

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Měření a stanovení parametrů prostředí ve vnitřních
prostorech

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Veronika SLÁDKOVÁ**
Osobní číslo: **E11N0101P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Měření a stanovení parametrů prostředí ve vnitřních prostorech**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište klimatické podmínky pro dimenzování místností.
2. Vypracujte přehled základních hygienických parametrů vnitřního prostředí.
3. Navrhněte seznam vhodných přístrojů pro měření jednotlivých fyzikálních veličin v tomto prostředí.
4. Vypracujte případovou studii pro analytické stanovení a interpretaci tepelného komfortu použitím ukazatelů PMV a PPD.
5. Závěrem proveďte zhodnocení dosažených výsledků.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Beran, V., Tůmová, O.: Měření parametrů životního a pracovního prostředí, ZČU Plzeň, 1996
2. normy ČSN ISO
3. manuály měřicích přístrojů


Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc.
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2012

Termín odevzdání diplomové práce: 9. května 2013


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




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá měřením a následným posouzením parametrů vnitřního prostředí. Do posouzení jsou zahrnuty nejen parametry vnitřního, ale také vnějšího prostředí. Měření bylo provedeno pomocí případových studií ve čtyřech konkrétních vnitřních pracovních prostorech.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vnitřní prostředí, měření parametrů, teplota, vlhkost, tepelná pohoda, PMV, PPD, měřicí přístroje

MEASUREMENT AND DETERMINATION OF ENVIRONMENTAL PARAMETERS OF INTERIOR

ABSTRACT

This diploma thesis deals with measurement and assessment of environmental parameters of interior. In the assessment are included besides parameters of interior also the parameters of external environment. The measurement was performed by the case studies in four specific internal environments.

KEY WORDS

Internal environment, measurement of parameters, temperature, humidity, thermal comfort, PMV, PPD, measurement devices

PROHLÁŠENÍ

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 9. 5. 2013

Veronika Sládková

.....

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych velmi poděkovala vedoucí své diplomové práce Doc. Ing. Olze Tůmové, CSc. za její vstřícný přístup, velmi cenné rady, veškeré materiály, které mi k práci poskytla, za zapůjčení přístroje a v neposlední řadě za trpělivost při vedení práce.

OBSAH:

ÚVOD.....	8
1. KLIMATICKÉ PODMÍNKY	9
1.1 SLOŽENÍ VZDUCHU.....	9
1.2 TEPLOTA VZDUCHU.....	11
1.3 VLHKOST VZDUCHU.....	12
1.4 VZDUŠNÉ PROUDĚNÍ	12
1.5 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ.....	13
1.5.1 Přímé sluneční záření	15
1.5.2 Difúzní sluneční záření	17
1.6 TLAK VZDUCHU	18
2. HYGIENICKÉ PARAMETRY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ	19
2.1 TEPELNÁ POHODA	20
2.1.1 Tepelná rovnováha	21
2.2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ TEPLENÝ STAV PROSTŘEDÍ	23
2.2.1 Teplota vzduchu	24
2.2.2 Střední radiační teplota okolních ploch.....	25
2.2.3 Vlhkost vzduchu	26
2.2.4 Rychlost proudění vzduchu	27
2.3 ŠKODLIVINY	27
2.3.1 Nadměrné teplo a vlhkost	30
2.3.2 Odéry	30
2.3.3 Stav prostředí.....	31
2.3.4 Hluk.....	31
3. VHODNÉ PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ.....	32
3.1 MĚŘENÍ TEPLoty	32
3.2 MĚŘENÍ VLHKOSTI.....	33
3.3 MĚŘENÍ PROUDĚNÍ VZDUCHU	35
3.4 KOMBINOVANÉ PŘÍSTROJE	35
4. PŘÍPADOVÉ STUDIE.....	40
4.1 UKAZATEL PMV	41
4.2 UKAZATEL PPD	42
4.3 PŘÍPADOVÁ STUDIE I.....	43
4.3.1 Popis objektu.....	43
4.3.2 Výsledky měření	43

4.4	PŘÍPADOVÁ STUDIE II.	44
4.4.1	<i>Popis objektu</i>	44
4.4.2	<i>Výsledky měření</i>	45
4.5	PŘÍPADOVÁ STUDIE III.	46
4.5.1	<i>Popis objektu</i>	46
4.5.2	<i>Výsledky měření</i>	46
4.6	PŘÍPADOVÁ STUDIE IV.	47
4.6.1	<i>Popis objektu</i>	47
4.6.2	<i>Výsledky měření</i>	47
	ZÁVĚR	49
	SEZNAM LITERATURY; ZDROJE OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK:	51
	PŘÍLOHA A	1
	PŘÍLOHA B	1

ÚVOD

Od dob pravěku se lidská společnost vyvíjela a pohybovala především ve venkovním prostředí a právě zde lidé objevili existenci otevřeného ohně jako zdroje tepla a světla. Protože se potřebovali schovat před nepřízní počasí a také před divokou zvěří, vyhledávali skrýše v podobě různých přírodních útvarů, například jeskyní. Do příbytků se s nimi postupně přesunul i oheň, který jim poskytoval světlo a vytápěl jim jejich obydlí. Při hoření ovšem vzniká kouř a ten je nutné z obydlených prostor odvětrávat.

Od starověku byl otevřený oheň přesunut do kamen, krbů či pecí. Lidé ho stále využívali jako zdroj světelný, ale především se stal neodmyslitelnou součástí přípravy prakticky veškerých pokrmů.

Lidé trávili převážnou většinu svého času mimo svá obydlí. Venku především pracovali na polích a v hospodářstvích, do svých domovů se vraceli pouze nasytit, umýt a přespat. Vytápění domů proto pokrývalo z větší části teplo z pecí a kamen, na kterých se vařilo. Větrání probíhalo prakticky nepřetržitě díky nedokonalému těsnění oken.

Zhruba před dvěma stoletími se dějištěm lidského života staly čtyři uzavřené stěny. Lidé tráví většinu času v uzavřených prostorách v zaměstnání, ze kterého velmi často přejíždí v autech do svých domovů, kde tráví zbytek dne. Práce a pohyb strávený venku na čerstvém vzduchu je takřka minimální. Poměr mezi časem stráveným v uzavřených místnostech a venku je v podstatě opačný, než býval v minulých časech. Podle některých studií tráví lidská populace v uzavřených prostorech až 90 % svého času. [18]

V případě, že lidé tráví v interiérech tolik času, je nutné, aby k tomu tyto prostory byly patřičně uzpůsobeny. Velmi důležité je dodržování limitních hodnot hlavních parametrů vnitřního prostředí, které zajistí, že toto prostředí bude vhodné pro práci či odpočinek – tedy k dlouhodobému pobytu.

Tato diplomová práce je zaměřena na rozbor parametrů vnitřního prostředí z teoretické i praktické roviny. Obsahuje teoretické základy hygienických parametrů a klimatických podmínek, které s prostředím interiérů budov velmi úzce souvisí. Cílem práce je v několika konkrétních pracovních prostředích změřit reálné hodnoty parametrů vnitřního prostředí a provést porovnání s limitními hodnotami uvedenými v teoretické části práce. V závěru práce jsou všechny případové studie porovnány s limitními hodnotami a celkově zhodnoceny z hlediska vhodnosti pro pobyt osob v jednotlivých prostředích při práci a odpočinku.

1. KLIMATICKÉ PODMÍNKY

„Klimatickými podmínkami nazýváme průběh parametrů vnějšího vzduchu v závislosti na čase.“ [1, s. 19] Ze všech klimatických podmínek jsou pro dimenzování klimatizační techniky místností nejdůležitější následující parametry:

- složení vzduchu,
- teplota a vlhkost vzduchu,
- proudění vzduchu,
- sluneční záření.

Všechny uvedené parametry jsou závislé na místních podmínkách. To znamená, že jsou podřízeny zeměpisné šířce, nadmořské výšce, vzdálenosti od moře, atd. Protože všechny zmíněné parametry jsou proměnné během dne i roku, neustále je monitorují meteorologické stanice. Tyto meteorologické stanice pak ze všech měření sledovaných parametrů vypočítávají průměrné hodnoty. Nejdůležitější z nich jsou tzv. staleté průměry. [1, s. 19-20]

1.1 SLOŽENÍ VZDUCHU

Vzduch je složen z mnoha různých plynů. V atmosféře má vzduch přibližně do 30 km výšky stejné složení, protože je vydatně promícháván větrem. Aby byly postupy při výpočtech, kde vzduch figuruje, vždy jednotné, je mezinárodní normou stanoveno tzv. „Složení suchého vzduchu“, které je uvedeno v tabulce Tab. 1. Z ní je patrné, že kyslík, dusík, argon a oxid uhličitý tvoří asi 99,99 % z celkové hmotnosti vzduchu.

Ve vzduchu jsou obsaženy i další plyny a páry, které závisí na zeměpisné oblasti, ve které se nachází bod měření, a na charakteru potencionální průmyslové výroby v dané oblasti. [1, s. 20]

Prvek	Chemická značka	Molekulová hmotnost	Obsah v %	
			objemových	hmotnostních
dusík	N ₂	28,016	78,090	75,500
kyslík	O ₂	32,000	20,950	23,200
argon	Ar	39,944	0,930	1,286
oxid uhličitý	CO ₂	44,010	0,030	0,046
neon	Ne	20,183	0,002	0,001
helium	He	4,003	0,0001	0,000
krypton	Kr	83,800	0,000	0,000
xenon	Xe	131,300	0,000	0,000
vodík	H ₂	2,022	0,010	0,001
ozon	O ₃	48,000	0,000	-

Tab. 1: Složení suchého atmosférického vzduchu [převzato z 1, s. 36]

Ze všech výše uvedených plynů obsažených ve vzduchu jsou pro dimenzování místností klíčové tyto:

- *ozon (O₃)* – vzniká při elektrickém výboji, v atmosféře se koncentrace zvyšuje s rostoucí výškou, v uzavřených prostorech je ve vyšší koncentraci škodlivý,
- *oxid uhelnatý (CO)* – vzniká při nedokonalém spalování paliva, vyskytuje se v průmyslových oblastech nebo v okolí měst,
- *sirouhlík (C₂S)*, *sirovodík (H₂S)*, *oxid siřičitý (SO₂)* – vznikají hlavně při spalování paliv s obsahem síry, vyskytují se v průmyslových oblastech, nejčastěji u průmyslových objektů na výrobu umělých vláken,
- *čpavek (NH₃)* – vzniká při procesu hniloby organických látek,
- *prach ve vzduchu* – to jsou např. tuhé částice velikosti 0,1 – 15 μm, velmi dlouho setrvávají ve vzduchu; prach vzniká zvětráváním hornin a zahrnuje i množství přehřáté páry, saze a popel, které vznikají nedokonalým spalováním organických látek. [1, s. 20]

1.2 TEPLOTA VZDUCHU

Teplota vzduchu je jednou z vnitřních stavových veličin, které popisují stav termodynamického systému [2]. Teplota vzduchu se během dne mění a závisí na místě, kde je měření prováděno – na zeměpisné šířce a nadmořské výšce.

Teplotní průběh se zaznamenává měřicím zařízením – termografem. Teplota je fázově posunuta vzhledem k poloze Slunce nad horizontem. Fázový posuv změřené teploty závisí na povrchu Země – ovlivňuje ho členitost, např. lesy, vodní plochy, městská zástavba, apod. Tento fázový posuv způsobuje akumulace tepla dopadající na povrch Země. Tato teplota povrchu neodpovídá okamžité teplotě vzduchu, protože část tepla je nejprve akumulována a později posílána zpět do atmosféry. Fázový posuv teploty vzduchu je největší nad velkými vodními plochami, jako jsou jezera, moře nebo oceány, a nejmenší je nad pouštěmi. Mezi touto maximální a minimální hodnotou fázového posuvu vzdušné teploty je hodnota z městské zástavby, kde zdi budov akumulují teplo.

V klimatu České republiky je v letních měsících, zejména v červenci, dosažena maximální denní teplota vzduchu okolo 16. hodiny, minimální v 5 hodin ráno.

