Ing. Marek BEGENI
doc. Ing. Vladimír ZMRHAL, Ph.D.
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
Ústav techniky prostředí

Potřeba energie pro větrání učeben

Energy Demand for Classrooms Ventilation

Recenzent
Ing. Václav Šimánek

Příspěvek analyzuje potřebu energie na větrání učeben školských budov pro zajištění odpovídající kvality vnitřního ovzduší v souladu s platnými právními předpisy ČR a provozní náklady s tím spojené. Analýzy zahrnují jak trvalé přirozené a nucené větrání, tak nárazové přirozené provětrávání. Součástí příspěvku je také analýza vybraných lokálních větracích jednotek, která vede ke stanovení konkrétních finančních nákladů na provoz nuceného větrání. Bylo zjištěno, že celkové náklady spojené s provozem trvalého nuceného větrání vybaveného zpětným získáváním tepla s definovanou dávkou vzduchu nejsou pro rozpočet školy nikterak zásadní položkou.
Klíčová slova: *větrání, potřeba energie, učebny, školy*

The paper analyses the energy demand and the operating expenses related to ventilation of classrooms in school buildings, ensuring adequate indoor air quality in accordance with directives of the Czech Republic. The analysis include both natural and forced ventilation and also interrupted natural flow-through ventilation. The paper also contains the analysis of selected local ventilation units, in order to identify the specific financial cost for operating the forced ventilation. It has been found that the total costs related to the operation of the permanent forced ventilation with heat recovery system and defined fresh-air content is by no means essential for the school budget.
Keywords: *ventilation, energy demand, classrooms, schools*

ÚVOD

Problematika větrání škol je často zcela opomíjena, a to nejen v podmínkách ČR, kde převážná většina školských budov je sice vybavena otevíratelnými okny s možností přirozeného větrání [3], avšak kvalita ovzduší v učebnách je většinou zcela nedostatečná [2]. Přirozené větrání není automatické a závisí na mnoha faktorech (venkovní klimatické podmínky, kvalita venkovního ovzduší, umístění učebny v budově, umístění budovy v krajině, okolí budovy, stavební řešení budovy, lidský faktor apod.). Často se tak stává, že systém přirozeného větrání nezajistí splnění základních požadavků na kvalitu vnitřního vzduchu.

Jedním z hlavních argumentů proti řádnému větrání učeben je spotřeba energie a investiční náklady. Na opačném pólu je kvalita vnitřního prostředí 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 energie, servis, údržba a obsluha). 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.

Požadavky na větrání škol

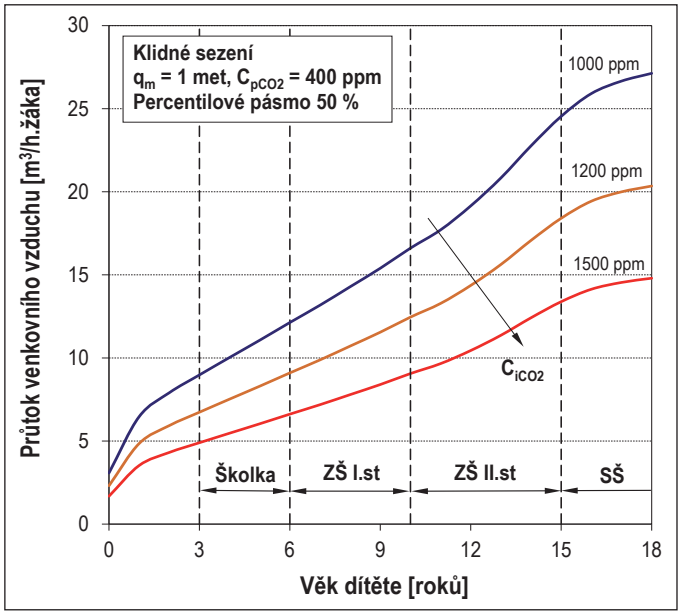
Podle vyhlášky č. 410/2005 Sb. v platném znění č. 343/2009 Sb. [9] má být průtok přiváděného venkovního vzduchu do učeben školských budov 20 až 30 m^3/h na žáka, což představuje nepřetržité větrání v uvedených dávkách. Tam, kde není venkovní vzduch výrazně znečištěn, se jako indikátor kvality vnitřního ovzduší používá oxid uhličitý CO_2. Na základě kritéria přípustné koncentrace CO_2 pak lze připustit i nižší dávky vzduchu na žáka, podle jeho věku, resp. stupně školní docházky a činnosti (např. [13]) – větrat podle potřeby.

