

Ing. Radim ČERMÁK, Ph.D.
Arsen K. MELIKOV, Ph.D.
International Centre for Indoor
Environment and Energy, Technical
University of Denmark

Kvalita vzduchu a tepelná pohoda při podlahovém větrání, vytěšňování a směšování

Air Quality and Thermal Comfort Associated with Floor Ventilation, Displacement and Mixing

Recenzent
prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

V zařízené místnosti jsme proměřovali obrazy proudění (koncentrace znečišťujících látek, teploty a rychlosti vzduchu) při přívodu vzduchu podlahovými výústěmi a porovnali je s obrazy proudění při větrání směšováním a vytěšňováním. Výsledky ukazují na přímou závislost mezi dosahem proudu z podlahových výústí a distribucí znečištění vydechaného osobami v místnosti (tabákový kouř nebo infekce dýchacích cest). Dosah proudu neměl vliv na znečištění uvolněné z podlahové krytiny. Podlahové větrání s krátkým dosahem proudu zajistilo kvalitu vzduchu srovnatelnou s vytěšňováním při nižším riziku tepelné nepohody.

Klíčová slova: kvalita vzduchu, tepelná pohoda, obrazy proudění, podlahové větrání

An under floor ventilation system providing two different airflow patterns (short and long throw) was tested and compared with a mixing and displacement ventilation system in a mock-up of a typical office. The impact of the relation between the penetration height of under floor airflows and the stratification of exhaled air contaminants on the inhaled air quality is shown. No difference between the ventilation systems tested was found in regard to the floor contaminant. The main conclusion is that an under floor ventilation system providing a short throw can ensure both a high air quality (comparable to displacement ventilation), while providing a low risk of thermal discomfort for occupants.

Keywords: air quality, thermal comfort, air distribution, under floor ventilation

ÚVOD

Směšování a vytěšňování jsou v současné době nejpoužívanějšími principy distribuce vzduchu v klimatizovaných prostorách. Pro vytěšňování je charakteristické dvouvrstvé rozložení znečišťujících látek uvolněných z teplých zdrojů. Kvalita nadechovaného vzduchu tak může být lepší než při větrání směšováním [1]. Závisí to na výšce vrstvy, která odděluje čistější vzduch ve spodních oblastech místnosti a znečištěný vzduch ve vyšších oblastech místnosti. Přívod vzduchu v blízkosti podlahy (při vytěšňování) však zvyšuje riziko průvanu [2].

V kancelářských budovách se stále častěji setkáváme s distribucí vzduchu podlahovými výústěmi. Nejčastěji se používají vířivé výústě s vysokým objemem přisávaného okolního vzduchu. Udává se, že přívod vzduchu podlahovými výústěmi přináší vyšší čistotu vzduchu ve srovnání se směšováním. O skutečné distribuci látek uvolněných různými zdroji znečištění a rozložení teploty se však ví jen málo.

Yamanaka a kol. [3] ukázali měřením na modelu větrané místnosti, že koncentrace znečištění v místnostech větráných podlahovými výústěmi závisí na vzájemné poloze dělicí vrstvy koncentrací a dosahem přiváděného proudu vzduchu (obr. P1). Dosah proudu se definuje jako výška nad podlahou, kde rychlost přiváděného vzduchu klesne pod 0,25 m/s. Pokud byl dosah proudu vyšší než zmíněná dělicí vrstva, koncentrace znečišťujících látek v pobytové zóně osob vzrůstala a naopak.

Abychom ověřili zmíněná tvrzení a objektivně posoudili účinnost podlahového větrání, navrhli jsme a proměřili větrací systémy s přívodem vzduchu (1) několika podlahovými výústěmi, (2) velkoplošnou stěnovou výústí a (3) stropní vířivé výústě.

