

Relativní vlhkost a člověk - nové přípustné limity

 31.07.2009

relative air humidity and human - new acceptable limits

Miloslav V. Jokl¹, Stanislav Malý²

¹ČVUT, Fakulta stavební, miloslav.jokl@fsv.cvut.cz

²Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v.v.i., malys@vubp-praha.cz

vzduch

relativní vlhkost vzduchu

atmosférický tlak

statická elektřina

Abstrakt

Člověk nemá speciální čidla vlhkosti a vzhledem k uvedeným experimentálním výsledkům, lze snížit v nezbytných případech relativní vlhkost vzduchu na 15%, ne však již níže. Dolní limit optima dle vládního nařízení č. 361/2007 Sb. je 30%, doporučuje se 35% jsou-li v interiéru použity antistatické materiály; není-li tomu tak, pak 40%. Relativní vlhkost vzduchu klesá s nadmořskou výškou a je-li snížena, vytváří vjem jednak chladnějšího, jednak čerstvějšího vzduchu.

Klíčová slova: vlhkost vzduchu – limity, relativní vlhkost vzduchu a statická elektřina, relativní vlhkost vzduchu a atmosférický tlak

Abstract

It is evident from presented knowledge, owing to the fact that there are no special sensors for humidity in human body and owing to presented experimental results, that the relative humidity can decrease down to 15% but not lower. The lower limit of the optimal relative air humidity is 35% (for antistatic textile and leather materials applied) or 40% (static electricity not taken into account). The relative humidity depends on altitude, there is a decrease of RH against height increase and decreased RH causes there a) the cooler perception of air, b) the fresher perception of air. Keeping indoor air cool and clean would be a good strategy for avoiding many of the symptoms that associated with dryness. Artificial humidification is not required for normally healthy people. For environmentally sensitive people, a clean indoor environment is even more important although increasing indoor humidity may help to reduce the intensity of some dryness-related symptoms.

Keywords: relative air humidity limits, relative air humidity and static electricity, relative air humidity and atmospheric pressure

1. Úvod

Problémy s vlhčením vzduchu v zimním období, a to zvláště ve výškových budovách a v dopravních letadlech vedou

opět k podrobnému studiu této problematiky. V interiérech těchto budov a dopravních prostředků je v chladných obdobích roku ekonomicky obtížné udržet dosavadní optimální hodnoty relativní vlhkosti vzduchu (dále též vlhkost). Z posledních prací je zřejmé:

- ✦ pokles relativní vlhkosti vzduchu zvyšuje odpařování potu z povrchu těla a tím způsobuje pocit chladnějšího vzduchu,
- ✦ relativní vlhkost vzduchu v některých případech nesmí poklesnout pod 15%,
- ✦ vliv relativní vlhkosti vzduchu na člověka závisí na obsahu aerosolu ve vzduchu,
- ✦ vliv relativní vlhkosti vzduchu na člověka závisí na přítomnosti statické elektřiny,
- ✦ relativní vlhkost vzduchu závisí na atmosférickém tlaku.

2. Vliv poklesu relativní vlhkosti vzduchu na vjem chladného vzduchu

Vlhkost vzduchu ovlivňuje člověka několika způsoby: podílí se na jeho energetické bilanci, vnímání tepelné úrovně prostředí, na vlhkosti pokožky, diskomfortu, na vnímání textilních vláken a oděvů vůbec, na vnímání kvality vzduchu.

Při určité teplotě pokles vlhkosti zvyšuje evaporaci potu a tím i ochlazování organismu, v důsledku čehož se člověk cítí chladněji a až do určitého limitu komfortněji. Rovněž vlákna oděvu vnímá jako více hladká a celkově vnímá vzduch jako více čerstvý, viz dále.

