



UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
3. LÉKAŘSKÁ FAKULTA



klinika pracovního lékařství

Daniela Tintěrová

Měření a hodnocení tepelné pohody při práci

*Measurement and assessment of thermal balance
at work*

Praha, květen 2010

Autor práce: **Daniela Tintěrová**
Studijní program: Veřejné zdravotnictví
Bakalářský studijní obor: Specializace ve zdravotnictví

Vedoucí práce: **Doc. MUDr. Evžen Hrnčíř, CSc., MBA**
Pracoviště vedoucího práce: Fakultní nemocnice Královské Vinohrady,
klinika pracovního lékařství

Datum a rok obhajoby: 17.června 2010

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a všechny použité prameny jsem uvedla v seznamu použité literatury a zdrojů informací. Současně dávám svolení k tomu, aby tato bakalářská práce byla používána ke studijním účelům.

V Praze dne 26. května 2010

Daniela Tintěrová

Poděkování

Dovolte, abych touto cestou poděkovala všem, kteří byli nápomocni k úspěšnému vypracování této bakalářské práce. Jmenovitě bych chtěla poděkovat vedoucímu bakalářské práce Doc. MUDr. Evženu Hrnčířovi, CSc., MBA, za cenné rady a metodické vedení práce.

V Praze, 26. května 2010

Obsah

I. ÚVOD	8
PŘEDMĚT PRÁCE	8
STANOVENÍ METODIKY	8
POSTUP PRACÍ	8
ZKUŠENOSTI S PROVÁDĚNÍM PRACÍ	9
II. REŠERŠNÍ ČÁST	11
II. 1 FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY	11
TEPELNÁ POHODA	11
SDÍLENÍ TEPLA MEZI ČLOVĚKEM A OKOLÍM	12
KRITÉRIA TEPELNÉ POHODY	13
II. 2 LEGISLATIVNÍ ČÁST	15
PRACOVNÍ PROSTŘEDÍ	15
OSTATNÍ TYPY PROSTŘEDÍ	17
II. 3 METODIKA MĚŘENÍ MIKROKLIMATICKÝCH PARAMETRŮ	19
MĚŘENÉ A STANOVENÉ VELIČINY	19
METODY MĚŘENÍ A CHARAKTERISTIKA MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ	20
II. 4 MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE	22
TEPLOMĚR – HISTORIE	22
KULOVÝ TEPLOMĚR	23
COMET – REGISTRAČNÍ TEPLOMĚR PRO TERMOČLÁNKY	24
PS-2002 DATALOGGER XPLOREX GLX	26
PASCO SENZORY	28
MĚŘÍCÍ ROZHRANÍ PASCO PS-2100 A USB LINK	30
SMĚŘOVÁNÍ DALŠÍHO VÝVOJE MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ	30
II. 5 PŘÍPRAVA PŘÍSTROJŮ PŘED MĚŘENÍM	32
III. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	36
III. 1 MĚŘENÍ V ADMINISTRATIVNÍ BUDOVĚ	36
PROJEKT MĚŘENÍ	36
Měřicí přístroje	37
PROVEDENÍ MĚŘENÍ	40
Měřené veličiny	42
Postup měření a soubory ukládaných hodnot	43
Měření rychlosti proudění	43
Sluneční svit v době měření	44
Výsledky měření	45
ZÁVĚRY Z MĚŘENÍ V ADMINISTRATIVNÍ BUDOVĚ	49
III. 2 NÁHRADNÍ MĚŘENÍ	51
PROJEKT MĚŘENÍ	51

PROVEDENÍ MĚŘENÍ	52
3D MODEL MÍSTNOSTI	53
VÝSLEDKY MĚŘENÍ	55
III. 3 ZÁVĚRY EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI	57
Hodnocení pracovního prostředí	57
Metodika práce	57
VÝPOČET A HODNOCENÍ	58
IV. ČÁST DOPORUČENÍ	61
IV. 1 NAVRHOVÁNÍ BUDOV	61
Rizika navrhování budov	61
Simulace oslunění budovy 3d modelování	63
IV. 2 MĚŘENÍ A REGULACE	63
Čidla oslunění pro systém měření a regulace	63
IV. 3 PROVOZOVÁNÍ BUDOV	64
Automatické žaluzie na fasádě	64
V. ZÁVĚRY	66

SEZNAM LITERATURY

SHRNUTÍ

SUMMARY

PŘÍLOHY

PŘEHLED MĚŘENÍ METEOROLOGICKÉ STANICE ČHMU PRAHA KARLOV – ÚNOR 2010
KULOVÝ TEPLOMĚR VERNON-JOKL – PŘIHLÁŠKA PATENTU
DOTAZNÍKY O CHOVÁNÍ UŽIVATELŮ KANCELÁŘE V ADMINISTRATIVNÍ BUDOVĚ
FOTOGRAFICKÁ PŘÍLOHA



Tepelná pohoda člověka se v poslední době stále častěji dostává do popředí zájmu. Lze ji definovat jako stav mysli, jenž vyjadřuje spokojenost s teplotním klimatem a který vychází ze subjektivního hodnocení
American Society of Heating, Refrigerating & Air Conditioning Engineers – ASHRAE

I. Úvod

PŘEDMĚT PRÁCE

Měření a hodnocení tepelné pohody při práci (Measurement and assessment of thermal balance at work), jak zní zadaný název, je téma značně rozsáhlé. Lze ho uchopit dvěma způsoby. Buď jako literární rešerši, čímž vznikne obsáhlá práce s mnoha citacemi a výčty postupů při měření a vyhodnocování, avšak bez experimentální části a bez praktického výstupu. Druhou možností je soustředit se na popis a řešení konkrétního problému a vykonat praktické měření v terénu se všemi riziky, které taková činnost může přinést.

Pro předmět své práce jsem zvolila přístup experimentální – formou měření v terénu. Řada mých známých pracuje v administrativních budovách. Na první pohled lehká administrativní práce je však v prosklených budovách ztížena slunečním osálením. Paradoxně vznikají největší problémy v zimním období a na jaře, kdy je slunce nízko nad obzorem. Po zvážení možností jsem se rozhodla provést práci založenou na experimentálním měření s následujícím upřesněním.

Měření a hodnocení tepelné pohody při práci v administrativní budově za podmínek osálení pracovního místa slunečními paprsky zimním období.

STANOVENÍ METODIKY

Pro měření tepelné pohody při práci v administrativní budově za podmínek slunečního osálení je třeba stanovit metodiku měření a vyhodnocení. Základem je měření teplot. Pro vlastní měření je potřebné nejméně jedno měřidlo, které umožní zachytit vliv osálení. Byl použit kulový teploměr. Dále několik dalších měřidel, které zachytí teplotní pole ve zkoumané místnosti. Dalším cílem práce bylo provést nikoliv jednorázové měření, ale zachytit průběh teplot v období nejméně jednoho týdne. Jako další ukazatel kvality vnitřního prostředí byl použit záznam koncentrace CO₂.