Denní průměrná teplota vzduchu by se měla získávat z hodnot, které by byly naměřeny každou hodinu na stejném místě. Z praktických a především časových důvodů se reálně vypočítává ze tří až čtyř hodnot, které jsou změřeny během dne na stejném místě. Například pokud jsou změřené hodnoty teploty v 7, 14 a 21 hodin během dne, lze vypočítat průměrnou denní teplotu podle vztahu:

$$t_{stř} = \frac{t_7 + t_{14} + 2 \cdot t_{21}}{4} \quad (^\circ\text{C}) \quad [1, \text{s. 20}] \quad (1.1)$$

1.3 VLHKOST VZDUCHU

Vlhkost je základní vlastností vzduchu, která udává, jaké množství vodní páry se vykytuje ve vzduchu v daném okamžiku na daném místě. [3]

V klimatických podmínkách České republiky (mírné klima) mohou nastat dva případy, kdy je narušena teplotní pohoda člověka:

- a) *příliš nízká vlhkost vzduchu* – tato situace se může vyskytnout v zimě, za chladných dnů. Vzniká v okamžiku, kdy parciální tlak vodních par ve vnějším vzduchu klesne ve vytápěných místnostech velmi nízko pod relativní vlhkost vnějšího vzduchu (pod hygienické minimum), tzn. pod 30 % vlhkosti při 20 °C,
- b) *příliš vysoká vlhkost vzduchu* – může nastat v létě, ve dnech s vysokou denní teplotou vnějšího vzduchu (25 °C a více), kdy většinou po dešti vzroste relativní vlhkost vzduchu až na 80 %, a tím pádem nastává dusno.

Obsah vodních par ve vzduchu se dá vyjádřit čtyřmi způsoby:

- relativní vlhkostí vzduchu φ (%) a teplotou vzduchu suchého teploměru t_s (°C),
- teplotou mokrého teploměru t_m (°C) a teplotou suchého teploměru t_s (°C),
- parciálním tlakem vodních par ve vzduchu p_p (Pa),
- měrnou vlhkostí vzduchu x (kg/kg_{sv}).

1.4 VZDUŠNÉ PROUDĚNÍ

Vzdušné proudění vzniká nerovnoměrným zahříváním zemského povrchu. Mezi různě zahřátými masami vzduchu v atmosféře vznikají tlakové rozdíly, které se vyrovnávají vzdušným prouděním. Výměny vzduchu probíhají mezi oceány a pevninou nebo mezi póly a rovníkem. [4]

V nižších polohách České republiky je průměrná rychlost větru 3,5 m/s, výjimečně 8 m/s. Četnost větrů s rychlostí 8 m/s je mnohem větší ve vyšších polohách. V zimních měsících dosahuje vítr nejvyšších rychlostí v noci, kdy jsou nejnižší teploty.

Proudění větru ovlivňuje, na kolik je nutné ohřívat vzduch v interiérech, zvláště v zimním období, kdy chladný vzduch výrazně ochlazuje venkovní stěny budov a vniká do vnitřních prostor spárami v oknech a ve dveřích. Z tohoto důvodu je velmi důležité mít dobře utěsněná okna a dveře. Například místnosti, které mají dvě stěny v přímém kontaktu

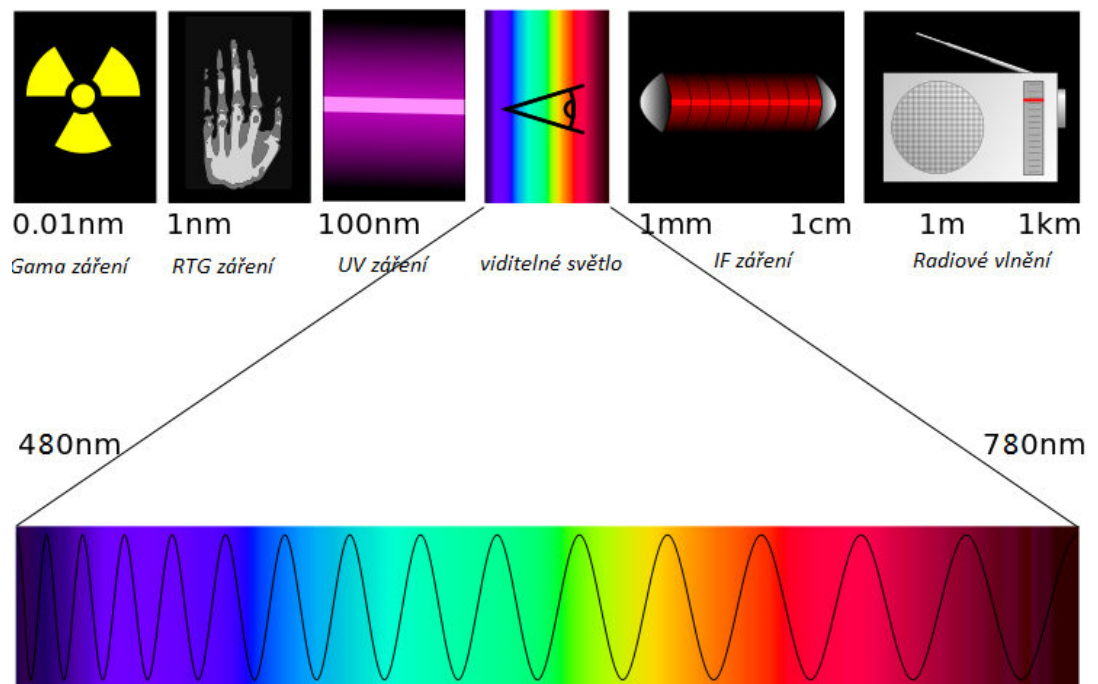
s venkovním klimatem a v nich netěsnící okna, bude třeba vytápět mnohem intenzivněji než místnosti se stěnami, které mají dostatečně utěsněná okna. V případě netěsnících oken je tedy nutnost vytápění daleko větší, než u oken těsnících.

Pro měření střední rychlosti větru se většinou využívá miskový anemometr, který se umísťuje většinou ve výšce 20 – 30 m nad zemským povrchem. V praxi se rozlišují denní a noční rychlosti proudění vzduchu. Rozdíly rychlostí větru ve dne bývají velmi malé a lze je zanedbat. Uvažují se pouze rozdíly v nočních rychlostech proudění. Směr větru je zaznamenán osmidílnou větrnou růžicí. Veškeré informace o rychlostech a směru větrného proudění jsou dostupné v meteorologických tabulkách. [1, s. 21 - 22]

1.5 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ

Sluneční záření je podstatou prakticky veškeré energie, která se na Zemi nachází a následně se využívá. Sluneční energie dopadající na zemský povrch se prakticky beze zbytků přemění na různé druhy dalších energií, např. na tepelnou či světelnou energii. [5] Světelná energie Slunce má podobu příčného elektromagnetického vlnění. Základním parametrem elektromagnetického vlnění je vlnová délka (λ) a příslušná frekvence. Jednotlivé složky světelného záření jsou podle vlnových délek seřazeny v tzv. elektromagnetickém spektru. Toto spektrum můžeme rozdělit na různé části. Těmi hlavními jsou:

- *Ultrafialové záření (UV):* $\lambda = 100 \div 380 \text{ nm}$
- *Viditelné záření:* $\lambda = 380 \div 780 \text{ nm}$
- *Infračervené záření (IF):* $\lambda = 780 \text{ nm} \div 1 \text{ mm}$



Obr. 1: Spektrum elektromagnetického záření [převzato a upraveno z 25]

Elektromagnetické záření ze Slunce, které po průchodu atmosférou dopadne na povrch Země, má spektrální rozsah $\lambda = 280 \div 3000$ nm. Radiace, která má kratší vlnovou délku než je uvedena ve spektrálním rozsahu, je v atmosféře z větší části pohlcena a v našich přírodních podmínkách se může vyskytovat v podobě záření z uměle vytvořených zdrojů.

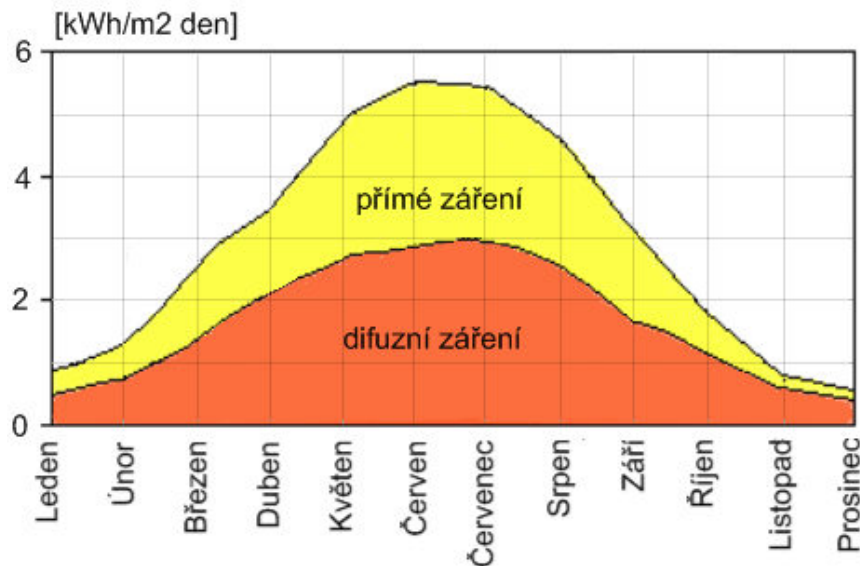
Při pohlcování slunečního záření je nejdůležitějším činitelem ozón v oblasti UV a viditelného záření; vodní pára a oxid uhličitý jsou významnými faktory v IF oblasti. Pokud se v atmosféře zvýší podíl plynů a prachových částic, vzniká další pokles obsahu světelné energie ve slunečním záření v prakticky celé spektrální šířce.

Pro výpočty solárních systémů či akumulace tepla v budovách se využívá tzv. Solární konstanta, která udává nejvyšší hodnotu dopadajícího záření na m^2 na hranici atmosféry. Hodnota této solární konstanty je $I_0 = 1360 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$. Solární konstanta nezávisí na zeměpisné šířce. [6]

Množství sluneční energie dopadající na zemský povrch závisí na poloze Slunce vůči Zemi. V zimních měsících, kdy je Slunce nejnižší nad obzorem, je hodnota sluneční energie nejnižší. Spolu s krátkou dobou slunečního svitu má Slunce v zimě nejmenší vliv na oteplování budov.

Výpočet maximálního solárního výkonu je silně ovlivňován výše uvedenými faktory, sluneční záření proto může být zanedbáno. Naopak v klimatizační technice je sluneční záření nezanedbatelným zdrojem tepla, především v letním období. Teplo, které vniká do budov prosklenými plochami, je ve většině případů nejdůležitějším faktorem, který tepelně zatěžuje místnost z hlediska vysokých vnitřních teplot. Tím je výrazně narušena tepelná pohoda. Pro dimenzování systémů s klimatizací nebo řízeným větráním, ale i pro jejich provoz, je intenzita slunečního záření velmi důležitým a nezanedbatelným parametrem.

Množství tepla, které dopadne na jednotkovou plochu podle solární konstanty, je sníženo pohlcováním, absorpcí a rozptylem vlivem průchodu atmosférou. Záření, které projde atmosférou, lze rozdělit na dvě části – přímé a difúzní.



Obr. 2: Rozložení přímého a difúzního záření ve sluneční radiaci [převzato z 24]

1.5.1 Přímé sluneční záření

Intenzita slunečního záření I_0 , která je měřena na hranici atmosféry, je přibližně 1360 W/m². Průchodem slunečních paprsků hranicí atmosféry, začne jejich radiace klesat. Tento jev způsobuje rozptýlení jednotlivých paprsků od molekul vzduchu a prachových částic. Další faktor, který snižuje radiaci slunečních paprsků, je absorpce záření plyny, které mají více atomů; hlavními činiteli jsou vodní pára, oxid uhličitý a ozón, které jsou obsažené ve vzduchu.

Důležitým parametrem absorpce slunečního záření je tzv. součinitel znečištění atmosféry, který udává, „kolikrát by musela být čistá atmosféra hmotnější, aby měla stejnou propustnost pro sluneční radiaci, jako má atmosféra znečištěná.“ [7] Součinitel znečištění atmosféry se značí z a závisí především na nadmořské výšce a všech částicích obsažených ve vzduchu.

