

# Větrání škol v souvislostech

V. Zmrhal a kol.





Společnost pro techniku prostředí



# Větrání škol v souvislostech

V. Zmrhal a kol.



Praha 2017

Společnost pro techniku prostředí

# Větrání škol v souvislostech

V. Zmrhal a kol.

## Na publikaci se autorsky podíleli:

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D. (kapitoly 1, 2, 5, 6 a odstavce 3.1, 3.2, 3.3.1, 3.4, 4.1 až 4.3)  
Ing. Marek Begeni (kapitola 5 a odstavce 2.4, 2.5, 4.3.2)  
doc. Ing. Jiří Hemerka, CSc. (odstavec 3.3.2)  
doc. Ing. Martin Jiránek, CSc. (odstavce 3.3.3 a 4.4)  
Ing. Miroslav Kučera, Ph.D. (odstavec 3.5)  
doc. Ing. František Skácel, CSc. (odstavec 3.3.1 část Azbest)

Vydala Společnost pro techniku prostředí, z. s. (ČSVTS)  
Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1  
stp@stpcr.cz, www.stpcr.cz  
ve spolupráci s TZB-info

Lektorovali: prof. Ing. František Drkal, CSc., prof. Ing. Jan Tywoniak, CSc.  
Sazba: Josef Zima  
Jazyková korektura: Ing. Štěpánka Homolová  
Tisk: Tiskárna Libertas, a.s.

Počet stran: 142  
Náklad: 500 ks  
1. vydání, Praha 2017

Odborná kniha

© Společnost pro techniku prostředí 2017  
OS 01 Klimatizace a větrání

ISBN 978-80-02-02718-8

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>11</b>
1.1 Vliv kvality vnitřního prostředí ve školách na zdraví a produktivitu žáků ...	12
1.1.1 Výsledky dostupných studií .....	13
1.2 Větrání škol .....	14
1.3 Kvalita vnitřního prostředí a energetická náročnost .....	15
1.4 Cíl publikace .....	16
<b>2 Historie a současnost větrání škol</b> .....	<b>19</b>
2.1 Historické požadavky .....	19
2.2 Historické systémy větrání škol .....	21
2.3 Novodobé předpisy .....	25
2.4 Současný stav .....	26
2.4.1 Právní předpisy .....	26
2.4.2 Statistika školských budov ČR .....	26
2.4.3 Dotazníkový průzkum stavu školských budov v ČR .....	27
2.5 Příklady měření kvality ovzduší na českých školách .....	33
<b>3 Vnitřní prostředí škol</b> .....	<b>39</b>
3.1 Produkce tepla a vodní páry od dětí a mladistvých .....	39
3.2 Tepelný a vlhkostní stav prostředí .....	42
3.2.1 Celkové hodnocení tepelného stavu prostředí .....	43
3.2.2 Požadavky na tepelný a vlhkostní stav vnitřního prostředí škol .....	43
3.3 Čistota ovzduší a znečišťující látky .....	44
3.3.1 Znečišťující látky z vnitřního prostředí .....	46
3.3.2 Znečišťující látky z venkovního ovzduší .....	53
3.3.3 Radon .....	63
3.4 Požadavky na větrání škol .....	68
3.4.1 Učebny .....	68
3.4.2 Ostatní prostory školy .....	71
3.5 Akustika .....	72
3.5.1 Právní a normativní dokumenty .....	72
3.5.2 Faktory ovlivňující akustiku budov .....	73
3.5.3 Hluk šířící se vzduchotechnickým zařízením .....	74
3.5.4 Měření a akustické výpočty .....	75

3.5.5	Vnitřní akustika	78
3.5.6	Příklad: Šíření zvuku ve vnitřním prostoru	80
<b>4</b>	<b>Opatření pro zlepšení stavu vnitřního prostředí ve školách</b>	<b>83</b>
4.1	Větrání	83
4.2	Výběr větracího systému	84
4.2.1	Přirozené větrání	84
4.2.2	Nucené větrání	85
4.2.3	Hybridní větrání	87
4.2.4	Obecné požadavky na provedení větracích systémů a související profese	87
4.2.5	Přehled větracích systémů a možnosti použití v učebnách	90
4.3	Pomocná opatření	95
4.3.1	Organizační opatření	95
4.3.2	Instalace čidel CO <sub>2</sub> v učebnách	95
4.4	Ochrana proti radonu	98
4.4.1	Ochrana nových staveb	98
4.4.2	Ochrana stávajících staveb	98
4.4.3	Nucené větrání jako protiradonové opatření	101
<b>5</b>	<b>Energetická náročnost větrání učeben</b>	<b>103</b>
5.1	Tepelná ztráta větráním	104
5.2	Tepelná bilance učebny ZŠ	106
5.2.1	Odvod tepelné zátěže	108
5.3	Potřeba energie na větrání	109
5.3.1	Potřeba energie pro pohon ventilátorů	109
5.3.2	Potřeba tepla pro ohřev větracího vzduchu	110
5.3.3	Náklady na ohřev větracího vzduchu	113
5.4	Celkové náklady na provoz větrání	114
5.4.1	Analýza větracích jednotek	114
5.4.2	Vyplatí se nucené větrání?	115
<b>6</b>	<b>Příklady řešení</b>	<b>117</b>
6.1.1	Větrání malotřídní základní školy	117
6.1.2	Univerzitní budova	119
6.1.3	Stavební řešení novostavby ZŠ	121
6.1.4	Použití lokální větrací jednotky v učebně ZŠ	124
6.1.5	Lokální větrání s podstropní jednotkou	125
6.1.6	ZŠ Slivenec	126
6.1.7	Novostavba mateřské školy	127
6.1.8	Závěry a zobecnění	128
	<b>Literatura</b>	<b>129</b>
	<b>Rejstřík</b>	<b>137</b>

## Anotace

V současné době je při výstavbě a rekonstrukci budov kladen značný tlak na snižování energetické náročnosti. Větrání budov a tvorba vnitřního prostředí bývá často zcela opomíjenou záležitostí. Výjimkou nejsou ani budovy škol, kde podstatnou část života tráví naše děti. Problematika se tak dotýká významné části populace. Vytvoření kvalitního vnitřního prostředí pro žáky škol by mělo být samozřejmostí. Málo se ví, že kvalita vnitřního ovzduší má vliv na lidské zdraví i na produktivitu. Cílem knihy je seznámit čtenáře s problematikou vnitřního prostředí a větrání ve školách v širších souvislostech. Kniha nabízí různé úhly pohledu na větrání škol, čerpá z historických pramenů, analyzuje současný stav vč. platných předpisů a zabývá se vlivy, které s tvorbou vnitřního prostředí souvisí. Samostatná kapitola je věnována energetické náročnosti větrání. V publikaci jsou prezentována konkrétní řešení a opatření, která by měla vést ke společenskému cíli – zlepšení kvality vnitřního prostředí na českých školách.

## Summary

During construction and refurbishment of buildings, there is currently considerable pressure to reduce their energy consumption. Building ventilation and indoor environmental management are often completely neglected issues. The exception are not school buildings, where our children spend significant part of their lives. Thus the issue affects a large part of the population. Maintaining a good quality indoor environment for students should be a matter of course. It is little known that indoor air quality affects human health and productivity. The aim of the book is to familiarize the readers with the issues of indoor environment quality and ventilation in schools in a broader context. The book shows different points of view on ventilation of schools, draws from historical sources, analyses the current state incl. applicable regulations and discusses the influences related to the maintenance of the indoor environment. An individual chapter is devoted to the energy performance of ventilation. The publication presents concrete solutions and measures which should lead to the common goal – improvement of the indoor environmental quality in Czech schools.





**Věnováno  
dětem...**

**...a dětem  
našich dětí**



# 1 Úvod

V moderní společnosti tráví lidé podstatnou část života ve vnitřním prostředí budov, udává se, že je to 80 až 90 % času. Výjimkou nejsou ani naše děti, které v rámci povinné školní docházky navštěvují budovy pro vzdělávání. V posledním desetiletí se ve školách masivně investovalo do zateplení a výměny oken za účelem snížení energetické náročnosti budov – úspory tepla. Úspory energie, které jsou jistě namístě, často vedou ke znehodnocení vnitřního prostředí. Kvalita vnitřního prostředí je však důležitým faktorem ovlivňujícím nejen pohodu člověka, ale rovněž jeho zdraví či produktivitu. Příčinou špatné kvality vnitřního prostředí v nových a rekonstruovaných školách je ve většině případů nedostatečné větrání, které se projevuje zejména v zimních měsících. Při nedostatečném větrání se v místnosti zvyšuje koncentrace škodlivin i teplota a vlhkost vzduchu, což na přítomné osoby působí negativně. Typickými příznaky jsou bolest hlavy, únava, ospalost, letargie, poruchy soustředění apod. Výše popsané nepříjemné pocity osob způsobené špatnou kvalitou vnitřního prostředí bývají souhrnně popsány jako tzv. syndrom nemocných budov (z angl. SBS – Sick Building Syndrome). Výskyt znečišťujících látek ve školách může mít vliv také na růst dětí, jejich schopnost učit se, stejně jako na jejich kulturní a sociální rozvoj [110].

Kvalitu vnitřního prostředí ovlivňují jak škodliviny ve vnitřním prostředí (biologické a chemické látky, částice), tak tepelné podmínky (teplota a vlhkost), a dále hluk, osvětlení a zápachy. Děti jsou v porovnání s dospělými citlivější k některým škodlivinám ve vnitřním prostředí, protože při dýchání vdechují větší objem vzduchu v poměru k jejich tělesné hmotnosti a jejich tkáně a orgány jsou ve vývoji [19], [38]. Vnitřní prostředí ve školách může žákům způsobovat zdravotní problémy, které přímo ovlivňují schopnost koncentrace a paměť (neurologické účinky) nebo jsou to nepřímé důsledky. Škodliviny ve vnitřním prostředí mohou například zhoršovat průběh onemocnění, jako je astma a alergie, díky čemuž mají žáci vyšší absenci nebo musí brát léky, které ovlivňují jejich koncentraci a výkon. Astmatické děti jsou známy zvýšenou citlivostí na účinky znehodnoceného vnitřního prostředí [110]. Astma je hlavní příčinou absence žáků s chronickým onemocněním, v USA zodpovídá přibližně za 20 % absencí na základních a středních školách [55]. Vliv na zdraví se často hodnotí právě počtem absencí. V roce 2006 dosáhl počet dětí v ČR trpících různými alergiiemi 32 %, od roku 1996 výskyt astmatu u dětí neustále roste [35]. Zdravotní problémy, které se u dětí projeví v době vývinu, mohou pokračovat i v dospělosti, což má dopad na celou společnost; přímým důsledkem je nárůst nákladů spojených s léčbou těchto onemocnění.

Základním prostředkem k zajištění požadované kvality ovzduší ve vnitřním prostředí je větrání, které je charakterizováno přívodem čerstvého, venkovního vzduchu do vnitřních prostor budov, podle potřeby vhodně upraveného, a odvodem vzduchu znehodnoceného. Vnitřní prostředí budov je zatíženo znečišťujícími látkami, které se uvolňují ze stavebních materiálů, nábytku, chemických přípravků, ale i z povrchu osob a z jejich činnosti. Znečišťující látky nelze z prostoru učeben prakticky odstranit, lze je však ředit, k čemuž se používá celkové větrání s přívodem a odvodem vzduchu. Po většinu roku může větrání přispět k odvodu tepelné zátěže.

## 1.1 Vliv kvality vnitřního prostředí ve školách na zdraví a produktivitu žáků

Málo se ví, že větrání má vliv na lidské zdraví. Nedostatečné větrání zvyšuje riziko výskytu krátkodobých a akutních zdravotních problémů, kam se řadí především infekční onemocnění, a pak i onemocnění dlouhodobá, někdy s velmi dlouhou latencí. K akutním problémům v nedostatečně větraných prostorech patří především nadměrná únava. I v prostředí bez závažných zdrojů znečišťujících látek nastává vlivem poklesu parciálního tlaku kyslíku a naopak nárůstu koncentrace oxidu uhličitého  $\text{CO}_2$  k útlumu organismu, který se projeví nepozorností, ospalostí, prodloužením reakčních časů apod. Děti působí unaveným dojmem, ztrácejí pozornost, stěžují si na bolesti hlavy, v krajním případě může dojít k nevolnosti. Veškeré tyto příznaky mohou mít negativní vliv na jejich studijní výsledky.

Pokud jsou ve vnitřním prostředí navíc přítomny významné zdroje chemických látek (nějaké jsou přítomny vždy), může být efekt výraznější, nebo se může projevit i zdravotními obtížemi, např. alergickými reakcemi na některé látky. Mnoho těkavých organických látek (VOC) je velmi významnými iritanty, které u alergiků mohou vyvolat akutní alergickou reakci. V neposlední řadě je třeba zmínit skutečnost, že některé z látek, které se relativně často vyskytují v budovách škol, patří mezi karcinogeny (např. formaldehyd, benzen). Mnohem běžněji se v nedostatečně větraných interiérech šíří infekční onemocnění přenášená vzduchem. Kromě onemocnění horních cest dýchacích, která jsou nejčastější příčinou (školních) absencí, sem patří i onemocnění závažnější, jako je chřipka nebo dětská exantémová onemocnění, ale také meningokokové infekce apod. V populaci díky medicínskému pokroku přibývá lidí, kteří jsou vnímavější k dříve běžným faktorům prostředí. Nejsou to jen alergici, přibývá dětí s poruchami imunitního systému, dětí s dlouhodobou léčbou závažných chronických onemocnění (nejen astmatu), jejichž léčba sama způsobuje větší náchylnost k dalším nemocem. Co dříve bylo výjimečné, stává se dnes standardem a prostředí škol by se mělo tomuto trendu přizpůsobit. Vytvoření kvalitního vnitřního prostředí pro osoby procházející stadiem vývinu se jeví jako naprosto samozřejmé, současný stav však tomu nenapovídá.

Dalším nežádoucím jevem, jenž provází nedostatečně větrané třídy ve školách, je zvýšená relativní vlhkost vzduchu, která může vést až ke kondenzaci vodních par na stěnách nebo oknech a následně k tvorbě plísní. Uvedené skutečnosti jsou často spojovány s nárůstem výskytu alergických obtíží u dětí [8], neboť plísně patří k významným alergenům. Tento jev je mnohem častější v rekonstruovaných budovách, kdy zateplení obvodového pláště budovy a výměna oken byly realizovány bez ohledu na vnitřní prostředí. Stejně tak je možné setkat se i s rostoucí teplotou vzduchu ve třídách, kdy tepelná zátěž (teplo produkované osobami, osvětlením, elektrickým zařízením aj.) často převyšuje tepelnou ztrátu.

### 1.1.1 Výsledky dostupných studií

Studie z posledních desetiletí potvrzují souvislost mezi špatnou kvalitou vnitřního prostředí a nárůstem alergií a imunitních onemocnění. Podle zprávy světové zdravotnické organizace (WHO, 2002) odpovídá stav vnitřního prostředí za významnou část nákladů na léčbu imunitních onemocnění. Dostupné studie se zabývají hodnocením vlivu škodlivin ve vnitřním prostředí, tepelného stavu prostředí a budovy jako takové (použitých materiálů, použitých systémů větrání a vytápění apod.). Některé studie poukazují na souvislosti mezi kvalitou vnitřního prostředí, zdravím, školní docházkou a produktivitou.

Ve studii z roku 1996 poukázal Smedje [57] subjektivním hodnocením na pokles výkonnosti žáků při snižování intenzity větrání. Upozornil na souvislost mezi nárůstem pevných částic ve vzduchu a snižováním schopnosti koncentrace při výuce. Zhoršenou výkonnost zaznamenal při zvýšené koncentraci formaldehydu v hodnoceném prostoru. Další studie potvrdily, že při vyšší koncentraci  $\text{CO}_2$  poukazující na nedostatečné větrání mají žáci horší výsledky v jednoduchém počítačovém testu hodnotícím jejich výkonnost [46]. Pilotto [49], naznačil souvislost mezi hodinovou maximální koncentrací  $\text{NO}_2$  a absencí dětí ve škole při překročení koncentrace 80 ppm. Mnoho studií se zabývalo vlivem teploty na výkonnost a absenci dětí ve školách (Pilcher [50]; Sensharma [56]; Wyon [69]). Obecně se potvrdily závěry z výzkumu kancelářského prostředí – s nárůstem teploty v místnosti klesala výkonnost a zvyšoval se počet dětí stěžujících si na únavu, malátnost, nevolnost. Vliv relativní vlhkosti na výkonnost a absenci žáků nebyl jednoznačně prokázán. Studie v laboratorních podmínkách [70] neprokázala pokles výkonnosti při nárůstu relativní vlhkosti a při současném mírném nárůstu teploty.

Výsledky patrně nejvýznamnější studie z roku 2007 (Wyon [68]) potvrdily, že schopnost dětí vykonávat školní práci (testováno zadáváním matematických a jazykových úkolů) je velmi závislá na kvalitě ovzduší ve třídě. Tato závislost byla potvrzena i při relativně dobrém větrání tříd, kdy koncentrace  $\text{CO}_2$  jen lehce překročily 1000 ppm. Ve většině hodnocených tříd však bylo zjištěno nedostatečné větrání, měřené koncentrace  $\text{CO}_2$  běžně překračovaly hodnoty 2000 ppm. Odstraňování částic prachu ze vzduchu ve třídě jeho čištěním a cirkulací nemělo významný vliv na vnímání kvality prostředí ani pohodu přítomných dětí. Pro dosažení zlepšení bylo proto doporučeno zvýšení intenzity větrání, ne pouze čištění vzduchu a jeho cirkulace. Studie nedokázala určit, zda měly negativní vliv na přítomné žáky škodliviny z prostředí (stavební materiály, vybavení tříd apod.) nebo látky produkované lidmi. Byla však vyloučena možnost, že tyto nepříznivé účinky způsobují částice vstupující do tříd z venkovního prostředí. Vyloučen byl i negativní vliv systému nuceného větrání, způsobený například zanesenými filtry apod. Vybavení třídy otevíratelnými okny nezaručilo dostatečné větrání, neboť učitelé se postupně adaptovali na horší kvalitu vzduchu a nepocítovali nutnost okna otevřít. Pro zlepšení kvality vnitřního vzduchu bylo proto doporučeno instalovat čidla  $\text{CO}_2$ , která by při překročení určité hranice signalizovala učitelům, že je třeba větrat. Výkon žáků byl velmi závislý na teplotě ve třídě, snížení o pár stupňů Celsia přineslo významné zlepšení výsledků v testech. Vliv těkavých organických látek nebyl ve studiích jednoznačně prokázán.

V našich podmínkách jsou podnětné výsledky studie SZÚ [44]. Měření kvality vnitřního prostředí ve 141 učebnách základních škol po celé republice poukazuje na problémy vnitřního prostředí základních škol související s výskytem znečišťujících látek.

Asi nejrozsáhlejší studií, která se týkala souvislosti mezi znečištěním vnitřního prostředí škol a zdravím dětí, byl celoevropský projekt SINPHONIE, na kterém se podílelo 23 států vč. ČR. I když výsledky závěrečné zprávy [110] jsou alarmující (špatná situace není zdaleka jen u nás), nebyly do této chvíle podniknuty téměř žádné kroky, které by vedly ke zlepšení situace na českých školách. Vyhláška č. 410/2009 Sb. [91] obsahuje do dnešního dne ustanovení, která bohužel nevedou k nápravě. Otázkou je, zda na změnu předpisů není již pozdě, případně co by tato změna přinesla. Většina českých škol totiž procesem přestavby v podobě „pouhé“ výměny oken a zateplení již prošla (viz dále).

## Znečištění vnitřního prostředí škol a zdraví

V letech 2010 – 2012 byl ve 23 státech Evropské unie vč. ČR realizovaný rozsáhlý výzkum (projekt SINPHONIE) týkající se vztahu mezi znečištěním vnitřního prostředí a zdravím [32]. Monitoringu se zúčastnilo celkem 114 základních škol a vyhodnocení se týkalo 5 175 školáků. V rámci projektu byly identifikovány některé zdravotní problémy, které prokazatelně souvisí se znehodnocením vnitřního prostředí:

- až 1,5 % školáků mělo ve škole astmatický záchvat, asi 1/3 z nich v učebně,
- mezi školáky bylo diagnostikováno astma v 8 %, nosní alergie v 9 % a ekzémy v 17 % případů,
- mezi všemi dětmi byl nejběžnějším nedávným zdravotním příznakem ucpaný nos (47 %), dále rýma, nachlazení, bolest hlavy, pocit únavy a bolest v krku (36 %),
- děti, které trpí alergickým onemocněním, jsou mimořádně náchylné/citlivé, proto pouhé vystavení účinkům znečištěného ovzduší může vyvolat příznaky onemocnění,
- negativní účinky vnitřního prostředí se nevyhýbají ani učitelům, mnoho z nich mělo respirační onemocnění, 17 % z nich trpělo kašlem nebo ekzémy, 27 % z nich mělo nosní alergie a 9 % astma, které diagnostikoval lékař.

Zdroj: [www.sinphonie.eu](http://www.sinphonie.eu), SZÚ

## 1.2 Větrání škol

Větrání škol je často zcela opomíjeno, a to nejen v podmínkách ČR [110]. Většina učeben školských budov je vybavena těsnými okny, která jsou z hlediska větrání zcela nefunkční (vč. systémů tzv. „mikroventilace“). Větrání se předpokládá přirozené s tím, že okna jsou otevíratelná nebo výklopná. Přirozené větrání však závisí na mnoha faktorech (venkovní klimatické podmínky, kvalita venkovního ovzduší, umístění učebny v budově, umístění budovy v krajině/zástavbě, stavební řešení budovy apod.). Základní úlohu pak sehrává lidský faktor. Často se tak stává, že přirozené větrání nezajistí požadovanou kvalitu vnitřního ovzduší. Největší problémy nastávají zejména v zimním období, kdy je přirozené větrání okny zcela potlačeno. Důsledkem této situace je, že většina škol v ČR nemá zajištěnu jednu ze základních hygienických podmínek – větrání. Vnitřní prostředí v učebnách většiny škol je velmi často nevyhovující.

Tvorba požadavků a dohled na kvalitu vnitřního prostředí ve školských budovách je v kompetenci MZČR (Vyhláška č. 410/2005 Sb. [91]). Ministerstvo zdravotnictví tak má na stav vnitřního prostředí ve školách zásadní vliv. Pouhé požadavky na větrání však problematiku nevyřeší a tvorba vnitřního prostředí ve školách se neobejde bez konkrétního technického opatření. Úkolem technika je navrhnout takové řešení, které bude splňovat svou funkcí zákonné požadavky. Povinnost větrat by neměla být přenášena na učitele, ten je ve škole proto, aby učil. Podmínky pro jeho práci, tedy i větrání, by měly být zajištěny automaticky.

Vhodným ukazatelem znečištění vzduchu v učebnách škol při větší přítomnosti osob je oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>). I když CO<sub>2</sub> většinou není jedinou znečišťující látkou ve vnitřním prostředí budov, dobře vypovídá o intenzitě větrání a kvalitě ovzduší v místnostech, kde jsou významným zdrojem škodlivin právě lidé (CO<sub>2</sub> je metabolit). Koncentrace CO<sub>2</sub> závisí na počtu a aktivitě přítomných osob (viz dále). Oxid uhličitý v koncentracích pod 5000 ppm sice není zdraví nebezpečný, nicméně zvýšený výskyt CO<sub>2</sub> (nad 1500 ppm) v místnosti je spojen s negativními pocity u lidí.

Česká republika patří díky svému geologickému podloží mezi země s nejvyšší koncentrací radonu ve vnitřním ovzduší budov. V případě rekonstrukce starších typů škol může dojít k negativnímu působení radonu (z podloží nebo ze stavebních materiálů) na zdraví člověka, a je tedy nezbytné realizovat patřičnou ochranu. V řadě případů může tuto ochranu plnit právě větrání.

### 1.3 Kvalita vnitřního prostředí a energetická náročnost

Problematika vnitřního prostředí má být řešena současně se zateplováním budov a výměnou oken, což jsou aktivity podporované možností čerpání finančních prostředků z dotačních programů [117] v souvislosti se snižováním energetické náročnosti budov. Dotační tituly se do roku 2014 týkaly zejména úsporných opatření v podobě zateplování obálky budovy a výměny oken nebo výměny zdroje tepla. I když jsou energeticky

#### Otazníky nad vyhláškou MZČR ...

Vyhláška MZČR č. 410/2005 Sb., v platném znění, obsahuje ustanovení, která nejsou zcela jednoznačná.

V §18 (6) se praví „Přirozené větrání musí být v případě těsných oken zajištěno systémy mikroventilace nebo větracími štěrbinami.“, na druhou stranu v příloze č. 2, v tab. 1 je uveden požadavek na množství vzduchu pro učebny „20 – 30 m<sup>3</sup>/h na žák“.

Při současném požadavku na výplně otvorů nelze „mikroventilaci“ ani štěrbinami takový průtok zajistit. Žádný výrobce oken neuvádí průvzdušnost pro tzv. „mikroventilaci“. Je to pouhá poloha okna, někdy jen okenní klíčky.

Místo toho, aby vyhláška hovořila jednoznačně, vyvstává po jejím přečtení více otázek než odpovědí.

Bohužel i díky této vyhlášce je kvalita vnitřního prostředí v učebnách škol často nevyhovující.



úsporná opatření namísto, musí být prováděna tak, aby nedocházelo ke znehodnocení vnitřního prostředí.

Ke zlepšení situace by měla vést iniciativa Ministerstva životního prostředí ČR prostřednictvím Státního fondu životního prostředí. SFŽP vyhlásilo výzvu pro podávání žádostí o podporu z Operačního programu Životní prostředí (OPŽP) pro období 2014 – 2020, která se zaměřuje i na projekty energetických úspor u veřejných budov. U budov pro vzdělávání jsou podporována jen taková úsporná opatření (zpravidla zateplování a výměna oken), kdy je zároveň vyřešeno větrání učeben. Důraz je kladen na celková nebo dílčí energeticky úsporná opatření a zvýšení využití obnovitelných zdrojů energie včetně projektů využívajících takzvané energetické služby se zárukou (EPC). Dotaci mohou získat majitelé veřejných budov (města a obce) na území celé České republiky. Podporu lze získat na zateplení obvodového pláště budovy, výměnu a renovaci otvorových výplní, realizaci opatření majících prokazatelně vliv na snížení energetické náročnosti budovy nebo zlepšení kvality vnitřního prostředí. Podporovány jsou projekty nuceného větrání se zpětným získáváním tepla, projekty na výměnu zdroje tepla pro vytápění nebo přípravu teplé vody s výkonem nižším než 5 MW a projekty na využívání obnovitelných zdrojů energie.



**Obr. 1.1** Kvalita vnitřního prostředí a působení jednotlivých vlivů (schematické znázornění)

Zda se tato iniciativa ujme, je otázkou času, ale i vůle politických činitelů, státních úředníků, kteří o dotačních programech rozhodují. Problematika vytváření kvalitního vnitřního prostředí ve školách není jednoduchá, jak by se na první pohled mohlo zdát, a zahrnuje řadu vlivů (viz ilustrativní schéma na obr. 1.1).

## 1.4 Cíl publikace

V souvislosti se snižováním energetické náročnosti budov je problematika kvality vnitřního prostředí a větrání ve školách aktuálním tématem. Cílem publikace je upozornit na současný nevyhovující stav vnitřního prostředí v učebnách škol, vysvětlit souvislosti

### Cestou ke zlepšení kvality vnitřního prostředí ve školách jsou dotační tituly

Do roku 2014 podporoval stát formou dotačních titulů (OPŽP) pouze zateplování obvodového pláště a výměnu oken. V současnosti jsou podporována i řešení s nuceným větráním se zpětným získáváním tepla.

mezi jednotlivými vlivy a nabídnout konkrétní technická nebo organizační opatření, která povedou ke zlepšení tohoto stavu. Publikace zřejmě nevyřeší problematiku komplexně, ovšem nabídne různé úhly pohledu, nad kterými je možné se zamýšlet a dotvářet je tak, aby navržená opatření vedla ke společnému cíli – **zlepšit kvalitu vnitřního prostředí na českých školách.**

Publikace by měla sloužit především pro osvětu, přestože je psána odborným jazykem. Měla by oslovit zejména osoby, které jsou za stav vnitřního prostředí ve školách zodpovědné, tj. státní úředníky, politickou garnituru, pracovníky místních úřadů, resp. zřizovatele škol. Druhou cílovou skupinou jsou projektanti, stavební inženýři, architekti, stavitelé a investoři, kteří odpovídají za návrh, výstavbu a rekonstrukci budov určených pro vzdělávání. Poslední cílovou skupinou jsou samozřejmě rodiče, jejich děti a školní personál. Obecným cílem publikace je „otevřít lidem oči“ a poukázat na skutečnost, že podobný problém existuje.

Přínosem opatření vedoucích ke zlepšení kvality vnitřního prostředí dětí a mladistvých v rámci školní docházky je zejména zlepšení kvality života a snížení zdravotních rizik. Z dlouhodobého socioekonomického hlediska se předpokládá i úspora nákladů na zdravotní péči, která je spojena s léčbou poruch imunitního systému, jako jsou alergie, astma, ekzantémová onemocnění apod.

## Osvěta

V roce 2014 odborná sekce OS 01 Klimatizace a větrání při Společnosti pro techniku prostředí vytvořila informační leták „Co víme a nevíme o vnitřním prostředí a větrání škol?“ (viz následující strana). Účelem letáku byla především osvěta s upozorněním na současný, neutěšený stav vnitřního prostředí v učebnách škol.



Partneři iniciativy:



ČESKÉ  
VYSOKÉ  
UČENÍ  
TECHNICKÉ  
V PRAZE

FAKULTA  
STROJNÍ



ÚSTAV  
TECHNIKY  
PROSTŘEDÍ



Autor:

Společnost pro techniku prostředí,  
OS 01 Klimatizace a větrání, 2014



## CO VÍME A NEVÍME O VNITŘNÍM PROSTŘEDÍ A VĚTRÁNÍ ŠKOL?

### Víte, že...

- ... většina běžných nemocí souvisí s kvalitou vnitřního prostředí budov?
- ... instalace nových těsných oken bez zajištění přívodu čerstvého vzduchu má zásadní vliv na vnitřní prostředí učeben?
- ... špatný stav vnitřního ovzduší způsobený nedostatečným větráním má negativní vliv na soustředění a zdraví našich dětí?
- ... o stavu vnitřního prostředí vypovídá koncentrace oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>?
- ... koncentrace CO<sub>2</sub> v pobytových prostorách by neměla přesáhnout hodnotu 1500 ppm?

- ... pokyny pro větrání škol byly zhruba před 100 lety zcela běžnou záležitostí?
- ... větrání škol je upraveno právním předpisem?
- ... energeticky úsporná opatření je nutné realizovat tak, aby nebylo znehodnoceno vnitřní prostředí?
- ... úspory energie pro větrání mohou být kontraproduktivní vzhledem k nákladům na zdravotní péči o naše děti?
- ... nedostatečné větrání může způsobovat zvýšenou koncentraci radonu ve vnitřním prostředí budov?

## Deset poznatků o větrání škol

### Zdraví

Jednou ze základních potřeb člověka je větrání, které podstatně ovlivňuje kvalitu vnitřního prostředí a má tak prokazatelný vliv na lidské zdraví. Důsledkem nedostatečného větrání vnitřního prostředí, kde člověk tráví podstatnou část dne, jsou různá respirační onemocnění. Ač je za větrání nutno platit peníze, neboť je spojeno s určitou spotřebou energie, zdraví člověka by mělo mít v tomto směru přednost.

### Vnitřní prostředí

Při koncentracích CO<sub>2</sub> vyšších než 1500 ppm se zvyšuje únava, děti jsou ospalé, ztrácejí pozornost, v krajním případě může dojít k nevolnosti. V učebnách stávajících energeticky sanovaných škol se koncentrace CO<sub>2</sub> blíží hodnotě 5000 ppm, což bývá provázáno bolestmi hlavy. Česká republika patří díky svému geologickému podloží mezi země s nejvyšší koncentrací radonu ve vnitřním ovzduší budov. Nezbytnou ochranou proti negativnímu působení radonu na zdraví člověka ve stávajících budovách je větrání.

### Osvěta

Řada lidí si potřebu větrat často vůbec neuvědomuje. Přitom nejčastějším problémem v souvislosti s výměnou oken v budovách je znehodnocené vnitřní prostředí vlivem nedostatečného přívodu čerstvého vzduchu. Naše děti tráví podstatnou část dne ve školách, ale máme o kvalitě a vlivu vnitřního prostředí v učebnách nějakou představu? Nechte si poradit a přizvěte k řešení specialistu.

### Historie

Naši předkové si nutnost větrání učeben dobře uvědomovali, což lze doložit na různých příkladech školních předpisů: „Třída musí být dostatečně větrána, aby školáci neusínali či nebyli myslí mdlé a vzdělávání jim prospívalo k radosti jich i jejich rodičů“.

### Organizační opatření

Určitou možností, jak zajistit dětem podmínky k pobytu ve škole, jsou např. procházky na školním dvoře nebo po větraných chodbách. Vyvětrejte učebny v době nepřítomnosti dětí, podobně jako tomu bylo v minulosti.

### Přirozené větrání

Po výměně oken bývá přirozené větrání infiltrací potlačeno. Navrhněte okna s výklopným spodním a horním okenním křídlem s možností využít přirozené větrání. Zachovejte stávající (historické) systémy větrání ve školách!

### Nucené větrání

Nucené větrání se doporučuje použít v případech, kdy je škola umístěna v místech s vysokým znečištěním nebo v sousedství rušné komunikace. Pokud je účelem výměny oken úspora energie, resp. nákladů na provoz, pak nezbytným prvkem takového řešení je nucené větrání se zpětným získáváním tepla. Zvažte tuto možnost již při návrhu úsporných opatření.

Nucené větrání je spojeno s investičními náklady, ale rovněž s provozními náklady, souvisejícími se spotřebou energie, s údržbou apod. Je-li nucené větrání nákladné, zamyslete se nad organizačním opatřením.

### Úspory energií

Energie by se měla spořit s rozumem a ne za každou cenu. Pro zajištění kvality vnitřního prostředí je přípustné větrat přirozené oknem. Doporučuje se větrat krátce a plně otevřenými okny.

Energetický audit musí zohledňovat i požadavky na větrání. Problematiku je nutné řešit komplexně – výměna oken má dopad na vytápění, větrání, osvětlení, bezpečnost a regulaci.

### Náklady

Větrání přináší užitek ihned a vyplácí se i z dlouhodobého hlediska. Náklady na provoz větrání by neměly být rozhodujícím kritériem. Špatná kvalita vnitřního prostředí zvyšuje náklady na zdravotní péči. Větrat lze i úsporným způsobem.

### Priority

Společnost by měla zvážit, co je prioritou. Nelze šetřit energií na úkor zdraví našich dětí. Nezapomínejme na větrání škol – přívod čerstvého vzduchu je základní podmínkou kvalitního života.

Větrejte...

a budeme v pohodě!

Vaše děti

## 2 Historie a současnost větrání škol

### 2.1 Historické požadavky

Naši předkové si nutnost větrání školních učeben dobře uvědomovali. Pokyny pro větrání škol byly běžnou součástí školních předpisů. Příklady takových předpisů byly prezentovány například na semináři Společnosti pro techniku prostředí – Větrání škol v roce 2013 v příspěvku [15] (viz rámeček). Podle uvedeného zdroje se již na přelomu 17. – 18. století objevují v jezuitských dokumentech pokyny pro vyučující: „*Při přestávce třídu řádně vyvětrat otevřenými okny a děti či mládež na chodbách dostatečně rozpohybovat, aby další vyučovací hodinu byly bdělé!*“

#### Příklad školního pokynu

V pokynech Židovské školy v Jáchymově ulici v Praze se mj. praví: „*Třída musí být dostatečně větrána, aby školáci neusínali či nebyli myslí mdlé a vzdělávání jim prospívalo k radosti jich i jejich rodičů.*“

Asi první předpis týkající se našeho území, ve kterém je oficiální zmínka o větrání škol, je nařízení Ministerstva kultu a vyučování rakousko-uherské monarchie z roku 1888, kde se uvádí: „*Kromě obnovování vzduchu (provětrávání), které po vyučování prováděti se má otevřením dveří a oken, pečováno buď v každé síni školní o stálou změnu vzduchu. Přístroje, které sprostředkují tuto změnu vzduchu, buďtěž upraveny tak, aby stále čerstvý, t.j. čistý a v zimě náležitě oteplený vzduch v dostatečném množství z venku do místností tak byl přiváděn a vzduch v místnostech tak z nich byl odváděn, aby tato změna vzduchu přítomných nijak nepřijemně se nedotýkala, aneb je docela ohrožovala.*“

V knize Topení a větrání obydlí lidských z roku 1891 [52] od J. E. Purkyněho se toho o větrání moc nedozvíme. Následující text z této knihy však poměrně dobře popisuje zásadní problém. „*Podmínkou neposlední důležitosti pro zdraví člověka je zajisté, aby místnost, ve které se nachází, stále čerstvý mu poskytovala vzduch a aby tento měl teplotu tělu lidskému přiměřenou. A divno dost, že nedbáno dosud dosti úzkostlivě hlavně podmínky první – řádné ventilace. Vinna tím nedůvěra kruhů kompetentních a okolnost, že obecnost naše na důležitost dokonalé ventilace nebývá dosti důrazně upozorňována.*“ Velmi výstižné i v roce 2016 – o 125 let později.

Problematice větrání a vytápění škol se věnoval Gustav Kabrhel (1857 až 1939), zakladatel české hygienické školy a profesor hygieny na c. k. české univerzitě (Lékařské fakultě Univerzity Karlovy), kde se zasloužil o vznik Hygienického ústavu [10]. Lékař Gustav Kabrhel krátce pobýval i u prof. Maxe von Pettenkofera označovaného za zakladatele oboru, který zavedl objektivní vyšetřování faktorů prostředí a hodnocení jejich vztahu ke zdraví. Ve svém spisu z roku 1903 [31] uvádí několik základních myšlenek, které stojí za citování: „Množství vzduchu, jež pro jednoho žáka za hodinu má býti do místnosti přivedeno, má obnášeti ve střední hodnotě 20 m<sup>3</sup>. Ve třídách s žáky malými jest možno jíti pod tuto hodnotu, ve třídách s žáky dospělými nutno žádati množství vzduchu větší. Nepříznivé účinky druhotné při výměně vzduchové musí zůstati vyloučeny. ... jsou pozorování, že v místnostech přeplněných, nedostatečně větraných jednotlivci byli stíženi jakousi nevolností, provázenou obyčejně zblednutím, potem, nucením ku dávení, která, nev्यjde-li postižený rychle na čerstvý vzduch, může končiti i mdlobami.

Ke změnám ve školství došlo pochopitelně při vzniku samostatného československého státu po roce 1918. Změny byly kodifikovány ministerstvem školství a národní osvěty v roce 1922 tzv. malým školským zákonem [78]. Situace těsně po roce 1918 je poměrně dobře zmapována v publikaci [9]. Za zmínku jistě stojí nařízení postupného snižování počtu žáků ve třídě z 80 na 60 (!). Výrazný populační nárůst však volal po dalším postupném snižování této hodnoty. Značná pozornost byla tehdy věnována vnitřnímu uspořádání školní budovy. Na první místo se v té době dostal požadavek, aby se při projektování nových škol pamatovalo na velké, vzdušné učebny s dostatečným a účelným větracím zařízením a správným vytápěním. Učebny měly mít vysoká a široká okna s úzkými meziokenními prostory, umělého světla mělo být používáno co nejméně. Všeobecně se v té době mluvilo o školní únavě, přetěžování žáků, kterému se mělo čelit snižováním počtu hodin, prodlužováním přestávek a pěstováním sportu – tělesné výchovy. Školním a vyučovacím řádem se školám přikazovalo dbát na úzkostlivou čistotu, protože „čistota ve škole je zárukou zdraví školáků i učitelů. Ve škole má býti všecko zařízeno tak, aby v ní nebylo nebezpečného prachu“. Dále se mělo dbát, aby školní budova byla umístěna v bezprašném okolí a aby třídy byly větrány, případně provádět vyučování při otevřených oknech.

Již v té době se zkoumaly důvody ohrožení zdraví žáků. Škola byla často posuzována jako „semeniště a pařeniště nakažlivých nemocí, ... protože škola jest větší shromaždiště dětské, podobně jako hřiště, dětské slavnosti a divadelní představení ... Z nemocí, které mohou být rozšiřovány vzájemným stykem žáků ve škole, přicházejí zde v úvahu přenosné choroby kožní (svrab, všivost, některé lišeje) a nakažlivé nemoci jednak prudké (spalničky, neštovice, příušnice, spála a záškrt) a jednak vleklé (tuberkulóza).“ Pozornost zdravotníků, ale i školských orgánů se tak začala ubírat k prevenci. Z dostupných materiálů se ví, že byly vydávány pokyny s cílem vštěpovat dětem již od nejnižších tříd smysl pro zdravotní péči. Preventivní péče však nenacházela pochopení u rodičů a vážla tak spolupráce mezi školou a rodinou, častým důvodem byla uváděna „chudoba“. Tolik stručný výtah ze studie [9], vztahující se k problematice vnitřního prostředí, větrání a zdraví ve školách po roce 1918.

Konkrétní hodnoty průtoku vzduchu pro žáky lze rovněž nalézt rovněž ve zmiňované literatuře. Gustav Kabrhel uvádí: „Ventilační spotřeba v okrouhle střední hodnotě jest 20 m<sup>3</sup>/h pro jednoho žáka na dobu jedné hodiny. Ve třídách škol obecných se žáky nej-

menšími bylo by možno sejít na hodnotu 15 m<sup>3</sup>/h za hodinu. Ve vyšších školách středních jest nutno počítat s hodnotou 25 m<sup>3</sup>/h.“ Později v knize architekta a stavitele Václava Wellendorfa [66] z roku 1930 se mj. dozvíme, že v obecných školách má být „množství ventilačního vzduchu za 1 hodinu pro osobu“ 10 až 12 m<sup>3</sup>, ve vyšších školách pak 15 až 30 m<sup>3</sup>. Norma ČSN 1053 z roku 1930 [51] uvádí potřebné množství vzduchu ve školních místnostech (podle stáří žáků) obdobně 10 až 25 m<sup>3</sup>/h, nejméně však požaduje dvojnásobnou intenzitu větrání.

## 2.2 Historické systémy větrání škol

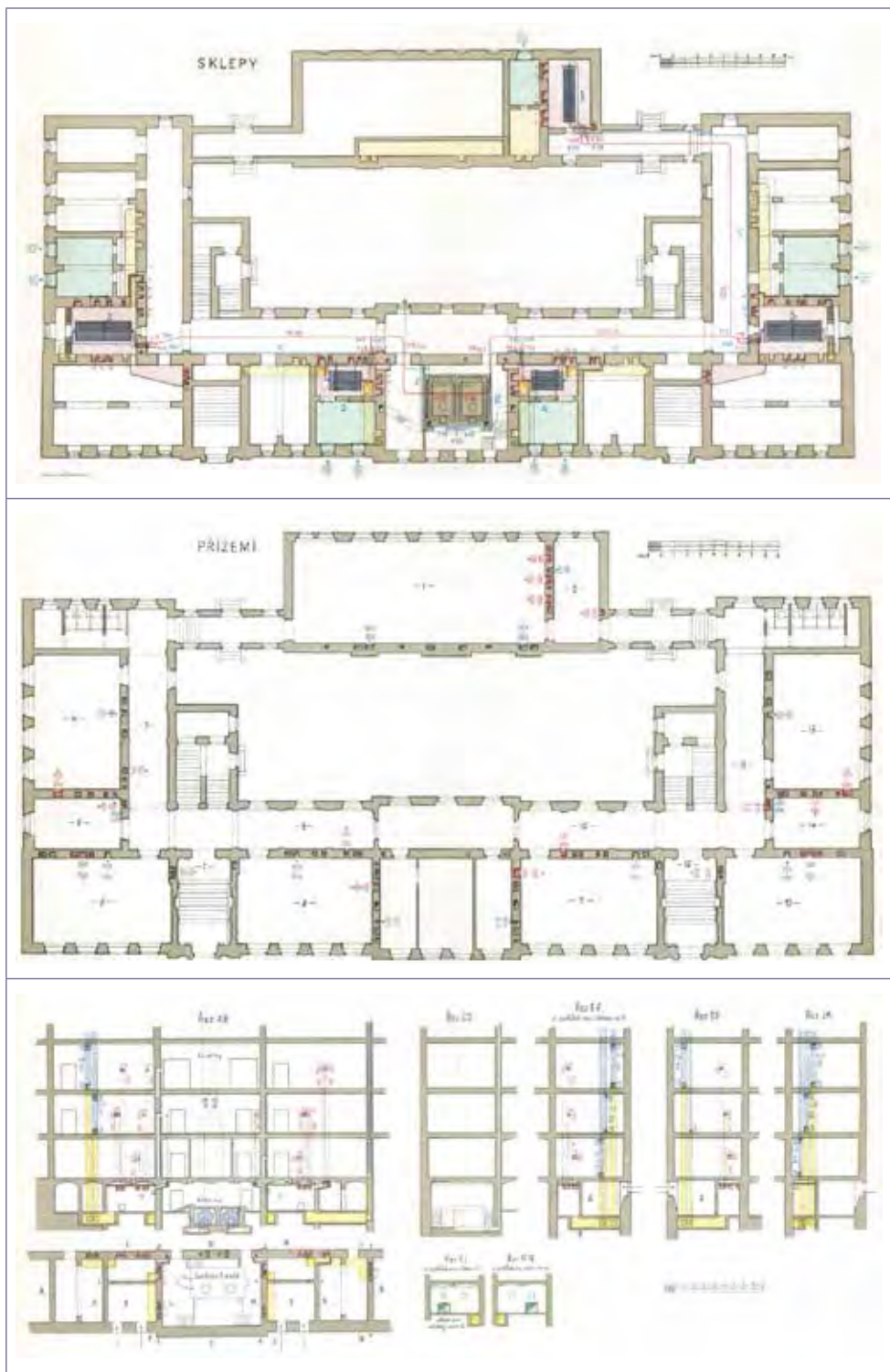
Jak bylo uvedeno, problematika větrání učeben není nová a i naši předchůdci museli řešit a zdůvodňovat tehdejší, často nevyhovující stav. O nedostatku větrání přirozeného v době, kdy okenní výplně nedosahovaly zdaleka takové těsnosti jako dnes, svědčí další citát [31]: „Ve příčině opatření takového značného množství vzduchu jest především vytknouti, že k cíli tomu nestačí ventilace tak zv. přirozená, čímž rozumíme onu výměnu vzduchovou, která bez přičinění lidského v místnosti, jejíž okna a dveře jsou zavřeny, v platnost vchází.“ Jako samozřejmost pak vyznívá zmínka o nutnosti vzduch ohřívát: „Má-li však větrání býti bezvadně prováděno, pak vzduch, jehož má býti v době zimní ku větrání použito, musí býti přiměřeně oteplován.“

Výmluvný je citát z roku 1903 rovněž z publikace [31], autorem je František Velich, inženýr královského hlavního města Prahy: „Zaříditi ve školních budovách řádné, hlavním požadavkům zdravotnictví vyhovující topení a větrání jest úkolem dosti nesnadným, ježto nutno míti na zřeteli různé dosti složité okolnosti, které na účinnost a dokonalost topení a větrání mají značný vliv. Snaha nesoucí se za cílem zdokonaliti topení a větrání ve veřejných budovách, tedy i školách co nejvíce, nesetkává se vždy s náležitým porozuměním, jak u rozhodujících činitelů, tak později u těch, jimž obsluha topení jest svěřena. Z neznalosti věci, z příčin často nemístně hospodárných, nebo i osobních přijímají se nejnížší oferty, na základě kterých obyčejně nelze poříditi zařízení topné s dostatečnou výkonností, při čemž ku větrání vůbec se nepřihlíží, aneb děje se toto na úkor topení.“

### Nevýhody infiltrace zmíněné již v roce 1908 [31]

„Přirozená ventilace spárami oken a dveří, póry ve stěnách atd. jest nepatrná a nestačí ku dostatečné výměně vzduchu a naopak může se jí na př. z místností spodních, z násypů pod podlahami přiváděti vzduch znečištěný. Čím větší jest tato přirozená ventilace, tím větší jsou i ztráty tepelné, při nepoměrně malém efektu ventilačním. Z uvedených důvodů jest lépe ventilaci přirozené zabrániti a nahraditi jí vydatnou ventilací umělou.“

Tam, kde byly školy odkázány pouze na přirozené větrání, používalo se tzv. „větrání průvanem“, tj. periodické otevírání oken a protilehlých dveří – provětrávání. V literatuře [31] se uvádí, že má-li být větrání účinné, je nutno otevřít i protilehlá okna v chodbách. „Nevýhoda tohoto větrání spočívá v tom, že třeba po každé hodině vyučování přerušiti a dítky do zvláštní temperované dvorany zavésti, ježto v chodbách při průvanu zůstati nemo-



**Obr. 2.1** Ústřední teplovzdušné vytápění párou o nízkém tlaku a větrání s přirozeným oběhem vzduchu ve škole v Kostelci nad Orlicí

*hou. Při tomto způsobu větrání jest nutno, aby budova školní měla tichou, zdravou polohu a byla co nejvíce vzdálena hlučných zaprášených ulic a průmyslových závodů. Další závadou tohoto větrání jest, že průvanem zvíří se v znečištěných sících prach a děti vrací se do vyměněného sice, ale prachem smíšeného vzduchu. “*

V některých starších publikacích je možné nalézt příklady tehdejšího technického řešení vytápění a větrání škol. Naši předchůdci si dobře uvědomovali nejen potřebu větrat, ale rovněž nutnost venkovní vzduch ohřívat. Jak již bylo zmíněno, v učebnách tehdy pobývalo velké množství žáků a i potřebné průtoky větracího vzduchu byly značné. Vytápění učeben bylo tehdy řešeno v zásadě třemi způsoby – lokálně kameny, ústředně (vodou nebo párou) nebo teplovzdušně. Ovšem ne každý ze zmíněných systémů umožňoval i spolehlivý ohřev větracího vzduchu. V případě použití lokálních kamen na pevná paliva se o vytápění staral většinou školník, který musel naráz obsluhovat několik kamen, což byla práce velice namáhavá. Snahou školníka bylo šetřit práci i palivo a z tohoto důvodu bylo i větrání učeben omezené. Problémy částečně vyřešilo zavádění kamen plynových s přívodem větracího vzduchu přímo ke kamnům. Soustavy ústředního vytápění s otopnými tělesy, tehdy vodní (podobné dnešním), sloužily výhradně pro úhradu tepelné ztráty prostupem a ohřev větracího vzduchu nedokázaly účinně pokrýt – podobně jako dnes. Větrací vzduch byl proto předehříván ve speciálních výměnících „kaloriferech“ [31] (viz dále). Doporučovaným systémem bylo tehdy nízkotlaké parní vytápění, kterým se docílilo předehřátí větracího vzduchu bez nebezpečí zamrznutí vody.

V té době se lze setkat s řešeními v podobě přirozeného, teplovzdušného vytápění [53], které problémy s případným přívodem chladného vzduchu provětráváním okny v chladném období roku řešilo. Příklad školní budovy z roku 1900 vybavené teplovzdušným vytápěním a větráním s přirozeným oběhem vzduchu a s možností využití oběhového vzduchu pro vytápění je uveden na obr. 2.1 [53]. V suterénu budovy byly umístěny 2 parní kotle, od nichž byla vedena pára o nízkém tlaku do výměníků určených pro ohřev vzduchu, umístěných v otopných komorách (na obr. 2.1 šrafovány červeně).

Často se pro ohřev vzduchu používaly tzv. „kalorifery“ – šamotem vyzděné pece. Těchto komor bylo v objektu několik a každá sloužila pro zajištění větrání a vytápění v několika přilehlých místnostech umístěných ve vyšších patrech budovy. Čerstvý vzduch byl nasáván z venkovního prostředí přes speciální komory, kde byl čištěn (filtrován) a poté převáděn do komor otopných.

Čistotě vzduchu byla věnována zvláštní pozornost, neboť povrchová teplota těles dosahovala značných hodnot (viz dále). I proto byl kladen důraz na naprostou čistotu ve všech komorách a vzduchovodech. V otopných komorách byl vzduch ohříván a přirozeným vztakovým účinkem rozváděn po budově. K tomu sloužily stavební šachty, které vedly z otopné komory do vytápěných místností. Znehodnocený vzduch byl z učeben odváděn (otvorem u stropu) opět přirozenou cestou, přes šachtu vyústěnou nad střechu objektu. Pro vytápění (zvláště tehdy) bylo potřeba značného množství vzduchu, což se řešilo využitím oběhového vzduchu, který byl odsáván otvorem u podlahy. Ten byl do otopných komor přiváděn zpět z odvodních šachet (na obr. 2.1 šrafováno žlutě). Regulace průtoku oběhového vzduchu byla ruční s použitím klapky. Aby se zabránilo nepříznivému účinku větru, bylo vyústění odpadního vzduchu vybavováno hlavicemi nebo umístěno na půdě.



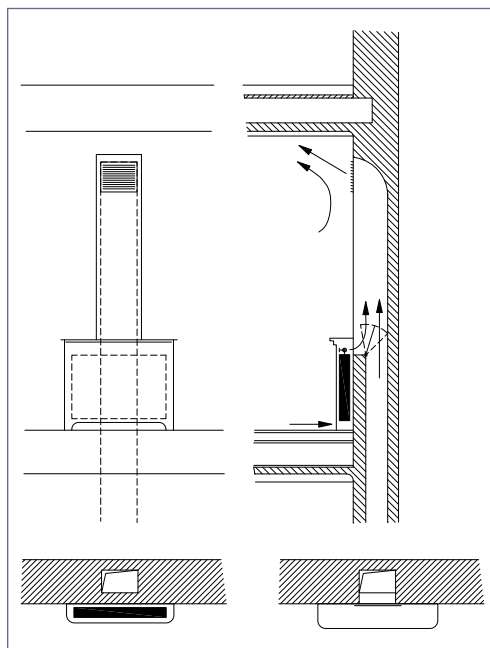
## Neničte historické systémy větrání

Historické systémy určené pro přirozené větrání ve školách mohou dobře posloužit i pro větrání v 21. století. Neničte větrací otvory a šachty, naši předkové dobře věděli, proč je tam budují.

Teplovzdušné vytápění však mělo i jisté nevýhody. Jak již bylo řečeno, zejména se jednalo o dodržení čistoty přiváděného vzduchu tak, aby se částice obsažené ve vzduchu nevypalovaly na otopných tělesech. Pro vytápění bylo potřeba značné množství vzduchu, což způsobovalo průvan a trvalé víření prachu v učebně. Stejně tak nebylo možno jedním přívodním otvorem dosáhnout rovnoměrného rozložení teploty v místnosti. Stěny v učebnách byly chladné, neboť k výměně tepla docházelo převážně na základě proudění. Systém sloužil pro zajištění teploty vzduchu v několika místnostech, jejichž požadavky se mohly lišit. Nicméně je pravdou, že teplota vzduchu v učebnách byla tehdy udržována v rozmezí 17 až 20 °C. V důsledku tepelných ztrát rozvodů bylo teplovzdušné vytápění na počátku 20. století považováno za nevhodné.

S ohledem na nevýhody teplovzdušného vytápění bylo snahou od sebe systémy vytápění a větrání oddělit. „Pro dokonalé, na topení nezávislé větrání jest tedy nutno toto oddělit od topení úplně a pro přehřátí vzduchu zřídit zvláštní topné komory.“ [31]. Novější systémy vytápění a větrání škol jsou v té době vybaveny otopnými tělesy vytápěnými párou umístěnými v učebnách a přívod větracího vzduchu je řešen stavebními kanály (šachtami), obdobně jako u teplovzdušného vytápění a větrání s tím rozdílem, že množství vzduchu odpovídalo pouze hygienickému minimu. Předehřátý větrací vzduch byl přiváděn k tělesům, za kterými se směřoval se vzduchem oběhovým a následně byl přiváděn do místnosti. Pro distribuci ohřátého vzduchu sloužila žaluzie umístěná pod stropem místnosti. Každá třída byla vybavena pouze jedním takovým tělesem.

Na závěr odstavce uvedme ještě jeden důležitý citát z publikace [59]: „Regulování ventilace nesmí být svěřeno učitelům pod žádnou podmínkou, neboť stává se, že učitel při nejmenším zdání průvanu vyloučí ji úplně.“ Autor cituje prof. Rietchela: „...aby regulace teplot v učebně nebyla svěřena ani žákům ani učitelům.“



**Obr. 2.2** Vytápění učeben parními tělesy s přívodem větracího vzduchu [59]

## 2.3 Novodobé předpisy

Vznik novodobých předpisů MZČR se datuje do roku 2001, kdy byl vydán soubor předpisů pro bazény [87], stravovací zařízení [88], školy [89] a pracovní prostředí [83]. V každém z uvedených předpisů byla určitá část věnována požadavkům na vnitřní tepelné prostředí a větrání.

