

Nucené větrání s možností rekuperace odpadního tepla v objektech pro vzdělání



Nucené větrání s možností rekuperace odpadního tepla v objektech pro vzdělání

Název

Nucené větrání s možností rekuperace odpadního tepla v objektech pro vzdělání

Autoři

Ing. Juraj Hazucha, Centrum pasivního domu

Ing. Jan Bárta, Centrum pasivního domu

Odborná revize

Doc. Ing. Jiří Hirš, CSc., Fakulta stavební, Vysoké učení technické Brno

Vydavatel



**CENTRUM
PASIVNÍHO
DOMU**

březen 2009

Kopírování textů i jejich částí je možné pouze se souhlasem autorů.



Obsah

1. ÚVOD.....	4
2. PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU.....	4
2.1. PŘEHLED LEGISLATIVY	4
2.2. PŘEHLED TECHNICKÝCH NOREM	5
2.3. VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ A KOMFORT	6
2.4. SITUACE NA STAVEBNÍM TRHU – SYSTÉMY VĚTRÁNÍ	19
3. PROCES ZPRACOVÁNÍ PROJEKTU	30
3.1. ZÁMĚR	30
3.2. STUDIE PROVEDITELNOSTI	31
3.3. POVOLOVACÍ PROCES	31
3.4. PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE	31
3.5. REALIZACE	33
3.6. ZAHÁJENÍ PROVOZU A PROVOZ	34
4. EKONOMICKÉ HLEDISKO	34
4.1. INVESTIČNÍ NÁKLADY	34
4.2. PROVOZNÍ NÁKLADY.....	35
4.3. OPTIMALIZACE PROCESU.....	36
4.4. PODMÍNKY FINANCOVÁNÍ OPŽP	36
5. PŘÍKLADY DOBRÉ PRAXE	36
5.1. PŘÍKLAD VZOROVÉ REALIZACE – REKONSTRUKCE POLYTECHNICKÉ ŠKOLY SCHWANENSTADT, RAKOUSKO.....	36
6. CHECKLISTY	36
6.1. CENTRÁLNÍ – SEMICENTRÁLNÍ – DECENTRÁLNÍ KONCEPCE	36
6.2. PÁTEŘNÍ NEBO HVĚZDICOVÉ VEDENÍ ROZVODŮ	36
6.3. ŘÍZENÍ A REGULACE	36
6.4. OCHRANA PROTI ZAMRZNUTÍ	36
6.5. DRUH ZEMNÍHO VÝMĚNÍKU.....	36
7. ZDROJ INFORMACÍ, LITERATURA	36



1. Úvod

Množství průzkumů a měření vnitřního prostředí ve školách ve světě i u nás prokázalo, že kvalita vzduchu a obecně vnitřního prostředí je nízká a v některých případech až alarmující. Jak studie ukazují, přirozené větrání okny je nedostačující pro zabezpečení hygienických požadavků těchto zařízení. Není pochyb, že zdravé prostředí a čerstvý vzduch jsou jedním z hlavních předpokladů úspěšného procesu vzdělávání. Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí lze úspěšně řešit pomocí nuceného větrání se zpětným získkem tepla, které současně umožňuje snížit ztráty tepla větráním a podílet se tak na úsporách energie. Množství škol, školek a jiných školských zařízení prochází procesem rekonstrukce, kde se uvažuje hlavně s úsporami energie. Na kvalitu prostředí a efektivní větrání se však zapomíná a k vylepšení vnitřního prostředí nedochází. Mnohdy je efekt právě opačný. Utěsněním obálky budovy a výměnou oken dochází k snížení efektu větrání netěsnostmi a prostory jsou větrány ještě méně než před rekonstrukcí. Jelikož jsou školská zařízení určena k vzdělávání, které závisí na aktivní pozornosti žáků a studentů a nakonec i samotných vyučujících je potřeba apelovat na změnu přístupu k modernizaci těchto budov.

Tato příručka má za cíl pomoci všem zainteresovaným při procesu rozhodování nad použitím systému nuceného větrání, analyzovat možnosti a poukázat na výhody a problémy spojené s návrhem a instalací takového systému. Příručka čerpá z několikaletých zkušeností ze zahraničí, zejména z Rakouska, kde bylo v rámci projektu „Haus der Zukunft“ (Dům budoucnosti) evaluováno 16 z 59 škol využívajících systém nuceného větrání. Jelikož v době vzniku publikace nebyla v České republice realizována žádná instalace systému větrání, lze cenné výsledky a zkušenosti z rakouského projektu využít pro budoucí projekty u nás.

2. Přehled současného stavu

2.1. Přehled legislativy

V současné době požadavky na kvalitu vnitřního prostředí vychází z vyhlášky č. 410/2005 Sb. Ministerstva zdravotnictví ze dne 4. října 2005 – o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých. Tato vyhláška stanovuje základní parametry vnitřního mikroklimatu a intenzitu větrání následovně:

Tab. 1 Intenzita větrání čerstvým vzduchem v učebnách, tělocvičnách, šatnách a hygienických zařízeních a provozovnách pro výchovu a vzdělávání (vyhlášky č. 410/2005 Sb)

Zařízení	Výměna vzduchu v m ³ .hod ⁻¹
Učebny	20 – 30 na 1 žáka
Tělocvičny	20 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

Parametry mikroklimatických podmínek tato vyhláška stanovuje následovně:



a) Zimní období

- Učebny, pracovny, družiny a další místnosti určené k dlouhodobému pobytu
 - průměrná výsledná teplota v místnosti $\bar{t}_g = 22 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$
 - minimální výsledná teplota v místnosti $t_{g\text{min}} = 19 \text{ } ^\circ\text{C}$
 - rozdíl výsledné teploty v úrovni hlavy a kotníků nesmí být větší než $3 \text{ } ^\circ\text{C}$,
 - při poklesu teploty vzduchu v učebnách určených k dlouhodobému pobytu dětí a žáků ve třech po sobě následujících dnech pod $18 \text{ } ^\circ\text{C}$, ne však méně než na $16 \text{ } ^\circ\text{C}$, nebo při poklesu teploty vzduchu v těchto učebnách v jednom dni pod $16 \text{ } ^\circ\text{C}$ musí být provoz zařízení pro výchovu a vzdělávání zastaven
- Tělocvičny
 - průměrná výsledná teplota v místnosti $\bar{t}_g = 20 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$
 - minimální výsledná teplota v místnosti $t_{g\text{min}} = 19 \text{ } ^\circ\text{C}$
 - rozdíl výsledné teploty v úrovni hlavy a kotníků nesmí být větší než $3 \text{ } ^\circ\text{C}$,

b) Letní období

- Učebny, pracovny družiny a další místnosti určené k dlouhodobému pobytu
 - průměrná výsledná teplota v místnosti $\bar{t}_g = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$
 - maximální výsledná teplota v místnosti $t_{g\text{max}} = 31 \text{ } ^\circ\text{C}$
 - při extrémních venkovních teplotách, kdy maximální venkovní teplota vzduchu je vyšší než $30 \text{ } ^\circ\text{C}$ a $t_{g\text{max}} = 31 \text{ } ^\circ\text{C}$ musí být přerušeno vyučování nebo zajištěno pro žáky jiné náhradní opatření, např jejich pobytem mimo budova a zajištěním pitného režimu

Tam kde je rozdíl mezi výslednou teplotou kulového teploměru t_g a teplotou vzduchu t_a menší než $1 \text{ } ^\circ\text{C}$, lze jako výslednou hodnotu teploty používat hodnotu t_a ($^\circ\text{C}$) naměřenou suchým teploměrem.

Relativní vlhkost vzduchu je celoročně $30 - 70 \text{ } \%$.

Rychlost proudění vzduchu je celoročně $0,1 - 0,2 \text{ m/s}$.

2.1.1. Současný stav

Současný stav prostředí v místnostech škol často neodpovídá těmto hodnotám stanoveným ve vyhlášce. Teploty vzduchu díky nekvalitnímu zasklení a izolačním parametrům obvodových konstrukcí jsou značně deformované v rámci jedné místnosti a mnohdy při větrání okny vznikají teplotní rozdíly mezi hlavou a kotníky vyšší než $3 \text{ } ^\circ\text{C}$. Při rekonstrukcích škol obecně by mělo být dbáno nejen na energetickou stránku věci, ale i na dopad opatření na kvalitu vnitřního prostředí a spokojenosti uživatelů.

2.2. Přehled technických norem

Posuzení kvality vnitřního prostředí a požadavky pro návrh nuceného větrání do školských zařízení ošetřují následující normy:

- ČSN EN ISO 7730:2005 „Ergonomie vnitřního prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu“



- ČSN EN 13779:2008 „Větrání nebytových budov – Základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení“
- ČSN EN 15251:2007 „Vstupní parametry pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního prostředí, teplotní prostředí, osvětlení a akustiku“

a zahraniční normy:

- ÖNORM H 6003-3:1998 „Ventilation and air conditioning plants; basic rules; hygienic and physiological requirements for the environment of persons“
- ÖNORM H 6039:2008 „Ventilation and air conditioning plants - Controlled mechanical ventilation of classrooms, training rooms or common rooms as well as of rooms for similar purposes - Requirements, dimensioning, design, operation and maintenance“
- DIN 1946-6:2008 „Ventilation and air conditioning - Part 6: Ventilation for residential buildings; General requirements, requirements for measuring, performance and labeling, delivery/acceptance (certification) and maintenance“

Pozn. Rakouská norma ÖNORM H 6039 je doplněním normy ČSN EN 13779, zaměřená přímo na větrání škol a školních zařízení.

2.3. Vnitřní prostředí a komfort

Kvalita vnitřního prostředí má vliv na pohodlí uživatel a totéž platí i pro mikroklima učeben ve školách a školkách. Zdravé vnitřní prostředí a dobrá kvalita vzduchu je pro učební proces zásadní.

Rozdělení složek dle ÖNORM H 6003-3:1998, které ovlivňují pohodlí a zdraví osob ve vnitřním prostředí je v následující tabulce:

Tab. 2 Složky pohodlí ve vnitřním prostředí (ÖNORM H 6003-3:1998)

Osobní veličiny	Stavebně-fyzikální veličiny	Technické parametry vzduchu
Tělesná činnost	Teplota	Teplota vzduchu
Oděv	Hluk	Proudění vzduchu
Psychický stav	Osvětlení	Vlhkost vzduchu
Tělesný stav	Barvy	Složení vzduchu
		Šum

Na základě toho, že lidé rozdílně pociťují a posuzují komfort, je téměř nemožné dosáhnout, aby vnitřní klima třídy všichni zároveň dobře/pozitivně vnímali. V ČSN EN ISO 7730 je proto definovaná předpověď procentuálního podílu nespokojených (PPD) pro tepelnou pohodu. Za právě ještě akceptovatelnou může být pokládána kategorie C (PPD pod 15%) respektive 85% spokojených uživatelů. Cílová oblast novostaveb a rekonstrukcí by měla být min. kategorie B (pod 10%) nebo při vysokých nárocích kategorie A (pod 6%).

V normě ČSN EN 15251 jsou obsažené vstupní parametry pro vnitřní prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov v rámci evropské směrnice pro energetickou náročnost budov EPBD. V směrnici jsou popsány 4 kategorie budov. Kategorie II popisuje normální míru očekávání – doporučenou pro nové budovy a rekonstrukce. Tepelnému komfortu kategorie II odpovídá dle normy ČSN EN ISO 7730 kategorie B s PPD pod 10%. V oblasti kvality vnitřního vzduchu odpovídá kategorie II PPD pod 20 % a kategorie I PPD od 15%.



Dominantní vliv na pohodlí mají složky, které jsou současně ovlivněny použitím nuceného větrání:

- tepelný komfort
- kvalita vnitřního vzduchu (složení / znečištění)
- akustický komfort (hluk / šum)

Tepelný komfort a kvalitu vzduchu lze použitím správně navrženého, provedeného a zaregulovaného systému nuceného větrání vylepšit oproti přirozenému větrání okny. Při zavřených oknech je hlučnost použitím větracích jednotek zhoršena, jelikož hlučnost větracích jednotek leží nad základní hladinou šumu pozadí (bez přítomnosti studentů). Naproti tomu však hlučnost při otevřených oknech je zřetelně vyšší, a použitím nuceného větrání je možné ji redukovat, což má význam zejména ve městech.

Na celkovou pohodu studentů v učebnách však mají vliv i další faktory jako osvětlení, barevnost, tvary, psychologické vlivy, atd. Například z psychologických důvodů je i při použití nuceného větrání důležité navrhovat přinejmenším jedno otevíravé okno v každé třídě.

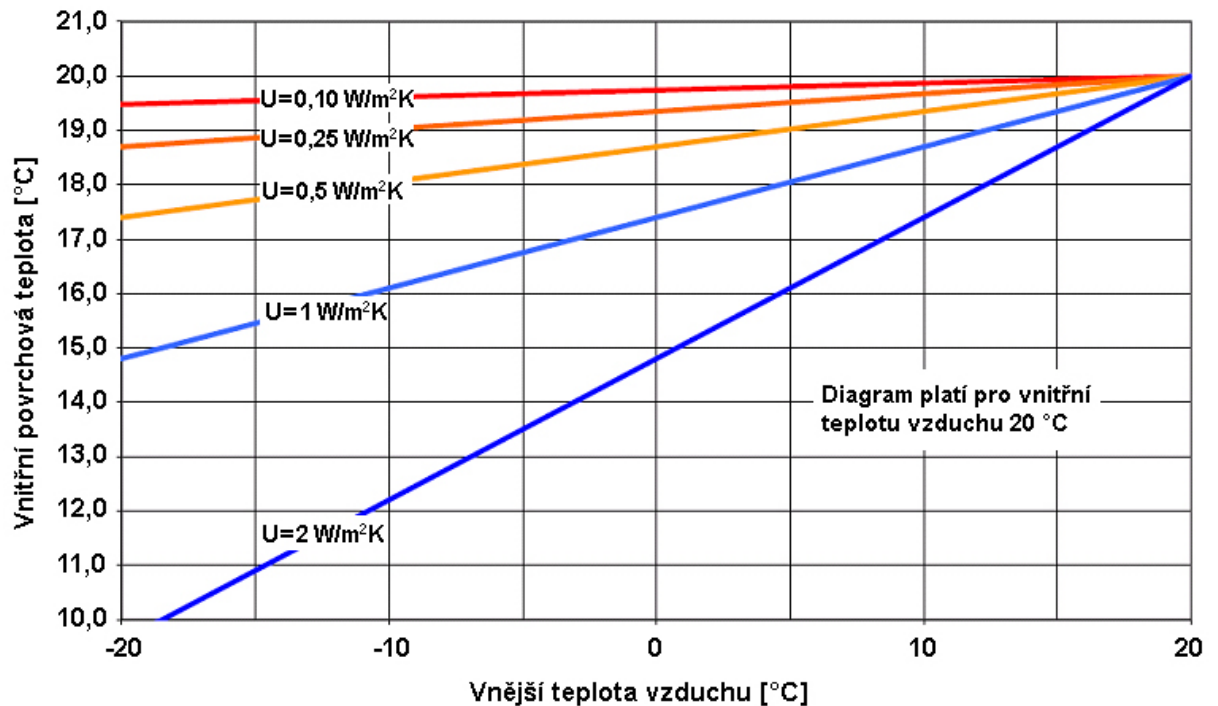
2.3.1. Tepelný komfort

Dosažení tepelného komfortu ovlivňuje více faktorů:

- místnost: teplota a tvar okolních povrchů, osvětlení
- člověk: oděv, stupeň tělesné činnosti, délka pobytu
- vzduch: teplota a vlhkost vzduchu, rychlost proudění vzduchu

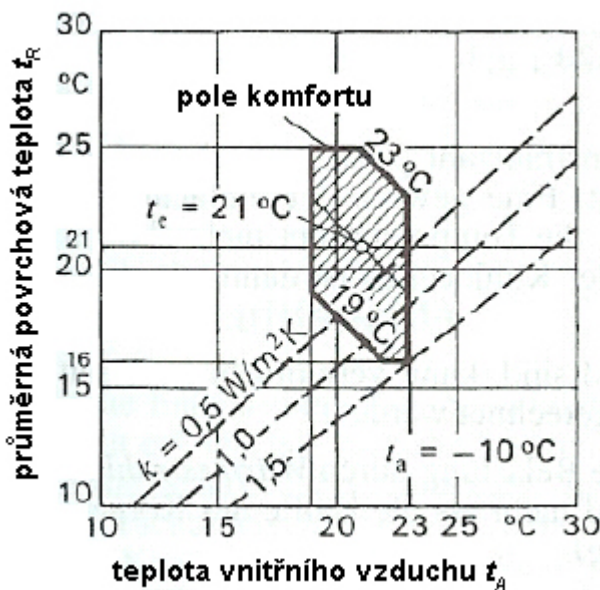
Tepelný komfort vyjadřuje spokojenost uživatele s tepelným prostředím. Nespokojenost může být způsobena celkovým diskomfortem pocitu chladu či tepla na tělo celkově (vyjadřuje se předpovědí procentuálního podílu nespokojených – PPD), nebo diskomfortem lokálním, tedy nežádoucím ochlazováním (oteplováním) části těla. Kvalitně izolovaná obálka budovy bez netěsností vede k vyrovnanějším vnitřním teplotám a obecně je lépe přijímána. Také systém nuceného větrání zabezpečuje rovnoměrnější rozvrstvení teplot, kde například u větrání okny není splněn základní hygienický předpoklad normy, a to že teplotní rozdíl je $< 3\text{ °C}$ mezi hlavou ve výši 1,1 m a kotníky ve výši 0,1 m. Jakmile bude vnější teplota nižší než 15 °C , při větrání okny dochází k ochlazení spodních vrstev vzduchu při zemi a rozdíl je zpravidla vyšší než 3 °C . U rekonstrukcích tedy nelze podceňovat komplexnost řešení a je vhodné dosáhnout co nejlepšího standardu, je-li to možné ideálně pasivního standardu, což současně zajistí i vysokou kvalitu vnitřního prostředí.

Kvůli individuálním rozdílům je však obecně nemožné specifikovat tepelné prostředí, které uspokojí každého. Vždy bude určitý podíl nespokojených (přibližně 5 %). Každý člověk vnímá tepelný komfort individuálně a na některé vlivy může být člověk citlivější. Vytvořením příznivých vnitřních podmínek však lze radikálně snížit procento nespokojených a zvýšit tím i efektivitu práce a výkonnost uživatelů.



Obr. 1 Vliv součinitele U na vnitřní povrchovou teplotu

Teplotu vnitřního prostředí uživatelé vnímají jako celek, současně teplotu vnitřního vzduchu i sálavou složku vnitřních povrchů teploty (střední radiační teplotu). Průměr těchto teplot se nazývá operativní teplota. Teplota vnitřních povrchů (stěn, oken) závisí na součiniteli prostupu tepla U, a například přidáním izolace je možné dosáhnout vyšších vnitřních povrchových teplot (viz obr. 1). Při větších rozdílech mezi radiační teplotou povrchů a teplotou vzduchu dochází k teplotní asymetrii a lokálnímu tepelnému diskomfortu. Pro pobyt v místnosti optimální teplota vzduchu leží mezi 19 – 23 °C a střední povrchová teplota v rozmezí 20 – 25 °C, jak naznačuje obrázek 2.



Operativní teplotu T_O lze vypočítat ze vzorce:

$$T_O = (T_R + T_A) / 2, \text{ kde}$$

T_R je střední radiační teplota povrchů

T_A je teplota vzduchu.

Obr. 2 Vliv povrchové teploty a teploty vzduchu na pohodlí (Recknagel 01/02)



Doporučené hodnoty operativní teploty pro školské třídy a učebny jsou dle normy ČSN EN 15251:2007 definovány v tabulce. Hodnoty jsou udávány při relativní vlhkosti vzduchu 50 %.

Tab. 3 Doporučené hodnoty operativní teploty (ČSN EN 15251:2007)

Typ budovy / prostoru	Kategorie	PPD [%]	Operativní teplota T_o [°C]	
			Minimum pro otopné období (zima) ~ 1,2 clo	Maximum pro letní období ~ 0,5 clo
Školské zařízení - třídy, učebny Sezení ~ 1,2 met*	I	< 6	21	25
	II	< 10	20	26
	III	< 15	19	27
Školky Stání / chůze ~ 1,2 met*	I	< 6	19,5	24,5
	II	< 10	17,5	25,5
	III	< 15	16,5	26

*met – produkce metabolického tepla viz tab. 5

Spokojenost s teplotním prostředím může být do značné míry ovlivněna nevyrovnaným pocitem teplot na různých částech těla, tzv. místním (lokálním) teplotním diskomfortem. Při slabě izolovaných stavebních konstrukcích, nekvalitním zasklení, netěsných konstrukcích nebo nedořešených tepelných mostech může docházet k nežádoucímu rozdílu teplot v místnosti. Tepelný diskomfort je pak způsoben vertikálním rozdílem teplot mezi hlavou a kotníky, rozdílem teplot obecně, chladnější teplotou podlahy nebo rychlostí proudění vzduchu (průvanem). Doporučené hodnoty dle normy pro tyto případy s procentuálním podílem nespokojených PD jsou uvedeny v tabulce 4. Při rekonstrukcích škol a školek, je tedy potřeba vážít rozhodnutí, která budou mít dlouhodobý dopad na kvalitu vnitřního prostředí (po dobu životnosti opatření cca 30 let), nehledě na spotřebu energie, což není při rostoucím trendu cen energií zanedbatelné. V ideálním případě by mělo jít o komplexní modernizaci na pasivní příp. nízkoeenergetický standard.

Tab. 4 a,b,c Určující hodnoty pro posouzení lokálního tepelného diskomfortu (ČSN EN 15251:2007)

Kategorie	PD [%]	Vertikální rozdíl teploty vzduchu mezi hlavou (1,1 m) a kotníky (0,1 m) [°C]
A	< 3	< 2
B	< 5	< 3
C	< 10	< 4

Kategorie	PD [%]	Rozsah povrchové teploty podlahy [°C]
A	< 10	19 – 29
B	< 10	19 – 29
C	< 15	17 – 31



Kategorie	PD [%]	Asymetrie radiační teploty [°C]			
		Teplý strop	Chladná stěna	Chladný strop	Teplá stěna
A	< 5	< 5	< 10	< 14	< 23
B	< 5	< 5	< 10	< 14	< 23
C	< 10	< 7	< 13	< 18	< 35

2.3.2. Produkce metabolického tepla – člověk jako vnitřní zdroj tepla

Každá osoba produkuje metabolickými procesy teplo, které při dimenzování otopné soustavy můžeme zahrnout do výpočtů. U běžných staveb se tato hodnota nebere do úvahy kvůli malému podílu na velkých tepelných ztrátách objektu. V případě komplexních rekonstrukcí na nízkoenergetický či pasivní standard již tyto vnitřní zisky tvoří nezanedbatelnou část. Produkce metabolického tepla osob závisí zejména od stupně tělesné aktivity a plochy povrchu těla. Dle druhu činnosti norma ČSN EN ISO 7730:2006 stanovuje hodnoty produkce tepla na m² tělesné plochy (viz tab. 5)

Tab. 5 Produkce metabolického tepla v závislosti od činnosti dle ČSN EN ISO 7730:2006

Činnost	Metabolizmus [met]	Metabolizmus * [W/m ²]
Ležení	0,8	46
Sezení, uvolněné	1,0	58
Činnost v sedě (kancelář, škola, laboratoř)	1,2	70
Stání, uvolněné	1,2	70
Lehká činnost ve stoje (nakupování, laboratoř)	1,2	93
Středně namáhavá činnost ve stoje (např. prodavač, domácí práce, strojírenský závod)	1,6	116

* 1 met = 58 W/m²

Tab. 6 Produkce metabolického tepla v závislosti od činnosti (Zapfel et. al 2006)

Činnost	Metabolizmus [W/m ²]
Činnost v sedě (čtení)	55
Činnost v sedě (psaní)	60
Činnost v sedě (psaní na stroji, mluvení)	65
Činnost ve stoje (mluvení)	70
Chůze	100

Průměrné dospělé osobě mužského pohlaví byla stanovena tělesná plocha na 1,8 m². Pro určení tělesné plochy žáků / studentů nám může posloužit následující tab. 7 rakouského výzkumného ústavu pro stravování mladistvých.



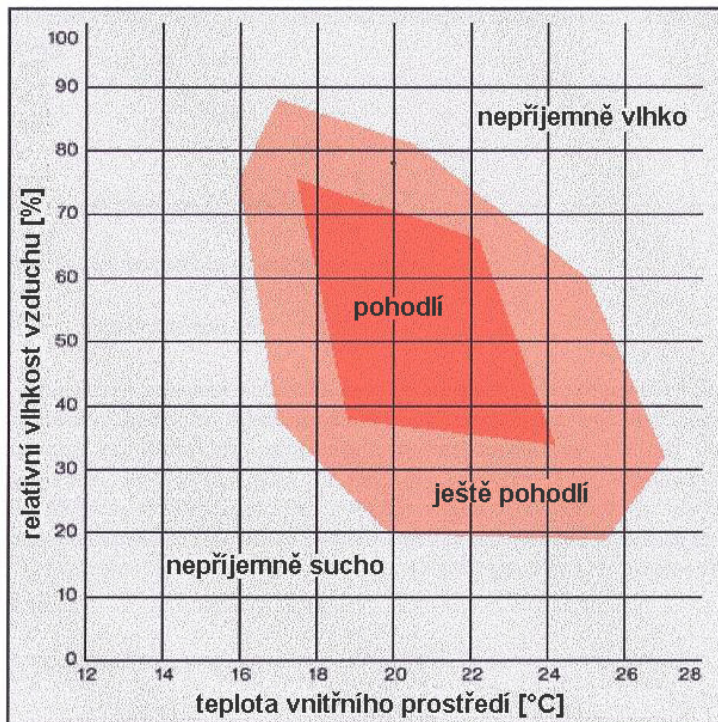
Tab. 7 Tělesná výška a hmotnost u mladistvých (Výzkumný ústav pro stravování mladistvých, Rakousko)

Tělesná výška / Tělesná hmotnost							
Věk	Tělesná výška			Tělesná hmotnost			Tělesná plocha
	Dívky	Chlapci	Průměr	Dívky	Chlapci	Průměr	Průměr
	[cm]	[cm]	[cm]	[kg]	[kg]	[kg]	[m ²]
3	96	97	96,5	14,5	14,9	14,7	0,62
4	103	104	103,5	16,6	16,8	16,7	0,69
5	111	111	111	19	19,1	19,05	0,76
6	117	117	117	21	21,2	21,1	0,83
7	122	124	123	23,3	24	23,65	0,90
8	129	130	129,5	26,8	26,9	26,85	0,99
9	135	135	135	29,8	29,6	29,7	1,06
10	142	141	141,5	34,5	33,5	34	1,16
11	148	147	147,5	38,8	37,1	37,95	1,26
12	154	156	155	43,7	45,1	44,4	1,39
13	158	161	159,5	46,3	50,5	48,4	1,47
14	165	174	169,5	54,3	59,3	56,8	1,65

Z hodnot uvedených v tabulkách lze zjistit hodnoty vnitřních metabolických zisků pro potřebnou skupinu uživatelů a pro návrh či regulaci otopné soustavy.

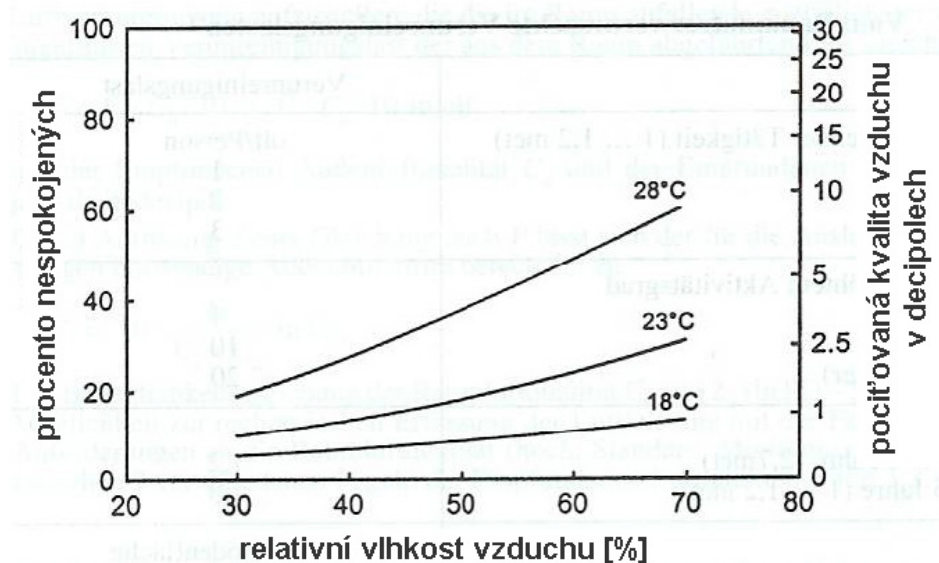
2.3.3. Relativní vlhkost vzduchu

Spokojenost s relativní vlhkostí souvisí do značné míry s teplotou vnitřního prostředí. Při měnící se teplotě a vlhkosti se mění i schopnost respirace vzduchu. Obecně uživatelé lépe přijímají menší vlhkost vzduchu zejména v letním období, jak je patrné z obr. 3.



Obr. 3 Diagram s vyznačeným polem pohodlí v závislosti od teploty a vlhkosti. (Heinz Gabernig, Energie- und Klimatechnik, Ausgabe 1995)

Nuceným větráním, které neřeší úpravy vzduchu z hlediska vlhkosti, může docházet k snižování relativní vlhkosti vzduchu až pod doporučené hodnoty. Je to dané samotnou podstatou věci, kde při hygienicky potřebné výměně vzduchu musí zákonitě docházet k snížení relativní vlhkosti (kvůli nižšímu obsahu vlhkosti ve vzduchu při nižších teplotách vzduchu. V přirozeně větraných učebnách je relativní vlhkost vzduchu podle měření ve školách v průměru na přijatelných hodnotách (v některých případech nízká díky velmi netěsné obálce budovy) Přijatelné hodnoty jsou však dosahovány na úkor nedostatečné výměny vzduchu v místnostech.



