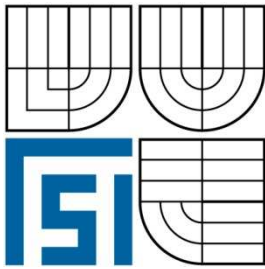


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

## HODNOCENÍ STAVU VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ INDOOR AIR QUALITY ASSESSMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

LIBOR DOLEŽAL

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. VLADIMÍR KREJČÍ, Ph.D.

BRNO 2009



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Doležal Libor

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Hodnocení stavu vnitřního prostředí**

v anglickém jazyce:

### **Indoor Air Quality Assessment**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě seznámení s činiteli ovlivňujícími pohodu prostředí bude vypracováno řešení způsobů měření činitelů určujících tepelnou pohodu člověka.

Cíle bakalářské práce:

Seznámit se s parametry používanými k posouzení kvality vnitřního mikroklimatu a se způsoby měření vybraných parametrů.

Seznam odborné literatury:

[1]Nový R. a kol.: Technika prostředí, České vysoké učení technické, Praha, 2000

[2]Chyský J., Hemzal K. a kol.: Větrání a klimatizace, Bolit B-press, Brno, 1993

[3]Székyová M., Ferstl K., Nový R.: Větrání a klimatizace, JAGA GROUP, Bratislava, 2006

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Vladimír Krejčí, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 22.10.2008

L.S.

---

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.

Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.

Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tato práce poskytuje přehled o činitelích působících na kvalitu vnitřního mikroklimatu s důrazem na faktory s vlivem na tepelnou pohodu. Zároveň poukazuje na nepohodu, kterou tyto faktory způsobují.

Jsou zde představeny jednotlivé základní způsoby a principy měření veličin potřebných k posouzení tepelné pohody. Práce není přímo návodem pro měření zmíněných veličin, ale nabízí možnost výběru vhodného měřicího přístroje podle účelu a rozsahu. Dále nabízí přehled o normách a vyhláškách spojených s danou problematikou.

## **ABSTRACT**

The thesis inform the reader about the agents that affect the indoor air quality, especially those related to thermal comfort. It also draws attention to discomfort caused by some of the agents. There are introduced basic methods and measurement procedures of quantities necessary to evaluate the thermal comfort. The thesis is not a direct manual to the measurement of the mentioned quantities but it guides the reader to the most suitable measuring instrument according to the measurement objective and range. Further it provides a review of standards and public notices related to this theme.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Tepelná pohoda, činitelé, mikroklima, vnitřní prostředí, hodnocení, měření, doporučení

## **KEYWORDS**

Thermal comfort, agents, microclimate, indoor climate, assessments, measurement, recommendation

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

DOLEŽAL, L. *Hodnocení stavu vnitřního prostředí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 49 s., 2 přílohy. Vedoucí práce Ing. Vladimír Krejčí, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Hodnocení stavu vnitřního prostředí vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 25. května 2009

.....  
Libor Doležal

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych tímto poděkoval Ing. Vladimíru Krejčímu, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

# OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>1 ČINITELE OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU VNITŘNÍHO MIKROKLIMATU .....</b>	<b>11</b>
<b>2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ TEPELNOU POHODU.....</b>	<b>13</b>
2.1 Tepelná bilance člověka (tělesná činnost).....	14
2.1.1 Rovnice tepelné pohody .....	15
2.1.2 Působení tepla a chladu na člověka .....	16
2.2 Oděv .....	17
2.3 Teplota vzduchu .....	17
2.4 Střední radiační teplota.....	18
2.5 Rychlost proudění vzduchu .....	20
2.6 Vlhkost vzduchu .....	22
2.7 Tělesná konstituce člověka.....	23
<b>3 HODNOCENÍ TEPELNÉHO STAVU PROSTŘEDÍ.....</b>	<b>24</b>
3.1 Pomocí základních fyzikálních veličin.....	24
3.2 Pomocí odvozených fyzikálních veličin.....	24
3.2.1 Výsledná teplota měřená kulovým teploměrem .....	24
3.2.2 Operativní teplota .....	24
3.2.3 Ukazatele PMV, PPD .....	25
3.3 Hodnocení pomocí speciálních přístrojů .....	27
<b>4 MĚŘENÍ ČINITELŮ URČUJÍCÍCH TEPELNOU POHODU ČLOVĚKA.....</b>	<b>28</b>
4.1 Měření teploty vzduchu .....	28
4.1.1 Dilatační teploměry .....	28
4.1.2 Tlakové teploměry .....	30
4.1.3 Odporové teploměry .....	30
4.1.4 Termoelektrické teploměry.....	30
4.2 Měření rychlosti proudění vzduchu .....	30
4.2.1 Rotační anemometry.....	31
4.2.2 Žárové anemometry .....	31
4.2.3 Katateploměry .....	32
4.3 Měření vlhkosti vzduchu .....	34
4.3.1 Dilatační vlhkoměry .....	34
4.3.2 Psychrometry .....	34
4.3.3 Vlhkoměry na principu rosného bodu (kondenzační vlhkoměry).....	35
4.4 Měření střední radiační teploty.....	36
4.4.1 Kulový teploměr .....	36
4.4.2 Dva katateploměry.....	36
4.4.3 Dvoukulový radiometr.....	37
4.4.4 Čidlo konstantní teploty .....	38
4.5 Měřič tepelného komfortu .....	38
<b>5 OBECNÁ DOPORUČENÍ K ZAJIŠTĚNÍ VNITŘNÍHO MIKROKLIMATU.....</b>	<b>39</b>
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>40</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>41</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN.....</b>	<b>43</b>
<b>FYZIKÁLNÍ KONSTANTY, SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....</b>	<b>44</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>45</b>
<b>PŘÍLOHA A.....</b>	<b>46</b>
<b>PŘÍLOHA B.....</b>	<b>48</b>

## ÚVOD

Jednou z hlavních potřeb lidí je bezpochyby bydlení. Ve vnitřních prostorách budov tráví člověk více jak tři čtvrtiny svého života, proto je zde nutné zajistit podmínky zdravého pobytu, produktivní práce, ale také naší bezpečnosti.

Každý z nás se ve svém obydlí dříve nebo později setkává s celou řadou problémů, které musí řešit, aby se zde cítil dobře. Např. jak zajistit správný tepelný stav prostředí, čisté ovzduší, správné osvětlení, popř. jak se chránit proti hluku, elektromagnetickým a ionizujícím zářením a další [1]. Ve zvýšené míře se to týká pracovišť, neboť zde mohou být ovlivněny pracovní výkony člověka.

Tato problematika není záležitostí pouze současnosti. Ve všech stádiích svého vývoje se lidstvo zabývalo otázkami jak co nejlépe přežít v daném životním prostředí. Příkladem toho je Sokrates, který se již ve své době (asi 400 let př. n. l.) zabýval myšlenkou jak stavět domy, aby v nich byla zajištěna pohoda prostředí pro člověka. Postupem času se k této potřebě přidala snaha o vytvoření jistého komfortu v obytných prostorách, popřípadě zajištění dostačujících podmínek a bezpečnosti práce v průmyslových podnicích. V dávných dobách existovalo jen velmi málo nástrojů jak tepelnou pohodu ovlivnit. V případě tepla se používaly vějíře, v opačném případě pomohl oheň. Průlom přinesla až průmyslová revoluce, kdy se zdokonalila vytápěcí technika. Začátkem 20. století, kdy se k ní přidalo i strojní chlazení, bylo možné budovu jak přetopit, tak podchladit [2]. To bylo podnětem pro výzkum pohody prostředí.

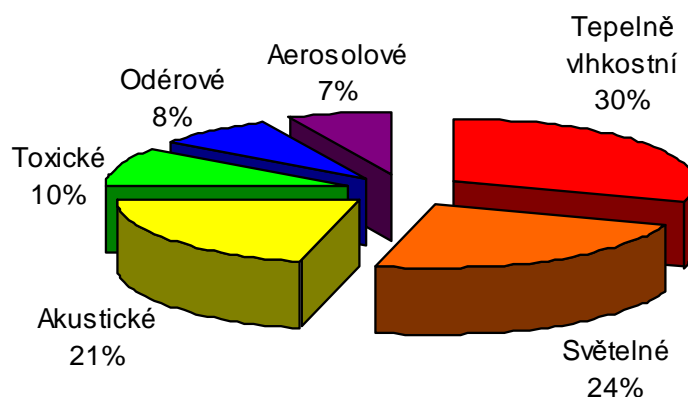
Prostředí vnitřní je tedy důležitou součástí životního prostředí. Aby se v něm člověk cítil dobře, musí dojít k souhře hned několika mikroklimatických faktorů. O hlavních činitelích, podle kterých se hodnotí kvalita mikroklimatu (s důrazem na faktory ovlivňující pohodu prostředí), jejich analýze a měření pojednává tato publikace.

# 1 ČINITELE OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU VNITŘNÍHO MIKROKLIMATU

Stav vnitřního mikroklimatu se tvoří na základě tepelných a látkových výměn. Primární jsou výměny mezi exteriérem a interiérem. Sekundární výměny pak probíhají mezi vnitřními tepelnými a látkovými zdroji. Tyto výměny by měly být nějakým způsobem korigovány tak, aby zde byl zajištěn takový stav, který by uživateli zajišťoval podmínky pro tvořivou práci a především pro zdravý pobyt. Takový optimální stav nazýváme *pohoda prostředí* [1,3].

Člověk vnímá pohodu prostředí jako jeden celek, avšak pokud se zaměříme pouze na některé, nebo některý činitel z celkové pohody, dostáváme pohodu dílčí. Optimální úroveň bydlení je pak tvořena optimální úrovní těchto dílčích složek. Ty lze podle povahy faktorů, které zahrnují, rozdělit na: tepelně-vlhkostní, toxickou, oděrovou, aerosolovou, aerosolovou, mikrobiální, elektrostatickou, ionizační, elektromagnetickou, elektroiontovou, akustickou, světelnou a psychickou [4].

Dominantní vliv na stav prostředí mají tepelně-vlhkostní parametry obytné místnosti, které jsou člověkem nejvíce pocíťovány (graf 1.1). Z hlediska dopadu na lidské zdraví je pak nejdůležitějším faktorem kvalita vzduchu.



Graf 1.1 Podíl dílčích složek na kvalitu mikroklimatu vzhledem k pocitům člověka  
*hodnoty převzaty z [3]*

Prozkoumáme-li hlouběji dílčí složky pohody prostředí, dostáváme jednotlivé činitele, jejichž stav nám poslouží k hodnocení kvality vnitřního prostředí:

- |  |   |
|--|---|
| 1) čistota okolního vzduchu                    | 11) intenzita ionizujícího záření                       |
| 2) teplota vzduchu                             | 12) prostorové, dispoziční a estetické řešení prostředí |
| 3) teplota povrchu stěn a předmětů             | 13) tělesná konstituce člověka                          |
| 4) rychlost proudění vzduchu                   | 14) činnost člověka                                     |
| 5) vlhkost vzduchu                             | 15) schopnost aklimatizace                              |
| 6) oděv  | 16) klima, rasové zvláštnosti a návyky lidí             |
| 7) intenzita osvětlení                         | 17) další vlivy jako tlak vzduchu, psychické stavy atd. |
| 8) hluk, vibrace a ultrazvuk                   |   |
| 9) koncentrace iontů ve vzduchu                |   |
| 10) intenzita elektrických a magnetických polí | [1]   |



## 2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ TEPELNOU POHODU

Pro bližší poznání vlivu faktorů působících na tepelný pocit člověka je dobré objasnit, co vlastně znamená pojem *tepelná pohoda* (TP). Jak se vyvíjela technika prostředí jako taková, vyvíjela se i definice pojmu tepelná pohoda prostředí. Nejčastěji se používaly definice:

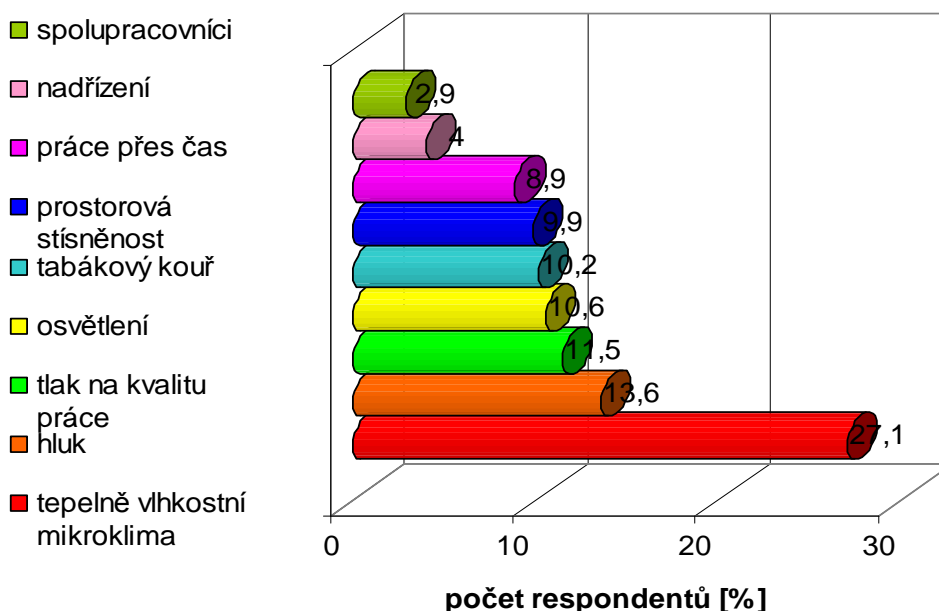
- „Tepelná pohoda znamená, že je dosaženo takových tepelných poměrů, kdy člověku není ani chladno, ani příliš teplo - člověk se cítí příjemně.“ [7]
- „Tepelnou pohodou (někdy též tepelnou neutralitou) se označuje stav, kdy prostředí odnímá člověku jeho tepelnou produkci bez výrazného (mokrého) pocení.“ [8]

V současnosti se TP hodnotí nejčastěji dle definice:

- „Tepelná pohoda je stav mysli, jenž vyjadřuje spokojenost s teplotním klimatem a který vychází ze subjektivního hodnocení.“ [9]

Jelikož každý člověk disponuje individuálními fyziologickými funkcemi, může se hranice TP lišit u každého jedince (viz obr. 3.1). Není tedy možné jakoukoli kombinací faktorů ovlivňujících tepelný stav prostředí zajistit TP pro všechny osoby z nějaké skupiny ve společném prostoru [10]. TP je tedy pojem relativní.

Důležitost TP podtrhuje hned několik průzkumů {průzkum bank a pojišťoven v Německu (the German Trade Union, Bank and Insurances, HBV) (graf 2.1); INFRATEST - INQUIRY publikovaný Asociací ekologických výzkumných ústavů (the Association of Ecological Research Institutes – AGOeF)} [4]. Všechny poukazují na to, že TP člověka má daleko výraznější vliv na jeho subjektivní pocit pohody i produktivitu práce, než chemické látky nebo obtěžující hluk.



Graf 2.1 Faktory prostředí (stres), které lidé pociťují v interiéru budov  
Průzkum bank a pojišťoven v Německu (the German Trade Union, Bank and Insurances,  
HBV) (Weber 1995)  
*hodnoty převzaty z [4]*

TP člověka závisí převážně na tepelné rovnováze jeho těla jako celku s okolním prostředím. Tuto rovnováhu mohou ovlivňovat:

**a) osobní faktory:**

- tělesná činnost
- oděv

**b) faktory související s vnitřním prostředím:**

- teplota vzduchu
- střední radiální teplota (teplota okolních ploch)
- vlhkost vzduchu
- rychlost proudění vzduchu

Všechny tyto faktory se mohou navzájem ovlivňovat. Tepelná pohoda prostředí je pak tvořena jejich optimálním nastavením. O vzájemné interakci a vhodném nastavení těchto činitelů vypovídají grafy v příloze A.