Proti části zmíněných předpisů se zvedla ze strany odborné veřejnosti vlna kritiky. Společnost pro techniku prostředí vypracovala připomínky ke čtyřem připravovaným předpisům a předseda STP je zaslal tehdejšímu ministrovi zdravotnictví. Společnost pro techniku prostředí, i z tohoto popudu, uspořádala seminář „Zákon o veřejném zdraví a předpisy související“, na který byl přizván i zástupce MZČR, který technikům oponoval (připomínky techniků viz dále). Bohužel, od té doby se obsah právních předpisů příliš nezlepšil.

Škol se týkala vyhláška č. 108/2001 Sb. [89]. Požadavky na větrání byly uvedeny v § 11 následovně: „*Prostory zařízení pro výchovu a vzdělávání určené k trvalému pobytu musí být přímo větratelné. Požadavky na výměnu vzduchu v zařízeních pro výchovu a vzdělávání jsou upraveny v příloze č. 4.*“ Od té doby je požadavek na přívod venkovního vzduchu do učeben 20 až 30 m<sup>3</sup>/h na žáka. Pomineme-li skutečnost, že pojem výměna vzduchu použitý v předpisu je nepřesný, neposkytla vyhláška žádnou informaci o tom, jakým způsobem požadovaný průtok vzduchu v učebnách reálně zajistit.

V § 10 byly uvedeny požadavky na tepelně-vlhkostní stav prostředí: „*V denních místnostech, učebnách, odborných pracovnách, družinách a dalších místnostech určených k trvalému pobytu musí vytápění zajistit teplotu vzduchu nejméně 20 až 22 °C. ... Relativní vlhkost vzduchu pobytových místností školských zařízení musí být 40 až 60 %. ... V letním období nejvyšší přípustná teplota v učebnách je 26 °C. Tato hodnota může být překročena za mimořádných vnějších mikroklimatických podmínek.*“ Předpis přitom neuváděl žádnou definici mimořádných podmínek. Na připomínku STP, že tento požadavek může znamenat rozsáhlé investice do chladicího zařízení ve školách, odpověděl ministr zdravotnictví zajímavým výkladem, který stojí za citování: „*Hodnota 26 °C v učebnách v letním období může být překročena za mimořádných vnějších podmínek a je v kompetenci každého ředitele volba převedení vyučování do jiných volných prostor budovy, nebo možnost volit náhradní program, např. pobyt venku. Není tedy požadováno budování chladicích zařízení v učebnách.*“ Je až neuvěřitelné, že se obdobná myšlenka objevuje i v novém znění předpisu [91], § 18 odst. (3).

V roce 2001 současně platila Vyhláška MMR o obecných technických požadavcích na výstavbu z roku 1998 [86], která ale nevnášela do problematiky větrání příliš jasno. Paragraf 37, který se týkal výplní otvorů, obsahoval odstavec (3) s téměř nespílitelným požadavkem: „*Akustické vlastnosti výplní otvorů v obytných a pobytových místnostech musí být takové, aby při dané hladině venkovního hluku byly splněny požadavky na neprůzvučnost umožňující současně výměnu vzduchu nejméně jednou za hodinu ve všech obytných a pobytových místnostech.*“ Současně podle odstavce (2) „*Výplně otvorů musí splňovat požadavky na tepelně technické vlastnosti v ustáleném teplotním stavu.*“

Novela vyhlášky [86] z roku 2009 změnu v tomto směru prakticky nepřinesla, až teprve její aktualizované znění z roku 2012 [92] definuje konkrétní hodnoty: minimální průtok přiváděného venkovního vzduchu 25 m<sup>3</sup>/h na osobu a limitní koncentraci CO<sub>2</sub> v pobytových místnostech 1500 ppm, bez ohledu na provedení oken. Tato změna byla vyvolána odborníky (techniky) a stála mnoho úsilí.

## 2.4 Současný stav

### 2.4.1 Právní předpisy

V současnosti platí vyhláška č. 410/2005 Sb., ve znění pozdějších předpisů [91], která se vztahuje na mateřské, základní a střední školy. Bohužel je nutno zmínit, že tato vyhláška obsahuje dvě zcela protichůdná ustanovení. V § 18 (6) se praví „Přirozené větrání musí být v případě těsných oken zajištěno systémy mikroventilace nebo větracími štěrbinami.“, naproti tomu v příloze č. 2 je uveden požadavek na průtok vzduchu pro učebny „20 – 30 m<sup>3</sup>/h na žáka“ (viz komentář v odstavci 1.2).

Současně platí vyhláška č. 6/2003 Sb. [90], která se vztahuje obecně na všechny obytné místnosti, tedy i na učebny. Budovy pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých (MŠ, ZŠ a SŠ) jsou však primárně ošetřeny vyhláškou č. 410/2005 Sb. [91]. Vyhláška č. 6/2003 Sb. tak platí např. pro učebny vysokých škol a další učebny nedefinované tzv. „školskou vyhláškou“. Konkrétním hodnotám uvedeným v platných právních předpisech se věnuje další část textu (odstavec 3.4).

### 2.4.2 Statistika školských budov ČR

Podle statistiky školských zařízení (zdroj: ČSÚ [120]) navštěvovalo základní a střední školy v roce 2013/2014 cca 1,3 milionu žáků, celkový počet učeben je cca 60 tisíc. Tab. 2.1 ukazuje celkové počty školských zařízení, učeben a žáků ve školním roce 2013/14.

Ze statistiky není zřejmé, kolik škol prošlo rekonstrukcí v podobě zateplení a výměny oken, což jsou aktivity, které mají vliv na stav vnitřního prostředí. Zřizovatelé škol mohli v minulosti žádat o dotace v rámci Operačního programu Životní prostředí pod „P03 – Úsporná energetická opatření“. Podle informací Státního fondu životního prostředí obsahoval ke dni 9. 7. 2014 seznam přes 5 000 žádostí, ze kterých se přibližně 3 400 žádostí (tj. 68 %) týkalo zateplení nebo výměny oken školských zařízení, včetně realizace energetických opatření. V programu Zelená úsporám bylo ke dni 31. 7. 2014 aktivních 129 žádostí, které se týkaly zateplení školských a předškolních zařízení. To znamená, že přibližně každá třetí škola v ČR (MŠ, ZŠ nebo SŠ) již požádala (a má schválenou žádost), nebo již realizovala energetická opatření vedoucí k utěsnění obálky

**Tab. 2.1** Statistika školských zařízení ve školním roce 2013/2014 [120]

Školské zařízení	Počet zařízení	Počet učeben	Počet dětí/žáků/ /studentů
Mateřské školy	5 085	15 390	363 568
Základní školy	4 095	42 334	827 654
Střední školy	1 349	-	452 482
Vyšší odborné školy	174	-	28 332
Vysoké školy	71	-	368 304

Pozn.: Střední školy zahrnují: gymnázia, SOŠ, SOU, konzervatoře a nástavbové maturitní studium

budovy a snížení celkové energetické náročnosti budovy. Uvedené údaje plynou z veřejně dostupných statistik MŽP (SFŽP) porovnaných se statistikou ČSÚ.

Z uvedeného lze usuzovat, že problematika tvorby vnitřního prostředí se týká podstatné části populace. Největší problémy nastávají zejména na základních a středních školách, kde žáci/studenti tráví podstatnou část dne v jedné učebně.

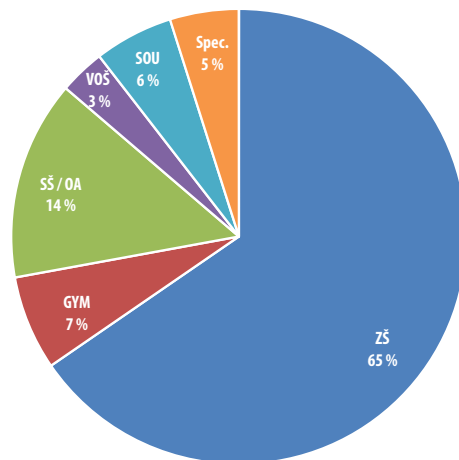
### 2.4.3 Dotazníkový průzkum stavu školských budov v ČR

Pro zmapování stavu a provozu školských budov ve vztahu k větrání a vnitřnímu prostředí učeben byl zrealizován ve 4. čtvrtletí 2014 dotazníkový průzkum [5], který byl adresován na 5777 subjektů uvedených v registru MŠMT [120]. Do průzkumu byly zařazeny všechny základní a střední školy. Mateřské školy byly z průzkumu vyjmuty, nicméně řada základních škol zajišťuje i jejich provoz. Celkem bylo obdrženo 1263 odpovědí, což činí 22 % z celkového počtu dotázaných subjektů. Podle očekávání byla nadpoloviční většina odpovědí ze základních škol. Podíl jednotlivých typů škol na obdržení odpovědí je uveden na obr. 2.3. Veškeré prezentované údaje a závěry v této kapitole jsou vztaženy na počet obdrženi odpovědí.

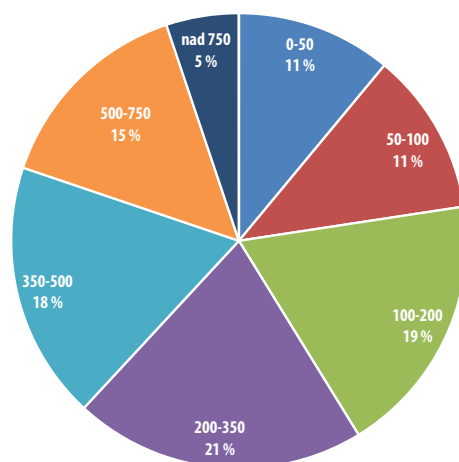
Dotazník se skládal z 18 otázek (viz rámeček na další straně) a odpovědi byly pro rychlý výběr předdefinovány. Otázky byly zaměřeny na umístění, stáří a technický stav školní budovy se zaměřením na větrání a provoz školy. Jelikož byl dotazník určen pro respondenty, u kterých se nepředpokládala detailní znalost problematiky kvality vnitřního prostředí, byly otázky a možné odpovědi s tímto vědomím formulovány. Každý respondent měl na závěr možnost doplnit své odpovědi komentářem.

#### Počet žáků

Na obr. 2.4 je uvedeno procentuální zastoupení počtu žáků navštěvujících



**Obr. 2.3** Podíl respondentů podle typu školy (ZŠ – základní škola, GYM – gymnázium, SŠ – střední škola, OA – obchodní akademie, VOS – vyšší odborná škola, SOU – střední odborné učiliště, Spec. – speciální škola)



**Obr. 2.4** Počet žáků navštěvujících jednu školu

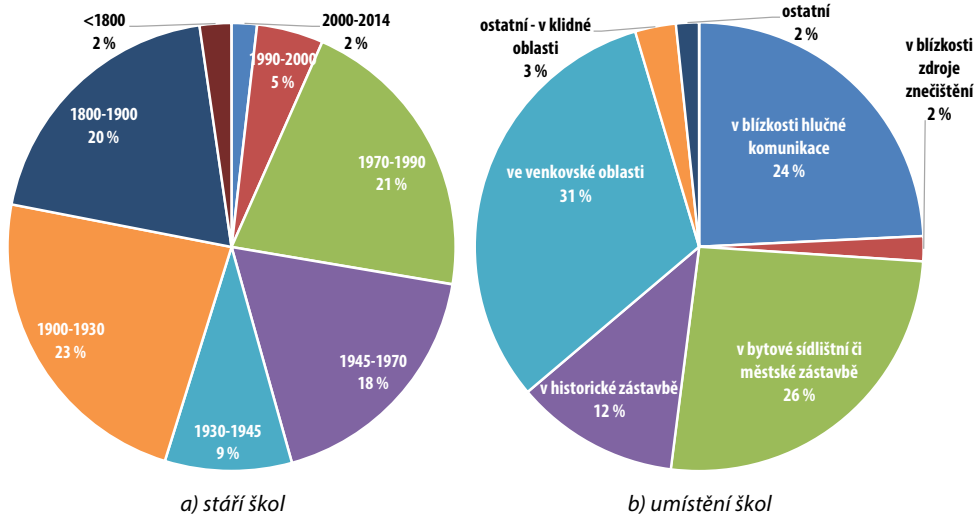
## Otázky dotazníkového průzkumu

1. Kde se nachází vaše škola?
2. Jaký je typ vaší školy (MŠ, ZŠ, SŠ...)?
3. Kolik žáků navštěvuje školu v aktuálním školním roce?
4. Charakterizujte umístění vaší školy z hlediska okolí.
5. Z jakého roku pochází přibližně budova vaší školy?
6. Je budova vaší školy památkově chráněná?
7. Proběhla ve vaší škole rekonstrukce v podobě zateplení a výměny oken, případně kdy?
8. Z jakého základního materiálu je obvodová stěna školy?
9. Kolik nadzemních podlaží má vaše škola?
10. Jaké je provedení střechy?
11. Jaký je zdroj tepla pro vytápění školy?
12. Jaká okna jsou použita v učebnách vaší školy?
13. Jaké je provedení oken?
14. Jak byste charakterizoval/a režim větrání učeben v zimním období v době výuky?
15. Jak byste charakterizoval/a režim větrání učeben v zimním období o přestávkách?
16. Jakým způsobem tráví žáci/studenti čas o přestávkách?
17. Subjektivně zhodnoťte kvalitu ovzduší v učebnách vaší školy.
18. V případě potřeby doplňte vaše odpovědi.

jednu školu. Údaje se týkají celkem 397 984 žáků ve školách, které odpověděly na dotazník. Nejméně žáků navštěvujících jednu školu dle dotazníku bylo 14 (venkovská základní škola) a nejvíce 1 887 (v sídlištní zástavbě většího města). Průměrně navštěvuje jednu školu 316 žáků. V dotazníku jsou zastoupeny jak malé venkovské školy, tak i velké městské školy. Zhruba pětina škol je malotřídních, kdy počet žáků nepřevyšuje 100, další pětina tvoří školy, které navštěvuje více než 500 žáků.

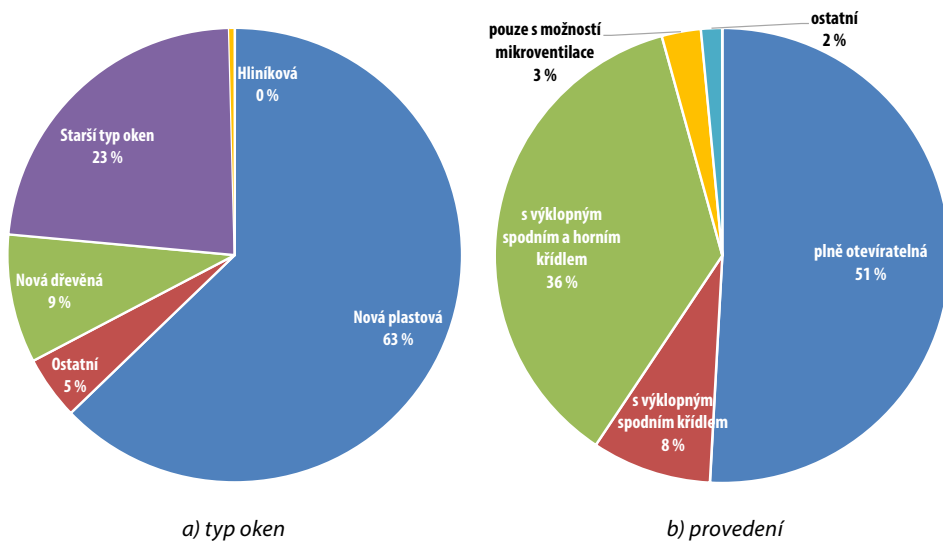
### Stáří a umístění škol

Na obr. 2.5 je znázorněno procentuální zastoupení škol z hlediska stáří budovy. Více než polovina školských budov, o kterých byly získány informace, byla postavena před rokem 1945 (54 %) a navštěvuje je rovněž téměř polovina žáků (48 %). Za pozornost stojí budovy postavené před rokem 1900, jejichž počet není zanedbatelný (22 %); tyto školy navštěvuje téměř 16 % žáků. Přibližně čtvrtinu škol (28 %) tvoří relativně moderní budovy s datem vzniku po roce 1970, které navštěvuje téměř třetina žáků (30 %). Z hlediska ochrany budovy je 167 budov památkově chráněných, což odpovídá přibližně 13 % z celkového počtu obdržených odpovědí. 70 % škol prošlo kompletní rekonstrukcí vč. výměny zdroje tepla.



**Obr. 2.5** Stáří a umístění školských budov

Lze předpokládat, že kvalita ovzduší v učebnách škol bude souviset i s umístěním školní budovy – školy v blízkosti rušných komunikací nebo zdrojů znečištění (lokální topeniště, průmyslové zóny apod.) budou mít s přirozeným větráním okny nepochybně problémy v důsledku snahy učitelů minimalizovat dopad vnějších vlivů (hluk, prašnost, zápach). Z celkového počtu obdržených odpovědí průzkumu vyplývá, že tuto skupinu tvoří čtvrtina škol (26 %). Pouze dvě procenta budov se nachází v blízkosti výrazného zdroje znečištění. U většiny škol se neprojeví komplikace s jejich umístěním z hlediska znečištění venkovního ovzduší. Téměř třetina škol (31 %) leží ve venkovské oblasti; 26 % škol je umístěno v bytové nebo sídlištní zástavbě; 12 % v historické zástavbě městských center; 3 % respondentů uvedlo umístění školy v klidné oblasti.



**Obr. 2.6** Typ a provedení oken

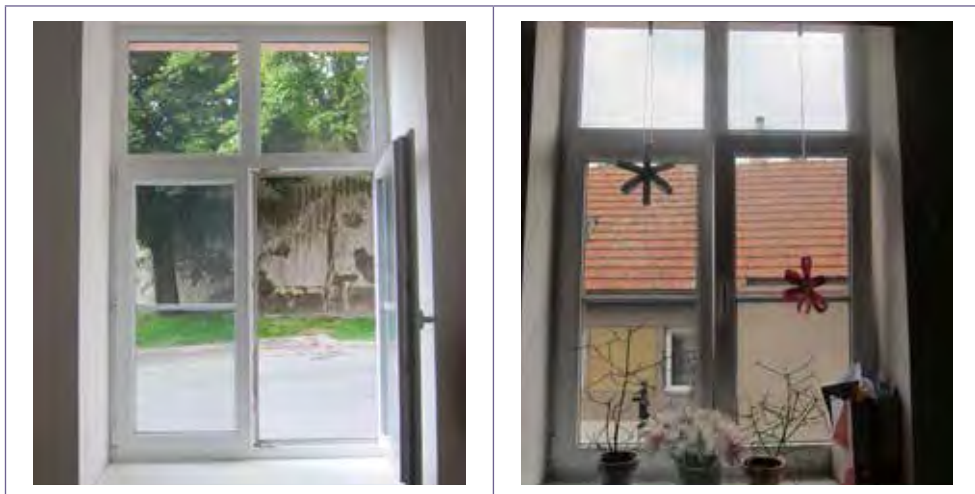
## Provedení oken a jejich využití

Statistika provedení oken je uvedena na obr. 2.6a. Převážná většina dotázaných školských budov je vybavena novými okny (72 %). Nejrozšířenějším typem oken jsou okna plastová (63 % případů). V některých školách jsou použity repliky původních oken ze dřeva. Ve 23 % případů je ve školách použit starší typ oken, tj. buď původní, nebo repasovaná okna (dřevěná/špaletová/zdvojená).



**Obr. 2.7** Typické provedení okenních výplní v učebnách zrekonstruovaných škol (foto: archiv autora)

Z hlediska otevírání okenních křídel jsou nejrozšířenější plně otevíratelná okna (51 % škol); 36 % škol disponuje okny s možností vyklopení spodních i horních křídel; v 8 % případů je možné vyklopení spodního křídla; 3 % škol uvedla, že okna lze otevřít pouze do polohy tzv. „mikroventilace“ (obr. 2.6b). Přibližně čtvrtina dotázaných (27 %) odpověděla, že jejich okna jsou vybavena rovněž mikroventilací.

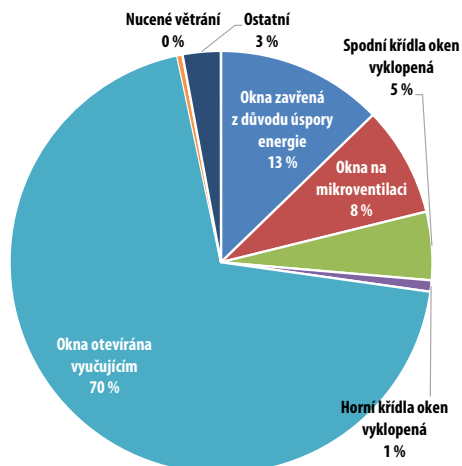


**Obr. 2.8** Otevíratelná okna – teorie a realita

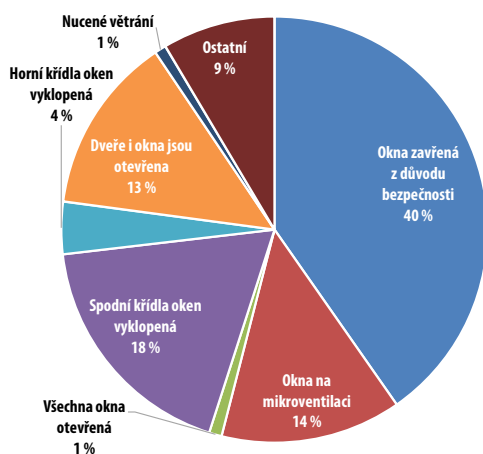
## Větrání učeben

Větrání učeben v zimním období v době výuky je podle očekávání realizováno přirozeně. Otevírání oken je ve většině učeben (70 %) zajišťováno vyučujícím podle jeho uvážení; 13 % respondentů odpovědělo, že okna jsou převážně zavřená z důvodu úspory energie na vytápění; 8 % dotázaných využívá pro větrání tzv. „mikroventilaci“; 6 % dotázaných odpovědělo, že křídla oken jsou převážně vyklopená. Nucené větrání učeben představuje v celkovém počtu dotázaných zcela zanedbatelnou položku.

O přestávkách (obr. 2.9b) jsou ve většině případů okna zavřena z bezpečnostních důvodů (40 %); cca třetina dotázaných uvádí jistý způsob přirozeného větrání, pokud nepočítáme „mikroventilaci“, kterou používá 14 % škol. 23 % subjektů provozuje vyklopená křídla oken; v 13 % případů jsou dveře i okna plně otevřená.



a) v době výuky

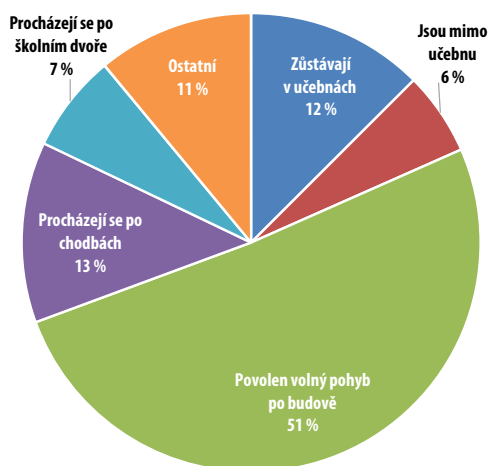


b) o přestávkách

**Obr. 2.9** Provoz větrání v učebnách škol

### Činnost a pohyb žáků po budově o přestávkách

Důležitým faktorem, který může mít vliv na kvalitu vnitřního prostředí a zdraví žáků, je jejich přítomnost v učebnách o přestávkách. U nadpoloviční většiny škol je povolen volný pohyb po budově (51 %), což znamená, že žáci mohou trávit přestávku i v učebně. Ve 12 % škol setrvávají žáci o přestávkách v učebně; ve 13 % škol se žáci procházejí po chodbách; pouze v 7 % případů mají žáci možnost procházet se po školním dvoře; 6 % uvedlo, že žáci opouští učebny.



**Obr. 2.10** Činnost a pohyb žáků po budově o přestávkách

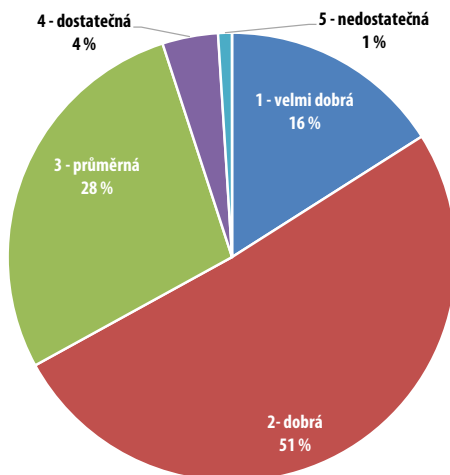
### Subjektivní hodnocení kvality vnitřního ovzduší

Na závěr dotazníku měli respondenti za úkol subjektivně zhodnotit kvalitu ovzduší v učebnách jejich školy. Pro tento účel sloužila stupnice 1 – 5, kdy 1 znamená velmi dobrá a 5 nedostatečná kvalita ovzduší. 51 % respondentů uvedlo stupeň 2; 28 % stupeň 3 a pouhé 1 % uvedlo stupeň 5, tedy kvalita nedostatečná. Nutno připomenout, že dotazník byl adresován ředitelům škol.

Při subjektivním hodnocení uvedla převážná většina respondentů víceméně spokojenost s kvalitou vnitřního ovzduší v učebnách. Pokud ale porovnáme subjektivní hodnocení s předchozími odpověďmi, které se týkají technického zabezpečení větrání škol, nale-



neme určitý rozpor. Lze se pouze domnívat, že respondenti nejsou plně seznámeni s problematikou a mají omezenou představu o kvalitě vnitřního ovzduší ve své škole nebo nemají prostředky, jak kvalitu ovzduší posoudit. Dalším problémem může být určitá obava ředitelů škol z možných důsledků odpovědi pro jejich školu nebo nechtějí o problémech slyšet. Přitom dotazníkový průzkum byl zcela anonymní. Odpovědi hodnotící kvalitu ovzduší ve školách ve více než 60 % jako dobrou tak vykazují i určitou míru alibismu. Z provedených měření [4], [26], [44] a prací dalších autorů [64] však vyplývá, že kvalita vnitřního ovzduší v učebnách škol je často nedostatečná, a to nejen v našich podmínkách.



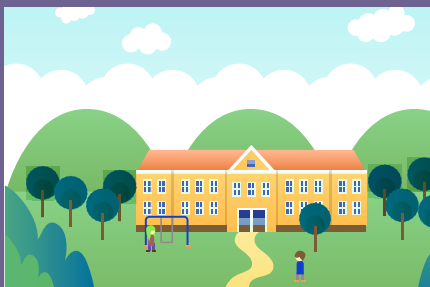
**Obr. 2.11** Subjektivní hodnocení kvality vnitřního ovzduší ve školách

### Závěry dotazníkového průzkumu

Průzkum poskytl určitou představu o stavu školských budov v ČR z hlediska stáří, technického vybavení, umístění, chování uživatelů a školního režimu ve vztahu k vytváření kvalitního vnitřního prostředí. Z obdržených odpovědí je možné vyvodit některé dílčí závěry, typické pro školní budovu. Typická škola prošla rekonstrukcí v podobě zateplení a výměny oken z důvodu energetických úspor spojených se snižováním potřeby tepla na vytápění. Je vybavena těsnými okny a větrání se předpokládá přirozené otevíratelnými okny s ručním ovládáním na základě úsudku vyučujícího. Okna jsou většinou uzavřená z důvodu energetických úspor nebo bezpečnosti žáků (o přestávkách žáci většinou nejsou pod dozorem). Na základě výsledků dotazníkového průzkumu lze usuzovat, že ve většině školských budov není zajištěna odpovídající kvalita vnitřního ovzduší.

### Proč má typická česká škola znehodnocené vnitřní prostředí? Jedná se o současné působení řady vlivů:

- je „pouze“ zateplená a vybavená těsnými okny,
- větrání se předpokládá přirozené,
- větrání je plně v režii vyučujícího,
- šetří se energií,
- o přestávkách se nevětrá z důvodu bezpečnosti,
- vedení a zřizovatel školy většinou nemají o kvalitě vnitřního ovzduší představu,
- problém si nikdo nepřipouští, jsme lhostejní.



## 2.5 Příklady měření kvality ovzduší na českých školách

Na současný stav vnitřního prostředí v učebnách českých škol poukazuje řada studií, např. [32]. O kvalitě vnitřního ovzduší, resp. větrání, dobře informuje koncentrace oxidu uhličitého CO<sub>2</sub> i přes to, že CO<sub>2</sub> není jedinou znečišťující látkou ve vnitřním ovzduší budov (více viz 3.3.1). Následující odstavce uvádějí příklady průběhu koncentrace CO<sub>2</sub> ve vybraných učebnách mateřských, základních a středních škol.

### Mateřská škola

Na obr. 2.12 jsou uvedeny průběhy koncentrace CO<sub>2</sub> ve čtyřech učebnách mateřské školy. Každá z učeben byla umístěna v jiném objektu (viz tab. 2.2). Jedna z učeben (učebna M) je vybavena nuceným větráním v podobě větrací jednotky se zpětným získáváním tepla (ZZT). Z uvedených průběhů koncentrace CO<sub>2</sub> je zřejmé, že maximální hodnoty dosahují přípustné koncentrace 1500 ppm jen zřídka. Tento pozitivní průběh je dán zejména nízkou produkcí CO<sub>2</sub> dětí ve věku 3 – 6 let (viz dále) a režimem MŠ. Počet dětí ve třídě je omezen (tab. 2.2) a do výsledků vstupuje rovněž docházka dětí do školky (obsazenost). Docházka dětí a jejich časové setrvání v MŠ jsou nepravidelné a řídí se i možnostmi rodičů. Režim mateřských škol se oproti školám, ve kterých převažuje výukový proces, samozřejmě liší. V časovém programu jednoho dne mateřské školy jsou různé aktivity. Pokud to počasí dovolí, děti tráví podstatnou část dne ve venkovním prostředí, což je čas, kdy může být učebna přirozeně vyvětrána (bez vedlejších rizik, jakým je tepelný diskomfort).

Z detailu na obr. 2.13 je zřejmé, jak průběh koncentrace CO<sub>2</sub> dobře koresponduje s denním režimem mateřské školy. Prudký nárůst koncentrace CO<sub>2</sub> je spojen s příchodem dětí do školky a jejich zvýšenou aktivitou. Po 10.00 hodině dochází k poklesu koncentrace CO<sub>2</sub> způsobenému intenzivním větráním v době nepřítomnosti dětí. Ve 12.00, tj. v době oběda, dochází opět k mírnému nárůstu (činnost dětí je umírněná – oběd, po kterém následuje odpočinek), k dalšímu nárůstu, který souvisí se zvýšenou aktivitou dětí, dochází až po 15.00 hodině.

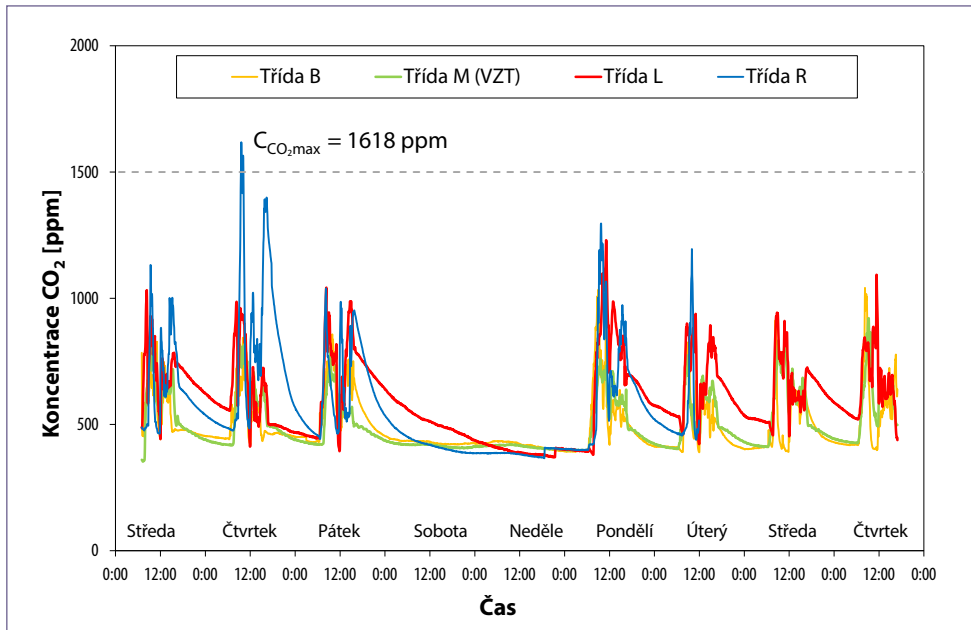
Na první pohled se může zdát, že vytváření vnitřního prostředí v mateřských školách nepředstavuje nijak zásadní problém. Na druhou stranu je nutno poznamenat, že v mateřských školkách se vyskytují i jiné znečišťující látky, které se uvolňují zejména z vnitřního vybavení učeben (koberce, plastové hračky, nábytek apod.). Monitorování těchto látek v MŠ je předmětem současného zkoumání (SZÚ).

Na obr. 2.14 je pak znázorněn průběh teploty vnitřního vzduchu ve sledovaných učebnách. Třída M je sice vybavena nuceným větráním, nicméně stavebně je navržena po-

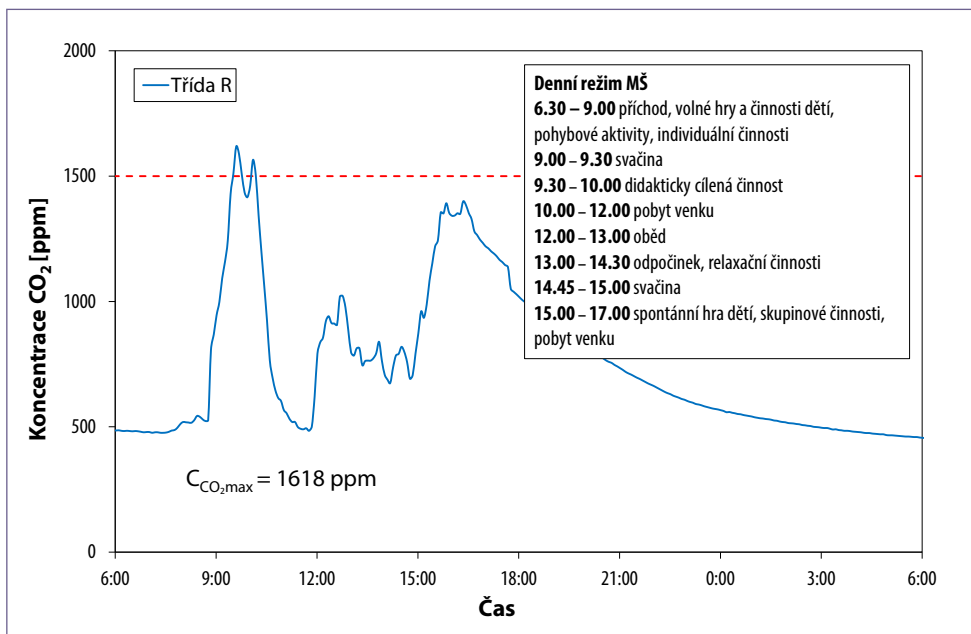
**Tab. 2.2** Seznam zkoumaných učeben mateřských škol

Název třídy	Stáří budovy (rok výstavby)	Větrání	Počet dětí během měření / max.	Okna
Třída M	2014	Nucené	17 / 22	pevná
Třída B	1970	Přirozené	22 / 23	otevíratelná
Třída L	1925	Přirozené	11 / 15	otevíratelná
Třída R	1955	Přirozené	9 / 15	otevíratelná

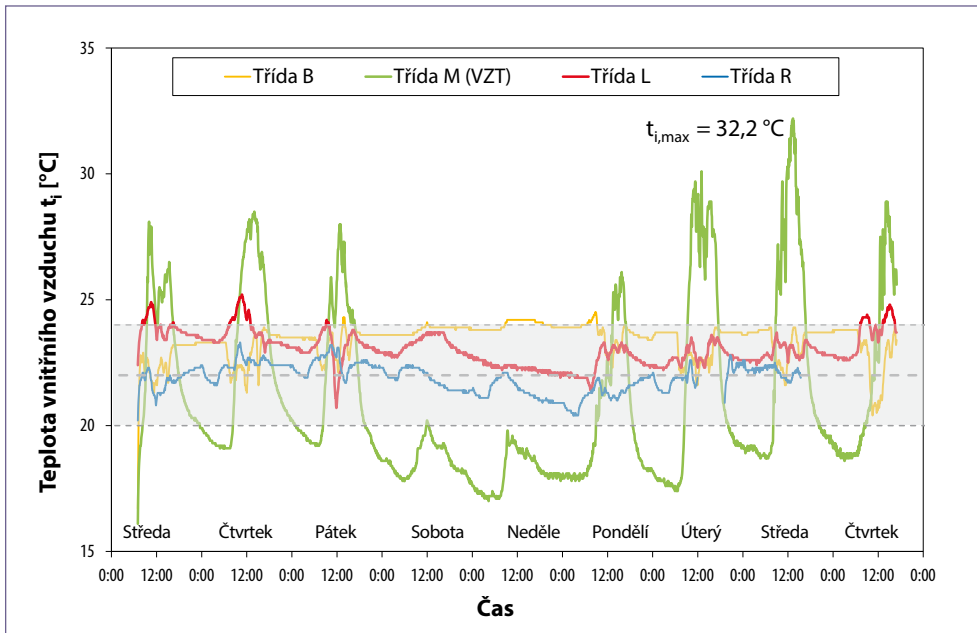
někud nevhodně. Budova školky byla dokončena v roce 2014 a je koncipována jako „lehká“, bez výrazné akumulární schopnosti stavební konstrukce (viz 6.1.7). Učebna je vybavena okny o značné ploše, bez možnosti otevírání, s převážně jižní orientací. To má za následek zvýšení teploty vnitřního vzduchu během dne, která díky tepelným ziskům



**Obr. 2.12** Průběh koncentrace  $\text{CO}_2$  v učebnách MŠ (25. 2. až 6. 3. 2015)



**Obr. 2.13** Průběh koncentrace  $\text{CO}_2$  ve vybrané učebně a obvyklý denní režim MŠ



**Obr. 2.14** Průběhy teploty vnitřního vzduchu  $t_i$  v učebnách MŠ (25. 2. až 6. 3. 2015)

(vnitřním i vnějším) nezřídka převyšuje běžně únosnou mez. Otázkou je, zda je větrací jednotka spolu s otopnou soustavou provozována správně. V zimním a přechodovém období lze do učeben přivádět poněkud chladnější vzduch a tepelnou zátěž částečně odvádět. U ostatních zkoumaných učeben, které jsou umístěny ve starší zástavbě, je teplota vnitřního vzduchu v očekávaných mezích 20 až 24 °C.

### Základní škola

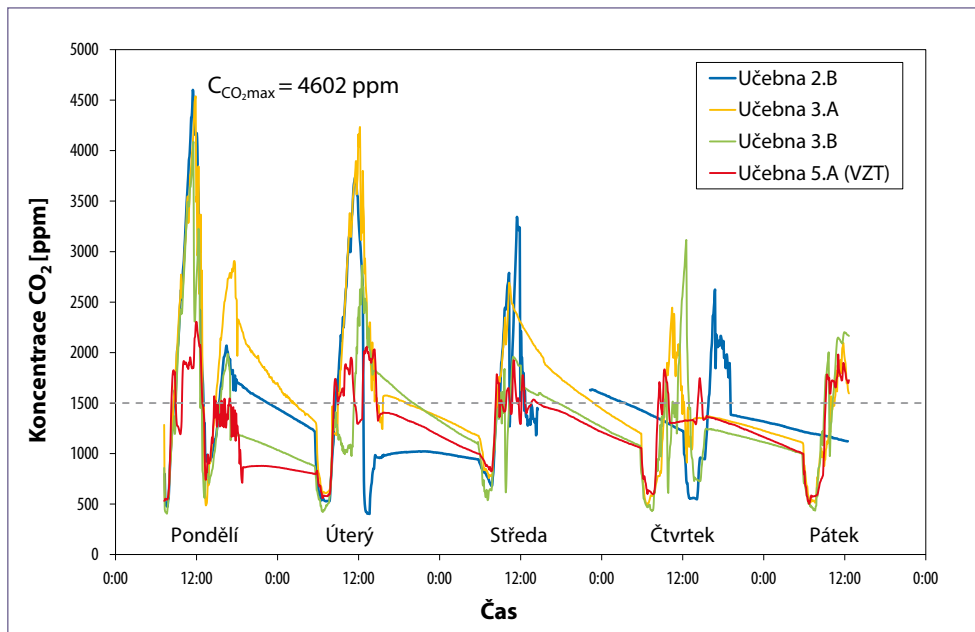
Závažnější situace je na školách základních, i s ohledem na odlišnou organizaci výuky. Výukový proces vč. přestávek je na základní škole pevně stanoven. Žáci ZŠ jsou většinu dne přítomni v kmenové učebně, kterou opouštějí pouze zřídka (v době tělesné výchovy nebo specializované výuky). Počet žáků v jedné učebně je poměrně vysoký (až 30), výjimku tvoří malotřídní školy.

Na obr. 2.15 jsou uvedeny průběhy koncentrace  $\text{CO}_2$  ve čtyřech různých učebnách ZŠ. Tři učebny jsou větrány pouze přirozeně, učebna 5.A je vybavena větrací jednotkou (VZT). Charakter průběhu koncentrace  $\text{CO}_2$  v učebnách s přirozeným větráním je vždy obdobný. Po příchodu žáků do učebny (8.00) dochází k velmi rychlému nárůstu koncentrace  $\text{CO}_2$  na vysokou úroveň (přes 1500 ppm), koncentrace klesá teprve po odcho-

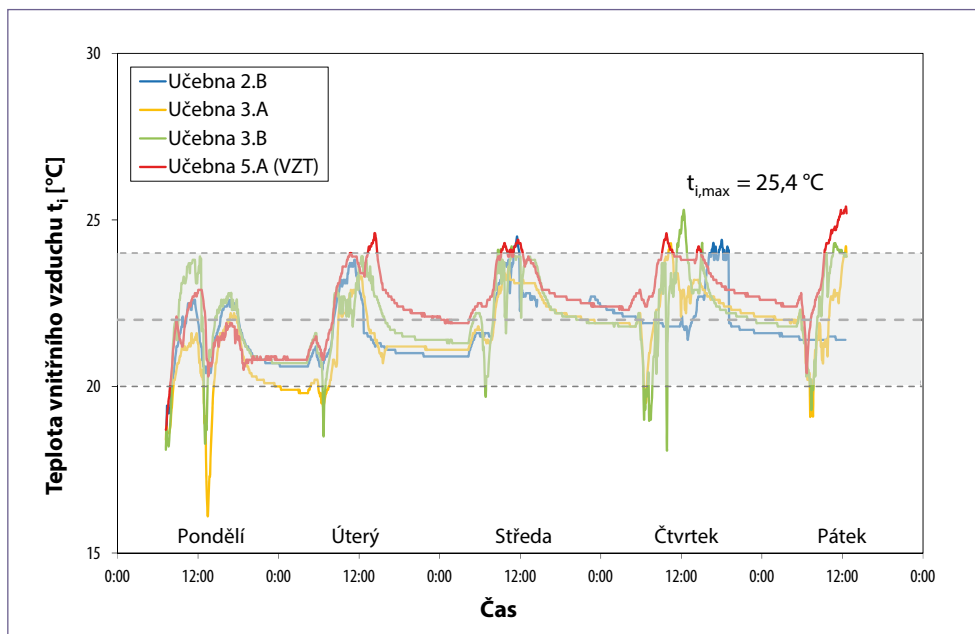
**Intenzita větrání** udává, kolikrát za hodinu se v objemu větraného prostoru  $O$  [ $\text{m}^3$ ] vymění čerstvý venkovní vzduch  $V_e$  [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$$I = \frac{V_e}{O} \quad [\text{h}^{-1}]$$

du žáků ze třídy (cca ve 12.00 hodin). Učebna s větrací jednotkou (VZT) vykazuje výrazně příznivější výsledky. I zde je však překračována přípustná koncentrace  $\text{CO}_2$  1500 ppm (jednotku nelze provozovat při vyšších otáčkách z důvodu hlučnosti [4]). Z průběhů je rovněž patrný pokles koncentrace  $\text{CO}_2$  cca 2 hodiny před vyučováním, kdy koncentrace



Obr. 2.15 Průběhy koncentrace  $\text{CO}_2$  v učebnách ZŠ



Obr. 2.16 Průběhy teploty vnitřního vzduchu  $t_i$  v učebnách ZŠ

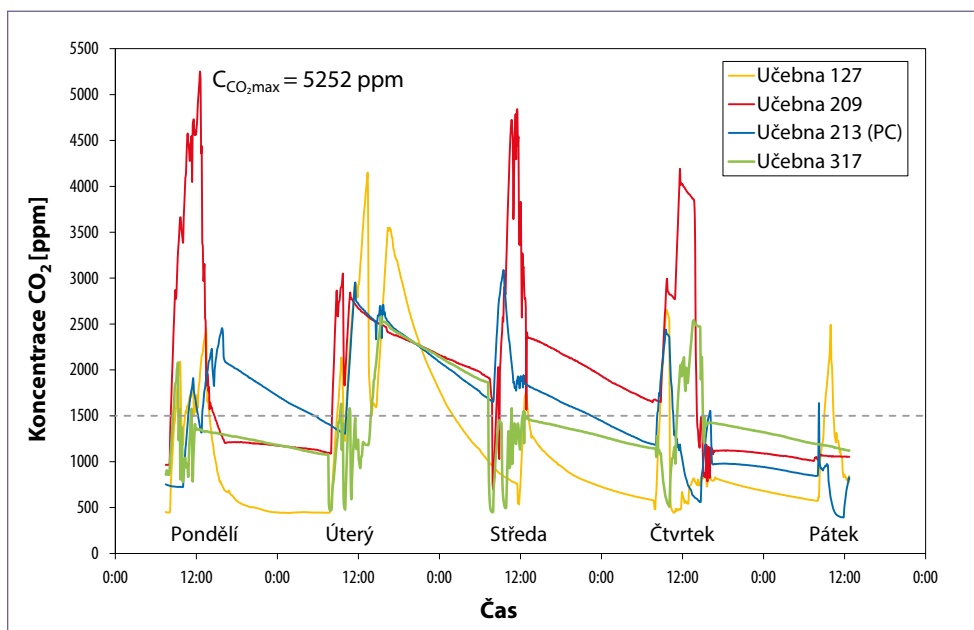
klesá až na venkovní úroveň. Tento pokles je patrný každý den u všech zkoumaných tříd. Během noci při zavřených oknech nedojde k řádnému vyvětrání místnosti – koncentrace  $\text{CO}_2$  venkovní úrovně nedosáhne. K tomu dochází až s příchodem uklízečky před vyučováním, kdy se v učebnách s největší pravděpodobností intenzivně větrá (otevřená okna i dveře).

Trvalý růst koncentrace  $\text{CO}_2$  v učebnách ZŠ (2.B, 3.A, 3.B) patrný z grafu na obr. 2.15 naznačuje, že větrání těchto učeben je nedostatečné. Průtok venkovního vzduchu, resp. intenzitu větrání, lze stanovit z následného poklesu koncentrace  $\text{CO}_2$ , kdy děti opustily učebnu (produkce  $\text{CO}_2$  v učebně = 0). K tomuto účelu lze použít výpočetní software NCALC 3.0 založený na metodice [61]. Místní intenzita větrání vyhodnocená z poklesu koncentrací se pohybuje v rozmezí 0,02 až 0,07  $\text{h}^{-1}$ . Údaje potvrzují domněnku o nedostatečném větrání učeben.

Na obr. 2.16 je znázorněn průběh teploty vzduchu. Je zřejmé, že teplota vzduchu po začátku vyučování díky tepelným ziskům roste. Teplota vzduchu v době, kdy by se dal očekávat útlumový provoz, tj. v noci, prakticky neklesá pod 20 °C. Svou roli zde hraje i akumulační schopnost budov, které jsou tvořeny železobetonovým skeletem (typická sídlištní výstavba 70. let – zateplené budovy).

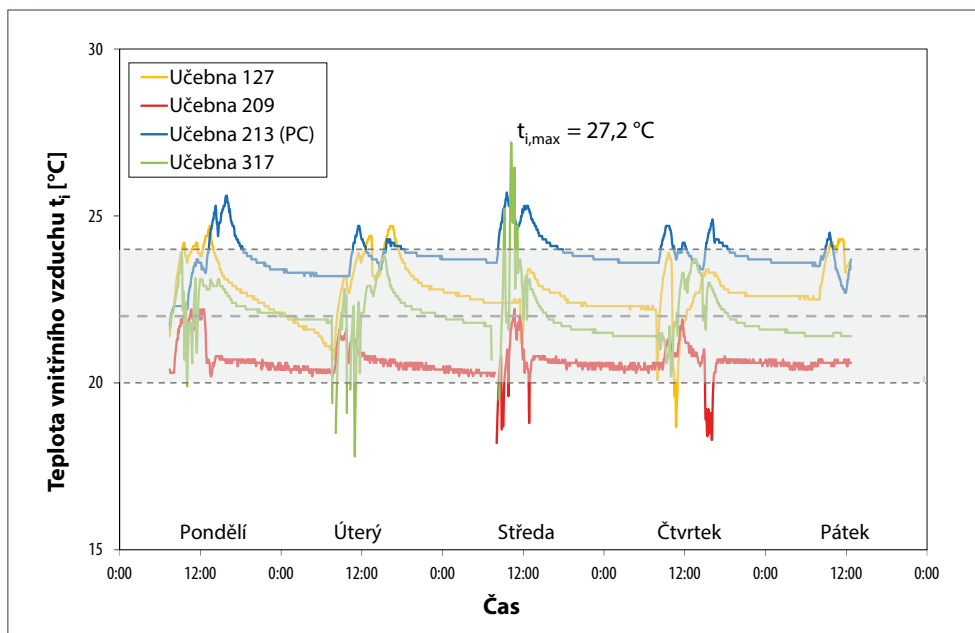
### Střední škola

Pro úplnost je na obr. 2.17 uveden průběh koncentrace  $\text{CO}_2$  v učebnách střední školy větraných přirozeně. Střední škola má obdobný provoz jako škola základní. Rozdíl je ve věku žáků, resp. studentů, kteří produkují větší množství oxidu uhličitého (viz dále). Z hlediska provozu učeben střední školy je příznivá skutečnost, že studenti často mění učebny v rámci školy pro jednotlivé odborné předměty. Ovšem jak bude vidět dále, ani to nezajistí potřebnou kvalitu vnitřního prostředí.



Obr. 2.17 Průběhy koncentrace  $\text{CO}_2$  v učebnách SŠ

Učebna č. 209 (červený průběh) na obr. 2.17 dosahuje velmi vysokých hodnot koncentrace  $\text{CO}_2$  převyšujících v jednom dni 5000 ppm, nicméně u ostatních učeben je rovněž výrazně převyšována limitní hodnota 1500 ppm. Obdobně jako u základních škol dojde po opuštění učebny k poklesu koncentrace a následující den přicházejí žáci do učebny s koncentrací  $\text{CO}_2$  odpovídající přibližně koncentraci ve venkovním ovzduší. Jak je vidět, dosažení tohoto stavu není vždy pravidlem; ve čtvrtek ráno je koncentrace v učebně 209 vyšší než limit 1500 ppm. Strmý pokles koncentrace  $\text{CO}_2$  po vyučování (např. červená křivka – v pondělí po 12.00) značí intenzivní provětrávání místnosti po vyučování. Ostatní poklesy jsou způsobené výhradně infiltrací vzduchu. Na základě poklesu koncentrace  $\text{CO}_2$  byla vyhodnocena místní intenzita větrání při zavřených oknech. Měření probíhalo mezi 12. až 16. 1. 2015. V uvedených učebnách dosahuje intenzita větrání hodnot do  $0,1 \text{ h}^{-1}$ . Na obr. 2.18 jsou znázorněny průběhy teploty vzduchu ve vybraných učebnách. Situace je obdobná jako v předchozím případě (ZŠ), rovněž stav budovy je obdobný; konstrukci tvoří železobetonový skelet a fasáda po zateplení.



Obr. 2.18 Průběhy teploty vnitřního vzduchu  $t_i$  v učebnách SŠ

## 3 Vnitřní prostředí škol

Vnitřní prostředí ve školách je ovlivněno řadou fyzikálních a chemických parametrů, které mají přímý vliv na fyzický i duševní stav člověka. Společný účinek skupiny specifických parametrů pak vyjadřuje tepelný stav prostředí, čistota (kvalita) ovzduší, akustika prostředí a kvalita osvětlení. Cílem návrhu otopné soustavy a větracího systému by mělo být dosažení takových podmínek, které jsou pro lidský organismus *optimální* (tepelná pohoda, kvalita vnitřního ovzduší). Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí musí být nadřazeny energetickým úsporám a pro školy to platí dvojnásobně.

Důvody pro úpravu stavu prostředí ve školách jsou většinou hygienické, které definují požadavky na stav prostředí z hlediska činnosti lidského organismu. Vnitřní prostředí školských budov je zatíženo produkcí tepla, vlhkosti a znečišťujících látek, které ovlivňují teplotu, vlhkost a kvalitu ovzduší. Technologické požadavky na větrání se uplatňují u větrání kotelen, kuchyní apod.

### 3.1 Produkce tepla a vodní páry od dětí a mladistvých

Důležitým podkladem pro návrh větracího (případně klimatizačního) zařízení je znalost produkce tepla od osob vykonávajících určitou činnost. Produkci tepla od osob lze stanovit podle teorie uvedené např. v publikaci [12] na základě tepelné bilance člověka.

**Tab. 3.1** Energetický výdej pro různé druhy lidské činnosti ve školách

Lidská činnost	Prostory	$M$ [met]	$q_m$ [W/m <sup>2</sup> ]
Sezení uvolněné	zasedací místnosti	1,0	58
Činnost vsedě	učebny, jídelny	1,2	70
Lehká činnost vstoje	laboratoře	1,6	93
Chůze bez zátěže	chodby	1,9	110
Tělocvik	tělocvičny	3 – 4	174 – 232

Pozn.: Energetický výdej a tepelný odpor oděvu lze vyjádřit dvěma způsoby [100]:

Energetický výdej  $M = 1$  [met] odpovídá  $q_m = 58,15$  [W/m<sup>2</sup>]

Tepelný odpor oděvu  $I_{od} = 1$  [clo] odpovídá  $R_{od} = 0,155$  [m<sup>2</sup>K/W]



Pro zadaný energetický výdej  $M$  [met] a tepelný odpor oděvu  $l_{od}$  [clo] lze stanovit produkci citelného a vázaného tepla (vodní páry) při různých podmínkách tepelného stavu prostředí (teplota vnitřního vzduchu  $t_a$ , střední radiační teplota  $t_r$ , rychlost proudění  $w$  a vlhkost vzduchu  $\varphi$ ). Hodnoty metabolického toku pro typické činnosti ve školách jsou uvedeny v tab. 3.1.

Při výpočtu tepelné zátěže od osob se předpokládá, že veškerý energetický výdej (metabolický tok) se přemění na teplo (energetický výdej pro mechanickou práci člověka je nepodstatný). Tepelný tok obsahuje citelnou a vázanou složku

$$\dot{q}_m = \dot{q}_{cit} + \dot{q}_{váz} \quad [\text{W/m}^2] \quad (1)$$

Celkový tepelný tok sdílený člověkem je

$$\dot{Q}_m = \dot{q}_m A_{Du} = (\dot{q}_{cit} + \dot{q}_{váz}) A_{Du} = \dot{Q}_{cit} + \dot{Q}_{váz} \quad [\text{W}] \quad (2)$$

kde  $A_{Du}$  je povrch lidského těla, podle DuBoise [1] se stanoví jako

$$A_{Du} = 0,202 m^{0,425} H^{0,725} \quad [\text{m}^2] \quad (3)$$

Tělesné parametry (výšku  $H$  [m] a hmotnost  $m$  [kg]) dětí a mladistvých do věku 18 let je možné stanovit z růstových percentilových grafů, které používají pediatři pro kontrolu správného růstu dítěte (viz informační pole na další straně). U dospělých osob se vychází z hodnoty  $A_{Du} = 1,8 \text{ m}^2$ .

