

Ing. Petra BARÁNKOVÁ
 ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
 Ústav techniky prostředí

Měření intenzity větrání metodou značkovacího plynu CO₂ (Část 2.)

Ventilation measurements using CO₂ as a tracer gas (Part 2.)

Recenzent
 prof. Ing. František Drkal, CSc.

V první části příspěvku, publikované v minulém čísle časopisu VVI, byla stručně popsána problematika větrání v obytných budovách. Pozornost byla zaměřena na význam větrání a možnosti měření intenzity větrání využitím CO₂ produkovaného lidmi. V této části jsou uvedeny další výsledky studie týkající se zpracování dat a analýzy nejistot. Podrobněji jsou popsány existující výpočtové metody a také dvě metody nově navržené: metoda jediného parametru (analýza poklesu koncentrací CO₂) a metoda dvou parametrů (analýza nárůstu koncentrací).

Klíčová slova: větrání, oxid uhličitý, značkovací plyn, výpočtová metoda, analýza nejistot

The topic of ventilation in dwellings was briefly described in the first part of the article published in the previous issue of this journal. Attention was paid to the importance of ventilation and to the possibility of using carbon dioxide produced by people for ventilation measurements. In this part, further results of the study concerning data treatment and error analyses are published. Existing calculating techniques and two new techniques (one-parameter decay and two-parameters build-up techniques) are described in details.

Key words: ventilation, carbon dioxide, tracer gas, calculating technique, error analyses

STÁVAJÍCÍ VÝPOČTOVÉ METODY

Značkovací metody, které je možné použít k výpočtu intenzity větrání na základě měření koncentrací oxidu uhličitého produkovaného lidmi, byly stručně popsány v první části. Jedná se o metodu poklesu koncentrací, metodu rovnovážné koncentrace a metodu nárůstu koncentrací. Slovo „metoda“ v jejich názvu znamená v tomto případě spíše princip nebo metodiku – nejedná se o konkrétní a přesně definované postupy, jak analyzovat naměřené hodnoty. Tyto postupy (jednotlivé výpočtové metody) existují v několika různých podobách [1], [2], [3].

Základem všech výpočtových metod je vždy bilance značkovacího plynu v místnosti, viz. obr. 1:

$$F \cdot d\tau + Q \cdot C_e \cdot d\tau = V \cdot dC + Q \cdot C \cdot d\tau \quad (1)$$

kde

F	objemový tok CO ₂ produkovaný lidmi	[m ³ /s]
Q	objemový průtok vzduchu místností	[m ³ /s]
C_e	venkovní koncentrace CO ₂	[m ³ /m ³]
C	koncentrace CO ₂ v místnosti v čase τ	[m ³ /m ³]
τ	čas	[s]
V	objem místnosti	[m ³]

Rovnici lze upravit do tvaru:

$$F + Q \cdot C_e = V \cdot \frac{dC}{d\tau} + Q \cdot C \quad (2)$$

Tato bilanční rovnice je pak dále upravena pro konkrétní případ značkovací metody, např. při řešení metodou poklesu koncentrací je nulová produkce CO₂ ($F = 0$), při aplikaci metody rovnovážné koncentrace je nulový gradient $dC/d\tau$, atd. Jednotlivé výpočtové metody se od sebe navzájem liší způsobem výpočtu a množstvím naměřených dat zahrnutých do výpočtu.

„Klasické“ výpočtové metody jsou založeny na dosažení naměřených a vstupních hodnot (produkovaný tok CO₂, objem místnosti, koncentrace CO₂, doba trvání) do příslušné rovnice odvozené integrací z bilanční rovnice (2) (použitá symbolika odpovídá značení v rovnici (1)):

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{1}{V} d\tau = \int_{C_1}^{C_2} \frac{1}{F - Q \cdot (C - C_e)} dC \quad (3)$$

Tyto výpočtové metody jsou často uváděné v odborné literatuře [1], [2], [4]. Nejčastěji používanou „klasickou“ výpočtovou metodou při analýze poklesu koncentrací značkovacího plynu je **metoda průměrného poklesu** koncentrací – intenzita větrání se určí jako podíl logaritického rozdílu dvou koncentrací značkovacího plynu (počáteční a výsledné) a doby trvání měření [5].

Klasická výpočtová metoda pro analýzu nárůstu koncentrací (**metoda průměrného nárůstu**) zahrnuje do výpočtu všechny měřené koncentrace a to v podobě průměru jejich převrácených $\left[\frac{1}{C}\right]_{prumer}$ hodnot. Průměrný objemový průtok venkovního vzduchu místností se určí [5]:

$$Q = F \cdot \left[\frac{1}{C}\right]_{prumer} - \frac{V}{(\tau_2 - \tau_1)} \cdot \ln\left[\frac{C_2}{C_1}\right] \quad (4)$$

Průměrnou intenzitu větrání lze následně určit jako podíl Q/V .