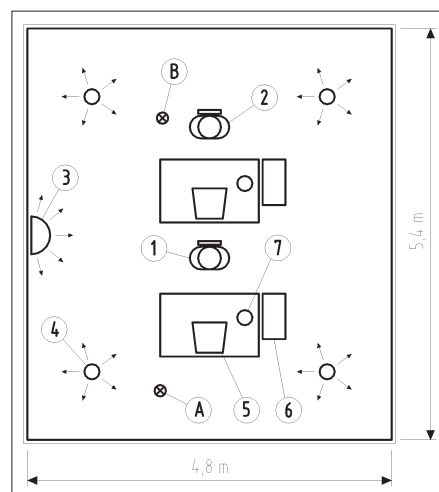
Systémy byly hodnoceny podle rozložení teplot a rychlostí vzduchu v místnosti, ale hlavně podle rozložení koncentrací dvou častých znečišťujících látek v místnostech, jmenovitě částice ve vydechaném vzduchu, které mohou přenášet onemocnění dýchacích cest, a těkavé organické sloučeniny uvolněné z povrchu podlahové krytiny. Výsledky byly mj. použity jako reference v rozsáhlé studii o využití osobního větrání [4].

METODA

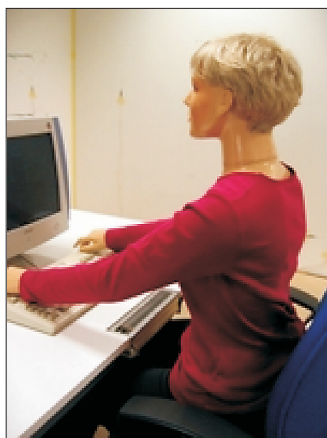
Měřilo se v klimatické komoře o rozměrech 4,8 x 5,2 x 2,6 m³ (š x h x v) zařízené jako kancelář pro dvě osoby (obr. 1). Každé pracovní místo se skládalo ze stolu, osobního počítače a lampy. Pracovníci byli simulováni dvěma dýchacími figurínami s řízenou teplotou povrchu (obr. 2). Oblečení odpovídalo letnímu období (0,5 clo). Figuríny seděly vzpřímeně s dýchací oblastí ve výšce 1,1 m nad podlahou. Celková tepelná zátěž místnosti včetně osvětlení byla 22,5 W/m².

Pro směšování byla vířivá výúst' umístěná ve středu stropu (není zobrazena v obr. 1). Vytěšňování bylo zajištěno polokruhovou výúst' s rádiusem 0,25 m a výškou 1 m. Pro přívod z podlahy byly použity čtyři vířivé podlahové výústě. Každá obsahovala lopatky, které umožňovaly nastavení směru proudění buď podél podlahy nebo svisle. V tomto příspěvku jsou uvedeny výsledky pouze pro svislý směr. Vzduch odváděly čtyři stropní výústě v rozích místnosti.

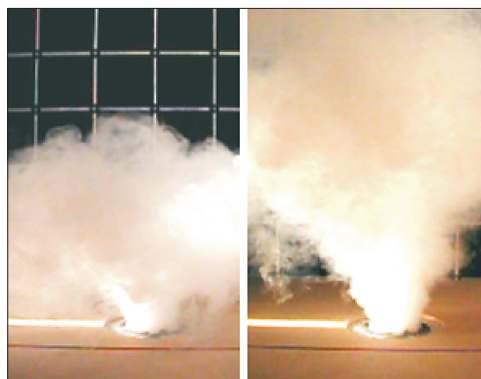
Větrací systémy byly navrženy pro shodné parametry přiváděného vzduchu. Teplota přiváděného vzduchu byla 20 °C. Průtok vzduchu byl určen výpočtem na 290 m³/h (odpovídá 4,3 výměnám za hodinu) za předpokladu teploty odváděného vzduchu 26 °C a dokonalého míšení. U podlahového větrání se proměřovaly dva různé dosahy proudu: 0,3 a 1,0 m (obr. 3). Protože se geometrie výústí (průtočná plocha, nastavení lo-



Obr. 1 Půdorys místnosti (1) vyhříváná figurína A, (2) vyhříváná figurína B, (3) stěnová velkoplošná výúst', (4) podlahová vířivá výúst', (5) monitor počítače 17" – 70 W, (6) počítač – 75 W, (7) stolní lampa – 55 W, (A-B) měřicí místo.