Součinitel znečištění atmosféry se vypočítá ze vzorce:

$$z = \frac{\ln I_0 - \ln I_N}{\ln I_0 - \ln I_Z} \quad (-) \quad (1.2)$$

kde I_N ... záření, které by bylo naměřeno při dokonale čisté atmosféře v daném místě

I_Z ... záření v aktuálním místě při aktuálním počasí

Nejnižší hodnoty součinitele znečištění atmosféry byly naměřeny v „nejčistším“ životním prostředí – v horách ($z = 2$), nejvyšší zpravidla ve městech s průmyslovou výrobou ($z = 5 \div 6$, ojediněle až 8). V zimním období jsou hodnoty jak v průmyslových oblastech, tak na venkově a v horách menší než v létě. [1, s. 22]

Přímé záření orientované pod úhlem 90° se vypočítá podle vzorce:

$$I_{Pn} = I_0 \cdot e^{-\frac{z}{\varepsilon}} \quad (\text{W/m}^2) \quad (1.3)$$

kde I_0 ... solární konstanta

$$\varepsilon = \frac{9,38076 \cdot \left| \sin h + (0,03 + \sin^2 h)^{0,5} \right|}{2,0015(1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,91018 \quad (-) \quad (1.4)$$

kde h ... výška Slunce nad horizontem, okamžitá hodnota

H ... nadmořská výška v měřeném místě

Přímé sluneční záření dopadající na obecně orientovanou plochu lze vypočítat:

$$I_p = I_{Pn} \cdot \cos \gamma \quad (1.5)$$

kde γ ... prostorový úhel dopadajícího záření

$\cos \gamma$ se dále vypočítá:

$$\cos \gamma = \sin h \cdot \cos \alpha + \cos h \cdot \sin \alpha \cdot \cos(a - a_s) \quad (-) \quad (1.6)$$

kde a ... azimut

a_s ... azimut soláru

α ... sklon plochy [6]

1.5.2 Difúzní sluneční záření

Difúzní záření je část záření ze Slunce, které je po průchodu atmosférou rozloženo molekulami vzduchu, mraky a částice prachu. Rovnováha mezi přímým a difúzním zářením nastává v případě, kdy je součinitel znečištění z velký a je malá složka přímého slunečního záření I_P . O nerovnováhu se jedná v případě velké hodnoty složky difúzního záření I_D .

Výpočet difúzního slunečního záření je závislý na odrazivosti ploch a povrchů, na které dopadá jejich sálání a také na úhlu vzhledem ke sledovanému bodu. Je nutné do jednotlivých výpočtů difúzního záření zahrnout také sálavost šikmých stěn, které jsou ozářeny a současně odráží sluneční záření.

Difúzní záření pro obecné natočení plochy se vypočítá podle vzorce:

$$I_D = 0,5 \cdot (1 + \cos \alpha) \cdot I_{Dh} + 0,5 \cdot r \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot (I_{Ph} + I_{Dh}) \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (1.7)$$

kde I_{Dh} ... difúzní záření na vodorovnou plochu

I_{Ph} ... přímé záření na vodorovnou plochu

r ... albedo – reflexivita povrchu – hodnoty 0 (černá) až 1 (bílá)

Pro výpočet celkového difúzního záření je potřeba znát i vzorce pro výpočty I_{Dn} a I_{Pn} :

$$I_{Ph} = I_{Pn} \cdot \sin h \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (1.8)$$

$$I_{Dh} = 0,33 \cdot (I_0 - I_{Pn}) \cdot \sin h \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (1.9)$$

Výpočet celkového slunečního záření je možný podle vzorce:

$$I = I_P + I_D \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (1.10)$$

1.6 TLAK VZDUCHU

„Tlak vzduchu je síla, která působí v daném místě atmosféry kolmo na libovolně orientovanou jednotkovou plochu (m^2), vyvolán tíhou vzduchového sloupce sahajícího od hladiny, ve které se tlak zjišťuje, až k horní hranici atmosféry.“ [8] Tlak je pro dimenzování místností poměrně důležitým faktorem. V České republice je průměrný tlak vzduchu 98,1 kPa. Průměrný tlak na hladině moře je 101,4 kPa.

Při výpočtech pro vzduchotechniku se však musí počítat s kolísáním tlaku. Protože kolísání tlaku vzduchu je nestálé a má s různou nadmořskou výškou jiné podmínky, které je nutné respektovat, musí se pro výpočty použít tento přepočet tlaků:

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{16000 - \Delta h}{16000 + \Delta h} \text{ (kPa)} \quad (1.11)$$

kde $p_1, p_2 \dots$ tlak vzduchu v místech 1 a 2 (kPa)

$\Delta h \dots \dots$ výškový rozdíl míst 1 a 2, (m) [1, s. 23]

2. HYGIENICKÉ PARAMETRY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

O vnitřním prostředí v budovách lze říci, že je to část životního prostředí, která je vymezena stavbami. Spolu s technikou prostředí vytváří pro člověka (v této podobě uživatele vnitřního prostředí) pocit tepelného komfortu. Toto prostředí je uměle vytvořeno člověkem a cíleně se snaží, aby úplně vymizel, nebo se alespoň co nejvíce snížil nepříznivý vliv klimatických podmínek na osobu či zvíře v interiéru.

Prostor uvnitř budov spolu se zařízením a vnitřním klimatem vytváří tzv. interiérové prostředí. Vytápěním tohoto prostředí se docílí vhodných tepelných podmínek, které jsou důležité pro člověka vzhledem k jeho termoregulaci. Čištění vzduchu v místnosti probíhá větráním, které je důležité hlavně z hygienického hlediska a pro zdraví člověka.

Fyzikální stav vnitřního klimatu je především charakterizován těmito faktory vnitřního prostředí:

- složení vzduchu,
- teplota vzduchu a ostatní tepelné vlastnosti prostředí,
- vlhkost vzduchu,
- rychlost proudění vzduchu,
- hluk (zvuk),
- záření (světlo),
- elektronické a magnetické vlastnosti prostředí. [1, s. 24]

Žádný z těchto faktorů nelze při dimenzování místností zanedbat, ale nejdůležitější jsou teplotně vlhkostní faktory.

Stav, kdy je jedinec spokojen s teplotou v interiéru, se nazývá tepelnou pohodou.

Tepelný stav je ovlivněn zejména čtyřmi faktory:

- teplota okolního vzduchu t (°C),
- střední radiační teplota okolních ploch t_l (°C),
- rychlost proudění vzduchu w (m/s),
- relativní vlhkost vzduchu φ (%). [1, s. 24]

Dalšími činiteli, které také ovlivňují tepelnou pohodu člověka ve vnitřním prostředí, jsou aktivita člověka, která podmiňuje produkci tepla (W) v těle člověka. Vztahuje se na jednotkovou plochu těla – m^2 . Hodnoty aktivity člověka se udávají také v jednotkách met. 1 met odpovídá $58 W \cdot m^{-2}$. Přibližně se tedy dá 1 met vyjádřit jako odpočinek vsedě (podle Tab. 2 na str. 22).

Některé druhy činností člověka jsou uvedeny v tabulce Tab. 2. na str. 22 a také v příloze A v tabulce Tab A1. S fyzickou aktivitou člověka souvisí také druhý faktor, a to oděv člověka, respektive tepelný odpor oděvu. Schopnost izolace je udávána v jednotkách clo. 1 clo je v přepočtu $0,155 m^2 \cdot ^\circ C/W$. Hodnota tepelného odporu oděvu nahého člověka je roven 0 clo. Hodnoty tepelného odporu různých pracovních oděvů jsou uvedeny v příloze B.

Lze popsat několik podmínek pro tepelnou pohodu člověka ve vnitřním prostředí. První je tepelná neutralita prostoru – v neutralitě člověk nepocituje chlad ani teplo. Další podmínky jsou pocení člověka a střední teplota pokožky. Tyto dvě podmínky velmi úzce souvisí s tepelnou pohodou v interiéru s blíže určenou tělesnou činností. Pomocí těchto podmínek a tepelné rovnováhy lze určit obecnou rovnici tepelné pohody.

2.1 TEPELNÁ POHODA

Aby byl člověk schopen udržet svou stálou tělesnou teplotu, je zapotřebí dosáhnout rovnováhy tepelného režimu ve vnitřním prostředí.

Jedinec, který je zdravý, má za normálních podmínek tělesnou teplotu $36^\circ C \div 37^\circ C$. Přírozenou reakcí lidského těla na zvýšenou teplotu okolí je pocení, kterým si udržuje svou přírozenou termoregulaci. V běžných podmínkách intenzitu pocení nervová soustava člověka příliš neovlivní. Ve spánku se produkce tepla člověka snižuje částečně vlivem nižšího objemového průtoku vzduchu plicemi. Intenzita pocení i produkce tepla se ve většině případů přímo úměrně mění v závislosti na tělesné zátěži.

Stav, kdy okolní prostředí ubírá lidskému tělu právě tolik tepla, kolik ho tělo vytváří, se nazývá tepelná rovnováha. Důležité je, jak se šíří teplo z povrchu těla do okolního prostředí. K tomu dochází vlivem fyzikálních zákonů.

2.1.1 Tepelná rovnováha

Tepelná rovnováha lze vyjádřit vztahem:

$$f(\dot{q}_m, R_{cl}, t_i, t_r, w, p_v, t_k, \dot{q}_w) = 0 \quad (2.1)$$

kde $\dot{q}_m = \frac{\dot{Q}}{S_t}$... vnitřní tepelná produkce tepla (metabolismus)

S_t ... plocha povrchu těla (m²)

R_{cl} ... tepelný odpor oděvu (m² · K/W)

t_i ... teplota okolního vzduchu (°C)

t_r ... střední radiační teplota okolních ploch (°C)

w ... rychlost proudění vzduchu (m/s)

p_v ... tlak vodních par ve vzduchu (kPa)

t_k ... střední teplota pokožky (°C)

$\dot{q}_w = \frac{\dot{Q}_w}{S_t}$... tepelný tok z jednotkové plochy těla vypařováním vyloučeného potu

Veličiny, které mají fyziologický vliv na tepelnou rovnováhu člověka při určité aktivitě, jsou teplota pokožky t_k a tepelný tok odváděný vypařováním vyloučeného potu \dot{q}_w a zároveň jsou velmi podstatné pro vznik tepelné pohody.

Jak již bylo zmíněno, tepelnou pohodou se nazývá stav, kdy vznikne rovnováha mezi teplem, které tělo vyrobí a vyloučí. Jednotlivé aktivity a činnosti podle intenzity vnitřní produkce tepla jsou v tabulce Tab. 2.

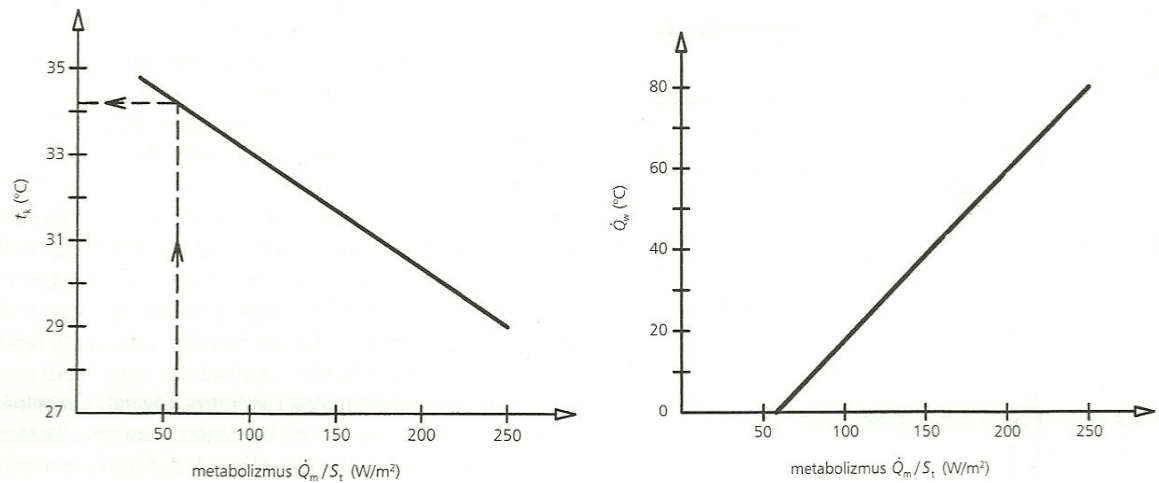
Druh činnosti	Intenzita vnitřní produkce tepla q_m (W/m ²)
Úplný klid ve spánku	40
Odpočinek vsedě	60
Uvolněné stání	70
Kancelářské práce	65 ÷ 70
Práce v domácnosti	90 ÷ 120
Lehká fyzická práce	80 ÷ 100
Středně těžká fyzická práce	120 ÷ 160
Těžká fyzická práce	180
Chůze po rovině rychlostí 3 km/h	110
Chůze po rovině rychlostí 5 km/h	180
Běh po rovině rychlostí 9 km/h	380
Tanec	140 ÷ 260
Gymnastika	170 ÷ 230

Tab. 2: – Vnitřní produkce tepla při různých činnostech člověka

Teplu, které lidské tělo odevzdá svému okolí, je podmíněna velikost tepelných ztrát. Odevzdání tepla může probíhat různými způsoby, jako např. vedením, prouděním, sáláním, dýcháním a vypařováním potu.

Je nutné, aby dva základní faktory (střední teplota pokožky a množství vylučovaného potu), které vytváří tepelnou pohodu, měly určité hranice, které budou dodržovány. Na obr. 2 na pravém grafu je patrná závislost střední teploty pokožky, na funkci činnosti člověka. Na levém grafu na obr. 3 je závislost množství vylučovaného potu na činnosti člověka.

