoda této školy je, že vznikla jako novostavba, takže projekt vzduchotechniky měl výrazně větší volnost než v případě rekonstrukce.

Veškeré prostory jsou nuceně větrány a chlazeny pomocí devíti vzduchotechnických jednotek, obsahujících rekuperační výměníky. Je zde ponechána možnost větrat okny a dveřmi.

2.4 Požadavky na větrání dle jednotlivých typů místností

U každého prostoru je žádoucí určit denní a roční provozní režimy a příslušný počet osob, které prostor využívají.

2.4.1 Učebny

Do učeben je nutné přivést dostatečné množství čerstvého vzduchu, odvést vzduch znečištěný a zajistit odvod tepelné zátěže (zejména v teplých měsících). Konkrétní požadavky jsou řešeny výše.

Při realizaci nuceného větrání je třeba dodržovat následující zásady:

- ponechat možnost otevíravých oken (z psychologických důvodů),

- filtrovat přiváděný a odváděný vzduch (zamezení distribuce prachu a jiných škodlivin),
- přirozeně větrat pouze v místnosti s malým počtem osob (1-2 žáci a učitel).

2.4.2 Sborovny, kabinety, kanceláře

Učitelé tráví většinu času v učebnách, v kabinetech a kancelářích se vyskytují pouze o přestávkách, není to jejich trvalé pracoviště. Větrání je tedy možno přirozené (5). Ředitelny jsou však obývány téměř trvale, u nich je vhodné využít nucené větrání.

2.4.3 Hygienické zázemí

V hygienických zázemích je riziko koncentrace škodlivých zápachů, proto je zde ideální využít podtlakové větrání pomocí pohybových čidel nebo pomocí nastavení časového provozu v době, kdy jsou nejvíce využívány (přestávky).

Do neznečištěného prostoru v blízkosti těchto provozů je přiváděn čerstvý vzduch, mřížkou ve dveřích je nasáván podtlakem do hygienických prostor tak, aby nedocházelo k přesunu škodlivých pachů do ostatních prostor.

2.4.4 Centrální šatny

Pro šatny platí podobné zásady jako pro hygienická zázemí. Je zde menší riziko koncentrace škodlivin, proto je možné použít větrání rovnotlaké.

2.4.5 Výdejna jídel

V případě, kdy jídlo není přímo připravováno v prostorách školy, ale pouze upravováno k výdeji, nejsou požadavky na větrání tak přísné. Minimální množství čerstvého vzduchu se odvozuje pomocí počtu přítomných osob nebo násobností výměny. Vzhledem k větší produkci vodních par v prostoru, je doporučeno zvolit podtlakové větrání s nuceným odvodem v blízkosti zdrojů vlhkosti.

2.4.6 Tělocvična

Tělocvična, mimo svou hlavní funkci, slouží také jako shromažďovací prostor. Proto je nutné jí větrat podle aktuálního počtu osob, které se v ní nachází, nebo podle násobnosti výměny vzduchu, která se doporučuje 2 - 4 1/h.

2.4.7 Kotelna

Větrání kotelny se navrhuje podle tří různých hledisek:

- přívod spalovacího vzduchu,
- intenzita větrání dle výkonu kotlů,
- teplota uvnitř kotelny.

Přirozené větrání se připouští pouze v případě, že je trvale zajištěn přívod venkovního vzduchu, protože kotelna musí být vždy v přetlaku.

2.5 Technické zpracování nuceného větrání a zásady návrhu

2.5.1 Vzduchovody

U výběru vzduchovodů je třeba vybrat vhodný materiál a tvar.

materiál

- pozinkovaný plech
 - nízké požární zatížení budov,
 - větší variabilita tvarů a rozměrů,
 - likvidace plechů šetrná k životnímu prostředí.
- plasty (polypropylen,...)
 - jednoduchý stavebnicový systém pro menší prostory (spíše v rámci bytové výstavby),
 - nízká hmotnost,
 - snadné spojování,
 - rychlá montáž,
 - odolnost vůči korozi,
 - vhodnost do prostředí vyžadující vysokou chemickou odolnost a dlouhou životnost.

tvar

- kruhové potrubí
 - menší tlakové ztráty,
 - méně se zanáší,
 - může přenášet vyšší rychlosti.
- čtyřhranné potrubí
 - zabírá v prostoru méně místa.

Nabízí se i varianta využít kombinaci tvarů. U distribučních prvků použít kruhové potrubí a z důvodu úspory místa hlavních stoupaček a rozvodů s již velkými průtoky využít skladnost čtyřhranného potrubí.

2.5.2 Vedení

Vedení potrubí musí splňovat následující konstrukční zásady:

- prostupy konstrukcemi o 100 mm větší než rozměr + nehořlavá izolace (příklad: při průměru potrubí 200 mm, výška podhledu minimálně 300mm),
- kotvení ke stropu na závěsy,
- v případě instalace požární klapky je nutný přístup z obou stran (potrubí od sebe alespoň 200 mm),
- v případě vysoké hladiny akustického tlaku u koncových prvků je nutné použít ošetření proti hluku – absorpční tlumiče,
- při návrhu zohledňovat chvění potrubí.

2.5.3 Výfuk a sání

Výfuk a sání musí splňovat následující konstrukční zásady:

- sání minimálně 1m nad terénem (ideálně na stinné straně),
- nasávací vzduch nesmí být znehodnocen pachy, prachem a dopravou,
- izolace nasávaného potrubí,
- při výfuku musí být omezeno zpětné nasávání (jak sáním, tak okny),
- protidešťová žaluzie (pozor na vandaly, auta a zvířata).

2.5.4 Proudění

Proudění vzduchu ve větrané místnosti je velmi důležité pro pohodlí osob. Distribuci ovlivňuje rychlost, rozdíly teplot přiváděného vzduchu a interiéru, a typ distribučního elementu.

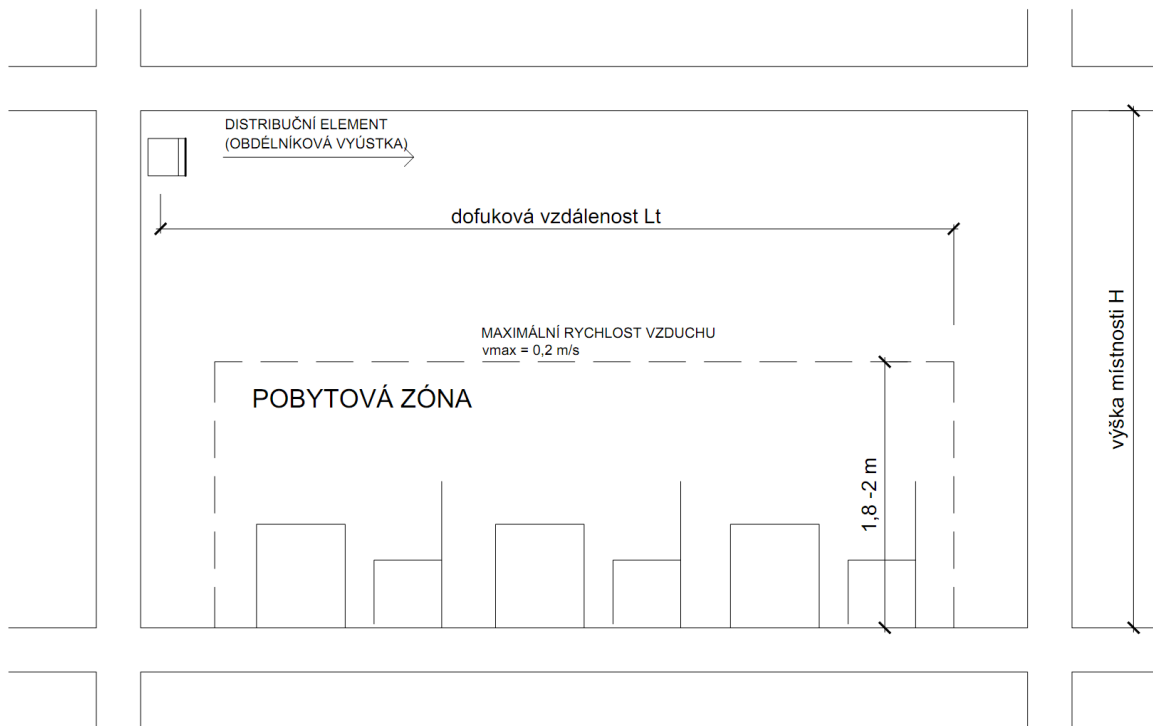
- Podle rychlosti se dělí na:
 - laminární – vytěšňovací – zaplavovací,
 - turbulentní – zředovací – směšovací – difúzní,
 - kompaktní – proudové.