Obr. 4 Vliv vlhkosti a teploty na spokojenost uživatelů (Rechnagel et al. 2007/2008)



Doporučení pro zajištění dostatečné vlhkosti vzduchu:

- vzduchotěsná obálka budovy
- dimenzování větracího objemu podle skutečné potřeby (např. počet žáků, měření kvality vzduchu)

Možnosti zvýšení nízké relativní vlhkosti vzduchu

- použitím větracích jednotek se zpětným ziskem vlhkosti
- použitím aktivních zvlhčovačů vzduchu
- umístěním pokojových rostlin do tříd

2.3.4. *Kvalita vnitřního vzduchu*

Kvalita vzduchu zahrnuje netermické kvality vzduchu, které mají vliv na zdraví a pohodlí člověka. Obecně má uživatel dva požadavky na vnitřní vzduch: prvním je, aby vzduch byl čerstvý a příjemný, ne zatuchlý a zapáchající, a druhým je, aby vzduch neobsahoval látky ohrožující jeho zdraví. Kvalita vzduchu ve školách je ovlivněna látkami / škodlivinami produkovanými jednak stavebními prvky a materiály, ale hlavně samotnými uživateli. Významnou roli hraje především produkce CO₂ a vodních par dýcháním či odpařováním z pokožky. Tělesným vypařováním povrchem kůže se totiž uvolňují těkavé organické látky (VOC), které jsou současně nositelem odérů. Dvě třetiny těchto látek tvoří dle Wang (1975) aceton, kyselina máselná, etanol a metanol. Zbytek tvoří acetaldehyd, allyalkohol, kyselina octová, amylalkohol, dimetylketon a fenol. Jelikož u osob společně s produkcí CO₂ dochází přímo úměrně k vypařování škodlivých látek a kvůli jednoduché měřitelnosti koncentrace CO₂ se etablovala klasifikace kvality vnitřního vzduchu pomocí obsahu CO₂. Tato metoda je použitelná jen u místností, kde není dovoleno kouřit a kde je hlavním zdrojem emisí škodlivin lidský metabolismus, stavební konstrukce a materiály a vybavení místností (ČSN EN 13779:2008).

Nejdůležitějšími zátěžovými faktory vnitřního vzduchu jsou:

- CO₂ jako indikátor škodlivin vnitřním vzduchu
- těkavé organické látky (VOC) a s nimi spojené odéry
- prašnost

CO₂ jako parametr kvality vnitřního ovzduší

Podstatným důvodem volby CO₂ jako určujícího parametru kvality vnitřního ovzduší, je jednoduchost měření jeho koncentrace, jako indikátoru nedostatečné hygieny prostředí. Tento parametr se současně využívá také v regulační technice, např. při dimenzování či regulaci větracích jednotek nebo jako upozornění k vyvětrání přirozeně větraných hustěji obsazených místností jako jsou učebny či zasedací místnosti. Vzduchotechnické systémy využívají často CO₂ jako indikátor znečištění vzduchu, podle kterého je řízeno potřebné množství čerstvého vzduchu v místnostech. Využívání parametru CO₂ doporučuje také ČSN EN 13779:2008 jako parametru kvality vnitřního vzduchu pro místnosti s exhalací prostřednictvím osob.

Ve vnitřních prostorách koncentrace CO₂ závisí od velikosti a obsazenosti místnosti a větrání. Zdrojem tohoto plynu je především člověk, jeho metabolismus, dýchací a termoregulační pochody. Také spalování pevných paliv je zdrojem oxidu uhličitého a vodní páry. Koncentrace CO₂ se udává v jednotkách ppm (parts per milion) neboli objemový obsah v 0,001 ‰. Hodnota 1.000 ppm se rovná 0,1% (neboli obsahu 1 litru CO₂ v m³ vzduchu). Typická hodnota oxidu uhličitého v ovzduší na venkově je 350 ppm, 400 ppm ve městě a 450 ppm v centru města. Při nedostatečném větrání u vysoce obsazených a těs-

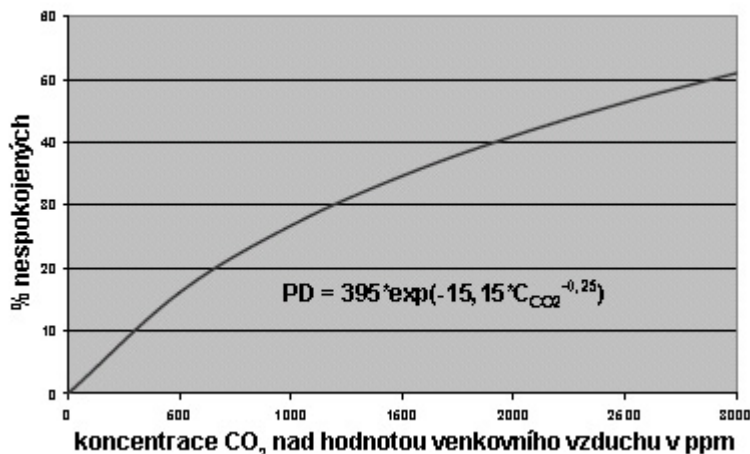


ných vnitřních prostor může vystoupat koncentrace CO₂ na hodnoty vyšší než 10.000 ppm. Doporučené hodnoty pro vnitřní prostředí jsou podle různých zdrojů v rozmezí 1.000 – 1.500 ppm (viz tab 8.).

Tab. 8 Množství produkovaného oxidu uhličitého v závislosti od činnosti

Zdroj	Hodnota CO ₂ [l/h ⁻¹]	Poznámka
Recknagel, Sprenger, Schrammek (1999)	20	lehká aktivita převážně vsedě
VDI 4300 Bl. 9:2003	15 – 20	činnost vsedě
	20 – 40	lehká práce
	40 – 70	středně těžká práce
	70 – 110	těžká práce
ASHRAE (1989)	18	kancelářská práce

Spokojenost s kvalitou vnitřního ovzduší klesá se zvyšující se koncentrací oxidu uhličitého v místnostech (viz obr. 5).



Obr. 5 Předpokládané procento nespokojených při zvyšující se koncentraci CO₂ nad hodnoty obsažené ve venkovním vzduchu (ECA 1992).

Takzvané Pettenkoferove kritérium (Pettenkofer 1858) stanovuje optimální hodnotu koncentrace CO₂ ve vnitřních prostorech a pobytových místnostech na 1.000 ppm (0,1 %). Při této koncentraci je předpokládané procento nespokojených s kvalitou vzduchu v místnosti asi 15 – 20 %. Další hodnoty, které uvádějí různé normy a standardy jsou v tabulce č. 9. Tyto hodnoty jsou využívány jako cílové hodnoty, kterých je vhodné dosáhnout pro udržení dobré kvality vzduchu a které se používají i při dimenzování větrání a potřebných objemů vzduchu.

Tab. 9 Doporučené hodnoty obsahu CO₂ ve vnitřním vzduchu dle různých norem a standardů.

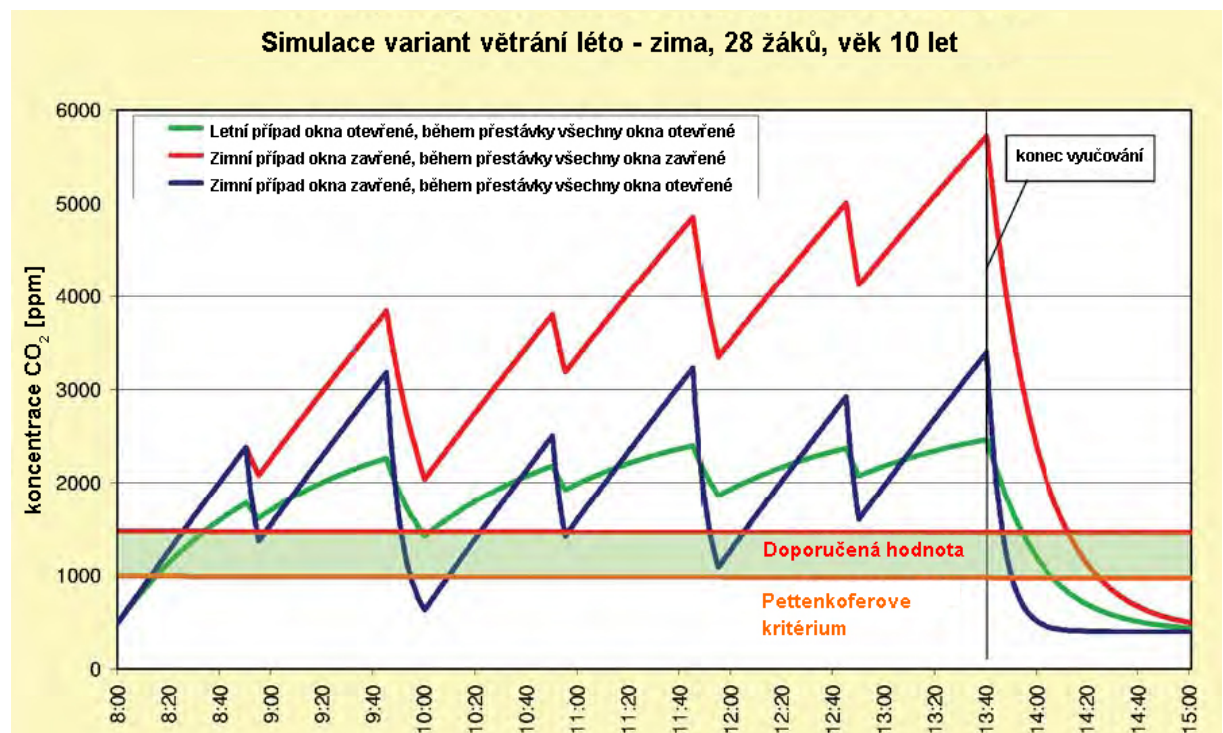
Norma / Směrnice	Hodnota [ppm]	
ČSN EN 13779 Pozor: koncentrace CO ₂ nad hodnotu vnějšího vzduchu (VeV)	IDA I Vysoká kvalita vnitřního vzduchu	< 350 ppm nad VeV*
	IDA II Střední kvalita vnitřního vzduchu	< 500 ppm nad VeV*
	IDA III Středně nízká kvalita vnitř. vzduchu	< 800 ppm nad VeV*
	IDA IV Nízká kvalita vnitřního vzduchu	< 1.200 ppm n. VeV*



Pettenkofer	< 1.000 (absolutní hodnota)
DIN 1946-2:1994	< 1.000 (absolutní hodnota)
ASHRAE	< 1.000 (absolutní hodnota)
BMLFUW 2006 pro nuceně větrané míst- nost	Cílová hodnota < 800 (absolutní hodnota) Doporučená střední hodnota < 1.000 (absolutní hodnota) Doporučená max. hodnota < 1.400 (absolutní hodnota)

*VeV koncentrace CO₂ vnějšího vzduchu – venkov: 350 ppm, město: 400 ppm, střed města 450 ppm

Pro výpočet průběhu hodnot oxidu uhličitého v místnostech a pro dimenzování potřebného objemového průtoku vzduchu se používají různé počítačové simulace. Na obr. 6 je simulace variant přirozeného větrání, kde v některých případech špičkové hodnoty koncentrace CO₂ víc než dvojnásobně překračují doporučené hodnoty a jen chvilkově dosahují doporučených hodnot. Jak mimo jiné dokazují i skutečná měření v místnostech, přirozeným větráním nelze trvale zabezpečit požadované hodnoty kvality vnitřního prostředí.



Obr. 6 Simulace přirozeného větrání učebny pro různé varianty větrání a jeho dopadu na koncentraci oxidu uhličitého. Výsledky simulace ukazují, že i v ideálních případech větrání pře přestávky nedochází k dostatečnému provětrání prostoru. (Měření kvality vzduchu v školách v Horním Rakousku, Amt der OÖ. LR., Abt. Umwelt- und Anlagentechnik)

Potřebné množství čerstvého vzduchu

Hygienicky potřebné množství čerstvého vzduchu na osobu se mění dle stupně aktivity a také podle množství emisí produkovaných budovou a zařízením. Pro vnitřní prostory jsou dle normy **ČSN EN 13779** udávány následovní hodnoty potřeby větraného vzduchu pro 1 osobu:



Tab. 10 Doporučené hodnoty potřeby čerstvého vzduchu na osobu dle ČSN EN 13779

Kategorie	Doporučená hodnota [m ³ /h]	Standardní hodnota [m ³ /h]
IDA 1	> 54	72
IDA 2	36 – 54	45
IDA 3	22 – 36	29
IDA 4	< 6	18

Množství větraného vzduchu je uváděno pro běžnou dospělou osobu a nezohledňuje se zde potřeba pro žáky ve škole nebo ve školce.

- Dle normy **ČSN EN 15251:2007** se zohledňují i emise produkované stavbou samotnou. Potřebné množství vzduchu na žáka ve školských zařízeních pak vychází na 30 m³/h a pro děti ve školkách na 35 m³/h.
- Standard **ASHRAE 62** (1987) stanovuje doporučenou hodnotu čerstvého vzduchu na 35 m³/h na osobu.
- V normě **ÖNORM H 6039:2008** se pro IDA 3, neboli koncentraci CO₂ 800 ppm nad venkovním vzduchem, uvádí potřebné množství čerstvého vzduchu pro věk:

6 – 10 let	15 m ³ /h
10 – 14 let	19 m ³ /h
14 – 19 let	24 m ³ /h
> 19 let	27 m ³ /h
učitel	32 m ³ /h

Potřebné přesné hodnoty výměny vzduchu lze stanovit výpočtově, nebo pomocí simulačních programů.

2.3.5. Hlučnost / akustika

Hlučnost prostředí výrazně ovlivňuje spokojenost uživatelů s vnitřním prostředím. Zejména v učebním procesu, kde jsou značné nároky na koncentraci, může hluk působit rušivě a zhoršit vnímavost žáků. Použitím nuceného větrání lze z velké části eliminovat hluk pronikající do místnosti při větrání okny. To má význam zejména v případech, kdy se škola nachází v blízkosti rušné komunikace nebo ve městě. Na druhé straně samotná jednotka svým provozem zvyšuje hlučnost v místnosti. Proto je důležité, aby v případě větracích jednotek umístěných přímo v místnosti bylo použito kvalitního odhlučnění.

Při evaluaci spokojenosti se větráním ve škole jen 13 % žáků uvedlo, že na ně působí vzduchotechnika rušivě, z toho asi 40 % uvedlo jako důvod hlučnost, což je 5% z celkového počtu žáků. Při dodržení zásad plánování, instalace a zaregulování systému lze očekávat minimální nárůst nespokojených kvůli zvýšené hlučnosti.

Norma **ČSN EN 13779:2008** uvádí maximální hlučnost ve školách a školkách 35 – 45 dB. Další zahraniční normy uvádějí hodnotu 35 dB jako hraniční a cílovou hodnotu 30 dB, kterou lze v optimálním případě dosáhnout.