Z grafů je zřejmé, že pro vyznačenou hodnotu q_m v prvním grafu se tepelná pohoda nachází při teplotě pokožky 34,1 °C a citelné pocení pro tuto hodnotu Q_w v druhém grafu je rovno 0. [1, s. 26 - 27]



Obr. 3: Závislost metabolismu na teplotě a pocení [převzato z 1, s. 26, 27]

2.2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ TEPLENÝ STAV PROSTŘEDÍ

Teplu v prostředí působící na člověka ovlivňují „čtyři základní faktory:

- teplota vzduchu t_i (°C),
- střední radiační teplota okolních ploch t_r (°C),
- relativní vlhkost vzduchu φ (%),
- rychlost proudění vzduchu w (m/s),

a dva faktory osoby:

- činnost člověka,
- tepelný odpor oděvu R_{cl} (m² · K/W).“ [1, s. 27]

Pokud bude podle těchto faktorů spokojeno 85 % hodnotících subjektů, je tento stav prostředí považován za vyhovující.

2.2.1 Teplota vzduchu

Pro orientační hodnocení stavu tepla ve vnitřních prostorech se dá využít aktuální teplota vzduchu změřená ve výšce hlavy člověka v místě, kde právě pobývá. Měří se 1 m od stěn a oken místnosti.

Ideální teplota vzduchu je velmi úzce závislá na funkci využívání místnosti a také na vnitřním vytápění; důležitým faktorem je samotný člověk – jeho věk, pohlaví, jak je oblečen (schopnost tepelné izolace jeho oděvu) atp.

Pokud člověk v místnosti vykonává svou práci vsedě nebo odpočívá (nevykonává fyzickou aktivitu) a je v rámci středoevropského klimatu vhodně oblečen, považuje se vhodná teplota v místnosti 18 – 22 °C v zimním období a 23 – 25 °C v létě. Pro člověka bez šatů se uvádí teplota 28 °C. [1, s. 27]

Překážkou pro ideální teplotní pohodu ve vnitřních prostorech je hlavně nerovnoměrné svislé rozložení teplot v místnosti. Vytápění či klimatizace šíří teplo nebo ochlazují stěny místnosti velmi nerovnoměrně. Záleží také na způsobu vytápění či chlazení. Tento problém se dá částečně vyřešit přirozeným větráním, nebo v případě použití klimatizačních jednotek lze nerovnoměrnost rozložení teplot výrazně upravovat.

Aby nebyla narušena tepelná pohoda, neměl by rozdíl teplot měřených ve výšce hlavy a kotníků přesáhnout:

- 2 °C (člověk ve stoje)
- 1,5 °C (člověk vsedě)

Je nutné uvažovat také změny teplot vzduchu v průběhu času, konkrétně při přechodech z místnosti do místnosti, kde je jiná teplotní situace, nebo při střídání venkovního a vnitřního prostředí. Tyto přechody bývají často pocíťovány pracovníky velmi negativně. Často jejich vlivem dochází k různým onemocněním dýchacích cest. Proto se udává nejvyšší přípustný teplotní rozdíl:

- $t_e - t_i \leq 0,6 (37 - t_e)$... léto
- $t_i - t_e \leq 0,8 (37 - t_i)$... zima

K měření teplot v interiérech se využívají hlavně kapalinové teploměry a pak také moderní digitální měřicí přístroje se snímači teploty. Snímači mohou být např. odpory, termočlánky či termistory. [1, s. 27] Podrobněji jsou měřicí přístroje popsány v kapitole 3 na str. 32.

2.2.2 Střední radiační teplota okolních ploch

„Střední radiační teplota okolních ploch t_r je definovaná jako společná (průměrná) teplota všech okolních ploch v prostoru obklopujících člověka, při níž by byl celkový sálavý tok mezi povrchem těla a okolními plochami stejný jako ve skutečnosti.“ [1, s. 27]

Teplota vzduchu a teplota okolních ploch má na člověka v klidu v podstatě ochlazovací vliv. V případě, že se stěna ochladí o 1 °C, člověk nevykonávající fyzickou práci vnímá toto ochlazení jako ochlazení vzduchu o 1 °C. To znamená, že uváděná vhodná teplota pro pohodu člověka 18 – 22 °C v místnosti je nevhodná zvláště v zimě, kdy jsou stěny chladnější než vzduch v interiéru. Proto je třeba výrazně zvýšit teplotu vzduchu, aby se vyrovnal teplotní rozdíl mezi teplotami stěn a teplotou vzduchu, a byla tak docílena tepelná pohoda.

Tato střední radiační teplota je většinou obsažena v operativní teplotě t_o . Spolu s ní je zde zahrnuta také teplota vnitřního vzduchu t_v . Operativní teplotu lze definovat „jako jednotnou teplotu černého uzavřeného prostoru, tj. prostoru o stejné teplotě vzduchu i stejné střední radiační teplotě, ve kterém by tělo sdílelo konvekci a sáláním stejné množství tepla jako ve skutečném nehomogenním prostředí.“ [1, s. 28]

Pro operativní teplotu platí:

$$t_o = \frac{\alpha_k t_v + \alpha_s t_t}{\alpha_k + \alpha_s} \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (2.2)$$

kde α_k ... součinitel přestupu tepla konvencí

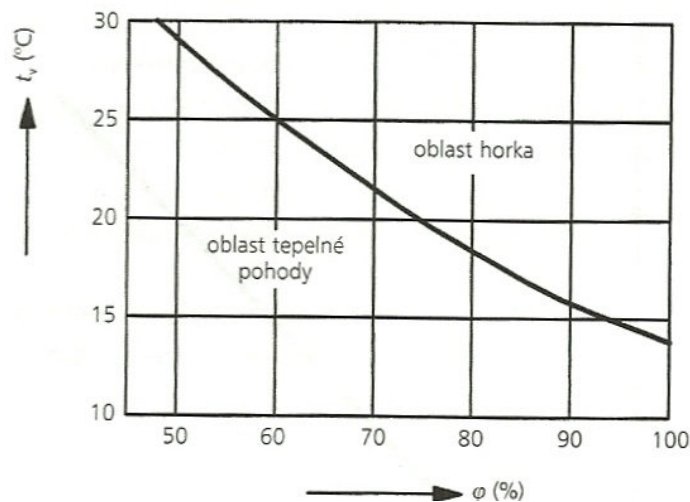
α_s ... součinitel přestupu tepla sáláním

Pro vzduch při rychlostech $w \leq 0,3$ m/s lze psát $\alpha_k \approx \alpha_s$. V tomto případě se operativní teplota vypočítá ze zjednodušeného vztahu:

$$t_o = 0,5 \cdot (t_v + t_r) \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (2.3)$$

2.2.3 Vlhkost vzduchu

Parametr vlhkosti vzduchu je nezanedbatelný pro určování tepelné pohody a je velmi důležitý z hlediska hygieny. Pro tepelnou pohodu v interiéru se nemusí zvažovat v případě, že je relativní vlhkost vzduchu v letním období menší než 60 %. Vlhkost vzduchu vyšší než 60 % je způsobena velkým tlakem vodní páry, kterým je znemožněna přirozená potřeba lidského těla potit se. Mez mezi pocitem horka a tepelnou pohodou je na obr. 4.



Obr. 4: Oblast tepelné pohody a oblast horka [převzato z 1, s. 28]

Osoba, která je v interiéru s operativní teplotou 20 °C, nemá možnost poznat rozdíl mezi 35 – 70 % vlhkostí ve vzduchu. Tato hodnota vlhkosti vzduchu je kromě meze vnímavosti také mezi přípustné vlhkosti. Pokud je vlhkost vzduchu v zimě menší než 30 %, zvyšuje se prašnost a tento suchý prašný vzduch dráždí dýchací cesty hlavně u astmatiků a alergiků a může se vyskytnout také pálení očí nebo vysušování sliznic.

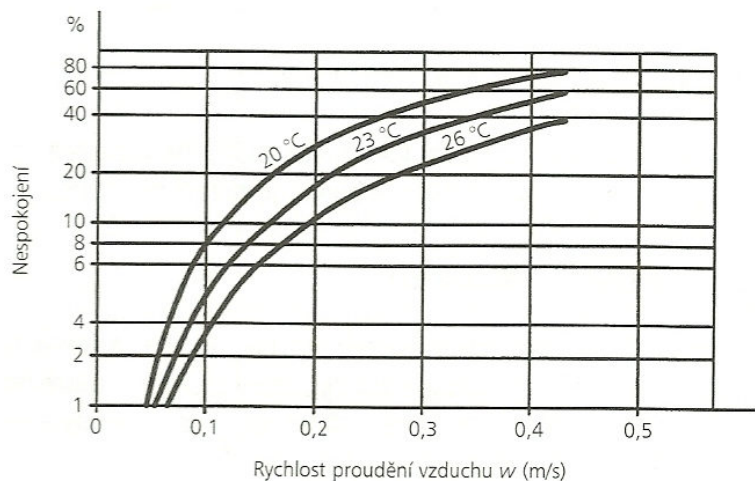
Vysoká hodnota vlhkosti vzduchu je pro člověka nebezpečná hlavně z hlediska zdravotního. Při výrazně vlhkém vzduchu se v interiérech tvoří plísně, které jsou při dlouhodobém pobytu pro člověka škodlivé. U citlivých lidí se mohou z permanentní vlhkosti objevovat chronické rýmy a záněty dýchacích cest. [9]

Při posuzování vlhkosti vzduchu se využívají tyto metody:

- „psychrometrické rozdílů údajů suchého a mokrého teploměru,
- délkové změny některých hygroskopických látek,
- měření teploty rosného bodu,
- absorpční a adsorpční vlastnosti určitých látek, u kterých se měří jejich hmotnostní přírůstek po průtoku určitého množství vzduchu.“ [1, s. 28]

2.2.4 Rychlost proudění vzduchu

Citlivost člověka na vzduch proudící uzavřeným prostorem, ve kterém se vyskytuje, zařazuje faktor rychlosti proudění vzduchu mezi podmínky tepelné pohody. Obzvláště člověk vnímá proudění vzduchu, které má teplotu nižší, než je teplota v místnosti. „Při teplotách 19 °C až 21 °C je z hygienického hlediska přípustná rychlost proudění vzduchu 0,1 – 0,15 m/s.“ [1, s. 28] Proudění vzduchu o rychlosti větší než je 0,4 m/s lze považovat za průvan. Grafická závislost nespokojenosti uživatelů na proudění vzduchu je na obr. 5



Obr. 5: Závislost proudění vzduchu na procentu nespokojených [1, s. 28]

2.3 ŠKODLIVINY

Do škodlivin lze zahrnout látky (např. plyny, prach) a jevy (např. energetické, biologické), které poškozují zdraví lidí, zvířat nebo rostlin, a mohou poškozovat např. postup výroby či kvalitu skladovaných materiálů a výrobků. Například skupinu průmyslových škodlivin tvoří páry, kapalné či tuhé aerosoly a plyny. Do této skupiny se dá zahrnout i nadměrné teplo.

Při průmyslových procesech nelze všechny škodliviny plně vyloučit z pracovních prostředí. Díky větrání je zajištěn částečný odvod těchto látek vzniklých při provozu a venkovní „čistý“ vzduch je přiváděn do interiérů. Je velmi důležité dodržovat limity všech škodlivin, které se ve vnitřních prostředích vyskytují, hlavně kvůli zachování vhodných podmínek, kdy není nijak ohroženo zdraví člověka pracujícího v tomto prostředí.

V rámci náročnosti práce je třeba hlídat nebezpečí poškození zdraví vlivem různých škodlivých látek. Při náročné fyzické práci se zvyšuje intenzita dýchání a tím i objemový průtok vzduchu dýchacími cestami člověka. Je nutné tedy co nejvíce snížit hodnoty koncentrací škodlivin.

Mikroklima

„Mikroklima je složka omezené části prostředí tvořená činiteli, které se přenášejí vzduchem.“ [1, s. 29] Zahrnuje hmotnostní činitele (toxické tuhé látky a kapaliny, zápachy, pohyb vzduchu či člověka jako objekt, atd.) a energetické činitele (teplo, UV záření, ionty v ovzduší, zvuk, atd.).

Škodliviny můžeme rozdělit do několika podskupin:

a) Toxické škodliviny

Mezi toxické škodliviny lze zahrnout „oxidy síry (SO_2 a SO_3), dusíku (NO_x), oxid uhelnatý CO , ozon O_3 a některé uhlovodíky“ [1, s. 30]. Všechny tyto plyny se dostávají do vnitřního prostoru z vnějšího prostředí, kde většinou vznikají v důsledku hoření fosilních paliv nebo při nedokonalém spalování, ozón vzniká při bouřkách z blesků a uhlovodíky jsou emise z dopravy. V interiéru mohou vznikat buď uvolňováním z různých materiálů či přímo působit na člověka. Koncentrace toxických škodlivin se vyjadřují hmotnostním podílem objemu (mg/m^3), objemovými procenty a počtem částic v objemu – prach.