Jestliže jsou tyto činitele odhadnuty nebo změřeny, je možné zhodnotit zda je dosaženo TP a dokonce předpovědět tepelný pocit těla jako celku výpočtem předpovědi středního tepelného pocitu PMV (kapitola 3.2.3).

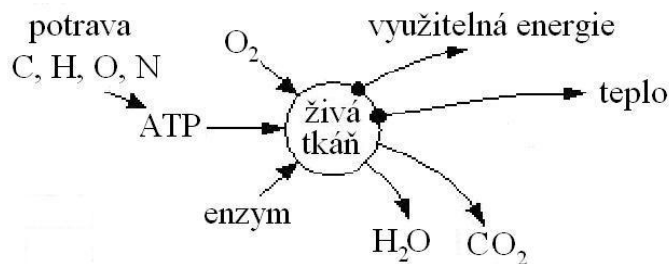
Na TP mají částečně vliv také:

**c) doplňující faktory**

- tělesná konstituce člověka
- schopnost aklimatizace - adaptace na venkovní klima
- (podkožní tuk, věk a pohlaví, jídlo a pití, aklamace - adaptace na vnitřní prostředí) [2]

## 2.1 Tepelná bilance člověka (tělesná činnost)

Lidské tělo je nepřetržitým zdrojem tepelné energie (obr. 2.1). Ta může být produkována buď na základě spalování potravy (bazální metabolismus) nebo při fyzické práci člověka (svalový metabolismus). Jen nepatrná část této energie je přeměněna na mechanickou práci. Aby nedošlo ke změně teploty člověka, která musí být asi  $36,5 \pm 0,5$  °C, je zbylá tepelná energie převáděna do okolí. [1,2]



Obr. 2.1 Přeměna energie v živé tkáni [11]

Příklady množství tepla uvolňovaného při různých činnostech jsou uvedeny v tabulce 2.1.

Tabulka 2.1 Měrný energetický výdej, mechanická účinnost

Činnost	Měrný energetický výdej $q_m$		Mechanická účinnost $\eta$
	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$	[met]	[-]
Ležení	46	0,8	0
Sezení, uvolněné	58	1,0	0
Činnost v sedě (kancelář, obydlí, škola, laboratoř)	70	1,2	0
Lehká činnost vstojе (nakupování, lehký průmysl)	93	1,6	0 až 0,1
Středně namáhavá činnost vstojе (prodavač, domácí práce, strojírenský závod)	116	2,0	0,1 až 0,2
Chůze po rovině:			
2 km·h <sup>-1</sup>	110	1,9	0,1 až 0,2
3 km·h <sup>-1</sup>	140	2,4	
4 km·h <sup>-1</sup>	165	2,8	
5 km·h <sup>-1</sup>	200	3,4	

Hodnoty  $q_m$  převzaty z literatury [12],  $\eta$  z literatury [13];

*Poznámka:* 1 met = 58,2 W·m<sup>-2</sup>. Pro průměrnou velikost povrchu člověka 1,72 m<sup>2</sup> to odpovídá zhruba 100 W.

Hodnotami metabolismu  $q_m$  se blíže zabývá norma ČSN EN ISO 8996 - Ergonomie tepelného prostředí - Určování metabolismu.

### 2.1.1 Rovnice tepelné pohody

První podmínkou TP je, aby přebytečná energie, která nebyla spotřebována na mechanickou práci, byla v rovnováze s tepelnou energií odváděnou do okolí vedením, konvekcí, radiací, vypařováním a dýcháním [1]. To zajistí, že je tělo v tepelné rovnováze, kterou lze vyjádřit rovnicí:

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

kde

$\dot{Q}_m$  - metabolický tepelný tok,  $\dot{Q}_m = q_m \cdot S$  [W], který závisí na činnosti člověka

$q_m$  - hustota metabolického tepelného toku [W·m<sup>-2</sup>]

S - plocha povrchu těla [m<sup>2</sup>]

$\eta$  - mechanická účinnost lidského těla [-]

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

Mechanická účinnost lidského těla je velmi malá (0 až 0,25). Stejně tak tepelný tok přenášený vedením tvoří jen velmi malou část z celkové tepelné bilance člověka. Proto většinou tyto položky zanedbáváme.

Rovnice 2.1 se nazývá *první podmínka pro dosažení tepelné pohody*. Další podmínkou je, aby tělo bylo v tepelné rovnováze, a to bez výrazných zásahů tělesné termoregulace. V praxi to znamená, že člověk se bude cítit příjemně (bude v tepelné rovnováze), aniž by si k tomu napomáhal mokřím pocením nebo svalovým třesem. O tom vypovídá *druhá a třetí podmínka tepelné pohody* (rovnice 2.2;2.3), kde je střední teplota pokožky a tepelný tok mokřím pocením vyjádřen v závislosti na činnosti člověka:

$$t_k = 35,7 - 0,0275 \cdot \dot{q}_m \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2.2)$$

kde

$t_k$  - střední teplota pokožky [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\dot{q}_m$  - hustota metabolického tepelného toku [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]

$$\dot{Q}_{vm} = 0,42 \cdot S \cdot (\dot{q}_m - 58) \quad [\text{W}] \quad (2.3)$$

kde

$\dot{Q}_{vm}$  - tepelný tok mokřím pocením [W]

$S$  - plocha povrchu těla [ $\text{m}^2$ ]

$\dot{q}_m$  - hustota metabolického tepelného toku [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]

Užitím podmínek TP spolu s uvažováním všech veličin, na kterých závisejí jednotlivé tepelné toky přenášené z lidského těla, dostáváme rovnici TP. Ta bývá nejčastěji vyjádřena jako funkce závislosti  $\dot{Q}_m = f(R_{cl}, f_{cl}, t, w, \bar{t}_r, \varphi)$ , kde

$\dot{Q}_m$  - metabolický tepelný tok [W] } znázorňuje činnost člověka

$R_{cl}$  - tepelný odpor oděvu [ $\text{m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ ]

$f_{cl}$  - poměr povrchu oblečeného člověka k povrchu lidského těla [-] } vlastnosti oděvu

$t$  - teplota okolního vzduchu [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$w$  - rychlost proudění vzduchu [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

$\bar{t}_r$  - střední radiační teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\varphi$  - relativní vlhkost vzduchu [%]

} tepelný stav prostředí [1]

### 2.1.2 Působení tepla a chladu na člověka

Přenos nespotřebované energie, kterou produkuje lidský organismus, je ovlivňován termoregulačním centrem těla. Uplatňuje se termoregulace chemická, vazomotorická a vypařovací [1].

Na stoupající produkci metabolického tepla nebo na teplé prostředí reaguje organismus rozšiřováním podkožních cév (vazodilatace). To má za následek zvýšené zásobování pokožky krví. Ta zvýší svoji teplotu, což vede ke vzrůstajícímu odvodu tepla z povrchu těla. Pokud stále nedochází k obnovení tepelné rovnováhy, jsou aktivovány potní žlázy. Nastane další prvek tepelné regulace - vypařování potu. K ochlazení odpařováním však dojde pouze tehdy, když se vyprodukovaný pot do ovzduší vypaří, tzn. když není vzduch nasycen vodními

parami. Pokud ani jeden z prvků tepelné regulace nedokáže zajistit tepelnou rovnováhu, nastává přehřívání organismu (hypertermie), které může končit smrtí [2].

Pokud je naopak tělo vystaveno chladnému prostředí, podkožní cévy se smršťují (vazokonstrikce). Sníží se teplota pokožky a minimalizují se ztráty tepla do okolí. To může být doprovázeno postavením chloupků na kůži, čímž se zlepší tepelná izolace kůže. Dalším stádiem obnovování tepelné rovnováhy je termogeneze neboli třesení svalů. Tím se až desetinásobně zvýší tepelná produkce těla. Některé tělesné části jako např. prsty mohou mít nedostatek krve a může dojít k jejich omrzání. Pokud ani jedna z uvedených fyziologických reakcí nezajistí tepelnou rovnováhu, dojde k podchlazení organismu (hypotermie). Smrt nastává při poklesu tělesné teploty na 30 až 25°C. [2]

## 2.2 Oděv

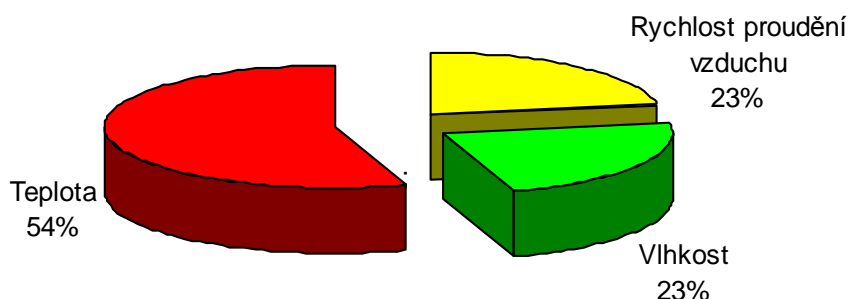
Je známo, že oděvem se dá dobře reagovat na naše pocity tepla či chladu. Tepelný tok odváděný z povrchu lidského těla do okolí je závislý mimo jiné i na tepelném odporu oděvu  $R_{cl}$  [ $\text{m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ ]. Změnou oděvu tedy můžeme zvýšit, popř. snížit tepelný odpor oděvu, a tím i tok tepelné energie z těla do okolního prostředí. Pro účely studia TP byla vytvořena veličina  $I_{cl}$  s jednotkou [clo], která se uvádí i v normách. Tepelný odpor oděvu  $I_{cl} = 1\text{ clo}$  odpovídá izolační hmotě s tepelným odporem  $R_{cl} = 0,155\text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ , což je izolační hodnota pro běžný pánský oblek s bavlněným spodním prádlem [2,12].

Celkovou izolaci oděvu  $I_{cl}$  lze odhadnout pomocí tabulek udávajících tepelné izolace typických kombinací oděvu, nebo součtem izolačních hodnot  $I_{clu}$  jednotlivých částí oděvu. Obě tabulky se nacházejí v normě ČSN ISO 7730 příloha C a pro orientaci jsou uvedeny i v příloze B této práce. Uvedené hodnoty jsou pro klidný vzduch ( $w < 0,2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Při vyšších rychlostech proudění vzduchu a stejně tak u oděvů nasáklých vlhkostí se tepelný odpor oděvu snižuje.

Další informace o tepelné izolaci oděvů poskytuje ČSN EN ISO 9920 - Ergonomie tepelného prostředí - Hodnocení tepelné izolace oděvu a odporu oděvu proti odpařování.

## 2.3 Teplota vzduchu

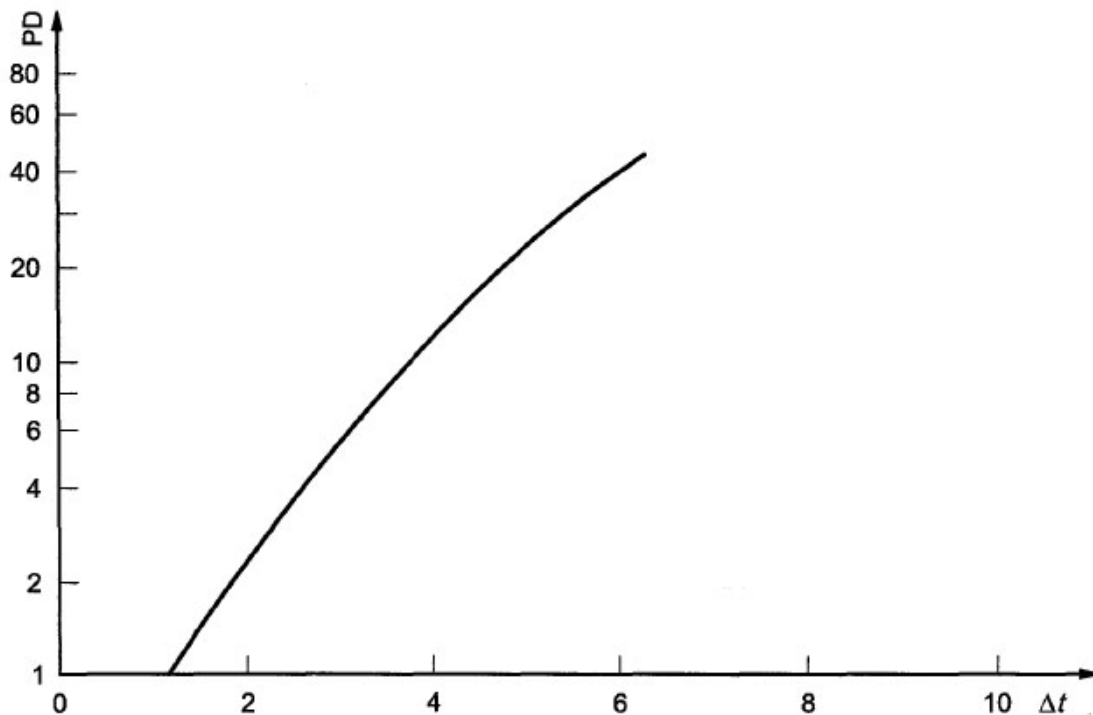
Teplota vzduchu  $t$  je nejužívanějším ukazatelem tepelného stavu prostředí. Je to základní fyzikální a termodynamická stavová veličina s dominantním vlivem na TP (graf 2.2).



Graf 2.2 Podíl faktorů na tepelně-vlhkostím mikroklimatu  
hodnoty převzaty z [3]

S teplotou vzduchu souvisí jak celkový diskomfort (teplo, zima), tak diskomfort způsobený vertikálním rozdílem teploty mezi hlavou a kotníky  $\Delta t$  [°C].

ČSN EN ISO 7730 obsahuje výpočet počtu nespokojených  $PD$  [%] jako funkci vertikálních teplot pro  $\Delta t < 8$  °C. Z obrázku 2.2 vyplývá, že optimální nastavení vertikálního rozdílu teplot je pro  $\Delta t < 3$  °C.



Obr. 2.2 Počet nespokojených  $PD$  [%] jako funkci vertikálních teplot  $\Delta t$  [°C] [12]

Obrázek platí pro rostoucí teploty. Při klesajících teplotách jsou pak lidé na rozdíl teplot méně citliví [12].

## 2.4 Střední radiální teplota

V interiéru je nekonečně mnoho jednotlivých ploch, z nichž každá má svoji teplotu. V praxi jsou tyto teploty nahrazovány jedinou hodnotou tzv. střední radiální teplotou  $\bar{t}_r$ . Ta bývá někdy též nazývána jako střední teplota sálání ploch. Je definována jako: „Myšlená společná teplota všech okolních ploch, při níž by byl radiální tepelný tok přenášený mezi povrchem oděvu a okolními plochami stejný jako ve skutečnosti.“ [1]

Tato veličina byla zavedena pro usnadnění výpočtu množství tepla, sdíleného sáláním mezi povrchem těla a jednotlivými obklopujícími plochami v prostoru, tzn. k posouzení sálavého účinku všech okolních ploch [14].