2.3.6. Současný stav vnitřního mikroklimatu v školách a vzdělávacích zařízeních

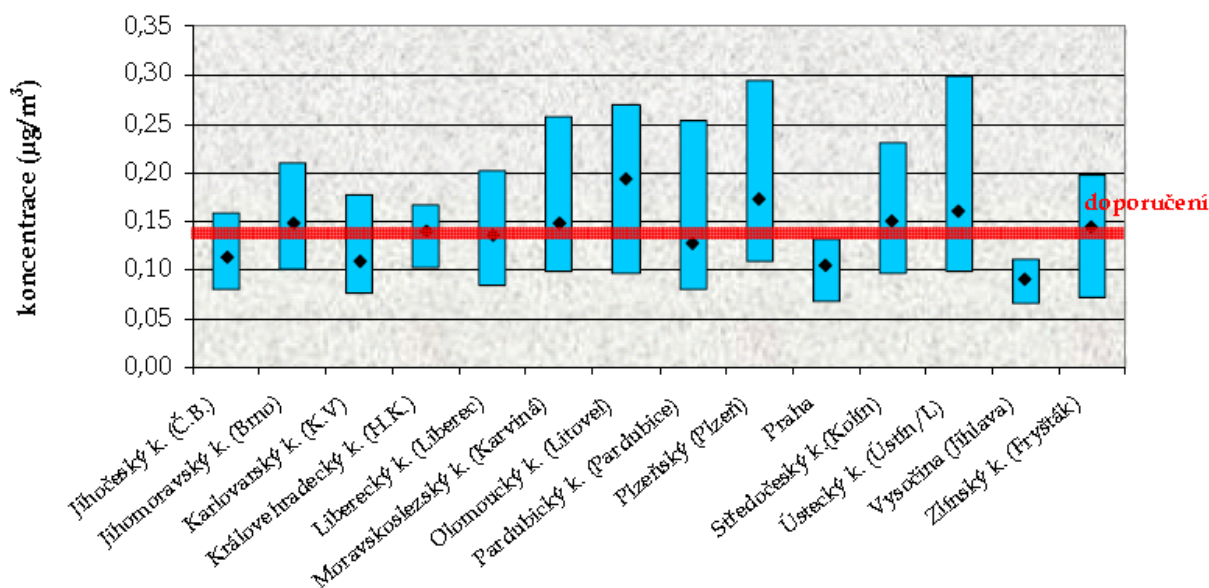
Monitorováním vnitřního mikroklimatu v školách a na pracovištích se zabývá několik domácích a množství zahraničních studií, některé současně pojednávají o efektu shoršené kvality vnitřního prostředí na zdraví a výkonnost studentů.

Přirozeně větrané školy v ČR

Jednou z posledních studií v ČR je *Závěrečná zpráva z měření kvality vnitřního prostředí a mikroklimatických parametrů ve školách (2008)* zpracovaná Státním zdravotnickým ústavem v Praze. Měření probíhalo ve 14 vybraných školách (z každého kraje ČR 1 škola), v každé škole v deseti učebnách. Dohromady bylo prověřeno 141 učeben na dodržování hodnot mikroklimatických parametrů, a to především teploty, pro kterou předpis uvádí pro chladné období roku požadované rozmezí 22 ± 2 °C, relativní vlhkosti, s požadovanou hodnotou pro chladné období minimálně 30 % a výměny vzduchu indikovatelnou hodnotami proudění vzduchu a hmotnostními koncentracemi CO₂ a expozici aerosolovým částicím. Měření potvrdilo, že vytipované parametry představují ve vnitřním prostředí problém a to ať už se jedná o aerosolové částice nebo mikroklimatické faktory včetně požadavků na výměnu vzduchu indikovanou měřenými hmotnostními koncentracemi oxidu uhličitého.

Výsledky jsou následovné:

- doporučené hodnoty vlhkosti (30 – 65 %) nebyli dodrženy ve 22 % učeben, přičemž nejnižší hodnota byla 17,4 %
- doporučené rozmezí teploty (20 – 24 °C) nebylo dodrženo ve 36 % učeben, ve všech případech se jednalo o teplotu vyšší než je doporučená hodnota, nejvyšší naměřená teplota v učebně byla 30,0 °C
- nejvyšší doporučená hodnota koncentrace oxidu uhličitého (0,12 – 0,15 % objemu) byla překročena ve 48 učebnách (34,3 %), ve kterých tak jednoznačně nebyly splněny požadavky na výměnu vzduchu, maximální naměřená hodnota byla 0,298 %
- limit (150 µg/m³/hod) stanovený Vyhláškou MZ ČR č. 6/2003 Sb. pro aerosolové částice frakce PM₁₀ byl překročen ve 65 učebnách (46,1 %), zjištěný aritmetický průměr byl 155 µg/m³ a maximální naměřená hmotnostní koncentrace byla 558 µg/m³.



Obr. 7 Rozpětí hodnot koncentrací oxidu uhličitého v měřených školách (SZÚ, Praha)



Přirozeně větrané školy v zahraničí a kvalita vnitřního prostředí

Více než deset zahraničních studií a měření kvality vnitřního prostředí škol a školských zařízení z Německa a Rakouska v letech 1998 - 2007 prokázalo podobných neuspokojivých výsledků u přirozeně větraných budov jako v ČR. Při měření ve více než 100 školách a přes 300 učebnách, byly značně překračovány doporučené hodnoty škodlivin v ovzduší, zejména obsah CO₂ (max. přes 5000 ppm) či suspendovaných prachových částic nebo i koncentrace těkavých organických látek. I parametry jako teplota či vlhkost vzduchu se ukázali být problematické zejména během topného sezony. Všechny studie vedly k podobným závěrům – přirozeným větráním okny (i u poučených uživatelů) nelze zabezpečit kvalitní a hygienické vnitřní prostředí, zejména u rekonstruovaných budov s těsnou obálkou.

Dopady zvýšené koncentrace CO₂ na výkonnost studentů

Dopady zhoršeného kvality vzduchu na efektivitu práce a výkonnost se zabývá více zahraničních studií. V jedné z nich během dvou nezávislých intervenčních experimentů uskutečněných na konci léta a v zimě ve čtyřech identických třídách na základní škole v Dánsku, byl zvýšen průtok přiváděného vzduchu z přibližně 5 na 9,5 l/s na osobu v létě a z cca 4 na 8,5 l/s na osobu v zimě. Intervence probíhaly v náhodném pořadí vyvážené za účelem prezentace výsledků (Wargocki a kol., 2005). Každý experiment byl proveden ve dvou paralelních třídách zároveň a každé podmínky trvaly jeden týden. Množství přiváděného vzduchu bylo zvyšováno stávajícím klimatizačním systémem. Za určených podmínek, během příslušných vyučujících hodin, žáci vykonávali úlohy představující až osm různých typů školní práce od čtení až po matematiku; 49 desetiletých žáků v létě a 44 dvanáctiletých žáků v zimě. Úlohy zadávané učiteli byly vybrány tak, aby mohly být přirozenou součástí běžného školního dne. Jak učitelé tak i žáci nebyli obeznámeni s prováděnými intervencemi. Aby bylo během experimentů zachováno tak běžné každodenní rutinní školní prostředí jak je to jen možné, žáci i učitelé mohli jako jindy otevírat okna a do školních osnov a aktivit nebyly provedeny žádné změny.

Výsledky ukázaly, že zvýšené množství přiváděného venkovního vzduchu významně zlepšilo výkonnost (množství vykonané práce) při řešení jednotlivých úloh od 3 do 35 % a to jak v létě tak i v zimě (chybovost zůstala stejná). Pro žádnou z úloh nebylo snížení výkonnosti spojené se zvýšeným množstvím přiváděného vzduchu statisticky významné. Užitím výkonnosti jednotlivých úloh ovlivněných zvýšeným množstvím přiváděného vzduchu, byla vypočítána průměrná schopnost žáků řešit školní úlohy a byla odvozena regresní rovnice v závislosti na množství přiváděného venkovního vzduchu změřeného ve třídách. Regrese indikuje, že zdvojnásobení množství přiváděného venkovního vzduchu by zlepšilo průměrnou schopnost žáků řešit školní úlohy o 15 %. Z obrázku je patrná extrémně dobrá kvantitativní shoda mezi výsledky dvou nezávislých experimentů, které byly provedeny v různém ročním období, v rozdílných třídách a s dvěma věkově odlišnými skupinami dětí.

Tato studie ukazuje, že zlepšením větrání ve třídách, lze značně zlepšit schopnost žáků řešit školní úlohy. Přestože největší studovaný průtok vzduchu nebyl nijak vysoký – ve skutečnosti jen téměř dosahuje 10 l/s na osobu, tyto výsledky svědčí o tom, že pouhé zlepšení požadavků na větrání ve školách na minimum požadované pro kanceláře by poskytlo velmi dobrou návratnost investic z hlediska budoucích úspěchů kterékoli společnosti, která závisí na dětmí dosažené úrovni vzdělání. Stojí za zapamatování, že schopnost žáků řešit školní úlohy ovlivňuje získané vědomosti a to může mít celoživotní důsledky jak na žáky tak i na společnost.

I další studie zaměřeny na měření reakčních časů, schopnost řešit úlohy, vnímavost, schopnost koncentrace či změny chování v závislosti od koncentrace CO₂ se shodují, že větší výměnou vzduchu lze dosáhnout větší spokojenosti studentů a zvýšit tak výkonnost a efektivitu učebního procesu až o 5 % a víc.

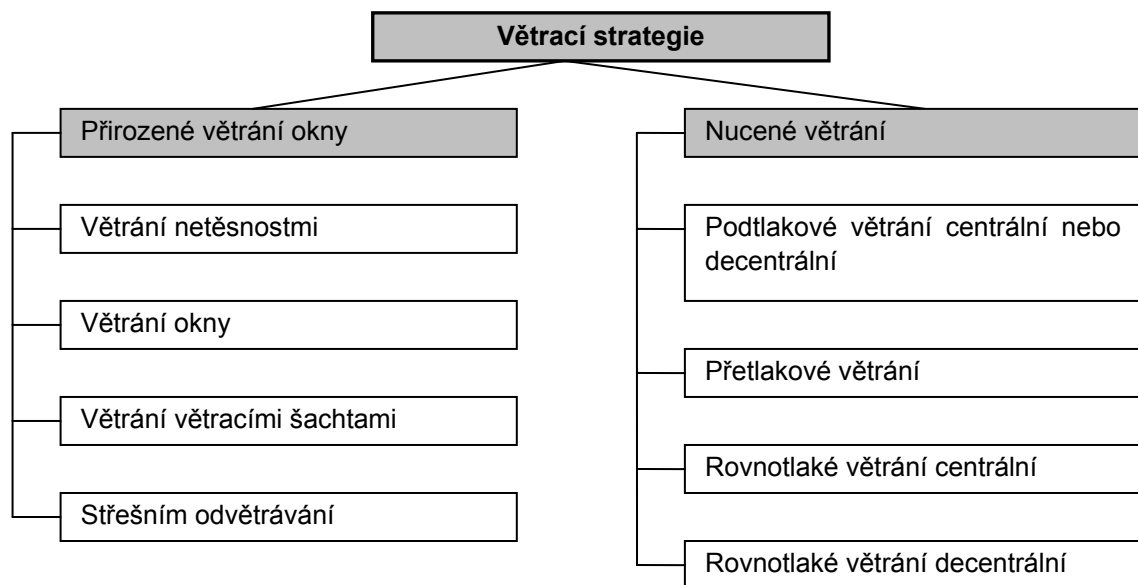


2.4. Situace na stavebním trhu – systémy větrání

2.4.1. Jaké jsou možnosti větrání škol?

Systémy větrání jsou různé, dle typu školního zařízení, dispozice a prostorových podmínek. Všechny koncepce větrání mají své určité výhody a nevýhody (viz následující část). V každém případě by tyto strategie v případě správného návrhu a realizace měly zabezpečit potřebnou výměnu vzduchu a hygienu vnitřního prostředí, což je pro školní zařízení zásadní. Při rekonstrukcích dochází k výraznému snížení výměny vzduchu netěsnostmi, proto je kontinuální výměna vzduchu důležitá pro dodržení kvality a zdravotní nezávadnosti vnitřního vzduchu. Zvýšení těsnosti obálky je zásadní nejen pro omezení tepelných ztrát, ale i kvůli zabránění vzniku škod na konstrukcích. Pro využití systému nuceného větrání se zpětným ziskem tepla (ZZT) je ovšem přímo zásadní dodržet těsnost obálky, aby nedocházelo ke snížení účinnosti celého systému, nežádoucímu neřízenému provětrávání netěsnostmi. Cílem je, aby veškerá výměna vzduchu byla realizována přes výměník tepla a úspory energie byly co nejvyšší. Proto se doporučuje otestovat budovu testem neprůvzdušnosti (tzv. Blower-door testem), který zkontroluje těsnost obálky.

Větrání lze obecně rozdělit na přirozené, realizované nejčastěji okny, či nucené pomocí mechanických větracích systémů.



Obr. 8 Možnosti větrání vnitřních prostor (Recknagel et al. 2007/2008)

Přirozené větrání

Přirozené výměny vzduchu lze docílit na základě tlakových nebo teplotních rozdílů mezi vnitřními a vnějšími prostory. Jak je popsáno v předchozích kapitolách přirozeným větráním okny či netěsnostmi nelze dosáhnout trvale požadované kvality vzduchu a spokojenosti uživatelů. V některých případech lze použít přirozené větrání jako doplňkové větrání k větrání nucenému, např. při menší výměně vzduchu 15 – 18 m³/h na osobu.



Nucené větrání

Pro dobrou kvalitu vnitřního vzduchu v učebnách a současné snížení tepelných ztrát větráním jsou potřebné správně navrhnuté větrací jednotky s vysokým stupněm účinnosti zpětného zisku tepla (ZZT) a nízkou spotřebou elektřiny na pohon ventilátorů a správným zaregulováním. V další části jsou popsány rovnotlaké jednotky se zpětným ziskem tepla odpadního vzduchu (rekuperací), které řízeně přivádějí čerstvý vzduch a odvádějí odpadní vzduch. Větrací jednotky bez rekuperace, nebo větrací systémy které pouze přivádějí čerstvý vzduch či pouze odvádějí odpadní vzduch jsou z hlediska energetického, hygienického či hlediska komfortu nevyhovující a jejich použití se nedoporučuje.