Nařízení vlády č. 178/2001 Sb. a jeho novela č. 523/2002 Sb. určuje nejvyšší povolené koncentrace toxických látek pro pracovní prostředí. Obsahují mimo jiné také PEL (přípustný expoziční limit – za celou pracovní směnu) a NPK-P (nejvyšší přípustná koncentrace látky v pracovním prostředí), která se nesmí objevit v žádném okamžiku pracovní směny.

Oxid uhličitý

V prostředích, kde se nic nevyrábí, je oxid uhličitý výraznou škodlivinou. Jeho nejvyšší přípustná koncentrace podle hygienické směrnice je 0,5 obj. %. V úvahu jsou brány další škodliviny, které jsou vázány k CO₂ ve vydechovaném vzduchu. Pokud člověk obývá místnost trvale, je nejvyšší limit 0,15 obj. %.

Ve vyhlášce č. 286/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby je uvedena maximální možná koncentrace obsahu 1000 ppm CO₂ ve vzduchu. Tento limit je všeobecně platný pro všechny interiéry budov. [16] Hranice použitelnosti vzduchu v místnosti je 1500 ppm CO₂. [11] Po překročení této hranice je vzduch znehodnocený a nevhodný.

Z nařízení vlády č. 523/2002 Sb. vyplývá, že minimum vzduchu z venkovního prostředí, které je nutné přivést na pracoviště, je 50 m³/h pro člověka pracujícího převážně vsedě a 90 m³/h pro osobu vykonávající těžkou fyzickou práci.

b) Aerosolové škodliviny

„Aerosoly jsou tuhé nebo kapalné částice, velmi jemně rozptýlené v ovzduší.“ [1, s. 32] Jsou to prachy, které vznikají při různých činnostech, např. při spalování organických látek. Jejich dopad se dělí podle toho, jak působí na lidský organismus. Mechanicky působí na pokožku těla, oči a sliznice nebo na dýchací cesty. Projevy mechanického působení aerosolů na člověka závisí na velikosti částic a jejich chemickém složení nebo např. na hloubce působení.

c) Mikrobiální škodliviny

Tato skupina škodlivin je tvořena např. bakteriemi, plísněmi nebo viry. V ovzduší se vyskytují běžně a zároveň jsou spouštěči různých infekčních onemocnění nebo alergických reakcí. V interiérech, kde se shlukuje větší skupina lidí, se nacházejí mimo jiné i choroboplodné zárodky. Míra rizika infekce rozděluje tyto mikroorganismy do čtyř skupin – 1 (činitel není nebezpečný, nezpůsobuje nemoci) – 4 (způsobuje vážné nemoci, může se rozšířit i mimo pracovní prostředí).

Seznam biologických činitelů a jejich klasifikace je uveden v Nařízení vlády č. 178/2001 Sb.

Aby byla dosažena dostatečná bezpečnost na pracovišti z hlediska mikrobiální nákazy, je nutné místnosti desinfikovat či používat příslušné filtry. Velmi vhodná je fyzikální desinfekce, která využívá germicidních vlastností UV paprsků v rtuťových výbojkách, jimiž se prozařuje přiváděný vzduch.

2.3.1 Nadměrné teplo a vlhkost

Teplo produkované nějakými vnitřními zdroji v místnosti, může výrazně narušit tepelnou pohodu. V normě ČSN 73 0548 je metodika Výpočtu tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. Zde je výpočet pro potřebný odvod tepla klimatizacími. V nařízení vlády č. 523/2002 Sb. jsou pro celý rok definované přípustné mikroklimatické podmínky. Tyto podmínky zahrnují kromě operativní teploty také např. rychlost proudění vzduchu, průměrnou vlhkost či intenzitu pocení.

2.3.2 Odéry

Látky, které se nazývají, jsou plyny ve vzduchu, které bývají pociťovány jako pachy – vůně či zápachy. Jedná se o organické nebo anorganické látky, které vznikají činností člověka nebo jen jeho existencí. Tyto látky mohou produkovat také stavební konstrukce, materiály samotné a mohou vznikat z pouhé manipulaci materiály, např. kouř z cigaret, vaření a příprava jídel, odéry z různých plastů. V uzavřených prostorech se jejich působení výrazně zvyšuje.

„Podle Zwardemarkerovy stupnice existuje 5 základních typů odérů:

1. Éterický (lidské pachy)
2. Aromatický (pachy rozkládajícího se zralého ovoce)
3. Izovalerický (pach z kouření tabáku, pach potu)
4. Zažluklý (pachy mlékárenských produktů)
5. Narkotický (pachy rozkládajících se proteinů, vůně tabáku)“ [1, s. 30]

Odérové látky vznikají v interiérech činností člověka či do něj vstupují z venkovního prostředí. Ačkoliv nejsou (ve většině případů) pro zdraví bezprostředně nebezpečné, často mohou způsobovat ve vyšší koncentraci narušení nebo ztrátu pozornosti, změnu chuti či pocit nevolnosti. Likvidují se především z hlediska psychofyziologického. Nežádoucí jsou také z hygienických důvodů – často jsou infikovány choroboplodnými zárodky.

Kritérium optimální hodnoty odérů je to, co člověk identifikuje čichovým orgánem. Pachy, které se nejčastěji vyskytují v uzavřených prostorech, jsou např. chlor, amoniak či sirovodík. Všechny zápachy jsou často hlavními původci zhoršení ovzduší v interiéru. Avšak objektivní zhodnocení je prakticky nemožné, protože u např. velice silného zápachu, může být koncentrace znečištění vzduchu odéry tak nízká, že je prakticky neměřitelná. Proto se ovzduší znečištěné lidskými pachy posuzuje podle koncentrace CO₂.

2.3.3 Stav prostředí

Elektrostatický stav prostředí

Elektrostatické pole může mít za určitých podmínek špatný vliv na člověka. Může způsobit požár či vzájemnou přitažlivost normálně nepřitažlivých materiálů – např. v polygrafickém průmyslu. Statickou elektřinu lze odstranit uzemněním či vhodným oblečením a obuví. Statická elektřina nevznikne ve vlhkém prostředí (60 – 70 % relativní vlhkosti), případně se dá jejímu vzniku předejít využitím elektrostatických neutralizátorů.

Elektromagnetický stav prostředí

Ve venkovním prostředí vzniká elektromagnetické záření v přírodě při bouřkách a při záření Slunce. Umělými zdroji záření jsou vysílače, radionavigace a také vedení vysokého napětí. Ve vnitřním prostředí je nejznámějším zdrojem elektromagnetického záření mikrovlnná trouba, další jsou indukční pece nebo svářečské automaty.

Na člověka působí elektromagnetické vlnění především prostřednictvím pohlavních orgánů, nervového systému a očí. Vlivem tohoto působení se mohou dostavovat bolesti hlavy či deprese, v dlouhodobějším charakteru pak může vzniknout porucha tvorby spermií nebo katarakta (šedý zákal).

2.3.4 Hluk

Hluk je nepříjemná neoddělitelná složka zvuku. Má různé amplitudy a frekvence a v případě překročení těchto limitů má hluk na člověka nežádoucí vliv, kdy negativně ovlivňuje pracovní nasazení a výrazně narušuje pohodu v pracovním prostředí.

U zvukotechnických zařízení vzniká hluk prouděním vzduchu s velkou rychlostí a vibrujícími částmi různých mechanismů.

Pokud na pracovníky hluk působí trvale, poškozuje v první řadě sluch, vegetativní nervový systém a nepříznivě působí na psychiku člověka.

3. VHODNÉ PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ

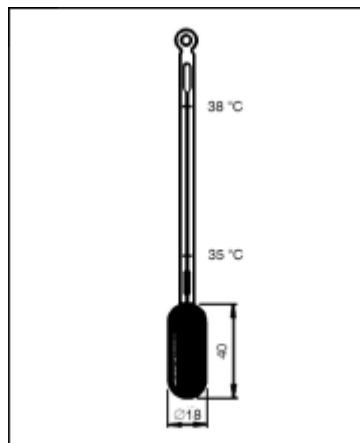
3.1 MĚŘENÍ TEPLoty

Pro měření střední sálavé teploty lze použít velmi jednoduché zařízení – **KULOVÝ TEPLOMĚR VERNON**. Dříve se vyrábělo toto absolutně černé těleso z tenkostěnné mědi či polystyrenu. V této černé kouli byl zasunut rtuťový teploměr, který měřil teplotu uvnitř tělesa, a druhý rtuťový teploměr měřil teplotu mimo absolutně černé těleso. [10, s. 64] V současnosti se vyrábí kulové těleso z polyuretanu o průměru 100 – 150 mm. V něm je umístěná sonda, která po ustálení (asi 15 – 20 min) měří teplotu uvnitř kulového tělesa. Výsledná teplota zahrnuje rychlost proudění okolního vzduchu, teplotní sálání okolních ploch a teplotu vzduchu, která je změřena teploměrem mimo černou kouli. Pokud se změří tato teplota v úrovni hlavy, břicha a kotníků, lze z těchto teplot vypočítat střední radiační teplotu. [11]



Obr. 6: Kulový teploměr Vernon – Jokl [11]

Měření ochlazovacího účinku v interiéru při malých rychlostech proudění se měří pomocí tzv. **KATATEPLOMĚRU**. Jedná se o teploměr s lesklou baňkou, kde měřicím médiem je obarvený líh. Měřicí rozsah teploměru je $35 \div 38$ °C, střední teplota je tedy 36,5 °C, což je průměrná teplota lidského těla. Maximální a minimální teplota je označena na kapiláře rýskou. Měření probíhá tak, že se teploměr ohřeje na teplotu 38 °C a měří se čas, za který klesne hladina obarveného lihu na hodnotu 35 °C. Po dobu měření je teploměr zavěšen tak, aby na něj v místě zavěšení nepůsobily žádné rušivé vlivy.



Obr. 7: Katateploměr [převzato z 19]

Výpočtem se určí tzv. katahodnota, podle které lze určit, jaké je hodnocení prostoru z hlediska pracovní pohody. Tato hodnocení jsou uvedena v tabulce Tab. 3. Výpočet se provádí podle vzorce:

$$K = \frac{Q}{\Delta t} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (3.1)$$

kde Q „je množství tepla ($\text{W} \cdot \text{s}/\text{m}^2$), které je jednotkovou plochou nádoby předáno do okolí a u každého teploměru je dána cejchováním.“ [10, s. 65] Tato hodnota Q známá z cejchování je vyryta do pláště teploměru.

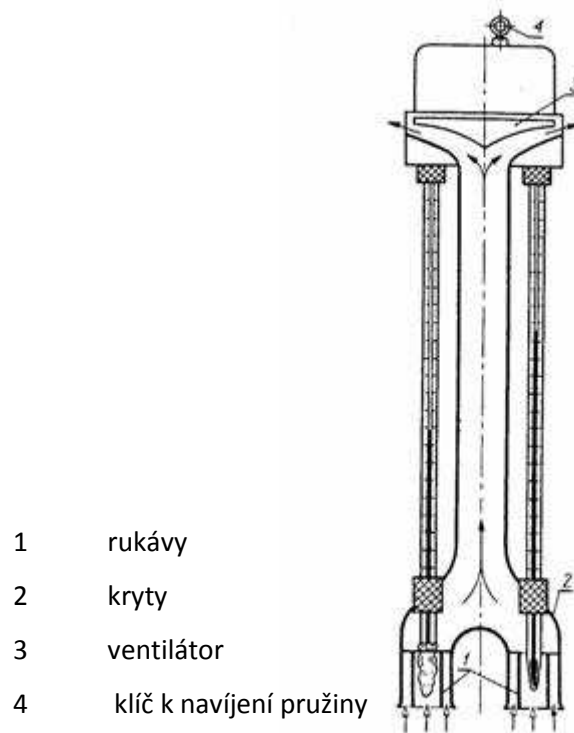
velikost suché katahodnoty	7	6	5	4	3
měřené prostředí	velmi chladno	chladno	příjemně	teplo	horko

Tab. 3 Závislost katahodnoty a prostředí [10, s. 65]

3.2 MĚŘENÍ VLHKOSTI

Podle normy ČSN EN ISO 7726 je možno měřit vlhkost vzduchu buď přímo, nebo nepřímou. V případě přímého měření norma uvádí přístroje elektrolytické nebo na bázi měření rosného bodu. V případě nepřímého měření lze využít přístrojů, které měří několik veličin současně – např. relativní vlhkost a teplotu vzduchu, nebo využití psychrometrické vlhké teploty a teploty vzduchu. [12] Podle toho, jakou metodou se vlhkost měří, využijeme příslušný přístroj. Na výběr je metoda váhová (absolutní metoda – nejpresnější), psychrometrická (princip rozdílu suché a vlhké teploty vzduchu, využití např. Assmannova

psychrometru, obr. 8), kondenzační (princip měření rosného bodu a tlaku – méně přesná metoda), hygrometrická (princip využívá schopnosti určitých látek zachovat svou vlastní vlhkost v rovnováze s okolním vzduchem, využití např. u vlasového hygrometru) či elektrická (princip změny kapacity kondenzátoru). [10, s. 85 - 91]



Obr. 8: Assmannův psychrometr [převzato a upraveno z 20]

V současné době je na českém trhu velké množství různých přístrojů několika výrobců pro měření vlhkosti, ať už se jedná o přístroje pro dlouhodobé měření a zkoumání teploty a vlhkosti či přístroje k okamžitému a přesnému měření. Senzory pro měření jsou buď zabudována přímo v přístroji, nebo jsou dodávána zvlášť.