Obr. 2 Detail vyhřívání figuríny u stolu



Obr. 3 Zviditelnění výstupního proudu z podlahových výustí
Vlevo: dosah proudu 0,3 m. Vpravo: dosah proudu 1,0 m (dosah proudu byl definován poklesem rychlosti proudu na 0,25 m/s)

ptek) neměnila, kratšího dosahu se dosáhlo snížením průtoku na 180 m³/h při současném snížení teploty přiváděného vzduchu na 16,4 °C. Teplota vně klimatizace komory byla 25 °C, aby se omezil teplený tok stěnami. Měření probíhala za ustálených podmínek.

K popsání distribuce znečišťujících látek byly použity značkové plyny. Látky ve vydechaném vzduchu, tj. např. viry a bakterie způsobující onemocnění dýchacích cest na kapěnkách (ve vlnosku) nebo cigaretový kouř, byly nahrazeny fluoridem sírovým (SF₆). Ten byl v malém množství přidáván do vzduchu vydechaného figurínou A (obr. 1). Parametry dýchání odpovídaly lehké práci: dýchání nosem při frekvenci 10krát za minutu, průtok vzduchu 1,7 m³/h (6 L/min), hustota 1,144 kg/m³ (odpovídá chemickému složení, teplotě a vlhkosti skutečně vydechaného vzduchu – v experimentu byl vzduch dohříván). K simulaci znečištění uvolněného z podlahy byl použit oxid uhličitý (CO₂), který byl přiváděn obdélníkovou sítí hadic rozprostřených rovnoměrně po podlaze. Koncentrace značkových plynů se měřila v několika výškách ve dvou referenčních místech (obr. 1) a ve vzduchu nadechovaném sedícími figurínami. Koncentrace byly měřeny přístrojem na principu absorpce UV záření. Ve stejných místech se také měřila teplota a rychlost vzduchu.

Koncentrace znečišťujících látek a teploty byly přepočteny na bezrozměrné hodnoty, které lze obecně definovat jako $(x - x_S)/(x_E - x_S)$, přičemž x je koncentrace nebo teplota v místě měření (vdechovaný vzduch nebo místnost), x_S je koncentrace nebo teplota v přiváděném vzduchu a x_E je koncentrace nebo teplota v odváděném vzduchu. Bezrozměrné hodnoty rovné 0 tak odpovídají parametrům přiváděného vzduchu, zatímco 1 odpovídá odváděnému vzduchu.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Na obr. 4 vlevo jsou porovnány koncentrace vydechaných znečišťujících látek ve vzduchu nadechnutém figurínou B pro různé větrací systémy. Výsledky pro vytěsňování byly srovnatelné s výsledky pro podlahové větrání s krátkým dosahem proudu. Koncentrace byly v obou případech 5 až 6krát nižší než při směšování. Prodloužení dosahu proudu u podlahového větrání na 1,0 m vedlo ke zvýšení koncentrací v nadechovaném vzduchu. Ty však byly stále dvakrát nižší než při směšování. Koncentrace při směšování byly srovnatelné s koncentracemi v odváděném vzduchu.

Také v místnosti bylo rozložení koncentrací vydechaných látek srovnatelné pro vytěsňování a podlahové větrání s krátkým dosahem. Jak je vidět v obr. 5 vlevo, místnost byla rozdělena na čistější oblast u podlahy a více znečištěnou oblast u stropu. Hranice mezi oblastmi byla ve výšce zhruba 1,1 až 1,4 m. Skutečnost, že koncentrace v nadechovaném vzduchu byly nižší, než koncentrace ve stejné výšce v místnosti ukazuje na důležitost volného konvektivního proudění kolem lidského těla pro kvalitu nadechovaného vzduchu. Rozdíl v průtoku přiváděného vzduchu (290 m³/h při vytěsňování a 180 m³/h při podlahovém větrání) nemělo pozorovatelný vliv na výšku koncentračního přechodu. Při dosahu proudu 1,0 m větrací vzduch zasáhl

