

## HODNOTENIE MIKROKLIMATICKÝCH PODMIENOK V HALOVOM OBJEKTE

Hana SOKOLOVÁ – Ružena KRÁLIKOVÁ

## THERMAL ENVIRONMENT EVALUATION IN AN INDUSTRIAL HALL

**Abstrakt**

Meranie a hodnotenie mikroklimatických podmienok je dôležité z hľadiska zachovania prípustných tepelno-vlhkostných podmienok na pracoviskách, ako aj vo vnútornom prostredí budov ako takom. Pre hodnotenie bol vybraný jednopodlažný halový objekt slúžiaci pre laboratórne účely, plne vybavený pre potreby vykonávania strojárskych technológií. Meranie parametrov tepelno-vlhkostnej mikroklimy bolo vykonané v súlade s platnými legislatívnymi nariadeniami a súčasným platným metodickým postupom. Meranie prebiehalo počas studených dní, pričom hlavným zdrojom tepla bolo nie celkom dostatočné vykurovanie, čo potvrdili aj samotné výsledky v prípade teploty vzduchu, ktorá bola na hranici prípustnosti.

**KLúčové slová:** parametre tepelno-vlhkostnej mikroklimy, meranie, hodnotenie.

**Abstract**

Thermal environment evaluation is important to keep thermo-hygic conditions in a workplaces satisfactory. Measurement took place a one-storey industrial hall which is used as laboratory. It is equipped for purposes of volume molding and plastic deformations. The measurement of thermal environment parameters was realized according to the valid legislative regulations and current valid methodical procedure. The measurement was conducted during cold days in winter. The most important source of heat indoors was central heating. The fact, that the heating was unsatisfactory was confirmed by results of measurement, especially concerning an air temperature, that was slightly below the permissible limit.

**Key words:** thermal environment parameters, measurement, evaluation.

**Úvod**

Hodnotenie mikroklimatických podmienok v pracovnom prostredí halového objektu bolo prevedené na základe merania niekoľkých parametrov určujúcich tepelno-vlhkostnú mikroklimu, konkrétne išlo o suchú teplotu vzduchu  $t_a$  [°C], rýchlosť prúdenia vzduchu -  $v_a$  [m.s<sup>-1</sup>], relatívnu (pomernú) vlhkosť vzduchu -  $R_h$  [%], globálnu teplotu -  $t_g$  [°C]. Súčasťou hodnotenia je nutnosť výpočtu ďalších dvoch veličín a to: strednej teploty sálania -  $t_{r,m}$  [°C] a operatívnej teploty  $t_o$  [°C]. V nasledujúcej tabuľke (tab. 1) sú uvedené definície jednotlivých veličín:

Tab. 1 - Základné parametre tepelno-vlhkostnej mikroklimy.

Parameter	Označenie	Jednotka	Charakteristika
Suchá teplota vzduchu	$t_a$	(°C)	Teplota vzduchu vo vnútornom priestore bez vplyvu pôsobenia sálavého tepla od okolitých plôch. Nazýva sa aj suchá teplota [1].
Stredná teplota sálania	$t_r$	(°C)	Homogénna teplota okolitých plôch pri ktorej je výmena tepla sálaním medzi povrchom ľudského tela a okolitými plochami rovnaká ako v skutočnom heterogénnom prostredí [2].
Rýchlosť prúdenia vzduchu	$v_a$	(m.s <sup>-1</sup> )	Veličina určená veľkosťou a smerom prúdenia. Charakterizuje pohyb vzduchu v priestore.
Výsledná teplota meraná guľovým teplomerom	$t_g$	(°C)	Inak nazvaná teplota čiernej gule, alebo tzv. globálna teplota. Je to ukazovateľ tepelného stavu vnútorného prostredia priestorov zahŕňajúci vplyv súčasného pôsobenia teploty vzduchu ( $t_a$ ), povrchovej teploty okolitých plôch ( $t_r$ ) a rýchlosti prúdenia vzduchu ( $v_a$ ) [2].
Operatívna teplota	$t_o$	(°C)	Jednotná teplota uzavretého čierneho priestoru, v ktorom by medzi človekom a prostredím nastala výmena rovnakého množstva tepla prúdením a sálaním ako v skutočnom nehomogénnom prostredí [2].
Relatívna vlhkosť vzduchu	$R_h$	(%)	Pomer medzi parciálnym tlakom vodných pár vo vlhkom vzduchu a tlakom nasýtených vodných pár pri rovnakej teplote a rovnakom celkovom tlaku [1].