3.3 MĚŘENÍ PROUDĚNÍ VZDUCHU

Měření proudění vzduchu se provádí různými typy moderních anemometrů, například vířivým anemometrem. Jedná se o digitální přístroj, na který je připojena sonda otáčivých lopatek.



Obr. 9: Thermo Anemometr CEM DT-8894 [převzato z 21]

3.4 KOMBINOVANÉ PŘÍSTROJE

Nejčastěji se však v dnešní době využívá přístrojů, které dokážou měřit nelépe všechny tyto výše zmíněné a další veličiny současně. Na českém trhu se nabízí desítky kombinovaných přístrojů. Například přístroje od společnosti TESTO měří současně teplotu, tlak, vlhkost vzduchu, rychlost proudění vzduchu a množství CO₂ v okolním vzduchu. Jejich cena se pohybuje v rozmezí několika tisíc až desítek tisíc Kč.

Jedním z nejlepších kombinovaných analyzátorů veličin mikroklimatu je analyzátor od dánské firmy Brüel a Kjaer (v současné době je tento analyzátor pod hlavičkou dánské firmy INNOVA).



Obr. 10: Snímač INNOVA (dříve Brüel & Kjaer) 1221 [převzato z 17]

Je vyroben tak, aby simuloval lidské tělo. Má 6 snímačů (v minulosti pouze 5), které mohou měřit jednotlivé složky mikroklimatu. Pomocí speciálního softwaru dokáže vyhodnotit i další aspekty mikroklimatu.

Jednotlivé sondy měří:

- a) proudění vzduchu – je snímáno nízkou rychlostní, teplotně kompenzovanou všestrannou sondou. Ta je vhodná pro měření malých rychlostí proudění vzduchu a zároveň dokáže změřit i velmi rychlé změny rychlostí vzduchu v místnostech s klimatizací.



Obr. 11: Sonda pro měření proudění vzduchu [převzato z 17]

- b) *vlhkost* – měření probíhá na principu měření teploty rosného bodu. K měření snímač využívá princip ochlazování kuželovitého zrcátka.



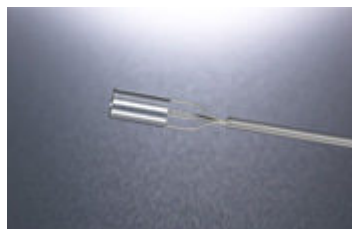
Obr. 12: Sonda pro měření vlhkosti [převzato z 17]

- c) *zářivou teplotní asymetrii* – sálavá teplotní energie se měří pomocí absolutně černého tělesa. Výsledná střední teplota může být spočítána ve třech či šesti směrech.



Obr. 13: Sonda pro měření zářivé teplotní asymetrie [převzato z 17]

- d) *teplotu vzduchu* – snímač je velmi přesný odporový teplotně citlivý platinový snímač nepatrných rozměrů, to znamená, že jeho reakce jsou velice rychlé. Kolem celého snímače je stínítko, které minimalizuje dopady zářivé energie.



Obr. 14: Sonda pro měření teploty vzduchu [převzato z 17]

- e) *povrchovou teplotu* – pro měření je využíván snímač, který reaguje přímým dotykem konce snímače na povrch. Opět malá velikost zaručuje rychlé reakce. [10, s. 69 - 71]



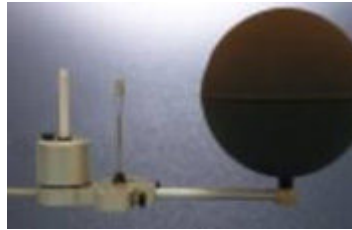
Obr. 15: Sonda pro měření povrchové teploty [převzato z 17]

- f) Později byl tento multifunkční analyzátor doplněn o šestou sondu, která měří *suchou tepelnou ztrátu a operativní teplotu*. Pro měření touto sondou existují tři možné pozice – vertikální, 30° od vertikální osy, horizontální. Simuluje se tak lidské tělo v poloze ve stoje, vsedě a vleže.



Obr. 16: Sonda pro měření suché tepelné ztráty a operativní teploty [převzato z 17]

Další sondou, sedmou, kterou lze k přístroji připojit, je *sonda pro měření vlhké teploty*. Simuluje tepelnou ztrátu vlivem vypařování potu. Na sondě je žárovka, která je zakrytá bavlněnou ponožkou, dále je zde knot ponořený do nádržky se 40 ml destilované vody, která zajišťuje, že knot je mokrý. Odpařování vody z knotu ochlazuje čidlo snímače tak, jako pot ochlazuje lidské tělo. Díky tomu je teplota mokrého teploměru nižší, než je teplota okolí změřená na dalším teploměru. [17]



Obr. 17: Sonda pro měření vlhké teploty [převzato z 17]

V současné době se na českém trhu tento snímač nevyskytuje. A celkově žádné informace o ceně celého setu nebyly nalezeny. Ale před několika lety se celý set prodával za zhruba 600 000 Kč (informace ze seminářů firmy Brüel & Kjaer). Z toho je zřejmé, že se jedná o velice kvalitní a přesný přístroj.

4. PŘÍPADOVÉ STUDIE

K měření všech tří případových studií byl použit kombinovaný měřicí přístroj TESTO 435-1 s měřicí sondou IAQ (obr. 18). Přístroj má 8 sond a měří se jimi:

- sonda Typ T (Cu-CuNi) pro měření teploty vzduchu, (°C)
- sonda NTC pro měření teploty, (°C; přesnost $\pm 0,2$ °C při -25 °C ÷ $+74,9$ °C)
- sonda Typ K pro měření teploty, (°C; přesnost $\pm 0,3$ °C při -60 °C ÷ $+60$ °C)
- sonda CO₂ pro měření obsahu CO₂ ve vzduchu, (ppm)
- Sonda absolutního tlaku pro měření tlaku, (hPa)
- sonda Kapacitní vlhkostní senzor, (%)
- sonda Žhavený drátek pro měření rychlosti proudění vzduchu, (m/s)
- sonda Vrtulka pro měření rychlosti proudění vzduchu, (m/s)

Sonda IAQ se využívá pro posouzení kvality vzduchu v místnosti a měří obsah CO₂ ve vzduchu, vlhkost, teplotu vzduchu a absolutní tlak v místnosti. [15]

Podrobné rozsahy jednotlivých sond přístroje TESTO 465-1 a přídatné sondy IAQ jsou uvedeny na webových stránkách firmy TESTO, webová adresa uvedena v literatuře na str. 52 pod položkou [15].

Měření všech případových studií byla uskutečněna za těchto podmínek vnějšího prostředí:

- 28. 3. 2013 v dopoledních hodinách (odpoledne v případě případové studie IV.)
- venkovní teplota okolo 5 °C
- skoro jasné, slunečné počasí
- slabý JV vítr

Výsledné hodnoty z měření případových studií, které jsou uvedeny v tabulkách, jsou průměrné hodnoty ze všech hodnot naměřených v jednotlivých prostorech.



Obr. 18: Použitý přístroj TESTO 435 se sondou IAQ [převzato z 22, 23]

4.1 UKAZATEL PMV

PMV je předpověď středního tepelného pocitu. „Ukazatel předpovídá střední tepelný pocit na základě odevzdaných hlasů velké skupiny osob, které hodnotí svůj pocit pomocí sedmibodové stupnice tepelných pocitů (Tab. 4) založené na tepelné rovnováze lidského těla.“ [13]. Výpočet tohoto ukazatele je podrobně popsán v normě ČSN EN ISO 7730.

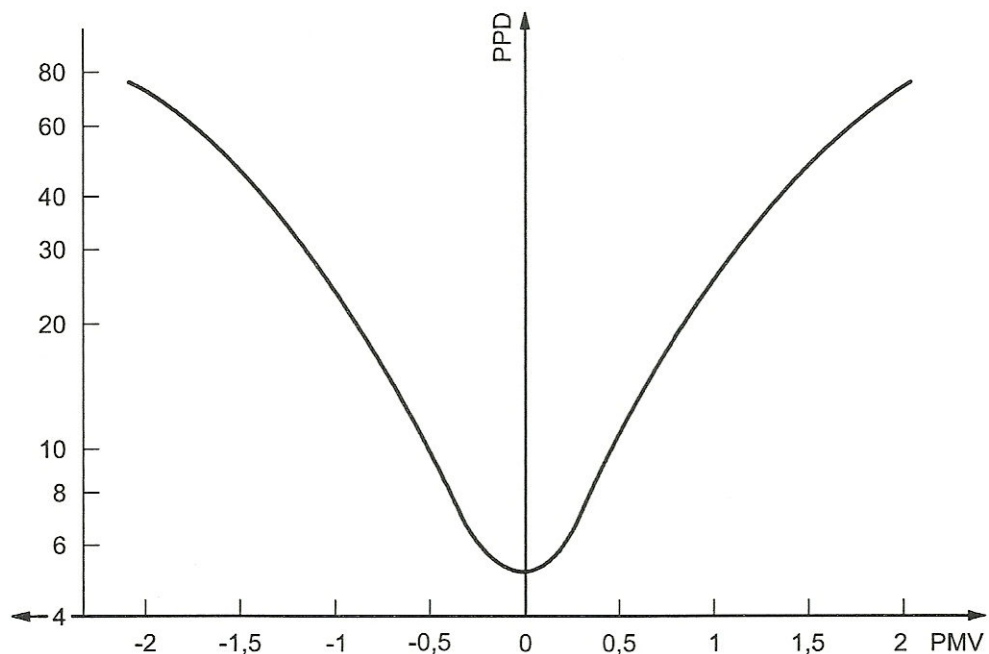
STUPEŇ	TEPELNÝ POCIT
+3	Horko
+2	Teplo
+1	Mírné teplo
0	Neutrální pocit
-1	Mírné chladno
-2	Chladno
-3	Zima

Tab. 4 Sedmibodová stupnice tepelných pocitů [13]

Ukazatel PMV se využívá k posouzení, zda ověřované tepelné prostředí odpovídá kritériím tepelného komfortu. Pokud se bude rovnat 0, „vznikne rovnice umožňující předpověď kombinací činnosti, oděvu a parametrů prostředí, které v průměru vyvolají tepelně neutrální pocit.“ [13]

4.2 UKAZATEL PPD

PPD je předpověď procentuálního podílu nespokojených. Tento ukazatel „předpovídá střední hodnotu posouzení vlastního tepelného pocitu u velké skupiny osob vystavených témuž prostředí.“ [13] Stanovuje kvalitativní prognózu procentuálního počtu osob, které nejsou spokojené s tepelným prostředím, a které ho pociťují jako příliš teplé či chladné. Podle mezinárodní normy se považují za ty nespokojené osoby, které ze sedmibodové stupnice zvolí hodnotu 1, 2 (horko, teplo) nebo -2, -3 (chladno, zima). K výpočtu ukazatele PPD se využívá již stanovený ukazatel PMV. Postup výpočtu je opět podrobně určen v normě [13]. Závislost ukazatele PPD na ukazateli PMV je na obr. 19.



Obr.19: Graf závislosti ukazatele PPD na PMV [převzato z 13]

Ukazatel PPD je tedy procentuálním výčtem nespokojených uživatelů ve velké skupině osob. Zbytek této skupiny se bude cítit buď neutrálně, nebo jim prostředí bude připadat mírně teplé či mírně chladné.