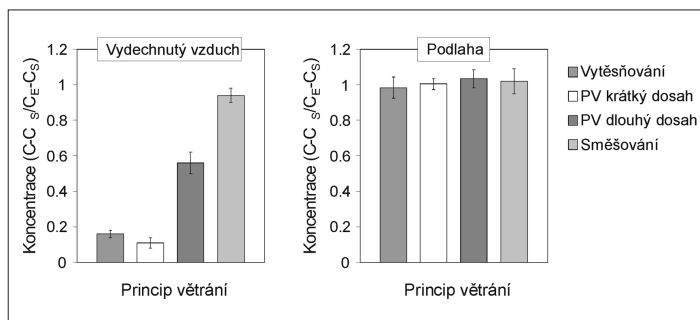
hranici mezi oblastmi, což vedlo k vytěsnění znečišťujících látek z horní oblasti do dolní oblasti. Koncentrace v pobytové zóně tím vzrostly na přibližně polovinu koncentrace v odváděném vzduchu. Výpočet rozložení koncentrací v pobytové zóně podle modelu navrženém Yamanakou a kol. [3] ukázal dobrou shodu s měřeními za předpokladu, že dosah proudu byl definován poklesem rychlosti na 0,1 m/s (viz. Příloha).

Často se uvádí, že proudění vzduchu při vytěsňování doprovází znečištění uvolněné z podlahy do dýchací oblasti, tj. kvalita nadechovaného vzduchu je horší než kvalita vzduchu v místnosti. Naše měření ukazují, že v případě chladného zdroje pokrývajícího celou plochu podlahy tvrzení neplatí (např. koberec, PVC nebo linoleum). V proudu vzduchu z velkoplošné výustě ve skutečnosti koncentrace znečišťujících látek vzrůstá podél podlahy se vzdáleností od výustě. Nejvyšší koncentrace se dosahuje u protilehlé stěny. Proud vzduchu se

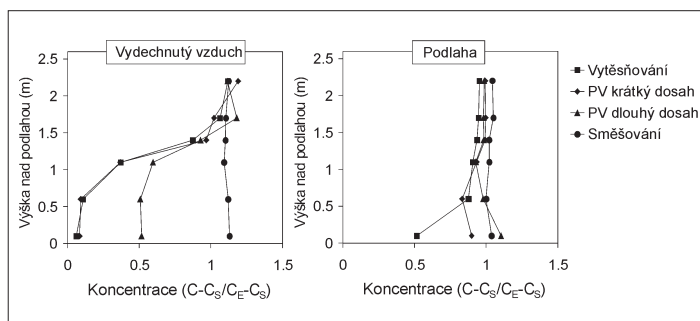
potom odkloní od stěny [1] a ztrácí kontakt s podlahou, tj. zdrojem znečištění. Jestliže se osoby nacházejí mezi výustí a protilehlou stěnou, vzduch u podlahy ještě není zcela znečištěn. Kvalita vzduchu se však dále snižuje ve volném konvektivním proudu kolem lidského těla díky přísávání vzduchu z místnosti. To má za následek, jak potvrzují výsledky měření v obr. 4 vpravo, že koncentrace látek uvolněných z podlahy jsou v nadechnutém vzduchu pro všechny větrací systémy prakticky shodné.

Nízká koncentrace látek uvolněných z podlahy v blízkosti podlahy při vytěsňování je patrná také z obr. 5 vpravo, kde jsou ukázány svislé koncentrační profily znečištění z podlahy. Je zřejmé, že ve výškách nad cca. 0,6 m je rozložení koncentrací rovnoměrné a shodné pro všechny měřené větrací systémy.

Rozložení teplot, znázorněné v obr. 6 vlevo, bylo odlišné od rozložení koncentrací. V důsledku rozdílného proudění vzduchu v dolní části pobytové oblasti nebyly teplotní gradienty při vytěsňování a podlahovém větrání srovnatelné. Vířivé proudy z podlahových výustí způsobily větší míšení, které ovlivnilo konvektivní proudy kolem zdrojů tepla. To vedlo ke zvýšení teploty v blízkosti podlahy.



Obr. 4 Vlevo: Koncentrace znečišťujících látek vydechaných figurínou A ve vzduchu nadechovaném figurínou B. Vpravo: koncentrace znečišťujících látek z podlahy ve vzduchu nadechovaném oběma figurínami (aritmetický průměr). Úsečky znázorňují nejistotu střední hodnoty s hladinou jistoty 95 %.



Obr. 5 Aritmetický průměr z obou měřících míst.

