

Pavel WARGOCKI, Ph.D.
International Centre for Indoor
Environment and Energy
Technical University of Denmark

Vysoká kvalita vnitřního vzduchu zvyšuje produktivitu a zajišťuje ekonomické přínosy

High indoor air quality improves productivity and provides economic benefits

Recenzent
prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

Nedávné experimenty v laboratoři a ve skutečném prostředí ukazují, že zlepšení kvality vnitřního vzduchu zlepšuje výkon práce v kanceláři a tím produktivitu na pracovišti. Při laboratorních studiích vykonávali najatí pracovníci kancelářské práce v místnostech, v nichž byla kvalita vzduchu zlepšena snížením zátěže znečištěním a zvýšením přívodu venkovního vzduchu. Při každém snížení počtu nespokojených s kvalitou vzduchu o 10 % bylo zaznamenáno zvýšení výkonu kancelářské práce o 1 %. Při studiích ve skutečném prostředí byla zaznamenávána doba hovoru operátorů v telefonních centrálech, v nichž byla kvalita vzduchu zlepšena zvýšením přívodu venkovního vzduchu nebo nahrazením opotřebovaného prachového filtru novým. Tyto zásahy zvýšily pracovní výkon o 5 až 10 %. Pro zjištění, zda zaznamenané přínosy ze zlepšeného výkonu pracovníků převyšují náklady potřebné pro zvýšení kvality, byly analyzovány náklady za celou dobu životnosti. Ačkoliv se ukázalo, že zvýšení kvality vzduchu si vyžádalo zvýšení nákladů na energii a údržbu, pořizovacích nákladů vzduchotechnického systému a stavebních nákladů budovy, ukázalo se, že bylo efektivní vzhledem k vynaloženým nákladům: přínosy produktivity byly mnohonásobně vyšší než zvýšení nákladů, doby splacení byly < 2 roky a míry návratnosti byly několikrát vyšší než minimální úroková míra.

Tyto výsledky jsou silným stimulem pro zajišťování vnitřního vzduchu v kvalitě, která je lepší než minimální úroveň požadované současnými normami.

Klíčová slova: větrání, zdroje vnitřního znečištění, kvalita vnitřního vzduchu, produktivita, analýza nákladů za dobu životnosti

Recent laboratory and field experiments show that improving indoor air quality improves the performance of office work and thus productivity at the workplace. In the laboratory studies recruited subjects performed office work in offices where the air quality was improved by reducing the pollution load and increasing outdoor air supply rate. For each 10 % reduction in percentage dissatisfied with air quality a 1% increase in performance of office work was observed. In the field studies the talk-time of operators was registered in call-centres where the air quality was improved by increasing outdoor air supply rate or replacing a used ventilation particle filter with new one. These interventions improved work performance by 5 to 10 %. To examine whether the observed benefits from improved worker performance exceed the costs required to improve air quality, life-cycle costs analysis was carried out. Although it showed that the air quality upgrades increase energy and maintenance costs, first costs of a HVAC system and building construction costs, they were shown to be highly cost-effective: productivity benefits were many times higher than the increased costs, pay-back times were < 2 years and the annual rates of return were several times higher than the minimum interest rate. These results constitute a strong incentive for providing indoor air of a quality that is better than the minimum levels required by present standards.

Keywords: Ventilation; Indoor pollution sources; Indoor air quality; Productivity; Life-cycle cost analysis