2.1 Tepelná bilance člověka a pokles vlhkosti

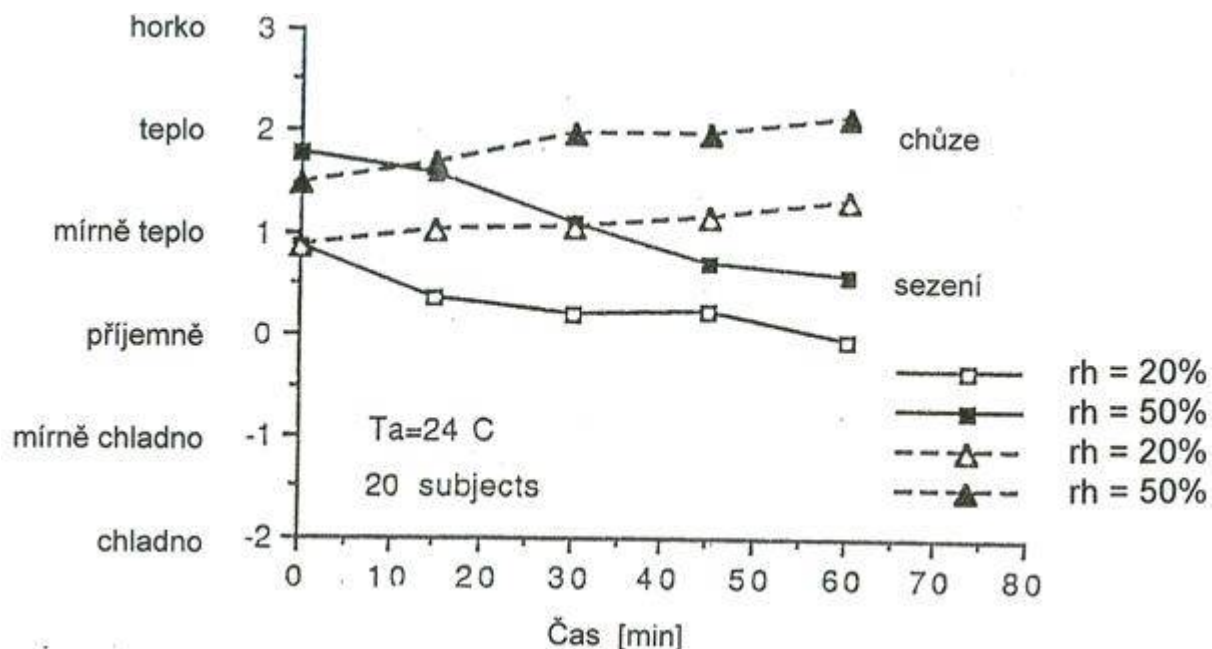
Vlhkost má přímý vliv na evaporační procesy pokožky, sliznic nosních a dýchacích cest, čímž působí i na energetickou bilanci člověka. Množství odpařené vody závisí na rozdílu parciálních tlaků vodních par na pokožce a v okolním vzduchu. Dospělý člověk odpočívající v prostředí o teplotě 24 °C a vlhkosti 50%, oblečený do kalhot a košile s dlouhými rukávy (0,6 clo) ztrácí do okolí 32g vody za hodinu. Z toho 12 g/h připadá na sliznice nosu a plíce a zbytek 20 g/h odchází ze suché nepotící se pokožky difusí. Evaporovaných 32 g/h odpovídá ochlazovacímu účinku 21W nebo 20% celkové tepelné produkce člověka 105W. Jelikož odpočívající osoba nevykonává žádnou termodynamicky užitečnou práci, veškerá metabolická energie končí jako teplo, jež musí být odvedeno do okolí. Zbýlých 84W je sdíleno do okolí konvekcí a radiací (Berglund 1993).

Snížením vlhkosti vzduchu za teploty 24 °C z 50 na 20% se zvýší evaporace z 22g/h na 38g/h a ochlazovací účinek z 21W na 26W, resp z 20% na 25% celkové tepelné produkce člověka 105W. Zvýšená evaporace snižuje odvod tepla konvekcí a radiací z 84W na 79W a mírně sníží teplotu pokožky o 0,3 °C na 32,9 °C. Výsledkem je, že se osoba cítí lehce chladněji ve vlhkosti 20% než ve vlhkosti 50% za téže teploty.