POSTUP PRACÍ

Zadaná práce nepochází z oblasti „Pracovní lékařství“, ale má velkou řadu přesahů do jiných oborů. Použila jsem proto „agenturní metodu práce“, kdy jsem oslovovala odborníky a dílčí specialisty. Ti mi pomohli buď konzultací, nebo i přímo praktickou pomocí. Jde zejména o praktické použití měřících přístrojů, správu získaných dat, jejich transformaci a převod do prezentovatelné formy. Dále o konzultace v oblasti projektování administrativních budov, použití programů pro trojrozměrné projektování a dále informace o způsobu provozování současných administrativních budov.

Po zadání práce a provedení literární a právní rešerše jsem stanovila dílčí úkoly, které je pro naplnění práce potřeba postupně splnit:

- Získat dostupné měřicí přístroje (vypůjčit soupravu kulového teploměru s rtuťovými skleněnými teploměry, digitální teploměr se záznamem a velmi rychlými termočláňkovými čidly, záznamový systém do notebooku pro teploty a koncentrace škodlivin, měřidlo rychlosti proudění)
- Poznat vlastnosti přístrojů a naučit se s nimi spolehlivě zacházet (cejchování, dynamické vlastnosti – časové konstanty, výstupní formát souborů dat, transformace a spolehlivé ukládání dat)
- Najít vhodnou kancelář k provedení měření (kancelář v prosklené budově, orientace na jih, východ, nebo západ, klimatizace vysokotlaká, nebo fan-coil jednotky, tolerantní osazenstvo kanceláře, možnost přístupu mimo pracovní dobu)
- Připravit projekt měření v terénu (detailní rozmístění přístrojů, seznam úkolů které je třeba udělat před měřením, v jeho průběhu i po skončení, seznam přístrojů, nářadí a pomocného materiálu, vyjednat půjčení přístrojů na stanovenou dobu 14dnů a rezervu, dotazníky o používání místnosti, stanovit vzorkovací frekvenci načítání dat podle kapacity pamětí přístrojů a rychlosti dějů).
- Zhodnotit rizika připravovaného měření (riziko špatné spolupráce osazenstva kanceláře, riziko nedostatečného seznámení s vypůjčenými přístroji, malá manuální zručnost v zacházení s přístroji, riziko výpadku napájení přístrojů, riziko přeplnění paměti, riziko při stahování dat z přístroje do počítače a na flash disk, riziko nevhodného počasí – je potřeba sluníčko, které svítí do oken)
- Provést měření (snažit se eliminovat předem pojmenovaná rizika, cílem měření je získat data pro vyhodnocení)
- Zpracovat získaná data a vyhodnotit základní kritéria
- Pokusit se najít metodu, jak teplotní zátěži osluněním předcházet
- Zpracovat doporučení pro praxi při projektování a provozování kancelářských budov

ZKUŠENOSTI S PROVÁDĚNÍM PRACÍ

Vlastní provádění prací se přirozeně odchylovalo od připraveného seznamu úkolů. V průběhu prací jsem se snažila odchylky řešit. Hlavními problémy se tak staly:

- Nepříznivé počasí – po dobu měření od 5. do 18. února nevysvitlo slunce, předpokládanou tepelnou zátěž se tedy nepodařilo zachytit
- Náhradní měření – po provedení hlavního měření jsem v následujícím týdnu provedla doma měření náhradní, s délkou trvání jeden den. Na něm jsem potvrdila původní předpoklady
- Ztráta dat – při hlavním měření jsme ztratili část dat, dílem kvůli výpadku napájení, dílem kvůli chybám při přenosu dat z paměti měřících přístrojů do centrálního úložiště dat v mém počítači

- Fotodokumentace a ztráta informací – v průběhu měření jsme pořídili rozsáhlou fotodokumentaci. Z fotografií jsem mohla následně odvodit některé informace nezaznamenané při měření jako okrajové podmínky

II. Rešeršní část

Vnitřní prostředí budov je částí životního prostředí. Jde o prostor uměle vytvořený člověkem s cílem vyloučit, nebo omezit vliv vnějšího prostředí jeho obyvatele, zvířata, nebo technologii. Je vymezeno stavebními konstrukcemi a technickými zařízeními budov. Cílem těchto komponent je to, aby člověk – uživatel interiéru měl pocit tepelné pohody.

II. 1 Fyzikální základy

TEPELNÁ POHODA

Všeobecným a nevyhnutelným předpokladem tepelné pohody je dosáhnout rovnováhu tepelného režimu člověka potřebnou na udržení stálé teploty těla.

Zdravý člověk má stálou teplotu těla 36,5 až 37°C. Tu si organismus udržuje vnitřní termoregulací, běžně neovlivnitelnou nervovou soustavou. Biochemickými reakcemi, oxidací potravin vdechovaným vzdušným kyslíkem, se v těle vytváří teplo, které se musí odvést do okolí.

Základním předpokladem tepelné pohody je tedy TEPELNÁ ROVNOVÁHA, tedy stav, kdy okolí odebírá lidskému tělu tolik tepla, kolik člověk právě produkuje.

Tepelnou bilanci lze popsat matematickými a fyzikálními rovnicemi. Výměna tepla s okolím nastává vedením, prouděním, sáláním a když to nestačí, pak vypařováním.

Tepelný stav prostředí jako okrajová podmínka pro sestavení tepelné bilance, má čtyři základní faktory fyzikální :

- teplota vzduchu t_i (°C)
- účinná teplota okolních ploch t_u (°C)
- vlhkost vzduchu φ (%)
- rychlost proudění vzduchu w (m/s)

Dále jsou okrajové podmínky charakterizované člověkem:

- činnost člověka Q' (W)
- tepelný odpor oděvu R_{cl} (m²K/W)

Tepelný stav prostředí nejčastěji hodnotí na základě teploty vzduchu. Jde o orientační hodnocení, vyžaduje jednoduché měřicí pomůcky, je tradiční a pochopitelné široké veřejnosti.

Teplota vzduchu jako jedna z hodnot pro kritériální hodnocení tepelného stavu prostředí je jednoduchou, všeobecně přijímanou veličinou. Měří se teploměrem (kapalinový, digitální s teplotním čidlem odporovým nebo termočláňkovým, apod.)

SDÍLENÍ TEPLA MEZI ČLOVĚKEM A OKOLÍM

Lidské tělo se svými mechanismy snaží v každé době udržet konstantní teplotu. To znamená, že z hlediska tepelného je neustále v rovnováze množství energie přivedené ve formě potravy s množstvím energie odvedené mechanickou prací (tj. při max. námaze 25%) a množstvím tepelné energie vyzářené do okolí.

Teplu se z těla sdílí konvekcí, sáláním, odpařováním vlhkosti a vedením.

