

Bilance vlhkosti v obytném prostředí



Ústav techniky prostředí

Balance of Humidity in Residential Building Environment

Recenzent
Ing. Václav Šimánek

Článek analyzuje závislost relativní vlhkosti vzduchu ve vnitřním prostředí obytných budov na počtu přítomných osob, na velikosti bytu a na různé intenzitě větrání.

Klíčová slova: Obytné prostředí, vlhkost vzduchu, produkce vodní páry, intenzita větrání

Authors research the dependence of the air relative humidity in the inside environment of residential buildings on the number of present persons, the area of the apartment and the different ventilation rate in their article.

Key words: residential environment, air humidity, water vapour, ventilation rate.

ÚVOD

Obytné prostředí má ve srovnání s prostředím pracovním svá specifika, neboť je plně v kompetenci jeho majitelů (obyvatel). Tradičně se v obytných budovách uplatňuje přirozené větrání, často doplněné o místní nárazové odsávání z hygienického zázemí a z kuchyně. V rámci snižování energetické náročnosti vede masivní zateplování budov k situaci, kdy je přirozené větrání zcela nedostačující. Infiltrace spárami nových těsných oken je téměř nulová a nárazové větrání okny vyžaduje od obyvatel bytu důslednost a systematičnost, kterou v praxi málokdo dodržuje. V teplejším období během roku nebývá trvalé otevření oken problém, avšak v zimě často převládá potřeba tepelného komfortu a kvalita vzduchu již není prioritou.

Vlhkost vzduchu ve vnitřním prostředí obytných budov je spojena s přítomností a činností osob. Vodní páru produkují přítomné osoby dýcháním či vypařováním, výrazné množství je rovněž produkováno při činnostech jakými jsou vaření, mytí nádobí, sprchování, sušení prádla apod. Úkolem větrání je zajistit přívod čerstvého vzduchu a odvod škodlivin včetně vlhkosti.

Vysoká koncentrace vodní páry je ve vnitřním prostředí považována za škodlivinu, přestože je přirozenou součástí vzduchu a tím i vnitřního prostředí. Při nedostatečném odvodu vodní páry může docházet k její kondenzaci v oblasti tepelných mostů či chladnějších částí obvodového pláště budovy. Tento jev je prokazatelně spojován s nepříznivými vlivy na vnitřní prostředí. Dochází ke vzniku plísní a v krajním případě může vlhnutí konstrukce vést až k narušení zdiva, či konstrukce domu. Jako maximální hodnota ve vnitřním prostředí je většinou doporučována hranice 70 % relativní vlhkosti.** Z hygienického hlediska lze sice připustit krátkodobou kondenzaci vodní páry např. na zasklení, avšak zcela nepřipustná je kondenzace vodní páry na površích a uvnitř stavebních konstrukcí (zdivu). Z tohoto důvodu se tepelně technické výpočty realizují zpravidla pro 50% relativní vlhkost vzduchu ve vnitřním prostředí, která bývá uváděna také jako limitní hodnota pro zvýšené riziko výskytu mikroorganismů [16]. Vlhčení a odvlhčování vnitřního vzduchu obvykle nebývá v obytném prostředí vyžadováno. Pokud se používá, je nutné dodržet doporučené hodnoty pro jeho návrh i provoz, tak aby nedocházelo k přílišnému přívodu vlhkosti do interiéru [1].

BILANCE VLHKOSTI

Produkcí vodní páry pro různé druhy lidské činnosti uvádí norma ČSN EN 15665 (tab. 1). Významným zdrojem jsou i samotní obyvatelé – při celodenní přítomnosti většího počtu osob jde o základní položku ve vlhkostní bilanci. Co se týče činností obyvatel bytu, významná je zejména produkce vodní páry při praní a sušení prádla ve vnitřních prostorách bytu, dále spr-

chování a příprava jídla. Vodní pára vznikající přípravou pokrmů (vaření) je zahrnuta v položkách snídaně, svačina, oběd. Při vaření na plynovém sporáku vzniká navíc vodní pára spalováním zemního plynu. Hodnota uvedená v normě ČSN EN 15665 udává produkci vodní páry za den, i když ve skutečnosti bude spotřeba plynu záviset i na počtu osob v domácnosti.