Vlevo: koncentrace vydechaných znečišťujících látek. Vpravo: koncentrace znečišťujících látek z podlahy

Bezrozměrná teplota byla 0,7, což je ve shodě s výsledky měření teplotních gradientů při podlahovém větrání uvedených Baumanem a Daly [5].

Střední rychlosti vzduchu (obr. 6, vpravo) byly nejvyšší v blízkosti podlahy a postupně klesaly směrem ke stropu. Rychlosti vzduchu byly obecně velmi nízké. Nejvyšší hodnoty byly měřeny při směšování. Pokud by se měřilo v těsné blízkosti výstří, rychlosti vzduchu by byly zřejmě vyšší.

Hlavním úkolem projektanta je zajistit vysokou kvalitu vzduchu a tepelnou pohodu prostředí. Měření ukázala, že větrání vytěšňováním a podlahové větrání s krátkým dosahem proudů jsou schopna zajistit vysokou a vzájemně srovnatelnou kvalitu vzduchu pro sedící osoby. Podlahové větrání je však výhodnější díky nižším rychlostem proudění a vyšším teplotám vzduchu v pobytové zóně, tzn. představuje nižší riziko tepelné nepohody. Z pohledu kvality vzduchu bylo druhým nejlepším systémem podlahové větrání s dlouhým dosahem proudů. Nejhorší kvalita vzduchu byla při míšení.

Různé dosahy proudů při podlahovém větrání byly dosaženy změnou průtoku přiváděného vzduchu. Aby se zajistil přívod stejného množství chladu, teplota přiváděného vzduchu byla rozdílná (20 a 16,4 °C při průtoku respektive 280 a 190 m³/h). Důsledkem bylo to, že při krátkém dosahu proudů byla teplota vzduchu v pobytové oblasti o několik stupňů nižší než u ostatních systémů. Takto nízká teplota by však byla v praxi nepřijatelná.

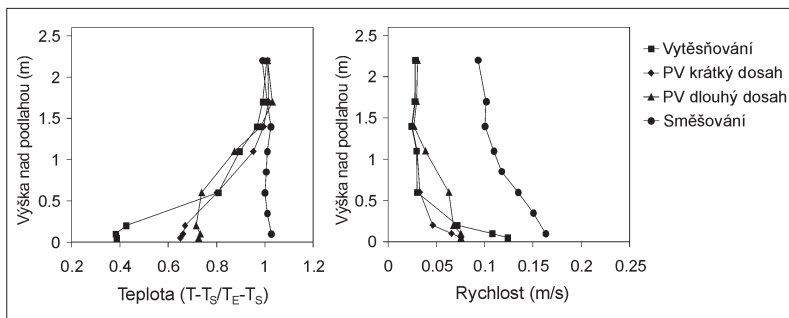
Aby se zachoval krátký dosah proudů při vyšší teplotě a průtoku vzduchu, bylo by nutné použít větší počet výstří (stávající konstrukce) za současného zvýšení ceny instalace. Pro zajištění vysoké kvality prostředí je tak zapotřebí výstří, které by dosahovaly krátkého dosahu proudů při vysokém průtoku. Podlahové výstří stávající konstrukce se směrem proudů rovnoběžným s podlahou nejsou vhodné, protože významně zvyšují rychlost proudění u podlahy.

Potvrdilo se, že koncentrace znečišťujících látek uvolněných z teplých zdrojů závisí na vzájemné poloze dosahu proudů a dělicí vrstvy mezi čistou a znečištěnou oblastí (obr. P1). Podlahové větrání s dosahem proudů kratším než hranice oblastí se chovalo podobně jako větrání vytěšňováním. Pokud hranice mezi oblastmi poklesne pod úroveň dosahu proudů, znečištění s horní oblastí je vytěšněno do oblastí dolní. Potom se podlahové větrání a větrání vytěšňováním chová odlišně. Z toho vyplývá, že hlavním požadavkem pro zajištění vysoké kvality vzduchu při podlahovém větrání je navrhnout dosah proudů kratší než je hranice nárůstu koncentrací, ne absolutní hodnota dosahu, jako např. 0,3 m použitá v této práci.

