

Ing. Pavel CHARVÁT, Ph.D.¹⁾
 Prof. Ing. Miroslav JÍCHA, CSc.²⁾
 Dr. Ing. Willem de GIDS³⁾
 Ing. Andre MEESTER³⁾
 Ing. Peter Op't VELD⁴⁾

Recenzent
 prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

Hybridní větrací systém pro obytné budovy

The hybrid Ventilation System for Residential Buildings

Bytovému větrání ještě stále není v České republice věnována dostatečná pozornost. Pouze malý počet bytů a domů je vybaven moderními energeticky úspornými větracími systémy. Jedním z moderních větracích systémů, který by u nás mohl nalézt uplatnění, je hybridní větrací systém pro mírné klimatické pásmo vyvinutý v rámci evropského projektu RESHYVENT.

Klíčová slova: hybridní bytové větrání, řízené větrání

There has not been adequate attention paid to residential ventilation in the Czech Republic. Only a small number of dwellings are fitted with modern energy efficient ventilation systems. Among the modern residential ventilation systems, which could be employed in the Czech Republic, belongs the hybrid ventilation system for the moderate climate developed within the framework of the European project RESHYVENT.

Keywords: residential hybrid ventilation, demand controlled ventilation

1. ÚVOD

Výzkumy chování lidí ve vyspělých zemích ukazují, že průměrný člověk tráví 80 až 90 procent času uvnitř budov (Jenkins, 2000, Statistics Canada, 1998). Značnou část této doby tráví lidé ve svých obydlích (přibližně 60 %). Kvalita vnitřního prostředí tedy hraje v moderní společnosti velmi významnou úlohu. Jedním z faktorů ovlivňujících kvalitu vnitřního prostředí je kvalita vzduchu. Bylo publikováno množství studií prokazujících příčinnou souvislost mezi špatnou kvalitou vzduchu uvnitř budov a zdravotními problémy lidí (Villberg a kolektiv, 2002, Fisk, 2000). V této souvislosti vstupuje do hry větrání, jehož úlohou je, při splnění dalších požadavků, kvalitu vnitřního vzduchu zajistit. K již zavedeným pojmem „přirozené větrání“ a „nucené větrání“ přibyl v posledních letech ještě pojem „hybridní větrání“.

Pojem hybridní větrání se začal objevovat před několika lety v souvislosti s projektem Mezinárodní energetické agentury Annex 35 „Hybvent“. Tento projekt byl zaměřen na využití hybridního větrání ve veřejných budovách a zahrnoval řadu pilotních studií budov s hybridním větráním. Stejně jako u jiných hybridních systémů dává i pojem hybridní větrání tušit, že jde o kombinaci různých (již známých) přístupů. Hybridní větrací systém kombinuje přirozené a mechanické větrání takovým způsobem, aby byla minimalizována spotřeba energie při zajištění dobré kvality vzduchu a pohody prostředí (Heiselberg, 2002).

Hybridní větrací systémy lze rozdělit do tří skupin. První skupinu tvoří systémy, které kombinují autonomní systémy přirozeného a nuceného větrání. Řídicí systém potom přepíná mezi přirozeným a nuceným větráním, nebo používá každý ze dvou systémů pro jiné účely. Patří sem například systémy, které používají přirozené větrání v přechodném období a nucené větrání (spojené s ohřevem nebo chlazením přiváděného vzduchu) v zimním a letním období. Do této skupiny patří rovněž systémy, které používají mechanické větrání pro zajištění požadované kvality vzduchu během dne a intenzivní přirozené větrání (pasivní chlazení) přes noc.

Druhou skupinu tvoří systémy přirozeného větrání, které jsou doplněny pomocným ventilátorem. Mohlo by se zdát, že mnoho obydlí v České republice je vybaveno hybridním větráním spadajícím do této kategorie, neboť kombinace přirozeného větrání (provětrávání okny, šachtové větrání) s odváděcími ventilátory (odsavače par, odváděcí ventilátory v koupelnách a na WC) je velmi častá. Tyto kombinace však postrádají základní rys hybridních větracích systémů a to inteligentní řídicí systém, který by kombinoval přirozené a mechanické síly na základě aktuálních požadavků s cílem minimalizovat spotřebu energie. Obecnou kombinaci přirozeného a nuceného větrání tedy nelze označit za hybridní větrání.