Tepelnou zátěž místností tvoří citelný tepelný tok, vlhkostní zátěž je způsobena produkcí vodní páry, která se stanoví jako

$$\dot{M}_w = \frac{\dot{Q}_{váz}}{l} \quad [\text{kg/s}] \quad (4)$$

kde  $l$  je výparné teplo [J/kg].

**Tab. 3.2** Produkce tepla a vodní páry na 1 osobu pro různé druhy činnosti (při  $t_a = t_r = t_o = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $l_{od} = 0,7 \text{ clo}$ ,  $w = 0,1 \text{ m/s}$ , 50% percentil)

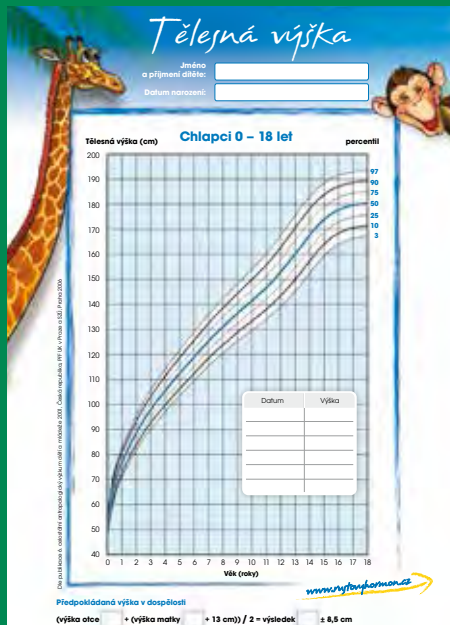
Činnost	M [met]	Věk							
		6 let		10 let		15 let		18 let	
		$Q_{cit}$ [W]	$M_w$ [g/h]	$Q_{cit}$ [W]	$M_w$ [g/h]	$Q_{cit}$ [W]	$M_w$ [g/h]	$Q_{cit}$ [W]	$M_w$ [g/h]
Sezení uvolněné	1,0	41	11	57	14	83	19	91	20
Činnost vsedě	1,2	42	25	58	33	84	45	93	48
Lehká činnost vstoje	1,6	43	52	59	70	87	97	97	104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

Výpočetní model produkce citelného tepla a vodní páry je detailně popsán v literatuře [76] a platí pro mírné tepelné prostředí.

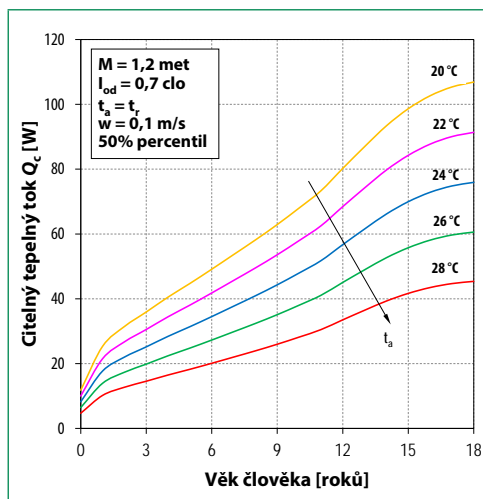
Na následujících grafech jsou uvedeny výsledky výpočtu produkce citelného tepla (obr. 3.1) a vodní páry (obr. 3.2) pro konkrétní činnost osob pobývajících v učebnách (1,2 met) a tepelný odpor oděvu 0,7 [clo] (viz [101]) v závislosti na teplotě vzduchu  $t_a$  (předpoklad  $t_r = t_a$ ). Rychlost proudění v pásmu pobytu osob je uvažována 0,1 m/s. Zobrazené hodnoty představují průměrnou hodnotu citelného tepelného zisku od chlapců a dívek. Pro účely výpočtu byl použit 50% percentil tělesných proporcí dětí.

V tab. 3.2 jsou uvedeny výsledky produkce citelného tepla a vodní páry pro typické činnosti ve školách při teplotě vnitřního vzduchu 22 °C (průměrná hodnota pro chlapce a dívky při uvažování 50% percentilu).

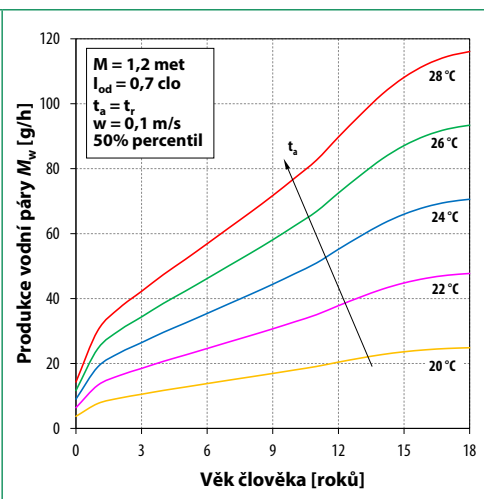
**Percentilové růstové grafy** používají pediatři pro sledování tělesného růstu dítěte. V technice prostředí dobře poslouží ke stanovení fyzických proporcí člověka za účelem stanovení produkce tepla, vodní páry nebo metabolického CO<sub>2</sub>.



Zdroj: [www.rustovyhormon.cz](http://www.rustovyhormon.cz)



**Obr. 3.1** Produkce citelného tepla od dětí a mladistvých (učebny)



**Obr. 3.2** Produkce vodní páry od dětí a mladistvých (učebny)

## 3.2 Tepelný a vlhkostní stav prostředí

Úkolem zařízení upravujících tepelný a vlhkostní stav prostředí (vytápění, větrání a klimatizace) je vytvoření optimálních hodnot veličin ovlivňujících **tepelnou pohodu člověka**. Tepelná pohoda je subjektivní pocit (stav mysli), při němž je zachována tepelná rovnováha za optimálních fyziologických podmínek. **Tepelná rovnováha** je stav, při němž je zachována rovnost mezi produkovaným tepelným tokem a tokem tepla, který je tělu odnímán – více o tepelné rovnováze člověka viz např. [12].

Tepelnou pohodu ovlivňují následující parametry stavu prostředí:

- teplota vzduchu  $t_a$ ,
- střední radiační teplota  $t_r$ ,
- rychlost proudění vzduchu  $w$ ,
- intenzita turbulence  $Tu$ ,
- relativní vlhkost vzduchu  $\varphi$ ,

a dále veličiny charakterizující stav člověka

- intenzita lidské činnosti (aktivita)  $M (q_m)$ ,
- tepelný odpor oděvu  $I_{od} (R_{od})$ ,

mimo výše uvedené ovlivňují tepelnou pohodu i další nezávislé faktory, jako je pohlaví, stáří nebo zdraví člověka.

**Teplota vzduchu**  $t_a$  se může pohybovat v širokém rozmezí hodnot. Minimální teplota vzduchu v učebnách by měla být cca 22 °C (v zimě). Během letních prázdnin se zpravidla v učebnách neučí. Ukazuje se, že podstatnou část roku tepelné zisky (vnitřní – osoby, technologická zařízení, venkovní – sluneční záření) převyšují tepelné ztráty místností a teploty vnitřního vzduchu mohou dosahovat v přechodovém a letním období značných hodnot (nad 30 °C). Často je důvodem právě nedostatečné nebo nevhodně navržené větrání.

Školní budovy by měly být stavěny tak, aby nebylo nutno vnitřní prostředí strojně chladit, neboť je to investičně i provozně nákladné. Většinu školního roku lze pro odvod tepelné zátěže (nebo alespoň částečně) využít větrací vzduch, jehož teplota je nižší než teplota vzduchu v učebně (viz dále). Z pohledu stavebního řešení se využívají různé způsoby tzv. pasivního chlazení jako např. využití stavebních hmot s vysokou akumulační schopností, použití venkovních žaluzií pro stínění proti slunečnímu záření apod.

**Střední radiační teplota**  $t_r$  je definována jako společná teplota všech okolních ploch, při které by bylo celkové množství tepla sdílené sáláním mezi povrchem těla a okolními plochami stejné jako ve skutečnosti. V zimním období ovlivňují střední radiační teplotu  $t_r$  v obytném prostředí především chladné okenní povrchy, neizolované podlahy, otopné plochy apod.

### Nespokojenost s daným tepelným stavem

V každé skupině se najde minimálně 5 % osob, které budou s daným tepelným stavem nespokojeny [18], a to i tehdy, jsou-li parametry prostředí tzv. „optimální“.

**Rychlost proudění vzduchu**  $w$  v obytných prostorách bývá zpravidla do 0,2 m/s. S rychlostí proudění vzduchu, resp. s její změnou v čase, souvisí **intenzita turbulence**  $Tu$  (více informací lze nalézt např. v publikaci [12]).

**Relativní vlhkost vzduchu**  $\varphi$  [%] je veličina závislá na hmotnostním obsahu vodních par ve vzduchu (měrné vlhkosti  $x$  [g/kg<sub>s,v.</sub>] = gramů vodních par v 1 kg suchého vzduchu) a teplotě vzduchu. Relativní vlhkost udává, do jaké míry je vzduch nasycen vodními parami. V našich podmínkách se doporučuje, aby relativní vlhkost byla v rozmezí 30 až 70 %.

### 3.2.1 Celkové hodnocení tepelného stavu prostředí

V našich právních předpisech je tepelný stav prostředí určen veličinami, které hodnotí současný vliv teploty vzduchu  $t_a$ , střední radiační teploty  $t_r$  a rychlosti proudění  $w$ . Těmito veličinami jsou *operativní teplota*  $t_o$  a rovněž *teplota výsledná*  $t_g$ .

**Operativní teplota**  $t_o$  zahrnuje společný vliv teploty vzduchu  $t_a$ , střední radiační teploty  $t_r$  a rychlosti proudění  $w$ . Pro  $w < 0,2$  m/s se vliv rychlosti proudění zanedbává a operativní teplotu lze stanovit jako aritmetický průměr  $t_o$  a  $t_r$ ,

$$t_o = \frac{t_a + t_r}{2} \quad [^\circ\text{C}] \quad (5)$$

**Výsledná teplota**  $t_g$  je teplota, které dosáhne kulový teploměr (kulová baňka z tenkého plechu natřeného černou matnou barvou, v níž je umístěno teplotní čidlo) po ustálení, kdy sálavý tepelný tok z prostředí do kulové baňky je v rovnováze s konvekčním tepelným tokem z povrchu koule do prostředí. Kulový teploměr umožňuje stanovit střední radiační teplotu  $t_r$ .

### 3.2.2 Požadavky na tepelný a vlhkostní stav vnitřního prostředí škol

Závazné požadavky na tepelný a vlhkostní stav ve školách jsou definovány v právních předpisech. Budovy pro vzdělávání dětí a mladistvých (myšleno mateřské, základní a

**Tab. 3.3** Požadavky na tepelný stav prostředí podle platného právního předpisu [91]

Prostor	Výsledná teplota $t_g$ [°C]			Rychlost proudění $w$ [m/s]	Relativní vlhkost $\varphi$ [%]
	min.	opt.	max.		
Učebny, pracovny	20	22 ± 2	28	0,1 až 0,2	30 až 65
Tělocvičny	18	20 ± 2	28		
Šatny	20	22 ± 2	28		
Záchody	18	-	-		
Chodby	18	-	-		
Sprchy	24	-	-	-	-

## Otazníky nad vyhláškou č. 410/2005 Sb.

Ve vyhlášce č. 410/2005 Sb. je požadavek na maximální výslednou teplotu v učebnách 28 °C (v § 18 se přitom hovoří o maximální výsledné teplotě 31 °C). Je otázkou, zda lze takový požadavek v dnešní době splnit. Většina škol je zateplena, přívod větracího vzduchu je zanedbatelný a tepelné zisky učebny často převyšují tepelné ztráty.

Přerušování vyučování a zajištění náhradního opatření není řešení. Řešením je řádné větrání, které přispívá k odvodu tepelné zátěže – ve školách v podstatě celoročně.

střední školy – dále jen MŠ, ZŠ a SŠ) řeší vyhláška č. 410/2005 Sb. [91], která stanovuje průměrné hodnoty minimální (pro chladné období roku) a maximální (pro teplé období roku) výsledné teploty  $t_g$ , rychlosti proudění  $w$  a relativní vlhkosti vzduchu  $\varphi$  pro vybrané prostory škol (viz tab. 3.3). Tam, kde lze očekávat rozdíly mezi teplotou vzduchu  $t_a$  a výslednou teplotou  $t_g$  menší než 1 °C, lze pro hodnocení využít teplotu vzduchu  $t_a$ .

Zdá se, že požadavky na tepelný a vlhkostní stav učeben v [91] vzešly z požadavků na pracovní prostředí. Tyto požadavky však vedou k použití vzduchotechniky (klimatizace) s řízenou úpravou vzduchu a v tomto kontextu jsou téměř nesplnitelné (viz informační pole).

Vyhláška č. 6/2003 Sb. [90] se vztahuje na všechny ostatní pobytové prostory, které nejsou ošetřeny vyhláškou č. 410/2005 Sb. [91], tedy např. na učebny vysokých škol, uměleckých škol, jazykových škol apod. Tato vyhláška je ještě přísnější a aplikace hodnot zde uvedených jednoznačně směřuje ke klimatizaci s řízenou úpravou vzduchu. Vyhláška však připouští použití přímého přirozeného větrání. Opět můžeme pouze polemizovat nad smyslem uvedených hodnot. Co se stane, když rychlost proudění bude menší než 0,16 m/s, resp. 0,13 m/s? Jak zajistit rychlost 0,2 m/s v případě přímého přirozeného větrání? Musí být relativní vlhkost v létě maximálně 65 %, i když nastane teplý deštivý den?

**Tab. 3.4** Požadavky na tepelný a vlhkostní stav prostředí učeben podle vyhlášky č. 6/2003 Sb. [90]

Tepelně-vlhkostní podmínky	Období roku	
	teplé	chladné
Výsledná teplota $t_g$ [°C]	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2
Rychlost proudění $w$ [m/s]	0,13 až 0,20	0,16 až 0,25
Relativní vlhkost $\varphi$ [%]	max. 65 %	min. 30 %

### 3.3 Čistota ovzduší a znečišťující látky

Ve vnitřním prostředí tráví člověk podstatnou část života, udává se, že je to 80 až 90 % času. Výjimkou nejsou ani děti – žáci škol, kteří tráví značnou část dne ve vnitř-

## Právo na zdravé vnitřní ovzduší – WHO 2000

Níže uvedené principy vycházejí ze základních principů v oblasti lidských práv, biomedicínské etiky a ekologické udržitelnosti:

- 1. Podle principu lidského práva na zdraví** má každý člověk právo dýchat zdravé vnitřní ovzduší.
- 2. Podle principu respektování autonomie** má každý člověk právo na adekvátní informace o potenciálně škodlivých expozicích a na poskytnutí účinných prostředků pro kontrolu alespoň části vnitřních expozic.
- 3. Podle principu nepáchání zla** by se do vnitřního ovzduší neměla dostat žádná látka v koncentraci, která vystavuje obyvatele vnitřního prostoru zbytečnému ohrožení zdraví.
- 4. Podle principu prospěšnosti** nesou všichni jednotlivci, skupiny a organizace spojené s nějakou budovou, ať už soukromou, veřejnou nebo vládní, odpovědnost za teoretické i praktické prosazování přijatelné kvality ovzduší pro obyvatele vnitřních prostor.
- 5. Podle principu sociální spravedlnosti** by sociální a ekonomické postavení obyvatel vnitřních prostor nemělo mít žádný vliv na jejich přístup ke zdravému vnitřnímu ovzduší.
- 6. Podle principu odpovědnosti** by všechny významné organizace měly stanovit explicitní kritéria pro hodnocení kvality vnitřního ovzduší v budovách a jeho dopadu na zdravotní stav populace a životního prostředí.
- 7. Podle principu předběžné opatrnosti** se v případě rizika expozice škodlivé vnitřnímu ovzduší nesmí nejistota v tomto ohledu považovat za důvod k odkládání efektivních opatření, kterými by této expozici bylo možno předejít.
- 8. Podle principu „původce znečištění platí“** je původce znečištění odpovědný za jakékoli poškození zdraví a blaha plynoucí z expozice nezdравému vnitřnímu ovzduší. Navíc je původce znečištění odpovědný za jeho zmírnění a nápravu.
- 9. Podle principu udržitelnosti** nelze od sebe oddělovat otázky zdraví a životního prostředí a zajištění zdravého vnitřního ovzduší by nemělo vést k narušení globální nebo lokální ekologické integrity nebo práv budoucích generací.

*Zdroj: WHO (na základě informace zveřejněné v časopise VVI 3/2001)*

ním prostředí učeben školských budov. Kvalitu vnitřního ovzduší (IAQ – z angl. Indoor Air Quality) v učebnách škol významně ovlivňují znečišťující látky (škodliviny), které mohou být produkovány přímo ve vnitřním prostředí nebo se do prostoru dostávají z prostředí venkovního. Kromě látek s chemickým a biologickým účinkem působí na člověka škodlivě i jemné pevné částice  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  (viz odstavec 3.3.2). Učebna je z hlediska právního výkladu obytným prostorem a vztahují se na ni hygienické předpisy, kde jsou uvedeny limitní hodnoty pro fyzikální, chemické a biologické ukazatele ve vnitřním prostředí [90].

Zdrojem znečišťujících látek ve vnitřním prostředí jsou jednak lidé, kteří produkují látky vznikající při metabolických procesech (CO<sub>2</sub>, vodní pára). Škodliviny však mohou být do vnitřního ovzduší emitovány i ze stavebních konstrukcí a vnitřního zařízení učeben (plasty, překližky, nátěry, podlahové krytiny apod.). Jedná se o známé látky (např. těkavé organické sloučeniny, ftaláty, formaldehyd apod.), ale i o nové sloučeniny z moderních typů izolací, pojiv a nových dekoračních materiálů v interiéru. U některých látek, jako jsou například ftaláty nebo formaldehyd, již byla prokázána souvislost s negativními dopady na zdraví přítomných osob [8] a jejich použití je kontrolováno. Nové materiály však produkují sloučeniny, které nejsou dostatečně prozkoumány z hlediska dlouhodobého působení a latence, a proto chybí informace o jejich dopadu na zdraví osob. Navíc ve vnitřním prostředí dochází k chemickým reakcím, což vede často ke vzniku nových potenciálně nebezpečných sloučenin. Protože zdroje škodlivin z vnitřního vybavení a stavebních konstrukcí nelze většinou přesně definovat, nebo vyloučit jejich přítomnost, hlavním nástrojem pro zajištění dobré kvality vnitřního prostředí je dostatečný přívod čerstvého vzduchu – větrání.

Vnitřní prostředí učeben mohou znehodnocovat i látky z venkovního prostředí. I když venkovní vzduch považujeme z hlediska větrání za čerstvý, může být znehodnocen. Jedná se o školy umístěné např. v blízkosti rušné komunikace nebo zdrojů znečištění (Ostravsko). V případě znečištění venkovního ovzduší je nutno tyto látky odstranit vhodným typem filtrace.

Specifickou látkou je radon, který je provázen ionizujícím zářením. Ten může vnikat do budov z podloží (netěsnostmi), nebo se může přímo uvolňovat ze stavebních materiálů s vyšším obsahem přírodních radionuklidů (starší výstavba). Pro závažnost výskytu radonu ve vnitřním prostředí budov je této škodlivině věnován samostatný odstavce 3.3.3.

### 3.3.1 Znečišťující látky z vnitřního prostředí

#### Oxid uhličitý CO<sub>2</sub>

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, běžně se vyskytující ve vzduchu. Venkovní koncentrace závisí na stupni urbanizace v dané oblasti a případně i na denní době. V literatuře najdeme rozmezí 350 až 500 ppm, vyšší hodnoty (až 700 ppm) se týkají více znečištěných oblastí. Měření z poslední doby však ukazují, že hodnoty pod 380 ppm se již na Zemi téměř nevyskytují. Výsledky měření z ostrova Mauna Loa na Havaji, který je považován za místo reprezentující čisté venkovní prostředí, již od roku 2007 neklesly pod hranici 380 ppm. Koncentrace CO<sub>2</sub> měřené v roce 2010 se pohybovaly okolo 385 ppm. Při výpočtech uvažujeme běžně koncentrace 400 ppm a vyšší. Zdrojem oxidu uhličitého jsou především spalovací a metabolické procesy. I když v běžných koncentracích ve vnitřním prostředí není CO<sub>2</sub> životu nebezpečný, podstatně ovlivňuje kvalitu vnitřního ovzduší. Vysoké koncentrace CO<sub>2</sub> způsobují únavu, ospalost, letargii, v krajním případě nevolnost.

Produkce metabolického CO<sub>2</sub> závisí na fyzické aktivitě a proporcích člověka (hmotnost, výška). Pro výpočet lze použít upravený vztah podle ASHRAE [1]

$$\dot{V}_{\text{CO}_2} = 1,742 \cdot H^{0,725} m^{0,425} M \quad [\text{l/h}] \quad (6)$$

kde je:

$H$  výška člověka [m],

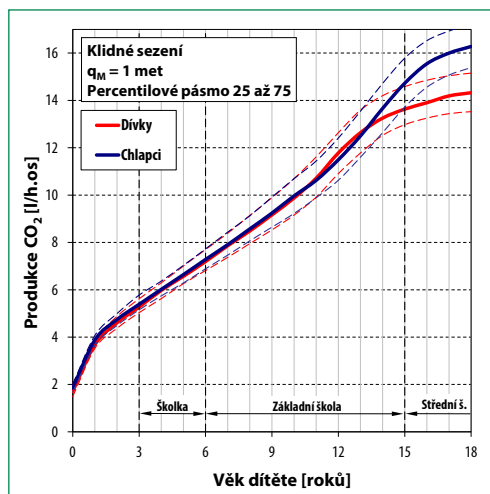
$m$  hmotnost člověka [kg],

$M$  měrný metabolický tepelný tok [met] (viz tab. 3.1).

Dle těchto parametrů se objemový tok  $\text{CO}_2$  produkovaného lidmi mění od 2 do 26 l/h na osobu. Nejmenší hodnota odpovídá produkci spícího dítěte, nejvyšší dospělé osobě a vysokému stupni fyzické aktivity. Na obr. 3.3 je znázorněno, jakým způsobem závisí produkce  $\text{CO}_2$  na věku člověka, resp. dětí. Pro sestavení grafu byly opět s výhodou využity percentilové grafy (viz odstavec 3.1). Závislosti platí pro klidné sezení (1 met) a percentilové pásmo 25 až 75 %. Průměrnou (pravděpodobnou) hodnotu představuje 50 % percentil (na obr. 3.3 tučné křivky).

Oxid uhličitý je považován za dobrý ukazatel míry znečištění vnitřního prostoru obývaného lidmi, proto jsou v některých normách uvedeny maximální koncentrace  $\text{CO}_2$  jako limity přijatelnosti vnitřního prostředí. Nejčastěji je doporučovaná hodnota 1000 ppm (0,1 % obj.) nad venkovní koncentrací. Čím dál častěji se tento plyn také uplatňuje jako indikátor v regulaci větracích systémů DCV (Demand Control Ventilation – větrání podle potřeby). Koncentrace  $\text{CO}_2$  v ovzduší a vliv na člověka uvádí tab. 3.5.

Koncentrace  $\text{CO}_2$  v učebnách během vyučování se nezdíka pohybuje nad hodnotou 1500 ppm, což je přípustná koncentrace pro pobytové místnosti [92]. Na obr. 3.4 je znázorněn typický průběh koncentrace  $\text{CO}_2$  v učebně 1. stupně (4. třída, 25 dětí) základní školy během jednoho vyučovacího týdne od 24. 3. do 28. 3. 2014.



**Obr. 3.3** Produkce  $\text{CO}_2$  v závislosti na věku dítěte

**Tab. 3.5** Koncentrace  $\text{CO}_2$  a vliv na člověka

Koncentrace $\text{CO}_2$	Místo výskytu $\text{CO}_2$ , vliv na člověka
400 – 700 ppm	koncentrace ve venkovním ovzduší
800 – 1200 ppm	vyhovující koncentrace $\text{CO}_2$ v pobytových prostorách
1500 ppm	maximální přípustná koncentrace $\text{CO}_2$ v pobytových prostorách
> 1500 ppm	nastávají příznaky únavy a snižování pozornosti člověka
> 2500 ppm	ospalost, letargie, bolesti hlavy
> 5000 ppm	nedoporučuje se delší pobyt



Z obr. 3.4 je zřejmý prudký nárůst koncentrace  $\text{CO}_2$  ihned po příchodu žáků do učebny. Denně je překročena přípustná koncentrace 1500 ppm. Zajímavý je pokles koncentrace  $\text{CO}_2$  před začátkem vyučování (cca mezi 7.00 a 8.00 hodinou), kdy do učebny vstupuje uklízečka a učebna je před začátkem vyučování řádně vyvětrána. I když  $\text{CO}_2$  není jedinou znečišťující látkou v daném prostoru, dobře vypovídá o intenzitě větrání.

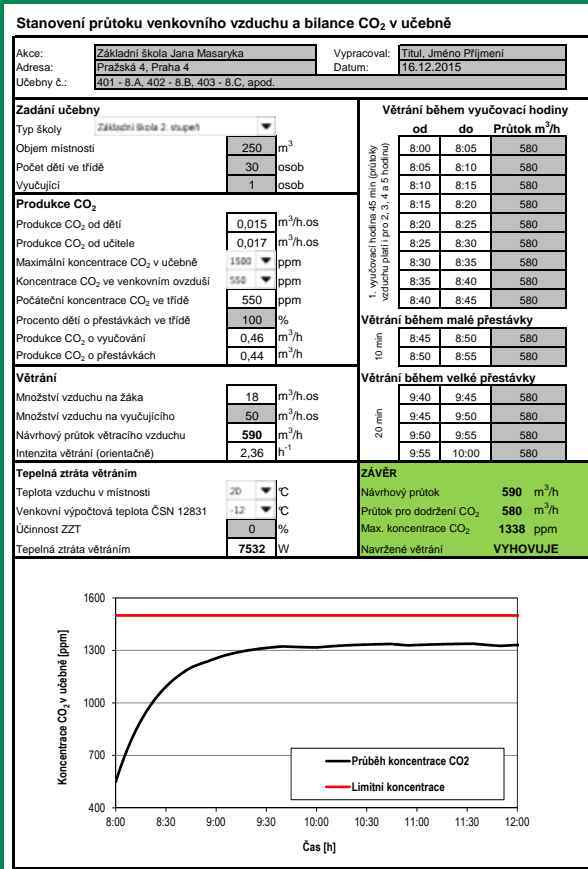
### Vodní pára

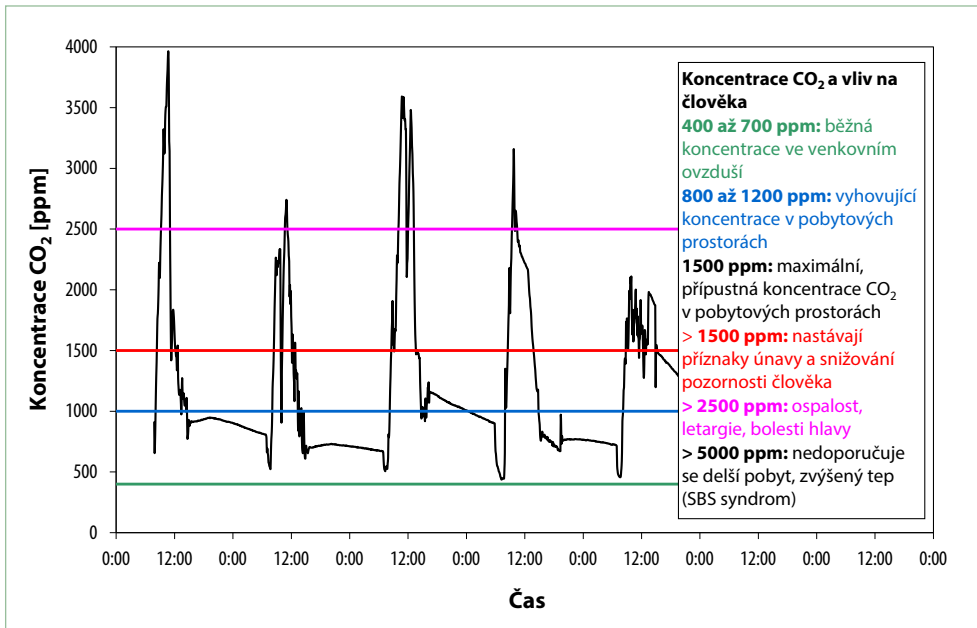
Vodní pára je ve vnitřním prostředí považována za znečišťující látku, přestože je přirozenou součástí vzduchu a tím i vnitřního prostředí. Při nedostatečném odvodu vodní páry může docházet k její kondenzaci v oblasti tepelných mostů či chladnějších částí obvodové pláště budovy. Negativní působení vyšší vlhkosti ve vnitřním prostředí se projeví, pokud teplota povrchu konstrukcí je nižší než teplota rosného bodu vnitřního vzduchu. V takových případech může docházet ke vzniku plísní, v extrémním případě může vlhkost konstrukce vést až k narušení zdiva, či konstrukce domu.

Vlhkost ve vnitřním prostředí budov je spojena zejména s přítomností osob a jejich činnostmi. V učebnách jsou významným zdrojem samotní žáci – při celodenní přítomnosti většího počtu osob jde o základní položku ve vlhkovostní bilanci. Produkce vodní páry od lidí (dětí) je uvedena v tab. 3.2. Zdrojem vlhkosti může být i stavba jako taková, vlivem podloží a nedostatečné ochrany proti vodě. Tento jev se vyskytuje převážně u starších budov.

## Výpočetní pomůcka

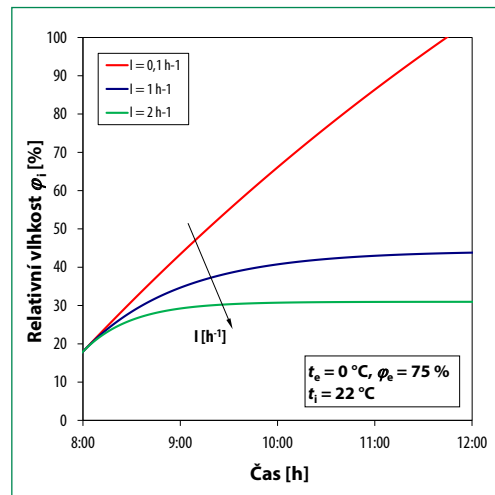
Na stránkách <[www.opzp.cz/vyzvy/19-vyzva/documenty](http://www.opzp.cz/vyzvy/19-vyzva/documenty)> je k dispozici výpočetní pomůcka „Stanovení průtoku vzduchu a bilance  $\text{CO}_2$  v učebně“, která slouží k návrhu větrání a kontrole, zda jsou splněny požadavky na přípustné koncentrace  $\text{CO}_2$ . Bližší informace viz [109].





**Obr. 3.4** Typický průběh koncentrace CO<sub>2</sub> v učebně základní školy (1. stupeň) v Praze, během jednoho týdne, větrané přirozeně okny

Při nedostatečném větrání učeben se relativní vlhkost  $\varphi$  [%] vzduchu v učebně zvyšuje. Na obr. 3.5 je znázorněn teoretický nárůst relativní vlhkosti (na základě bilance vodní páry [77]) v učebně o objemu 245 m<sup>3</sup> pro 27 žáků ve věku 15 let (produkce vodní páry dle tab. 3.2 je 45 g/h.os; pro učitele 81,4 g/h.os) při trvalém větrání. Intenzita větrání 0,1 h<sup>-1</sup> odpovídá současné praxi (nedostatečný přívod vzduchu infiltrací), hodnota 2 h<sup>-1</sup> odpovídá dávce 18 m<sup>3</sup>/h.os (viz dále). Je zřejmé, že zdroj vodní páry při plně obsazené učebně je vydatný a relativní vlhkost v prostoru může dosahovat při nedostatečném větrání značných hodnot.

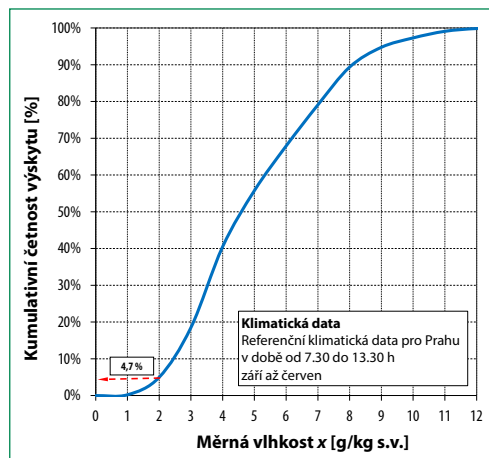


**Obr. 3.5** Teoretický nárůst relativní vlhkosti v učebně v závislosti na intenzitě větrání

Jak již bylo zmíněno, doporučuje se, aby relativní vlhkost v učebnách byla v rozsahu 30 až 70 % [91]. Při nedostatečném větrání relativní vlhkost v prostoru narůstá často nad hodnotu 70 % (obr. 3.5). Úkolem větrání je tedy mj. odvod vodní páry produkované člověkem, příp. způsobené jeho činností, z prostoru.

Co se týče spodní hranice relativní vlhkosti, není hygienické omezení tak jednoznačné. Relativní vlhkost má jen malý vliv na tepelný pocit. Často se hovoří o tom, že

dlouhodobě nízká relativní vlhkost vzduchu (< 20 %) může způsobovat suchost a podráždění očí a dýchacích cest. Je však známo, že vnímaní vlhkosti je subjektivní záležitostí každého jedince. Navíc lidé příznivě vnímají vzduch suchý a chladný. Teplejší a vlhčí vzduch bývá vnímán jako vzduch více znečištěný, i když se jedná o čistý vzduch bez škodlivin [16]. Studie zabývající se touto problematikou ukazují, že lidé sice mohou v některých případech nízkou relativní vlhkost vnímat negativně, není to však běžné. Subjektivní hodnocení kvality vzduchu naopak jednoznačně prokázala negativní působení vyšší relativní vlhkosti, zejména ve spojení s vyšší teplotou vzduchu. Výzkum zaměřený na vliv velmi nízké relativní vlhkosti na pohodu přítomných osob neprokázal souvislost mezi nízkou relativní vlhkostí (pod 10 %) a zdravotními aspekty, jako jsou suchost sliznic, podráždění očí apod. Bylo zjištěno, že důvodem pro výskyt těchto symptomů bylo nedostatečné větrání, nikoliv však vlhkost jako taková [17], [60], [67].



**Obr. 3.6** Četnost výskytu měrné vlhkosti venkovního vzduchu během školního roku v době vyučování

Při použití trvalého větrání v zimních extrémech (vzduch je suchý) může dojít k situaci, kdy relativní vlhkost v učebně klesne pod hranici 30 %. K této situaci dochází po omezenou část roku (zpravidla pro  $t_e < -4$  °C, resp.  $x_e < 2,5$  g/kg) a krátkodobý pokles pod tuto hodnotu lze připustit. V případě, že průtok venkovního vzduchu u nuceného větrání je regulován, vlhčení vnitřního vzduchu zvlhčovači nebo výměníky se zpětným získáváním vlhkosti nebývá v učebnách škol vyžadováno.

### Pachy a vůně (odéry)

Nepříjemné pachy v pobytových prostorách jsou produkovány metabolismem lidí, významné však může být i uvolňování nepříjemných pachů z vnitřního zařízení místností, textilií, mycích prostředků apod. Samotné pachy zdraví člověka většinou neohrožují, vyvolávají však u přítomných osob pocity diskomfortu, snižují soustředění a mohou být příčinou psychického stresu. Často bývají hlavním důvodem větrání.

### Těkavé organické látky VOC

Těkavou organickou látkou (VOC) je jakákoli organická sloučenina nebo směs organických sloučenin, s výjimkou methanu, která při teplotě 20 °C má tlak par 0,01 kPa nebo více nebo má odpovídající těkavost za konkrétních podmínek jejího použití. Jde o chemické sloučeniny, které se do vzduchu uvolňují z použitých stavebních materiálů nebo vnitřního zařízení, případně o sloučeniny vznikající vzájemnou reakcí těchto látek. Přestože je těchto látek velké množství, u většiny z nich není jejich zdravotní účinek znám. VOC jsou charakteristické svým výrazným zápachem, některé jsou dráždivé s alergickým účinkem, některé z nich jsou karcinogeny. Jelikož se objevují nové typy látek, mění

se postupně i jejich definice, a to stát od státu. Těkavé organické látky se ve vnitřním prostředí vyskytují často a v mnoha druzích (čisticí prostředky, leštidla, nátěry, lepidla, podlahoviny, dezinfekční prostředky apod.). Lze identifikovat asi 2000 látek, jen 50 se však vyskytuje běžně, u některých byly prokázány závažné zdravotní účinky.

## Formaldehyd

Formaldehyd je dráždivý, mutagenní plyn se štiplavým zápachem, který má negativní vliv na lidské zdraví. Formaldehydové polymery se používají při výrobě stavebních materiálů, jako jsou dřevotřískové produkty a pěnové izolace, ve velké míře jako konzervační přísada desinfekčních prostředků a biocidů, jako součást lepidel pro překližky a koberce, laků, tiskových materiálů apod. Příznakem po krátkodobé expozici je podráždění očí, nosu a krku, kdy může dojít k slzení očí, kýchání, kašli, nevolnosti a dušnosti. Děti jsou k jeho působení citlivější než dospělí [110]. Je spojován se zvýšeným rizikem rakoviny (karcinogen kategorie 1B).

Jedinou ochranou proti účinkům formaldehydu je prevence nebo větrání. V některých zemích byla z tohoto důvodu zavedena kontrola emisí formaldehydu z potenciálně nebezpečných výrobků. Během posledních let se tak významně snížil výskyt tohoto plynu v prostředí určeném pro pobyt osob. Vyšší koncentrace se tak vyskytují téměř výhradně v novostavbách, ve kterých nebyly kontrolovány použité materiály a zařízení. Limit pro pobytové místnosti je  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [90].

## Značení nezávadných stavebních materiálů a výrobků

Řada stavebních materiálů nebo výrobků může být zdrojem znečišťujících (chemických) látek a negativně tak ovlivňovat vnitřní ovzduší budov. I proto je v řadě zemí EU zavedeno značení produktů s nízkou emisí škodlivých látek. Mezi nejznámější patří:

<b>Ecolabel</b>	pro podlahové krytiny, koberce, dřevěné podlahy, matrace, vnitřní a venkovní nátěry a laky (EU),
<b>EMICODE®</b>	pro lepidla, těsnicí materiály, laky na parkety a ostatní stavební produkty (Německo/EU),
<b>GUT</b>	koberce (Německo/EU),
<b>Nature plus</b>	stavební produkty (Německo/EU),
<b>CertiPUR</b>	pěna PU pro nábytkářský průmysl (EU),
<b>M1</b>	stavební produkty (Finsko),
<b>Blue Angel</b>	(Německo),
<b>Nordic Swan</b>	(Skandinávie),
<b>Umweltzeichen</b>	(Rakousko) a další.

Zdroj: [110]



## Naftalen

Naftalen je meziproduktem při výrobě ftalátů, změkčovadel, syntetické pryskyřice, barviv, konzervačních látek apod. Vyskytuje se např. v pevných blokových deodorantech pro toalety, dále je používán při výrobě insekticidů. Naftalen poškozuje horní cesty dýchací a představuje pro člověka potenciální karcinogen (skupina 2B) [110].

## Azbest

Azbestová a minerální vlákna ve vnitřním ovzduší představují v případě jejich inhalace skryté potenciální riziko pro lidský organismus. Podle WHO (Světové zdravotnické organizace) jsou za respirabilní vlákna považována vlákna, která jsou delší než 5  $\mu\text{m}$  s průměrem menším než 3  $\mu\text{m}$  a poměrem délky a průměru vlákna větším než 3:1 [114]. Azbest má mimořádné chemicko-fyzikální vlastnosti. Je odolný vůči vysokým teplotám, chemickým vlivům. Díky tomu byl v minulosti velmi hojně používán ve stavebnictví jako stavební, izolační a těsnicí materiál. Jedním z běžných zdrojů kontaminace vnitřního ovzduší anorganickými nekovovými vlákny (azbestová a minerální vlákna) mohou být použité stavební vláknité materiály. Riziko použití azbestu v budovách je

**Tab. 3.6** Limitní koncentrace chemických látek a pevných částic ve vnitřním prostředí staveb [90]

Ukazatelé	limit
oxid dusičitý	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
frakce prachu $\text{PM}_{10}$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
frakce prachu $\text{PM}_{2,5}$	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
oxid uhelnatý	5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
ozon	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
azbestová a minerální vlákna	1000 vláken/ $\text{m}^3$
amoniak	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
benzen	7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
toluen	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
suma xylenů	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
styren	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
etylbenzen	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
formaldehyd	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
trichloretylen	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
tetrachloretylen	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

dnes již dobře známo a od roku 2006 je jeho použití zakázáno. Ve stávajících stavbách se vlákna do ovzduší uvolňují hlavně při neodborném mechanickém zásahu.

Při různých činnostech spojených s údržbou objektů, při demolcích starých budov, při rekonstrukci budov a dalších stavebních úpravách se velmi často lze setkat se stavebními materiály obsahujícími azbest. Typickým představitelem stavebního prvku, který obsahuje azbest, je tzv. „boletický panel“, který byl v minulosti hojně používán jako obálka budov, pro vzdělávání nevyjímaje. Při rekonstrukci budov podobného typu je potřeba postupovat velmi obezřetně. Sanaci či trvalou enkapsulaci stavebních materiálů s obsahem azbestu musí provádět výhradně renomovaná firma pod dohledem akreditovaného inspekčního orgánu. Dohled by měl zaručit řádný a bezpečný technologický postup enkapsulace či demontáže a následné předání vzniklých azbestových odpadů k bezpečnému uložení na příslušnou skládku zřízenou státem. Podrobnosti viz [58].

Vedle toho probíhá výstavba nových budov či zateplování stávajících budov, kde se běžně používá tepelněizolačních vláknitých materiálů. Při instalaci či demontáži těchto stavebních materiálů dochází ke kontaminaci daného prostředí respirabilními anorganickými vlákny. Kontaminaci prostředí jde minimalizovat v případě, že použité zateplovací vláknité moduly jsou potaženy ochranou prodyšnou tenkostěnnou fólií.

Vyhláška č. 6/2003 Sb. [90] stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů (viz tab. 3.6) pro vnitřní prostředí obytných místností. Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí staveb se pokládají za splněné, nepřekročili-li střední hodnota hodinové početní koncentrace zjišťované látky v měřeném intervalu za standardních podmínek limitní koncentraci. Pro azbestová a minerální vlákna (průměr < 3 μm, délka > 5 μm a poměr délky a průměru vlákna > 3:1) je to 1000 vláken v 1 m<sup>3</sup>.

### 3.3.2 Znečišťující látky z venkovního ovzduší

Znečištění ovzduší se významnou měrou podílí na znečištění prostředí a postihuje jak vyspělé, tak rozvojové země. Mezi hlavní znečišťující látky patří z anorganických látek oxid siřičitý, oxidy dusíku, oxid uhelnatý a troposférický ozon; z organických benzen nebo benzo[*a*]pyren. Významné znečišťující látky jsou i některé kovy jako kadmium, arzen a nikl, dále olovo a rtuť. Nebezpečné jsou také aerosolové částice frakce PM<sub>10</sub>, které mohou na svém povrchu adsorbovat většinu uvedených znečišťujících látek.

**Tab. 3.7** Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení [80]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální počet překročení
Oxid siřičitý SO <sub>2</sub>	1 hodina	350 μg/m <sup>3</sup>	24
Oxid siřičitý SO <sub>2</sub>	24 hodin	125 μg/m <sup>3</sup>	3
Oxid dusičitý NO <sub>2</sub>	1 hodina	200 μg/m <sup>3</sup>	18
Oxid dusičitý NO <sub>2</sub>	1 kalendářní rok	40 μg/m <sup>3</sup>	0
Oxid uhelnatý CO	max. denní 8hod. průměr	10 mg/m <sup>3</sup>	0
Benzen	1 kalendářní rok	5 μg/m <sup>3</sup>	0
Částice PM <sub>10</sub>	24 hodin	50 μg/m <sup>3</sup>	35
Částice PM <sub>10</sub>	1 kalendářní rok	40 μg/m <sup>3</sup>	0
Částice PM <sub>2,5</sub>	1 kalendářní rok	25 μg/m <sup>3</sup>	0
Olovo	1 kalendářní rok	0,5 μg/m <sup>3</sup>	0

Pozn.: Koncentrace hmotnostní a objemová

Pro přepočet objemové koncentrace látky v ppm na hmotnostní koncentraci v mg/m<sup>3</sup> se používá obecný vztah: 1 ppm (objem) = 10<sup>-6</sup> ρ<sub>N</sub> (hustota plynu při normálních podmínkách).

Např.: SO<sub>2</sub> má hustotu ρ<sub>N</sub> = 2,93 kg/m<sup>3</sup> a pro přepočet objemové na hmotnostní koncentraci SO<sub>2</sub> proto platí 1 ppm SO<sub>2</sub> = 2,93 mg/m<sup>3</sup>.

## Legislativa v ochraně ovzduší

Ochranu ovzduší upravuje v České republice od roku 2012 zákon o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. [80]. V § 2 je definována znečišťující látka jako každá látka, která svou přítomností v ovzduší má nebo může mít škodlivé účinky na lidské zdraví nebo životní prostředí anebo obtěžuje zápachem. Imisní limit znečišťující látky je nejvýše přípustná úroveň znečištění stanovená zákonem. Imisní limity jsou stanoveny pro ochranu zdraví lidí a pro ochranu ekosystémů a vegetace.

Imisní limity **hlavních znečišťujících látek** jsou uvedeny v příloze 1 zákona [80]. Pro ochranu zdraví lidí (tab. 3.7) se jedná o látky: oxid siřičitý, oxid dusičitý, oxid uhelnatý, částice frakce  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ , benzen a olovo. V částicích frakce  $PM_{10}$  je stanoven imisní limit pro obsah arsenu, kadmia, niklu a benzo[*a*]pyrenu. Samostatně jsou v příloze stanoveny imisní limity pro troposférický ozon pro ochranu zdraví lidí a pro ochranu vegetace.

Co se týká časového úseku, ke kterému se imisní limit vztahuje, pro ochranu zdraví lidí se u většiny látek zavádí imisní limit jako aritmetický průměr za 1 h (1hodinový imisní limit), aritmetický průměr za 24 h (24hodinový imisní limit) a aritmetický průměr za kalendářní rok (roční imisní limit). U CO je imisní limit vztažen na 8hodinový klouzavý průměr. Imisní limit pro troposférický ozon pro ochranu zdraví lidí je stanoven jednak jako maximální 8hodinový klouzavý průměr a maximální počet překročení v průměru za poslední 3 kalendářní roky, jednak jako maximální 8hodinový klouzavý průměr za kalendářní rok bez limitu překročení.

## Charakteristika hlavních znečišťujících látek

### Oxid siřičitý $SO_2$

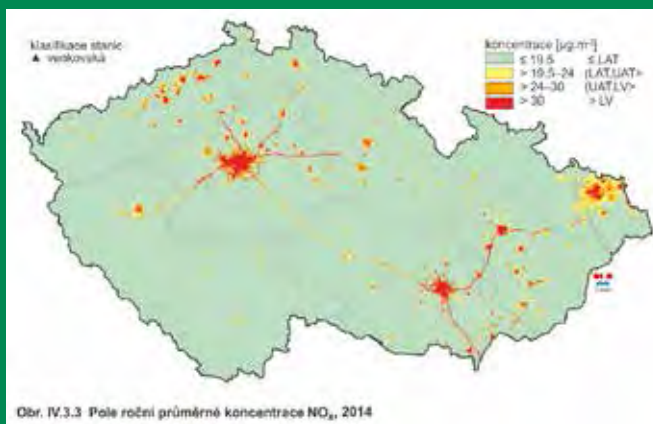
Oxid siřičitý ( $SO_2$ ) vyskytující se v atmosféře pochází jak z přírodních zdrojů, tak z antropogenní činnosti. Z lidských zdrojů  $SO_2$  vzniká především při spalování fosilních paliv – uhlí a těžkých olejů – a při tavení rud s obsahem síry. V atmosféře se oxid siřičitý postupně oxiduje na sírany a vytváří tak kyselinu sírovou. Tyto látky jsou zde přítomny v kapalném aerosolu nebo se váží na povrch pevných částic.

Oxid siřičitý a jeho produkty mají dráždivé účinky a ve vyšších koncentracích mohou zhoršovat dýchání nebo způsobovat poškození plic, mají vliv na zhoršování existujících kardiovaskulárních nemocí. Kromě negativních zdravotních účinků přítomnost  $SO_2$  v atmosféře způsobuje okyselení prostředí. Depozice  $SO_2$  způsobuje okyselení jezer a vodních toků, způsobuje poškození listoví stromů a zemědělských plodin. Kyselá depozice negativně působí na životnost staveb a venkovních uměleckých děl.  $SO_2$  a jeho pevné produkty způsobují zhoršování viditelnosti v atmosféře.

V České republice došlo díky odsiřovacímu programu v 80. letech a plynofikaci po roce 1989 k výraznému poklesu koncentrací  $SO_2$ . Od roku 2000 dochází k překročení povolených limitů pouze výjimečně a prakticky jen v Ostravě nebo v Ústeckém kraji. Na většině měřených míst koncentrace stále mírně klesají. V jednotlivých letech však průměrné roční koncentrace kolísají, především v závislosti na tom, jak tuhá byla zima a jak dlouho trvala otopná sezóna. V roce 2014 nebyl v ČR překročen hodinový ani 24hodinový imisní limit oxidu siřičitého ( $SO_2$ ) na žádné měřicí stanici [119]. Celkově lze situaci v České republice ve znečištění  $SO_2$  hodnotit jako uspokojivou.

## Mapy znečištění

včetně trendů ročních charakteristik znečištění venkovního ovzduší v ČR lze nalézt na stránkách ČHMÚ v podobě přehledné grafické ročenky [119].



## Oxidy dusíku NO<sub>x</sub>

Pod pojmem oxidy dusíku NO<sub>x</sub> v ochraně ovzduší se rozumí směs **NO (oxid dusnatý)** a **NO<sub>2</sub> (oxid dusičitý)**. Z hlediska ochrany zdraví lidí jsou důležité koncentrace oxidu dusičitého, z hlediska ochrany vegetace souhrnné koncentrace obou plynů, tedy NO<sub>x</sub>.

**NO – oxid dusnatý** primárně vzniká při spalování paliv. NO je bezbarvý, málo reaktivní plyn, toxický při vyšších koncentracích. Problém NO spočívá ve skutečnosti, že NO v atmosféře pomalu oxiduje na toxickejší NO<sub>2</sub>.

**NO<sub>2</sub> – oxid dusičitý** je červenohnědý agresivní a toxický plyn. Oxid dusičitý zhoršuje především funkci plic a výrazně zhoršuje obecnou imunitu organismu. Dýchací potíže začínají při koncentracích 0,5 – 1,5 ppm (1000 – 3000 µg/m<sup>3</sup>). Ve městech se koncentrace NO<sub>2</sub> pohybuje v rozmezí 0,05 – 0,2 ppm (100 – 400 µg/m<sup>3</sup>). NO<sub>2</sub> a VOC (těkavé organické látky) jsou známy jako prekurzory fotochemického smogu a podílejí se na tvorbě ozonu O<sub>3</sub>.

Z oxidů dusíku je v odpadních plynech a jiných emisích přítomen především oxid dusnatý NO. Oxid dusičitý z něj vzniká reakcí s přízemním ozonem nebo s radikály (např. hydroperoxylový radikál HO<sub>2</sub>). Část oxidů dusíku se další oxidací přemění na kyselinu dusičnou HNO<sub>3</sub> nebo dusičnany NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Ty jsou z ovzduší splachovány deštěm nebo se s aerosolem usazují na povrchu (suchá a mokrá depozice). U zdrojů emisí se emisní limity oxidů dusíku vyjadřují ve formě koncentrace NO<sub>x</sub>.

Oxidy dusíku vznikají především při spalovacích procesech reakcí mezi kyslíkem a dusíkem během spalování při vysokých teplotách (tzv. termické NO<sub>x</sub>) a při reakci paliva obsahujícího dusík s kyslíkem (tzv. palivové NO<sub>x</sub>). Hlavním zdrojem emisí NO<sub>x</sub> v našich podmínkách jsou velké stacionární spalovací zdroje a mobilní spalovací zdroje (silniční doprava, železniční a vodní doprava).

Podle [119] k překročení ročního imisního limitu oxidu dusičitého dochází jen na menším množství měřících stanic na dopravně exponovaných lokalitách velkých měst nebo aglomerací. Z celkového počtu 94 lokalit, kde byl v roce 2014 sledován oxid dusičitý, došlo na 4,3 % stanic (4 lokality) k překročení ročního imisního limitu. Všechny čtyři sta-



nice jsou klasifikovány jako dopravní městské. Lze tedy předpokládat, že k překročení imisních limitů může docházet i na dalších dopravně exponovaných místech, kde není prováděno měření.

## Oxid uhelnatý CO

Výrazně dominantním antropogenním zdrojem oxidu uhelnatého (CO) jsou procesy, kde dochází k nedokonalému spalování fosilních paliv. Jedná se jak o dopravu (mobilní zdroje), tak stacionární spalovací zdroje tepla. Významné zdroje CO představují domácí topeniště, která díky omezenému rozptylu bezprostředně působí na úroveň znečištění v přízemní vrstvě atmosféry. CO vzniká jako významný produkt v některých průmyslových procesech (hutní průmysl, výroba koksů).

Oxid uhelnatý (CO) je bezbarvý, hořlavý plyn bez chuti a bez zápachu. CO vzniká nedokonalým spalováním všech uhlíkatých materiálů. Člověk je účinkům CO běžně vystaven vdechováním. Toxicita CO závisí na množství a době expozice a je spojena především se skutečností, že CO se váže na hemoglobin mnohem lépe než kyslík. Snižuje proto kapacitu krve pro přenos kyslíku v těle. Může způsobovat závratě, zhoršenou pozornost a při vyšších koncentracích (ovšem ne takových, které se vyskytují ve venkovní atmosféře) i smrt. Riziková je zvýšená hladina CO především pro osoby s chronickými záněty dýchacích cest a osoby s nemocemi oběhové soustavy.

V atmosféře oxid uhelnatý ochotně reaguje s hydroxylovými radikály za vzniku methanu a přízemního ozonu. Konečným produktem rozkladu CO je oxid uhličitý. CO je možné považovat za nepřímo působící skleníkový plyn. Nemalé množství CO vzniká v atmosféře oxidací methanu. Nezanedbatelným zdrojem CO je i cigaretový kouř.

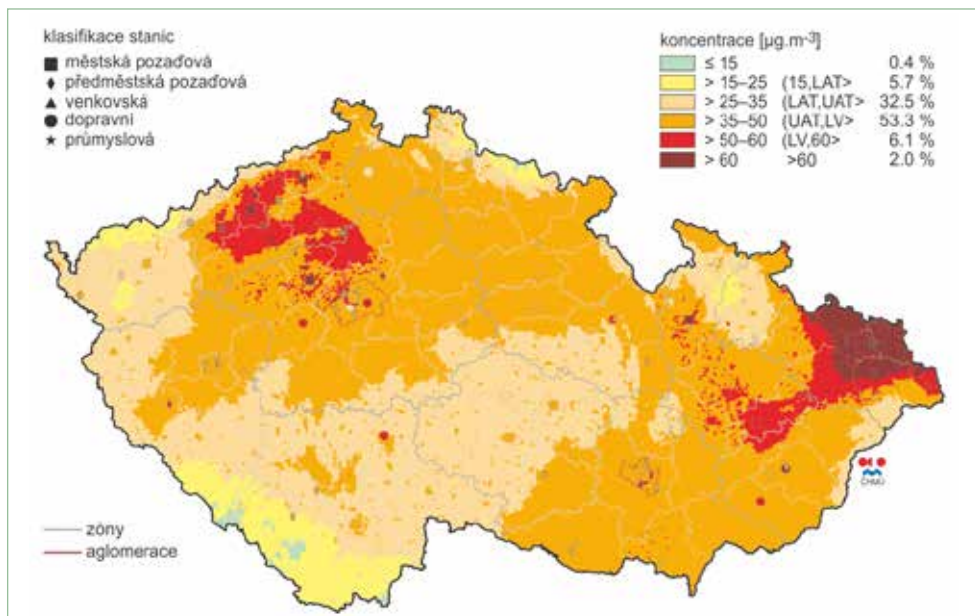
Koncentrace CO na sledovaných místech v České republice jen výjimečně přesahují stanovený imisní limit. Nejvyšší koncentrace byly naměřeny v Ostravě (hutní průmysl, výroba koksů, lokální topeniště). Nejvyšší denní 8hodinová průměrná koncentrace CO byla v roce 2014 naměřena na lokalitě Ostrava-Radvanice ZÚ (4415  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) [119]. Jde o velmi exponovanou část města ovlivněnou průmyslem, dopravou i lokálními zdroji.

