



Investice do rozvoje vzdělávání

POHODA PROSTŘEDÍ A TEPELNÁ POHODA

Doc. Ing. Eva Janotková, CSc.

Obsah

1. Kvalita vnitřního prostředí
2. Tepelná pohoda prostředí
 - 2.1 Tepelná rovnováha člověka
 - 2.2 Rovnice tepelné pohody
 - 2.3 Diagramy tepelné pohody
3. Hodnocení tepelného stavu a tepelné pohody prostředí
 - 3.1 Operativní teplota
 - 3.2 Výsledná teplota
 - 3.3 Hodnocení tepelného stavu a pohody v pracovním prostředí
 - 3.4 Hodnocení tepelného stavu prostředí ve veřejných objektech
 - 3.5 Hodnocení tepelné pohody v mírném tepelném prostředí
 - 3.6 Hodnocení tepelného prostředí ve vozidlech
 - 6.7 Hodnocení tepelné zátěže pracovníka v horkém prostředí

1. KVALITA VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

Kvalita vnitřního prostředí (mikroklimatu) se hodnotí podle stavu činitelů (faktorů) prostředí, z nichž hlavní jsou:

- čistota vzduchu,
- teplota vzduchu,
- teplota okolních ploch,
- rychlost proudění vzduchu,
- vlhkost vzduchu,
- tepelně izolační vlastnosti oděvu,
- činnost člověka,
- hluk a vibrace,
- osvětlení,
- ionizující a neionizující elektromagnetické záření,
- elektroionty,
- psychické stavy člověka aj.

Stav prostředí, který vytváří člověku vhodné podmínky pro práci a zdravý pobyt je nazýván **pohoda prostředí**.

Pohoda prostředí celková a dílčí

Pohodu prostředí člověk cítí komplexně, přesto se jednotlivé smysly uplatňují natolik specificky, že rozlišujeme **pohodu celkovou** a **pohodu dílčí**. U **dílčí pohody** je předmětem zájmu pouze některý, nebo některé z činitelů prostředí, tj. pak podle jednotlivých činitelů např.:

- pohoda toxická,
- aerosolová,
- mikrobiální,
- tepelná,
- akustická,
- světelná,
- ionizační,
- elektroiontová,
- psychická a další.

2. TEPELNÁ POHODA PROSTŘEDÍ

Tepelná pohoda prostředí (tepelný komfort), na kterou je člověk velmi citlivý, se definuje jako pocit spokojenosti člověka s tepelným stavem prostředí.

Podle ČSN EN ISO 7730 (Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního komfortu: říjen 2006) je tepelný komfort definována jako stav myslí vyjadřující uspokojení s tepelným prostředím.

Při látkových přeměnách probíhajících v lidském těle (biochemických oxidačních pochodech) se uvolňuje tepelná energie – **metabolické teplo (metabolický tepelný tok) \dot{Q}_m** . Metabolické teplo závisí na činnosti člověka a na jeho fyzické konstituci. Jen malá část této energie se přenáší do okolí formou mechanické práce konané člověkem, zatímco většina se přenáší formou tepla (90 až 100 %).

Průměrné hodnoty metabolického tepelného toku vztaženého na 1 m² povrchu lidského těla (hustoty metabolického tepelného toku \dot{q}_m) při různé fyzické činnosti člověka jsou uvedeny v tab. 2.1. Hustoty metabolického tepelného toku se používají proto, aby byl eliminován vliv fyzické konstituce člověka.

Střední hodnota povrchu těla dospělých mužů je asi 1,9 m², žen 1,75 m².

Tab. 2.1 Hustota metabolického tepelného toku a mechanická účinnost těla při různé činnosti člověka

Činnost	Hustota metabolického tepelného toku \dot{q}_m		Mechanická účinnost η
	[W.m ⁻²]	[met]	[-]
Klidné ležení	46	0,8	0
Sezení, uvolněné	58	1,0	0
Práce vsedě (úřady, školy, laboratoře)	70	1,2	0
Stání, lehká práce (nakupování, laboratoře, lehký průmysl)	93	1,6	0 až 0,1
Stání, střední práce (prodavač, práce v domácnosti, práce na strojích)	116	2,0	0,1 až 0,2
Chůze po rovině 2 km.h ⁻¹	110	1,9	0,1 až 0,2
Chůze po rovině 3 km.h ⁻¹	140	2,4	0,1 až 0,2
Chůze po rovině 4 km.h ⁻¹	165	2,8	0,1 až 0,2
Chůze po rovině 5 km.h ⁻¹	200	3,4	0,1 až 0,2
Těžká fyzická práce (těžký průmysl, stavebnictví) přenášení břemen 50 kg	235	4,0	0,1 až 0,25

1 met = 58,2 W.m⁻²**Vnitřní tělesná teplota zdravého člověka je**

$36,5 \pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

proto musí být teplo uvolňované v těle přenášeno do okolí.

Velikost přenosu tepla je ovlivňována termoregulačním centrem těla. Tepelná regulace těla je řízena hypothalamem (částí mozku), který reaguje na změnu teploty uvnitř těla i teploty kůže.

