

## Směrnice STP – OS 01 / č. 3/2010

### Operativní teplota v praxi Operative temperature in practice

Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.,\*  
prof. Ing. František Drkal, CSc.,\*  
Ing. Zuzana Mathauserová\*\*

\* Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní, ČVUT v Praze

\*\* Státní zdravotní ústav v Praze

#### 1. ZÁKLADNÍ POJMY

Operativní teplota, výsledná teplota (v závazných i doporučených předpisech ČR) do hodnocení účinku tepelného prostředí na člověka zahrnují kromě teploty vzduchu i teplotu okolních stěn/ploch a rychlost proudění vzduchu. Obě veličiny lze stanovit z výsledků měření a požadované hodnoty kontrolovat. Metody návrhu klimatizace, větrání, vytápění v praxi jsou však založeny na dodržení požadované teploty vnitřního vzduchu. Výkony klimatizace, vytápění pro dodržení operativní teploty lze stanovit pouze podrobným simulačním energetickým výpočtem (např. [21]), i když, např. při výpočtu tepelné zátěže pro klimatizaci dle CIBSE [19] je možné uplatnit zjednodušeným způsobem i teplotu operativní a tuto veličinu zavádí do výpočtu i ČSN EN 15255 [18].

Operativní i výsledná teplota je veličina obecně prostorově proměnná; požadavky na dodržení operativní teploty mají proto zahrnovat i určení kontrolního místa.

**Tepelná pohoda (tepelný komfort)** – ČSN EN ISO 7730 [15]: stav myslí vyjadřující uspokojení s tepelným prostředím; Fanger [2]: tepelná rovnováha při optimálních hodnotách fyziologických parametrů těla (teplota pokožky, teplota tělesného jádra, srdeční frekvence, tok tepla odváděný vypařováním z povrchu mokré pokožky).

**Tepelná rovnováha člověka a prostředí** – rovnost tepelného toku produkovaného organismem a tepelného toku odnímaného tělu okolním prostředím (konvekcí, sáláním, vypařováním, dýcháním, vedením).

#### Parametry ovlivňující tepelnou pohodu

##### ☐ stav člověka

1. intenzita fyzické činnosti člověka – měrný energetický výdej  $M$  [W/m<sup>2</sup>]
2. tepelný odpor oděvu  $R_{od}$  [m<sup>2</sup> K/W], [clo] (1 clo = 0,155 m<sup>2</sup> K/W)

##### ☐ stav prostředí

3. teplota vzduchu  $t_a$  [°C]
4. střední radiální teplota (okolních ploch)  $t_r$  [°C]
5. rychlost proudění vzduchu  $w$  [m/s]
6. relativní vlhkost vzduchu  $\varphi$  [%]
7. intenzita turbulence  $Tu$  [-]

Operativní teplota  $t_o$  (resp. výsledná teplota  $t_g$ ) zahrnuje jedinou veličinou vliv teploty vzduchu  $t_a$ , rychlosti proudění vzduchu  $w$  (výměnu tepla konvekcí) a střední radiální teploty  $t_r$  (výměnu tepla sáláním).

#### 2. OPERATIVNÍ TEPLOTA, VÝSLEDNÁ TEPLOTA, STŘEDNÍ RADIČNÍ TEPLOTA

**Operativní teplota  $t_o$  [°C]** – jednotná teplota černého uzavřeného prostoru (prostoru o stejné teplotě vzduchu a stejné střední radiální teplotě), ve kterém by tělo sdílelo konvekcí i sáláním stejné množství tepla jako ve skutečném, teplotně nesourodém prostředí. Podle ČSN EN ISO 7726 [14] je

$$t_o = \frac{\alpha_k t_a + \alpha_s t_r}{\alpha_k + \alpha_s} \quad [^\circ\text{C}] \quad (1)$$

$$t_o = A t_a + (1 - A) t_r = t_r + A(t_a - t_r) = t_a + (1 - A)(t_r - t_a) \quad [^\circ\text{C}] \quad (2)$$

kde  $\alpha_k, \alpha_s$  [W/m<sup>2</sup> K] je součinitel přestupu tepla konvekcí, resp. sáláním na povrchu těla a součinitel

$$A = \frac{\alpha_k}{\alpha_k + \alpha_s} \quad (3)$$

Podle rovnice (1) je operativní teplota váženým průměrem teploty vzduchu a střední radiální teploty podle odpovídajících součinitelů přestupu tepla konvekcí a sáláním. Pro malé rychlosti proudění vzduchu ( $w < 0,2$  m/s) a malé rozdíly ( $|t_a - t_r| < 4$  K), lze (při uplatnění  $A$  z tab. 1) stanovit operativní teplotu  $t_o$  jako aritmetický průměr  $t_a$  a  $t_r$

$$t_o = \frac{t_a + t_r}{2} \quad [^\circ\text{C}] \quad (4)$$

Při vrůstající rychlosti vzduchu  $w$  se uplatní změna součinitele přestupu tepla  $\alpha_k$ . Změnu  $\lambda_s$  lze v mírném tepelném prostředí ( $|t_a - t_r| < 4$  K) zanedbat; součinitel  $A$  závisí pak pouze na rychlosti proudění vzduchu  $w$ , podle tab. 1 (ČSN EN ISO 7726 [14] a aproximace hodnot z [14]).

Tab. 1 Závislost součinitele  $A$  na rychlosti vzduchu  $w$

$w$ [m/s]	< 0,2	0,2 až 0,6			> 0,6 až 1	
$A$ [-] [14]	0,5	0,6			0,7	
$w$ [m/s]	< 0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1
$A$ [-] aproximace	0,5	0,53	0,6	0,65	0,7	0,75

Součinitel  $A$  lze vyjádřit podle [3] spojitou závislostí  $A = 0,73w^{0,2}$  (pro  $w > 0,2$  m/s).

**Výsledná teplota  $t_g$  [°C]** je veličinou, kterou lze přímo měřit výsledným kulovým teploměrem. Spojitost výsledné teploty a operativní teploty je dána podobností přenosu tepla na povrchu těla a přenosu tepla na povrchu výsledného kulového teploměru.

Výsledný kulový teploměr je kulová baňka z tenkého měděného plechu s matným černým povrchem (podle [14] je doporučený průměr 0,15 m, v ČR se používá i průměr 0,10 m s povrchem pokrytým černým polyuretanem), v jejímž středu je teplotní čidlo (rtuťový teploměr, termočlánek, odporový teploměr). Výsledný teploměr nemá vlastní zdroj tepla; v ustáleném stavu je sálavý tepelný tok z prostředí do kulové baňky v rovnováze s konvektivním tepelným tokem z povrchu koule do prostředí. V ustáleném stavu se ztotožní teplota povrchu

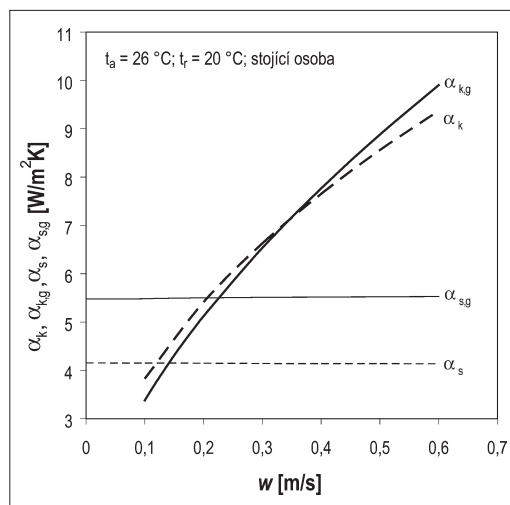
## Směrnice STP – příloha

baňky s teplotou čidla na výsledné teplotě  $t_g$  (globe temperature). Z rovnováhy konvekčního a sálavého toku tepla je

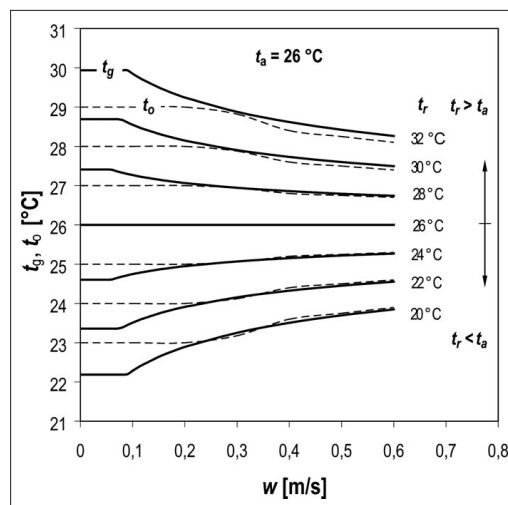
$$t_g = \frac{\alpha_{kg} t_a + \alpha_{sg} t_r}{\alpha_{kg} + \alpha_{sg}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (5)$$

kde  $\alpha_{kg}$ ,  $\alpha_{sg}$  [ $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$ ] je součinitel přestupu tepla konvekcí, resp. sáláním na povrchu kulového teploměru.