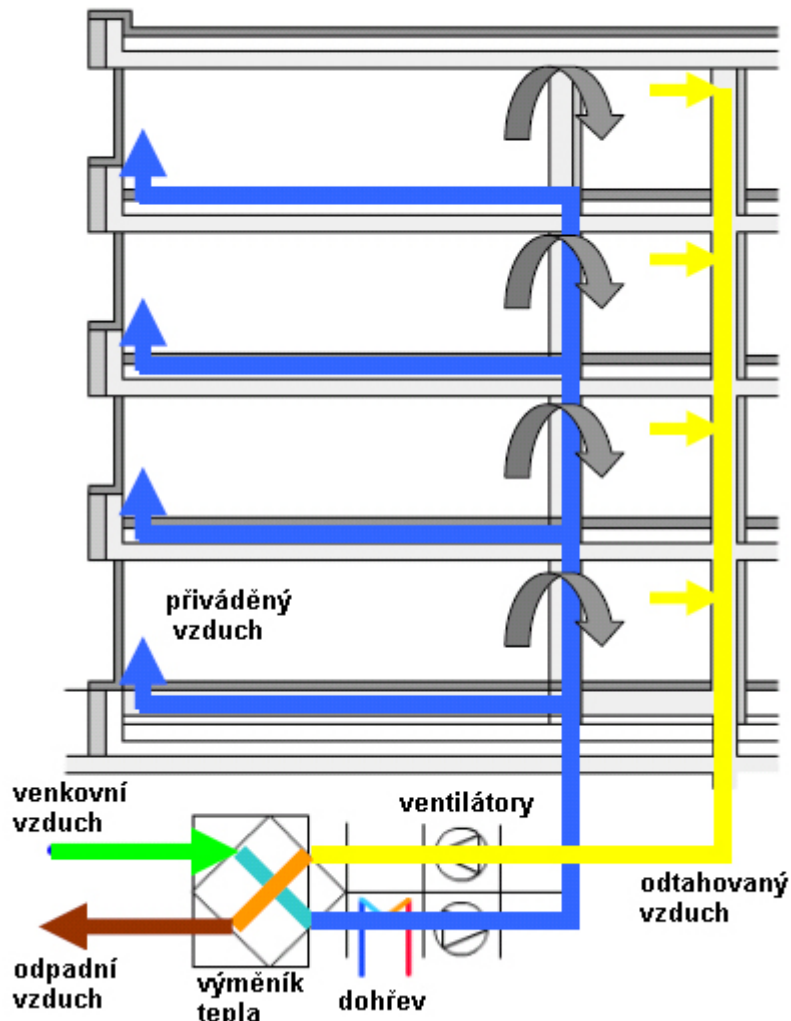
Pro nucené větrání s rekuperací tepla se používají tři základní možné koncepce větrání:

- centrální koncepce – pro celý objekt nebo úsek budovy
- semicentrální koncepce – pro celý objekt nebo úsek budovy
- decentrální koncepce – samostatně pro jednotlivé místnosti (učebny)

Volba koncepce větrání závisí od více parametrů. V následující části jsou popsány možnosti použití, výhody a nevýhody systémů, což může usnadnit výběr a plánování systému větrání. Různé koncepce se u novostaveb používají přibližně ve stejné míře, při rekonstrukcích se kvůli jednoduchosti instalace volí častěji decentrální řešení samostatnými jednotkami pro každou učebnu.

Centrální koncepce větrání

Princip: pomocí vhodně umístěného venkovního nasávání vzduchu je přiváděn čerstvý vzduch do technické místnosti, kde se v centrální větrací jednotce, dohřeje (zvlhčí, ochladí v případě klimatizace, která pokrývá také větrací funkce) na požadované hodnoty. Takto upravený vzduch je pomocí rozvodů v budově přiváděn do větraných tříd. Znečištěný vzduch je z místností odváděn přímo nebo přes větrací otvory ve dveřích či ve stěně. Odtud je do centrální jednotky přiváděn přímo nebo přes další prostory (např. atria či sanitární místnosti). Ve výměníku tepla, popřípadě i vlhkosti, dochází k odevzdání energie – tepla (příp. vlhkosti) přiváděnému vzduchu. Při přímém odvodu odpadního vzduchu ze tříd, bez přechodu chodbami, atrií či sanitárními místnostmi se zvyšují náklady na delší vedení, větší objemy vzduchu a případně i další jednotku na provětrání těchto prostor, přinejmenším sanitárních prostor.



Obr. 9 Schematický náčrt funkce centrálního systému větrání (www.energiesparschule.de, Haus der Zukunft)

Zhodnocení centrálního systému

transport vzduchu / rozvody vzduchu

- + dobře umístitelné nasávání vzduchu
- + není nutné upevnění do fasády, v závěrečné fázi jsou nevyhnutné vyústky a odtahové ventily
- + bezproblémová ochrana před povětrnostními vlivy (nasávací potrubí)
- + zvuková izolace je jednoduše realizovatelná
- + jednoduché napojení na vzduchový nebo kapalinový zemní výměník tepla, úspory energie v zimě, snížení teploty v létě
- + chodba a navazující plochy jsou automaticky větrány současně, pokud je vzduch z tříd odtahován přes ně
- vysoké stavební náklady (potřeba dodatečného prostoru pro centrální jednotku a rozvody)
- rozvětvené rozvody vzduchu, tlakové rozdíly v rozvodech, nákladní plánování a zaregulování



- vyšší potřeba plochy na systém rozvodů, především při větších objemech vzduchu
- složitější rozdělení vzduchu při rekonstrukcích
- vyšší požadavky na protipožární ochranu při přechodech vícero požárními úseky

úprava vzduchu

- + lze realizovat neelektrický dohřev přiváděného vzduchu na vnitřní teplotu vzduchu bez problémů, a tím snížit riziko pociťování chladu v místech pobytu
- + možnost filtrace přiváděného a odváděného vzduchu filtry s vyšší třídou filtrace
- + vyrovnání tepla mezi teplejšími (třídy) a chladnějšími (chodby) zónami.
- + možnost úplné klimatizace (přestože se nedoporučuje)
- + možnost použití centrálního zvlhčování vzduchu
- riziko přenosu zápachu při centrálním odtahu vzduchu

energetické kritéria

- + nízká spotřeba energie přípravy vzduchu na úroveň vnitřní teploty rekuperačním výměníkem vzduchu, centrálním předehřevem vzduchu pomocí zemního registru jako volitelného nasávání
- + malé ztráty v rozvodech při společném dohřevu
- vyšší tlakové ztráty na základě větších rozvodných zařízení, tvárnic a různých vestavěných prvků regulace (např. škrtkových klapek)
- vyšší spotřeba energie způsobená vyššími tlakovými ztrátami
- stupeň účinnosti ventilátorů je velice závislý na konkrétní konstrukci; v principu je možno použít ventilátory s vyšší účinností (v praxi se právě u centrálních jednotek málo dbá na účinnost ventilátorů)
- pokud se centrální jednotka používá též na chlazení, je chladicí efekt v třídách redukován ohříváním prostupem dlouhé sítě vedení rozvodů přivodního vzduchu

užívání a náročnost regulace

- + centrální řídicí jednotka je jednoduše ovladatelná.
- + je možné napojení na ohlašovač požárů příp. kouřový senzor
- + nízké náklady na zapojení energetického managementu
- nákladné a pracné zaregulování místností, značně omezená možnost individuální regulace v jednotlivých místnostech; možnost zaregulování zón na základě kaskádového průběhu vzduchu (přímé větrání místností, větrací mřížkou přes dveře odtah v sanitárních prostorech); individuální regulace pro jednotlivé oblasti je za zvýšených nákladů dnes již možná
- nižší akceptovatelnost systému, jelikož uživatel nemůže ovlivnit nastavení systému (např. vypnout jednotku a větrat okny)
- při rozšíření nebo změně rozvodů je potřeba znovu zaregulovat systém

provoz a údržba

- + nižší náklady na údržbu, jelikož je jen jedna centrální jednotka v technické místnosti pro celý objekt nebo oddíl (výměny filtrů, atd.)
- + lepší dostupnost k jednotce v technické místnosti



Nucené větrání s možností rekuperace odpadního tepla v objektech pro vzdělání

- + jednodušší kontrola funkčnosti jednotky (výpadek proudu)
- nákladnější a složitější čištění
- horší zabezpečení provozu, při zvláštních případech (výpadku, opravách) je postižena celá budova / funkční část
- vyšší náklady na zajištění požární ochrany – požární úseky jsou spojeny

zásobování

- + zásobování teplem nebo chladem je jednodušší prostřednictvím centrálního registru tepla / chladu
- + jednodušší odvod kondenzátu
- při vytápění nebo chlazení pomocí větrací jednotky jsou velké tlakové ztráty v dlouhé síti potrubí

hygiena

- + kvalitnější filtrace použitím větších filtrů a vícestupňové filtrace
- + menší znečištění rozvodů a jednotky,
- + možnost zvlhčení vzduchu
- + bez zkratů mezi odpadním a nasávaným vzduchem při sání
- horší čistitelnost



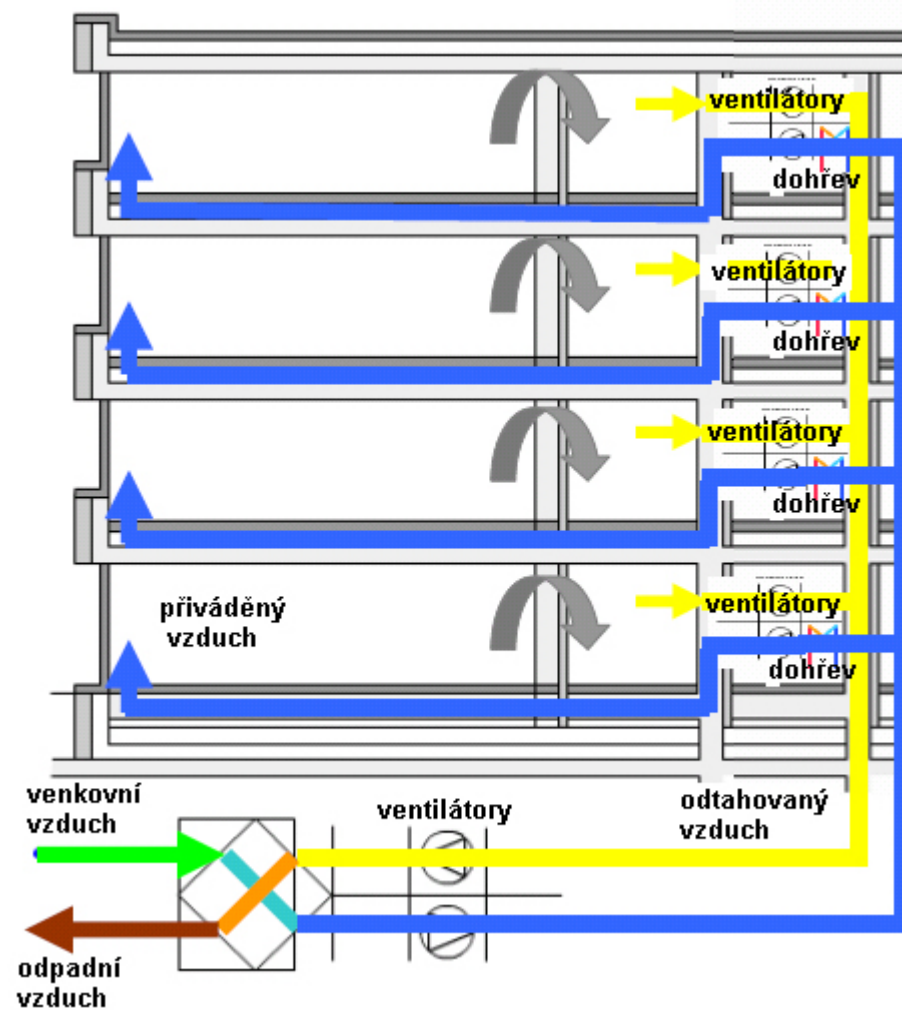
Obr. 10 Centrální větrací jednotka Střední škola Wietau (LLA St. Johann Weitau)



Semicentrální koncepce větrání

Princip: čerstvý vzduch je nasáván obdobně jako u centrálního systému do centrální větrací jednotky v technické místnosti, v které dochází k zpětnému zisku tepla příp. i vlhkosti a filtraci vzduchu, a alternativně k úpravě vzduchu – dohřev nebo chlazení (u klimatizace). Takto upravený vzduch je distribuován do jednotlivých zón (poschodí, oddíly) pomocí stupaček či hlavních větví. K vyrovnávání tlakových rozdílů v síti rozvodů slouží ventilátory, které jsou regulovány k udržování tlakového rozdílu 0 Pa. V jednotlivých zónách nebo oddílech jsou decentrální jednotky (bez rekuperačních výměníků), které obsahují ventilátory přívodního a odtahovaného vzduchu, případně prvky pro další úpravu vzduchu (dohřev, chlazení). Pomocí decentrální jednotky je odpadní vzduch odváděn zase přes hlavní větev do centrální jednotky. V centrálním výměniku ohřátý odpadní vzduch odevzdává čerstvému studenému vzduchu energii, příp. vlhkost. Doplňkové chlazení či zvlhčování vzduchu je volitelné a nemusí být součástí jednotky.

Tato koncepce využívá výhod centrálního a decentrálního řešení a snaží se eliminovat jejich nevýhody. Je zde možnost použití zemního výměníku tepla, případný dohřev může být realizován centrálně, současně při zajištění možnosti individuální regulace systému. Výhody a nevýhody systému jsou obdobné jako u centrálního systému s některými výhodami decentrálního systému – zejména individuální regulovatelnosti.



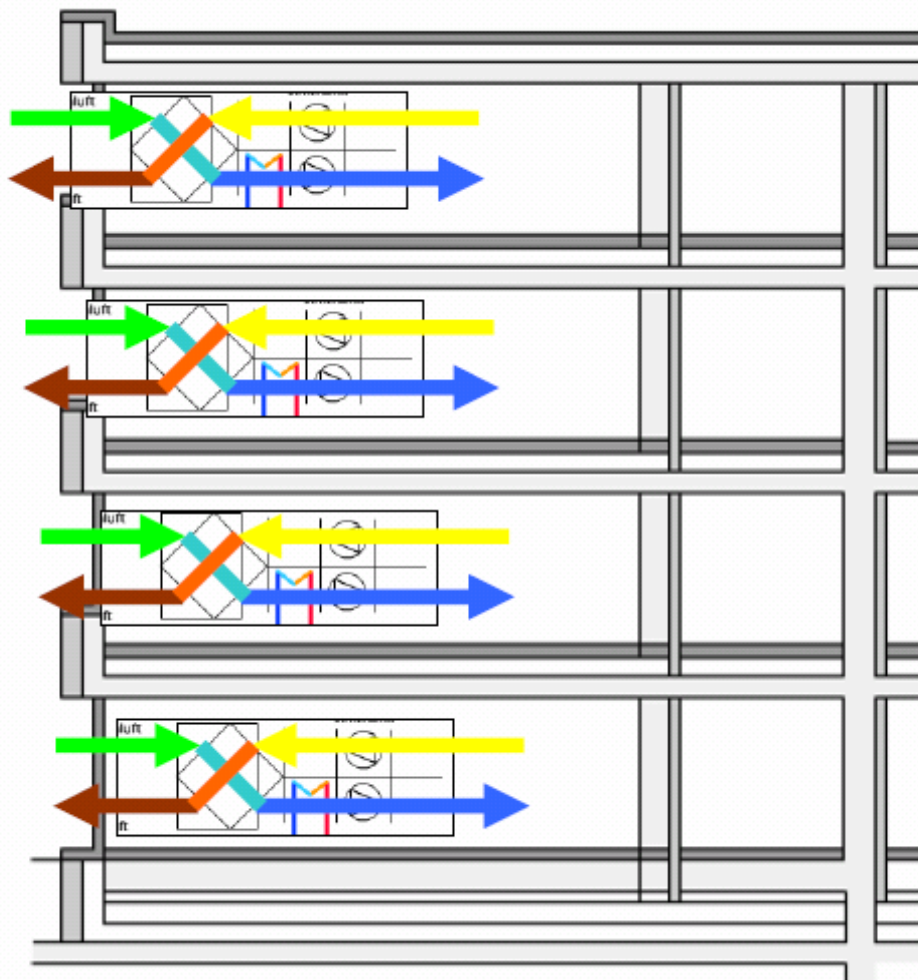
Obr. 11 Schematický nákres funkce semicentrálního systému větrání (www.energiesparschule.de, Haus der Zukunft)



Decentrální koncepce větrání

Princip: čerstvý vzduch je nasáván na vhodném místě nejčastěji z fasády do decenterální větrací jednotky, která může být uvnitř nebo vně větrané místnosti. V jednotce vzduch prochází výměníkem, kde je ohříván případně i zvlhčen od ohřátého odpadního vzduchu. Doplňkově je možné vzduch ohřát nebo ochladit, případně i zvlhčit. Takto upravený vzduch je distribuován do místnosti, kterou provětrává. Odpadní vzduch je odsáván zpět do větrací jednotky a ochlazen (příp. odvlhčen) po průchodu výměníkem ZZT vyfukován ven. Sanitární prostory jsou větrané samostatnými větracími jednotkami.

