

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ověřování tepelné pohody

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Michal PETERKA
Osobní číslo: E13B0332P
Studijní program: B2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Elektrotechnika a energetika
Název tématu: Ověřování tepelné pohody
Zadávací katedra: Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Zásady pro vypracování:

1. Zhodnoťte vlivy působící na tepelnou pohodu člověka.
2. Uveďte metody zjišťování tepelné pohody.
3. V zadaných prostorech proveďte ověřování tepelné pohody podle normy.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická


Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ilona Gonová**
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kís, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

V této bakalářské práci jsou shrnuty požadavky na parametry tepelné pohody prostředí. V úvodní části práce je charakterizována tepelná pohoda, která je důležitou součástí celkové spokojenosti člověka s vnitřním prostředím interiéru, kde jsou popsány i mechanismy termoregulace člověka. Následující část bakalářské práce uvádí přehled faktorů tepelné pohody a další část je věnována metodám hodnocení tepelné pohody pomocí parametrů PMV a PPD. V praktické části je popsáno samotné měření a jsou zde shrnuty výsledky naměřených hodnot.

Klíčová slova

Tepelná pohoda, PMV, PPD, koncentrace CO₂, absolutní tlak, teplota, relativní vlhkost.

Abstract

In this Bachelor thesis are summarized the requirements on the parameters of the thermal comfort environment. In the introductory part of the work is characterized by a thermal comfort, which is an important part of the overall satisfaction of the man with the internal environment of the Interior, where they are described as well as the mechanisms of thermoregulation of man. The following section provides an overview of the Bachelor thesis thermal comfort factors and the other part is devoted to the methods of the evaluation of thermal comfort using PMV and PPD. In the practical part of the measurement itself is described and summarized here are the results of the measured values.

Key words

Thermal comfort, PMV, PPD, fraction of carbon dioxide in air, absolute pressure, temperature, relative humidity.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

.....
podpis

V Plzni dne 1.6.2015

Michal Peterka

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Iloň Gonové za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
1 ÚVOD	10
1.1 CÍL PRÁCE	10
2 TEPELNÁ POHODA	11
3 FAKTORY TEPELNÉ POHODY	14
3.1 TEPLOTA VZDUCHU T_A VYJÁDŘENÁ VE STUPNÍCH CELSIA	15
3.1.1 Měření teploty vzduchu	15
3.2 VÝSLEDNÁ TEPLOTA T_G VYJÁDŘENÁ VE STUPNÍCH CELSIA	15
3.3 STŘEDNÍ TEPLOTA SÁLÁNÍM (RADIČNÍ TEPLOTA) T_R VYJÁDŘENA VE STUPNÍCH CELSIA	15
3.3.1 Měření střední teploty sálání.....	16
3.4 OPERATIVNÍ TEPLOTA T_O VYJÁDŘENA VE STUPNÍCH CELSIA	17
3.5 VLHKOST VZDUCHU	18
3.5.1 Měření vlhkosti vzduchu.....	19
3.6 RYCHLOST PROUDĚNÍ VZDUCHU V_A (M/S) A VLIV TURBULENCÍ.....	20
3.6.1 Měření rychlosti proudění vzduchu.....	21
3.7 KATA – HODNOTA PROSTŘEDÍ	22
3.7.1 Měření kata – hodnoty prostředí.....	22
3.8 KONCENTRACE CO_2	23
3.8.1 Měření koncentrace CO_2	23
4 KRITÉRIA TEPELNÉ POHODY	25
4.1 PMV	25
4.2 PPD.....	27
5 MĚŘENÍ JEDNOTLIVÝCH VELIČIN A JEJICH ZHODNOCENÍ	28
5.1 ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ NAMĚŘENÝCH PŘÍSTROJEM TESTO 435	28
5.2 ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ PMV A PPD.....	30
5.3 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT.....	31
5.3.1 Korelace.....	32
5.3.2 Anova test.....	33
ZÁVĚR	36
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	38
PŘÍLOHY	1

Seznam symbolů a zkratek

$^{\circ}\text{C}$	Jednotka Celsiova stupně
ČSN	Česká technická norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
Q	Energetický výdej
t_a	Teplota vzduchu
t_g	Výsledná teplota kulového teploměru
t_r	Střední teplota sáláním (radiační teplota)
v_a	Rychlost proudění vzduchu
K	Kata hodnota prostředí
ppm	Parts per milion (části na jeden milion)
CO_2	Chemický vzorec oxidu uhličitého
t_o	Operativní teplota
PMV	Předpověď středního tepelného pocitu
PPD	Předpověď procentuálního podílu nespokojených
K	Jednotka Kelvinova stupně
W_a	Absolutní vlhkost
R_{cl}	Tepelný odpor oděvu
w	Rychlost proudění vzduchu
A	Koeficient pro výpočet operativní teploty
R_h	Relativní vlhkost
TU	Intenzita turbulence
SD	Směrodatná odchylka rychlosti
M	Metabolizmus
I_{cl}	Tepelný odpor oděvu
f_{cl}	Povrchový faktor oděvu
P_a	Parciální tlak vodní páry
h_c	Součinitel přestupu tepla konvencí
W	Užitečný mechanický výkon

1 Úvod

Už 400 př.n.l. se Sokrates zabýval problematikou stavby domů, aby v nich zajistil tepelnou pohodu. Když bylo chladno, zapálili oheň, když bylo teplo, použili vějíře. Jeho poznatky a návrhy neměly na ovlivnění tepelné pohody téměř žádný vliv, protože v té době bylo k dispozici jen velmi málo nástrojů potřebných k uskutečnění jeho návrhů. Teprve koncem 20. století se začalo používat mechanické chlazení a tak bylo možné budovu jak přetopit, tak ochladit, a to byl podnět pro výzkum pohody prostředí. [1]

V dnešní době jsou stále častěji sledovány a řízeny základní parametry vnitřního prostředí, v němž se pohybujeme, zejména pak parametry tepelné pohody. Případné řízení pak významně ovlivňuje spotřebu energie potřebné pro udržování tepelné pohody, která je na kritériích vnitřního prostředí významně závislá. Nutno podotknout, že vnitřní prostředí se odráží na pracovním a studijním výkonu, ovlivňuje zdraví a produktivitu práce.

K hodnocení a stanovení tepelné pohody je třeba měřit několik fyzikálních veličin.

1.1 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je poskytnout celkový přehled základních parametrů tepelné pohody ve vnitřním prostoru a zhodnocení jejích faktorů a kritérií. Pro vyhodnocení bylo provedeno měření vybraných parametrů v daném prostoru, naměřené údaje byly vyhodnoceny a statisticky zpracovány.

2 Tepelná pohoda

Tepelná pohoda je jedním z faktorů zajišťujících optimální prostředí pro pobyt člověka. Je to pocit navozující celkovou pohodu, stav rovnováhy mezi subjektem a interiérem bez zatěžování termoregulačního systému a umožňující optimální pracovní výkon. Předpokladem je vyrovnaný stav toku tepla mezi člověkem a prostředím bez viditelného pocení, nebo naopak bez pocitu chladu a bez použití ochranných termoregulačních procesů lidského těla.

