

Osobní větrání

Personalized ventilation

Ing. Radim ČERMÁK
Arsen K. MELIKOV, PhD.
International Centre for Indoor
Environment and Energy,
Technical University of Denmark
cermak@mek.dtu.dk

Recenzent
prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

Osobní větrání přivádí čistý vzduch na každé pracoviště. Jeho hlavním cílem je výrazně zlepšit kvalitu nadechovaného vzduchu a zároveň zajistit tepelnou pohodu každé osobě. Každý pracovník má možnost aktivně vytvářet a měnit mikroklima ve svém okolí podle svého přání. Tento příspěvek shrnuje a diskutuje použité principy a nejnovější poznatky o chování osobního větrání.

Klíčová slova: větrání, kvalita vzduchu, tepelná pohoda, individuální řízení, zdraví

Personalized ventilation provides clean air at each workplace. The aim is to improve substantially the quality of air inhaled by each occupant and to ensure thermal comfort. Each occupant is provided with the possibility to generate and control his/her microclimate. This article summarizes and discusses the principles involved and outlines recent results on the performance of personalized ventilation.

Keywords: ventilation, indoor air quality, thermal comfort, individual control, health

VĚTRÁNÍ V SOUČASNOSTI

Početné studie z praxe [1, 2] dokumentují významnou míru nespokojenosti osob s prostředím v mnoha budovách. Nedávný rozbor odborné literatury provedený skupinou evropských vědců [3] ukázal, že pohoda prostředí (vnímaná kvalita vzduchu), zdraví osob (syndrom nemocných budov – SBS, zápal, infekce, astma, alergie, krátkodobá pracovní neschopnost) a produktivita přímo souvisí s úrovní větrání. Ukazuje se, že vyšší kvalita vzduchu v budovách přináší větší spokojenost, omezuje zdravotní problémy a zvyšuje produktivitu. Zároveň se ukazuje, že stížnosti na špatnou kvalitu vzduchu a časté zdravotní problémy se vyskytují v mnoha případech i při dodržení současných standardů a hygienických předpisů [1, 2].

Průtoky větracího vzduchu jsou v současné době předepsány jako množství vzduchu, které postačuje na zředění pachů produkovaných lidmi na přijatelnou úroveň [4]. Ke znečištění vzduchu však ve skutečnosti přispívá i mnoho dalších zdrojů jako např. různé stavební materiály nebo kancelářská technika, což se vesměs opomíjí. Wargocki a další [3] uvádějí, že průtoky venkovního vzduchu přesahující 90 m³/h na osobu by v současných budovách pravděpodobně snížily nebezpečí zdravotních problémů, omezily stížnosti na nepohodu prostředí a zvýšily produktivitu. Vysoké průtoky vzduchu však na druhé straně představují riziko tepelné nepohody a mohou významně zvýšit spotřebu energie.

Vysokou kvalitu vzduchu bezesporu nejúčinněji zajistí systematické používání stavebních materiálů a zařízení s nízkými emisemi škodlivin. V současné době však existují hranice, kam až lze úroveň zdrojů znečištění snížit.

Vnímaná kvalita vzduchu (měřítko komfortního prostředí) je silně ovlivněna teplotou a vlhkostí vzduchu. Výzkumy Fanga a dalších [5] potvrdily dřívější studie a ukázaly, že vzduch je vnímán jako přijatelnější při nízké teplotě a vlhkosti (tj. nízké entalpii). I když se intenzita zápachů s teplotou a vlhkostí nemění, přijatelnost vzduchu se s poklesem teploty a vlhkosti zvyšuje i při jeho znečištění emisemi z různých stavebních materiálů. Pokles teploty a relativní vlhkosti čistého vzduchu z 23 °C a 50 % na 18 °C a 30 % může podle Fanga způsobit pokles procenta nespokojených osob z 20 na 5 %.

