

MIKROKLIMA A VZDUCHOTECHNIKA VE ŠKOLÁCH



Zuzana Mathauserová

zmat@szu.cz

Státní zdravotní ústav

Laboratoř pro fyzikální faktory

Zásady a pokyny pro větrání škol

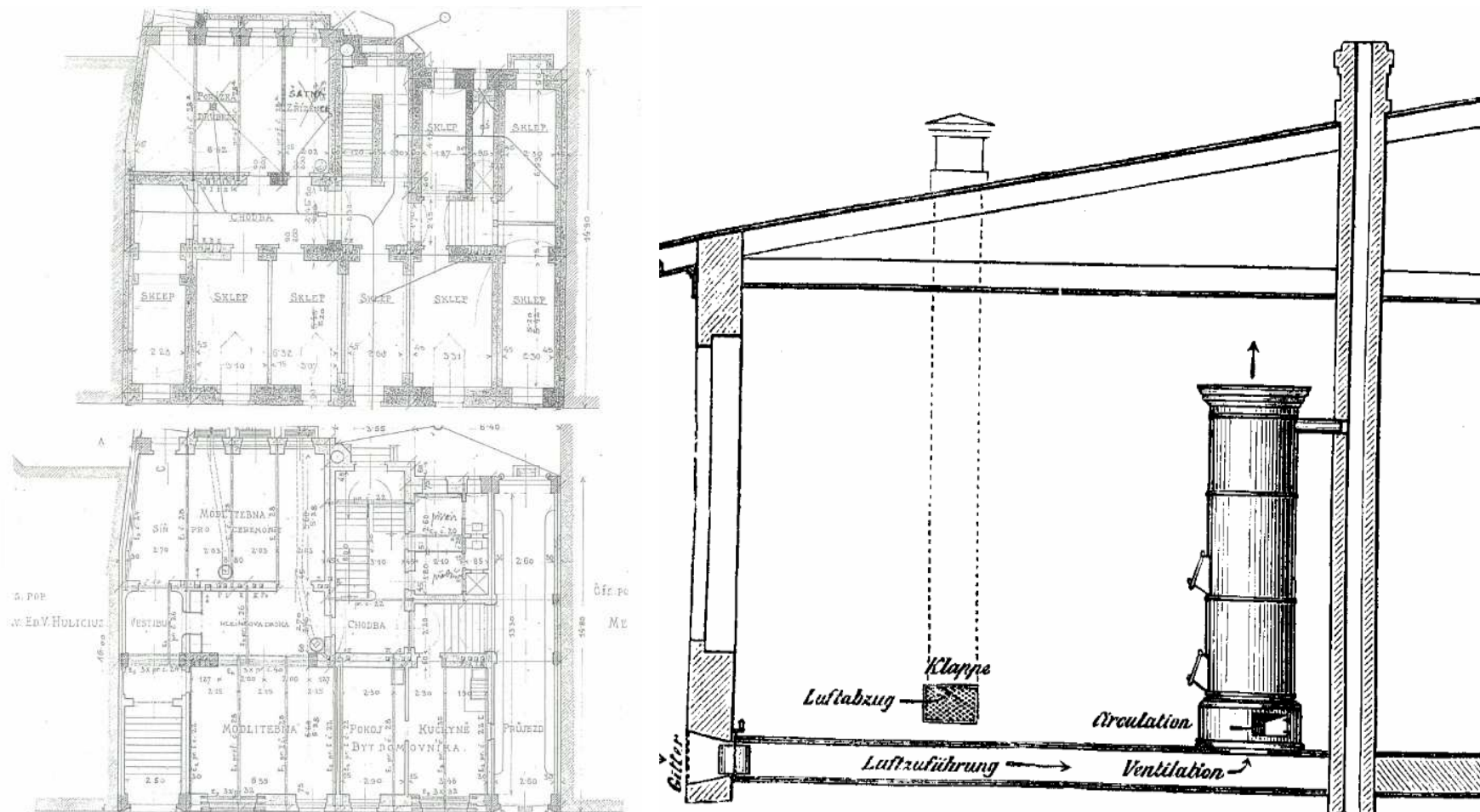
Židovská škola v Praze v Jáchymově ulici

Pokyn:

Třída musí být dostatečně větrána, aby školáci neusínali či nebyli myslí mdlé a vzdělávání jim prospívalo k radosti jich i jejich rodičů.

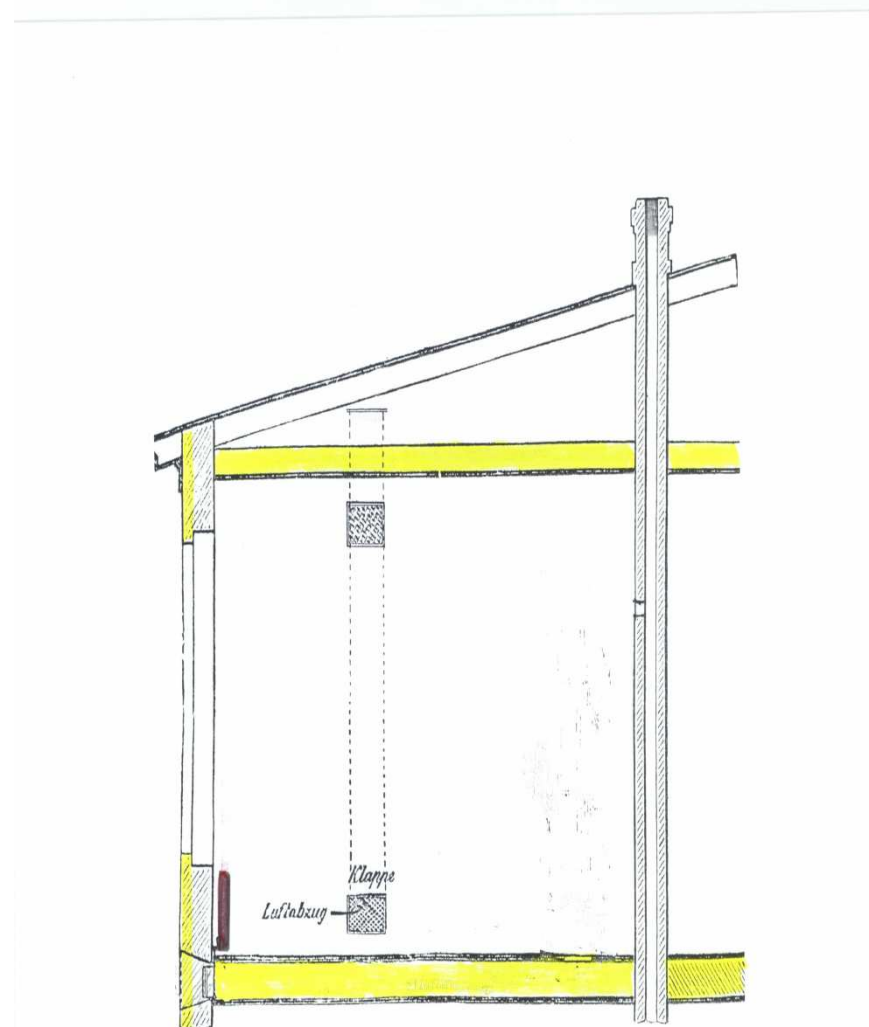
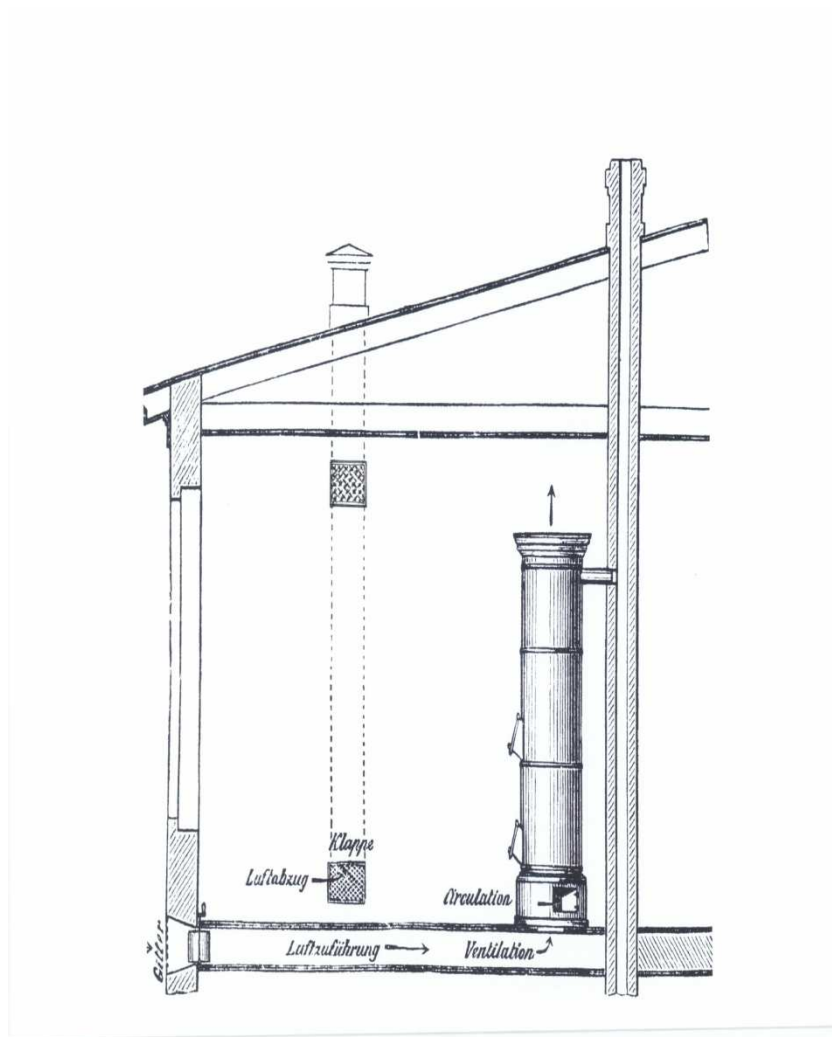
- Místnost, ve které je prováděna výuka našich dětí musí být vytápěna nejlépe na **17 -19 °C**.
- Ke kamnům musí být přiveden samostatně vzduch pro hoření zvenku.
- Proto doporučujeme regulovat větrací klapky tak, aby se vzduch ve třídě podle stáří dětí vyměnil **3 až 4x** za vyučovací hodinu.

Židovská škola v Praze v Jáchymově ulici



- Plán třídy , schéma přívodu vzduchu pro hoření v kamnech a větrání třídy

Původní řešení a po novodobé opravě



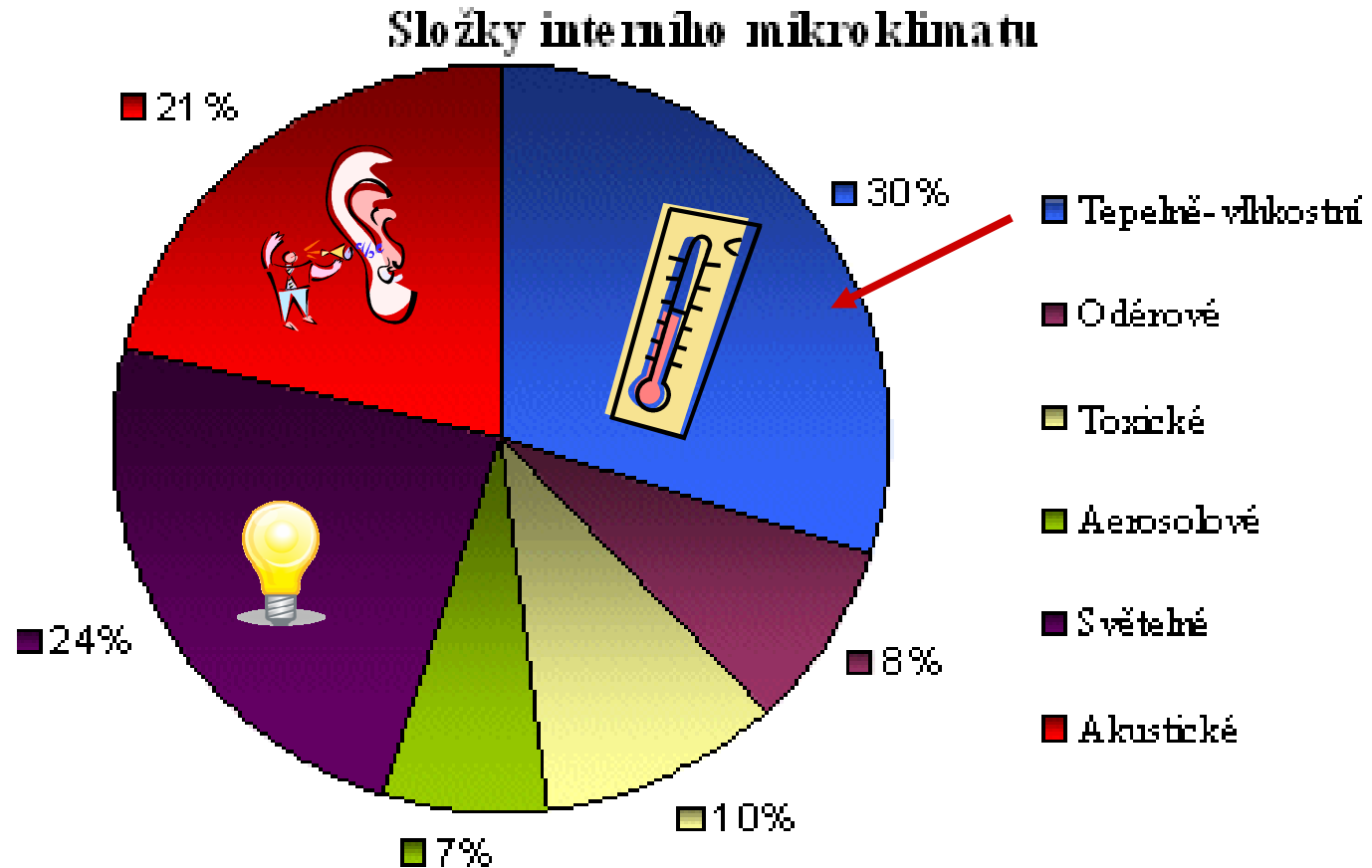
Vnitřní prostředí staveb

je definováno hodnotami fyzikálních, chemických a biologických ukazatelů.