Německá VDI [11] uvádí jako přípustnou koncentraci CO_2 v učebně 1000 ppm. Zajímavé však je, že německá směrnice VDI uvádí poměrně vysoké produkce CO_2 dětmi (15,6 l/h.os. pro 1.–4. třídu; 18,9 l/h.os. pro 5.–13. rok vzdělávacího programu), z čehož vyplývají vysoké průtoky vzduchu na žáka (viz tab. 1). Průtok venkovního vzduchu je možné stanovit na základě produkce CO_2 a rozdílu koncentrací vně a uvnitř prostoru. Princip výpočtu byl popsán v článku [2]. Obecně lze připustit i vyšší hodnoty koncentrace CO_2 v prostoru, než uvádí německá směrnice, maximálně však 1500 ppm. Výsledky teoretického výpočtu pro rozdílné limitní koncentrace jsou uvedeny v tab. 1, graficky pak na obr. 1. Jak je patrno z tab. 1, obdobnou úvahu připouští i rakouská norma [13].

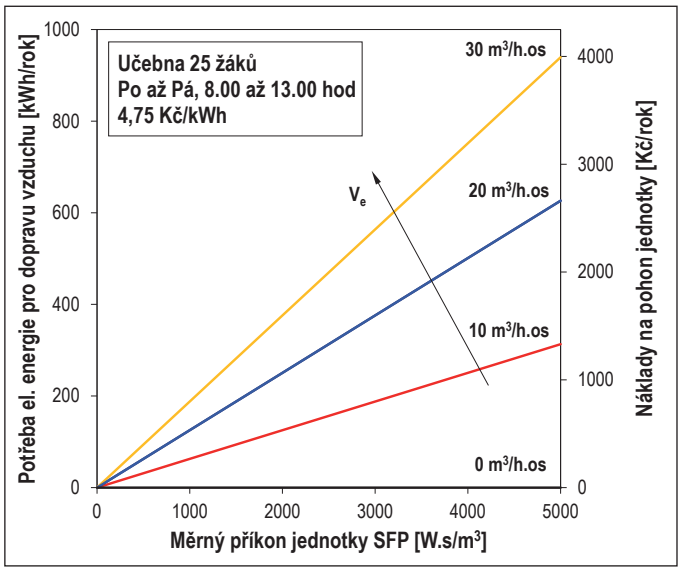
Tab. 1 Požadavky na větrání škol dle dostupných předpisů a porovnání s teoretickým výpočtem

Předpis	Přípustná koncentrace CO_2 [ppm]	Průtok vzduchu na žáka [m^3/h.žáka]			
		3 – 6 let	6 – 10 let	10 – 15 let	15 – 18 let
		Školka	1. stupeň ZŠ	2. stupeň ZŠ	SŠ
Vyhláška č. 343/2009 Sb.	-	20 – 30			
ČSN EN 15251	1 200	-	14 až 36		
ÖNORM H 6039:2008	1 200	-	15	19	24
VDI 6040-1	1 000	-	26	31	31
Průtok vzduchu stanovený na základě bilance CO_2 v místnosti (viz obr. 1)*					
I.	1 000	12	17	25	27
II.	1 200	9	12	18	20
III.	1 500	7	9	13	15

* *Bilanční výpočet na základě produkce CO_2 od osob, přípustné koncentrace a venkovní koncentrace CO_2 C_e = 400 ppm*



Obr. 1 Průtok venkovního vzduchu na žáka na základě bilance CO_2 ve vnitřním prostředí učebny



Obr. 2 Potřeba energie pro pohon větrací jednotky

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 výpočtu i potřeba elektrické energie pro dopravu vzduchu a ohřátí vzduchu od provozu ventilátoru.

Modelový případ

Jako modelový případ byla zvolena učebna s 25 žáky a 1 vyučujícím. Teplota vzduchu v učebně se předpokládala konstantní t_i = 22 °C. Provoz větrání byl uvažován jako nepřetržitý v době užívání učebny, tj. každý všední den od 8.00 do 13.00 hodin (s výjimkou všech prázdnin). Větrání bylo uvažováno variantní v souladu s předchozím odstavcem (10, 20 a 30 m³/h.os.) stejně tak teplotní faktor zpětného získávání tepla („účinnost ZZT"). Tepelná zátěž od oslunění a vnitřní tepelné zisky nejsou ve výsledné bilanci zohledněny.

Potřeba elektrické energie pro dopravu vzduchu

V případě, že bude vzduch do učebny dopravován nuceně, je nutno do energetické bilance zahrnout náklady na dopravu vzduchu. Spotřeba 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.