Vztah (5) pro výslednou teplotu  $t_g$  se formálně shoduje se vztahem (1) pro operativní teplotu  $t_o$ . Číselný rozdíl vyplývá z různosti součinitelů přestupu tepla konvekcí a sáláním u člověka a na povrchu kulového teploměru.



Obr. 1 Součinitel přestupu tepla konvekcí a sáláním  $\alpha_k$ ,  $\alpha_s$  na povrchu těla a na kulovém teploměru  $\alpha_{kg}$ ,  $\alpha_{sg}$



Obr. 2 Operativní teplota  $t_o$  dle (2) a výsledná teplota  $t_g$  podle (5)

### Operativní a výsledná teplota

**z výsledků měření.** Podle ČSN EN ISO 7726 [14] se určí **operativní teplota**  $t_o$  z rovnice (2), kde  $t_a$  a  $w$  se určí měřením,  $t_r$  z měření  $t_g$  a z rovnice (9), součinitel  $A$  z tab. 1. Výpočet střední radiační teploty  $t_r$  v rovnici (9) vychází z podmínek popisu přestupu tepla konvekcí a sáláním na kulovém teploměru, střední radiační teplota je tedy veličinou, která není ovlivněna podmínkami přestupu tepla na povrchu těla, stejně jako výsledná teplota  $t_g$ .

**Výsledná teplota**  $t_g$  se získá odečtem z kulového teploměru, její hodnota odpovídá skutečným podmínkám přestupu tepla na kulovém teploměru v daném prostředí.

Součinitel  $A$  upravuje podmínky přestupu tepla na kulovém teploměru na podmínky přestupu tepla na povrchu těla. Rozdílnost přestupu tepla je především v součiniteli přestupu tepla sáláním; součinitel přestupu tepla konvekcí na povrchu těla  $\alpha_k$  a kulovém teploměru  $\alpha_{kg}$  pro  $w > 0,1$  m/s se prakticky neliší (příklad – obr. 1, kde pro výpočet součinitelů přestupu tepla byly použity vztahy uvedené v příloze 1). Pro výpočet součinitelů přestupu tepla  $\alpha_k$  a  $\alpha_s$  na povrchu lidského těla bylo uvažováno s produkovaným tepelným tokem  $q = 67 \text{ W}/\text{m}^2$  a tepelným odporem oděvu  $R_{od} = 0,078 \text{ m}^2 \text{ K}/\text{W}$  (0,5 clo).

Na obr. 2 je jako příklad uvedeno srovnání operativní teploty  $t_o$  a výsledné teploty  $t_g$  podle definičního vztahu (2) a tab. 1 pro  $t_o$  a vztahu (5) pro  $t_g$ . Výpočet byl proveden pro konstantní teplotu vzduchu  $t_a$ , proměnnou střední radiační teplotu  $t_r$  a proměnnou rychlost proudění vzduchu  $w$ . Pro výpočet součinitelů přestupu tepla byly použity vztahy uvedené v Příloze. Jak vyplývá z grafu obr. 2, pro stejné podmínky tepelného prostředí, operativní teplota v oblasti rychlosti proudění vzduchu  $w \geq 0,2$  m/s se prakticky shoduje s teplotou výslednou.

Odchylné hodnoty  $t_o$  a  $t_g$  lze očekávat v oblasti  $w < 0,2$  m/s. Výpočet podle (2) uvažuje pro  $0 \leq w < 0,2$  m/s konstantní hodnotou  $A = 0,5$ , tj. operativní teplota zde není závislá na rychlosti proudění vzduchu. Naproti tomu součinitel přestupu tepla konvekcí na kulovém teploměru je závislý od rychlosti  $w > 0,1$  m/s na rychlosti proudění vzduchu. Čím jsou větší rozdíly mezi teplotou vzduchu a střední radiační teplotou, tím se zvětšuje diference mezi operativní a výslednou teplotou.

**Střední radiační teplota**  $t_r$  [ $^\circ\text{C}$ ] je definována jako společná teplota všech okolních ploch, při níž by byl celkový tepelný tok sdílený sáláním mezi povrchem těla a okolními plochami stejný, jako je ve skutečnosti. Střední radiační teplota v prostředí se stěnami o teplotách  $T_1, T_2, \dots, T_n$  [K] se stanoví ze vztahu (odvození [1])

$$t_r = \sqrt[4]{\varphi_{1p} T_1^4 + \varphi_{2p} T_2^4 + \dots + \varphi_{np} T_n^4} - 273,15 \quad [^\circ\text{C}] \quad (6)$$

kde  $\varphi_{1p}$  [-] je poměr osálení, definovaný jako poměr sálavého toku, který dopadne na plochu  $S_1$  k tepelnému toku vysálanému plochou  $S_p$  (povrchem těla)

a závisí na vzájemné poloze a velikosti ploch [9]. Střední radiační teplota  $t_r$  v daném prostředí je prostorově proměnná.

Pozn. 1: V ČSN EN ISO 7726 [14] je poměr osálení  $\varphi$  označen jako úhlový faktor  $F$ .

Pokud se teploty jednotlivých okolních ploch vzájemně příliš neliší, lze vyjádřit střední radiační teplotu vztahem

$$t_r = (\varphi_{1p} T_1 + \varphi_{2p} T_2 + \dots + \varphi_{np} T_n) - 273,15 \quad [^\circ\text{C}] \quad (7)$$

Rovnice (7) poskytují hodnoty  $t_r$  poněkud nižší, než rovnice (6). Bude-li mít polovina okolních ploch teplotu o 10 K vyšší než druhá polovina, pak střední radiační teploty  $t_r$  podle (6), (7) se budou lišit o 0,15 K. Podstatný rozdíl v  $t_r$  (až 10 K) však vznikne při rozdílu teplot okolních ploch cca 100 K.

Velmi zjednodušenou je následující rovnice, kde střední radiační teplota je stanovena jako vážený průměr teplot jednotlivých stěn (místo určení v prostoru se zanedbává).

$$t_r = \frac{S_1 t_1 + S_2 t_2 + \dots + S_n t_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad [^\circ\text{C}] \quad (8)$$

Pozn. 2: Původní český termín pro střední radiační teplotu „účinná teplota okolních ploch“ lépe vyjadřoval smysl této veličiny. Nejedná se totiž o „střední“ veličinu v prostoru, ani střední teplotu povrchu stěn, ale veličinu, jejíž hodnota a tedy účinek na tělo člověka se mění podle polohy místa, ve kterém se tato veličina určuje.

### 3. LEGISLATIVNÍ A NORMATIVNÍ POŽADAVKY NA OPERATIVNÍ TEPLOTU

Závažnými dokumenty pro projektování systémů techniky prostředí jsou právní předpisy (zákony, nařízení vlády a vyhlášky ministerstev), dříve označované jako hygienické předpisy. Příklady projektových kritérií lze nalézt rovněž v normativních dokumentech, které jsou však obecně nezávažné a konkrétní číselné údaje jsou zde většinou součástí informativních příloh.