Uplatňuje se automatická termoregulace:
- chemická,
- vazomotorická,
- vypařovací.

Chemická termoregulace - při pocitu chladu dochází ke zvýšení produkce tepla intenzivnějšími látkovými přeměnami.

Vasomotorická termoregulace - dochází ke stažení nebo uvolnění svalových vláken svírajících krevní cévy (hlavně na periférii končetin). Při pocitu chladu dochází při vasomotorické regulaci k zúžení cév, snížení průtok krve a tím i ke snížení teploty kůže, čímž se omezí odvod tepla konvekcí a radiací. Při pocitu tepla dochází naopak k rozšíření cév, pokožka se zvýšením průtoku krve prohřeje a tím se zvýší odvod tepla konvekcí a radiací.

Pokud je třeba dále zvyšovat odvod tepla z povrchu těla, uplatňuje se vypařovací termoregulace, tj. zvýšení produkce potu potními žlázami a jeho odpaření.

Pokud uvedené automatické termoregulace nestačí zajistit tepelnou rovnováhu člověka, dochází k výrazné změně teploty lidského těla a k ohrožení života přehřátím, nebo podchlazením.

Teplota kůže pro mírně aktivní osoby v podmínkách tepelné pohody se pohybuje v rozmezí 33 až 34 °C, nárůst teploty nad 45 °C a pokles pod 18 °C vyvolává pocit bolesti. Pokles vnitřní tělesné teploty pod 28 °C může vést k srdeční arytmii, k úmrtí a při teplotách vyšších jak 46 °C může dojít k nevratnému poškození mozku.

Mimo uvedených základních automatických termoregulačních procesů, používá člověk ještě vědomou termoregulaci, k níž patří:

- změna tělesné činnosti a tím změna produkovaného metabolického tepelného toku,**
- změna části povrchu lidského těla, která se účastní na přenosu tepla (větším oddálením končetin od sebe a od těla, nebo naopak „schoulením se“),**
- změna oblečení,**
- změna teploty prostředí.**

2.1 Tepelná rovnováha člověka

První podmínkou tepelné pohody je splnění rovnice tepelné rovnováhy člověka (2.1), tzn., aby tepelná energie produkovaná v těle zmenšená o energii přenášenou formou mechanické práce konané člověkem byla rovna energii odvedené formou tepla do okolí. Teplo se odvádí do okolí vedením, konvekcí, radiací, vypařováním a dýcháním.

$$\dot{Q}_m (1 - \eta) = \dot{Q}_{ved} + \dot{Q}_k + \dot{Q}_r + \dot{Q}_v + \dot{Q}_d \text{ [W]}, \quad (2.1)$$

kde \dot{Q}_m je metabolický tepelný tok, $\dot{Q}_m = \dot{q}_m S$ [W],

S je plocha povrchu těla [m^2],

η je mechanická účinnost lidského těla,

$\dot{Q}_{ved}, \dot{Q}_k, \dot{Q}_r, \dot{Q}_v, \dot{Q}_d$ jsou tepelné toky přenášené z lidského těla do okolí vedením, konvekcí, radiací, vypařováním a dýcháním [W].

Za normálních okolností tepelný tok přenášený vedením je zanedbatelný a mechanická účinnost lidského těla je velmi malá a lze tedy rovnici (2.1) psát ve tvaru

$$\dot{Q}_m = \dot{Q}_k + \dot{Q}_r + \dot{Q}_v + \dot{Q}_d. \quad (2.2)$$

Tepelný tok přenášený z povrchu oblečeného člověka do okolí **konvekcí**

$$\dot{Q}_k = \alpha S_k (t_p - t) \text{ [W]}, \quad (2.3)$$

kde α – součinitel přestupu tepla konvekcí [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$],

$$\alpha = 2,38 (t_p - t) \quad \text{při rychlosti proudění vzduchu } w \leq 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$\alpha = 12,1 \sqrt{w} \quad \text{při rychlosti proudění vzduchu } 0,1 < w < 2,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

t_p – střední teplota vnějšího povrchu oděvu,

t – teplota okolního vzduchu,

$S_k = f_{cl} S$ – povrch oblečeného člověka,

S – povrch lidského těla,

$S = 1,9 \text{ m}^2$ pro průměrného dospělého muže, $S = 1,75 \text{ m}^2$ pro ženu,

f_{cl} – poměr povrchu oblečeného člověka k povrchu lidského těla – závisí na druhu oděvu (viz tab. 2.2).

Tepelný tok přenášený mezi povrchem oblečeného člověka a okolními plochami radiací

$$\dot{Q}_r = \varepsilon \sigma_o S_s (T_p^4 - T_r^4) \text{ [W]}, \quad (2.4)$$

kde ε – poměrná zářivost mezi povrchem těla a okolními plochami (pro pokožku a většinu tkanin a materiálů v interiéru má hodnotu $\varepsilon = 0,95$),

σ_o – Stefanova – Boltzmannova konstanta, $\sigma_o = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \text{ K}^{-4}$,

S_r – povrch lidského těla přenášející teplo radiací, $S_r \approx 0,71 S_k$,

T_r – střední radiační teplota [K].