Fyziologické a psychologické schopnosti osob snášet prostředí a reagovat na jeho změny se liší. Každý člověk má jedinečné požadavky na teplotu a rychlost vzduchu, oblečení, aktivitu, atd. V prostorech obývaných více lidmi je tak téměř nemožné vytvořit prostředí, které by uspokojilo každého. Různé studie

ukazují, že v průměru 5 až 10 % osob je vždy nespokojených s tepelným prostředím, které je přijatelné pro většinu populace. Předpokládá se, že možnost vytvářet a měnit své vlastní preferované prostředí by uspokojilo 100 % populace. Schopnost klimatizačních systémů zajistit pohodu pro stanovenou část skupiny lze odvodit od rozsahu teploty, ve kterém může každý pracovník ovlivnit své prostředí. Wyon [6] odhadl na základě shromážděných experimentálních dat, že 99 % osob by bylo v tepelné pohodě, jestliže by každá osoba měla možnost měnit ekvivalentní teplotu v místnosti v rozsahu ± 3 K, zatímco možnost změnit teplotu o ± 2 K by uspokojilo více než 90 % skupiny osob. Výzkumy Bauman a dalších [7] upozorňují na to, že pro pracovníky je více důležité mít možnost ovlivňovat prostředí než skutečně měnit parametry prostředí ve velkém rozsahu.

Experimentální studie prezentovaná Wargockim [8] ukázala, že zlepšení kvality vzduchu z průměrné úrovně často nacházené v praxi na úroveň vysokou přineslo nárůst výkonnosti kancelářské práce o 5 % (změna výkonnosti byla 1,1 % na každých 10 % nespokojených v rozsahu 25 až 70 % nespokojených). Přestože lidé v tepelné pohodě mohou pracovat lépe než při tepelném stresu, nepředpokládá se, že pohoda sama o sobě zlepší výkonnost.

Wyon [6] odvodil, že zajištění možnosti individuálního ovládání odpovídající možnosti změnit teplotu v místnosti v rozsahu ± 3 K kolem skutečné hodnoty by zvýšilo výkonnost skupiny až o 7 % podle povahy práce. Výsledky praktických pozorování Kronera a Stark-Martina [9] ukázaly, že poskytnutí možnosti osobám nastavit parametry jejich místního prostředí vedly ke zvýšení produktivity o 2 %.

Distribuce vzduchu mícháním byla doposud nejrozšířenějším způsobem větrání. Jak již bylo uvedeno výše, kvalita vzduchu v mnoha budovách je však často daleko od toho, aby byla vnímána jako svěží, příjemná a povzbuzující. Je známo, že větrání vytěšňováním zajišťuje lidem vyšší kvalitu vzduchu, zvláště pokud jsou zdroje znečištění zároveň zdroji tepla [10]. V takto větráných místnostech však existují teplotní gradienty s nízkými teplotami a často také vyššími rychlostmi vzduchu v blízkosti podlahy. Pokud jsou tyto systémy navrženy špatně, nebezpečí tepelné nepohody v důsledku průvanu a svislých teplotních rozdílů je velké [11, 12]. Jestliže se nejedná o jednotlivé kanceláře vybavené samostatnou regulací, tradiční větrací systémy vesměs neumožňují pracovníkům ovlivnit tepelnou pohodu prostředí v jejich okolí. Při použití tradičních větracích systémů, obzvláště pak v místnostech s více lidmi, je tak velmi obtížné dosáhnout zároveň vysoké kvality vzduchu a tepelné pohody pro každého.

Osobní větrání

Koncepce osobního větrání má za cíl zajistit zároveň jak vysokou kvalitu vzduchu tak tepelnou pohodu. Relativně malý průtok čistého a chladného vzduchu je přiváděn přímo do dýchací oblasti každé osoby [13]. Systémy jsou unikátní v tom, že poskytují každému pracovníkovi možnost ovlivnit mikroklima ve svém okolí nastavením množství, směru a někdy i teploty přiváděného vzduchu. Předpokládá se, že spokojenost a produktivita pracovníků vzroste a zdravotní problémy spojené se špatným prostředím vymizí.