**Právní předpisy.** Požadavky na operativní teplotu  $t_o$  v pracovním prostředí jsou uvedeny v nařízení vlády č. 68/2010 Sb. [10], kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [9], kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. Činnost zaměstnanců je možné zařadit do konkrétní třídy práce podle energetického výdeje  $M$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) ([10] Část A, Tabulka č. 1), které pak odpovídají přípustné hodnoty mikroklimatických podmínek během roku uvedené v následující tab. 2).

# Směrnice STP – příloha

Tab. 2 Přípustné hodnoty vnitřních klimatických podmínek podle [10]

Třída práce	Činnost (zestručněno)	Operativní teplota [°C]		Rychlost proudění	Relativní vlhkost
		$t_{\text{omin}}$	$t_{\text{omax}}$	w [m/s]	[%]
I	Práce v sedě s minimální pohybovou aktivitou, nebo s lehkou manuální prací (administrativní práce) $\leq 80 \text{ W/m}^2$	20	28	0,1–0,2	30–70
IIa	Práce vstoje spojená s pomalou chůzí. Přenášení lehkých břemen, překonávání malých odporů $81 \text{ až } 105 \text{ W/m}^2$	18	27	0,1–0,2	
IIb	Práce vsedě a vstoje s trvalým zapojením obou paží a nohou (potravinářská výroba atp.) $106 \text{ až } 130 \text{ W/m}^2$	14	26	0,2–0,3	
IIIa	Práce vstoje s trvalým zapojením obou horních končetin v předklonu, nebo v kleče (údržba strojů, atp.) $131 \text{ až } 160 \text{ W/m}^2$	10	26	0,2–0,3	
IIIb	Práce vstoje s trvalým zapojením obou horních končetin, trupu, chůze (práce ve stavebnictví, atp.) $161 \text{ až } 200 \text{ W/m}^2$	10	26	0,2–0,3	

Operativní teplota uvedená v tab. 2 je platná pro konkrétní hodnotu tepelného odporu oděvu. Minimální operativní teplota je určena pro tepelný odpor  $l = 1$  clo, maximální pro 0,5 clo. Zatímco minimální hodnoty se vztahují na zimní období, maximální hodnoty je nutné dodržet při letních extrémech.

Teploty uvedené v tabulkách jsou celosměrné průměry, nebo průměrné hodnoty v částech směn s podobnými tepelnými podmínkami.

Pokud na pracovišti z důvodů vysoké tepelné zátěže nelze dodržet operativní teplotu  $t_o$  podle tab. 2, uvádí [9] únosné hodnoty výsledné teploty  $t_g$  pro omezenou pracovní dobu (dlouhodobě a krátkodobě únosná doba práce [9], příloha 1, část B, tab.1a až 2c). Z tabulek uvedených v [9] byla pro osmihodinovou pracovní dobu vyhodnocena maximální přípustná výsledná teplota  $t_g$  pro rychlost vzduchu 0,1 až 1 m/s a třídy práce I až III (vyšší třídy práce již vyžadují pracovní dobu kratší jak 8 hodin) – tab. 3.

Tab. 3 Maximální přípustná výsledná teplota  $t_g$  pro prostory s tepelnou zátěží a osmihodinovou pracovní dobou [9] – při tepelném odporu oděvu  $l = 0,64$  clo

Třída práce	Rychlost proudění w [m/s]					
	0,1			0,5		
	Muži			Ženy		
I	34	34	34	34	34	34
IIa	34	34	34	34	34	34
IIb	32	32	32	32	32	32
IIIa	28	28	30	–	–	–

Pro další veřejné objekty jsou požadavky na tepelný stav prostředí uvedeny ve vyhláškách ministerstev [11], [12], [13]. V těchto dokumentech jsou přípustné parametry vnitřního klimatu definovány výslednou teplotou (někde jen teplotou vzduchu), relativní vlhkostí a rychlostí proudění vzduchu.

**Normativní dokumenty.** ČSN EN 13779 [17] definuje základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení. Norma připouští, že ve většině případů se jako návrhová teplota používá průměrná teplota vnitřního vzduchu. Pokud se ale teplota rozměrných povrchů místnosti významně liší od teploty vzduchu, měla by být použita teplota operativní. Vzhledem k tomu, že ve většině aplikací jsou

v pásmu pobytu osob nízké rychlosti vzduchu ( $< 0,2 \text{ m/s}$ ) a malé rozdíly mezi teplotou vzduchu a střední radiční teplotou ( $< 4 \text{ K}$ ) je operativní teplota v rámci této normy definována podle rovnice (4).

Není-li stanoveno jinak, operativní teplota se musí vztahovat na střed místnosti ve výšce 0,6 m nad podlahou [14]. Zmíněná norma neobsahuje žádné návrhové parametry a odkazuje na ČSN EN 15251 [16], ze které jsou hodnoty  $t_o$  uvedeny v tab.4.

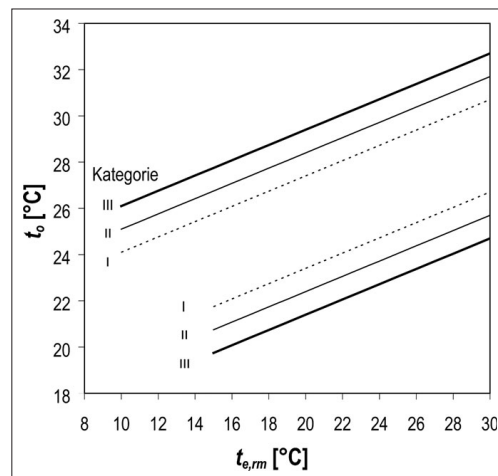
ČSN EN ISO 7730 [15] je základní normou, která pojednává o tepelném komfortu. V informativní příloze normy jsou uvedeny příklady návrhových hodnot  $t_o$  pro prostory v různých budovách (viz tab. 4). Kritéria pro operativní teplotu jsou založena na typických úrovních činnosti, pro oděv 0,5 clo v létě a 1,0 clo v zimě; platí pro podmínky v daném prostoru, ale mohou být využita i pro jiné prostory užívané podobným způsobem.

ČSN EN 15251 [16] uvádí doporučené návrhové hodnoty operativní teploty pro vybrané prostory budov (tab. 4). Hodnoty operativní teploty jsou zařazeny do kategorie I, II a III podle úrovně tepelného komfortu, které odpovídají kategoriím A, B a C podle ČSN EN ISO 7730 [15].

Bylo prokázáno [4], že lidé v obytných a kancelářských prostorech jsou schopni akceptovat (adaptací, s vědomím sníženého stupně komfortu) teploty vnitřního vzduchu v rozmezí 17 až 31 °C. Adaptací na podmínky odlišné od optimálního komfortu se rozumí: úpravy oděvu, změny postavení těla, změny programu práce, úpravy stravy, využití lokálního pohybu vzduchu, větrání i lokálních změn teploty vzduchu.

Norma [16], pro budovy bez strojního chlazení/klimatizace uvádí přípustné hodnoty operativní teploty v závislosti na klouzavé střední teplotě venkovního vzduchu  $t_{e,rm}$ , která vyjadřuje tendenci změn teploty venkovního vzduchu. Na

obr. 3 pro letní období jsou prezentovány horní a dolní limity operativní teploty  $t_o$  pro kancelářskou budovu (nebo budovu podobného typu, pro osoby pracující převážně vsedě), ve které je možné otevřít libovolně okna a volně přizpůsobit oblečení změně vnitřních, či venkovních klimatických podmínek.



Obr. 3 Návrhové hodnoty operativní teploty (horní a dolní limity) v letním období pro budovy bez klimatizace [16]

## 4. STANOVENÍ OPERATIVNÍ TEPLoty MĚŘENÍM

**Operativní teplota  $t_o$**  se podle rovnice (2) stanoví výpočtem ze změřené teploty vzduchu  $t_a$ , střední radiční teploty  $t_r$  a rychlosti vzduchu  $w$  (pro určení  $\alpha_{kg}$ ). Podle normy [14], se v homogenním prostředí operativní teplota vyhodnocuje pouze v jednom bodě a to v úrovni těžiště člověka. Pro sedící osobu je to 0,6 m, pro stojící 1,1 m nad podlahou. Odlišná je situace v heterogenním prostředí, kde je nutné proměřit tepelný stav prostředí v několika úrovních (0,1 m, 0,6 m a 1,1 m pro sedící osoby a 0,1 m, 1,1 m a 1,7 m pro osoby stojící).