Uvedené hodnoty byly přepočítány na průměrnou produkci vodní páry během všedního a víkendového dne pro dvou a čtyřčlennou rodinu (tab. 2).

Tab. 1 – Produkce vodní páry podle ČSN EN 15665

Činnost	Produkce vodní páry	
Vodní pára – bdělé osoby	55	g/h na osobu
Vodní pára – spící osoby	40	g/h na osobu
Snídaně	50	g/osoba
Svačina	75	g/osoba
Oběd	300	g/osoba
Vaření na plynovém sporáku	350	g/den
Sprcha	300	g/sprcha
Praní/sušení ve vnitřním prostředí	1200	g/praní
Četnosti jednotlivých činností		
Četnost sprchování	1	sprcha/osobu a den
Četnost praní	1	praní/osobu a týden

Tab. 2 – Produkce vodní páry za den pro 2 a 4 člennou rodinu

Činnost	2 členná rodina		4 členná rodina	
	Víkendový den	Všední den	Víkendový den	Všední den
	g/den		g/den	
Vodní pára – bdělé osoby	1760	660	3520	1320
Vodní pára – spící osoby	640	640	1280	1280
Snídaně	100	100	200	200
Svačina	300	150	600	300
Oběd	600	0	1200	0
Vaření na plynovém sporáku	350	350	350	350
Sprcha	600	600	1200	1200
Praní/sušení – ve vnitřním prostředí	343	343	686	686
Celkem produkce vodní páry za den	4693	2843	9036	5336

Předpokládá se, že během všedního dne jsou osoby přítomny v obytném prostoru celkem 14 hodin. Během víkendového dne se předpokládá celodenní přítomnost všech osob v obytném prostoru. Uvažuje se 8 hodin spánku denně. Produkce vodní páry při praní a sušení prádla byla rovnoměrně rozdělena na jednotlivé dny v týdnu.

Na základě vlhkostní bilance větráného prostoru pro trvalé větrání lze zjistit průběh měrné vlhkosti vzduchu podle rovnice (1). Výchozím stavem při výpočtu je stav bez zdrojů vlhkosti (pro $\tau = 0$ je $x_{i,\tau} = x_{i,0}$) a měrná vlhkost se s časem mění, dokud nenastane rovnovážný stav.

$$x_{i,\tau} = x_{i,0} e^{-\frac{\tau}{\tau_0}} + \left(\frac{M_w}{V_p \rho} + x_p \right) \left(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_0}} \right) \quad (1)$$

Pokud se předpokládá trvalé, ustálené větrání (rovnovážný stav), lze vztah (1) zjednodušit a stanovit výslednou vlhkost vzduchu v obytném prostředí, která závisí na produkci vodní páry, intenzitě větrání a parametrech přiváděného vzduchu.

$$x_i = \frac{M_w}{V_p \rho} + x_p \quad (2)$$

ANALÝZA VLHKOSTI

Pro výpočet vlhkostní bilance byl použit modelový byt o celkové ploše 75 m² a výšce 2,6 m, obývaný čtyřčlennou rodinou během všedního dne (běžný režim domácnosti) a víkendu. Měrná vlhkost přiváděného vzduchu je shodná s měrnou vlhkostí venkovního vzduchu (nepředpokládá se vlhčení venkovního vzduchu). Pro výpočet byla použita data uvedená v literatuře [3] (tab. 3). Výpočet byl realizován pro teploty venkovního vzduchu -15 až 15 °C a variantní intenzity větrání 0,1 až 1 h⁻¹, které jsou vztahovány k celkovému vnitřnímu objemu bytu (tj. 75 × 2,6 = 195 m³). Teplota vnitřního vzduchu byla při analýzách uvažována 20 °C. Ve zkoumaných případech byl uvažován přívod venkovního vzduchu bez přímého ohřevu (tepelnou ztrátu větráním hradí otopná soustava). Při výpočtech byla zohledněna závislost hustoty přiváděného vzduchu na teplotě venkovního vzduchu.