Střední radiální teplotu  $\bar{t}_r$  lze stanovit výpočtem z rychlosti proudění vzduchu  $w$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] a výsledné teploty měřené kulovým teploměrem  $t_g$  [°C] podle vztahů [1]:

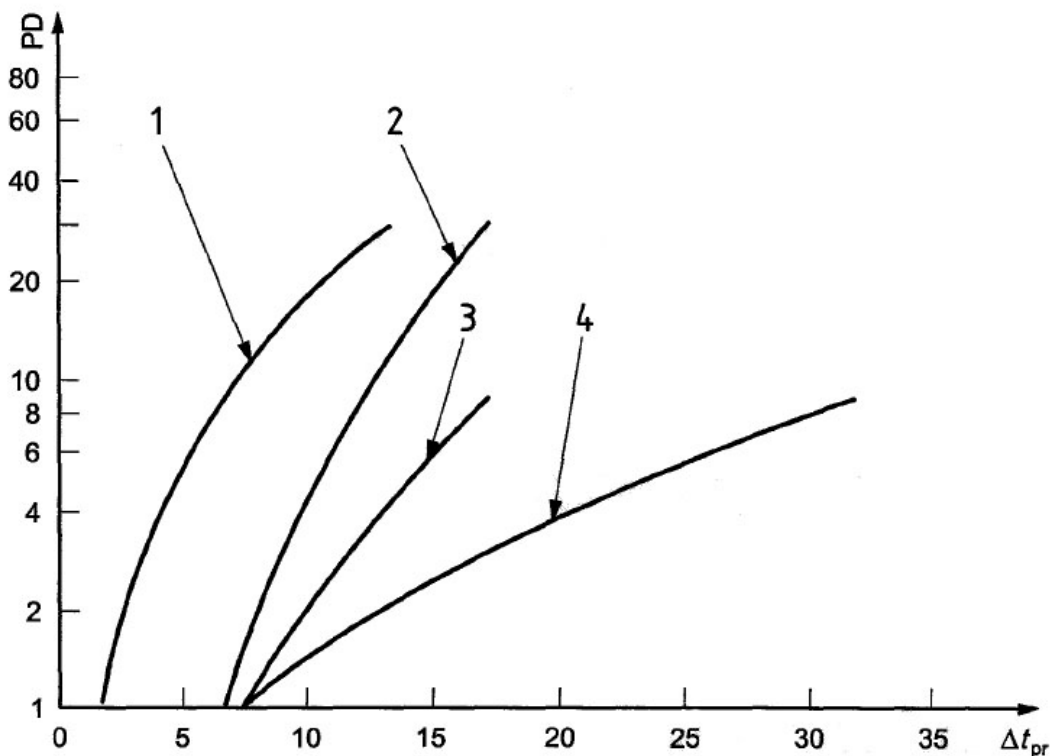
$$\bar{t}_r = \left[ (t_g + 273)^4 + 2,9 \cdot 10^8 \cdot w^{0,6} (t_g - t)^4 \right]^{1/4} - 273 \quad [^\circ\text{C}] \quad (2.5)$$

- pro výslednou teplotu kulového teploměru  $t_g$  o průměru 0,10 m

$$\bar{t}_r = \left[ (t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot w^{0,6} (t_g - t)^4 \right]^{1/4} - 273 \quad [^\circ\text{C}] \quad (2.6)$$

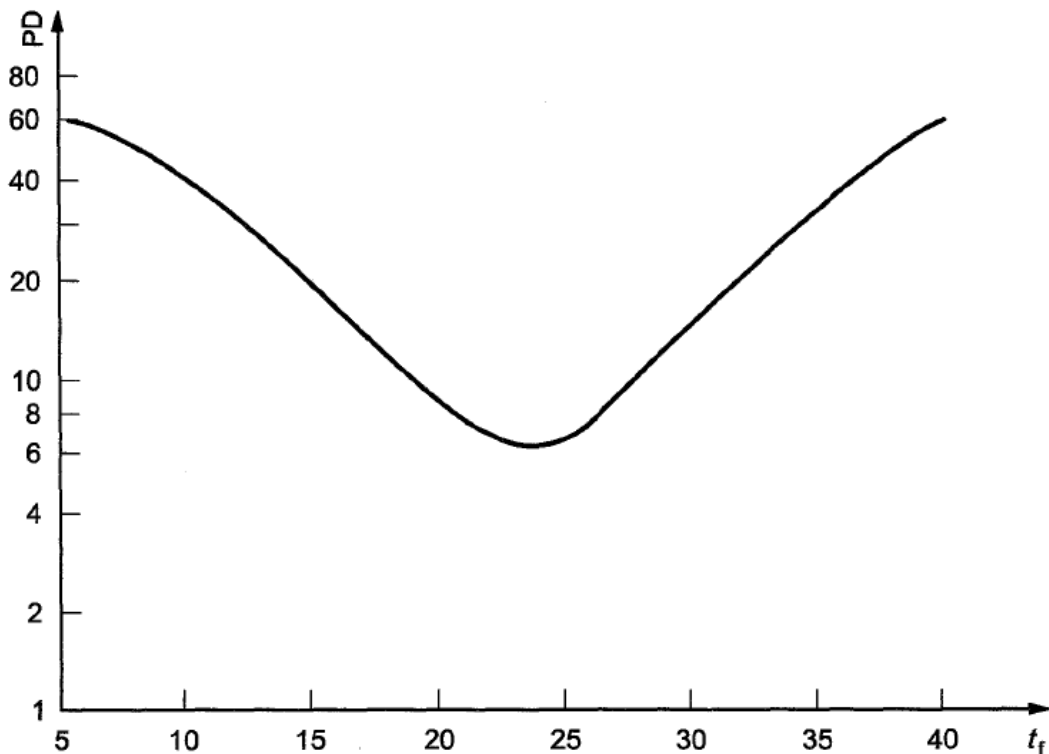
- pro výslednou teplotu kulového teploměru  $t_g$  o průměru 0,15 m

Radiační teploty jednotlivých ploch mohou opět způsobit nepohodu. Stane se tak např. při asymetrické radiaci – převážně u teplých stropů a chladných zdí (obr. 2.3). Touto problematikou se opět zabývá ČSN EN ISO 7730, která obsahuje výpočty počtu nespokojených  $PD$  [%] v závislosti na asymetrii radiační teploty způsobené: 1 - teplým stropem, 2 – chladnou stěnou, 3 – chladným stropem a 4 – teplou stěnou.



Obr. 2.3 Počet nespokojených  $PD$  [%] jako funkci asymetrické radiace  $\Delta t_{pr}$  [°C] [12]

Norma zároveň udává podíl nespokojených spojený s problémem teplých a chladných podlah (obr. 2.4). I když v tomto případě je teplo na člověka přenášeno spíše vedením.



Obr. 2.4 Počet nespokojených  $PD$  [%] v závislosti na teplotě podlahy  $t_f$  [°C] [12]

Nejmenší počet nespokojených je pak dle grafu při teplotě podlahy okolo 24 °C.

## 2.5 Rychlost proudění vzduchu

Na rychlosti proudění vzduchu v prostoru  $w$  výrazně závisí odpařování vlhkosti z pokožky a tudíž i přenos tepla mezi osobou a prostředím. Není stanovena žádná minimální hranice rychlosti proudění vzduchu, která je nutná pro stanovení tepelného komfortu. Zvyšováním rychlosti vzduchu je možné vyrovnávat tepelný vjem způsobený vyššími teplotami. Lze toho dosáhnout jednoduše otevřením oken nebo použitím větráků. Pokud je ale celý povrch těla, nebo jeho část vlivem proudícího vzduchu nadměrně ochlazována, může dojít k lokálnímu ale i celkovému podchlazení organismu. Následky mohou vést až ke zdravotním problémům [12].

Toto nadměrné proudění vzduchu bývá označováno jako průvan. Je definován jako nežádoucí místní ochlazování těla způsobené pohybem vzduchu a obecně je obtěžujícím faktorem. Pokud toto místní ochlazování těla způsobí, že rozdíl teplot mezi úrovní hlavy a nohou je větší než 3 °C (obr. 2.2), bývá to pocíťováno velmi nepříznivě. Tento problém může být zapříčiněn otevřením oken a dveří, ale i v klimatizovaných místnostech a to v případě, kdy je přívod vzduchu podlahou, nebo je směřovaný do oblasti hlavy. Dalšími častými zdroji průvanu jsou různé netěsnosti oken, dveří, konstrukcí budovy, nadměrné ochlazování zpoceně pokožky při používání stolního ventilátoru v letním období, vzduchová sprcha v provozech se zdroji tepla atd. [12,15]

Průvan se vyjadřuje jako předpověď procenta osob obtěžovaných průvanem. Hodnocení průvanu  $DR$  (Draught Rating) dle literatury [12] vyjadřuje rovnice:

$$DR = (34 - t) \cdot (w - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot w + T_u + 3,14) \quad [\%] \quad (2.7)$$

kde

$t$  - místní teplota vzduchu ve stupních Celsia, 20 °C až 26 °C;

$w$  - místní střední rychlost proudění vzduchu, < 0,5 m·s<sup>-1</sup>

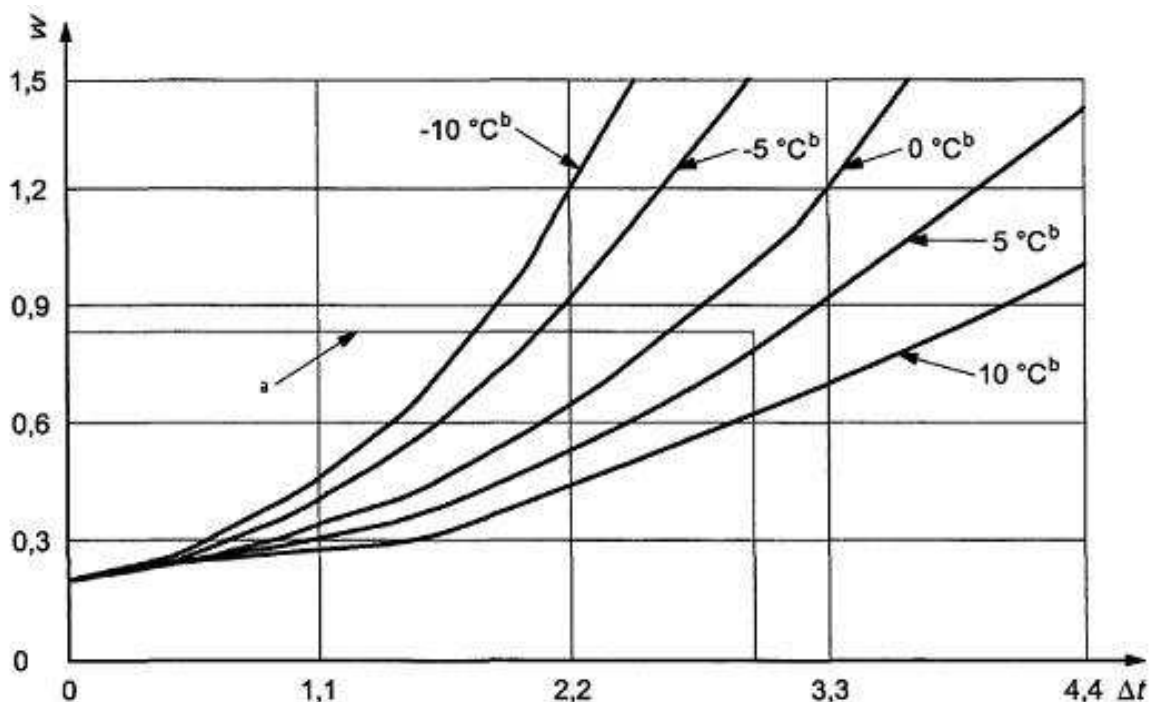
$T_u$  - místní intenzita turbulence v procentech, 10 % až 60 % (není-li známa, může se použít 40 %)

Pro  $w < 0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ : pomocí  $w = 0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Pro  $DR > 100 \%$ : pomocí  $DR = 100 \%$

Tato rovnice platí pro osoby vykonávající lehkou práci převážně v sedě, hodnotící svůj tepelný pocit po celém těle spíše neutrálně a pro předpověď průvanu pocíťovaném na krku. Při činnostech vstojie bývá pocit průvanu nižší než při sezení (< 1,2 met) a u osob pocíťující prostředí spíše jako teplejší než neutrální. [12]

Vyšší rychlosti proudění se zpravidla používá k vyrovnání tepelné nepohody způsobené zvýšenou teplotou. Tomu lze snadno dosáhnout pouhým otevřením oken nebo použitím příslušného ventilátoru. Při velmi teplých letních dnech však i při použití těchto prostředků nemusí být TP dosaženo. Jak velká rychlost je potřeba k vyrovnání zvýšené teploty a míru možného zvýšení teploty uvádí obr. 2.5.



Obr. 2.5 Rychlost proudění vzduchu potřebná k vyrovnání zvýšené teploty [12]

$\Delta t$  - teplota zvýšená nad 26 °C

$w$  - střední rychlost proudění vzduchu [m·s<sup>-1</sup>]

$a$  - limity pro lehkou práci vykonávanou převážně v sedě ( $\Delta t < 3 \text{ °C}$  a  $w < 0,82 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

$b$  -  $(\bar{t}_r - t)$ , [°C] ( $t$  - teplota vzduchu [°C],  $\bar{t}_r$  - střední radiační teplota [°C])

Obrázek je konstruován pro typické letní oblečení (0,5 clo), sedavou činnost (1,2 met) a platí pro oteplení nad 26 °C se stejně rostoucími teplotami  $\bar{t}_r$  a  $t$ . Výhody, které lze získat zvýšenou rychlostí proudění vzduchu, jsou závislé na oděvu, činnosti a rozdílu mezi teplotami oděvu, kůže a teplotou vzduchu. Výchozím bodem pro křivky v grafu je teplota 26 °C a rychlost proudění vzduchu 0,20 m·s<sup>-1</sup>. Pro efektivitu ochlazování je výhodnější, když je střední radiační teplota vyšší než teplota vzduchu [12].

Při nastavení optimální rychlosti proudění vzduchu panují mezi lidmi velké individuální rozdíly. Proto je dobré, zvláště při použití klimatizace a ventilátorů, aby každý ovlivňovaný jedinec měl možnost nastavení rychlosti proudění vzduchu [12].

## 2.6 Vlhkost vzduchu

Vlhkostí vzduchu se rozumí množství vodních par ve vzduchu. Vyjadřuje se hned několika způsoby (absolutní vlhkost vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, měrná vlhkost vzduchu atd.). Pro účely studia kvality mikroklimatu je však nejužívanější právě relativní vlhkost vzduchu.

### Relativní vlhkost vzduchu

„Je definována jako poměr hmotnosti vodní páry obsažené v objemové jednotce vlhkého vzduchu a hmotnosti vodní páry, která by byla v objemové jednotce vlhkého vzduchu obsažena, kdyby byl tento při téže teplotě a celkovém tlaku vlhkostí nasycen, tj. kdyby obsahoval sytou vodní páru.“[16]

$$\varphi = \frac{p_p}{p_p''} \quad [\%] \quad (2.8)$$

- $\varphi$  - relativní vlhkost vzduchu [%]
- $p_p$  - parciální tlak vodních par ve vzduchu [Pa]
- $p_p''$  - tlak syté vodní páry při téže teplotě [Pa]

Obsah vodních par uvnitř budovy je závislý jednak na stavu vodních par v exteriéru a jednak na zdrojích vodních par v interiéru. Těmi mohou být různé aktivity člověka jako sprchování ( $2600 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ ), vaření ( $1500 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ ), sušení prádla ( $500 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ ), nebo člověk samotný ( $30$  až  $300 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Zvyšování vlhkosti v bytech může být zapříčiněno i tepelně technickými závadami stavby a porušením stavební konstrukce. Stěny, stropy i podlahy musí mít v každém místě vnitřní povrchovou teplotu nad teplotou rosného bodu. V opačném případě nastává masivní nárůst plísní [4,15].

