



## Metodický pokyn pro návrh větrání škol pro SC 5.1, PO5, OPŽP, Výzva č. 100

Metodický pokyn obsahuje základní informace pro návrh větrání ve školách s důrazem na učebny. Je určen žadatelům o podporu z Operačního programu životní prostředí v rámci prioritní osy 5, zpracovatelům projektové dokumentace a zpracovatelům energetického posudku.

### 1 Úvod

Pokud je jedním z energeticky úsporných opatření v budovách sloužících pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých (dále jen školy) zlepšení tepelně technických vlastností obvodových konstrukcí budovy, musí projektové řešení obsahovat i návrh systému větrání v souladu s vyhláškou č. 410/2005 Sb., ve znění pozdějších předpisů [5].

Žadatel musí brát do úvahy, že dodržení hygienických a provozních požadavků na větrání je upřednostněno před dosažením energetických úspor v souladu s normou ČSN 73 0540 – 2 [13], která stanovuje požadavky na tepelnou ochranu budov.

Větrání zajišťuje přívod venkovního vzduchu a odvod znehodnoceného vzduchu z vnitřních prostor budov pro zajištění požadované kvality vnitřního ovzduší. V teplém období roku větrání přispívá i k odvodu tepelné zátěže.

K znehodnocování vzduchu v učebnách dochází produkcí oxidu uhličitého  $\text{CO}_2$  při dýchání a dalšími škodlivinami (např. VOC, vodní pára, prach, radon apod.), které se mohou uvolňovat v prostředí učeben, případně mohou být obsaženy ve venkovním přiváděném vzduchu.

Kvalita ovzduší v učebnách se hodnotí podle koncentrace oxidu uhličitého  $\text{CO}_2$ ; v souladu s vyhláškou č. 268/2009 Sb. v platném znění [7] nesmí tato koncentrace v pobytových prostorách převýšit hodnotu 1500 ppm. Vliv koncentrace  $\text{CO}_2$  na člověka ukazuje tab. 1.1.

**Tab. 1.1** 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 až 1 200 ppm	vyhovující koncentrace $\text{CO}_2$ v pobytových prostorách
1 500 ppm	maximální přípustná koncentrace $\text{CO}_2$ v pobytových prostorách
> 1 500 ppm	nastávají příznaky únavy a snižování pozornosti člověka
> 2500 ppm	ospalost, letargie, bolesti hlavy
> 5 000 ppm	nedoporučuje se delší pobyt

### 2 Stanovení množství větracího vzduchu

#### Učebny

Vyhláška č. 410/2005 Sb. ve znění pozdějších předpisů [5] požaduje množství přiváděného venkovního vzduchu do učeben 20 až 30  $\text{m}^3/\text{h}$  na žáka. Uvedené množství nerozlišuje věk žáků. S ohledem na hospodárnost se doporučuje navrhovat průtok venkovního vzduchu, trvale přiváděného do učeben v době pobytu žáků, podle tab. 2.1. Toto množství bylo stanoveno podle bilance  $\text{CO}_2$  ve větraném prostoru [20].

**Tab. 2.1** Minimální množství venkovního vzduchu

Množství 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

Pro vyučující je učebna trvalým pracovištěm a průtok vzduchu na osobu se stanoví podle nařízení vlády č. 93/2012 Sb. [4], tj. minimálně 25 m<sup>3</sup>/h.os.

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

### Ostatní prostory školy

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

*Hygienické zázemí* (toalety, umývárny, sprchy) je možné větrat podtlakově s nárazovým (pohybové čidlo) nebo časovým provozem (např. o přestávkách) se zajištěním doběhu. Průtoky odsávaného vzduchu se stanoví podle vyhlášky č. 410/2005 Sb. v platném znění [5]. V případě podtlakového větrání je nutné zajistit přívod vzduchu (venkovního nebo převáděného) vč. jeho ohřevu.

*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 [5] ve výši 20 až 90 m<sup>3</sup>/h na žáka. Průtok vzduchu 90 m<sup>3</sup>/h na žáka je nutné přivést cvičícímu žákovi. Pokud se tělocvična používá zároveň jako shromažďovací prostor pro různé školní akce, použije se průtok 20 m<sup>3</sup>/h na žáka. Průtok venkovního vzduchu pro různé režimy provozu (i) se doporučuje stanovit následovně

$$V_{e,j} = n_{p,j} \cdot 20 + n_{cv,j} \cdot 90 \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (1)$$

kde  $n_{cv}$  je počet cvičících žáků;  $n_p$  je počet přítomných (necvičících).

Výpočet podle rovnice (1) se provede pro všechny možné režimy provozu tělocvičny (shromažďovací akce, výuka tělesné výchovy, sportovní akce apod.) a větrací zařízení se následně navrhne na maximální průtok vzduchu

$$V_e = \max(V_{e,1}, V_{e,2}, \dots, V_{e,n}) \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (2)$$

*Jídelna* je pobytovým prostorem ve smyslu vyhlášky č. 20/2012 Sb.

*Kuchyně* se větrají podle doporučených pravidel (viz ČSN EN 16282-1 [16]; [21]).

### 3 Větrací systémy pro učebny

Hlavní typy větracích systémů:

- systémy přirozené,
- systémy nucené,
- systémy hybridní.

Pro větrání učeben se doporučuje využít systémy, které umožňují řízené nucené větrání. To jsou takové systémy, které regulují průtok větracího vzduchu na základě požadavku uživatele (prioritně řízené podle koncentrace CO<sub>2</sub>). Přehled větracích systémů je uveden v příloze 1.