Potřebu energie na pohon ventilátorů větrací jednotky E_{el} lze stanovit z celkového příkonu jednotky P a doby jejího provozu τ [7].

$$E_{el} = \int_0^{\tau} P d\tau = P_1\tau_1 + P_2\tau_2 + \ldots + P_n\tau_n = \sum_1^n P_i\tau_i \quad \text{[Wh/rok]} \qquad (1)$$

kde je:
P_i příkon ventilátoru v daném časovém úseku [W],
τ_i časový úsek [h].

Pro vyjádření výsledků v grafické podobě lze s výhodou využít měrný příkon ventilátoru *SFP,* který v sobě zahrnuje jak příkon, tak průtok vzduchu. Pro vzduchotechnickou jednotku přibližně platí

$$SFP = \frac{P}{\dot{V}} \doteq \frac{P_p + P_o}{\dot{V}} \quad \text{[W.s/m}^3\text{]} \qquad (2)$$

kde je:
P příkon jednotky [W],
P_p, P_o příkon přívodního a odvodního ventilátoru [W],
$\dot{V}$ průtok vzduchu jednotkou [m³/s].

Na obr. 2 jsou uvedeny výsledky analýzy v podobě závislosti potřeby energie na pohon větrací jednotky na měrném příkonu *SFP* a dávce vzduchu na žáka V (10, 20 a 30 m³/h.os). Potřeba energie roste úměrně s příkonem ($P = SFP.V$). Obr. 2 kvantifikuje potřebu energie pro dopravu vzduchu vč. ročních nákladů. Pokud pomineme dávku vzduchu na osobu, která bude záviset na věku žáků, ovlivňují potřebu elektrické energie použité ventilátory. Případné volbě větrací jednotky je tak nutno věnovat zvýšenou pozornost. Hodnoty $SFP > 5\,000$ nebyly při analýze uvažovány.

Cena elektrické energie závisí na vybrané sazbě. 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.

Potřeba tepla pro ohřev větracího vzduchu

Odstavec analyzuje potřebu tepla pro ohřev větracího vzduchu při trvalém větrání učeben v době jejich provozu. Pro účely vyhodnocení potřeby tepla na 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. Minimální teplota venkovního vzduchu ve sledovaném období je -16,5 °C.

Potřeba energie pro ohřev větracího vzduchu E_{oh} byla stanovena na základě bilančního výpočtu s hodinovým časovým krokem

$$E_{oh} = \int_0^{\tau} \dot{Q} d\tau = \sum_1^n \dot{Q}_i\tau \quad \text{[Wh/rok]} \qquad (3)$$

kde je:
Q_i tepelný tok potřebný k ohřevu venkovního vzduchu [W],
τ časový úsek ($\tau = 1$) [h].

Výsledky potřeby tepla na ohřev větracího vzduchu v závislosti na dávce vzduchu na žáka a teplotním faktoru ZZT jsou uvedeny na obr. 3. Graf popisuje faktory, které ovlivňují výslednou potřebu energie na ohřev větracího vzduchu. Současná praxe, kdy průtok větracího vzduchu je minimální (při zavřených oknech se blíží 0), je z hlediska úspory energie sice uspokojivá, ovšem z hlediska kvality vnitřního prostředí zcela nepřípustná.

Za současného technického stavu školských budov [3], kdy větrání učeben je řešeno přirozeně otevíratelnými okny, hradí tepelnou ztrátu větráním otopná soustava. Pokud by přirozené větrání (teplota přiváděného vzduchu odpovídá teplotě venkovního vzduchu) mělo splňovat podmínky závazného předpisu, tj. trvalé větrání (20 až 30 m³/h.žáka) [9], musela by otopná tělesa v učebně pokrývat tepelnou ztrátu větráním cca 6 až 10 kW (obr. 3), což je z energetického hlediska problematické. Tepelná ztráta prostupem je po zateplení a výměně oken minimální, navíc jí často pokryjí tepelné zisky.

Využití větrání se zpětným získáváním tepla je jednou z možností jak uspořit energii na ohřev větracího vzduchu, samozřejmě za předpokladu, že výsledkem má být požadovaná kvalita vnitřního vzduchu v učebně. Potřeba energie na ohřev vzduchu závisí úměrně na průtoku venkovního vzduchu a na teplotním faktoru ZZT (obr. 3).