Tab. 3 – Parametry venkovního vzduchu (upraveno podle [3])

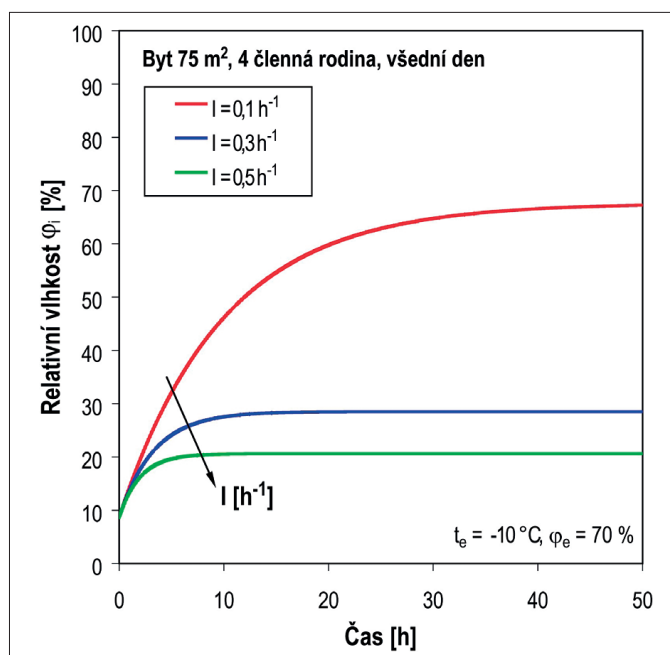
t_e [°C]	-15	-10	-5	0	5	10	15
φ_e [%]	90	70	70	70	69	65	61
x_e [g/kg s.v.]	1,07	1,25	1,84	2,67	3,77	5,00	6,54

Na základě rovnice (1) byla vypočítána měrná vlhkost vzduchu a s použitím psychrometrických výpočtů byla stanovena vlhkost relativní. Na obr. 1 je znázorněn vývoj relativní vlhkosti vnitřního vzduchu pro popsání modelového bytu při třech různých intenzitách větrání pro zadanou teplotu venkovního (větracího) vzduchu -10 °C a relativní vlhkost 70 %. Výchozím stavem při výpočtu (výchozí bod grafu) byl byt bez zdrojů vlhkosti. Průběh znázorňuje změnu relativní vlhkosti při produkci odpovídající příslušnému počtu přítomných osob.

Při analýzách byla produkce vodní páry uvažována konstantní během celého dne, v modelu není zahrnuto nárazové větrání (odvod vzduchu) v místě produkce – v kuchyni, koupelně. Zjištěné závislosti odpovídají situaci, kdy je veškerá vlhkost odváděna trvalým větráním.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Výsledky na obr. 2 ukazují závislost relativní vlhkosti vzduchu ve vnitřním prostředí zkoumaného bytu na teplotě venkovního větracího vzduchu (s odpovídající relativní vlhkostí viz tab. 3) pro různé intenzity větrání,



Obr. 1 Průběh relativní vlhkosti vzduchu pro různé intenzity větrání ve zkoumaném bytě (všední den pro 4 člennou rodinu)

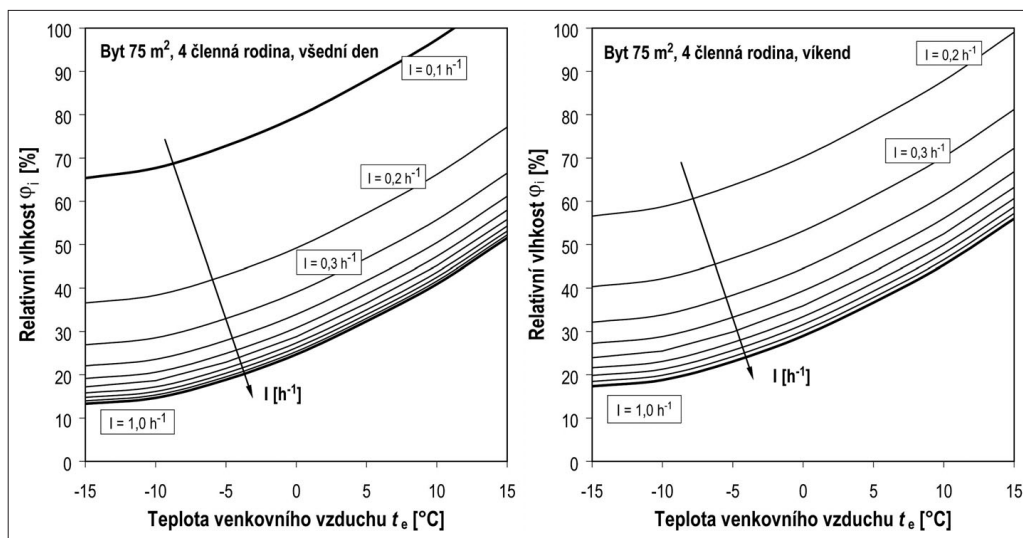
ustálené větrání a ustálený výkon vodní páry. Z hlediska produkce vodní páry byly výpočty realizovány pro byt obývaný čtyřmi osobami během všedního dne (obr. 2a) a během víkendu (obr. 2b).