Je dobře zdokumentováno, že tepelné podmínky v zóně tepelné pohody mohou snížit výkon o 5 až 15 %, avšak málo je známo o přímých účincích kvality vzduchu na lidský výkon v neprůmyslových prostředích, zejména v kancelářích [25]. Při laboratorním vystavení účinkům toluenu (vydatné znečišťující příměs vnitřního vzduchu) při 100 ppm (380 mg/m³) [1] a směsi 22 běžných příměsí vnitřního vzduchu při koncentracích až 25 mg/m³ [11] bylo zaznamenáno snížení výkonu diagnostických psychologických testů. Tyto dva experimenty však byly s vybranými příměsí vnitřního vzduchu a při koncentracích daleko vyšších, než jaké se typicky vyskytují v kancelářských budovách [4, 16]. Průřezové studie ve školních třídách, u nichž je možno předpokládat, že typické příměsí vnitřního vzduchu z materiálů stavby a vybavení a přítomných osob dosahují poměrně vysokých koncentrací v důsledku nízkých intenzit výměny vzduchu, které umožnily, aby koncentrace oxidu uhličitého (CO₂) dosáhly úrovní až 4 000 ppm, prokázaly spojení mezi zvýšenou hladinou CO₂ a sníženým výkonem diagnostických psychologických testů u žáků starších 15 let [12]. Možnost záměny mezi intenzitami výměny vzduchu ve třídě a jinými faktory schopnými způsobit zaznamenané účinky, jako jsou teplota vzduchu ve třídě nebo možné sociální a ekonomické rozdíly mezi shromažďovacími prostory různých škol, nebyla zjištěna. Kromě toho bylo u všech výše popsaných studií použito diagnostických psychologických testů s krátkou dobou trvání, což možná nevytváří podmínky pro předpovídání výkonu při typické kancelářské práci vykonávané po celou pracovní dobu. Simulované kancelářské práce (včetně sčítání a psaní na stroji) bylo použito při experimentech pro „Komisi pro větrání“ státu New York (1923) v letech 1910 až 1919. Avšak při těchto úkolech nebylo možné zaznamenat významné snížení výkonu nízkými intenzitami větrání, které měly za následek koncentrace CO₂ 3000 až 4000 ppm, což byly hladiny naměřené u nejhůře větraných tříd v průřezové studii Myhrvoldema [12], citované výše. To, že se neprojevil účinek nízké intenzity větrání u experimentů v New Yorku, může

byť způsobeno zdroji znečištění v samotném vzduchotechnickém systému, což se mohlo projevit zlepšením celkové kvality vzduchu, ačkoliv u koncentrací CO₂ a biologických příměsí emitovaných osobami mohlo dojít ke snížení zvýšením intenzity větrání použité při řízeném větrání. Pouze nedávných pět laboratorních studií ukazuje, že zlepšení kvality vzduchu zlepšuje výkon simulované kancelářské práce, což je výsledek potvrzený později dvěma studiemi ve skutečném prostředí, při nichž bylo měřeno, jak kvalita vzduchu ovlivňuje výkon při skutečné kancelářské práci.

Předmětem tohoto článku je:

1. shrnout výsledky získané v nových experimentech v laboratoři a ve skutečných podmínkách, které všechny ukazují, že špatná kvalita vzduchu má negativní účinek na výkon kancelářské práce;
2. porovnat náklady za celou dobu životnosti, vyvolané zvýšením kvality vnitřního vzduchu v kancelářské budově s výslednými přínosy v důsledku zvýšené produktivity kancelářské práce;
3. prodiskutovat důsledky zjištěných výsledků pro projektování budov a vzduchotechnických systémů.

NOVÉ VÝSLEDKY O ÚČINCÍCH KVALITY VZDUCHU NA VÝKON

Laboratorní experimenty

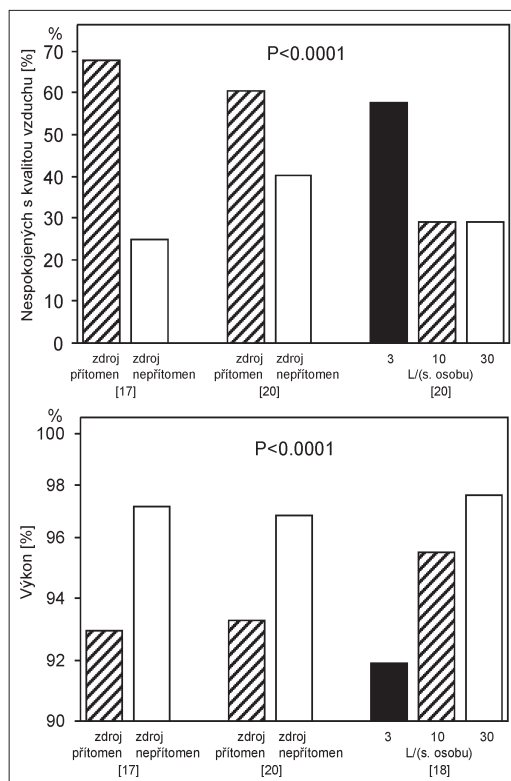
Ve třech nezávislých experimentech se zásahy ve skutečných podmínkách byla změněna kvalita vzduchu v normálních kancelářích a přitom bylo měřeno zdraví, pohoda a výkon pracovníků v nich přítomných [17, 18, 20]. Kvalita vzduchu byla měněna:

- [1] snížením zátěže znečištěním (fysickým odstraněním zdroje znečištění), přičemž byla vždy udržována dávka přiváděného venkovního vzduchu na hodnotě 10 L/s na osobu za přítomnosti šesti osob, což byl zásah použitý v kancelářích nalézajících se ve dvou různých zemích [17, 20]; nebo
- [2] zvýšením dávky přiváděného venkovního vzduchu od 3 do 10 nebo do 30 L/s na osobu za přítomnosti šesti osob, čímž byla v jedné z těchto kanceláří vytvořena intenzita větrání 0,6; 2 nebo 6 za hodinu, přičemž zůstaly stále zachovány tytéž zdroje znečištění [20]. Hlavním zdrojem znečištění byl u všech tří studií tentýž 20 let starý koberec, umístěný za přepážkou, v ploše odpovídající podlahové ploše kanceláře, v níž bylo experimentováno, ale samozřejmě se v ní trvale vyskytovaly také spíše neškodné materiály stavební, podlahové a vybavení, a biologické příměsi emitované přítomnými osobami. Ačkoliv byl použit koberec z budovy, která měla v minulosti problémy se syndromem nemocné budovy SBS [14], byla výsledná koncentrace typická pro ty, s nimiž se setkáváme v kancelářských budovách po celém světě [21]. Teplota, relativní vlhkost, rychlost vzduchu a hladina hluku byly udržovány konstantní, nezávislé na zásahu. Devadesát ženských subjektů bylo vystaveno různým úrovním kvality vzduchu, 30 v každé studii. Nemohly vidět, zda je v místnosti zdroj znečištění nebo vnímat změny hladiny hluku nebo rychlosti vzduchu, když byly měněny intenzity větrání, a zůstávaly tepelně neutrální přízpůsobením svého oblečení. Ve všech třech studiích žrny vykonávaly simulovanou kancelářskou práci během 4,5 hodin, kdy byly vystaveny účinkům různé úrovně kvality vzduchu a hodnotily vnímanou kvalitu vzduchu a intenzitu svých symptomů syndromu nemocné budovy (SBS) ve formě opakovaných stupňů hodnocení porovnávány pro uspořádání prezentace. Simulované kancelářské práce zahrnovaly psaní textu na stroji, korektury textů, sčítání a kreativní myšlení, což vše představuje typické kancelářské práce. Vnímaná kvalita vzduchu v kancelářích byla zjišťována dotazy jak hodnotí přijatelnost kvality vzduchu při vstupu do kanceláře. Intenzita obsáhlého množství specifických a všeobecných symptomů SBS byla uváděna subjekty v daných intervalech po dobu každého vystavení účinkům vyznačením podle vizuálních analogových stupnic.

Obr. 1 ukazuje, že odstranění zdroje znečištění z prostoru nebo zvýšení intenzity větrání významně zlepšuje vnímanou kvalitu vzduchu a výkon simulované kancelářské práce. Na základě údajů uvedených v obr. 1 byly odvozeny kvantitativní vztahy mezi kvalitou vzduchu, pocíťovanou zátěží znečištěním, intenzitou větrání a výkonem kancelářské práce takto:

- 1,1 % zvýšení výkonu na každých 10 % snížení podílu nespokojených s kvalitou vzduchu, v rozsahu 25 až 70 % nespokojených, nebo 0,5 % zvýšení výkonu na každé snížení o 1 decipol (dp), jak byl definován Fangerem [7], v rozsahu 2 až 13 dp (obr. 2);
- 1,6 % zvýšení výkonu za každé dvojnásobné snížení pocíťované zátěže znečištěním v olfech, jak byly definovány Fangerem [7], v rozsahu 0,3 až 2,0 olf/m² podlahy při dávce větrání 10 L/s na osobu (obr. 3);
- 1,8 % zvýšení výkonu za každé dvojnásobné zvýšení dávky větrání v rozsahu 0,8 až 5,3 L/s na olf (obr. 4).

Výsledky tří experimentů popsaných výše byly získány pouze pro jeden typ vnitřního zdroje znečištění, totiž použitý 20 let starý koberec. Proto byly zpracovány dvě další studie, každá s 30 subjekty a každá s protokolem experimentů podobným tomu, který byl použit ve třech studiích popsaných výše. Jejich účelem bylo vyšetřit, zda účinky na pracovní výkon mohou být opakovány, jestliže se kvalita vzduchu zlepší odstraněním jiných zdrojů vnitřních znečištění: směsí 3 roky sta-

