

Ing. Zuzana KOVÁŘOVÁ, Ph.D.
KOTRBATÝ s.r.o., Zvolen
Slovenská republika

Monitorovanie parametrov vnútorného prostredia pri sálavom vykurovaní

Monitoring of Interior Environment Parameters at Radiant Heating

Recenzent
doc. Ing. Karel Kabele, CSc.

Na dvoch príkladoch experimentálneho meraní stavu vnútorného prostredia v priemyslových halách se sálavým vytápěním je demonstrován způsob vyhodnocení pohody vnitřního prostředí metodikou používanou na Slovensku. Zajímavé a cenné pro naše čtenáře jsou především výsledky měření, které jsou původní prací autorky. Metodika vyhodnocení výsledků pro ČR je definována v Nařízení vlády č. 178/2001 Sb. ze dne 18. 4. 2001, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci, a jeho novelizace 523/2002 Sb. ze dne 13. 12. 2002, které kromě jiného stanoví hygienické požadavky na pracovní prostředí a pracoviště.

Klíčová slova: sálavé vytápění, průmyslové haly, vyhodnocení měření, tepelná pohoda

A method of the indoor comfort evaluation by the methodology as used in Slovakia is demonstrated on two examples of measurements of the indoor environmental conditions in industrial halls. For the reader, the results are interesting and valuable as they represent the original work of the author. The methodology of results' evaluation for the Czech Republic is defined in the Government Decree No. 178/2001 Coll., dated 18. 4. 2001 defining conditions for employees' health protection at the work place, and its amendment No. 523/2002 Coll., dated 13. 12. 2002, defining among other things the work environment and the workplace hygienic requirements.

Key words: radiant heating, industrial halls, measurement evaluation, thermal comfort

Veľké množstvo teoretických poznatkov i praktických skúseností s vykurovaním halových objektov pomocou zavesených sálavých panelov dopomohlo v súčasnej dobe k stanoveniu presnejšej metodiky ich výpočtu a návrhu.

Aby sme však mohli s istotou potvrdiť navrhovanú teóriu, bolo nevyhnutné uskutočniť experimentálne merania. Vďaka nim sme postupne odhaľovali rozdiely medzi predpokladmi a skutkovým stavom. Prítomnosť týchto rozdielov je nevyhnutná. Vždy existujú vplyvy na mikroklimu pracovného prostredia človeka v halovom objekte, ktoré nevieme presne zadefinovať, či už matematickou rovnicou alebo fyzikálnou závislosťou. Avšak z predpisov definujúcich mikroklimatické podmienky na pracovisku ani tak nevyplýva povinnosť vytvárať a udržiavať optimálne podmienky, ako nutnosť dodržiavať tieto podmienky za dlhodobu únosnosť a v prípade ich nedodržania zaistiť neprekročenie podmienok krátkodobu únosných.

Hodnotenie stavu mikroklimy halového objektu vykurovaného pomocou zavesených sálavých panelov, prostredníctvom experimentálnych meraní, sme aplikovali na dvoch dispozične rozdielnych objektoch [1, 2]. Pri stanovení konkrétne nameraných fyzikálnych veličín sme postupovali v zmysle STN ISO 7726:2001 – Ergonómia tepelného prostredia. Prístroje na meranie fyzikálnych veličín.

Naším cieľom bolo dokázať, že zavesené sálavé panely ako vykurovací systém, sú schopné vytvoriť stav tepelnej pohody pre človeka v (dispozične) akomkoľvek pracovnom prostredí.

DEFINOVANIE VSTUPOV

1.1. Meracie miesto

Halový objekt jednopodlažný – plošne rozľahlý

Prvé experimentálne meranie bolo uskutočnené v halovom objekte spoločnosti DP hl. mesta Prahy, a.s. – METRO o.z. – Depo Kačerov, Sliachská 1, Praha 4, Česká republika, za reálnych prevádzkových podmienok.