Ve skutečnosti bude přívodní ventilátor předávat vzduchu energii. V případě umístění elektromotoru v proudu vzduchu se veškerý příkon ventilátoru přemění na teplo. Za předpokladu, že se přívodní ventilátor podílí na celkové spotřebě elektrické energie jednotky právě jednou polovinou, lze skutečnou potřebu tepla $E_{oh,sk}$ na ohřev vzduchu stanovit jako

$$E_{oh,sk} = E_{oh} - \frac{E_{el}}{2} = E_{oh} - \frac{P}{2}\tau = E_{oh} - \frac{SFP \cdot \dot{V}}{2}\tau \quad \text{[Wh/rok]} \qquad (4)$$

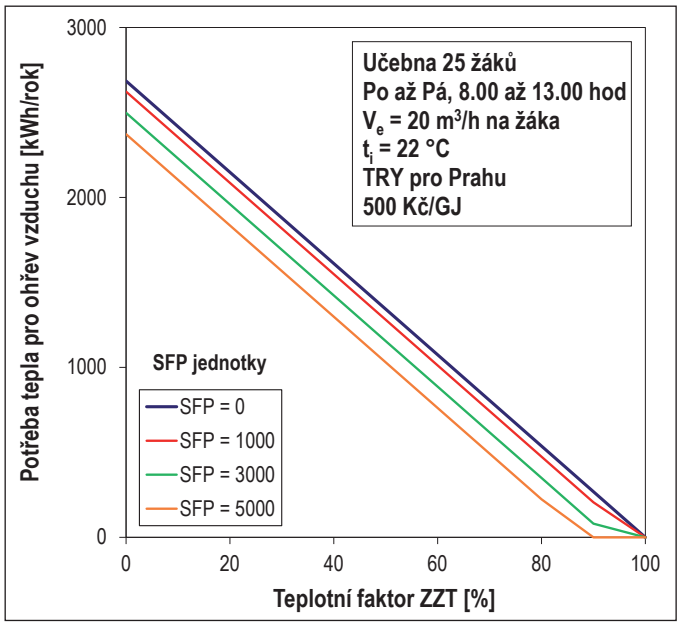
Na obr. 4 jsou znázorněny výsledky potřeby tepla pro ohřev venkovního vzduchu při uvažování ohřevu vzduchu od ventilátoru. Výsledky jsou platné pro dávku vzduchu 20 m³/h na žáka. Čím bude vyšší příkon přívodního ventilátoru, tím se potřeba tepla bude snižovat. V žádném případě to však neznamená, že používat ventilátor s vysokým příkonem jako „přímotop“ je energeticky výhodné (viz dále).

Náklady na ohřev větracího vzduchu

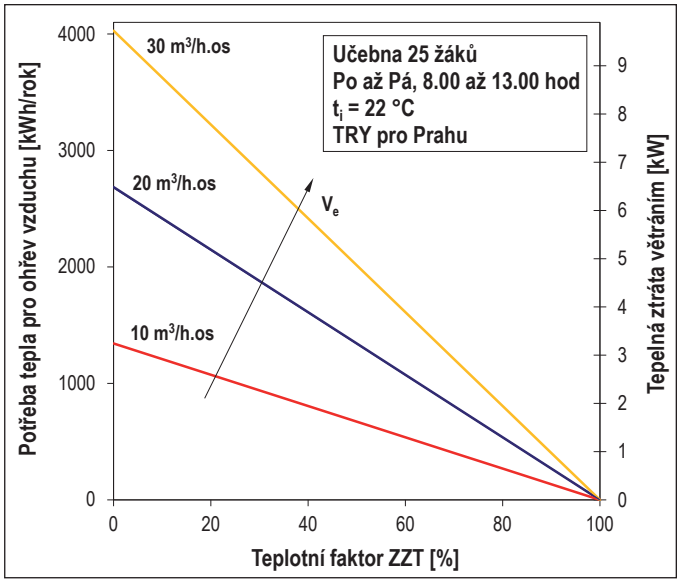
Na základě předchozího výpočtu jsou na obr. 5 znázorněny orientační náklady na ohřev větracího vzduchu v závislosti na teplotním faktoru ZZT a předpokládané ceně za tepelnou energii 300 až 700 Kč/GJ (500 Kč/GJ = 1,8 Kč/kWh). Do výsledné finanční bilance následně vstoupí i ohřátí vzduchu v přívodním ventilátoru (viz dále). Cena za tepelnou energii se může lišit podle použitého zdroje tepla nebo podle regionu (v případě použití CZT, které využívá cca 1/3 škol) [3]. Okrajové podmínky odpovídají modelové učebně s tím, že dávka větracího vzduchu je uvažována 20 m³/h.os. Bude-li dávka vzduchu na žáka poloviční, budou poloviční i náklady na ohřev vzduchu atp.