**1. Monitoring tepelno-vlhkostnej mikroklimy**

Monitoring tepelno-vlhkostnej mikroklimy prebehol za pomoci prístrojov Testo 400, a Testo 435 a pomocou trojúrovňového guľového teplomera Vernon-Jokl. Ku každému prístroju bola pripojená trojfunkčná sonda. Použité prístroje a sondy spĺňali

požiadavky na presnosť merania v súlade s ISO 7726. Na základe pozorovania pohybu pracovníkov počas laboratórnych prác v hale bolo vybrané 1 meracie miesto, odpovedajúce ich najčastejšiemu výskytu a bolo monitorované počas 4 hodín. Meranie bolo prevedené v troch úrovniach: hlava (1,7 m), brucho (1,1 m), členky (0,1 m).

Súčasťou monitorovania tepelno-vlhkostnej mikroklímy bol popis vonkajšej klimateckej situácie miesta pracoviska. V čase merania bolo polooblačno, vonkajšia teplota vzduchu sa pohybovala medzi - 1,8 a - 0,5 [°C], relatívna vlhkosť vzduchu medzi 79 a 83 [%], a rýchlosť prúdenia vzduchu medzi 0 - 1 [km/h].

### 1.1. Meranie s Testo 400 a Testo 435

Meracími prístrojmi Testo 400 a testo 435 boli zmerané 3 základné fyzikálne veličiny tepelno-vlhkostnej mikroklímy a to: relatívna vlhkosť vzduchu  $R_h$  [%], suchá teplota vzduchu  $t_a$  [°C], rýchlosť prúdenia vzduchu  $v_a$  [m.s<sup>-1</sup>]. Meranie s týmto zariadením prebehlo na 1 meracom mieste, v čase od: 11:30 do 15:30 v 3 úrovniach: hlava (1,7 m), brucho (1,1 m), členky (0,1 m).

### 2. Spracovanie výsledkov merania

Namerané hodnoty veličín tepelno-vlhkostnej mikroklímy boli štatisticky spracované (Tab. 2, Tab. 3). Boli pri tom použité základné funkcie zo štatistiky: min (najnižšia hodnota z množiny hodnôt), max (najvyššia hodnota z množiny hodnôt), average (aritmetický priemer argumentov), stdev (smerodajná odchýlka), median (stredná hodnota skupiny čísiel), var (rozptyl hodnôt), mode (najčastejšie sa vyskytujúca hodnota v skupine čísiel).

Tab. 2 - Štatistické spracovanie hodnôt zmeraných na Testo 400 a Testo 435.

Funkcia	$R_h$ [%]			$t_a$ [°C]			$v_a$ [m/s]		
	Hlava	Brucho	Členky	Hlava	Brucho	Členky	Hlava	Brucho	Členky
min	48,8	49,8	44,1	11,5	11,2	11,2	0	0	0
max	56,7	61,5	56,1	12,1	12,2	12,5	0,66	0,56	0,27
average	53,63	56,38	52,52	11,79	11,78	12,14	0,03	0,04	0,12
stdev	1,23	1,39	3,04	0,14	0,21	0,26	0,05	0,05	0,07
median	53,5	56,4	53,2	11,8	11,8	12,2	0,01	0,02	0,11
var	1,51	1,96	9,24	0,02	0,04	0,07	0,00	0,00	0,01
mode	52,6	55,3	52,7	11,8	11,9	12,3	0	0	0,14
Stredná hodnota $\Phi$	$\Phi_{R_h}$ [%]			$\Phi_{t_a}$ [°C]			$\Phi_{v_a}$ [m/s]		
	54,73			11,87			0,06		

Tab. 3 - Štatistické spracovanie hodnôt zmeraných na Vernon-Jokl.