Na teplé prostředí nebo stoupající produkci metabolického tepla, tělo člověka odpovídá reakcí tzv. vazodilatací, kdy dojde k rozšíření podkožních cév a ke zvýšení zásobování pokožky krví. Právě pokožka následně zvýší odvod tepla z těla, kdy potní žlázy začnou produkovat pot a dojde k pocení. Při tomto procesu dochází ke spotřebě tepla, které je potřebné k odpaření potu a k následnému ochlazení. Pokud vazodilatace nemůže obnovit tepelnou rovnováhu těla, následuje reakce zvaná hypertermie, což je nevyhnutelné přehřívání organismu. Mezi prvními příznaky patří např. slabost, bolest hlavy a ztráta chuti. Jestliže dojde k tepelnému šoku, teplota těla rychle stoupá přes 41 °C, zastaví se pocení, začne kóma. I když je člověk v této fázi zachráněn, mozek již může být nevratně poškozen. [1]

V momentě, kdy je prostředí chladné, reaguje lidské tělo nejprve vazokonstrikcí, tzn., že dojde ke snížení podkožní cirkulace krve, ke snížení teploty pokožky, což následně snižuje tepelné ztráty člověka. Tento proces bývá doprovázen vznikem husí kůže nebo postavením chloupků na kůži, což způsobuje lepší tepelnou produkci těla. V případě, že toto nefunguje, je na řadě termogeneze. Termogeneze je svalové napětí a třesení, které způsobuje zvýšení tepelné produkce těla. Třesením lze zvýšit tepelnou produkci těla až 10x. Teplota lidského těla zůstává stále okolo 37 °C. Při nedostatku krve může teplota prstů u rukou i u nohou poklesnout až pod 20 °C. V případě, že není zajištěna tepelná rovnováha, nastává stav, který se nazývá hypotermie, což je nevyhnutelné podchlazení těla, při kterém může teplota klesnout až pod 35 °C. Jestliže je tělo vystaveno chladu, dochází i v případě hypotermie ke zvýšení krevního tlaku, srdeční frekvence a spotřeby kyslíku. K selhání krevního oběhu dochází v případě poklesu teploty tělesného jádra a poklesu srdeční frekvence. [1]

Vlivem látkových přeměn v lidském těle dochází k uvolňování metabolického tepla. Každý člověk produkuje určitý tepelný výkon, který závisí na činnosti člověka, na jeho typu a na přijímané potravě. Následující tabulka uvádí hodnoty měrného energetického výdeje základních činností člověka.

Tabulka 2.1 Měrný energetický výdej vybraných činností (převzato [2])

Činnost	Měrný energetický výdej q (W/m²)
Spánek	41
Sezení v klidu	58
Kancelářské práce	58 až 70
Chůze po rovině 3,2 km/h	116
Chůze po rovině 6,4 km/h	221
Squash	320 až 340
Ruční hoblování	350
Vaření	83 až 116
Ruční praní a žehlení	116 až 210

Jestliže člověk vykonává nějakou činnost v uzavřeném prostředí, je tepelná pohoda velmi důležitá. Mimo pásmo tepelné pohody se člověk špatně koncentruje a pociťuje větší únavu.

Na základě svých biologických pochodů člověk neustále produkuje teplo, které předává svému okolí, tzn., že lidské tělo je nepřetržitým zdrojem tepla. Tato tepelná produkce se děje buď na základě bazálního metabolismu, což je proces, kdy je teplo produkováno na základě biologických procesů, jako je např. spalování potravy, i za naprostého klidu při spánku produkují játra určité množství tepla. Nebo na základě svalového metabolismu, kdy je teplo produkováno na základě činnosti člověka při konání práce, kdy se energie ve svalech mění na mechanickou práci a na teplo. Pokud nedojde k odvodu tepla, které organismus produkuje do okolí, dojde ke změně tělesné teploty.

Pro dosažení tepelné pohody je nutná tepelná rovnováha, což je stav, kdy je veškeré produkované teplo odebíráno prostředím.

Rovnice tepelné rovnováhy (převzato a upraveno [21]):

$$Q = Q_K + Q_S + Q_V + Q_D \quad (2.1)$$

Q_K představuje tepelný tok konvekcí, tedy prouděním

Q_S označuje výdej tepla sáláním, tedy radiací

Q_V značí výdej tepla difúzí vodní páry pokožkou a odpařováním potu

Q_D výdej tepla dýcháním – v praxi zanedbáváme

Q charakterizuje energetický výdej, který se skládá z metabolického tepla vznikajícího při základních biologických pochodech, kdy pro dospělého člověka má hodnotu 58,15 W.m⁻² nebo 1 met, kdy dospělý člověk má plochu cca 1,8 m².

Levá strana rovnice představuje teplo organismem produkované, na straně pravé je teplo do prostředí vydávané. V momentě, kdy je rovnice splněna, je člověk ve stavu tepelné pohody.

3 Faktory tepelné pohody

Problematika měření parametrů tepelné pohody se řídí státní normou ČSN ISO 7726 (Ergonomie tepelného prostředí - Přístroje pro měření fyzikálních veličin), kde je uvedeno, které parametry určují tepelnou pohodu a jakým způsobem je prováděno jejich měření. Jedná se především o faktory tepelného působení prostředí na člověka. Pro hodnocení tepelného stavu prostředí je důležitá nejen teplota vzduchu, ale i další parametry.

Faktory, které ovlivňují tepelnou pohodu, mohou být rozděleny do tří skupin:

- Vnitřní prostředí
 - Teplota vzduchu
 - Střední radiační teplota
 - Vlhkost vzduchu
 - Rychlost proudění vzduchu a jeho turbulence

- Osobní faktory
 - Hodnota metabolismu – může být ovlivněna jídlem a pitím i úrovní aklimatizace člověka
 - Oblečení – je jeden z hlavních faktorů ovlivňujících odvod tepla z lidského těla do okolí. Pro účely studia tepelné pohody byla zavedena jednotka clo, kdy 1 clo odpovídá izolační hmotě s tepelným odporem $R=0,155 \text{ m}^2\text{K/W}^{-1}$. 1 clo je izolační hodnota pro běžný pánský oblek s bavlněným spodním prádlem. Celková hodnota clo pro soubor oblečení je 0,82 násobek součtu jednotlivých částí oblečení.[1]

- Doplnující faktory
 - Jídlo a pití
 - Adaptace na venkovní klima
 - Adaptace na vnitřní klima
 - Tělesná postava a podkožní tuk – produkce tepla je úměrná hmotě těla, ale tepelné ztráty závisí na povrchu těla. Štíhlí lidé s hranatou postavou mohou mít větší plochu těla než lidé se zakulacenou postavou i úměrně větší tepelnou výměnu

s okolím. Oblejší lidé preferují nižší teploty, protože mají menší povrch pro tepelnou výměnu s okolím, ale i proto, že podkožní tuk je dobrý izolátor.

- Věk a pohlaví – také ovlivňuje teplotní požadavky

3.1 Teplota vzduchu t_a vyjádřená ve stupních Celsia

Je základní veličinou ovlivňující tepelnou pohodu člověka. Je to teplota vzduchu v okolí člověka bez vlivu sálání měřená jakýmkoli teplotním čidlem. Při měření t_a je tedy čidlo teploměru třeba účinně chránit před tepelným zářením z okolních povrchů.

3.1.1 Měření teploty vzduchu

Přístroje musí být umístěny ve stejném prostředí, jako se nachází uživatel prostoru dle ČSN EN ISO 28802 - Ergonomie fyzického prostředí - Hodnocení životního prostředí pomocí environmentálního průzkumu zahrnujícího fyzikální měření a subjektivní odezvy člověka. Přístroji musí být vymezen takový prostor, aby nebyl ovlivňován subjektivní posudek a přístroj nebyl v prostředí překážkou. Je potřeba dodržet časovou posloupnost měření a klást důraz na vyhodnocení jakékoliv změny prostředí. V místech výskytu diskomfortu je potřeba měření provádět ve třech výškových polohách a to ve výšce kotníku, hrudníku a hlavy.[3]

Výsledná teplota v interiéru v ubytovacím zařízení (bude dále měřeno) by se měla v zimním období pohybovat v rozmezí 22 ± 2 °C, v letním období 24 ± 2 °C dle vyhlášky č.6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.

3.2 Výsledná teplota t_g vyjádřená ve stupních Celsia

Výsledná teplota t_g °C je teplota měřená kulovým teploměrem a zahrnuje i vliv rychlosti proudění vzduchu i sálavých zdrojů na teplotu vzduchu. Jestliže se v měřeném vnitřním prostoru nevyskytují žádné výrazně sálavé zdroje nebo vysoké proudění vzduchu, neliší se výsledná teplota od teploty naměřené běžným teplotním čidlem.