Z grafů na obr. 2 je patrné, že při nízké intenzitě větrání 0,1 h⁻¹ ve všední i víkendový den v zimním období je relativní vlhkost vnitřního vzduchu vysoká (65 až 100 %). Jak je vidět pro běžný byt obývaný čtyřčlennou rodinou se jeví vhodné udržovat intenzitu větrání v rozmezí 0,3 až 0,5 h⁻¹ (vztaheno k celkovému vnitřnímu objemu obytného prostoru). S rostoucí intenzitou větrání je produkovaná vlhkost z vnitřního prostředí rychle odváděna a relativní vlhkost v bytě klesá. Rozdíly výsledné relativní vlhkosti vzduchu pro intenzitu větrání 0,7 až 1 h⁻¹ jsou však již minimální.

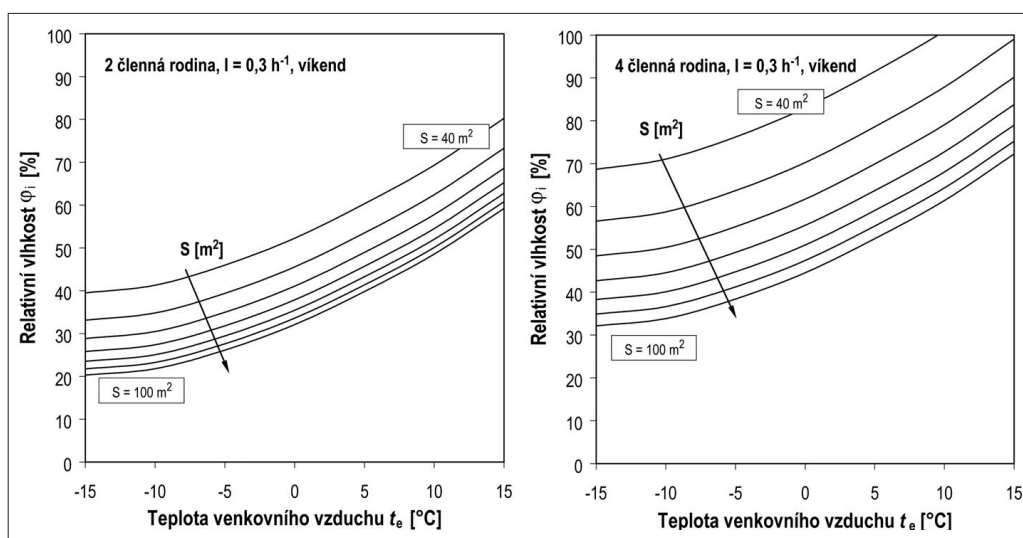
Na obr. 3 jsou znázorněny výsledky analýzy pro různé velikosti bytu při konstantní intenzitě větrání 0,3 h⁻¹. Velikost bytu je charakterizována půdorysnou plochou 40 až 100 m², výška bytu je 2,6 m. Obr. 3a) odpovídá případu, kdy je byt obýván dvěma osobami, obr. 3b) platí pro čtyřčlennou rodinu.

S rostoucí velikostí bytu roste objemový průtok větracího vzduchu a ve větším bytě je tak dosaženo, při stejné produkci vodní páry, nižší relativní vlhkosti. Z obr. 3b, kde jsou uvedeny analýzy pro čtyřčlennou rodinu, je zřejmé, že relativní vlhkost vzduchu pro byt o velikosti 100 m² v zimním období prakticky neklesá pod 30 %.