V současnosti existují čidla pro přímé měření operativní teploty [20]. Elipsoidní čidlo se přibližuje svým tvarem lidskému tělu a lze jím měřit výsledný tepelný účinek prostředí na člověka.

# Směrnice STP – příloha

Tab. 4 Příklady návrhových hodnot  $t_o$  podle ČSN EN ISO 7730 [15] a ČSN EN 15251 [16]

Prostor	Činnost	ČSN EN ISO 7730			ČSN EN 15251		
		Kategorie tepelného komfortu*	Operativní teplota [°C]		Kategorie tepelného komfortu*	Operativní teplota [°C]	
			Zima	Léto		Min. pro vytápění (1 clo)	Max. pro chlazení (0,5 clo)
Jednotlivé kanceláře Velkoplošné kanceláře Zasedací místnosti Posluchárny Restaurace, kavárny Učebny	70 W/m <sup>2</sup>	A	22,0 ± 1,0	24,5 ± 1,0	I	21,0	25,5
		B	22,0 ± 2,0	24,5 ± 1,5	II	20,0	26,0
		C	22,0 ± 3,0	24,5 ± 2,5	III	19,0	27,0
Mateřská školka	81 W/m <sup>2</sup>	A	22,0 ± 1,0	23,5 ± 1,0	I	19	24,5
		B	22,0 ± 2,5	23,5 ± 2,0	II	17,5	25,5
		C	22,0 ± 3,5	23,5 ± 2,5	III	16,5	26,0
Obchodní dům	93 W/m <sup>2</sup>	A	19,0 ± 1,5	23,0 ± 1,0	I	17,5	24,0
		B	19,0 ± 3,0	23,0 ± 2,0	II	16,0	25,0
		C	19,0 ± 4,0	23,0 ± 3,0	III	15,0	26,0
Obytné budovy – obytné místnosti	70 W/m <sup>2</sup>	–	–	–	I	21,0	25,5
		–	–	–	II	20,0	26,0
		–	–	–	III	18,0	27,0

\*Kategorie A odpovídá PPD < 6 %, pro kategorii B je PPD < 10 % a pro kategorii C je PPD < 15 % [10]. PPD je procento osob nespokojených s daným tepelným stavem prostředí.

**Teplota vzduchu**  $t_a$  – při měření je nutné eliminovat vliv sálání okolních ploch. K tomuto účelu se nejčastěji používají čidla malých rozměrů a stíněná proti účinku sálání.

**Střední radiační teplota**  $t_r$  se stanoví z naměřených hodnot výsledné teploty  $t_g$ , teploty vzduchu  $t_a$  a rychlosti vzduchu  $w$ ; součinitel sálání povrchu kulového teploměru je  $c_g = \varepsilon c_\delta = 0,95.5,67 = 5,39 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + 1,856 \cdot 10^7 \alpha_{kg} (t_g - t_a)} - 273 \quad (9)$$

Součinitel přestupu tepla konvekcí  $\alpha_{kg}$  je v Příloze.

**Rychlost proudění vzduchu**  $w$  – při hodnocení mikroklimatu je nutno měřit nízké rychlosti proudění (od 0,05 m/s) s poměrně vysokou přesností a malým časovým zpožděním. Rychlostní čidlo musí být všesměrové – tj. musí reagovat na maximální rychlost z libovolného směru.

## 5. STANOVENÍ OPERATIVNÍ TEPLoty VÝPOČTEM

Pro určení operativní teploty  $t_o$  resp. střední radiační teploty  $t_r$  při návrhu větracích, klimatizačních a vytápěcích zařízení existují dva základní typy výpočetních nástrojů

- jednoduché uživatelské programy
- profesionální software
  - energetické programy
  - počítačové simulace proudění na bázi CFD

**Jednoduché uživatelské stacionární programy** v tabulkovém procesoru lze použít pro jednoduché geometrické případy místností. Podstatou výpočtu je stanovení vnitřních povrchových teplot stěn v místnosti, k čemuž lze využít stacionární tepelnou bilanci. Jsou-li povrchové teploty známy, lze z geometrie místnosti stanovit poměry osálení zkoumaného místa vůči okolním stěnám a vypočítat střední radiační teplotu  $t_r$  podle rovnice (6), nebo zjednodušených vztahů (7) resp. (8).

Jednoduché uživatelské programy jsou značně zjednodušené. Většinou se předpokládá konstantní teplota a rychlost proudění vzduchu v prostoru, rovnoměrné rozložení povrchových teplot stěn. Lze je uplatnit např. při výpočtu

v zimních podmínkách, kdy nedochází k výraznému kolísání venkovní teploty  $t_e$ , nebo v létě v případě těžkých stěn.

Výsledky příkladu výpočtu operativní teploty v tabulkovém procesoru jsou na obr. 4.

**Dynamické energetické programy** (např. ESP-r [21]) umožňují simulovat chování budovy z různých hledisek za proměnných (nestacionárních) okrajových podmínek (venkovních klimatických dat, vnitřních tepelných zisků, intenzity větrání, atd.). Energetickými softwary lze mimo jiné hodnotit i tepelný stav prostředí. Na základě tepelných toků sdílených v prostoru (zóně) program počítá povrchové teploty stěn a z nich, pro zvolenou polohu kontrolního bodu (výpočet poměrů osálení) stanovuje střední radiační teplotu  $t_r$ . Za předpokladu konstantní teploty a rychlosti proudění vzduchu v prostoru se stanoví z rovnice (2) operativní teplota  $t_o$ .

Výsledky příkladu simulace v software ESP-r jsou na obr. 5 a obr. 6.

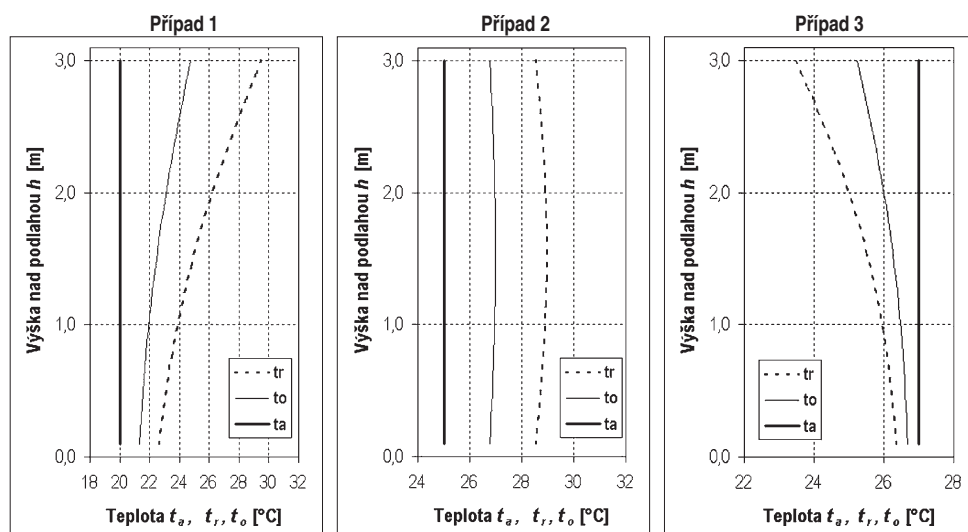
**Programy na bázi CFD** pro počítačovou simulaci proudění (např. Fluent [22], Flovent [23]) umožňují rozdělit sledovanou místnost na prakticky libovolný počet kontrolních objemů (buněk) a v každém objemu pak sledovat teplotu vzduchu  $t_a$ , rychlost proudění  $w$  i střední radiační teplotu  $t_r$ . Simulace CFD lze řešit jak pro stacionární, tak nestacionární okrajové podmínky.