Při větrání v zimě je přiváděný vzduch do interiéru suchý. Jeho relativní vlhkost může klesnout i pod 20 %. Je to zapříčiněno tím, že vlivem nízkých teplot vodní páry kondenzují popřípadě mrznou a padají na zem [4].

Naproti tomu v letním období je obsah vodních par ve vzduchu velký, protože s rostoucí teplotou vzduchu roste jeho schopnost pohlcovat vodní páry. Po ochlazení přivedeného vzduchu na vnitřní teplotu se relativní vlhkost vzduchu může blížit i svému nasycení 100 % [4].

Vlhkost vzduchu sice není člověkem vnímána tak intenzivně jako třeba teplota, ale i tak může nepříznivě působit na stav jedince. Doporučované hodnoty jsou v rozmezí 30-70 % relativní vlhkosti. Při mírných teplotách do  $26 \text{ }^\circ\text{C}$  a činnosti do 2 met má vlhkost vzduchu jen malý vliv na tepelné vnímání. Zvýšení relativní vlhkosti o 10 % je vnímáno jako zvýšení teploty o  $0,3 \text{ }^\circ\text{C}$  [4,12].

V otopné sezóně, kdy relativní vlhkost klesne pod 20 % dochází i u zdravých jedinců k vysychání sliznice dýchacích cest, snižuje se tvorba hlenu a klesá aktivita řasinek na nosní sliznici. Dochází tak ke snadnějšímu vnikání mikroorganismů a aerosolů včetně alergenů do lidského těla. Bakterie a viry tak nacházejí příznivé podmínky pro svůj rozvoj. Mikroorganismů způsobujících onemocnění přežívá nejméně při relativní vlhkosti okolo 60 % [4]

Vysoká relativní vlhkost, myšleno vlhkost nad 70 %, vyvolává spolu s vysokou teplotou vzduchu pocit dusna. Dále se naskýtá možnost šíření plísní vzduchem a intenzivní množení roztočů, kteří jsou hlavní příčinou vzniku alergií [4].

## **2.7 Tělesná konstituce člověka**

Zatímco tepelná produkce je úměrná hmotě těla, tepelné ztráty jsou závislé na velikosti povrchu těla. Proto jsou tělesná postava a podkožní tuk velmi důležitými faktory. Lidé s oblou postavou mohou mít menší plochu těla než štíhlí lidé, a tedy i úměrně menší tepelné ztráty do okolí. Oblejší lidé tedy upřednostňují nižší teploty, k čemuž přispívá i fakt, že podkožní tuk funguje jako dobrý tepelný izolant [2].

### 3 HODNOCENÍ TEPELNÉHO STAVU PROSTŘEDÍ

Teplný stav prostředí je hlavní částí při posuzování celkové pohody člověka. Hodnocení teplotního stavu mikroklimatu lze provádět hned několika způsoby. Především však pomocí základních fyzikálních veličin určujících teplotní stav mikroklimatu (teplota vzduchu  $t$  [°C], střední radiační teplota  $\bar{t}_r$  [°C], rychlost proudění vzduchu  $w$  [m·s<sup>-1</sup>] a relativní vlhkost  $\varphi$  [-]). Pro zjednodušení hodnocení teplotního stavu prostředí se používají odvozené veličiny, které zahrnují společné působení několika popř. všech faktorů. Jedná se o *operativní teplotu* a *výslednou teplotu* měřenou kulovým teploměrem. A posledním způsobem je použití speciálních přístrojů, které přímo vyhodnotí teplotní stav mikroklimatu [17].

#### 3.1 Pomocí základních fyzikálních veličin

Abychom mohli provádět hodnocení teplotního stavu mikroklimatu, musíme nejprve změřit základní parametry (teplota vzduchu  $t$  [°C], střední radiační teplota  $\bar{t}_r$  [°C], rychlost proudění vzduchu  $w$  [m·s<sup>-1</sup>] a relativní vlhkost  $\varphi$  [-]).

Pomocí rovnice teplotní pohody lze sestavit různé diagramy, popř. tabulky základních veličin s vhodnými rozsahy. Tyto diagramy a tabulky jsou sestrojovány vždy pro různé typy činnosti a různé druhy oblečení. Obecný diagram vyznačující závislost všech základních veličin nelze sestavit v rovině, protože rovnice teplotní pohody vyjadřuje složitý útvar. Počet dimenzí tohoto útvaru je shodný s počtem proměnných v dané rovnici. Existuje tedy celá řada diagramů zachycujících vždy závislost pouze některých sledovaných veličin. Pro zjištění závislosti více parametrů je pak potřeba použít více diagramů. Často se lze setkat i s diagramy, ve kterých vystupují odvozené veličiny jako např. operativní teplota, nebo procento nespokojených lidí a stupeň komfortu [17].

#### 3.2 Pomocí odvozených fyzikálních veličin

Odvozené fyzikální veličiny slouží pro zjednodušení hodnocení teplotního stavu mikroklimatu. Zahrnují působení hned několika základních parametrů.

##### 3.2.1 Výsledná teplota měřená kulovým teploměrem

Tento způsob hodnocení teplotního stavu prostředí patří v našich podmínkách mezi nejčastěji používané. Je vhodný pro měření v místnostech se zdroji sálavého tepla. V případě, že je střední radiační teplota  $\bar{t}_r$  menší než teplota vzduchu  $t$ , je možné tuto metodu použít pouze v klidném vzduchu [17].

Výsledná teplota měřená kulovým teploměrem  $t_g$  je teplota v okolí lidského těla, která zahrnuje současně vliv působení teploty vzduchu  $t$  [°C], střední radiační teploty  $\bar{t}_r$  [°C] a rychlosti proudění vzduchu  $w$  [m·s<sup>-1</sup>], která ovlivňuje především přestup tepla konvekcí  $\alpha$  [W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>] na povrchu kulového teploměru [17]. Hodnoty požadované výsledné teploty měřené kulovým teploměrem uvádí vyhláška č. 6/2003 Sb. a lze je odečíst např. z grafu 11 příloha A (pro hodnoty  $w = 0,1$  m·s<sup>-1</sup>,  $\varphi = 50$  %).

##### 3.2.2 Operativní teplota

Operativní teplota je základním hodnotícím teplotním kritériem v ČR, je dána Nařízením vlády č. 361/2007 Sb.

Podle rovnice TP je k posouzení tepelného stavu prostředí nutno znát teplotu vzduchu  $t$  (vliv konvekční výměny tepla) a střední radiační teplotu  $\bar{t}_r$  (vliv výměny tepla sáláním). Zavedení operativní teploty nám poskytuje zjednodušení, neboť jedinou hodnotou vyjadřuje obě tyto složky [13].

„Operativní teplota je definována jako jednotná teplota černého uzavřeného prostoru, (tj. prostoru o stejné teplotě vzduchu i stejné střední radiační teplotě), ve kterém by tělo sdílelo konvekci i sáláním stejné množství tepla jako ve skutečném, teplotně nesourodém prostředí.“ [13]

Operativní teplota vyplývá z rovnice:

$$\alpha_K \cdot (t_p - t) + \alpha_R \cdot (t_p - \bar{t}_r) = \alpha \cdot (t_p - t_o) \quad (3.1)$$

kde

$\alpha_K$  - součinitel přestupu tepla konvekci [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$\alpha_R$  - součinitel přestupu tepla radiací [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$t_p$  - teplota povrchu oděvu [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_o$  - operativní teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t$  - teplota vzduchu [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\bar{t}_r$  - střední radiační teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ] (viz rovnice 2.5, 2.6)

$$\alpha = \alpha_K + \alpha_R \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (3.2)$$

Úpravou rovnice 3.1 dostaneme operativní teplotu:

$$t_o = \bar{t}_r + A \cdot (t - \bar{t}_r) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3.3)$$

Člen  $A$  je funkce závislá na rychlosti proudění vzduchu  $w$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ] a platí pro hodnoty od  $0,05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  do  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . [10]

$$A = \frac{\alpha_K}{\alpha} = 0,75 \cdot w^{0,16} \quad [-] \quad (3.4)$$

Pro malé rychlosti proudění vzduchu  $w < 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  a malé rozdíly teploty vzduchu  $t$  a střední radiační teploty  $\bar{t}_r$  do  $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$  lze za operativní teplotu považovat přímo výslednou teplotu kulového teploměru  $t_g$ . Při vyšších rychlostech proudění vzduchu a větších rozdílech  $t$  a  $\bar{t}_r$  se více uplatní změna součinitelů přestupu tepla  $\alpha_K$  a  $\alpha_R$ . Operativní teplotu je pak nutné určovat ze vztahu 3.3. [1,13]

Pro určení TP z operativní teploty se používají tabulky, popř. grafy s různými počátečními podmínkami (např. graf 12 příloha A).

### 3.2.3 Ukazatele PMV, PPD

Hodnocení tepelných pocitů podle ukazatelů PMV a PPD zavádí norma ČSN EN ISO 7730.

#### Ukazatel PMV

Ukazatel PMV (Predicted Mean Vote) slouží k předpovědi středního tepelného pocitu, který by měla velká skupina lidí, hodnotící svůj tepelný pocit pomocí hodnot dle tabulky 3.1.

Tabulka 3.1 Stupně indexu PMV [12]

PMV [-]	Tepelný pocit
+3	Horko
+2	Teplo
+1	Mírně teplo
0	Neutrálně
-1	Mírně chladno
-2	Chladno
-3	Zima

PMV se vypočítává dle rovnice [12]:

$$\begin{aligned}
 PMV = & [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot \dot{Q}_m) + 0,028] \cdot \\
 & \cdot \{\dot{Q} - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot (5733 - 6,99 \cdot \dot{Q} - p_d) - 0,42 \cdot (\dot{Q} - 58,15) - \\
 & - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot \dot{Q}_m \cdot (8867 - p_d) - 0,0014 \cdot \dot{Q}_m \cdot (34 - t) - \\
 & - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_p + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot \alpha_K \cdot (t_p - t)\}
 \end{aligned} \quad [-] \quad (3.5)$$

Což znamená, že PMV je funkcí:

- $\dot{Q}_m$  - metabolický tepelný tok [W]
- $\dot{Q}$  - tepelná produkce [W]
- $p_d$  - vlhkost reprezentovaná parciálním tlakem vodní páry [Pa]
- $t_p$  - teplota povrchu oděvu [°C] vyjádřena vztahem:

$$\begin{aligned}
 t_p = & 35,7 - 0,028 \cdot \dot{Q} - R_{cl} \cdot \{3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_p + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + \\
 & + f_{cl} \cdot \alpha_K \cdot (t_p - t)\}
 \end{aligned} \quad [^\circ\text{C}] \quad (3.6)$$

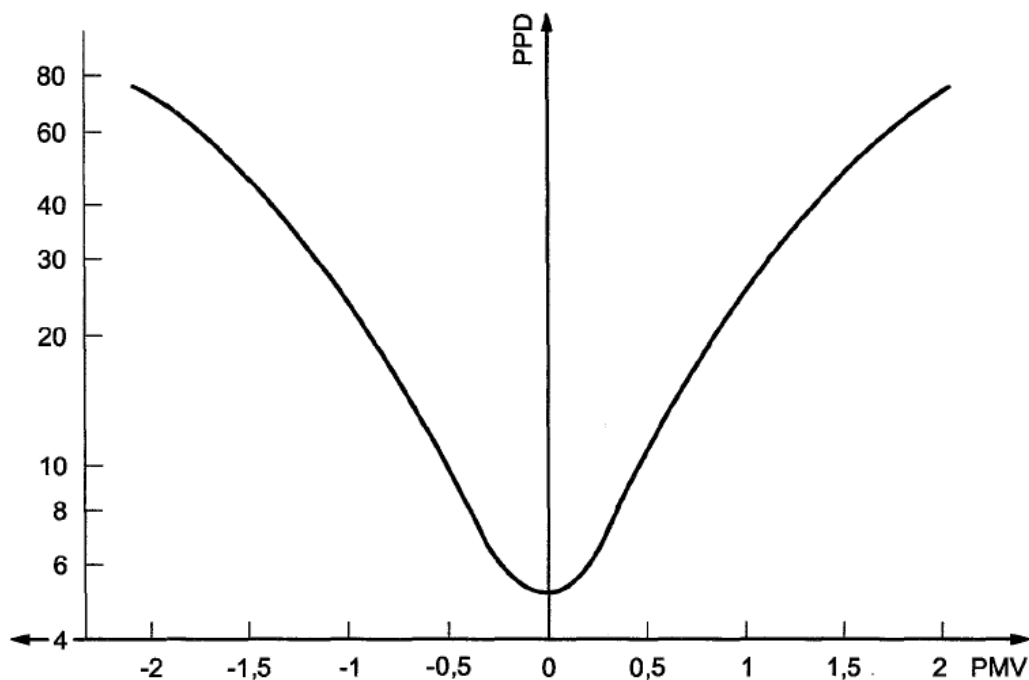
- $R_{cl}$  - tepelný odpor oděvu [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]
- $f_{cl}$  - poměr povrchu oblečeného člověka k povrchu lidského těla [-]
- $t$  - teplota okolního vzduchu [°C]
- $\bar{t}_r$  - střední radiační teplota [°C]
- $w$  - rychlost proudění vzduchu [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ] (určuje  $\alpha_K$ )

### Ukazatel PPD

Často se jeví jako užitečnější předpovídat počet osob, které budou pociťovat tepelný diskomfort. K tomu slouží ukazatel PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), který vyjadřuje procentuální podíl osob nespokojených s tepelnými podmínkami prostředí. Je určován pomocí znalosti PMV buď odečtením z obrázku 3.1 nebo dle vztahu:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2) \quad [\%] \quad (3.7)$$

Zbytek lidí z dané skupiny se bude cítit tepelně neutrálně za což se považuje i mírně teplo nebo mírně chladno. Kvůli individuálním rozdílům jednotlivých lidí ve skupině není možné vytvořit takový stav prostředí, který by vyhovoval všem zúčastněným. Z obrázku 3.1 je patrné, že i při  $PMV = 0$  bude okolo 5 % nespokojených. Tato hodnota je považována za tepelnou pohodu. Do 10 % nespokojených se jedná o přípustné a do 20 % o přijatelné podmínky [1,12].



Obr. 3.1 Závislost ukazatele PPD na ukazateli PMV [12]

### 3.3 Hodnocení pomocí speciálních přístrojů

V praxi se často hodnocení tepelného stavu mikroklimatu provádí přímo pomocí speciálních přístrojů (viz kapitola 4.5). Tyto přístroje dokáží buď rovnou vyčíslit stupeň TP (měřič tepelného komfortu aj.), nebo naměří takovou stavovou veličinu, podle které je pak už snadné určit, zda je dosaženo TP (kulový teploměr, katateploměr) [17].

## 4 MĚŘENÍ ČINITELŮ URČUJÍCÍCH TEPELNOU POHODU ČLOVĚKA

Aby bylo možné hodnotit a nějakým způsobem specifikovat tepelný stav prostředí, je nezbytné měřit různé stavové veličiny, které daný objekt popisují. O potřebných veličinách k hodnocení tepelného stavu mikroklimatu, vhodných měřících zařízeních a metodách hovoří norma ČSN ISO 7726. V této kapitole je však převážná část informací čerpána z literatury [17].

Měření těchto veličin má tedy daný řád a místo. Tepelné mikroklimatické veličiny se měří ve výši hlavy dospělého člověka (1,7 m nad podlahou u stojícího a 1,1 m u sedícího člověka). Dále pak v úrovni břicha (1,1 m stojící, 0,6 m sedící člověk) a ve výši kotníků (0,1 m nad podlahou). V případě homogenního prostředí postačí měření v úrovni břicha. Měření se provádí buď v pracovním místě nebo ve středu místnosti.