CELKOVÉ NÁKLADY NA VĚTRÁNÍ

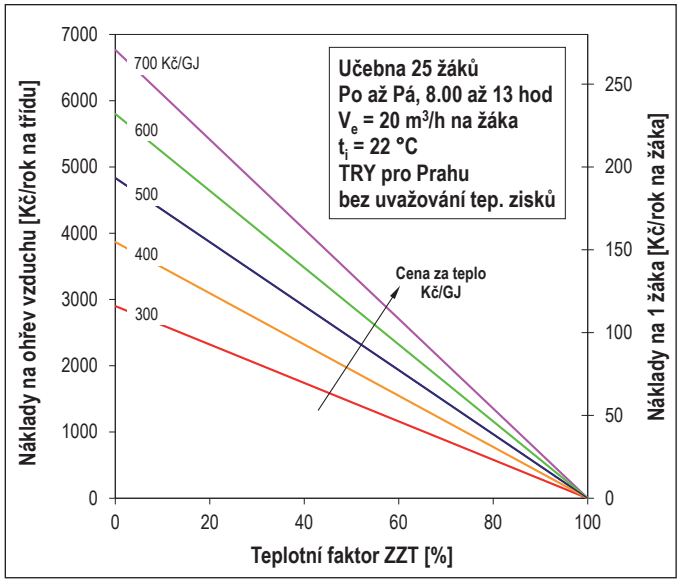
Na obr. 6 jsou vyčísleny celkové roční náklady na nucené větrání učebny vztažené na 1 žáka při dávce vzduchu 20 m³/h, proměnném *SFP* a teplotním faktoru (účinnosti) ZZT. Obecné závislosti jsou platné pro defino-



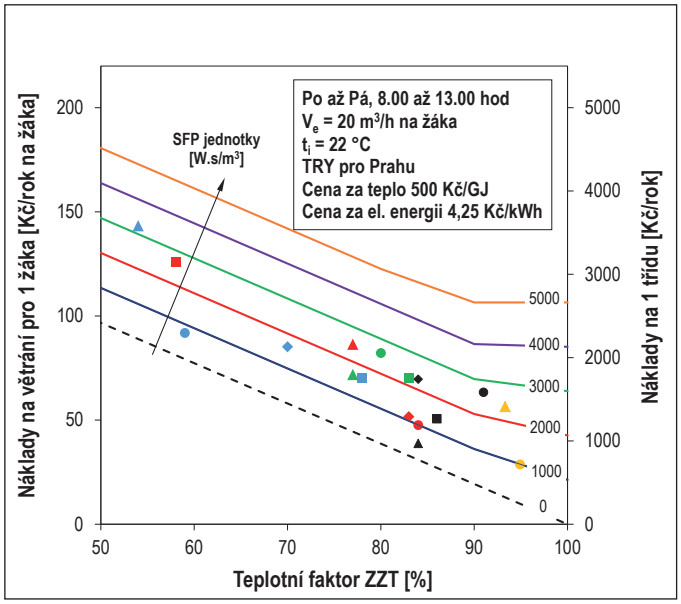
Obr. 4 Potřeba tepla pro ohřev větracího vzduchu při uvažování ohřevu vzduchu v přívodní části VZT systému



Obr. 3 Potřeba tepla pro ohřev větracího vzduchu za rok pro 3 různé dávky větracího vzduchu na osobu



Obr. 5 Náklady spojené s ohřevem větracího vzduchu v závislosti na teplotním faktoru a ceně energie



Obr. 6 Celkové náklady na větrání pro 1 žáka (body v grafu reprezentují analyzované větrací jednotky – bez bližší specifikace)

vané ceny energií. Celkové náklady zahrnují náklady na pohon jednotky a náklady na ohřev vzduchu dle předchozích úvah.

Analýza větracích jednotek

Body vynesené v obr. 6 představují náklady při použití konkrétní větrací jednotky. Pro účely příspěvku bylo analyzováno 17 decentrálních větracích jednotek se zpětným získáváním tepla dostupných na českém trhu (bez bližší specifikace) se jmenovitým průtokem 500 m³/h (dávka 20 m³/h pro 25 žáků). 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 ZZT. Z obr. 6 je zřejmé, že většina jednotek dosahuje hodnot *SFP* do 3000 W.s/m³. V analýzách nejsou zahrnuty centrální jednotky, stejně tak jednotky, které odpovídají jinému jmenovitému průtoku.