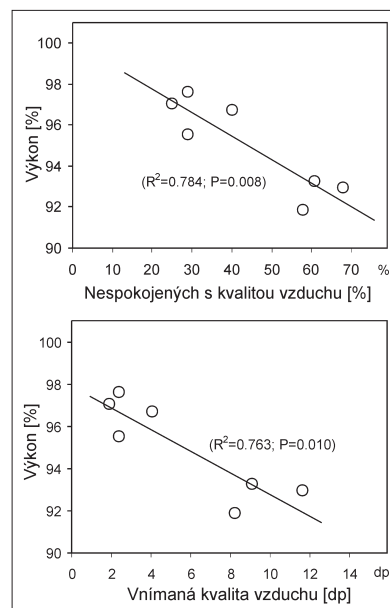


Obr. 1 – Vnímaná kvalita vzduchu a výkon kancelářské práce jako funkce přítomnosti nebo absence zdroje znečištění, nebo dávek přiváděného venkovního vzduchu

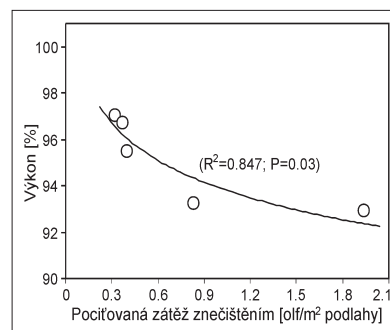
rého linolea, 2 roky starého lepidla a poliček s knihami a papíry z kanceláře větrané dávkou venkovního vzduchu 5 L/s na osobu, v níž bylo v té době přítomno šest subjektů [3]; a šest měsíců staré osobní počítače s monitory typu CRT (s katodovou trubicí) z kanceláře větrané dávkou venkovního vzduchu 10 L/s na osobu, v níž bylo v té době šest subjektů [3]. V této studii se výkon při psaní textu na stroji zvýšil o 1,2 % po odstranění počítačů a procento nespokojených s kvalitou vzduchu se snížilo z 32 na 15 %. U obou studií byla míra zlepšení výkonu při kancelářské práci podobná účinkům odhadnutým ze vztahu zobrazeného v obr. 3. Z toho vyplývá závěr, že výsledky těchto dvou experimentů podporují výsledky, které získal Wargocki a kol. [17, 18, 20] a rozšiřují jejich použitelnost na vnitřní prostředí znečištěná typickými vnitřními zdroji.

Experimenty ve skutečném prostředí

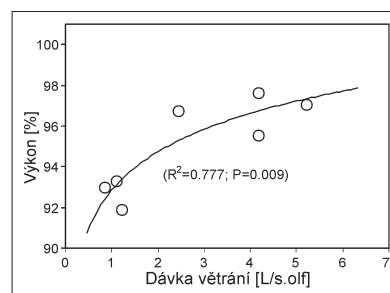
Účinky na výkon, o nichž bylo referováno v předchozí části byly zaznamenány při laboratorních experimentech, při nichž byly ženské subjekty speciálně najaty pro simulované kancelářské práce při vystavení účinkům trvajícím pouze 4,6 hodiny, ve zkušební komoře podobající se skutečné kanceláři. Zaznamenané účinky na výkon proto vyžadují ověření ve skutečných kancelářských budovách s pracovníky vykonávajícími skutečnou práci a opakovaně vystavenými účinkům svého normálního kancelářského prostředí po celý den v dané době, 5 dní v týdnu. Dvě nedávné studie ve skutečném prostředí zkoumaly tento problém měřením práce operátorů v telefonních centrálech, u kterých je na rozdíl od



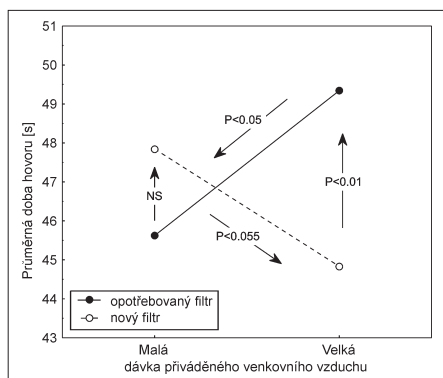
Obr. 2 – Výkon kancelářské práce jako funkce kvality vzduchu



Obr. 3 – Výkon kancelářské práce jako funkce pocíťované zátěže znečištěním při konstantní dávce větrání 10 l/s na osobu



Obr. 4 – Výkon kancelářské práce jako funkce dávky větrání (L/s.olf)