Pro výpočet intenzity větrání metodou rovnovážné koncentrace je v literatuře uváděn pouze postup popsáný v první části příspěvku. Podrobnější popis všech výše uvedených metod lze nalézt v normách vydaných společností American Society for Testing and Materials (ASTM) [5], [6] a dále v [1], [4], [7].

Výhodou těchto metod je na první pohled jejich jednoduchost a rychlost výpočtu spočívající v jednorázovém dosažení do rovnice. Komplikace naopak přináší výběr dat – např. při aplikaci metody poklesu koncentrací je ve většině příkladů doporučeno vybrat pro analýzu pouze koncentrace naměřené v intervalu, který odpovídá časové konstantě (T) [1], [5]. Časová konstanta je definována jako převrácená hodnota intenzity větrání v dané místnosti. Pokud je však intenzita větrání hledaný parametr, nelze ji použít pro výpočet časové konstanty. V praxi se proto používá určení časové konstanty ze sklonu tečny k teoretické exponenciální křivce naměřených hodnot (přechodová charakteristika 1. řádu, viz. obr. 2). Časovou konstantu odpovídající danému jevu lze potom odečíst na ose času v místě kde ji protne daná tečna [4]. Namísto výběru dat pro analýzu časovou konstantou lze použít postup doporučený v [5] – vybrat pouze koncentrace, které odpovídají lineární části křivky $\ln(C)$ v závislosti na čase (obr. 3).

Jiný výpočtový postup vycházející ze skokové změny produkce CO₂ navrhnul pro analýzu poklesu nebo nárůstu koncentrací Popielek [8]. Tyto výpočtové **metody skokové změny** produkce CO₂ jsou založeny na předpokladu, že před začátkem měření ($\tau \leq \tau_0$) je koncentrace značkovacího plynu v místnosti konstantní, tedy v rovnovážném stavu a člen $dC/d\tau$ v rovnici (2) je nulový. Dále je zavedena funkce vyjadřující skokovou změnu produkce CO₂:

$$F(\tau) = F(\tau_0) + f(\tau) \cdot \Delta F(\tau - \tau_0) \quad (5)$$

kde $f(\tau)$ je jednotková skoková funkce, která je rovna 0 pro $\tau \leq \tau_0$ a 1 pro $\tau > \tau_0$.

Za předpokladu konstantní venkovní koncentrace značkovacího plynu, objemového toku vzduchu a produkce CO_2 lze vyjádřit novou rovnovážnou koncentrací (C_∞), ke které spěje nárůst (pokles) koncentrací, v závislosti na intenzitě větrání (I):

$$C_\infty = C(\tau_0) + \Delta C = C(\tau_0) + \frac{\Delta F}{I \cdot V} \quad (6)$$

Každá jednotlivá změna koncentrace CO_2 může být potom aproximována podle rovnic (2) a (4). V praxi je možné nahradit naměřené hodnoty exponenciální křivkou s využitím nástroje „Řešitel“ v programu Excel. Nahrazení lze provést metodou nejmenších čtverců [3], [8]. Rozdíl mezi analýzou poklesu a nárůstu koncentrací spočívá pouze v zadání produkce CO_2 – při analýze nárůstu koncentrací je produkce CO_2 hledaný parametr a je tedy určena jako výstup spolu s intenzitou větrání. Při analýze poklesu koncentrací je produkce CO_2 nulová. Teoreticky je rozdíl koncentrací mezi dvěma rovnovážnými stavy nezávislý na venkovní koncentraci oxidu uhličitého (jedná se v podstatě o relativní porovnání dvou sousledných rovnovážných stavů), proto venkovní koncentrace nevstupuje do výpočtu. Obě výpočetní metody skokového nárůstu a poklesu produkce jsou podloženy teoretickým odvozením a byly použity k analýze při několika měřeních v reálných budovách [3].

POUŽITÍ STÁVAJÍCÍCH VÝPOČTOVÝCH METOD

Všechny výpočtové metody popsané výše byly použity při analýze dat získaných v laboratorních experimentech s cílem určit jejich přesnost a také citlivost k jednotlivým vstupním parametrům. Při každém měření byla v laboratorní komoře nastavená určitá intenzita větrání s přesností $\pm 10\%$. Analyzovány byly výsledky všech experimentů popsaných v první části příspěvku.