Sdílení tepla konvekcí: o její velikosti rozhoduje teplota vzduchu, rychlost vzduchu, velikost exponovaného povrchu a povrchová teplota oděvu. Sdělené teplo činí asi 40% celkového odvedeného tepla.

Sdílení tepla sáláním: o velikosti rozhoduje účinná teplota okolních ploch, což je teplota definovaná jako společná teplota všech okolních ploch, při níž by bylo celkové množství tepla sdílené mezi povrchem těla a okolními plochami stejné jako ve skutečnosti. Důležitost účinné teploty roste v budovách s velkými prosklenými plochami. Sdílení tepla sáláním je dále ovlivněno teplotou povrchu oděvu, exponovaným povrchem těla a součinitelem poměrného sálání oděvu. Součinitel poměrného sálání je roven $= 1$ pro dokonale černé těleso. Pro nízkoteplotní záření (do 200°C-vytápění) mají téměř všechny povrchy tento součinitel asi 0,95. Pro vysokoteplotní sálání (slunce, žhavé povrchy) rozhoduje o velikosti součinitele barva. Pro bílé povrchy je $C=0,1/0,2$, pro černé $C=0,95$. Sdělené teplo sáláním tvoří asi 35% celkového odvedeného tepla. Pro bílou pokožku je součinitel poměrného sálání 0,6/0,7.

Sdílení tepla vedením: je zanedbatelné vzhledem k malým plochám jimiž je člověk v dotyku s okolím prostředím.

Sdílení tepla transportem hmoty (odpařováním): teplo se odebírá odpařováním vlhkosti prolínající pokožkou a odpařované v plicích. Sdílení odpařováním je ovlivňováno teplotou vzduchu, parciálním tlakem vodní páry ve vzduchu a rychlostí vzduchu. Sdělené teplo tvoří asi 26% celkového odvedeného tepla.

Vzhledem k tomu, že vývin tepla a výměna tepla s okolím jsou závislé ještě na řadě fyziologických mechanismů - chvění, proudění krve, atd. a připočteme-li ještě možnost změny oblečení a fyzické činnosti, pak je možno, aby člověk udržoval svou konstantní teplotu v značně širokém rozsahu okolních podmínek.

KRITÉRIA TEPELNÉ POHODY

Jako kritéria k hodnocení tepelné pohody se nejčastěji používají operativní teplota t_o , pak 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.

Operativní teplota t_o (°C) je definována jako jednotná teplota černého uzavřeného prostoru, ve kterém by tělo sdílelo konvekcí i sáláním stejné množství tepla jako ve skutečném teplotně nesourodém prostředí. Ve většině případů, kde je relativní rychlost proudění vzduchu malá (menší než 0,2 m/s) nebo kde je malý rozdíl mezi střední radiační teplotou t_r – a teplotou vzduchu t_a (méně než 4 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:

$$t_o = \bar{t}_r + A(t_a - \bar{t}_r)$$

kde $A = 0,75 \cdot w^{0,16}$.

Střední radiační teplota t_r (°C)

$$\bar{t}_r = \sqrt[4]{T_g^4 + kw^{0,6}(T_g - T_a) - 273,15}$$

kde T_g je teplota kulového teploměru s průměrem d (K), T_a absolutní teplota vzduchu (K), k konstanta ($2,9 \cdot 10^8$ pro $d = 100$ mm; $2,5 \cdot 10^8$ pro $d = 150$ mm).

Index PMV (Predicted Mean Vote, jako veličina ve výpočtech dále značený P_{PMV}) je ukazatel, který předpovídá střední tepelný pocit velké skupiny osob. Lze ho stanovit, jestliže se odhadne energetický výdej člověka, hodnota tepelného odporu oděvu a změní se již zmíněné faktory prostředí. Z řešení tepelné bilance je odvozena rovnice pro výpočet středního tepelného pocitu PMV:

$$P_{PMV} = (0,303e^{-0,036M} + 0,028) \left\{ \begin{array}{l} (M - V) - 3,05 \cdot 10^{-3} [5733 - 6,99(M - V) - p_a] - \\ - 0,42[(M - V) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} M(5867 - p_a) - \\ - 0,0014 \cdot M(34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} \\ f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \end{array} \right\}$$

když platí

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W) - R_{cl} \left\{ \begin{array}{l} 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [t_{cl} + 273]^4 - \\ - (t_r + 273)^4 + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \end{array} \right\}$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38(t_{cl} + t_a)^{0,25} & \text{pro } 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1\sqrt{v_{ar}} \\ 12,1\sqrt{v_{ar}} & \text{pro } 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} < 12,1\sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1 + 1,29R_{cl} & \text{pro } R_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1} \\ 1,05 + 0,645R_{cl} & \text{pro } R_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1} \end{cases}$$

kde P_{PMV} je předpověď středního tepelného pocitu (PMV), M energetický výdej povrchu lidského těla (W/m^2), W užitečný mechanický výkon, tj. vnější práce, u většiny prací se rovná nule (W/m^2 , vztaženo k ploše povrchu lidského těla), R_{cl} tepelný odpor oděvu ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$), f_{cl} poměr povrchu oblečeného člověka k povrchu nahého člověka, v_{ar} relativní rychlost proudění vzduchu, vůči lidskému tělu (m/s), p_a parciální tlak vodní páry (Pa), h_c součinitel přestupu tepla konvekcí ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$), t_{cl} teplota povrchu oděvu ($^{\circ}\text{C}$).

Výsledný střední tepelný pocit je hodnocen sedmistupňovou stupnicí PMV, kde +3 je horko, 0 neutrální pocit (tepelná pohoda) a -3 zima.

-3	-2	-1	0	1	2	3
zima	chladno	mírně chladno	neutrálně	mírně teplo	teplo	horko

IndexPPD - vzhledem k individuálním odchylkám fyziologických funkcí jednotlivců nelze zajistit pocit pohody všem lidem v daném prostoru. Vždy je asi pět procent nespokojených, kteří pociťují tepelnou nepohodu, tzv. diskomfort.