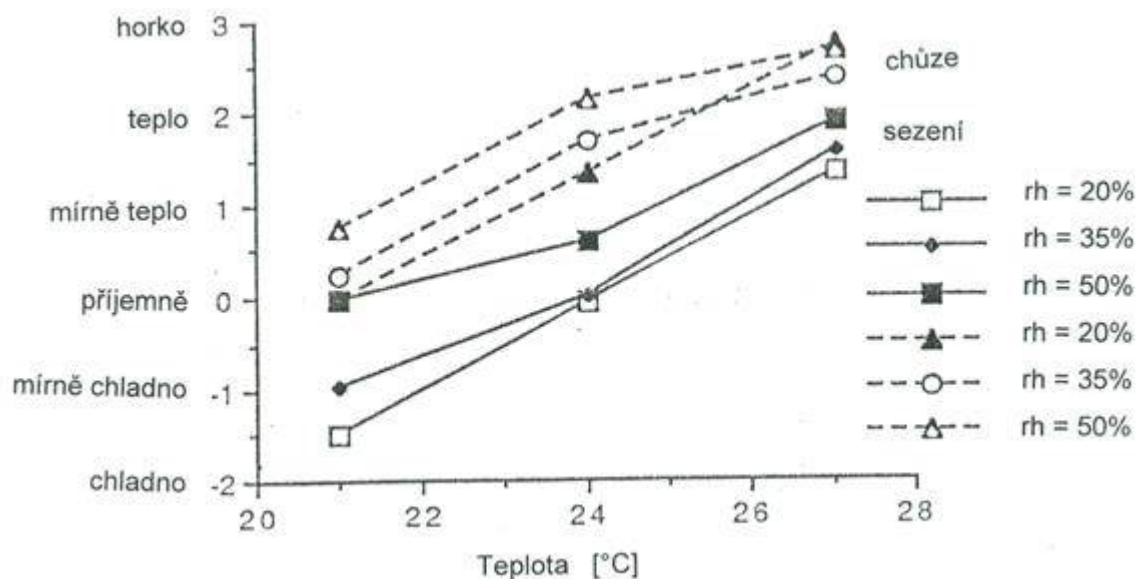
V teplejším prostředí nebo za zvýšené aktivity člověka již dochází k aktivní perspiraci – pocení a účinek vlhkosti se zvyšuje. Bude-li se tedy osoba procházet v prostředí 24 °C a 50% relativní vlhkosti vzduchu, její metabolismus bude třikrát vyšší, tj. 3 met nebo 315W. Konvekce a radiace, jakož i perspirace difusí pokožkou se prakticky nezmění, ale ztráta respirací vzroste třikrát (36 g/h), úměrně vzrůstá dýchání a metabolismus. Aktivní perspirace, pocení bude nyní 240 g/h za účelem evaporace 161W.

2.2 Vnímání chladnějšího vzduchu

Výsledky byly experimentálně ověřeny a jsou uvedeny na obr 1 a 2 pro osoby nepřetržitě sedící nebo chodící (Berglund, 1993). Transientní, přechodové odezvy osob jsou na obr. 1, a to vždy od počátku příslušné aktivity až po dobu 60 min. Obr. 2 uvádí vliv vlhkosti na pocit tepla v závislosti na teplotách vzduchu od 20 °C do 28 °C.



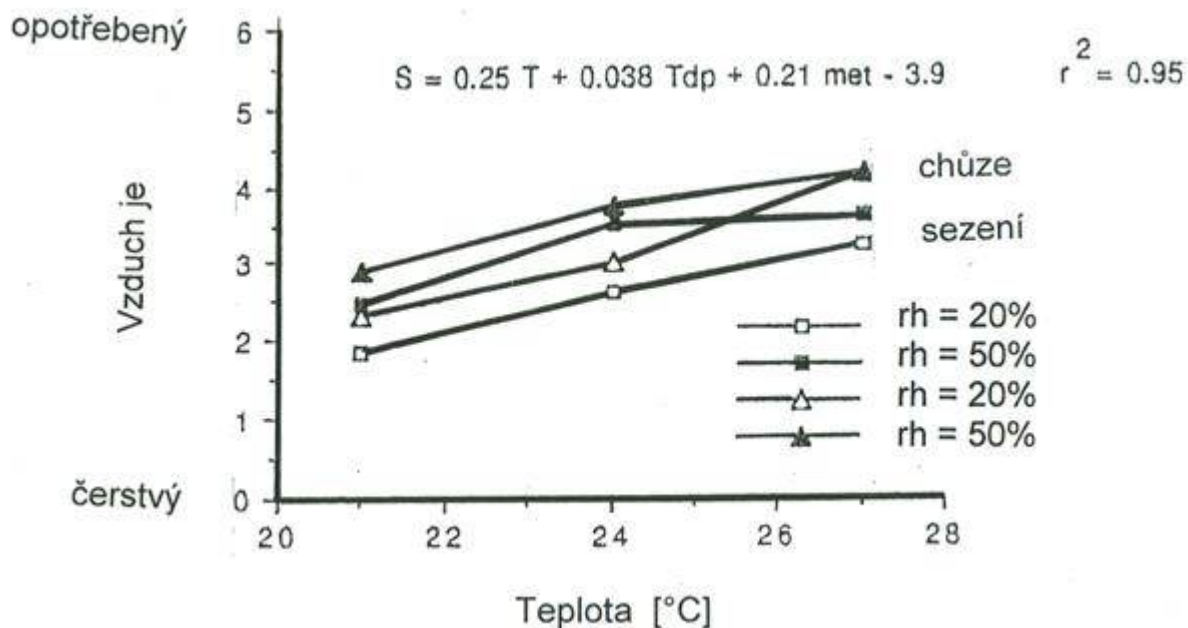
Obr. 1 Tepelné pocity po začátku nepřetržitého sezení nebo chůze ve 24°C při dvou úrovních relativní vlhkosti vzduchu. Oděv kalhoty a košile s dlouhými rukávy (0.56 clo)