### 4.1 Měření teploty vzduchu

Jak je zmíněno výše (kapitola 2.3), teplota vzduchu je bezpochyby nejužívanějším ukazatelem tepelného stavu prostředí. S její změnou se mění různé fyzikální vlastnosti látek, čehož se pro měření teploty také využívá.

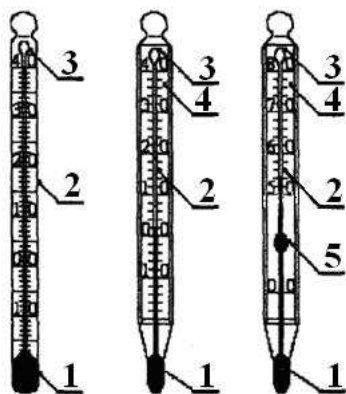
#### 4.1.1 Dilatační teploměry

Dilatační teploměry využívají změny rozměrů látek se změnou teploty, což je zapříčiněno teplotní roztažností. Podle skupenství teploměrné látky lze rozdělit dilatační teploměry na kapalinové, plynové a teploměry využívající roztažnost pevných látek.

#### Kapalinové dilatační teploměry

Díky svým dobrým vlastnostem jsou nejpoužívanější teploměry rtuťové. Rtuť má výbornou tepelnou vodivost a roztažnost, minimální stlačitelnost při působení tlaku a je neprůhledná. Její teplota tání je  $-39\text{ °C}$  a teplota varu  $357\text{ °C}$ . Další teploměrnou látkou užívanou při měření teploty vzduchu může být etanol ( $-110$  až  $70\text{ °C}$ ) nebo toluen ( $-90$  až  $100\text{ °C}$ ). Typy kapalinových teploměru a popis jejich částí je uveden na obrázku 4.1.

Pro objektivnost měření je důležité čidla nebo baňky teploměru chránit před vlivy sálání okolních ploch. Jinak by bylo dosaženo značně zkreslených výsledků. Toho se dosahuje např. odstíněním pomocí krytu z lesklého kovu (často i vícenásobného). Je také vhodné zvýšit rychlost proudění vzduchu kolem činné části teploměru, jak je tomu např. u suchého větraného Assmannova aspiračního psychrometru. Chyby kapalinových teploměru se pohybují v rozsahu  $0,2 - 2\text{ K}$ .



Obr. 4.1 Typy kapalinových teploměrů

a) tyčinkový    b) obalový    c) s mezijímkou

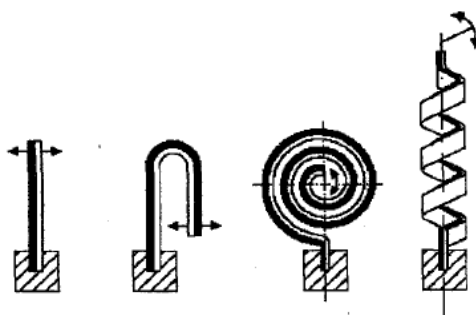
1 – teploměrná nádobka, 2 – teploměrná kapilára, 3 – koncová jímka (pro expanzi teploměrné kapaliny mimo rozsah stupnice), 4 – stupnice, 5 – mezijímka (pro potlačení nepotřebné části stupnice) [17]

### Teploměry využívající roztažnost pevných látek

Tyto teploměry nedosahují moc přesných výsledků a používají se spíše ve spojitosti s regulací nebo se zapisovacími přístroji (termografy). Existují dva základní typy: monometalické (tyčové) a častěji používané bimetalické (dvoukovové). Oba typy pracují na principu odlišné roztažnosti dvou kovových materiálů.

**Monometalické** jsou tvořeny kovovým pouzdrem s velkou teplotní roztažností (mosaz, zinek, ocel). Uvnitř je souose uloženo jádro z kovu o malé teplotní roztažnosti. Teplota je pak funkcí rozdílu délek tyče a pouzdra.

**Bimetalické** teploměry se skládají ze dvou kovových pásků s různými součiniteli délkové roztažnosti, které jsou na sebe nalisovány. Pásek je na jedné straně pevně vetknutý. Druhý konec je pak volně ohebný a je spojen se zapisovací částí stroje. Ta zaznamenává jeho výchylky na otáčivý buben s registračním papírem. Jak znázorňuje obrázek 4.2, bimetalové pásky mohou být různého tvaru.



Obr. 4.2 Typy bimetalických pásků [17]

a) plochý    b) pásek ve tvaru U    c) plochá spirála    d) šroubovice

### Plynové dilatační teploměry

Plynové teploměry jsou naopak velmi přesné. Podle provedení se dělí na stejnotlaké a stejnoobjemové. Ve **stejnotlakých**, jak název napovídá, se udržuje konstantní tlak. Teplota se pak určuje podle měnícího se objemu.

Mnohem jednodušší je udržovat plyn v konstantním objemu. Proto jsou častější teploměry **stejnoobjemové**. V tomto případě je teplota funkcí tlaku uvnitř uzavřeného objemu.

#### 4.1.2 Tlakové teploměry

Tlakové teploměry pracují na stejném principu jako teploměry stejnoobjemové jenom s tím rozdílem, že látka uvnitř uzavřeného objemu nemusí být vždy plyn. Může se jednat také o kapalinu nebo páru (thalpotasimetry). Jako plynná náplň se užívá vodík, helium, neon, dusík nebo suchý vzduch. Kapalinové tlakové teploměry bývají plněné rtutí popř. methylalkoholem. U thalpotasimetrů je princip trochu odlišný. Kontrolní objem je jen zčásti naplněn kapalinou (éter, freon, rtuť, kysličník siřičitý), nad jejíž hladinou je nasycená pára. Teplota je pak posuzována právě z tlaku nasycených par.

#### 4.1.3 Odporové teploměry

Odporové teploměry využívají změny odporu se změnou teploty u elektricky vodivých látek a polovodičů.

##### Odporové teploměry z elektricky vodivých látek

U tohoto druhu se s rostoucí teplotou odpor zvyšuje. Hlavní částí je čidlo z tenkého drátku o průměru 0,01 až 0,1 mm a délce asi 1 m. Drátek je navinut na slídovém rámu nebo keramické kostře. Nejčastějším materiálem drátku pro výrobu odporových čidel je platina (do 600 °C), nikl (do 300 °C), výjimečně stříbro (do 250 °C), zlato (do 400 °C) nebo jejich slitiny. Odporové teploměry jsou velmi přesné. Např. nejpoužívanější odporové čidlo Pt100 chráněné proti radiačnímu záření má rozlišení 0,01 K s chybou měření při laboratorních podmínkách 0,03 K při rychlosti proudění 2 až 5 m·s<sup>-1</sup>. Chyba běžných odporových teploměrů se pohybuje v rozsahu 0,2 – 2 K.

##### Polovodičové odporové teploměry

Lze je rozdělit na termistory NTC (mají záporný teplotní součinitel odporu), termistory PTC (kladný teplotní součinitel) a diody. Všechny druhy mají vysoký teplotní součinitel a tudíž s nimi lze rozlišovat i malé rozdíly teplot. Měníci se teplotu indikují téměř okamžitě. Proto se hodí i pro měření teplot povrchů. Jejich nevýhodou je jejich stárnutí, se kterým se mění jejich fyzikální vlastnosti. To vyžaduje časté cejchování.

#### 4.1.4 Termoelektrické teploměry

Funkčním prvkem u těchto teploměrů jsou termoelektrická čidla – termočlánky. Jsou založené na principu termoelektrického jevu. Skládají se ze dvou různých vodičů. Ty jsou na jednom konci svařeny nebo sletovány a na druhém konci jsou připojeny ke svorkovnici. Při zahřívání spoje dvou vodičů vzniká potenciální rozdíl, podle kterého se určuje velikost teploty. Typy termočlánků pro termoelektrické teploměry udává norma ČSN 25 8304. V laboratorních podmínkách se termočlánky měří s chybou 0,2 K. Díky malým rozměrům spoje lze termočlánky používat i pro měření povrchových teplot.

### 4.2 Měření rychlosti proudění vzduchu

Pro měření rychlosti proudění vzduchu v obytných nebo pracovních prostorách je zapotřebí metod, které nám umožní stanovit i velmi malé rychlosti. K tomu nám slouží 3 druhy přístrojů, které podle způsobu měření lze rozdělit na: rotační anemometry, žárové anemometry a katateploměry.

### 4.2.1 Rotační anemometry

Rotační anemometry využívají při měření silových účinků proudícího vzduchu. Otáčky oběžného kola anemometru jsou úměrné rychlosti proudění vzduchu. Podle konstrukce rozlišujeme rotační anemometry lopatkové, vrtulkové a miskové.

#### Lopatkové anemometry

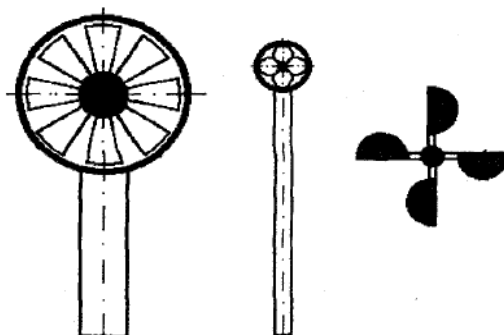
Oběžné kolo lopatkových anemometrů o průměru 80 až 200 mm je složeno ze šikmo uspořádaných rovinných lopatek z umělé hmoty nebo tenkého plechu (obr. 4.3 a). Jejich měřicí rozsah se pohybuje v rozmezí  $0,1$  až  $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Pro malé rychlosti proudění je vhodné použít anemometry s větším průměrem oběžného kola, protože mají menší práh citlivosti ( $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

#### Vrtulkové anemometry

Konstrukce vrtulkových anemometrů je shodná s lopatkovými anemometry (obr. 4.3 b). Zásadním rozdílem je průměr oběžného kola, který je pouze 10 až 20 mm. Proto jsou vhodné spíše pro měření větších rychlostí proudění od  $0,4$  až do  $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

#### Miskové anemometry

Miskové anemometry mají na rozdíl od lopatkových oběžné kolo z dutých polokulových misek (obr. 4.3 c). Jejich měřicí rozsah je od  $1$  do  $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Proto se používají spíše pro měření rychlosti větru v exteriéru.

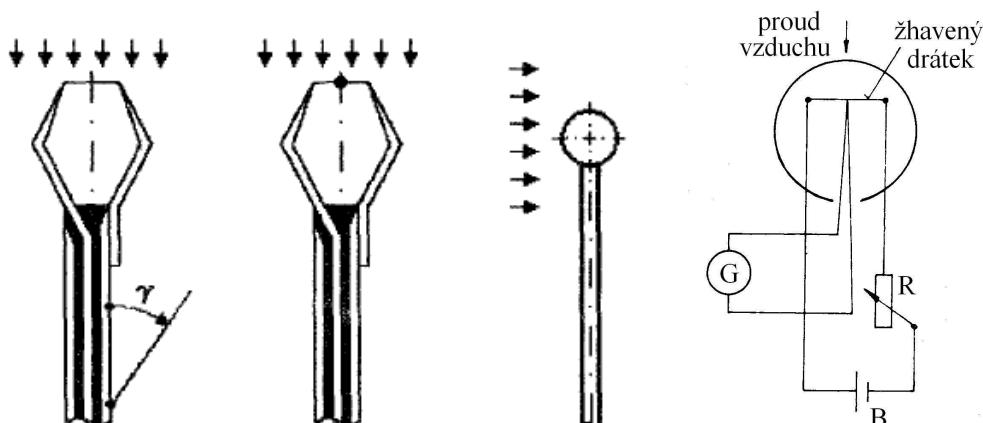


Obr. 4.3 Typy anemometrů [17]

a) lopatkový      b) vrtulkový      c) miskový

### 4.2.2 Žárové anemometry

Fungují na principu měření intenzity ochlazování různých žhavených tělísek obtékaných proudícím vzduchem. Žhaveným elementem bývá nejčastěji tenký drátek z platiny, niklu, wolframu nebo jejich slitin (obr. 4.4 a,d). Jeho průměr je  $0,01$  až  $0,1 \text{ mm}$  a je dlouhý  $1$  až  $10 \text{ mm}$ . Dalším žhaveným tělískem může být termistor (obr. 4.4 b), žhavená kulička o průměru  $2$  až  $6 \text{ mm}$  (nezávisí na směru proudění) (obr. 4.4 c), dva na sebe kolmé drátky (pro rozlišení směru proudění) nebo žhavená fólie (pro vyšší rychlosti proudění).



Obr. 4.4 Termoanemometrické sondy [17]

a) žhavený drátek    b) termistorové tělíčko    c) žhavená kulička    d) schéma zapojení [1]

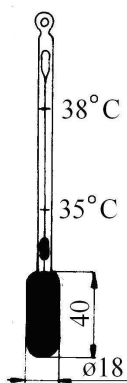
Rozsah měření je závislý na konstrukci čidla a nastavení rozsahu. Pohybuje se od  $0,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (termistorová tělíčka) do  $100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (žhavená fólie). Při použití žhaveného drátku je důležité při měření drátek nasměrovat kolmo na směr proudu. Jinak naměříme menší rychlost, než je skutečná rychlost proudění. Nevýhodou žárových anemometrů je, že jsou závislé na teplotě prostředí ve kterém jsou používány. Respektive teplo přestupující ze žhaveného elementu je závislé na teplotě prostředí. Tento problém lze odstranit zvýšením teploty žhaveného tělíčka na  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  i více. Nebo změřením teploty vzduchu a provedením přepočtů.

Tepelný tok odváděný konvekcí ze žhaveného elementu musí být roven elektrickému příkonu elementu. Z této skutečnosti se nabízejí dvě možnosti měření:

- 1) Měření elektrického odporu  $R = f(w)$  při konstantním příkonu (při konstantním proudu).
- 2) Měření elektrického proudu  $I = f(w)$  při konstantním odporu (konstantní teplotě žhaveného tělíčka).

### 4.2.3 Katateploměry

Měření pomocí katateploměrů je další vhodný způsob měření pomalého proudění vzduchu (do  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Katateploměr (podle Hilla obr. 4.5) je tvořen skleněným tělem, které má ve spodní části nádobku s polokulovými dny. Tato nádobka přechází v kapiláru s rozšířenou horní i dolní částí. Dolní část je rozšířena z důvodu potlačení nepotřené části stupnice a horní rozšířená část umožňuje expanzi teploměrné tekutiny (ethylalkoholu) mimo rozsah stupnice. Na kapiláře jsou vyznačené důležité hodnoty pro měření  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $38 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Obr. 4.5 Hillův katateploměr [17]

Na každém přístroji by měla být vyražena cejchovní hodnota  $Q$  [ $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ ] důležitá pro výpočet rychlosti proudění. Ta udává množství tepla odvedeného konvekcí a sáláním z  $1 \text{ m}^2$  povrchu baňky při poklesu teploty z  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  na  $38 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pro cejchovní hodnotu platí:

$$Q = \alpha \cdot (36,5 - t) \cdot \tau \quad [\text{J}\cdot\text{m}^{-2}] \quad (4.1)$$

kde

$Q$  - cejchovní hodnota katateploměru [ $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ ]

$t$  - teplota vzduchu v měřeném místě [ $^\circ\text{C}$ ]

$\tau$  - doba poklesu teploty z  $38 \text{ }^\circ\text{C}$  na  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  [s]

$\alpha$  - součinitel přestupu tepla konvekcí a sáláním [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]

$$\alpha = 8,58 + 16,12 \cdot \sqrt{w} \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}] \quad (4.2)$$

Dosazením rovnice 4.2 do 4.1 a úpravou lze rychlost proudění vzduchu vyjádřit vztahem:

$$w = \left( \frac{\frac{K}{36,5 - t} - 8,58}{16,12} \right)^2 \quad [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (4.3)$$

Veličina  $K$  v rovnici se nazývá katahodnota stanovuje se z cejchovní hodnoty katateploměru  $Q$  a času  $\tau$ :

$$K = Q / \tau \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}] \quad (4.4)$$

Před samotným měření ohříváme pomocí vody nebo vzduchu teploměrnou kapalinu až vystoupí díky své teplotní roztažnosti do horní rozšířené části kapiláry. Poté řádně osušený katateploměr zavěsíme na stojan v měřeném místě. Stopkami měříme čas  $\tau$  [s] poklesu teploty z  $38 \text{ }^\circ\text{C}$  na  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ . V měřeném místě také změříme teplotu vzduchu.