Analýza nárůstu koncentrací

Graf na obr. 4 ukazuje hodnoty intenzity větrání vypočtené z nárůstu koncentrací CO_2 měřených v 18 bodech (graf s průběhem naměřených koncentrací byl uveden v první části, obr. 3). Oranžová příčka znázorňuje intenzitu větrání nastavenou v laboratoři během měření. Intenzita větrání byla v každém bodě vypočtena dvěma výpočtovými metodami – klasickou metodou průměrného nárůstu koncentrací a aproximační metodou skokového nárůstu produkce. Jak je patrné z grafu, vypočtené hodnoty intenzity větrání významně převyšovaly hodnotu $0,2 \text{ h}^{-1}$ nastavenou v laboratoři. Hodnoty zjištěné metodou průměrného nárůstu se lišily až o 30 %. Ještě vyšší rozdíly byly zjištěny metodou skokového nárůstu produkce CO_2 – vypočtené hodnoty se od nastavené intenzity větrání lišily až o 65 %, přestože rozdíly mezi exponenciální křivkou získanou aproximací a naměřenými hodnotami byly minimální.

Podobné výsledky byly získány při analýze nárůstu koncentrací CO_2 naměřených v ostatních experimentech. Intenzity větrání vypočtené oběmi metodami se od nastavené hodnoty lišily až o 70 % v případě výpočtu ve všech měřicích bodech. Pokud byly vybrány pouze body doporučené pro měření na základě studia distribuce CO_2 , maximální odchylky od nastavené hodnoty nepřekročily 50 %.

Při podrobné analýze hodnot vypočtených metodou průměrného nárůstu koncentrace byla jako hlavní příčina nejistot identifikována citlivost výpočtu k výběru dat pro analýzu a k zadání vstupních parametrů. Přesnější výsledky byly získány v případech, kdy byly do výpočtu zahrnuty pouze koncentrace narůstající od nízké počáteční hodnoty blízké se venkovní koncentraci CO_2 . Naopak při výpočtech zahrnujících i koncentrace blízké se rovnovážné koncentraci nebo jenom koncentrace s minimálním gradientem nárůstu byly zjištěny výrazně vyšší odchylky výsledků. Ze vstupních parametrů pak přesnost výsledku nejvíce záležela na zadání toku CO_2 produkovaného lidmi – pouhé odchylení o 1 L/h vede k nárůstu nejistoty výsledku průměrně o 10 %.

Rozbor výsledků vypočtených metodou skokového nárůstu produkce CO_2 ukazuje naopak přílišnou citlivost k výběru měřicího místa a spojitosti naměřených koncentrací (jakékoliv narušení průběhu měření způsobilo výrazné nejistoty ve výsledcích). Jako nejvýznamnější nedostatek této metody bylo však identifikováno chybné určení produkce CO_2 , která je v této metodě určována zároveň s intenzitou větrání. Při experimentech byl objemový tok CO_2 dávovaný do experimentální komory cca 10 L/h. Metodou skokového nárůstu produkce však byly zjištěny hodnoty 7 až 15 L/h, což vysvětluje i velké odchylky ve výpočtech intenzity větrání. Důvodem těchto nejistot byla pravděpodobně neexistence ideálních rovnovážných koncentrací před a po skončení měření. Protože tato podmínka nemůže být splněna ani při měření v reálných budovách, není možné doporučit metodu k plošné aplikaci.

Analýza poklesu koncentrací

Výpočtové metody průměrného poklesu koncentrací a skokového poklesu produkce CO_2 byly ověřovány podobným postupem. Intenzity větrání byly určovány ve všech měřicích bodech z koncentrací naměřených v průběhu experimentů, kdy byl simulován pokles koncentrací v místnosti během nepřítomnosti osob.

Výsledky analýz ukazují podobné nejistoty – v průměru 30 až 80 %. Nejpresnější hodnoty byly vypočteny metodou průměrného poklesu, pokud byl vybrán úsek odpovídající časové konstantě. Pokud však byly do výpočtu zahrnuty všechny naměřené hodnoty (2 až 4 násobky časové konstanty), odchylky vypočtených hodnot od nastavené hodnoty často překročily 50 %.

Intenzity větrání vypočtené metodou skokového poklesu produkce CO_2 se od nastavené hodnoty lišily až o 80 %. Příčina byla podobná jako u metody skokového poklesu produkce – málo vstupních údajů. Zatímco v případě metody skokového poklesu je problémové současné určení produkce CO_2 a intenzity větrání, v případě metody skokového poklesu produkce vznikají nepřijatelné odchylky při současném určování venkovní koncentrace CO_2 a hledané intenzity větrání. Venkovní koncentrace není přímo hledaný parametr, tím je celkový rozdíl koncentrací CO_2 vypočtený jako rozdíl první měřené koncentrace a nové rovnovážné koncentrace (C_∞), která je však v případě oxidu uhličitého limitována určitou minimální hodnotou – venkovní koncentrací. Ve většině případů byla však zjištěná (C_∞) menší než venkovní koncentrace, běžné byly hodnoty pod 100 ppm, což je zcela nemožné. Tato skutečnost také vysvětluje velké nejistoty hodnot vypočtených touto metodou.