Střední radiační teplota je myšlená společná teplota okolních ploch v prostoru, při níž by byl sálavý tepelný tok mezi sledovaným povrchem (povrchem oblečeného člověka) a okolím stejný jako ve skutečnosti, kdy plochy mají teploty odlišné.

Tepelný tok přenášený **vypařováním** \dot{Q}_v je roven součtu tepelného toku odváděného tzv. suchým pocením \dot{Q}_{vs} a tepelného toku odváděného tzv. mokrým pocením \dot{Q}_{vm}

$$\dot{Q}_v = \dot{Q}_{vs} + \dot{Q}_{vm} . \quad (2.5)$$

Tepelný tok suchým pocením

$$\dot{Q}_{vs} = 3,05 \cdot 10^{-3} S (p''_{p(t_k)} - p_{p(t)}) \text{ [W]}, \quad (2.6)$$

kde $S \text{ [m}^2\text{]}$ – plocha povrchu těla,

$p''_{p(t_k)} \text{ [Pa]}$ – parciální tlak sytých vodních par při teplotě pokožky t_k ,

$p_{p(t)} \text{ [Pa]}$ – parciální tlak vodních par v okolním vzduchu o teplotě t a relativní vlhkosti φ

Tepelný tok odváděný z povrchu těla **mokrým pocením** \dot{Q}_{vm} je významným nástrojem termoregulace a jeho hodnota se řídí potřebou udržet stálou teplotu lidského těla.

Tepelný tok odváděný dýcháním. Vydechovaný vzduch se v plicích zahřeje na teplotu 34 až 36 °C a současně se nasytí vodní parou.

$$\dot{Q}_d = \dot{m} c_p (t_v - t) + \dot{m} l_{23} (x'' - x) \text{ [W]}, \quad (2.7)$$

kde \dot{m} – hmotnostní tok vzduchu plicemi [kg.s⁻¹],

$$\dot{m} = 1,433 \cdot 10^{-6} \frac{\dot{Q}_m}{1 - \eta} \quad (2.8)$$

c_p – měrná tepelná kapacita vzduchu za konstantního tlaku
($c_p = 1,01 \cdot 10^3 \text{ J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$),

t_v – teplota vydechovaného vzduchu ($t_v \approx 34 \text{ °C}$),

l_{23} – měrné výparné teplo vody ($l_{23} = 2560 \cdot 10^3 \text{ J.kg}^{-1}$),

x'' – měrná vlhkost vydechovaného vzduchu (vlhkostí nasyceného)
[kg/kg s. v.]

x – měrná vlhkost okolního vdechovaného vzduchu [kg/kg s. v.].

Prostup tepla oděvem – tepelný tok přenášený konvekcí a radiací z povrchu oblečeného člověka prostupuje oděvem (přenáší se vedením oděvem)

$$\dot{Q}_k + \dot{Q}_r = S(t_k - t_p)/R_{cl}, \quad (2.9)$$

kde t_k, t_p – teplota pokožky a povrchu oděvu,

R_{cl} [$\text{m}^2\text{K.W}^{-1}$] – tepelný odpor oděvu, který zahrnuje tepelný odpor tkanin a tepelný odpor vzduchových mezer; tepelný odpor oděvu se také vyjadřuje poměrnou veličinou $I_{cl} = R_{cl}/0,154$ [clo], viz tab. 2.2.

Tab. 2.2 Tepelný odpor pro některé druhy oděvů

Druh oděvu	R_{cl} [$\text{m}^2\text{K.W}^{-1}$]	I_{cl} [clo]	f_{cl} [-]
Jednovrstvý, lehký (spodky, košile s krátkými rukávy, lehké kalhoty, lehké ponožky, boty)	0,080	0,5	1,1
Dvouvrstvý (spodní prádlo, košile, kalhoty, ponožky, boty)	0,110	0,7	1,1
Třívrstvý (spodní prádlo s krátkými rukávy a nohavicemi, košile, kalhoty, pracovní blůza, ponožky, boty)	0,155	1,0	1,15
Čtyřvrstvý (spodní prádlo s krátkými rukávy a nohavicemi, košile, kalhoty, sako, svrchník, ponožky, boty)	0,230	1,5	1,2

2.2 Rovnice tepelné pohody

První podmínkou pro dosažení tepelné pohody je splnění rovnice tepelné rovnováhy (2.2). Při stavu tepelné pohody však musí být tepelné rovnováhy dosaženo při minimálních zásazích automatické tělesné regulace.

Pro stav tepelné pohody musí být limitována teplota pokožky t_k a tepelný tok mokřým pocením \dot{Q}_{vm} . Tyto veličiny jsou pro stav tepelné pohody vyjádřeny v závislosti na činnosti člověka \dot{q}_m vztahy

$$t_k = 35,7 - 0,0275 \dot{q}_m \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.10)$$

$$\text{a } \dot{Q}_{vm} = 0,42 S (\dot{q}_m - 58) \text{ [W]}. \quad (2.11)$$

Rovnice (2.10) a (2.11) jsou druhou a třetí podmínkou stavu tepelné pohody.