Použití běžného katateploměru je však omezeno podmínkou, že teplota vzduchu  $t$  bude stejná jako střední radiační teplota  $\bar{t}_r$ . Při malém rozdílu těchto hodnot ještě lze provádět měření, avšak za předpokladu použití katateploměru s baňkou pokrytou tenkou vrstvou lesklého kovu. Po stanovení katahodnoty  $K_K$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ] katateploměru s pokovenou baňkou se rychlost proudění vypočítá:

$$w = \left( \frac{\frac{K_K}{36,5 - t} - 4,23}{16,74} \right)^2 \quad [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (4.5)$$

K měření proudění vzduchu při větších rozdílech  $t$  a  $\bar{t}_r$  je zapotřebí současně použít normální a pokovený katateploměr a zároveň změřit teplotu v měřeném místě. Rychlost proudění je pak funkcí rozdílu katahodnot  $\Delta K = K - K_K$ , katahodnoty normálního katateploměru a teploty vzduchu.

Dalším omezením je rychlost proudění vzduchu větší jak  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , která se katateploměrem měřit nedoporučuje. A logicky teplota v měřeném místě nesmí přesahovat

35 °C. Výhodou je, že na rozdíl od některých žárových anemometrů nezáleží na směru proudění vzduchu.

### 4.3 Měření vlhkosti vzduchu

Na měření vlhkosti existuje hned několik způsobů. Společným cílem pro všechny je určit množství  $H_2O$  ve vzduchu.

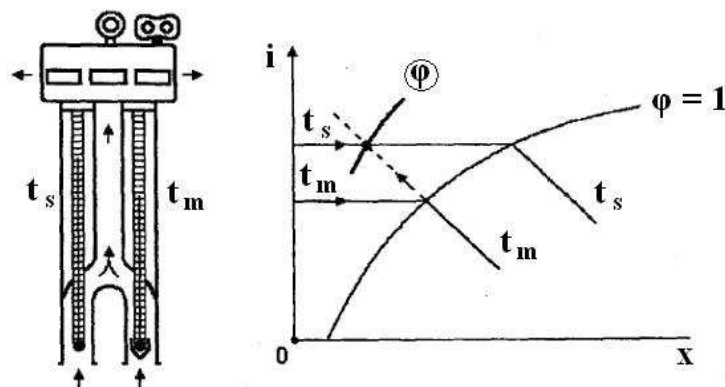
#### 4.3.1 Dilatační vlhkoměry

Dilatační vlhkoměry neboli hygrometry využívají pro měření vlhkosti vzduchu délkové roztažnosti organických látek s vlhkostí (blány, lidské vlasy). Jsou to levná a nepříliš přesná zařízení. Používají se spíše pro regulaci, orientační měření a ve spojitosti s registračními přístroji. Jejich největší nevýhodou je, že časem mění své vlastnosti. Lze je však regenerovat. To se provádí umístěním čidla do prostředí nasyceného vodními parami na několik hodin. Po regeneraci čidla je nutné přístroje kalibrovat. To se provádí obalením čidla vlhkou tkaninou a umístěním asi na hodinu do neprodyšného obalu, kde se udržuje konstantní teplota. Tak se dosáhne významného bodu  $\varphi = 1$ . Druhý bod nutný pro kalibraci získáme vlhčením čidla různými roztoky (např. chlorid sodný) u nichž známe hodnotu  $\varphi$  při určité teplotě.

#### 4.3.2 Psychrometry

Pro přesnější měření vlhkosti vzduchu se používají nevětrané a mnohem častěji větrané psychrometry. Princip si ukážeme na nepoužívanějším uměle větraném psychrometru.

**Assmannův aspirační psychrometr** se skládá z dvou trubic, ve kterých jsou umístěny dva rtuťové teploměry s nimiž jde měřit teplota s přesností 0,1 K. Oba jsou nuceně větrané ventilátorem poháněným mechanickým hodinovým strojkem (obr. 4.6).



Obr. 4.6 Assmannův aspirační psychrometr [17]

a) schéma psychrometru      b) vyhodnocování  $\varphi$  v  $i-x$  diagramu

Baňky teploměrů jsou odstíněny od vlivů záření. Jeden teploměr tzv. mokrý teploměr má funkční část umístěnou punčošce vlhčené destilovanou vodou. Proudící vzduch ( $2$  až  $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) způsobuje odpařování vody a její ochlazování. Teplota naměřená tímto teploměrem se nazývá teplota mokrého teploměru  $t_m$ . Druhým teploměrem se měří tzv. teplota teploměru suchého  $t_s$ .

Teploty se odečítají až po ustálení minimální teploty mokrého teploměru, což trvá asi 2 až 5 minut. Relativní vlhkost  $\varphi$  se pak stanovuje pomocí naměřených teplot  $t_m$  a  $t_s$ . Jednak lze provést z diagramů přiložených k přístroji, v nichž je vynesena závislost  $\varphi = f(t, t_m)$

a nebo z  $i-x$  diagramu vlhkého vzduchu. Měřený stav  $\varphi$  získáme podle obrázku 4.6 b. Je to průsečík izotermy  $t_m$  prodloužené z oblasti vzduchu přesyceného vlhkostí a izotermy  $t_s$ . Dalším možným způsobem zjištění relativní vlhkosti  $\varphi$  je použití Sprungova vztahu:

$$p_p = p_{pm}'' - 66(t_s - t_m) \frac{P}{100670} \quad [\text{Pa}] \quad (4.6)$$

kde

$p$  - barometrický tlak [Pa]

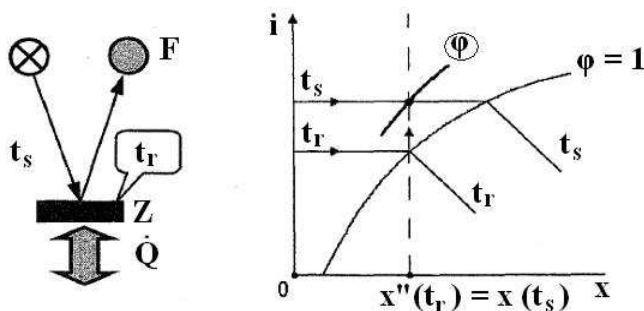
$p_{pm}''$  - parciální tlak syté vodní páry o teplotě  $t_m$  [Pa]

$p_p$  - parciální tlak par ve vzduchu [Pa]

Relativní vlhkost  $\varphi$  se pak určí dosažením vypočteného  $p_p$  do rovnice 2.8.

### 4.3.3 Vlhkoměry na principu rosného bodu (kondenzační vlhkoměry)

Měření vlhkosti vzduchu u kondenzačních vlhkoměrů spočívá ve změření teploty suchého teploměru  $t_s$  a teploty rosného bodu. Všechny vlhkoměry pracující na tomto principu mají lesklou plošku, která je ochlazována a při určité teplotě (teplota rosného bodu  $t_r$ ) se orosí (obr. 4.7).



Obr. 4.7 Vlhkoměr na principu rosného bodu [17]

a) schéma vlhkoměru      b) vyhodnocování  $\varphi$  v  $i-x$  diagramu

Vlhkost vzduchu se pak z naměřených teplot určí buď z  $i-x$  diagramu nebo výpočtem. V obou případech se vychází z definice teploty rosného bodu, která říká, že měrná vlhkost nasyceného vzduchu  $x_r''$  při teplotě  $t_r$ :

$$x_r'' = 0,622 \frac{P_{pr}''}{p - P_{pr}''} \quad [\text{g/kg}_{\text{s.v.}}] \quad (4.7)$$

je rovna měrné vlhkosti měřeného vzduchu  $x_s$  při teplotě  $t_s$ :

$$x_s = 0,622 \frac{\varphi \cdot P_{ps}''}{p - \varphi \cdot P_{ps}''} \quad [\text{g/kg}_{\text{s.v.}}] \quad (4.8)$$

z čehož vyplývá, že:

$$\varphi = \frac{P_{pr}''}{P_{ps}''} \quad [-] \quad (4.9)$$

kde

$p$  - barometrický tlak [Pa]

$p''_{pr}$  - parciální tlak nasycených par při teplotě  $t_r$  [Pa]

$p''_{ps}$  - parciální tlak nasycených par při teplotě  $t_s$  [Pa]

Přesnost měření vlhkoměrů na principu rosného bodu je podobná jako u psychrometrů. Jejich realizace je však složitější, a proto jsou používány méně.

#### 4.4 Měření střední radiální teploty

Přístroje pro měření střední radiální teploty se obecně nazývají radiometry. Jsou založené na principu měření přenosu tepla zářením. Výpočtem se dá střední radiální teplota určit jen velmi obtížně, a proto se mnohem častěji zjišťuje měřením.

##### 4.4.1 Kulový teploměr

Určování střední radiální teploty pomocí kulového teploměru patří k nejrozšířenějším způsobům. Je k tomu ale zapotřebí změřit ještě teplotu vzduchu  $t$  a rychlost proudění vzduchu  $w$ .

Kulový teploměr tvoří kulová baňka z měděného plechu o průměru 100 nebo 150 mm. Koule má matný černý povrch. Ten může být vytvořen buď elektrochemicky nebo nátěrem (Vernonův kulový teploměr), nebo je potažen pěnovým polyuretanem (Vernon-Joklův teploměr obr. 4.8 a). Ve středu koule je vsunuta baňka rtuťového teploměru. Předpokladem měření je, že střední radiální teplota  $\bar{t}_r$  je větší než teplota okolí  $t$ . Teplota naměřená na rtuťovém teploměru  $t_g$  se nazývá výsledná teplota měřená kulovým teploměrem. Kulový teploměr nemá svůj vlastní zdroj tepla. Při ustáleném stavu (20 až 30 min) je sálavý tepelný tok z okolí do baňky stejný, jako tepelný tok konvekcí z povrchu koule do okolí. Pro povrch koule tedy platí:

$$\alpha(T_g - T) = \varepsilon\sigma_0(T_r^4 - T_g^4) \quad [-] \quad (4.10)$$

kde

$T_g$  - teplota měřená kulovým teploměrem [K]

$T$  - teplota okolí [K]

$T_r$  - střední radiální teplota [K]

$\varepsilon$  - poměrná zářivost povrchu koule kulového teploměru [-]

$\sigma_0 = 5,669 \cdot 10^{-8}$  [W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>] Stefan–Boltzmannova konstanta

$\alpha$  - součinitel přestupu tepla z povrchu koule [W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>]. Je závislý na rychlosti proudění vzduchu  $w$  [m·s<sup>-1</sup>] a na vnějším průměru koule  $D$  [m]:

$$\alpha = 6,3 \cdot w^{0,6} / D^{0,4} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (4.11)$$

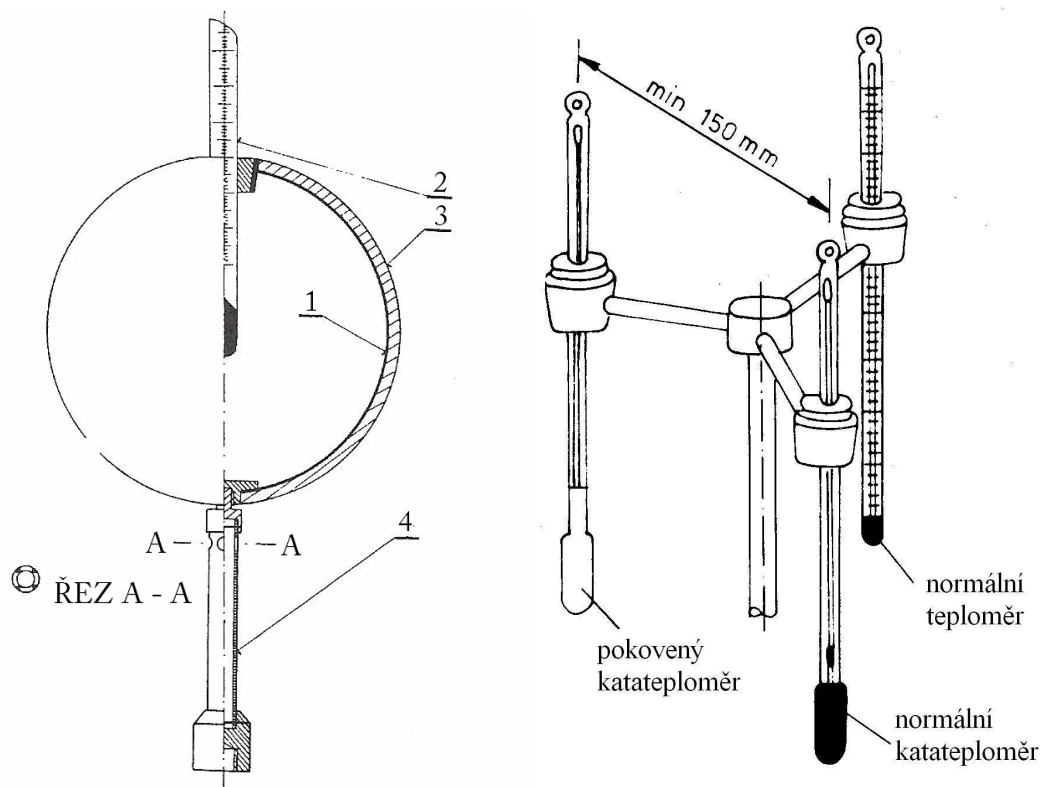
Dosazením rovnice 4.11 do 4.10 a úpravou dostáváme rovnici pro výpočet střední radiální teploty 2.5 a 2.6.