Obr. 5 – Průměrná doba hovoru jako funkce dávky přiváděného venkovního vzduchu a stáří filtru; šipky ukazují směr zásahu, kde první studovaný stav byl nový filtr při nízké dávce přiváděného venkovního vzduchu

80 % celkové dávky přiváděného vzduchu, jež činila 430 L/s (výměna 3,5 h⁻¹); a filtry přiváděného vzduchu byly buď nové nebo byly již v provozu 6 měsíců. Jedna z těchto nezávisle proměnných byla měněna každý týden po dobu 8 týdnů. 26 operátorů nevědělo o změnách podmínek. Teplota v místnosti 24 °C a relativní vlhkost 27 % byly prakticky konstantní v průběhu celé studie. Zvýšení dávky přiváděného venkovního vzduchu způsobilo, že se výkon zvýšil, což je prokázáno zkrácením průměrné doby hovoru ($P < 0,055$) v případě nového filtru a prodloužením ($P < 0,05$) v případě opotřebovaného filtru, takže doba hovoru byla s novým filtrem asi o 10 % kratší než s opotřebovaným filtrem při vysoké dávce přiváděného venkovního vzduchu ($P < 0,01$) (obr. 5).

Studii Wargocki a kol. uskutečnil v mechanicky větrané telefonní centrále v místě s mírným klimatem. Tham a kol. (2003) [15] experimentoval v klimatizované telefonní centrále s elektrostatickými filtry v místě s tropickým klimatem, aby prozkoumal, zda výsledky mohou být opakovány v této části světa. Použili podobný rozvrh studie a protokol experimentu, jaké použil Wargocki a kol. (2004). Dva zásahy zahrnovaly snížení teploty vzduchu z 24,5 na 22,5 °C a zvýšení dávky přiváděného venkovního vzduchu z 10 na 23 L/s na osobu. Při vyšší teplotě zlepšila větší dávka přiváděného venkovního vzduchu výkon operátorů telefonní centrál o 8,8 % ($P < 0,04$), což potvrdilo zjištění, získaná v telefonní centrále v místě s mírným klimatem.

Účinek kvality vzduchu na výkon u dvou experimentů ve skutečných podmínkách, popsanych výše, činil 5 až 10 %. Velikost tohoto účinku je podobná tomu, který byl zaznamenán při experimentech s laboratorní simulací. Výsledky studií ve skutečných podmínkách tedy zajistily ověření předpovědí založených na experimentech v laboratoři, které ukázaly, že zlepšení kvality vnitřního vzduchu zlepšuje výkon kancelářské práce. Tím se rozšířila použitelnost předchozích laboratorních výsledků na skutečná pracoviště, v nichž normální kancelářští pracovníci vykonávají skutečnou práci.

ANALÝZA POMĚRU VYNALOŽENÝCH PROSTŘEDKŮ A VÝSLEDNÉHO ZISKU ZVÝŠENÍM KVALITY VNITŘNÍHO VZDUCHU

Pro ověření, zda výše uvedené pozitivní účinky zlepšené kvality vzduchu na výkon, zaznamenané při experimentech v laboratoři a ve skutečných podmínkách, jsou ekonomicky ospravedlnitelné, byly porovnány investiční náklady za dobu životnosti, vynaložené na zvýšení kvality vzduchu v kancelářské budově, s výslednými přínosy ze zvýšené produktivity práce v kanceláři; přínosy ze snížení nákladů na zdravotní péči a absenci z důvodu nemoci nebyly započteny [23]. Náklady na zvýšení kvality vzduchu byly simulovány v kancelářské budově s nemalým znečištěním s 11 581 m² [5] s 864 zaměstnanci, větrané systémem s konstantním průtokem vzduchu s rekuperací tepla, situované v chladném, mírném a horkém klimatu. Bylo předpokládáno, že kvalita vzduchu v budově vyvolává nespokojenost u 50 % zaměstnanců. Kvalita vzduchu byla zlepšena zvýšením dávky přiváděného venkovního vzduchu ze 6 na 60 L/s na osobu a snížením zátěže znečištěním z 0,2 na 0,1 olf/m², aby se snížilo procento nespokojených na 10 % (tab. 1). Bylo předpokládáno, že kvalita vzduchu je jediným parametrem, který ovlivňuje pracovní výkon. U ostatních faktorů, jako je hluk a tepelné podmínky, bylo předpokládáno, že jsou konstantní a nebyly v simulaci brány v úvahu. Zvyšování kvality vnitřního vzduchu si vyžádalo zvýšené náklady na energii a údržbu, investiční náklady na vzduchotechnický systém a stavební náklady na budovu. Tyto náklady byly porovnány se zvýšením produktivity v kanceláři, předpokládané na základě experimentálního vztahu, udávajícího zvýšení výkonu při vykonávání kancelářské práce o 1,1 % pro snížení procenta nespokojených s kvalitou vzduchu o každých 10 % při vstupu do prostoru (obr. 3), čemuž odpovídá roční ekonomický přínos USD 368,75 na osobu, za předpokladu platu 19,4 USD/h na osobu. Vypočtené náklady a přínosy byly použity pro zpracování analýzy nákladů za dobu životnosti: doba životnosti budovy byla stanovena na 25 roků a skutečná diskontní sazba na 3,2 %.