Řešením rovnic (2.2) až (2.11) dostaneme rovnici tepelné pohody vyjádřenou funkční závislostí

$$\dot{Q}_m = f(R_{cl}, f_{cl}, t, w, t_r, \varphi).$$

Rovnice tepelné pohody vyjadřuje vzájemné vztahy mezi hlavními činiteli tepelné pohody. Tyto činitele charakterizují:

- \dot{Q}_m - činnost člověka,
- $R_{cb} f_{cl}$ - vlastnosti oděvu,
- t, w, t_r, φ - tepelný stav prostředí.

Pozn.: Poměr povrchu oblečeného člověka k povrchu lidského těla f_{cl} lze vyjádřit jako funkci tepelného odporu oděvu I_{cl}

$$f_{cl} = 1,00 + 0,2 I_{cl} \quad \text{pro} \quad I_{cl} < 0,5 \text{ clo,}$$

$$f_{cl} = 1,05 + 0,1 I_{cl} \quad \text{pro} \quad I_{cl} > 0,5 \text{ clo.}$$

Proto jsou často vlastnosti oděvu vyjádřeny pouze hodnotou R_{cl} či I_{cl} .

Intenzita turbulence

Bylo zjištěno, že místní ochlazování lidského těla konvekcí závisí nejen na průměrné rychlosti proudění vzduchu, ale i na časových změnách této rychlosti, které charakterizuje intenzita turbulence Tu . Intenzita turbulence je podíl výběrové směrodatné odchylky rychlosti a střední rychlosti a lze ji určit ze vztahu

$$Tu = \frac{1}{\bar{w}} \sqrt{\frac{\sum (w_i - \bar{w})^2}{n - 1}} \quad , \quad (2.12)$$

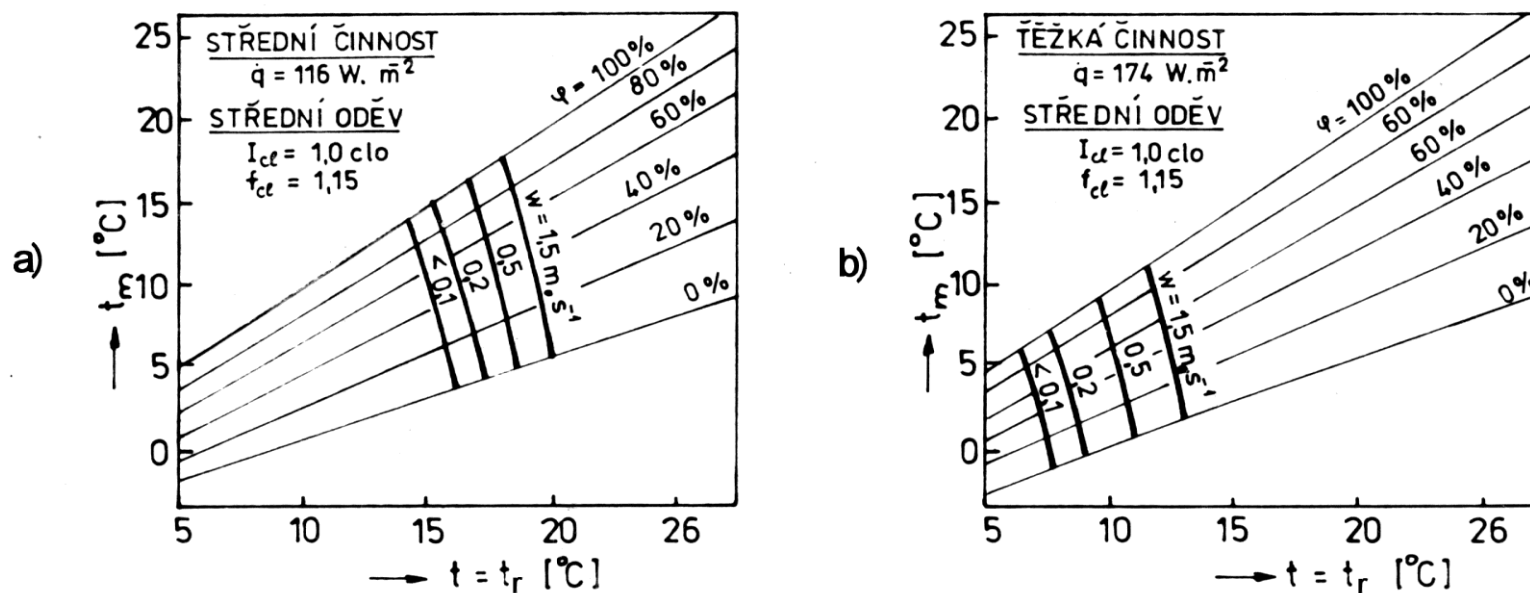
kde w_i jsou jednotlivé naměřené rychlosti, \bar{w} je střední rychlost proudění vzduchu a n je počet měření.