Obecné požadavky na provedení větracích systémů:

- minimální průtok přiváděného venkovního vzduchu se stanoví podle hodnot uvedených v tab. 2.1,
- větrací zařízení se dimenzují na základě kapacity objektu,
- nucené větrací systémy navržené dle závazných předpisů musí být vybaveny regulací průtoku vzduchu v závislosti na aktuálním obsazení a zátěži učebny,
- v zimním období musí být ohřev přiváděného venkovního vzduchu zajištěn tak, že ve větraném prostoru bude dodržena požadovaná výsledná teplota dle vyhlášky č. 410/2005 Sb., 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 odpovídající znečištění venkovního vzduchu,
- hladina akustického tlaku v učebnách nesmí převyšovat limitní hodnoty dané nařízením vlády č. 272/2011 Sb. [3].

#### Přirozené větrání

Funkce přirozeného větrání závisí na přirozených zdrojích pohybu vzduchu:

- 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.

Působení zdrojů pohybu vzduchu u přirozeného větrání je nahodilé a pro prostory s větším počtem osob (žáků) takto navržené větrání nemůže splnit požadavek na zajištění trvale kvalitního vnitřního prostředí.

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 [19].

Přirozené větrání učeben infiltrací a tzv. mikroventilací se nedoporučuje, neboť nelze splnit požadavky na větrání dle této metodiky.

**Přirozené větrání učeben okny se obecně nedoporučuje. Použití přirozeného větrání je možné při rekonstrukci památkově chráněných objektů, kde je instalace nuceného větrání problematická. Podmínkou je funkčnost nebo obnova původního systému přirozeného větrání (pokud existuje) s přívodem i odvodem vzduchu (větracími otvory, šachtami, apod.) a vybavení**

**min. učeben automatickým systémem měření koncentrace CO<sub>2</sub>, který bude podporovat plnění vyhlášky č. 410/2005 v platném znění, resp. vyhlášky č. 268/2009 v platném znění.**

**Přirozené větrání v podobě provětrávání ručně otevíratelnými okny se připouští pouze u místností s malým počtem osob a u místností s občasným výskytem osob (např. učebny ZUŠ s 1 - 2 žáky a 1 učitelem, kabinety, apod.).**

**Přirozené větrání učeben okny neumožňuje vyhovět současnému požadavku na snížení energetické náročnosti budovy.**

### **Nucené podtlakové větrání**

Přívod venkovního vzduchu 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 vzduch ve venkovním prostředí má 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 lokální přívod chladného venkovního vzduchu do učeben v zimním období roku s rizikem tepelného diskomfortu v blízkosti otvorů pro přívod vzduchu.

Nucené podtlakové větrání neumožňuje vyhovět současnému požadavku na snížení energetické náročnosti budovy.

### **Nucené rovnotlaké větrání**

Nucené rovnotlaké větrání zajišťuje nucený přívod i odvod vzduchu (mechanicky ventilátorem) a představuje vyšší kvalitu větrání než nucené podtlakové větrání. Nucené rovnotlaké větrání umožňuje využití zpětného získávání tepla (dále ZZT), vyhovuje současnému požadavku na snížení energetické náročnosti budovy a pro větrání učeben je doporučovaným systémem.

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

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

### **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. Průtok vzduchu je regulován podle koncentrace CO<sub>2</sub>.

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

otevírání křídel, současně je nutné zajistit bezpečnost objektu proti násilnému vniknutí, uzavření všech oken při opuštění budovy atd.

Hybridní větrání učeben neumožňuje vyhovět současnému požadavku na snížení energetické náročnosti budovy.

## **4 Související aspekty návrhu větracích systémů**

### **4.1 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 předehřev venkovního vzduchu výměník ZZT a dohřev musí pokrýt otopná soustava nebo ohříváč vzduchu ve větrací jednotce.

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 zajistí profese vytápění (případně silnoproud) přívod energie o požadovaném výkonu. Výkon ohříváče bude regulován podle požadované teploty přiváděného vzduchu.

### **4.2 Hlukové parametry**

Větrací zařízení musí být navrženo tak, aby hladina akustického tlaku  $A$  v učebně při jeho provozu nepřevyšovala limitní hodnoty dané nařízením vlády č. 272/2011 Sb. [3] vč. vlivu pronikání vnějšího hluku. Větrací zařízení je nutno navrhovat tak, aby hladina akustického tlaku  $A$  v učebnách nepřekročila hodnotu 40 dB (v souladu s normou ČSN EN 15 251 [10]) z důvodu nejistoty měření a možném výskytu tónové složky [22].

Při návrhu nuceného větrání je nutné věnovat zvýšenou pozornost volbě a umístění větrací jednotky / ventilátoru. Umístění hlučného zařízení pro nucené větrání přímo v učebně je z hlediska vytvoření pohody prostředí zcela nepřijatelné.

### **4.3 Znečištění venkovního ovzduší**

Přímý přívod venkovního vzduchu do učeben (přirozené, hybridní a nucené podtlakové větrání) lze použít pouze v těch oblastech, kde nejsou překračovány přípustné hodnoty škodlivin ve venkovním prostředí, v souladu s vyhláškou č. 410/2005 Sb. [5] ve znění vyhlášky č. 343/2009 Sb., §18, odst. 4. Zpracovatel dokumentace toto doloží z dostupných podkladů, např. podle map znečištění ovzduší ČHMÚ, z místních měření.

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 (podle ČSN EN 13779 [9]).

#### 4.4 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  $\text{CO}_2$  ve větraném prostoru. Pro případný odvod tepelné zátěže (zvýšením průtoku vzduchu nad požadavek podle koncentrace  $\text{CO}_2$ ) v teplém období roku, kdy je teplota venkovního vzduchu nižší než teplota vzduchu v místnosti, se doporučuje kontrolovat teplotu vnitřního vzduchu. Každá učebna s řízeným průtokem vzduchu musí být opatřena nezávislou regulací.