Systémy osobního větrání se používají v praxi již mnoho let. Typickými příklady jsou větrací a klimatizační systémy v kabinách vozidel (automobily, vlaky atd.) a letadel. Trysky a štěrby jsou navrženy tak, aby vytvářely vysoce indukční proudy. Ty podporují intenzivní směšování přiváděného vzduchu s okolním vzduchem a jsou tak účinné hlavně ve zlepšení tepelné pohody pasažérů. V budovách (nejčastěji v hledištích a posluchárnách) se pro přívod vzduchu do blízkosti osob používají výstky integrované do stolů a sedadel. Žádné z těchto koncových prvků však nejsou navrženy tak, aby zajistily osobám vysokou kvalitu vdechovaného vzduchu. První systémy osobního větrání v kancelářích byly kombinací nastavitelných výstůků na deskách stolů a přívodu vzduchu podlahou [14].

V nedávné době bylo vyvinuto několik systémů osobního větrání s hlavním zámerem zajistit vysokou kvalitu vdechovaného vzduchu. Schopnost těchto systémů výrazně zlepšit kvalitu vzduchu ve srovnání s větráním mícháním byla dokumentována v několika studiích [15–19]. Další studie popisují schopnost osobního větrání ovlivnit tepelnou pohodu osob [15, 20, 21]. V následujícím jsou shrnuty a diskutovány hlavní poznatky a závěry těchto prací.

Koncové prvky

Koncové prvky pro přívod vzduchu jsou nezbytnou součástí každého systému osobního větrání. Jejich konstrukce má rozhodující vliv na distribuci vzduchu kolem lidského těla a určuje tak tepelnou pohodu a kvalitu vdechovaného vzduchu. Důležitými faktory jsou umístění a velikost (průřez) koncového prvku a směr, průtok a teplota přiváděného vzduchu.

Porovnáním výkonnosti různých koncepčních řešení koncových prvků se zabývala studie Melikova a dalších [15]. Čistý vzduch byl do oblasti dýchání přiváděn z různých směrů výstky o různých velikostech (obr. 1). Výsledky ukázaly, že výkonnost jednotlivých prvků se lišila podle jejich provedení a závisela na průtoku. Jejich charakteristiky však byly podobné. Zvýšení průtoku vzduchu od nuly nemělo bezprostřední vliv na kvalitu nadechovaného vzduchu. Kvalita nadechovaného vzduchu začala u většiny prvků strmě narůstat teprve až po dosažení určitého průtoku (10 až 20 m³/h pro testované systémy), tj. až proud vzduchu z výstky osobního větrání proniknul mezí vrstvou kolem lidského těla a dosáhl obličeje.

Měření dále ukázala, že nárůst kvality nadechovaného vzduchu se po dosažení určitého průtoku (20 až 70 m³/h ve zmíněné studii) zpomalil a ustálil na konstantní maximální úrovni. Obr. 2 znázorňuje typickou závislost mezi kvalitou nadechovaného vzduchu a průtokem vzduchu z výstky osobního větrání. Je jasné, že koncové prvky dosahující vysoké kvality vzduchu již při nízkých průtocích budou preferovány pro jejich potenciální energetickou úspornost. Větší průtok přiváděného vzduchu však může být nezbytný pro zajištění optimální tepelné pohody všech osob (viz. níže).