## Částice $\text{PM}_{10}$ a $\text{PM}_{2,5}$

S ohledem na hygienické účinky nás moc nezajímají hrubé frakce pevných částic – buď je člověk vůbec při dýchání nosem nenasaje, nebo se odloučí v horních cestách dýchacích v oblasti hrtanu. Frakce částic  $\text{PM}_{10}$  a  $\text{PM}_{2,5}$  jsou odvozeny od velikostí částic  $a_r$ , což jsou aerodynamické velikosti částic s hustotou  $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ , které mají stejné pohybové vlastnosti jako částice skutečné. Frakce částic  $\text{PM}_{10}$  je definována jako částice v souboru, vyjádřené ve formě aerodynamické velikosti  $a_r$ , které jsou menší než  $10 \mu\text{m}$ . Obdobně frakce částic  $\text{PM}_{2,5}$  je definována jako částice v souboru, vyjádřené ve formě aerodynamické velikosti  $a_r$ , které jsou menší než  $2,5 \mu\text{m}$ .

## Aerosolové částice a rozdíly mezi jemnými a hrubými frakcemi částic

Pojem aerosolové částice se v ochraně ovzduší používá pro označení příměsí v ovzduší pevného nebo kapalného skupenství, které kvůli své velikosti a hmotnosti v ovzduší zůstávají delší dobu, vznášejí se – jsou v ovzduší rozptýleny. Pevnou složku aerosolových částic v zásadě tvoří malé částičky prachu, proto je běžně nazýváme prašné



**Obr. 3.7** Pole 36. nejvyšší 24hodinové koncentrace  $\text{PM}_{10}$  v roce 2014 (zdroj: ČHMÚ [119])

či pevné částice. Škodlivost pro zdraví je tím větší, čím jsou částice menší a pronikají hlouběji do dýchacího traktu. Částice se výrazně liší co do původu, chemického složení i chování. Proto byly zavedeny frakce částic  $\text{PM}_{10}$  a  $\text{PM}_{2,5}$ .

U jemných částic odpovídá často pH kyselé oblasti (< 7), částice bývají rozpustné a zahrnují sekundárně vzniklé aerosoly (chemické reakce a fyzikální procesy v atmosféře jako nukleace a kondenzace), obsahují částice ze spalování fosilních paliv včetně dopravy, dále znovu kondenzované organické látky, páry kovů aj. V souboru převažují částice vznikající až reakcemi plyných škodlivin ve znečištěném ovzduší. Po chemické stránce obsahují jak uhlíkaté látky, které mohou zahrnovat celou řadu organických sloučenin s možnými mutagenními účinky, tak i soli, zejména sulfáty a nitráty. Často obsahují těžké kovy, které jsou známy karcinogenním účinkem. Větší částice bývají naopak zásaditého pH, většinou bývají nerozpustné. Vznikají nedokonalým spalováním, erozí hornin, jako sekundární prašnost usazeného prachu při dopravě a lidské činnosti.

### Zdravotní rizika aerosolových částic

Aerosolové částice představují celou řadu zdravotních rizik. Účinek částic závisí na jejich velikosti, tvaru a chemickém složení. Částice označené  $\text{PM}_{10}$  pronikají hrtanem a dostávají se do dolních cest dýchacích. Jemnější částice označené jako  $\text{PM}_{2,5}$ , které nejvýznamněji ovlivňují úmrtnost (některé z nich mají mutagenní a rakovinotvorný účinek), pronikají až do plicních sklípků. Částice zvyšují celkovou nemocnost i úmrtnost, zejména onemocnění srdce a cév, působí na snížení plicní funkce při spirometrickém vyšetření u dětí i dospělých, zvyšují spotřebu léků pro rozšíření průdušek při dýchacích obtížích u astmatiků a zkracují délku života (vyšší úmrtnost na choroby srdce a cév a pravděpodobně i na rakovinu plic atd.). Znečištění ovzduší částicemi má velmi pravděpodobně vliv i na to, že zhruba 15 % českých dětí trpí respiračními alergiemi.

Z map znečištění v ročenkách ČHMÚ [119] vyplývá, že k největšímu znečištění částicemi PM<sub>10</sub> dochází ve městech a aglomeraci Moravskoslezského kraje, nyní aglomerace Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek (viz obr. 3.7) Kromě meteorologických podmínek v daném roce znečištění pevnými částicemi PM<sub>10</sub> úzce souvisí s průmyslovou činností, automobilovou dopravou a lokálními zdroji vytápění. I když dochází za poslední roky k mírnému zlepšení, je situace ve znečištění ovzduší pevnými částicemi frakce PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub> nepříznivá a v některých oblastech alarmující. Zejména na průmyslových stanicích dochází k překročení ročního imisního limitu pro frakci částic PM<sub>2,5</sub>.

Znečištění ovzduší aerosolovými částicemi frakce PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub> zůstává jedním z hlavních problémů, které je třeba řešit při zajišťování kvality ovzduší ČR.

### Přízemní ozon O<sub>3</sub>

Přízemní neboli troposférický ozon je znečišťující látka, která nemá žádný významný emisní zdroj. Vzniká v přízemní vrstvě atmosféry působením slunečního záření složitými procesy především z oxidů dusíku NO<sub>x</sub> a těkavých organických sloučenin (VOC). Tyto látky se nazývají prekurzory ozonu. Koncentrace ozonu závisí především na délce slunečního svitu, teplotě a množství srážek. Proto bývá nejvyšší v období od dubna do září.

Ozon poškozuje především dýchací soustavu – působí zde závažné morfologické i funkční změny a snižuje obranyschopnost organismu.

Imisní limity pro přízemní ozon jsou uvedeny v tab. 3.8. Na rozdíl od ostatních znečišťujících látek je vyšších hodnot znečištění přízemním ozonem dosahováno zpravidla na venkovských lokalitách oproti městským a předměstským pozadovým a nadlimitní znečištění se v roce 2014 dotýkalo méně než 1 % obyvatel [119]. Koncentrace prekurzorů ozonu (NO<sub>x</sub>, VOC) se za poslední období příliš nezměnily. Hodnoty přízemního ozonu proto závisí především na meteorologických podmínkách: zvyšují se s délkou slunečního svitu a s teplotou a snižují s množstvím srážek v daném roce. Jediným reálným způsobem boje proti výskytu přízemního ozonu je snižování koncentrace jeho prekurzorů.

**Tab. 3.8** Imisní limity troposférického ozonu pro ochranu zdraví lidí

Doba průměrování	Imisní limit	Maximální počet překročení	Časová platnost
Max. denní 8hod. průměr	120 µg/m <sup>3</sup>	25	Průměr za 3 kal. roky
Max. denní 8hod. průměr	120 µg/m <sup>3</sup>	0	Kalendářní rok

### Benzen C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>

Benzen je typickým představitelem těkavých organických sloučenin s benzenovým jádrem. Není jediným zástupcem těchto sloučenin v ovzduší, ale vzhledem k podobnému chování se koncentrace ostatních sloučenin – např. toluenu – odvozují od něj. Benzen je při pokojové teplotě bezbarvá, hořlavá a toxická kapalina známá svými karcinogenními účinky. Benzen má menší hustotu než voda a ve vodě je jen málo rozpustný. Hořením se uvolňují saze. V přírodě se benzen vyskytuje např. v ropě.

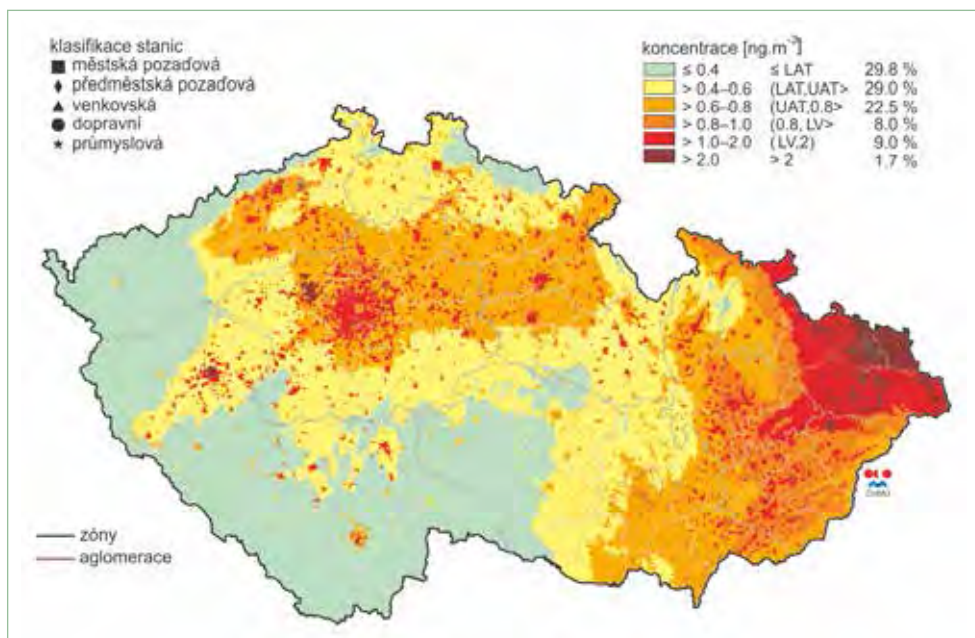
Vdechování malého množství benzenu může způsobit bolest hlavy, pocit únavy, zrychlení srdečního tepu, chvění a ztrátu vědomí. Velká koncentrace benzenu ve vzduchu může mít za následek i smrt. Benzen poškozuje kostní dřeň a způsobuje chudokrevnost. Benzen je karcinogenní a způsobuje zejména leukémii a rakovinu plic.

Naprosto dominantním zdrojem benzenu jsou spalovací procesy, z nichž 85 % představují spalovací motory automobilů i jiných dopravních prostředků. Dalším významným zdrojem jsou ztráty vypařováním při manipulaci s benzinem, jeho distribuci a skladování (proto je důležité odsávat zpětně páry vznikající při čerpání benzínu do nádrže automobilů). Ve výfukových plynech je přítomný jak nespálený benzen z paliva, tak benzen vzniklý z jiných aromatických uhlovodíků. Neantropogenní (přírodní) zdroje benzenu tvoří nejvýše 10 % emisí.

Vyšší roční průměrné koncentrace benzenu souvisejí především s průmyslovou činností, a to s výrobou koksu a zpracováním následných chemických produktů. Podle [119] nebyla v roce 2014 překročena hodnota ročního imisního limitu na žádné lokalitě, nejvyšších koncentrací se opakovaně dosahuje na stanicích v aglomeraci Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek.

### Benzo[a]pyren

Tato sloučenina je představitelem polyaromatických uhlovodíků (PAU, PAH) – tedy uhlovodíků obsahujících více benzenových jader. Vzniká při nedokonalém spalování fosilních paliv jak ve stacionárních zdrojích, tak v mobilních zdrojích, především v naftových motorech. Domácí topeniště tvoří celkově asi 60 % emisí této látky, 20 % připadá na výfukové plyny. V přírodě se benzo[a]pyren tvoří jen výjimečně při lesních požárech.



**Obr. 3.8** Pole ročních průměrných koncentrací benzo[a]pyrenu v roce 2014 (zdroj: ČHMÚ [119])

Existují stovky polyaromatických uhlovodíků. Fyzikální a chemické vlastností jednotlivých látek závisejí na jejich molekulové hmotnosti (počtu a uspořádání benzenových jader) – s rostoucí molekulovou hmotností klesá jejich těkavost nebo rozpustnost ve vodě a naopak roste bod tání a bod varu. S molekulovou hmotností klesá akutní toxicita látek a naopak známé karcinogeny patří do skupiny s vyšší molekulovou hmotností 228 – 278 kg/kmol. Naprostá většina benzo[*a*]pyrenu a složitějších aromatických sloučenin je sorbována (tj. navázána na povrchu) na pevné částice menší než 2,5 μm – frakci PM<sub>2,5</sub>. Tyto částice přetrvávají ve vzduchu v zvrhu po dobu několika dnů nebo i týdnů, čímž se benzo[*a*]pyren a další znečišťující látky mohou dostávat na dlouhé vzdálenosti od zdroje.

Benzo[*a*]pyren a další polyaromatické uhlovodíky (PAU, PAH) jsou prokazatelně karcinogenní. Nejlépe byl z hlediska zdravotních účinků prozkoumán právě benzo[*a*]pyren, který může být spolu s jemnými částicemi vdechován, ale vstupuje do těla i pokožkou. Expozice benzo[*a*]pyrenu může vést k ohrožení zdravého vývoje plodu, ke vzniku rakoviny (již uvedené karcinogenní účinky), k podráždění až popálení kůže.

V roce 2014 překročily roční průměrné koncentrace benzo[*a*]pyrenu imisní limit na více než 74 % stanic (obr. 3.8). V celorepublikovém průměru je úroveň této škodliviny dlouhodobě nadlimitní, a to přibližně dvojnásobně. Nejvyšší koncentrace byly v roce 2011 naměřeny v Ostravě-Radvanicích, kde byl limit překročen 10x [119]. Vysoké koncentrace se však vyskytují nejen v dopravně exponovaných lokalitách, ale i na ostatních městských, příměstských a venkovských místech. Znečištění ovzduší benzo[*a*]pyrenem patří k hlavním problémům zajištění kvality ovzduší v ČR.

### **Olovo Pb, arzen As, kadmium Cd a nikl Ni v částicích frakce PM<sub>10</sub>**

Těžké kovy v ovzduší představují závažnou potenciální zátěž ostatních složek životního prostředí. Pojem těžké kovy je v oblasti ochrany prostředí používán pro skupinu kovů a metaloidů (nekovový prvek, který má některé vlastnosti kovů) s hustotou prvku větší než 4 g/cm<sup>3</sup>. Patří sem As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb a Zn.

Tyto prvky nebo jejich sloučeniny jsou již ve stopových koncentracích pro různé složky životního prostředí prokazatelně toxické. Dlouhodobé vystavení těžkým kovům může mít na lidský organizmus karcinogenní účinky či poškozovat nervovou a oběhovou soustavu. Některé těžké kovy (měď, zinek) jsou pro lidské tělo nezbytné a prospěšné, ve větším množství však poškozují zdraví. Nositelem těžkých kovů v atmosféře jsou částice atmosférického aerosolu.

Zdrojem antropogenních emisí těžkých kovů je zejména spalování fosilních paliv (As, Cd, Hg, Ni, Pb, Cr), výroba a zpracování železa (Fe, Mn, Cr, Ni, Cd), metalurgie neželezných kovů (As, Cd, Cu, Pb, Zn, Hg), spalovny odpadu (As, Cd, Cu, Pb, Zn, Hg), výroba cementu (As, Cd, Pb, Hg, Ni), výroba skla (As, Cd, Pb, Hg, Zn), elektrolytická výroba chloru a louhu (Hg) a v minulosti použití olovnatých benzinů (Pb).

Obecně je tvorba atmosférických emisí těžkých kovů spojena s vysokoteplotními procesy vzniku par kovů nebo těkavých sloučenin těchto prvků a jejich kondenzace a následná chemická transformace. Jde většinou o kovy s nízkými teplotami tání i varu a nízkým výparným teplem. Díky uvedeným procesům vstupu těchto složek do at-

**Tab. 3.9** Imisní limity pro celkový obsah znečišťující látky v částicích  $PM_{10}$  vyhlášené pro ochranu zdraví lidí [80]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit
Arzen As	1 kalendářní rok	6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Kadmium Cd	1 kalendářní rok	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Nikl Ni	1 kalendářní rok	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Benzo[a]pyren	1 kalendářní rok	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

mosféry, zahrnujícím kondenzaci přesycených par, vznik nukleačních jader a následnou koagulaci těchto nejjemnějších částic, jsou těžké kovy podobně jako například polyaromatické uhlovodíky koncentrovány ve frakci jemných částic atmosférického aerosolu, tj. frakci částic  $PM_{2,5}$ . Tyto částice tvoří nejstabilnější aerodisperzní soustavy vyznačující se dlouhou dobou setrvání v atmosféře a schopností transportu na velké vzdálenosti.

Průměrné roční koncentrace všech sledovaných kovů mají mírně klesající tendenci. S výjimkou kadmia na měřicí stanici Souš (okres Jablonec nad Nisou) [119], která je klasifikována jako venkovská pozadová, jsou měřené roční průměry koncentrací hluboko pod imisním limitem.

### Celkové hodnocení znečištění ovzduší v České republice

Znečištění ovzduší v ČR se v posledních letech zlepšuje, stále však u některých znečišťujících látek dochází k překračování příslušných imisních limitů a tím ke zhoršení kvality ovzduší.

U nejsledovanějších znečišťujících látek, jako jsou frakce tuhých částic  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$ , oxid dusičitý  $\text{NO}_2$ , oxid uhelnatý CO, benzen jako představitel těkavých organických látek s benzenovým jádrem a benzo[a]pyren jako představitel polyaromatických uhlovodíků, je znečištění způsobeno spalovacími procesy a zejména lokálními topeništi a mobilními zdroji, zvláště automobilovou dopravou. Zvýšené znečištění tak sice postihuje menší plochu území, kde ale žije převážná část obyvatelstva.

Vlastní úroveň znečištění u uvedených znečišťujících látek závisí na klimatických (tuhost zimy a délka otopného období) a rozptylových podmínkách v atmosféře a má významný roční chod, tj. v zimním období je úroveň znečištění vyšší, v letním období naopak nižší. Opačný roční chod znečištění nastává u přízemního ozonu, kde k největšímu znečištění dochází v letním období a kromě teploty a slunečního záření je úroveň znečištění dána jeho prekurzory – koncentrací VOC a  $\text{NO}_x$ .

Celkové zlepšení kvality ovzduší v posledních letech lze přičíst jednak příznivým klimatickým podmínkám v zimním období, jednak jako výsledek aktivních opatření v ochranném ovzduší se zaměřením na lokální topeniště.

## Kvalita venkovního ovzduší a požadavky na filtraci při větrání nebytových budov

Norma ČSN EN 13779 [96] klasifikuje venkovní ovzduší podle toho, jak znečištění venkovního ovzduší překračuje limitní hodnoty. Zatřídění oblasti do jednotlivé třídy se provádí podle hodnot faktorů znečišťujících látek  $f_{zL}$  [24], udávajících poměr koncentrace znečišťující látky v dané oblasti k limitní hodnotě (obdoba imisního limitu dle doporučení směrnice WHO [114]). Klíčové znečišťující látky, podle kterých se zatřídění provádí, a limitní hodnoty příslušných koncentrací se mohou podle této směrnice měnit. Kvalita venkovního ovzduší je rozdělena do 3 tříd:

- ODA 1 – venkovní vzduch, který může být pouze dočasně znečištěn prachem, např. pylem (směrnice WHO je naplněna),
- ODA 2 – znečištěný venkovní vzduch, který obsahuje vysoké koncentrace prachu nebo plyných znečišťujících látek (znečištění venkovního ovzduší překračuje směrné hodnoty nejvýše do 1,5násobku),
- ODA 3 – velmi znečištěný venkovní vzduch s velmi vysokými koncentracemi prachu nebo plyných znečišťujících látek (znečištění venkovního ovzduší překračuje směrné hodnoty více než 1,5násobně).

Limitní hodnoty uvedené v dokumentu WHO [114] přibližně odpovídají platným imisním limitům podle současných právních předpisů v ochraně ovzduší [80].

S ohledem na problematiku filtrace vzduchu pro všeobecné větrání má ze znečišťujících látek největší význam znečištění částicemi frakce  $PM_{10}$ . Vymezení oblastí se zhoršenou kvalitou ovzduší pro účely aplikace ČSN EN 13779 [96] je obtížné, neboť se tyto oblasti rok od roku mění. Přesná definice ODA 1 a ODA 2, vycházející z počtu překročení imisního limitu pro  $PM_{10}$ , zcela neodpovídá definici oblastí se zhoršenou kvalitou ovzduší podle české legislativy v ochraně ovzduší, kde mapy znečištění zobrazují pole 36. nejvyšší naměřené 24hodinové koncentrace  $PM_{10}$  (viz obr. 3.7), a nikoliv počet překročení imisního limitu.

Přes uvedené rozdíly mezi požadavky normy [96] a vyjádřením znečištění území aplikací zákona [80] lze u znečištění částicemi  $PM_{10}$  konstatovat, že zobrazené oblasti se zhoršenou kvalitou ovzduší, uvedené v [119], lze v daném roce přibližně považovat za oblasti, kde jsou podle normy [96] splněny podmínky pro definici oblasti ODA 2.

**Tab. 3.10** Doporučené minimální třídy filtrů u větrání nebytových budov pro jednotlivé kombinace tříd kvality venkovního ovzduší ODA a požadované kvality vnitřního prostředí IDA

Kvalita venkovního ovzduší ODA	Kvalita vnitřního ovzduší IDA			
	IDA 1 velmi vysoká	IDA 2 střední	IDA 3 průměrná	IDA 4 nízká
ODA 1 (čistý vzduch)	F9	F8	F7	M5
ODA 2 (zaprášený vzduch)	F7 + F9	M6 + F8	M5 + F7	M5 + M6
ODA 3 (velmi znečištěný vzduch)	F7 + GF + F9	F7 + GF + F9	M5 + F7	M5 + M6

Poznámky: GF – uhlíkový nebo chemický filtr

K zařídění území do příslušné třídy podle [96] schází údaje o celkovém počtu překročení imisního limitu.

### Použití filtrů při větrání nebytových budov

Požadavky na kvalitu vnitřního ovzduší v obytných místnostech (učebnách) jsou dány zařazením daného prostoru do kategorií IDA 1 až IDA 4 podle [96]. Jednotlivé kategorie značí, že kvalita vnitřního prostředí je:

- IDA 1 – velmi vysoká,
- IDA 2 – střední,
- IDA 3 – průměrná (mírná, nevelká),
- IDA 4 – nízká.

Doporučení pro použití filtrů při větrání obytných prostor podle ČSN EN 13779 [96] závisí na kvalitě venkovního ovzduší, vyjádřené třídami ODA 1 až ODA 3 a požadavcích na kvalitu vnitřního prostředí, vyjádřených kategoriemi IDA 1 až IDA 4. Doporučené minimální třídy filtrů u jednotlivých kombinací IDA a ODA podle [96] jsou uvedeny v tab. 3.10.

Doporučené třídy filtrace pro aplikace uvedené v tab. 3.10 příliš neodpovídají běžné technické praxi v ČR. S ohledem na problematiku větrání škol lze přímý přívod venkovního vzduchu do učeben (přirozené větrání) použít pouze v těch oblastech, kde nejsou překračovány imisní limity hlavních znečišťujících látek ve venkovním ovzduší, v souladu s vyhláškou č. 410/2005 Sb., v platném znění [91], § 18 odst. 4. Jako zdroj informací lze použít zmíněné mapy znečištění ovzduší ČHMÚ [119].

Zařízení pro nucený přívod vzduchu (vzduchotechnické jednotky) musí být vždy vybaveno filtry pro odlučování pevných částic a tam, kde je riziko výskytu chemických látek, i odpovídající filtrací plyných složek (tab. 3.10). U větracích systémů v oblasti velmi znečištěného vzduchu (ODA 3) se doporučuje použití uhlíkových filtrů (GF). Tyto filtry se rovněž doporučují i v oblastech ODA 2 s výskytem plyných znečišťujících látek. V oblastech s velmi znečištěným vzduchem (ODA 3) se u některých aplikacích doporučuje použití elektrických filtrů.

U nasávání venkovního vzduchu se z hygienických důvodů doporučuje použít dvoustupňovou filtraci (přinejmenším u IDA 1 a IDA 2). Jako první stupeň by měl být použit filtr M5, přednostně však F7. Jako druhý stupeň by měl být použit přinejmenším filtr F7, přednostně F9. Jestliže se používá pouze jednostupňová filtrace, pak jako minimální požadavek je filtr třídy F7.

### 3.3.3 Radon

Radon je přírodní radioaktivní plyn, který je bez barvy, chuti i zápachu. Vzniká radioaktivní přeměnou uranu obsaženého v zemské kůře. Typické koncentrace radonu v půdním vzduchu se na území ČR pohybují v rozsahu 10 000 – 100 000 Bq/m<sup>3</sup>. Z povrchu země se radon uvolňuje do venkovní atmosféry, kde jeho koncentrace naředěním klesá na pouhé jednotky až desítky Bq/m<sup>3</sup>. Vyskytují-li se ve spodní stavbě netěsnosti (trhliny, netěsné prostupy instalačních vedení, netěsné šachty a topné kanály atd.), proniká



## Víte že ...

... Česká republika patří díky svému geologickému podloží mezi země s nejvyšší koncentrací radonu ve vnitřním ovzduší budov. Nezbytnou ochranou proti negativnímu působení radonu na zdraví člověka ve stávajících budovách je větrání.

radon i do domů. Netěsnostmi je aktivně nasáván v důsledku podtlaku v nejnižších podlažích, který je zde vyvolán komínovým efektem a účinkem větru. Koncentrace radonu uvnitř se v závislosti na koncentraci radonu v podloží, těsnosti kontaktní konstrukce a na intenzitě větrání může pohybovat od desítek po tisíce Bq/m<sup>3</sup>.

Radon se samovolně přeměňuje na radioaktivní atomy pevných prvků – <sup>218</sup>Po, <sup>214</sup>Pb, <sup>214</sup>Bi a <sup>214</sup>Po, které se po vdechnutí usazují v průduškách a plicích a způsobují jejich ozáření. Toto ozáření je podle Světové zdravotnické organizace (WHO) považováno hned po kouření za druhou nejvýznamnější příčinu vzniku rakoviny plic. Odhaduje se, že způsobuje 10 – 15 % ze všech rakovin plic. Jedná se však o dlouhodobou záležitost, neboť k vyvolání nemoci dochází zpravidla až po několika desítkách let pobytu v domě se zvýšenou koncentrací radonu. Obecně platí, že čím je koncentrace vyšší a čím déle v ní člověk pobývá, tím je riziko vyšší. Podle výsledků rozsáhlého a obecně uznávaného epidemiologického průzkumu prováděného ve 13 evropských zemích (včetně ČR), které byly publikovány např. v [11], roste přídavné riziko rakoviny plic v důsledku inhalace radonu a jeho produktů přeměny o 16 % na každých 100 Bq/m<sup>3</sup>.

Aby se riziko tohoto onemocnění snížilo na přijatelnou míru, je úroveň koncentrace radonu uvnitř domů legislativně usměrňována. V ČR k regulaci došlo již v roce 1991, kdy byla koncentrace radonu v obytných prostorách budov omezena následujícími hodnotami – 200 Bq/m<sup>3</sup> pro novostavby a 400 Bq/m<sup>3</sup> pro stávající stavby. Legislativa se postupně měnila, nicméně tyto hodnoty byly vždy zachovány a platily až do konce roku 2016. Od 1. 1. 2017 platí nový atomový zákon č. 263/2016 Sb. [82] a prováděcí vyhláška č. 422/2016 Sb. [93], které podstatně mění dosavadní praxi. Dvě směrné hodnoty pro nové a stávající stavby byly nahrazeny jednou **referenční úrovní 300 Bq/m<sup>3</sup>** pro průměrnou koncentraci radonu při intenzitě větrání odpovídající běžnému užívání. Referenční úroveň představuje takovou hodnotu koncentrace radonu, kterou je nežádoucí překročit. Není to tedy zdraví neškodná mez. Při překročení referenční úrovně je vlastník budovy školy nebo školského zařízení povinen provést opatření ke snížení ozáření na úroveň tak nízkou, jaké lze rozumně dosáhnout při zohlednění všech hospodářských a společenských hledisek (§ 99 odst. 3 atomového zákona). Nesplnění této povinnosti je nově přestupkem, resp. správním deliktem, za který může být uložena pokuta až do výše 1 mil. Kč.

Nový atomový zákon ale zároveň říká, že snížením koncentrace radonu jen na referenční úroveň nelze mít optimalizaci radiační ochrany za docílenou. Je tedy žádoucí, aby koncentrace radonu v budově školy byla nižší. Výsledná hodnota by měla být optimalizačním kompromisem mezi ušetřenou dávkou, proveditelností opatření a náklady na ně. Při volbě cílového stavu můžeme vzít v potaz stanovisko WHO [113], která již v roce 2009 doporučila referenční úroveň 100 Bq/m<sup>3</sup>.

## Pozor na radon

Po výměně oken může původní koncentrace radonu vzrůst 3krát až 4krát. Je vhodné, aby současně s výměnou oken byla provedena taková opatření, která zajistí, že radiační ochrana zůstane optimalizována a nebude překročena referenční úroveň.

Vlastník budovy školy nebo školského zařízení je dále podle § 99 odst. 2 atomového zákona povinen zajistit měření koncentrace radonu ve vnitřním ovzduší při uvedení do provozu a vždy po provedení změn dokončené stavby, které by mohly koncentraci radonu ve vnitřním ovzduší ovlivnit, zejména po provedení zásahů do izolace stavby proti pronikání radonu z podloží a úprav, které mohou vést ke snížení intenzity větrání (výměna oken, zateplování budov atd.), nebo při nichž vznikají nové obytné prostory v suterénu nebo přízemí budov. Nesplnění této povinnosti může být opět pokutováno až do výše 0,5 mil. Kč.

Před zahájením rekonstrukce školské budovy, při které vzniknou nové obytné prostory, výměni se okna, zřídí se podlahové vytápění nebo se zateplí plášť budovy, se doporučuje nechat změřit koncentraci radonu ve stávající stavbě. Podle výsledků měření se navrhne odpovídající protiradonové opatření, které bude instalováno současně s rekonstrukcí budovy a odpadnou tak dodatečné náklady na snížení koncentrace radonu v již hotové stavbě.

Na základě rozsáhlého reprezentativního šetření zorganizovaného Státním ústavem radiační ochrany, v.v.i., byl učiněn odhad, že přibližně ve 32 000 bytech (2 % ze všech bytů) koncentrace radonu převyšuje 400 Bq/m<sup>3</sup> a v přibližně 3000 bytech (0,2 % ze všech bytů) je koncentrace radonu vyšší než 1000 Bq/m<sup>3</sup>. Obdobné šetření provádí stejná instituce v současné době i ve školských zařízeních. Výsledky zatím nejsou kompletní, ale jistou představu o výskytu radonu ve školách dávají. Z 1531 škol změřených po roce 2010 (mnoho z nich již bylo po energetické sanaci) přesahuje koncentrace radonu hodnotu 200 Bq/m<sup>3</sup> v 44 % případů, hodnota 400 Bq/m<sup>3</sup> je překročena v 17 % škol a ve 3 % škol je koncentrace radonu vyšší než 1000 Bq/m<sup>3</sup>.

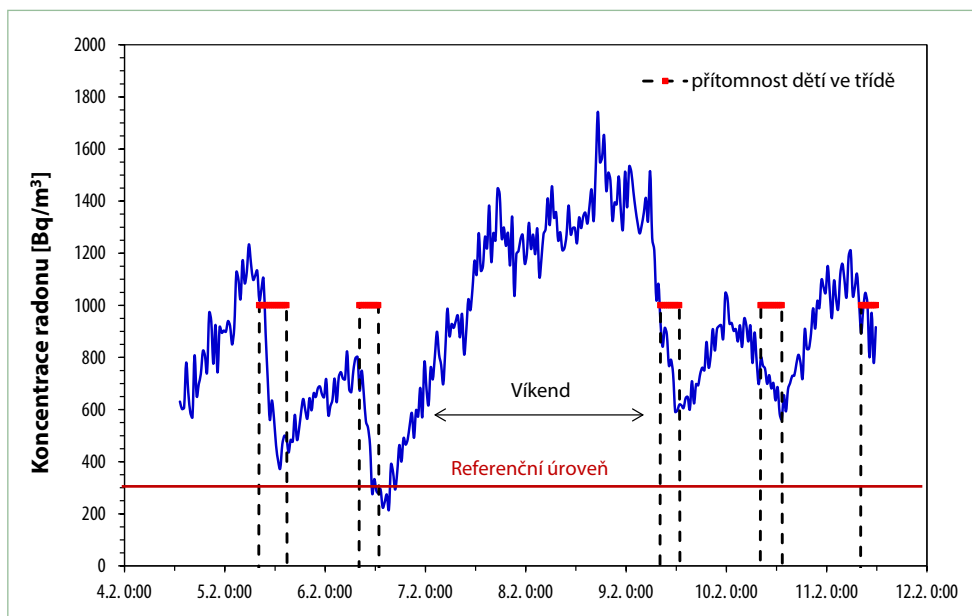
Koncentrace radonu v interiéru není konstantní, ale závisí přímo úměrně na rychlosti přísunu radonu z podloží a nepřímo úměrně na intenzitě větrání. Konkrétní hodnoty koncentrace se tedy mění podle teplotních a tlakových rozdílů mezi interiérem, exteriérem a podložím a podle zvyklostí větrat. Typický průběh koncentrace radonu ve

## Navrhování a provádění škol z pohledu radonu

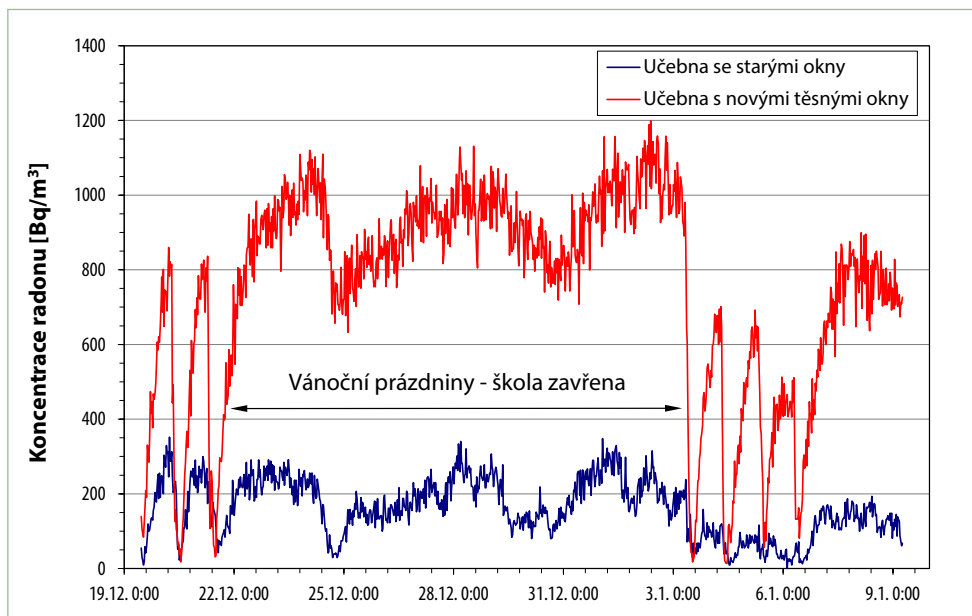
Při navrhování a provádění nových školských budov je vhodné postupovat tak, aby koncentrace radonu v nové škole nepřesáhla 100 Bq/m<sup>3</sup>.

Při navrhování a provádění dodatečných protiradonových opatření do stávajících školských budov je vhodné postupovat tak, aby koncentrace radonu ve škole klesla pod 200 Bq/m<sup>3</sup>.

školní třídě větrané přirozeně je na obr. 3.9. Nejvyšších koncentrací je dosahováno před začátkem vyučování, což je důsledek uzavřených oken od odpoledne jednoho dne do rána dne následujícího. Koncentrace klesají během vyučování, kdy se větrá, ale jak ukazuje obr. 3.9, přirozené větrání nemusí vždy stačit pro snížení koncentrace radonu pod referenční úroveň.



**Obr. 3.9** Typický průběh koncentrace radonu v učebně základní školy větrané přirozeně okny (podle měření Státního ústavu radiální ochrany, v.v.i., Praha)



**Obr. 3.10** Porovnání koncentrací radonu ve dvou sousedních učebnách školy – v jedné se starými okny a v druhé s novými těsnými okny [21]

## Znehodnocení vnitřního prostředí v evropských školách

Výsledkem rozsáhlého výzkumu (projekt SINPHONIE) realizovaného v letech 2010 – 2012 ve 23 státech Evropské unie, na kterém se podílel i SZÚ [32], byly mj. následující zjištění:

- 50 % školáků bylo vystaveno účinkům radonu v úrovni vyšší než 100 Bq/m<sup>3</sup> (nejvyšší střední hodnoty byly naměřeny ve střední, východní a jižní Evropě),
- 13 % školáků bylo vystaveno koncentracím PM<sub>2,5</sub> přesahujícím 25 µg/m<sup>3</sup> a více než 85 % bylo vystaveno koncentracím přesahujícím 10 µg/m<sup>3</sup>,
- 25 % školáků bylo vystaveno účinkům benzenu v koncentracích nad 5 µg/m<sup>3</sup>,
- více než 60 % všech dětí bylo vystaveno účinkům formaldehydu v koncentracích nad 10 µg/m<sup>3</sup> (nejvyšší střední hodnoty byly naměřeny ve střední, východní a západní Evropě),
- 50 % dětí a učitelů bylo vystaveno zvýšeným úrovním endotoxinů a mikroorganismů, které souvisí s výskytem plísní,
- nejvyšší procento tříd s hodnotami koncentrace CO<sub>2</sub> přesahujícími 1500 ppm bylo ve střední a východní Evropě,
- množství větracího vzduchu na žáka bylo ve většině případů (86 %) nevyhovující (nižší než 14,4 m<sup>3</sup>/h),
- koncentrace chemických látek znečišťujících ovzduší v blízkosti škol (PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub> a ozonu) byly výrazně vyšší ve střední, východní a jihovýchodní Evropě,
- 58 % škol bylo vystaveno hlukové zátěži od frekventovaných komunikací.

Zdroj: [www.sinphonie.eu](http://www.sinphonie.eu)

Důsledkem opatření snižujících energetickou náročnost stávajících staveb je velmi často významný pokles intenzity větrání. K tomuto efektu přispívá největší měrou výměna oken. Důsledkem je nárůst koncentrace jednotlivých škodlivin včetně radonu, což dokumentuje obr. 3.10 [21]. Ten porovnává koncentrace radonu měřené současně ve dvou sousedních učebnách situovaných v přízemí školy. Učebny se lišily pouze tím, že v jedné byla ponechána stará dřevěná okna, zatímco ve druhé již byla osazena nová těsná okna. Je zřejmé, že i pouhá výměna oken může zvýšit koncentraci radonu nad referenční úroveň. Další informace o vlivu energetické sanace budov na úroveň vnitřní koncentrace radonu lze nalézt například v [21] a [30].

Koncentrace radonu se zjišťuje měřením, jehož typ a délka závisí na účelu měření a skutečnosti, zda bude na realizaci případných protiradonových opatření čerpán státní příspěvek či nikoliv. Plánuje-li školské zařízení využít státního příspěvku, provede se nejprve dlouhodobé měření (po dobu školního roku nebo minimálně 2 měsíců v otopné sezóně) pomocí integrálních detektorů, jehož výsledkem je průměrná koncentrace radonu za celou dobu měření. Pokud dojde k překročení referenční úrovně alespoň v jedné z učeben, přistupuje se ke kontinuálnímu měření, tj. měření, při němž se stanovuje průběh koncentrace radonu v čase. Aby mohl být věrohodně zachycen pracovní režim školy, je minimální délka kontinuálního měření jeden týden. Toto měření se provádí v otopné sezóně, kdy je omezena intenzita větrání a zároveň je vzhledem k větš-

mu teplotnímu rozdílu mezi vnitřním a vnějším prostředím zajištěn větší přísun radonu z podloží. V průběhu měření by měly být veškeré větrací systémy včetně systémů protiradonové ochrany provozovány v běžném režimu. Při rozhodování o tom, zda v dané učebně nebo jiném pobytovém prostoru školy (např. tělocvičně, kanceláři atd.) překračuje koncentrace radonu referenční úroveň, se postupuje tak, že se referenční úroveň porovnává s průměrnou koncentrací radonu v době pobytu dětí a mládeže (na obr. 3.9 je provozní doba znázorněna červenými úsečkami). Pro přiznání státního příspěvku je nutné, aby alespoň v jedné z učeben byla v době pobytu dětí překročena referenční úroveň. Tento typ měření může být v rámci Radonového programu ČR – Akčního plánu [118] poskytnut bezplatně.

Není-li dostatek času na dlouhodobé měření například z důvodu přípravy podkladů pro rekonstrukci školy, výměnu oken, návrh větracího systému atd., provede se alespoň týdenní kontinuální měření koncentrace radonu popsané v předcházejícím odstavci. V tomto případě se doporučuje měřit i místnosti nepobytové, kterými by mohl radon pronikat do objektu (například umývárny z důvodu velkého počtu prostupů atd.). Obdobné měření musí být provedeno vždy po dokončení nových staveb, aby se ověřilo, zda je škola dostatečně chráněna proti radonu.

## 3.4 Požadavky na větrání škol

Ve vnitřních prostorách budov se kvalita (čistota) ovzduší upravuje větráním, které je charakteristické přívodem čerstvého venkovního vzduchu a odvodem vzduchu znehodnoceného. Vnitřní ovzduší je zatěžováno znečišťujícími látkami z vnějšího i vnitřního prostředí (viz odstavec 3.3). V učebnách škol je větrání dáno hygienickými požadavky, které souvisí s přítomností osob.

### 3.4.1 Učebny

Závazné požadavky na větrání škol definuje vyhláška č. 410/2005 Sb., v platném znění [91], která požaduje množství přiváděného venkovního vzduchu do učeben 20 až 30 m<sup>3</sup>/h na žáka. To představuje prakticky nepřetržité větrání v uvedených dávkách během výuky. Uvedené množství však nerozlišuje věk žáků. Tam, kde není venkovní vzduch výrazně znečištěn, se jako indikátor kvality vnitřního ovzduší používá oxid uhličitý CO<sub>2</sub>, jehož přípustnou koncentraci v pobytových prostorách udává vyhláška č. 268/2009 Sb. [92] (1500 ppm). Na základě kritéria přípustné koncentrace CO<sub>2</sub> pak lze teoreticky připustit i nižší dávky vzduchu na žáka, podle věku, nebo stupně školní docházky.

Pro vyučující je učebna trvalým pracovištěm a průtok vzduchu na osobu se stanoví podle nařízení vlády č. 93/2012 Sb. [83]. Minimální průtok venkovního vzduchu je 25 m<sup>3</sup>/h na osobu.

### Porovnání normativních požadavků

Německá směrnice VDI [105] uvádí jako přípustnou koncentraci CO<sub>2</sub> v učebně 1000 ppm, nicméně chybně udává hodnoty produkce CO<sub>2</sub> dětmi (15,6 l/h.os. pro 1. – 4. třídu; 18,9 l/h.os. pro 5. – 13. rok vzdělávacího programu), z čehož vyplývají vyšší průtoky

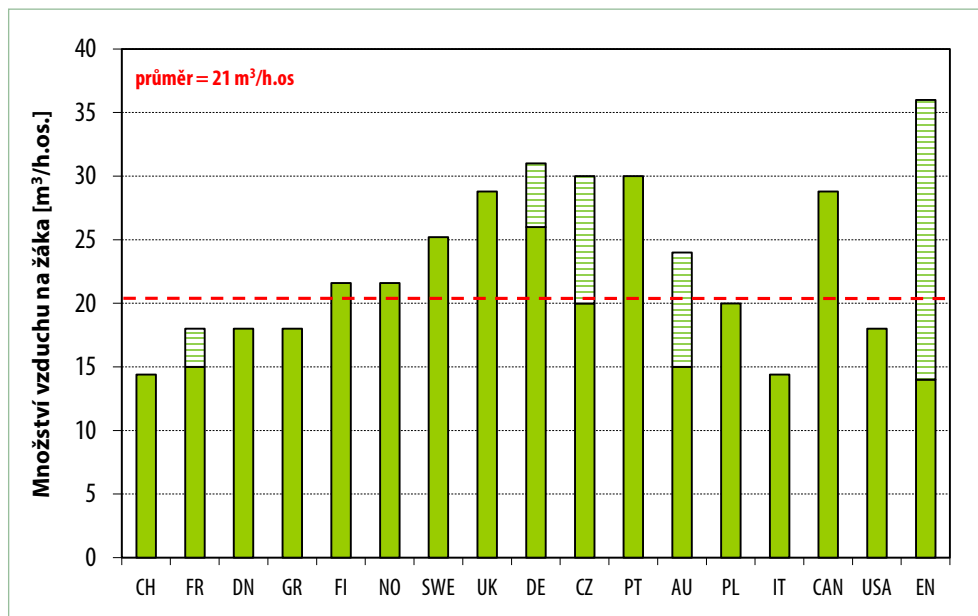
**Tab. 3.11** Požadavky na větrání škol dle dostupných předpisů

Předpis	Přípustná koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	Průtok vzduchu na žáka [m <sup>3</sup> /h.žáka]			
		3 – 6 let	6 – 10 let	10 – 15 let	15 – 18 let
		Školka	1. stupeň ZŠ	2. stupeň ZŠ	SŠ
Vyhláška č. 410/2005 Sb.	-	20 – 30			
ČSN EN 15251	1200	-	14 až 36		
ÖNORM H 6039:2008	1200	-	15	19	24
VDI 6040-1	1000	-	26	31	31

vzduchu na žáka (viz tab. 3.11). Obecně lze připustit i vyšší hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub> v prostoru, než uvádí německá směrnice VDI, maximálně však 1500 ppm [92]. Rakouská norma ÖNORM [108] pracuje s limitní koncentrací CO<sub>2</sub> 1200 ppm a definuje průtoky vzduchu na základě věku dítěte, jak bylo naznačeno výše.

### Zahraníční požadavky na větrání učeben

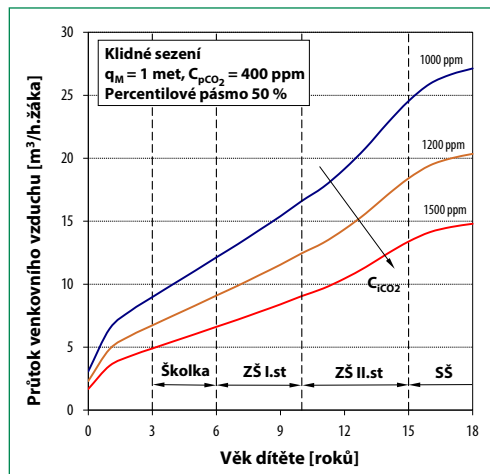
Požadavky na větrání školních učeben jsou v zahraničí různé. Většinou se průtok vzduchu uvádí v l/s na osobu, případně v m<sup>3</sup>/h na m<sup>2</sup> podlahové plochy. Na obr. 3.11 jsou



**Obr. 3.11** Požadavky na větrání učeben ve vybraných státech (EN = údaje z ČSN EN 15 251)

uvedeny minimální průtoky venkovního vzduchu na osobu ve vybraných státech [2], [40]. V některých zemích je uveden rozsah průtoků, podobně jako v našem závazném předpisu (v obrázku odlišeno graficky).

Uvedené hodnoty představují minimální požadavky, které jsou často doplněny dalším kritériem – např. podle [95] se připočítává ještě přívod vzduchu na m<sup>2</sup> podlahové plochy, jsou uváděny různé hodnoty dle typu školského zařízení (školka, základní škola, střední škola), bývá rozlišován typ místnosti (třída nebo posluchárna), případně jsou požadavky limitovány obsazeností prostorů – při větším počtu osob na m<sup>2</sup> jsou požadované hodnoty navyšovány. V některých státech není rozlišován typ budovy – stejné požadavky platí pro kancelářské budovy i školy, někde je vypsán pouze jeden minimální požadavek pro všechny budovy, nebývá to však běžné.



**Obr. 3.12** Průtok venkovního vzduchu na žáka stanovený na základě bilance CO<sub>2</sub> v učebně

### Stanovení průtoku venkovního vzduchu s ohledem na věk žáků

Minimální průtok venkovního vzduchu  $\dot{V}_e$  je možné stanovit na základě bilance větrané místnosti při znalosti produkce CO<sub>2</sub> a rozdílu mezi venkovní a vnitřní koncentrací CO<sub>2</sub>.

$$\dot{V}_e = \frac{\dot{V}_{CO_2}}{C_p - C_e} \quad (7)$$

kde je:

$\dot{V}_{CO_2}$  objemový tok CO<sub>2</sub> [m<sup>3</sup>/h],

$C_e$  koncentrace škodliviny (CO<sub>2</sub>) ve venkovním ovzduší [% obj.],

$C_p$  přípustná koncentrace škodliviny (CO<sub>2</sub>) ve vnitřním ovzduší [% obj.].

### Dvojí „metr“ na školy

Při projektování škol vzniká paradoxní situace. Projekt školy, kde je navrženo nefunkční přirozené větrání tzv. „mikroventilací“, buď nepodléhá stavebnímu povolení (stavba se významně nemění), nebo bez povšimnutí projde schválením příslušné hygienické stanice.

V případě, že se škola snaží problém s větráním vyřešit nuceným systémem, trvá hygienik na vysokém průtoku 20 až 30 m<sup>3</sup>/h na žáka, i přes to, že v učebně jsou stejná otevřená okna s „mikroventilací“ jako v předchozím případě. Za vším stojí nešťastná ustanovení vyhlášky MZČR [91].

**Tab. 3.12** Minimální průtok venkovního vzduchu podle bilance CO<sub>2</sub> [109]

Průtok venkovního vzduchu [m <sup>3</sup> /h.žáka]			
3 – 6 let	6 – 10 let	10 – 15 let	15 – 18 let
Školka	1. stupeň ZŠ	2. stupeň ZŠ	SŠ
10	12	18	20

Potřebný průtok větracího vzduchu pro dítě ve věku 10 let, které produkuje 10 l/h CO<sub>2</sub> (viz obr. 3.3), při koncentraci CO<sub>2</sub> ve venkovním ovzduší 400 ppm a přípustné koncentraci C<sub>p</sub> = 1500 ppm se stanoví jako

$$\dot{V}_e = \frac{\dot{V}_{\text{CO}_2}}{C_p - C_e} = \frac{0,001}{0,0015 - 0,0004} = 9,1 \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (8)$$

Obdobně lze stanovit průtoky venkovního vzduchu pro odlišné okrajové podmínky. Výsledky bilančního výpočtu pro rozdílné přípustné koncentrace CO<sub>2</sub> jsou uvedeny na obr. 3.12.

Průtok venkovního vzduchu, trvale přiváděného do učeben v době pobytu žáků, se tedy může s ohledem na hospodárnost provozu volit podle věku žáků (tab. 3.12). Průtoky uvedené v tabulce odpovídají koncentraci CO<sub>2</sub> ve vnitřním ovzduší 1200 ppm (pro C<sub>p</sub> = 400 ppm). Při zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub> ve venkovním ovzduší až na hodnotu 700 ppm, která se může vyskytovat např. ve městech, nebude v učebně maximální koncentrace 1500 ppm překročena. Tento přístup byl využit v metodickém pokynu SFŽP [109].

Průtoky vzduchu na žáka podle tab. 3.12 jsou poněkud v rozporu s platným zněním vyhlášky č. 410/2005 Sb. [91]. Na druhou stranu většina škol v ČR tuto vyhlášku nesplňuje a snahou tvůrců metodického pokynu bylo zlepšit současný stav. V době vzniku tohoto textu (leden/únor 2017) se vyhláška č. 410/2005 Sb. [91] podle dostupných informací novelizuje, ovšem k zohlednění technických argumentů zřejmě nedojde.

Průtoky vzduchu stanovené na základě věku žáků a přípustné koncentrace CO<sub>2</sub> (obr. 3.12) mohou být s výhodou použity při dimenzování centrálních větracích systémů (odstavec 4.2.5 – zařízení č. 9) pro stanovení současnosti provozu. V praxi to znamená volbu výrazně menšího a rovněž levnějšího zařízení.

V případech, kdy není předem známo, jak staré děti budou učebny navštěvovat, použije se pro návrh vždy vyšší průtok vzduchu.

### 3.4.2 Ostatní prostory školy

**Specializované učebny** (dílny, chemické laboratoře apod.) se větrají rovněž s ohledem na produkci škodlivin.

**Kabinety a sborovny** nejsou trvalým pracovištěm ve smyslu nařízení vlády č. 93/2012 Sb. a připouští se přirozené větrání oknem (provětrávání).



## Ekodesign a velikost zařízení

Důsledkem platnosti tzv. „Ekodesignu“ (směrnice o ekodesignu) [94] větracích jednotek je nárůst jejich celkových rozměrů (průřezu) za účelem snížení tlakové ztráty jednotlivých elementů (snížení rychlosti proudění). Problémem při rekonstrukci stávajících škol je často nedostatek prostoru pro nová zařízení. I proto se v Německu doporučuje pro stávající školské budovy používat nižší průtoky vzduchu (14 m<sup>3</sup>/h.os) než pro novostavby (25 m<sup>3</sup>/h.os) [116].

**Hygienické zázemí** (toalety, umývárny, sprchy) se doporučuje větrat podtlakově s nárazovým (pohybové čidlo) nebo časovým provozem (např. o přestávkách). Průtoky odsávaného vzduchu se stanoví podle vyhlášky č. 410/2005 Sb., v platném znění.

**Centrální šatny** se větrají v souladu s vyhláškou č. 410/2005 Sb., ve znění vyhlášky č. 343/2009 Sb., § 18 odst. 5.

**Tělocvičny** se připouští větrat přirozeně. V případě využití tělocvičny jako shromažďovacího prostoru se doporučuje použít nucené větrání s regulací průtoku vzduchu podle koncentrace CO<sub>2</sub>. Průtoky vzduchu se stanoví podle vyhlášky č. 410/2005 Sb., v platném znění.

**Jídelna** je pobytovým prostorem ve smyslu vyhlášky č. 268/2009 Sb. [92].

**Kuchyně** se větrají podle doporučených pravidel (např. VDI 2052 [107], [42]).

## 3.5 Akustika

Akustiku budov ovlivňuje řada faktorů, zejména jejich umístění, technické, stavební i architektonické řešení. Přítomnost zdrojů hluku umístěných uvnitř nebo vně objektu a řešení vnitřního prostoru má pak přímý dopad na akustickou pohodu. Nežádoucí zvuk neboli hluk uvnitř objektu má vliv na objektivní fyziologické reakce, produktivitu práce, ale i na subjektivní schopnosti, např. slovní reakce na podněty, což je důležité zejména ve školách.

### 3.5.1 Právní a normativní dokumenty

V současnosti u nás neexistuje ucelený dokument zabývající se detailně akustikou školských budov v souvislosti s požadavky na stavbu a zařízení techniky prostředí, jako je tomu např. ve Velké Británii [112]. V našich podmínkách je k dispozici závazný předpis v podobě nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [85] o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

Proces šíření zvuku od zdroje musí řešit projektant. Jedná se o šíření zvuku vnějším prostorem, skrze obálku budovy do vnitřního prostoru a uvnitř budovy např. od větrací jednotky, potrubím přes distribuční elementy do chráněného prostoru. Výslednou akustickou situaci pak musí porovnat se zmiňovaným právním předpisem [85].

**Tab. 3.13** Doporučené hladiny akustického tlaku ve školách podle ČSN EN 15 251 [95]

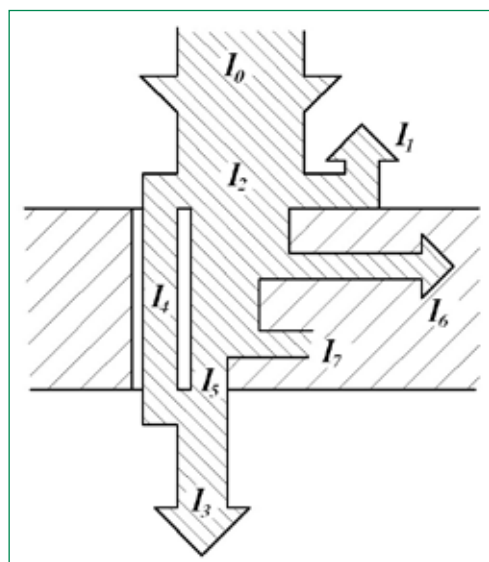
Typ prostoru	Ekvivalentní hladina akustického tlaku A	
	Typický rozsah [dB]	Návrhová hodnota
Školky	30 – 45	40
Učebny	30 – 40	35
Chodby	35 – 50	40
Tělocvičny	35 – 45	40
Kabinety	30 – 40	35
Záchody a šatny	40 – 50	45

Podle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [85] je hluková situace v učebnách školských zařízení hodnocena **ekvivalentní hladinou** akustického tlaku A (za časový úsek  $T$ )  $L_{Aeq,T}$  [dB] v případě, že hluk do vnitřního prostoru proniká vzduchem z venkovního prostoru. Hygienický limit pro přednáškové síně, učebny, pobytové místnosti škol a školských zařízení je  $L_{Aeq,T} = 45$  dB. Jde-li ovšem o hluk ze zdrojů uvnitř objektu, což větrací zařízení jsou, je posuzovaná veličinou **maximální hladina** akustického tlaku A  $L_{Amax} = 45$  dB.