### 5 Zpracovatel dokumentace

Součástí dokumentace předložené žadatelem musí být projektová dokumentace vzduchotechniky a souvisejících profesí. Projektová dokumentace vzduchotechniky musí být vypracována při použití kteréhokoli větracího systému (přirozený, nucený, hybridní systém).

#### 5.1 Zpracovatel projektové dokumentace vzduchotechniky

Zpracovatelem projektové dokumentace vzduchotechniky, tj. projektu řešícího větrání školy, musí být autorizovaný inženýr pro techniku prostředí staveb, specializace technická zařízení, nebo autorizovaný technik pro techniku prostředí staveb, specializace vytápění a vzduchotechnika.

Přílohou projektové dokumentace vzduchotechniky musí být posouzení splnění požadavku na nepřekročení přípustné koncentrace  $\text{CO}_2$  v učebnách (1500 ppm), a to pro všechny druhy učeben se zohledněním jejich kapacity a dimenzování dle tab. 2.1. Pro toto posouzení zpracovatel musí použít výpočetní pomůcku „Stanovení průtoku venkovního vzduchu a bilance  $\text{CO}_2$  v učebně“, která je přílohou tohoto metodického pokynu.

Pro doložení opatření na snížení hluku (akustického tlaku) musí být přílohou projektové dokumentace výpočet, prokazující nepřekročení hladiny akustického tlaku  $A$  v místě pobytu osob 40 dB [22]. Pro výpočet je možné použít dostupné výpočetní nástroje (např.: [23]). Výpočet se provádí pro reálný provoz větrací jednotky, který odpovídá schválené kapacitě školy / učebny a dimenzování větrání dle tabulky 2.1. V případě využití tlumičů hluku je požadováno doložení jejich parametrů.

#### 5.2 Zpracovatel energetického posouzení

Zpracovatelem energetického posouzení je energetický specialista podle § 10 odst. 1 písm. a) zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů.

V energetickém posouzení musí být uveden denní a roční provozní režim jednotlivých větraných prostorů a příslušný počet uživatelů těchto prostorů (obsazenost), odpovídající současnému, případně budoucímu způsobu využití objektu.

Zpracovatel energetického posouzení musí v energetické bilanci zohlednit výchozí i nově navrhovaný systém větrání. Spotřeba energie na pokrytí tepelných ztrát větráním je společně se spotřebou energie na pokrytí tepelných ztrát prostupem tepla zahrnuta ve spotřebě energie na vytápění a v celkové energetické bilanci sestavené dle přílohy č. 4 vyhlášky č. 480/2012 Sb. je uvedena v řádce č. 7.

Spotřeba energie na pokrytí tepelných ztrát větráním ve výchozím i navrhovaném stavu musí odpovídat požadovanému průtoku venkovního vzduchu, resp. požadované intenzitě větrání v jednotlivých větraných prostorech budovy v souladu s tímto metodickým pokynem (tab. 2.1) a schválené kapacitě školy. Maximální požadovaná intenzita větrání může být uvažována pouze v provozní době těchto prostorů, které musí být definovány. Mimo dobu pobytu osob ve větraných prostorech je doporučena minimální intenzita větrání  $0,1 \text{ h}^{-1}$  v souladu s ČSN 73 0540-2 [13].

Pro vyčíslení energetických přínosů instalací nuceného větrání se zpětným získáváním tepla musí být v souladu s vyhláškou č. 78/2013 Sb. [2] použita účinnost zpětného získávání tepla stanovená podle ČSN EN 308 [8].

Zpracovatel energetického posouzení musí v energetické bilanci zohlednit spotřebu elektrické energie pro pohon ventilátorů větracích systémů, která odpovídá jejich příkonu a provozním hodinám. Tato spotřeba se uvádí v řádku 10 celkové energetické bilance sestavené dle vyhlášky č. 480/2012 Sb. [6].

## 6 Závěr

Předložená metodika uvádí přehled větracích systémů a doporučení vedoucí k zajištění požadované kvality vnitřního ovzduší ve školních budovách se zaměřením na učebny, s ohledem na dodržení hygienických hlukových limitů. Přehled větracích systémů je uveden v příloze 1, příklad návrhu je uveden v příloze 2. V příloze 3 je uveden popis výpočetní pomůcky „Stanovení průtoku venkovního vzduchu a bilance CO<sub>2</sub> v učebně“, která je součástí tohoto metodického pokynu.

Předložená metodika umožňuje posoudit jednotlivé systémy větrání a zvolit systém vhodný pro danou školní budovu, resp. učebnu s ohledem na provozní náklady. Pro větrání učeben se použijí systémy, které umožňují řízené větrání podle potřeby tj. podle koncentrace CO<sub>2</sub> v učebně. **S ohledem na podporu opatření vedoucích k energetickým úsporám se jednoznačně doporučuje využití rovnotlakých větracích systémů se zpětným získáváním tepla. Přirozené větrání lze použít pouze ve výjimečných a odůvodněných případech.**