V této souvislosti je nutné zmínit, že vodní pára není jedinou znečišťující látkou, která se v obytném prostředí vyskytuje. Kromě vodní páry a CO₂ je hoř producentem je v domácnostech především člověk, se v bytech, zejména v novostavbách, vyskytují i jiné škodlivé látky. Jde o chemické sloučeniny, které se do vzduchu uvolňují z použitých stavebních i interiérových materiálů, případně o sloučeniny vznikající vzájemnou reakcí těchto látek. Známým představitelem jsou těkavé organické látky – VOC (Volatile Organic Compounds), mezi které patří například formaldehyd, který se uvolňuje z nábytku, podlahových krytin apod. Dalšími zdroji jsou kosmetické přípravky, čisticí prostředky, elektronika aj. Je zřejmé, že velikost bytu bude mít vliv právě na produkci VOC a z tohoto pohledu jsou vyšší průtoky větracího vzduchu pro rozlehlejší byty žádoucí. Z uvedeného důvodu je vhodné dimenzovat větrací zařízení podle intenzity větrání, která je vztahována k objemu obytného prostoru. Dimenzování podle dávky vzduchu na osobu může být v mnoha případech zavádějící.



Obř. 2 Relativní vlhkost vzduchu ve zkoumaném bytě pro čtyřčlennou rodinu a) všední den, b) víkendový den



Obř. 3 Relativní vlhkost vzduchu při intenzitě větrání 0,3 h⁻¹ v obytném prostoru s různou půdorysnou plochou – víkendový den a) pro 2 člennou rodinu, b) pro 4 člennou rodinu

Relativní vlhkost vyšší než 50 % může v obytném prostředí způsobovat v zimním období problémy s kondenzací vodní páry na chladných plochách (okna, tepelné mosty). Co se týče spodní hranice relativní vlhkosti v obytném prostoru, z hygienického pohledu neexistují jednoznačně definovaná omezení. Dle normy ČSN EN 15251 má relativní vlhkost vzduchu jen malý vliv na tepelný pocit a vnímanou kvalitu vzduchu osob ve vnitřním prostředí. Zároveň však norma uvádí, že dlouhodobě vysoká vnitřní relativní vlhkost způsobí růst mikroorganismů a velmi nízká relativní vlhkost (<15 až 20 %) může způsobovat suchost a podráždění očí a dýchacích cest.

Studie zabývající se touto problematikou však ukazují, že lidé sice mohou v některých případech nízkou relativní vlhkost vnímat negativně, není to však běžné. Subjektivní hodnocení kvality vzduchu naopak jednoznačně prokázala problematické působení vyšší relativní vlhkosti, zejména ve spojení s vyšší teplotou vzduchu. Experimenty opakovaně potvrzují skutečnost, že lidé nejlépe vnímají vzduch suchý a chladný. Teplejší a vlhčí vzduch bývá vnímán jako vzduch více znečištěný, i když se jedná o čistý vzduch bez škodlivin [4]. Výzkum zaměřený na vliv velmi nízké relativní vlhkosti na pohodu přítomných osob neprokázal souvislost mezi nízkou relativní vlhkostí (pod 10 %) a zdravotními aspekty, jako jsou suchost sliznic, podráždění očí, apod. Bylo zjištěno, že důvodem pro výskyt těchto symptomů bylo nedostatečné větrání, nikoliv