Samotný meraný priestor (obr. 2) s rozmermi 204,0 x 127,1 x 13,2 m (priemerná výška) bol z typologického hľadiska definovaný ako jednopodlažný viacpodlažný halový objekt so sociálno-administratívnymi prístavkami situovanými po oboch stranách.

Halový objekt jednopodlažný – úzky dlhý

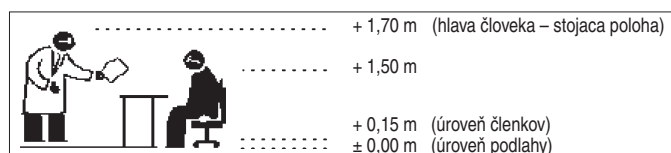
Druhé experimentálne meranie bolo uskutočnené v halovom objekte spoločnosti DP hl. mesta Prahy, DODK Hostivař, Praha, Česká republika.

Meraný priestor (obr. 3) o rozmeroch 42,0 x 18,0 x 11,5 m bol z typologického hľadiska definovaný ako jednopodlažný jednododový halový objekt so sociálno-administratívnym prístavkom situovaným po jeho bočnej strane.

1.2. Sledované fyzikálne veličiny

V presne zadefinovaných meracích miestach, rozmiestnených v jednotlivých častiach po celej ploche halových objektov, boli merané tieto fyzikálne veličiny:

- teplota vnútorného vzduchu v úrovni temena hlavy človeka $t_{i,hlava}$ [°C],
- teplota vnútorného vzduchu v úrovni členkov človeka $t_{i,členky}$ [°C],
- výsledná teplota t_g [°C] meraná vo výške 1,50 m od podlahy,
- povrchová teplota podlahy $t_{p,pdl}$ [°C],
- rýchlosť prúdenia vnútorného vzduchu v_i [m.s⁻¹],
- intenzita osálenia I_s [W.m⁻²].



Obr. 1 Definovanie meracích hladín v konkrétnom meracom mieste

2. VÝSLEDKY MERANÍ

2.1. Halový objekt jednopodlažný – plošne rozľahlý

V tab. 1 sú uvedené namerané fyzikálne veličiny v 12 meracích miestach halového objektu.

2.2. Halový objekt jednopodlažný – úzky dlhý

V tejto časti výsledkov experimentálneho merania (tab. 2) sú uvádzané namerané fyzikálne veličiny len pre vybraný – charakteristický priečny rez, vedený stredom halového objektu.



Obr. 2. Depo metra – Kačerov, Praha, CZ



Obr. 3. DODK – Hostivař, Praha, CZ

Tab. 1. Odpočet údajov experimentálneho merania

3. ANALÝZA VÝSLEDKOV

3.1. Halový objekt jednopodlažný – plošne rozfahý

Hodnotenie tepelno-vlhkostného stavu vnútorného prostredia halového objektu vykurovaného pomocou zavesených sálavých panelov sme analyzovali v zmysle **Vestníka MZ SR č. 7/1978** – Hygienické požiadavky na pracovné prostredie.

1. Výsledná teplota t_g

Pri tomto spôsobe hodnotenia sledujeme *výslednú teplotu – optimálnu* $t_{g,opt}$. Určíme ju podľa závislosti na druhu činnosti človeka (produkcia tepla q_m) a druhu jeho oblečenia (tepelný odpor odevu R_{cl}). Matematickým vyjadrením je nerovnica :

$$t_{g,opt,max} \geq t_g \geq t_{g,opt,min} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (1)$$

kde

$t_{g,opt,max}$ – maximálna optimálna výsledná teplota [$^{\circ}\text{C}$],

$t_{g,opt,min}$ – minimálna optimálna výsledná teplota [$^{\circ}\text{C}$].

Vyhodnotenie:

Posúdenie tepelno-vlhkostného stavu vnútorného prostredia halového objektu vykurovaného pomocou zavesených sálavých panelov z **hľadiska „Hygienického predpisu“** vo väčšine prípadov meracích bodov **vyhovuje**.