V literatuře [112] je možné nalézt limitní hodnoty hluku pozadí pro vnitřní prostory školských zařízení podle jejich využití a podle toho, zda jde o nový či rekonstruovaný objekt. Např. pro výukovou třídu na základní i střední škole je hlukový limit daný ekvivalentní hladinou akustického tlaku A pro nové objekty  $L_{Aeq,T} = 35$  dB a pro rekonstrukce  $L_{Aeq,T} = 40$  dB.

### 3.5.2 Faktory ovlivňující akustiku budov

Vnitřní akustika výukových prostorů přímo ovlivňuje pozornost a vnímání žáků při výuce i jejich přípravnou a relaxační činnost během přestávek. Výukové prostory jsou významnou měrou ovlivněny šířením zvuku pláštěm budovy, stěnami, okny a dveřmi. Nejslabším článkem obvodového pláště budovy bývají ve většině případů okna. Nejen, že mají menší vzduchovou neprůzvučnost než stěny, ale v případě dnes nejrozšířenějšího způsobu větrání okny je to ideální cesta šíření akustického signálu, neboť otevřené okno vykazuje hodnotu činitele



**Obr. 3.13** Bilance akustické energie při dopadu zvukové vlny na stěnu

průzvučnosti  $\tau = 1$ . Do vnitřního prostoru se tak významnou měrou šíří hluk z vnějšího prostředí od pozemní i vzdušné dopravy, od okolních zdrojů v těsné blízkosti školských budov (objekty, sportoviště apod.) a v neposlední řadě i od strojních zařízení (vzduchotechnika, chlazení aj.). Problematika neprůzvučnosti pláště objektu je doménou stavební akustiky.

Činitel průzvučnosti  $\tau$  je možné vysvětlit na schématu dle obr. 3.13 [47], [33]. Akustický výkon dopadající na stěnu o definované ploše  $1 \text{ m}^2$ , označený jako intenzita zvuku  $I_0$ , se rozdělí na dílčí složky. Část zvuku se odrazí  $I_1$ , pohltí  $I_2$ , vyzáří za stěnu  $I_3$ , projde za stěnu otvory a štěrbinami  $I_4$ , projde za stěnu vlivem ohybového kmitání stěny  $I_5$ , projde do ostatních částí konstrukce ve formě chvění  $I_6$  a přemění se ve stěně v teplo  $I_7$ .

Činitel průzvučnosti je pak definován vztahem

$$\tau = \frac{I_3}{I_0} = \frac{I_4 + I_5}{I_0} \quad (9)$$

Jedná se o energii, která za stěnu projde otvory a netěsnostmi a dále je vyzářená stěnou v důsledku ohybového kmitání, vztažená k celkové dopadající energii.

Celkovou průzvučnost stěny definuje vztah

$$\tau_m = \frac{\sum \tau_i S_i}{\sum S_i} \quad (10)$$

kde je:

$S_i$  dílčí plocha stěny [ $\text{m}^2$ ].

Hluk od vnitřních zdrojů se objektem šíří nejen vzduchem, tedy mezi jednotlivými místnostmi přes dveře a stěny, ale také chvěním stavebních konstrukcí. U objektů, kde je větrání řešeno nuceně, se šíří zvuk od ventilátoru vzduchovodem. Nucený systém větrání se v případě nevhodného návrhu může stát, kromě zdroje vlastního hluku, i nositelem signálů mezi jednotlivými místnostmi. V objektech s velkým počtem osob a místnostmi sousedícími s chodbami (typickým představitelem jsou právě školy), bývá problém s šířením zvuku mezi jednotlivými prostory. Je tedy nevhodné umísťovat jakékoliv větrací mřížky do dělicí příčky mezi chodby a učebny. V takových případech je nutno zajistit akustické odizolování obou prostorů např. instalací tzv. přeslechových tlumičů hluku. Na druhou stranu je potřeba počítat s tím, že tlumiče budou vykazovat z hlediska proudění vzduchu tlakovou ztrátu.

### 3.5.3 Hluk šířící se vzduchotechnickým zařízením

Řada projektantů akustické výpočty podceňuje a jejich rozsah redukuje na výpočet útlumu některých částí systému. Správný akustický návrh vzduchotechniky sestává z výpočtů nejen útlumů jednotlivých částí, ale i jejich vlastního hluku [47], [48]. Ve strojovně a její blízké části hraje významnou roli vlastní zdroj, obvykle ventilátor. Směrem ke chráněnému prostoru je tento hluk postupně tlumen a do popředí se dostává vlastní hluk jednotlivých součástí rozvodů. V některých případech může být dominantním zdrojem hluku např. distribuční element – vyústka v těsné blízkosti chráněného prostoru, bez jejíž výměny nebo odstranění bez náhrady je utlumení systému v dané situaci neřešitelné.

## Lokální větrací systémy jako zdroj hluku

V České republice bylo větrání školských zařízení v širším měřítku donedávna výhradně přirozené (okny) [5]. Řada objektů není koncepčně připravena pro instalaci centrálních větracích systémů, proto se mnoho výrobců soustřeďuje na systémy lokální s větrací jednotkou instalovanou uvnitř učebny. Dobře řešené větrací jednotky z hlediska akustiky jsou dnes pro větrání učeben vhodným řešením, naopak umístění hlučného zařízení přímo v učebně může být z hlediska vytvoření pohody prostředí kontraproduktivní a je zcela nepřijatelné [4].

Větrací systémy jsou vybaveny ventilátory, což jsou typické zdroje aerodynamického hluku s tónovými složkami. Často jsou jednotky vybaveny výměníky, které v případě vysoké rychlosti proudění mezi žebrováním rovněž generují aerodynamický hluk. Při návrhu lokálního nuceného větrání je nutno věnovat zvýšenou pozornost volbě a umístění větrací jednotky (ventilátoru). Umístění zdroje zvuku do chráněného prostoru nebo v jeho těsné blízkosti může způsobovat problémy, a ne každý výrobek vyhoví při provozu přísným kritériím. V takových případech je třeba soustředit se na návrh zvukoizolačních zákrytů, které však mají omezený účinek.

V případě, že se budova školy nachází v oblasti s významným znečištěním venkovního vzduchu, může zanášení filtrů spojené s nárůstem tlakové ztráty způsobovat nárůst hlučnosti zařízení (změna pracovního bodu ventilátoru).

## Centrální větrací systémy

Výhoda centrálních větracích systémů, oproti zdrojům instalovaným v chráněném prostoru, spočívá zejména v situování zdroje zvuku dostatečně daleko od chráněných prostorů s možností instalace tlumičů přímo u zdroje hluku, případně v těsné blízkosti chráněného prostoru.

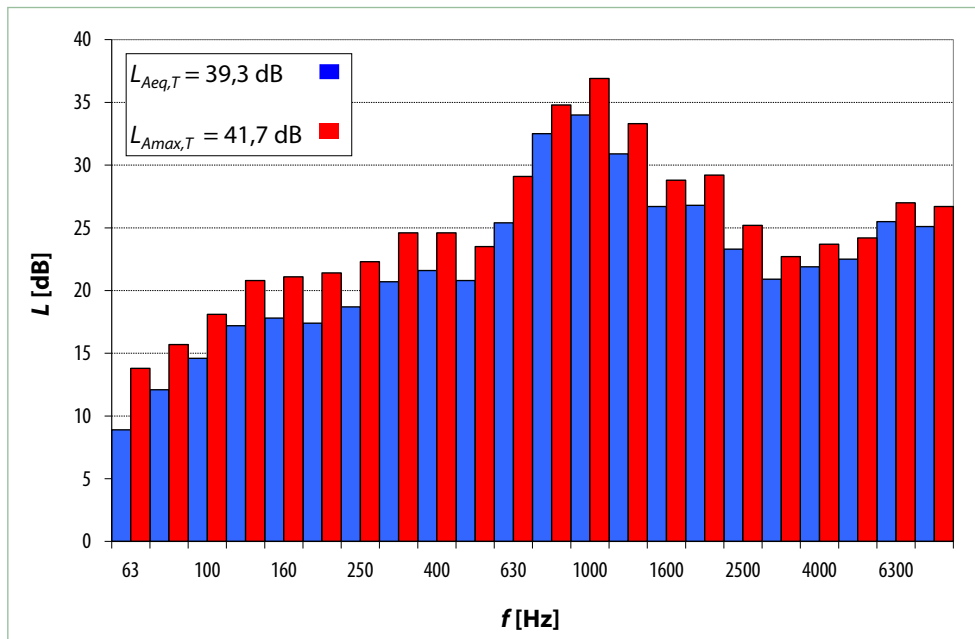
Instalace tlumičů za zdrojem hluku (větrací jednotkou ve strojovně) má za cíl snížit její vlastní hluk tak, aby se tento signál nešířil dále do objektu. Potrubní rozvody prochází ze strojovny řadou prostorů, do kterých by bylo nežádoucí tento hluk vyzařovat. Takový prostor pak může sousedit např. s chráněnou místností a nežádoucí signál by se do tohoto chráněného prostoru mohl šířit např. dělicí příčkou. Je vhodné připomenout, že při výpočtech šíření zvuku mezi dvěma prostory je rozdíl hladin akustického tlaku před a za stěnou ovlivněn nejen vzduchovou neprůzvučností dělicí stěny (vlastností stěny), ale rovněž pohltivostí přijímacího prostoru.

Instalace tlumičů hluku v potrubí v těsné blízkosti chráněného prostoru zajistí útlum nejen vlastního zdroje hluku (jednotky), ale zejména signálů, které v rozvodu generují jednotlivé součásti, jako jsou např. odbočky, oblouky, kolena (aerodynamický hluk vzniklý průtokem vzduchu), ale i signály, které do vzduchovodu pronikají při jeho průchodu hlučnou částí objektu vlivem vysoké průzvučnosti.

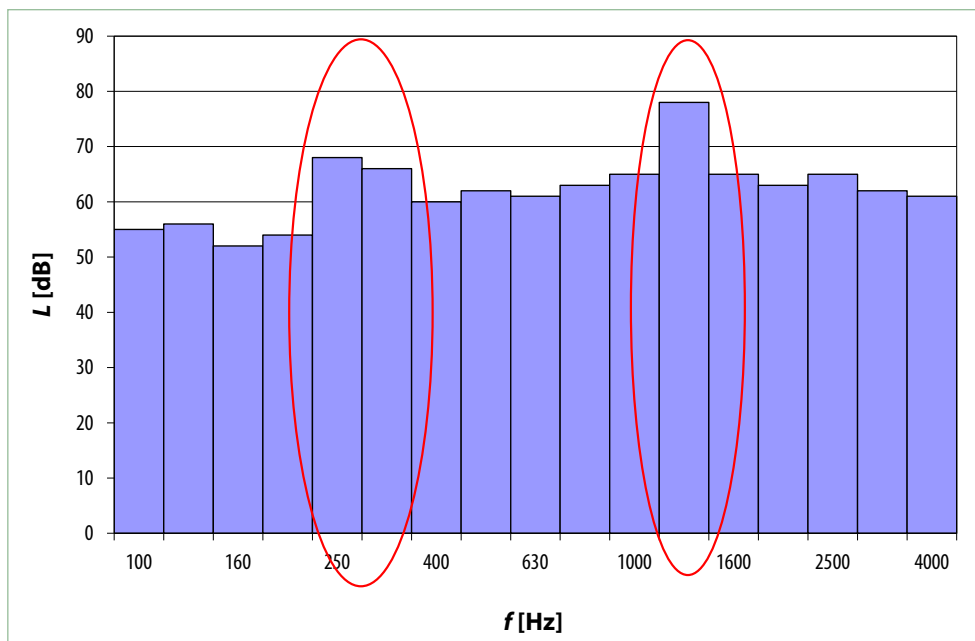
### 3.5.4 Měření a akustické výpočty

Na obr. 3.14 je příklad měření na zdroji hluku, resp. spektrum ekvivalentních hladin (modré sloupce) a maximálních hladin (červené sloupce) akustického tlaku. Stanovíme-li z těchto hodnot celkovou hladinu akustického tlaku A ekvivalentní 39,3 dB a

maximální = 41,7 dB, je patrný jejich rozdíl 2,4 dB. V případě, že projektant opomene, že zařízení techniky prostředí instalované v objektu bude hygienickým předpisem posuzováno podle maximální hladiny a nikoliv podle hladiny ekvivalentní, může se stát, že se rázem pohybuje nad hranicí limitní hodnoty.



**Obr. 3.14** Ekvivalentní a maximální spektrum hladin akustického tlaku – příklad



**Obr. 3.15** Spektrum hladin akustického tlaku s tónovými složkami

Při hodnocení hlukové zátěže v prostoru může dojít ke snížení hygienického limitu o 5 dB v případě výskytu tónové složky ve spektru. Výše uvedené hygienické limity by pak byly  $L_{Aeq,T} = 40$  dB,  $L_{Amax} = 40$  dB. Vzhledem k tomu, že zařízení techniky prostředří jsou potenciálními zdroji tónových složek, je toto zpřísnění reálné zvláště v případě instalace zařízení přímo v učebně. Tónové složky se hodnotí v třetinooktávovém pásmu. Je-li některá z hladin akustického tlaku v třetinooktávovém pásmu, případně i ve dvou bezprostředně sousedních třetinooktávách, o více než 5 dB vyšší než hladiny v obou sousedních třetinooktávových pásmech, je ve spektru identifikována tónová složka obr. 3.15 [34].

## Součet více zdrojů hluku

Výpočet můžeme provést buď podle vztahu pro logaritmický součet, nebo podle nomogramu na obr. 3.16. Budeme-li si pamatovat tři základní rozdíly pro sčítání hladin, můžeme logaritmický součet zdrojů provádět jednoduše i bez kalkulačky.

$$L_1 - L_2 = 0 \Rightarrow \Delta L = 3 \text{ dB}$$

Je-li:  $L_1 - L_2 \geq 6 \Rightarrow \Delta L = 1 \text{ dB}$

$$L_1 - L_2 \geq 10 \Rightarrow \Delta L = 0,4 \text{ dB}$$

Chceme sečíst dva zdroje hluku. První vytváří v kontrolním místě hladinu akustického tlaku  $L_1 = 65$  dB a druhý v témže místě  $L_2 = 61$  dB. Na vodorovné ose (obr. 3.16) nalezneme hodnotu jejich rozdílu 4 dB a na svislé ose tomu odpovídající přírůstek  $\Delta L = 1,5$  dB. Výsledná součtová hodnota je pak dána vyšší z obou sčítaných hodnot, zvýšenou o nalezený přírůstek, tj.  $L_1 + \Delta L = 65 + 1,5 = 66,5$  dB. Hodnoty hlučnosti zaokrouhlujeme na jedno desetinné místo.

I když je hygienické hodnocení hlukové situace vyjádřené jednou hodnotou, měl by projektant provádět své výpočty vždy ve frekvenčním pásmu. Z hlediska identifikace tónové složky je výhodná znalost třetinooktávového spektra, avšak v podkladech výrobců nejsou takto podrobné údaje většinou uváděny. Doporučuje se realizovat výpočet alespoň v oktávovém pásmu v rozsahu kmitočtů, pro které jsou akustické údaje dostupné. Tento rozsah údajů bývá obvykle od 63, resp. 125 Hz do 4000, resp. 8000 Hz.

Při hodnocení hlukového limitu je nutno započíst, kromě hluku větracího zařízení, i hluk pozadí, tedy i ostatní zdroje hluku. Bude-li hygienický limit  $L_{Aeq,T} = 45$  dB a hladina akustického tlaku okolí včetně ostatních zdrojů např. 44 dB, smí nově instalované větrací zařízení generovat hladinu akustického tlaku v daném kontrolním místě maximálně 38 dB. Výsledek byl stanoven s využitím vztahu pro logaritmický součet

$$L_{pc} = 10 \log \sum_{i=1}^n \left( 10^{0,1L_{pi}} \right) \quad (11)$$

kde za celkovou hladinu akustického tlaku  $L_{pc}$  je dosazena  $L_{Aeq,T} = 45$  dB.

Graficky je možné logaritmický součet vyjádřit křivkou na obr. 3.16, kde na vodorovné ose je rozdíl sčítaných signálů a na svislé ose přírůstek, o který se zvýší vyšší ze sčítaných hodnot.

### 3.5.5 Vnitřní akustika

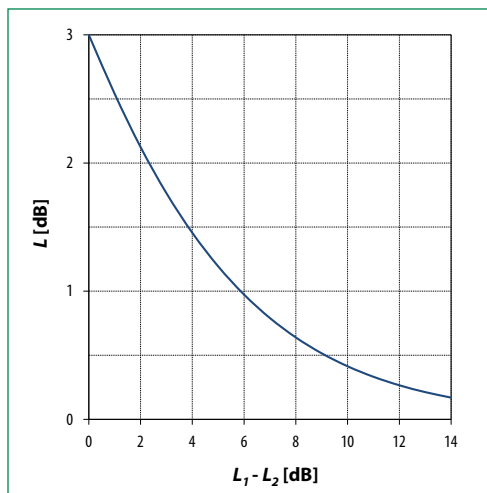
Při návrhu větrání je nutné dát do souvislosti kompromisní řešení hlučnosti zařízení a akustiky prostoru, tedy vliv pohlcování zvuku ve vzduchu a obklopujícími plochami a vybavením. Přeměnu akustické energie ve vnitřním prostoru na teplo reprezentuje doba dozvuku  $T$  [s], která může nabývat hodnot od desetin sekund do jednotek sekund v závislosti na kmitočtu. Doba dozvuku je uváděna buď spektrálně, nebo jako jednočíselná hodnota. V takovém případě jde o aritmetický průměr obvykle v rozsahu kmitočtů 100 Hz až 5 kHz, případně užším. V tab. 3.14 jsou pro příklad uvedeny doby dozvuku  $T_{20}$  a hodnoty činitele pohltivosti  $\alpha$  v učebně základní školy (bez vybavení), jejíž strop a částečně stěny byly obloženy akustickými kazetami.

**Tab. 3.14** Doby dozvuku  $T_{20}$  a činitele pohltivosti  $\alpha$  v závislosti na kmitočtu pro prázdnou školní třídu o rozměrech  $8 \times 5 \times 3$  m osazenou akustickými obklady

<b>f [Hz]</b>	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
<b><math>T_{20}</math> [s]</b>	4,79	2,95	2,03	1,73	1,22	0,98	1,01	0,98	0,92	0,98
<b><math>\alpha</math> [-]</b>	0,009	0,014	0,020	0,024	0,034	0,042	0,041	0,042	0,045	0,042

<b>f [Hz]</b>	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
<b><math>T_{20}</math> [s]</b>	0,98	1	1	1,07	1,07	1,07	1,04	1,01	0,98
<b><math>\alpha</math> [-]</b>	0,042	0,042	0,042	0,039	0,039	0,039	0,040	0,041	0,042

Dalším parametrem, který je při výpočtech hluku zásadní, je činitel pohltivosti  $\alpha$ , který se pohybuje v rozsahu hodnot 0 až 1. Tento parametr se stanovuje ze změřené doby dozvuku. Z hlediska šíření zvuku je výhodné, je-li doba dozvuku krátká, tzn. pohltivost prostoru je vyšší. Zdroj hluku je tak lépe tlumen než v prostoru, který vykazuje menší pohltivost  $\alpha$  blíží se nulovým hodnotám, jako např. omítky či betonové plochy, které mají řádově  $\alpha = 0,02$  až  $0,03$ . Vzhledem k tomu, že přenos zvuku a srozumitelnost řeči závisí na době dozvuku prostoru, bylo by nevhodnější, aby v posluchárnách bylo akustické pole vyrovnané, tzn. od tabule až po zadní lavice bylo difuzní pole (pole odražených vln). Takové akustické pole je ovšem dáno vyšší odrazivostí okolních stěn a



**Obr. 3.16** Nomogram pro sčítání hladin [47]

vnitřního vybavení, tedy nízkými hodnotami činitele pohltivosti  $\alpha$ , což je v protikladu s principy snižování hluku. Čítel pohltivosti  $\alpha$  je definován podle obr. 3.13 vztahem

$$\alpha = \frac{I_2}{I_0} \quad (12)$$

Jedná se o poměr energie pohlcené stěnou k energii dopadající. Čítel  $\alpha$  je veličina kmitočtově závislá, a je tedy třeba ji uvádět ve spektru. Některé konkrétní hodnoty činitele pohltivosti lze nalézt v literatuře [33].

Akustické pole ve vnitřním prostoru je možné rozdělit na dvě oblasti. První pole blízké zdroji je tzv. pole přímých vln, v němž se významně projevuje vliv umístění zdroje, daný směrovým činitelem  $Q$ , a vzdáleností od zdroje  $r$ . Druhým je pole odražených vln, kde se významnou měrou projevuje vliv prostoru vyjádřený středním činitelem zvukové pohltivosti  $\alpha$  a plochou obklopujících stěn  $S$ .

Hladina akustického tlaku ve vnitřním prostoru  $L_{pA}$  [dB] se stanoví podle vztahu

$$L_{pA} = L_{wA} + 10 \log \left( \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4(1-\alpha_m)}{\sum S_i \alpha_m} \right) \quad (13)$$

kde je:

$L_{wA}$  hladina akustického výkonu zdroje [dB],

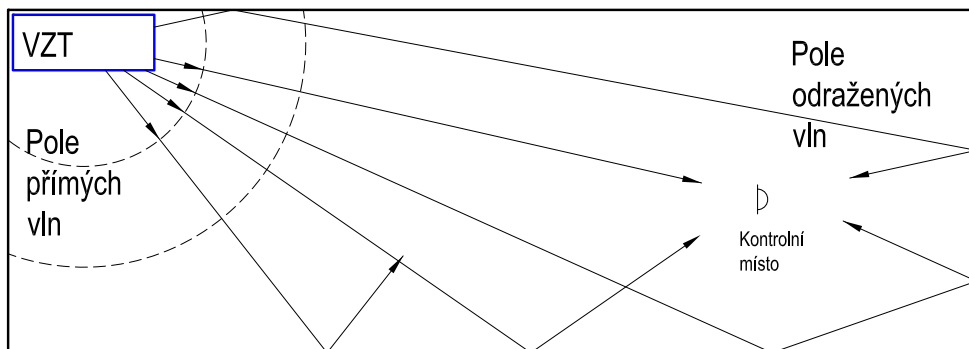
$Q$  směrový čítel zdroje [-],

$r$  vzdálenost mezi zdrojem a kontrolním místem [m],

$\sum S_i$  plocha všech stěn ohraničujících chráněnou místnost [m<sup>2</sup>],

$\alpha_m$  střední čítel pohltivosti stěn [-].

V poli odražených vln, nazývaném též difuzním, je akustické pole vyrovnané, tzn. že v jakémkoliv místě je hladina akustického tlaku shodná, jak dokumentuje druhý člen v závorce ve vztahu (13). Pomyslnou hranici mezi polem přímých a odražených vln reprezentuje v obr. 3.17 čárkovaná čára. Ve větších vzdálenostech od zdroje je možné vliv přímých vln zanedbat. V praktických výpočtech bychom však měli hladinu akustického tlaku v uzavřeném prostoru zjišťovat jako kombinaci účinků obou akustických polí podle vztahu (13).



**Obr. 3.17** Akustické pole v uzavřeném prostoru



## Lombardův efekt

Lidé se ve vnitřním prostoru nikdy nebudou chovat „tiše“, když bude prostor hlučný. Tomuto způsobu chování se říká tzv. Lombardův efekt (efekt knihovny) – člověk se chová tak hlasitě, jak se chová jeho okolí.

Z hlediska srozumitelnosti lidské řeči je vhodnější prostor, v němž jsou posluchači v difuzním poli, tedy poli odražených vln. Optimální pohltivost prostoru je pak kompromisním řešením vnitřní dispozice a obkladů stěn tak, aby byla zajištěna dostatečná srozumitelnost mluveného slova, případně hudby. Vzhledem ke kmitočtovému složení lidské řeči (od 125 Hz přibližně do 6000 Hz) je nutné při návrhu strojního zařízení dbát o zvýšenou pozornost právě v této kmitočtové oblasti na dostatečné utlumení strojního zařízení tak, aby nedošlo k výraznému nárůstu hluku okolí, do kterého se větrací systém počítá.

Projektantům i všem ostatním, kteří dodávají nebo realizují technická díla, jejichž hlučnost se dotýká nejen školských zařízení, se doporučuje nepodcenit problematiku hlučnosti, a to i v případech, kdy výrobce garantuje nízké hodnoty hluku stroje. Nikdy totiž není zaručeno, že zařízení bude správně instalováno a provozováno. V drtivé většině případů hlučnost zařízení při konkrétní instalaci roste, vlivem odrazů apod. V případě, že projektant provede kontrolní akustické výpočty podle metodik šíření zvuku ve venkovním nebo uzavřeném prostoru, vždy musí pamatovat na nejistoty měření. Je vždy vhodné počítat s určitou rezervou, a to alespoň 5 dB.

### 3.5.6 Příklad: Šíření zvuku ve vnitřním prostoru

V učebně je instalována větrací jednotka situovaná pod stropem učebny v polovině délky stěny nad tabulí. Výrobce uvádí pro zvolený provozní režim údaj o hladině akustického výkonu  $L_{wA} = 46$  dB. Vzhledem k umístění jednotky je směrový činitel  $Q = 4$ . Nejbližším kontrolním místem je první lavice, výška kontrolního místa nad podlahou je 1,16 m, což odpovídá přibližně poloze hlavy sedícího žáka. Nejkratší vzdálenost mezi

## Návrh zařízení z hlediska hluku

Jestliže je konkrétní hygienický limit roven např.  $L_{Aeq,T} = 40$  dB, je vhodné, aby navržené zařízení v kontrolním místě vykazovalo hladinu akustického tlaku  $L_{pA} = 35$  dB?

### Ano. A proč?

Bude-li totiž v této místnosti provedeno měření s nejistotou 2 dB a současně bude ve spektru odhalena tónová složka, která zpřísňuje hygienický limit o 5 dB, tzn. že limitní hodnota je v pásmu nejistoty měření a chyba při realizaci díla omylem navýší vypočítanou hodnotu z 35 dB na 38 dB, limit nebude splněn. Snížení hlučnosti o 2 – 3 dB nebo odstranění tónové složky může představovat náročný problém, navýšení nákladů nebo výměnu zařízení za jiné.

kontrolním místem a větrací jednotkou je podle geometrie místnosti 3,5 m. Celková plocha stěn místnosti  $S = 259 \text{ m}^2$  a střední činitel pohltivosti pro částečně vybavenou místnost  $\alpha_m = 0,23$  (přibližné hodnoty činitele pohltivosti je možno získat např. z ČSN EN ISO 3744 [98]). Výpočet provedeme dosazením do vztahu šíření zvuku v uzavřeném prostoru.

$$L_{pA} = L_{wA} + 10 \log \left( \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4(1-\alpha_m)}{\sum S_i \alpha_m} \right) = 46 + 10 \log \left( \frac{4}{4\pi 3,5^2} + \frac{4(1-0,23)}{\sum 259 \cdot 0,23} \right) = 34,9 \quad [\text{dB}]$$

Uvedený orientační výpočet (ideální je výpočet realizovat spektrálně) dává projektantovi představu o vlivu samotné VZT jednotky. Ve skutečnosti je nutné zahrnout všechny další dílčí zdroje (přívodní a odváděcí vyústky), zohlednit jejich umístění a v jednotlivých kontrolních místech pak stanovit logaritickým součtem výslednou hladinu akustického tlaku  $A$ .

Dle ČSN EN 15 251 [95] je pro učebny návrhová hodnota  $L_{pA} = 35 \text{ dB}$ . V případě hodnocení podle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [85] je maximální hladina akustického tlaku  $L_{Amax} = 45 \text{ dB}$ . Při všech výpočtech je třeba mít na paměti, že do chráněného prostoru se bude hluk šířit nejen od zdrojů techniky prostředí, ale také od dalších technologií, dopravy atd., proto je vhodné při výpočtech, v kontrolním místě, uvažovat s hodnotou akustického tlaku maximálně  $L_{pA} = 40 \text{ dB}$ .



# 4 Opatření pro zlepšení stavu vnitřního prostředí ve školách

## 4.1 Větrání

Větrání je základním prostředkem k zajištění požadované čistoty (kvality) ovzduší ve vnitřním prostředí budov. Je charakterizováno přívodem čerstvého (venkovního) vzduchu do vnitřních prostor a odvodem vzduchu znehodnoceného.

Vnitřní prostředí budov je zatíženo znečišťujícími látkami, které se uvolňují ze stavebních materiálů, nábytku, chemických přípravků, ale i z povrchu osob nebo v důsledku jejich činnosti (odstavec 3.3.1). V prostoru, kde jsou zdrojem znečištění převážně lidé, se znečišťující látky zpravidla „ředí“, což vede k celkovému větrání s přívodem a odvodem vzduchu. Samotná filtrace oběhového vzduchu (čističky vzduchu) znehodnocený vzduch nenahradí. Tam, kde je venkovní vzduch výrazně znečištěn (odstavec 3.3.2), je nutné ho před přívodem do místnosti odpovídajícím způsobem filtrovat (tab. 3.10), u nuceného větrání je vzduch filtrován vždy.

### Úkol větrání

Řada lidí si potřebu větrat často ani neuvědomuje a větrání v nových a rekonstruovaných budovách bývá zcela opomíjenou záležitostí. V dnešní době u zateplených škol plní větrání v zásadě dvě funkce:

- 1) zajišťuje požadovanou čistotu vnitřního ovzduší,
- 2) odvádí tepelnou zátěž (teplo od osob, elektronického vybavení, slunečního záření apod.).

Zvláště v dnešní době, kdy požadavky na tepelně-technické vlastnosti stavebních konstrukcí dosáhly určité meze, dochází často k situaci, kdy tepelné zisky místnosti po zateplení převyšují po většinu roku tepelné ztráty. Tento stav se nevyhýbá ani učebnám škol, u kterých to vzhledem k vysokému počtu osob na poměrně malém prostoru platí dvojnásob. Důsledkem je rostoucí teplota vnitřního vzduchu a znehodnocené vnitřní prostředí. Větrání může pozitivně přispět k odvodu tepelné zátěže prakticky celoročně, bez vysokých nákladů na spotřebu energie (viz dále).

## 4.2 Výběr větracího systému

Pro větrání učeben škol se doporučuje využít systémy, které umožňují řízené větrání. To jsou takové systémy, které regulují průtok větracího vzduchu na základě požadavku uživatele (prioritně řízené podle koncentrace  $\text{CO}_2$  a teploty vzduchu  $t_a$ ). V následujících odstavcích jsou uvedeny stručné charakteristiky větracích systémů. Přehled systémů použitelných pro školské budovy, vč. jejich výhod a nevýhod, je uveden v odstavci 4.2.5 [109].

### 4.2.1 Přirozené větrání

Průtok vzduchu je vyvolán přirozeným rozdílem tlaku vně a uvnitř větraného prostoru. Funkce přirozeného větrání tak závisí na přirozených zdrojích pohybu vzduchu, tj. na:

- rozdílu teploty vnitřního a venkovního vzduchu a na vertikální vzdálenosti otvorů pro přívod a odvod vzduchu, případně na vertikálních rozměrech větracích šachet,
- tlakovém účinku větru,
- v letním období na rozdílu teploty vzduchu na osluněné a neosluněné fasádě.

Systémy přirozeného větrání mají funkci časově omezenou, neboť působení zdrojů pohybu vzduchu je nahodilé. Trvale může být přirozené větrání využíváno pouze tehdy, je-li potřebný tlakový rozdíl vlivem rozdílu teplot zajištěn nepřetržitě v požadovaném období, což u většiny moderních budov není reálné. Tlakový účinek větru není rovněž trvalý, neboť rychlost větru je proměnná. Nevýhodou je nemožnost filtrace a ohřevu přiváděného venkovního vzduchu (nelze zařadit ohřívač) – účinný tlak je relativně malý a nepostačuje k překonání tlakových ztrát těchto prvků. Ohřev vzduchu musí zajistit otopná soustava, což je rovněž problematické. Průtok venkovního vzduchu je nekontrolovatelný, není zaručeno větrání v celém prostoru. Nevýhodou je možnost vzniku tepelného diskomfortu v blízkosti oken v zimním období. Pro prostory s větším počtem osob (žáků) takto navržené větrání nemůže splnit požadavek na zajištění trvale kvalitního vnitřního prostředí.

### Použití přirozeného větrání

Přirozené větrání lze využít pouze v případech, kdy je funkční a komfortní. V rekonstruovaných školách je často nefunkční a/nebo nekomfortní.

### Infiltrace

Infiltrace je přirozené větrání netěsnými spárami oken nebo dveří. Přívod venkovního vzduchu infiltrací do místností je nejintenzivnější v zimě, kdy zvyšuje tepelné ztráty. Zdokonalené těsnění oken omezuje přirozené větrání infiltrací a snižuje odvod vlhkosti, což v zimním období může vést ke kondenzaci vodních par na vnitřním povrchu (nedostatečně tepelně izolovaných) obvodových konstrukcí, k jejich navlhání a tvorbě plísní.

Větrání pouze infiltrací spárami oken (vč. tzv. „mikroventilace“) nelze pro učebny s novými a rekonstruovanými okny použít, neboť nelze splnit požadavky na větrání (podle odstavce 3.4).

## Provětrávání

Provětrávání je občasné, přerušované větrání otevíráním oken. Z energetického hlediska se doporučuje větrat krátce, často a velkými průřezy. Kromě venkovních klimatických podmínek je provětrávání značně závislé na chování uživatele. Negativní skutečností, která provází přirozené větrání okny, je lokální přívod chladného venkovního vzduchu do učeben v zimním období roku a nemožnost filtrace venkovního vzduchu. Větrání okny je často hodnoceno jako problematické s ohledem na bezpečnost žáků [5].

Při jednostranném provětrávání v zimním období proudí spodní částí otevřeného okna do místnosti chladnější venkovní vzduch, horní částí okna se vzduch z místnosti odvádí. V letním období při  $t_e > t_i$  je proudění opačné. Hmotnostní průtok přiváděného a odváděného vzduchu je shodný. Při zanedbání účinku větru lze objemový průtok přiváděného venkovního vzduchu přibližně stanovit ze vztahu

$$\dot{V}_e = 1200 \mu b \sqrt{\frac{g(\rho_e - \rho_i) h^3}{\rho_e}} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (14)$$

kde je:

- $\mu$  výtokový součinitel okna (pro plně otevřená okna  $\mu = 0,6$  [-]),
- $b$  šířka okna [m],
- $h$  výška okna [m],
- $g$  tíhové zrychlení [ $\text{m}/\text{s}^2$ ],
- $\rho_e, \rho_i$  hustota venkovního, vnitřního vzduchu [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

Průtok venkovního vzduchu stanovený podle rovnice (14) odpovídá trvalému větrání v [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]. Provětrávání je zpravidla provozováno omezenou dobu  $\tau$  [h]. Množství vzduchu, které se přivede do místnosti za tuto dobu, je

$$V_e = \dot{V}_e \tau \quad [\text{m}^3] \quad (15)$$

Aby bylo možné toto množství porovnat s požadavky na větrání, je nutno, za předpokladu provětrávání v krátkodobých intervalech, převést celkový objem větracího vzduchu dle (15) na průtok za celou dobu větrání. V tab. 4.1 jsou uvedeny přepočtené průtoky vzduchu při krátkodobém (5 minut každou hodinu) provětrávání plně otevřeným oknem o rozměru  $1,23 \times 1,48$  m v závislosti na teplotě venkovního vzduchu.

**Tab. 4.1** Průtoky vzduchu při jednostranném provětrávání plně otevřeným oknem ( $1,23 \times 1,48$  m) po dobu 5 minut každou hodinu ( $t_i = 20$  °C)

Teplota venkovního vzduchu [°C]	-13	0	13
Relativní vlhkost venkovního vzduchu [%]	100	75	61
Průtok vzduchu [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	142	112	71

### 4.2.2 Nucené větrání

Proudění vzduchu je způsobeno mechanickým (nuceným) účinkem – ventilátory, případně ejektory. Podle tlakových poměrů, resp. poměru průtoků vzduchu přiváděného  $V_p$  [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] a odváděného  $V_o$  [ $\text{m}^3/\text{h}$ ], je větrání:

- a) podtlakové  $\dot{V}_o > \dot{V}_p$
- b) rovnotlaké  $\dot{V}_o = \dot{V}_p$
- c) přetlakové  $\dot{V}_o < \dot{V}_p$

Podle dispozičního řešení rozlišujeme systémy:

- a) centrální (ústřední) – centrální jednotka umístěná např. ve strojovně nebo na střeše budovy,
- b) lokální (decentrální / místní) – lokální větrací jednotky v místnostech.

### Nucené podtlakové větrání

Přívod venkovního vzduchu je řešen podtlakem (přísáváním) větracími otvory, které jsou integrovány do obálky budovy, v kombinaci s nuceným odvodem vzduchu. Odvod vzduchu zajišťuje ventilátor navržený na potřebný průtok venkovního vzduchu.

Prvky pro přívod venkovního vzduchu musí umožnit požadovaný průtok vzduchu a současně vyhovovat požadavkům na tepelně-technické a akustické vlastnosti. V případě, že se jedná o přívodní prvky integrované přímo do oken, nesmí jimi být zhoršeny deklarované vlastnosti oken, resp. vlastnosti oken musí být deklarovány včetně těchto prvků a musí splňovat požadované vlastnosti, zejména tepelně-technické a akustické.

Nucené podtlakové větrání lze použít tam, kde má venkovní vzduch vyhovující kvalitu. Sání venkovního vzduchu je nutno realizovat v místech, kde venkovní vzduch není znehodnocen pachy, zvýšenou prašností, exhalacemi z dopravy, vysokou hlukovou zátěží apod.

Negativní skutečností, která provází nucené podtlakové větrání, je místní přívod chladného venkovního vzduchu do učeben v zimním období roku s rizikem tepelného diskomfortu v blízkosti otvorů pro přívod vzduchu.

Variantním řešením podtlakového větrání je přívod zpravidla ohřátého venkovního vzduchu ventilátorem s průtokem vzduchu nižším, než s jakým pracuje ventilátor odváděcí. Systém se využije v prostorách, kde vznikají látky znehodnocující ovzduší, ve školních budovách např. v šatnách, jídelnách apod.

### Nucené rovnotlaké větrání

Nucené rovnotlaké větrání zajišťuje nucený přívod i odvod vzduchu (mechanicky ventilátory) a představuje vyšší kvalitu větrání než nucené podtlakové větrání. Nucené rovnotlaké větrání umožňuje využití zpětného získávání tepla (dále ZZT).

## O nuceném větrání

„Umělé větrání vyžaduje vždy většího nákladu, neboť k pohánění ventilátoru zapotřebí je vždy síly. Avšak, kde jedná se vsutku o to, aby člověku čerstvého, zdraví jeho nezbytného vzduchu se hojně dostávalo, nepadá větší poněkud výloha značně na váhu.“

*Jan Ev. rytíř Purkyně (1891). Topení a větrání obydlí lidských.*

Pro větrání slouží větrací jednotka vybavená ventilátory, filtrací vzduchu, výměníkem ZZT, případně ohřívačem. Je-li jednotka vybavena ohřívačem vzduchu, jeho výkon se reguluje na požadovanou teplotu přiváděného vzduchu.

Sání venkovního vzduchu u nuceného rovnotlakého větrání se doporučuje realizovat v neosluněných místech, kde venkovní vzduch není znehodnocen pachy, zvýšenou prašností, exhalacemi z dopravy apod.

Na pořízení nuceného větrání je potřeba nemalých finančních prostředků. Nucené větrání vyžaduje prostor pro umístění vzduchotechnického zařízení a vedení vzduchovodů, klade nároky na související profese a potřebnou údržbu a servis.

### 4.2.3 Hybridní větrání

Hybridní větrání kombinuje účinky přirozených (vztlakových) sil se silou mechanickou (nuceným větráním). Koncepte hybridního větrání spočívá ve střídání obou režimů (přirozeného a nuceného) tak, aby byla dodržena minimální výměna venkovního vzduchu bez vysokých nároků na spotřebu elektrické energie pro dopravu vzduchu. Při nedostatečném přirozeném tlakovém rozdílu se uvádí automaticky do chodu ventilátor a systém pracuje jako podtlakový. Průtok vzduchu je regulován většinou podle koncentrace CO<sub>2</sub>. Nutné jsou poměrně rozměrné vzduchovody tak, aby přirozený vztlak pokryl tlakové ztráty systému.

#### Hybridní větrání s mechanicky otevíranými okny

K větrání se využívá přirozeného tlakového rozdílu na okně (vlivem rozdílu hustot vzduchu a účinku větru), při nedostatečném tlakovém rozdílu se uvádí automaticky do chodu ventilátor a systém pracuje jako podtlakový. Pro přirozené větrání slouží dělená okna s výklopnými horními křídly ovládanými servopohonem na základě potřeby (koncentrace CO<sub>2</sub>). Servopohony na oknech vyžadují kontrolu a sledování polohy otevíraných křídel, současně je nutné zajistit bezpečnost objektu proti násilnému vniknutí, uzavření všech oken při opuštění budovy atd. Uvedený systém může způsobit stejné provozní problémy jako větrání trvale otevřeným oknem.

### 4.2.4 Obecné požadavky na provedení větracích systémů a související profese

Při realizaci větracích systémů je potřeba zohlednit některé obecné požadavky, vč. požadavků na související profese:

- minimální požadavky pro nucené větrání se stanoví podle odstavce 3.4,
- systémy nuceného přívodu venkovního vzduchu musí být vybaveny regulací průtoku,
- v zimním období musí být ohřev přiváděného venkovního vzduchu zajištěn tak, že ve větraném prostoru bude, v součinnosti s otopnou soustavou, dodržena požadovaná výsledná teplota dle vyhlášky č. 410/2005 Sb. [91], v platném znění,
- okna v učebnách by měla být navržena jako otevíratelná, s ohledem na odvod tepelné zátěže v letním a přechodovém období,
- systémy nuceného větrání musí být opatřeny filtrací přiváděného vzduchu o kvalitě odpovídající znečištění venkovního vzduchu (odstavec 3.3.2),



- hladina akustického tlaku v učebnách nesmí převyšovat limitní hodnoty dané nařízením vlády č. 272/2011 Sb. [85] (odstavec 3.5).

### Ohřev venkovního vzduchu

U všech větracích systémů musí být zajištěn ohřev přiváděného venkovního vzduchu následovně:

- u přirozeného, hybridního a nuceného podtlakového větrání musí ohřev venkovního vzduchu zajistit otopná soustava v místnosti; tento požadavek výrazně ovlivňuje dimenzování velikosti zdroje tepla a otopných ploch i jejich regulační schopnosti,
- u nuceného rovnotlakého větrání zajišťuje předeřev venkovního vzduchu zpravidla výměník ZZT a dohřev vzduchu musí pokrýt otopná soustava (při dimenzování výkonu otopné soustavy nelze počítat s tepelnými zisky).

Ohřev vzduchu musí být zajištěn za všech provozních stavů, charakterizovaných zejména

- proměnlivostí počtu osob (žáků v učebnách),
- proměnlivostí venkovních klimatických podmínek (především teploty venkovního vzduchu),
- změnami doby užívání učebny během dne a v ročním období.

Projektant profese vytápění musí dimenzovat výkon otopné soustavy v souladu s požadavkem zpracovatele projektové dokumentace vzduchotechniky (větrání) na ohřev venkovního vzduchu. Pro ohříváče vzduchu ve větracích jednotkách musí být zajištěn přívod energie o požadovaném výkonu. V současnosti se pro předeřev vzduchu používají výměníky ZZT s vysokou účinností. S ohledem na vnitřní tepelnou zátěž nebývá dohřev vzduchu vyžadován. Výkon výměníku (ohříváče nebo ZZT) musí být regulován podle požadované teploty přiváděného vzduchu.

### Měření a regulace

Provoz větracího systému se předpokládá dle stanoveného časového plánu. Zejména s ohledem na energetickou náročnost budov musí být průtok venkovního vzduchu do učeben řízen na základě měření koncentrace CO<sub>2</sub> ve větraném prostoru. Zvýšení průtoku vzduchu nad požadavek koncentrace CO<sub>2</sub> (pro případný odvod tepelné zátěže v období, kdy je teplota venkovního vzduchu nižší než teplota vzduchu v místnosti) se doporučuje řídit podle teploty vnitřního a venkovního vzduchu. Každá učebna s řízeným průtokem vzduchu musí být opatřena nezávislou regulací.

### Provoz a údržba vzduchotechniky

Soubor pravidel pro provozování objektu a jeho technického zařízení obsahuje provozní řád. O vypracování provozního řádu rozhodne provozovatel podle rozsahu zařízení a podle náročnosti na jeho provoz a obsluhu. Výchozím podkladem pro vypracování provozní dokumentace je dokumentace předaná zhotovitelem při převzetí díla (projekt skutečného provedení stavby, návody pro obsluhu a údržbu jednotlivých zařízení, protokoly, revizní zprávy atd.). Personál obsluhy musí prokázat znalost provozního řádu a navazujících dokumentů a je povinen tyto dokumenty při své práci respektovat.

Provozovatelé vzduchotechniky často hledají úsporná opatření, kterými by snížili provozní náklady. K těm nevhodným opatřením lze zařadit prodlužování nastaveného intervalu výměny filtrů, jehož důsledkem je zvýšené zanesení filtrů, neúměrný nárůst jejich tlakové ztráty, snížení množství dopravovaného vzduchu a tím potlačení původně projektovaných hodnot nutných pro efektivní provoz zařízení. Řádným dodržováním servisních prohlídek, kontrolou čistoty potrubního systému a jeho čištěním se zamezí riziku vzniku požáru a rovněž se chrání zdraví uživatelů.

Pracovníci odpovědní za obsluhu a údržbu vzduchotechnického zařízení musí mít odbornou kvalifikaci odpovídající nárokům instalovaného technického zařízení. Není možné, aby údržbu nebo jakékoliv regulační zásahy prováděl vyučující. Rozsah servisních úkonů závisí na náročnosti instalovaného zařízení a na jeho provozu. V prostředí škol se zpravidla nejedná o příliš nákladné položky.

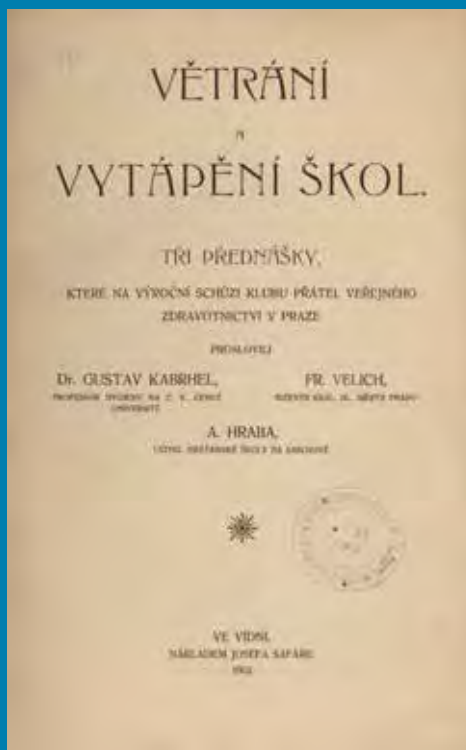
Pravidelné servisní prohlídky obsahují zejména následující úkony:

- výměnu filtrů (podle znečištění, zpravidla 1× za 3 měsíce) – vysávání filtrů je nepřípustné,
- kontrolu požárních klapek (minimálně 1× ročně), jsou-li instalovány (klapka musí mít přístupný revizní otvor),
- kontrolu čistoty vzduchovodů a jejich částí a případné čištění (viz ČSN EN 15780 [99]),
- a další úkony uvedené v provozním řádu nebo v návodu k použití.

## Obsluha, údržba a servis ...

Další výstižný citát je opět z publikace [31], autorem je František Velich, inženýr královského hlavního města Prahy:

*„Snaha nesoucí se za cílem zdokonaliti topení a větrání ve veřejných budovách, tedy i školách co nejvíce, nesetkává se vždy s náležitým porozuměním, jak u rozhodujících činitelů, tak později u těch, jimž obsluha jest svěřena... i dobré jinak topení a větrání zavdává příčinu ku neoprávněným steskům vůči zařízení, když hrubě se hřeší proti pravidlům, týkajícím se obsluhy a opatrování uvedených zařízení.“*



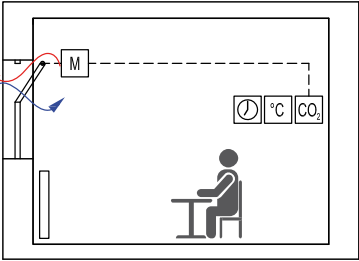
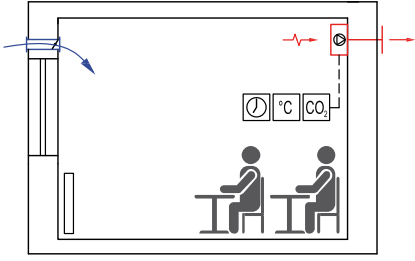
## 4.2.5 Přehled větracích systémů a možnosti použití v učebnách

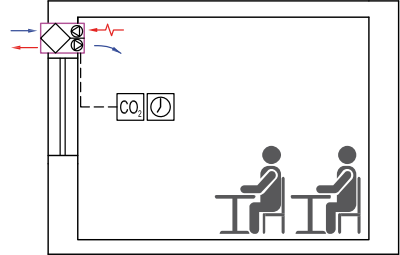
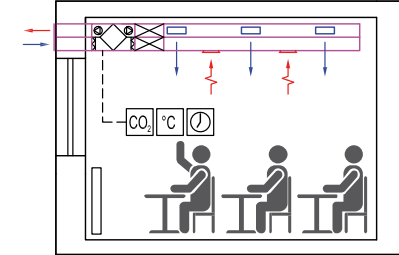
Číslo	1	2
Větrání	Přírodní	
Popis	Infiltrace a mikroventilace	Provětrávání ručně otevratelnými okny
Schéma		
Charakteristika	Přírodní větrání netěsnostmi oken. Nová okna se vyznačují minimálním průtočným průřezem funkčních spár.	Přírodní větrání závislé na rozdílu teploty vnitřního a venkovního vzduchu a na působení větru. Funkce větrání závisí plně na lidském faktoru. Nejedná se o řízený přívod vzduchu. Nezajistí rovnoměrné provětrání prostoru. V chladném období riziko tepelného diskomfortu v blízkosti oken. Otevřená okna jsou rizikem z hlediska bezpečnosti žáků a ochrany proti vniknutí cizích osob.
Energie	Tepelná ztráta větráním musí být zcela hrazena otopnou soustavou. Nelze použít ZZT <sup>1</sup> . Bez nároku na energii pro pohon ventilátorů.	Tepelná ztráta větráním musí být zcela hrazena otopnou soustavou. Nelze použít ZZT. Bez nároku na energii pro pohon ventilátorů.
Ovládání	Omezeně nastavením průtočného průřezu spáry.	Ruční podle časového plánu nebo podle údajů čidla CO <sub>2</sub> .
Použití	Pro větrání se nedoporučuje, nelze splnit požadavky na větrání dle odstavce 3.4.	Pouze tam, kde není riziko výrazného znečištění venkovního vzduchu. Pro větrání učeben se obecně nedoporučuje. Pripouští se pro učebny s individuální výukou (např. ZUŠ <sup>2</sup> ) nebo kabinety.