Jeden z hlavních faktorů, který má vliv na výkonnost osobního větrání, je vzdálenost mezi koncovým prvkem a obličejem uživatele. Čím kratší je tato vzdálenost, tím vyšší je zpravidla kvalita nadechovaného vzduchu. Rolí hraje také délka a šířka koncentračního jádra proudu vzduchu, které narůstají s velikostí (průřezem) koncového prvku. Prvky s větším průřezem na druhé straně vyžadují vyšší průtoky vzduchu pro zajištění stabilního proudění. Dalším problé-

mem je, že slabý proud vzduchu se snáze naruší, např. vztakovými silami, prouděním kolem těla, atd. Jiným kritickým faktorem je stupeň přísávání okolního znečištěného vzduchu do proudu čistého vzduchu z výstky osobního větrání. Čím více je proud turbulentní, tím intenzivnější je směšování a nižší kvalita nadechovaného vzduchu. Vývoj a optimalizace koncových prvků, které by zajistily vysokou kvalitu nadechovaného vzduchu za všech okolností a podmínek je proto komplexní a nelehký úkol.

Dvě nezávislé studie týmů Melikova a Faulknera [15, 18] ukazují, že jeden z největších předpokladů přivádět velké množství čerstvého vzduchu do dýchací oblasti uživatele má koncový prvek umístěný na přední hraně stolu. Pro tento prvek je charakteristické, že relativně malé průtoky vzduchu v rozsahu 10 až 20 m³/h postačují, aby osobní větrání začalo vylepšovat kvalitu vzduchu. Melikov [15] ukázal, že s tímto prvkem až 50 % nadechovaného vzduchu může tvořit čistý vzduch přiváděný osobním větráním a to již při průtoku 30 m³/h; zbývající 50% podíl má vzduch z místnosti. Tato výkonnost byla nezávislá na teplotě vzduchu v místnosti, která byla 20 a 26 °C, při teplotě vzduchu přiváděného osobním větráním 20 °C. Experimenty s lidmi na dánské technické universitě však navzdory těmto optimistickým výsledkům fyzikálních měření ukazují, že mnoho lidí nemusí upřednostňovat tento koncový prvek kvůli proudění vzduchu a nízké teplotě v oblasti paže a břicha.

Výstka umístěná na konci pohyblivého ramene, které zároveň slouží pro přívod vzduchu, byla označena Melikovem [15] jako koncový prvek s druhým nejvyšším potenciálem pro zlepšení kvality vzduchu. Jeho konstrukce připomínající pracovní lampu umožňuje nastavit směr proudu vzduchu v širokém rozsahu. Testy ukázaly, že výkonnost tohoto koncového prvku může být stejná nebo i vyšší ve srovnání s výstkou na hraně stolu, vyžaduje však ve většině případů vyšší průtoky vzduchu. Vývoj a optimalizace tohoto řešení je předmětem pokračujícího výzkumu.

Porovnání s tradičními principy větrání

Parametr účinnost větrání se používá k hodnocení a porovnání výkonnosti větracích systémů. Účinnost větrání je definována jako poměr koncentrace znečišťujících látek v odváděném vzduchu k jejich koncentraci ve vzduchu nadechovaném osobami [22]. Koncentrace znečišťujících látek v přiváděném vzduchu se odečte od obou hodnot, pokud je jiná než nulová. Účinnost větrání samozřejmě závisí na distribuci vzduchu a poloze zdrojů znečištění v prostoru. Pokud je vzduch v místnosti dokonale míchán (tj. koncentrace jsou ve všech bodech stejné), účinnost větrání je rovna jedné. Pokud je koncentrace škodlivin v dýchací oblasti nižší než v odváděném vzduchu, účinnost větrání je vyšší než jedna a naopak. Čím vyšší je účinnost větrání, tím lepší je distribuce čistého vzduchu.