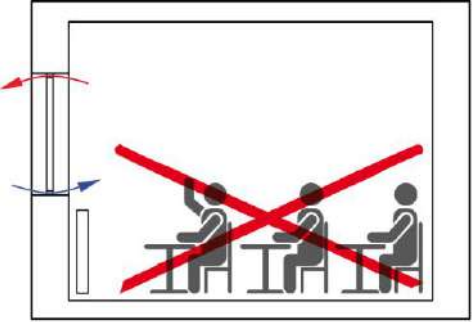
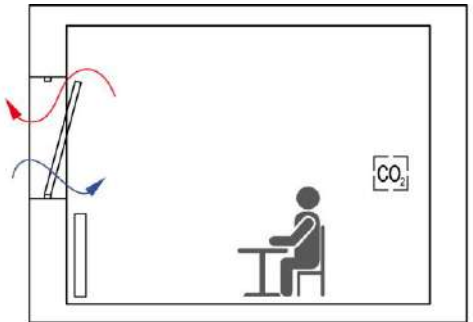
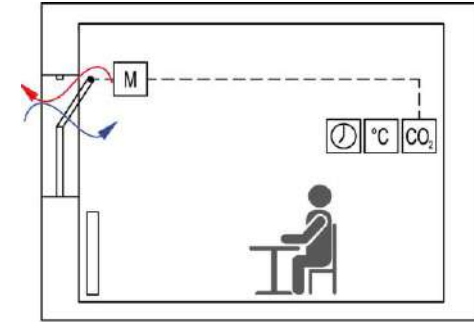
Předmětem této metodiky není návrh a hodnocení větracích systémů vybavených strojním chlazením.

## 7 Použitá literatura

- [1] Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií ve znění pozdějších předpisů
- [2] Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov
- [3] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.
- [4] 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.
- [5] 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.).
- [6] Vyhláška č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku.
- [7] Vyhláška č. 268/2009 Sb., kterou se mění vyhláška o technických požadavcích na stavby ve znění pozdějších předpisů (Vyhláška č. 20/2012 Sb.)
- [8] ČSN EN 308 Výměníky tepla - Metody zkoušek pro ověření výkonnosti zařízení pro regeneraci tepla. ÚNMZ. 1998.
- [9] ČSN EN 13779. Větrání nebytových budov - Základní požadavky na větrací a klimatizační systémy. ÚNMZ 2010.
- [10] ČSN EN 15251. Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky. Praha: ÚNMZ, 2011. Třídící znak 127028.
- [11] ČSN EN 15665/Z1: 2009. Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov. ÚNMZ 2011.
- [12] ČSN EN 12 831: 2005. Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu. ÚNMZ 2011. 2005.

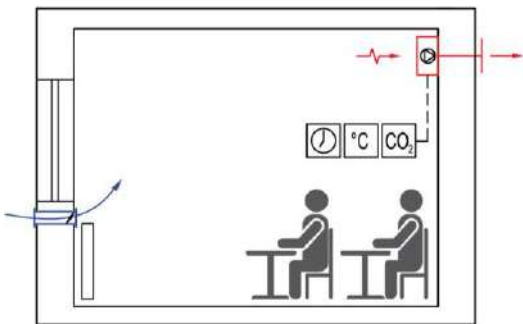
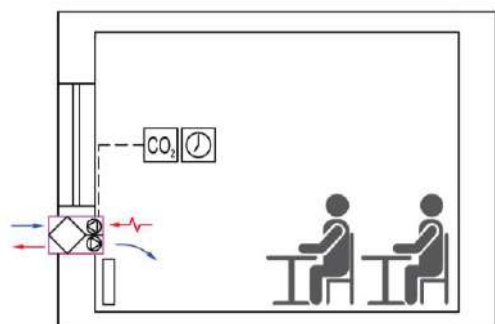
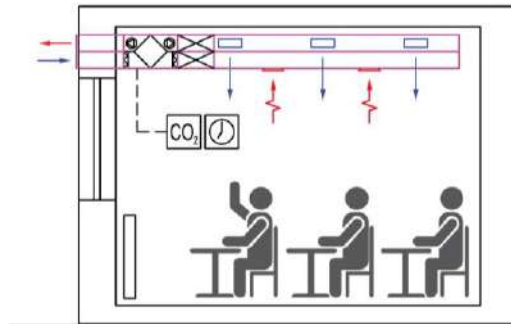
- [13] ČSN 73 0540–2 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky. ÚNMZ. 2011.
- [14] VDI 6040-1:2011 Raumluftechnik Schulen Anforderungen.
- [15] VDI 6040-2:2014 Raumluftechnik – Schulen – Ausführungshmwelse Entwurf (VDI-Lüftungsregeln, VDI-Schulbaurichtlinien).
- [16] ČSN EN 16282-1: 2018 Zařízení komerčních kuchyní - Prvky pro větrání komerčních kuchyní - Část 1: Obecné požadavky včetně výpočtové metody.
- [17] 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.
- [18] ASHRAE Handbook 2009 Fundamentals. 2009, Atlanta: ASHRAE. ISBN – 978-1-933742-55-7
- [19] BEGENI, M., ZMRHAL, V. Dotazníkový průzkum stavu školských budov. In: portál TZB info. ISSN 1801-4399. 2015.
- [20] BEGENI, M., ZMRHAL, V. Potřeba energie pro větrání učeben. In.: Vytápění, větrání, instalace. 2014, roč. 24, č. 5, s. 218-222. ISSN 1210-1389
- [21] MATHAUSEROVÁ, Z., MORÁVEK P. Větrání kuchyní. Sešit projektanta č. 1. Společnost pro techniku prostředí. 2000.
- [22] ZMRHAL, V. a kol. Větrání škol v souvislostech. Společnost pro techniku prostředí. 2017
- [23] VOPÁLKA, K. Výpočtová aplikace pro výpočet hluku šířeného potrubním systémem vzduchotechniky. Dostupné z: <<http://www.qpro.cz/Vypocet-hluku-vzduchotechniky>>