Třetí skupinu hybridních větracích systémů tvoří systémy nuceného větrání, u kterých se využívá účinků větru a rozdílu teplot. Vývoji systémů v této skupině se nejvíce věnuje Norsko. Vzhledem k chladnému klimatu je zde velmi rozšířeno nucené větrání se zpětným získáváním tepla. I u systémů nuceného větrání se zpětným získáváním tepla lze využít přirozených sil. Hybridní větrací systém pro drsné klimatické pásmo vyvinutý norskými účastníky projektu RESHYVENT nabízí v tomto ohledu řadu velmi zajímavých technických řešení.

2. HYBRIDNÍ VĚTRACÍ SYSTÉM PRO MÍRNÉ KLIMATICKÉ PÁSMO

Projekt mezinárodní energetické agentury Annex 35 „Hybvent“ byl zaměřen na použití hybridního větrání ve veřejných budovách. V roce 2001 na tento projekt volně navázal projekt 5. rámcového programu EU s názvem RESHYVENT (RESidential HYbrid VENTilation) zaměřený na využití hybridního větrání v obytných budovách. Jedním z cílů tohoto projektu bylo vyvinout hybridní větrací systémy pro čtyři klimatická pásma v Evropě (teplé, mírné, studené a drsné). Klimatické podmínky zásadním způsobem ovlivňují požadavky kladené na větrací systém i na jeho provoz. Zpětné získávání tepla, které může být na jihu Evropy investicí s návratností za horizontem životnosti, má na severu Evropy návratnost několika málo let.

Tento článek je věnován hybridnímu větracímu systému pro mírné klimatické pásmo, který byl v rámci projektu RESHYVENT vyvinut konsorciem nizozemských firem a jehož prototyp je instalován v experimentálním domě pro výzkum větrání v areálu Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně.

Hybridní větrací systém pro mírné klimatické pásmo patří mezi systémy přirozeného větrání s pomocným ventilátorem. Přívod venkovního vzduchu do místnosti je přirozený samoregulačními příváděcími vyústkami umístěnými na okna. Odvod vzduchu je buď přirozený nebo nucený v závislosti na klimatických podmínkách a požadovaném průtoku větracího vzduchu. Větrání je řízeno na základě koncentrace oxidu uhličitého v obytných místnostech. Oxid uhličitý je škodlivina produkovaná lidmi při dýchání a v případě bytového větrání se v současnosti jeví jako nejvhodnější a poměrně dobře měřitelný parametr kvality vzduchu. Produkce CO₂ je závislá na fyzické konstituci člověka a také na jeho činnosti. Řízení větrání na základě koncentrace CO₂ tedy poměrně dobře reflektuje aktuální požadavky na větrání. Konfigurace hybridního větracího systému je zobrazena na obr. 1. Jde o konfiguraci systému v experimentálním domě pro výzkum větrání.

Větrací vzduch je přiváděn samoregulačními vyústkami umístěnými nad okny. Vyústku je možné umístit do rámu okna (obr. 2) nebo mezi prosklení a rám křídla. Druhý způsob je sice levnější, neboť nevyžaduje zvláštní rám okna, ale vyústka musí být do křídla vložena již při výrobě okna.

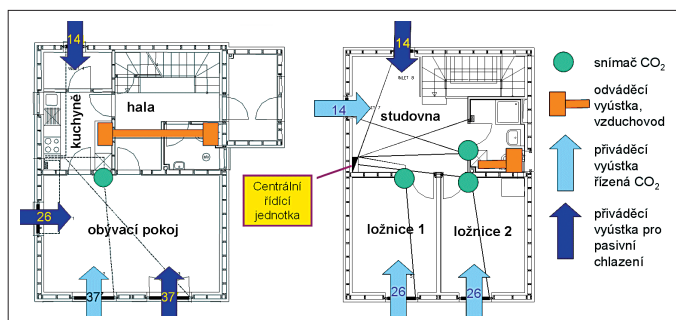
V každé obytné místnosti je umístěn senzor CO₂. Na základě měření koncentrace CO₂ se otevírá příváděcí vyústka v dané místnosti. Kromě samoregulační

¹⁾ FSI VUT v Brně, Odbor termomechaniky a techniky prostředí

²⁾ TNO, Building and Construction Research, Nizozemí

³⁾ Alusta BV, Nizozemí

⁴⁾ Cauberg-Huygen Consulting Engineers BV, Nizozemí



Obr. 1 Hybridní větrací systém



Obr. 2 Přiváděcí výústka

ních výústek pro řízené větrání systém zahrnuje také výústky pro pasivní chlazení intenzivním větráním. Tyto výústky mají pouze dvě polohy otevřeno a zavřeno a neumožňují plynulou regulaci průtoku vzduchu. Samoregulační