Procentuální podíl nespokojených PPD (ve vztazích značen PPPD) se vyhodnocuje na základě hodnoty středního tepelného pocitu PPMV podle vztahu:

$$P_{PPD} = 100 - 95e^{-(0,03353 \cdot P_{PMV}^4 + 0,2179 \cdot P_{PMV}^2)}$$

Stupeň obtěžování průvanem DR (ve vztazích dále P_{DR}) je samostatný ukazatel pro posuzování parametrů prostředí podle normy. Vyjadřuje procentuální podíl osob, u kterých převládá pocit obtěžování průvanem. Určí se podle vztahu:

$$P_{DR} = (34 - t_a) (w - 0,05)^{0,62} (0,37wT_u + 3,14)$$

kde T_u je místní intenzita turbulence (%)

II. 2 **Legislativní část**

PRACOVNÍ PROSTŘEDÍ

Nejpodrobněji zpracovaným předpisem pro oblast kvality vnitřního prostředí budov je nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. Ruší nařízení vlády č. 178/2001 Sb. i jeho novelizace pod čísly 523/2002 Sb. a 441/2004 Sb. Mikroklimatické podmínky jsou zde rozděleny do čtyř kategorií - optimální, přípustné, dlouhodobě a krátkodobě únosné. Tepelné pohodě ve vnitřním prostředí budov odpovídají podmínky optimální, dané rozmezím teplot tak, aby byla respektována individuální vnímavost tepelného stavu prostředí. Uvedené optimální tepelné podmínky odpovídají 10% osob nespokojených s daným tepelným stavem prostředí (podle ČSN EN ISO 7730). Přípustné hodnoty mohou již navodit u citlivějších jedinců pocit mírného tepelného diskomfortu, při jejich dlouhodobém dodržení však není nijak ohroženo zdraví osob - limity přípustných hodnot odpovídají cca 20% osob nespokojených. Celoroční požadavky na mikroklimatické podmínky v pracovním prostředí viz tab. 1. Základním teplotním kritériem je operativní teplota t_o (°C), která je hodnotou počítanou z výsledné teploty, teploty vzduchu a rychlosti proudění vzduchu pro jednotlivé pracovní činnosti, tj. pro jednotlivé třídy práce charakterizované energetickým výdejem zaměstnance (příkladový seznam činností s odpovídajícím energetickým výdejem je uveden).

Třída práce	Ener.výdej M [W/m ²]	Operativní teplota t_o [°C]			Rych. proud. v_a [m/s]	Rel.vlhkost rh [%]
		$t_{o \text{ min}}$	$t_{o \text{ opt}}$	$t_{o \text{ max}}$		
I	≤ 80	20	22 ± 2	28	0,1 až 0,2	30 až 70
IIa	81 až 105	18	20 ± 2	27	0,1 až 0,2	
IIb	106 až 130	14	16 ± 2	26	0,2 až 0,3	
IIIa	131 až 160	10	12 ± 2	26	0,2 až 0,3	
IIIb	161 až 200	10	12 ± 2	26	0,2 až 0,3	

Tab.1 Celoročně a celosměnově přípustné mikroklimatické podmínky pro jednovrstvý až třívrstvý oděv, tj. tepelný odpor oděvu $R = 0,5$ až 1 clo. Operativní teplota je stanovena pro relativní vlhkost vzduchu 60 % - podle NV č. 361/2007 Sb.

Minimální hodnoty teplot uvedené ve sloupci to min nemají být nikdy podkročeny (hrozí prochladnutí osob). Maximální teploty ve sloupci to max především v pracovním prostředí někdy překročeny jsou - většinou z důvodů sálavého technologického tepla. Potom musí následovat další podmínky ochrany zaměstnanců před vysokými teplotami - jsou uváděny jako dlouhodobě a krátkodobě únosné doby práce za daných tepelných podmínek při energetickém výdeji odpovídajícímu typu vykonávané činnosti a použitém oděvu a v předpise jsou upřesněny řadou tabulek pro rozsah výsledných teplot prostředí 20 až 50 °C. Příklad viz tab. 2.

t_g [°C]	Třída práce [W/m ²]	Doba práce podle celkového energetického brutto výdeje (W/m ²)							
		I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IVa	IVb	V
		80	105	130	160	200	250	300	350
26	t_{sm}	480	480	480	480	403	245	196	163
	t_{max}	480	480	480	480	403	245	196	163
28	t_{sm}	480	480	480	480	352	230	186	156
	t_{max}	480	480	480	480	352	83	37	24
30	t_{sm}	480	480	480	468	280	217	177	150
	t_{max}	480	480	480	468	280	56	330	21
32	t_{sm}	480	480	480	348	262	205	169	144
	t_{max}	480	480	480	348	111	41	25	18
34	t_{sm}	480	480	392	308	245	195	161	138
	t_{max}	480	480	392	151	59	31	21	16
36	t_{sm}	385	433	351	287	230	185	154	132
	t_{max}	385	433	130	66	38	24	17	14
38	t_{sm}	274	385	324	268	217	176	148	127
	t_{max}	274	106	63	42	28	20	15	12
40	t_{sm}	247	362	301	251	205	168	142	123
	t_{max}	90	56	40	30	22	16	13	11

Tab. 2 Příklad části tabulky pro dlouhodobě a krátkodobě únosnou dobu práce pro aklimatizované muže, platné pro okrajové podmínky: $v_a = 0,1 \text{ m.s}^{-1}$, $t_g > t_a$, $rh < 70 \%$, $0,64 \text{ clo}$

Zdánlivé nesrovnalosti, kdy při vyšším energetickém výdeji (ve sloupci pro třídu práce IIa) je povolena delší doba práce při stejných tepelných podmínkách než při nižším energetickém výdeji (sloupec I), jsou důsledkem různé intenzity pocení a míry adiabatického ochlazení zaměstnance odpařováním potu.

V obou tabulkách se vychází z různých teplotních kritérií. Pro hodnocení i projektování teplot optimálních a přípustných je základní veličinou operativní teplota t_o (°C), pro oblast únosných hodnot pak výsledná teplota kulového teploměru. Protože v mírném tepelném prostředí (bez výrazné složky sálavého tepla při proudění vzduchu do $0,3 \text{ m/s}$) odpovídá operativní teplota číselně výsledné teplotě kulového teploměru, je možné

pracovat pouze s výslednou teplotou v celém rozsahu teplot vzduchu ve vnitřním prostředí budov.

V oblasti pracovního prostředí jsou i prostory, kde před mikroklimatickými požadavky nutnými k zajištění tepelné pohody nebo ochrany zdraví zaměstnance mají přednost požadavky sloužící k ochraně zpracovávaného produktu (a tím následně k ochraně osob). Např. veterinární požadavky při zpracování masa a masných produktů (např. v bourárně masa max 10 °C), požadavky potravinářského průmyslu (podmínky pro zpracování, převoz a uskladnění potravin dané vyhláškami Ministerstva zemědělství), apod.

OSTATNÍ TYPY PROSTŘEDÍ

Školská zařízení - celoročně platné požadavky na teplotu a relativní vlhkost vzduchu jsou stanoveny ve vyhlášce č. 410/2004 Sb. viz tab. 3.

Zařízení	Výsledná teplota vzduchu t_g [°C]
Učebny	min. 20, max. 26 (teplota podlahy min. 19)
Tělocvičny	min. 16
Šatny	min. 18
Umývárny	min. 20
Sprchy	min. 20
Záchody	min. 16/18*

Tab. 3 Požadované teploty v zařízení pro výchovu a vzdělávání podle vyhlášky č. 410/2005 Sb., při relativní vlhkosti vzduchu 40 až 60 % (* u předškolních zařízení)

Prostory saun a bazénů mají mikroklimatické požadavky pro prostory saun a bazénů najdeme ve vyhlášce č. 135/2004 Sb. - viz tab. 4.