**Příloha 1: Přehled větracích systémů a jejich možnosti použití ve školách**

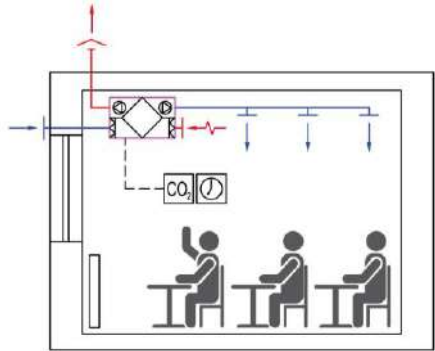
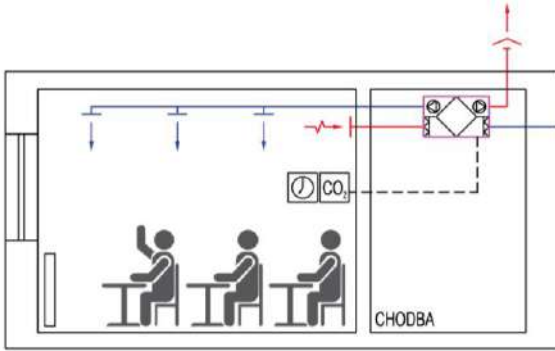
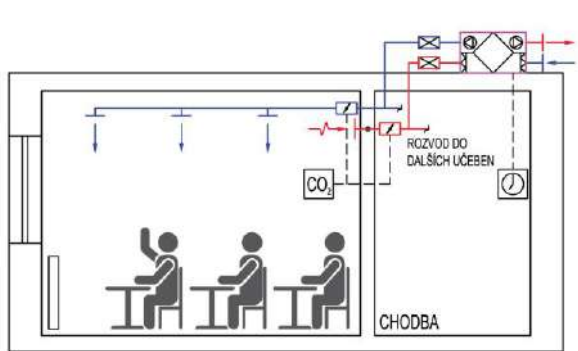
Číslo	1	2	3
Větrání	Přírozené		
Popis	Infiltrace a mikroventilace	Provětrávání otevíratelnými okny	Provětrávání mechanicky otevíratelnými okny (křídly)
Schéma			
Charakteristika	Přírozené větrání netěsnostmi oken. Nová okna se vyznačují minimálním průtočným průřezem funkčních spár.	Přírozené větrání 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 pohledu bezpečnosti žáků a ochrany proti vniknutí cizích osob.	Přírozené větrání závislé na rozdílu teploty vnitřního a venkovního vzduchu a na působení větru. Nezajistí rovnoměrné provětrání prostoru. V chladném období riziko tepelného diskomfortu v blízkosti oken. Otevřená okna jsou rizikem z pohledu 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.	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> .	Provoz dle stanoveného časového plánu. Ovládání mechanické servopohonem (automaticky) podle čidla CO <sub>2</sub> s kontrolou teploty vnitřního vzduchu.

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

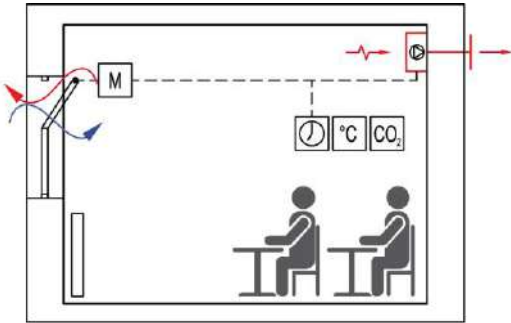
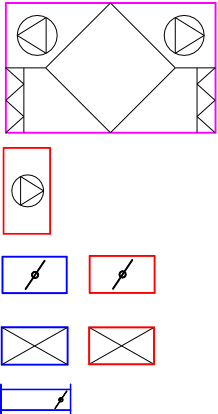
<b>Použití</b>	Pro větrání se nedoporučuje, nelze splnit požadavky na větrání dle předložené metodiky.	Pouze tam, kde není riziko výrazného znečištění venkovního vzduchu. Pro větrání učeben se obecně nedoporučuje. Připouští se pro učebny s malým počtem žáků (1-2 žáci, 1 učitel) nebo kabinety.	Pouze tam, kde není riziko výrazného znečištění venkovního vzduchu. Pro větrání učeben se obecně nedoporučuje. Připouští se pro učebny s malým počtem žáků (1-2 žáci, 1 učitel) nebo kabinety.
----------------	---	--	--


Číslo	4	5	6
Větrání	Nucené		
	Podtlakové	Rovnotlaké	Rovnotlaké
Popis	Odsávání lokálním ventilátorem	Lokální (parapetní) větrací jednotka v obvodovém plášti	Lokální potrubní podstropní větrací jednotka
Schéma			
Charakteristika	Nucené odsávání ventilátorem s přívodem venkovního vzduchu podtlakem okenními nebo parapetními štěrbinami. Odvod odsávaného vzduchu obvodovou stěnou nebo do vertikální šachty. V chladném období riziko tepelného diskomfortu v blízkosti otvorů pro přívod vzduchu. Ventilátor emituje hluk, nesmí být překročeny hlukové limity. Výhodnější je umístit ventilátor vně větrané místnosti.	Přívod a odvod vzduchu větrací jednotkou se ZZT umístěnou v parapetu. Zpravidla je nutno použít větší počet jednotek prostupujících obvodovým pláštěm. Nezajistí celkové (rovnoměrné) provětrání prostoru. Bez možnosti odvodu kondenzátu (stéká po fasádě). Omezená možnost filtrace vzduchu. Jednotka emituje hluk, nesmí být překročeny hlukové limity.	Přívod a odvod vzduchu podstropní větrací jednotkou se ZZT a filtrací, tlumičem hluku s kompaktním krátkým vzduchovodem pro přívod a odvod vzduchu. Zajistí celkové (rovnoměrné) provětrání prostoru. Nutný prostup v obvodové stěně. Kompaktní zařízení s filtrací, ZZT, tlumením hluku a distribucí přiváděného vzduchu. Jednotka v učebně emituje hluk, nesmí být překročeny hlukové limity. Nutná údržba, servis, výměna filtrů.
Energie	Tepelná ztráta větráním musí být zcela hrazena otopnou soustavou. Nelze použít ZZT.	Tepelná ztráta větráním je zčásti hrazena ZZT, zčásti musí být hrazena otopnou soustavou.	Tepelná ztráta větráním je z podstatné části hrazena ZZT, menší část hradí otopná soustava.