Příklad výsledků analýzy nákladů za dobu životnosti pro mírné klima je uveden v tab. 1. Podobné ekonomické přínosy byly získány v chladném a horkém klimatu, protože přínosy ze zvýšené produktivity byly dominujícím faktorem v analýze nákladů za dobu životnosti a značně převyšovaly zvýšené investiční náklady. Analýza ukázala, že zvyšování kvality vzduchu je vysoce efektivní: přínosy ze zvýšené kvality vzduchu mohou být až 60krát vyšší než investice; investice mohou být uhrazeny za méně než 2 roky (doby splacení podobné době splacení 1,4 roku předpokládané [6]); a míra návratnosti může být až 7krát vyšší než minimální přijatelná úroková sazba. Odhady neobsahují přínosy vyplývající ze snížení nákladů na zdravotní péči a snížení absencí pracovníků; snížení absencí v důsledku zvýšené dávky přiváděného venkovního vzduchu může vyvolat další roční úspory 400 USD na osobu [10]. Výše uvedené odhady naznačují, že zvýšení kvality vzduchu z „průměrné“ úrovně (50 % nespokojených) na „vynikající“ úroveň (10 % nespokojených) přinese, např. u malé kancelářské budovy se 100 zaměstnanci, roční přínos asi 100 000 USD po dobu 25 let. Předpokládá se, že výsledky mohou být použity všeobecně pro většinu

Tab. 1 – Výsledky analýzy nákladů za dobu životnosti (LCC) pro budovu umístěnou v oblasti mírného klimatu

Budova	Kvalita vzduchu [% nespokojených]	Očekávané zvýšení oproti referenčnímu stavu [\$/m ²]					Čisté úspory [\$/m ²]	Prostá doba splacení [roky]	Upravená vnitřní míra návratnosti [%]
		Náklady			Přínosy				
		Energie	Údržba	Pořizovací náklady vzduchotechnického systému	Budova	Produktivita			
Nemalé znečištění	50	Referenční stav							
	40	-0,2	7,8	9,2	0,0	486,9	470,0	0,3	20,9
	30	2,6	23,8	28,0	0,0	973,7	919,2	0,5	18,8
	20	9,5	56,4	66,2	0,0	1 460,6	1 328,6	0,8	16,6
	15	12,7	86,1	101,1	0,0	1 704,0	1 504,2	1,1	15,3
Malé znečištění	10	19,5	130,7	153,5	0,0	1 947,5	1 643,8	1,5	13,9
	40	0	-0,7	-0,8	0,0	486,9	429,9	2,0	12,4
	30	-0,2	8,1	9,5	58,4	973,7	897,9	1,2	14,8
	20	4,2	29,0	34,1	58,4	1 460,6	1 334,9	1,1	15,1
	15	8,8	49,6	58,3	58,4	1 704,0	1 528,9	1,2	14,7
	10	12,7	86,5	101,6	58,4	1 947,5	1 688,2	1,5	13,8

zemí rozvinutého světa, i když byly získány simulací a závisí na řadě předpokladů použitých v nich.