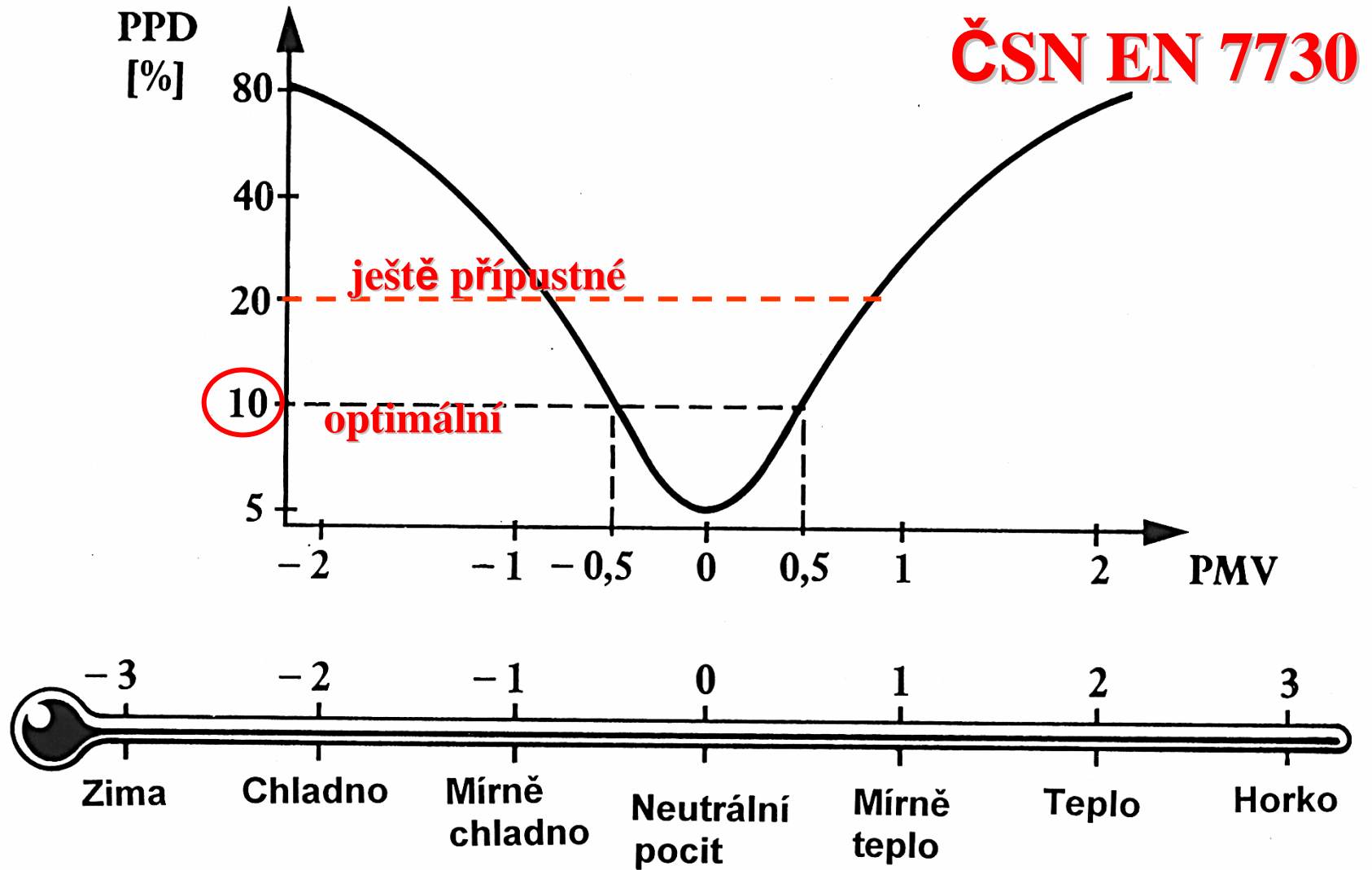
HYGIENICKÉ POŽADAVKY JSOU NADŘAZENÉ HLEDISKŮM ÚSPOR ENERGIE a musí být ve vnitřním prostředí budov dodrženy i při zateplení obvodového pláště a výměně výplní okenních otvorů !!!!!

Vysoký energetický standard budovy nemůže být jedinou podmínkou.

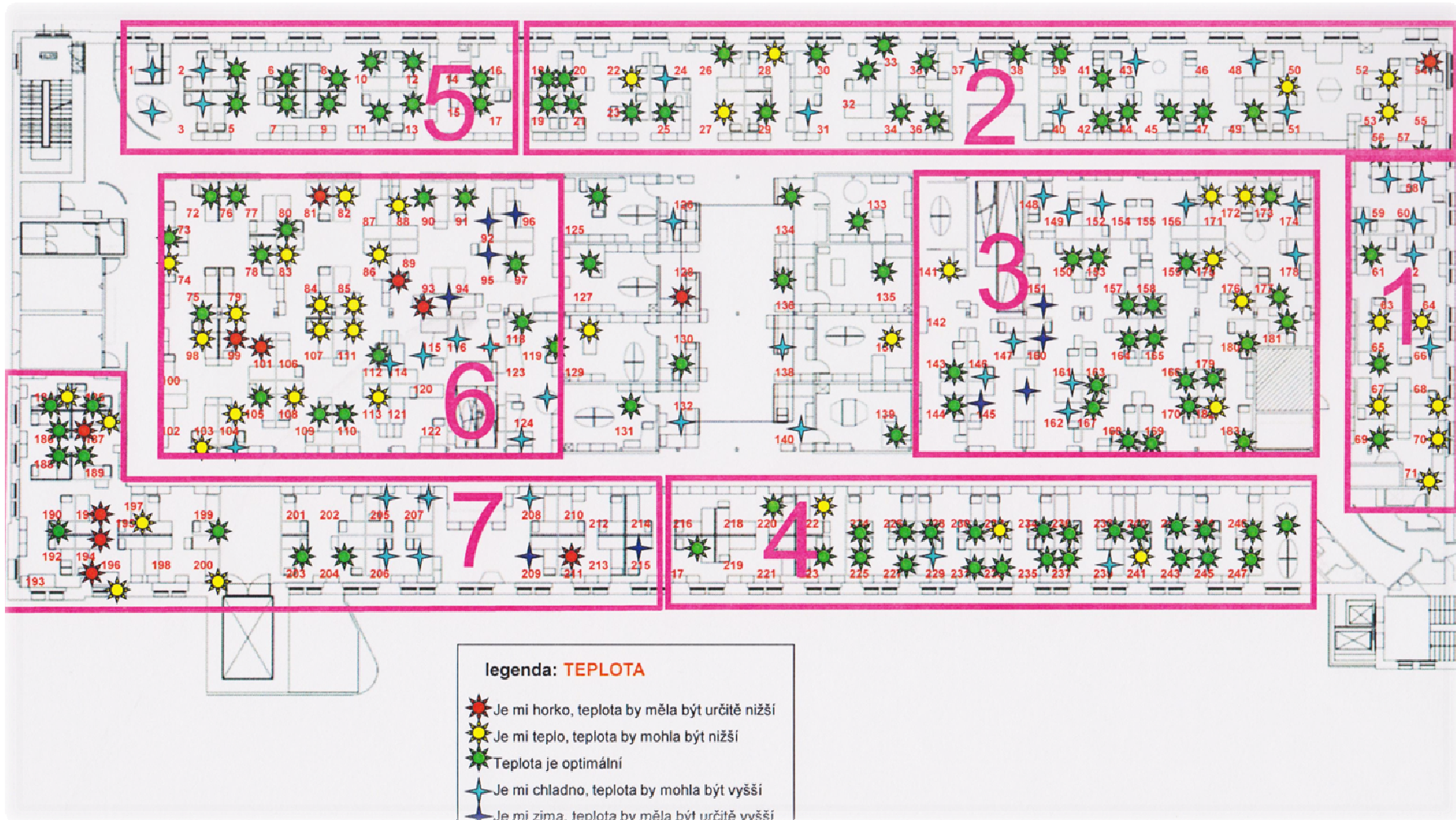
Tepelné podmínky mají mnohem větší vliv na *subjektivní pocit pohody* člověka, míru odpočinku i skutečnou produktivitu práce než nežádoucí škodliviny či obtěžující hluk.



Individuální vnímavost tepelného stavu prostředí



Vnímání teplot na pracovišti



MIKROKLIMATICKÉ PARAMETRY

ovlivňující vztah „prostředí – člověk“

✘ teploty vzduchu

✘ vlhkost vzduchu

✘ rychlost proudění vzduchu

✘ barometrický tlak

Tepelná pohoda závisí na:

- ✓ **metabolické produkci organismu,
tepelně - izolačních vlastnostech oděvu**

- ✓ **zdrojích tepla**
 - vnitřních
 - vnějších

- ✳ *způsobu vytápění*

- ✳ *větrání*

- ✓ **individuální vnímavosti**

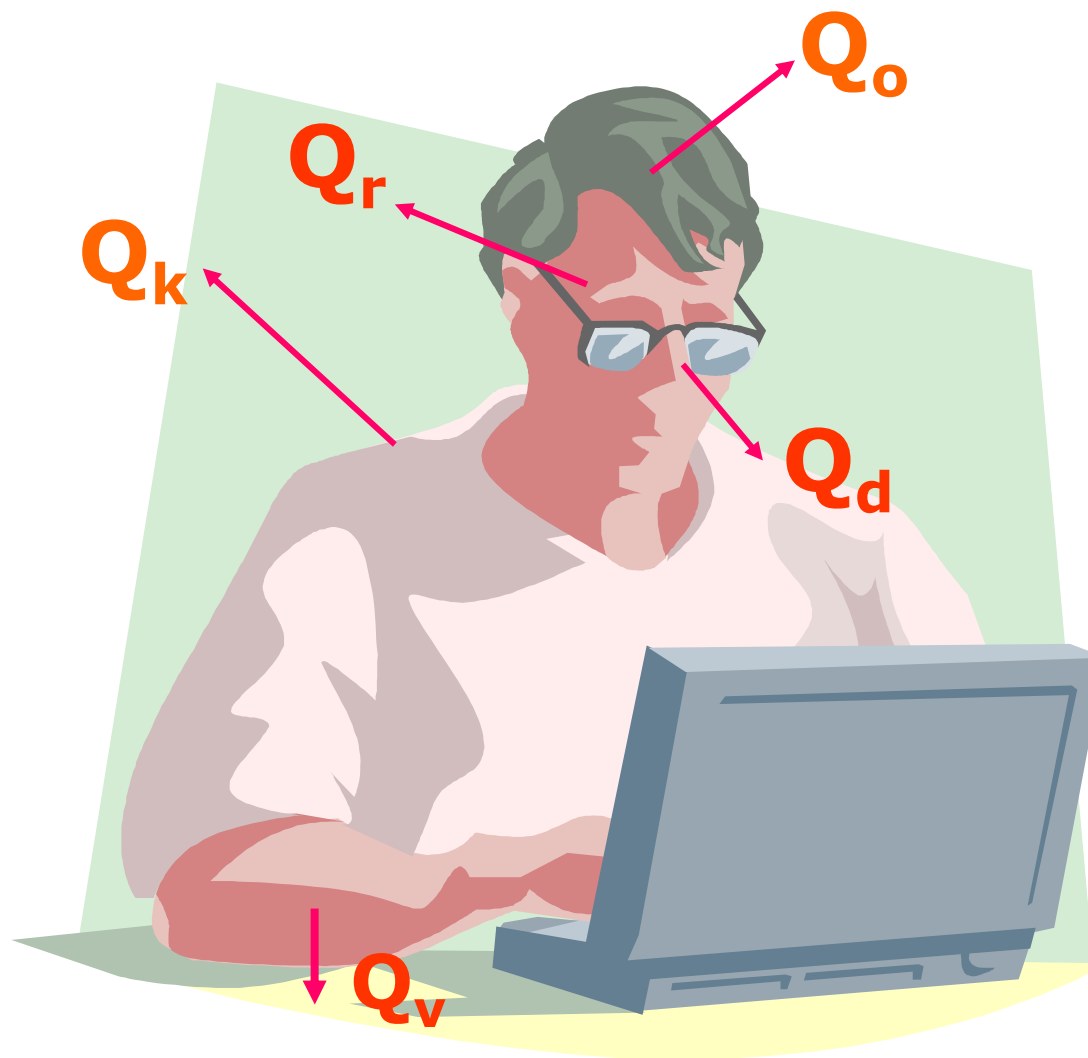
- ✳ *zdravotní stav, věk, pohlaví*

Mikroklima optimální - tepelná pohoda

Je stav rovnováhy mezi subjektem a interiérem bez zatěžování termoregulačního systému organismu, tedy stav, při němž je zachována rovnováha metabolického tepelného toku a toku tepla odváděného z těla při optimálních hodnotách fyziologických parametrů.

Tepelná pohoda \leftrightarrow Rovnice tepelné rovnováhy

$$Q_M = Q_k + Q_v + Q_r + Q_d + Q_o \pm Q_a$$



Mikroklima

- X Optimální**
- X Přípustné**
- X Dlouhodobě přípustné**
- X Krátkodobě přípustné**

Vyhláška č. 343/2009 Sb. - školy

Celoročně přípustné teploty při $v_a = 0,1$ až $0,2$ m/s;

$rh = 30$ až 65 %; $\Delta t \leq 3$ °C

Typ prostoru	Výsledná teplota (°C)		
	t_g min	t_g opt	t_g max
Učebny, pracovny	20	22 ± 2	28
Tělocvičny	18	20 ± 2	28
Šatny	20	22 ± 2	28
Sprchy	24	-	-
Záchody	18	-	-
Chodby	18	-	-

Mikroklimatické parametry vnitřního prostředí

Pracovní prostředí

- **Operativní teplota** t_o ($^{\circ}\text{C}$)
- **Výsledná teplota** t_g ($^{\circ}\text{C}$)
- **Teplota vzduchu** t_a ($^{\circ}\text{C}$)
- **Stereoteplota** t_{st} ($^{\circ}\text{C}$)
- **Relativní vlhkost** rh (%)
- **Rychlost proudění vzduchu** v_a ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
- **Korigovaná tep.** t_{kor} ($^{\circ}\text{C}$)
- **Dotyková teplota** t_p ($^{\circ}\text{C}$)

Pobytové prostory

- - - - - -
- **Výsledná teplota** t_g ($^{\circ}\text{C}$)
- **Teplota vzduchu** t_a ($^{\circ}\text{C}$)
- - - - - -
- **Relativní vlhkost** rh (%)
- **Rychlost proudění vzduchu** v_a ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

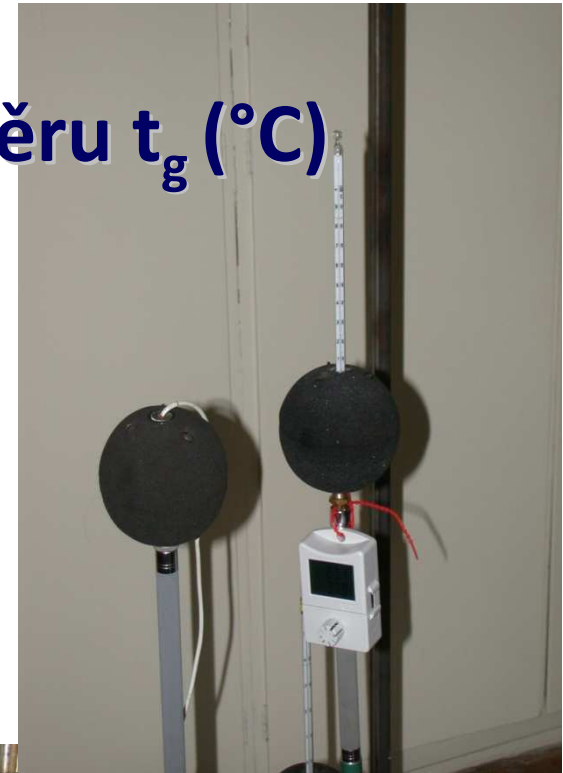
Teplota vzduchu t_a (°C)

Teplota v okolí
lidského těla
měřená jakýmkoli
teplotním čidlem.