3.3 Střední teplota sáláním (radiační teplota) t_r vyjádřena ve stupních Celsia

Je rovnoměrná teplota pomyslného vymezeného prostoru, ve kterém se přestup tepla

sdíleného sáláním z lidského těla rovná přestupu tepla sdíleného sáláním ve skutečném nerovnoměrném prostoru.[4]

Je definováno ve vztahu k lidskému tělu. Lze ji spočítat i změřit, výpočet této veličiny je složitý, proto se doporučuje měřit přístroji, které dovolují integrovat nerovnoměrné sálání z povrchů okolních ploch do střední hodnoty. Měří se radiometry, nebo se vypočítá z výsledné teploty kulového teploměru a teploty vzduchu. Slouží jako jedna ze vstupních hodnot pro výpočet operativní teploty. Střední radiační teplota t_r je určující veličinou z hlediska hodnocení tepelné zátěže v horkých a teplých provozech i tepelného komfortu ve vytápěných či klimatizovaných prostorách. Zohledňuje vzdálenost posuzovaného bodu od jednotlivých povrchů a jejich poměrnou velikost a je vázána na daný bod v prostoru. U interiérů s rovnoměrnou povrchovou teplotou okolních ploch je vliv posuzovaného místa v prostoru malý, naopak u interiérů s horkými povrchy je tento vliv podstatný - střední radiační teplota bude zcela jiná v těsné blízkosti a ve velké vzdálenosti od chladné stěny.

Střední radiační teplota se určí podle vztahu [4]:

$$t_r = [(t_g + 273)^4 + 2,9 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0,6} (t_g - t_a)]^{1/4} - 273 \quad (3.1)$$

kde t_g je výsledná teplota kulového teploměru o průměru 100 mm [°C]

t_a je teplota vzduchu [°C]

v_a je rychlost proudění vzduchu [m.s⁻¹]

nebo podle vztahu [4] :

$$t_r = [(t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0,6} (t_g - t_a)]^{1/4} - 273 \quad (3.2)$$

Kde t_g je výsledná teplota kulového teploměru o průměru 150 mm [°C]

Střední radiační teplota není hodnotící teplotní veličinou pro stanovení vlivu tepelného prostředí na člověka, je používána pouze jako výchozí veličina pro výpočet operativní teploty.

3.3.1 Měření střední teploty sálání

Jako přístroj pro měření této veličiny je používán černý kulový teploměr viz obr. 3.1, který je tvořen černou koulí, v jejímž středu je umístěno nějaké teplotní čidlo, jako např.

baňka rtuťového teploměru, termočlánek nebo odporová sonda. Průměr koule se doporučuje 0,15 m, čím menší je průměr koule, tím větší je vliv teploty a rychlosti proudění vzduchu, což způsobuje snížení přesnosti měření střední teploty sálání. [4]



Obr. 3.1: Černý kulový teploměr (převzato a upraveno z [15])

3.4 Operativní teplota t_o vyjádřena ve stupních Celsia

Operativní teplota je vypočtená teplota, která v sobě zahrnuje vliv výměny tepla prouděním a zářením. Je to jednotná teplota uzavřeného černého prostoru, ve kterém by lidské tělo sdílelo prouděním i zářením stejné množství tepla jako ve skutečném, teplotně nesourodém prostředí. [10]

Ve většině případů, kde je relativní rychlost proudění vzduchu malá ($< 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) nebo kde je malý rozdíl mezi střední radiační teplotou t_r a teplotou vzduchu t_a ($< 4 \text{ K}$), lze operativní teplotu vypočítat jako aritmetický průměr teplot t_a a t_r . Při vzrůstající rychlosti proudění vzduchu w a rostoucím rozdílu teplot t_a a t_r – se operativní teplota určí podle rovnice. Operativní teplota je tedy vážený průměr teploty vzduchu a střední radiační teploty podle odpovídajících součinitelů přestupu tepla konvekcí a sáláním.

Operativní teplota vzduchu t_o [$^{\circ}\text{C}$] je rovnoměrná teplota uzavřené černé plochy, uvnitř které by člověk sdílel sáláním a prouděním stejně tepla jako v prostředí skutečném.

Není veličinou změřenou, ale vypočítanou např. podle vztahu [19]:

$$t_o = t_r + A (t_a - t_r) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3.3)$$

kde t_a je teplota vzduchu [$^\circ\text{C}$] – průměrná hodnota za směnu nebo zvolený časový interval

t_r je střední radiační teplota [$^\circ\text{C}$] – průměrná hodnota za směnu nebo zvolený časový interval

A je koeficient, který je funkcí rychlosti proudění vzduchu podle Tabulky 3.1.

Tabulka 3.1 Závislost koeficientu A na rychlosti proudění vzduchu (převzato a upraveno [20])

$v_a \text{ (m.s}^{-1}\text{)}$	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
$A \text{ (-)}$	0,50	0,53	0,60	0,65	0,70	0,75

Pro rychlosti proudění vzduchu větší než $1,0 \text{ m.s}^{-1}$ se koeficient A vypočítá podle vztahu (3.4):

$$A = 0,75 \cdot v^{0,16} \quad (3.4)$$

Operativní teplotu t_o lze za podmínky rychlosti proudění vzduchu $v_a < 0,2 \text{ m.s}^{-1}$ přímo nahradit výslednou teplotou kulového teploměru t_g .

Je-li rozdíl mezi výslednou teplotou kulového teploměru t_g a suchou teplotou t_a menší než $1 \text{ }^\circ\text{C}$, lze jako výslednou teplotu použít hodnotu $t_a \text{ [}^\circ\text{C]}$ naměřenou suchým teploměrem.

3.5 Vlhkost vzduchu

Během ročního období se vlhkost vzduchu mění. Vlhkost vzduchu v interiéru závisí na venkovní vlhkosti, technologických nebo jiných zdrojích a na počtu lidí nacházejících se v daném prostoru. Je člověkem mnohem méně pociťována než teplota. Tento parametr má vliv i na zdraví člověka, kdy doporučené hodnoty se pohybují v rozmezí 30 až 70 % relativní vlhkosti. Při nižších teplotách zejména v zimním období dochází vlivem vytápění k poklesu relativní vlhkosti, tím dochází k vysoušení sliznic, k poklesu jejich ochranné

funkce a ke zvyšování průniku některých škodlivých látek do dolních cest dýchacích. Naproti tomu vysoká vlhkost může mít za následek růst plísní ve vlhkém zdivu. Vlhkost vzduchu lze vyjádřit jako absolutní a relativní.

Absolutní vlhkost se bere v úvahu pouze při přenosu tepla odpařováním z lidského těla a vyjadřuje aktuální výskyt vodních par, které jsou obsaženy v okolním vzduchu. Vyjadřuje váhové množství vody, obsažené v jednotkovém objemu vzorku.

Relativní vlhkost vyjadřuje stupeň nasycení vzduchu vodními parami a definuje se poměrem hustoty vodní páry ve vzduchu a ve vlhkém vzduchu nasyceném vodní parou za dané teploty a tlaku.

V našich podmínkách je zvykem používat jako vlhkostní kritérium relativní vlhkost vzduchu ρ_h .

3.5.1 Měření vlhkosti vzduchu

Tuto veličinu měříme vlhkoměry, které dle ČSN EN – ISO 7726 dělíme na několik typů:

- Vlhkoměr na bázi kolísání elektrické vodivosti
- Lithium chloridový vlhkoměr - slouží k měření absolutní vlhkosti měřením kolísání teploty, které je způsobeno kolísáním elektrické vodivosti čidla
- Kapacitní vlhkoměr – používá se k měření relativní vlhkosti měřením kolísání elektrické kapacity čidla
- Absorpční vlhkoměr

Na následujícím obrázku 3.2 je znázorněn kapacitní vlhkoměr KIMO HD 150.