*Pozn. 3: Program Fluent je určen pro komplexní řešení úloh mechaniky tekutin, program Flovent byl vytvořen především pro analýzy přenosu tepla a hmoty v budovách, k předpovědi tepelného komfortu, účinnosti větrání a ke kontrole znečištění vzduchu.*

Cílem počítačového modelování je s dostatečnou přesností předpovídat operativní teplotu v době návrhu budovy, resp. v době dimenzování klimatizačního zařízení a tím zajistit splnění odpovídajících hygienických předpisů. V prostředí, kde nejsou výrazné rozdíly mezi teplotou vzduchu  $t_a$  a teplotou okolních stěn  $t_s$  (v přechodném klimatickém období, u budov s nevýrazným podílem zasklení, atp.) se nebude operativní teplota od teploty vzduchu příliš lišit. Nejvýraznější rozdíly lze očekávat při extrémních klimatických podmínkách (zima, léto) v prostředí s výrazným podílem prosklených ploch a malou tepelnou kapacitou stěn. Dosavadní praxe ukazuje, že projektanti, při návrhu klimatizačních zařízení, mají omezené možnosti pro určení operativní teploty. Lze však očekávat, že pokročilá výpočetní technika umožní podstatné rozšíření analýz tepelných bilanci budov, proudění ve vnitřních prostorech i analýz tepelného komfortu, vč. operativní teploty.



# Směrnice STP – příloha

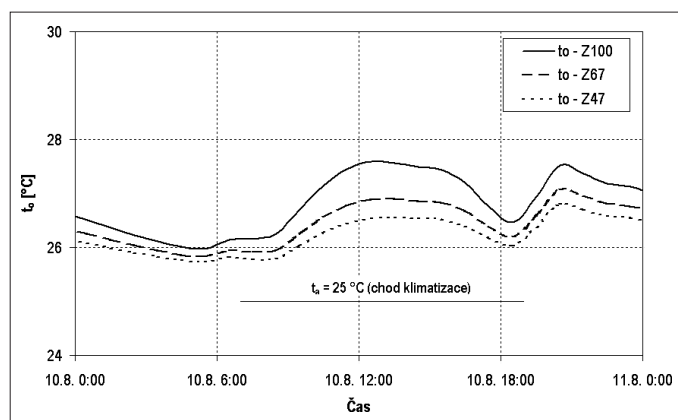


Obr. 4 Vertikální průběh operativní teploty  $t_o$ , teploty vzduchu  $t_a$ , a střední radiační teploty  $t_r$  ve středu zkoumané místnosti pro případy 1, 2, 3 – tabulkový procesor

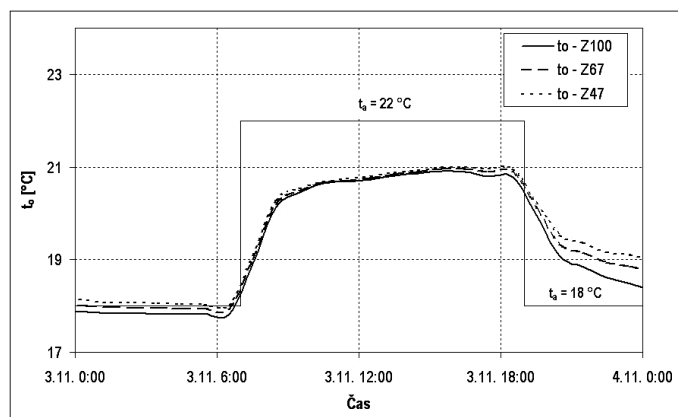
## 6. VÝSLEDKY PŘÍPADOVÝCH STUDIÍ

Předložené příklady jednak dokumentují použitou metodu výpočtu, jednak předkládají číselné hodnoty určujících veličin tepelného komfortu – teploty vzduchu, operativní teploty, střední radiační teploty a případně i výsledné teploty v několika případových studiích.

**Operativní teplota v tabulkovém procesoru** (Excel) [24]. Analyzovány byly tři případy úpravy prostředí v místnosti (7,3 × 4,6 × 3,1 m – délka, hloubka,



Obr. 5 Průběh operativní teploty  $t_o$  a teploty vzduchu  $t_a$  v typickém letním dnu ve středu místnosti – program ESP-r



Obr. 6 Průběh operativní teploty  $t_o$  a teploty vzduchu  $t_a$  v typickém zimním dnu ve středu místnosti – program ESP-r

výška; venkovní stěna celá prosklená,  $U = 1,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , rychlost proudění vzduchu  $w < 0,2 \text{ m/s}$ ): 1. *sálavé stropní vytápění* (teplota stropu  $40 \text{ °C}$ , teplota vzduchu  $20 \text{ °C}$ , povrchová teplota dvojitého zasklení okna  $14,3 \text{ °C}$ , teplota vzduchu v okolních místnostech  $20 \text{ °C}$ ); 2. *klimatizace s konvektivním přestupem tepla, léto* (teplota vzduchu  $25 \text{ °C}$ , teplota dvojitého zasklení stíněného okna  $39 \text{ °C}$ , teplota vzduchu v okolních místnostech  $25 \text{ °C}$ , teplota stěn  $27 \text{ °C}$ ); 3. *sálavé stropní chlazení* (teplota stropu  $18 \text{ °C}$ , teplota vzduchu  $27 \text{ °C}$ , teplota vzduchu v okolních místnostech  $27 \text{ °C}$ ).

Pozn. 4: Klimatizační systémy s konvektivním přestupem tepla: vzduchové systémy, vodní systémy, kombinované systémy vzduch/voda, chladivové systémy.

### Operativní teplota dynamickým energetickým programem ESP-r – kancelářská

**budova s lehkým obvodovým pláštěm a lehkými vnitřními konstrukcemi** [21]. Analyzováno bylo tepelné prostředí v kancelářské místnosti 5 × 4 × 3 m (délka, hloubka, výška), klimatizace s konvektivním přestupem tepla. Obvodová stěna lehká (délka 5 m, orientace jih,  $U = 0,45 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ), zasklení v obvodové stěně proměnné – podíl zasklení Z100 (100 %), Z67 (67 %), Z47 (47 %), součinitel prostupu tepla okna  $U = 1,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ; pro léto vnitřní žaluzie. Teplota vnitřního vzduchu: léto  $27 \text{ °C}$ , zima  $22 \text{ °C}$ ; v sousedních místnostech stejné teplotní podmínky jako ve zkoumané místnosti. V místnosti: 2 osoby, 2 počítače, větrání venkovním vzduchem celkem  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ , rychlost proudění vzduchu  $w < 0,2 \text{ m/s}$ . Venkovní klimatické podmínky: klimatická databáze typického roku TRY.

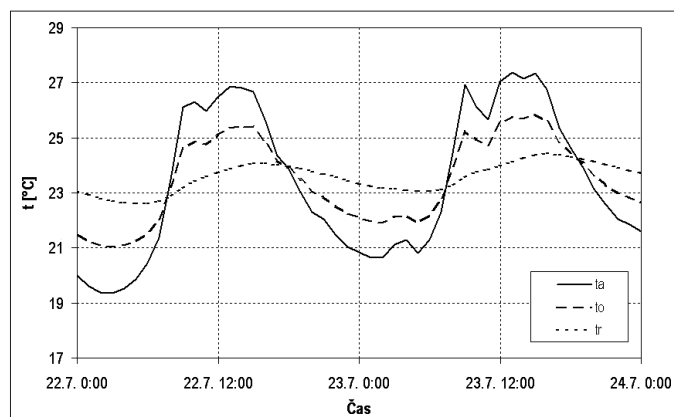
Výsledky výpočtu operativní teploty ve středu místnosti ve výšce 1,1 m v typickém letním dnu jsou na obr. 5, v typickém zimním dnu na obr. 6.