	Potřeba energie pro pohon ventilátoru.	Omezená účinnost ZZT. Potřeba energie pro pohon ventilátorů pro přívod a odvod vzduchu.	Potřeba energie na pohon ventilátorů pro přívod a odvod vzduchu.
<b>Ovládání</b>	Provoz dle stanoveného časového plánu. Regulace průtoku automaticky podle čidla CO <sub>2</sub> s kontrolou teploty vnitřního vzduchu.	Provoz dle stanoveného časového plánu. Regulace průtoku automaticky podle čidla CO <sub>2</sub> variantně i s kontrolou teploty vnitřního vzduchu.	Provoz dle stanoveného časového plánu. Regulace průtoku automaticky podle čidla CO <sub>2</sub> variantně i s kontrolou teploty vnitřního vzduchu.
<b>Použití</b>	Pouze tam, kde není riziko výrazného znečištění venkovního vzduchu. Pro větrání učeben se nedoporučuje s ohledem na energetickou náročnost a riziko tepelného diskomfortu.	Pouze tam, kde není riziko výrazného znečištění venkovního vzduchu. Pro větrání učeben se obecně nedoporučuje. Připouští se pro učebny s malým počtem žáků, kde systém splní požadavek na větrání.	Bez omezení z hlediska kvality venkovního vzduchu, rizikové je pouze znečištění venkovního ovzduší plynými látkami.

Číslo	7	8	9
Větrání	Nucené		
	Rovnotlaké	Rovnotlaké	Rovnotlaké
Popis	Lokální větrací jednotka umístěná v učebně	Lokální větrací jednotka umístěná vně učebny	Centrální větrací jednotka pro více místností
Schéma			
Charakteristika	Přívod a odvod vzduchu větrací jednotkou se ZZT a filtrací. Nutné prostupy pro přívod a odvod vzduchu v obvodové stěně nebo ve stropě, případně odvod vzduchu vertikální šachtou. Zajistí celkové (rovnoměrné) provětrání	Přívod a odvod vzduchu větrací jednotkou se ZZT a filtrací. Zajistí celkové (rovnoměrné) provětrání prostoru připojeným vzduchovodem pro přívod vzduchu. Do učebny pouze prostupy pro přívod a odvod vzduchu. Nasávání venkovního vzduchu a odvod	Přívod a odvod vzduchu větrací jednotku se ZZT, filtrací a regulátory průtoku vzduchu. Zajistí 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.

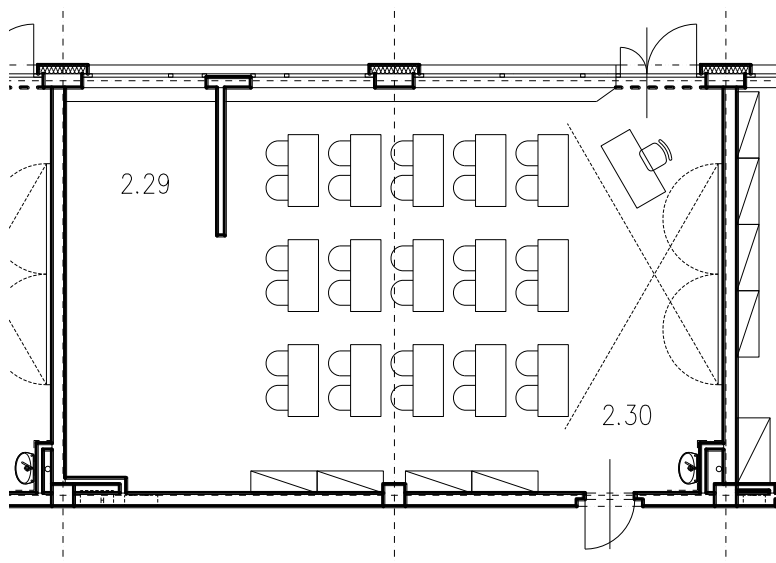
	prostoru připojeným vzduchovodem pro přívod vzduchu. Jednotka v učebně emituje hluk, nesmí být překročeny hlukové limity. Nutná údržba, servis, výměna filtrů.	znehodnoceného vzduchu do/z jednotky stěnami (vertikálními šachtami) mimo učebnu. Jednotka přímo nezatěžuje hlukem prostor učebny, nicméně nesmí být překročeny hlukové limity. Nutná údržba, servis, výměna filtrů.	Jednotka emituje hluk, doporučuje se akustické řešení k omezení hluku šířeného do vnitřního i venkovního prostředí. Při návrhu možno respektovat současnost provozu. Nutná údržba, servis, výměna filtrů.
<b>Energie</b>	Tepelná ztráta větráním je z podstatné části hrazena ZZT, menší část hradí otopná soustava, nebo může být jednotka vybavena ohřívačem. Potřeba energie na pohon ventilátorů pro přívod a odvod vzduchu.	Tepelná ztráta větráním je z podstatné části hrazena ZZT, menší část hradí otopná soustava, nebo může být jednotka vybavena ohřívačem. Potřeba energie na pohon ventilátorů pro přívod a odvod vzduchu.	Tepelná ztráta větráním je z podstatné části hrazena ZZT, menší část hradí ohřívač vzduchu ve větrací jednotce. Potřeba energie na pohon ventilátorů pro přívod a odvod vzduchu.
<b>Ovládání</b>	Provoz dle stanoveného časového plánu. Regulace průtoku automaticky podle čidla CO <sub>2</sub> variantně i s kontrolou teploty vnitřního vzduchu.	Provoz dle stanoveného časového plánu. Regulace průtoku automaticky podle čidla CO <sub>2</sub> variantně i s kontrolou teploty vnitřního vzduchu.	Provoz dle stanoveného časového plánu. Regulace průtoku automaticky podle čidla CO <sub>2</sub> variantně i s kontrolou teploty vnitřního vzduchu.
<b>Použití</b>	Bez omezení z hlediska kvality venkovního vzduchu, rizikové je pouze znečištění venkovního ovzduší plynnými látkami.	Bez omezení z hlediska kvality venkovního vzduchu, rizikové je pouze znečištění venkovního ovzduší plynnými látkami.	Bez omezení z hlediska kvality venkovního vzduchu, rizikové je pouze znečištění venkovního ovzduší plynnými látkami.