VÝZNAM PRO PROJEKTOVÁNÍ BUDOV A VZDUCHOTECHNICKÝCH SYSTÉMŮ

Účinky kvality vzduchu na lidskou výkonnost, uvedené v této zprávě jsou podobné s hlediska velikosti těm, které byly pozorovány u účinků tepelných podmínek na lidskou výkonnost [25]. Spolu s výsledky analýzy poměru mezi náklady a přínosy přináší silný ekonomický podnět pro projektování vnitřních prostředí se vzduchem vyšší kvality než jaká je předepsána současnými normami pro větrání. Vyšší úroveň kvality vzduchu nejen vyvolají zlepšenou produktivitu, ale podpoří také zdraví a pohodu. Při inteligentním projektu pláště budovy a vzduchotechnického systému, a při pečlivém výběru stavebních materiálů a materiálů vybavení, nebude zajištění dobré kvality vnitřního vzduchu nutně dražší a vyžadovat více energie. Omezení vnitřních zdrojů znečištění výběrem málo znečišťujících stavebních materiálů a materiálů vybavení je velmi účinný způsob zvýšení kvality vnitřního vzduchu. Tato metoda je důrazně doporučována CEN CR 1752 (1998). Efektivní systémy rekuperace energie mohou často minimalizovat přídatnou spotřebu energie, použité pro zvýšení intenzity větrání. Vysokou kvalitu vdechovaného vzduchu je také možno zajistit při nízké intenzitě větrání použitím osobního větrání [9, 8] místo tradičních vzduchotechnických systémů, které se snaží dosáhnout plného směřování. V takových systémech jsou malé dávky čerstvého a chladného vzduchu přiváděny přímo do dýchací zóny přítomných osob, takže je zajištěna vysoká kvalita vdechovaného vzduchu. Vysoká kvalita vdechovaného vzduchu může být zajištěna pouze při vysoké kvalitě vzduchu přiváděného vzduchotechnickými systémy, které mohou být někdy samy o sobě zdroji znečištění [19, 22], jak je uvedeno ve studii za skutečných podmínek v telefonní centrále popsané výše [24]. Účinná údržba a čištění vzduchotechnických systémů jsou tedy velmi důležité.

ZÁVĚRY

- [1] Experimenty v laboratoři a ve skutečných prostředích ukazují, že zlepšení kvality vnitřního vzduchu zlepšuje výkon kancelářské práce.
- [2] Přínosy ze zlepšení kvality vnitřního vzduchu omezením zdrojů znečištění nebo zvýšením dávek přiváděného venkovního vzduchu jsou mnohem vyšší než náklady tím vyvolané.
- [3] Současné výsledky vytvářejí mocný argument a silný stimul pro zajišťování vnitřního vzduchu s vyšší kvalitou než jsou minimální úroveň požadované současnými normami.

Poděkování: Tato práce byla podporována Dánskou Radou pro technický výzkum (Danish Technical Research Council – STVF) jako součást výzkumného programu Mezinárodního střediska pro vnitřní prostředí a energii (International Centre for Indoor Environment and Energy) zřízeného na Dánské Technické Universitě (Technical University of Denmark) na období 1998–2007.

Spojení na autora:

Technical University of Denmark, Building 402, DK-2800 Kgs. Lyngby, Denmark.

Tel. +45 45 254 011, fax. +45 45 932 166, e-mail: pw@mek.dtu.dk, web. www.ie.dtu.dk.

Použité zdroje:

- [1] Baelum, J., Andersen, I., Lundqvist, G. R. et al. (1985) "Response of solvent exposed printers and unexposed controls to six-hour toluene exposure", *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 11, 271–280
- [2] Bakó-Biró, Z. (2004) *Human Perception, SBS Symptoms and Performance of Office Work during Exposure to Air Polluted by Building Materials and Personal Computers*, Ph.D.-thesis, International Centre for Indoor Environment and Energy, Technical University of Denmark
- [3] Bakó-Biró, Z., Wargocki, P., Weschler, C. and Fanger, P.O. (2004) "Effects of pollution from personal computers on perceived air quality, SBS symptoms and productivity in offices", *Indoor Air*, 14, 178–187
- [4] Brown, S. K., Sim, M. R., Abramson, M. J. and Gray, C. (1994) "Concentrations of volatile organic compounds in indoor air", *Indoor Air*, 4, 123–134
- [5] CEN CR 1752 (1998) *Ventilation for buildings: Design criteria for the indoor environment*, Brussels, European Committee for Standardization.
- [6] Dorgan, C. B., Dorgan, C. E., Kanarek, M. S. and Willman, A. J. (1998) "Health and productivity benefits of improved indoor air quality", *ASHRAE Transactions*, 104, Pt. 1A, 658–666
- [7] Fanger, P. O. (1988) "Introduction of the olf and the decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors", *Energy and Buildings*, 12, 1–6
- [8] Fanger P. O. (2003) "Providing indoor air of high quality: challenges and opportunities", In: Tham, K.W., Sekhar, S.C. and Cheong, D. (eds) *Proceedings of Healthy Buildings '2003*, Singapore, Vol. 1, pp. 1–10
- [9] Meilikov, A., Cermak, R. and Majer, M. (2002) "Personalized ventilation: evaluation of different air terminal devices", *Energy and Buildings*, 34, 829–836
- [10] Milton, D., Glencross, P. and Walters, M. (2000) "Risk of sick-leave associated with outdoor air supply rate, humidification and occupants complaints", *Indoor Air*, 10, 212–221
- [11] Moelhave, L., Bach, B. and Pedersen, O. F. (1986) "Human reactions to low concentrations of volatile organic compounds", *Environment International*, 12, 167–175
- [12] Myhrvold, A. N., Olsen, E. and Lauridsen, R. (1996) "Indoor environment in schools – pupils health and performance in regard to CO₂ concentrations", In: *Proceedings of Indoor Air '96, The 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Nagoya, Japan, Institute of Public Health, Vol. 4, 369–374
- [13] New York State Commission on Ventilation (1923) *Report of the New York State Commission on Ventilation*, Dutton, New York.
- [14] Pejtersen, J., Brohus, H., Hyldgaard, C. E., Nielsen, J. B., Valbjørn, O., Hauschildt, P., Kjérgaard, S. K. and Wolkoff, P. (2001) "Effect of renovating an office building on occupants' comfort and health", *Indoor Air*, 11, 10–25
- [15] Tham, K. W., Willem, H. C., Sekhar, S. C., Wyon, D. P., Wargocki, P. and Fanger, P. O. (2003) "Temperature and ventilation effects on the work performance of office workers (study of a call center in the tropics)", In: Tham, K.W., Sekhar, S.C. and Cheong, D. (eds) *Proceedings of Healthy Buildings '2003*, Singapore, Vol. 3, pp. 280–286
- [16] Wargocki, P. (1998) *Human perception, productivity and symptoms related to indoor air quality*, Ph.D.-thesis, International Centre for Indoor Environment and Energy, Technical University of Denmark.
- [17] Wargocki, P., Wyon, D. P., Baik, Y. K., Clausen, G. and Fanger, P. O. (1999) "Perceived air quality, Sick Building Syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads", *Indoor Air*, 9, pp. 165–179
- [18] Wargocki, P., Wyon, D. P., Sundell, J., Clausen, G. and Fanger P. O. (2000a) "The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, Sick Building Syndrome (SBS) symptoms and productivity", *Indoor Air*, 10, 222–236
- [19] Wargocki, P., Wyon, D. P. and Fanger, P. O. (2000b) "Pollution source control and ventilation improve health, comfort and productivity", In: *Proceeding of Cold Climate HVAC '2000*, Sapporo, pp. 445–450
- [20] Wargocki, P., Lagercrantz, L., Witterseh, T., Sundell, J., Wyon, D. P. and Fanger, P. O. (2002a) "Subjective Perceptions, Symptom Intensity and Performance: a Comparison of Two Independent Studies, both Changing Similarly the Pollution Load in an Office", *Indoor Air*, 12, pp. 74–80
- [21] Wargocki, P., Sundell, J., Bischof, W., Brundrett, G., Fanger, P. O., Gyntelberg, F., Hanssen, S. O., Harrison, P., Pickering, A., Seppänen, O. and Wouters, P. (2002b) "Ventilation and Health in Nonindustrial Indoor Environments. Report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting", *Indoor Air*, 12, pp. 113–128
- [22] Wargocki, P., Bischof, W., Brundrett, G., Fanger, P. O., Gyntelberg, F., Hanssen, S. O., Harrison, P., Pickering, A., Seppänen, O., Sundell, J. and Wouters, P. (2002c) "The role of ventilation in nonindustrial indoor environments. Report from a European multidisciplinary scientific consensus meeting", In: *Proceedings of Indoor Air 2002, The 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Monterey, USA, Vol. 5, pp. 33–38
- [23] Wargocki, P. and Djukanovic, R. (2003) "Estimate of an economic benefit from investment in improved indoor air quality in an office building", In: Tham, K.W., Sekhar, S.C. and Cheong, D. (eds) *Proceedings of Healthy Buildings '2003*, Singapore, Vol. 3, pp. 382–387.
- [24] Wargocki, P., Wyon, D. P. and Fanger, P. O. (2004) "The performance and subjective responses of call-centre operators with new and used supply air filters at two outdoor air supply rates", *Indoor Air* (in press).
- [25] Wyon, D.P. (1996) "Indoor environmental effects on productivity", In: *Proceedings of IAQ '96 Paths to Better Building Environments*, USA, ASHRAE, 5–15. ■