2. Rýchlosť prúdenia vnútorného vzduchu v_i

Rýchlosť prúdenia vnútorného vzduchu by mala byť v rozmedzí 0,2 až 0,3 m.s^{-1} . V *tab. 1.* z príslušného riadku pre fyzikálnu veličinu v_i môžeme vidieť, že väčšina týchto hodnôt sa nachádza v prípustnom rozmedzí.

Vyhodnotenie :

Posúdenie vnútorného prostredia halového objektu vykurovaného pomocou zavesených sálavých panelov z **hľadiska rýchlosti prúdenia vnútorného vzduchu** vo väčšine prípadov meracích bodov **vyhovuje**.

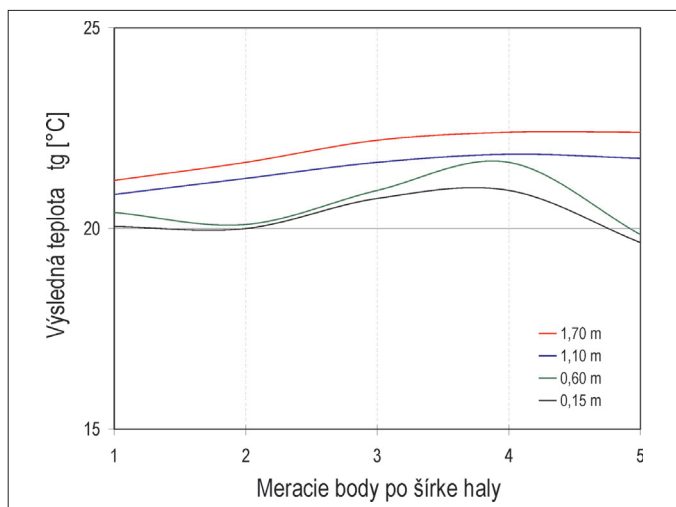
3.2. Halový objekt jednopodlažný – úzky dlhý

Pri analýze výsledkov v rámci druhého experimentálneho merania sme sledovali rovnomernosť tepelných pomerov vo vnútornom prostredí halového objektu.

Fyzikálna veličina		M.č.	Meracie miesto č.											
			Objekt 01-02						Objekt 01-04 01-05		Objekt 01-06			
											Nizka		Vysoká	
											časť			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1.	$t_{t,hlava}$ [°C]	1.	19,8	19,9	19,9	21,2	19,8	19,8	21,6	21,3	20,7	24,4	22,8	21,5
		2.	19,7	19,9	19,8	21,4	19,7	19,8	22,0	21,2	20,5	23,9	22,5	21,3
		3.	20,0	19,8	20,0	21,2	19,8	19,6	22,7	21,3	20,7	24,2	22,9	21,3
Priemer		19,8	19,8	19,9	21,3	19,8	19,8	22,1	21,3	20,7	24,2	22,7	21,3	
2.	$t_{t,členky}$ [°C]	1.	20,4	20,3	20,4	19,3	20,3	18,9	19,2	19,3	21,6	22,1	21,3	19,6
		2.	20,1	19,8	20,2	19,4	20,3	18,7	19,0	19,2	21,4	21,9	21,3	19,4
		3.	19,8	19,9	20,2	19,3	20,5	18,7	19,1	19,2	21,7	22,0	21,5	19,5
Priemer		20,1	20,0	20,2	19,3	20,3	18,7	19,1	19,2	21,5	22,0	21,3	19,5	
3.	t_g [°C]	1.	19,4	19,5	19,5	19,8	19,6	19,5	19,0	19,1	22,9	23,0	20,1	19,6
		2.	19,2	19,3	19,7	19,8	19,5	19,7	18,9	19,2	22,8	22,8	20,0	19,6
		3.	19,0	19,0	19,7	19,7	19,6	19,7	18,9	19,4	22,9	22,9	19,8	19,4
Priemer		19,2	19,3	19,7	19,8	19,6	19,7	18,9	19,2	22,9	22,9	20,0	19,6	
4.	v_i [m.s ⁻¹]	1.	0,28	0,21	0,31	0,26	0,34	0,26	0,29	0,30	0,31	0,24	0,29	0,28
		2.	0,30	0,21	0,32	0,29	0,32	0,26	0,28	0,28	0,31	0,25	0,30	0,28
		3.	0,30	0,23	0,29	0,28	0,32	0,26	0,28	0,28	0,29	0,25	0,29	0,26
Priemer		0,30	0,21	0,31	0,27	0,32	0,26	0,28	0,28	0,31	0,25	0,29	0,28	