Účinnost větrání většiny systémů s distribucí mícháním se pohybuje v rozsahu 0,9 až 1,0 z důvodu ztráty přiváděného vzduchu do odvodu zkratem. Větrání vytěsňováním dosahuje ve většině případů účinnosti od 1,0 do 1,2. Měření prezentovaná Melikovem [15] ukázala, že účinnost osobního větrání může být ve srovnání s tradičními systémy mnohem vyšší. Naměřené hodnoty účinnosti byly v rozsahu 1,2 až 3,0 v závislosti na použitém koncovém prvkem a provozních podmínkách. V praxi to znamená, že pokud je přiváděný větrací vzduch čistý, koncentrace škodlivin ve vdechovaném vzduchu je při účinnosti větrání 3,0 třetinová ve srovnání s koncentrací škodlivin v odváděném vzduchu. Klíčový potenciál osobního větrání je v tom, že koncové prvky jsou umístěny v blízkosti osob. Čistý vzduch je tak přiváděn místně a ne daleko od dýchací oblasti, což je případ větrání jak mícháním tak vytěsňováním.

Reakcemi osob na osobní větrání se doposud zabývalo pouze několik studií. Kaczmarczyk a Zeng [16, 17] vystavili několik skupin lidí různým podmínkám v kanceláři větrané kombinací osobního větrání a větrání mícháním. Lidé po 4 hodiny simulovali normální kancelářskou práci, přičemž několikrát během experimentu byli požádáni o vyplnění dotazníků týkajících se vnímané kvality vzduchu, symptomů syndromu nemocných budov a tepelného pocitu. Ve studii

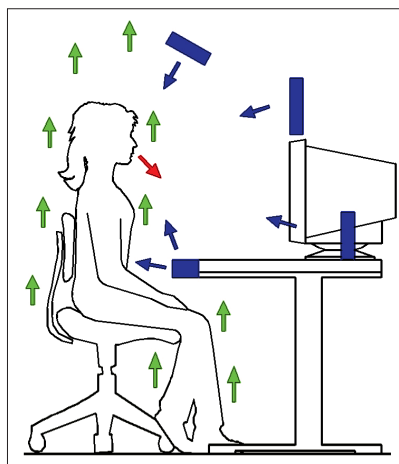
byl použit pohyblivý koncový prvek znázorněný na obr. 3. Lidem bylo během celého experimentu umožněno měnit polohu koncového prvku, směr přiváděného vzduchu a jeho průtok (až do 55 m³/h). Vzduch v místnosti byl znečištěn emisemi z použitého koberce. Znečištění způsobilo 50% nespokojenost neprodleně po tom, co osoby vstoupily do kanceláře.

Výsledky obou studií ukazují, že vnímaná kvalita vzduchu vždy stoupla při použití osobního větrání. Obr. 4 porovnává vypočtené procento nespokojených s kvalitou vzduchu na pracovišti u pracovního stolu po 3 min. od vstoupení do kanceláře za různých podmínek. Ukázalo se, že přiváděný venkovní vzduch o teplotě 20 °C (tj. o 3 K chladnější než vzduch v místnosti) (4), byl vnímán jako svěžejší a příjemnější než ten samý vzduch přiváděný izotermicky (3). Venkovní vzduch byl po celou dobu experimentu vnímán lépe než vzduch z místnosti a to bez ohledu na jeho teplotu. Žádný rozdíl ve vnímané kvalitě vzduchu nebyl zjištěn mezi osobním větráním přivádějícím recirkulovaný vzduch z místnosti (2) a větráním mícháním (1). Výsledky dále ukázaly, že testované osobní větrání přivádějící venkovní vzduch bylo schopné zvýšit pocit svěžesti a snížit intenzitu některých symptomů syndromu nemocných budov ve srovnání s větráním mícháním (schopnost jasně přemýšlet, intenzita bolesti hlavy).