Návrh konkrétní vyústky musí zohledňovat hlavně rychlost proudění vzduchu v pobytové zóně a dofukovou vzdálenost. Musí zajistit provětrávání celého prostoru tak, aby vzduch nepůsobil nepříjemně na lidi uvnitř.

2.5.5 Distribuční elementy

Distribuční elementy jsou vybírány podle následujících kritérií:

- dispoziční možnost místnosti,
- maximální a minimální průtoky vyústkou,
- maximální a minimální rychlosti,
- dofuková vzdálenost,
- vzhled,
- tvar proudu.



Obr. 2 Schéma pobytové zóny a jejích požadavků

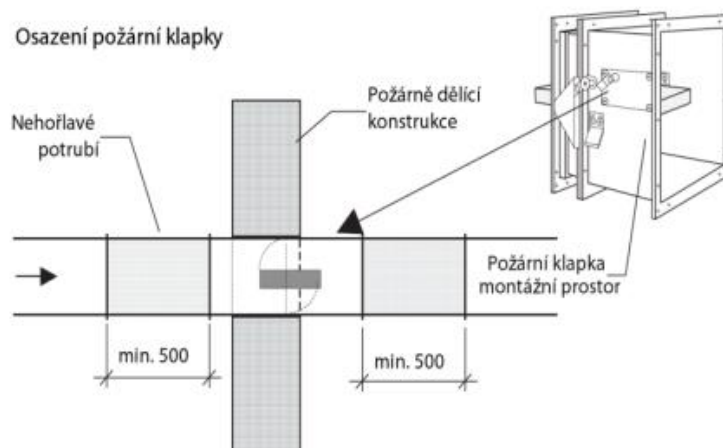
2.5.6 Požární ochrana

Vzduchotechnické potrubí je náchylné na přenos požáru. Zvláštní opatření je nutné zajistit prostupům požárně dělícími konstrukcemi.

Stupeň protipožární ochrany se liší podle velikosti otvoru (podle pravidel v ČSN 730872)

- Průřez jednotlivého potrubí $< 40\,000\text{ mm}^2$ – instalace uzavíracího požárního ventilu nebo protipožární izolace,
- Průřez potrubí $> 40\,000\text{ mm}^2$ – nutnost instalace požární klapky.

Požární klapky ve skříní, v ní revizní otvory pro údržbu a kontrolu



Obr. 3 Osazení požární klapky (6)

Zároveň však platí, že pokud požárně dělící konstrukcí prostupuje více potrubí o průřezu menším než 40 000 mm², není nutná instalace požární klapky, pokud celkem nemají plochu větší než 1:100 plochy požárně dělící konstrukce. Vzdálenost mezi jednotlivými prostupy nesmí být menší než 500 mm.

2.5.7 Strojovny vzduchotechniky (umístění jednotky)

Jednotky je možné umístit ve vnějším nebo ve vnitřním prostředí. Jednotky pro vnější použití mají speciální ochranu proti venkovním povětrnostním, srážkovým, teplotním a dalším vlivům. Pokud je jednotka umístěna uvnitř budovy ve vnitřním provedení, musí být ve strojovně vzduchotechniky zajištěna minimální teplota 10°C po celý rok.

Při návrhu jednotek se musí dbát na transportní cestu do místa určení, pokud se však nejedná o jednotky montované.

V případech větších rozměrů jednotek (a tedy i hmotnosti) je nutné provést zvláštní statické posouzení.

2.5.8 Vzduchotechnické jednotky

Vzduchotechnické jednotky mohou být centrální pro celý objekt, decentrální zvlášť pro jednotlivé místnosti nebo zónové, kdy každá jedna jednotka obsluhuje jednu danou zónu s podobnými požadavky na provoz.

V jednotce se mohou nacházet tyto komponenty:

- rekuperační výměník,
- ohřívač případně chladič,
- ventilátory,
- filtry.

Každá jednotka je napojena na další rozvody technického zařízení budovy. Například odvod kondenzátu od rekuperátoru. Elektrická energie pro pohon ventilátorů nebo přívod ohřívacího nebo chladičového média k ohřívači respektive chladiči.

2.5.9 Ohřev venkovního vzduchu

Při návrhu je počítáno s minimální teplotou venkovního vzduchu -15°C. I v případě velmi účinného rekuperačního výměníku by nebylo dosaženo požadované teploty přiváděného vzduchu do školy a navíc je nutné zajistit nezamrzání výměníku. Z výše uvedeného důvodu se okruh osazuje ohřívačem přívodního venkovního vzduchu. Používá se buď elektrický externí ohřívač, nebo vodní.

2.5.10 Hluk a akustika

Největším zdrojem hluku celé větrací soustavy je ventilátor, musí se proto dbát na jeho správné umístění a volbu. V případě nedostatečného útlumu hluku ventilátoru potrubím se navrhuje tlumící prvky před pobytovými místnostmi.

2.5.11 Zpětné získávání tepla

Abychom zamezili tepelným ztrátám větráním, je třeba využít výměníky pro zpětné získávání tepla (regenerační nebo rekuperační). Pro jejich výhodnost je třeba posoudit úsporu energie, kterou by se musel vzduch ohřát oproti energii, kterou spotřebuje samotné zařízení u

rotačních výměníků pro zpětné získávání tepla (dále ZZT), nebo energii kterou spotřebují navíc ventilátory kvůli tlakovým ztrátám ZZT.

2.5.12 Filtrace vzduchu

U přirozeného větrání okny se víří prach a dostávají se z venkovního prostředí do vnitřního nečistoty. Ve vzduchotechnických jednotkách se proto umísťují filtry pro čištění od pevných částic. Běžně se osazují filtry dva, jeden k přiváděnému venkovnímu vzduchu a jeden k odváděnému odpadnímu, vždy před výměníkem (ve směru proudu vzduchu), aby se zamezilo zanášení.

Filtry vyžadují pravidelné čištění z důvodu velkých tlakových ztrát při znečištění a tím větší spotřebě energie pro pohon ventilátorů. Filtry bývají vybaveny indikátory znečištění nebo probíhá pravidelné čištění 2x – 4x ročně.

2.5.13 Měření a regulace

Měření a regulace je jednou z nejdůležitějších částí návrhu a následného provozu. Vyžaduje důkladné zaregulování všech částí systému.

Možnosti regulace:

- časový plán - předem se nastaví v jaký čas se má která část vyvětrat,
- průtok venkovního vzduchu - na základě teploty nebo koncentrace CO₂ uvnitř místnosti,
- detekcí stavů – sledované veličiny, poruchy
 - takové ztráty filtrů,
 - teploty elektromotorů a ohříváčů,
 - měření tlakové difference před a za ventilátorem,
 - krajní polohy požárních a uzavíracích klapek,
 - teploty před a za rekuperačním výměníkem.
- ovládacími prvky
 - klapky,
 - regulační armatury.
- ruční a automatická regulace – regulační obvod, regulátory a komerátory, akční členy, čidla (teplota, vlhkost, rychlost proudění vzduchu, koncentrace škodlivin, otáčky)
 - regulace ventilátoru – škrcením (vysoký hluk), stupňovitou regulací otáček elektromotorů nebo plynulá změna otáček,
 - protimrazová ochrana výměníku – čidla na povrchu teplosměnné plochy,
 - regulace provozu ZZT – kvůli zamezení kondenzace, tvorbě námrazy, znečištění,
 - snímání teplot.