Tab. 2. Odpočet údajov experimentálneho merania

	Meracie úrovne [m]	Meracie body po šírke haly				
		1	2	3	4	5
t_i [$^{\circ}\text{C}$]	1,70	19,8	20,3	20,8	21,4	21,6
	1,10	19,7	20,2	20,6	21,3	21,6
	0,60	19,6	20,0	20,4	21,1	21,6
	0,15	19,6	20,0	20,4	21,0	21,5
t_u [$^{\circ}\text{C}$]	1,70	22,6	23,0	23,6	23,4	23,2
	1,10	22,0	22,3	22,7	22,4	21,9
	0,60	21,2	20,2	21,5	22,2	18,1
	0,15	20,5	20,0	21,1	20,9	17,8
t_g [$^{\circ}\text{C}$]	1,70	21,2	21,7	22,2	22,4	22,4
	1,10	20,9	21,3	21,7	21,9	21,8
	0,60	20,4	20,1	21,0	21,7	19,9
	0,15	20,1	20,0	20,8	21,0	19,7
I_s [W.m^{-2}]	1,70	40	47	55	38	25
	1,10	28	35	51	34	19



Obr. 4 Asymetrické tepelné osálenie

1. Asymetrické tepelné osálenie

Obr. 4 znázorňuje priebeh výslednej teploty t_g po šírke halového objektu. Rozdiel medzi maximálnou a minimálnou hodnotou predstavuje $\Delta t_g = 1,80$ K.

Vyhodnotenie:

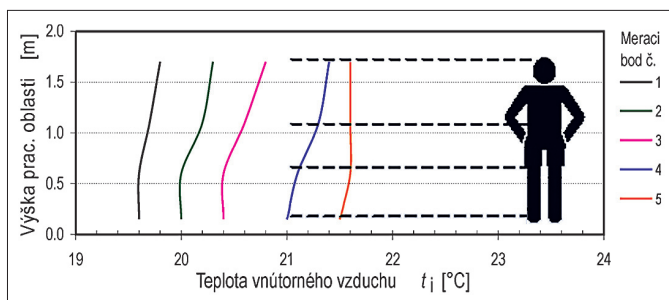
Podľa Prof. P.O. Fangera platí prípustná asymetria osálenia pre chladné zvislé plochy v rozmedzí max. 10 K (t.j. $> \Delta t_g = 1,80$ K) $\Rightarrow$ vyhovuje.

2. Vertikálny teplotný gradient vnútorného vzduchu

Obr. 5 znázorňuje priebeh teploty vnútorného vzduchu t_i po výške pracovnej oblasti človeka. Rozdiel medzi maximálnou a minimálnou hodnotou v konkrétnom mieste predstavuje max. $\Delta t_i = 0,40$ K.

Vyhodnotenie:

Rozdiel teplôt vzduchu medzi úrovňou hlavy človeka a jeho členkami by nemal byť v prostredí s „pokojným“ vzduchom väčší ako 3 K. Pri prúde-



Obr. 5 Vertikálny teplotný gradient vnútorného vzduchu

ní vzduchu s rýchlosťou $\leq 0,2 \text{ m.s}^{-1}$ sa táto hodnota znižuje o 0,5 K (t.j. $\Delta t_i = 0,40 \text{ K} < 2,5 \text{ K}$) $\Rightarrow$ vyhovuje.