Výsledná teplota kulového teploměru t_g (°C)

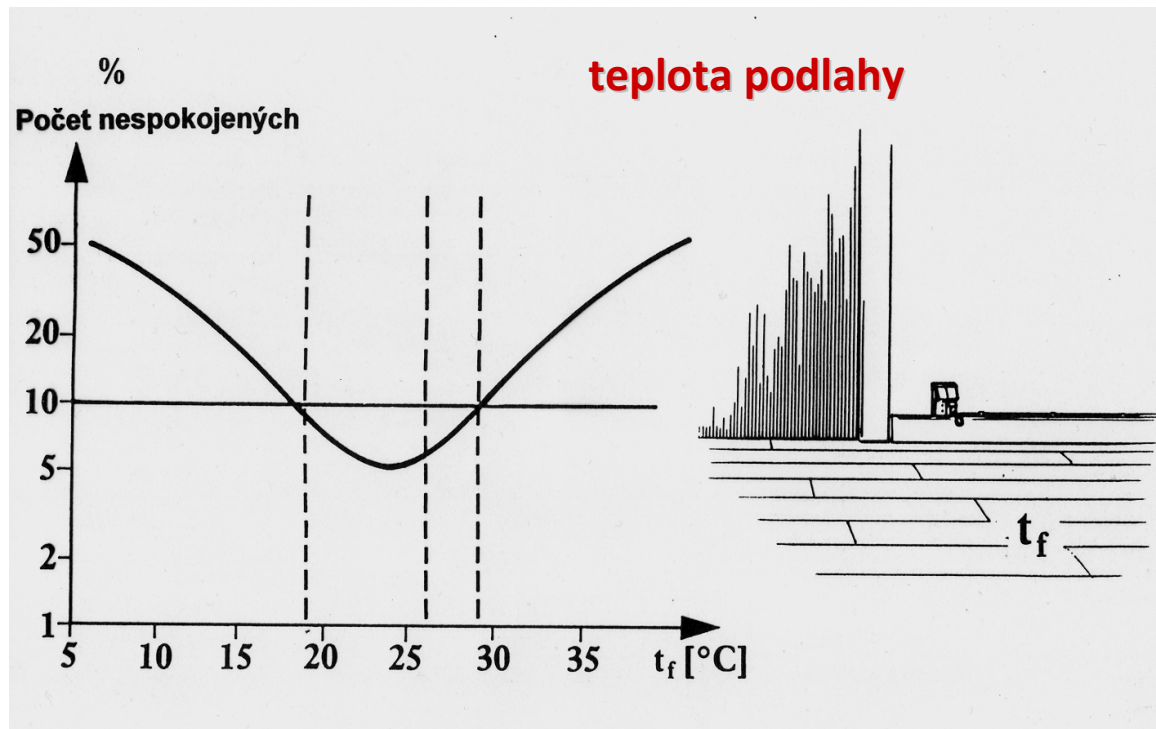
je teplota v okolí lidského těla měřená kulovým teploměrem, která zahrnuje vliv současného působení teploty vzduchu, teploty okolních ploch a rychlosti proudění vzduchu.



Operativní teplota t_o (°C)

Povrchová teplota t_s ($^{\circ}\text{C}$)

teplota naměřená na povrchu těles
a stavebních konstrukcí

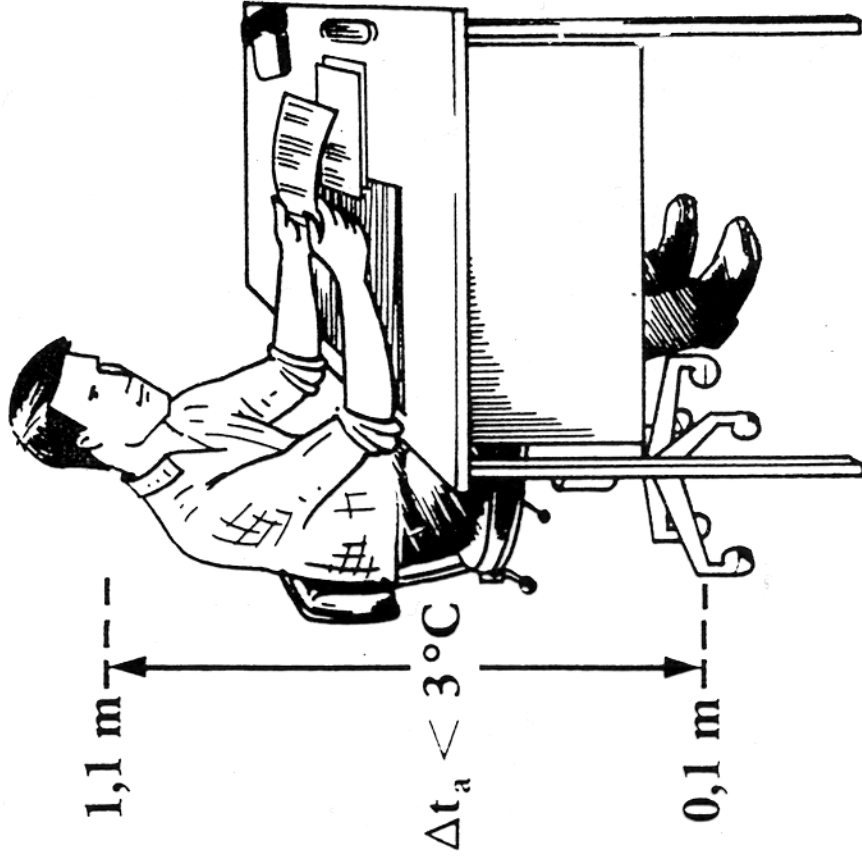
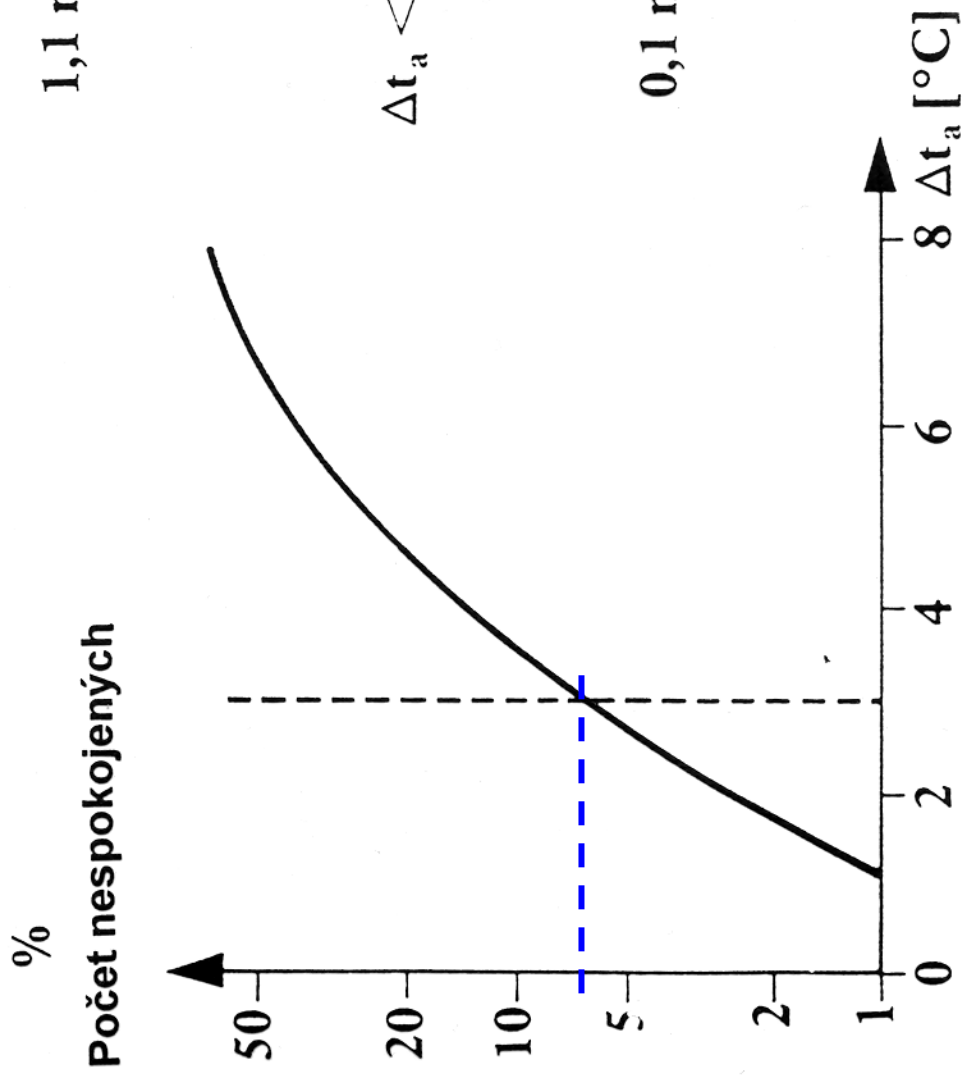


Rozdíl mezi teplotou vzduchu a teplotou povrchů

- **Optimální cca 2 °C**
- **Větší než 4 °C je již pocítován
jako nepříjemný**

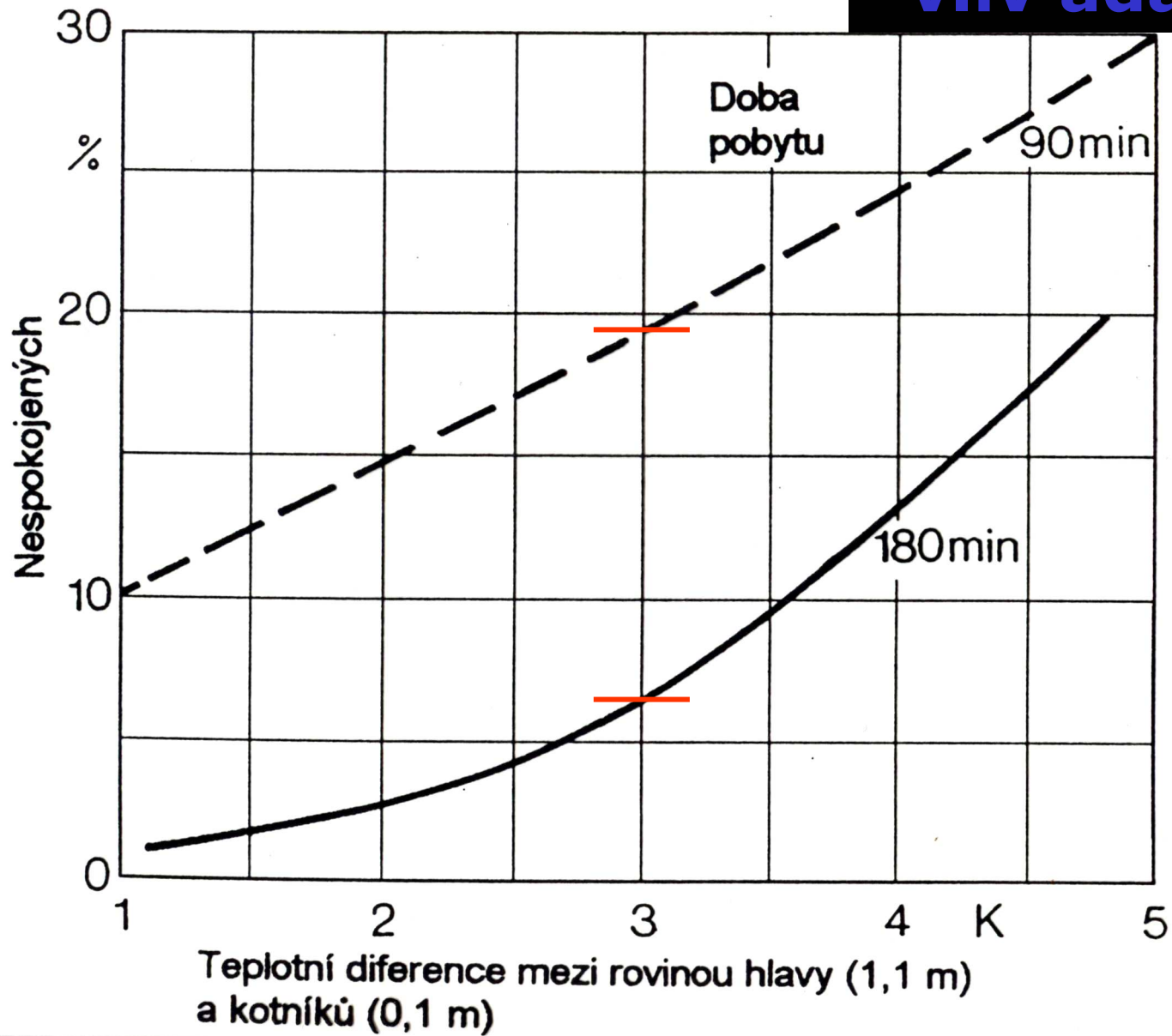
rodíl mezi venkovní a vnitřní teplotou
vzduchu max 6 °C

Vliv vertikálního rozložení teplot



podle Oelsena, Schölera, Fanger [2]

vliv adaptace

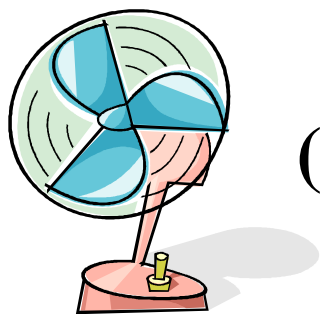


Nespokojenost s vertikální teplotní diferencí

Na pocitu tepelné pohody se kromě teplot podílí i další mikroklimatické faktory –