Pro každou učebnu musí existovat nezávislá regulace.

3 Základní škola a Praktická škola v Jičíně

Budova základní a praktické školy se nachází v obci Jičín, části Soudná, okrese Jičín a v Královohradeckém kraji. Objekt je přístupný z nepojmenované ulice. Stavba je tvořena více objekty. Celý objekt tvoří hlavní budova školy, tělocvična a dílny. Stavba s číslem popisným 12 je umístěna na parcelách st. 2050/1, 2051 a 2054 v katastrálním území Jičín [659541] v Královohradeckém kraji.



Obr. 4 Jihovýchodní pohled na budovu školy

3.1 Charakteristika školy

Základní a Praktická škola v Jičíně je určena pro žáky 1. - 9. tříd. Jejím hlavním úkolem je výchova a vzdělávání žáků se zdravotním postižením.

Celý objekt tvoří více spojených budov, všechny do půdorysu tvaru ,L'. Budova školy byla postavena v roce 1921, jedná se o dvoupodlažní dvoukřídlový objekt. K budově školy přiléhá tělocvična přesahující dvě podlaží, dílny a průchozí chodba do další části objektu, do vily. Vila není součástí tohoto projektu. Všechny objekty kromě tělocvičny jsou podsklepeny. Škola se nachází v ochranném pásmu kulturní památky. Všechny části slouží pro provoz základní a praktické školy.

V části hlavní budovy školy se nachází převážně učebny, jak tradičního typu, tak speciální s různými provozy pro konkrétní potřeby žáků. Dále zde najdeme kabiny a hygienická zázemí. Podzemní podlaží slouží pro jídelnu, přípravnu jídel, šatny, kotelnu a spíše nevyužívané skladové prostory.

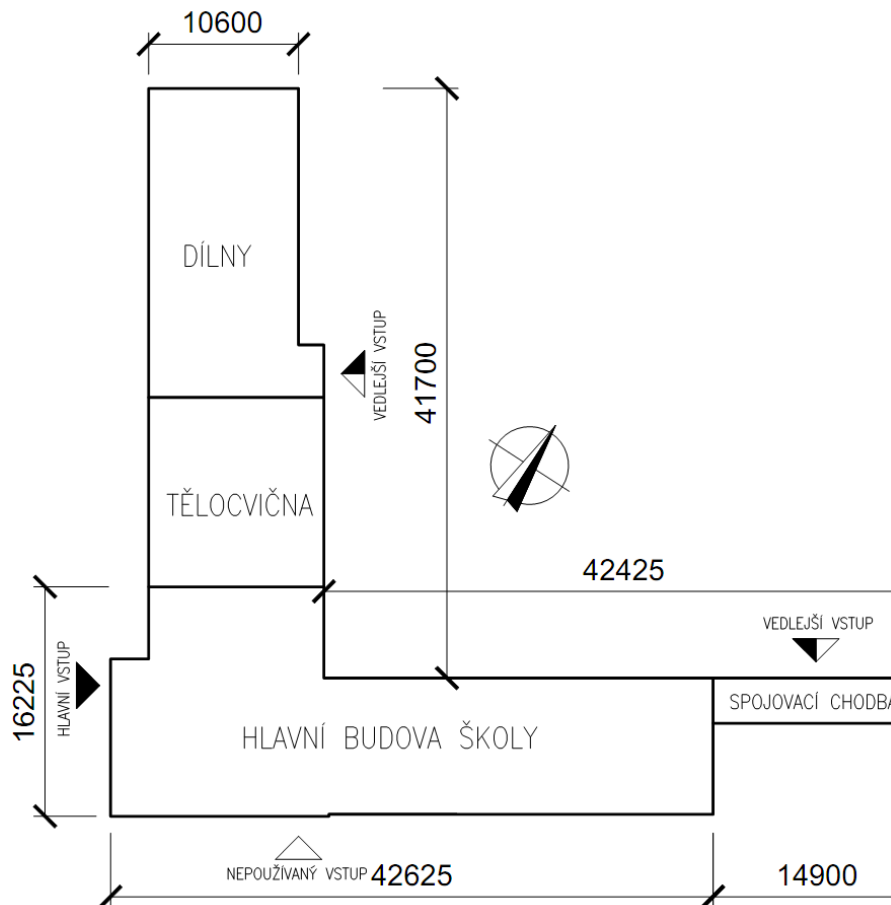
Jeden samostatný celek tvoří tělocvična.

V další budově nazývané dílny najdeme pracovní dílny, družiny, cvičnou kuchyň, kabiny a opět hygienická zázemí. Podzemní podlaží je využíváno pro hygienické zázemí a pro málo využívanou dílnu.

Podkrovní části ve všech budovách jsou využívány pouze jako sklad nebo vůbec a nejsou vytápěny. Do podkrovní školy je přístup po schodišti z 2.NP, do podkrovní v dílnách je přístup pouze po žebříku otvorem ve stropě v 2.NP.

Po rekonstrukci se nepředpokládá žádná změna provozu.

Celá vytápěná část budovy školy tvoří jeden samostatný požární úsek, kromě kotelny. Dílny tvoří celé jeden samostatný požární úsek.



Obr. 5 Schéma objektu

Provoz objektu je v průběhu pracovních dní přibližně od 7:30 do 16:00. Počet osob v objektu uvádí následující tabulka.

| Objekt / část objektu | Hlavní využití objektu | Počet osob | Vnitřní podlahová plocha [m ²] |
|-----------------------|----------------------------------|------------|--|
| Objekt ‚dílny‘ | Učebny, dílny, kabinety, družina | 63 | 622,33 |
| Objekt ‚škola‘ | Učebny, kabinety | 172 | 1010,70 |
| Celkem | | | 1633,03 |

Tab. 8 Podlahová plocha a počet osob v předmětu posudku

Žáci se v průběhu dne přesouvají z jednoho objektu do druhého. Celkem se zde nachází 135 žáků a 22 zaměstnanců. Ve škole je devět tříd.

3.2 Popis a vyhodnocení stavebních konstrukcí školy

Svislé konstrukce – Nosný systém celého objektu tvoří zděné stěny z cihel plných pálených o tl. 450 mm. Z vnitřní i vnější strany konstrukce je silná vrstva vápenné a vápenocementové omítky, tl. cca 30 mm. Výjimku tvoří stěny v suterénu, které mají tloušťku 600 nebo 300 mm a nad terénem jsou opatřené kamenným obkladem 150 mm.

Vodorovné konstrukce – Podlahy na terénu jsou v obou objektech železobetonové, jednoduché, o tloušťce nejspíš kolem 100 mm s horní vrstvou betonové mazaniny.

Stropy v 1. PP objektu jsou železobetonové trámové. Ze spodu je strop opatřen vápenocementovou omítkou. Nosné trámy mají výšku 300 mm.

Mezi 1. a 2. NP se nachází stropní desky železobetonové. Ve škole je na chodbách tloušťka stropu 310 mm a v učebnách 420 mm. Ve vstupních halách obou podlaží se nachází kazetové stropy s tloušťkou 130 – 430 mm. V dílnách je tloušťka stropu 300 mm.

Podlaha na půdě školy je tvořena betonem tl. 40 mm zalitým na škvárovém nasypu a na nich keramická dlažba (tzv. půdovky). V části u dílen je pouze beton bez dlažby.

Střecha – Konstrukce valbových střech je tvořena dřevěným vaznicovým krovem, krytinou jsou pálené tašky (bobrovka) na latích a kontralaticích (systémové řešení Tondach), které je nesené krokviemi. V případě střechy nad školou je mezi kontralaticemi a krokviemi použita pojistná hydroizolace Tondach Tunning.