Další nespornou výhodou osobního větrání je možnost zajistit tepelnou pohodu pro většinu osob, navzdory rozdílům mezi lidmi a jejich preferencemi. Konstrukce a provedení koncového prvku a charakteristiky přiváděného proudu (průtok, teplota, směr atd.) jsou opět hlavními faktory, které určují výkonnost osobního větrání. Tepelná pohoda je ve většině případů vytvářena chlazením lidského těla v důsledku proudění vzduchu a/nebo jeho nízkou teplotou. Chladicí účinek se s rychlostí vzduchu (průtokem) zpravidla zvyšuje. Při komfortních podmínkách v místnosti je důležité docílit co nejmenšího chlazení, zatímco kvalita nadechovaného vzduchu je vysoká. Melikov [15] porovnal tepelný účinek různých způsobů osobního větrání při nejnižším průtoku, který byl dostačující pro dosažení nejvyšší možné kvality nadechovaného vzduchu (popáno v předchozím). Výsledky ukázaly, že naprostá většina koncových prvků byla schopná ovlivnit tepelnou pohodu osob ekvivalentně jako pokles teploty v místnosti o pouhý 1 K. Kaczmarczykovy experimenty s lidmi [16] ukazují, že takové chlazení je vnímáno pouze nepatrně. Vzduch přiváděný o teplotě 20 °C při teplotě v místnosti 23 °C byl hodnocen lidmi na 7 bodové stupnici tepelného vnímání jako mírně pod tepelnou rovnováhou. Celková tepelná pohoda byla zároveň hodnocena jako přijatelná. Izotermicky přiváděný vzduch (teplota místnosti 23 °C) pak tepelnou pohodu osob vůbec neovlivnil. Poloha, nasměrování i průtok vzduchu (max. 55 m³/h) se ve zmíněných experimentech lišily podle přání a nastavení jednotlivých lidí.

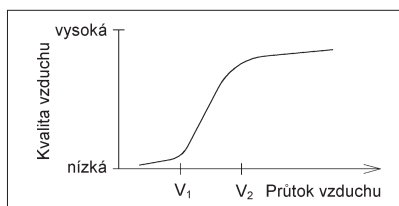
Vysoký chladicí účinek je naopak užitečný v teplém prostředí. Studie ukazují, že chlazení způsobené osobním větráním přivádějícím velké průtoky vzduchu může být velmi intenzivní, ekvivalentní k poklesu teploty v místnosti o 5 K i více [21]. Zkušenosti ukazují, že chlazení není nikdy úplně rovnoměrné a některé části těla, hlavně ty přímo vystavené proudu vzduchu, jsou chlazeny více. Pokud se tak stane, uživatel může ovlivnit parametry prostředí podle svého přání změnou průtoku nebo teploty přiváděného vzduchu, jeho směru apod. Toto je důležitá přednost osobního větrání. Uživatelům osobního větrání je však zároveň nezbytné vysvětlit jeho smysl (tj. přivádět čistý vzduch do dýchací oblasti a zajistit preferované mikroklima) a zaškolení je v jeho používání. V opačném případě zvýšení spokojenosti a produktivity pracovníků a pokles zdravotních problémů, spojených se současným všeobecně špatným prostředím v budovách, nemůže být dosaženo.

Většina studií se doposud zabývala pouze vlivem osobního větrání na osoby sedící na pracovištích. Vliv osobního větrání na podmínky mimo pracoviště (koncentrační, teplotní a rychlostní pole) a témata související s aplikací a chováním osobního větrání v budovách se studovaly jen omezeně. Přestože všechny dosavadní studie dokumentují pozitivní vliv osobního větrání na osoby, další výzkum a vývoj v této oblasti (optimalizace koncových prvků, návrhové postupy pro projektanty atd.) je i nadále nutný.

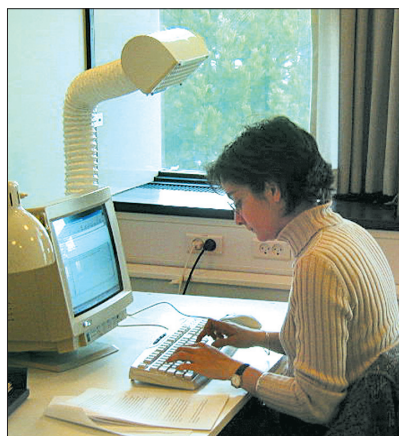


Obr. 1 – Různá koncepční řešení koncových prvků [15]

Obrazy proudění v okolí lidského těla předurčují kvalitu nadechovaného vzduchu a tepelnou pohodu osob: proud vzduchu z osobního větrání (modrá), proudění v mezní vrstvě způsobené volnou konvekcí (zelená), proud vydechaného vzduchu (červená).