Intenzita turbulence se přiřazuje ke čtyřem činitelům charakterizujícím tepelný stav prostředí (t , w , t_r , φ) jako další činitel.

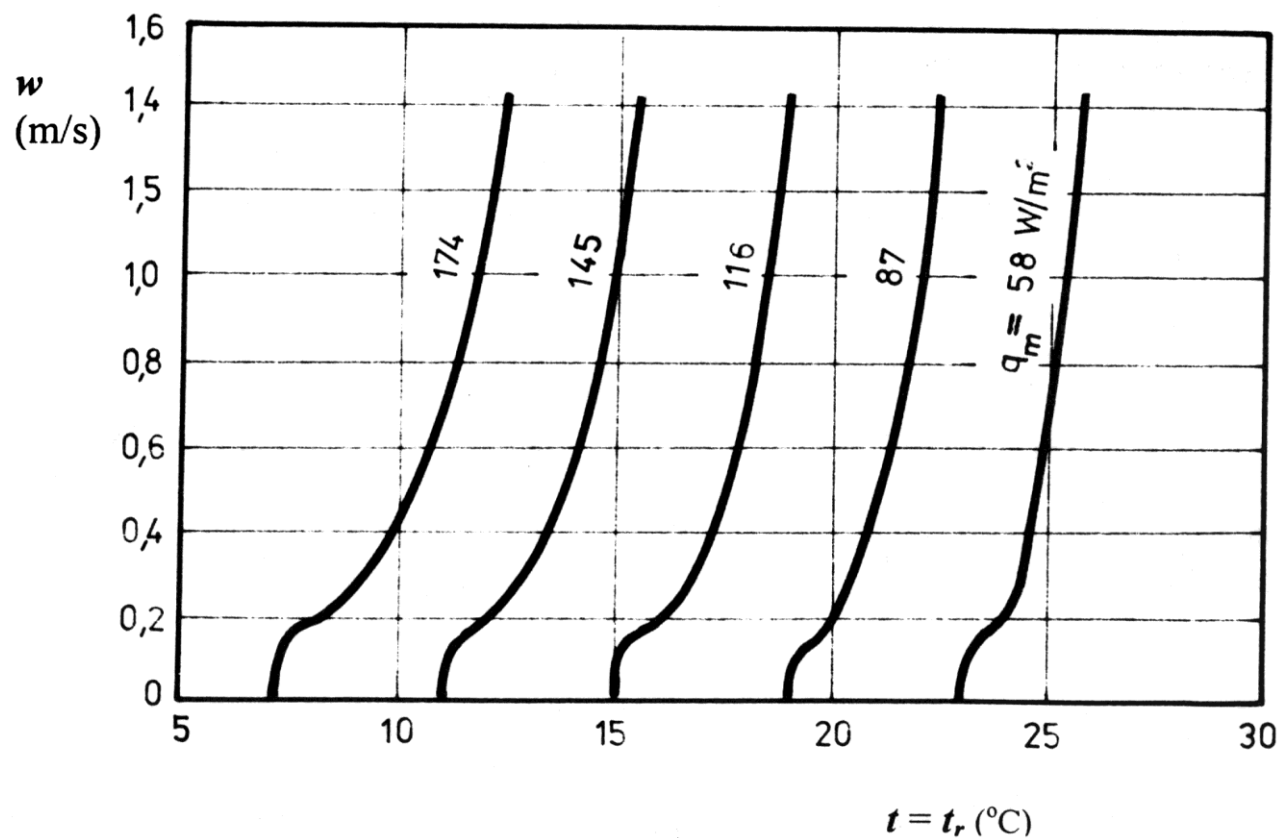
Tepelné pohody lze dosáhnout různou kombinací hodnot jednotlivých činitelů, na nichž závisí.