##### 4.4.2 Dva katateploměry

Pro měření střední radiální teploty lze použít opět **katateploměry**. Je k tomu zapotřebí dvou katateploměrů. Jednoho skleněného Hillova a jednoho s pokovenou nádobkou

(obr. 4.8 b). Střední radiační teplota je pak funkcí rozdílu katahodnot  $\Delta K = K - K_K$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ] (viz kapitola 4.2.3) a vypočítá se:

$$\bar{t}_r = 100 \sqrt[4]{91,88 - \frac{\Delta K}{3,705}} - 273 \quad [^\circ\text{C}] \quad (4.12)$$



Obr. 4.8 Měřiče k určení střední radiační teploty

a) schéma kulového Vernon-Joklova teploměru [4]      b) dva katateploměry [1]

1 - tenká měděná koule, 2 - teploměr, 3 - polyuretan, 4 - upeňovací nožka

#### 4.4.3 Dvoulukový radiometr

Jak je z názvu patrné, je tvořen dvěma koulemi. Každá koule má jiný součinitel zářivosti. Jedna má matný černý a druhá lesklý povrch. Obě jsou elektricky vyhřívány na stejnou teplotu povrchu  $T_w$  [K]. Jejich tepelné ztráty konvekcí jsou tedy stejné, ale tepelný tok vyzařováním je u černé koule větší. Proto černá koule vyžaduje větší elektrický příkon  $P_1$  [W], než je příkon lesklé koule  $P_2$  [W]. Pro případ dvoulukového teploměru se střední radiační teplota vypočítá dle vztahu:

$$\bar{t}_r = \sqrt[4]{T_w^4 - \frac{P_2 - P_1}{\sigma_0(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}} - 273 \quad [^\circ\text{C}] \quad (4.13)$$

kde

$\sigma_0 = 5,669 \cdot 10^{-8}$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ] Stefan – Boltzmannova konstanta

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$  - poměrná zářivost černého a leštěného povrchu [-]

$S$  - povrch každé z koulí [ $\text{m}^2$ ]

#### 4.4.4 Čidlo konstantní teploty

Měření se provádí jedním kulovým čidlem, které je elektrickým příkonem  $P$  [W] udržováno na teplotě  $T_w$  [K] shodné s teplotou okolí. Ztráty tepla konvekcí jsou pak nulové a tepelný příkon je pak funkcí radiační teploty:

$$\bar{t}_r = \sqrt[4]{T_w - \frac{P}{\sigma_0 \varepsilon S}} - 273 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4.14)$$

$\sigma_0 = 5,669 \cdot 10^{-8}$  [W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>] Stefan – Boltzmannova konstanta

$\varepsilon$  - poměrná zářivost černého a leštěného povrchu [-]

$S$  - povrch koule [m<sup>2</sup>]

#### 4.5 Měřič tepelného komfortu

Jsou to speciální přístroje, které si změří potřebné fyzikální veličiny a na základě rovnice tepelné pohody provedou vyhodnocení tepelného komfortu. Příkladem takových přístrojů je měřič tepelného komfortu od firmy Ahlborn nebo od firmy B & K s.r.o. Tyto přístroje bývají vybaveny čidly jejichž parametry odpovídají tepelným charakteristikám lidského těla (tvar modelující tvar lidského těla, poměrná zářivost aj.). Obvykle je nutné na přístroji nastavit parametry tělesné činnosti, tepelného odporu oděvu popř. parciálního tlaku vodní páry ve vzduchu.



Obr. 4.9 Měřič k určení tepelné pohody od firmy Ahlborn [18]

## 5 OBECNÁ DOPORUČENÍ K ZAJIŠTĚNÍ VNITŘNÍHO MIKROKLIMATU

Pro kvalifikované řešení při tvorbě vnitřního mikroklimatu a pro zjištění požadovaného komfortu jsou nezbytné nejrůznější terminologie a právní předpisy. Dále je zapotřebí specifikovat okrajové podmínky, tepelně látkové bilance, popř. diagnostikovat daný stav modelováním, navrhnout technické prostředky, regulaci a měření. V případě renovace je nutná i analýza stávajícího stavu. Tyto úkony zvládne jen zkušený odborník [3].

Pro běžného občana jsou však tyto pasáže nepodstatné. Důležitější je, jak zajistit správné podmínky pro své bydlení za použití prostředků, které jsou k dispozici. A právě správné tepelně-vlhkostní podmínky resp. obecné doporučení jsou zde uvedeny:

- Teplota vzduchu je závislá na druhu místnosti a na činnosti, kterou v ní člověk vykonává [19]:

Druh místnosti	Teplota vzduchu [°C]
obytná místnost	18 - 22
kuchyně	15
koupelna s vanou	24
koupelna s WC	24
WC individuální	16
umývárna individuální	18
šatna	18
spižárna	15
chodby, schodiště	10 - 15

- Povrchová teplota stavebních konstrukcí (stěny, podlahy, dveře atd.) včetně vybavení v místnosti by mělo být nižší než teplota vzduchu v místnosti. Rozdíl těchto teplot by neměl být vyšší než 4 °C. Zároveň součet obou teplot by se měl pohybovat okolo hodnoty 38°C.[20]
- Podle literatury [21] je stanovena rychlost proudění vzduchu v obytných místnostech:

teplé období roku	0,16 – 0,25 m·s <sup>-1</sup>
chladné období roku	0,13 – 0,20 m·s <sup>-1</sup>

Při nižších rychlostech proudění se v prostoru vyskytuje stagnující vzduch což může vyvolat pocity dusna. Při teplotách nad 26 °C lze rychlost proudění vzduchu zvýšit nad předepsanou hodnotu a to podle obr.2.5. Při zvýšení nad tuto míru je velká pravděpodobnost vznik diskomfortu průvanem.

- Intenzita osálení v místě hlavy člověka podle [21] nesmí překročit 200 W·m<sup>-2</sup>.
- Relativní vlhkost vzduchu v obytných místnostech by měla být [21]:

teplé období roku	nejvýše 65 %
chladné období roku	nejméně 30 %

- Teplota vnitřního povrchu stěny musí být vyšší než teplota rosného bodu vzduchu. Jinak dojde ke kondenzaci vodní páry na vnitřním povrchu stěny .

Pro pracovních prostory je složité stanovit obecné požadavky na mikroklimatické parametry. Vše závisí na spoustě podmínek, především pak na druhu vykonávané práce a technologických podmínkách.

## ZÁVĚR

Pro posouzení kvality budovy je rozhodujícím faktorem kvalita jejího vnitřního prostředí, které je závislé na mnoha faktorech (kapitola 1). Tato práce klade důraz především na činitele, které ovlivňují TP člověka. Ta zahrnuje i nejdůležitější dílčí část mikroklimatu tzv. tepelně-vlhkostní mikroklima, které má dominantní vliv na subjektivní pocity člověka.

Základní podmínkou pro dosažení TP je přiměřená teplota vzduchu v místnosti, avšak to není jediná podmínka. Důležitá je i vlhkost vzduchu, střední radiální teplota a rychlost proudění vzduchu. Vhodné nastavení těchto činitelů s ohledem na oděv a tělesnou činnost tvoří dohromady TP. V opačném případě mohou způsobovat značný diskomort (vysoký vertikální rozdíl teplot vzduchu mezi hlavou a kotníky, teplé a chladné podlahy, asymetrická radiace, průvan atd.).

Všechny veličiny ovlivňující kvalitu mikroklimatu jsou závislé na prostředí resp. činnosti, kterou zde člověk provozuje. Proto jsou požadavky na mikroklimatické parametry nejpodrobněji zpracovány pro pracovní prostředí (Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.).

K nejčastějším způsobům posouzení TP slouží odvozené fyzikální veličiny (operativní teplota a výsledná teplota měřená kulovým teploměrem), které zahrnují vliv několika faktorů (teplota vzduchu, střední radiální teplota, rychlost proudění vzduchu). Lze také provést předpověď tepelných pocitů pomocí ukazatelů PMV a PPD, které zavádí norma ČSN EN ISO 7730. Další řešení pro hodnocení tepelného stavu prostředí představuje posuzování pomocí základních fyzikálních veličin. Jelikož neexistuje obecný diagram vyznačující závislost všech základních veličin (počet dimenzí by se rovnal počtu neznámých v rovnici TP), musí se používat řada diagramů zachycujících vždy závislost pouze některých sledovaných veličin. Toto řešení je tedy velmi zdlouhavé. Nejjednodušším způsobem se pak jeví použití speciálních přístrojů, které rovnou vyčíslují stupeň TP.

Dalším úkolem této práce bylo představit způsoby měření jednotlivých činitelů ovlivňujících TP. V praxi je k tomu přímo určena norma ČSN EN ISO 7726. Podle ní má měření potřebných veličin jasný řád a místo. Nejpoužívanějšími měřidly pro posuzování zmíněných činitelů ve vnitřním prostředí stále ještě jsou: kapalínové dilatační teploměry, odporové teploměry, katateploměry, žárové anemometry, Assmannův aspirační psychrometr, vlhkoměry na principu rosného bodu a kulový teploměr. Ostatní způsoby měření nejsou vhodné např. svým rozsahem nebo požadovanou přesností a jsou zde uvedeny spíše informativně.

V současné době, kdy je kladen stále větší důraz na celkovou kvalitu pracovního prostředí a tepelný komfort člověka, je velkým trendem vývin kompaktních snímačů, které by byly schopny zjistit hodnoty výše uvedených fyzikálních veličin a stanovit výsledný tepelný stav prostředí z hlediska pohody člověka. Čidla těchto přístrojů mají často parametry odpovídající tepelným charakteristikám lidského těla. Vyvíjí se také spousta přístrojů pracujících na nových technologiích (teploměry na principu změny kmitočtu krystalového výbrusu v rezonančním poli tranzistorového oscilátoru, elektronické psychrometry, elektrolytické vlhkoměry, ultrazvukové nebo tepelné anemometry atd.). Ačkoli je jejich přesnost do jisté míry velmi vysoká, jejich princip je vesměs značně složitý a přesahuje hranice této publikace.

Práce jako celek také poskytuje odpovědi na mnoho otázek týkajících se optimálního nastavení vnitřního mikroklimatu a eliminace diskomfortu.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

- [1] JANOTKOVÁ, Eva. *Technika prostředí*. 1. vyd. Brno : VUT, 1991. 201 s. ISBN 80-214-0258-X.
- [2] CENTNEROVÁ, Lada. *Tepelná pohoda a nepohoda* [online]. 2000 [cit. 2009-04-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?i=404&h=1&t=2&th=56>>.
- [3] GEBAUER, Günter. Formování vnitřního prostředí budov. *Časopis stavebnictví* [online]. 2008 [cit. 2009-04-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.casopisstavebnictvi.cz/clanek.php?detail=1732>>.
- [4] JOKL, Miloslav. *Zdravé obytné a pracovní prostředí*. 1. vyd. Praha : Academia, nakladatelství Akademie věd České republiky, 2002. 261 s. ISBN 80-200-0928-0.
- [5] *Ergonomie* [online]. 2009 [cit. 2009-04-24]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Ergonomie>>.
- [6] *Jak sedět : Svaly a kosti se živí pohybem !* [online]. 2005 [cit. 2009-05-12]. Dostupný z WWW: <[http://www.ortoservis.cz/pages/ostatni/sub/jak\\_sedet.php](http://www.ortoservis.cz/pages/ostatni/sub/jak_sedet.php)>.
- [7] CIHELKA, Jaromír. *Vytápění a větrání*. Praha : SNTL, 1975. 697 s.
- [8] PULKRÁBEK, Jan. *Větrání*. 3. vyd. Praha : SNTL, 1961. 391 s.
- [9] ASHRAE Fundamentals Handbook, 1997
- [10] CHYSKÝ, Jaroslav, HEMZAL, Karel, et al. *Větrání a klimatizace*. 3. zcela přepracované vyd. Brno : Bolit - B press, 1993. 560 s. ISBN 80-901574-0-8.
- [11] ŠKORPÍK, Jiří. *Zdroje a přeměna energie : Živá energie* [online]. 2006 [cit. 2009-04-24]. Dostupný z WWW: <<http://oei.fme.vutbr.cz/jskorpik/210.html>>.
- [12] ČSN EN ISO 7730 Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního komfortu
- [13] NOVÝ, Richard, et al. *Technika prostředí*. 2. přeprac. vyd. Praha : Nakladatelství ČVUT, 2006. 267 s. ISBN 80-01-03492-5.
- [14] ZMRHAL, Vladimír. *Stanovení střední radiační teploty* [online]. 2006 [cit. 2009-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?i=3072&h=7&t=2&pl=47>>.
- [15] MATHAUSEROVÁ, Zuzana. *Kvalita vnitřního prostředí v bytech* [online]. 2006 [cit. 2009-05-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.izolace.cz/index.asp?module=ActiveWeb&page=WebPage&DocumentID=2151>>.
- [16] PAVELEK, Milan, et al. *Termomechanika*. 3. přeprac. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2003. 284 s. ISBN 80-214-2409-5.
- [17] PAVELEK, Milan, ŠTĚTINA, Josef. *Experimentální metody v technice prostředí*. 3. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2007. 215 s. ISBN 978-80-214-3426-4
- [18] *Souprava pro měření tepelného komfortu ALMEMO* [online]. [2005] [cit. 2009-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.ahlborn.cz/cs/produkt/souprava-pro-mereni-tepelneho-komfortu-almemo/>>.
- [19] *Doporučené hodnoty* [online]. 2005 [cit. 2009-05-21]. Dostupný z WWW: <[https://www.zdravcentra.cz/cps/rde/xchg/zc/xsl/3141\\_2602.html](https://www.zdravcentra.cz/cps/rde/xchg/zc/xsl/3141_2602.html)>.

- [20] *Tepelná pohoda v bytě* [online]. c2009 [cit. 2009-05-19]. Dostupný z WWW: <[http://www.cmss.cz/bydleni/bydlet\\_levneji/teplo](http://www.cmss.cz/bydleni/bydlet_levneji/teplo)>.
- [21] Vyhláška č. 6/2003 Sb. ze dne 16. prosince 2002, kterou se stanoví hygienické limity chemických a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.

## SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

Veličina	Symbol	Jednotka
funkce závislá na rychlosti proudění vzduchu	$A$	[-]
limity pro lehkou práci vykonávanou převážně v sedě ( $\Delta t < 3 \text{ }^\circ\text{C}$ a $w < 0,82 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	$a$	[-]
$(\bar{t}_r - t)$ , ( $t$ - teplota vzduchu [ $^\circ\text{C}$ ], $\bar{t}_r$ - střední radiační teplota [ $^\circ\text{C}$ ])	$b$	[ $^\circ\text{C}$ ]
předpověď procenta osob obtěžovaných průvanem (Draught Rating)	$DR$	[%]
poměr povrchu oblečeného vlastnosti oděvu člověka k povrchu lidského těla	$f_{cl}$	[-]
tepelný odpor oděvu	$I_{cl}$	[clo]
izolační hodnota jednotlivých částí oděvu	$I_{clu}$	[clo]
katahodnota	$K$	[ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
katahodnota katateploměru s pokovenou baňkou	$K_K$	[ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
elektrický příkon	$P P_1 P_2$	[W]
počet nespokojených	$PD$	[%]
ukazatel k předpovědi středního tepelného pocitu (Predicted Mean Vote)	$PMV$	[-]
procentuální podíl osob nespokojených s tepelnými podmínkami (Predicted Percentage of Dissatisfied)	$PPD$	[%]
barometrický tlak	$p$	[Pa]
parciální tlak syté vodní páry o teplotě $t_m$	$p_{pm}''$	[Pa]
parciální tlak nasycených par při teplotě $t_r$	$p_{pr}''$	[Pa]
parciální tlak nasycených par při teplotě $t_s$	$p_{ps}''$	[Pa]
cejchovní hodnota katateploměru	$Q$	[ $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
tepelná produkce	$\dot{Q}$	[W]
tepelný tok přenášený dýcháním	$\dot{Q}_d$	[W]
tepelný tok přenášený konvekcí	$\dot{Q}_k$	[W]
metabolický tepelný tok	$\dot{Q}_m$	[W]
tepelný tok přenášený radiací	$\dot{Q}_r$	[W]
tepelný tok přenášený vypařováním	$\dot{Q}_v$	[W]
tepelný tok přenášený vedením	$\dot{Q}_{ved}$	[W]

tepelný tok mokrým pocením	$\dot{Q}_{vm}$	[W]
hustota metabolického tepelného toku	$\dot{q}_m$	[W·m <sup>-2</sup> ]
plocha povrchu těla	$S$	[m <sup>2</sup> ]
povrch koule	$S$	[m <sup>2</sup> ]
teplota čidla, které je elektrický, příkonem $P$ [W] udržováno na teplotě shodné s teplotou okolí	$T_w$	[K]
teplota okolního vzduchu	$t$	[°C]
střední teplota pokožky	$t_k$	[°C]
teplota mokrého teploměru	$t_m$	[°C]
rychlost proudění vzduchu	$w$	[m·s <sup>-1</sup> ]
měrná vlhkost vzduchu při teplotě $t_s$	$x_s$	[g/kg <sub>s.v.</sub> ]
měrná vlhkost nasyceného vzduchu při teplotě $t_r$	$x_r''$	[g/kg <sub>s.v.</sub> ]
součinitel přestupu tepla konvekcí	$\alpha_K$	[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
součinitel přestupu tepla radiací	$\alpha_R$	[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
poměrná zářivost černého povrchu	$\varepsilon_1$	[-]
poměrná zářivost leštěného povrchu	$\varepsilon_2$	[-]
mechanická účinnost lidského těla	$\eta$	[-]
doba poklesu teploty z 38 °C na 35 °C	$\tau$	[s]
relativní vlhkost vzduchu	$\varphi$	[%]