Pozn.:

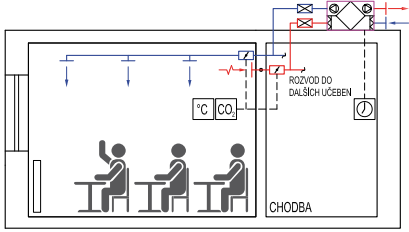
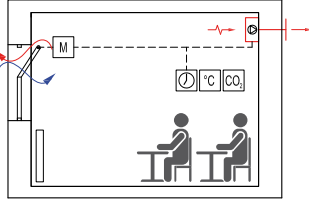
<sup>1</sup> ZZT = zpětné získávání tepla

<sup>2</sup> ZUŠ = základní umělecká škola

Číslo	3	4
Větrání	Přirozené	Nucené – podtlakové
Popis	Provětrávání mechanicky otevíratelnými okny (křídly)	Odsávání lokálním ventilátorem
Schéma		
Charakteristika	<p>Přirozené větrání závislé na rozdílu teploty vnitřního a venkovního vzduchu a na působení větru.</p> <p>Nezajistí rovnoměrné provětrání prostoru.</p> <p>V chladném období riziko tepelného diskomfortu v blízkosti oken.</p> <p>Otevřená okna jsou rizikem z pohledu ochrany proti vniknutí cizích osob.</p>	<p>Nucené odsávání ventilátorem s přívodem venkovního vzduchu podtlakem okenními nebo parapetními štěrbinami.</p> <p>Odvod odsávaného vzduchu obvodovou stěnou nebo do vertikální šachty.</p> <p>V chladném období riziko tepelného diskomfortu v blízkosti otvorů pro přívod vzduchu.</p> <p>Ventilátor emituje hluk, nesmí být překročeny hlukové limity.</p> <p>Výhodnější je umístit ventilátor vně větrané místnosti.</p>
Energie	<p>Tepelná ztráta větráním musí být zcela hrazena otopnou soustavou.</p> <p>Nelze použít ZTZ.</p> <p>Bez nároku na energii pro pohon ventilátorů.</p>	<p>Tepelná ztráta větráním musí být zcela hrazena otopnou soustavou.</p> <p>Nelze použít ZTZ.</p> <p>Potřeba energie pro pohon ventilátoru.</p>
Ovládání	<p>Provoz dle stanoveného časového plánu.</p> <p>Ovládání mechanické servopohonem (automaticky) podle čidla CO<sub>2</sub> s kontrolou teploty vnitřního vzduchu.</p> <p>Okna musí být vybavena elektronickým zámekem pro možnost uzavření.</p>	<p>Provoz dle stanoveného časového plánu.</p> <p>Regulace průtoku automaticky podle čidla CO<sub>2</sub> s kontrolou teploty vnitřního vzduchu.</p>
Použití	<p>Pouze tam, kde není riziko výrazného znečištění venkovního vzduchu.</p> <p>Pro větrání učeben se obecně nedoporučuje. Přípouští se pro učebny s individuální výukou (např. ZUŠ) nebo kabinety.</p>	<p>Pouze tam, kde není riziko výrazného znečištění venkovního vzduchu. Pro větrání učeben se nedoporučuje s ohledem na energetickou náročnost a riziko tepelného diskomfortu.</p>

Číslo	5	6
Větrání	Nucené – rovnotlaké	
Popis	Lokální (parapetní) větrací jednotka v obvodovém plášti	Lokální potrubní podstropní větrací jednotka
Schéma		
Charakteristika	<p>Přívod a odvod vzduchu větrací jednotkou se ZZT umístěnou v obvodové stěně.</p> <p>Zpravidla je nutno použít pro učebnu větší počet jednotek prostupujících obvodovým pláštěm.</p> <p>Nezajistí celkové (rovnoměrné) provětrání prostoru.</p> <p>Bez možnosti odvodu kondenzátu.</p> <p>Omezená možnost filtrace vzduchu.</p> <p>Jednotka emituje hluk, nesmí být překročeny hlukové limity.</p>	<p>Přívod a odvod vzduchu kompaktní podstropní větrací jednotkou se ZZT a filtrace, tlumičem hluku s krátkým vzduchovodem pro přívod a odvod vzduchu.</p> <p>Zajistí celkové (rovnoměrné) provětrání prostoru.</p> <p>Nutný prostup v obvodové stěně.</p> <p>Jednotka v učebně emituje hluk, nesmí být překročeny hlukové limity.</p> <p>Nutná údržba, servis, výměna filtrů.</p>
Energie	<p>Tepelná ztráta větráním je zčásti hrazena ZZT, zčásti musí být hrazena otopnou soustavou.</p> <p>Omezená účinnost ZZT.</p> <p>Potřeba energie pro pohon ventilátorů pro přívod a odvod vzduchu.</p>	<p>Tepelná ztráta větráním je z podstatné části hrazena ZZT, menší část hradí otopná soustava.</p> <p>Potřeba energie na pohon ventilátorů pro přívod a odvod vzduchu.</p>
Ovládání	<p>Provoz dle stanoveného časového plánu.</p> <p>Regulace průtoku automaticky podle čidla CO<sub>2</sub>, variantně i s kontrolou teploty vnitřního vzduchu.</p>	<p>Provoz dle stanoveného časového plánu.</p> <p>Regulace průtoku automaticky podle čidla CO<sub>2</sub>, variantně i s kontrolou teploty vnitřního vzduchu.</p>
Použití	<p>Pouze tam, kde není riziko výrazného znečištění venkovního vzduchu.</p> <p>Pro větrání učeben se obecně nedoporučuje. Připouští se pro učebny s malým počtem žáků, kde systém splní požadavek na větrání.</p>	<p>Bez omezení z hlediska kvality venkovního vzduchu, rizikové je pouze znečištění venkovního ovzduší plynnými látkami.</p>

Číslo	7	8
Větrání	Nucené – rovnotlaké	
Popis	Lokální větrací jednotka umístěná v učebně	Lokální větrací jednotka umístěná vně učebny
Schéma		
Charakteristika	<p>Přívod a odvod vzduchu větrací jednotkou se ZTT a filtrací.</p> <p>Nutné prostupy pro přívod a odvod vzduchu v obvodové stěně nebo ve stropě, případně odvod vzduchu vertikální šachtou.</p> <p>Zajistí celkové (rovnoměrné) provětrání prostoru připojeným vzduchovodem pro přívod vzduchu.</p> <p>Jednotka v učebně emituje hluk, nesmí být překročeny hlukové limity.</p> <p>Nutná údržba, servis, výměna filtrů.</p>	<p>Přívod a odvod vzduchu větrací jednotkou se ZTT a filtrací.</p> <p>Zajistí celkové (rovnoměrné) provětrání prostoru připojeným vzduchovodem pro přívod vzduchu.</p> <p>Do učebny ústí pouze prostupy pro přívod a odvod vzduchu.</p> <p>Nasávání venkovního vzduchu a odvod znehodnoceného vzduchu do/z jednotky stěnami (vertikálními šachtami) mimo učebnu.</p> <p>Jednotka přímo nezatěžuje hlukem prostor učebny, nicméně nesmí být překročeny hlukové limity.</p> <p>Nutná údržba, servis, výměna filtrů.</p>
Energie	<p>Tepelná ztráta větráním je z podstatné části hrazena ZTT, menší část hradí otopná soustava, nebo může být jednotka vybavena ohřivačem.</p> <p>Potřeba energie na pohon ventilátorů pro přívod a odvod vzduchu.</p>	<p>Tepelná ztráta větráním je z podstatné části hrazena ZTT, menší část hradí otopná soustava, nebo může být jednotka vybavena ohřivačem.</p> <p>Potřeba energie na pohon ventilátorů pro přívod a odvod vzduchu.</p>
Ovládání	<p>Provoz dle stanoveného časového plánu.</p> <p>Regulace průtoku automaticky podle čidla CO<sub>2</sub>, variantně i s kontrolou teploty vnitřního vzduchu.</p>	<p>Provoz dle stanoveného časového plánu.</p> <p>Regulace průtoku automaticky podle čidla CO<sub>2</sub>, variantně i s kontrolou teploty vnitřního vzduchu.</p>
Použití	<p>Bez omezení z hlediska kvality venkovního vzduchu, rizikové je pouze znečištění venkovního ovzduší plynnými látkami.</p>	<p>Bez omezení z hlediska kvality venkovního vzduchu, rizikové je pouze znečištění venkovního ovzduší plynnými látkami.</p>

Číslo	9	10
Větrání	Nucené rovnotlaké	Hybridní
Popis	Centrální větrací jednotka pro více místností	Kombinace přirozeného a nuceného větrání pro jednu učebnu
Schéma		
Charakteristika	<p>Přívod a odvod vzduchu větrací jednotkou se ZTZ, filtrací a regulátory průtoku vzduchu. Zajišťují celkové (rovnoměrné) provětrání prostoru připojeným vzduchovodem pro přívod vzduchu. Jednotka pro více učeben je umístěna ve strojovně nebo na střeše. Nároky na prostor pro umístění jednotky a vedení vzduchovodů. Jednotka emituje hluk, doporučuje se akustické řešení k omezení hluku šířeného do vnitřního i venkovního prostředí. Při návrhu možno respektovat současnou provozu. Nutná údržba, servis, výměna filtrů.</p>	<p>Kombinace přirozeného větrání oknem s nuceným podtlakovým větráním (odvodem vzduchu lokálním ventilátorem). Učebna je větrána přirozeně, mechanicky ovládaným otevíratelným oknem (viz systém 3); podle způsobu ovládnutí se při nedostatečné kvalitě vnitřního vzduchu uvádí do chodu odsávací ventilátor (v tomto stavu se funkce hybridního systému shoduje se systémem 4). Ventilátor emituje hluk, nesmí být překročeny hlukové limity. Výhodnější je umísťovat ventilátor vně větrané místnosti. Nutná údržba, servis.</p>
Energie	<p>Tepelná ztráta větráním je z podstatné části hrazena ZTZ, menší část hradí ohříváč vzduchu ve větrací jednotce. Potřeba energie na pohon ventilátorů pro přívod a odvod vzduchu.</p>	<p>Tepelná ztráta větráním musí být zcela hrazena otopnou soustavou. Nelze použít ZTZ. Potřeba energie na pohon ventilátoru.</p>
Ovládání	<p>Provoz dle stanoveného časového plánu. Regulace průtoku automaticky podle čidla CO<sub>2</sub>, variantně i s kontrolou teploty vnitřního vzduchu.</p>	<p>Provoz dle stanoveného časového plánu. Regulace průtoku automaticky podle čidla CO<sub>2</sub> s kontrolou teploty vnitřního vzduchu. Funkce mechanického otevírání oken musí být spojena s chodem ventilátoru. Okna musí být vybavena elektronickým zámkem pro možnost uzavření.</p>
Použití	<p>Bez omezení z hlediska kvality venkovního vzduchu, rizikové je pouze znečištění venkovního ovzduší plynnými látkami.</p>	<p>Pouze tam, kde není riziko výrazného znečištění venkovního vzduchu.</p>

## 4.3 Pomocná opatření

### 4.3.1 Organizační opatření

Organizační opatření vedoucí ke zlepšení podmínek pro pobyt žáků ve škole jsou nezbytná zejména u rekonstruovaných škol, u kterých byla v minulosti realizována výměna oken a dodatečná instalace větracího zařízení se nepředpokládá. Lze je využít pouze u škol umístěných v lokalitách bez znečištění venkovního ovzduší s možností využití přirozeného větrání.

Jedním ze základních organizačních opatření může být pobyt žáků o přestávkách mimo učebnu. Nabízí se procházky na školním dvoře nebo po větraných chodbách. V době nepřítomnosti žáků je pak možné učebny krátkodobě intenzivně vyvětrat (řešení známé z historie viz odstavce 2.2). Aby byla organizační opatření dostatečně účinná, povedou nutně ke změně časového rozvrhu vyučování a celkové organizace výuky.

Pravdou je, že organizační opatření významně zatěžuje školní personál a hlavně vyučujícího, který je ve škole především proto, aby učil. Úkolem technika je vytvořit pro učitele optimální podmínky pro jeho práci. Větrání by mělo být navrženo tak, aby bylo automatické, podobně jako např. vytápění školy, o které se učitel v dnešní době rovněž nestará.

### 4.3.2 Instalace čidel CO<sub>2</sub> v učebnách

Pokud o větrání učeben během výuky rozhoduje převážně lidský faktor, zůstává otázkou, zda učitel sám rozpozná potřebu větrat a podle čeho? Často si totiž na nevyhovující ovzduší v učebně zvykne, navíc jeho organismus je odolnější než organismus dítěte. Tato úvaha vede k otázce instalace čidel CO<sub>2</sub> jako ukazatele kvality vnitřního prostředí, což by mohlo učitele na aktuální stav prostředí upozornit. Nutno zdůraznit, že instalace čidel CO<sub>2</sub> není samospasitelná, nicméně za současného stavu představuje výrazný pokrok v řešení dané problematiky.

Instalace čidel CO<sub>2</sub> v učebnách je opatření technické s cílem změnit chování uživatelů (učitelů). Řádně poučený vyučující tak bude mít představu o kvalitě vzduchu v učebně. V případě, že koncentrace CO<sub>2</sub> v učebně překročí stanovenou mez (zpravidla 1500 ppm) měl by učitel zasáhnout – vyvětrat.

Nutno poznamenat, že toto opatření je pouze dílčí a nemusí vést vždy k žádanému výsledku. Jak bylo popsáno v předchozích kapitolách, ukazuje se, že přirozené větrání okny je často nevyhovující i díky nevhodně navrženým oknům a situaci může zlepšit pouze částečně. Nevýhodou tohoto opatření je skutečnost, že v něm stále hraje podstatnou roli lidský faktor. Na druhou stranu v učebnách bez nuceného větrání nikdo jiný než vyučující zasáhnout nemůže.



Obr. 4.1 Čidlo CO<sub>2</sub> tzv. „semafor“ (zdroj: cometsystem.cz)

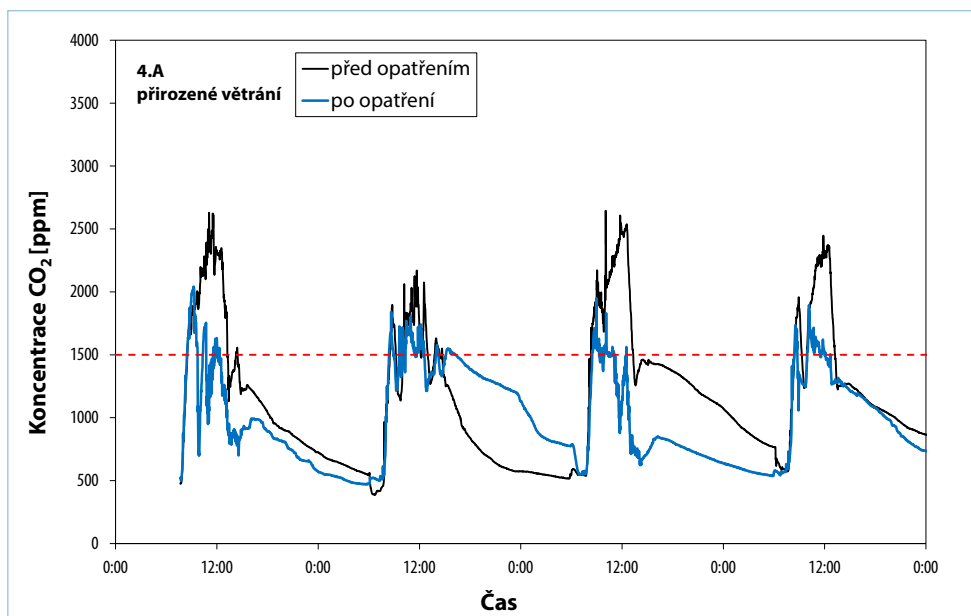


## Opatření, která mohou (ale nemusí) zlepšit stav vnitřního prostředí – základem je osvěta

- poučte sebe i personál školy o vlivech větrání na lidské zdraví a produktivitu, nebuďte pasivní,
- opatřete do učeben čidlo CO<sub>2</sub> v podobě „semaforu“, aby měl vyučující představu o kvalitě vnitřního ovzduší,
- nenechávejte děti o přestávkách ve třídách, umožněte jim pobyt venku nebo na větraných chodbách,
- změňte režim přestávek i vyučování s ohledem na vytvoření kvalitního prostředí v prostorách, kde děti tráví podstatnou část dne.

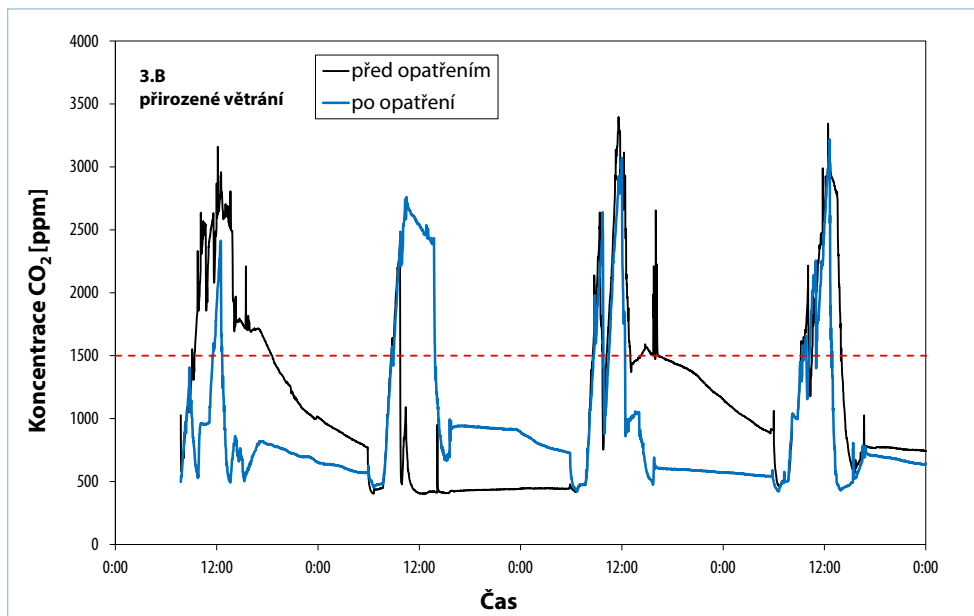
Výsledky měření v několika učebnách potvrzují, že toto opatření má pouze omezený dopad. Ve čtyřech učebnách základní školy (1. stupeň) probíhalo dva týdny měření koncentrace CO<sub>2</sub>. Měření probíhalo v zimě 2016, venkovní klimatické podmínky nebyly nijak extrémní. První týden představoval běžný provoz učebny. Následující týden byla do zkoumaných učeben umístěna čidla CO<sub>2</sub> a každý vyučující byl poučen o významu kvality vnitřního ovzduší vč. požadavku na dodržení maximální přípustné koncentrace 1500 ppm. Při překročení této koncentrace měl učitel za úkol jakýmkoliv možným způsobem vyvětrat. Zvukový signál čidla byl vypnut z důvodu možného neustálého obtěžování.

Na obr. 4.2a jsou výsledky měření v učebně, kde došlo oproti původnímu stavu ke zlepšení kvality ovzduší. Jedná se o učebnu, která je větraná přirozeně okny. Počínání vyučujícího je možno považovat za uspokojivé. I přes jeho snahu je vidět, že maximální dosažené koncentrace CO<sub>2</sub> během vyučování mírně překračují 1500 ppm.

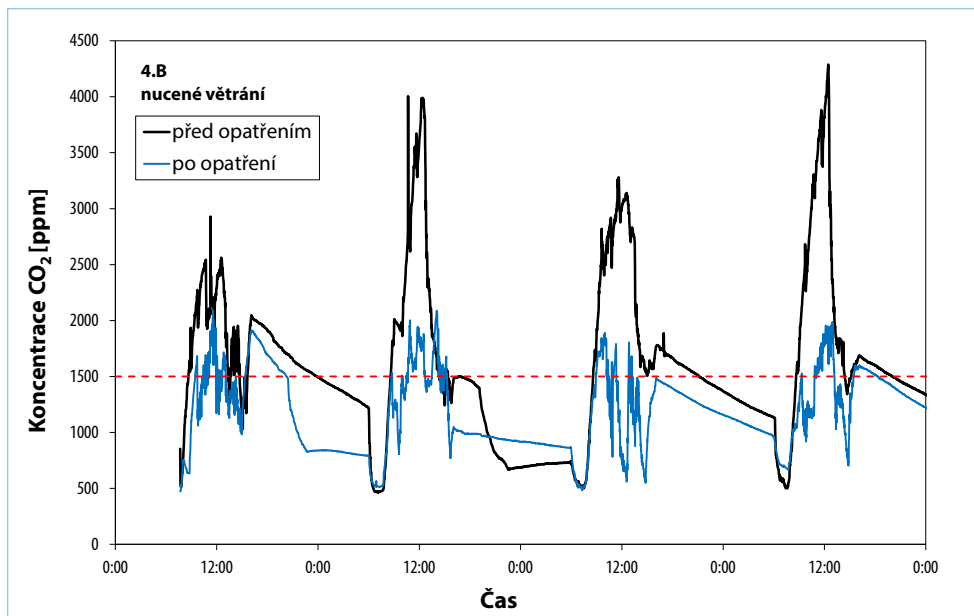


**Obr. 4.2a)** Měření koncentrace CO<sub>2</sub> před a po instalaci čidla. Přirozeně větraná učebna – uspokojivý výsledek.

Na obr. 4.2b jsou výsledky měření v učebně, kdy vyučující zcela ignoroval pokyny pro větrání a výsledek je zcela neuspokojivý. Maximální dosažené hodnoty koncentrace  $\text{CO}_2$  se během týdne prakticky nezměnily. Výjimkou je začátek prvního dne měření, kdy probíhala instalace čidel. Na uvedeném příkladu je vidět, že kvalita větrání v současných školách podstatně závisí na lidském faktoru. Vyučující nebyl v tomto konkrétním případě ochoten jakkoliv spolupracovat.



**Obr. 4.2b)** Měření koncentrace  $\text{CO}_2$  před a po instalaci čidla. Přírozeně větraná učebna – neuspokojivý výsledek.



**Obr. 4.2c)** Měření koncentrace  $\text{CO}_2$  před a po instalaci čidla. Učebna vybavená nuceným větráním.

Na obr. 4.2c jsou uvedeny výsledky pro učebnu, kde je instalováno nucené větrání. V tomto případě učitel neotevíral okna, ale manuálně ovládal větrací jednotku. K dispozici měl 3 stupně otáček, nicméně používal pouze 1. stupeň [4]. Koncentrace CO<sub>2</sub> v tomto případě sice překračují stanovenou mez 1500 ppm, avšak je zřejmé výrazné zlepšení kvality ovzduší.

Podobná opatření v podobě využití čidel CO<sub>2</sub> pro informovanost vyučujícího o stavu ovzduší jsou závislá na lidském faktoru. Uspokojivého výsledku se dosáhne pouze v případech, kdy vyučující problematiku pochopí a je ochoten se aktivně podílet na tvorbě vnitřního prostředí v učebně. V opačném případě je instalace čidel naprosto zbytečná.

## 4.4 Ochrana proti radonu

Podrobné zásady navrhování a provádění ochrany staveb proti radonu z podloží včetně dimenzování jednotlivých opatření uvádí ČSN 73 0601 (2006) [103].

### 4.4.1 Ochrana nových staveb

Nejpozději v průběhu přípravy projektové dokumentace je třeba nechat stanovit radonový index pozemku, na kterém bude stavba umístěna. Projektant na základě znalosti radonového indexu pozemku a informací o stavbě (způsob založení, osazení domu v terénu atd.) stanoví v souladu s postupy uvedenými v ČSN 73 0601 [103] tzv. radonový index stavby, který spolu s dalšími faktory, jako je typ větrání a umístění obytných místností, rozhoduje o způsobu a rozsahu protiradonové ochrany.

U staveb s obytnými prostory přímo na terénu platí následující pravidla. Je-li radonový index stavby nízký, považuje se za dostatečnou ochranu proti radonu provedení všech konstrukcí ve styku se zemí s celistvou povlakovou hydroizolací s vodotěsnými spoji a prostupy. Při středním a vysokém radonovém indexu stavby je základem ochrany protiradonová izolace, která se při překročení určité koncentrace radonu v půdním vzduchu musí doplnit o další opatření, jako je odvětrání podloží nebo vytvoření odvětrávané vzduchové mezery v konstrukcích, které jsou v kontaktu s podložím. Jsou-li všechny obytné místnosti v kontaktním podlaží nuceně větrány, může být protiradonová izolace nahrazena pouhou hydroizolací.

Ovšem pozor, pokud je pod stavbou vytvořena drenážní vrstva o vysoké propustnosti nebo pokud je součástí kontaktní konstrukce podlahové vytápění, musí být ve všech kategoriích radonového indexu stavby provedena kombinace izolace s odvětráním podloží nebo s odvětranou vzduchovou mezerou v kontaktní konstrukci.

Podrobnosti návrhu jednotlivých opatření včetně příkladů vhodných řešení a funkčních detailů jsou uvedeny v publikaci Radon – stavební souvislosti [28].

### 4.4.2 Ochrana stávajících staveb

Návrh opatření musí vždy vycházet ze změřené koncentrace radonu v jednotlivých učebnách a dalších místnostech školy. Dalším nezbytným podkladem je stavebně-technický průzkum zaměřený zejména na kvalitu a složení kontaktních konstrukcí, způsob a intenzitu větrání, dispoziční řešení atd.

Při koncentracích radonu v obytných místnostech **pod 600 Bq/m<sup>3</sup>** se volí jednodušší opatření zaměřená na:

- utěsnění významných vstupních cest radonu z podlaží do interiéru, zejména trhlin a prostupů v kontaktních konstrukcích, zakrytí revizních a vodoměrných šachet apod.,
- zvýšení přirozené intenzity větrání tam, kde se prokázalo, že vyšší hodnota koncentrace radonu je způsobena intenzitou větrání nižší než 0,3 h<sup>-1</sup>,
- utěsnění stropní konstrukce nad podzemním podlažím bez obytného prostoru, zvýšení intenzity větrání v tomto podlaží a utěsnění komunikačních vstupů (dveří, shozů, poklopů apod.) vedoucích do tohoto podlaží z ostatních částí stavby,
- instalaci jednoduchých větracích systémů podlaží realizovatelných bez výměny podlah.

Překračuje-li koncentrace radonu v obytných místnostech **600 Bq/m<sup>3</sup>**, je nutno přistoupit k návrhu účinnějších opatření, jakými jsou odvětrání podlaží instalované bez výměny podlah, nucené větrání vnitřních prostor a celková rekonstrukce podlah zahrnující položení nové protiradonové izolace v kombinaci s aktivním odvětráním podlaží nebo podlahové vzduchové mezery.

Při výběru protiradonového opatření je třeba vycházet z jejich účinnosti. Tab. 4.2 ukazuje, o kolik procent jsou jednotlivá opatření schopna snížit koncentraci radonu.

### Odvětrání radonu z podlaží instalované bez výměny podlah

Ve stávajících stavbách je odvětrání radonu z podlaží považováno za vůbec nejúčinnější opatření, které lze použít i při velmi vysokých koncentracích radonu. Jeho průměr-

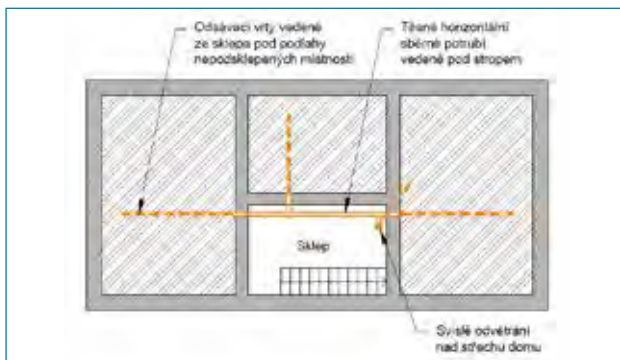
**Tab. 4.2** Účinnost opatření vyjádřená % poklesu koncentrace radonu

Opatření	Účinnost (%)	
	Typický rozsah	Max
Nové podlahy s protiradonovou izolací	35 – 45	50
Nové podlahy s protiradonovou izolací + pasivní odvětrání podlaží nebo pasivní odvětrání podlahové vzduchové mezery	45 – 55	60
Nové podlahy s protiradonovou izolací + aktivní odvětrání podlaží nebo aktivní odvětrání podlahové vzduchové mezery	80 – 90	95
Odvětrání podlaží bez výměny podlah	80 – 95	99
Těsnění vstupních cest v kontaktních konstrukcích (trhlin, prostupů atd.)	10 – 40	60
Zvýšení intenzity větrání obytného prostoru přirozeným způsobem	20 – 40	50
Zvýšení intenzity větrání obytného prostoru nuceným větráním	50 – 70	75
Zvýšení intenzity větrání ve sklepech	25 – 45	50

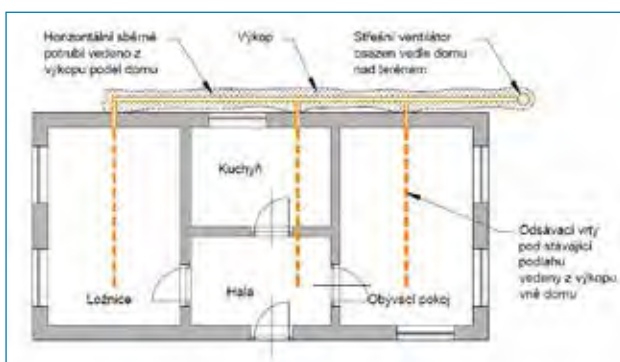
ná účinnost je kolem 90 % (tab. 4.2). Princip je velmi jednoduchý – z horizontálních odsávacích vrtů instalovaných do podlaží pod domem se nuceně odvádí půdní vzduch s radonem. Důsledkem je vytvoření podtlaku pod domem, který brání případnému nasávání radonu do domu netěsnostmi v kontaktních konstrukcích, a snížení koncentrace radonu v podlaží pod domem (odsávaný půdní vzduch je nahrazován venkovním vzduchem o zanedbatelné koncentraci radonu). Odsávací vrt je možné provádět ze sklepa (obr. 4.3), z montážní jámy v jedné z místností nebo z exteriéru (obr. 4.4 a obr. 4.5). Pro odvod vzduchu se používají radiální ventilátory, které jsou schopny dopravovat vzduch o relativní vlhkosti 80 % až 100 % a přitom odolávat protékající z kondenzované vodě a zvýšené prašnosti dopravovaného vzduchu. Výkon ventilátoru se seřídí v závislosti na změřené rychlosti poklesu, resp. nárůstu koncentrace radonu v budově po zapnutí, resp. vypnutí ventilátoru. Alternativně může být ventilátor regulován na základě kontinuálního čidla koncentrace radonu umístěného v obytném prostoru.

### Rekonstrukce podlah

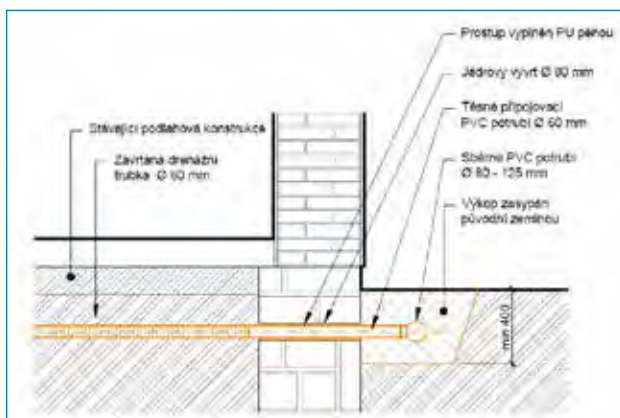
K rekonstrukci podlah se přistupuje tehdy, když jsou stávající podlahy ve velmi špatném stavu (např. shnilé dřevěné podlahy nebo suché dlažby přímo na podlaží) nebo když je třeba řešit i zvýšenou vlhkost konstrukcí. V nové podlaze musí být vždy kombinována protiradonová izolace s odvětráním podlaží nebo



**Obr. 4.3** Odsávací vrtý vedené ze sklepa pod nepodsávané místnosti a odvětrané nad střechou



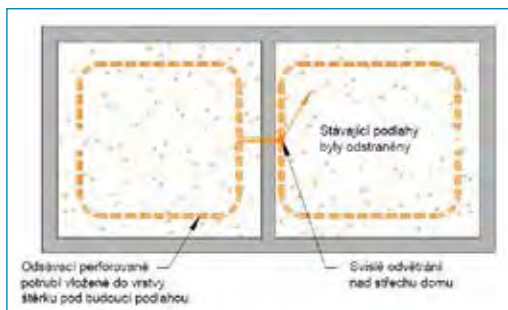
**Obr. 4.4** Odsávací vrtý vedené z výkopu vně domu připojené k ventilátoru osazenému vně domu



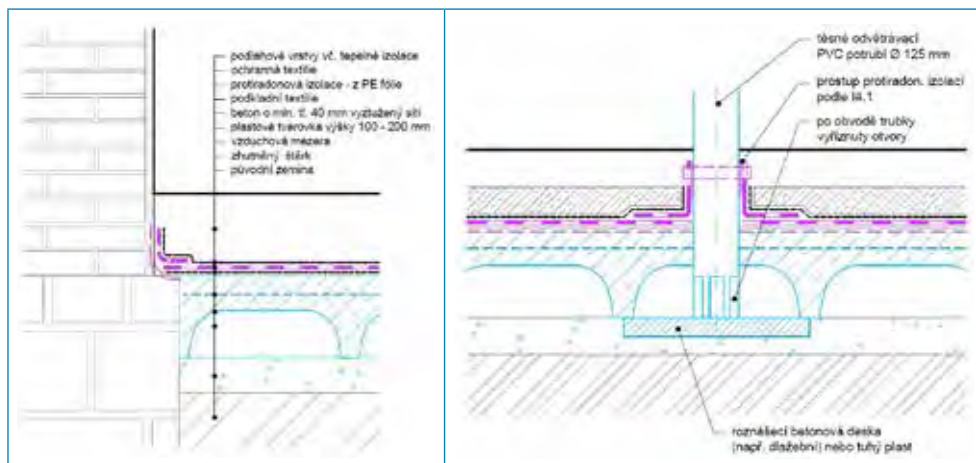
**Obr. 4.5** Podrobnost vedení odsávacích vrtů z výkopu vně domu

s odvětranou vzduchovou mezerou. Zabraňuje se tím transportu radonu i vlhkosti neizolovanými stěnami a spárou na styku nové podlahy a stávající stěny. K odvětrání podloží se používá perforované potrubí o průměru od 60 do 100 mm, které se pokládá do drenážní štěrkové vrstvy pod novými podlahami (obr. 4.6). Vzduchová mezera se nejčastěji vytváří pod protiradonovou izolací (obr. 4.7). Ve stávajících stavbách je odvětrání podloží nebo vzduchové mezery vždy nucené, a proto nesmí být realizovány průduchy v obvodových stěnách či soklech sloužící k dodávce vnějšího vzduchu do podloží nebo vzduchové mezery. Přispívají totiž k výraznému ochlazování stavebních konstrukcí a ke ztrátě podtlaku. Typ, výkon a regulace ventilátoru se navrhne obdobně jako při větrání podloží.

Další varianty a detaily odvětrání podloží a jeho provedení včetně osazení ventilátorů jsou uvedeny v [28].



**Obr. 4.6** Odsávací potrubí vloženo do štěrkové vrstvy po odstranění stávajících podlah



**Obr. 4.7** Vzduchová mezera pod novou podlahou s protiradonovou izolací ve stávající stavbě

### 4.4.3 Nucené větrání jako protiradonové opatření

Nucené větrání obytných prostor nemůže být považováno za opatření univerzální, které vždy a za všech okolností dokáže snížit koncentraci radonu pod referenční úroveň. Stačí si uvědomit, že koncentrace radonu uvnitř budov mohou dosahovat řádově tisíců Bq/m<sup>3</sup>. Snížení koncentrace na úroveň 100 – 300 Bq/m<sup>3</sup> tak může vyžadovat poměrně značné intenzity větrání. Obecně lze konstatovat, že v případech, kdy by intenzita větrání potřebná ke snížení koncentrace radonu výrazněji překračovala intenzitu zajišťující hygienické požadavky, je ekonomicky i energeticky výhodnější ochránit stavbu proti radonu stavebními opatřeními uvedenými v předcházejících odstavcích.

Výhodné bude jistě použití nuceného větrání v domech s velmi nízkou intenzitou větrání, která bývá častou příčinou zvýšené koncentrace radonu. Příkladem mohou být

energeticky sanované domy s utěsněným obvodovým pláštěm a novými těsnými okny, kde intenzita větrání v řadě případů nedosahuje ani hodnoty  $0,1 \text{ h}^{-1}$ . Instalace vhodného typu větracího zařízení je v tomto případě oprávněná, i kdyby měla snížit koncentraci radonu jen částečně a další pokles koncentrace radonu by musel být zajištěn jiným, např. stavebním opatřením.

Představu o tom, jak účinně větrací systémy snižují koncentraci radonu, poskytuje tab. 4.2. Zatímco přirozené větrací systémy dokáží snížit koncentraci radonu maximálně na polovinu, nucené na čtvrtinu. Zároveň platí, že při dané intenzitě výměny vzduchu (daném objemovém průtoku přiváděného vzduchu) je účinnost snížení koncentrace radonu, u systémů nuceného větrání s oběhovým vzduchem, negativně ovlivněna množstvím oběhového vzduchu, se kterým se radon vrací zpět do větraného prostoru. Další negativní vliv na účinnost snížení koncentrace radonu mohou mít v systémech se zpětným získáváním tepla entalpické výměníky, které rovněž propouštějí radon z odváděného vzduchu do přiváděného vzduchu. A konečně, jsou-li k přehřevu přiváděného vzduchu použity zemní výměníky tepla, musí být provedeny těsně, aby v nich nedocházelo k obohacování přiváděného vzduchu radonem z podloží.

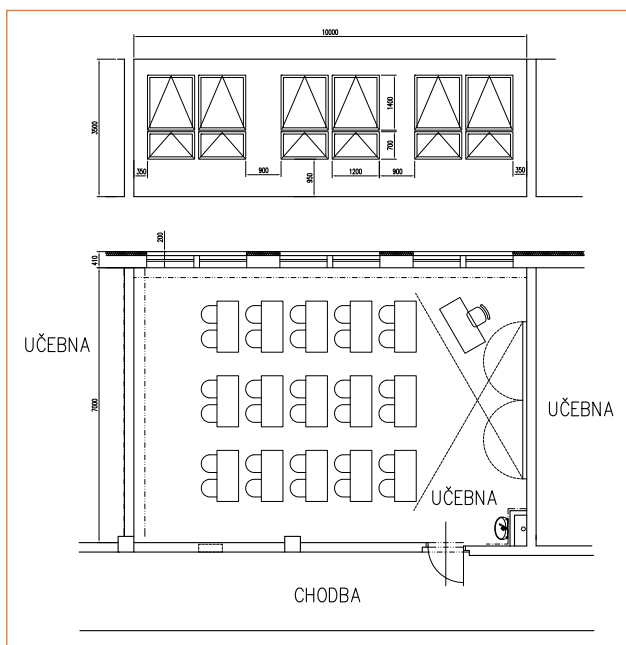
Za zmínku stojí i skutečnost, že pro snižování koncentrace radonu nemusí být větrací systémy navrhovány na snížení maximálních výchylek v koncentraci, protože radon nezpůsobuje žádné akutní zdravotní problémy (na rozdíl například od formaldehydu apod.). Návrh stačí provést pro udržení průměrné přijatelné koncentrace radonu.

Nucené větrací systémy mohou být spínány podle aktuální koncentrace radonu v zájmovém prostoru. K tomu slouží systémy pro měření a regulaci koncentrace radonu, která je založena na bezdrátové komunikaci mezi měřicími sondami radonu, centrální jednotkou a větracím systémem. Další podrobnosti o návrhu větracích systémů jakožto protiradonového opatření jsou uvedeny v literatuře [29].

## 5 Energetická náročnost větrání učeben

Jedním z hlavních argumentů proti potřebnému větrání učeben je spotřeba energie a související provozní náklady. Na opačném pólu je kvalita vnitřního ovzduší a životní podmínky pro naše děti – žáky a studenty škol. Je jisté, že větrání (ať už přirozené, nebo nucené) s sebou přináší provozní náklady (platby za energii, servis, údržbu a příp. obsluhu). Současná praxe, kdy průtok větracího vzduchu je téměř nulový (viz odstavec 2.5), je z hlediska úspory energie sice uspokojivá, ovšem z hlediska kvality vnitřního prostředí zcela nepřijatelná. Často se lze setkat s názorem typu „nejvíc ušetřím, když nevětrám“, což se může zdát v kontextu snižování nákladů na provoz školy jako opodstatněné (peněz na školství je málo), navíc v době, kdy je vyvíjen značný tlak na snižování spotřeby energie budov. Problematika je však mnohem širší, má celospolečenský charakter a zasahuje do dalších odvětví (zdravotnictví, vzdělávání, průmysl). Náklady na zdravotní péči, která vyplývá ze znehodnoceného ovzduší, jsou jen těžko vyčíslitelné a argumentace ve prospěch zdravého vnitřního prostředí ve školách je tak velmi obtížná. Úkolem tohoto odstavce je ukázat, že platby za energii, které souvisí s řádným větráním učeben, nemusí představovat v rozpočtu školy nijak zásadní položku.

Jako modelový případ pro energetické výpočty realizované v rámci této kapitoly byla zvolena učebna pro 30 dětí – půdorys a pohled na fasádu viz obr. 5.1, předpokládá se 90% obsazenost (27 žáků + 1 učitel). Provoz větrání byl uvažován v době užívání učebny, tj. každý všední den od 8.00 do 13.00 hodin (s výjimkou prázdnin). Teplota vzduchu v učebně v době užívání se předpokládá konstantní  $t_i = 22\text{ °C}$ .



Obr. 5.1 Půdorys a pohled na fasádu modelové učebny



Obvodové konstrukce učebny jsou navrženy tak, aby tepelně-technické vlastnosti vyhovovaly normě ČSN 73 0540 [104]. Součinitel prostupu tepla  $U$  vnější stěny je  $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ , výplní otvorů  $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  a vnitřní příčky  $0,96 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Podlahou a stropem učebna sousedí s obdobně provozovanými učebnami. Učebna sousedí s chodbou, kde je uvažována teplota  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tepelná ztráta prostupem stanovena pro  $t_{e,výp} = -12 \text{ }^\circ\text{C}$  činí  $1,1 \text{ kW}$ . Celková podlahová plocha učebny je  $70 \text{ m}^2$ , objem učebny je  $245 \text{ m}^3$ .

## Zpětné získávání tepla

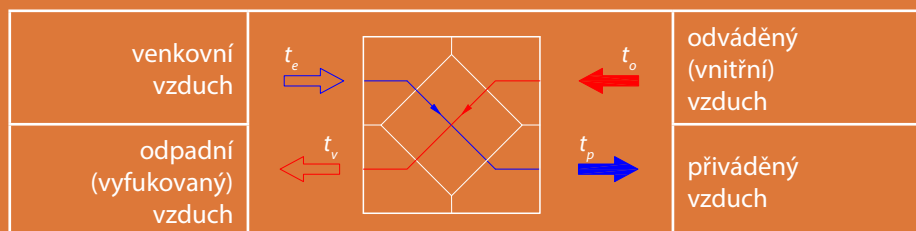
Zpětné získávání tepla (ZZT) je využití energie obsažené ve vzduchu odváděném z budovy pro predehřev přiváděného venkovního vzduchu.

Pro větrání budov používáme nejčastěji výměníky:

- **rekuperační** – přímá výměna tepla přes teplosměnnou plochu (deskové výměníky),
- **regenerační** – akumulární hmota mění polohu mezi proudy odváděného a přiváděného vzduchu, směr vzduchu je stálý (rotační výměníky).

Teplotní faktor  $\Phi$  (často označován jako účinnost ZZT, nebo teplotní účinnost) je definován jako poměr teplotního rozdílu (ohřátí) na straně ohřívajícího vzduchu k maximálnímu rozdílu teplot (teoreticky možnému ohřátí).

$$\Phi = \frac{t_p - t_e}{t_o - t_e}$$



## 5.1 Tepelná ztráta větráním

Na obr. 5.2 jsou proporcčně znázorněny rozdíly mezi tepelnou ztrátou prostupem a tepelnou ztrátou větráním modelové učebny (při venkovní výpočtové teplotě  $t_e = -12 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Zatímco tepelná ztráta prostupem činí po zateplení (při splnění doporučených požadavků ČSN 730540-2 [104])  $1,1 \text{ kW}$ , tepelná ztráta větráním při splnění minimálních požadavků na větrání se před a po zateplení prakticky nemění. Systém větrání je ve většině zrekonstruovaných škol předpokládán přirozeně otevíratelnými okny (pomíjíme skutečnost, že reálně je přirozené větrání zcela potlačeno). Žlutou barvou je na obr. 5.2 znázorněna tepelná ztráta větráním stanovena podle ČSN EN 12831 [97] (intenzita větrání  $l = 2 \text{ h}^{-1}$ ), která je téměř  $6\times$  vyšší než tepelná ztráta prostupem. Pokud bychom uvažovali požadovaný průtok  $20$  až  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  na žáka podle platné vyhlášky č. 410/2005 Sb. [91], bude tepelná ztráta větráním  $7$  až  $10\times$  vyšší než tepelná ztráta prostupem. V tepelné bilanci přirozeně větrané učebny představuje tepelná ztráta větráním dominantní položku.

## Tepelná ztráta větráním

V učebně s přirozeným větráním, kde je přítomno 30 žáků, při množství vzduchu 20 m<sup>3</sup>/h.žáka a teplotě venkovního vzduchu -12 °C bude tepelná ztráta větráním

$$\dot{Q}_{ztrv\dot{e}t} = \dot{V} \rho c (t_i - t_e) = \frac{20 \cdot 30}{3600} 1,3 \cdot 1010 (22 - (-12)) = 7,44 \quad [\text{kW}]$$

Při použití zpětného získávání tepla s teplotním faktorem  $\Phi = 67 \%$  bude tepelná ztráta větráním

$$\dot{Q}_{ztrv\dot{e}t} = \dot{V} \rho c (t_i - t_p) = \frac{20 \cdot 30}{3600} 1,3 \cdot 1010 (22 - 10,8) = 2,45 \quad [\text{kW}]$$

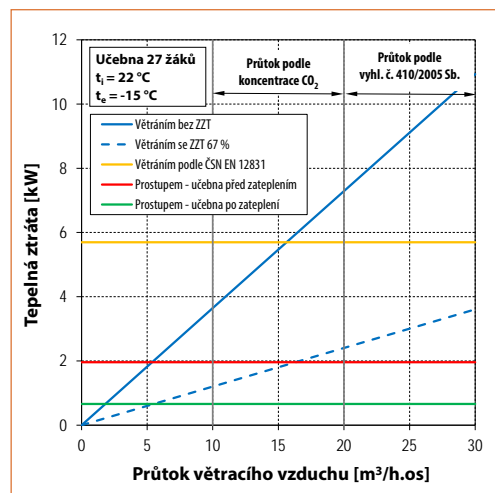
kde teplota  $t_p$  byla stanovena jako

$$t_p = \Phi (t_i - t_e) + t_e = 0,67 (22 - (-12)) + (-12) = 10,8 \quad [^\circ\text{C}]$$

Ve většině školských budov hradí tepelnou ztrátu větráním otopná soustava [5], která ovšem nedokáže rychle reagovat na přívod chladného venkovního vzduchu v zimním období roku. Přirozený přívod vzduchu otevřeným oknem tak často způsobuje vznik tepelného diskomfortu, což je nežádoucí. Přirozené větrání bývá z tohoto důvodu potlačováno. Důsledkem je znehodnocené vnitřní ovzduší v převážné většině škol.

Tepelnou ztrátu větráním je možné redukovat snížením množství větracího vzduchu, za předpokladu udržení požadované kvality vnitřního prostředí (přípustná koncentrace CO<sub>2</sub> 1500 ppm) [109], a/nebo, v případě

využití nuceného větrání, použitím výměníků pro zpětné získávání tepla (ZZT). Pro snížený průtok větracího vzduchu (10 až 20 m<sup>3</sup>/h na žáka podle jeho věku) a minimální teplotní faktor ZZT 67 %, v souladu se směrnicí o ekodesignu [94], bude tepelná ztráta větráním výrazně nižší (viz modrá čárkovaná čára v obr. 5.2). I v tomto případě tepelná ztráta větráním převažuje nad tepelnou ztrátou prostupem. Další snižování návrhového průtoku vzduchu je již nepřijatelné. Potřeba na ohřev vzduchu se úměrně snižuje s rostoucím teplotním faktorem (účinností) ZZT. Na druhou stranu, úkolem větrání je i odvod tepelné zátěže (viz dále).



**Obr. 5.2** Porovnání tepelné ztráty prostupem a větráním modelové učebny

## 5.2 Tepelná bilance učebny ZŠ

Při současných požadavcích na výstavbu se na celkové tepelné bilanci učebny podílí významnou měrou tepelné zisky. Z pohledu školských budov se jedná zejména o vnitřní tepelné zisky způsobené přítomností člověka a dále o tepelné zisky z venkovního prostředí způsobené slunečním zářením. Na tepelné bilanci místnosti se podílejí 3 základní tepelné toky:

- 1) tepelná ztráta prostupem,
- 2) tepelná ztráta větráním,
- 3) tepelné zisky (vnitřní a venkovní).

Celkové množství přeneseného tepla prostupem a větráním  $\dot{Q}_c$  (vč. tepelných zisků  $\dot{Q}_z$  učebny) je možné stanovit na základě zjednodušené tepelné bilance zahrnující tepelnou ztrátu prostupem  $\dot{Q}_{ztr,p}$ , větráním  $\dot{Q}_{ztr,vět}$  a tepelné zisky  $\dot{Q}_z$ .

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_z + \dot{Q}_{ztr,vět} + \dot{Q}_{ztr,p} \quad [W] \quad (16)$$

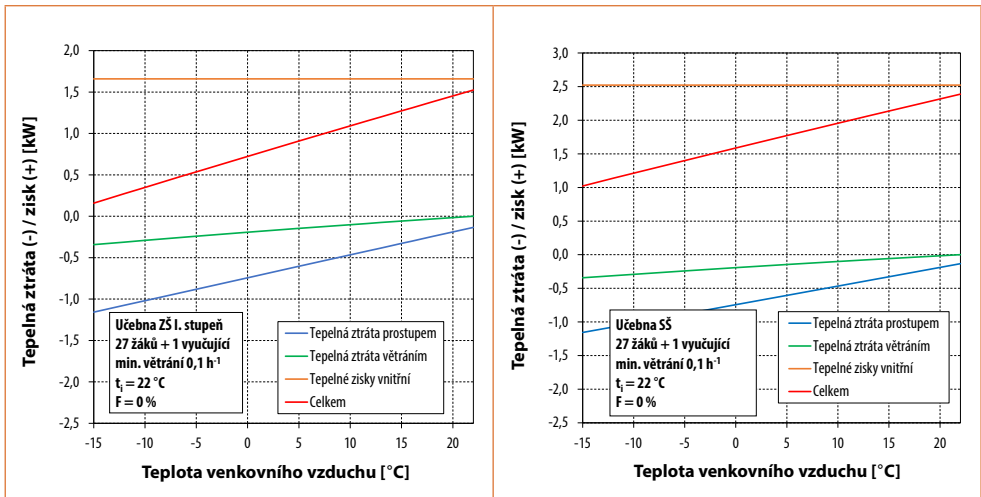
Záporné hodnoty veličin  $Q$  v rovnici znamenají tepelnou ztrátu, kladné hodnoty tepelný zisk. Pro zjednodušení v úvahách opomineme tepelné zisky od oslunění (uvažujeme místnost orientovanou na sever, kde jsou zisky od oslunění v zimě zanedbatelné) i akumulaci tepla do stavební konstrukce.

Pro analýzy byla tepelná bilance realizována pro různé okrajové podmínky uvedené v tab. 5.1. Varianta 1 představuje učebnu s nedostatečným větráním (běžný stav), varianta 2 pak s trvalým přirozeným větráním (nereálný stav). Varianty 3 a 4 platí pro nucené větrání se zpětným získáváním tepla s konstantním průtokem vzduchu. U varianty 4 bylo použito větrání s regulací teploty přiváděného vzduchu pro odvod tepelné zátěže učebny.

Na obr. 5.3 jsou znázorněny průběhy tepelných toků v závislosti na teplotě venkovního vzduchu pro variantu 1. Průběh tepelné ztráty prostupem a tepelných zisků (od osob) je shodný pro všechny zkoumané varianty, mění se pouze tepelná ztráta větráním a výsledný tepelný tok. Je zřejmé, že učebny jsou zatíženy celý rok tepelnými zisky – vý-

**Tab. 5.1** Seznam zkoumaných variant

Číslo varianty	Popis	Průtok venkovního vzduchu		Teplotní faktor (účinnost) ZZT F [%]	Teplota přiváděného vzduchu
		ZŠ	SŠ		
1	Větrání infiltrací / / mikroventilací	0,1 h <sup>-1</sup>		0 %	$t_e$
2	Přirozené větrání	12 m <sup>3</sup> /h.žáka	20 m <sup>3</sup> /h.žáka	0 %	$t_e$
3	Nucené větrání	12 m <sup>3</sup> /h.žáka	20 m <sup>3</sup> /h.žáka	80 %	$\Phi(t_i - t_e) + t_e$
4	Řízené větrání podle potřeby	12 m <sup>3</sup> /h.žáka	20 m <sup>3</sup> /h.žáka	max. 80 % + řízený obtok	variabilní



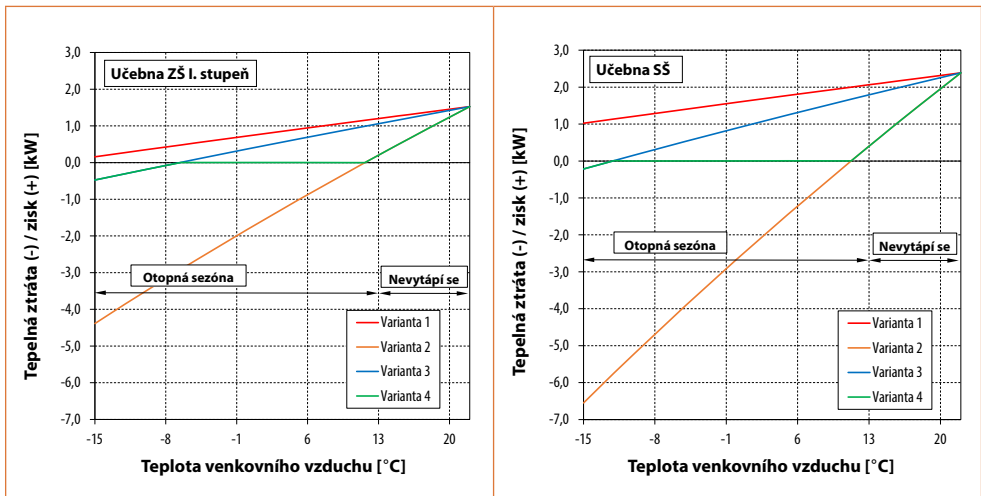
a) ZŠ I. stupeň

b) SŠ

**Obr. 5.3** Tepelné toky v závislosti na teplotě venkovního vzduchu pro variantu 1

sledná tepelná bilance je po celý rok kladná (červená závislost), i přes to, že opomíjíme oslunění. V důsledku toho bude teplota vzduchu v učebnách stoupat. Nevětrané učebny mají tendenci se přehřívat, což je známo i z praktických zkušeností. Většina stávajících zateplených učeben je představitelem tohoto případu.

Výsledné celkové tepelné toky  $\dot{Q}_c$  pro všechny zkoumané varianty 1 až 4 jsou uvedeny na obr. 5.4a (ZŠ) a obr. 5.4b (SŠ). Pokud připustíme trvalé přirozené větrání (varianta 2) bude nutné prakticky celé otopné období vzduch dohřívát (žlutá závislost). Běžně používané otopné soustavy však nedokáží pružně reagovat na trvalý přívod chladného venkovního vzduchu. Z energetického hlediska se snažíme takovému extrémnímu případu vyhnout.



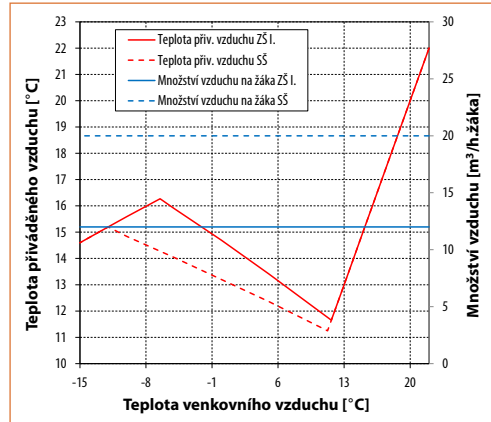
a) ZŠ I. stupeň

b) SŠ

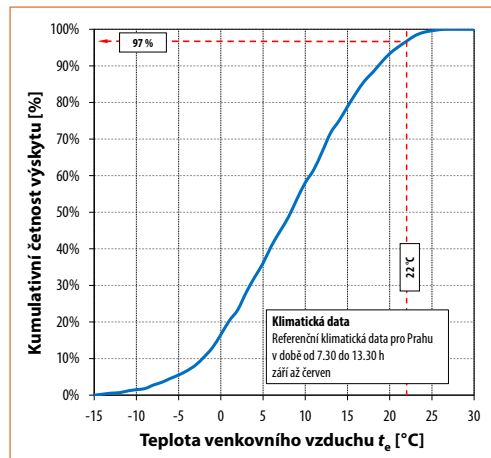
**Obr. 5.4** Výsledné tepelné toky pro všechny zkoumané varianty 1 až 4

Nucené větrání s vysokou účinností ZTZ (varianta 3) rovněž není ideální řešení, neboť podstatnou část roku se učebny přehřívají (pro ZŠ při  $t_e > -1\text{ }^\circ\text{C}$ , pro SŠ při  $t_e > -12\text{ }^\circ\text{C}$  viz obr. 5.4). To vede k otázce, zda požadavky na vysoké účinnosti ZTZ (v rámci tzv. „Ekodesignu“) jsou v takových aplikacích nutné, neboť se uplatní pouze v nejchladnějších dnech roku.

Důsledkem uvedených úvah je **nutnost řízeného větrání** učeben tak, aby výsledná tepelná bilance byla pokud možno nulová ( $Q_c = 0$ ) – Varianta 4 (zelená závislost na obr. 5.4). Výsledná bilance je záporná pouze pro velmi nízké teploty venkovního vzduchu. V této variantě se uplatňuje **regulace teploty přiváděného vzduchu** (viz obr. 5.5). Pro odvod tepelné zátěže lze s výhodou využít venkovní vzduch, neboť většinu školního roku je  $t_e < 22\text{ }^\circ\text{C}$  (obr. 5.6). Teplotu přiváděného vzduchu u zařízení s vysokým teplotním faktorem ZTZ je možné regulovat řízeným obtokem („by-passem“). Pro teploty  $t_e > 13\text{ }^\circ\text{C}$  se již v maximální míře může uplatnit přirozené větrání s vyššími průtoky vzduchu (okna učeben musí být z tohoto důvodu vždy navržena jako otevíratelná). Z hlediska potřeby energie na vytápění to nepředstavuje žádný problém, neboť otopná soustava již není v provozu. Na obr. 5.5 není zvýšený průtok větracího vzduchu v přechodovém období roku zohledněn.



**Obr. 5.5** Dosažení nulové bilance u varianty 4 změnou teploty přiváděného vzduchu



**Obr. 5.6** Četnosti teploty venkovního vzduchu během školního roku v době vyučování

### 5.2.1 Odvod tepelné zátěže

Vyšší průtoky venkovního vzduchu se tedy doporučuje používat v případech, kdy větrací zařízení slouží i pro odvod tepelné zátěže prostoru. Chladicí účinek přiváděného vzduchu (např. pro pracovní rozdíl teplot  $\Delta t_p = t_i - t_p = 8\text{ K}$ ) se stanoví jako

$$\dot{Q}_{chl} = \dot{V} \rho c (t_i - t_p) = \frac{20 \cdot 30}{3600} 1,2 \cdot 1010 (22 - 14) = 1616 \quad [\text{W}] \quad (17)$$

Přiváděný vzduch lze pro odvod tepelné zátěže použít pouze tehdy, pokud přivodní výústky umožní rozptýlení chladného vzduchu bez vzniku průvanu (a nehrozí riziko kondenzace). Pracovní rozdíl teplot  $\Delta t_p$  při přivodu chladného vzduchu nesmí pře-

kročit hodnotu 10 až 12 K (při použití vířivých anemostatů). U standardních výustí je tento rozdíl 6 až 8 K, u zdrojového (zaplavovacího) systému větrání pouze 3 až 5 K. Nedílnou součástí větracího systému tak musí být, **kromě zařízení pro regulaci výkonu výměníku ZZT** (řízená obtoková klapka) **i vhodná distribuce vzduchu**, tedy výustí zajišťující rozptýlení přiváděného (chladného) vzduchu v prostoru, bez negativních účinků na člověka. Pro odvod tepelné zátěže lze s výhodou využít i **regulaci průtoku přiváděného vzduchu**, pokud to zařízení umožňuje.

## 5.3 Potřeba energie na větrání

Větrání v zimním období je vždy spojeno s určitou potřebou energie. Jedná se o potřebu energie pro ohřev větracího vzduchu (úhrada tepelné ztráty větráním), v případě nuceného větrání vstupuje do energetické bilance i potřeba elektrické energie pro dopravu vzduchu.

### 5.3.1 Potřeba energie pro pohon ventilátorů

V případě, že bude vzduch do učebny dopravován nuceně, je nutno do energetické bilance zahrnout energii na dopravu vzduchu. Potřeba energie související s pohonem ventilátorů závisí na elektrickém příkonu, který je dán průtokem vzduchu, dopravním tlakem a účinností ventilátoru, vč. pohonu (elektromotoru). Ideálním podkladem pro stanovení spotřeby energie je příkonová charakteristika, tj. závislost příkonu na objemovém průtoku vzduchu [12].