však vlhkost jako taková [5, 6, 7]. Jiné studie však poukazují na souvislost mezi nízkou vlhkostí a suchostí kůže, tvorbou vrásek a negativním vlivem na sliznice dýchacích cest přítomných osob. Tsukahara a kol. [8] ukázal negativní vliv vlhkosti na kůži při nastavení 40% a 70% relativní vlhkosti. Tyto výsledky podpořil i Egawa a kol. [9], který zjistil, že i při krátkodobém pobytu v prostředí s nízkou relativní vlhkostí vznikají v pokožce miniaturní vrásky. Již dříve bylo zjištěno, že funkci sliznice dýchacích cest ovlivňuje vlhkost a teplota vdechovaného vzduchu [10]. Také pro oční sliznici se v některých studiích objevuje doporučení pro udržování vlhkosti vyšší než 30 % [11]. Lowen a kol. zjistil, že relativní vlhkost ve vnitřním prostředí ovlivňuje přenos viru chřipky [12]. Dle jeho výsledků se virus nejvíce šíří při relativní vlhkosti od 20 do 35 % při teplotě 20 °C. Při relativní vlhkosti 50 % byla nakažlivost jednoznačně nižší. Tomuto výsledku nasvědčují i epidemie chřipky, které se na severní polokouli objevují od listopadu do března, kdy je vlhkost ve vnitřním prostředí nižší [12].

Norská studie zaměřená na vliv vnitřního prostředí na člověka poukazuje na nevhodnost používání relativní vlhkosti jako parametru [13]. Jako vhodnější veličinu doporučuje deficit nasycení – rozdíl mezi množstvím vodní páry ve stavu nasycení a aktuálním množstvím páry ve vzduchu (rozdíl měrných vlhkostí vzduchu). Deficit nasycení vyjadřuje „vysoušecí kapacitu“ vzduchu a oproti relativní vlhkosti lépe zohledňuje vnímání osob, neboť zahrnuje i vliv teploty. Použití tohoto parametru by mohlo vysvětlit protichůdné výsledky některých studií o vlivu vlhkosti na vnímání osob. Například výzkum Fanga a kol. [14] neprokázal vliv relativní vlhkosti na produktivitu osob při rozmezí vlhkosti 40 až 60 %. Všechna měření však byla realizována pro stejný deficit nasycení: 8,8; 8,8 a 8,5 g/kg.

V domácí odborné literatuře se často objevuje jako doporučený interval pro relativní vlhkost vzduchu pásmo 30 až 70 %. Uvedený rozsah je však v našich předpisech definován pro pracovní prostředí [2]. Hodnoty proto nelze zobecňovat a vztahovat na prostředí obytné. V praxi by to znamenalo, že při zvýšeném přívodu venkovního vzduchu v zimním období by bylo zapotřebí vlhčení vzduchu, což je většinou problematické. Jak dokazují uvedené analýzy, ke zvlhčování vzduchu dochází v obytném prostoru běžnou lidskou činností (vaření, sušení prádla, ale také zalévání květin apod.). Pokud charakter prostoru (použitý nábytek, dřevěné podlahy apod.), nebo uživatel vyžadují vyšší vlhkost (30 až 50 %) je možné využít větrací zařízení s výměníky ZTZ, které umožňují i zpětné získávání vlhkosti. Teplota vzduchu nasávaného do výměníku na bázi papíru je většinou omezená tak, aby nedošlo k námraze a případnému poškození. Z uvedeného důvodu se před výměník ZTZ tohoto typu zařazuje předehříváč vzduchu, nebo se vybavuje obtokem.

ZÁVĚR

Nežádoucím důsledkem instalace nových těsných oken je nedostatečné větrání obytných prostor s mnoha negativními dopady. Typický je problém se zvýšenou relativní vlhkostí vzduchu, která v zimních měsících často vede k nežádoucí kondenzaci vodní páry v oblasti tepelných mostů, nebo na chladných částech obvodového pláště budovy. Krátkodobé nárazové větrání sloužící k odvodu vzduchu z prostorů se zdroji vodní páry (kuchyně, koupelna) je bez zajištěného přívodu vzduchu neúčinné.

Z provedených analýz je zřejmé, že k dosažení požadované relativní vlhkosti je zapotřebí trvalá minimální intenzita větrání v rozsahu 0,2 až 0,5 h⁻¹ v závislosti na produkci vodní páry, parametrech přiváděného vzduchu, velikosti bytu apod. V praxi lze samozřejmě využít i ventilátory s proměnnými otáčkami a měnit tak průtok vzduchu v závislosti na užívání obytných prostor (např. noční útlum, běžný denní provoz, nárazové větrání).