2.3 Diagramy tepelné pohody

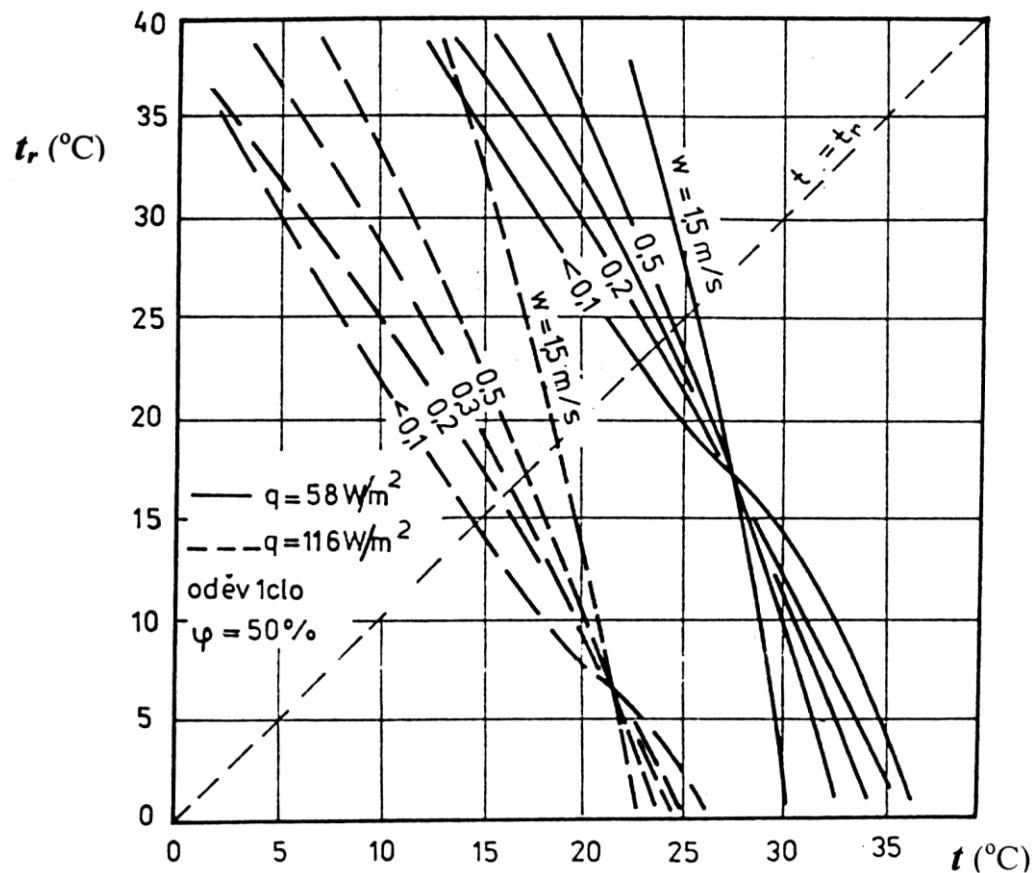
Na základě rovnice tepelné pohody jsou sestavené diagramy tepelné pohody (tepelného komfortu). Používají se tři typy diagramů umožňující posoudit vliv jednotlivých činitelů tepelné pohody, jejichž příklady jsou na obr. 2.1 až 2.3. Křivky v těchto diagramech jsou křivkami tepelné pohody, tzn. vyhovující rovnici tepelné pohody pro určitou činnost, oděv, teplotu vzduchu, střední radiační teplotu, rychlost proudění vzduchu a vlhkost vzduchu.



Obr. 2.1 Diagramy tepelné pohody pro parametry $t = t_r$, φ , w



**Obr. 2.2 Diagram tepelné pohody pro parametry q_m , w , $t = t_r$
(při $\varphi = 50\%$, $I_{cl} = 1\text{clo}$)**



**Obr. 2.3 Diagram tepelné pohody pro parametry q_m , w , t , t_r
(při $\varphi = 50\%$, $I_{cl} = 1\text{clo}$)**

3. HODNOCENÍ TEPELNÉHO STAVU A TEPELNÉ POHODY PROSTŘEDÍ

Vzhledem k tomu, že tepelná pohoda prostředí závisí na řadě činitelů, pro zjednodušení hodnocení tepelného stavu prostředí se používají odvozené veličiny zahrnující společný účinek několika činitelů určujících tepelný stav prostředí, k nimž patří např. operativní teplota, nebo výsledná teplota měřená kulovým teploměrem.

3.1 Operativní teplota t_o

Operativní teplota je jednotná teplota uzavřeného černého prostoru, ve kterém by lidské tělo sdílelo radiací a konvekcí stejně tepla, jako ve skutečném teplotně nehomogenním prostředí.

Operativní teplota t_o (°C) se určí ze známé střední radiční teploty t_r (°C) a teploty vzduchu t (°C) dle vztahu

$$t_o = t_r + A (t - t_r), \quad (3.1)$$

kde A je funkcí rychlostí proudění vzduchu. Pro rychlost $w = 0,05$ až 1 m.s^{-1} je $A = 0.75 w^{0.16}$.

V případě, že $w \leq 0,2 \text{ m.s}^{-1}$ platí $t_o = t_g$.

Střední radiální teplotu lze stanovit dle vztahu

$$t_r = \left[(t_g + 273)^4 + k w^{0,6} (t_g - t) \right]^{0,25} - 273, \quad (3.2)$$

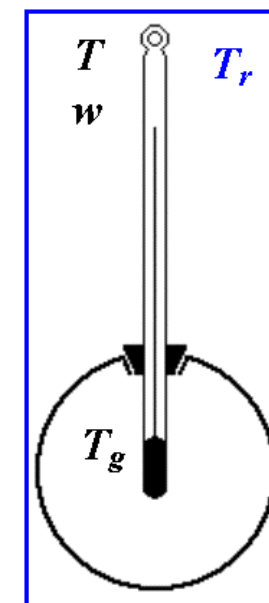
kde t_g je výsledná teplota kulového teploměru,

k je konstanta, která pro kulový teploměr o průměru 100 mm má hodnotu $k = 2,9 \cdot 10^8$ a pro kulový teploměr o průměru 150 mm má hodnotu $k = 2,5 \cdot 10^8$.