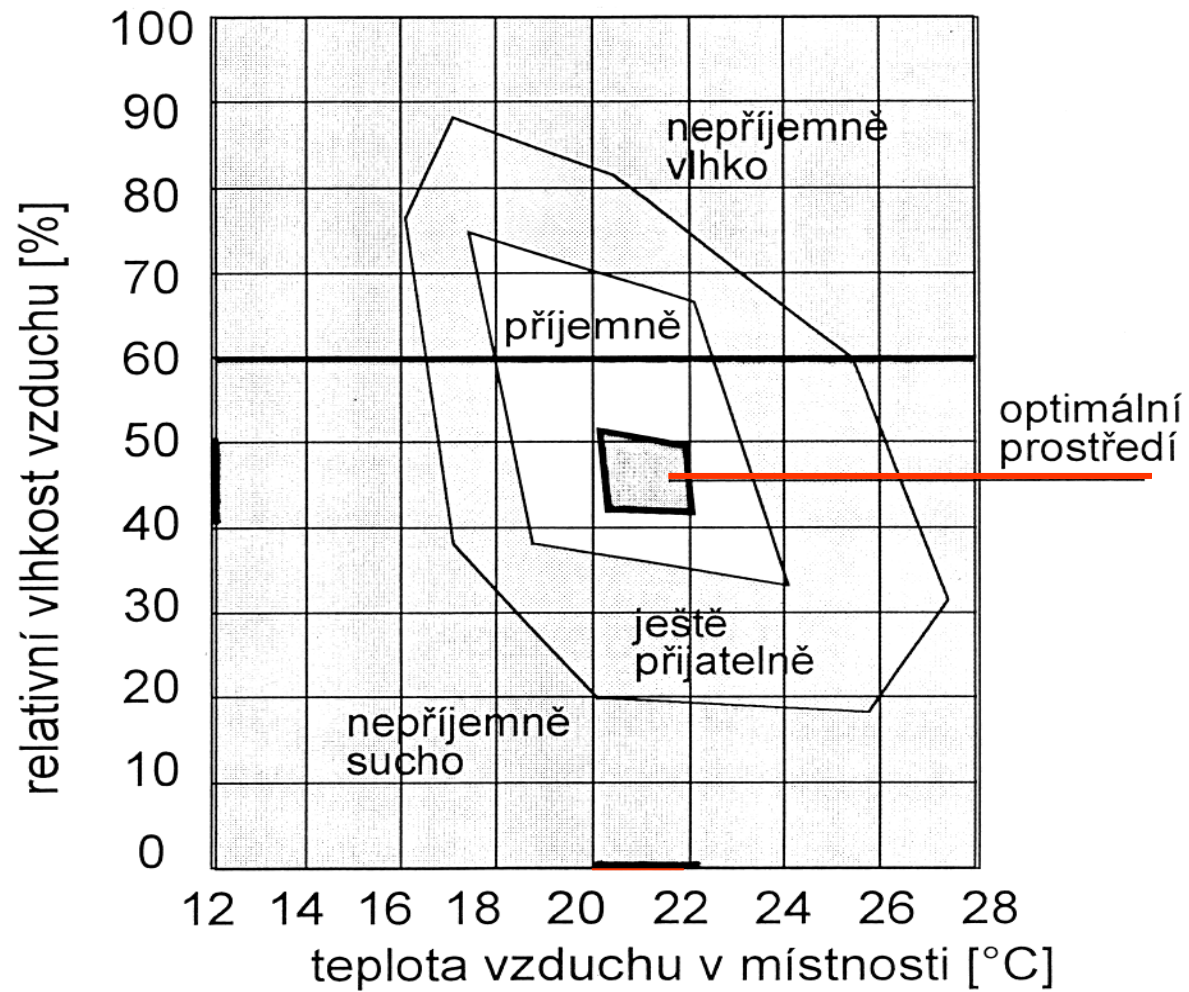


vlhkost vzduchu

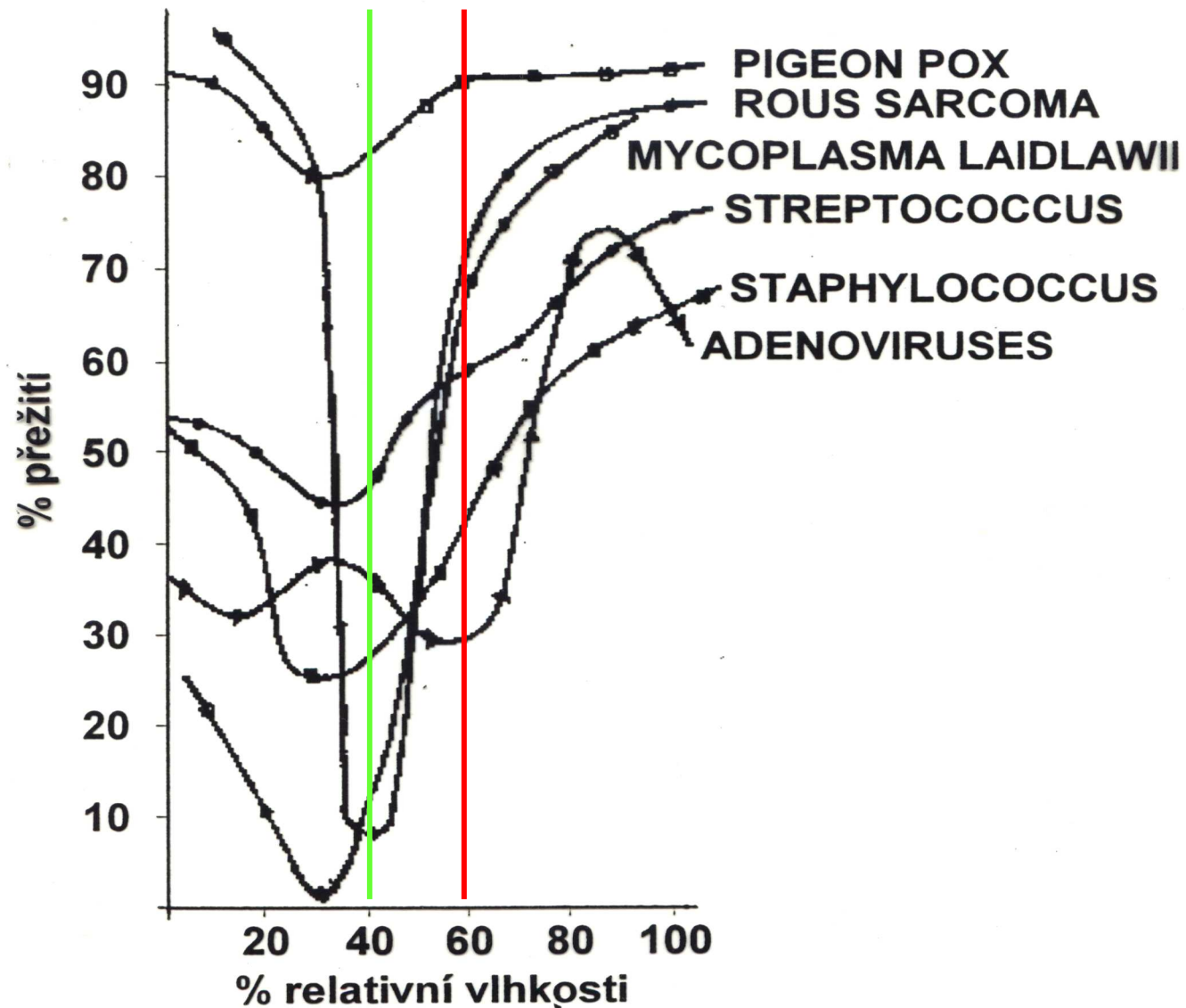


rychlost proudění vzduchu
(ovlivňuje tok škodlivin v prostředí)

Pohoda prostředí v závislosti na vlhkosti vzduchu



Růst mikroorganismů v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu



Teplota rosného bodu t_d (°C)

je teplota, při níž dochází

k **orosování povrchů**, tzn. vlhký vzduch je ochlazen až na teplotu, při níž se dosáhne stavu sytosti (relativní vlhkost je 100%).

Stanoví se z teploty a vlhkosti vzduchu z psychrometrického diagramu nebo výpočtem.

Důsledek nedostatečného odvodu vlhkosti

Plísně

Alergeny (mezi atopiky 20 – 30 %)

Mykotoxiny - produkuje mycelium
toxická reakce, mutagenní, teratogenní,
karcinogenní a estrogenní efekt,
mykotická onemocnění



Těkavé organické látky, některé z nich člověk vnímá jako plísňový zápach, mohou poškozovat sliznice dýchacích cest, dráždí oči, v krku, sliznice v nose, způsobují bolesti hlavy a podráždění pokožky....

(limit pro výskyt plísní stanovený **vyhláškou č. 6/2003 Sb.** pro vnitřní prostředí obytných místností, a to **500 KTJ plísní /m³ vzduchu**).

Rychlost proudění vzduchu v_a (m.s⁻¹)

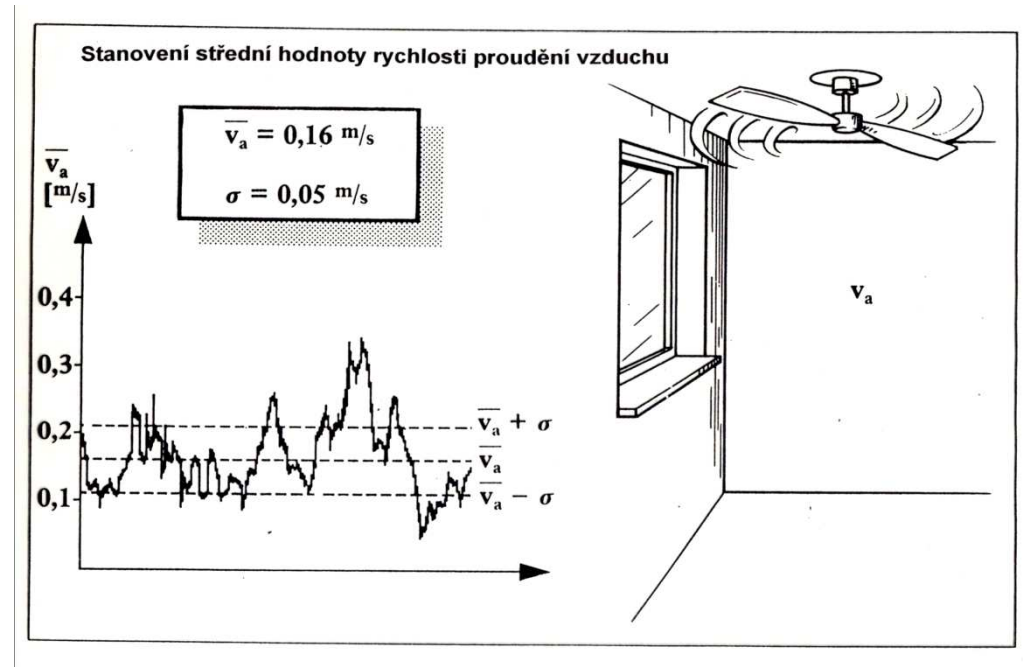
**je veličina charakterizující pohyb vzduchu
v prostoru, je určena svojí velikostí
a směrem proudění.**

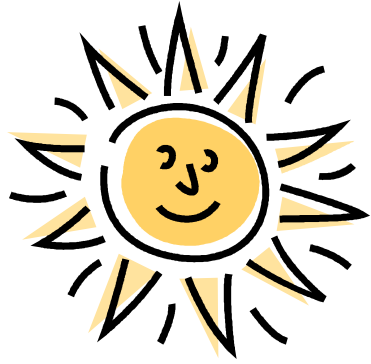
Rychlost proudění vzduchu do 0,1 – 0,2 (0,3) m.s⁻¹

nížká



vysoká





V Ě T R Á N Í

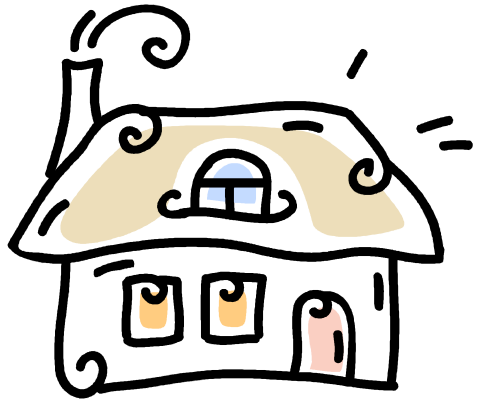
VYTÁPĚNÍ

Co se dá ovlivnit větráním?

- **Chemické látky v ovzduší, odéry**
- **Prašnost**
- **Tepelně vlhkostní pohoda**
- **Hluk, vibrace**
- **Elmag a el pole**
- **Osvětlení**
- **Mikrobiální kontaminace**
- **Ionizace vzduchu**

Co větrání ovlivňuje

- počet osob
- technologie
- další zdroje škodlivin
(vnitřní i vnější)
- konstrukce a umístění budovy
- vítr



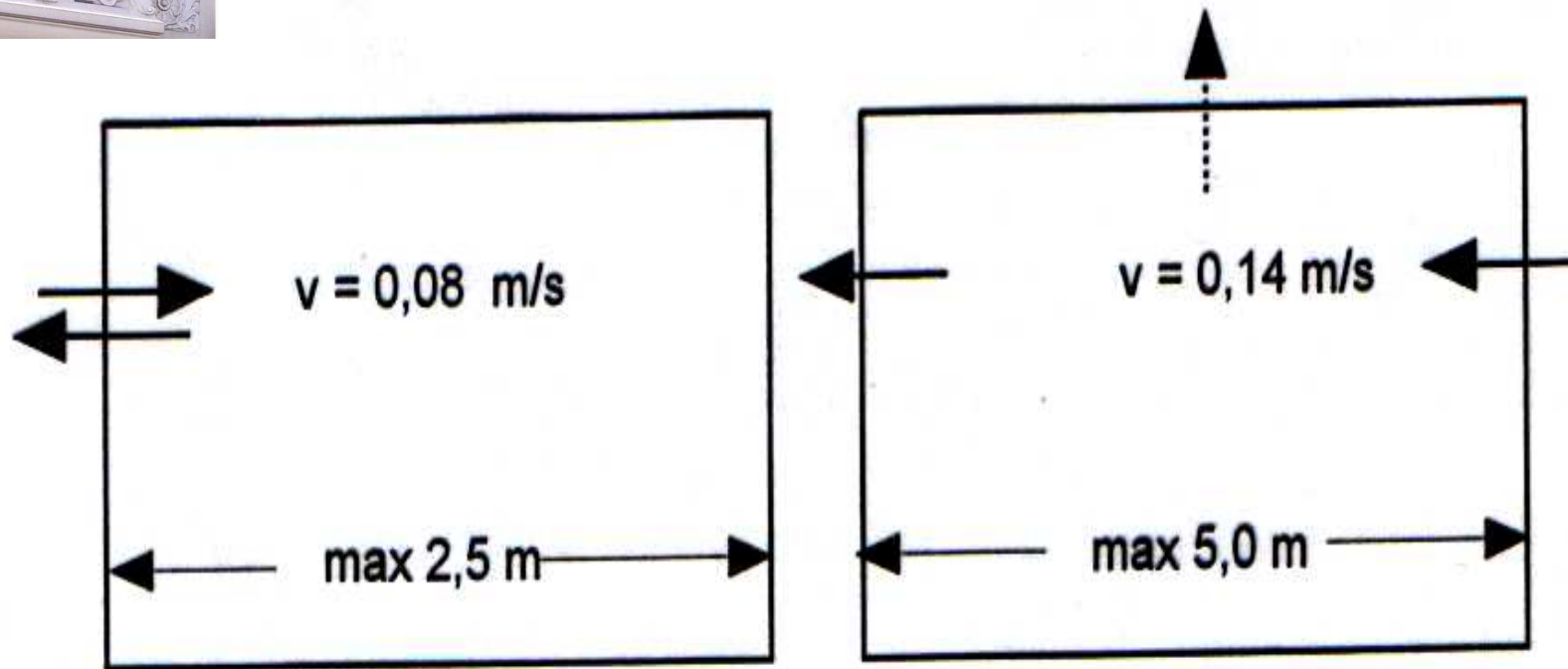
Výměna vzduchu v prostoru

způsobem

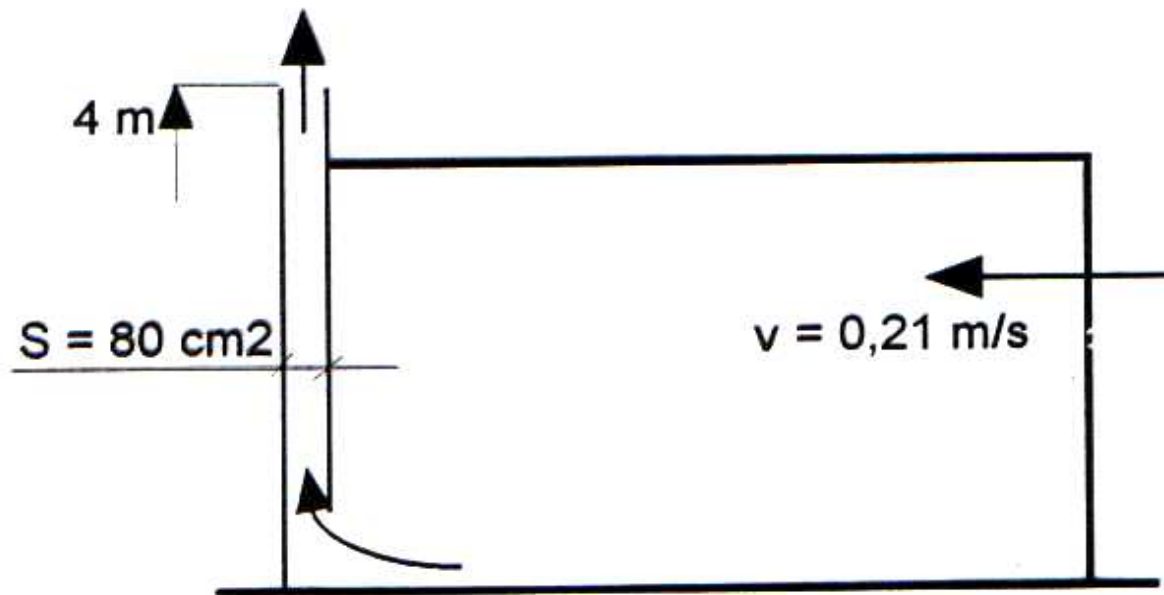
- ⊗ PŘIROZENÝM
- ⊗ NUCENÝM
- ⊗ PŘI POUŽITÍ KLIMATIZACE