Číslo	10	Legenda
<b>Větrání</b>	<b>Hybridní</b>	
<b>Popis</b>	<b>Kombinace přirozeného a nuceného větrání pro jednu učebnu</b>	
<b>Schéma</b>		 <p>Vzduchotechnická jednotka</p> <p>Ventilátor</p> <p>Regulátor průtoku vzduchu</p> <p>Tlumič hluku</p> <p>Otvor v obvodové stěně pro přívod</p>
<b>Charakteristika</b>	Kombinace přirozeného větrání oknem s nuceným	

	<p>podtlakovým větráním (odvodem vzduchu lokálním ventilátorem).</p> <p>Učebna je větrána přirozeně, mechanicky ovládaným otevíratelným oknem (viz systém 3); podle způsobu ovládání, při nedostatečné kvalitě vnitřního vzduchu, se uvádí do chodu odsávací ventilátor (v tomto stavu se funkce hybridního systému shoduje se systémem 4). Ventilátor emituje hluk, nesmí být překročeny hlukové limity.</p> <p>Nutná údržba, servis.</p>	<div><div>CO<sub>2</sub></div><div>°C</div><div></div><div>M</div></div>	vzduchu
Energie	<p>Tepelná ztráta větráním musí být zcela hrazena otopnou soustavou.</p> <p>Nelze použít ZZT.</p> <p>Potřeba energie na pohon ventilátoru.</p>		Čidlo CO <sub>2</sub>
Způsob ovládání	<p>Provoz dle stanoveného časového plánu.</p> <p>Regulace průtoku automaticky podle čidla CO<sub>2</sub> s kontrolou teploty vnitřního vzduchu.</p> <p>Funkce mechanického otevírání oken musí být spojena s chodem ventilátoru.</p> <p>Okna musí být vybavena elektronickým zámkem pro možnost uzavření.</p>		Čidlo teploty
Použití	<p>Pouze tam, kde není riziko výrazného znečištění venkovního vzduchu.</p>		Regulace časového provozu
			Servopohon

## Příloha 2: Příklad výpočtu větracího vzduchu pro učebnu ZŠ (2. stupeň)

**Půdorys učebny**



<b>Počet žáků ve třídě <math>n_z</math></b>	30		
<b>Počet vyučujících (asistentů) <math>n_v</math></b>	1		
<b>Dávka vzduchu na žáka</b>	18		
<b>Dávka vzduchu na vyučující</b>	50		
<b>Teplota vnitřního vzduchu <math>t_i</math></b>	21 °C		
<b>Teplota venkovního vzduchu <math>t_e</math></b>	-15 °C		
<b>Systém větrání</b>	Přírozené větrání	Nucené podtlakové	Nucené rovnotlaké větrání
<b>Průtok větracího vzduchu</b>	$30 \text{ dětí} \cdot 18 \text{ m}^3/\text{h.os} = 540 \text{ m}^3/\text{h}$ $1 \text{ vyučující} \cdot 50 \text{ m}^3/\text{h.os} = 50 \text{ m}^3/\text{h}$ Celkem průtok: $590 \text{ m}^3/\text{h}$		
<b>Účinnost zpětného získávání tepla</b>	0 %	0 %	70 %
<b>Tepelná ztráta větráním</b>	7,75 kW	7,75 kW	2,32 kW
<b>SFP ventilátoru / jednotky</b>	0	750	1500 W/(m <sup>3</sup> /s)
<b>Předpokládaná doba provozu</b>	5 h/vyučovací den		
<b>Potřeba energie na ohřev vzduchu</b>	2989 kWh/rok	2989 kWh/rok	897 kWh/rok
<b>Potřeba el. energie na pohon ventilátorů</b>	0 kWh/rok	101,5 kWh/rok	203 kWh/rok

\*Pro výpočet potřeby tepla na ohřev vzduchu byly použity hodinové klimatické údaje referenčního roku pro Prahu

## Příloha 3: Popis výpočetní pomůcky „Stanovení průtoku venkovního vzduchu a bilance CO<sub>2</sub> v učebně“

Výpočetní pomůcka slouží projektantovi pro stanovení průtoku venkovního vzduchu dle předložené metodiky a kontrole, zda nebude překročena limitní koncentrace CO<sub>2</sub> v učebně. Projektant vyplní pouze šedá pole nebo zvolí odpovídající hodnotu z rozbalovacích menu. Všechny ostatní údaje jsou dopočítávány.

Obecné zadání obsahuje:

- název projektu,
- adresu projektu,
- datum vypracování,
- jméno projektanta,
- čísla učeben, na něž se výpočet vztahuje.

**Levý sloupec** výpočetní pomůcky obsahuje konkrétní zadání učebny z hlediska provozu. Výstupem je návrhový průtok přiváděného venkovního vzduchu.