Obr. 3.2: Kapacitní vlhkoměr KIMO HD 150 (převzato a upraveno [16])

3.6 Rychlost proudění vzduchu v_a (m/s) a vliv turbulencí

Rychlost proudění vzduchu v_a je veličina ovlivňující pocit tepelného komfortu – diskomfortu v prostředí (průvan). Ovlivňuje přenos tepla prouděním a vypařováním potu z pokožky. Je to veličina určená velikostí a směrem. V prostředí s tepelným působením jde o efektivní rychlost proudění vzduchu, tj. velikost vektoru rychlosti proudu vzduchu v uvažovaném místě měření. Rychlost proudění vzduchu v_a v libovolném bodě v nějakém prostoru kolísá s časem a doporučuje se výchylky rychlosti zaznamenávat. Proud vzduchu lze popsat průměrnou rychlostí v_a , která je definována jako průměr rychlosti v nějakém časovém intervalu (doba měření) a směrodatné odchylky rychlosti SD dané rovnicí [4]:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_{ai} - v_a)^2} \quad (3.5)$$

kde v_{ai} je rychlost v čase „i” doby měření

Intenzita turbulence TU vzduchového toku je definována jako směrodatná odchylka

dělená průměrnou rychlostí a obvykle se vyjadřuje v % a je dána vzorcem [4]:

$$TU = \frac{SD}{V_a} \times 100 \quad (3.6)$$

Člověk vnímá každé proudění vzduchu, to však může být zdrojem určitého diskomfortu. Nízké rychlosti proudění vzduchu vedou k pocitu „stojícího vzduchu“, naopak nadměrný pohyb vzduchu působí rušivě a u osob pobývajících ve vytápěném prostoru může dojít k vyvolání pocitu průvanu. Pokud se povrch těla vlivem proudícího se vzduchu nadměrně ochlazuje rychlým odpařováním potu, dojde k prochladnutí organismu a tento jev může vést až ke zdravotním potížím. Proudění vzduchu v místnosti je vyvoláno nuceným nebo přirozeným větráním.

3.6.1 Měření rychlosti proudění vzduchu

Měření je nutné provést metodami, které umožňují stanovit i nízké hodnoty proudění vzduchu, a to v rozsahu od 0,05 až do 0,5 m.s⁻¹. Jelikož pohyb vzduchu v prostoru není konstantní (je turbulentní) a je proměnný i v čase, nelze hodnotit okamžité změřené hodnoty. K vyhodnocení je nutné použít střední hodnoty v delším časovém intervalu - minimálně 1 minutu a optimálně 3 minuty. Musíme dbát také na citlivost čidla a směru proudění vzduchu. Nejvíce vyhovují všesměrová čidla s krátkou dobou ustálení. V případě, že je použito směrové čidlo, je nutné měřit ve směru, při kterém byly zjištěny největší okamžité hodnoty. Abychom zabránili chybám, je nutné toto měření opakovat alespoň 3x.[5]

K měření rychlosti proudění vzduchu se nejčastěji používají:

- všesměrová čidla, např. anemometr se zahřívanou kuličkou, termistorový anemometr, laserový Dopplerův anemometr, ultrazvukový anemometr (miskový anemometr pro venkovní měření síly větru),
- směrová čidla (známe-li převládající směr proudění vzduchu), např. lopatkové anemometry, anemometr se žhaveným vláknem.

Vhodná přesnost měření podle ČSN EN ISO 7726 je $\pm 0,02 \text{ m.s}^{-1}$.

3.7 Kata – hodnota prostředí

Kata - hodnota prostředí vyjadřuje pocit člověka v daném prostředí, tuto hodnotu měříme z důvodu, abychom zjistili ochlazovací účinek v daném prostředí. Výsledná hodnota zahrnuje vliv teploty prostředí, vlhkosti vzduchu a jeho rychlosti proudění [6].

3.7.1 Měření kata – hodnoty prostředí

Měří se kata – teploměrem, který se skládá z rozměrné nádoby a kapiláry teploměru. K vyhodnocení slouží následující tabulka:

Tabulka 3.2 Závislost pocitu na suché kata – hodnotě (převzato a upraveno [6])

pocit v měřeném prostředí	velmi chladno	chladno	příjemně	teplo	horko
suchá kata-hodnota	7	6	5	4	3

Kata-teploměr má rozměrnou nádobku plněnou červeně obarveným lihem. Kapilára je v horní části rozšířena do jímky. Před měřením se teploměr ohřeje, až líh vystoupí do této jímky, a měří se čas, který uplyne od poklesu hladiny z 38°C na hodnotu 35°C, kterými je teploměr označen. Teploměr je volně zavěšen v místě, kde se kata-hodnota měří, bez rušivých vnějších vlivů (kývání teploměru, blízká přítomnost osob a podobně). Rychlost poklesu hladiny teploměru závisí na teplotě prostředí, na rychlosti proudění vzduchu a na jeho velikosti. Množství tepla Q [W.s.m⁻²], které je jednotkovou plochou nádoby předáno do okolí se u každého kata teploměru určí cejchováním a je vyryta do pláště teploměru. Stav prostředí určuje dobu poklesu t [s].

Kata-hodnota je pak dána vztahem [6] :

$$K = \frac{Q}{\Delta t} \text{ [W.m}^{-2}\text{]} \quad (3.7)$$

Představuje množství tepla předaného jednotkovou plochou povrchu nádoby za dobu 1 s, při střední hodnotě 36,5 °C (což představuje teplotu lidského těla), do okolního prostředí. Při suché nádobce se měří suchá kata-hodnota. Měření vlhké kata-hodnoty se provádí při 100 %-ní vlhkosti, tzn., že se nádobka obalí vlhkým mušelínem.

3.8 Koncentrace CO₂

Oxid uhličitý je nejběžnější kontaminant vnitřního prostředí, jeho koncentrace jsou vždy vyšší v interiérech než venku. Vyšší koncentrace ve venkovním ovzduší se vyskytují například v okolí dopravních tepen s vysokým provozem a v okolí průmyslových zón. Koncentrace CO₂ ve venkovním vzduchu je okolo 0,04 % neboli 400ppm (parts per milion – jedna substance pro 999 999 dalších částic, tedy jeden díl v milionu). Zdrojem tohoto plynu je zejména člověk.

Do vnitřního prostředí budov se dostává jako produkt dýchání lidí, zvířat a rostlin. Dýcháním dochází k přeměně vdechnutého kyslíku na CO₂, přičemž vydechnutý vzduch dospělého člověka obsahuje cca 35000 - 50000 ppm CO₂. Z toho lze vyvodit, že v uzavřených prostorách dochází, bez odpovídající ventilace, k nárůstu koncentrace CO₂. Hodnotu koncentrace CO₂ ve vzduchu je tedy možné považovat za důležitý ukazatel kvality vzduchu v uzavřených prostorách.

Jeho přípustná hodnota v interiéru se dle vyhlášky č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, připouští maximálně do 1 500 ppm a při překročení této koncentrace dochází k únavě, ospalosti a k poklesu schopnosti koncentrace. Přehled mezních hodnot CO₂ v interiéru je uveden v tabulce 3.3.

Tabulka 3.3 Maximálně hodnoty koncentrace oxidu uhličitého ve vnitřním prostředí (převzato a upraveno ([9])

Velmi příjemné	878 ppm
Příjemné	984 ppm
Příjatelné	1167 ppm
Dlouhodobě únosné	5400 ppm
Krátkodobě únosné	14663 ppm
Neúnosné	15000 ppm

3.8.1 Měření koncentrace CO₂

K měření koncentrace oxidu uhličitého uvnitř interiéru lze využít ruční přístroje nebo pevně instalovaná čidla. Pevná čidla jsou v bytových prostorách instalována z důvodu

řízeného větrání pomocí vzduchotechniky.

Přístroje používané pro měření koncentrace oxidu uhličitého pracují na různých principech, a to na základě absorpce infračerveného záření nebo na principu útlumu infračerveného záření ve vzduchu.