Faktor prostředí	Hala bazénu	Přílehlé prostory pro uživatele (šatny, WC, sprchy, chodby atd.)
Teplota	o 1 až 3 °C vyšší než teplota vody v bazénu	sprchy 24 až 27 °C šatny a místnosti pro pobyt osob 20 až 22 °C
Relativní vlhkost vzduchu	max. 65 %	sprchy max. 85 % ostatní prostory max. 50 % (kromě parní komory)

Tab. 4 Mikroklimatické podmínky - bazény podle vyhlášky č. 135/2004 Sb.

Pro stravovací zařízení platí vyhláška č. 137/2004 Sb. v novelizovaném znění vyhlášky č. 602/2006 Sb. V původní vyhlášce č. 137 byly požadavky na mikroklimatické podmínky převzaty z požadavků pro pracovní prostředí. I zde se pracovalo s operativní teplotou pro činnosti

charakterizované třídami práce I až IIIa. Uvedená novelizace vznikla při převzetí a zapracování několika Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) týkajících se hygieny a bezpečnosti potravin a výsledkem je zrušení celé Části 2, Hlavy 1 původní vyhlášky. Novelizací původní vyhlášky tak byly bez náhrady zrušeny všechny hygienické požadavky na vnitřní prostředí stravovacích služeb, tedy i na mikroklimatické podmínky. Protože zde jsou ale prostory, které jsou zároveň pracovními místy i pobytovým prostředím pro zákazníky, lze použít požadavky nařízení vlády č. 361/2007 Sb. pro pracovní prostředí - pro třídu práce I.

Pro pobytové prostory definované vyhláškou č. 137/1998 Sb. a §13, zákona č. 258/2000 Sb. (s výjimkou prostor kanceláří, které jsou ve smyslu předchozích předpisů pracovištěm) jsou mikroklimatické podmínky uvedeny ve vyhlášce č. 6/2003 Sb. Jsou rozlišeny požadavky pro teplé a chladné období roku, což bývá problematické rozdělení při měření i hodnocení těchto podmínek. Chybí jasná definice teplého období (používáno dohodou - venkovní teplota nad 25 °C, za stálé diskuse, zda jednorázově dosažená, nebo průměrná) a chladného období (pod 0 °C) roku. Požadavky viz tab. 5

Typ pobytové místnosti	Výsledná teplota t_g [°C]	
	období roku	
	teplé	chladné
Ubytovací zařízení	24,0 ± 2,0	22,0 ± 2,0
Zasedací místnost staveb pro shromažďování většího počtu osob	24,5 ± 1,5	
Haly kulturních a sportovních zařízení		
Učebny v zařízeních pro výchovu a vzdělávání		
Ústavy sociální péče	24,0 ± 2,0	
Zdravotnická zařízení	24,5 ± 2,5	
Výstaviště	23,0 ± 2,0	
Stavby pro obchod		

Tab. 5 Požadavky na výslednou teplotu pobytových místností podle vyhlášky č. 6/2003 Sb.- při relativní vlhkosti vzduchu 30 až 65 % a rychlosti proudění vzduchu 0,13 až 0,25 m.s⁻¹

Budeme-li hledat jak by mělo vypadat mikroklima v prostorách bytů a bytových domů, máme k dispozici pouze výpočtové teploty platných norem, nebo lze přihlídnout k požadavkům pro obdobné činnosti v pracovním nebo pobytovém prostředí - ale jde pouze o doporučení, ne závazné požadavky.

II. 3 Metodika měření mikroklimatických parametrů

Předmětem metodiky autorů Málek a Matthauserová je objektivní stanovení fyzikálních veličin charakterizujících tepelně-vlhkostní stav vnitřního prostředí budov. Jsou uvedeny podmínky a způsoby měření jednotlivých veličin v obytné zóně lidí a charakteristiky vhodných měřicích přístrojů. Uvedené veličiny spolu s tepelnou bilancí člověka slouží ke stanovení tepelné zátěže, tepelného komfortu či diskomfortu vnitřního prostředí budov.

Základní kritéria pro vyhodnocení mikroklimatických parametrů vnitřního prostředí

- Operativní teplota vzduchu t_o (°C)
- Výsledná teplota kulového teploměru t_g (°C)
- Relativní vlhkost vzduchu r_h (%)
- Rychlost proudění vzduchu v_a (m/s)

MĚŘENÉ A STANOVENÉ VELIČINY

Měřené a stanovené veličiny potřebné pro vyhodnocení mikroklimatických parametrů vnitřního prostředí a tepelné zátěže definované ve vztahu k člověku pohybujícímu se ve sledovaném prostoru :

Teplota vzduchu t_a (°C) také nazývaná suchá teplota, je teplota v okolí lidského těla, měřená jakýmkoli teplotním čidlem neovlivněným sáláním okolních ploch.

Výsledná teplota t_g (°C) je teplota v okolí lidského těla měřená kulovým teploměrem, která zahrnuje vliv současného působení teploty vzduchu, teploty okolních ploch a rychlosti proudění vzduchu.

Operativní teplota t_o (°C) je rovnoměrná teplota uzavřené černé plochy, uvnitř které by člověk sdílel sáláním a prouděním stejně tepla jako v prostředí skutečném. Stanoví se výpočtem.

Střední radiační teplota r_t (°C), také nazývaná střední teplota sálání ploch, je rovnoměrná teplota okolních ploch, při níž se sdílí sáláním stejně tepla jako ve skutečném heterogenním prostředí. Měří se radiometry, nebo se vypočítá z výsledné teploty kulového teploměru a teploty vzduchu. Slouží jako jedna ze vstupních hodnot pro výpočet operativní teploty.

Rovinná radiační teplota t_{pr} (°C) také nazývaná rovinná teplota sálání protilehlých ploch, je rovnoměrná teplota okolních povrchů, kde sálání na jedné straně malého rovinného prvku je stejné jako ve skutečném prostředí. Popisuje sálání v jednom směru a slouží především ke stanovení asymetrie teploty sálání v prostoru a k výpočtu střední teploty sálání ploch.

Asymetrie radiační teploty Δt_{pr} (°C, K) také nazývaná jako asymetrie teploty sálání, je rozdíl mezi rovinnými teplotami sálání dvou protilehlých ploch malého rovinného prvku.

Intenzita sálání I (W/m^2) vyjádřená jako efektivní tok sdílený sáláním, popisuje výměnu tepla sáláním mezi povrchy (plochami) prostoru a lidským tělem.

Korigovaná teplota t_{korig} ($^{\circ}C$) je teplota vzduchu snižená vlivem proudění vzduchu, která se užívá při hodnocení účinku větru na člověka na venkovních pracovištích.