Obr. 2 Tepelné pocity po uplynutí jedné hodiny nepřetržitého sezení nebo chůze

3. Snížená vlhkost a pocit svěžesti vzduchu

Chladný suchý vzduch je vnímán jako čistý, nekontaminovaný. Dokonce v čistém vzduchu bez oděrů pocit svěžesti vzduchu klesá s růstem vlhkosti a teploty. Čistý vlhký vzduch byl posuzován jako méně svěží než suchý vzduch, viz obr. 3 (Berglund, Cain, 1989).



Obr. 3 Pocit svěžího (čerstvého) až těžkého (opotřebovaného) vzduchu během nepřetržitého sezení nebo chůze

Vliv vlhkosti na vnímání svěžesti vzduchu je však menší než vliv teploty vzduchu ; v průměru změna teploty vzduchu o 1 °C má stejný účinek jako změna rosného bodu o 6 °C.

Je zřejmé, že čistý vzduch v dobře větrané místnosti může být vnímán různě, v závislosti na své teplotě a vlhkosti.

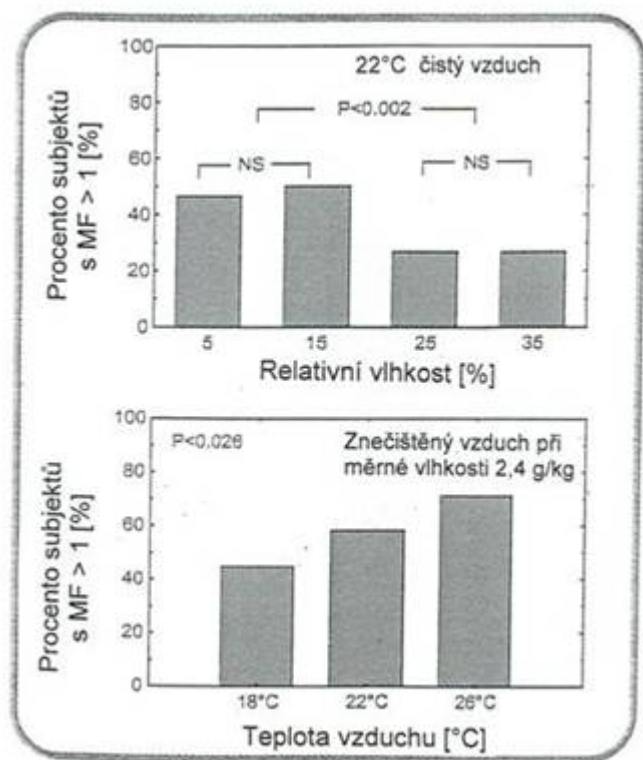
Croome at al. (1993) zkoumal vliv otevření oken a dveří, tj. výměny vzduchu na vnímání jeho svěžesti. Zjistil, stejně jako před tím Rodahl (1981), že vliv množství venkovního vzduchu vstupujícího do interiéru na pocit svěžesti vzduchu není signifikantní, resp. měl vliv pouze tehdy, jestliže jeho teplota byla menší než neutrální teplota, tj. optimální teplota korespondující aktivitě člověka. Je zajímavé, že již dříve (Bedford, 1948) poukazoval na skutečnost, že chladný vzduch v místnosti subjekty považovaly za čerstvý a vzduch v přetopené místnosti za těžký. Také rychlost vzduchu měla pozitivní vliv na pocit svěžesti vzduchu – vzduch přiváděný okny (s vyšší rychlostí) byl vnímán jako více svěží než přiváděný dveřmi (s nižší rychlostí) při téže teplotě.