NOVĚ NAVRŽENÉ VÝPOČTOVÉ METODY

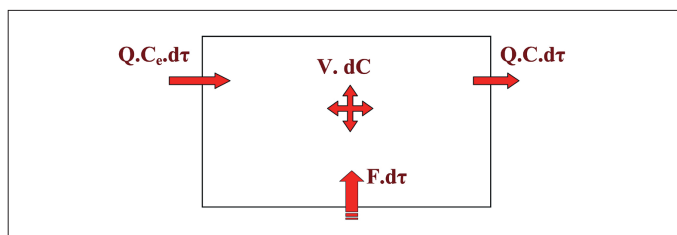
Rozbor výsledků vypočtených stávajícími metodami ukázal, že žádnou z metod nelze jednoduše a bez dodatečných úprav použít při plošném měření intenzity větrání v obytných budovách. Zatímco v klasických výpočtových metodách je nutné k dosažení přesných výsledků přesně zadávat všechny vstupní parametry a zohlednit výběr dat s ohledem na časovou konstantu daného děje, v případě použití metod skokových změn produkce CO_2 způsobuje naopak nepřesnosti nedostatek zadávaných vstupních parametrů. Z těchto poznatků a především z opakovaných analýz dat naměřených v laboratoři vycházel návrh nových výpočtových metod. Pro analýzu nárůstu koncentrací oxidu uhličitého byla navržena **metoda dvou parametrů**, pro výpočet intenzity větrání z naměřeného poklesu koncentrací pak **metoda jediného parametru**.

Metoda dvou parametrů

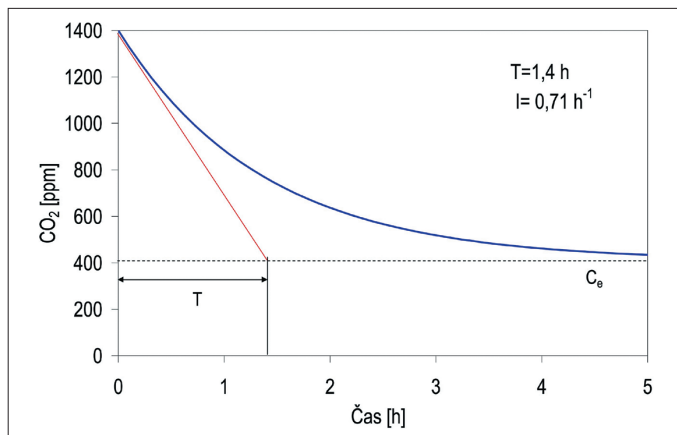
Exponenciální křivka, která vyjadřuje nárůst koncentrací CO_2 produkovaného lidmi v místnosti je obecně určena čtyřmi parametry – viz. rovnice (1):

- venkovní koncentrace oxidu uhličitého (C_e),
- objem místnosti (V),
- objemový tok CO_2 produkovaný lidmi (F),
- intenzita větrání v místnosti (I).

Základní princip metody je podobný jako u metody skokového nárůstu produkce: intenzita větrání je určována společně s objemovým tokem CO_2 produkovaného lidmi. Na rozdíl od metody skokového nárůstu produkce však podstata



Obr. 1 – Bilance značkovacího plynu v místnosti



Obr. 2 – Určení časové konstanty ze sklonu tečny ke křivce naměřených hodnot

metody netkví v hledání nové rovnovážné koncentrace (C_{∞}) za předpokladu dvou následujících rovnovážných stavů, ale v postupném určení jednotlivých elementárních přírůstků koncentrací (ΔC) odpovídajících elementu času ($\Delta \tau$). Od klasických výpočtových metod se pak navrhaná metoda odlišuje právě touto kalkulací – není použita integrace rovnice (1), ale její diferenciální podoba. Elementární nárůst koncentrace CO_2 za element času (interval mezi dvěma měřeními koncentrace v jednom bodě) lze vyjádřit:

$$\Delta C = \frac{\Delta \tau}{V} \cdot [F - l \cdot V \cdot (C_1 - C_e)] \quad (7)$$

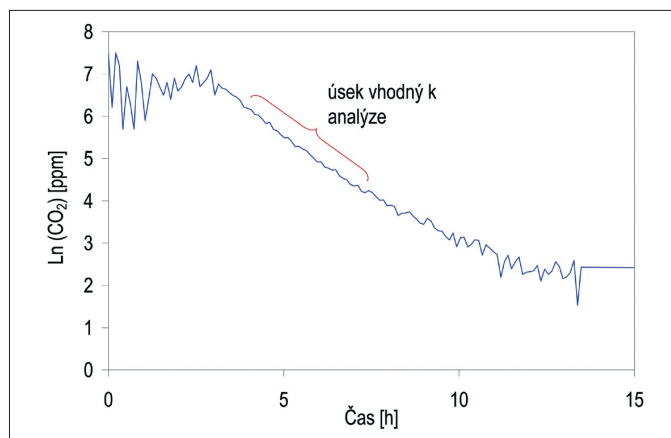
kde (C_1) je koncentrace CO_2 na počátku časového intervalu ($\Delta \tau$).