Funkcia	$t_g$ hlava [°C]	$t_g$ brucho [°C]	$t_g$ členky [°C]	Stredná hodnota $\Phi_{t_g}$ [°C]
<b>Meracie miesto M</b>				<b>M</b>
min	12	12	11,5	<b>12,51</b>
max	13	12,5	12	
average	12,53	12,35	11,89	
stdev	0,18	0,21	0,21	
median	12,5	12,5	12	
var	0,03	0,05	0,04	
mode	12,5	12,5	12	

### 3. Vyhodnotenie merania

Vyhodnotenie merania prebehlo na základe výpočtu strednej teploty sálania a operatívnej teploty a porovnaním ich hodnôt s hodnotami v legislatíve (vyhláška MZ SR 544/2007 Z. z.). Výslednú teplotu guľového teplomeru, strednú teplotu sálania, rýchlosť prúdenia vzduchu a relatívnu vlhkosť bolo podľa ISO 7726 a metodiky merania tepelno-vlhkostných parametrov potrebné zisťovať vo všetkých troch úrovniach. Výsledná hodnota ( $\phi_x$ ) veličiny (x) bola pre prípad optimálnych a prípustných podmienok vypočítaná ako priemer z hodnôt podľa všeobecného vzťahu (viď. vzťah 1):

$$\phi_x = \frac{x_{hlava} + x_{brucho} + x_{členky}}{3} \quad (1)$$

#### 3.1. Stanovenie strednej teploty sálania

Výsledná stredná teplota sálania  $\phi_{t_{r,m}}$  [°C] bola stanovená z výpočtov stredných teplôt sálania pre jednotlivé úrovne merania podľa vzorca 2:

$$\phi_{r,m} = \frac{t_{r,mi} + t_{r,mj} + t_{r,mk}}{3} \quad (2)$$

Kde:  $t_{r,mi-k}$  [°C] - stredná teplota sálania pre jednotlivé úrovne merania,  
 $i = 1$  (pre úroveň hlavy),  $j = 2$  (pre úroveň brucha),  $k = 3$  (pre úroveň členkov).

Stredné teploty sálania ( $t_{r,mi-k}$ ) jednotlivých úrovní boli vypočítané pomocou vzťahu č. 3 pre prirodzené prúdenie vzduchu [ISO 7726]:

$$t_{r,mi-k} = \left[ (t_{gi-k} + 273)^4 + 0,46 \cdot 10^8 \cdot |t_{gi-k} - t_{ai-k}|^{1,25} \right]^{0,25} - 273 \text{ [°C]} \quad (3)$$

Kde:  $t_{gi-k}$  [°C] - stredná hodnota teploty čiernej gule pre jednotlivé úrovne merania,  
 $t_{ai-k}$  [°C] - suchá teplota vzduchu pre jednotlivé úrovne merania,

### 3.2. Stanovenie operatívnej teploty

Operatívna teplota pre jednotlivé úrovne merania bola stanovená pomocou vzťahu č. 4 v závislosti od suchej teploty vzduchu a strednej teploty sálania:

$$t_{oi-k} = t_{r,mi-k} + A \cdot (t_{ai-k} - t_{r,mi-k}) \quad (4)$$

Kde:  $t_{oi-k}$  [°C] - operatívna teplota pre jednotlivé úrovne merania,  
 $t_{ai-k}$  [°C] - suchá teplota vzduchu pre jednotlivé úrovne merania,  
 $A$  [-] - koeficient, ktorý je funkciou rýchlosti prúdenia vzduchu,  $A = 0,5$ .

Výsledná operatívna teplota  $\phi_{r,m}$  [°C] bola stanovená z výpočtov operatívnych teplôt podľa vzorca 2:

$$\phi_o = \frac{t_{o,1} + t_{o,2} + t_{o,3}}{3} \quad (5)$$

Výsledky predošlých výpočtov sú uvedené v tabuľke č. 4.

Tab. 4 - Stredná teplota sálania a operatívna teplota.

$t_{r,m1}$ [°C]	$t_{r,m2}$ [°C]	$t_{r,m3}$ [°C]	$\Phi_{r,m}$	$t_{o1,1}$ [°C]	$t_{o1,2}$ [°C]	$t_{o1,3}$ [°C]	$\Phi_{t_{oM}}$
12,86	12,59	11,97	12,51	12,33	12,19	12,06	12,19

### 4. Vyhodnotenie výsledkov merania

Na Slovensku sú v súčasnosti základnými kritériami pre vyhodnotenie mikroklimatických parametrov vnútorného prostredia parametre [4]:

$$t_o, R_h, v_a.$$

V tabuľke č. 5 sú uvedené optimálne a prípustné podmienky tepelno-vlhkostnej mikroklimy pre chladné obdobie roka pre štandardné oblečenie podľa vyhlášky Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č.544/2007 Z. z. o podrobnostiach o ochrane zdravia pred záťažou teplom a chladom pri práci. Chladným obdobím roka sa rozumie obdobie s priemernou dennou vonkajšou teplotou vzduchu 13°C a nižšou.