4. Přípustný dolní limit relativní vlhkosti vzduchu

Řadou pokusů bylo zjištěno, že vlhkost by neměla klesnout pod 15%, a to na základě a) tzv. MF test (Mucous Ferning test, ferningový test sliznice), b) měření suchosti pokožky, c) vnímání vlhkosti vzduchu, d) suchosti očí, e) suchosti kůže, rtů a horních cest dýchacích, f) pokles výkonnosti subjektu (Fang, Wyon, 2003).

4.1 Mucous Ferning test (MF)

Používá se v klinické praxi k hodnocení problémů se slzným filmem na sliznici. Skleněnou tyčinkou je odebrán malý vzorek sliznice a na mikroskopickém sklíčku v mikroskopu je sledována krystalizace vzorku. Výsledek je zanesen do stupnice od 1 do 4, kde 1 je perfektní stav a 4 jasně deficitní. Obr. 4 ukazuje, že signifikantně větší procento subjektů má klasifikaci nad 1 při vlhkosti 15% nebo menší. Obdobný je vliv rostoucí teploty vzduchu. Organismus se brání zvýšenou frekvencí mrkání.



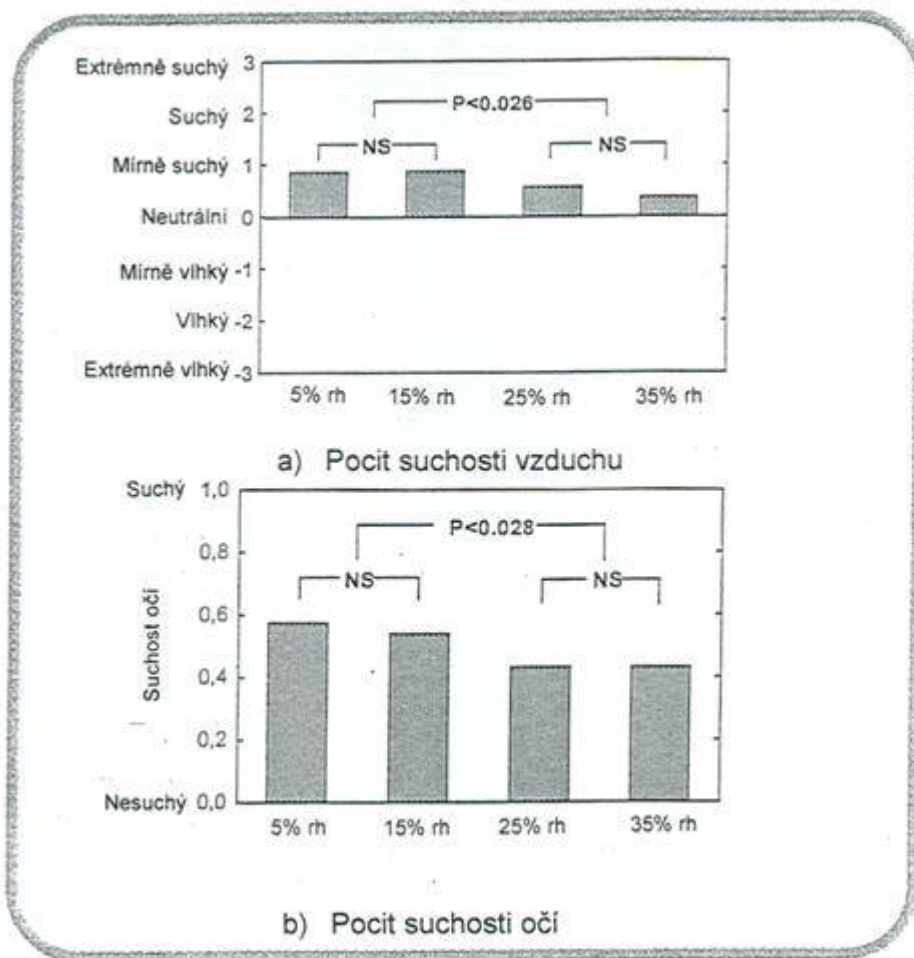
Obr. 4 Výsledky MF testu po 4.5 hod. expozici různými teplotami vzduchu a relativními vlhkostmi vzduchu

4.2 Měření suchosti pokožky

Také měřením suchosti pokožky tzv. corneometrem, rovněž používaným v klinické praxi, lze prokázat výrazný pokles vlhkosti kůže při poklesu relativní vlhkosti vzduchu na 15%.