Zatímco nízké koncentrace znečištění v blízkosti podlahy jsou žádoucí, nízké teploty a vysoké rychlosti v blízkosti podlahy zvyšují riziko tepelné nepohody. Z tohoto pohledu je nejvhodnějším systémem směšování. Velká hustota zdrojů tepla při podlaze způsobila, že teplotní gradienty při vytěšňování a podlahovém větrání byly v blízkosti podlahy strmé [1]. Různé teploty vzduchu ve spodní části pobytové zóny byly způsobeny rozdíly v proudění v blízkosti podlahy (zaplavování versus vířivé proudy). Pokud by se však většina zdrojů tepla vyskytovala ve vyšších polohách, rozdíly mezi vytěšňováním a podlahovým větráním s krátkým dosahem proudů by pravděpodobně zanikly.

ZÁVĚR

- Podlahové větrání s dosahem proudů kratším než hranice nárůstu koncentrací dosáhlo kvality vzduchu srovnatelné s větráním vytěšňováním, představuje však nižší riziko tepelné nepohody. Prodloužení proudů vedlo k poklesu kvality vzduchu.
- Nadechané koncentrace znečišťujících látek uvolněných z podlahy byly srovnatelné pro vytěšňování, směšování a podlahové větrání. Zmíněné koncentrace byly zároveň srovnatelné s koncentracemi v odváděném vzduchu.



Obr. 6 Aritmetický průměr z obou měřicích míst
Vlevo: teplota vzduchu. Vpravo: střední rychlost vzduchu

- Vířivé proudy podlahového větrání ovlivnily konvektivní proudy kolem zdrojů tepla při podlaze a vedly ke zvýšení teploty vzduchu v pobytové oblasti ve srovnání s vytěšňováním.

Poděkování

Tato práce vznikla za podpory Dánské technické vědecké rady (STVF). Autoři by rádi poděkovali Ing. Luboši Forejtovi a Ing. Oldřichu Kolářovi, kteří se podíleli na přípravě a průběhu měření.

Spojení na autora: radim_cermak@eu.irco.com.

Použité zdroje:

- [1] REHVA: Guidebook: Displacement ventilation in non-industrial premises. *Federation of European Heating and Air-conditioning Associations*, 2002, ISBN 82-594-2369-3, 95 s.
- [2] Melikov, A.K., Pitchurov, G., Naidenov, K., Langkilde, G.: Field study of occupants thermal comfort in rooms with displacement ventilation. *Indoor Air* 15, 3, s. 205-214, červen 2005.
- [3] Yamanaka, T., Satoh, R., Kotani, H.: Vertical distribution of contaminant concentration in rooms with floor-supply displacement ventilation. *Proc. of Roomvent 2002*, 8-11 září, Copenhagen, Denmark, s. 213-216.
- [4] Čermák, R.: Design strategies for personalized ventilation. Ph.D. Thesis, *Technical University of Denmark*, 2004, ISBN 87-7475-318-5, 136 s.
- [5] Bauman, F.S., Daly, A.: Underfloor air distribution design guide. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers*, 2003, ISBN/ISSN 1-931862-21-4, 250 s.
- [6] Nielsen, P.V.: Displacement ventilation – theory and design, *Aalborg University*, 1993, ISSN 0902-8002 U9306.

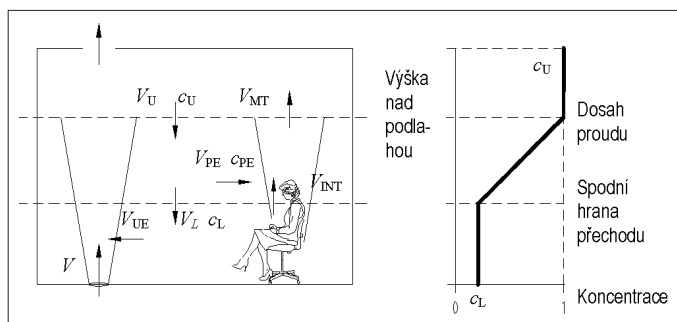
PŘÍLOHA

Rozložení znečišťujících látek z teplých zdrojů při podlahovém větrání

Yamanaka a kol. [3] navrhli jednoduchý model předpovědi koncentračních profilů znečišťujících látek emitovaných teplými zdroji při podlahovém větrání. Typický koncentrační profil můžeme rozdělit na tři oblasti – dolní, přechodovou a horní, viz. obr. P1. Výpočet je založen na rovnováze hmotnostních toků mezi oblastmi.