Ke kontrolnímu měření kvality vzduchu v objektu lze využít čidla ruční. Součástí tohoto přístroje je tělo přístroje a čidlo, mají tu výhodu, že na ně lze použít i jiná čidla, která měří např. teplotu, relativní vlhkost a tlak.

Následující obrázek znázorňuje měřicí přístroje ALMEMO 2690-8 a TESTO 435-1, který byl použit při měření parametrů vnitřního prostředí.



Obr. 3.3: Vlevo měřicí přístroj ALMEMO 2690-8 (převzato a upraveno [17]), vpravo měřicí přístroj TESTO 435-1 (převzato a upraveno [18])

4 Kritéria tepelné pohody

Jako kritéria k hodnocení tepelné pohody se nejčastěji používají předpověď středního tepelného pocitu, tzv. index PMV, dále předpověď procentuálního podílu nespokojených PPD a obtěžování průvanem DR, ale také veličiny jako ekvivalentní teplota, efektivní teplota atd.

4.1 PMV

Tepelný pocit člověka souvisí s tepelnou rovnováhou jeho těla jako celku. Tepelná rovnováha závisí na tělesné činnosti, na oděvu, ale i na vlhkosti, teplotě a rychlosti proudění vzduchu a na střední radiační teplotě. Když jsou tyto faktory zjištěny, lze předpovědět tepelný pocit těla jako celku výpočtem předpovědi středního tepelného pocitu (PMV = predicted mean vote). [10]

Index PMV je ukazatel předpovídající střední tepelný pocit velké skupiny osob, které hodnotí svůj pocit na základě sedmibodové stupnice tepelných pocitů, která je založena na tepelné rovnováze lidského těla (viz. 4.1). Tepelná rovnováha nastává za předpokladu, že se vnitřní tepelná produkce těla rovná tepelné ztrátě v daném prostředí.

Tabulka 4.1 Sedmibodová stupnice tepelných pocitů (převzato a upraveno [10])

Stupeň	Tepelný pocit
+3	Horko
+2	Teplo
+1	Mírné teplo
0	Neutrální
-1	Mírné chladno
-2	Chladno
-3	Zima

PMV lze stanovit jedním z následujících způsobů:

- Za použití rovnice vyhodnocené pomocí počítačového programu
- Přímo z tabulky hodnot PMV, která je určena pro různé modelové situace činností, závisí na volbě oděvu, na operativní teplotě a na relativní rychlosti proudění vzduchu

- Přímým měřením ekvivalentní a operativní teploty pomocí integrovaného čidla

Hodnoty ukazatele PMV lze spočítat pomocí rovnic [10].

(4.1)

$$\begin{aligned}
 PMV &= \\
 &[0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot \\
 &\left\{ \begin{aligned}
 &(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} [5733 - 6,99(M - W) - p_a] - 0,42[(M - W) - 58,15] \\
 &- 1,7 \cdot 10^{-5} M (5867 - p_a) - 0,0014M (34 - t_a) \\
 &- 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c (t_{cl} - t_a)
 \end{aligned} \right\} \\
 t_{cl} &= 35,7 - 0,028 - I_{cl} \left\{ 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c (t_{cl} - t_a) \right\} \\
 h_{cl} &= \left\{ \begin{aligned}
 &2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} \text{ pro } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{V_{ar}} \\
 &12,1 \cdot \sqrt{V_{ar}} \text{ pro } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{V_{ar}}
 \end{aligned} \right\} \\
 f_{cl} &= \left\{ \begin{aligned}
 &1,00 + 1,290 I_{cl} \text{ pro } I_{cl} \leq 0,078 m^2 \cdot K / W \\
 &1,05 + 0,645 I_{cl} \text{ pro } I_{cl} \geq 0,078 m^2 \cdot K / W
 \end{aligned} \right\}
 \end{aligned}$$

Kde

M je metabolismus ve wattech na metr čtvereční (W/m^2);

W užitečný mechanický výkon ve wattech na metr čtvereční (W/m^2);

I_{cl} tepelný odpor oděvu v metrech čtverečních a kelvinech na watt ($m^2 K/W$);

f_{cl} povrchový faktor oděvu;

t_a teplota vzduchu ve stupních Celsia ($^{\circ}C$);

t_r střední radiační teplota ve stupních Celsia ($^{\circ}C$);

V_{ar} relativní rychlost proudění vzduchu v metrech za sekundu (m/s);

P_a parciální tlak vodní páry v paskalech (Pa);

h_c součinitel přestupu tepla konvencí ve wattech na metr čtvereční a kelvinech [$W/(m^2 K)$];

t_{cl} teplota povrchu oděvu ve stupních Celsia ($^{\circ}C$).

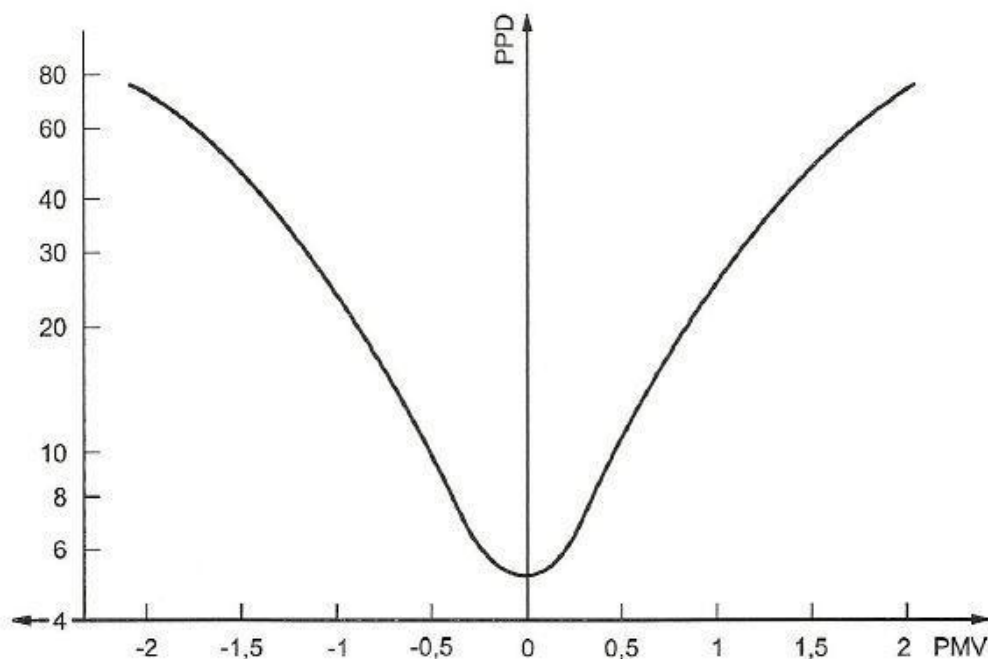
1 metabolická jednotka = 1met = 58,2 W/m²

4.2 PPD

Další ukazatel *PPD* (predicted percentage of dissatisfied) — předpověď procentuálního podílu nespokojených se odvozuje z parametru *PMV*. Ukazatel *PMV* předpovídá střední hodnotu posuzování tepelného pocitu u velké skupiny lidí, které jsou vystaveny témuž prostředí. Tento ukazatel dává kvantitativní předpověď procenta osob, které budou nespokojené s tepelným prostředím, které vyhodnotí jako příliš chladné nebo příliš teplé. Za nespokojené jsou považovány ty osoby, které volí na sedmibodové stupnici tabulky 4.1 horko, teplo, chladno nebo zima.

Jestliže je známa hodnota *PMV*, vypočítá se *PPD* dle rovnice [10]:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (4.2)$$



Obrázek 4.1 Graf předpovědi procentuálního podílu nespokojených PPD jako funkce předpovědi středního tepelného pocitu PMV (převzato [10])

5 Měření jednotlivých veličin a jejich zhodnocení

Měření veličin vnitřního prostředí proběhlo dne 16.3.2015 v budově Vysokoškolských kolejí, Máchova 20, Plzeň. Měření probíhalo v 7.NP v ubytovací buňce, kterou běžně obývají 2 studenti.