Seznam označení

<i>M</i>	hmotnostní tok	[g/s]
<i>O</i>	objem prostorů	[m ³]
<i>V</i>	objemový průtok vzduchu	[m ³ /s]
<i>x</i>	měrná vlhkost	[g/kg]
<i>ρ</i>	hustota vzduchu	[kg/m ³]
<i>φ</i>	relativní vlhkost vzduchu	[%]
<i>τ</i>	čas	[s]

Indexy

<i>O</i>	v čase 0
<i>e</i>	venkovní
<i>i</i>	vnitřní
<i>ρ</i>	přiváděný
<i>w</i>	vodní páry
<i>τ</i>	v čase τ

Použité zdroje:

- [1] ČSN EN 15251., Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky, 2008
- [2] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci. *Sbírka zákonů ČR*. Ročník 2007
- [3] Chyský J., *Vlhký vzduch*. Praha 1977. SNTL 1977.
- [4] Fang L., Clausen G., Fanger P. O., Impact of Temperature and Humidity on the Perception of Indoor Air Quality. *Indoor Air*. 1998. vol. 8, no.2: p.80–90

- [5] Wyon D., Fang L., Lagercrantz L., Fanger P. O., Experimental Determination of the Limiting Criteria for Human Exposure to Low Winter Humidity Indoors, *HVAC&R Research*. 2006. vol. 12, no. 2, p. 201–213, ASHRAE
- [6] Fang L., Wyon D. P., Fanger P. O., Sick Building Syndrome Symptoms Caused by Low Humidity. *Proceedings of Healthy Buildings*. 2003. Vol. 3, p.1–6. Singapore
- [7] Strøm-Tejsten P., Wyon D. P., Lagercrantz L., Fang L., Passenger evaluation of the optimum balance between fresh air supply and humidity from 7-hour exposures in a simulated aircraft cabin. *Indoor Air*. 2007. vol. 17(2), 92–108
- [8] Tsukahara K., Hotta M., Fujimura T., Haketa K., Kitahara T., *Effect of room humidity on the formation of fine wrinkles in the facial skin of Japanese*. *Skin Res. Tech*. 2007. vol. 13, p. 184–188.
- [9] Egawa M., Oguri M., Kuwahara T., Takahashi M., *Effect of exposure of human skin to a dry environment*. *Skin Res. Tech*. 2002. vol. 8, p. 212–218
- [10] Williams R., Rankin N., Smith T., Galler D., Seakins P. *Relationship between the humidity and temperature of inspired gas and the function of the airway mucosa*. *Crit. Care Med*. 1996. vol. 24, p. 1920–1929
- [11] Wolkoff P., Kjærgaard S. K., The dichotomy of relative humidity on indoor air quality. *Environment International*. 2007. vol. 33, p. 850–857
- [12] Lowen A. C., Mubareka S., Steel J., Palese P., Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. *PLoS Pathogens*. 2007. vol. 3, no.10. e151. doi:10.1371/journal.ppat.0030151
- [13] Wiik R., Indoor productivity measured by common response patterns to physical and psychosocial stimuli. *Indoor Air*. 2010. Accepted (October 2010)
- [14] Fang L., Wyon D. P., Clausen G., Fanger P. O., Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. *Indoor Air*. 2004. vol. 14, p. 74–81
- [15] Zmrhal V., Drkal F., Mathauserová Z., Štávová P., *Zpracování národní přílohy k ČSN EN 15665 – rozbor požadavků na větrání v obytných budovách*. Zpráva k rozborovému úkolu č. 12/0010/10. Praha. 2010
- [16] Jokl M., Mikroklima zateplených budov. *Komplexní řešení problémů s větráním a vytápěním po zateplení bytových domů*. Sborník přednášek. Společnost pro techniku prostředí, Praha, 2010

Kontakt na autory: Vladimir.Zmrhal@fs.cvut.cz; Petra.Stavova@fs.cvut.cz

Příspěvek byl napsán s podporou výzkumného záměru MSM 6840770011 *Technika životního prostředí*.

** Poznámka redakce: Podrobněji o vzniku plísní viz:

Hemzal K., *Podmínky pro vznik plísní na silikátových stěnách In: Vytápění, větrání, instalace*. 2006, roč. 15, č. 3, s. 127–128. ISSN 1210–1389, 2006. ■

stavba.tzb-info.cz