3.2 Výsledná teplota t_g

Výsledná teplota t_g [°C] je veličina, kterou lze přímo měřit kulovým teploměrem. Kulový teploměr (obr. 3.1) je kulová baňka z tenkého měděného plechu o průměru 150 mm s matným černým povrchem, nebo o průměru 100 mm, která má povrch pokrytý černým polyuretanem. Ve středu kulové baňky je teplotní čidlo (rtuťový teploměr, termočlánek, odporový teploměr).

V ustáleném stavu je sálavý tepelný tok z prostředí do kulové baňky v rovnováze s konvektivním tepelným tokem z povrchu koule do prostředí a teplota povrchu baňky se ztotožní s teplotou čidla na výsledné teplotě t_g .



Obr. 3.1
Kulový
teploměr

3.3 Hodnocení tepelného stavu a tepelné pohody v pracovním prostředí

Tepelná pohoda (zátěž teplem) na pracovišti se hodnotí podle průměrné operativní teploty, kterou se rozumí teplota vypočtená jako časově vážený průměr za efektivní dobu práce. V případě, že rychlost $w \leq 0,2 \text{ m.s}^{-1}$ lze hodnocení nahradit hodnocením podle výsledné teploty, tedy platí, že $t_o = t_g$.

Přípustné hodnoty operativní teploty t_o a výsledné teploty t_g jsou uvedeny v Nařízení vlády č. 93/2012 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění nařízení vlády č. 68/2010 Sb.

Přípustné hodnoty t_o a t_g jsou zde uvedeny v závislosti na:

- vykonávané činnosti (třídě práce),
- použitém oděvu ($I_{cl} = 1 \text{ clo}$ a $I_{cl} = 0,5 \text{ clo}$).

Současně je zde uveden **přípustný rozsah rychlosti proudění vzduchu** pro jednotlivé třídy práce a **relativní vlhkosti vzduchu (30 až 70 %)**.

Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulkách:

- pro pracoviště přirozeně nebo nuceně větraná
- pro klimatizovaná pracoviště tř. I a IIa.

Pro klimatizovaná a větraná pracoviště tř. I a IIa jsou zde také uvedeny **požadavky na přípustnou horizontální a vertikální nerovnost teplot.**

3.4 Hodnocení tepelného stavu prostředí ve veřejných objektech

Pro hodnocení tepelného stavu prostředí ve veřejných objektech - v pobytových místnostech některých staveb a v prostorách pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých se používá **výsledná teplota t_g** .

Požadavky na výslednou teplotu kulového teploměru, rychlost proudění vzduchu a relativní vlhkost vzduchu pro vnitřní prostory pobytových místností některých staveb jsou uvedeny ve Vyhlášce č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb. Jedná se o pobytové místnosti ubytovacích zařízení, zasedací místnosti staveb pro shromažďování většího počtu osob, haly kulturních a sportovních zařízení, učebny ve stavebách, které nejsou zařízením pro výchovu a vzdělávání, pobytové místnosti ústavů sociální péče, zdravotnických zařízení, výstavišť a staveb pro obchod.

Přípustné hodnoty výsledných teplot, rychlostí proudění vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu pro prostory pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých jsou uvedeny ve Vyhlášce 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.

3.5 Hodnocení tepelné pohody v mírném tepelném prostředí

Pro hodnocení tepelné pohody (tepelného komfortu) v mírném tepelném prostředí se používá norma ČSN ISO 7730 (Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu: říjen 2006).

Norma platí pro hodnocení celkového tepelného pocitu a stupně diskomfortu osob vystavených mírnému tepelnému prostředí.

Tato norma hodnotí tepelný stav prostředí pomocí ukazatelů PMV a PPD.

Ukazatel PMV (Predicted Mean Vote) předpovídá střední tepelný pocit podle sedmistupňové stupnice:

- +3 horko,
- +2 teplo,
- +1 mírně teplo,
- 0 neutrálně,
- 1 mírně chladno,
- 2 chladno,
- 3 zima.

Ukazatel *PMV* je možné vypočíst z \dot{Q}_m , R_{cb} , t , t_r , φ , w dle rovnic uvedených v citované normě.

Ukazatel *PPD* (Predicted Percentage Dissatisfied) předpovídá procentuální podíl osob, které budou nespokojeny s tepelnými podmínkami prostředí.

5% nespokojených – tepelná pohoda,

10% nespokojených – přípustné podmínky,

20% nespokojených – přijatelné podmínky.

Ze známé hodnoty ukazatele *PMV*, je možné vypočítat ukazatele *PPD* dle rovnice

$$PPD = 100 - 95 \exp(-0,03353 PMV^4 + 0,2179 PMV^2) [\%]. \quad (3.3)$$

Ukazatel *PMV* a *PPD* hodnotí tepelnou pohodu pro tělo celkově.