4.3 PŘÍPADOVÁ STUDIE I.

4.3.1 Popis objektu

Prvním objektem vybraným do případové studie je kancelář úřadu. Jedná se o místnost nacházející se v prvním nadzemním podlaží dvoupodlažní starší budovy na jižní hranici Plzeňského kraje. Okno místnosti je orientováno na jihovýchod, do okna částečně zasahuje koruna stromu. Rozměry kanceláře jsou 5,6 m x 2,3 m x 3,1 m.

V místnosti pracuje jeden člověk, většinu pracovní doby vsedě. Po celou jeho pracovní dobu je zapnutý počítač, monitor a radiový přijímač, velmi často je v provozu tiskárna. Místnost je vybavena běžným kancelářským nábytkem.

V době měření bylo otevřené okno na ventilaci.

4.3.2 Výsledky měření

Veličina (jednotka)	Tlak (kPa)	Vlhkost (%)	Rychlost proudění vzduchu (m/s)	Teplota (°C)	Množství CO ₂ (ppm)
Naměřené hodnota	95,371	48	0	22	1388

Tab. 5 Výsledky měření Případové studie I.

Průměrná vlhkost vzduchu byla v testované místnosti naměřena 48 % při 22 °C, což je v mezích přípustné vlhkosti v interiéru uvedených na str. 26. Naměřená teplota 22 °C také vyhovuje vhodné limitní teplotě uvedené na str. 24.

Tlak, který byl změřený v testované místnosti, je 95,4 kPa. Odlišuje se od průměrného tlaku v České republice, uvedeného na str. 18, o necelé 3 kPa. Člověk není schopen tento rozdíl zaznamenat, proto lze říci, že je zanedbatelný. Hodnota tlaku je v souladu s průměrnou hodnotou.

Hodnota CO₂ ve vzduchu naměřená v kanceláři byla 1388 ppm, limit 1000 ppm uvedený na str. 28 přesahuje. Lze tomu předejít intenzivním vyvětráním – po dobu měření bylo okno otevřené na ventilaci a vzhledem k naměřeným hodnotám, se jedná o neefektivní způsob výměny vzduchu v místnosti.

Hodnocení podle ukazatele PMV je velmi subjektivní. Pracovnice v kanceláři, která byla s tepelnou pohodou místnosti aklimatizována, měla pocit neutrální = 0 (podle sedmibodové stupnice uvedené na str. 42). Pracovnice měla na sobě přiměřený oděv

odpovídající úřednickému povolání (příloha B, Tab. B2). Avšak pro mne, jako pro člověka, který přišel z venkovního prostředí, kde jsem šla asi 20 min pěšky rychlejší chůzí, byl tepelný pocit v místnosti na hodnotě +2, tedy teplo. Po delším čase stráveném v měřeném prostoru se mé hodnocení změnilo na +1, tedy mírné teplo.

Podle všech těchto výsledků lze tvrdit, že až na zvýšený limit obsahu CO₂ ve vzduchu místnosti jsou všechny naměřené hodnoty v souladu s limitními hodnotami uvedenými v druhé kapitole této diplomové práce.

Protože rychlost proudění vzduchu byla v době měření nulová, není třeba vyhodnocovat tuto veličinu pomocí grafu na obr. 5 na str. 23. Není nutné ani počítat střední radiační teplotu okolních ploch, protože žádné sálavé plochy se v měřeném prostoru nevyskytují.

Všechna tato zjištění platí i pro všechny následující případové studie, protože i u nich byly naměřeny stejné hodnoty těchto veličin.

4.4 PŘÍPADOVÁ STUDIE II.

4.4.1 Popis objektu

Místnost, která byla vybrána jako objekt druhé případové studie, je součástí velkého areálu firmy vyrábějící stavební materiál. Místnost je výrobnou a zároveň menším skladem výrobků. Je umístěna v samostatném jednopodlažním objektu. Jedná se o místnost o velikosti 8 m x 9 m x 3,5 m. Okna jsou orientována na jih a jihovýchod. V době měření byla všechna okna zatažena a zavřena, byly otevřené dveře. Měření bylo provedeno v přední části objektu, kde se personál pohybuje po většinu pracovní doby.

V objektu pracuje většinou jeden pracovník, občas dva. Většinu pracovní doby pracují vestoje – manipulují s výrobky, připravují výrobu, obsluhují výrobní stroje. V zadní části místnosti byla velká deska se vzorky (asi 3 m x 2 m) a uskladněné výrobky (zastavěná plocha asi 3 m x 3 m x 1,5 m). V přední části byl výrobní stroj a velký stůl s několika židlemi. V době měření byl zapnutý stroj a radiový přijímač.

4.4.2 Výsledky měření

Veličina (jednotka)	Tlak (kPa)	Vlhkost (%)	Rychlost proudění vzduchu (m/s)	Teplota (°C)	Množství CO ₂ (ppm)
Naměřené hodnota	95,818	34,5	0	16,5	726

Tab. 6 – Výsledky měření Případové studie II.

Místnost, ve které byla měřena druhá případová studie, se od všech ostatních nápadně liší svými daleko většími rozměry. Teplota, která zde byla naměřena, je lehce pod limitem uvedeným na str. 24. Vzhledem k tomu, že pracovníci mají do této teploty vhodně předepsaný pracovní oděv (pevné montérky, montérková blůza, pevná kožená obuv) a také se pohybují, je tato teplota pro jejich pracovní prostředí vhodná.

34,5 % vlhkost, která zde byla změřena, je v blízkosti spodní limitní hodnoty. Pokud by vlhkost klesla pod 30 %, vzniklo by zde velké riziko vzniku elektrostatického výboje, který by mohl narušit či dokonce poničit některé elektronické přístroje. Kromě rizika elektrostatického výboje je zde nebezpečí vzniku suchého vzduchu, který může způsobit různé dýchací potíže nebo podráždění sliznic. Proto je vhodné zvyšovat vlhkost například častějším větráním, či využitím klimatizace s řízenou vlhkostí vzduchu.

Tlak vzduchu naměřený v druhé případové studii je prakticky stejný, jako u první studie. Rozdíl zhruba 3 kPa je vzhledem k průměrné hodnotě zanedbatelný, a proto je tlak v místnosti v pořádku.

Pokud se jedná o hodnocení koncentrace CO₂ ve vzduchu, je naměřená hodnota pod hodnotou 1000 ppm. Může to být také tím, že byly do místnosti otevřeny dveře (asi 10 min), protože jeden z pracovníků před začátkem měření před místností kouřil cigaretu.

Hodnocení podle ukazatele PMV je obdobné jako v případě první studie. Oba přítomní pracovníci hodnotili prostor jako neutrální, tedy hodnotou 0. Mé subjektivní hodnocení bylo někde mezi hodnotami 0 až +1, tedy pocit neutrální až mírného tepla.

Stejně jako v případě první studie se všechny hodnoty až na teplotu pohybují v rámci limitních hodnot. V případě teploty se ale pro pracovníky nejedná o narušení tepelné pohody, protože nízká teplota je vykompenzována pohybem pracovníků při práci a částečně tepelným odporem jejich oděvu.

4.5 PŘÍPADOVÁ STUDIE III.

4.5.1 Popis objektu

Třetím objektem je chemická laboratoř ve firmě na výrobu stavebních materiálů. Nachází se v přízemní budově a rozměry laboratoře jsou 6 m x 6 m x 3,5 m.

V místnosti pracují většinou jeden až dva laboranti. Obvykle vykonávají práci vsedě, výjimečně ve stoje. Místnost sousedí s další laboratoří, do které bývají velmi často po celou pracovní dobu otevřeny dveře. Okna jsou orientována na severozápad – prakticky nikdy do místnosti nesvítí Slunce. Okna byla po dobu měření zavřena, dveře do vedlejší místnosti otevřené, bylo zapnuto rádio a několik laboratorních pomocných přístrojů, které prakticky měření ovlivnit nemohly.

4.5.2 Výsledky měření

Veličina (jednotka)	Tlak (kPa)	Vlhkost (%)	Rychlost proudění vzduchu (m/s)	Teplota (°C)	Množství CO ₂ (ppm)
Naměřené hodnota	95,816	28,2	0	26,3	765

Tab. 7 – Výsledky měření Případové studie III.

Třetí případová studie má stejně jako předchozí dvě prakticky stejný tlak vzduchu. Tato hodnota se pohybuje v limitních hodnotách.

Vlhkost naměřená v laboratoři je 28,2 %, což je hodnota podlimitní. Je zde vysoké riziko vzniku elektrostatického výboje vznikajícího třením oblečení a obuvi o krytiny z umělých hmot. To může mít za následek negativní dopady nejen na elektrické přístroje, ale i na zdraví pracovníka, a to v podobě suchého vzduchu a zdravotních rizik s ním spojených. Předějit těmto negativním dopadům způsobeným nízkou vlhkostí vzduchu lze dostatečným zvlhčením vzduchu, použitím obuvi, oděvu a podlahových krytin z materiálů nezpůsobujících vlivem tření elektrostatické výboje.

Teplota, která v této místnosti byla naměřena, je poměrně vysoká. Podle limitů na str. 24, by tato teplota měla dosahovat v zimním období hodnoty 18 – 22 °C. Ale pokud přihlídneme k tomu, že laborantka pracuje v laboratoři v předepsaném oděvu – lehká košile a zkrácené kalhoty, dá se usuzovat, že pro ni je pracovní prostředí neutrální z hlediska tepelné pohody.

Obsah CO₂ ve vzduchu je 765 ppm CO₂, což je v pod horní limitní hodnotou 1000 ppm. Tato naměřená hodnota je v souladu s limitem.

Subjektivní hodnocení laborantky je podle ukazatele PMV stejně jako v předchozích případech neutrální. Mé subjektivní hodnocení bylo na sedmibodové stupnici +3, tzn. horko. Důvodů k tomuto hodnocení jsem měla několik – přišla jsem z venkovního prostředí, kde jsem se pohybovala zhruba 20 min a kde teplota byla okolo 5 °C, takže teplotní rozdíl činil více než 20 °C, a navíc jsem na sobě měla teplý zimní oděv.

Celkové zhodnocení této případové studie je horší než v předchozích případech. Je zde vysoká teplota a také velmi nízká vlhkost, takže tepelnou pohodu prostředí nelze hodnotit kladně.

4.6 PŘÍPADOVÁ STUDIE IV.

4.6.1 Popis objektu

Poslední případová studie je srovnáním měřených hodnot v místnosti před a po vyvětrání po dlouhodobém obýváním místnosti. Tato případová studie byla zvolena jako modelová situace, kdy člověk tráví doma velkou část dne.

Prostorem je obývací pokoj staršího přízemního domu, ve kterém bydlím. Dům se nachází ve městě Horažďovice v Plzeňském kraji.

Místnost má rozměry 5 m x 3,5 m x 2,7 m. Okna jsou přes celou jednu 5 m stěnu místnosti a jsou orientována na jih.

Místnost jsem obývala nepřetržitě zhruba 6 hodin spolu s domácím zvířetem (králík), po celou dobu byl zapnutý notebook a starší televizor.

4.6.2 Výsledky měření

Naměřené hodnoty před větráním:

Veličina (jednotka)	Tlak (kPa)	Vlhkost (%)	Rychlost proudění vzduchu (m/s)	Teplota (°C)	Množství CO ₂ (ppm)
Naměřené hodnota	95,782	59	0	18,5	2539

Tab. 8 Naměřené hodnoty případové studie IV. před větráním

Naměřené hodnoty po asi 15 minutovém větrání:

Veličina (jednotka)	Tlak (kPa)	Vlhkost (%)	Rychlost proudění vzduchu (m/s)	Teplota (°C)	Množství CO ₂ (ppm)
Naměřené hodnota	95,78	50,4	0	19	1973

Tab. 9 Naměřené hodnoty případové studie IV. po větrání

Hodnota tlaku vzduchu, která byla změřena pro tuto místnost, obývací pokoj rodinného domu, je stejně jako ostatní tři hodnoty tlaků předchozích případových studií odchýlena od průměrné hodnoty zhruba o 3 kPa, takže hodnota je, co se týče limitů, v pořádku.

Teplota je před i po vyvětrání prakticky totožná. Teplota 18,5 °C je těsně nad spodní limitní hodnotou zimní teploty. Po vyvětrání teplota vzrostla o 1 °C. I předchozí teplota byla optimální pro práci v místnosti v zimním období. Teplota je tedy v normě.

Vlhkost po vyvětrání klesla o necelých 9 %, stále se však jedná o hodnotu 50 % vlhkosti vzduchu, takže v místnosti rozhodně nebude docházet k výskytu vysušeného vzduchu či elektrostatickým výbojům. Vlhkost je tedy optimální.