Infiltrace, exfiltrace, provětrání



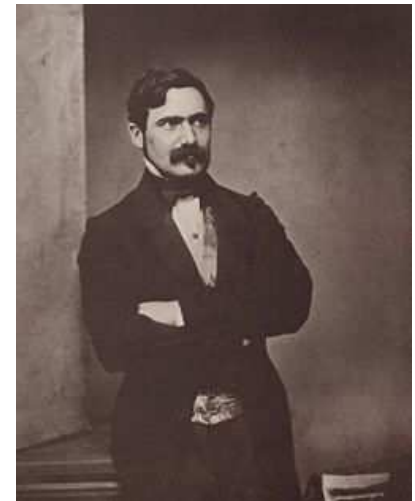
Šachtové větrání využití komínového tahu



Základní požadavek na větrání - Pettenkoferovo kritérium

Max von Pettenkofer (1818 - 1901)

- prokázal, že **hlavními metabolity jsou CO₂** a **vodní pára**
- měřil množství CO₂ ve vydechovaném vzduchu a zjistil, že produkce CO₂ závisí na fyzické aktivitě - v bdělém stavu produkuje **dospělý člověk cca 16 l/h CO₂**
- zjistil, že koncentrace CO₂ informuje ve vnitřním prostředí o kvalitě větrání
- stanovil jeho maximální přípustné množství na **0,1 obj. % = 1000 ppm**
- z toho vyplývá **dávka čerstvého vzduchu pro dospělou osobu 25 m³/h**



Vyhláška č. 343/2009 Sb., kterou se mění vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání

Zařízení	Výměna vzduchu m³/h
Učebny	20 až 30 na 1 žáka
Tělocvičny	20 až 90 na 1 žáka
Šatny	20 na 1 šatní místo
Umývárny	30 na jedno umyvadlo
Sprchy	150 až 200 na 1 sprchu
Záchody	50 na 1 kabinku, 25 na 1 pisoár

Funkce oken

- přirozené denní osvětlení místností
- oslunění místností
- výměna vzduchu v místnostech**
- výhled do vnějšího prostoru
- architektonický vzhled budovy

Typ okna a okenní spáry	Souč. spárové průvzdušnosti $i_{l,v}$ (m³/m.s.Pa^{0,67})
Okno jednoduché dřevěné netěsněné	<i>$1,9 \times 10^{-4}$</i>
Okno dřevěné zdvojené, netěsné spáry	<i>$1,4 \times 10^{-4}$</i>
Okno dřevěné zdvojené s těsněním KOVOTĚS	<i>$0,7 \times 10^{-4}$</i>
Okno těsněné neoprenovými profily	<i>$0,2 - 0,4 \times 10^{-4}$</i>
Okna dřevěná nebo plastová, těsněná kovová	<i>$0,10 - 0,40 \times 10^{-4}$</i>

Výměna vzduchu v místnosti 30 m³,

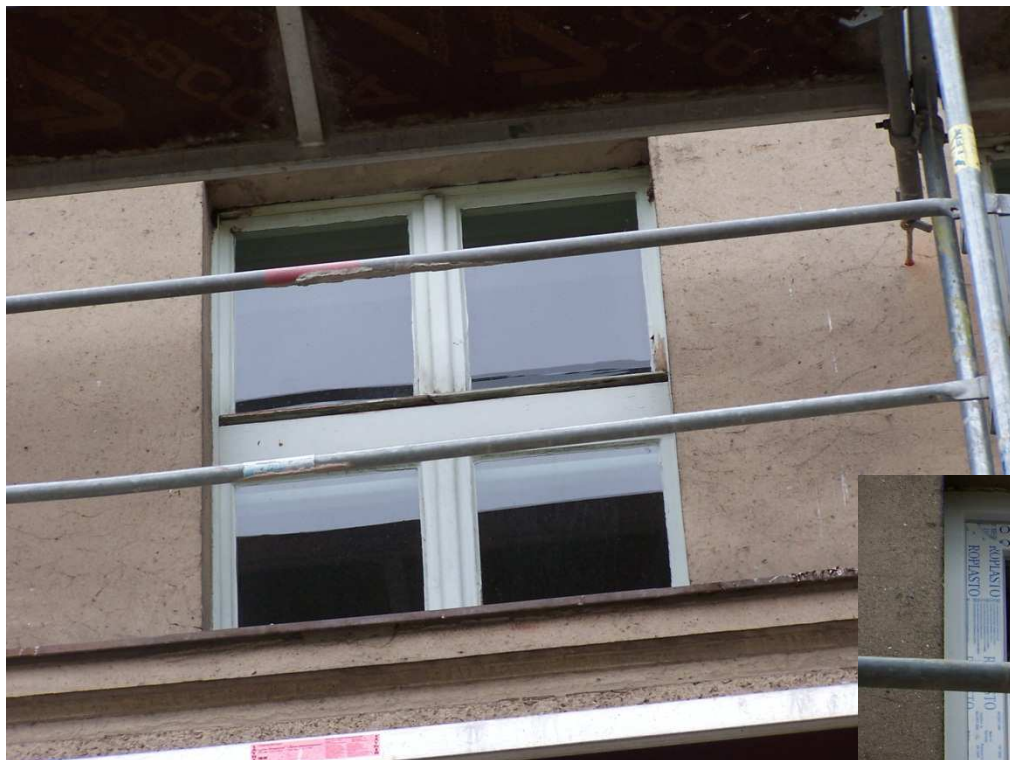
$i_{l,v}$ m ³ /m.s.Pa ^{0,67})	délka spár oken (m)	dávka vzduchu (m ³ .h ⁻¹)	násobnost výměny (h ⁻¹)
0,1 x 10⁻⁴	9,0	1,4	0,04
0,3 x 10⁻⁴	9,0	4,1	0,13
0,5 x 10⁻⁴	9,0	6,8	0,22
0,7 x 10⁻⁴	9,0	9,5	0,31
1,0 x 10⁻⁴	9,0	13,6	0,44
1,4 x 10⁻⁴	9,0	19,0	0,62

Infiltrace/exfiltrace
u stavebně těsných objektů
s těsnými nebo utěsněnými okny

$$\boxed{\approx 0},$$

tj. přirozené větrání není funkční a
nezajistí požadavky předpisů, resp.
min hygienický požadavek
na větrání

výměna oken



Příklad: třída 100 m³, 18 žáků a 1 učitel

minimálně (18 x 20) + 50 = 410 m³/hod,

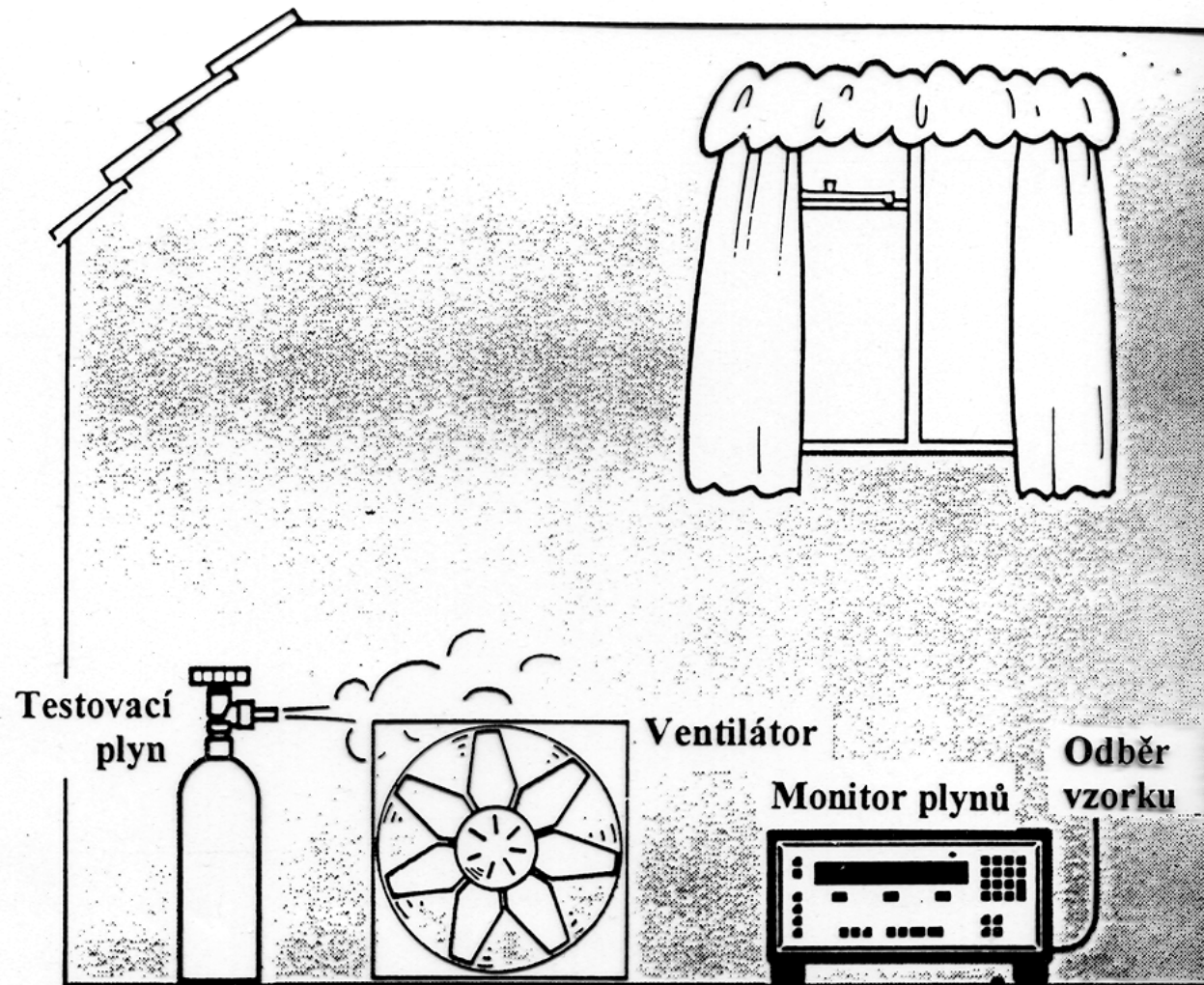
tj. výměna vzduchu 4 h⁻¹

Stávající problémy:

**Žáci začínají být nesoustředění, vzrůstá únava,
chybovost a nespecifické zdravotní problémy.**

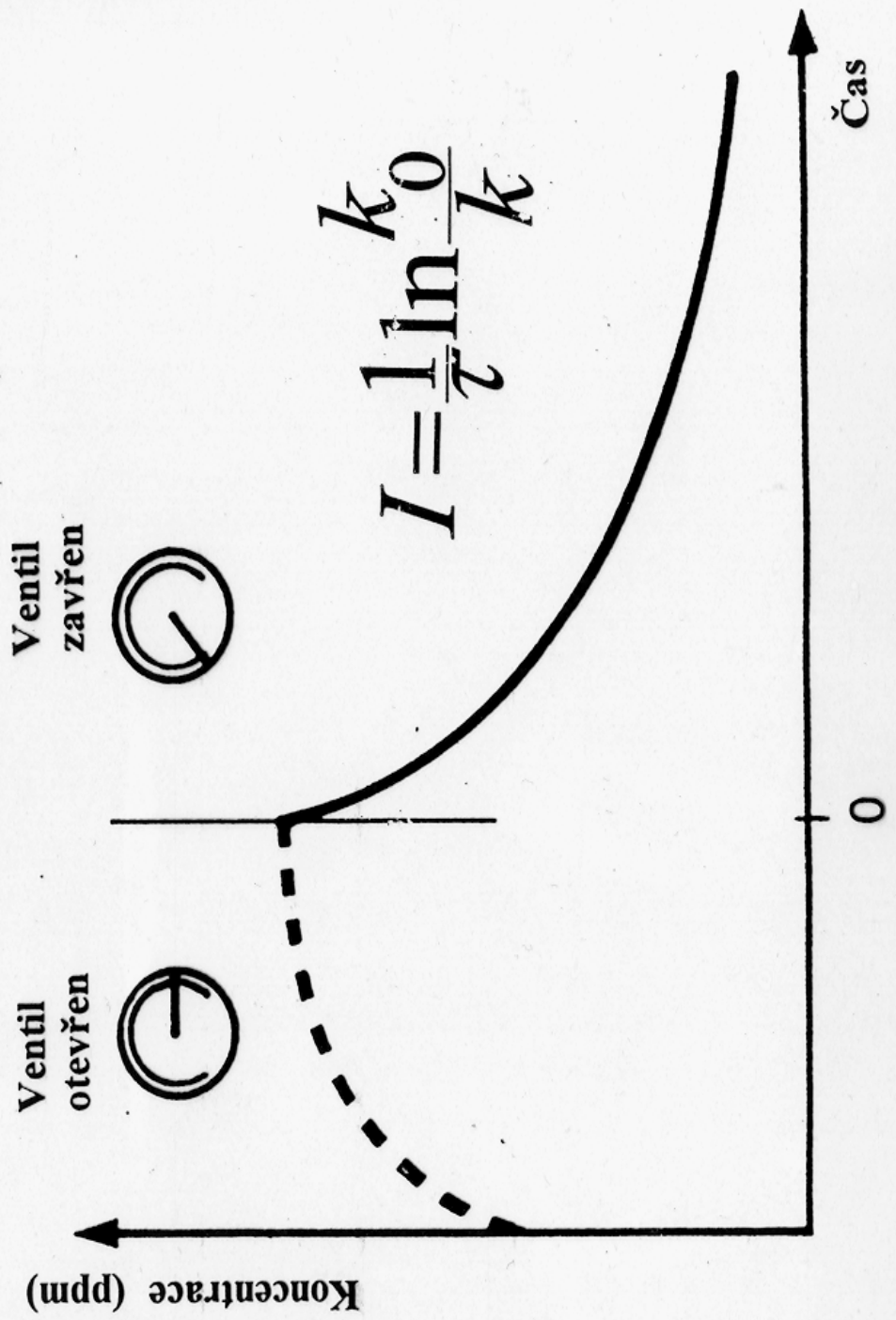
Růst plísní v prostorách budovy školy.