Citovaná norma také vyjadřuje místní tepelný diskomfort, který může být způsoben

- průvanem,
- vertikálním rozdílem teplot vzduchu,
- příliš teplou nebo chladnou podlahou,
- asymetrií radiační teploty.

Diskomfort v důsledku průvanu je vyjádřen, jako **procento osob obtěžovaných průvanem DR**. Je možné ho vypočítat z místní teploty vzduchu t , místní střední rychlosti vzduchu \bar{w} a z místní intenzity turbulence Tu

$$DR = (34 - t)(\bar{w} - 0,05)^{0,62}(0,37 \bar{w} Tu + 3,14), \quad (3.4)$$

kde $Tu = s/\bar{w}$ je intenzita turbulence,
 s je směrodatná odchylka místní rychlosti.

Procento nespokojených PD vlivem vertikálního rozdílu teploty vzduchu je zde vyjádřeno závislostí na vertikálním rozdílu teplot mezi hlavou a kotníky (rovnici i grafem).

Procento nespokojených PD vlivem příliš teplé nebo chladné podlahy je vyjádřeno v závislosti na teplotě podlahy (rovnici i grafem).

Procento nespokojených PD v důsledku asymetrie radiační teploty je zde vyjádřeno pro asymetrii způsobenou teplým stropem, chladnou stěnou, chladným stropem a teplou stěnou (rovnici i grafem).

V normě jsou zavedeny **tři kategorie tepelného prostředí označené A, B, C,** které jsou určeny maximálním procentem nespokojených osob - *PPD*

- kategorie A – *PPD* < 6
- kategorie B – *PPD* < 10
- kategorie C – *PPD* < 15

V příloze normy je **příklad doporučených operativních teplot t_o a rychlostí proudění vzduchu** pro různé typy budov nebo prostor při energetickém výdeji osob do 93 W/m^2 a pro kategorie tepelného prostředí A, B, C.

3.6 Hodnocení tepelného prostředí ve vozidlech

Pro posuzování tepelných podmínek v kabinách vozidel se používá dle normy ČSN EN ISO 14505–2 (Ergonomie tepelného prostředí – Hodnocení tepelného prostředí ve vozidlech – Část 2: Stanovení ekvivalentní teploty: srpen 2007) ekvivalentní teplota t_{eq} .

Tato teplota se může také použít k posuzování tepelných podmínek v dalších omezených prostorech s asymetrickými klimatickými podmínkami.

V praxi se ekvivalentní teplota stanoví a definuje vztahem

$$t_{eq} = t_p - \frac{\dot{q}}{\alpha_{cel}}, \quad (3.5)$$

kde t_p [°C] je povrchová teplota,

\dot{q} [W.m⁻²] – hustota tepelného toku konvekcí a radiací oděné osoby (suchá tepelná výměna),

α_{cel} [W.m⁻²K] – celkový součinitel přestupu tepla konvekcí a radiací.

Stanovení t_{eq} je vhodné provádět pomocí tepelných figurín nebo zahříváných čidel (plochých nebo elipsoidních).

Určuje se ekvivalentní teplota celého těla, segmentová ekvivalentní teplota, tj. pro jednotlivé části těla a také směrová a všesměrová ekvivalentní teplota.

Směrová t_{eq} se může změřit pouze plochým čidlem. Princip stanovení všesměrové t_{eq} spočívá ve změření celkového tepelného toku z povrchu zahřívaného elipsoidu se změřenou povrchovou teplotou.

V normě jsou také informativně uvedeny hodnoty t_{eq} celého těla za podmínky tepelně neutrální situace (tepelné pohody), a to v závislosti na druhu činnosti a oblečení.

3.7 Hodnocení tepelné zátěže pracovníka v horkém prostředí

Pro horké prostředí se určuje tepelná zátěže pracovníka dle ČSN ISO 7243 (Horká prostředí. Stanovení tepelné zátěže pracovníka podle ukazatele *WBGT*: 1993). **Tepelná zátěž pracovníka v horkém prostředí se hodnotí podle ukazatele *WBGT*** (teploty mokrého a kulového teploměru; wet bulb globe temperature).

Ukazatel *WBGT* je určen pro hodnocení průměrného účinku tepla na člověka během doby jeho činnosti.

Není vhodný: - pro hodnocení v krátkých časových intervalech,
- pro tepelné zátěže blízké tepelnému komfortu.

Ukazatel *WBGT* se počítá z naměřené teploty přirozeně větraného mokrého teploměru t_{nw} , výsledné teploty t_g , případně teploty vzduchu t dle vztahů:

pro prostory v budovách a venkovní prostory bez slunečního záření

$$WBGT = 0,7t_{nw} + 0,3 t_g \quad (3.6)$$

pro venkovní prostory se slunečním zářením

$$WBGT = 0,7t_{nw} + 0,2 t_g + 0,1 t \quad (3.7)$$

Referenční (přípustné) hodnoty ukazatele *WBGT* jsou uvedeny v citované normě v závislosti na metabolickém tepelném toku (činnosti člověka) pro normální pracovní oděv s tepelným odpor $I_{cl} = 0,6$ clo.