4.3 Vnímání vlhkosti vzduchu

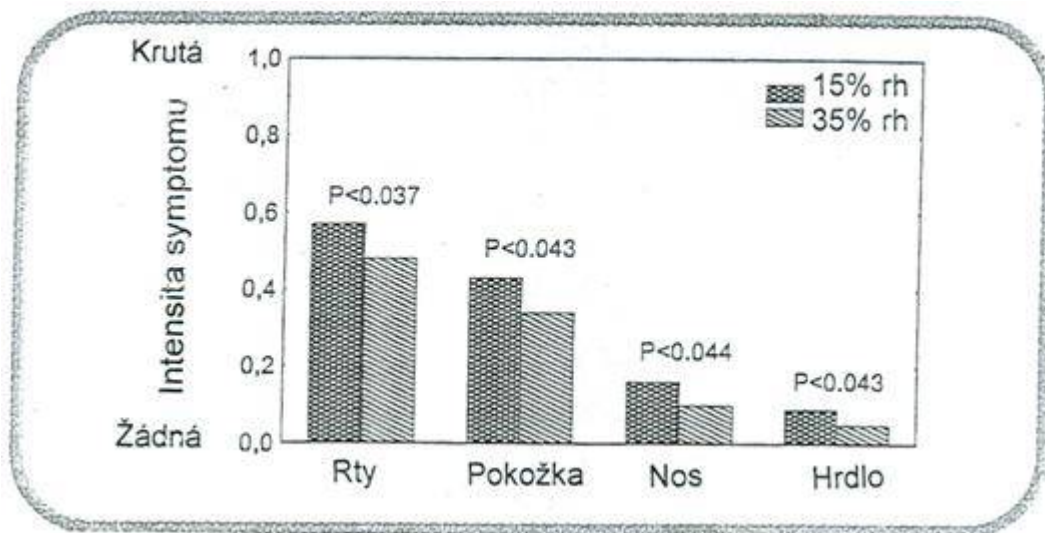
Lidský organismus nemá žádná čidla na vlhkost a není tudíž příliš sensitivní na změny vlhkosti vzduchu, přesto však pokles z 25% na 15% je schopen vnímat (obr. 5) jako negativní.



Obr. 5 Pocit suchosti očí po 5 hod. expozici relativní vlhkostí vzduchu to 5, 15, 25 a 35% rh v čistém vzduchu o teplotě 22° C

4.4 Suchost očí

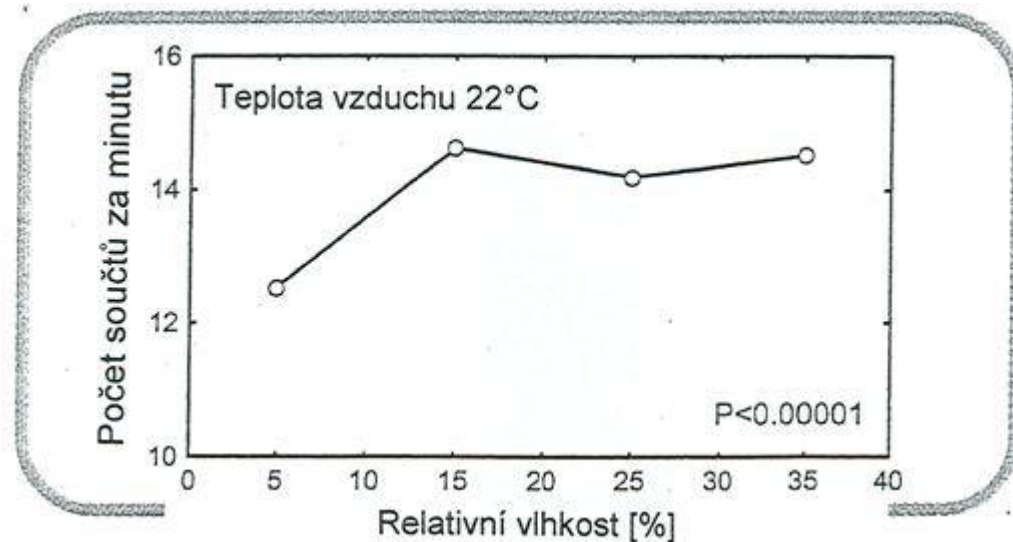
Nejvýraznější negativní vliv nízké vlhkosti čistého vzduchu byl zjištěn u očí. Z obr. 6 je zřejmé, že symptom suchosti očí je nejvíce signifikantní při vlhkosti 15% nebo nižší. Odpovídá to výsledkům s MF testem (viz odst. 4.1). Na tomto limitu se také projevují problémy se snesitelností kontaktních čoček, tito lidé jsou na něj zvláště citliví.