Povrchová teplota t_s ($^{\circ}C$) je teplota měřená na povrchu těles a stavebních konstrukcí kontaktním nebo bezkontaktním způsobem.

Relativní vlhkost r_h (%) vyjadřuje stupeň nasycení vzduchu vodními parami, definovaný poměrem hustoty vodní páry ve vzduchu a ve vlhkém vzduchu nasyceném vodní párou při stejné teplotě a tlaku.

Teplota mokrého teploměru t_w ($^{\circ}C$) nazývaná psychrometrická, je teplota nuceně větraného vlhčeného teplotního čidla používaná při stanovování relativní vlhkosti vzduchu psychrometrem.

Teplota rosného bodu t_d ($^{\circ}C$) je teplota, při níž dochází k orosování povrchů, tzn. vlhký vzduch je ochlazen až na teplotu, při níž se dosáhne stavu sytosti (relativní vlhkost je 100%). Stanoví se z teploty a vlhkosti vzduchu z psychrometrického diagramu nebo výpočtem. Některé v současnosti užívané přístroje přímo ukáží hodnotu teploty rosného bodu.

Rychlost proudění vzduchu v_a (m/s) je veličina charakterizující pohyb vzduchu v prostoru, je určena svojí velikostí a směrem proudění. Protože rychlost proudění vzduchu v prostoru značně kolísá, je nutné její změny vyjadřovat střední hodnotou za časovou jednotku a směrodatnou odchylkou.

METODY MĚŘENÍ A CHARAKTERISTIKA MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ

Jednotlivé charakteristiky měřicích přístrojů z hlediska požadovaného měřicího rozsahu, přesnosti měření, doby ustálení apod. jsou podrobně uvedeny v ČSN EN ISO 7726 Tepelné prostředí – Přístroje a metody měření fyzikálních veličin. U všech přístrojů, které odpovídají požadavkům této normy je nutné dodržet postupy dané výrobcem.

Teplota vzduchu t_a

Při měření teploty lze použít jakékoli teplotní čidlo s požadovanou přesností měření $\pm 0,2$ $^{\circ}C$. Musí být brána v úvahu jeho tepelná setrvačnost, výslednou hodnotu lze odečítat až po ustálení čidla. Je zapotřebí snížit vliv okolní radiace na teplotní čidlo, změřená hodnota by pak neodpovídala skutečné teplotě vzduchu, ale ležela by někde mezi teplotou vzduchu a střední radiální teplotou.

Pro průběžná dlouhodobější měření (24 hod, týden) se používají termografy se zápisem průběhu sledovaných teplot, nebo datalogery s vyhodnocením na počítači.

Střední radiační teplota t_r

Způsoby stanovení

1) Použitím kulového teploměru

Pro měření se používá kulový teploměr Vernon nebo Vernon-Jokl o průměru koule 150 nebo 100 mm, povrch koule černěný plech nebo černý polyuretan. Doba ustálení kulového teploměru je 20 - 30 minut podle fyzikálních vlastností koule a podmínek prostředí. Pro velkou tepelnou setrvačnost není tento přístroj vhodný pro měření v prostředí s rychlými teplotními změnami. Používá se buď v klasickém provedení, tj. se rtuťovým teploměrem, nebo s jakýmkoli teplotním čidlem.

Požadovaná přesnost měření:

- pro rozsah měření 0 až 50 °C je $\pm 0,5$ °C
- pro rozsah měření -20 až 0 °C je $\pm (0,5 + 0,01|tg|)$ °C

Střední radiační teplota se určí podle vztahu

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

kde t_g - výsledná teplota kulového teploměru ϕ 0,10 m (°C)

t_a - teplota vzduchu (°C)

v_a - rychlost proudění vzduchu ($m \cdot s^{-1}$)

nebo

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

kde t_g - výsledná teplota kulového teploměru ϕ 0,15 m (°C)

2) Pro přímá měření slouží radiometry. Popis přístrojů, způsoby měření a výpočet střední teploty sálání ze změřených rovinných teplot sálání ploch jsou podrobně popsány v ČSN EN ISO 7726.

Operativní teplota

Není veličinou změřenou, ale vypočítanou podle vztahu

$$t_o = \bar{t}_r + A (t_a - \bar{t}_r)$$

kde t_a - teplota vzduchu (°C) – průměrná hodnota za směnu nebo zvolený časový interval

\bar{t}_r - střední radiační teplota (°C) – průměrná hodnota za směnu nebo zvolený časový interval