Pokud má přívod větracího vzduchu jen malý vliv na obraz proudění (jako např. při větrání vytěšňováním), v místnosti se vytvoří oblast s nízkou koncentrací znečištění při podlaze a oblast s vyšší koncentrací znečištění při stropu. Hranice mezi oblastmi se vytvoří ve výšce, kde je celkový objemový tok konvektivních proudů roven průtoku větracího vzduchu.

Při podlahovém větrání je však dosah proudů často vyšší než hranice mezi oblastmi. Potom je část znečišťujících látek vytěšňována z horní oblasti směrem k podlaze. Přestože je část znečištění přisávána do stoupajících konvektivních proudů a tak opět vynášena ke stropu, dochází ke kontaminaci původně čisté



Obr. P1 – Model proudění vzduchu a znečištění při podlahovém větrání

oblasti při podlaze. Původně téměř skoková změna koncentrací se roztáhne a vytvoří přechodovou oblast. Rovnováhu hmotnostních toků přechodové oblasti můžeme zapsat jako:

$$V_U c_U = V_{PE} c_{PE} + V_L c_L \quad (1)$$

kde

V_U je objemový tok vzduchu z horní oblasti směrem k podlaze,

c_U je koncentrace znečištění v horní oblasti,

V_{PE} je objemový tok vzduchu přísávaný do stoupavých konvektivních proudů, c_{PE} je koncentrace znečištění v přechodové oblasti, přísávaná do stoupavých konvektivních proudů,

V_L je objemový tok vzduchu do dolní oblasti,

c_L je koncentrace znečištění v dolní oblasti.

Podle Yamanaky a kol. [3] je horní hrana přechodové oblasti shodná s maximálním dosahem proudu z podlahových výustí. Dosah proudu byl definován jako výška nad podlahou, kde rychlost poklesla na nulu. Dále byl definován objemový tok z horní oblasti směrem k podlaze jako rozdíl průtoku větracího vzduchu a objemového toku ve stoupavých konvektivních proudech na úrovni dosahu proudu:

$$V_U = V_{MT} - V \quad (2)$$

kde

V_{MT} je objemový tok ve stoupavých konvektivních proudech na úrovni dosahu proudu z podlahových výustí,

V je průtok větracího vzduchu z podlahových výustí.

Objemový tok přísátý do stoupavých konvektivních proudů (V_{PE}) je rovný objemovému toku ve stoupavých konvektivních proudech v úrovni dosahu proudu z podlahových výustí (V_{MT}) mínus objemový tok ve stoupavých konvektivních proudech na spodní hraně přechodové oblasti (V_{INT}). Předpokládá se, že objemový tok do dolní oblasti je shodný s objemovým tokem ve stoupavých konvektivních proudech na úrovni spodní hrany přechodové oblasti, tj. $V_L = V_{INT}$. Přísávání vzduchu do proudu z podlahových výustí se v původním modelu neuvažuje. Koncentrace znečišťujících látek v horní oblasti je shodná s koncentracemi v odváděném vzduchu, tj. $c_U = 1$. Koncentrace znečišťujících látek přísávaných z přechodové oblasti do stoupavých konvektivních proudů se vypočte jako aritmetický průměr z koncentrací v horní a dolní oblasti. V souhrnu to znamená, že koncentraci znečišťujících látek v dolní oblasti můžeme z rovnice (1) vyjádřit jako:

$$c_L = \frac{2(V_{MT} - V) - V_{MT} + V_{INT}}{V_{MT} + V_{INT}} \quad (3)$$

Yamanaka a kol. [3] výpočet ověřili experimentálně na modelu místnosti o rozměrech 4,0 x 3,9 x 1,9 m³ (š x h x v). Větrací vzduch byl přiváděn z podlahy šestnácti kruhovými otvory. Zdroji tepla a znečištění byly čtyři vyhřívané válce představující osoby – značkovací plyn byl přiváděn na vrcholu válců. Proměřovaly se dvě intenzity větrání a tři dosahy proudu (dosahené změnou průměru přiváděcích otvorů). Šířka přechodové oblasti (W , v metrech), jejíž znalost je nutná pro určení spodní hrany přechodové oblasti při známém dosahu proudu, byla stanovena experimentálně:

$$W = 0,000956 V_U \quad (4)$$

kde

V_U je objemový tok vzduchu z horní oblasti směrem k podlaze, v m³/h.