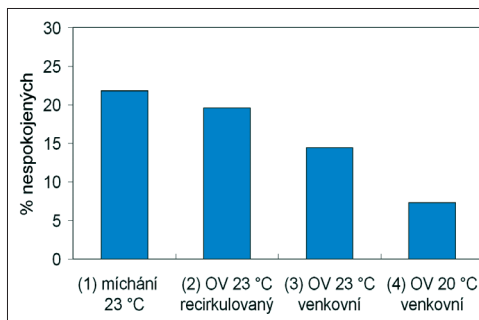


Obr. 2 – Kvalita nadechovaného vzduchu jako funkce průtoku vzduchu z osobního větrání



Obr. 3 – Jeden z prvních koncových prvků pro osobní větrání

Čistý a chladný vzduch je přiváděn přímo do dýchací oblasti osob. Ovládací panel pro nastavení průtoku přiváděného vzduchu je umístěn pod deskou stolu.



Obr. 4 – Procento nespokojených s kvalitou vzduchu na pracovišti u psacího stolu 3 min. po vstoupení do kanceláře za různých podmínek [16] Průměrná teplota vzduchu v místnosti byla 23 °C. OV = osobní větrání.

Pozn. recenzenta

- Ing. R. Čermák obhájil na ČVUT – Fakultě strojní diplomovou práci na téma: „Systémy osobního větrání s přívodem vzduchu pohyblivými koncovými prvky“ v roce 2000, která vycházela z práce autora na TU of Denmark v Lyngby.
- Termín „účinnost“ přiřazujeme poměru veličin, který nemůže být větší jak 1. Proto např. L. Oppl (1987) zavedl v češtině „efektivnost větrání“ – stejně definovanou, jako v tomto příspěvku, s odvolávkou na původní práci Sandberga (1981) „What is Ventilation Efficiency“. V technickém průvodci Větrání, klimatizace (1993) je tento poměr nazván „stupněm provětrání“.

(Hz)

Použité zdroje:

- [1] BLUYSSSEN, P. M., DE OLIVEIRA FERNANDES, E., GROES, L., CLAUSEN, G., FANGER, P. O., VALBJØRN, O., BERNHARD, C. A., ROULET, C. A., 1996, *European indoor air quality audit project in 56 office buildings*, Indoor Air, Vol. 6, pp. 221-238.
- [2] MENDELL, M. J., 1993, *Non-specific symptoms in office workers: a review and summary of the epidemiologic literature*, Indoor Air, Vol. 3, pp. 227-236.
- [3] WARGOCKI, P., SUNDELL, J., BISCHOF, W., BRUNDRETT, G., FANGER, P. O., GYNTELBERG, S. O., HANNSEN, S. O., HARRISON, P., PICKERING, A., SEPÄNEN, O., WOUTERS, P., 2002, *Ventilation and health in non-industrial indoor environments: results from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN)*, Indoor Air, Vol. 12, pp. 113-128.
- [4] FANGER, P. O., 1998, *Discomfort caused by odorants and irritants in the air*, Indoor Air, Suppl.4, pp. 81-86.
- [5] FANG, L., CLAUSEN, G., FANGER, P. O., 1998, *Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality*, Indoor Air, Vol. 8, pp. 80-90.
- [6] WYON, D. P., 1996, *Individual microclimate control: required range, probable benefits and current feasibility*, Proc. of Indoor Air 1996, Vol. 1, pp. 1067-1072.
- [7] BAUMAN, F. S., CARTER, T. G., BAUGHMAN, A. V., ARENS, E. A., 1998, *Field study of the impact of a desktop task/ambient conditioning system in office buildings*, ASHRAE Transactions, Vol. 104(1B), pp. 1153-1171.
- [8] WARGOCKI, P., WYON, D. P., FANGER, P. O., 2000, *Pollution source control and ventilation improve health, comfort and productivity*, Proc. of Cold Climate HVAC 2000, Sapporo, Japan, 1-3 November, pp. 445-450.
- [9] KRONER, W. M., STARK-MARTIN, J. A., 1994, *Environmentally responsive workstations and office-worker productivity*, ASHRAE Transactions, Vol. 100(2), pp. 750-755.
- [10] BROHUS, H., NIELSEN, P. V., 1996, *Personal exposure in displacement ventilated rooms*, Indoor Air, Vol. 6, pp. 157-167.
- [11] MELIKOV, A. K., NIELSEN, J. B., 1989, *Local thermal discomfort due to draft and vertical temperature difference in rooms with displacement ventilation*, ASHRAE Transactions, Vol. 95(2), pp. 1050-1057.
- [12] PITCHUROV, G., NAIDENOV, K., MELIKOV, A. K., LANGKILDE, G., 2002, *Field study of occupants thermal comfort in rooms with displacement ventilation*, Proc. of Roomvent 2002, Copenhagen, Denmark, 8-11 September, pp. 479-482.
- [13] FANGER, P. O., 2001, *Human requirements in future air-conditioned environments*, Int. Journal of Refrigeration, 24, pp. 148-153.
- [14] SODEC, F., CRAIG, R., 1990, *The underfloor air supply system – the European experience*, ASHRAE Transactions, Vol. 96(2), pp. 690-695.
- [15] MELIKOV, A. K., CERMAK, R., MAJER, M., 2002, *Personalized ventilation: evaluation of different air terminal devices*, Energy and Buildings 34, pp. 829-836.
- [16] KACZMARCZYK, J., ZENG, Q., MELIKOV, A. K., FANGER, P. O., 2002, *The effect of a personalized ventilation system on perceived air quality and SBS symptoms*, Proc. of Indoor Air 2002, Monterey, California, 30 June-5 July, Vol. IV, pp. 1042-1047.
- [17] ZENG, Q., KACZMARCZYK, J., MELIKOV, A. K., FANGER, P. O., 2002, *Perceived air quality and thermal sensation with a personalized ventilation system*, Proc. of Roomvent 2002, Copenhagen, Denmark, 8-11 September, pp. 61-64.
- [18] FAULKNER, D., FISK, W. J., SULLIVAN, D. P., WYON, D. P., 1999, *Ventilation efficiencies of desk-mounted task/ambient conditioning systems*, Indoor Air, Vol. 9, pp. 273-281.
- [19] FAULKNER, D., FISK, W. J., SULLIVAN, D. P., LEE, S. M., 2002, *Ventilation efficiencies of a desk-edge-mounted task ventilation system*, Proc. of Indoor Air 2002, Monterey, California, 30 June-5 July, Vol. IV, pp. 1060-1065.
- [20] KACZMARCZYK, J., ZENG, Q., MELIKOV, A. K., FANGER, P. O., 2002, *Individual control and people's preferences in an experiment with a personalized ventilation system*, Proc. of Roomvent 2002, Copenhagen, Denmark, 8-11 September, pp. 57-60.
- [21] TSUZUKI, K., ARENS, E. A., BAUMAN, F. S., WYON, D. P., 1999, *Individual thermal comfort control with desk-mounted and floor-mounted task/ambient conditioning (TAC) systems*, Proc. of Indoor Air 1999, Edinburgh, Scotland, 8-13 August, Vol. 12, No. 2, pp. 368-373.
- [22] CEN. 1998. CEN Report CR 1752:1998, *Ventilation for buildings – Design criteria for the indoor environment*, Brussels: European Committee for Standardization. ■