Výplně otvorů – V budově školy (a tělocvičně) se nachází stará, špaletová, dřevěná okna. Pouze v suterénní části byla okna v rámci rekonstrukce vyměněna za plastová okna s izolačním dvojsklem. V dílnách jsou dřevěná okna jednoduchá s dvojitým zasklením.

3.3 Popis energetických zařízení

3.3.1 Vytápění

Objekt je vytápěn třemi plynovými kotli v kotelně. Jedná se o tři kondenzační plynové kotle Rendamax R 30/85 z roku 2005 s jednotlivými jmenovitými výkony 85 kW, účinností 99,1 - 98,2% a elektrickým příkonem 255 W. Kotle se nachází v kotelně v suterénu budovy školy. Hlavní rozvody jsou teplovodní, vedeny jak do celé budovy školy, tak do dílen i do části vily, která není součástí tohoto projektu. Část rozvodů je vedena k výměňkové stanici pro teplovzdušné vytápění tělocvičny umístěné v podkroví. Ústřední vytápění prošlo rekonstrukcí v roce 2005, kdy byly instalovány nové zdroje tepla.

3.3.2 Příprava teplé vody

Přípravu teplé vody zajišťují lokální elektrické zásobníky nebo průtokové ohřívače. V hygienických zázemích se nachází vždy průtočný elektrický ohřívač o příkonu 2 kW (3 x el. průtokový ohřívač Backer Autosensor 2 kW a 2x průtokový ohřívač Gorenje TED 0502 5 l, 2 kW). U větších spotřebičů teplé vody, jako jsou jídelny, sprchy, cvičné kuchyně atd. nalezneme elektrické bojlerů o různých objemech a příkonech 2 kW (OKCE 125 – 125l, OKCE 80 – 80l, Tatramat EO 152 – 150l, Tatramat EO 935 - 80l, 2x EO 82 – 80l).

- Zásobníkové ohřívače teplé vody
 - OKCE 125, objem 125 l, příkon 2 kW,
 - OKCE 80, objem 80 l, příkon 2 kW,
 - TATRAMAT EO 152, objem 150 l, příkon 2 kW,

- TATRAMAT EO 935, objem 80 l, příkon 0,85 kW,
- 2x EOV 82, objem 80 l, příkon 2 kW.
- Průtokové ohřívače teplé vody
 - 3x Backer Vortex Autosensor, příkon 2kW,
 - 2x Gorenje TEG 010-02N, objem 10 l, příkon 2 kW.

3.3.3 Větrání

Větrání v objektu je přirozené, zajištěné netěsnými spárami v okenních konstrukcích a násobnost výměny vzduchu odpovídá přibližně 0,3 h⁻¹.

3.4 Údaje o energetických vstupech

Budovy jsou zásobovány elektrickou energií a zemním plynem. Dodavatelem elektrické energie je Centropol Energy a.s. a zemní plyn dodává Pragoplyn a.s. Odběr je měřen pro obě budovy dohromady.

| Pro rok 2013 | | | | |
|---|----------|----------|----------------|-------------------------|
| Vstupy paliv a energie | Jednotka | Množství | Přepočet na GJ | Roční náklady v tis. Kč |
| Zemní plyn | MWh | 236,830 | 852,588 | 234,664 |
| Elektrická energie | MWh | 27,084 | 97,502 | 98,612 |
| Změna stavu zásob paliv (inventarizace) | | | | |
| Celkem spotřeba paliv a energie | | | 950,091 | 333,276 |

| Pro rok 2014 | | | | |
|---|----------|----------|----------------|-------------------------|
| Vstupy paliv a energie | Jednotka | Množství | Přepočet na GJ | Roční náklady v tis. Kč |
| Zemní plyn | MWh | 150,837 | 543,012 | 140,337 |
| Elektrická energie | MWh | 31,568 | 113,645 | 102,687 |
| Změna stavu zásob paliv (inventarizace) | | | | |
| Celkem spotřeba paliv a energie | | | 656,656 | 243,024 |

| Pro rok 2015 | | | | |
|---|----------|----------|----------------|-------------------------|
| Vstupy paliv a energie | Jednotka | Množství | Přepočet na GJ | Roční náklady v tis. Kč |
| Zemní plyn | MWh | 211,885 | 762,785 | 197,877 |
| Elektrická energie | MWh | 31,716 | 114,178 | 101,867 |
| Změna stavu zásob paliv (inventarizace) | | | | |
| Celkem spotřeba paliv a energie | | | 876,963 | 299,745 |

| Průměrné roční spotřeby za poslední 3 roky | | | | |
|--|----------|----------|----------------|-------------------------|
| Vstupy paliv a energie | Jednotka | Množství | Přepočet na GJ | Roční náklady v tis. Kč |
| Zemní plyn | MWh | 199,850 | 719,462 | 190,959 |

| | | | | |
|---|-----|--------|----------------|----------------|
| Elektrická energie | MWh | 30,123 | 108,442 | 101,055 |
| Změna stavu zásob paliv (inventarizace) | | | | |
| Celkem spotřeba paliv a energie | | | 827,903 | 292,015 |

Tab. 9 - Tabulka spotřeb v budově za poslední 3 měřená období

3.5 Navrhovaná opatření

V následujících podkapitolách je uveden popis plánovaných energeticky úsporných opatření na stavebních konstrukcích a technickém zařízení budovy.

3.5.1 Opatření A - Energetický management

- průběžné sledování spotřeby energie ve všech jejích formách a její vyhodnocování
- sledování stavu všech spotřebičů energie a pravidelná údržba
- pravidelná kontrola všech rozvodů včetně uzavíracích a dalších armatur a včasné odstraňování závad
- pravidelné provádění všech předepsaných revizí a okamžité odstraňování zjištěných nedostatků
- dodržování zásad záměrného energeticky úsporného chování všech osob

3.5.2 Opatření B – Zateplení obvodových stěn

Dojde k zateplení celého obvodového pláště šedým pěnovým polystyrenem tl. 140 mm. V soklové části na kamenném obkladu a v oblasti přilehlé zemině bude zatepleno kontaktním zateplovacím systémem Perimetr tl. 140 mm.

3.5.3 Opatření C - Výměna výplní otvorů (oken, dveří a mřížek)

V 1. PP objektu škola - původní okna již byla vyměněna za plastová. To samé platí pro některé dveřní otvory. Většina výplní je původní a místo nich jsou navržena plastová okna s izolačními dvojskly ($U = 1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$).

3.5.4 Opatření D – Zateplení podlah podkroví

Střechy objektů nejsou zatepleny a podkroví není využíváno. Navrhuje se zateplení podlah podkroví kombinací minerální vaty a expandovaného polystyrenu tl. 160 mm.

3.5.5 Opatření F - instalace vzduchotechniky v budově školy i dílen

O variantách a možnostech větrání se více zmiňuje následující kapitola.

4 Vstupní údaje k návrhu větrání

4.1 Klimatické podmínky

4.1.1 Vnější prostředí

Objekt leží v městské části Soudná, v Jičíně Libáni (Milíčevs).