### Operativní teplota dynamickým energetickým programem ESP-r – více-

**podlažní, vícezónová budova s hmotnými vnitřními stěnami a stropy** [7]. Budova nemá klimatizaci. Přirozené denní i noční větrání intenzitou kolísající v rozmezí 3 až 4 1/h (v noci je intenzita vyšší) je přirozené. Budova využívá akumulaci tepla do vnitřních stěn a stropů; v denních hodinách je operativní teplota  $t_o$  nižší než teplota vzduchu  $t_a$ , v nočních hodinách je tomu naopak (obr. 7) – rozdíl je 1,0 až 1,5 K. Na obr. 7 je zakreslena rovněž střední radiační teplota ve středu místnosti  $t_r$ .

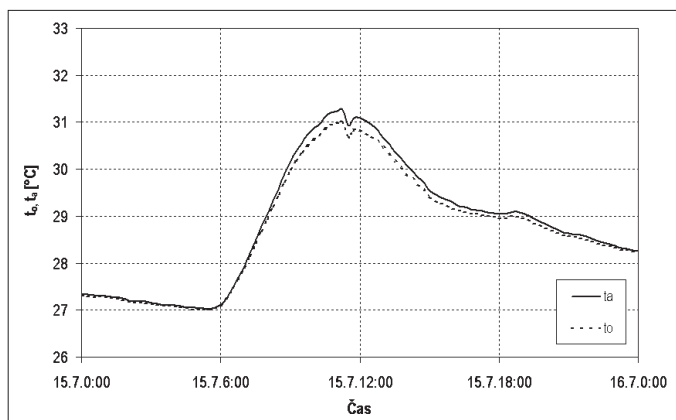
### Stanovení operativní teploty měřením v reálných podmínkách – letní

**období**. Prezentovány jsou dva případy měření v letním období (2005) v kancelářské místnosti (5 × 4,5 × 3 m) s obvodovou stěnou na jihovýchod. Podíl dvoji-

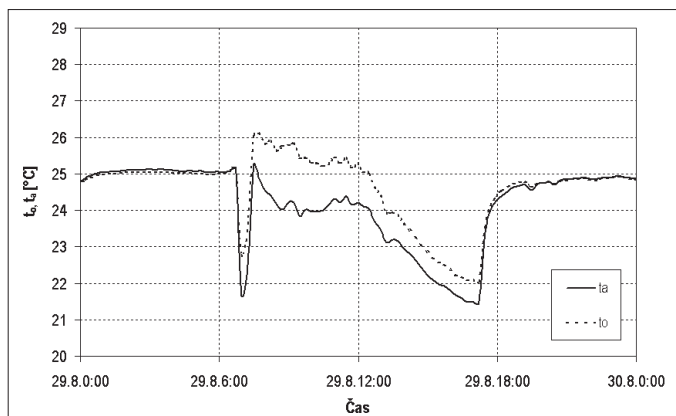


Obr. 7 Průběh operativní teploty  $t_o$ , teploty vzduchu  $t_a$  a střední radiační teploty  $t_r$  v přirozeně větrané hmotné budově – program ESP-r

## Směrnice STP – příloha



Obr. 8 Průběh operativní teploty  $t_o$  a teploty vzduchu  $t_a$  v neklimatizované místnosti (bez nuceného větrání) ve vybraném letním dnu (Případ 1) – experiment

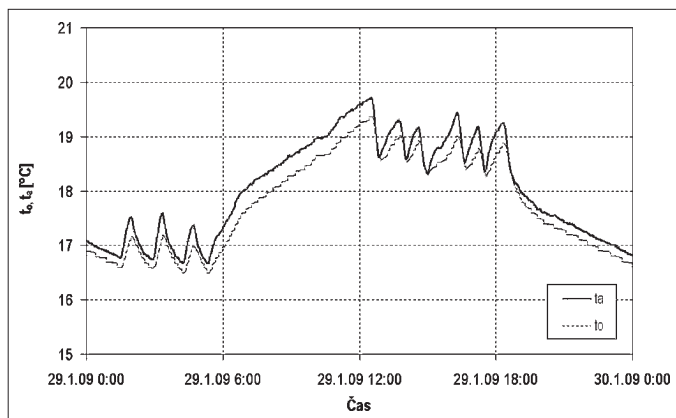


Obr. 9 Průběh operativní teploty  $t_o$  a teploty vzduchu  $t_a$  v klimatizované místnosti (bez nuceného větrání) ve vybraném letním dnu (Případ 2) – experiment

tého zasklení v obvodové stěně (délky 5 m) je 39 %, instalovány jsou vnitřní žaluzie. V místnosti nebylo instalováno nucené větrání. 1. neklimatizovaná místnost (Případ 1); 2. klimatizovaná místnost (Případ 2), celý den zapnuta klimatizace (chladivový systém), teplota vzduchu nastavena na 25 °C; změny průběhu teplot během dne jsou způsobeny regulačním zásahem a změnami tepelné zátěže.

Z naměřených hodnot teploty vzduchu  $t_a$  a výsledné teploty  $t_g$  (ve středu místnosti ve výšce 1,7 m nad podlahou) byla vyhodnocena střední radiální teplota  $t_r$  a z nich pak teplota operativní  $t_o$  (pro rychlost proudění  $w = 0$  m/s). Průběh operativní teploty  $t_o$  a teploty vzduchu  $t_a$  ve vybraném letním dnu pro případ 1 je na obr. 8, pro případ 2 na obr. 9.

**Stanovení operativní teploty měřením v reálných podmínkách – zimní období.** Prezentováno je měření v zimním období (2008) ve vytápěné místnosti



Obr. 10 Průběh teploty vzduchu  $t_a$  a operativní teploty  $t_o$  pro vytápěnou místnost (bez nuceného větrání) ve vybraném zimním dnu – experiment

5,8 × 5,96 × 3,1 m s orientací obvodové stěny na západ, dvojitě zasklení, podíl 49 %; vytápěcí systém – parní. Teplota vzduchu byla vytápěním udržována v pracovní době v rozmezí  $t_a = 18,5$  až 19,5 °C. Obdobně jako v případech pro letní období byla z naměřených hodnot  $t_a$ ,  $t_g$  (ve středu místnosti ve výšce 1,1 m nad podlahou) vyhodnocena  $t_r$  a následně  $t_o$ , pro  $w = 0$  m/s. Výsledek je na obr. 10.

## 7. SOUHRN

### Vztah operativní a výsledné teploty

Výsledná teplota  $t_g$  je veličina měřená kulovým teploměrem; vyjadřuje, stejně jako z ní odvozená střední radiální teplota  $t_r$ , reálný stav měřeného prostředí.

Operativní teplota  $t_o$  je veličina vypočítaná, zavedením součinitele  $A$  přibližuje údaje zjištěné měřením kulovým teploměrem na podmínky přestupu tepla na povrchu těla.

Z analýzy definičních podmínek výsledné teploty a operativní teploty vyplývá:

- V komfortním tepelném prostředí pro rychlosti proudění vzduchu  $w \geq 0,2$  m/s se operativní teplota  $t_o$  a výsledná teplota  $t_g$  prakticky shodují.
- Odchyly lze očekávat v oblasti  $w < 0,2$  m/s, kde se uplatní výraznější rozdíl mezi součiniteli přestupu tepla na kulovém teploměru a povrchu těla (obr. 2).
- Čím větší jsou v oblasti  $w < 0,2$  m/s rozdíly mezi teplotou vzduchu  $t_a$  a střední radiální teplotou  $t_r$  tím více se zvyšuje diference mezi operativní teplotou  $t_o$  a výslednou teplotou  $t_g$ .
- V klidném prostředí ( $w = 0$  m/s),  $t_r > t_a$  je rozdíl  $t_g - t_o \approx 1$  K; pro  $t_r < t_a$  je  $t_o - t_g \approx 1$  K.

### Předpověď operativní teploty výpočtovými (simulačními) programy

Operativní teplota  $t_o$  i výsledná teplota  $t_g$  jsou veličiny, které jsou předepsány v legislativních předpisech (nařízeních vlády, vyhláškách – ve Sbírce zákonů) a doporučeny v normách ČSN EN. Metody návrhu klimatizace, větrání, případně i vytápění jsou však založeny na dodržení teploty vnitřního vzduchu.