V rámci bakalářské práce byla mimo ukazatele působící na tepelnou pohodu změřena i koncentrace oxidu uhličitého, a to z toho důvodu, abychom mohli určit závislost jeho koncentrace na indexu PMV.

5.1 Zpracování výsledků naměřených přístrojem TESTO 435

První měření bylo provedeno multifunkčním přístrojem TESTO 435 s evidenčním číslem 212592, který se používá pro klimatizaci, větrání a kvalitu okolního vzduchu. Pro měření byla použita sonda IAQ, která se používá pro posouzení kvality vzduchu v místnosti, pro měření CO₂, vlhkosti, teploty a absolutního tlaku.

Pro potřeby bakalářské práce byla provedena 4 měření v různých mikroklimatických podmínkách. První měření bylo provedeno ihned po vstupu do pokoje, který 3 dny nikdo neobýval Tab. 5.1, druhé bylo provedeno po desetiminutovém větrání Tab. 5.2, třetí měření se uskutečnilo po 2 hodinách od vyvětrání Tab. 5.3 a čtvrté po 6 hodinách uzavřeného pokoje Tab. 5.4. Během měření byl pokoj obýván 2 osobami. Jednotlivá měření probíhala ve výši kotníku, hrudníku a hlavy.

Tabulka 5.1

1. Měření po vstupu do pokoje (3 dny bez obývání osoby)				
Pozice měřící sondy	Koncentrace CO ₂ (ppm)	Absolutní tlak(hPa)	Teplota (°C)	Relativní vlhkost(%)
Výška kotníků	865	98,191	22,5	30,8
Výška hrudníku	965	98,117	22,7	33,4
Výška hlavy	996	98,115	23,0	36,9

Koncentrace oxidu uhličitého, měřené ihned po vstupu do pokoje, se pohybovaly v rozmezí 865 až 996 ppm, Pro tyto koncentrace se nejedná o nepřipustnou hranici, u které by mohlo docházet k pocitu únavy a vydýchaného vzduchu. Teplota vzduchu při změně sondy z polohy od kotníků směrem k výšce hlavy vzrostla o 0,5 °C a pohybovala se

v rozmezí 22,5 – 23,0 °C, požadovaná hodnota ubytovacího zařízení v chladném období roku je 22±2 °C. Naměřená teplota požadavky vyhlášky č.6/2003 Sb. splňuje. Relativní vlhkost v daném pokoji dosahovala hodnoty 30,8 - 36,9 %. Změřená vlhkost v pozici u kotníků je na spodní hraniční hodnotě, která by neměla dle kapitoly 3.5 dosahovat pod hodnotu 30%. Při hodnotě 30,8 % by nemělo docházet k vysychání sliznice a oslabení organismu.

Tabulka 5.2

2. Měření ihned po vyvětrání				
Pozice měřící sondy	Koncentrace CO ₂ (ppm)	Absolutní tlak(hPa)	Teplota (°C)	Relativní vlhkost(%)
Výška kotníků	652	98,232	21,5	29,7
Výška hrudníku	727	98,223	21,9	31,3
Výška hlavy	799	98,164	22,3	33,2

Z Tab. 5.2 je patrné, že po velmi krátkém vyvětrání pokoje klesla koncentrace oxidu uhličitého, teploty i relativní vlhkosti. Koncentrace oxidu uhličitého byla naměřena v rozmezí 652 - 799 ppm, kdy se nejedná o nepřijatelné koncentrace. Stanovená teplota se pohybovala v rozmezí 21,5 - 22,3 °C, což je hodnota vyhovující. Relativní vlhkost ve výšce kotníků klesla pod hodnotu 30%, naměřeno bylo 29,7%. Změřená vlhkost je z hlediska norem pod hraniční hodnotou, přesto by neměla být nepříznivá pro lidský organismus.

Tabulka 5.3

3.Měření nevyvětraného pokoje - 2 hod po vyvětrání				
Pozice měřící sondy	Koncentrace CO ₂ (ppm)	Absolutní tlak (hPa)	Teplota (°C)	Relativní vlhkost(%)
Výška kotníků	774	98,117	20,6	35,7
Výška hrudníku	849	98,119	21,3	36,2
Výška hlavy	911	98,106	22,4	36,4

V tabulce 5.3 jsou znázorněny hodnoty jednotlivých ukazatelů v pokoji, který byl dvě hodiny nevětrán a jak je patrné, koncentrace oxidu uhličitého se oproti tabulce 5.2 zvýšila, pohybuje se v rozmezí 774 - 911 ppm (nepřekračuje limit), hodnota relativní vlhkosti se také zvýšila, pohybuje se v rozmezí 35,7 až 36,4 % (vyhovující).

Tabulka 5.4

4. Měření nevyvětraného pokoje-cca 6 hod po vyvětrání(2 osoby)				
Pozice měřící sondy	Koncentrace CO ₂ (ppm)	Absolutní tlak(hPa)	Teplota (°C)	Relativní vlhkost(%)
Výška kotníků	1453	98,366	21,2	38,8
Výška hrudníku	1591	98,364	21,9	40,5
Výška hlavy	1744	98,272	22,9	40,5

V tabulce 5.4 jsou uvedeny naměřené hodnoty nevyvětraného pokoje, ze které je zřejmé, že koncentrace oxidu uhličitého se pohybovala v rozmezí 1453 -1744 ppm, při této koncentraci už může docházet k pocitu únavy, nesoustředěnosti a pocitu vydýchaného vzduchu, jak je uvedeno v kapitole 3.8. Teplota se pohybuje v požadovaném rozmezí dle kapitoly 3.1.1 a stejně tak hodnoty relativní vlhkosti v požadovaném rozmezí 30 až 70%.

5.2 Zpracování výsledků měření PMV a PPD

Měření PMV a PPD bylo provedeno přístrojem COMFY - TEST EQ – 21 s evidenčním číslem 5629, který je vybaven jedním měřícím rozsahem pro obě měřící hodnoty. Před měřením byla na přístroji nastavena činnost lehká práce 140 (160-120 W/m²), dále byla nastavena míra tepelného odporu oděvu v jednotkách CLO, byla zvolena hodnota 0,6 (0,8-0,5) CLO pro lehký jarní oděv. Na příslušné stupnici vyobrazené přímo na přístroji pro hodnotu teploty okolního vzduchu byl nastaven tlak vzduchu v jednotkách mbar 10 (12-8). Následně byla provedena 4 měření ve stejných intervalech a klimatických podmínkách, které jsou uvedeny v kapitole 5.1.

Naměřené hodnoty PMV jsou uvedeny v následujících Tab. 5.5 až 5.8 a byly naměřeny v rozsahu 0,52 až 0,8. Hodnoty ukazatele středního tepelného pocitu v porovnání se sedmibodovou stupnicí tab. 4.1 se blíží tepelnému pocitu mírné teplo.

Tabulka 5.5

1. Měření po vstupu do pokoje (3 dny bez obývání osoby)		
Pozice měřící sondy	PMV	PPD
Výška kotníků	0,52	11
Výška hrudníku	0,60	13
Výška hlavy	0,64	14

Tabulka 5.6

2. Měření ihned po vyvětrání		
Pozice měřící sondy	PMV	PPD
Výška kotníků	0,54	10
Výška hrudníku	0,62	11
Výška hlavy	0,78	15

Tabulka 5.7

3. Měření nevyvětraného pokoje - 2 hod po vyvětrání		
Pozice měřící sondy	PMV	PPD
Výška kotníků	0,68	16
Výška hrudníku	0,74	17
Výška hlavy	0,78	18

Tabulka 5.8

4. Měření nevyvětraného pokoje - cca 6 hod po vyvětrání		
Pozice měřící sondy	PMV	PPD
Výška kotníků	0,74	16
Výška hrudníku	0,78	18
Výška hlavy	0,80	20

5.3 Statistické zpracování naměřených hodnot

Statistické zpracování naměřených hodnot bylo provedeno v programu Microsoft

Office Excel a byly zde využity statistické nástroje korelace a test Anova.