Kontrola přirozeného větrání



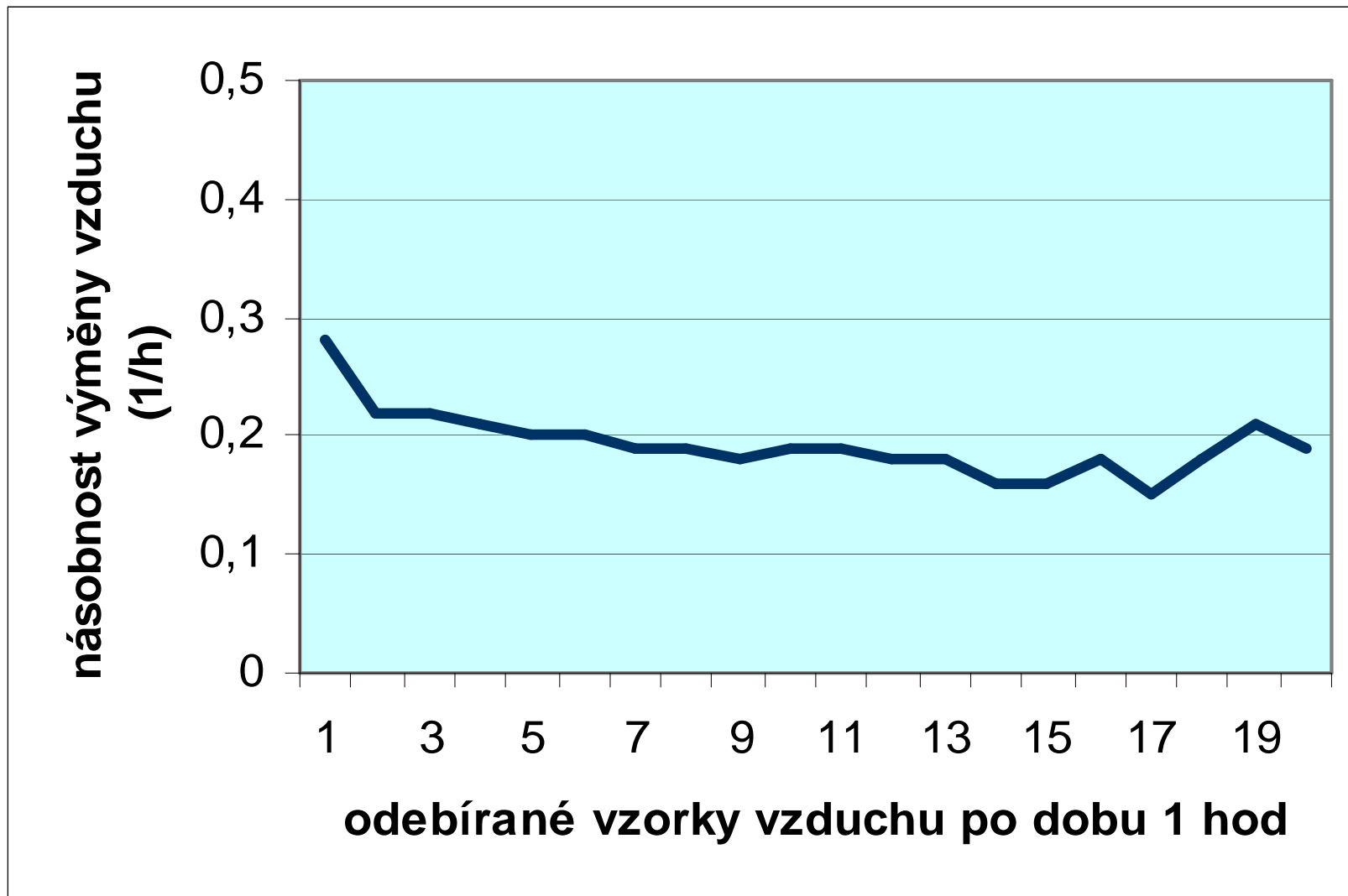
ČSN EN 12569 Tepelné vlastnosti budov - Stanovení výměny vzduchu v budovách –
Metoda změny koncentrace indikačního plynu

Postupné snižování koncentrace testovacího plynu





Intenzita větrání (třída ZŠ – 2. NP, závětrná strana budovy)



Vyhláška č. 20/2012 Sb. pobytové prostory

množství vyměňovaného venkovního vzduchu je **25 m³ na osobu/h**, nebo minimální výměna vzduchu **0,5 h⁻¹**. Jako ukazatel kvality vnitřního prostředí slouží oxid uhličitý **CO₂**, jehož koncentrace ve vnitřním vzduchu nesmí překročit hodnotu **1500 ppm**.

Požadavky na koncentraci CO₂

Stát	Maximální koncentrace CO₂
Finsko	Venkovní koncentrace + 1500 ppm, řízené větrání 800 ppm
Německo	1000 ppm
Velká Británie	HSE < 5000 ppm, CIBSE < 1000 ppm
Norsko	1000 ppm
Estonsko	1000 - 1500 ppm

ČSN EN 13779 – Koncentrace CO₂ v místnostech

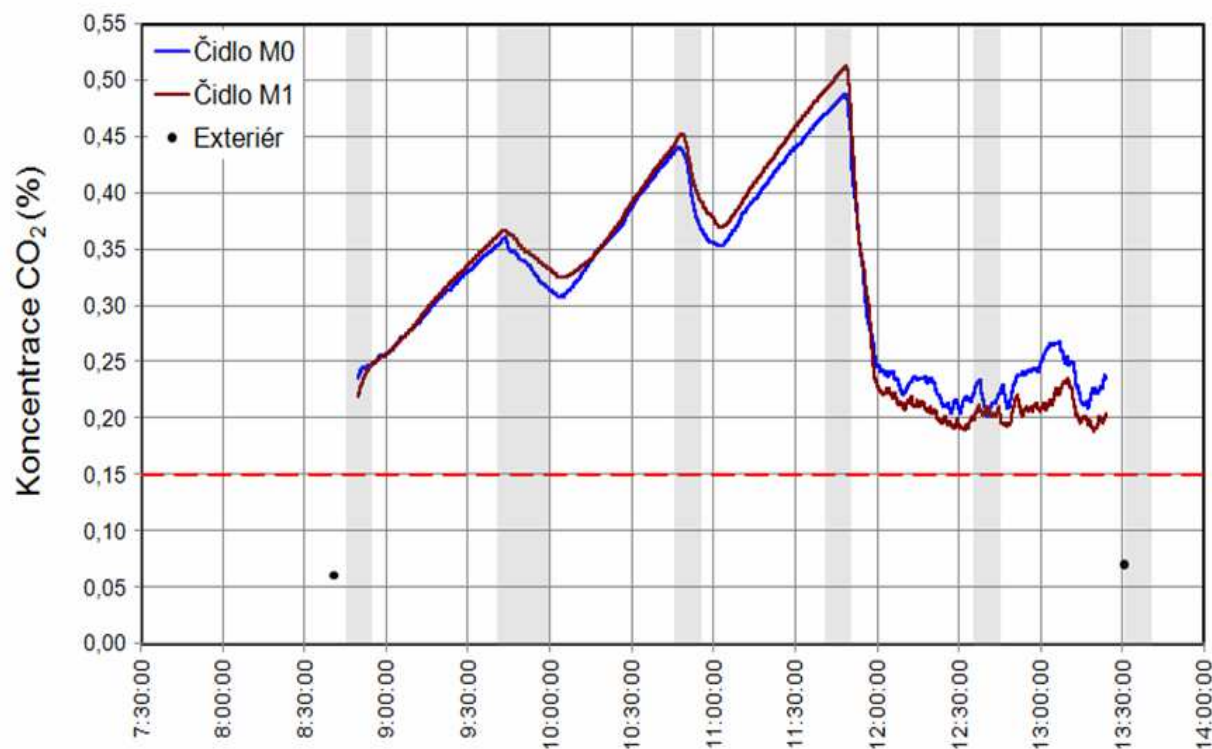
Třída kvality vnitřního vzduchu	Rozdíl koncentrace CO₂ proti koncentraci ve venkovním vzduchu [ppm]	
IDA 1 – vysoká	< 400	350
IDA 2 – střední	400 - 600	500
IDA 3 – středně nízká	600 - 1000	800
IDA 4 – nízká	> 1000	1200

Koncentrace CO₂

- **360 až 400 ppm:** koncentrace ve venkovním vzduchu
- **800 až 1 000 ppm:** doporučená úroveň CO₂ ve vnitřních prostorech
- **1 200 až 1 500 ppm:** doporučená maximální (reálná) úroveň CO₂ ve vnitřních prostorech
- **> 1 500 ppm:** nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace, ospalost, letargie ...
- **< 5 000 ppm:** maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
- **> 5 000 ppm:** nevolnost, zvýšený tep
- **> 10 000 ppm:** prokázány zdravotní problémy
- **> 40 000 ppm:** životu nebezpečné i při krátkodobém působení

MĚŘENÉ KONCENTRACE CO₂ – základní škola

Produkce CO₂ (protokol č. 5)



Průběh koncentrace CO₂ měřené učebny s nejvyšší dosaženou koncentrací. Měření probíhalo v listopadu, celou noc před výukou a během výuky byla okna uzavřena.

a) již při zahájení vyučování je koncentrace CO₂ vyšší než 1500 (ppm),

b) jasně patrný je vliv otevřených dveří během přestávky,

c) těsně před koncem vyučování je koncentrace CO₂ vyšší než 5000 (ppm),

d) koncentrace CO₂ ve venkovním prostředí je až 710 (ppm)

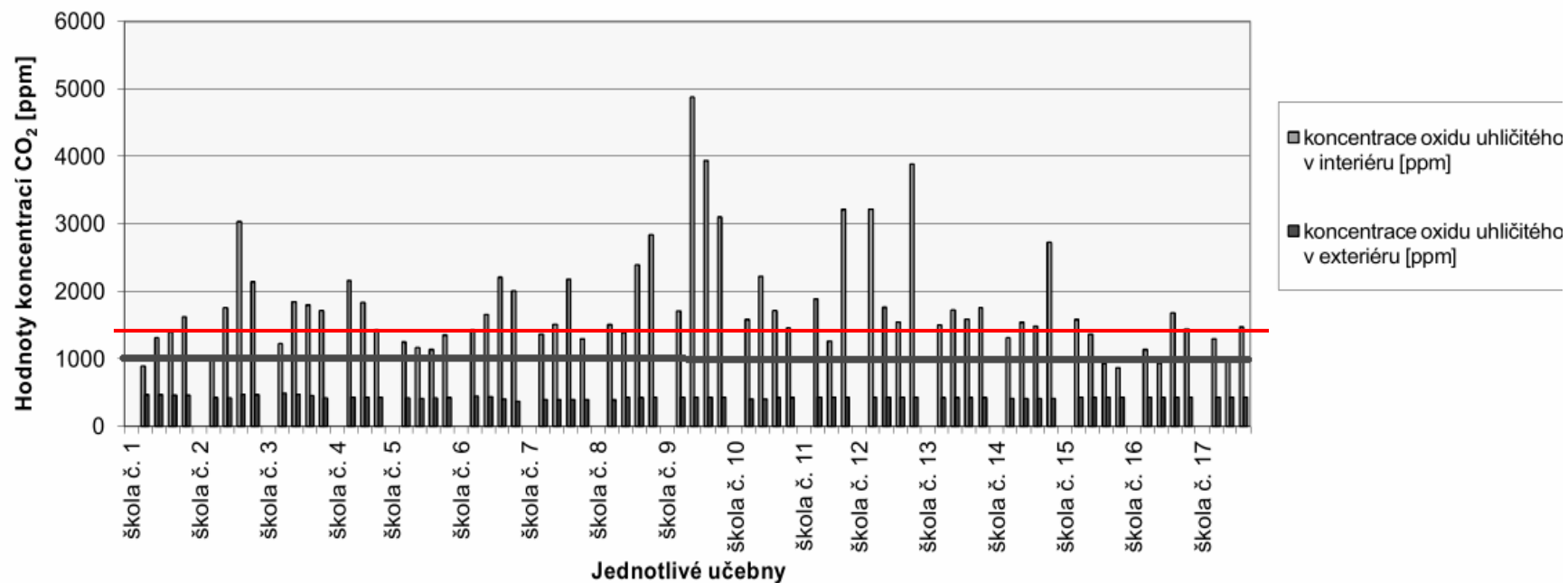
Průběh koncentrace CO₂ měřené učebny základní školy - okna uzavřena

MĚŘENÉ KONCENTRACE CO₂

Učebna	Objem místnosti	Počet žáků	Věková kategorie	Koncentrace CO ₂ MIN	Koncentrace CO ₂ MAX
	(m ³)	(-)	(roky)	(%)	(%)
1. A (ZŠ)	212	17	6	0,182	0,273
1. A (ZŠ)	212	15	6	0,091	0,137
1. A (ZŠ)	212	14	6	0,072	0,283
6. A (ZŠ)	203	23	14	0,121	0,311
6. A (ZŠ)	203	20	13	0,199	0,500
202 (SŠ)	255	16	18	0,084	0,202
213 (SŠ)	348	19	17	0,078	0,216
408 (SŠ)	214	14	17	0,085	0,169
207 (SŠ)	413	31	16	0,074	0,244

Kvalita vnitřního ovzduší ve třídách

Shrnutí průměrných hodnot koncentrací CO₂ v učebnách v průběhu jedné vyučovací hodiny