Možnost variability koncepce směřuje k semicentrálnímu řešení – tedy je možné použít decenterální jednotku pro více místností, a případně sdružit výfuk nebo sání vzduchu z venkovního prostoru pro více jednotek. Rozvody vzduchu mohou být přímo v jednotce nebo vedeny místností.



Obr. 12 Decentrální systém větrání – samostatná větrací jednotka s rekuperací pro každou místnost (www.energiesparschule.de, Haus der Zukunft)

Zhodnocení decenterálního systému

transport vzduchu / rozvody vzduchu

- + jednodušší instalace do stávajících objektů
- + nižší náklady na instalaci – jednodušší stavební práce, jen vyhotovení otvorů pro sání a výfuk



- + menší nároky na prostor – jednotka může být zavěšená pod stropem místnosti
- + kratší nebo žádné rozvody a s tím spojeny malé tlakové ztráty systému
- + jednoduché dosažení různých objemů přiváděného vzduchu
- + lepší požární ochrana – vedení neprochází více požárními úseky
- v případě nasávání z fasády nutnost zohlednit možnost zhoršení kvality nasávaného vzduchu (prašná ulice, jižní strana, atd.)
- nutné stavební zásahy do fasády – venkovní sání a výfuk vzduchu
- tepelná, hluková a vlhkostní ochrana prostupů přes konstrukci
- vylepšená hluková ochrana větrací jednotky
- nákladné využití zemních výměníků tepla na předehřev / předchlazení vzduchu (jen kapalinový výměník)

úprava vzduchu

- nutnost samostatného dohřevu nebo chlazení vzduchu – vyšší náklady na decentrální dohřev nebo chlazení
- horší použití zvlhčovačů – nabídka pro malé jednotky je malá, je možnost použít výměníky se zpětným ziskem vlhkosti

energetické kritéria

- + ztráty v rozvodech při použití dohřevu nebo chlazení jsou malé
- + malé tlakové ztráty – nižší spotřeba elektřiny na pohon
- více menších ventilátorů v decentrálních jednotkách – celkově podobná spotřeba pomocné elektřiny jako u centrálního systému po započítání všech parametrů

užívání a náročnost regulace

- + možnost individuálního ovládání (na základě CO₂, vlhkosti, či potřeby tepla/chladu)
- + možnost rozšíření / postupné instalace
- + možnost zjištění spotřeby jednotlivých místností
- centrální regulace / ovládání všech jednotek jen pomocí samostatného okruhu napájení
- vyšší náklady při zapojení do energetického managementu – složitější sběr dat

provoz a údržba

- + bez potřeby čištění rozvodů – krátké nebo žádné rozvody
- + požární ochrana / neprochází požárními úseky
- + lepší zabezpečení provozu – v případě poruchy postižená jen jedna místnost
- nákladnější údržba (filtry, atd.)
- horší kontrola funkčnosti většího počtu jednotek

zásobování

- při vytápění / chlazení je nutnost samostatného napájení registry



Nucené větrání s možností rekuperace odpadního tepla v objektech pro vzdělání

– odvod kondenzátu nutné řešit u každé jednotky samostatně

hygiena

+ bez potřeby čištění rozvodů

– menší plocha filtrů



Obr. 13 Příklad decentrální jednotky, základní škola Hörbranz (Drexel und Weiss)

Současný stav techniky – zpětný zisk tepla příp. vlhkosti

Ztráty větráním jsou u objektů z větší obsazeností značné, vzhledem na větší potřebu výměny vzduchu a proto by větrací systémy umožňující zpětný zisk tepla neměly v koncepci návrhu na snížení energetické náročnosti budovy chybět.

Systémy zpětného zisku tepla (ZZT) rozdělujeme obecně na:

- rekuperační systémy
- regenerační systémy

Nelze jednoznačně říct, který systém je obecně úspornější – do investičních a provozních nákladů se promítá značné množství faktorů. Při posuzování prosté návratnosti investice do systému zpětného zisku tepla je třeba vyhodnotit cenu roční úspory energie na vytápění, vlhčení a případně i chlazení a sní-

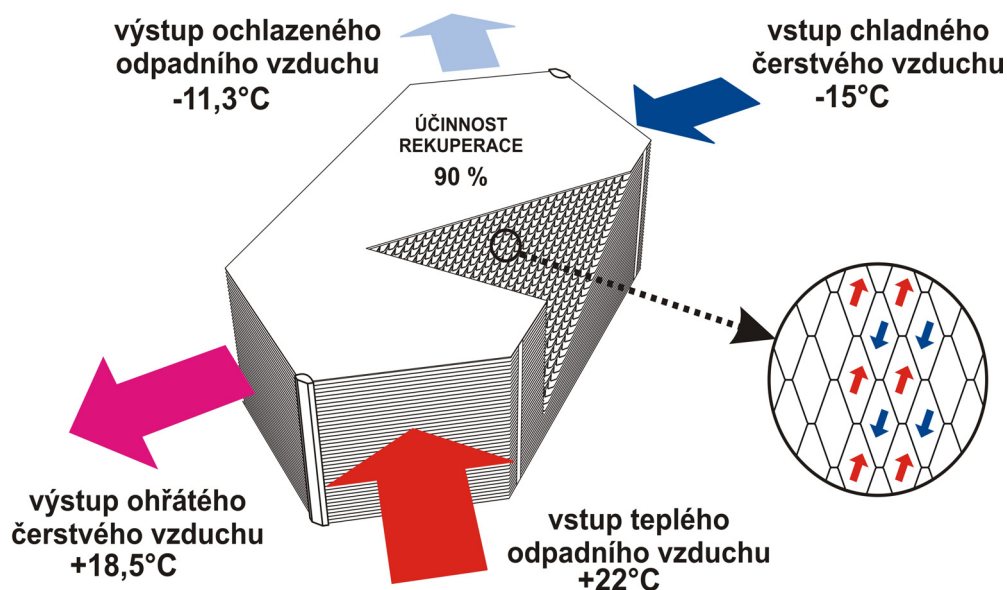


žit ji o cenu energie, kterou spotřebovalo vlastní zařízení ZZT. Takto upravená úspora se potom porovná s investičními náklady.

Roční úsporu energie lze, při předpokladu konstantní účinnosti a průtoků vzduchu, stanovit z průměrné tepoty venkovního vzduchu v době provozu zařízení a počtu hodin provozu během roku. Energie spotřebovaná zařízením ZZT je pak součtem spotřeby pomocné elektřiny na pohon systému (čerpadla vodních okruhů, pohon rotačních výměníků) a spotřeby elektřiny na pohon ventilátorů navýšené díky tlakovým ztrátám systému. Při výpočtu lze zohlednit i to, že většina elektřiny dodaná do čerpadel a ventilátorů se ve formě tepla dostává do přiváděného vzduchu a je tudíž využita k jeho ohřevu.

Rekuperační systémy

Pomocí teplosměnných ploch dochází k výměně tepla mezi ohřátým odpadním vzduchem a chladným čerstvým vzduchem. Ke směšování vzduchů ve výměníku nedochází, čímž je zaručena hygienická nezávadnost přiváděného vzduchu (viz obr. 14). Rekuperační výměníky dosahují účinnosti 40 – 90 % a neumožňují zpětný zisk vlhkosti. Výjimkou jsou speciální rekuperační výměníky se zpětným ziskem tepla a vlhkosti, které se však používají jen u menších jednotek. Nejvíce rozšířené jsou křížové deskové výměníky, v současné době je však nahrazují účinnější protiproudé výměníky s větší teplosměnnou plochou. Velké centrální jednotky nejčastěji využívají křížových výměníků vyrobených zejména z plastu nebo hliníku. Rozdělení typů rekuperačních výměníků je patrné z obrázku 14.



Obr. 14 Princip rekuperace odpadního vzduchu. V nejkvalitnějších rekuperačních výměnících lze získat až 90 % energie odpadního vzduchu zpět. (Atrea)



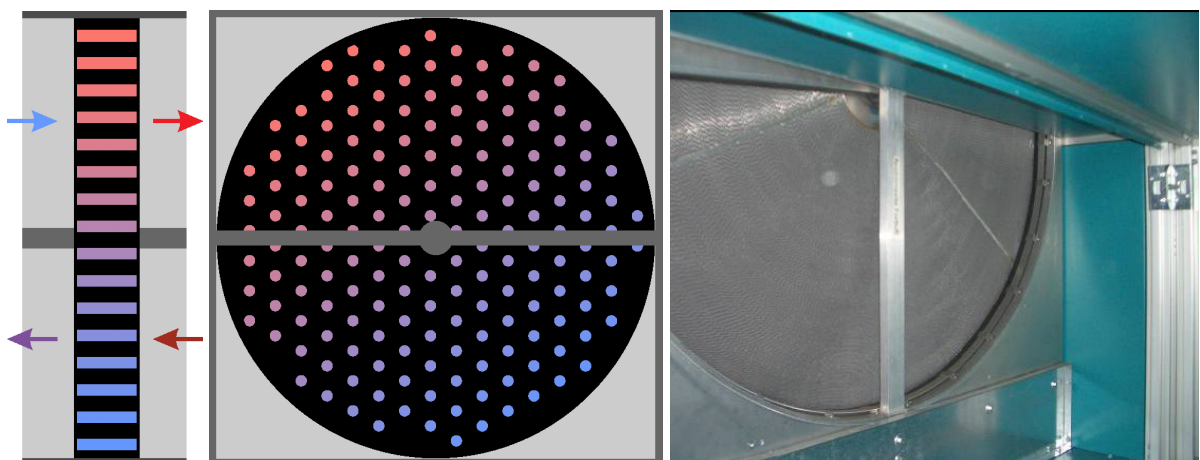
Princip/ nákres			
Profil proudění			
Typ výměníku	Křížový deskový výměník	Protiproudý deskový výměník	Protiproudý kanálový výměník
Účinnost	50 - 70 %	70 - 80 %	85 - 90 %

Obr. 15 Rozdělení rekuperačních výměníků, dle typu a účinnosti (Paul-Wärmerückgewinnung)

Regenerační systémy

Zpětný zisk tepla umožňují i regenerační systémy, kde se teplo z odváděného vzduchu předává do akumulární hmoty a z ní se pak teplo uvolňuje do vzduchu přiváděného. Výhodou je relativně vysoká účinnost zpětného zisku tepla 60 – 90 % a možnost zpětného zisku vlhkosti z odpadního vzduchu 20 – 70 %. Nejčastější jsou výměníky rotační, přepínací a výměníky s kapalinovým okruhem. Jelikož u těchto systémů dochází ke smíšení části vzduchu, je potřeba posoudit i vhodnost nasazení některých jednotek z hygienického hlediska.

Regenerační výměníky s rotující akumulární hmotou se uplatňují především u větších klimatizačních zařízení. Jejich hlavní výhodou je velmi vysoká účinnost, relativně malé rozměry a možnost přenosu nejen tepla citelného, ale i vlhkosti (tepla vázaného neboli latentního). Rotující akumulární hmota regeneračního výměníku ve tvaru válce s drobnými kanálky rotuje mezi proudem přiváděného a odváděného vzduchu. Při průchodu z odváděného do přiváděného vzduchu prochází rotor tzv. pročišťovací zónou. Zde jsou kanálky profukovány např. proudem čistého vzduchu, čímž se snižuje přenos nečistot z odváděného vzduchu.



Obr. 16 Rotační výměník. Ve výměníku rotuje akumulární teplosměnná hmota, která odevzdává teplo a vlhkost odpadního vzduchu nasávanému čerstvému vzduchu.



Regenerační přepínací výměníky jsou konstruovány tak, že akumulární hmota zůstává ve stejné poloze a přepínají se proudy vzduchu. Přepínací výměníky mají dvě komory naplněné akumulární hmotou a soustavu klapek, která přepíná přiváděný a odváděný vzduch tak, aby procházel přes tyto komory střídavě. Tyto výměníky dosahují vysokých účinností, ale jejich konstrukce je poměrně složitá a jejich rozměry jsou větší.

Shrnutí uvedených systémů ZZT je uvedeno v tabulce 11.

Tab. 11 Popis jednotlivých systémů zpětného zisku tepla

Systém ZZT	Druh výměníku	Účinnost ZZT [%]	Účinnost ZZV [%]
Rekuperační systémy			
Deskové výměníky	Deskový výměník	40 – 90	0
	Deskový se zpětným ziskem vlhkosti (paropropustná folie)	40 – 80	0 – 80
Regenerační systémy			
Rotační	Rotační se sorpcí	60 – 80	60 – 70
	Rotační bez sorpce	60 – 80	10 – 20
Další	Přepínací se sorpcí	60 – 90	60 – 70
	Přepínací bez sorpce	60 – 90	50 – 70
	Tepelná trubice	35 – 70	0

Filtrace vzduchu – prašnost

Při větrání okny dochází k zvyšování míry prašnosti, kde spolu s větraným vzduchem se dostávají do místností i prachové částice. Zvýšená prašnost prostředí má za následek větší riziko poškození respiračními potížemi a tím pádem i větší míru absence v důsledku nemoci. Účelem vzduchových filtrů, které jsou obsaženy ve větracích jednotkách je očištění vzduchu od pevných prachových částic. Filtry jsou běžně pro vnější čerstvý vzduch a pro odtahovaný vzduch před výměníkem tepla, což chrání samotný výměník. Podle stupně filtrace jsou filtry zatříděny do tříd G1 – G4 pro hrubou filtraci a F5 – F9 pro filtraci jemnou. Obvykle se používá kombinace hrubého a jemného filtru. V případě potřeby lze použít i pylový filtr pro uživatele postižené alergiemi.

Jelikož se filtry podílejí na tlakových ztrátách systému a tudíž i větší spotřebě elektřiny na pohon ventilátorů, je nutné udržovat filtry čisté a pravidelně je měnit/čistit 2x až 4x ročně nebo dle indikace zanesení filtračních ploch. Zašpiněné filtry snižují funkčnost systému (průtok vzduchu) a navyšují spotřebu energie. Většina jednotek signalizuje potřebu vyměnit filtry.