A - koeficient, který je funkcí rychlosti proudění vzduchu podle tab. 1

Tab.1: Závislost koeficientu A na rychlosti proudění vzduchu

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

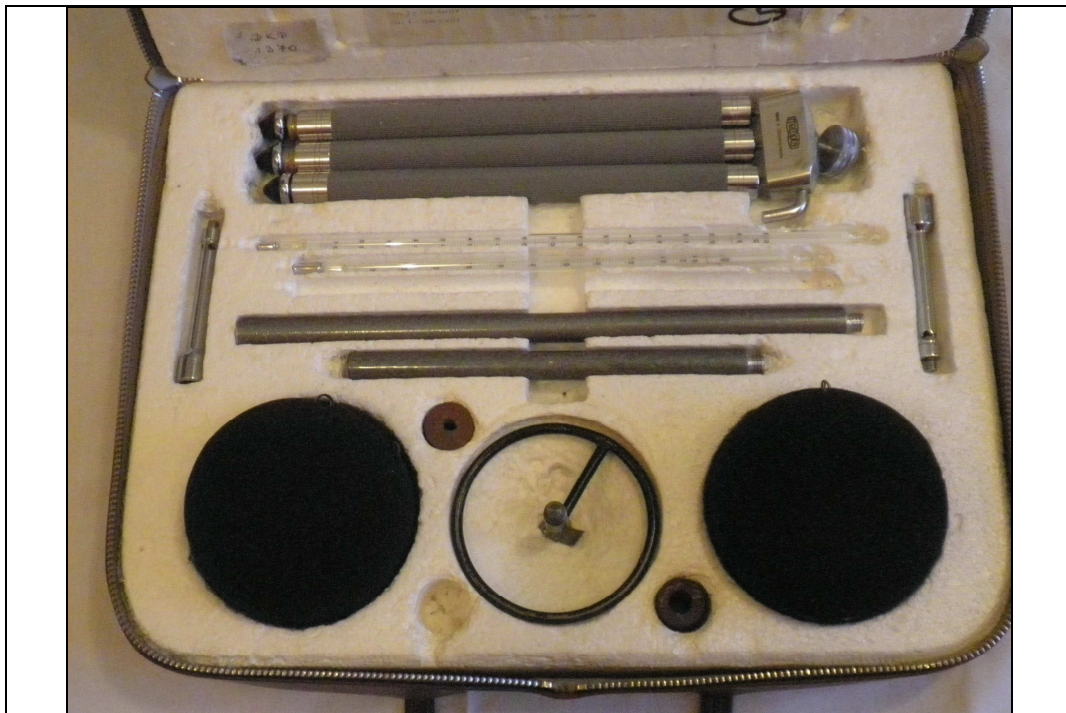
II. 4 Měřící přístroje

Měřící přístroje pro hodnocení tepelného stavu prostředí prošly dynamickým vývojem. Teploměr se používá pro měření třístapadesát let. V posledních padesáti letech je patrný trend vývoje měřících přístrojů od analogových ukazatelů – např. rtuťových teploměrů, nebo ručkových voltmetrů k ukazatelům digitálním. Je snaha používat čidla s rychlou odezvou, bez dlouhého ustalování výstupní veličiny. Od jednorázového měření se přechází k záznamu měřené veličiny v čase, který umožňuje posoudit například průběh vnitřní teploty za několik dnů. Prosazují se měřící ústředny se vstupem řady veličin, nebo záznamníky pro každou veličinu zvlášť – datalogery – sladěné na jednotnou časovou základnu. S vývojem elektronických prvků se vlastní vyhodnocovací přístroj „krabička“ stává levnější, než čidla, která se do ní zapojují. Významným trendem posledních let je používání čidel s vestavěnými převodníky z analogového signálu na signál digitální. Tato čidla se připojují na USB porty běžného notebooku a obslužný program je velmi jednoduchý a pochopitelný.

TEPLOMĚR – HISTORIE

Dnes jsou teploměry snad nejznámějším fyzikálním přístrojem. Ale ještě před několika staletími byly úplně neznámé. Teplota se určovala podle tělesných pocitů, při výrobě kovů a keramiky se lidé řídili barvou rozžhavených předmětů nebo roztavením kovů. Nejprve se začalo používat měření teploty pomocí roztažnosti kapalin. První doklady jsou ze starověku. Galileo Galilei, jako profesor univerzity v Padově v Itálii, využil na začátku 17. století tepelné roztažnosti vzduchu k měření teploty. Přístroj ještě neměl stupnici. Ještě v průběhu 17. století se objevily teploměry, v nichž je teploměrnou látkou kapalina. Zřejmě první sestrojil roku 1631 francouzský lékař Jean Rey, který použil jako teploměrnou látku vodu. Dále se hledaly jiné vhodné tekutiny, jako líh a rtuť. První lihový teploměr je z roku 1641. Teplotní stupnice - stupeň Celsia (°C) je jednotka teploty, kterou v roce 1742 vytvořil švédský astronom Anders Celsius. Má dva pevné body: 0 °C pro teplotu tání ledu a 100 °C pro teplotu varu vody za normálního tlaku

KULOVÝ TEPLOMĚŘ



Měřicí souprava kulového teploměru Vernon-Jokl

Výsledný kulový teploměr (Vernonův kulový teploměr, Missénárdův válcový teploměr) je teploměr (nejčastěji skleněný), jehož čidlo je umístěno ve středu kulového pláště o průměru 100 až 150 mm z tenkého měděného plechu, s matným černým nátěrem na vnější stěně. Kulový teploměr udává tzv. výslednou teplotu okolního prostředí, jako míru ochlazovacího účinku tohoto prostředí (článek 116, ČSN 25 8005 Názvosloví z oboru měření teplot. Platila od 1. 12. 1974 do 1. 8. 1989).

Hodnocení sálavého tepla se používá hlavně při hodnocení pracovního prostředí v hygieně práce, je souhrnem působení tepelně radiačních vlastností a teplot všech povrchů v místnosti. Výsledkem měření je výsledná teplota prostředí (globeteplota T_g). Měří se kulovým teploměrem (dutá kovová koule potažená černým polyuretanem, do středu koule je zaveden teploměr, hodnotu sálavého tepla odečítáme až po ustálení hodnoty na teploměru, asi po 30 min. stání v místnosti) a udává se ve °C.

Modifikace kulového teploměru

Kulový teploměr Vernon-Jokl se rozměrově i principem shoduje s původním Vernonovým teploměrem. Hlavní rozdíl je v potažení koule černým pěnovým polyuretanem (molitanem). Princip je chráněn patentem, jehož faksimile je v přílohové části. Podle sdělení odborníků je jediným účinkem této úpravy prodloužení již tak dlouhé doby pro ustálení měřené hodnoty

Kulový stereoteploměr Jokl-Jirák - nerovnoměrné tepelné prostředí vysoce ovlivňuje tepelnou pohodu člověka a nepřímo i jeho pracovní výkonnost. Řešení tohoto problému může přinést nový přístroj, schopný diferenciací stereoteplot. Patentovaný český přístroj - stereoteploměr Jokl - Jirák umožňuje vyhodnotit všesměrové působení sálání a proudění a jeho nerovnoměrnosti v prostoru. Tento přístroj bere v úvahu nejen tepelnou radiaci, ale i konvekci. Přístroj snímá a ve vyhodnocovací jednotce zobrazuje teploty kulového teploměru (T_g) a stereoteploty ze šesti směrů (tstereo,1-6)



Stereoteploměr Jokl-Jirák

Poznámka - pro měření v rámci bakalářské práce byl použit kulový teploměr Vernon-Jokl z komerčně vyráběné měřicí soupravy - viz předchozí foto „kufru“.

COMET - REGISTRAČNÍ TEPLOMĚR PRO TERMOČLÁNKY

COMET D0321 - dvoukanálový teploměr s možností zobrazení rozdílu teplot mezi kanály a nastavení alarmu i pro rozdíl teplot mezi kanály.

Přístroj je určen pro měření a záznam dvou teplot pomocí připojitelných termočlánekových sond typu J, K nebo S s možností přímého zobrazení rozdílu obou teplot. Naměřené hodnoty jsou zobrazovány na dvouřádkovém LCD displeji a mohou být ukládány v nastavitelném časovém intervalu do vnitřní, energeticky nezávislé paměti, odkud je lze přenést do osobního počítače. Přístroj porovnává měřené hodnoty obou teplot i jejich rozdíl se dvěma nastavitelnými hranicemi pro každou veličinu a jejich překročení signalizuje blikáním příslušné hodnoty na displeji a vypínatelným akustickým signálem. Je vybaven jednoúrovňovou pamětí Hold pro uchování naměřených hodnot, které lze stejně jako minimální a maximální hodnotu každé veličiny kdykoliv vyvolat na displej.



Teploměr COMET – záznamový, dvoukanalový, s termočlávkovými čidly

Teploměry jsou určeny pro přímá měření i záznam teploty do své vnitřní, energeticky nezávislé paměti. Z paměti teploměru lze pomocí dodaného programu zaznamenané teploty přenést po sériové lince RS232 do PC k archivaci nebo dalšímu vyhodnocení. Logger se propojuje s PC dodaným komunikačním kabelem pouze pro přenos dat z paměti, přičemž po dobu připojení k PC není možné měření ani záznam.