Potřebu energie na pohon ventilátoru  $E_{el}$  lze stanovit z jeho příkonu  $P$  a doby provozu  $\tau$  [74] následovně

$$E_{el} = \int_0^{\tau} P d\tau = P_1\tau_1 + P_2\tau_2 + \dots + P_n\tau_n = \sum_1^n P_i\tau_i \quad [\text{Wh/rok}] \quad (18)$$

kde je:

$P_i$  příkon ventilátoru v daném časovém úseku [W],

$\tau_i$  časový úsek [h].

### Odvod tepelné zátěže ve školách bez klimatizace

Řízené větrání (podle  $\text{CO}_2$  a teploty vnitřního vzduchu) přispívá k odvodu tepelné zátěže učeben v zimním a přechodovém období a k vytvoření požadovaného stavu vnitřního prostředí bez vysokých nároků na potřebu energie.

Aby bylo možné v chladném období roku odvádět tepelnou zátěž učebny, je potřeba regulovat teplotu a průtok přiváděného vzduchu. V případě použití nuceného větrání se ZZT to znamená regulovat obtokovou klapku výměníku ZZT v plném rozsahu a distribuční systém vybavit přívodní vyústkou, která umožní rozptýlení přiváděného (chladného) vzduchu.

V teplém období roku (kdy není otopná soustava v provozu) se již naplno uplatní přirozené větrání otevíratelnými okny.

Pro vyjádření potřeby energie pro dopravu vzduchu lze s výhodou využít měrný příkon ventilátoru  $SFP$ , který v sobě zahrnuje elektrický příkon a průtok vzduchu. Pro symetrickou větrací jednotku pracující v rovnotlakém režimu (bez ohřívače a chladiče) platí

$$SFP_{AHU} = \frac{P_{AHU}}{\dot{V}} \doteq \frac{P_p + P_o}{\dot{V}} \quad [\text{W}\cdot\text{s}/\text{m}^3] \quad (19)$$

kde je:

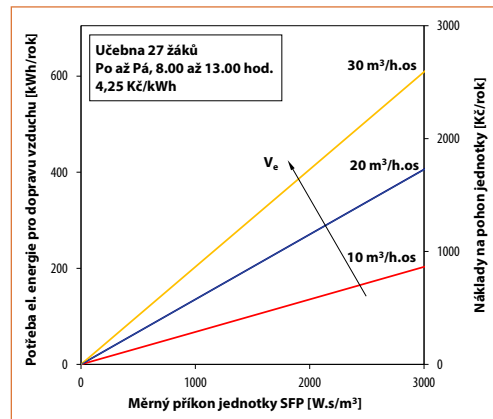
$P_{AHU}$  příkon jednotky [W],

$P_p, P_o$  příkon přívodního a odvodního ventilátoru [W],

$\dot{V}$  průtok vzduchu jednotkou [ $\text{m}^3/\text{s}$ ].

Na obr. 5.7 jsou uvedeny výsledky analýzy v podobě závislosti potřeby energie na pohon větrací jednotky na měrném příkonu  $SFP_{AHU}$  a dávce vzduchu na žáka  $V = 10, 20$  a  $30 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{žáka}$ . Potřeba energie roste úměrně s příkonem jednotky  $P_{AHU}$ . Obr. 5.7 kvantifikuje potřebu energie pro dopravu vzduchu, vč. ročních nákladů. Pokud pomíneme dávku vzduchu na osobu, ovlivňují potřebu elektrické energie účinnost ventilátorů  $\eta_c$  a doba provozu (pro modelovou učebnu ZŠ je nucené větrání v provozu 902 h/rok). Případné volbě větrací jednotky je tak nutno věnovat zvýšenou pozornost.

Prezentované kalkulace odpovídají běžné sazbě společnosti ČEZ – Standard D02d. Dle aktuálního ceníku společnosti ČEZ z dubna 2015 činí cena elektrické energie 4,25 Kč/kWh vč. DPH. Výpočty zohledňují spotřebu energie ventilátorů během zkoumaného otopného období.



**Obr. 5.7** Potřeba elektrické energie pro pohon větrací jednotky

### 5.3.2 Potřeba tepla pro ohřev větracího vzduchu

Venkovní větrací vzduch přiváděný do učeben je nutné ohřívat. Celková potřeba tepla pro ohřev větracího vzduchu  $E_{oh}$  se stanoví z výkonu potřebného pro ohřátí vzduchu  $Q$  a doby provozu  $\tau$  [74]

$$E_{oh} = \int_0^{\tau} \dot{Q} d\tau = \dot{Q}_1 \tau_1 + \dot{Q}_2 \tau_2 + \dots + \dot{Q}_n \tau_n = \sum_1^n \dot{Q}_i \tau_i \quad [\text{Wh}/\text{rok}] \quad (20)$$

kde je:

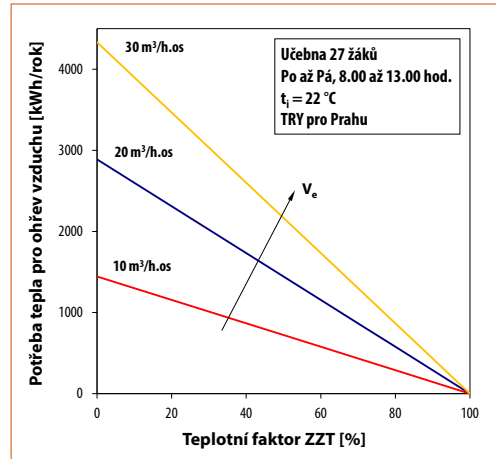
$\dot{Q}_i$  tepelný tok potřebný k ohřevu venkovního vzduchu [W],

$\tau_i$  časový úsek [h].

$n$  počet hodin v roce, kdy je větrací zařízení v provozu [h].

Pro účely analýzy potřeby tepla pro ohřev větracího vzduchu byl využit referenční klimatický rok zpracovaný pro Prahu (TRY – Test Reference Year). Referenční rok prezentuje reálná charakteristická klimatická data pro účely výpočtu energetické potřeby budov (hodinová data). Minimální teplota venkovního vzduchu ve sledovaném období je  $-16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Jednou z možností, jak uspořit energii na ohřev větracího vzduchu, je využití zpětného získávání tepla. Výsledky potřeby tepla na ohřev větracího vzduchu při trvalém větrání učeben v době jejich provozu v závislosti na množství větracího vzduchu na žáka a teplotním faktoru ZTT jsou uvedeny na obr. 5.8. Výsledky vyjadřují potřebu tepla pro ohřev venkovního vzduchu po průchodu výměníkem ZTT na teplotu vnitřního vzduchu (zpravidla  $t_i = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Potřeba energie na ohřev vzduchu je přímo úměrná průtoku venkovního vzduchu a teplotnímu faktoru ZTT (obr. 5.8). Jak bylo popsáno v odstavci 5.2, na ohřevu vzduchu se ve skutečnosti podílí tepelné zisky, které výsledky na obr. 5.8 nezahrnují (viz dále).



**Obr. 5.8** Potřeba tepla pro ohřev větracího vzduchu za rok (bez uvažování tepelných zisků)

### Ohřev vzduchu od přívodního ventilátoru

Veškerá energie přívodního ventilátoru, který je spolu s elektromotorem umístěn v proudu vzduchu, se přemění na teplo a podílí se tak na ohřevu vzduchu. Potřeba tepla na ohřev vzduchu se sníží

$$E_{oh,v} = E_{oh} - P_p \tau \quad [\text{Wh/rok}] \quad (21)$$

Za předpokladu, že se přívodní ventilátor podílí na celkové potřebě elektrické energie jednotky právě jednou polovinou, lze potřebu tepla pro ohřev větracího vzduchu po průchodu ventilátorem stanovit pro dobu provozu  $\tau$  jako

$$E_{oh,v} = E_{oh} - \frac{E_{AHU}}{2} = E_{oh} - \frac{P_{AHU}}{2} \tau = E_{oh} - \frac{SFP_{AHU} \dot{V}}{2} \tau \quad [\text{Wh/rok}] \quad (22)$$

### Vliv tepelné zátěže prostoru

Analýza potřeby tepla na větrání učeben, viz obr. 5.8 (publikovaná v článku [6]), je založena na zjednodušeném výpočtu a tepelné zisky nezahrnuje. Jak bylo uvedeno v odstavci 5.2, na výsledné tepelné bilanci se výrazně podílí tepelná zátěž prostoru. Tepelnou zátěž tvoří tepelné zisky od osob pobývajících v učebně a zisky od oslnění. Do přesného výpočtu dále vstupuje akumulace tepla do stavebních konstrukcí. Pro sledování všech zmíněných vlivů se s výhodou využívají energetické simulační výpočty, které poskytují předpověď tepelných zátěží, tepelných ztrát, parametrů vnitřního pro-



## Měrný příkon ventilátoru

Pro hodnocení ventilátorů z hlediska energetické náročnosti se používá měrný příkon ventilátoru *SFP* (Specific Fan Power), který vyjadřuje příkon ventilátoru potřebný k dopravě 1 m<sup>3</sup>/s vzduchu. *SFP* se stanoví jako elektrický příkon ventilátoru *P* v distribučním vzduchovém systému vydělený celkovým průtokem vzduchu *V*, při návrhové zátěži (dopravním tlaku)

$$SFP = \frac{P}{V} = \frac{\Delta p_c}{\eta_c} \quad [\text{W}\cdot\text{s}/\text{m}^3]$$

*Příklad: Vzduchotechnická jednotka má celkový příkon 160 W při průtoku V = 600 m<sup>3</sup>/h (dopravní tlak je 100 Pa). Měrný příkon jednotky je*

$$SFP = \frac{P}{V} = \frac{160}{600} \cdot 3600 = 960 \quad [\text{W}\cdot\text{s}/\text{m}^3]$$

středí a potřeby energie pro danou zónu při zadaném průběhu venkovních klimatických podmínek, obvykle s hodinovým časovým krokem.

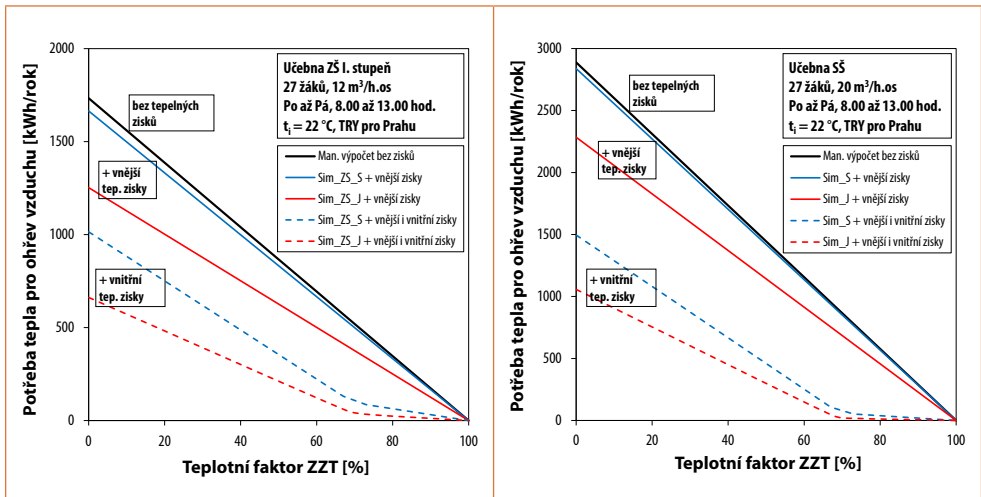
Pro hodnocení vlivu tepelné zátěže byl realizován simulační výpočet modelové učebny v programu ESP-r [124]. V rámci analýz byly zkoumány 2 typy učeben: učebna ZŠ I. stupeň a učebna SŠ. Minimální průtok vzduchu byl volen podle tab. 3.12, tepelné zisky od dětí byly stanoveny podle obr. 3.1. Základní okrajové podmínky výpočtu jsou uvedeny v tab. 5.2. Orientace vnější fasády byla variantně severní a jižní.

Výsledky simulačních výpočtů v podobě potřeby tepla na ohřev venkovního vzduchu v závislosti na teplotním faktoru (účinnosti) ZTZ jsou uvedeny na obr. 5.9. Výsledky nezahnují energii pro pohon ventilátorů. Závislosti reprezentují výsledky výpočtů s/bez uvažování tepelných zisků místnosti. Údaje jsou porovnány s manuálním výpočtem potřeby tepla na ohřev vzduchu bez uvažování tepelných zisků (černá závislost) pro shodné okrajové podmínky. Je zřejmé, že vliv tepelných zisků od oslunění se projeví zejména u místnosti orientované na jih, naopak v učebně orientované na sever nehraje významnou roli. V dalších analýzách jsou použity výsledky učebny orientované na sever jako místnosti s vyšší potřebou tepla.

I když výsledky nelze zobecnit, neboť závisí na konkrétním provedení učebny (velikost učebny, zasklení, hmotnost a materiál obvodových konstrukcí apod.), je možné sledovat, že potřeba tepla na ohřev venkovního vzduchu je v případě využití ZTZ

**Tab. 5.2** Okrajové podmínky zkoumané učebny

Učebna	Množství vzduchu na žáka	Tepelný zisk od osob [W]	Orientace oken
ZŠ I. stupeň	12 m <sup>3</sup> /h	1566	S a J
SŠ	20 m <sup>3</sup> /h	2511	S a J



a) ZŠ I. stupeň

b) SŠ

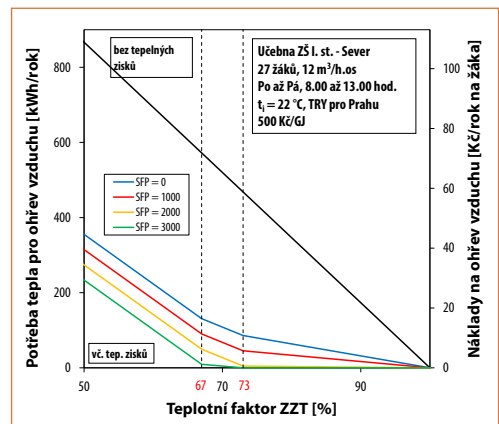
**Obr. 5.9** Porovnání potřeby tepla na ohřev vzduchu s/bez uvažování tepelných zisků

(pro  $\Phi > 67\%$ ) minimální, neboť je z podstatné části pokryta tepelnými zisky. Uvedené výsledky potvrzují úvahy z odstavce 5.2.

### 5.3.3 Náklady na ohřev větracího vzduchu

Na obr. 5.10 jsou uvedeny výsledky potřeby tepla na ohřev venkovního vzduchu s uvažováním tepelných zisků snížené o ohřev větracího vzduchu způsobený přívodním ventilátorem pro zkoumanou učebnu (barevné křivky). Výsledky jsou zobrazeny pro různé hodnoty  $SFP$ . Z analýz větracích jednotek na českém trhu publikovaných v [6] bylo zjištěno, že většina jednotek dosahuje hodnot  $SFP$  do  $3000 \text{ W.s/m}^3$ . U jednotek se  $SFP > 2000 \text{ W.s/m}^3$  není prakticky nutné vzduch dohřívát (je-li použito ZZT). To ovšem neznamená, že použití jednotek s vysokým příkonem (vysokou hodnotou  $SFP$ ) je energeticky výhodné (viz dále). Cena za elektrickou energii je často vyšší než cena za energii tepelnou.

Na obr. 5.10 jsou vyčísleny orientační náklady na ohřev větracího vzduchu pro zkoumanou učebnu na jednoho žáka. Výsledky zohledňují tepelnou zátěž i ohřátí vzduchu v přívodním ventilátoru. Podle výsledků zobrazených na obr. 5.10 je cena za ohřev větracího vzduchu při použití nuceného větrání velmi nízká – **do 10 Kč/rok na žáka** podle použitého zařízení. Cena za tepelnou energii se může lišit podle použitého zdroje tepla nebo podle regionu (v případě použití CZT, kte-



**Obr. 5.10** Výsledná potřeba tepla a náklady na ohřev vzduchu se zahrnutím tepelné zátěže a ohřátí vzduchu od ventilátoru

ré využívá cca 1/3 škol) [5]. Ve zkoumaném případě bylo uvažováno s cenou 500 Kč/GJ (1,8 Kč/kWh). Při odlišných cenách za energii lze výsledné náklady na ohřev vzduchu v [Kč/rok na žáka] jednoduše přepočítat.

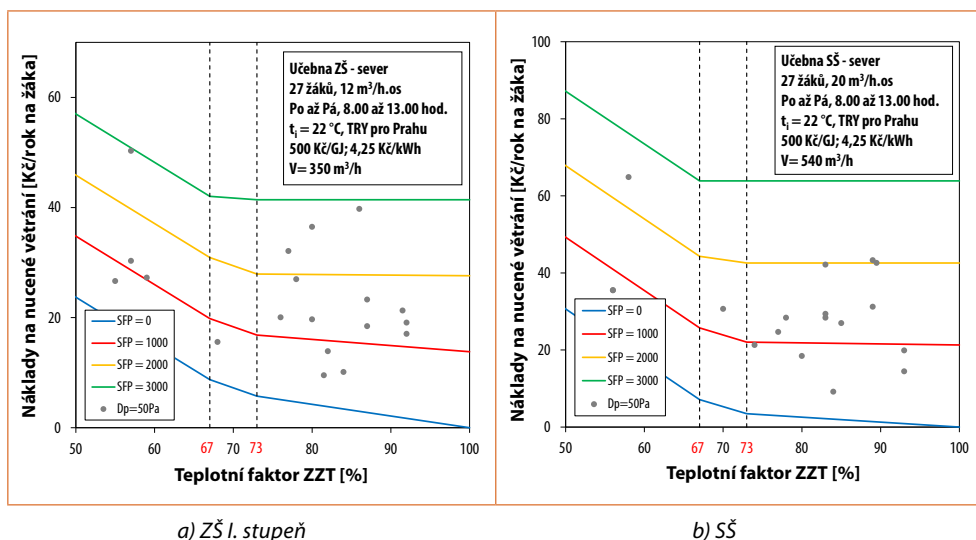
## 5.4 Celkové náklady na provoz větrání

### 5.4.1 Analýza větracích jednotek

Celkové roční náklady spojené s větráním modelové učebny (ZŠ a SŠ) vztažené na 1 žáka při proměnném  $SFP$  a teplotním faktoru (účinnosti) ZTT jsou uvedeny na obr. 5.11. Obecné závislosti jsou platné pro definované (průměrné) ceny za energii. Celkové náklady zahrnují náklady na pohon jednotky a náklady na ohřev vzduchu dle předchozích úvah s uvažováním tepelných zisků.

Pro vyčíslení reálných nákladů na větrání učebny bylo analyzováno 19 lokálních větracích jednotek se zpětným získáváním tepla dostupných na českém trhu (bez bližší specifikace) se jmenovitým průtokem 350 (pro učebnu ZŠ), resp. 540 m<sup>3</sup>/h (pro učebnu SŠ), dopravní tlak jednotek byl uvažován 50 Pa (cena za elektrickou energii byla uvažována 4,25 Kč/kWh). Pro analýzu byly vybírány jednotky s možností podstropní nebo stojaté instalace. Technické údaje byly převzaty z webových stránek výrobců vzduchotechnických jednotek. Pro každou jednotku byly z technických listů pro jmenovitý průtok odečteny hodnoty příkonu a teplotního faktoru ZTT. Výsledky pro všechny jednotky jsou zaneseny v obr. 5.11 v podobě bodů.

Při použití nuceného větrání s větrací jednotkou se ZTT dle stávajících předpisů, kdy podle směrnice o ekodesignu větracích jednotek [94], musí být minimální účinnost ZTT 67, resp. 72 %, se náklady související s provozem (energiemi) pohybují pro analyzované jednotky v rozmezí **od 10 do 50 (ZŠ), resp. do 65 Kč/rok (SŠ) na jednoho žáka (!)** v závislosti na typu jednotky, resp. na jejím měrném příkonu  $SFP$ .



**Obr. 5.11** Výsledné náklady na nucené větrání na 1 žáka pro různé typy lokálních větracích jednotek (s uvažováním tepelných zisků)

## Vyplatí se větrat?

Větrání učeben se vyplatí z dlouhodobého hlediska. „Za energie platíme penězi, za znehodnocené vnitřní prostředí však zaplatíme zdravím našich dětí“.  
(prof. František Drkal)

Z porovnání hodnot je zřejmé, že podstatnou položku v provozních nákladech představuje elektrická energie, která souvisí s pohonem jednotky (hodnota  $SFP_{AHU}$ ), nikoliv s náklady na ohřev vzduchu. Větrací jednotka s vysokým teplotním faktorem ZZT může paradoxně spotřebovávat více energie než jednotka s minimálním teplotním faktorem 67 %. Při volbě větrací jednotky je tak nutno zohlednit oba technické parametry (měrný příkon jednotky  $SFP_{AHU}$  i teplotní faktor ZZT) a rovněž cenu energie. Obecně lze konstatovat, že zejména nižší  $SFP_{AHU}$  vede k nižším provozním nákladům.

### 5.4.2 Vyplatí se nucené větrání?

Z předchozího textu víme, že přirozené větrání učeben školských budov při současných technických požadavcích na výplně otvorů je problematické a často selhává. Provětrávání dostatečným průtokem se stává nekomfortním a energeticky náročným. Jednou z cest, jak zlepšit vnitřní prostředí škol, je použití větrání nuceného. Z analýzy vyplývá, že náklady na ohřev a dopravu vzduchu při nuceném větrání učeben (uvažována byla lokální větrací jednotka se ZZT) se mohou pohybovat od 10 do 65 Kč/rok na jednoho žáka v závislosti na typu použité jednotky, což se jeví jako zanedbatelná položka, jak z pohledu rozpočtu školy, tak s ohledem na účel tohoto opatření (ve školním roce 2013/2014 navštěvovalo v ČR základní a střední školy cca 1,3 milionu žáků [4]).

Otázkou samozřejmě zůstává přístup zřizovatelů (státu) k dané problematice a společenské priority. I stát by měl respektovat platné právní předpisy nebo doporučené technické normy. Zásadním problémem při realizaci opatření vedoucích ke zlepšení stavu vnitřního prostředí ve školách nejsou náklady provozní, ale investiční, které jsou často vysoké, a prakticky jedinou cestou k dosažení „kvalitního vnitřního prostředí“ jsou dotační tituly. Návratnost investice je velmi obtížné stanovit a výpočty, se kterými běžně pracují technici, zde poněkud selhávají. Nezahrnují totiž další související ekonomické a sociální aspekty, jakými jsou náklady na zdravotní péči dětí, nepřítomnost rodičů na pracovišti apod. Při zohlednění těchto aspektů se řádné větrání učeben z dlouhodobého hlediska jistě vyplatí.



## 6 Příklady řešení

### 6.1.1 Větrání malotřídní základní školy

Rekonstrukce budovy malotřídní základní školy v Kostelní Lhotě (z roku 1879) vrátila budově původní vzhled (po necitlivé socialistické přestavbě v 60. letech minulého století, obr. 6.1), budova byla zateplena, vyměněna okna, otopná soustava a zdroj tepla (tepelné čerpadlo vzduch – voda) a instalován větrací systém se zpětným získáváním tepla.

Základní škola je koncipována jako malotřídní. Probíhá zde výuka I. stupně (1. až 5. ročník). Větrací systém tvoří centrální větrací jednotka se zpětným získáváním tepla



**Obr. 6.1** Základní škola v Kostelní Lhotě (zdroj: Atrea, ZŠ Kostelní Lhota)



**Obr. 6.2** Řešení přívodu a odvodu vzduchu v učebně (zdroj: Atrea)

se jmenovitým průtokem  $600 \text{ m}^3/\text{h}$ , která je umístěna pod stropem hygienického zázemí. Jednotka, která se běžně používá pro větší rodinné domy, slouží pro větrání

dvou největších učeben. Sání vzduchu je vyvedeno na fasádu objektu, obr. 6.3. Vzduch je přiváděn do učeben přívodními ventily pod stropem nad tabulí. Odvod vzduchu je realizován na protilehlé stěně učebny jednořadou vyústkou, viz obr. 6.2.



**Obr. 6.3** Sání a výfuk vzduchu na fasádě objektu (zdroj: Atrea)

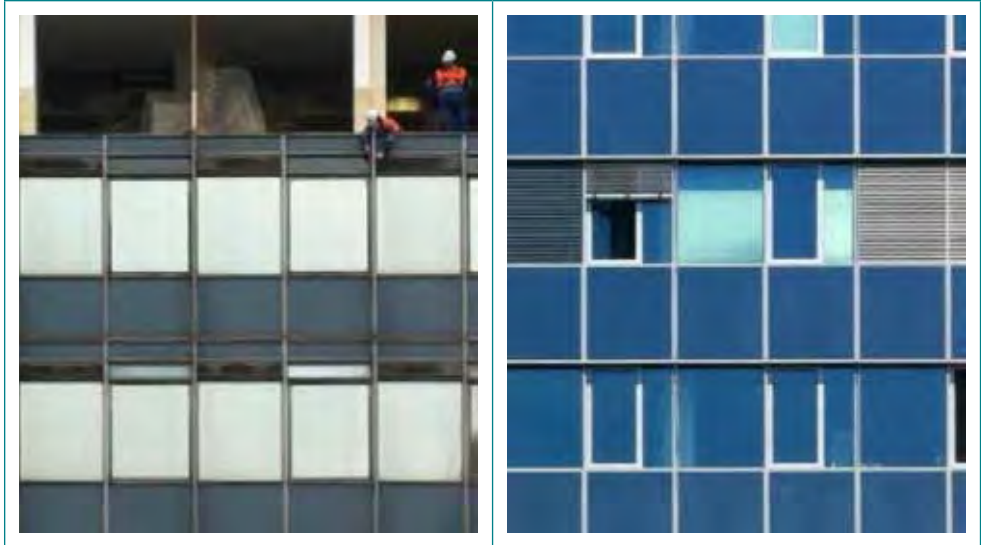
ZŠ Kostelní Lhota je důkazem, že i historické budovy mohou projít rekonstrukcí vč. instalace systému větrání, i když to nemusí být vždy jednoduché, jak ukazují fotografie na obr. 6.4.



**Obr. 6.4** Řešení přívodu a odvodu vzduchu v učebně (zdroj: Atrea)

## 6.1.2 Univerzitní budova

Patnáctipatrová budova Fakulty stavební ČVUT v Praze, původně z roku 1971, prošla v roce 2013 náročnou rekonstrukcí v podobě kompletní výměny obvodového pláště, obr. 6.5. Půdorysně obdélníková budova s železobetonovým skeletem má u jihozápadní fasády umístěny kanceláře, na opačné straně (severovýchod) pak učebny a zasedací místnosti. Ve střední části každého patra je zázemí (toalety, archivy, čajové kuchyňky), střední trakt je oddělen od bytových místností chodbami [63].



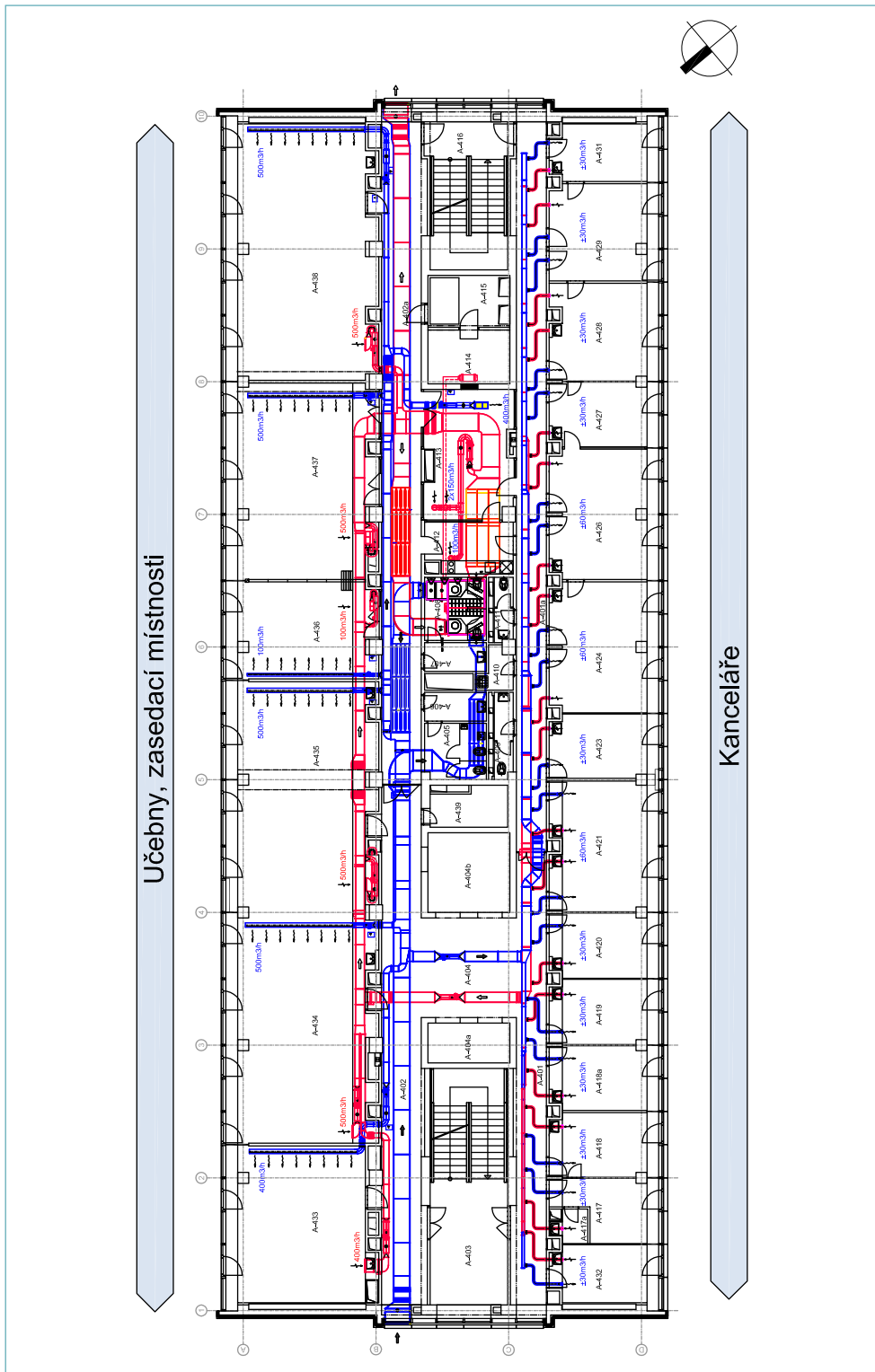
**Obr. 6.5** Výměna obvodového pláště Fakulty stavební ČVUT v Praze (foto: prof. Tywoniak)

Ve 4. patře budovy bylo přistoupeno k instalaci nuceného větrání, zejména pro použití v zimním období. V letním období se uvažuje s provětráváním otevíratelnými okny. Větrání učeben, zasedacích místností a kanceláří zajišťuje centrální vzduchotechnická jednotka, která je umístěna v prostoru hygienického zázemí pod stropem. Jmenovitý průtok vzduchu jednotkou je  $3100 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $\Delta p = 300 \text{ Pa}$ ). Jednotka je vybavena deskovým rekupe-  
račním výměníkem zpětného získávání tepla, regulovatelnými ventilátory s EC motory a odpovídající filtrací vzduchu (F7 na přívodu, G4 na odvodu). Na výtlaku jednotky je umístěn dohřívač vzduchu v podobě kondenzátoru chladivového okruhu. Výparnicková jednotka s kompresorem je umístěna v serverovně, kterou zároveň vychlazuje. Vzduchovody z pozinkovaného plechu jsou vedeny převážně pod stropem chodeb (obr. 6.6), odkud jsou realizovány odboč-



**Obr. 6.6** Vedení vzduchovodů v chodbě (foto: prof. Tywoniak)





**Obr. 6.7** Půdorys patra univerzitní budovy s nuceným větráním (autor návrhu: Ing. Zdeněk Zikán)

ky do jednotlivých místností, kde jsou zakryty sádkartonovým podhledem. Přírodní i odvodní vzduchovod vedoucí z venkovního prostředí k jednotce je po celé délce tepelně izolován. Z důvodu zabránění šíření hluku od ventilátorů je jednotka opatřena na straně sání i výtlaku tlumiči hluku, dále jsou použity hlukově izolační hadice. Pro distribuci přiváděného vzduchu v učebnách jsou použity textilní vyústky zavěšené pod stropem místností (obr. 6.8), na odvod vzduchu jsou použity standardní obdélníkové vyústky. V kancelářích jsou použity talířové ventily. Odbočky do učeben a zasedacích místností jsou vybaveny regulátory průtoku, které jsou ovládány na základě čidla kvality vzduchu (čidla CO<sub>2</sub>). Větrání kanceláří je trvalé v době chodu jednotky, která je řízena na základě časového programu. Vedení vzduchovodů ve 4. patře je znázorněno na obr. 6.7.



**Obr. 6.8** Distribuce přiváděného vzduchu v učebně textilní vyústkou (foto: prof. Tywoniak)

### 6.1.3 Stavební řešení novostavby ZŠ

Nově vzniklý pavilon Základní školy a Základní umělecké školy v Líbeznicích je příkladem školní budovy, kde součástí architektonického návrhu byl od počátku koncept větrání. Tento přístup při řešení problematiky vnitřního prostředí ve školách lze považovat za správný a chvályhodný.

Nový pavilon školy v Líbeznicích tvoří kruhová stavba s vnitřním atriem. Střeška budovy je plochá s vegetační vrstvou. Stavba je koncipována v nízkoenergetickém standardu. V objektu je celkem 8 učeben, každá pro 30 žáků a jedna jídelna, sloužící i jako aula. Přirozené osvětlení učeben zajišťují hlavně střešní světlíky. Horizontální okenní plocha je ideální z pohledu osvětlení (cca 6,8 m<sup>2</sup> na třídu), v letním období však představuje zdroj tepelných zisků od oslunění. Světlíky jsou vybaveny vnitřním stínícím prvkem, pro zastínění v době používání interaktivní tabule nebo promítání.



**Obr. 6.9** Nový pavilon Základní školy a Základní umělecké školy Líbeznice (zdroj: ZŠ a ZUŠ Líbeznice, autoři návrhu: Projektil architekti)

Celá budova je koncipována jako těžká s výraznou akumulací hmotou v podobě betonové konstrukce podlahy a stropu. Stavba je navíc umístěna na rostlém terénu. Akumulační schopnosti budovy bylo využito při návrhu technického zařízení pro vytápění a chlazení budovy. Vtipně vyřešené atrium budovy (i když původně mělo být podstatně větší) umožňuje žákům pobyt ve venkovním prostoru, aniž by opustili budovu školy, což zajistí jejich bezpečí i zdravý životní styl.

### Vytápění a chlazení budovy

Zdrojem tepla a chladu pro budovu školy je tepelné čerpadlo (TČ) země – voda napojené na soustavu 6 zemních vrtů (6 × 130 m) rozmístěných na přilehlém pozemku. Instalovaný výkon TČ je 55 kW s teplotním rozdílem otopné vody 45/35 °C a chladicí vody 16/20 °C. TČ slouží pro přípravu TV a otopné vody pro otopnou soustavu (33/30 °C) a vzduchotechniku (45/35 °C). Bivalentním zdrojem je elektrický kotel o výkonu 24 kW. Alternativou ke kompresorovému chlazení je chlazení přirozené (volným chlazením ze zemních vrtů). Vyrobenou energii (teplo i chlad) je možné ukládat do dvou akumulačních zásobníků o objemu 500 l. Ohřev TV je řešen přímým okruhem z TČ, který ohřívá zásobník teplé vody o objemu 500 l přes deskový výměník. Pro případnou potřebu dohřátí je zásobník vybaven



Obr. 6.10 Přívod vzduchu do učeben



Obr. 6.11 Větrací jednotka umístěná v prostorách chodby

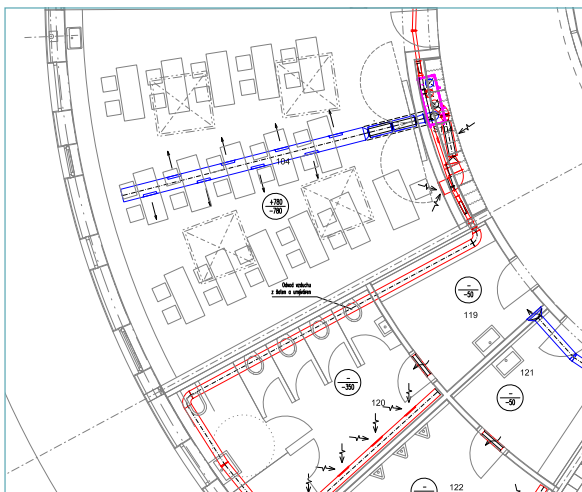


Obr. 6.12 Rozvody vzduchu, otopné a chladicí vody

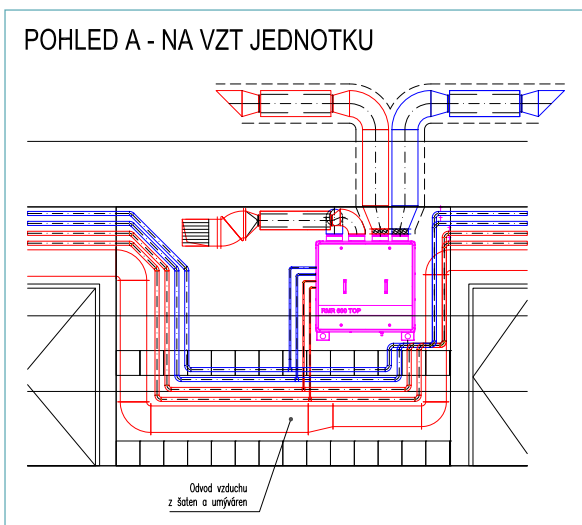
elektrickou topnou patronou. Během letních prázdnin je provoz TČ omezen. V létě dochází k regeneraci vrtného pole přes systém smyček aktivní stropní konstrukce – přirozeným chlazením z vrtů.

### Aktivace betonu

Pro vytápění i chlazení objektu je použit systém aktivní stropní konstrukce (TABS – z angl. Thermo Active Building System). Uprostřed betonové konstrukce stropu, jejíž tloušťka je 300 mm, je umístěna vrstva potrubí, do něhož je přiváděna otopná nebo chladicí voda. Pro vytápění je použita otopná voda o teplotě 33/30 °C, pro chlazení pak 16/20 °C. Protože se jedná o prvek s velkou setrvačností, je nutno regulační zásahy provádět s časovým předstihem. Předpokládá se uplatnění prediktivní regulace na základě předpovědi počasí, kdy regulátor zohlední i cenu dodávané energie (denní/noční proud, topný faktor a chladicí faktor TČ), která je vhodná pro systémy obdobného typu. To umožňuje využití zdroje tepla a chladu mimo špičkový odběr (např. v noci) a využít výhodnější sazbu pro odběr elektrické energie.



**Obr. 6.13 a)** Koncepte lokálního větrání učeben na ZŠ a ZUŠ Líbeznice – půdorys učebny (autor návrhu: TechOrg)



**Obr. 6.13 b)** Koncepte lokálního větrání učeben na ZŠ a ZUŠ Líbeznice – pohled na jednotku umístěnou v prostorách chodby nad šatními skříňkami (autor návrhu: TechOrg)

### Větrání

Větrání učeben je realizováno jako nucené. Každá z osmi učeben je vybavena vlastní (lokální) větrací jednotkou, která zajišťuje přívod čerstvého vzduchu vhodně upraveného podle potřeby. Jednotky jsou umístěny mimo prostor učeben v sousedící chodbě (nad šatními skříňkami), což je výhodné zejména z akustických důvodů (jednotka je často zdrojem hluku). Větrací jednotky jsou vybaveny výměníkem pro zpětné získávání tepla, vodním ohřívачem a chladičem, přívodním a odvodním ventilátorem a vzduchovými filtry. Výměníky tepla ve vzduchotechnické jednotce jsou napojeny na rozvod otopné a chladicí vody. Teplota přiváděného vzduchu je konstantní jak v zim-

ním, tak v letním období. K zabránění šíření hluku jsou potrubní rozvody opatřeny kruhovými tlumiči hluku. Větrání učeben je navrženo jako rovnotlaké s celkovým průtokem vzduchu 780 m<sup>3</sup>/h, odpovídající dávce 26 m<sup>3</sup>/h na žáka, což převyšuje minimální průtok vzduchu dle platného předpisu [91]. Průtok vzduchu je regulován na základě čidla CO<sub>2</sub> umístěného v odvodním vzduchovodu. Přívod vzduchu do učeben je realizován jedním kruhovým vzduchovodem vedeným v ose učebny, který je opatřen standardními čtyřhrannými vyústkami. Odvod vzduchu je umístěn na stěně, přibližně nad tabulí. Sání venkovního vzduchu a odvod vzduchu znehodnoceného je ze střechy pavilonu, která obsahuje zatravněnou plochu – střecha se tak nadměrně nepřehřívá. Součástí nově vzniklého pavilónu jsou i společné prostory (jídelsna, aula, vstupní část se šatnami, hygienické zázemí), pro jejichž větrání je navržena samostatná větrací jednotka s celkovým průtokem vzduchu 2380 m<sup>3</sup>/h s obdobným složením jako jednotky pro učebny.

V kontextu současného stavu poznání se jedná o velmi slibný projekt, který by se mohl stát příkladem pro stavby obdobného typu. Úspěšná realizace pavilónu ZŠ v Líbeznicích je příspěvkem pro řešení aktuální tematiky týkající se tvorby vnitřního prostředí v učebnách moderních škol. Na realizaci lze ocenit zejména koncepci nuceného větrání se zpětným získáváním tepla, které zajišťuje kvalitní vnitřní prostředí bez vysokých nároků na spotřebu energie, v letním období pak využití vysokoteplotního chlazení z vrtů s možností volného chlazení, kterým je možné chladit betonovou konstrukci i přiváděný venkovní vzduch.

#### 6.1.4 Použití lokální větrací jednotky v učebně ZŠ

Koncepci vertikální jednotky s bezpotrubním přívodem vzduchu představil renomovaný výrobce vzduchotechnických jednotek teprve nedávno. Jedná se o lokální jednotku ve vnitřním provedení určenou pro instalaci přímo do učebny. Jednotka má vestavěné labyrintové tlumiče hluku na přívodní i odvodní straně. Maximální průtok



**Obr. 6.14** Učebna vybavená lokální větrací jednotkou s bezpotrubním přívodem vzduchu, vpravo realizace otvorů ve fasádě (zdroj: Atrea)

vzduchu jednotkou je  $650 \text{ m}^3/\text{h}$ , externí dispoziční tlak je  $50 \text{ Pa}$  a pokrývá tlakové ztráty venkovní integrované vyústky, při celkovém elektrickém příkonu  $2 \times 170 \text{ W}$ . Zvláštní péče při návrhu jednotky byla věnována akustickým parametrům. Jednotka dosahuje hodnot akustického tlaku po instalaci v učebně pod  $L_{Amax} = 30 \text{ dB}$ ! V jednotce je instalován elektrický dohřívač z PTC článků a vyhřívaná vana odvodu kondenzátu s automatickým spínáním podle hladiny kondenzátu.

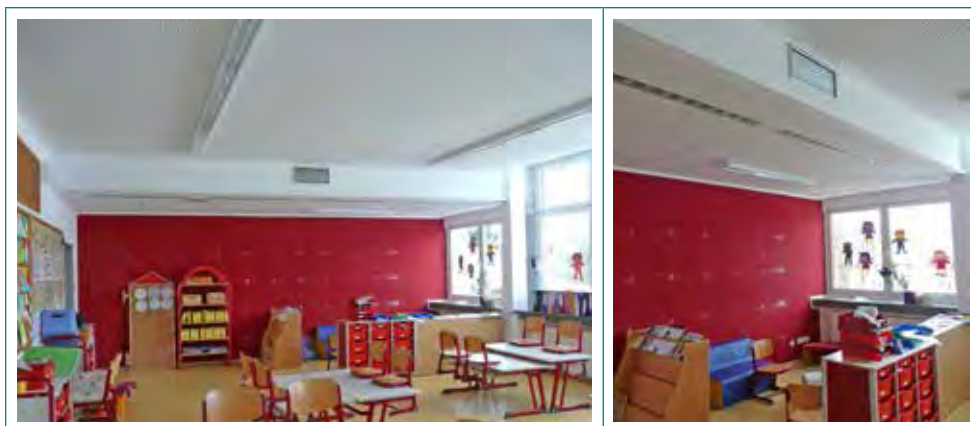
Pilotní instalace jednotky byla realizována na základní škole v Jablonci n. N. (obr. 6.14). Učebna 7.B je umístěna v přízemí částečně pod úroveň přilehlého terénu a má problémy s pronikající vlhkostí z podlaží. V učebně se střídá obsazení žáky 2. stupně (7. a 8. tř.) v počtu 25 až 27 osob. Vzhledem k nízkým výškám okenních nadpraží nebylo možné instalovat žádnou dostupnou podstropní větrací jednotku. Na fasádě objektu je osazena speciální žaluzie, která integruje sání i výfuk vzduchu.

### 6.1.5 Lokální větrání s podstropní jednotkou

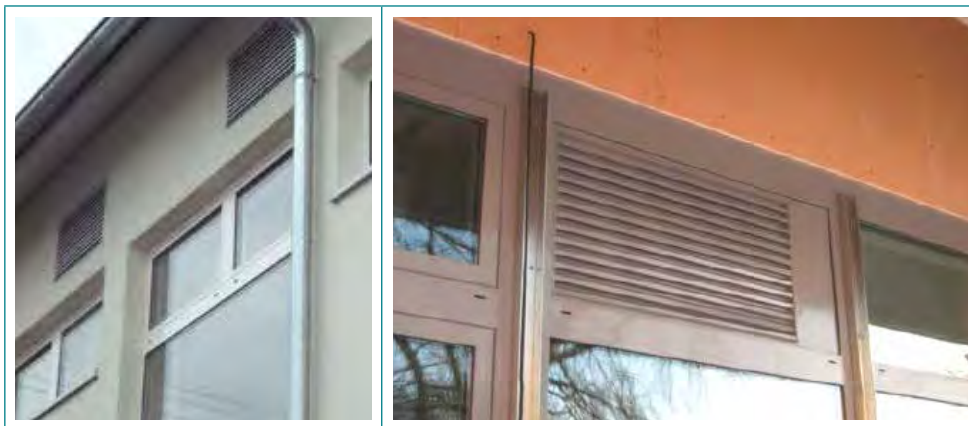
Dalším příkladem lokálního větrání je využití kompaktních podstropních větracích jednotek. Jednotky jsou většinou dodávány ve dvou základních provedeních. Provedení s opláštěním umožňuje instalaci jednotky přímo do učebny bez dalších stavebních úprav (vyjma stavebního prostupu v obvodové konstrukci). Tato jednotka je vybavena šterbinovými vyústkami pro zajištění rozptýlení přiváděného vzduchu v místnosti a sací mřížkou pro odvod znehod-



**Obr. 6.15** Moderní učebna vybavená podstropní jednotkou (Philipp-Matthäus-Hahn-Gymnasium, Leinfelden-Echterdingen, zdroj: LTG Aktiengesellschaft)



**Obr. 6.16** Příklad instalace podstropní jednotky (Weckverbands-Grundschule Setzingen, zdroj: LTG Aktiengesellschaft)



**Obr. 6.17** Umístění žaluzie na fasádě objektu a v okenní výplni

nocného vzduchu z učebny. Druhou nabízenou variantou je jednotka bez opláštění, která je určena pro zakomponování do stavební konstrukce, např. nad sádkartonový podhled (obr. 6.15, obr. 6.16). Standardní instalace jednotek je horizontální (podstropní), lze se však setkat i s instalací vertikální. Přívodní vyústky jsou šterbinové, odvod vzduchu je řešen přes jednu standardní čtyřhrannou výúst umístěnou pod stropem.

Jednotky v sobě obsahují veškeré nutné komponenty (ventilátory s EC motory, vzduchové filtry, výměník ZZT, obtokovou těsnou klapku, tlumiče hluku, vzduchovody i distribuční prvky pro přívod a odvod vzduchu). Výfuk a sání čerstvého vzduchu jsou řešeny přes speciálně navrženou žaluzii umístěnou na fasádě objektu, bez nutnosti vytvářet dva samostatné otvory. Sání a výfuk jednotky jsou řešeny v horní části otvorové výplně, což u značně prosklených fasád moderních budov nezpůsobuje problémy s omezením denního osvětlení (obr. 6.15). Jednotky je možné dovybavit dalším příslušenstvím podle projekčního řešení každé učebny. Jednotky jsou navrženy pro plný automatický režim bez nutnosti zásahu uživatele, a to na základě koncentrace CO<sub>2</sub> nebo teploty vzduchu v učebně, lze však dodat i nástěnný ovladač pro individuální ovládání.

### 6.1.6 ZŠ Slivenec

Budova základní školy ve Slivenci (obr. 6.18) je koncipována jako nízkoenergetická (pasivní), což vedlo k instalaci nuceného větrání se zpětným získáváním tepla. Větrání zajišťuje centrální jednotka umístěná ve strojovně vzduchotechniky. V zásadě se jedná o obdobné řešení popisované v odstavci 6.1.2, kdy jsou vzduchovody vedeny v chodbě, odkud jsou realizovány odbočky do jednotlivých učeben. Přívod venkovního vzduchu je samostatný do každé učebny. Odvod vzduchu je v tomto případě proveden centrálně



**Obr. 6.18** ZŠ Slivenec (zdroj: ZŠ Slivenec, Atrea)

z chodby. Propojení učeben a chodby zajišťují převáděcí otvory. Využití chodby pro vedení vzduchovodů je patrné z obr. 6.19.

### 6.1.7 Novostavba mateřské školy

Nová mateřská škola z roku 2014 na malém městě ve Středočeském kraji (obr. 6.20) je příkladem budovy, kdy architektonický koncept podstatně ovlivňuje vnitřní prostředí v učebnách. Jedná se o lehkou stavbu, bez akumulční hmoty, výrazný je zde podíl zasklení, jehož převážná část je orientována na jih. Vnější zastínění oken je zajištěno horizontálními stínící prvky a má tak pouze omezený účinek. Budova je vybavena nuceným větráním, které zajišťuje větrací jednotka se ZZT, průtok větracího vzduchu do učeben je dimenzován na 740 m<sup>3</sup>/h, což je z hlediska hygienických požadavků zcela dostatečné.

Průběh koncentrace CO<sub>2</sub> ve vnitřním prostoru učebny je velmi příznivý (pod 1000 ppm), viz obr. 2.12. (třída M). Naproti tomu teplota vnitřního vzduchu v učebně této MŠ dosahuje v zimním období roku hodnot až 32 °C, viz obr. 2.14 (třída M). Důvodem takto vysoké teploty je nevhodný provoz budovy, resp. technických systémů. Vzduchotechnická jednotka ohřívá vzduch během provozních hodin objektu na konstantní teplotu, která odpovídá požadované teplotě vzduchu v místnosti (20 až 22 °C), pokud dojde během dne k nárůstu tepelných zisků (28 dětí, 2 vyučující, zisky od oslnění), bude teplota vzduchu stoupat. Díky tepelně-technickým vlastnostem obvodových stěn budovy jsou tepelné ztráty prostupem poměrně nízké, a pokud tepelný zisk převyší tepelnou ztrátu, dojde k nárůstu teploty vzduchu v prostoru. V takovém případě musí technické systémy budovy vč. vzduchotechniky zareagovat. Distribuce vzduchu v místnostech je realizována vířivými anemostaty, což je naprosto v pořádku a lze tedy venkovní chladný vzduch využít pro odvod tepelné zátěže (neohřívát ho na tak vysokou teplotu, nebo využít obtoku ZZT – viz odstavec 5.2). Regulace vzduchotechnické jednotky musí zareagovat nejen na kvalitu vzduchu (CO<sub>2</sub>), ale rovněž na teplotu vzduchu v místnosti.



**Obr. 6.19** Návrh vzduchotechniky ZŠ Slivenec  
(zdroj: Atrea, autor návrhu VZT: Ing. Zdeněk Zikán)



**Obr. 6.20** MŠ ve Středočeském kraji  
(zdroj: archiv autora, foto dne 8. 8. 2016 11.30)



Dalším problémem je zajištění provozu a údržby. Pracovníci údržby odpovědní za chod a provoz vzduchotechniky nejsou dostatečně proškoleni, podle dostupných informací dokonce vysávají filtry vysavačem. V učebnách předmětné MŠ se tak nacházel všudypřítomný prach.

### 6.1.8 Závěry a zobecnění

Zásadním omylem architektů dnešní doby je navrhování občanských staveb (vč. školských budov) s neotevíratelnými okny. Nucené větrání v podobě větrací jednotky se zpětným získáváním tepla je dobré řešení pro zimní provoz, ovšem není všespasitelné. Zejména v přechodovém a teplém období roku dochází k problémům s vysokou teplotou vzduchu v učebnách. Větrací zařízení se většinou navrhuje na minimální průtok venkovního vzduchu pro osoby, který ovšem pro odvod letní tepelné zátěže většinou nepostačuje. V případě, že otopná soustava již není v provozu, lze tam, kde to venkovní ovzduší umožňuje, s výhodou využít provětrávání. Přirozené větrání otevíratelnými okny umožňuje dosáhnout daleko vyšší intenzity větrání (v zimě z energetických důvodů nežádoucí).

Stejně tak nelze předpokládat, že nucené větrání se uplatní pro noční chlazení v letním období, kdy teploty venkovního vzduchu dosahují relativně nízkých hodnot. Využití větrání v nočních hodinách pro předchlazování akumulací hmoty stavebních konstrukcí domu funguje pouze za určitých podmínek. Základním předpokladem pro předchlazení budovy je přítomnost akumulací hmoty budovy. Další podmínkou je zajištění poměrně značné intenzity větrání – noční větrání má smysl provozovat s intenzitami větrání řádově 4 až 8 h<sup>-1</sup> [36], což jsou hodnoty, na které se běžně hygienické větrání učeben nenavrhuje (to dosahuje hodnot max. 2 h<sup>-1</sup>). Noční chlazení se většinou aplikuje tam, kde lze využít přirozený vztlak pro intenzivní přirozené větrání. Alternativou jsou motoricky ovládaná křídla oken. Předpokladem je však zajištění bezpečnosti budovy proti vniknutí cizích osob.

U budovy popisované v předchozím odstavci 6.1.7 nemůže noční větrání za účelem předchlazení v principu fungovat. Budova nedisponuje dostatečnou akumulací hmotou, okna jsou neotevíratelná – nelze využít přirozený přívod vzduchu a nuceným větráním nelze dosáhnout tak vysokých intenzit větrání.

Nezbytným předpokladem pro správný chod nuceného větracího zařízení je řádná údržba a servis. Je nutno si uvědomit, že větrací systém je strojní zařízení a jako takový vyžaduje určitou pozornost. Je jisté, že za servisní úkony je nutno platit, ovšem z pohledu bezvadného chodu jsou takové náklady nezbytné. Problematika provozu a údržby větracích zařízení je dobře popsána např. v publikaci [62].

Realizace moderních budov nejsou bez chyb a ani jejich provoz se často neobejde bez problémů. Je důležité umět se z chyb druhých poučit. I to byl jeden z cílů předložené publikace, poučit se z chyb, které byly v uplynulých letech napáchány.