3. Proces zpracování projektu

3.1. Záměr

Hlavním důvodem instalace systému nuceného větrání do škol a školek je zvýšení kvality vnitřního prostředí a komfortu, současně se snížením energetických ztrát větráním. Nejčastěji dochází k rozhodnutí použít systém větrání při novostavbách nebo komplexních rekonstrukcích těchto vzdělávacích zařízení. Je nesporné, že přirozené větrání je pro dodržení kvality vnitřního prostředí nedostatečné, zejména při



určitých stavebních úpravách, které mají za následek zvýšení těsnosti obálky budovy (např. výměna oken, a pod). Nechat konstrukci netěsnou však není řešení, protože může docházet na ochlazovaných místech ke kondenzaci vlhkosti, růstu plísní a případnému poškození konstrukce. Cílem by tedy neměla být jen samotná instalace systému nuceného/řízeného větrání, ale komplexní vylepšení parametrů budovy nejlépe na standard nízkoenergetického či pasivního domu. To vede nejen k radikálnímu snížení spotřeby energie na vytápění a emisí CO₂, ale i k navýšení komfortu a hygieny vnitřního prostředí, což lze považovat u školských zařízení za zásadní.

3.2. Studie proveditelnosti

Obecně by měla být volba systému větrání do škol založena na co nejfunkčnějším systému za nejpříjatelnějších nákladů. Aby tohoto bylo dosaženo, je potřeba již v počátečné fázi zhodnotit všechny aspekty ovlivňující správný návrh, provedení a bezproblémové užívání systému.

Je vhodné, aby samotnému projektu VZT předcházela ekonomická a funkční analýza různých variant systému podle dispozice, tvaru, užívání objektu a dalších požadavků. Do analýzy je potřeba zahrnout vstupní investiční náklady, stejně tak náklady na provoz (energie, údržba) a celkový přínos systému.

Velice důležité je vycházet při návrhu i s požadavky na funkčnost a ovladatelnost systému z pohledu uživatelů. Doporučuje se provést u uživatelů pomocí dotazníků analýzu obecné spokojenosti / nespokojenosti s vnitřním prostředím. To může sloužit také jako vodítko pro určení priorit jednak při rekonstrukci samotné tak i při návrhu systému větrání. Je důležité, aby uživatelé byli ztotožnění s úpravami, protože nakonec, jsou to právě oni, kteří užívají budovu. Sebelepší projekt vzduchotechniky může být, když uživatelé nebudou s ním ztotožnění a budou třeba větrat okny a snižovat tak úspory opatření.

Důležité je také informovat všechny na škole o plánovaných opatřeních a dopadech či výhodách, případně i zapojit studenty a učitele kreativním způsobem do procesu plánování či výstavby. Výsledná spokojenost se změnami je významně závislá od ztotožnění uživatelů s navrhovanými opatřeními.

Například analýza spokojenosti s nuceným větráním na školách ukázala, že jen 25 % učitelů využívá možnost regulace, ostatních 50 % zřídka a 25 % vůbec, jelikož nebyli dostatečně informovaní o možnostech. To vedlo v několika případech k neočekávaně vyšší spotřebě energie na vytápění, jelikož uživatelé kvůli slabé informovanosti nevyužívali možnosti nuceného větrání.

3.3. Povolovací proces

Proces povolování systému nuceného větrání většinou nepřináší žádné dodatečné náležitosti v případě, že jde o rekonstrukci objektu, kde je nutné vyjádření příslušných orgánů – hygienické stanice, požárníků a dalších zainteresovaných subjektů. Jelikož rekonstrukce objektu musí proběhnout stavebním řízením, není potřeba systém VZT povolovat samostatně.

Určité rozšíření vyžaduje centrální, příp. semicentrální systém větrání, který prochází více požárními úseky. Jelikož vhodné řešení požární ochrany by mělo být navrženo již v rámci projektové dokumentace, jde pak jen o vyjádření požární správy k navrhovanému řešení.

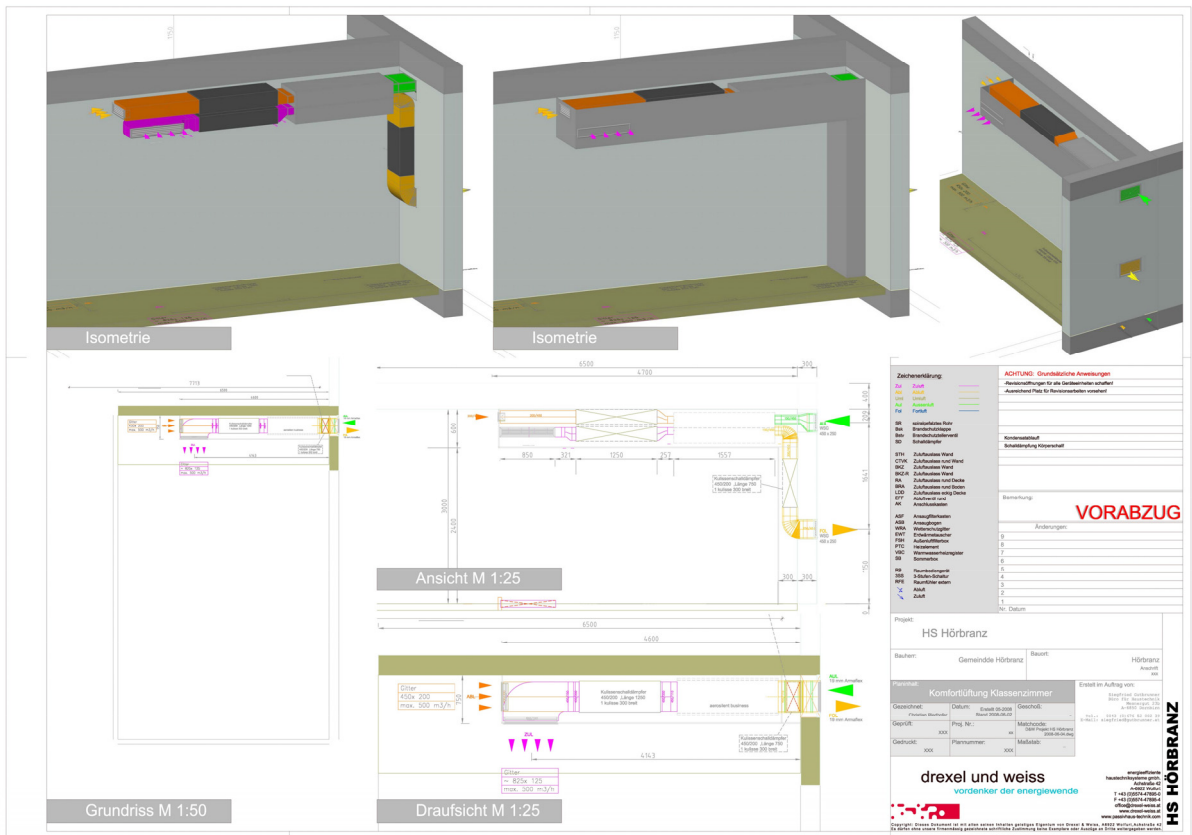
3.4. Projektová dokumentace

Projektová dokumentace by měla obsahovat všechny potřebné náležitosti:

- technickou zprávu s popsáním řešením návrhu, požární ochranou, výpočet potřebných objemů vzduchu, regulace, napájení, energetické bilance a úspory

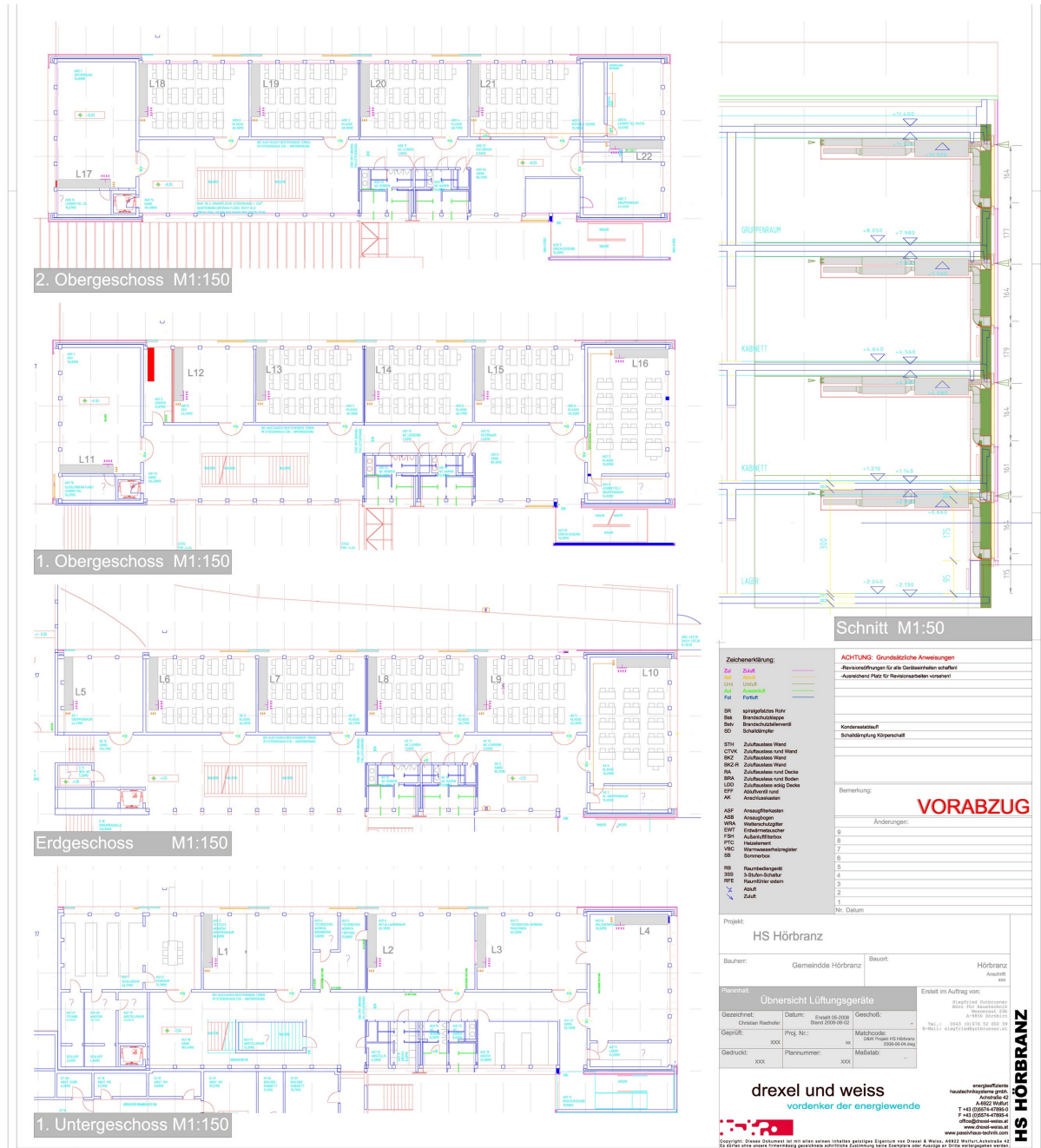


- výkresy vedení rozvodů / potrubí jejich dimenze, umístění a specifikace jednotky, objemy přiváděného a odváděného vzduchu, případně dalších souvisejících rozvodů a instalací (odvod kondenzátu, přívod topné vody, atd.)
- výkresy souvisejících stavebních prací (prostupy stěnami, fasádou, a pod)
- pohled na jednotku





Nucené větrání s možností rekuperace odpadního tepla v objektech pro vzdělání



Obr. 17 a,b Ukázka projektové dokumentace decentrálního řešení základní škola Hörbranz (Drexel und Weiss)

3.5. Realizace

Samotná realizace – instalace jednotky musí být provedena realizační firmou dle projektové dokumentace a navrhovaných řešení popsaných v technické zprávě.



3.6. Zahájení provozu a provoz

Po instalaci jednotky musí realizační firma provést uvedení do provozu a zaregulování systému na objemy vzduchu předepsané v projektu. Při přezkoušení musí dodavatel vystavit přezkušovací protokol o spuštění jednotky, který slouží i ke kolaudaci. Tím dodavatel potvrzuje, že instalaci zrealizoval podle projektové dokumentace s použitím komponentů v ní specifikovaných.

Součástí spuštění by mělo být zaškolení / obeznámení zainteresovaných osob (údržbář, učitelé, atd) s obsluhou a údržbou systému.

4. Ekonomické hledisko

Instalace nuceného větrání s rekuperací tepla znamená jednorázové zvýšení investičních nákladů a průběžné zvýšení provozních nákladů, naproti tomu rekuperace přináší úspory tepla a tedy úsporu provozních nákladů na vytápění. Primárně by se na větrací jednotky nemělo pohlížet pouze z hlediska ekonomického (návrátost opatření), ale je nutné zohlednit i nutnost větrání pro zajištění požadované kvality vnitřního prostředí. Stejně tak není ekonomicky výhodná instalace systému vytápění, ale kvůli zajištění požadované vnitřní teploty nikdo o nutnosti vytápění nepochybuje. Dostatečná kvalita vzduchu je stejně důležitá jako zajištění vnitřní teploty okolo 20°C.

Ekonomické údaje uváděné dále v textu vycházejí z podmínek v Rakousku a Německu, protože v České republice není žádná škola vybavena odpovídajícím nuceným větráním a nejsou k dispozici relevantní podklady. Konkrétní příklad finančního porovnání jednotlivých konceptů vychází z realizace školy v rakouském Schwanenstadtu (návrh arch. Plöderl).

4.1. Investiční náklady

Investičními náklady se rozumí náklady na:

- vlastní větrací jednotku (závisí na typu zvoleného systému a typu jednotky, lze velmi přesně určit)
- rozvody vzduchotechniky (závisí na typu zvoleného systému a na konkrétních možnostech v daném objektu)
- další vyvolané náklady (závisí na typu zvoleného systému a na konkrétních možnostech v daném objektu)

Mezi investiční náklady nelze zahrnout pouze náklady na vlastní technické zařízení, ale je nutné zohlednit i ostatní vyvolané náklady. Při rekonstrukcích jsou tyto ostatní náklady velmi rozdílné a závisí na každém konkrétním objektu.

Vyvolané náklady, které je nutno zohlednit při výpočtu investičních nákladů:

4.1.1. Centrální řešení

- nutná technická místnost pro umístění centrální jednotky (ve většině případů minimálně dvě jednotky, většinou více)
- stavební úpravy a prostor pro vedení rozvodů VZT
- stavební úpravy pro umožnění proudění vzduchu (větrací otvory / mřížky apod.)
- vyšší požadavky na odhlučnění jednotky a rozvodů
- vyšší náročnost na koordinaci při návrhu a provádění



- prodloužení času realizace

4.1.2. Semicentrální řešení

- nutné technické místnosti pro umístění semicentrálních jednotek (počet dle návrhu)
- stavební úpravy a prostor pro vedení rozvodů VZT
- stavební úpravy pro umožnění proudění vzduchu (větrací otvory / mřížky apod.)
- vyšší požadavky na odhlučnění jednotky a rozvodů
- vyšší náročnost na koordinaci při návrhu a provádění
- prodloužení času realizace

4.1.3. Decentrální řešení

- větší počet nasávacích i výfukových otvorů na fasádě (vzduchotěsnost, ochrana otvorů)
- odvod kondenzátu z každé jednotky
- vyšší požadavky na odhlučnění samotné jednotky

4.2. Provozní náklady

Provozními náklady se rozumí náklady každoročně vydané na

- spotřebu energie na provoz větrací jednotky (elektřina)
- provoz a údržbu

4.2.1. Spotřeba energie

Spotřeba elektřiny závisí na typu požitých ventilátorů, množství přepravovaného vzduchu a tlakových ztrátách. U decenterálních jednotek lze provoz jednotlivých jednotek řídit individuálně podle potřeby. Decentrální jednotky jsou zpravidla v provozu výrazně delší dobu. V případě použití nuceného větrání pro noční chlazení v létě se spotřeba energie dále zvyšuje.