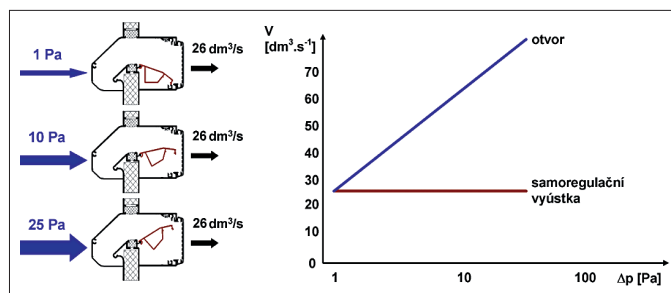
přiváděcí výústky umožňují udržovat konstantní průtok vzduchu při rozdílu tlaků větším než 1 Pa. Pokud je v obvodové konstrukci otvor pro přívod venkovního vzduchu, je průtok tímto otvorem závislý na rozdílu mezi venkovním tlakem vzduchu (tlakem na fasádě) a tlakem vzduchu uvnitř místnosti. Samoregulační přiváděcí výústky omezují průtok přiváděného vzduchu a tím podstatně snižují nebezpečí průvanu. Princip činnosti samoregulační výústky je zřejmý z obr. 3. Vyústka je vybavena senzorem pro měření směru a rychlosti proudění a servomotoricky ovládanou klapkou. Pokud senzor detekuje směr proudění vzduchu z místnosti ven, vyústka se uzavře. Samoregulační výústky regulují průtok ve čtyřech stupních odpovídajících 70, 100, 150 a 200 % nominálního průtoku. Nominální průtok vyústkou závisí na typu a délce vyústky. Vyústky typu BIN-GO, které jsou použity v experimentálním domě, mají nominální průtok $30 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na jeden metr délky regulační klapky. Nominální průtoky jednotlivými vyústkami v $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ uvádějí čísla na šípkách v obr. 1. Vyústky mohou mít délku od 300 do 2200 mm.

Odvod znečištěného vzduchu je buď přirozený nebo nucený. Odvědací výústky jsou umístěny v kuchyni, koupelně a na WC. Odvědací část hybridního větracího systému je na obr. 4. Skládá se z odvědacích výústek 1, motoricky ovládané regulační klapky 2, úsporného axiálního ventilátoru 3, anemometru pro měření průtoku 4, napájecí a řídicí jednotky ventilátoru 5 a střešního nástavce 6. Aby mohl hybridní větrací systém pracovat v režimu přirozeného větrání, musí mít odvědací část velmi malou tlakovou ztrátu. V případě experimentálního domu je tlaková ztráta vzduchovodu 5 Pa při průtoku $100 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Použitý axiální ventilátor má velmi malý příkon. Při průtoku $56 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a rozdílu tlaků 14 Pa je příkon ventilátoru přibližně 2 W. Průtok vzduchu v odvědací části hybridního větracího systému při maximálních otáčkách ventilátoru je $140 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Tvar střešního nástavce zvyšuje přirozený tah šachty účinkem větru. Holandsko, kde byl systém vyvinut, je země s poměrně vysokými průměrnými rychlostmi větru. Průměrná rychlost větru na pobřeží přesahuje $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a ve vnitrozemí se pohybuje mezi 4 a $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

3. OVLÁDACÍ STRATEGIE

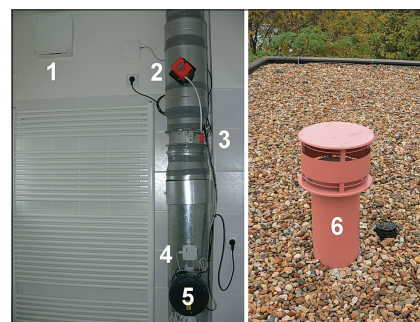
Pokud není překročena nastavená koncentrace CO_2 (např. 800 ppm) v žádné z obytných místností, větrá se dům pouze minimálním průtokem vzduchu (např. $10 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). V tomto režimu jsou výústky uzavřeny a venkovní vzduch se dovnitř dostává pouze infiltrací.