Následně lze určit koncentraci CO_2 na konci intervalu (C_2) jako součet původní koncentrace (C_1) a přírůstku (ΔC).

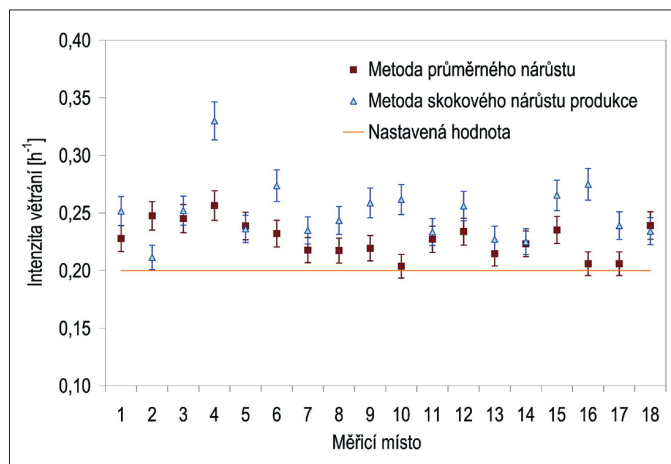
Hledaná intenzita větrání a tok CO_2 produkovaný lidmi se určí porovnáním a následnou aproximací dvou exponenciálních křivek: křivky tvořené naměřenými koncentracemi CO_2 a speciálně zkonstruované teoretické exponenciální křivky (viz obr. 5). Teoretická křivka je složena z jednotlivě spočtených koncentrací (C_2), rovnice (7). Počátek obou křivek je v jednom bodě, který odpovídá první naměřené koncentraci. Všechny další body teoretické křivky jsou pak již spočteny výše zmíněným postupem, přičemž hledané parametry (l) a (F) jsou v této fázi výpočtu libovolně zvolené.

Následuje závěrečný krok výpočtu, kdy je iteračním postupem teoretická křivka transformována v křivku co nejpodobnější křivce naměřených hodnot metodou nejmenších čtverců (obr. 6). Při transformaci teoretické exponenciály (např. nástrojem Řešitel v programu Excel) se změnou neznámých parametrů (l) a (F) hledá křivka, která odpovídá minimálnímu rozdílu jednotlivých koncentrací, přičemž intenzita větrání je určována bez omezení, ale produkce CO_2 se může při výpočtu měnit pouze v určitém intervalu. Tento interval vymezují limity dané počtem a velikostí osob pobývajících v místnosti v průběhu měření. Takto variabilně určená produkce CO_2 umožňuje kompenzovat určité nepřesnosti ve vstupních údajích (výška, hmotnost a fyzická aktivita osob), zároveň však je iterační proces omezen popsanymi limitami, které respektují počet osob pobývajících v místnosti.

Popsaná metoda byla použita k analýze dat naměřených v laboratoři. Graf na obr. 7 znázorňuje hodnoty intenzity větrání vypočtené v 18 měřících bodech



Obr. 3 – Výběr dat k analýze z hodnot logaritmu naměřených koncentrací



Obr. 4 – Intenzita větrání vypočtená metodou průměrného nárůstu koncentrací a metodou skokového nárůstu produkce v 18 měřících bodech

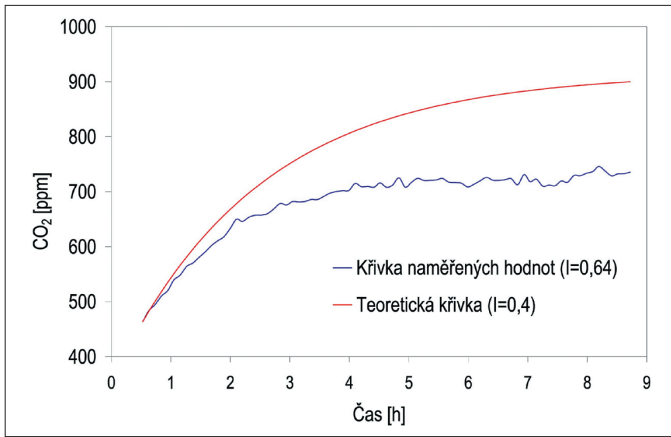
dvěma stávajícími metodami a nově navrženou metodou dvou parametrů. Z grafu je patrné, že hodnoty získané metodou dvou parametrů jsou rozloženy blízko oranžové přímkou znázorňující intenzitu větrání nastavenou v laboratoři. Jisté rozdíly mezi jednotlivými měřícími body existují, ale všechny hodnoty leží v 10% intervalu nejistoty nastavené hodnoty. Obdobné výsledky byly zjištěny při analýze nárůstu koncentrací naměřených v ostatních experimentech. Odchyly vypočtených hodnot od nastavené intenzity větrání v laboratoři nepřekročily 25 % ve všech měřených bodech a 15 % v místech doporučených pro měření (viz 1. část příspěvku).