V dlouhodobých průzkumech byly v Rakousku zjištěny průměrné náklady na energii pro provoz jednotek ve výši 33 až 55 EUR/rok na jednu třídu.

4.2.2. Provoz a údržba

Zahrnuje především výměnu filtrů a pravidelnou údržbu jednotek.

U decenterálních jednotek se náklady na výměnu filtrů pohybují mezi 40 až 80 EUR/rok na jednu třídu, u centrálních jednotek mezi 25 až 50 EUR/rok na jednu třídu. Čas potřebný na údržbu jednotek jsou přibližně stejné u obou typů řešení – 0,3 až 2 hodiny ročně na jednu třídu.

4.2.3. Úspory

Ekonomické úspory lze teoreticky vyjádřit pomocí úspory energie díky rekuperaci tepla ve vzduchotechnických jednotkách. Teoreticky, neboť srovnáváme stejný objem vzduchu v obou případech. V praxi je větrání okny většinou nedostatečné, a proto jsou skutečné úspory díky rekuperaci tepla výrazně nižší, resp. téměř nulové.



Teoretický výpočet úspor vychází z porovnání stejného objemu vzduchu, který je potřeba vyměnit pro dosažení požadované kvality vzduchu (hodnocené dle koncentrace CO₂). Úspory závisí také na vlastní budově, především na vzduchotěsnosti (ovlivňuje účinnost rekuperace) a využitelnosti vnitřních tepelných zisků.

Na následující tabulce je uveden příklad výpočtu teoretických úspor díky větrání s rekuperací tepla oproti větrání okny. Účinnost výměníku 100 % je pouze teoretická, reálná účinnost se pohybuje v rozmezí 80 až 90 %.

Potřeba čerstvého vzduchu na osobu	30	m ³ /os
Počet osob v třídě	25	os
Potřeba čerstvého vzduchu na třídu	750	m ³
Počet hodin provozu v topném období	650	h
Celková výměna vzduchu v topném období	487500	m ³ /a
Průměrná výměna vzduchu v topném období	111	m ³ /h
Počet denostupňů	3400	Kd/a
Tepelné ztráty větráním bez rekuperace	3080	kWh/a
Cena energie	0,08	EUR/kWh

Účinnost výměníku %	Úspora tepla větráním kWh/a	Finanční úspora EUR/a
60	1848	148
70	2156	172
80	2464	197
90	2772	222
100	3080	246

4.2.4. Příklad nákladů – Schwanenstadt

Rekonstruovaná škola v rakouském Schwanenstadtu, 50 tříd, v investičních i provozních nákladech je zahrnuto větrání provozních a sanitárních prostor. Není zohledněno větrání kuchyně, které je řešeno samostatně. Celkem je ve škole 50 učeben. Do investičních nákladů nejsou zahrnuty vyvolané stavební náklady. Při vlastní realizaci bylo rozhodnuto pro decentrální řešení právě kvůli jednoduššímu návrhu, provedení a jednodušší regulaci.

Investiční náklady

Centrální řešení	356 000 EUR (7 120 EUR na 1 učebnu)
Semicentrální	385 000 EUR (7 700 EUR na 1 učebnu)
Decentrální	384 000 EUR (7 680 EUR na 1 učebnu)

Provozní náklady

	Centrální	Semicentrální	Decentrální
Energie na provoz	2 910 EUR	2 790 EUR	2 731 EUR
Obsluha	4 390 EUR	5 510 EUR	7 896 EUR
Údržba	1 780 EUR	1 926 EUR	1 921 EUR



Celkem	9 080 EUR	10 226 EUR	12 545 EUR
---------------	------------------	-------------------	-------------------

4.3. Optimalizace procesu

V zásadě by mělo být nucené větrání součástí každé novostavby nebo zásadní rekonstrukce objektu. Ekonomická optimalizace by se měla vztahovat pouze na rozhodnutí, které řešení zvolit jako nejvhodnější pro daný případ. Ekonomické srovnání nuceného větrání a nedostatečného větrání okny je spravedlivé pouze při zahrnutí a ocenění vyšší kvality vnitřního prostředí a díky tomu lepším podmínkám pro vzdělávání.

Při velmi zjednodušeném srovnání bez zohlednění vyšší kvality vnitřního prostředí lze vycházet z předpokladu, že uspořené náklady na energii na vytápění pokryjí s malým přebytkem provozní náklady systému nuceného větrání. Nelze tedy uvažovat o ekonomické návratnosti systému nuceného větrání. Na druhé straně stojí za zamyšlení fakt, že měsíční investice o výši 1 EUR na žáka stačí na výrazné vylepšení kvality vnitřního prostředí a současně i efektivity učebního procesu.

Při zohlednění vlivu kvality vzduchu v třídách na výkonnost je situace odlišná. Podle výzkumů se se zvyšující se kvalitou vzduchu zvyšuje produktivita práce. V prostředí špatně větraných škol (stávající standard) lze uvažovat zvýšení produktivity díky čerstvému vzduchu o 5 až 10 %. V celkovém ročním počtu vyučovacích hodin (zhruba 1200) odpovídá neefektivně využitých pět procent šedesáti vyučovacím hodinám. Při průměrných nákladech na jednu vyučovací hodinu ve výši 40 EUR lze během jediného roku ušetřit 2400 EUR. Při zohlednění tohoto faktu je instalace nuceného větrání ekonomicky velmi zajímavé, neboť je doba návratnosti investice menší než 3 roky.

4.4. Podmínky financování OPŽP

Náklady na nucené větrání nejsou uznatelnými náklady v rámci projektů OP ŽP, pouze v prioritní ose 3.2 jsou uznatelnými náklady investice do samotné rekuperace tepla.

5. Příklady dobré praxe

5.1. Příklad vzorové realizace – Rekonstrukce polytechnické školy Schwanenstadt, Rakousko

Architekt:	Plöderl Architektur, Heinz Plöderl, office@pau.at
Návrh TZB:	team gmi Vorarlberg/Sien, vorarlberg@teamgmi.at
Typ stavby:	rekonstrukce
Dokončení:	2006
Celková podlahová plocha:	5696 m ²
Počet učeben:	50
Výpočtová potřeba tepla na vytápění:	14,1 kWh/(m ² a)
Zdroj tepla:	kotel na peletky



5.1.1. Původní stav



5.1.2. Nový stav



5.1.3. Popis vzduchotechniky

Typ řešení:	decentrální
Zemní výměník tepla:	ne
Větrání učeben:	všechny
Výrobce větrací jednotky:	drexel & weiss (www.drexel-weiss.at)
Max. výkon větrání:	500 m ³ /h
Počet žáků:	18+učitel
Objem vzduchu na 1 osobu:	26 m ³ /h
Druh výměníku tepla:	křížový protiproudý deskový výměník tepla
Regulace:	přítomnost osob + relativní vlhkost
Třída filtrace:	F7
Přehřev vzduchu:	elektrická protimrazová ochrana
Dohřev vzduchu:	není



Nucené větrání s možností rekuperace odpadního tepla v objektech pro vzdělání

Celkové náklady (bez kuchyně): 384 000 EUR

Roční provozní náklady: 12 545 EUR

5.1.4. Fotografie



Decentrální jednotka v učebně



Nasávání čerstvého vzduchu na fasádě



Výfuk odpadního vzduchu



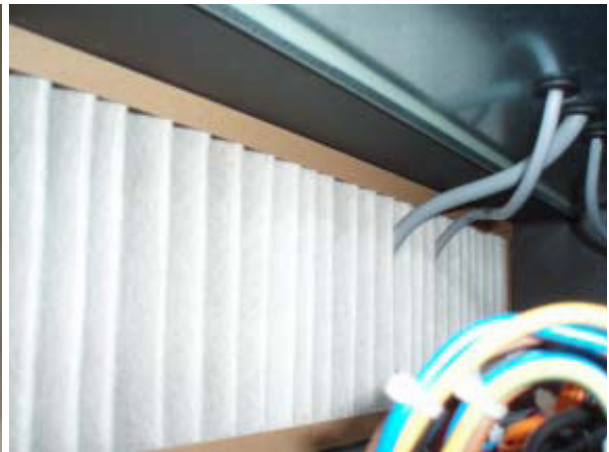
Vzduchotechnická jednotka



Vyústky z jednotky



Výměník tepla



Filtr

6. Checklisty

V následujících checklistech (tabulkách) jsou přehledně uvedeny základní parametry pro volbu koncepce větrání a pro rozhodování při plánování.

6.1. Centrální – semicentrální – decentrální koncepce

Kritérium	Řešení			
	Centrální	Decentrální (1)	Decentrální (2)	Semicentrální
Silná prašnost lokality				
Velká hlučnost lokality				
Silné letní zahřívání fasády			(3)	



Silné zatížení větrem fasády			(4)	
Nemožnost změny vzhledu fasády				
Nízké náklady a náročnost výměny filtrů				(5)
Velké vzdálenost od technické místnosti, složité rozvody				
Vysoké požární požadavky				
Spolehlivost				
Jednoduchost nastavení a ovládání				
Požadována vícestupňová úprava vzduchu *				
Individuální požadavky na kvalitu vzduchu v učebnách				
Individuální požadavky na dobu provozu v učebnách				
Jednoduché odhlučnění jednotek				(6)
Nízká náročnost návrhu				
Omezení tepelných ztrát prostupem a tepelných mostů				

- (1) větrací jednotka v učebně
- (2) větrací jednotka mimo učebnu
- (3) nasávání čerstvého vzduchu na stíněné straně fasády
- (4) nasávání čerstvého vzduchu a výfuk odpadního vzduchu na straně chráněné proti větru, příp. horizontální orientace mřížek
- (5) pouze při centrální filtraci vzduchu
- (6) bez ventilátorů v učebnách

* např. vícenásobná filtrace, využití zemního výměníku vzduchu, dohřev/chlazení vzduchu, zvlhčování apod.

6.2. Páteřní nebo hvězdicové vedení rozvodů

Pouze u centrálního řešení

Kritérium	Řešení	
	Páteřní	Hvězdicové
Velká vzdálenost jednotlivých učeben		
Centrální umístění technické místnosti, malý počet větraných prostorů		
Podélná konstrukční soustava, učebny vedle sebe		
Nedostatek místa pro umístění tlumičů a zvukové izolace		
Nároky na čištění		



Regulovatelnost		
-----------------	--	--

6.3. Řízení a regulace

	Řízení provozu (zap/vyp)	
	Týdenní program, časové řízení	Řízení dle přítomnosti osob
Řízení množství vzduchu	Pevné množství vzduchu	
	Časové řízení, skoková změna množství vzduchu	
	Řízení dle osob (dle rozvrhu a počtu osob)	
	Řízení dle koncentrace CO ₂	
	Kombinované řízení dle kvality a vlhkosti vzduchu	

6.4. Ochrana proti zamrznutí

Požadavek	Řešení		
	Zemní výměník	Elektrický předehřev	Bypass
Energeticky efektivní			
Nízká energetická efektivita			
Výpočtová vnější teplota < 18°C			

6.5. Druh zemního výměníku

Kritérium	Řešení	
	Vzduchový	Solankový
technické	Hygienická nezávadnost	
	Spolehlivost	
	Regulovatelnost	
	Centrální řešení větrání	
	Radonová zátěž	
	Kombinace s TČ	
cena	Budova s méně než třemi učebnami	
	Větší objekty	



7. Zdroj informací, literatura

- (1) MIKEŠOVÁ M., KOTLÍK B.: *Měření vnitřního prostředí v základních školách - Závěrečná zpráva z měření kvality vnitřního prostředí a mikroklimatických parametrů ve školách (2008)*, SZÚ Praha – centrum hygieny životního prostředí
- (2) WARGOCKI, P.: *Jsou investice do vysoké kvality vzduchu ve vnitřním prostředí ekonomicky výhodné?* [online], 17. mezinárodní konferenci Klimatizace a větrání 2006, TZB-info [cit. 10. 1. 2009], Dostupné z <http://vetrani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4588&h=254&pl=47>
- (3) WEISS, R.: *Hospodárnost a energetická účinnost semicentrálních konceptů*, Sborník z konference PASIVNÍ DOMY 2007, Brno, Centrum pasivního domu
- (4) Kolektiv autorů: *Evaluierung von mechanischen Klassenzimmerlüftungen in Österreich und Erstellung eines Planungsleitfadens* [online], Haus der Zukunft [cit. 10. 1. 2009], Dostupné z <http://www.hausderzukunft.at/publikationen/view.html/id655>
- (5) Kolektiv autorů: *Erste Passivhaus-Schulsanierung* [online], Haus der Zukunft [cit. 10. 1. 2009], Dostupné z <http://www.hausderzukunft.at/publikationen/view.html/id672>
- (6) FEIST, W.: *Passivhaus-Schulen*, Protokolband no. 33, Passivehaus Institut, 2006, Darmstadt
- (7) KISLINGER, J.: *Dobrý vzduch dělá školu – dělá školu i rekonstrukce na pasivní standard*, Sborník z konference PASIVNÍ DOMY 2008, Brno, Centrum pasivního domu
- (8) GÜNTER, G., RUBINOVÁ, O., HORKÁ, H.: *Vzduchotechnika*, ERA, Brno, 2005

Normy a vyhlášky:

- (9) Vyhláška č. 410/2005 Sb. Ministerstva zdravotnictví ze dne 4. října 2005 - *Vyhláška o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých*
- (10) ČSN EN ISO 7730:2005, *Ergonomie vnitřního prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu*
- (11) ČSN EN 13779:2008, *Větrání nebytových budov – Základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení*
- (12) ČSN EN 15251:2007, *Vstupní parametry pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního prostředí, teplotní prostředí, osvětlení a akustiku*
- (13) ÖNORM H 6003-3:1998, *Ventilation and air conditioning plants; basic rules; hygienic and physiological requirements for the environment of persons*
- (14) ÖNORM H 6039:2008, *Ventilation and air conditioning plants - Controlled mechanical ventilation of classrooms, training rooms or common rooms as well as of rooms for similar purposes - Requirements, dimensioning, design, operation and maintenance*
- (15) DIN 1946-6:2008, *Ventilation and air conditioning - Part 6: Ventilation for residential buildings; General requirements, requirements for measuring, performance and labeling, delivery/acceptance (certification) and maintenance*
- (16) ASHRAE: ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) Standard 62:1989 "Ventilation for acceptable indoor air quality"