Obr. 6 Pocit suchosti rtů, pokožky, nosu a hrdla s klesající vlhkostí po 5 hod. expozice normálně znečištěným vzduchem o teplotě 22° C

4.5 Suchost kůže, rtů a sliznic horních cest dýchacích

Z obr. 7 je patrný symptom suchosti pokožky rtů, nosu a hrdla při poklesu vlhkosti vzduchu z 35% na 15%, přičemž symptom suchosti hrdla a nosu narůstal signifikantně ještě s teplotou vzduchu.



Obr. 7 Pokles výkonnosti subjektu - rychlosti počítání s poklesem relativní vlhkosti vzduchu

4.6 Pokles výkonnosti subjektu

Neočekávaný, překvapivě výrazný negativní účinek nízké vlhkosti byl zjištěn na výkonnost při provádění tří úkolů (psaní textu, čtení korektury a součtové počítání) typických pro administrativní práci (obr. 8). K poklesu došlo opět při snížení vlhkosti pod 15% a to zřejmě v důsledku již dříve uvedených skutečností: zvýšené aktivity víček (mrkání), snížené kvality sliznic očí a horních cest dýchacích.

5. Závislost relativní vlhkosti vzduchu na jeho čistotě

Dochází k zintenzivnění některých symptomů (pocit suchosti očí, nosu a hrdla) provázejících nízkou vlhkost, je-li

zvýšena hladina znečištění vzduchu např. již použitím koberců a snížením výměny vzduchu.

6. Relativní vlhkost vzduchu a statická elektřina

Při nízké vlhkosti vzduchu výrazně stoupá tvorba statické elektřiny, takže je nutné pečlivě volit materiály povrchů v interiéru a uvážit aplikaci antistatických prostředků. Např. RAL (1987) prokázal, že při poklesu vlhkosti pod 40% vzrůstá nabíjení podlahových krytin. Zvláště koberce „wall to wall“ (od stěny ke stěně) z umělých vláken se intenzivně nabíjejí. Dojde-li vybíjení statické elektřiny, např. při dotyku subjektu s vodivou konstrukcí, dochází k nepříjemným elektrickým ranám. Přeskakují jiskry mohou zničit integrované obvody počítačů a jsou také nebezpečné při skladování explosivního materiálu v místnosti (Hoppe, 1993).

7. Vliv atmosférického tlaku na relativní vlhkost vzduchu

V rovnici relativní vlhkosti vzduchu $rh = p_w / p_{w,s}$ (p_w = parciální tlak vodní páry, $p_{w,s}$ = parciální tlak vodní páry za téže teploty nasycené) teplota vzduchu T_a má výrazný vliv na $p_{w,s}$ zatímco p_w je závislé na atmosférickém tlaku:

$$\text{Pro } 0^\circ\text{C} \leq T_a \leq 30^\circ\text{C} \quad p_{w,s} = 288,68 \left(1,098 + \frac{T_a}{100} \right)^{8,02} \quad [\text{Pa}] \quad (1)$$

(viz ČSN 73 0540-3, také Nesterenko, 1971)

$$p_w = A - p_{\text{dry}} \quad [\text{Pa}] \quad (\text{Daltonův zákon}) \quad (2)$$

kde A = atmosférický tlak [Pa]

$$p_{\text{dry}} = \text{parciální tlak suchého vzduchu} \quad [\text{Pa}]$$

Jestliže atmosférický tlak A poklesne na hodnotu kA, parciální tlak vodních par p_w poklesne

$$\text{současne na } kp_w \quad (kp_w = kA - kp_{\text{dry}}), \text{ tj. } \quad p_{w,s} = 288,68 \left(1,098 + \frac{T_a}{100} \right)^{8,02} \quad \text{pro } 0^\circ\text{C} \leq T_a \leq 30^\circ\text{C}$$

Pokles rh je proporcionální poklesu A: čím nižší atmosférický tlak, tím nižší relativní vlhkost vzduchu.