Zdroj: Energy Consulting Service, s.r.o.
kolektiv pod vedením Ing. Romana Šubrta

SNÍŽENÍ KONCENTRACE CO₂

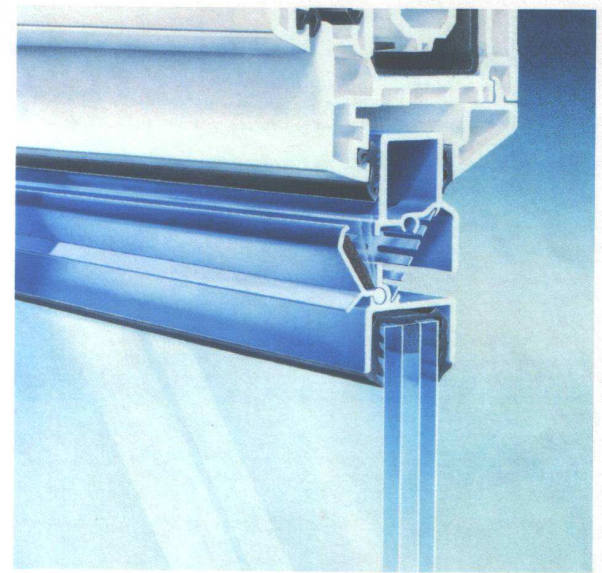
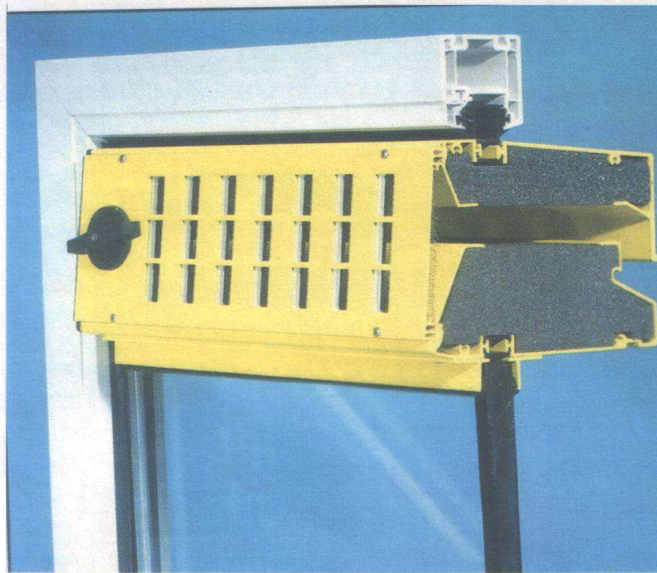
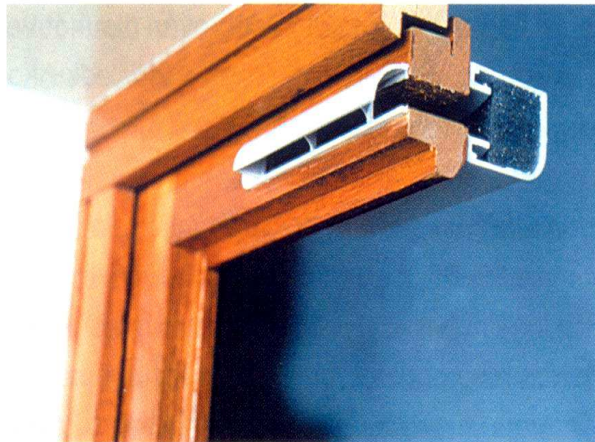
Opatření	Nevýhody a rizika
Otevírání oken během výuky, dostatečné provětrání učeben během noci	<p>Zvýšení roční spotřeby energie na vytápění.</p> <p>V zimních měsících hrozí riziko průvanu.</p> <p>Zejména ve třídách ZS prvního stupně a ve vyšších patrech může být dostatečné otevření okna blokováno.</p> <p>V přízemních učebnách celonoční otevření oken není možné.</p>
Instalace systému řízeného větrání s rekuperací tepla	<p>Pro většinu škol z hlediska investice nerealizovatelné.</p> <p>Vyšší náklady za spotřebovanou elektrickou energii pro pohon ventilátorů.</p> <p>Nezbytné jsou stavební úpravy (zásahy do svislých obvodových konstrukcí, vedení potrubních rozvodů).</p>

Vyhláška č. 343/2009 Sb., kterou se mění vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých

§ 18 (6)

Přirozené větrání musí být v případě těsných oken zajištěno systémy mikroventilace nebo větracími štěrbinami“.

**doplnění okenních konstrukcí větracími
elementy, které zajistí kontrolovatelný a
dostatečný přístup vnějšího vzduchu při
zachování požadovaného akustického
komfortu interiéru**



VĚTRACÍ ŠTĚRBINY



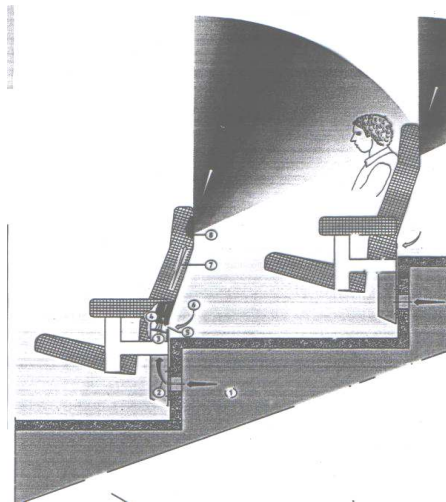
Gaudí 1905
Casa Batlló

Klimatizace

tepelně vlhkostní úprava venkovního filtrovaného vzduchu

- * centrální
- * zónová
- * místní
- * jednotková

nízkotlaká
vysokotlaká



**Pozor, SPLIT systém
není klimatizace ! NENAHRADUJE VĚTRÁNÍ !!!!!**

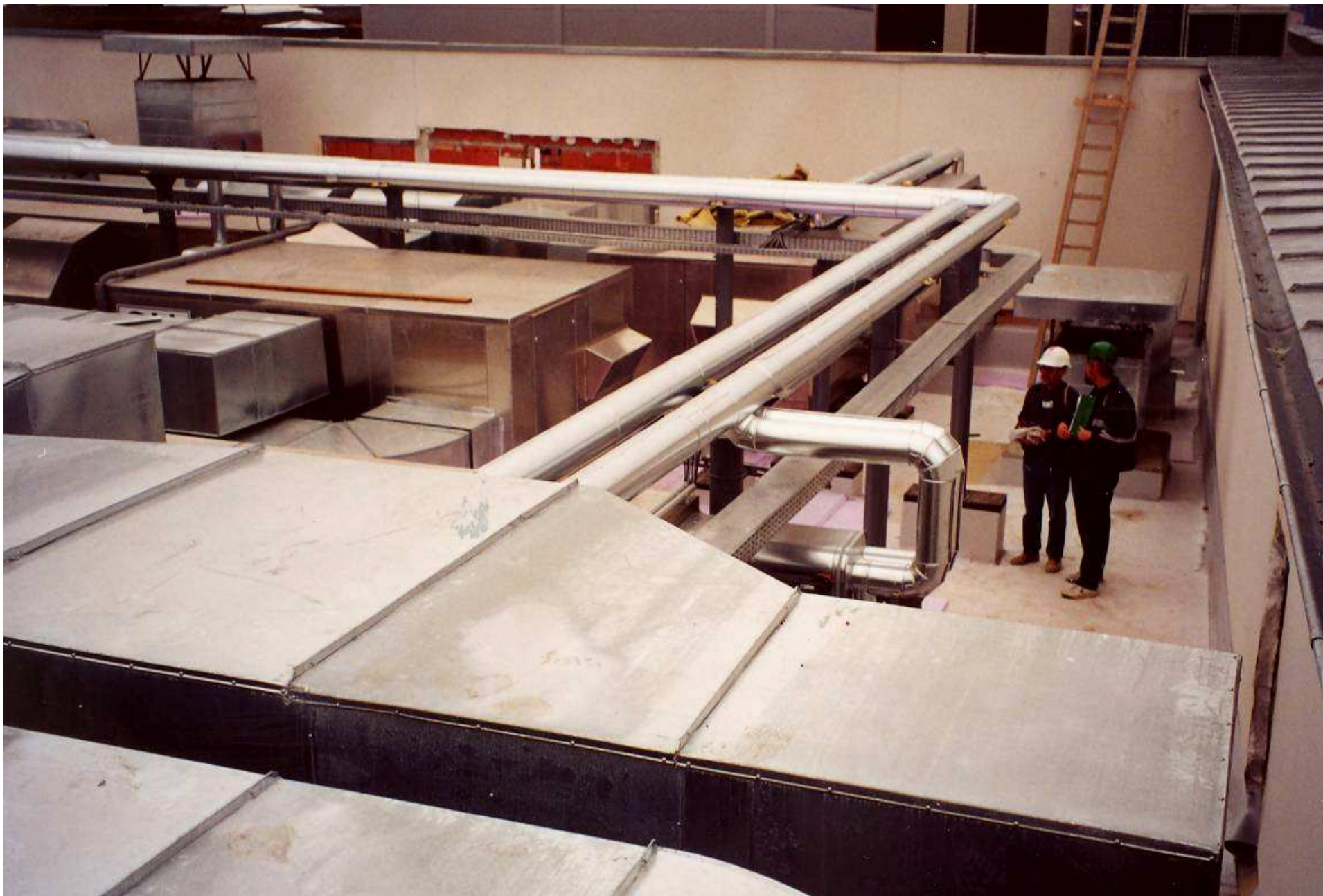


Problémy s klimatizací

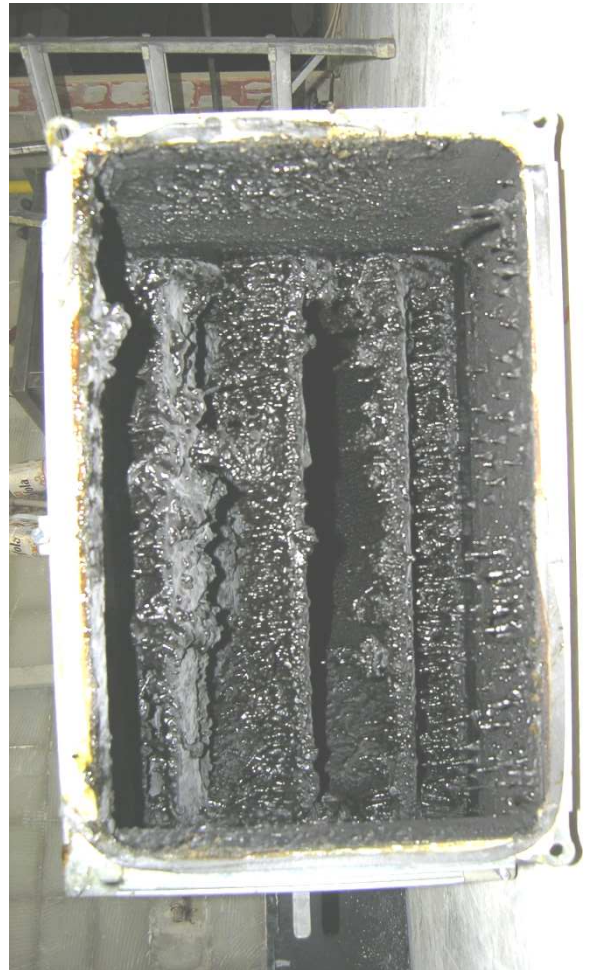
- **Investiční náročnost, stavební požadavky**
- **Provozní náročnost, včetně údržby**
- **Nelze přizpůsobit změně využití budovy
nebo technologie**

- **Individuální nesnášenlivost klimatizovaného
prostředí – SBS**

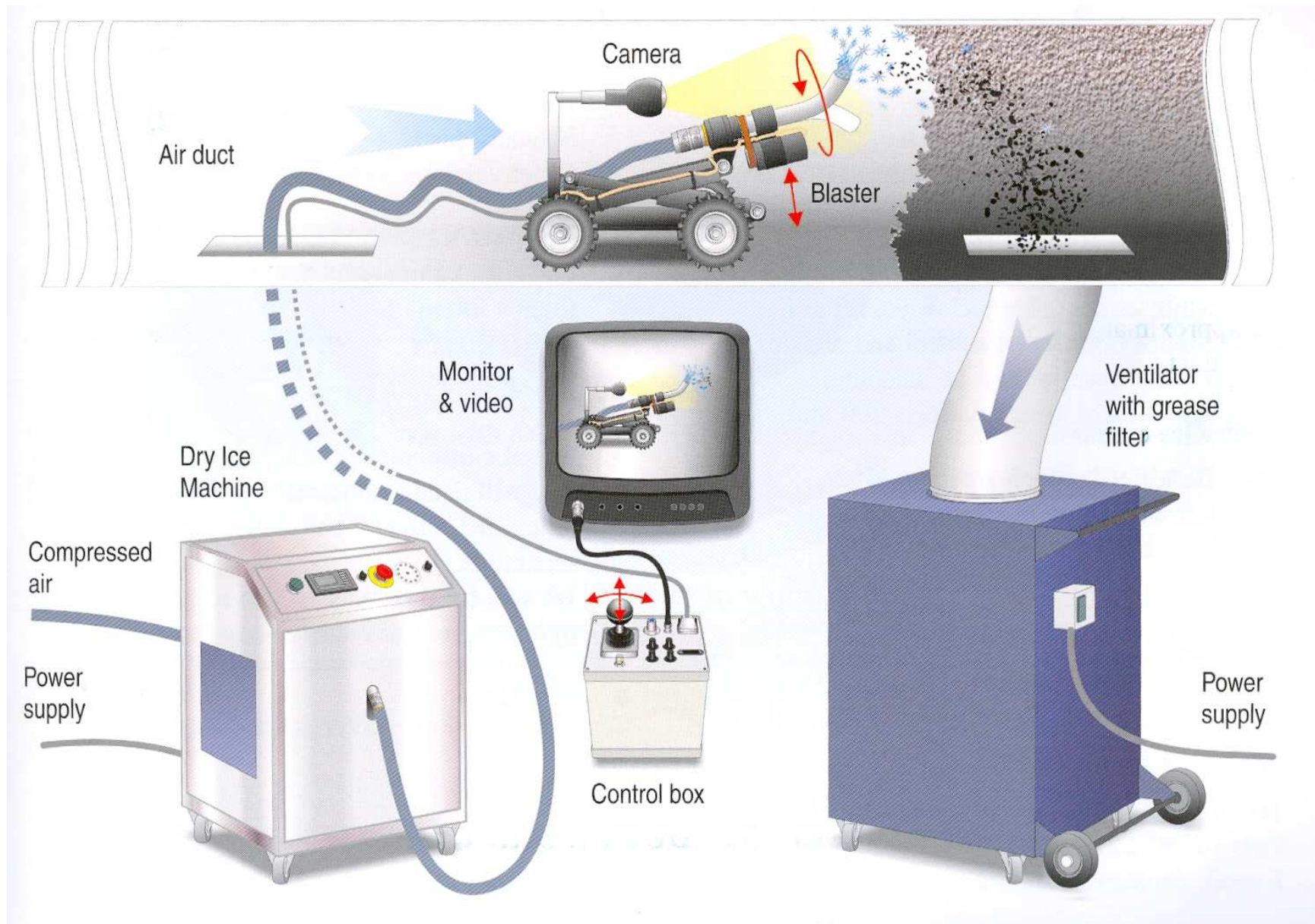
Strojovna VZT na střeše budovy







Čištění VZT



Povinnost čistit VZT

NV č. 361/2007 Sb., § 42, (5)

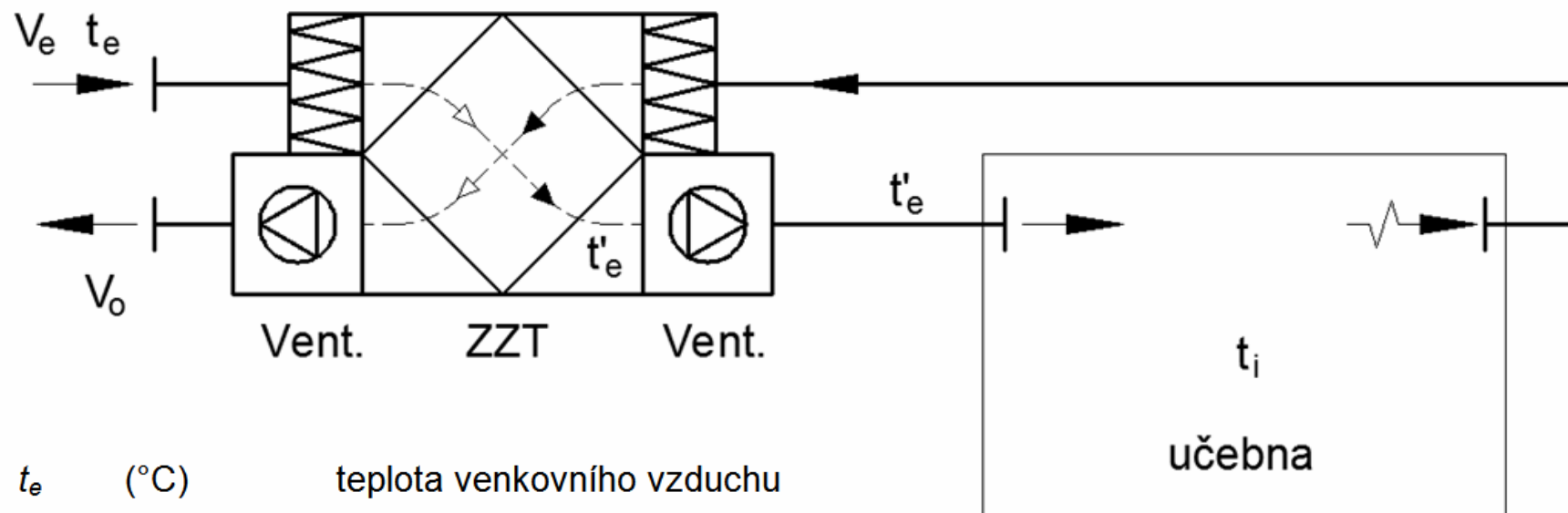
„Nánosy a nečistoty, které by mohly znečišťovat ovzduší pracoviště, a tím představovat riziko pro zdraví zaměstnance, musí být neprodleně odstraňovány.“