Tab. 5 - Optimálne a prípustné podmienky tepelno-vlhkostnej mikroklimy pre chladné obdobie roka [2].

Trieda práce	Operatívna teplota $t_o$ [°C]		Prípustná rýchlosť prúdenia vzduchu $v_a$ [m.s <sup>-1</sup> ]	Prípustná relatívna vlhkosť $R_h$ [%]
	optimálna	prípustná		
1c	15 – 20	12 – 22	≤ 0,3	30 až 70

Na základe štatistických spracovaní a výpočtov boli získané výsledky pre jednotlivé miesta merania (viď. Tab. č. 6) porovnané s limitmi v legislatíve v tabuľke č. 6.

Tab. 6 - Hodnotiace kritériá.

Stredná hodnota veličiny		
$\Phi t_0$ [°C]	$\Phi R_h$ [%]	$\Phi v_a$ [m/s]
12,51	54,73	0,06
prípustné	prípustné	prípustné

Z nameraných výsledkov vyplynulo, že podmienky v ktorých sa meralo boli stacionárne, a prostredie bolo homogénne z hľadiska suchej teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu, a nehomogénne z hľadiska rýchlosti prúdenia vzduchu.

**Diskusia**

V priestoroch určených na dlhodobý pobyt ľudí sa zabezpečujú optimálne podmienky tepelno-vlhkostnej mikroklímy v teplem aj chladnom období roka. Ak klesne priemerná denná teplota počas dvoch po sebe nasledujúcich dní pod 13°C, hodnotí sa prostredie podľa hodnôt pre chladné obdobie roka.

Optimalizácia tepelno-vlhkostnej mikroklímy sa prevádza klimatizáciou, vetraním, vykurovaním, v závislosti od celkovej tepelnej produkcie organizmu zamestnanca. V konkrétnom prípade priestorov halového objektu bolo hlavným dôvodom takmer neprípustnej operatívnej teploty vzduchu nedostatočné vykurovanie – centrálné kúrenie vo vedľajších miestnostiach a nie v hlavnej časti haly, prípadne chýbajúca klimatizácia resp. iný zdroj tepla.

**Záver**

Hodnoty, teploty vzduchu, rýchlosti prúdenia vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu **boli v čase merania v súlade** s prípustnými hodnotami rýchlosti prúdenia vzduchu, relatívnej vlhkosti vzduchu a operatívnej teploty pre chladné obdobie roka a pre danú triedu práce (trieda práce **1c** v mieste merania) v zmysle vyhlášky Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č.544/2007 Z.z. o podrobnostiach o ochrane zdravia pred záťažou teplom a chladom pri práci.

**Pod'akovanie**

*Tento príspevok vznikol s podporou projektu KEGA 064 TUKE-4/2011.*

**ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV**

- [1] ISO 7726: Ergonómia tepelného prostredia. Prístroje na meranie fyzikálnych veličín
- [2] Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 544/2007 Z.z. o podrobnostiach o ochrane zdravia pred záťažou teplom a chladom pri práci.
- [3] Odborné usmernenie Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky, ktorým sa upravuje postup pri meraní a hodnotení tepelno-vlhkostnej mikroklímy, VMZ 2013, čiastka 27- 49, ročník 61
- [4] Vyhláška č. 259/2008 Zb. Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky z 18. júna 2008 o podrobnostiach o požiadavkách na vnútorné prostredie budov a o minimálnych požiadavkách na byty nižšieho štandardu a na ubytovacie zariadenia.

**ADRESYA AUTOROV**

**Ing. Hana Sokolová**, Technická univerzita Košice, Strojnícka fakulta, Katedra environmentalistiky, Park Komenského 5, 042 00 Košice, Slovenská republika

**Doc. Ing. Ružena Králiková, PhD.**, Technická univerzita Košice, Strojnícka fakulta, Katedra environmentalistiky, Park Komenského 5, 042 00 Košice, Slovenská republika

**RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU**

*Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.*

**REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS**

*Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.*