Atmosférický tlak A lze stanovit ze vztahu (ČSN 73 0540-3)

$$A = 101\,700(16\,300 - h) / (16\,300 + h) \quad [\text{Pa}] \quad (3)$$

kde h = výška nad zemským povrchem [m].

V tab 1 jsou uvedeny hodnoty rh od úrovně na hladině moře po výšku 2500 m, reálné pro kabiny dopravních letadel ale i některé výškové budovy.

Výška		Tlak		k	Relativní vlhkost vzduchu			
ft	m	kPa	mbar		%			
Hladina moře	0	101,7	1000	1	15	30	50	60
3000	1000	90	885	0.9	13,5	27	45	54
6000	2000	80	787	0.8	12	24	40	48
8000	2500	75	738	0.7	10,5	21	35	42

Tab 1. Relativní vlhkost vzduchu v různých výškách nad zemí

8. Závěr

Z uvedených skutečností je zřejmé: jelikož člověk nemá speciální čidla vlhkosti a vzhledem k uvedeným experimentálním výsledkům, **lze snížit v nezbytných případech (interiér letadel) relativní vlhkost vzduchu na 15%**, ne však již níže. V případě dlouhodobého působení tak nízkých hodnot lze již očekávat atrofické změny na sliznicích dýchacích cest. V interiéru budov se připouští 30% (vládní nařízení č. 361/2007 Sb.), doporučuje se však 35% jsou-li v interiéru použity antistatické materiály; není-li tomu tak, doporučuje se zvýšení na 40%.

Relativní vlhkost vzduchu klesá s nadmořskou výškou a **je-li snížena, vytváří vjem jednak chladnějšího, jednak čerstvějšího vzduchu.**

Literatura

1. BEDFORD, T. 1948. *Basic principles of ventilation and heating*. London : H.K. Lewis and Co. Ltd., 1948.
2. BERLUNG, L.G. 1993. Human responses to humidity. In *Research on Indoor Air Quality and Climate : CIB Proceedings : publication 163*. Rotterdam, 1993.
3. BERLUNG, L.G.; CAIN, W.S. 1989. Perceived air quality and the thermal environment. In *The Human Equation: Health and comfort : proceedings of the ASHRAE/SOEH Conference*. IAQ, 1989.
4. CROOME, D.J.; GAN, G.; ABWI, H.B. 1993. Evaluation of indoor environment in naturally ventilated offices. In *Research on Indoor Air Quality and Climate : CIB Proceedings : publication 163*. Rotterdam, 1993.
5. FANG, L.; WYON, D.P. 2003. Effect of low indoor humidity on comfort, SBS symptoms and the performance of office work. *SCANVAC*, 2003, no. 2, p. 4-5.
6. HOPPE, P.R. 1993. The role of humidity in indoor climate. In *Research on Indoor Air Quality and Climate : CIB Proceedings : publication 163*. Rotterdam, 1993.
7. JOKL, M. V. 1989. *Microenvironment : the Theory and Practice of Indoor Climate*. Illinois : Thomes, 1989.
8. NESTERENKO, A.V. 1971. *The Principles of the Thermodynamic Calculations of Ventilation and Air Conditioning*. Moscow : Russian University Press, 1971.
9. RAL – Deutsches Institut für Gutesicherung und Kennzeichnung. 1987. Elektrisches Verhalten elastischer und textiler Bodenbeläge : RAL-RG 725/3. Berlin : Beuth Verlag, 1987.
10. RODAHL, E. 1981. Field measurements of air quality in relation to air flow. In *Heat Pumps and Air Circulation in Conditioned Spaces. Proceedings of Meetings of Commissions B1, B2, E1, E2, Sept. 7-9, 1981, Paris, France*. Paris, 1981.

Autor článku:

Prof. Ing. Miloslav Jokl, DrSc.

RNDr. Stanislav Malý, Ph.D. DBA