Při překročení nastavené koncentrace CO_2 v některé z místností se v této místnosti otevře přiváděcí vyústka na první stupeň (průtok odpovídající 70% nominálního průtoku). Současně dojde k nastavení průtoku vzduchu v odvědací části na hodnotu, která je součtem základního větracího průtoku a požadovaného průtoku vyústkou. Pokud jsou přirozené hnací síly dostatečné, nastaví se požadovaný



Obr. 3 Princip činnosti samoregulační výústky

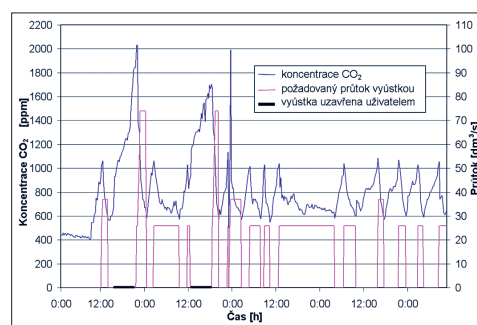
dovaný průtok vzduchu v odvědací části motorickou regulační klapkou. Pokud přirozené hnací síly nejsou dostatečné a ani při plně otevřené regulační klapce nedosahuje průtok vzduchu v odvědací části požadované hodnoty, spustí se ventilátor. Ventilátor potom běží při otáčkách zajišťujících požadovaný průtok. Pokud po otevření výústky na první stupeň nezačne koncentrace CO_2 v místnosti klesat, otevře se vyústka na druhý stupeň odpovídající 100 % nominálního průtoku a opět se nastaví odpovídající průtok v odvědací části. Pokud by ani stupeň 2 nezajistil pokles koncentrace CO_2 otevře se vyústka na stupeň 3 (150 % nominálního průtoku) případně stupeň 4 (200 % nominálního průtoku).



Obr. 4 Odvod vzduchu

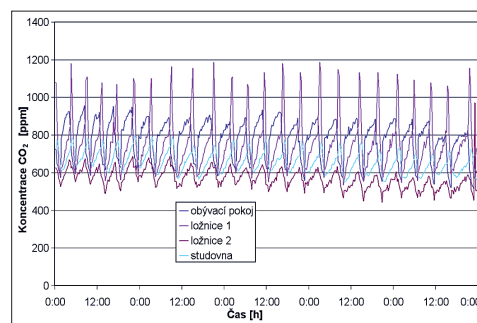
Pokud dojde současně k překročení koncentrace CO_2 v některé z dalších místností celý proces se opakuje s tím, že v odvědací části se nastaví průtok, který je součtem minimálního větracího průtoku a součtem požadovaných průtoků přiváděcími vyústkami. Když začne koncentrace CO_2 v místnosti klesat zůstává vyústka otevřena na aktuální stupeň a při poklesu koncentrace pod nastavenou hodnotu (např. 600 ppm) se uzavře. Po uzavření vyústky dojde opět k úpravě průtoku v odvědací části systému, tak aby odpovídal aktuálním požadavkům.

Uživatel může přiváděcí vyústku kdykoliv otevřít nebo uzavřít dálkovým ovladačem. V kuchyni a v koupelně jsou umístěna tlačítka, jimiž může uživatel manuálně přepnout systém na vyšší výměnu vzduchu např. při vaření nebo sprchování. Uživatel má dále možnost uvést systém do režimu pasivního chlazení. V tomto režimu jsou všechny přiváděcí výústky zcela otevřeny a ventilátor běží na nejvyšší otáčky.



Obr. 5 Koncentrace CO_2 v obývacím pokoji

Většina parametrů větracího systému se dá nastavit v centrální větrací jednotce nazvané VENTOSTAT. Lze zde nastavit koncentraci CO_2 pro otevření a uzavření vyústek, dobu po kterou vyústka zů-



Obr. 6 Koncentrace CO_2 v místnostech

stane v daném stavu po zásahu uživatele nebo průtoky vzduchu v odvědcí části při manuálním uvedení systému na vyšší výměnu vzduchu. U hybridního větracího systému lze použít zpětné získávání tepla tepelným čerpadlem vzduch-voda. Tepelné čerpadlo pro zpětné získávání tepla v experimentálním domě má topný výkon 1,8 kW a pracuje při průtoku vzduchu minimálně $35 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

4. OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI SYSTÉMU

Prototyp hybridního větracího systému pro mírné klimatické pásmo byl nainstalován v experimentálním domě v únoru 2004. Protože dům není obydlen, bylo pro ověření funkčnosti systému nutné přítomnost osob simulovat uvolňováním CO_2 . Přítomnost osob byla simulována nejprve v obývacím pokoji. Byla použita velmi jednoduchá simulační sestava skládající se z tlakové lahve s CO_2 , ventilu s konstantním průtokem a plovákového průtokoměru. Simulace probíhala po dobu přibližně 4 dnů a množství uvolňovaného CO_2 bylo konstantní $30 \text{ dm}^3/\text{h}$, což přibližně odpovídá přítomnosti dvou osob. V reálné situaci je sice velmi nepravděpodobné, že by dvě osoby strávily čtyři dny v jedné místnosti, ale konstantní emise CO_2 se jednak lépe simuluje a jednak umožňuje postihnout další faktory mající vliv na výměnu vzduchu. Výsledek tohoto testu je na obr. 5.

Během simulace byla vyústka dvakrát uzavřena uživatelem. Po zásahu setrvává vyústka v požadovaném stavu po předem nastavenou dobu (standardně 6 hodin). Během této doby došlo k výraznému nárůstu koncentrace CO_2 . Po návratu vyústky do automatického režimu a po jejím otevření klesla koncentrace CO_2 v místnosti velmi rychle na hodnotu 600 ppm. V automatickém režimu byl systém schopen udržovat koncentraci CO_2 pod hodnotou 1200 ppm. I když bylo množství uvolňovaného CO_2 konstantní, je vidět že se křivky nárůstu a pokles koncentrace v různém čase liší.

5. VÝMĚNA VZDUCHU

Velkým přínosem řízeného větrání, v porovnání s neřízeným, je dosažení požadované kvality vzduchu při nižších celkových výměnách vzduchu. Výměna vzduchu v jednotlivých místnostech při použití hybridního větracího systému byla stanovena metodou stopového plynu (perfluorocarbon tracer gas). Přítomnost osob byla opět simulována uvolňováním CO_2 . Množství uvolňovaného CO_2 bylo konstantní a to $50 \text{ dm}^3/\text{h}$ v obývacím pokoji a $30 \text{ dm}^3/\text{h}$ v ložnici. Experiment probíhal po dobu 405 hodin od 3. 12. 2004 do 20. 12. 2004. Ukázka koncentrace CO_2 v jednotlivých místnostech v době pěti dnů během simulace je na obr. 6. Vnitřní dveře byly při tomto experimentu pootevřené, což mělo za následek nárůst koncentrace v ložnici 2, kde nebyl žádný zdroj CO_2 . Nárůst koncentrace ve studovně je způsoben organizací přívodu a odvodu vzduchu. Vzduch při své cestě z ložnice do místa odvodu, které je v koupelně, musí proudit přes studovnu.

Metodou stopového plynu byla měřena výměna vzduchu infiltrací bez simulace přítomnosti osob po dobu dalších 386 hodin od 20. 12. 2004 do 5. 1. 2005. Výsledky obou měření jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1 Výměna vzduchu v jednotlivých místnostech

Místnost	Výměna vzduchu [1/h]	
	simulace přítomnosti	pouze infiltrace
Obývací pokoj	$0,33 \pm 0,03$	$0,20 \pm 0,02$
Ložnice 1	$0,30 \pm 0,03$	$0,11 \pm 0,01$
Ložnice 2	$0,29 \pm 0,03$	$0,13 \pm 0,01$
Studovna	$0,36 \pm 0,03$	$0,22 \pm 0,02$
Hala	$0,37 \pm 0,03$	$0,26 \pm 0,03$
Kuchyně	$0,45 \pm 0,04$	$0,28 \pm 0,03$
Celý dům	$0,34 \pm 0,05$	$0,18 \pm 0,03$

Při simulaci přítomnosti osob byla výměna vzduchu přibližně $0,34 \text{ 1/h}$. Výměna vzduchu uvnitř domu bez větrání byla přibližně $0,18 \text{ 1/h}$. I když se simulovaná

přítomnost osob výrazně liší od reálných podmínek, jsou výsledky experimentu velmi cenné. Ukázalo se, že výměna vzduchu byla menší, než $0,5 \text{ 1/h}$ jež odpovídá požadavkům na větrání obytných budov v mnoha zemích včetně České republiky. V reálné situaci by 5 osob netrávilo v domě 24 hodin denně, a tak by množství přiváděného vzduchu pro ředění koncentrace CO_2 bylo ve skutečnosti ještě menší. Na druhou stranu by se ale zvýšila výměna vzduchu manuálními ovládaním systému při vaření nebo sprchování.