Metoda jediného parametru

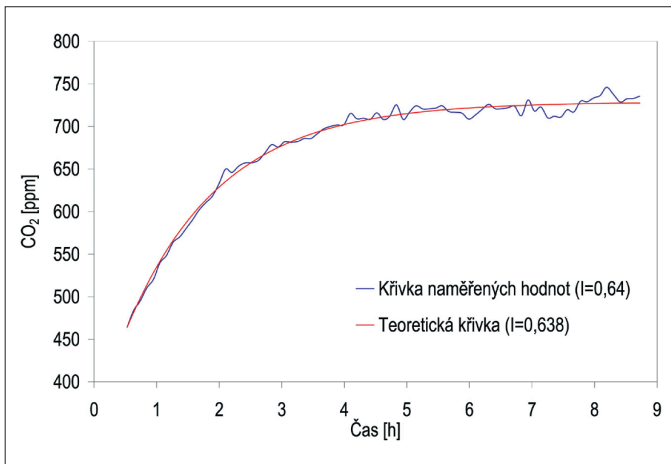
Princip metody je stejný jako u metody dvou parametrů: na základě výpočtu elementárních přírůstků koncentrací ΔC je zkonstruována teoretická exponenciální křivka, která je následně transformována v křivku maximálně se shodující s křivkou naměřených hodnot.

Pokles koncentrací oxidu uhličitého v místnosti je však určen pouze dvěma parametry: intenzitou větrání a venkovní koncentrací CO_2 . Venkovní koncentrace CO_2 by tedy měla být měřena, nebo alespoň přibližně známa a použita jako vstupní parametr. Při iteračním procesu pak zůstává neznámý jediný parametr – hledaná intenzita větrání, která je určena při nalezení nejhodnější exponenciální křivky (obr. 8).

Graf na obr. 9 zobrazuje hodnoty intenzity větrání vypočtené metodou průměrného poklesu koncentrací, metodou skokového poklesu produkce CO_2 a metodou jediného parametru. Z grafu je patrné výrazné zlepšení přesnosti výpočtu – maximální odchylna od intenzity větrání byla 8 %. Podobné výsledky byly dosaženy při aplikaci metody k analýze dat naměřených v ostatních experimentech – všechny vypočtené hodnoty byly v rozmezí 10 % od nastavené hodnoty, ve většině případů se však zjištěné intenzity větrání lišily od nastavené hodnoty o méně než 5 %.



Obr. 5 – Teoretická exponenciální křivka (červeně) a křivka naměřených hodnot (modře) – počáteční podmínky před transformací teoretické křivky



Obr. 6 – Teoretická exponenciální křivka a křivka naměřených hodnot po transformaci teoretické křivky při aplikaci metody dvou parametrů

Navržená metoda eliminuje oba nedostatky stávajících metod – je možné ji aplikovat na celý interval měřených koncentrací a zároveň zohledňuje venkovní koncentraci CO₂.

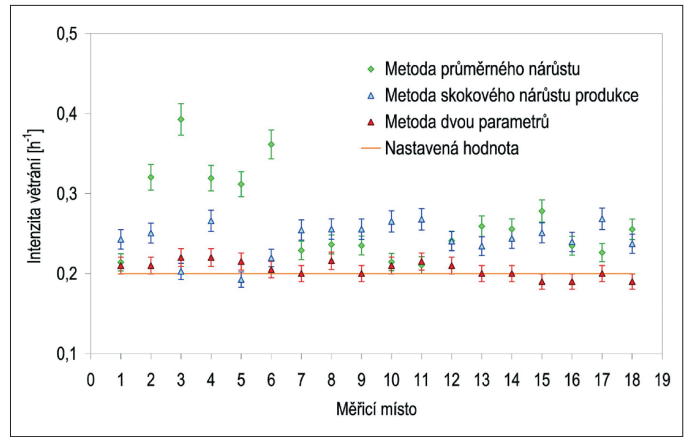
Aplikace a citlivost nových výpočtových metod

Navržené výpočtové metody lze použít k určení intenzity větrání v obytných budovách na základě průběžného měření koncentrací oxidu uhličitého. Pro výpočet metodou dvou parametrů je třeba vybrat úseky během noci, kdy obyvatelé spí a koncentrace CO₂ plynule narůstají. Počet, přibližná velikost přítomných osob, objem místnosti a venkovní koncentrace CO₂ jsou vstupní parametry. Koncentrace naměřené během dne, kdy obyvatelé nejsou doma, jsou analyzovány výpočtovou metodou jediného parametru.