## Literatura

- [1] ASHRAE Handbook 2009 Fundamentals. Atlanta: ASHRAE, 2009. ISBN: 978-1-933742-55-7.
- [2] ALFANO, F. et al. Indoor environment and energy efficiency in schools Part 1: Principles. *REHVA Guidebook no. 13*. REHVA. 2010. ISBN 978-2-930521-03-9.
- [3] BAKÓ-BIRÓ, Zs, et al. Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and environment*. 2012, 48: 215-223.
- [4] BEGENI, M., ZMRHAL, V. Větrání učebny základní školy. *Vytápění, větrání, instalace*. 2014, roč. 23, č. 4, s. 180-183. ISSN 1210-1389.
- [5] BEGENI, M., ZMRHAL, V. Dotazníkový průzkum stavu školských budov. In: *portál TZB info* [online]. ISSN 1801-4399. 2015.
- [6] BEGENI, M., ZMRHAL, V. Potřeba energie pro větrání učeben. *Vytápění, větrání, instalace*. 2015, roč. 24, č. 5, s. 218-222. ISSN 1210-1389.
- [7] BEGENI, M., ZMRHAL, V. Potřeba energie na větrání učeben a energetický přínos zpětného získávání tepla. In: *Simulace budov a techniky prostředí*. IBPSA-CZ. Brno 2016.
- [8] BORNEHAG, C. G. et al. Phthalates in indoor dust and their association with building characteristics. *Environmental health perspectives*. 2005. 1399-1404.
- [9] ČAPKA, F., VACULÍK, J. K problematice hygieny na školách první republiky. 2. *konference škola a zdraví*. Brno 2006.
- [10] ČAPKA, F. Gustav Kabrhel zakladatel české hygienické školy a jeho přínos k problematice škola a zdraví. *Škola a zdraví 21*. Brno 2011.
- [11] DARBY, S., et. al. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies, *BMJ* 330 (2005) 223-227.
- [12] DRKAL, F., ZMRHAL, V. *Větrání*. Praha: ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-05181-8.
- [13] DRKAL, F., LAIN, M., ZMRHAL, V. *Klimatizace*. Praha: ČVUT, 2015. ISBN 978-80-01-05181-8.
- [14] CLEMENTS-CROOME, D. J., et al. Ventilation rates in schools. *Building and environment*. 2008. vol. 43.3: pp. 362-367.
- [15] ČERVENÁK, J. Snad nám naše děti prominou? In: *Větrání škol - sborník přednášek*. Společnost pro techniku prostředí. 2013.
- [16] FANG, L., CLAUSEN, G., FANGER, P. O. Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality. *Indoor air*. 1998. vol. 8, no. 2, p. 80-90.

- [17] FANG, L., CLAUSEN, G., FANGER P. O. Sick building syndrome symptoms caused by low humidity. *Proceedings of healthy buildings*. 2003. Vol. 3, p.1–6. Singapore.
- [18] FANGER, P.O. *Thermal comfort – Analysis and applications in enviromental engineering*. Kingsport Press, Inc., 1972. ISBN 07-019915-9.
- [19] FAUSTMAN, E. M., SILBERNAGEL, S.M., FENSKE, R. A., BURBACHER, T. M., PONCE, R. A. 2000. Mechanisms underlying children's susceptibility to environmental toxicants. *Environmental health perspectives*. 108 (1): 13-21.
- [20] FISK, W. J. Estimates of potential nationwide productivity and health benefits from better indoor environments: an update. *Indoor air quality handbook*. 2000, New York: McGraw-Hill. 4.1-4.36.
- [21] FOJTÍKOVÁ, I., NAVRÁTILOVÁ ROVENSKÁ, K. Influence of energy-saving measures on the radon concentration in some kindergartens in the Czech Republic. *Radiation protection dosimetry* 2014. Vol. 160, No. 1-3, pp. 149-153.
- [22] GILLIAND, F. D., BERHANE, K., RAPPAPORT, E. B., THOMAS, D. C., AVOL, E., GAUDERMAN, W. J., LONDON, S., J., MARGOLIS, H., G., McCONNELL, R., ISLAM, K.T., PETERS, J.M. The effects of ambient air pollution on school absenteeism due to respiratory illness. *Epidemiology*. 2001. vol. 12 (1), pp. 43-54.
- [23] GREEN P. Multi-ethnic teaching and the pupil's concept. In: *DES 1985, Education for all (The Swann Report)*. London: HMSO Cmnd 9453.
- [24] HEMERKA, J. Filtrace při všeobecném větrání obytných místností. *Vytápění, větrání, instalace*. 2013, roč. 22, č. 2, s. 68-73. ISSN 1210-1389.
- [25] HWANG, J. S., CHEN, Y. J., WANG, J. D., LAI, Y. M., YANG, C. Y., CHAN, C. C. Subject-domain approach to the study of air pollution effects on schoolchildren's illness absence. *American journal of epidemiology*. 2000, vol. 152 (1): 67-74.
- [26] JINDRÁK, M. Větrání ve školách – požadavky a realita. *Tepelná ochrana budov*. 2013, roč. 16, č. 3, s. 20-24. ISSN 1213-0907.
- [27] JIRÁNEK, M. Zvýšení intenzity větrání – vhodné opatření pro domy s vyšším obsahem přírodních radionuklidů ve stavebním materiálu. *Vytápění, větrání, instalace*. 2015, č. 2, s. 66-71.
- [28] JIRÁNEK, M., HONZÍKOVÁ, M. *Radon – stavební souvislosti I*. ČVUT v Praze, 2012.
- [29] JIRÁNEK, M., HONZÍKOVÁ, M. *Radon – stavební souvislosti II*. ČVUT v Praze, 2013.
- [30] JIRÁNEK, M. Vliv energetických sanací na koncentraci radonu v domě. *Radon bulletin*. Prosinec 2013.
- [31] KABRHEL, G. *Větrání a vytápění škol*. Vídeň: Nákladem Josefa Šafáře, 1903.
- [32] KOTLÍK, B., VRBÍKOVÁ, V., KAZMAROVÁ, H., MIKEŠOVÁ, M. Monitoring znečištění ovzduší ve školách – mezinárodní projekt SINPHONIE. *Vytápění, větrání, instalace*. 2015, roč. 24, č. 3, s. 113-117. ISSN 1210-1389.
- [33] KUČERA, M. Šíření zvuku dělicími stěnami. *Topenářství instalace*. 2015, ročník 49, číslo 1, s. 20-24. ISSN 1211-0906.
- [34] KUČERA, M. Hodnocení hluku v bytové zástavbě. *Topenářství instalace*. 2014, ročník 48, číslo 5, s. 28-34. ISSN 1211-0906.
- [35] KRATĚNOVÁ, J., PUKLOVÁ, V. *Výskyt astmatu a alergií u dětí*. Státní zdravotní ústav. 2015.
- [36] LAIN, M. *Nízkoenergetické chlazení budov*. Praha, 2008. Disertační práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní.

- [37] LAJČÍKOVÁ, A. Vnitřní prostředí a zdraví. *Vytápění, větrání, instalace*. 2012 roč. 21, č. 5, s. 234 - 237. ISSN: 1210-1389.
- [38] LANDRIGAN, P. J. Environmental hazards for children in USA. *Occup med environ health*. 1998, 11, pp. 189-94.
- [39] LEVIN, B. *Organizational influences on educational productivity*. Greenwich, Conn. [u.a.]: Jai Press, 1995. ISBN 9781559389532.
- [40] LIMB, M. J. *A Review of international ventilation, airtightness, thermal insulation and indoor air quality criteria*. Air infiltration and ventilation centre. Coventry, Spojené království, 2001.
- [41] MAKINO, K. Association of school absence with air pollution in areas around arterial roads. *Journal of epidemiology*. 2000, vol. 10.5, pp. 292-299.
- [42] MATHAUSEROVÁ, Z., MORÁVEK P. *Větrání kuchyní. Sešit projektanta č. 1*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2000.
- [43] MENDELL, Mark J., et al. Association of classroom ventilation with reduced illness absence: a prospective study in California elementary schools. *Indoor air*. 2013, 23.6: 515–528. Buildings. *Indoor air*. 1999, 9.4: 226-252.
- [44] MIKEŠOVÁ, M., KOTLÍK, B., KAZMAROVÁ, H. Měření kvality vnitřního prostředí: Závěrečná zpráva z měření kvality vnitřního prostředí a mikroklimatických parametrů ve školách [online]. Státní zdravotní ústav. 2008. Dostupné z: <http://www.szu.cz>
- [45] MORÁVEK P., BAŽANT, M., MÜLLER, J., ZIKÁN, Z. *Nový systém větrání školských objektů*.
- [46] MYHRVOLD, A. N., OLSEN, E., LAUDRIDSEN, O. Indoor environment in schools – pupils health and performance in regard to CO<sub>2</sub> concentrations. In: *Indoor air '96: Proceedings of the 7th International conference on Indoor air quality and climate*. July 21-26, 1996, Nagoya, Japan, s. 369-74.
- [47] NOVÝ, R. *Hluk a chvění*. Vydavatelství ČVUT. Praha 1995.
- [48] NOVÝ, R., KUČERA, M., HRUŠKA, A. *Hluk strojovny VZT* [autorizovaný software]. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí. Praha. 2010.
- [49] PILOTTO, L. S., et al. Health effects of exposure to cyanobacteria (blue-green algae) during recreational water-related activities. *Australian and New Zealand journal of public health*. 1997. pp. 562-566.
- [50] PILCHER, J., J.; NADLER, E., BUSCH, C. Effects of hot and cold temperature exposure on performance: a meta-analytic review. *Ergonomics*. 2002, vol. 45.10: 682-698.
- [51] PULKRÁBEK, J. *Větrání*. 1957. Praha: SNTL.
- [52] PURKYNĚ, J. E. *Topení a větrání obydlí lidských*. Praha: I. L. Kober Knihkupectví 1891.
- [53] PURKYNĚ, J. E. *Ústřední topení a větrání. Díl I. Ústřední topení*. Praha: Česká matice technická, 1900.
- [54] RANSOM, M. R., POPE, C. A. Elementary school absences and PM 10 pollution in Utah Valley. *Environmental research*. 1992, 58.1: 204-219.
- [55] RICHARDS, W. Allergy, asthma, and school problems. *Journal of school health*. 1986, 56, s. 151-2.
- [56] SENSHARMA, N. P., WOODS, J., E., GOODWIN, A., K. Relationships between the indoor environment and productivity: a literature review. *Ashrae transactions*. 1998, vol 104: pp. 686.

- [57] SMEDJE, G., NORBACK, D., EDLING, C. Mental performance by secondary school pupils in relation to the quality of indoor air. In: *Indoor Air '96: Proceedings of the 7th International conference on indoor air quality and climate*. July 21-26, 1996, Nagoya, Japan, s. 413-19.
- [58] SKÁCEL, F., GUSCHLOVÁ, Z., TEKÁČ, V. *Azbestová a minerální vlákna ve vnitřním ovzduší*.
- [59] SRBEK, F. *Ventilace a topení škol*. Praha: Knihotiskárna Politiky, 1898.
- [60] STRØM-TEJSEN, P., WYON, D. P., LAGERCRANTZ, L., FANG, L. Passenger evaluation of the optimum balance between fresh air supply and humidity from 7-hour exposures in a simulated aircraft cabin. *Indoor air*. 2007. vol. 17(2), 92–108.
- [61] ŠTÁVOVÁ, P. Výpočet intenzity větrání při rovnovážné koncentraci CO<sub>2</sub> [autorizovaný software] NCalc 3.0
- [62] TOMAN, S. *Předávání klimatizačních a větracích zařízení do provozu. Sešit projektanta*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 1996.
- [63] TYWONIAK, J., SOJKOVÁ, K. “Near-to-zero-energy floor” in a campus building from 1971. *Energy procedia*. 2015. Issue 78, pp. 1069–1074.
- [64] WARGOCKI, P., WYON, D. P. Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective. *Building and environment*. 2013, 59: 581-589.
- [65] WARGOCKI, P. et al. The effects of electrostatic particle filtration and supply-air filter condition in classrooms on the performance of schoolwork by children (RP1257). *HVAC&R research*. 2008, 14.3: 327-344.
- [66] WELLENDORF, V. *Topení a větrání budov*. Praha: Nakladatel O. Pyšvejc knihkupec, 1930.
- [67] WRAY, C. *Guidelines for residential commissioning, LBNL-48767*. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 2001.
- [68] WYON, D. P., WARGOCKI, P. *Indoor environmental effects on the performance of school work by children (1257-TRP)*. ASHRAE. 2007.
- [69] WYON, D. P. The effects of indoor air quality (IAQ) on performance, behaviour and productivity. *Pollution atmosphérique*. 2005. pp. 35-41.
- [70] WYON, D. P., FANG, L., MEYER H. W., SUNDELL, J., WEIRSØE, C. G., SEDERBERG-OLSEN, N., TSUNUMI, H., AGNER, T., FANGER, P. O., Limiting criteria for human exposure to low humidity indoors. In: *Proc. of Indoor air 2002*. Monterey: pp. 400–405.
- [71] ZMRHAL, V.; DRKAL, F.; MATHAUSEROVÁ, Z. Směrnice STP-OS 01/č.3/2010 Operativní teplota v praxi. *Vytápění, větrání, instalace*. 2010, 19. ročník, číslo 5.
- [72] ZMRHAL, V. Znečišťující látky z vnitřního prostředí. In: *Větrání škol – sborník přednášek*. Společnost pro techniku prostředí. 2013.
- [73] ZMRHAL, V. Větrání do škol. *Vytápění, větrání, instalace*. 2014, roč. 23, č. 3, s. 148–149. ISSN 1210-1389.
- [74] ZMRHAL, V. *Větrání rodinných a bytových domů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2014, 93 s. ISBN 978-80-247-4573-2.
- [75] ZMRHAL, V., DUŠKA M. Potřeba energie pro větrání obytných budov. *Vytápění, větrání, instalace*. 2012, roč. 21, č. 1, s. 2-7. ISSN 1210-1389.
- [76] ZMRHAL, V. Produkce tepla osob jako podklad pro energetické simulační výpočty. In: *Konference Simulace budov a techniky prostředí 2016*. Brno: IBPSA-CZ, 2016.
- [77] ZMRHAL, V., ŠTÁVOVÁ, P. Bilance vlhkosti v obytném prostředí. *Vytápění, větrání, instalace*. 2011, roč. 20, č. 3, ISSN 1210-1389.

## Zákonné předpisy:

- [78] Zákon č. 226/1922 Sb., jímž se mění a doplňují zákony o školách obecných a občanských.
- [79] Zákon č.183/2006 Sb., stavební zákon.
- [80] Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší.
- [81] Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů č. 258/2000 Sb. z 14. 7. 2000, v platném znění.
- [82] Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon.
- [83] Nařízení vlády č. 178/2001, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci.
- [84] Nařízení vlády č. 93/2012 Sb. Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění nařízení vlády č. 68/2010 Sb.
- [85] Nařízení č. 272/2011 Sb. Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.
- [86] Vyhláška č. 137/1998 Sb., o obecných technických požadavcích na výstavbu.
- [87] Vyhláška č. 464/2000 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity venkovních hracích ploch.
- [88] Vyhláška č. 107/2001 Sb., o hygienických požadavcích na stravovací služby.
- [89] Vyhláška č. 108/2001 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na prostory a provoz škol, předškolních zařízení a některých školských zařízení.
- [90] Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.
- [91] Vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých, ve znění pozdějších předpisů (vyhláška č. 343/2009 Sb.).
- [92] Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, ve znění pozdějších předpisů (vyhláška č. 20/2012 Sb.).
- [93] Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.
- [94] Nařízení Komise (EU) č. 1253/2014 ze dne 7. července 2014, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign větracích jednotek.

## Technické normy a směrnice:

- [95] ČSN EN 15251: 2011. Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky. Praha: ÚNMZ.
- [96] ČSN EN 13779: 2010. Větrání nebytových budov – Základní požadavky na větrací a klimatizační systémy. ÚNMZ.
- [97] ČSN EN 12 831: 2005. Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu. ÚNMZ.

- [98] ČSN EN ISO 3744: 2011. Akustika – Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Technická metoda pro přibližně volné pole nad odrazivou rovinou. ÚNMZ.
- [99] ČSN EN 15780: 2012. Větrání budov – Vzduchovody – Čistota vzduchotechnických zařízení. ÚNMZ.
- [100] ČSN EN ISO 7730: 2006. Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu. Praha: ÚNMZ.
- [101] ČSN EN ISO 7933: 2005. Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného stresu pomocí výpočtu předpovídané tepelné zátěže. Praha: ÚNMZ.
- [102] ČSN EN ISO 8996: 2005. Ergonomie tepelného prostředí – Určování metabolismu. Praha: ÚNMZ.
- [103] ČSN 73 0601: 2006. Ochrana staveb proti radonu z podloží. ÚNMZ.
- [104] ČSN 73 0540: 2011. Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. ÚNMZ.
- [105] VDI 6040-1: 2011. Raumluftechnik Schulen Anforderungen.
- [106] VDI 6040-2: 2014. Raumluftechnik – Schulen – Ausführungshinweise (VDI-Lüftungsregeln, VDI-Schulbaurichtlinien).
- [107] VDI 2052: 2006. Raumluftechnische Anlagen für Küchen.
- [108] 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.

## Ostatní podklady a dokumenty:

- [109] Metodický pokyn pro návrh větrání škol [online]. SFŽP, 2015. Dostupné z: <http://www.opzp.cz/dokumenty>
- [110] Směrnice upravující zdravé životní prostředí v evropských školách [online]. 2014, European Union. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/sinphonie>
- [111] Znečištění vnitřního prostředí škol a zdraví. Exekutivní souhrn závěrečné zprávy [online]. 2014, European Union. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/sinphonie>
- [112] Acoustic design of schools: performance standards. Building bulletin 93. Department for Education. 2015.
- [113] WHO handbook on indoor radon, a public health perspective. 2009. WHO.
- [114] WHO: Air Quality Guidelines for Europe, Second Edition, European Series, No. 21, ISBN 13583, ISSN 0378-2255, Copenhagen 2000.
- [115] The right to healthy indoor air. Report on WHO meeting. 2000. WHO.
- [116] BINE Informationsdiest. Lüften in Schulen. Bessere Lernbedingungen für junge Menschen. 2015.
- [117] LXIV. výzva MŽP [online]. Dostupné z: [http://www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/53/16046-opzp\\_lxiv\\_vyzva\\_01\\_2015.pdf](http://www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/53/16046-opzp_lxiv_vyzva_01_2015.pdf)
- [118] Usnesení vlády ČR, vymezující rámec Radonového programu ČR – Akčního plánu [online]. Dostupné z: <http://www.radonovyprogram.cz>

- [119] Znečištění ovzduší na území České republiky. Grafická ročenka ČHMÚ 2014 [online]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/14groc/gr14cz/Obsah\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/14groc/gr14cz/Obsah_CZ.html)
- [120] Český statistický úřad. [online]. Dostupné z: [http://www.czso.cz/csu/dyngrafy.nsf/graf/cr\\_od\\_roku\\_1989\\_skoly](http://www.czso.cz/csu/dyngrafy.nsf/graf/cr_od_roku_1989_skoly)
- [121] Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy [online]. Dostupné z: <http://www.msmt.cz>
- [122] Základní škola Líbeznice [online]. Dostupné z: <http://www.projektil.cz/cs/project/elementary-libeznice>
- [123] Růstové grafy [online]. Dostupné z: <http://www.szu.cz>
- [124] The ESP-r System for Building Energy Simulation – User Guide Version 10 Series. Glasgow: University of Strathclyde.
- [125] Koncept větrání. ČKLOP 2017. Dosud nepublikováno.





# Rejstřík

## A

aerosol 54, 55, 57, 60, 61  
akumulace 34, 37, 42, 106, 111, 122, 127, 128  
akustika 39, 73, 78  
alergie 11, 17, 57  
astma 11, 12, 17, 57  
atomový zákon 64  
azbest 52

## B

benzen 12, 52, 53, 54, 58, 59, 61  
benzo[*a*]pyren 53, 59, 60, 61  
bilance větrané místnosti 70  
boletický panel 52

## Č

částice 11, 13, 24, 45, 53, 54, 56, 57, 60, 61  
činitel pohltivosti 78, 79, 81  
činitel průzvučnosti 74  
čistota ovzduší 44

## D

diskomfort 33  
distribuce vzduchu 24, 59, 109, 121  
doba dozvuku 78

## E

EC motor 119, 126  
energetická náročnost budov 11, 15, 16  
energetický výdej 40  
energie 88, 92, 93, 111  
    akustická 73, 78  
    cena 110, 123  
    elektická 115  
    potřeba 91, 92, 93, 94, 108, 109, 110, 111

spotřeba 83, 87, 103  
úspory 11, 30

## F

faktor znečišťujících látek 62  
filtrace 46, 62, 63, 83, 84, 85, 92  
formaldehyd 12, 46, 51, 52

## H

hladina  
    akustického tlaku 73, 75, 79, 81, 88  
    akustického výkonu 79, 80, 133  
    ekvivalentní 75  
hlavice 23  
hluk 11, 29, 72, 73, 74, 75, 77, 81, 91, 92, 93,  
    94  
    aerodynamický 75

## I

IAQ 45  
infiltrace 84, 90  
intenzita větrání 15, 37, 38, 48, 49, 64, 65,  
    67, 101, 102, 104

## K

kalorifer 23  
karcinogen 51, 52, 59, 60  
koncentrace 11, 12, 13, 33, 34, 35, 36, 37, 38,  
    46, 47, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58,  
    59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69,  
    70, 71, 72, 84, 87, 88, 95, 96, 97, 98, 99,  
    100, 101, 102, 126, 127  
    přípustná 70, 71, 96, 105  
kondenzace 57, 60, 108  
konvekce 24

kulový teploměr 43

kvalita

venkovního ovzduší 62

vnitřního ovzduší 29, 31, 46, 62, 68, 83, 95

## L

letargie 11, 46, 47

limit 38, 52, 53, 54, 56, 58, 60, 61, 73, 77

limity

emisní 55

imisní 53, 54, 58, 61

## M

měření a regulace 88

metabolický tok 40

metabolit 15

metodický pokyn 71

mikroventilace 14, 26, 30, 84, 90

množství vzduchu 20, 85, 112

## N

naftalen 52

náklady 64, 65, 103, 109, 113, 114, 115, 128

## O

odér 50

odvětrání podloží 98, 99, 101

ohřev vzduchu 84, 88, 111

ospalost 11, 46, 47

osvětlení 11, 39, 121, 126

otopná soustava 84, 88, 92, 93, 105, 108, 128

oxid

dusičitý 52, 54, 55, 61

dusnatý 55

siřičitý 53, 54

uhelnatý 52, 53, 54, 56, 61

uhličitý 13, 15, 25, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 46, 47, 48, 49, 56, 68, 69, 70, 71, 72, 84, 87, 88, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 102, 105, 121, 124, 126, 127, 131

ozáření 64

ozon 52, 53, 54, 58

## P

pachy 50, 86, 87

percentil 41, 47

percentilové grafy 47

pevné částice 57

plíseň 12, 48, 84

pobytové prostory 44, 65

podtlak 64

polyaromatické uhlovodíky 59, 60, 61

prach 23, 53, 128

produkce

tepla 39, 40

vodní páry 41, 48

prostředí

pracovní 25, 44

vnitřní 11, 12, 13, 44, 45, 46, 48, 51, 52, 83

protiradonové opatření 65, 101

provětrávání 85, 90, 91, 115

provoz a údržba 88, 128

předehřev 88

příkon 109, 110, 115

## R

radon 46, 63, 64, 68, 98, 102, 130

radonový index 98

referenční klimatický rok 111

regulace 23, 91, 92, 93, 94, 127

regulace průtoku 72, 87, 109

relativní vlhkost 12, 42, 43, 44, 49, 50

rychlost proudění 40, 44

## S

sálání 42

Sick Building Syndrome 11

simulační výpočty 112

sluneční záření 42

směrový činitel 79, 80

soustředění 11, 50

spalovací procesy 59

stav

duševní 39

fyzický 39

## Š

šíření zvuku 80

škodlivina 11, 13, 15, 46, 50, 57, 67, 71

## T

těkavé organické látky 46, 50, 51, 55

tělesné parametry 40

tepelná  
  bilance 106  
  pohoda 39, 42  
  rovnováha 42  
  zátěž 12, 35, 40, 42, 60, 83, 87, 88, 105,  
    106, 108, 109, 111, 112, 113, 127, 128  
  ztráta 12, 90, 91, 92, 93, 94, 104, 105,  
    106, 127  
tepelně-technické vlastnosti 83, 104  
tepelný  
  odpor oděvu 39, 40, 41, 42  
  tok 40, 43, 47, 106, 110  
  zisk 88, 106, 112, 127  
teplota  
  operativní 43  
  střední radiační 40, 42, 43  
  venkovního vzduchu 88, 111  
  vnitřního vzduchu 35, 40, 83, 127  
  výsledná 43  
teplotní faktor 105, 115  
těžké kovy 60  
tlumič hluku 74, 75

**U**

úprava vzduchu 44

**V**

ventilátor 74, 86, 87, 91, 94, 100, 111  
větrací jednotka 94, 98, 110, 119, 125  
větrací systém 80, 117, 128  
větrání  
  hybridní 87, 94  
  nárazové 72  
  noční 128  
  nucené 30, 74, 85, 101, 106, 108, 128  
  podle potřeby 47, 106  
  přúvanem 21  
  přirozené 14, 21, 26, 30, 44, 84, 90, 91,  
    94, 105, 106  
  řízené 84, 106, 108  
vibrace 72  
vlhkost vzduchu 11, 12, 25, 40, 42, 43, 50  
vnitřní prostředí 7, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17,  
  20, 26, 27, 31, 33, 39, 42, 43, 46, 47, 48,  
  53, 63, 68, 83, 84, 98, 103, 105, 111, 115,  
  121, 124, 127  
vodní pára 39, 40, 41, 46, 48, 49  
výkonnost 13  
vysokoteplotní chlazení 124  
vytápění 13, 16, 20, 22, 23, 24, 25, 30, 42,  
  58, 65, 88, 95, 98, 108, 122, 123  
vzduchotechnika 74  
vzduchovod 119

**Z**

zateplování 15, 16, 53, 65  
zdraví 11, 12, 13, 14, 15, 19, 20, 25, 31, 42,  
  46, 50, 51, 53, 54, 55, 57, 58, 60, 61, 64,  
  72  
zdravotní rizika 57  
znečišťující látka 11, 12, 13, 33, 39, 44, 45,  
  46, 53, 54, 58, 60, 61, 62, 63, 83  
zpětné získávání tepla 16, 33, 86, 87, 88,  
  90, 91, 92, 93, 94, 102, 105, 106, 108,  
  109, 111, 112, 113, 114, 115, 117, 123,  
  124, 126, 127, 128



## Lektorské posudky

■ Již titul publikace *Větrání škol* v souvislostech ukazuje na přístup autora k danému tématu. Větrání školských objektů neřeší v imaginárním prostředí, ale se spoluautory ukazuje, jak tento technický problém souvisí s problematikou nejen hygienickou, ale i společenskou a nevyhýbá se i kritickému hodnocení některých platných předpisů. Cílem publikace je zlepšit kvalitu prostředí našich škol. Publikace přináší podstatné, původní informace, které zřizovateli, stavebníku i projektantu přispějí k orientaci při rekonstrukcích i výstavbě nových školských budov. Kromě partií, které pojednávají o zdrojích znehodnocování prostředí ve školách, obsahuje publikace výsledky studií i přehled možných systémů větrání, včetně jejich provozních charakteristik a energetických nároků. Při hodnocení energetických nároků autoři jasně poukazují na skutečnost, že i v období snah o snížení spotřeby energie je kvalita prostředí, zvláště pro mladou generaci, prioritní.

*prof. Ing. František Drkal, CSc.*

■ Špatně formulované předpisy spolu s nekompetentním přístupem rozhodujících osob, laxním přístupem zodpovědných orgánů, v kombinaci s nepoučenými projektanty, vytváří zvláštní směs nedůvěry a nechuti akceptovat potřebná nová řešení. Výsledkem jsou budovy nesplňující (kromě dalších) oprávněné požadavky na kvalitní vnitřní prostředí. Jednou z cest, jak nedobrá stav překonávat, je šíření srozumitelně formulovaných informací. Dobrým příkladem takových aktivit je tato publikace, která v českém prostředí velmi chyběla. Pozoruhodné je, jak se s problémem již před více než sty lety popsaným – a to do jisté míry včetně návodů na řešení, neumíme v širším měřítku dobře vyrovnat ani dnes. Není to jen otázka česká, s podobným problémem se potýkají (nebo potýkali) i v okolních zemích.

O možnostech vhodného koncepčního přístupu svědčí kromě několika zde uvedených příkladů i řada kvalitních novostaveb i modernizací školních budov do pasivního standardu, které je možné například vyhledat v mezinárodních databázích pasivních budov a v zahraničních publikacích.

Snaha o snižování energetické náročnosti budov nikdy neměla být zúžena na diskusi o tom, kolik centimetrů tepelné izolace bude na fasádu přidáno a jaká okna budou nově osazena, jak se stalo v České republice před několika lety. Současně není korektní vinit obce, že s využitím dotačních prostředků provedly stavební úpravy, jejichž součástí byly výměny oken, aniž bylo řešeno větrání. Neřešily to ani předtím. I kdyby si

problému byly vědomy, často nemohly najít finanční zdroje – vždyť dotace pokryly jen část tzv. uznatelných nákladů, zbytek a další vyvolané náklady musela obec hradit z vlastních zdrojů. V dřívější době k uznatelným nákladům nepatřily ani žaluzie, které mohou zásadním způsobem omezit riziko přehřívání učeben, jak se v knize správně připomíná, natož vzduchotechnika. Takže můj obdiv patří osvěceny lokálním politikům, když jedno nebo druhé byli schopni prosadit. A jinde se projektovalo nikoliv s cílem nalezení nejlepšího řešení, ale maximalizace dotace.

Trestné body ode mě získává novostavba mateřské školy oprávněně kritizovaná v odstavci 6.1.7. Horizontální slunolamy fungují jistě skvěle v době letních prázdnin – foto z 8. srpna před polednem to dokumentuje – ale ve slunečném dnu na konci zimy nebo na jaře jsou celkem k ničemu. Instalaci neotvíravých oken považují také za chybu. Střešním světlíkům u budovy v odstavci 6.1.3 by jistě také pomohlo, kdyby byly tvarovány tak, aby se do interiéru s dostatečným denním světlem nedostávaly nežádoucí tepelné zisky. Konstrukce světlíku jako současného nosiče fotovoltaického panelu na osluněné straně se zde přímo nabízí.

Přeji autorskému kolektivu, aby pro další vydání této potřebné publikace mohl vybrat z mnoha nových úspěšných příkladů novostaveb i přestaveb škol a dále diskutovat vztah mezi celkovými stavebními náklady (jsou vůbec i při instalaci vzduchotechniky vyšší, pokud je projekční řešení opravdu optimalizováno?) a garantovanou kvalitou vnitřního prostředí (kdo ji finančně ocení?). Za důležité téma považuji i hledání „robustních“ technických řešení, která nebudou zatěžovat zaměstnance školy, ani při běžném užívání, ani při potřebné údržbě zařízení.

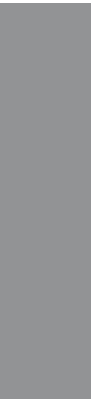
*prof. Ing. Jan Tywoniak, CSc.*







A series of 20 horizontal dotted lines for writing.







VĚTRACÍ JEDNOTKY  
**OBČANSKÉ A PRŮMYSLOVÉ  
STAVBY**



**OBČANSKÉ A PRŮMYSLOVÉ STAVBY**

Univerzální větrací jednotky s výkony 500–15000 m<sup>3</sup>/h, s rekuperací tepla, ohřevem, chlazením a cirkulací

DUPLEX Multi / MultiEco  
DUPLEX Basic  
DUPLEX Flexi  
DUPLEX Roto

SYSTÉMY VĚTRÁNÍ  
**RODINNÉ DOMY,  
BYTY A BAZÉNY**



**RODINNÉ DOMY, BYTY A BAZÉNY**

Systémy větrání s rekuperací tepla, teplovzdušného vytápění a chlazení pro rodinné a bytové domy vč. systémů regulace. Zdroje tepla a chladu, integrované zásobníky tepla.

DUPLEX Easy  
DUPLEX EC5 / ECV5  
DUPLEX R5

VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE

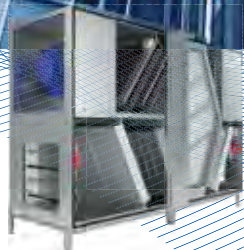
**velko KUCHYNĚ**



(VELKO) **KUCHYNĚ**

Větrací a klimatizační zařízení a systémy pro kuchyně. Celoplošné větrací a klimatizační stropy, digestoře, rekuperace a regulace. Možnost UV-C filtrace.

Větrací stropy – TPV a SKV  
Digestoře



DUPLEX Multi



Tepelné čerpadlo  
TCA 3.1



DUPLEX EC5

**Výrobní program ATREA**

Zásadním principem výrobního programu firmy ATREA s. r. o. je již od roku 1990 snižování energetické náročnosti provozu vzduchotechnických zařízení, hlavně uplatněním moderních rekuperačních výměníků, dokonale vestavěné regulace a postupný přechod na plně automaticky řízené systémy větrání.

[www.atrea.cz](http://www.atrea.cz)

ATREA s. r. o. • Československé armády 32, 466 05 Jablonec nad Nisou • T: (+420) 483 368 111 • E: atrea@atrea.cz

nová  
zelená  
úsporám



DOMY  
**NÍZKOENERGETICKÉ,  
PASIVNÍ, NULOVÉ  
A PLUSOVÉ**



Poradenství • Vzorový dům  
Architektura • Projekce • Realizace

KVALITNÍ ARCHITEKTURA A DESIGN  
KOMFORTNÍ A ZDRAVÉ BYDLENÍ  
NÍZKÁ ENERGETICKÁ NÁROČNOST  
OHLEDUPLNOST K ŽIVOTNÍMU PROSTŘEDÍ  
OPTIMÁLNÍ EKONOMICKÉ ŘEŠENÍ

[www.domyatrea.cz](http://www.domyatrea.cz)

# Čerstvý vzduch nejen do školních lavic

## WHISPER AIR

Decentralizovaná rekuperační jednotka



- 3 velikosti s průtoky **400, 700 a 1000 m<sup>3</sup>/h**
- Vysoká účinnost rekuperace až **90 %**
- Velmi tichý provoz **35 dBA**
- Integrované **CO<sub>2</sub> čidlo**
- Energeticky úsporné **EC motory**



### Argumenty pro:

- ✓ Neustálý přívod čerstvého vzduchu
- ✓ Optimální hladina CO<sub>2</sub>
- ✓ Minimální hlučnost
- ✓ Rekuperace tepla až 90 %
- ✓ Úspora energie
- ✓ Vhodné i do stávajících budov
- ✓ Snadná instalace
- ✓ Vhodné pro alergiky a lidi trpící dýchacími potížemi
- ✓ Zamezení tvorby plísní
- ✓ Zamezení únavy a bolestí hlavy z vysoké hladiny CO<sub>2</sub>
- ✓ Zamezení hluku z venkovního prostředí, již není nutné větrat okny



## ŠKOLY - KANCELÁŘE - KNIHOVNY - KONFERENCEČNÍ MÍSTNOSTI



- Přední evropský výrobce v oblasti vzduchotechniky
- Na trhu již více jak 20 let
- Vlastní vývojové oddělení
- Kvalifikovaný tým odborníků s dlouholetými zkušenostmi
- Distributorská síť napříč Evropou, Asií a nově i v Americe

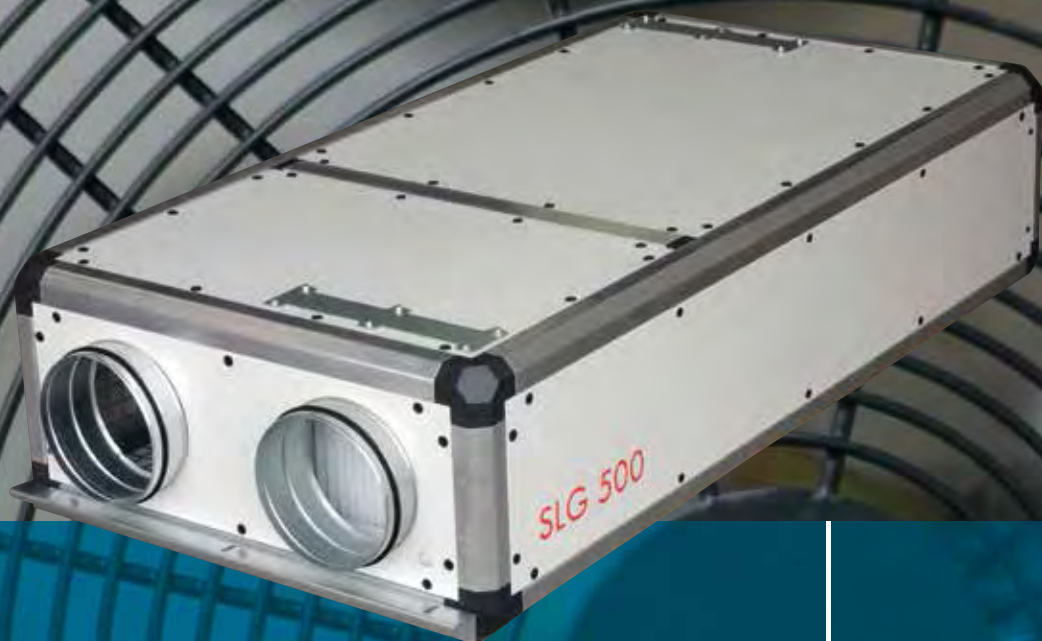


[www.2vv.cz](http://www.2vv.cz)  
[2vv@2vv.cz](mailto:2vv@2vv.cz)

Výhradní zastoupení  
pro ČR a SR



[info@multivac.cz](mailto:info@multivac.cz)  
[www.multivac.cz](http://www.multivac.cz)



# SLG 500

Větrací jednotka s rekuperací tepla pro větrání škol a školek

Made by  
ELEKTRODESIGN

- maximální vzduchový výkon 720 m<sup>3</sup>/h
- max. účinnost 90%
- nízká hlučnost
- kompaktní ventilátory s patentovanou konstrukcí
- vestavěný obtok rekuperátoru – bypass
- integrovaný regulační systém
- čidla kvality vzduchu
- instalace v poloze vertikální i horizontální

90%

max. účinnost  
rekuperace

BP

Bypass

EC

EC motor

ErP

ErP conform

## Distribuce vzduchu ve školách

- Výrazná úspora nákladů
- Rychlá montáž i demontáž
- Dokonale čistitelné
- Precizní distribuce vzduchu dle požadavků  
zákazníka
- Velké množství barevných a tvarových  
kombinací



Posluchárny



Laboratoře



Potisk tkanin - Přihoda Art

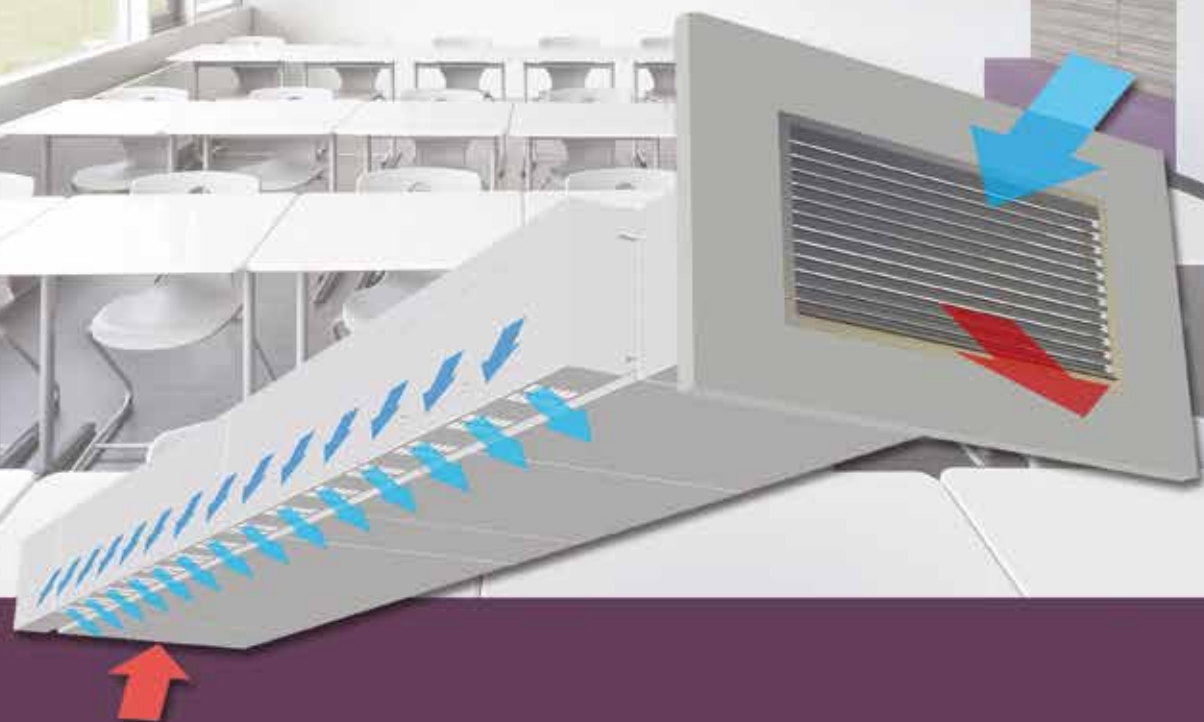
## Více inteligence v distribuci vzduchu

Učebny

# Větrací jednotky pro školy

LTG FVS Univent

*www.ltg-ag.cz*  
*www.ventrání-skol.cz*



- velmi snadné plug&play řešení pro již dokončené budovy
- faktor ZTZ 83 % bez vzniku kondenzace
- splňuje ErP, Ekodesign, VDI 6022
- řešení splňující hlukové limity pro učebny
- SFP1





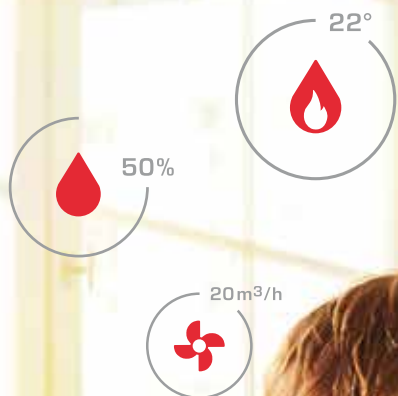
## Systémy větrání škol

Plně funkční větrací systémy ze Švédska

- Centrální i decentrální větrací rekuperační systém
- Systém konstantního/variabilního průtoku vzduchu
- Účinnost rekuperace dle ČSN EN 308
- Splňuje Ecodesign 2016/2018
- Doporučené průtoky vzduchu dle vyhlášky č.410/2005sb. i metodického pokynu Ministerstva životního prostředí
- Ucelený sortiment navazujících distribučních elementů



# PRO NEJDŮLEŽITĚJŠÍ OBJEVY



NEJDŮLEŽITĚJŠÍ OBJEVY SE NEJLÉPE DĚLAJÍ PŘI 22 STUPNÍCH A KONSTANTNÍM PŘÍVODU ČERSTVÉHO VZDUCHU. KOMPAKTNÍ VĚTRACÍ JEDNOTKY WOLF S REKUPERACÍ TEPLA PRO ZRELAXOVANOU MYSL A ZDRAVOU ZVĚDAVOST.

[WWW.WOLFCR.CZ](http://WWW.WOLFCR.CZ)

**WOLF**

## VĚTRÁNÍ

se zpětným získáváním tepla



**Jednotky TOTUS vhodné především pro větrání učeben, tělocvičen a kanceláří.**



- Účinnost rekuperace až 91 % (dle EN 308)
- Maximální průtok vzduchu až 2 124 m<sup>3</sup>/hod
- Vestavěná regulace s odnímatelným LCD panelem
- Komunikace s nadřazeným systémem řízení
- Integrovaná možnost předehřevu vzduchu
- Automatický letní bypass a inteligentní protimrazová ochrana
- Konstrukce z Aluzinku pro instalaci v exteriérech i interiérech
- Splňuje Ecodesign

*Poskytujeme technickou a projekční podporu.  
Nabídku zpracujeme individuálně dle konkrétní poptávky.  
Nabízíme i větší centrální jednotky.*



**tzbinfo**  
www.tzb-info.cz

# Největší stavební portál

pro odborníky v ČR

- ✓ vytápění
- ✓ úspory energie
- ✓ dotace
- ✓ zateplení
- ✓ prostup tepla
- ✓ ohřev vody
- ✓ tepelné ztráty
- ✓ akustika
- ✓ náklady na vytápění
- ✓ požární bezpečnost

*Samostatná rubrika Větrání škol*



# Společnost pro techniku prostředí

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

tel.: 221 082 353, e-mail: [stp@stpcr.cz](mailto:stp@stpcr.cz)

## Poslání organizace

- Posláním Společnosti pro techniku prostředí je zvyšování odborné úrovně oboru technika prostředí, který se zabývá tvorbou vnitřního prostředí budov z hlediska výzkumu a vývoje, výuky, projektování, realizace, provozování a legislativy.
- Společnost pro techniku prostředí je otevřená pro všechny zájemce v oborech klimatizace a větrání, vytápění, osvětlení, ochrana proti hluku a vibracím, zdravotně technické instalace, obnovitelné zdroje energie, posuzování parametrů mikroklimatu prostředí, facility management se zaměřením na technická zařízení budov a v širším kontextu i úspory energií a ochranu ovzduší.

## Pořádáme

- Odborné konference, sympozia, semináře a kurzy.
- Firemní semináře z oboru technika prostředí.
- Podílíme se na pořádání veletrhů a výstav včetně jejich doprovodných akcí.

## Vydáváme

- Časopis „Vytápění, větrání, instalace“.
- Odborné publikace – Sešity projektanta a sborníky z konferencí a seminářů.
- Směrnice Společnosti pro techniku prostředí.

## Nabízíme

- Členství zájemcům o aktuální informace z oboru technika prostředí.
- Zpracování nezávislých odborných studií a posudků – Expertní kancelář Společnosti pro techniku prostředí.
- Přípravu firemních seminářů „na klíč“.
- Rozesílání informací z oboru technika prostředí (novinky, pozvánky na odborné akce) na adresy z databáze Společnosti pro techniku prostředí.

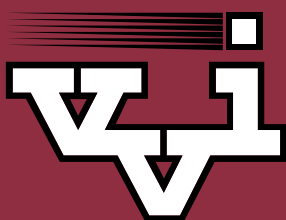
## Mezinárodní spolupráce

- Společnost pro techniku prostředí je zástupcem ČR ve společnosti REHVA (Federation of European Heating and Air-conditioning Associations), je asociovaným členem americké společnosti ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers), naším významným partnerem je tradičně Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia.

Podrobnější informace a aktuální připravované odborné akce:

[www.stpcr.cz](http://www.stpcr.cz)





# VYTÁPĚNÍ VĚTRÁNÍ INSTALACE

## Přinášíme kvalitní odborné informace

- Způsoby řešení a poznatky v následujících oblastech:
 

Vnitřní prostředí budov	Vytápění
Větrání a klimatizace	Chlazení a tepelná čerpadla
Zdroje energie	Zdravotně technické instalace
Ochrana ovzduší	Osvětlení
Snížování hluku a vibrací	Měření a regulace
Facility Management	Tepelná ochrana budov
Úspory energie	Simulační modelování budov a systémů
Normalizace	Hygiena
- Nové výrobky, techniky, tuzemské i zahraniční technologie pro bezchybný a hospodárny provoz budov s příklady použití v praxi.
- Novinky ze zkušebnictví s cílem zlepšování jakosti tuzemské produkce.
- Nové teoretické poznatky v oboru techniky prostředí.
- Nové výpočetní metody a aplikace výpočetní techniky v oblasti techniky prostředí.
- Zajímavosti z oboru techniky prostředí u nás i v zahraničí.
- Nové právní předpisy a technické normy.
- Zajímavá technická řešení z oblasti projektování techniky prostředí staveb.
- Podklady pro práci projektantů.
- Informace o společenském dění v oboru.
- Zprávy o aktivitách „Společnosti pro techniku prostředí“ publikované v informačním zpravodaji (semináře, konference, kurzy, školení, odborné firemní akce, výstavy, činnost expertní kanceláře, nabídka vydaných publikací, nabídka služeb, aktuální zprávy, apod.).
- Členové Společnosti pro techniku prostředí dostávají časopis automaticky.



## Odborný recenzovaný časopis „Společnosti pro techniku prostředí“

[www.stpcr.cz/vvi](http://www.stpcr.cz/vvi)

### Na těchto stránkách najdete:

- úplné texty článků vydaných v letech 1958 až 1991 v časopise Zdravotní technika a vzhodotechnika (předchůdce VVI),
- vyhledávací databázi článků od roku 1958,
- vybrané články VVI,
- informace pro autory a recenzenty,
- informace o předplatném a inzerci.



# Scopus

Časopis Vytápění, větrání, instalace,  
byl zařazen do mezinárodní databáze SCOPUS.

60. ročník  
Ztv + Vvi

**VYTÁPĚNÍ  
VĚTRÁNÍ  
INSTALACE**

1 2017  
26. ROČNÍK Odborný časopis Společnosti pro techniku prostředí  
ISSN 1210-1389 / M.ČR. E. 0050 / 43 Kč

Více jak 25 let na trhu!

PROJEKTOVACÍ SYSTÉMY	VĚTŘACÍ JEDNOTKY DUPLEX PRO BYTOVÉ A KANCELARSKÉ STAVBY	CENTRÁLNÍ SYSTÉMY VĚTRÁNÍ V BYTOVÝCH STAVBÁCH	CENTRÁLNÍ VĚTRÁNÍ
SOUCINNÉ DOMY BYTY A BAZÉNY	SYSTÉMY VĚTRÁNÍ SYSTÉMY S CHLAZENÍM PRO SOUCINNÉ DOMY A BYTY	REKUPERAČNÍ VĚTRÁNÍ SOUČINNÉ BYTOVÉ STAVBY	DECENTRÁLNÍ VĚTRÁNÍ
VELKODOKOVNÉ	HYBRIDNÍ SYSTÉMY VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE S REKUPERACÍ	SPROSTŘEDNÍ SYSTÉMY VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE	REGULACE
DOMY ATRIA	PRÁVNÍ ÚPRAVY SYSTÉMU VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE	VYTVÁŘENÍ OPTIMÁLNÍHO SYSTÉMU VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE	ZOBRAZOVÁNÍ TEPLA

**Atria®**

[www.atrea.cz](http://www.atrea.cz) | [www.rekuperace.cz](http://www.rekuperace.cz) | [www.domyatria.cz](http://www.domyatria.cz)



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Životní prostředí



STÁTNÍ FOND  
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ  
ČESKÉ REPUBLIKY



# OPŽP nabízí dotace i na větrání

Na instalaci systému nuceného větrání s rekuperací odpadního tepla můžete získat dotaci z Operačního programu Životní prostředí! Dotaci získáte i na již zateplené budovy (např. zateplené s dotací z OPŽP 2007–2013).

**Při zateplování budovy sloužící pro výchovu a vzdělávání dětí a mládeže je instalace systému větrání podmínkou.**

## KDO může žádat o dotaci:

- školy a výzkumné instituce
- kraje, obce a jejich dobrovolné svazky
- církve
- státní, příspěvkové, neziskové organizace
- veřejnoprávní instituce, obchodní společnosti

## PODMÍNKY k získání podpory:

Suchá účinnost zpětného získávání tepla musí být minimálně 65 % a systém musí být regulován podle množství CO<sub>2</sub>.

Výše dotace  
**70 %**  
způsobilých  
výdajů

Výše poskytované dotace je omezena částkou  
**400 Kč** bez DPH  
na jednotku výkonu  
vzduchotechnického systému.

## PŘÍKLAD Z PRAXE

### Vzduchotechnika pro střední školu

Střední zemědělská škola se rozhodla zateplit budovu a vyměnit okna s využitím dotace z OPŽP. Ve čtyřpodlažní budově je 25 učeben (kapacita cca 350 studentů). Podmínkou pro získání podpory je i zajištění potřebného větrání, neboť v současnosti škola větrá přirozeně. Systémem nuceného větrání je vybavena pouze kuchyně v nové přístavbě. Škola proto vypracovala projekt na instalaci systému nuceného větrání pro prostory učeben, šaten a hygienického zázemí s odpovídající kapacitou dodávek větracího vzduchu.

Součástí systému bude ohřev přírodního vzduchu a zpětné získávání tepla, přičemž ohřev bude řešen napojením jednotek na rozvod topné vody. Systém je plánován jako kombinovaný, tzn. se dvěma většími vzduchotechnickými jednotkami pro prostory učeben o výkonu 2 × 8 250 m<sup>3</sup>/h, jednou jednotkou o výkonu 2 000 m<sup>3</sup>/h pro prostor šaten a jednou jednotkou o výkonu 2 000 m<sup>3</sup>/h pro prostor hygienického zázemí.

Projektové náklady  
systému větrání:

**9 530 000 Kč**  
(bez DPH)

Výše maximálních způsobilých výdajů:

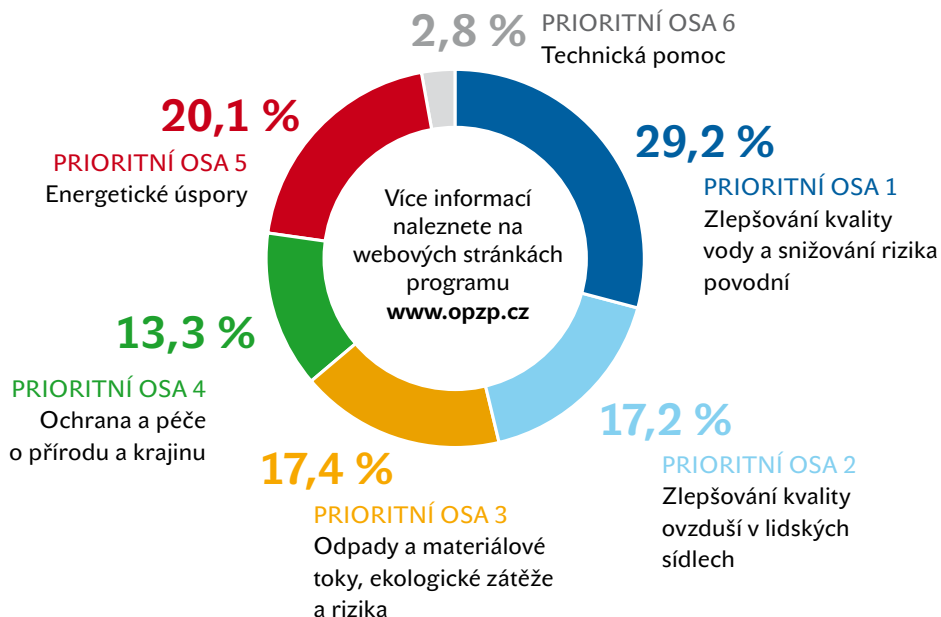
**20 500 m<sup>3</sup>/h × 400 Kč = 8 200 000 Kč**  
(součet výkonů (bez DPH) instal. jednotek) (bez DPH)

Možná dotace 70 %  
ze způsobilých výdajů:

**5 740 000 Kč** (bez DPH)  
tj. 60 % k projektované ceně  
větracího systému

## OPERAČNÍ PROGRAM ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ 2014–2020

Program navazuje na Operační program Životní prostředí 2007–2013. Pro žadatele má přichystáno téměř 73 miliard korun v následujících oblastech:



## ZVÝHODNĚNÉ PŮJČKY Státního fondu životního prostředí ČR

Na financování svého projektu podpořeného z OPŽP můžete získat zvýhodněnou půjčku Státního fondu životního prostředí ČR. Kromě projektů na energetické úspory je možné půjčku získat i na vodohospodářské projekty a projekty nakládání s odpady. Půjčka s úrokovou sazbou od 0,45 % p. a. může být poskytnuta až do výše rozdílu mezi získanou dotací z OPŽP a celkovými způsobilými výdaji na projekt. Více informací o zvýhodněných půjčkách naleznete na [www.sfzp.cz/pujcky](http://www.sfzp.cz/pujcky).

Úroková  
sazba od  
**0,45 %**  
p. a.

# Priorita



## Informační zpravodaj Operačního programu Životní prostředí

Státní fond životního prostředí ČR nabízí zástupcům obcí, veřejným institucím i široké veřejnosti časopis Priorita. Časopis přináší jednou měsíčně aktuální praktické informace o dotační politice Evropské unie a České republiky v oblasti zlepšování životního prostředí.

Priorita je distribuována **zdarma**. Vychází v nákladu **10 800 výtisků měsíčně**.

Kontakt na redakci: [priorita@sfzp.cz](mailto:priorita@sfzp.cz), tel.: 606 831 394. Objednávky na tel.: 267 994 103, e-mail: [distribuce@sfzp.cz](mailto:distribuce@sfzp.cz) či na webových stránkách [www.opzp.cz](http://www.opzp.cz).



## BEZPLATNÁ POMOC žadatelům o dotace

Kromě podrobných informací, které jsou k dispozici na webových stránkách, můžete využít i bezplatnou telefonní linku. Ve všech krajských městech máte navíc možnost využít osobní konzultace na krajských pracovištích SFŽP ČR.

[www.sfzp.cz](http://www.sfzp.cz) • Zelená linka: 800 260 500 • e-mail: [dotazy@sfzp.cz](mailto:dotazy@sfzp.cz)





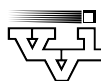
Partneři:



**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**



**tzbinfo**



**VYTÁPĚNÍ  
VĚTRÁNÍ  
INSTALACE**



*Společnost pro techniku prostředí*

Vydala Společnost pro techniku prostředí z. s.  
Novotného lávka 5  
116 68, Praha 1  
stp@stpcr.cz, www.stpcr.cz