Reálné náklady při použití nuceného větrání s lokální větrací jednotkou se ZZT se mohou pohybovat v širokém rozmezí od 29 do 143 Kč/rok na žáka v závislosti na typu jednotky, resp. jejím měrném příkonu *SFP* a účinnosti ZZT. Je zřejmé, že vyšší technický standard jednotky představuje úsporu provozních nákladů.

Poznámka: Větrací jednotky byly zkoumány pouze za účelem stanovení potřeby energie. Při volbě jednotky je však nutné věnovat zvýšenou pozornost i dalším aspektům, zejména hlučnosti zařízení. Ne každá jednotka může být umístěna přímo v učebně a použití hlučného zařízení pak může být z hlediska vytvoření pohody prostředí zcela kontraproduktivní.

NÁKLADY NA PŘIROZENÉ NÁRAZOVÉ VĚTRÁNÍ

Předchozí analýzy se zabývaly stanovením nákladů na trvalé větrání během výuky, které lze zajistit zpravidla pouze nuceně. Vzhledem k tomu, že ve většině případů jsou učebny vybaveny otevíratelnými okny pro přirozené větrání, nabízí se možnost provětrávání učeben (nárazové větrání učebny plně otevřenými okny např. o přestávkách).

Na modelovém případu učebny pro 1. stupeň základní školy (25 žáků ve věku 9 let) a objemu 204 m³ je možné porovnat energetickou náročnost přirozeného nárazového větrání s větráním trvalým. Okrajové podmínky jsou shodné jako v předešlých analýzách (provoz Po až Pá od 8.00 do 13.00 hodin, klimatická data TRY, $t_i = 22$ °C).

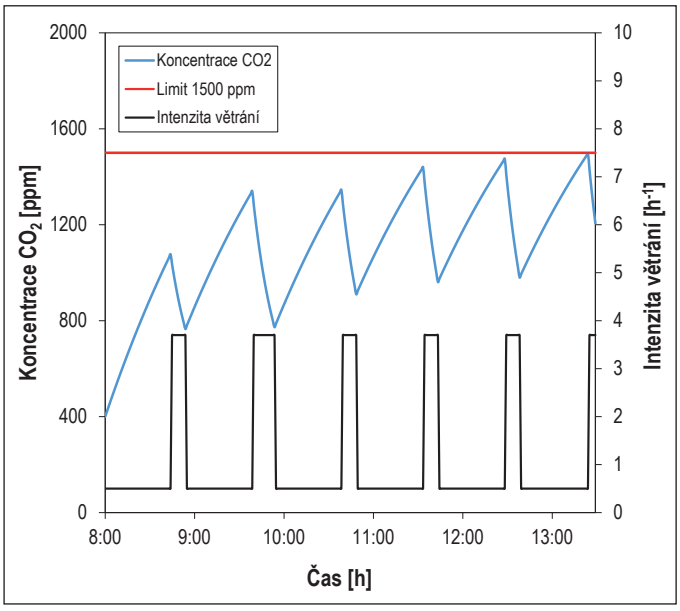
Přehled zkoumaných variant je uveden v tab. 2. Zkoumané varianty 1a,b a 2a,b předpokládají jak trvalé větrání během vyučování, tak i intenzivní nárazové provětrání o přestávkách, varianta 3 reprezentuje trvalé větrání podle dávky vzduchu na osobu (dle obr. 1). Varianta 1a,b představuje případ, kdy je zajištěno minimální trvalé větrání během výuky s intenzitou větrání 0,1 h^{-1} (např. infiltrací), což vede k vyššímu požadavku na větrání o přestávkách. Varianta 2a,b předpokládá trvalé větrání s intenzitou větrání 0,5 h^{-1}. Varianty 1a, 2a předpokládají nepřítomnost žáků o přestávkách ve třídě, varianty 1b, 2b naopak. Intenzita větrání při nárazovém větrání o přestávkách vyplývá z požadavku nepřekročit přípustnou koncentraci CO_2 v učebně (obr. 7).