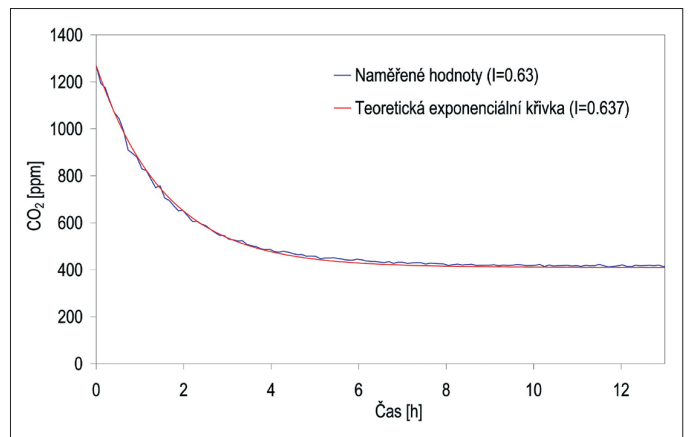
U obou navržených metod byla ověřována citlivost k nejistotám ve vstupních parametrech. Obě metody vykazují velmi malou citlivost k délce intervalu měřených koncentrací zahrnutého do výpočtu. Obecně lze říci, že pokud byl vybraný interval v rozmezí 0,5 až 10 násobků časové konstanty daného děje, nejistota výsledku se nezvýšila o více než 5 %.

Přesnost metody jediného parametru závisí do jisté míry na znalosti venkovní koncentrace CO₂. Rozdíl 30 ppm však nenavýší nejistotu vypočtené hodnoty o více než 10 %, proto by ve většině případů mělo být dostačující jednorázové určení venkovní koncentrace před a po skončení měření.

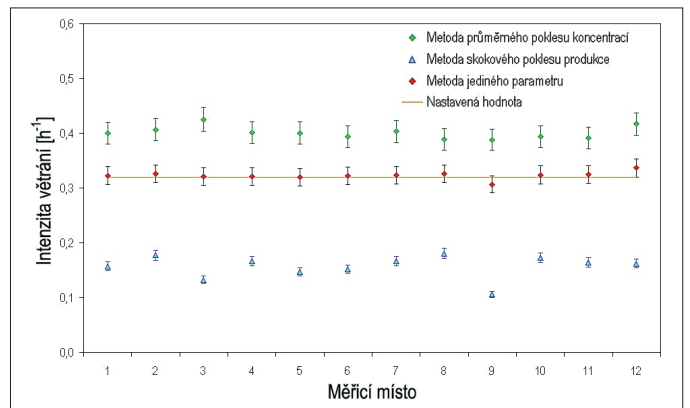
Citlivost metody dvou parametrů k nepřesnostem při určení venkovní koncentrace CO₂ je zanedbatelná. Velmi nízká citlivost byla také zjištěna k nejistotám v ostatních vstupních parametrech – např. maximální odchylka vypočtené intenzity větrání způsobená zadáním jiné hmotnosti (rozdíl 5 kg) a výšky (±10 cm) osoby obývající testovací místnost byla 3 %.



Obr. 7 – Intenzita větrání vypočtená metodou průměrného nárůstu koncentrací, metodou skokového nárůstu produkce a nově navrženou metodou dvou parametrů v 18 měřících bodech



Obr. 8 – Teoretická exponenciální křivka a křivka naměřených hodnot po transformaci teoretické křivky při aplikaci metody jediného parametru k analýze poklesu koncentrací



Obr. 9 – Intenzita větrání vypočtená metodou průměrného poklesu koncentrací, metodou skokového poklesu produkce a nově navrženou metodou jediného parametru ve 12 měřících bodech

ZÁVĚR

Analýzy ukazují, že dosud užívané výpočtové metody jsou velmi citlivé k nejistotám ve vstupních parametrech a nelze je proto použít při plošné studii v obytných budovách. Nově navržené výpočtové metody umožňují snadněji získat přesnější informace o větrání v obytných budovách. Výrazného zpřesnění výsledků bylo dosaženo zejména při stanovení intenzity větrání analýzou poklesu koncentrací (obr. 9).

Použití oxidu uhličitého jako přirozeného značkovacího plynu pro měření intenzity větrání v obytných budovách je možné, je však třeba mít na paměti jistá

omezení, která plynou z vlastností použitého plynu a použité výpočtové metody. Z analýzy naměřených koncentrací oxidu uhličitého lze na základě bilanční rovnice CO₂ v místnosti určit intenzitu výměny vzduchu mezi dvěma zónami. Pouze za určitých podmínek lze říci, že se jedná o výměnu čerstvým venkovním vzduchem, tedy o intenzitu větrání. Přímé určení intenzity větrání je možné např. v situaci, kdy je měřená místnost dobře oddělena od ostatních vnitřních prostor a lze tedy předpokládat výměnu vzduchu téměř výlučně s venkovním prostředím. Měření ukazují, že za dostatečné oddělení jednotlivých místností běžně postačuje zavírání interiérových dveří. V opačném případě, se většinou jedná o jednu větší zónu a je třeba uvážit podmínky rozložení oxidu uhličitého a také možnost výměny vzduchu v měřené místnosti vzduchem z okolních vnitřních prostor. Použití CO₂ v případě vícenásobného propojení místností vyžaduje další výzkum.