V oblasti „**Zadání učebny**“ se doplní následující údaje:

- z rozbalovacího menu se vybere typ školy (MŠ, ZŠ 1. stupeň, ZŠ 2. stupeň nebo SŠ). Pokud projektant neví, pro jaký stupeň ZŠ bude učebna v budoucnu sloužit, uvede se 2. stupeň.
- objem místnosti, který slouží pro výpočet intenzity větrání a je používán ve výpočtu průběhu koncentrace CO<sub>2</sub>,
- počet dětí ve třídě,
- počet vyučujících nebo asistentů - myšleno dospělých osob přítomných při výuce ve třídě.

V oblasti „**Produkce CO<sub>2</sub>**“ se doplní/zvolí - je možno volit ze tří hodnot:

- maximální koncentrace CO<sub>2</sub> v učebně - je možno volit ze tří hodnot: 1000 ppm, 1200 ppm a 1500 ppm,
- koncentrace CO<sub>2</sub> ve venkovním ovzduší - je možno volit ze tří hodnot: 400 ppm odpovídá venkovské oblasti, 550 ppm městské aglomeraci a 700 ppm průmyslové oblasti,
- procento dětí o přestávkách ve třídě. Tento údaj slouží pro výpočet produkce CO<sub>2</sub> během přestávek. Pokud děti opouští učebny o přestávkách, uvede se 0 %, pokud mají děti povolen volný pohyb po budově, uvede se 50 %, v ostatních případech 100 %.

V oblasti „**Větrání**“ se doplní:

- průtok větracího vzduchu na vyučujícího (zpravidla 25 – 50 m<sup>3</sup>/h).

V oblasti „**Tepelná ztráta větráním**“ se doplní/zvolí:

- teplota vzduchu v místnosti,
- venkovní výpočtová teplota podle ČSN EN 12831 (tepelná ztráta větráním se počítá podle ČSN EN 15 665/Z1 ),
- účinnost (teplotní faktor) zpětného získávání tepla – uvede se v případě použití nucených rovnotlakých systémů.

**Pravý sloupec** je určen pro kontrolu průběhu koncentrace CO<sub>2</sub> od počátku vyučování, s možností volby (zadání) průtoku vzduchu v 5 minutových intervalech. Počáteční koncentrace v učebně se rovná koncentraci CO<sub>2</sub> ve venkovním ovzduší. Výpočet předpokládá malou přestávku po 1., 3., a 4. vyučovací hodině, velkou přestávku po 2. vyučovací hodině. Průtoky vzduchu zadane pro počátek vyučování se opakují i v dalších vyučovacích hodinách a přestávkách. Pole pro zadání průtoku vzduchu nesmí zůstat prázdné a hodnota musí být vždy větší než 0 (např. 0,001 pro úsek bez větrání).

Výpočet v pravém sloupci umožňuje stanovit průběh koncentrace CO<sub>2</sub> při časově proměnném (případně přerušovaném) větrání, např. pro větrání s rozdílnou intenzitou (rozdílným průtokem venkovního vzduchu) o vyučovacích hodinách a přestávkách.



# Stanovení průtoku venkovního vzduchu a bilance CO<sub>2</sub> v učebně

Akce:	Základní škola Jana Masaryka	Vypracoval:	Titul, Jméno Příjmení
Adresa:	Pražská 4, Praha 4	Datum:	16.12.2015
Učebny č.:	401 - 8.A, 402 - 8.B, 403 - 8.C, apod.		

## Zadání učebny

Typ školy	Základní škola 2. stupeň	
Objem místnosti	250	m <sup>3</sup>
Počet dětí ve třídě	30	osob
Vyučující	1	osob

## Produkce CO<sub>2</sub>

Produkce CO <sub>2</sub> od dětí	0,015	m <sup>3</sup> /h.os
Produkce CO <sub>2</sub> od učitele	0,017	m <sup>3</sup> /h.os
Maximální koncentrace CO <sub>2</sub> v učebně	1500	ppm
Koncentrace CO <sub>2</sub> ve venkovním ovzduší	550	ppm
Počáteční koncentrace CO <sub>2</sub> ve třídě	550	ppm
Procento dětí o přestávkách ve třídě	100	%
Produkce CO <sub>2</sub> o vyučování	0,46	m <sup>3</sup> /h
Produkce CO <sub>2</sub> o přestávkách	0,44	m <sup>3</sup> /h

## Větrání

Množství vzduchu na žáka	18	m <sup>3</sup> /h.os
Množství vzduchu na vyučujícího	50	m <sup>3</sup> /h.os
Návrhový průtok větracího vzduchu	590	m <sup>3</sup> /h
Intenzita větrání (orientačně)	2,36	h <sup>-1</sup>

## Teplotná ztráta větráním

Teplota vzduchu v místnosti	20	°C
Venkovní výpočtová teplota ČSN 12831	-12	°C
Účinnost ZZT	0	%
Teplotná ztráta větráním	7532	W

## Větrání během vyučovací hodiny

	od	do	Průtok m <sup>3</sup> /h
1. vyučovací hodina 45 min (průtoky vzduchu platí pro 2, 3, 4 a 5 hodinu)	8:00	8:05	580
	8:05	8:10	580
	8:10	8:15	580
	8:15	8:20	580
	8:20	8:25	580
	8:25	8:30	580
	8:30	8:35	580
	8:35	8:40	580
	8:40	8:45	580

## Větrání během malé přestávky

10 min	8:45	8:50	580
	8:50	8:55	580

## Větrání během velké přestávky

20 min	9:40	9:45	580
	9:45	9:50	580
	9:50	9:55	580
	9:55	10:00	580

## ZÁVĚR

Návrhový průtok	590	m <sup>3</sup> /h
Průtok pro dodržení CO <sub>2</sub>	580	m <sup>3</sup> /h
Max. koncentrace CO <sub>2</sub>	1338	ppm
Navržené větrání	VYHOVUJE	