Pro efektivní použití řízeného větrání je nutná vysoká vzduchotěsnost budovy. Pro testovaný hybridní větrací systém je důležité, aby hodnota N_{50} , představující počet výměn vzduchu při rozdílu tlaků 50 Pa, byla $N_{50} < 5 \text{ 1/h}$, přičemž se doporučuje $N_{50} < 3 \text{ 1/h}$. Experimentální dům pro výzkum větrání má $N_{50} = 2,5 \text{ 1/h}$, čímž je zdůvodněna i poměrně nízká výměna vzduchu infiltrací.

ZÁVĚR

Větrání se významnou měrou podílí na celkové spotřebě energie v obytných budovách. Podle údajů Mezinárodní energetické agentury pro rok 1998 byla spotřeba primární energie v zemích OECD přibližně 145 EJ (EJ – exa joule je 10^{18} joule). Obytný sektor se na této spotřebě podílel přibližně 28 EJ, přičemž okolo 12 EJ bylo spojeno s výměnou vzduchu uvnitř budov (Concannon, 2002). Tento vysoký podíl spotřeby energie na výměnu vzduchu (přesahující 40 % spotřeby v obytném sektoru) je pravděpodobně ovlivněn vysokou spotřebou primární energie na odvlhčování a chlazení větracího vzduchu v mnoha státech USA. Pro země Evropské unie se spotřeba energie spojená s výměnou vzduchu odhaduje na 33 % celkové spotřeby energie v obytných budovách (Seppanen, 2002).

Lze očekávat, že v budoucnu bude docházet k dalšímu zvyšování požadavků na tepelný odpor stavebních konstrukcí, čímž se podíl spotřeby energie pro větrání na celkové energetické náročnosti budov bude zvyšovat. Se současným zvyšováním vzduchotěsnosti budov se použití řízeného větrání, jehož představitelem je i hybridní větrací systém pro mírné klimatické pásmo, jeví jako jediná cesta. Většina zemí má v současnosti ve svých požadavcích pro bytové větrání předepsanu buď násobnost výměny vzduchu, nebo množství přiváděného vzduchu na osobu (Yoshino a kolektiv, 2004). V budoucnu se pravděpodobně přejde na přímé monitorování kvality vzduchu a v předpisech tak budou stanoveny pouze přípustné koncentrace škodlivin a nikoliv množství přiváděného větracího vzduchu. Větráním řízeným na základě přímého monitorování kvality vzduchu v místnosti lze dosáhnout požadované kvality vzduchu mnohem efektivněji než předepisováním násobností výměn nebo množství vzduchu na osobu. Přímému monitorování kvality vzduchu v současnosti brání vysoká cena senzorů a velké množství škodlivin vyskytujících se v obytných budovách. Přítomnost některých škodlivin je možné do budoucna výrazně omezit použitím materiálů, které tyto škodliviny neuvolňují. Již dnes se to poměrně úspěšně daří u radonu, azbestu nebo formaldehydu.

Použité zdroje:

- [1] Concannon, P.: Residential ventilation, *Technical note AIVC 57*, INIVE EEIG 2002.
- [2] Fisk, W. J.: Health and productivity gains from better indoor environments and their relationship with building energy efficiency. *Annual Review of Energy and the Environment 2000*.
- [3] Heiselberg, P.: Principles of hybrid ventilation, Aalborg University, 2002.
- [4] Jenkins, P. L.: California Indoor Exposures and Risk, *Symposium Proceedings of Indoor Air Quality: Risk Reduction in the 21st Century*, Sacramento, California 2000.
- [5] Overview of the Time Use of the Canadians in 1998, General Social Survey, Statistics Canada.
- [6] Seppanen, O.: Ventilation, energy and indoor air quality, *Indoor Air 2002*, Monterey, USA, 2002.
- [7] Villberg, K., Saarela, K., Rauhamaa, H., Malmberg, M., Haahtela, T.: Correlation between VOCs emitted from building materials and diagnosed building related symptoms. *Indoor Air 2002*, Monterey, USA, 2002.
- [8] Yoshino, H., Murakami, S., Akabayashi, S., Kurabuchi, T., Kato, S., Tanabe, S., Ikeda, K., Osawa, H., Sawachit, T., Hukushima, A., Adachi, M.: Survey on minimum ventilation rate of residential buildings in fifteen countries, *25th AIVC Conference*, Prague, 2004. ■