5.3.1 Korelace

Korelace je vzájemná závislost 2 souborů dat. Korelační koeficient r je v rozmezí od -1 do 1. Po vypočtení korelačního koeficientu se musí provést test jeho statistické významnosti. Vypočítá se testovací kritérium t :

$$t = \frac{|r| \cdot \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (5.1)$$

Kde n je počet hodnot a r korelační koeficient. Poté se vypočítá kritická hodnota t funkcí TINV (hladina významnosti – obvykle 0,05; počet stupňů volnosti – (n-2)).

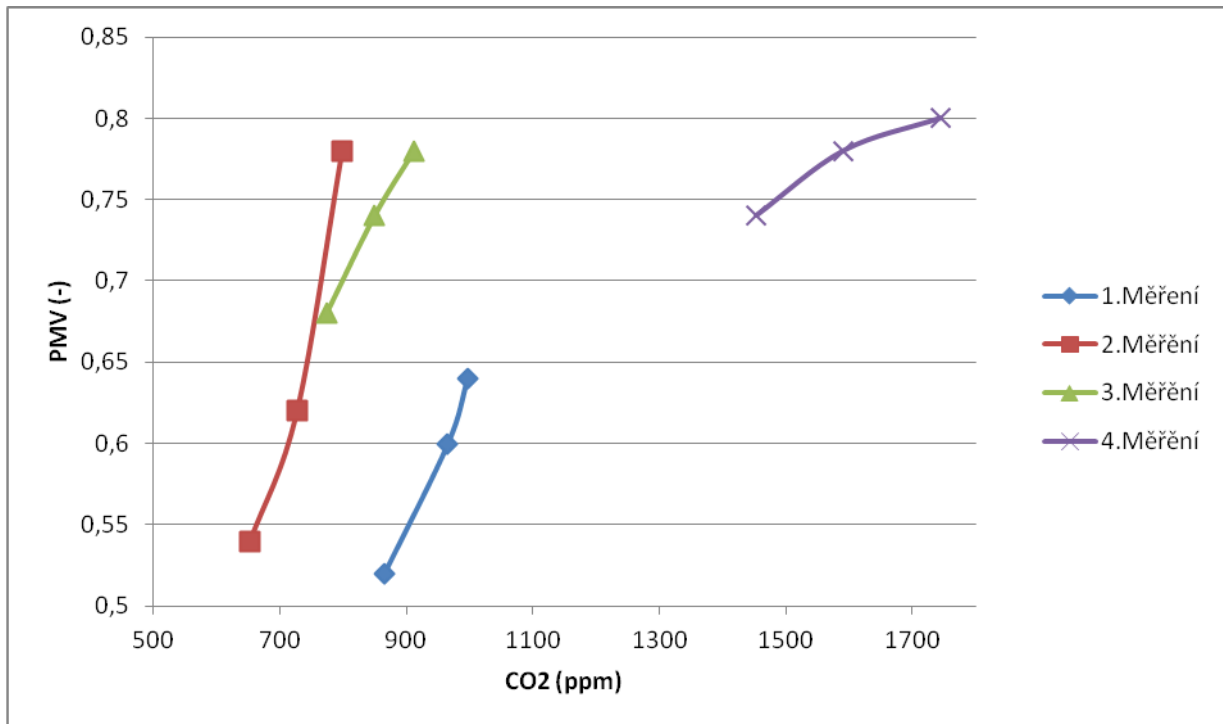
Jestliže $t > t_{krit}$ – lze prohlásit korelační koeficient za statisticky významný

V rámci bakalářské práce byl počítán korelační koeficient mezi hodnotami CO₂ s PMV. Korelační koeficient u všech čtyř měření byl vypočten vždy nad hodnotou 0,97, z čehož plyne, že mezi CO₂ a PMV je statisticky významná závislost.

Výpočet testovacího kritéria t pro první měření:

$$t = \frac{|r| \cdot \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} = \frac{|0,9944| \cdot \sqrt{3-2}}{\sqrt{1-0,9944^2}} = 9,41$$

T_{krit} nám vyšlo 2,26, z podmínky $t > t_{krit}$ ($9,41 > 2,26$) můžeme prohlásit korelační koeficient za statisticky významný.



Obrázek 5.1 Graf korelace

5.3.2 Anova test

Anova test – tento test testuje shodnost středních hodnot, v mém případě – zda existuje statisticky významný vliv 2 faktorů: času a měřicí pozice. Z toho důvodu lze použít pouze jediný statistický test a to Anova 2 faktory bez opakování.

Pokud p-hodnota testu $p < \alpha$ potom zamítáme H_0 a přijímáme H_A , v opačném případě H_0 nezamítáme.

α je hladina významnosti a její hodnota je 0,05.

Testujeme – hypotézy:

H_{01} : neexistuje vliv pozice měření (řádky)

H_{A1} : existuje vliv pozice měření (řádky)

H_{02} : neexistuje vliv času měření (sloupce)

H_{A2} : existuje vliv času měření (sloupce)

Výsledná tabulka Anova testu je v tabulce 5.9.

Zamítáme obě nulové hypotézy, protože obě hodnoty jsou menší než α a přijímáme H_A .

Z výsledné p-hodnoty testů je zřejmé, že existuje statisticky významný vliv obou dvou

faktorů, faktor času je pak mnohem významnější.

Tabulka 5.9

Anova: dva faktory bez opakování

Faktor	Počet	S		
		Součet	Průměr	Rozptyl
kotník	4	3744	936	126410
hrudník	4	4132	1033	147826,7
hlava	4	4450	1112,5	183749,7
Po příchodu	3	2826	942	4687
Po vyvětrání	3	2178	726	5403
po 2 hod	3	2534	844,6667	4706,333
po 6 hod	3	4788	1596	21189

ANOVA

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F krit
Řádky	62508,67	2	31254,33	19,81885	0,002272	5,143253
Sloupce	1364497	3	454832,3	288,4162	7,13E-07	4,757063
Chyba	9462	6	1577			
Celkem	1436468	11				

V případě, že bychom vynechali poslední měření (z důvodu naprosto zřejmého enormního nárůstu hladiny CO₂ (provedené po 6 hodinách od vyvětrání)) stále bychom zamítali nulovou hypotézu - viz tabulka 5.10. Tento test byl proveden pouze za účelem vyloučení ovlivnění experimentu jednou extrémní hodnotou.

Tabulka 5.10

Anova: dva faktory bez opakování

Faktor	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
kotník	3	2291	763,6667	11422,33
hrudník	3	2541	847	14164
hlava	3	2706	902	9763
Po příchodu	3	2826	942	4687
Po vyvětrání	3	2178	726	540
po 2 hod	3	2534	844,6667	4706,333

ANOVA						
<i>Zdroj variability</i>	<i>SS</i>	<i>Rozdíl</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>F krit</i>
Řádky	29105,56	2	14552,78	119,5027	0,000271	6,944272
Sloupce	70211,56	2	35105,78	288,2774	4,75E-05	6,944272
Chyba	487,1111	4	121,7778			
Celkem	99804,22	8				

Vzhledem k výsledkům testů je jasné, že při měření vždy záleží na čase a na měřicí pozici, ale statisticky významnější je faktor času.

Závěr

V této bakalářské práci je uveden přehled možných měření, které lze použít pro ověřování parametrů tepelné pohody ve vnitřním prostoru.

Úvodem je popsáno něco málo z historie tepelné pohody. Dále je zde popsán cíl práce, který vyzdvihuje přehled základních parametrů tepelné pohody ve vnitřním prostoru a zhodnocení jejich faktorů a kritérií.

Ve druhé kapitole je vysvětlen pojem tepelná pohoda, což je příjemný pocit navozující celkovou pohodu a umožňující optimální pracovní výkon a je zde rovněž uvedena a vysvětlena rovnice tepelné rovnováhy.