Použití

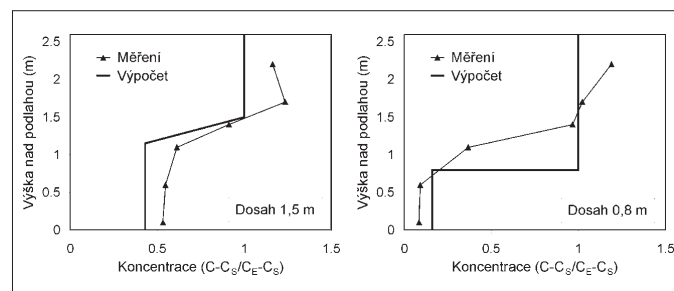
Popsaný model byl použit k výpočtu koncentračních profilů znečišťujících látek produkovaných lidmi. Protože ve skutečných místnostech vždy existuje nenulové proudění vzduchu, dosah proudu z podlahových výustí byl definován poklesem rychlosti proudu na 0,1 m/s. Při průtoku 280 m³/h a 190 m³/h byl dosah proudu respektive 1,5 a 0,8 m.

Tab. P1 Objemový tok nad zdroji tepla připadající na jedno pracovní místo (m³/h). Výška předmětů nad podlahou je uvedena v závorce.

Zdroj tepla	Dosah proudu 1,5 m		Dosah proudu 0,8 m	
	Horní hrana přechodu 1,5 m	Spodní hrana přechodu 1,5 až 0,35 m	Horní hrana přechodu 0,8 m	Spodní hrana přechodu 0,8 až 0 m
Osoba	8,3	5,6	4,2	4,2
Počítač (0,3 m)	8,3	5,6	4,2	4,2
Monitor (0,8 m)	6,9	2,8	0	0
Stolní lampa (1 m)	1,4	0	0	0
Celkem	24,9	14,0	8,4	8,4

V tab. P1 jsou shrnuty objemové toky stoupavých konvektivních proudů na úrovni dosahu proudu a na spodní hraně přechodové oblasti. Objemové toky byly odhadnuty z diagramů podle Nielsena [6], uvedených též v průvodci REHVA [1]. Výška přechodové oblasti byla vypočtena pro výše zmíněné případy podle rovnic (2) a (4) jako 0,35 m a 0 m.

V obr. P2 jsou porovnány výsledky výpočtu a výsledky měření. Zdrojem znečištění byl vzduch vydechovaný oběma tepelnými figurínami. Koncentrační profily byly určeny jako aritmetický průměr znečištění z obou figurín a dvě měřicí místa v blízkosti pracovišť. Ukazuje se, že výpočet a měření jsou v dobré shodě. Vezmeme-li však v úvahu množství předpokladů, které bylo nutné učinit, pro spolehlivé ověření modelu by byla zapotřebí ještě další měření.



Obr. P2 – Porovnání naměřených a vypočtených koncentračních profilů

Původní výpočtový model bychom mohli zpřesnit zohledněním schopnosti proudů z podlahových výustí přísávat a vynášet znečištění z dolní oblasti do přechodové oblasti. Pokud bychom to udělali, objemový tok z přechodové oblasti do dolní oblasti by byl rovný součtu objemového toku ve stoupavém konvektivním proudu na úrovni spodní hrany přechodové oblasti a objemového toku přísávaného do proudu z podlahových výustí, tj. $V_L = V_{INT} + V_{UE}$. Shoda měření a výpočtu při použití původního modelu však byla uspokojivá. Důvodem může být skutečnost, že podlahové větrání vynášelo do přechodové oblasti jen relativně malé množství znečišťujících látek.

V obecných případech však může být vliv přísávání do proudu z podlahových výustí významný. ■