Návrhová teplota venkovního vzduchu (zima): $\theta_e = -15^\circ\text{C}$

Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu: $\varphi_e = 83,97\%$

4.1.2 Vnitřní prostředí

TEPLOTA

| Typ prostoru | Výsledná teplota | | |
|---|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | $t_{g \text{ min}} [^\circ\text{C}]$ | $t_{g \text{ opt}} [^\circ\text{C}]$ | $t_{g \text{ max}} [^\circ\text{C}]$ |
| Učebny, pracovny, místnosti určené k dlouhodobému pobytu | 20 | 22 ± 2 | 28 |
| Tělocvičny | 18 | 20 ± 2 | 28 |
| Šatny | 20 | 22 ± 2 | 28 |
| Sprchy | 24 | - | - |
| Záchody | 18 | - | - |
| Chodby | 18 | | |
| Zasedací místnost staveb pro shromažďování většího počtu osob | 20 | 23 | 26 |
| Kanceláře pro třídu práce I | 20 | 22 ± 2 | 28 |

Tab. 10 Tabulka teplot místností, které se v objektu objevují (1) (2)

RELATIVNÍ VLHKOST

Relativní vlhkost se ve všech prostorách školy musí pohybovat mezi 30 a 65%. (1)

RYCHLOST PROUDĚNÍ

Rychlost proudícího vzduchu v obytných zónách je 0,1-0,2 m/s. (1)

MNOŽSTVÍ CO₂

Maximální přípustná hladina CO₂ v obytných prostorách je 1500 ppm. Doporučená hladina je pod 1200 ppm.

4.2 Navrhovaná výměna vzduchu

V následujících kapitolách je popsáno maximální množství větraného vzduchu pro jednotlivé prostory.

Celkové navrhované průtoky pro jednotlivé místnosti shrnuje tabulka v Příloze 1 technické zprávy.

4.2.1 Učebny, dílny

Množství větraného vzduchu se odvíjí od maximálního počtu žáků v učebně. Na základě normových požadavků 20-30m³/h (dle věku žáků navrhuji 20 m³/h) je vypočtena minimální

hodnota venkovního vzduchu, dále je porovnána s průtokem, který je potřeba pro vyvětrání CO₂, které žáci během hodiny vyprodukují. Hodnota musí vždy přesahovat minimální 0,5 násobnou výměnu vzduchu v místnosti a doporučenou 1 násobnou výměnu.

V učebnách se vyskytuje maximálně 15 žáků, v menších 11 a 6. Je zde vždy počítáno navíc 25m³/h pro učitele. Nejmenší učebna je určena pouze pro 3 žáky a zde nucené větrání není navrženo.

Maximální větrání se předpokládá v průběhu hodiny, o přestávce je průtok vnějšího vzduchu omezen. V učebnách platí provoz ve dnech školního vyučování mezi 8:00 a maximálně do 14:00.

O přestávkách stejně jako po skončení vyučování není navrženo větrání. Výjimku tvoří případy možnosti letního nočního předchlazování.

4.2.2 Kabinety, kanceláře, sborovna

Školní kabinety nejsou trvalým pracovištěm učitele, protože většinu času tráví v učebně. Není třeba tyto proozy větrat.

Na rozdíl od toho centrální sborovna je trvale obsazená minimálně 2 lidmi a v případě schůze se zde nachází až 23 učitelů. Čerstvý vzduch bude přiváděn podle maximální obsazenosti 25m³/h. Stejně tak sousední ředitelna, kde trvale sedí 2 osoby. Množství větraného vzduchu se z důvodů malé obsazenosti počítá z 2 násobné výměny vzduchu.

Po skončení pracovní doby se nepředpokládá nucené větrání. Výjimka je v případě nočního předchlazování.

4.2.3 Cvičná kuchyň

Cvičná kuchyň umístěná v dílnách je dispozičně spojená s učebnou. V tomto provozu žáci netráví celou hodinu a učí se zde pouze vařit. Je možné tedy opustit od nuceného větrání a větrat pouze lokálně, je zde umístěný sporák. Samotná výuka probíhá ve vedlejší učebně, kde již je nucené větrání.

4.2.4 Hygienická zázemí

Čerstvý vzduch je přiváděn podle počtu a typu zařizovacích předmětů. Přívodní potrubí je vyvedeno do vedlejší místnosti, kde nehrozí koncentrace zápachu a škodlivin a dveřními mřížkami je nasáván do místností se záchodovou mísou, odkud je znehodnocený vzduch odváděn odvodním potrubím. Pro WC kabinu platí 50 m³/h, pro umyvadlo 30 m³/h a pro pisoár 25 m³/h. Omezený režim funguje během hodiny, kdy není potřeba větrat na maximum. Po skončení vyučování již není nuceně větráno.

4.2.5 Šatny

Prostor centrálních šaten umístěných v 1. podzemní podlaží je plánováno také větrat nuceně. Objem větracího vzduchu je ovlivněn počtem skříněk a na každou je nutno přivést 20 m³/h.

4.3 Požadované regulace jednotlivých provozů

| | provoz | typ regulace | | | |
|--------------|--------------------------|--------------|--|-----------|---------|
| škola | učebny | časová | režim přestávka/hodina/konec | čidlo CO2 | čidlo t |
| | hyg. provozy | časová | režim přestávka/hodina/konec | | |
| | sborovna | časová | režim přítomnost 2 osob/23 osob/konec | | |
| | ředitelna | časová | režim přítomnost 2 osob/konec | | |
| | jídelna + výdejna | časová | režim přítomnost 2 osob/doba obědů/konec | | |
| | tělocvična | časová | režim přítomnost 15 osob/170 osob/konec | | |
| dílny | Hyg. provozy | časová | režim přestávka/hodina/konec | | |
| | učebny | časová | režim přestávka/hodina/konec | čidlo CO2 | čidlo t |
| | družiny | časová | režim přítomnost osob/konec | čidlo CO2 | čidlo t |

Tab. 11 Požadované regulace

5 Navrhované koncepty větrání Základní a Praktické školy v Jičíně

5.1 Výběr systému větrání

Pro každý objekt a provoz se hodí jiný způsob větrání a je třeba je jednotlivě posoudit a navrhnout nejvhodnější.

5.1.1 Centrální větrání

Tato varianta předpokládá dvě centrální jednotky, jednu pro školu a jednu pro dílny.

ŠKOLA

Centrální jednotka slouží pro celou budovu školy. Umístění přichází v úvahu pouze v podkrovních prostorách. Tato část se v současnosti využívá pouze pro sklady. Pro vzduchotechnické rozvody a pro jednotku bude tedy ideální. Vzhledem k tomu, že střecha není zateplená a není možno splnit požadavek na udržování teploty nad 10°C, musíme použít jednotku venkovní.

Rozvody v jednotlivých podlažích jsou vedeny vždy u stropu v rozích místností. Hlavní páteřní jsou z čtyřhranného potrubí kvůli lepšímu umístění a koncové rozvody do jednotlivých místností jsou kruhové pro jednodušší montáž, menší tlakové ztráty, menší zanášení prachem a nižší hlučnost. Stoupacích potrubí je více a následně se spojí až v podkroví. Do centrální jednotky vstupuje hlavních 5 rozvodů – z tělocvičny, z jídelny a výdejny, z hygienických prostor a šaten a učeben a kanceláří. Konce každých těchto páteřních rozvodů jsou osazeny regulačními klapkami pro lepší regulovatelnost okruhu z důvodu různých využití rozvodů.

Centrální výfuk odpadního vzduchu je navržen přes věžičku v podkroví a nasávání čerstvého se nachází v blízkosti jednotky skrz existující okenní otvor.

Konstrukční výška v 1. PP školy je 2,9 m, tady ale nastává problém s průvlaky. Není možno vést vedení VZT podél obvodových zdí, protože se zde nachází okna.

V dalších podlažích (1. NP a 2. NP) jsou konstrukční výšky v učebnách a okolních místnostech 3,7 m a na chodbě 3,9 m. Minimální světlá výška místností ve škole je 3,3 m. Vedení potrubí u zdí u stropu není tedy problém.

V hlavní vstupní části ve všech podlažích se nachází kazetové podhledy a není zde možno vést potrubí.

DÍLNY

Další centrální jednotka obsluhuje celou budovu dílen. Jeden páteřní rozvod obsluhuje celou část hygienického zázemí. Další má na starosti pouze dvě družiny a poslední rozvádí vzduch do obou dílen a cvičné kuchyně s učebnou. Centrální jednotka je umístěna ve skladovém prostoru

v 1. PP. Podkroví v dílnách není jednoduše přístupno, není tedy možné umístit jednotku zde, stejně jako v budově školy. Z 1. PP je na střechu odváděn odpadní vzduch ze strojovny vzduchotechniky. Nasávání čerstvého vzduchu je umístěno u země 1,2 m nad zemí.