Studie je součástí projektu zabývajícím se příčinami alergií a astmatu, který je v současnosti řešen na ICIEE. Na realizaci se dále podíleli K.G. Naydenov, A.K. Melikov a J. Sundell z ICIEE, DTU Lyngby, Dánsko.

Spojení na autorku: petra.barankova@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] ASHRAE Handbook Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2001.
- [2] Awbi, H.B.: Ventilation of Buildings, *Spon Press*, London, 2003.
- [3] Gierczycka, E., Baranowski, A., Blaszczyk, M., Popiolek, Z.: Badanie wymiany powietrza w mieszkaniu metoda zaniku stężenia znacznika gazowego, *VII. Ogólnopolskie Sympozjum Zastosowanie Mechaniki Płynów w Inżynierii Środowiska*, Gliwice–Wisła, 2001, pp 65-72.
- [4] Etheridge, D., Sandberg, M.: Building Ventilation, Theory and Measurement. John Wiley & Sons Ltd., 2000.
- [5] ASTM E 741-00. Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 2000.
- [6] ASTM D 6245–98 (RA 2002). Standard Guide for Using Indoor Carbon Dioxide Concentrations to Evaluate Indoor Air Quality and Ventilation. *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, PA, 2002.
- [7] Grieve, P.W.: Measuring ventilation using tracer-gasses. *Brüel&Kjær*, Denmark, 1989.
- [8] Popiolek, Z.: Methods for Air-Change Measurements in Ventilated Rooms. *Lecture notes, Ventilation and Climatic Systems course*, DTU, Lyngby, Denmark, 2003. ■

* Klíma ze stěny

Firma *Schako* uvedla na trh klimatizační modul šetřící místo, integrovatelný do stěny. Rychlou instalací a rozměry speciálně přizpůsobenými lehké výstavbě tento modul umožňuje, zejména při změnách využití nebo při případné rekonstrukci vnitřních prostorů, jeho bezproblémové přemístění. Při přestěhování se může modul dokonce „brát sebou“ jako kancelářský nábytek. Modul na zástrčku zvaný „Cultra“, je ve tvaru čtyřhranného sloupu hlubokého jen 125 mm. Nasává vzduch při podlaze ventilátorem, směrem vzhůru prochází vodním výměníkem a pod stropem vyfukuje vzduch ven. Je optimalizován pro plochu kanceláře 24 m². K nasávání venkovního vzduchu je k dispozici přídatný prvek „Cultra Fresh“. Modul je nabízen ve volitelném designu.

CCI 6 /2003

(Ku)

* Denně umírá 5000 osob na zkažený vnitřní vzduch

Otřesné informace uvedl na přednášce v Číně prof. Ole Fanger z dánské Technické univerzity, jeden z předních světových odborníků na problematiku kvality vzduchu a pohody prostředí. Podle něho umírá denně na 5000 osob na kontaminovaný vnitřní vzduch, zejména v Číně a v Indii. Proto znovu apeloval, zejména na stavitele čím dále

tím více energeticky účinnějších a tedy vzduchotěsnějších budov, aby nezanedbávali jejich dostatečné kontrolované větrání. Jen tím lze snížit koncentrace jak silně zapáchajících, tak i skutečně zdraví ohrožujících a toxických látek ve vnitřním vzduchu a odvést je ven.

CCI 8 /2004

(Ku)

* Chlazení s kuličkami vosku

Poprvé bylo použito toto k chlazení konferenční místnosti o ploše 250 m² v novostavbě sesterské společnosti BASF. Jedná se o novou, patentovanou techniku Phase Change Material (PCM), kdy jsou do sádrové hmoty nebo omítky přidávány mikroskopicky zakapsované voskové kuličky v koncentraci 20 až 30 %. Stoupne-li v místnosti teplota nad určitou hodnotu, např. 24 °C, počne se tavit speciální vosk v kuličkách. Tím se odnímá z omítky nebo sádky k tavení potřebné skupenské teplo. Tato plocha pak udržuje po celou dobu, než se vosk v kuličkách zcela roztaví, konstantní teplotu omítky a pomáhá udržet pocit tepelné pohody. Přijaté teplo se pak odvede např. při nočním větrání nebo vodním chladičem integrovaným do sádrové hmoty, kdy roztavený vosk opět ztuhne.

CCI 10/2004

(Ku)