Kapitola třetí popisuje faktory tepelné pohody a způsoby měření těchto parametrů. Jedná se zejména o parametry jako teplota vzduchu, vlhkost vzduchu a koncentrace oxidu uhličitého, kdy u některých popisů měření jsou uvedeny i obrázky měřících přístrojů.

V kapitole čtvrté jsou uvedena kritéria k hodnocení tepelné pohody, kdy se pro hodnocení nejčastěji používají předpověď středního tepelného pocitu, tzv. index PMV, dále předpověď procentuálního podílu nespokojených PPD včetně grafu znázorňujícího předpověď procentuálního podílu nespokojených PPD jako funkce předpovědi středního tepelného pocitu PMV.

Samotné měření, hodnocení a statistické zpracování výsledků je uvedeno v kapitole páté, kde jsou uvedeny a zpracovány veškeré hodnoty, které byly naměřeny pomocí měřících přístrojů uvedených v kapitolách 5.1 a 5.2. Měření proběhlo, jak je již uvedeno v kapitole 5, v budově Vysokoškolských kolejí, Máchova 20, Plzeň v 7.NP v ubytovací buňce, kterou obývají dva studenti. Pro potřeby bakalářské práce byla provedena 4 měření v různých mikroklimatických podmínkách, kdy jednotlivá měření probíhala ve výši kotníků, hrudníku a hlavy. Měřena byla koncentrace CO₂, vlhkost, teplota, absolutní tlak, PMV a PPD. První měření bylo provedeno ihned po vstupu do pokoje, který 3 dny nikdo neobýval, druhé bylo provedeno po desetiminutovém větrání, třetí měření se uskutečnilo po 2 hodinách od vyvětrání a čtvrté po 6 hodinách uzavřeného pokoje. Při hodnocení veškerých výsledků byly naměřeny i hodnoty, které neodpovídají požadavkům dle platné

legislativy. Jedná se o hodnotu relativní vlhkosti u druhého měření na pozici ve výšce kotníků, kdy naměřená hodnota klesla pod hodnotu 30%, naměřeno bylo 29,7%. Změřená vlhkost je z hlediska norem pod hraniční hodnotou, přesto by neměla být nepříznivá pro lidský organismus. Další nepřijatelná hodnota byla zjištěna u čtvrtého měření na pozici ve výšce hrudníku a hlavy, kdy naměřená koncentrace CO₂ překročila hodnotu 1 500 ppm, při této koncentraci už může docházet k pocitu únavy, nesoustředěnosti a pocitu vydýchaného vzduchu. Naměřené hodnoty PMV se pohybují v rozsahu 0,52 až 0,8. Hodnoty ukazatele středního tepelného pocitu v porovnání se sedmibodovou stupnicí tab. 4.1 se blíží tepelnému pocitu mírné teplo.

Dále bylo v rámci bakalářské práce provedeno statistické zpracování naměřených hodnot v programu Microsoft Office Excel a byly využity statistické nástroje korelace a test Anova.

V rámci bakalářské práce byl počítán korelační koeficient mezi hodnotami CO₂ s PMV. Korelační koeficient u všech čtyř měření byl vypočten vždy nad hodnotou 0,97, z čehož lze usoudit, statisticky významnou závislost mezi CO₂ a PMV.

V případě, že bychom vynechali čtvrté měření (z důvodu enormního nárůstu koncentrace CO₂ provedené po 6 hodinách od vyvětrání) stále bychom zamítali nulovou hypotézu. Tento test byl proveden pouze za účelem vyloučení ovlivnění experimentu jednou extrémní hodnotou.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] CENTNEROVÁ, Ing. Lada. *Tepelná pohoda a nepohoda*. [online]. [cit. 2014-08-18]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>
- [2] RUBINOVÍ, Olga, Aleš. *Vnitřní prostředí budov a tepelná pohoda člověka*. [online]. [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2650-vnitri-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka>
- [3] ČSN EN ISO 28802. Ergonomie fyzického prostředí – Hodnocení životního prostředí pomocí environmentálního průzkumu zahrnujícího fyzikální měření a subjektivní odezvy člověka. ČNI, 2012
- [4] ČSN EN ISO 7726. Ergonomie tepelného prostředí - Přístroje pro měření fyzikálních veličin. ČNI, 2002
- [5] VĚSTNÍK, Ministerstva zdravotnictví České republiky. [online]. [cit. 2015-01-13]. Dostupné z: http://apps.szu.cz/ceksz/dokumenty/autorizace/Methodika_MKL_Vestnik_11.pdf
- [6] BERAN, Vlastimil doc. Ing. CSc., TŮMOVÁ Olga doc. Ing. CSc. Měření veličin životního a pracovního prostředí. 1. vydání - dotisk. Plzeň: Tiskové středisko ZČU, 2007.
- [7] BERAN, Vlastimil doc. Ing. CSc. Technická měření. 2. vydání. Plzeň: Tiskové středisko ZČU, 1999.
- [8] JANEČKA, Jan Ing. *Automa 11/2008*. [online]. [cit. 2014-11-06]. Dostupné z: <http://automa.cz/res/pdf/38112.pdf>
- [9] JOKL, Prof. Ing. Miloslav. *Teorie vnitřního prostředí budov* [online]. Praha, 2011 [cit. 2014-03-1]. Dostupné z: http://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/TVPB/Teorie_vnitriho_prostredi.pdf
- [10] ČSN EN ISO 7730. Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PVM a PPD a kritéria místního tepelného komfortu. ČNI, 2006
- [11] TŮMOVÁ, CSc., Doc. Ing. Olga, Doc. Ing. Václav ČTVRTNÍK, CSc., Ing. Jozef GIRG a Ing. Jiří ŠVARNÝ, PH.D. Elektrická měření: Měřicí metody. 2. vydání brožované. Západočeská univerzita v Plzni, říjen 2005.
- [12] NĚMEČEK, Pavel doc. Dr. Ing. Nejistoty měření. 1. vydání. Česká společnost pro jakost 2008.
- [13] ČSN EN 15251. Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky. ČNI, 2011

- [14] ČSN EN ISO 268000. Ergonomie – obecný přístup, zásady a pojmy. ČNI, 2012
- [15] KOCH, Ing Tomáš. *Technika a způsoby měření parametrů vnitřního prostředí*. [online]. [cit. 2012-10-12].
Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/9217-technika-a-zpusoby-mereni-parametru-vnitriho-prostredi>
- [16] NETZEROTOOLS. Obrázek: *Kapacitní vlhkoměr* [online]. [cit. 2014-02-18]. Dostupné z: <http://www.netzerotools.com/kimo-hd-150-thermo-hygrometers>
- [17] DIRECT INDUSTRY. Obrázek: *Měřicí přístroj ALMEMO 2690-8* [online]. [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/ahlborn/hand-held-universal-data-loggers-display-17042-201468.html>
- [18] TESTO. Obrázek: *Měřicí přístroj TESTO 435- 1* [online]. [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://www.testo.cz/pristroje-detailne/0560+4351/testo-435-1-Multifunkcni-merici-pristroj>
- [19] VDOLEČKA, F. – ZUTH, D.: Sledování tepelné pohody člověka. *Technická diagnostika*. 20006, roč. 15, č. XX, ISSN: 1210 – 311X.
- [20] KABELE Karel, VEVERKOVÁ, Zuzana. Modelování operativní teploty. [online]. [cit. 2011-05-02]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1422-modelovani-operativni-teploty>
- [21] SPŠ STROJNICKÁ, *Tábor Vytápění – pracovní sešit* [online]. [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: http://archiv.sps-tabor.cz/attachment/sipvz_vytapeni.pdf

Přílohy

Příloha A – Obrázky použitých měřících přístrojů



Obr.0.1: Měřící přístroj COMFY – TEST EQ – 21



Obr. 0.2: Měřící přístroj TESTO 435