Světlá výška 1. PP je pouze 2,37 m a kvůli průvlakům v některých místech podchodná pouze 1,97 m. Vedení centrálního potrubí kdekoliv jinde než podél zdí je tedy obtížné. V dalších podlažích je světlá výška 2,85 m a 2,9 m. Ani zde není dodržena minimální světlá výška ve

stavbách pro vzdělávání. Rozvody potrubí jsou i tady možné pouze blízko zdí a malých průměrů, aby nebránily provozu.

Obě centrální jednotky obsahují rekuperační výměník, přívodní a odvodní ventilátor, filtry na přívodu a odvodu (vždy před výměníkem) a elektrický předehříváč čerstvého vzduchu.

Finanční náklady jsou vysoké hlavně kvůli rozvodům potrubí a instalaci velké vzduchotechnické jednotky. S tím souvisí nutnost statického posouzení případně vyztužení nosné konstrukce pod jednotkou. Zároveň je finančně nákladnější požární ochrana vzduchotechnických rozvodů.

Budovu školy i dílen tvoří jeden samostatný požární úsek a při přestupu z vytápěné části školy do nevytápěného podkroví, kde je umístěna jednotka jsou potřeba požární klapky. Je nutná pravidelná kontrola těchto zařízení.

Centrální systém tak velkého objektu je náročnější na zaregulování. Následně jsou však všechny místnosti propojeny přes centrální regulační systém a jednodušeji se tedy regulují najednou.

Výhodou je umístění nejhlučnějšího komponentu – ventilátoru, v dostatečné vzdálenosti od bytových prostor a tím zamezuje přenášení hluku. Servis vzduchotechniky je jednoduchý, protože je třeba zkontrolovat jen jednu jednotku.

Nevýhodou je velké množství aspektů, které musí jednotka zpracovat, aby poslala na správné místo správné množství vzduchu. V každé učebně bude nainstalováno čidlo pro kontrolu koncentrace CO₂ a teplotu.

Volba centrální jednotky je od firmy Atrea řada Duplex.

5.1.2 Decentrální

Tento návrh počítá s decentrální jednotkou pro každou větranou místnosti. Spočívá v instalaci větrací jednotky s rekuperátorem, ventilátory, ohříváčem a filtry do rohu u stropu každé učebny.

Výhodou je komplexně oskoušené řešení, zaručující uváděné parametry a rychlost montáže.

Zároveň odpadá nutnost instalace vzduchotechnických potrubí a případně jejich následnou protipožární úpravu.

Nevýhodou je servis všech jednotek a centrální regulace vyžaduje propojení všech instalovaných jednotek.

Decentrální větrání počítá s instalací větších jednotek v učebnách.

V hygienických provozech bude malá decentrální jednotka, která bude zajišťovat trvalý podtlak kvůli nešíření zápachu.

Nevýhodou jsou časté prostupy na fasádu. Jak z tepelně technického hlediska, tak z estetického. Z toho estetického přicházejí v úvahu decentrální jednotky pouze v prostoru dílen.

Konkrétní návrh decentrálního řešení pro učebny nabízí firma Sokra.

Výfuk a sání probíhá lokálně vždy u sebe za proti-dešťovou žaluzií. Jedná se o patentové řešení, které je založeno na rozdílných rychlostech přiváděného a odváděného vzduchu, vše tedy vychází z potenciálního proudění a mezních proudnic a průtočné průřezy přívodu a odvodu jsou odlišné. Tím je zajištěno nemísení znehodnoceného a čerstvého vzduchu.

Jednotka obsahuje regulaci dle koncentrace oxidu uhličitého a plynovou regulaci otáček ventilátoru (EC motory – 0 -10 V) s průtokem vzduchu 0 – 700 m³/h.

Jednotky současně díky tlumiči hluku splňují přísné hlukové limity učebny a svou energetickou účinností spadají hluboko do třídy SFP1 dle ČSN EN 13779. Obsahují zároveň protiproudý nerezový deskový výměník s teplotním faktorem 83% ZZT, kde je zaručeno nevznikání kondenzátu. Proti zanášení je jednotka vybavena filtry F7 a F5 na přívodu i odvodu vzduchu.

Napojení na fasádu je přes směšovací a uzavírací klapku a speciální kombinovanou protidešťovou žaluzii pro sání a výfuk.

Parametry jednotky

- Výška 500 mm
- Šířka 1050 mm
- Délka jednotky (max.) 4500 mm
- Standartní rozměry venkovní žaluzie 450 x 844 mm
- Váha jednotky (ventilátorová část) 180 kg

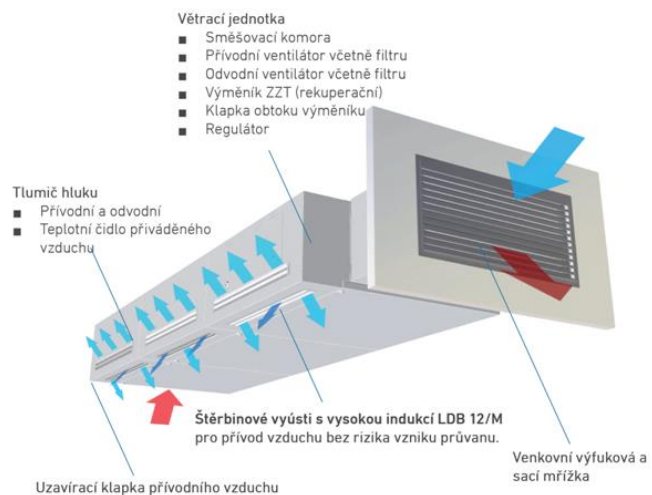
5.1.3 Zónové

Zónové větrání se podobá větrání centrálnímu, ale pro různé provozny se využívá různých vzduchotechnických jednotek. Systém zjednodušuje zaregulování soustavy a zároveň vyčleňuje prostory s odlišným časovým provozem, kdy například některé nemusí běžet celou dobu, kdy jsou žáci ve škole.

ŠKOLA

Tím, že se všechny jednotky umísťují do podkrovní, dají se jednoduše napojit na centrální řídicí jednotku a tím regulovat jednoduše celý systém.

Pro velké samostatné provozny jako je tělocvična a jídelna s výdejnou se nabízí možnost samostatné jednotky automaticky. Jídelna s výdejnou fungují při maximálním průtoku pouze od 11:30 do 13:30 a při nižším průtoku od 10:00 do 11:30 a od 13:30 do 14:00. Automatická regulace není potřeba a jednotka funguje na 3 provozní režimy - vypnuto / režim přípravy jídel bez dětí / doba oběda.



Tělocvična většinu času běží na minimální průtok a pouze v případě málo častého hromadného shromáždění se rozjede na plný výkon. Regulace je pouze na vypínač se třemi polohami – vypnuto / klasická hodina tělocviku / shromáždění.

U ostatních provozů nevyplývá ideální rozdělení hned. Existuje několik možností.

| Jednotka | A | B | C | D | E |
|------------|-------------------|------------|----------------|-----------|-----|
| Varianta 1 | Jídelna + výdejna | Tělocvična | UČ | KAN | HYG |
| Varianta 2 | | | UČ + KAN | HYG | |
| Varianta 3 | | | UČ + KAN + HYG | | |
| Varianta 4 | | | UČ + HYG | KAN | |
| Varianta 5 | | | UČ | KAN + HYG | |

Pozn. HYG - hygienické provozy, zahrnují WC, umývárny a šatny
 UČ – učebny
 KAN – sborovna, ředitelna

DÍLNY

v dílnách je provozů o něco méně a jsou více sdružené. V 1. PP se nachází pouze hygienické zázemí. V 1. NP dílny pro zpracování kovu a dřeva (dle času užívání budeme dále užívat slovo „učebny“), v 2.NP cvičná kuchyně s jídelnou / učebnou („učebny“) a dvě družiny s rozdílným časovým provozem.