Vyhláška č. 343/2009 Sb., § 22, h)

Úklid v prostorách zařízení pro výchovu a vzdělávání a provozovnách pro výchovu a vzdělávání se provádí:

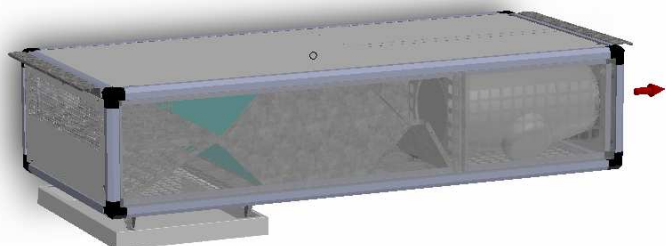
„Pravidelnou údržbou nuceného větrání nebo klimatizace a čištěním vzduchotechnického zařízení podle návodu výrobce nebo dodavatele.“

ŘÍZENÉ VĚTRÁNÍ S REKUPERACÍ TEPLA



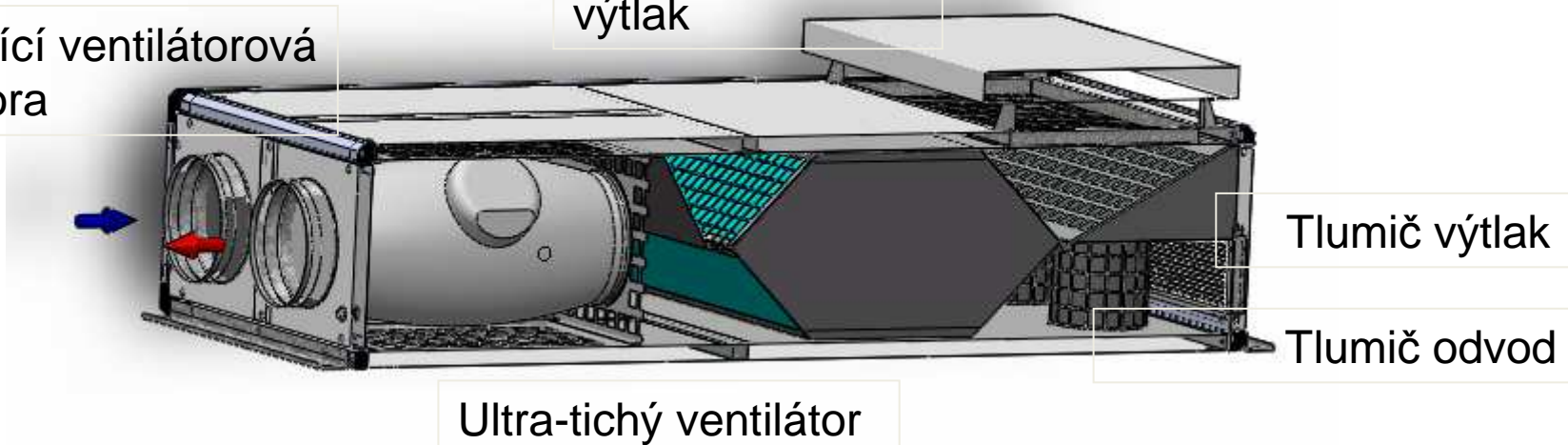
t_e	(°C)	teplota venkovního vzduchu
t_i	(°C)	teplota vzduchu v učebně
t'_e	(°C)	teplota venkovního vzduchu za ZZT
V_e	(m ³ /h)	průtok venkovního vzduchu
V_o	(m ³ /h)	průtok odpadního vzduchu $V_o = V_e$
ZZT		výměník zpětného získávání tepla
Vent		ventilátor

VZT jednotka



Tlumící ventilátorová komora

Tlumič deskový výtlak



Ultra-tichý ventilátor

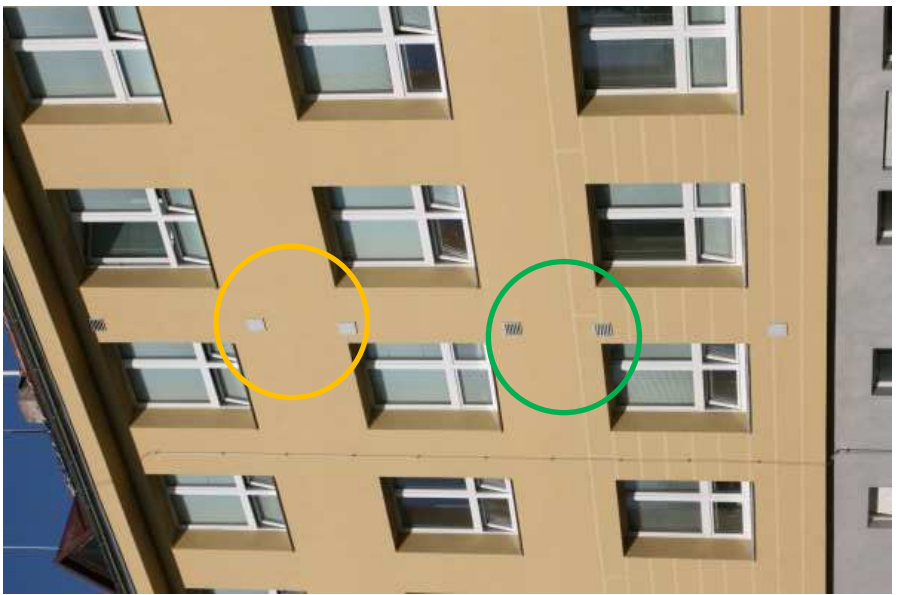
Tlumič výtlak

Tlumič odvod

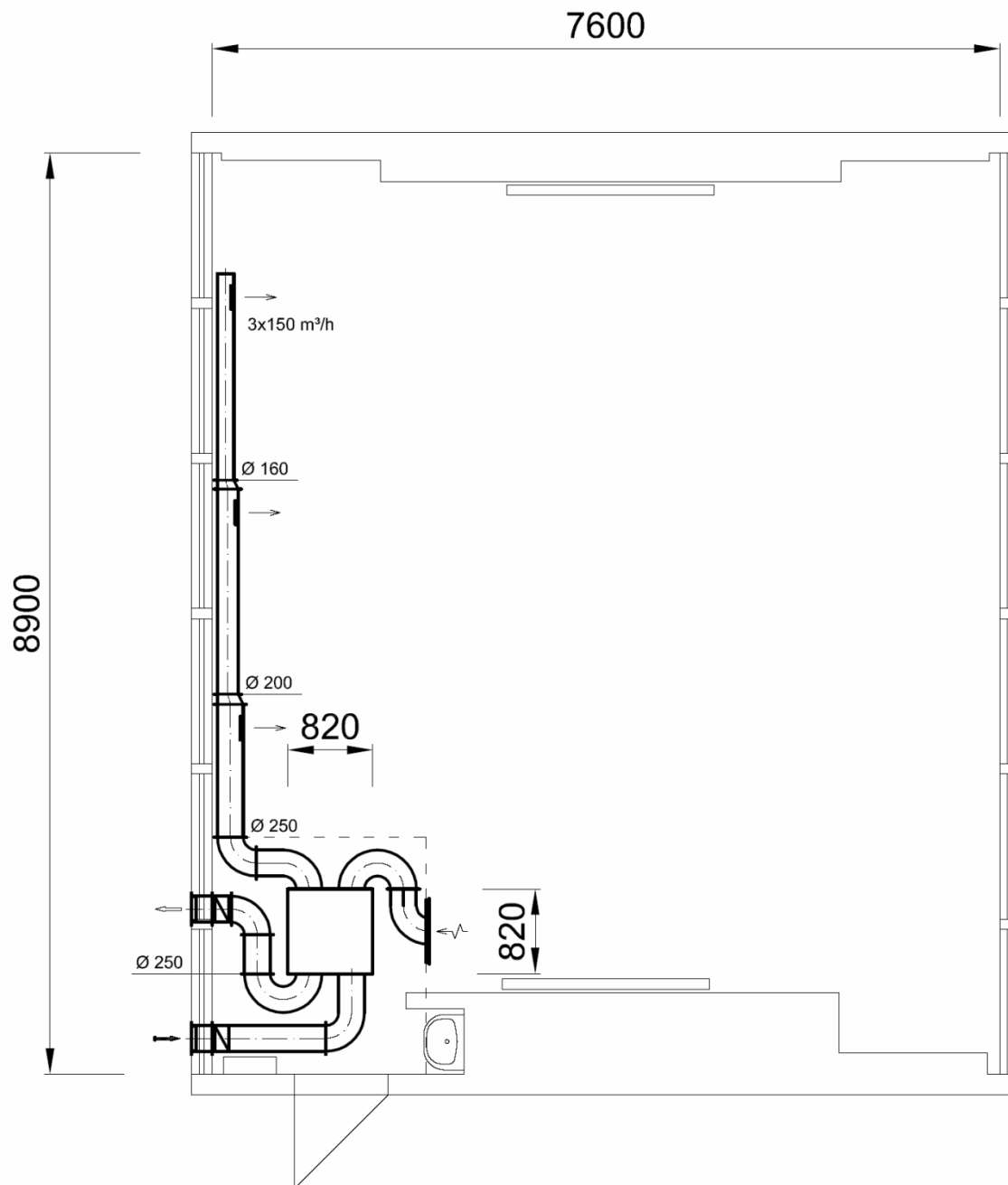
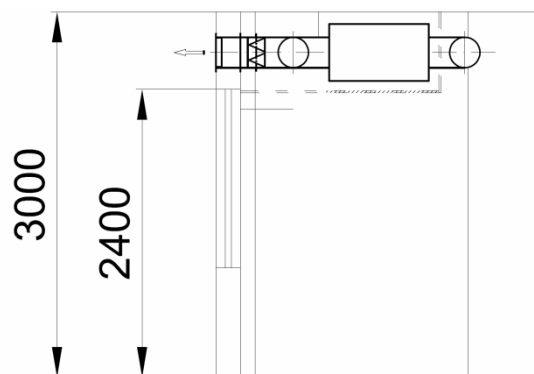
Umístění VZT jednotky





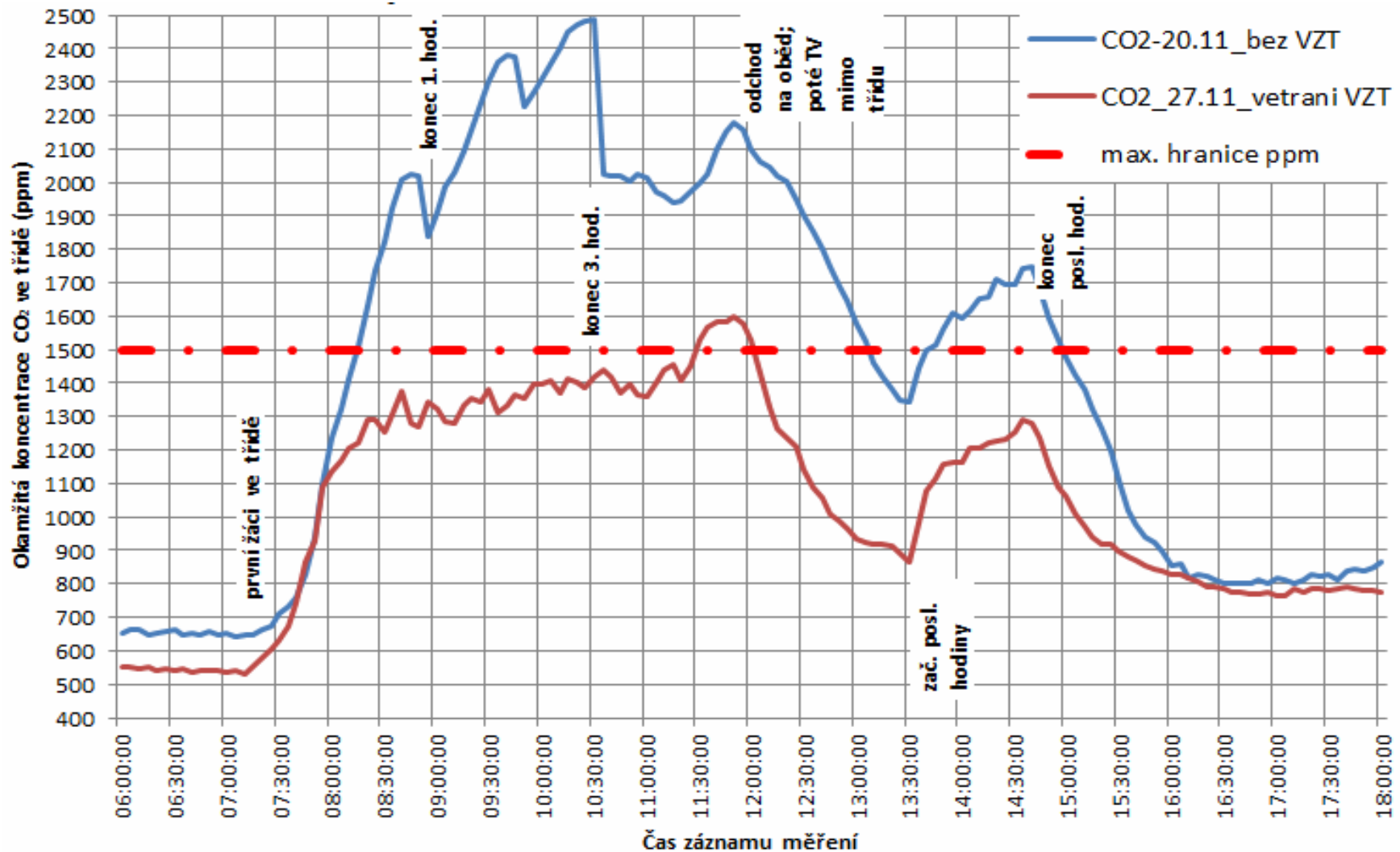


ŘÍZENÉ VĚTRÁNÍ S REKUPERACÍ TEPLA



Větrání školní třídy po rekonstrukci školy – bez VZT

- s VZT systémem s rekuperací tepla



Děkuji za pozornost a přeji krásný zbytek dne