Pokročile i zjednodušené výpočetní (simulační) metody umožňují stanovit (předpovědět) operativní/výslednou teplotu v daném klimatizovaném, větracím i vytápěném prostředí ve vztahu k teplotě vzduchu. Uplatní se v současné době u náročných zadání, v ostatních případech je nutno vycházet z poznatků praxe a odborných doporučení.

Z případových studií vyplývá:

- Klimatizace s konvektivním přestupem tepla, letní období** (vnitřní žaluzie zataženy), budova s lehkými vnitřními konstrukcemi: Operativní teplota v průběhu dne vzrůstá především vlivem rostoucí vnitřní povrchové teploty okna a žaluzií (čím větší plocha okna, tím více roste teplota operativní) – obr. 5. I při dodržení konstantní teploty vnitřního vzduchu  $t_a$  (25 °C) může diference operativní teploty  $t_o$  a teploty vzduchu  $t_a$  dosáhnout až 2,5 K (u celoprosklené obvodové stěny), u menšího podílu zasklení cca 1,5 K.
- Klimatizace s konvektivním přestupem tepla, zimní období, budova s lehkými vnitřními konstrukcemi:** Při dodržení konstantní teploty vzduchu  $t_a$  (22 °C) v denní době operativní teplota  $t_o$  je nižší cca o 1 K než teplota vzduchu  $t_a$ . Díky nevýrazné intenzitě sluneční radiace během dne se neprojeví vliv velikosti zasklení (obr. 6).
- Přirozeně větraná hmotná budova:** Vlivem akumulace chladu do vnitřních stěn při nočním větrání je během dne operativní teplota nižší než teplota vzduchu, v noci je tomu naopak – rozdíly jsou 1,0 až 1,5 K (obr.7).
- Sálavé systémy:** V prostorech se sálavým chlazením (chladicí stropy) lze udržovat až o 2 K vyšší teplotu vzduchu než je teplota operativní, naopak u systémů se sálavým vytápěním, může být teplota vzduchu až o 2 K nižší, v závislosti na geometrických parametrech místnosti.

# Směrnice STP – příloha

**Experimentální průběh operativní teploty a teploty vzduchu – letní období (2005).** V místnosti se zataženými vnitřními žaluziemi experimentální průběhy teploty vzduchu  $t_a$  a operativní teploty  $t_o$  (z měření kulovým teploměrem) ukazují:

- *Neklimatizovaná místnost, bez nuceného větrání – Příklad 1* (obr. 8): Teplota operativní  $t_o$  je v poledních hodinách nižší než teplota vzduchu  $t_a$  maximálně o 0,4 K; v ostatní době se obě veličiny téměř shodují. Nižší průběh operativní teploty než teploty vzduchu ovlivňuje střední radiační teplota stěn místnosti – stěny jsou vychlazeny v nočním období.
- *Klimatizovaná místnost, bez nuceného větrání – Příklad 2* (obr. 9): Teplota operativní  $t_o$  v průběhu dne, při chodu klimatizace, převyšuje teplotu vzduchu  $t_a$  o 0,5 až 1,5 K. V nočním období, při vypnuté klimatizaci, se obě veličiny téměř shodují.

**Experimentální průběh operativní teploty a teploty vzduchu – zimní období (2008).**

- V zimním období se operativní teplota  $t_o$  trvale udržuje pod teplotou vzduchu  $t_a$ . Rozdíl ( $t_a - t_o$ ) je během dne cca 0,5 K, v nočních hodinách se zmenšuje až na cca 0,25 K (obr.10).

## Závěr k výsledkům simulačních i experimentálních studií

- Výsledky příkladů simulačních výpočtů i experimentálních studií nelze jednoznačně zobecňovat. Řešení však ukazují, jaké přibližné rozdíly mezi určitými veličinami tepelného komfortu – teplotou vzduchu a operativní teplotou – lze v typických případech očekávat.
- Pro pásmo pobytu osob a střed místnosti:
  - Klimatizovaná budova s lehkými vnitřními konstrukcemi, s konvektivním přestupem tepla (vzduchové systémy, vodní systémy, kombinované systémy vzduch/voda, chladičové systémy); léto: ( $t_o - t_a$ ) = 1,0 až 2,5 K, vyšší hodnota platí pro vysoký podíl zasklení obvodové stěny; zima: ( $t_a - t_o$ ) = cca 1 K, hodnota není podstatně ovlivněna podílem zasklení.
  - Přirozeně trvale větraná hmotná budova (den i noc), s vlivem nočního vychlazování; den: ( $t_a - t_o$ ) = 1 až 1,5 K, noc:  $t_o - t_a = 1$  až 1,5 K.
  - Prostory chlazené a vytápěné sálavým stropním systémem; sálavé chlazení: ( $t_a - t_o$ ) = cca 1 až 2 K; sálavé vytápění: ( $t_o - t_a$ ) = až 2 K.

Kontakt na autory:

Zmrhal.Vladimir@fs.cvut.cz, Frantisek.Drkal@fs.cvut.cz, zmat@szu.cz

## Použité zdroje:

- [1] Cihelka, J. Sálavé vytápění. 2.vyd. Praha: SNTL, 1961
- [2] Fanger, P.O. 9] *Thermal comfort – Analysis and applications in enviromental engineering*. Kingsport Press, Inc., 1972. ISBN 07-019915-9
- [3] Hemzal, K. Operativní teplota v hodnocení tepelné rovnováhy člověka. *Vytápění, větrání, instalace*, 2008, roč. 17, č.1, s. 16–23. ISSN 1210-1389
- [4] Huphreys, M. and Nicol, J. F. *Understanding the adaptive approach to the thermal comfort*. ASHRAE Technical Data Bulletin, 1998.14(1):1-14
- [5] Jokl, V.M. Optimální a přípustné mikroklimatické podmínky pro obytné prostředí. Směrnice STP-OS 04/č.1–2005. Příloha časopisu Vytápění, větrání, instalace, 2005, roč. 14, č. 2
- [6] Kabele, K.; Veverková, Z. Modelování operativní teploty. Vytápění, větrání, instalace, 2003, roč. 12, č. 1
- [7] Lain, M., Drkal, F., Zmrhal, V. Studie objektu pro ověření tepelné pohody. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2010
- [8] Zmrhal V., Drkal F., Hemzal K. *Operativní teplota ve větraných a klimatizovaných místnostech*. Výzkumná zpráva. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2009
- [9] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci. Sbírka zákonů ČR, ročník 2007
- [10] Nařízení vlády č. 68/2010 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. Sbírka zákonů ČR, ročník 2010

- [11] Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb. Sbírka zákonů ČR, ročník 2003
- [12] Vyhláška č. 343/2009 Sb., kterou se mění vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých. Sbírka zákonů ČR, ročník 2009
- [13] Vyhláška č. 135/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch. Sbírka zákonů ČR, ročník 2004
- [14] ČSN EN ISO 7726: 2002. *Ergonomie tepelného prostředí – Přístroje pro měření fyzikálních veličin*. Praha: ČNI
- [15] ČSN EN ISO 7730: 2005. *Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu*. Praha: ČNI
- [16] ČSN EN 15251: 2007. *Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budovy s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, teplotního prostředí, osvětlení a akustiky*. Praha: ČNI
- [17] ČSN EN 13779: 2010. *Větrání budov – Základní požadavky na větrací a klimatické systémy*. Praha: ÚNMZ
- [18] ČSN EN 15255: 2008. *Tepelné chování budov – Výpočet chladicího výkonu pro odvod citelného tepla z místnosti – Obecná kritéria a validační postupy*. Praha: ÚNMZ
- [19] *Environmental Design Guide A*. London: The Chartered Institution of Building Services Engineers, 1999
- [20] LumaSense Technologies dostupné z <<http://www.lumasenseinc.com>>; Dantec Dynamics dostupné z <<http://www.dantecdynamics.com>>.
- [21] *The ESP-r System for Building Energy Simulation – User Guide Version 10 Series*. Glasgow: University of Strathclyde
- [22] Fluent. Informace dostupné z <<http://www.fluent.com>>
- [23] Flovent. Informace dostupné z <<http://www.mentor.com/products/mechanical/products/flovent>>
- [24] Program MRT Analysis. Dostupný z <<http://www.fsid.cvut.cz/~zmrhavl/Programy/Programy.htm>>