Možné rozdělení do zón v dílnách

| Jednotka | A | B | C |
|------------|------------|------|-----|
| Varianta 1 | UČ | DRUŽ | HYG |
| Varianta 2 | UČ + DRUŽ | HYG | |
| Varianta 3 | UČ + HYG | DRUŽ | |
| Varianta 4 | DRUŽ + HYG | UČ | |

V příloze jsou uvedeny časové provozy, kdy jednotlivé zóny potřebují větrat a průtoky vzduchu vzduchotechnickými jednotkami při těchto provozech.

5.1.4 Kombinace decentrálního a zónového - varianta A

V této variantě kombinujeme decentrální větrání učeben a sborovny s větráním jedné jednotky, které obsluhuje hygienické provozy.

V případě dílen je to instalace decentrálních jednotek v družinách, dílnách a učebně s kuchyní a jedna jednotka pro obsluhu hygienického zázemí v 1. PP.

ŠKOLA

Každá učebna a sborovny by byly obsluhovány decentrálními jednotkami zmíněnými v kapitole 5.1.2. Jednotky by byly regulovány vždy z daného prostoru.

Co se týče provozů hygienických a šaten v 1. PP, byly by obsluhovány jednou jednotkou umístěnou v podkroví objektu.

Regulace by byla časová, v případě přestávky by bylo automaticky zapnuto nárazové větrání a v případě hodiny a skončení vyučování, ale v pracovní době sborovny by fungoval snížený režim na 1/3.

Po skončení vyučování a pracovní doby v sborovny, by byla jednotka vypnuta (16:00-7:00).

Jídelnu a výdejnu jídel a tělocvičnu by opět obsluhovala jedna jednotka umístěná v podkroví. Zmíněná již v předchozí zónové variantě.

DÍLNY

V prostoru dílen by byla tato varianta jednodušší. Všechny WC a umývárny se nachází v 1. PP a u sebe. Obsluhovala by je jedna jednotka.

Protože WC je využíváno nejen při režimu přestávka/hodina, ale kvůli družinám nepravidelně, bylo by zde nainstalováno čidlo detekce osob a v tu chvíli by fungovalo nárazové větrání. V opačném případě by jednotka opět jela na snížený režim.

Po skončení vyučování a družin by byla jednotka vypnuta. (15:00 – 10:00)

5.2 Proudění vzduchu

Proudění vzduchu v místnosti je ovlivněné hlavně počtem, polohou a typem přívodních otvorů, rychlostí a teplotou přiváděného vzduchu.

5.2.1 Distribuční elementy

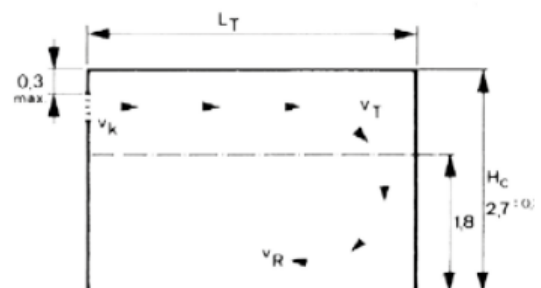
Návrh vhodných vyústek a nasávacích otvorů zásadně ovlivňuje pohodu v pobytové zóně. Zásadně totiž ovlivňují proudění vzduchu. Pro použití ve zmiňovaných provozech školy máme několik možností distribučních elementů. Větránymi prostory téměř vždy prochází turbulentní proudění. Pro naše účely předpokládáme proud omezený ve větší či menší míře stropem a stěnami. Předpokládáme zároveň proud neizotermní, protože přívodní proud nemá stejnou teplotu jako vzduch v místnosti.

5.2.1.1 Obdélníkové vyústky - mřížky

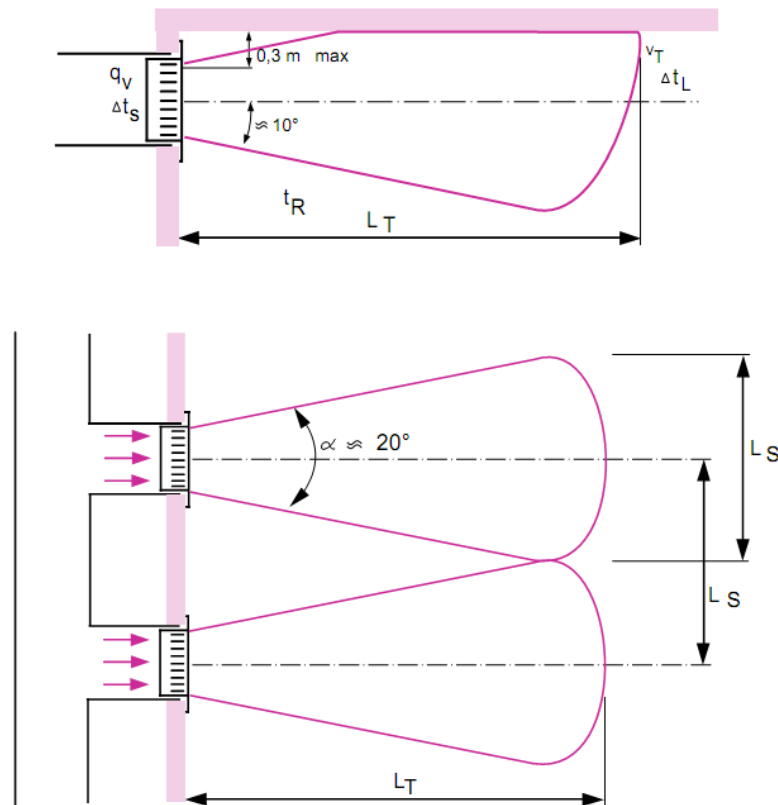
Stěnové mřížky pro přívod i odvod vzduchu. Možnost manuálního nastavení optimálního sklonu lamel pro optimalizaci tvaru proudu. Možnost dvouřadých s vertikálními i horizontálními lamelami. Jednořadé se používají pro odvod vzduchu, kde není třeba přesně směřovat směr.

Abychom nastavili požadovaný průtok je možno použít regulační ústrojí, které tvoří protiběžné nebo náběhové listy.

Výhodou je umístění na stěnách, vedení je možno tedy podél stěn a nesnižují světlost výšku po celé místnosti. Není třeba celoplošný podhled, ale pouze falešný trám podél zdí.



PŘÍKLAD INSTALACE



Obr. 6 Příklad instalace obdélníkových výústek MULTIVAC A 110, G 110 (7)

5.2.1.2 Anemostaty (vířivé výústě) a difúzory

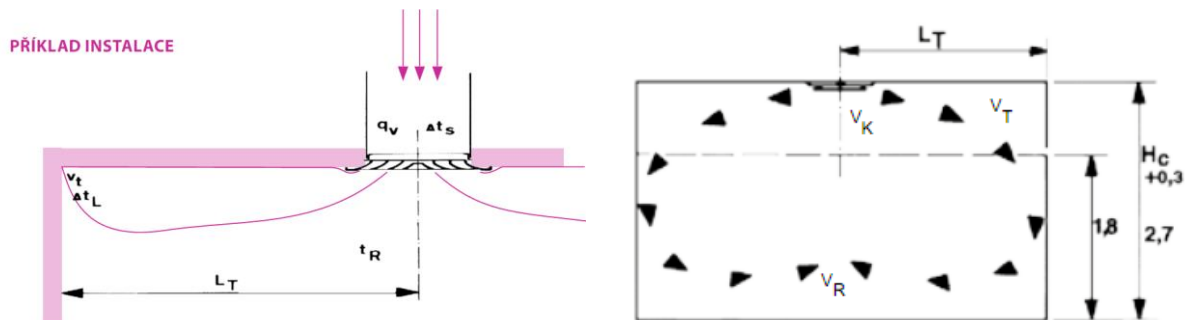
STROPNÍ VÍŘIVÝ DIFUZOR

Kruhové nebo čtvercové.