Tab. 2 Přehled variant pro analýzu nárazového větrání učebny

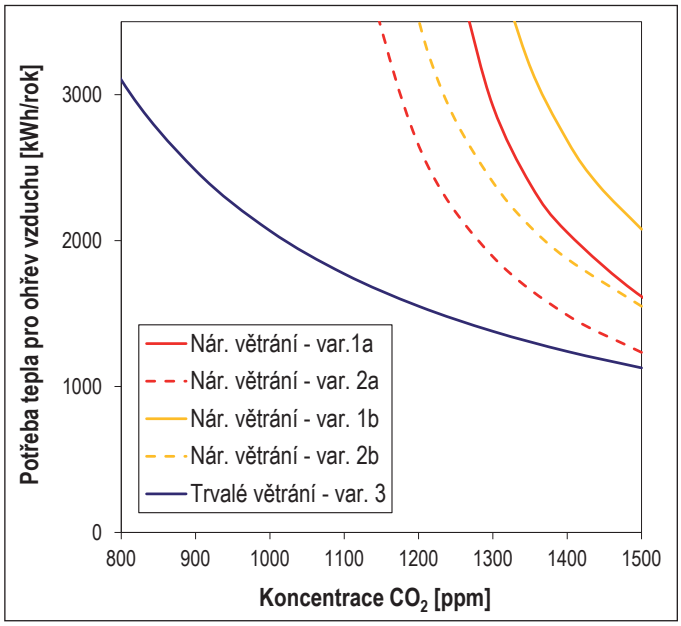
Varianta	Trvalé větrání intenzita větrání [h^{-1}]	Přítomnost žáků o přestávkách	Požadavek na koncentraci CO_2			
			1 500	1 400	1 300	1 100
			Nárazové větrání intenzita větrání [h^{-1}]			
1a	0,1	Ne	7,5	9,5	13,5	nelze zajistit
1b	0,1	Ano	9,6	12,4	18,9	
2a	0,5	Ne	3,7	4,9	6,7	
2b	0,5	Ano	5,1	6,6	9,1	
3	*	Ano	-	-	-	-

** Průtok vzduchu při trvalém větrání odpovídá dávce vzduchu na žáka na základě bilančního výpočtu (obr. 1)*

Z tab. 2 je zřejmé, že intenzity větrání při nárazovém větrání musí být poměrně vysoké i přes to, že bylo uvažováno s učebnou na prvním stupni ZŠ. Na obr. 7 je uveden teoretický průběh koncentrace CO_2 a intenzity větrání pro variantu 2a, kdy má být během výuky zajištěna maximální koncentrace 1 500 ppm. Obdobně byly stanoveny intenzity větrání pro nárazový provoz u ostatních zkoumaných variant.



Obr. 7 Průběh koncentrace CO_2 v učebně při intenzivním větrání o přestávkách pro limitní koncentraci 1 500 ppm (varianta 2a – trvalé větrání 0,5 h^{-1}, nárazové větrání o přestávkách 3,7 h^{-1})



Obr. 8 Potřeba tepla pro ohřev větracího vzduchu pro nárazové větrání

Na obr. 8 je uvedeno porovnání potřeby tepla pro ohřev větracího vzduchu při trvalém a nárazovém větrání o přestávkách pro všechny zkoumané varianty. Je zřejmé, že přirozené nárazové větrání je z hlediska potřeby tepla a s tím souvisejících nákladů na ohřev větracího vzduchu náročnější než větrání trvalé. Navíc nárazové větrání učebny o přestávkách nemůže plnohodnotně nahradit trvalé větrání, a to ani v případě, kdy žáci opouští učebny o přestávkách (varianty 1a, 2a). V případě nárazového přirozeného větrání nelze na konci vyučování dosáhnout koncentrace $CO_2 \leq 1\,100$ ppm.

U nárazového přirozeného větrání (provětrávání) je otázkou, jakým způsobem se změní teplotní podmínky v učebně zejména v zimním období. Zde bude hrát svou roli typ a výkon otopné soustavy a akumulační schopnost budovy.

ZÁVĚR

Z analýzy vyplývá, že náklady na ohřev a dopravu vzduchu při nuceném větrání (náklady nezahrnují servis, údržbu, obsluhu) učebny (uvažována byla lokální větrací jednotka se ZZT a dávka vzduchu 20 m³/h.os) se pohybují od 29 do 143 Kč/rok na jednoho žáka podle druhu zařízení. V průměru se jedná o částku 71 Kč/rok na žáka, což se jeví z hlediska rozpočtu jako zanedbatelné číslo (ve školním roce 2013/2014 navštěvovalo v ČR základní a střední školy cca 1,3 milionu žáků [2]). Otázkou samozřejmě zůstává přístup zřizovatelů k dané problematice a společenské priority. Zřizovatel by měl v každém případě respektovat platné právní předpisy nebo technické normy.