## Seznam veličin

A	součinitel [-]
$C_{\varepsilon}$	součinitel sálání dokonale černého tělesa [ $W/m^2K^4$ ]
D	průměr baňky kulového teploměru [m]
m	intenzita fyzické činnosti člověka – měrný energetický výdej [ $W/m^2$ ]
PPD	předpokládané procento nespokojených [%]
$R_{od}$	tepelný odpor oděvu [ $m^2K/W$ ]
S	plocha [ $m^2$ ]
$t_a$	teplota vnitřního vzduchu [ $^{\circ}C$ ]
$t_{e,rm}$	klouzavá střední teplota venkovního vzduchu [ $^{\circ}C$ ]
$t_k$	teplota pokožky [ $^{\circ}C$ ]
$t_g$	výsledná teplota [ $^{\circ}C$ ]
$t_o$	operativní teplota [ $^{\circ}C$ ]
$t_{od}$	povrchová teplota oděvu [ $^{\circ}C$ ]
$t_r$	střední radiační teplota [ $^{\circ}C$ ]
T	absolutní teplota [K]
Tu	intenzita turbulence [-]
U	součinitel prostupu tepla [ $W/m^2K$ ]
w	rychlost proudění vzduchu [m/s]

## Řecká abeceda

$\alpha_k$	součinitel přestupu tepla konvekcí [ $W/(m^2 K)$ ]
$\alpha_s$	součinitel přestupu tepla sáláním [ $W/(m^2 K)$ ]
$\varepsilon$	emisivita [-]
$\varphi$	součinitel osálení [-] relativní vlhkost [%]

# Směrnice STP – příloha

## Příloha – Součinitele přestupu tepla

Výsledná teplota – výpočet součinitelů přestupu tepla (obr.1) a grafické znázornění (obr. 2) výsledné teploty  $t_g$  podle rovnice (5) uvažuje součinitel přestupu tepla konvekcí  $\alpha_{kg}$  na kulovém teploměru o průměru  $D$  [m] podle [14]. Přirozené proudění

$$\alpha_{kg} = 1,4 \left( \frac{t_a - t_g}{D} \right)^{0,25} \quad [\text{W/m}^2 \text{K}] \quad (10)$$

nucené proudění

$$\alpha_{kg} = 6,3 \frac{w^{0,6}}{D^{0,4}} \quad [\text{W/m}^2 \text{K}] \quad (11)$$

Pro výpočet se uvažuje vždy s vyšší hodnotou součinitele přestupu tepla konvekcí  $\alpha_{kg}$  podle rovnice (10) resp. (11).

Součinitel přestupu tepla sáláním  $\alpha_{sg}$

$$\alpha_{s,g} = \varepsilon C_c 10^{-8} \frac{T_g^4 - T_r^4}{t_g - t_r} = 0,95 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{T_g^4 - T_r^4}{t_g - t_r} \quad [\text{W/m}^2 \text{K}] \quad (12)$$

**Operativní teplota** – pro výpočet součinitele přestupu tepla konvekcí  $\alpha_k$  na povrchu lidského těla byl použit pro přirozené proudění ( $w < 0,1$  m/s) vztah

$$\alpha_k = 2,38(t_{od} - t_a)^{0,25} \quad [\text{W/m}^2 \text{K}] \quad (13)$$

pro nucené proudění ( $w < 2,5$  m/s)

$$\alpha_k = 12,1\sqrt{w} \quad [\text{W/m}^2 \text{K}] \quad (14)$$

Součinitel přestupu tepla sáláním  $\alpha_s$

$$\alpha_s = \varepsilon C_c 10^{-8} \frac{S_s T_{od}^4 - T_r^4}{S t_{od} - t_r} = 0,95 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{S_s T_{od}^4 - T_r^4}{S t_{od} - t_r} \quad [^\circ\text{C}] \quad (15)$$

kde  $\varepsilon$  je emisivita oděvu 0,95 [-],  $C_c$  – součinitel sálání dokonale černého tělesa 5,67 [W/m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>],  $S_s/S$  je pro stojící osoby 0,73 [-].

Teplota oděvu se stanoví z tepelné bilance oděvu iteračním výpočtem

$$\alpha_k f_{od}(t_{od} - t_a) + \alpha_s f_{od}(t_{od} - t_r) = \frac{1}{R_{od}}(t_k - t_{od}) \quad [^\circ\text{C}] \quad (16)$$

s tím, že teplota pokožky má ve stavu tepelné pohody dosahovat hodnot

$$t_{k,opt} = 35,7 - 0,0275 q \quad [^\circ\text{C}] \quad (17)$$



**SPOLEČNOST PRO TECHNIKU PROSTŘEDÍ**  
ČLEN ČESKÉHO SVAZU VĚDECKOTECHNICKÝCH SPOLEČNOSTÍ, ČLEN REHVA  
ODBOBNÁ SEKCE 01 KLIMATIZACE A VĚTRÁNÍ



Odborná sekce Klimatizace a větrání sdružuje odborníky z oboru klimatizace a větrání z řad projektantů, podnikatelů, pracovníků vysokých škol, vědeckých pracovišť i institucí státní správy.


Činnost sekce je zaměřena na pořádání konferencí, seminářů, kurzů a sekce podporuje i publikační činnost i aktivity svých členů při přípravě norem, směrnic a legislativních předpisů.

Tradiční akcí jsou *konference* pořádané v dvouročních intervalech, v pořadí již 18. Konference klimatizace a větrání se připravuje v roce 2012. Tematika konferencí zahrnuje trendy ve vývoji klimatizace a větrání, problematiku kvalitního projektování, výroby, instalací i provozu.

*Semináře* pořádané sekci v posledních letech byly tematicky zaměřené na větrání garáží, chladivové klimatizační systémy, větrání a klimatizaci nákupních center a na snižování energetické náročnosti chladicích zařízení. Již tradičně se pořádají základní a pokračovací kurzy Větrání a klimatizace. V souvislosti s aktuálními požadavky na energetické úspory se organizují kurzy zaměřené na kontrolu klimatizačních systémů.

Odborníci ze sekce Klimatizace a větrání poskytují rovněž poradenskou a konzultační činnost jak pro řešení praktických problémů, tak pro přípravu odborných dokumentů.

Prof. Ing. František Drkal, CSc.  
předseda odborné sekce 01 Klimatizace a větrání  
www.stpcr.cz, stp@stpcr.cz



**VYTÁPĚNÍ  
VĚTRÁNÍ  
INSTALACE**

**Vážení přátelé,**  
**Společnost pro techniku prostředí nabízí**  
**2. přepracované vydání**  
**Názvoslovného výkladového slovníku**  
**z oboru Technika prostředí**  
v Č-N-A, A-Č-N, N-Č-A mutacích

Obsahuje terminologii oborů:

Vytápění, Solární technika, Tepelné izolace, Chladicí technika, Tepelná čerpadla, Větrání, Klimatizace, Hluk a ořesý, Průmyslová vzduchotechnika, Pneumatická doprava, Čistota ovzduší, Odprašování, Hygiena, Automatická regulace, Ekonomika investic, Domovní vodovody, Plynovody, Kanalizace.

■

Slovník je možno zakoupit:

- v Prodejně technické literatury: budova NTK, Technická 6, 160 80 Praha 6 nebo si nechat zaslat dobírkou: e-mail: homola@vc.cvut.cz – fax: 233 332 642;
- osobně v sekretariátu Společnosti pro techniku prostředí: Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1 nebo
- v redakci VVI – Fakulta strojní, 8. p., Technická 4, 166 07 Praha 6.

**Cena 220 Kč vč. DPH**  
redakce VVI