U některých typů možnost směřování přívodu vzduchu do různých stran pomocí rozptylové desky.

Hodí se pro přívody vzduchu s velkým rozdílem teplot mezi přívodem a teplotou místnosti. Výhodou těchto elementů je rozptyl vzduchu do všech směrů a zároveň jeho rovnoměrná distribuce. Směr proudění je možné vybrat, 1,2,3 nebo 4 směry proudění.

Nevýhodou je malý dosah při nízké hlučnosti a nutnost celostropního podhledu.



Obr. 7 Příklad instalace anemostatů a typ proudění (7)

6 Vybraná varianta větrání

Pro budovu školy byla jako nejlepší varianta vyhodnocena varianta zónového rovnotlakého větrání s nuceným oběhem. Zónové větrání kombinuje výhody decentrálního a centrálního systému a eliminuje jejich nevýhody.

Vybraná varianta obsahuje jednu jednotku v dílnách a následující tři jednotky v hlavní budově školy:

- jídelna + výdejna,
- tělocvična,
- učebny + kanceláře + hygienické zázemí.

Vzduchotechnické jednotky navržené pro větrání školy jsou umístěny v podkroví objektu a jednotka pro větrání hygienického prostoru dílen je v 1. PP tohoto objektu v místnosti 018 – skladu. V učebnách, dílnách a družinách jsou umístěny decentrální jednotky pro větrání konkrétní místnosti.

Hlavními důvody výběru varianty byly zejména různé provozní režimy v objektu, dále pak jeho funkce a proporce. Důležitou roli při výběru hraje také estetická stránka, kdy při zónovém větrání dochází k menším zásahům do fasády objektu, je potřeba méně otvorů pro výfuk a sání. Zásahy do utěsněné obálky snižují její tepelně technické vlastnosti, z důvodu vzniku teplených mostů při prostupu stavebními konstrukcemi. Vybraná varianta je také efektivnější s ohledem na údržbu větracího systému oproti decentrálnímu větrání.

Porovnávané varianty jsou z ekonomického hlediska srovnatelné, cena navrhovaného řešení tak není při výběru rozhodující a nebyla v rámci práce řešena.

Nucené větrání je rovnotlaké s nuceným oběhem a zpětným získáváním tepla. Navržená soustava slouží pouze pro větrání objektu a redukování tepelné ztráty větráním. Zbylé krytí tepelných ztrát a vytápění zajišťuje otopná soustava.

7 Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 1 Diagram s vyznačeným polem pohodlí v závislosti od teploty a vlhkosti (3) | 10 |
| Obr. 2 Schéma pobytové zóny a jejích požadavků | 19 |
| Obr. 3 Osazení požární klapky (6) | 19 |
| Obr. 4 Jihovýchodní pohled na budovu školy | 22 |
| Obr. 5 Schéma objektu | 23 |
| Obr. 6 Příklad instalace obdélníkových vyústek MULTIVAC A 110, G 110 (7) | 35 |
| Obr. 7 Příklad instalace anemostatů a typ proudění (7) | 35 |

8 Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tab. 1 Základní teplotní požadavky na místnosti ve školách (1) | 9 |
| Tab. 2 Požadavky na výslednou teplotu kulového teploměru (2) | 9 |
| Tab. 3 Základní vlhkostní požadavky pro místnosti ve školách (1) | 10 |
| Tab. 4 - Množství přiváděného čerstvého vzduchu v učebnách, tělocvičnách, šatnách a hygienických zařízeních v zařízeních pro výchovu a vzdělávání (1) | 11 |
| Tab. 5 minimální množství venkovního vzduchu (4) | 11 |
| Tab. 6 Rychlost proudění vzduchu v pobytových místnostech (1) | 13 |
| Tab. 7 Rychlost proudění vzduchu v pobytových místnostech v průběhu roku (2) | 13 |
| Tab. 8 Podlahová plocha a počet osob v předmětu posudku | 23 |
| Tab. 9 - Tabulka spotřeb v budově za poslední 3 měřené období | 26 |
| Tab. 10 Tabulka teplot místností, které se v objektu objevují (1) (2) | 27 |
| Tab. 11 Požadované regulace | 29 |

9 Seznam grafů

| | |
|---|----|
| Graf 1 Koncentrace CO ₂ ve vnitřním prostředí a jeho vliv na pocit člověka | 12 |
|---|----|

10 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout optimální řešení větrání do Základní školy a Praktické školy v Jičíně.

Na základě analýzy byla vybrána varianta zónového větrání do hlavní budovy školy a centrálního větrání do školních dílen. Návrhu předcházela komplexní analýza veškerých nároků objektu, zejména s ohledem na účel použití - jedná se o budovu pro vzdělávání. Zohledněny byly specifické stavební možnosti a nároky řešeného objektu. Varianta byla vybrána i s ohledem na veškeré relevantní předpisy a normy. Výsledkem je větrací systém, který vede k vytvoření nejvhodnějšího vnitřního prostředí zejména pro zdraví a výkon žáků.

Tato varianta je detailně zpracována v rámci projektové dokumentace v rozsahu pro stavební povolení, včetně půdorysů a řezů větracího systému a strojovny vzduchotechniky, výpočtu množství vzduchu a hydraulického výpočtu potrubí a návrhu distribučních elementů.

Výstupy diplomové práce budou částečně použity pro účely zpracování projektové dokumentace větrání a k následné realizaci.

11 Bibliografie

1. Vyhláška č. 410/2005 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých. 2005.
2. Vyhláška č. 6/2003 Sb., Vyhláška, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb. 2003.
3. Gabernig, Heinz. Energie- und Klimatechnik, Ausgabe. 1995.
4. *Potřeba energie pro větrání učeben. In.: Vytápění, větrání, instalace, roč. 24.*, Zmrhal, V. a Begeni, M. 5, 2014, Sv. s. 218-222. ISSN 1210-1389.
5. Vyhláška č. 20/2012 Sb. o technických požadavcích na stavby. 2012.
6. Vrána, Jakub. *Technická zařízení budov v praxi [E-kniha] Příručka pro stavaře.* místo neznámé : Nakladatel Grada, 2007.
7. *Katalog produktů.* místo neznámé : Multi-VAC spol. s r.o., 04 2013. Katalog produktů.
8. Chýský, J. a Hemzal, K. a kol. *Technický průvodce Větrání a klimatizace.* ISBN 80-901574-0-8.
9. vetrani.tzb-info.cz. *tzb-info*. [Online] 06. 01 2016. <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-skol/13662-vetrani-skol>.
10. vetrani.tzb-info.cz. *tzb-info*. [Online] 7. 01 2014. <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/10752-vnitri-prostredi-skol-a-moznosti-zajisteni-vymeny-vzduchu>.
11. vetrani.tzb-info.cz. *tzb-info*. [Online] 26. 05 2010. <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-bytovych-domu/6507-vetrani-bytovych-domu-zaklady-teorie-vetrani>.
12. tzb-info.cz. *tzb-info*. [Online] 17. 02 2005.
13. Protipožární ochrana vzduchotechnických potrubních prostupů. *tzb-info.cz*. [Online] 17. 03 2005. <http://www.tzb-info.cz/2418-protipozarni-ochrana-vzduchotechnicky-potrubnich-prostupu>.
14. Cihlář, Jiří a Hazucha, Juraj. Větrání, teplovzdušné vytápění. *mpo-efekt.cz*. [Online] 2007. http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595e1fa66875530f33e8a/06_vetrani.pdf.
15. Ing. Zmrhal, Vladimír. Návrh potrubní sítě. *fs.cvut.cz*. [Online]