Otázkou je návratnost investice, kterou je velmi obtížné stanovit. Z hlediska spotřeby energie a předpokládaného růstu ceny energií vycházejí doby návratnosti kolem 20 let a více. Běžné výpočty návratnosti investice do nuceného větrání poněkud selhávají, neboť nezahrnují další související ekonomické a sociální aspekty, jakými jsou náklady na zdravotní péči dětí, nepřítomnost rodičů na pracovišti apod. Argumentace, že za zdravé vnitřní prostředí je nutno platit, bohužel nefunguje.

Zásadním problémem při realizaci opatření vedoucích ke zlepšení stavu vnitřního prostředí ve školách jsou náklady investiční, které jsou často vysoké. Jedinou cestou jsou pak dotační tituly. Bohužel většina dotačních prostředků v minulosti mířila do zateplování budov a výměny oken. I v oblasti větrání škol se však začíná situace poněkud zlepšovat. V rámci výzvy MŽP v prioritní ose 3 „Udržitelné využívání zdrojů energie“ [15] je možno zažádat o dotaci na „Využívání odpadního tepla“. Problémem je nastavení dotačního programu, neboť žádosti na zateplení a větrání se ZZT jsou oddělené. To znamená, že provozovatele škol nic nenutí tento dotační titul využívat. V poslední LXIV. výzvě MŽP byly zaznamenány v rámci podoblasti 3.2.2 „Využívání odpadního tepla“ pouze 4 žádosti, což je velmi malý počet. Ke zlepšení stavu by prospělo spojení obou dotačních titulů, což má logický základ. Bližší statistiku využívání dotačních prostředků se autorům nepodařilo od Státního fondu životního prostředí získat.

Kontakt na autora: marek.begeni@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

[1] BAKÓ-BIRÓ, Zs, et al. Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and Environment.* 2012, 48: 215-223.
[2] BEGENI, M., ZMRHAL, V., Větrání učebny základní školy. *Vytápění, větrání, instalace.* 2014, roč. 23, č. 4, s. 180-183. ISSN 1210-1389.
[3] BEGENI, M., ZMRHAL, V. Dotazníkový průzkum stavu školských budov. In: *portál TZB info.* 2015. ISSN 1801-4399.
[4] CLEMENTS-CROOME, D. J., et al. Ventilation rates in schools. *Building and Environment.* 2008, 43.3: 362-367
[5] 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
[6] WARGOCKI, PI; WYON, David P. Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective. *Building and Environment.* 2013, 59: 581-589.
[7] ZMRHAL, V. *Větrání rodinných a bytových domů.* 1. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-4573-2.
[8] ZMRHAL, V., DUŠKA M. Potřeba energie pro větrání obytných budov. *Vytápění, větrání, instalace.* 2012, roč. 21, č. 1, s. 2-7. ISSN 1210-1389
[9] Vyhláška č. 343/2009 Sb. Kterou se mění vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých.
[10] ČSN EN 13779. Větrání nebytových budov – Základní požadavky na větrací a klimatizační systémy. ÚNMZ 2010.
[11] VDI 6040-1:2011 Raumlufttechnik Schulen Anforderungen.
[12] VDI 6040-2:2014 Raumlufttechnik – Schulen - Ausfflhrungshmwelse Entwurf (VDI-Lüflftungsregeln, VDI-Schulbaurichtlinien).
[13] 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.
[14] Český statistický úřad [online]. Dostupné z: http://www.czso.cz
[15] LXIV. výzva MŽP [online]. Dostupné z: http://www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/53/16046-opzp_lxiv_vyzva_01_2015.pdf ■

Nejdražší obytná věž světa

Projektem 432 Park Avenue na stejné adrese na Manhattanu v New Yorku vznikl nejdražší obytný mrakodrap světa. Se svými 426 metry je vyšší než Empire State Building a Chrysler Building. Na 65 000 m² užitkové plochy kondominia najdete 104 luxusních apartmánů na 96 patrech. Při celkových stavebních nákladech 880 mil. USD vychází průměrná cena 13 500 USD/m² obytné plochy. Ještě volné apartmány se však nabízí za zcela jiné ceny. Dosud volný apartmán o ploše 372 m² ve výšce 110 metrů lze získat za 17,2 mil. USD při ceně 46 200 USD/m². Nabízí se též celoetážové apartmány o 750 až 780 m² v nejvyšších patrech. Jejich cena za 1 m² začíná na 80 000 USD a zřejmě přesáhne 100 000 USD. Tak byl nedávno nabízen ateliérový byt ve výšce 390 metrů za 95 mil. USD.

Pramen: CCI 13/2014, s. 4 *(AB)*