## FYZIKÁLNÍ KONSTANTY

Veličina	Symbol
Stefan – Boltzmannova konstanta	$\sigma_0 = 5,669 \cdot 10^{-8}$ [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
TP	Tepelná pohoda

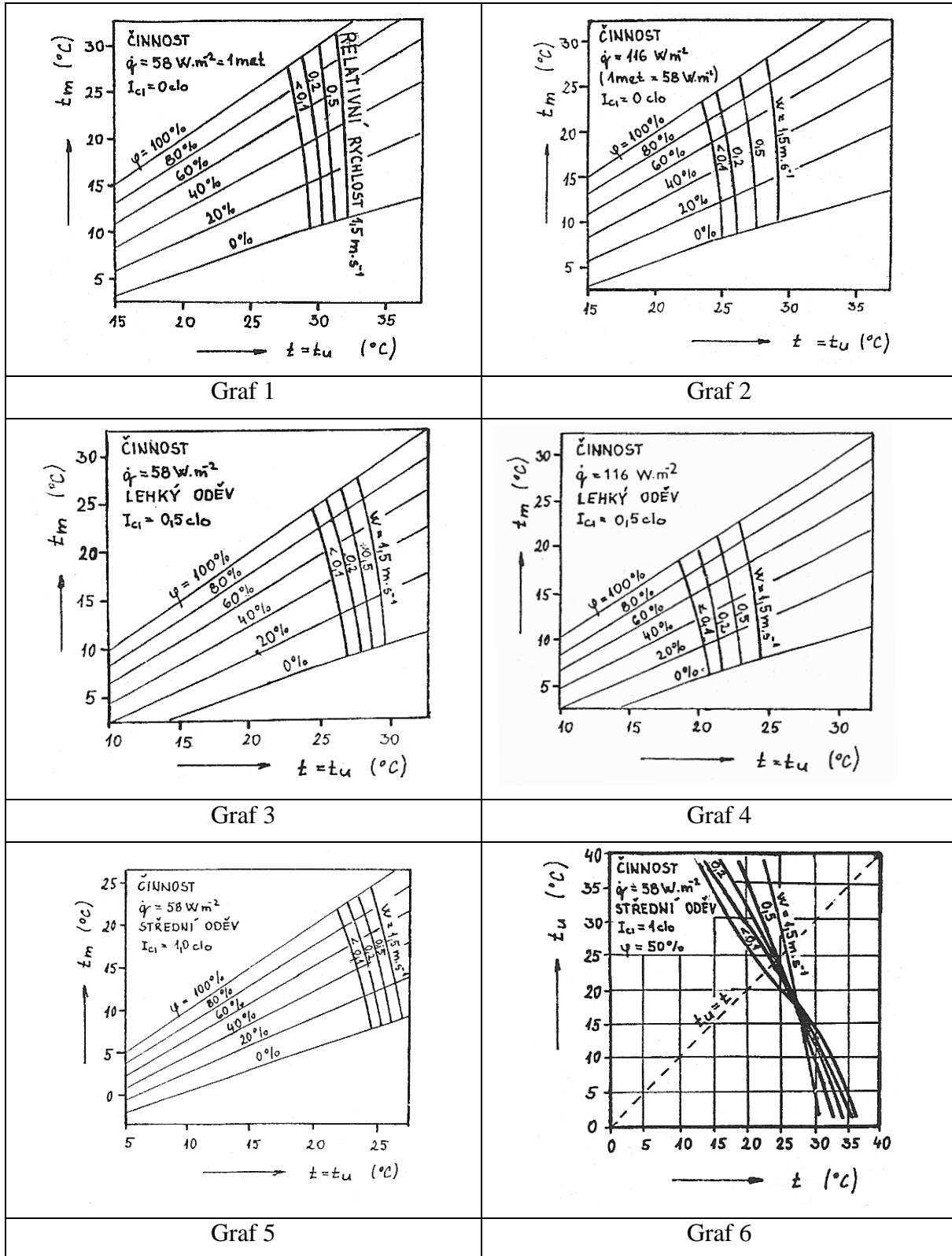
**SEZNAM PŘÍLOH**

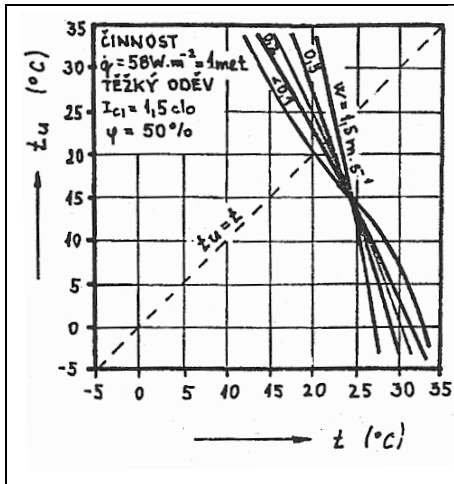
Příloha A      Diagramy tepelné pohody

Příloha B      Tepelná izolace typických kombinací oděvu, tepelná izolace součástí oděvu a změny operativní teploty

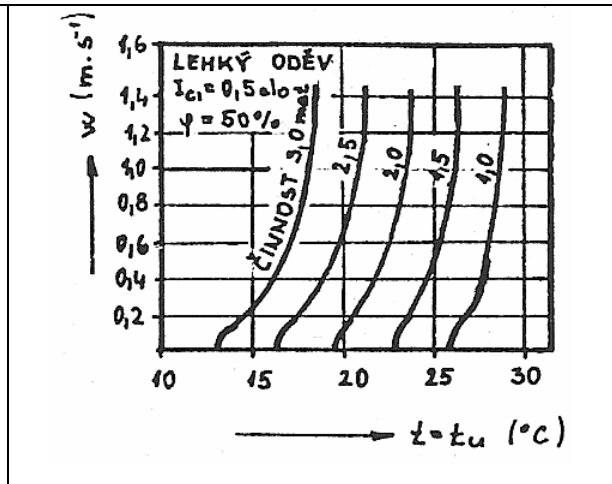
# PŘÍLOHA A

Diagramy tepelné pohody:

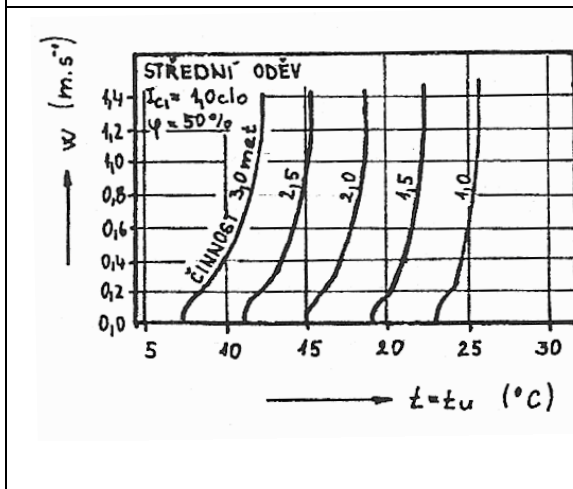




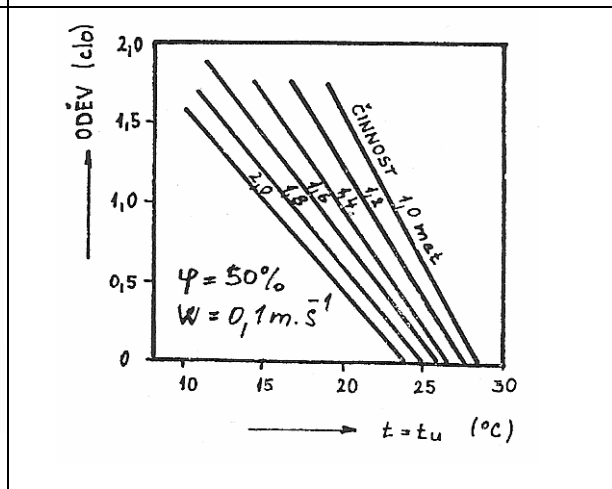
Graf 7



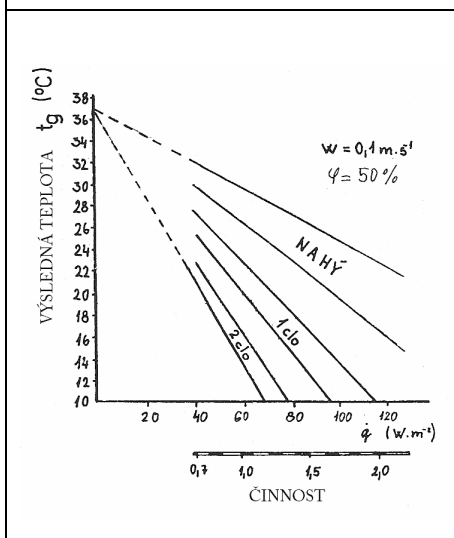
Graf 8



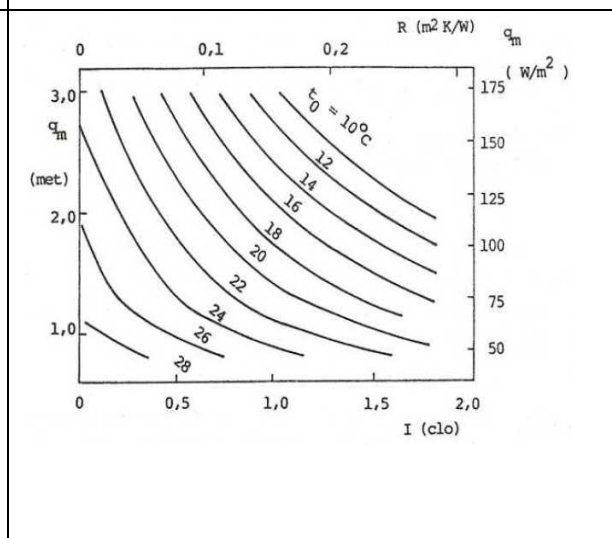
Graf 9



Graf 10



Graf 11



Graf 12 Optimální operativní teplota (PMV = 0, φ = 0,5)

Poznámka:  $t_u = \bar{t}_r$  - střední radiační teplota

**PŘÍLOHA B**

Tepelná izolace typických kombinací oděvu [12]

Pracovní oděv	$I_{cl}$ [clo]	$R_{cl}$ [ m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> ]	Běžný oděv	$I_{cl}$ [clo]	$R_{cl}$ [ m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> ]
Spodky, kombinéza, ponožky, boty	0,7	0,110	Kalhotky, tričko, šortky, tenké ponožky, sandály	0,3	0,050
Spodky, košile, kombinéza, ponožky, boty	0,8	0,125	Spodky, košile s krátkými rukávy, lehké kalhoty, tenké ponožky, boty	0,5	0,080
Spodky, košile, kalhoty, pracovní šaty, ponožky, boty	0,9	0,140	Kalhotky, spodnička, punčochy, šaty, střevíce	0,7	0,105
Spodní prádlo s krátkými rukávy a nohavicemi, košile, kalhoty, bunda, ponožky, boty	1,0	0,155	Spodní prádlo, košile, kalhoty, ponožky, boty	0,7	0,110
Spodní prádlo s dlouhými nohavicemi a rukávy, termobunda, ponožky, boty	1,2	0,185	Kalhotky, košile, kalhoty, bunda, ponožky, boty	1,0	0,155
Spodní prádlo s krátkými rukávy a nohavicemi, košile, kalhoty, bunda, silná prošívaná venkovní bunda a kombinéza, ponožky, boty, čepice, rukavice	1,4	0,220	Kalhotky, punčochy, halenka, dlouhá sukně, bunda, boty	1,1	0,170
Spodní prádlo s krátkými rukávy a nohavicemi, košile, kalhoty, bunda, silná prošívaná venkovní bunda a kombinéza, ponožky, boty	2,0	0,310	Spodní prádlo s krátkými rukávy a nohavicemi, košile, kalhoty, svetr V, Bunda, ponožky, boty	1,3	0,200
Spodní prádlo s dlouhými rukávy a nohavicemi, termobunda a kalhoty, parka, silná kombinéza, ponožky, boty, čepice, rukavice	2,55	0,395	Spodní prádlo s krátkými rukávy a nohavicemi, košile, kalhoty, vesta, bunda, kabát, ponožky, boty	1,5	0,230

## Tepelná izolace součástí oděvu a změny operativní teploty [12]

Oděvní součásti	$I_{cl}$ [clo]	$R_{cl}$ [m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> ]	Změna optimální operativní teploty [°C]
Spodní prádlo			
Kalhotky	0,03	0,005	0,2
Spodky s dlouhými nohavicemi	0,10	0,016	0,6
Tílko	0,04	0,006	0,3
Tričko	0,09	0,014	0,6
Košile s dlouhými rukávy	0,12	0,019	0,8
Kalhotky a podprsenka	0,03	0,005	0,2
Blížy/halenky			
Krátké rukávy	0,15	0,023	0,9
Lehké dlouhé rukávy	0,20	0,031	1,3
Běžné dlouhé rukávy	0,25	0,039	1,6
Flanelová košile s dlouhými rukávy	0,30	0,047	1,9
Lehká halenka s dlouhými rukávy	0,15	0,023	0,9
Kalhoty			
Šortky	0,06	0,009	0,4
Lehké	0,20	0,031	1,3
Běžné	0,25	0,039	1,6
Flanelové	0,28	0,043	1,7
Šaty/sukně			
Lehká sukně (léto)	0,15	0,023	0,9
Silná sukně (zima)	0,25	0,039	1,6
Lehké šaty s krátkými rukávy	0,20	0,031	1,3
Zimní šaty s dlouhými rukávy	0,40	0,062	2,5
Kombinéza	0,55	0,085	3,4
Svetry			
Vesta bez rukávů	0,12	0,019	0,8
Tenký svetr	0,20	0,031	1,3
Svetr	0,28	0,043	1,7
Silný svetr	0,35	0,054	2,2
Bundy			
Lehká letní bunda	0,25	0,039	1,6
Bunda	0,35	0,054	2,2
Pracovní bunda	0,3	0,047	1,9
Vysoce izolační, vláknové – kožešinové			
Kombinéza	0,09	0,140	5,6
Kalhoty	0,35	0,054	2,2
Bunda	0,40	0,062	2,5
Vesta	0,20	0,031	1,3
Venkovní oděv			
Sako	0,60	0,093	3,7
Dlouhý kabát	0,55	0,085	3,4
Parka	0,70	0,109	4,3
Vláknová – kožešinová kombinéza	0,55	0,085	3,4
Ostatní			
Ponožky	0,02	0,003	0,1
Silné kotníkové ponožky	0,05	0,008	0,3
Silné dlouhé ponožky	0,10	0,016	0,6
Nylonové punčochy	0,03	0,005	0,2
Boty (s tenkou podrážkou)	0,02	0,003	0,1
Boty (se silnou podrážkou)	0,04	0,006	0,3
Boty	0,10	0,016	0,6
Rukavice	0,05	0,008	0,3