Co naopak vysoce přesahuje optimální mez je obsah CO₂ ve vzduchu. Hodnota před vyvětráním převyšuje limitní hodnotu více než 2,5 krát, po vyvětrání je hodnota bezmála 2 krát větší. To znamená, že výměna vzduchu byla velmi krátká, vzhledem k tak vysoké hodnotě, která byla naměřena. Vysoký podíl CO₂ ve vzduchu snižuje pozornost a zhoršuje celkovou pracovní aktivitu lidí, kteří v něm pracují.

Hodnocení z hlediska ukazatele PMV je velmi subjektivní. Pro osobu pracující či odpočívající v tomto tepelném prostředí je hodnocení od pocitu neutrálního (0) až do pocitu chladu (-2) v případě, že se osoba vůbec nehýbe – např. sedí soustavně za stolem či leží bez přikrytí přikrývkou. Naopak osoba, která přijde z chladnějšího venkovního prostředí, tento interiér pocitově vnímá jako teplý nebo mírně teplý (+2, +1).

Celkově je tento prostor pro nefyzickou práci spíše nevhodný než vhodný, vzhledem k velmi vysokému obsahu CO₂ ve vzduchu. Aby se hodnota CO₂ ve vzduchu snížila, je třeba častěji a v delším časovém úseku větrat. Pak se prostor stane vhodným pro práci i odpočinek vsedě a vleže.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá parametry vnitřního prostředí.

V první kapitole jsou popsány hlavní klimatické podmínky. Velká část kapitoly je věnována vzduchu – jeho složení, popisu nejdůležitějších plynů, které se v něm nachází, jeho teplotě, vlhkosti a větrnému proudění. Dále je zde charakterizováno sluneční záření a tlak vzduchu. Každá z těchto veličin je podrobněji charakterizována, jsou zde zmíněny i konkrétní způsoby a návrhy pro měření.

Druhá kapitola se zabývá hygienickými parametry vnitřního prostředí. Podrobně jsou zde rozebrány nejdůležitější faktory vnitřního prostředí a to složení vzduchu, jeho teplota a tepelné vlastnosti prostředí, vlhkost a rychlost proudění vzduchu, hluk, světelné záření a elektrické a magnetické vlastnosti prostředí. Všechny tyto parametry jsou popsány vzhledem k tepelné pohodě, resp. tepelné rovnováze v objektu.

Obsah třetí kapitoly je věnován výběru konkrétních měřicích přístrojů jednotlivých veličin. Pro měření teploty je zde uveden kulový teploměr Vernon a katateploměr, pro měření vlhkosti je uvedeno několik metod, které lze pro měření využít, a k nim je přiřazen příklad přístroje, kterým se dá určená metoda změřit. Digitální vířivý anemometr je zde jako příklad přístroje pro měření rychlosti proudění vzduchu. Největší prostor je v této kapitole věnován kombinovaným přístrojům a to konkrétně analyzátoru INNOVA 1221 (dříve Brüel & Kjaer). Jsou zde popsány funkce jednotlivých sond tohoto analyzátoru.

Hlavní částí celé práce je kapitola číslo 4. Zde jsou uvedeny případové studie, přístroj, kterým byly jednotlivé veličiny změřeny, naměřené hodnoty a také jejich zhodnocení. K měření jednotlivých případových studií byl použit kombinovaný přístroj od společnosti TESTO 435-1 v kombinaci s měřicí sondou IAQ. Při celkovém pohledu na změřené hodnoty všech případových studií, je zřejmé, že hodnota tlaku je prakticky u všech případů totožná. Kromě tlaku je stejná hodnota rychlosti proudění větru, která byla nulová. Není tedy třeba tuto veličinu hodnotit.

Pro první případovou studii byla zvolena kancelář. Tato místnost vyhovuje všem limitům, které jsou zmíněny ve druhé kapitole. Lehce zvýšený je pouze obsah CO₂ ve vzduchu, ale vzhledem k tomu, že hranice použitelnosti vzduchu v místnosti je hodnota 1500

ppm [11], které naměřená hodnota nedosahuje, lze tvrdit, že i tato hodnota vyhovuje limitům. Tento prostor je tedy optimální pro práci vsedě.

Druhá případová studie byla změřena v prostoru, který byl větších rozměrů než ostatní místnosti. Zde stejně jako v případě první případové studie většina změřených hodnot vyhovuje limitům. Pouze teplota zde byla naměřena na limitní hranici tepelného komfortu, ale vzhledem k oděvu pracovníků a pohybu při práci je i tato hodnota optimální. Celkově je i tento prostor vhodně uzpůsobený k danému druhu práce.

Prostorem třetí případové studie byla zvolena chemická laboratoř. Zde byla výrazně vyšší teplota vzduchu, než je uvedeno v optimálních hodnotách. S přihlédnutím k oděvu laboratorní pracovnice a k faktu, že vykonává práci převážně vsedě, je teplota v normě. Výrazným nedostatkem je zde velmi nízká hodnota vlhkosti vzduchu. V místnosti s takto nízkou vlhkostí může docházet k elektrostatickým výbojům vlivem umělých materiálů v podlahové krytině, ale hlavně k vysušování vzduchu, ze kterého mohou vznikat dýchací potíže a proto je nutné vzduch zvlhčovat.

Poslední případová studie byla realizována v obývacím pokoji rodinného domu. Hodnoty, které jsou v této práci uvedené, jsou naměřené před a po vyvětrání. I přesto jsou hodnoty obsahu CO₂ ve vzduchu velmi vysoké, více než 1 krát přesahující limit použitelnosti vzduchu. V tomto stavu je místnost nevhodná pro jakoukoliv činnost. Aby byl obsah CO₂ ve vzduchu snížen, je třeba častěji a intenzivněji větrat. Poté se dá říci, že bude tento prostor optimálním jak pro práci, tak pro odpočinek.

Při shrnutí poznatků je výsledek následující: Prostory, které jsou čistě pracovními, vyhovují optimálním a limitním hodnotám pro tepelnou pohodu v prostředí. Nejhuře dopadl obývací pokoj, kde člověk tráví také velkou část dne. Vyplývá z toho, že je opravdu třeba nezanedbávat výměnu vzduchu v místnosti a přizpůsobovat svůj oděv a vytápění činnosti, která je v místnosti vykonávána.

SEZNAM LITERATURY; ZDROJE OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK:

- [1] SZÉKYOVÁ, Marta, FERSTL Karol, NOVÝ Richard. *Větrání a klimatizace*. Bratislava: JAGA GROUP, s.r.o., 2006
- [2] Stavová veličina. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Czech Republic (CZ): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Stavov%C3%A1_veli%C4%8Dina
- [3] Vlhkost vzduchu. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Czech Republic (CZ): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Vlhkost_vzduchu
- [4] Sládková, Veronika: *Vliv obnovitelných zdrojů na flóru, faunu a krajinný ráz*. Bakalářská práce, Plzeň, FEL ZČU, 2011
- [5] Fyzikální podstata světla. *Světlo: Časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=22854
- [6] Bělík, Milan, Ing., Ph.D.: *Přednášky z předmětu KEE/SOES*. FEL ZČU, 2012
- [7] Technická legislativa: Harmonizace norem se státy Evropské unie. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: http://www.mpo-efekt.cz/dokument/98_8037.pdf
- [8] Tlak vzduchu. *Meteocentrum.cz* [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/tlak-vzduchu.php>
- [9] Vlhkost vzduchu v bytě. *Dýchám zdravě* [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.dycham-zdrave.cz/dycham-zdrave/vlhkost-vzduchu-v-byte/>
- [10] BERAN, Vlastimil doc. Ing., CSc., TŮMOVÁ Olga doc. Ing. CSc. *Měření veličin životního a pracovního prostředí*. 1. vydání - dotisk. Plzeň: Tiskové středisko ZČU, 2007.
- [11] TZB INFO: *Technika a způsoby měření parametrů vnitřního prostředí* [online]. [cit. 2013-04-09]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/9217-technika-a-zpusoby-mereni-parametru-vnitriho-prostredi>
- [12] ČSN EN ISO 7726. *Ergonomie tepelného prostředí - Přístroje pro měření fyzikálních veličin*. ČNI, 2002.
- [13] ČSN EN ISO 7730. *Ergonomie tepelného prostředí: Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PDD a kritéria místního tepelného komfortu*. ČNI, 2006.

- [14] ČSN EN ISO 9241-6. *Ergonomické požadavky na kancelářské práce se zobrazovacími materiály: Část 6: Požadavky na pracovní prostředí*. ČNI, 2000.
- [15] *Testo 435: Multitalent pro větrání a kvalitu ovzduší: Nová měřicí technologie pro klimatizační zařízení*. [online]. [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: http://www.testo.cz/online/embedded/Sites/CZE/SharedDocuments/ProductBrochures/0560_4351_cz.pdf
- [16] Studie koncentrace CO₂ na školách: *Mikroklima ve veřejných budovách jako důvod instalace rekupirace*. [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: www.e-c.cz/download1.php?id=131
- [17] LumaSense Technologies: *Thermal Comfort Datalogger INNOVA 1221*. [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.lumasenseinc.com/EN/products/gas-monitoring/thermal-comfort/>
- [18] Deset stereotypních návyků, které škodí vašemu zdraví. *Ona dnes.cz* [online]. [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: http://ona.idnes.cz/navyky-ktere-skodi-zdravi-098-zdravi.aspx?c=A121015_111517_zdravi_pet
- [19] Obrázek: Katateploměr. [online]. [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30770
- [20] Obrázek: Assmannův psychrometr. [online]. [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://galaxy.uci.agh.edu.pl/~katmod/lab/BA.htm>
- [21] Obrázek: Digitální miskový anemometr. [online]. [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/anemometry/thermo-anemometr-cem-dt-8894-p729-113/#popis>
- [22] Obrázek: Měřicí přístroj TESTO 435-1. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://testo-india.thomex.com/testo-435-big.jpg>
- [23] Obrázek: Sonda IAQ, TESTO. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30770
- [24] Obrázek: Přímé a difúzní záření. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/img/primdif.png>
- [25] Obrázek: Spektrum elektromagnetického záření. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fc/Spectre.svg/400px-Spectre.svg.png>

PŘÍLOHA A

Tab. A1: Metabolismus [13]

Činnost	Metabolismus	
	W/m ²	met
Ležení	46	0,8
Sezení, uvolněné	58	1,0
Činnost vsedě (kancelář, obydlí, škola, laboratoř)	70	1,2
Lehká činnost vstoje (nakupování, laboratoř, lehký průmysl)	93	1,6
Středně namáhavá činnost vstoje (prodavač, domácí práce)	116	2,0
Chůze po rovině: 2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

Tab. A2: Hodnoty tepelné izolace pro sedadla [13]

Druh sedadla	I_{clu}	
	clo	m ² · K/W
Síťová nebo kovová židle	0,00	0,00
Dřevěná stolička	0,01	0,002
Běžná kancelářská židle	0,1	0,016
Manažerské křeslo	0,15	0,023

PŘÍLOHA B

Tab. B1: Tepelná izolace typických kombinací oděvu [13]

Pracovní oděv	I_{cl}	
	clo	m ² . K/W
Spodky, kombinéza, ponožky, boty	0,70	0,110
Spodky, košile, kombinéza, ponožky, boty	0,80	0,125
Spodky, košile, kalhoty, pracovní šaty, ponožky, boty	0,90	0,140
Spodní prádlo s krátkými rukávy a nohavicemi, košile, kalhoty, bunda, ponožky, boty	1,00	0,155
Spodní prádlo s dlouhými nohavicemi a rukávy, termobunda, ponožky, boty	1,20	0,185
Spodní prádlo s krátkými rukávy a nohavicemi, košile, kalhoty, bunda, silná prošívaná venkovní bunda a kombinéza, ponožky, boty, čepice, rukavice	1,40	0,310
Spodní prádlo s dlouhými rukávy a nohavicemi, termobunda a kalhoty, parka, silná kombinéza, ponožky, čepice, rukavice, boty	2,55	0,395

Tab. B2: Tepelná izolace typických kombinací oděvu (pokračování) [13]

Pracovní oděv	I_{cl}	
	clo	m ² . K/W
Kalhoty, tričko, šortky, tenké ponožky, sandály	0,30	0,050
Spodky, košile s krátkými rukávy, lehké kalhoty, tenké ponožky, boty	0,50	0,080
Kalhotky, spodnička, punčochy, šaty, střevíce	0,70	0,105
Spodní prádlo, košile, kalhoty, ponožky, boty	1,00	0,155
Kalhotky, punčochy, halenka, dlouhá sukně, bunda, boty	1,10	0,170
Spodní prádlo s dlouhými rukávy a nohavicemi, košile, kalhoty, svetr V, bunda, ponožky, boty	1,30	0,200
Spodní prádlo s krátkými rukávy a nohavicemi, košile, kalhoty, vesta, bunda, kabát, ponožky, boty	1,50	0,230