Za predmet sledovania experimentálnych meraní sme zámerne vybrali halové objekty, ktorých podstatný rozdiel spočíval v geometrii tvaru vykurovaného interiéru. Vytvoriť rovnomerné teplotné pole v halovom objekte nie je jednoduchou záležitosťou, navyše ak sa jedná takmer o extrémne prípady – jednak halu plošne veľmi rozľahlú a jednak o úzky, dlhý halový objekt.

Vďaka vyhodnoteniam, ku ktorým sme dospeli, môžeme konštatovať, že zavesené sálavé panely ako vykurovacia sústava obstáli pozitívne ako z hľadiska tepelno-vlhkostného stavu vnútorného prostredia, tak aj z hľadiska rovnomernosti teplotných pomerov vo vnútornom prostredí.

Téma bolo predneseno na Konferencii vytápění Třeboň 2005.

Spojení na autorku: tel. 00421-2-55 422 076, E-mail: kotrbaty@kotrbaty.sk

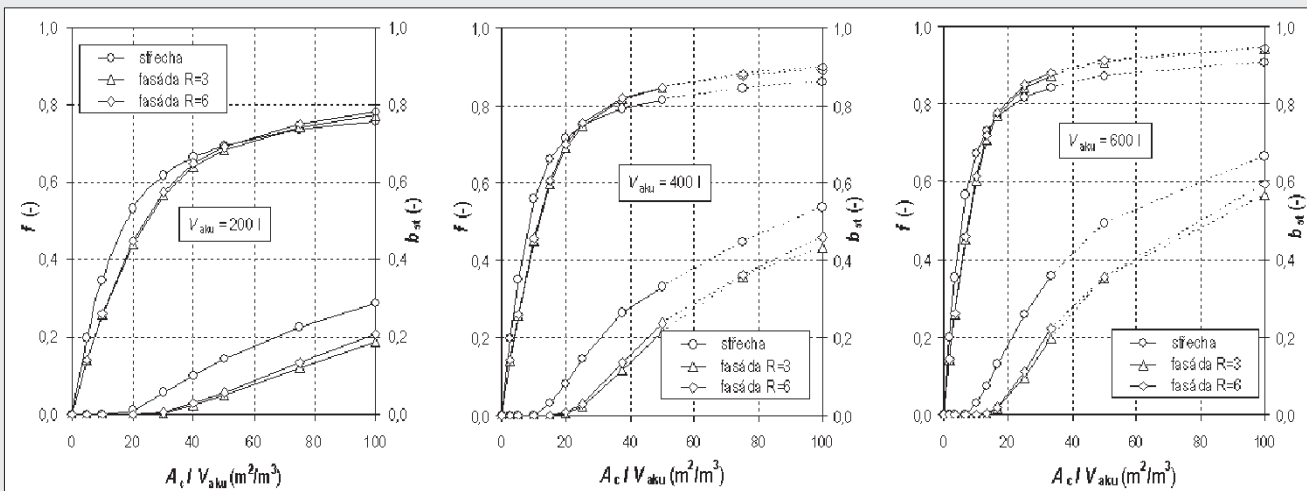
Použité zdroje:

- [1] Lajčíková, A. Hygienické požiadavky na pracovné prostredie. *Tepelná ochrana budov* č. 5/99
- [2] Mathauserová, Z. Metodika měření a hodnocení mikroklimatických a vzduchotechnických parametrů. *STP, Praha 1997*

Oprava

V článku autorů Ing. Tomáše Matušky a Ing. Bořka Šourka, uveřejněném ve VVI č.3/2005, str. 126–130, došlo k záměně obrázků. Uvádíme zde správné obr. 7 a, b, c ze str. 129. Čtenářům i autorům se omlouváme.

Redakce



Obr. 7 Výsledky simulací provozního chování solární soustavy pro přípravu TUV