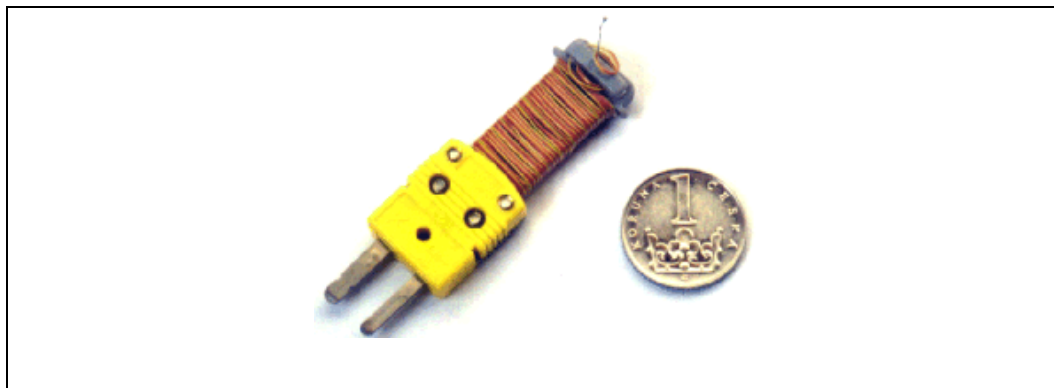
- přepínání typu termočlátku z klávesnice teploměru
- automatická kompenzace teploty studeného konce
- dvouřádkový LCD displej se speciálními znaky
- nastavitelný dvouúrovňový alarm s akustickou signalizací pro každý kanál
- paměť minimální a maximální teploty

Kompenzace studeného konce je automatická, v rozsahu provozních teplot přístroje. Interval měření a obnovování měřených hodnot na displeji 0,7 až 5 sekund. Interval ukládání naměř. hodnot do paměti při automatickém záznamu 10 sekund až 24 h

Kapacita paměti pro automat. záznam 8124 záznamů pro každý kanál.
Komunikace s počítačem: RS232 (sériový port)

Termočláňkové sondy pro teploměr Comet

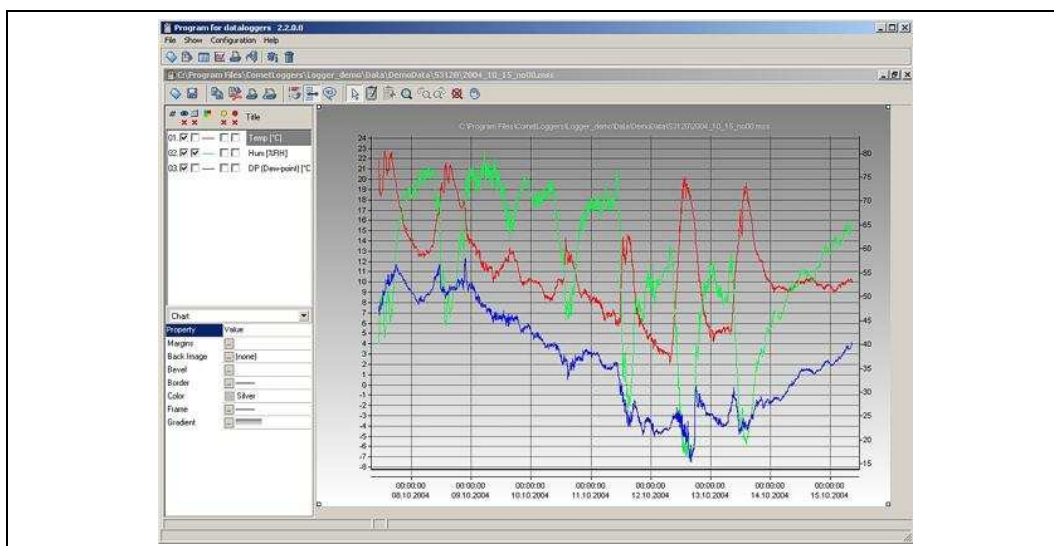
Pro měření jsme použili rychlé drátové sondy typ GD 260 pro teploty -65 až 260°C, izolace teflon, průměr cca 0,8mm. Velmi rychlá reakce, zakončení submimiaturní zásuvkou.



Termočláňkové velmi rychlé čidlo Ni-NiCr pro teploměr COMET

Programové vybavení teploměru COMET

Program SWR001 umožňuje komunikaci s přístrojem, načtení informací o aktuálním nastavení a stavu záznamníku, změnu parametrů záznamu a načtení naměřených údajů. Získané hodnoty lze prohlížet a tisknout ve formě tabulek nebo grafů. Hodnoty je možno exportovat do formátu DBF nebo TXT pro další zpracování. Pro zobrazení nebo tisk lze vybrat libovolný úsek změřeného průběhu, uživatelsky nastavit měřítko na osách grafu, volit tloušťky a barvy čar, velikost okrajů a další parametry. Je možno vytisknout průběhy jednotlivých veličin samostatně, nebo rozdělit graf na více listů s nastavitelnou délkou.



Obrazovka programu – vykreslování záznamů teplot

PS-2002 DATALOGGER XPLORER GLX

Datalogger Xplorer glx GLX Xplorer PS-2002 je 4 vstupový datalogger, ve kterém jsou obsaženy všechny sofistikované analytické nástroje, které používáme při práci s daty v programu DataStudio.

Poznámka: jde o školní pomůcku, podle prodejce vhodnou pro základní a střední školy (sic!!)



Datalogger X-plorer GLX

Do přístroje je možné zapojit až čtyři PASPORT senzory, dvě teplotní čidla a jedno čidlo na měření elektrického napětí. Vyhodnocování dat může probíhat přímo v dataloggeru. Xplorer však lze za pomoci USB kabelu propojit s počítačem a poté data buďto do počítače exportovat (ex-post vyhodnocování), nebo lze datalogger používat jako vícevstupové rozhraní pro real-time měření v prostředí DataStudia.

K Xploreru GLX lze připojit externí Flash paměť, na kterou lze data kopírovat (a později vyhodnocovat v programu - DataStudiu). Do USB portů lze také připojit myš či klávesnici na pohodlnější obsluhu, nebo tiskárnu na přímý tisk naměřených závislostí.

Vedle sběru a správy dat poskytuje Xplorer GLX také funkci generátoru signálů. Jedná se jak o signály akustické - s možností připojení na externí reproduktory a následné demonstrativní modulace (dvoukanálové stereo rozdělení, volba různých tónů - frekvencí, možností jejich skládání a spektrální analýzy), tak i o signály elektrické (různé typy průběhu harmonických funkcí - DC, AC - sinus, trojúhelníkový průběh, obdélník aj., taktéž s možností modulace - nastavení tvaru signálu, jeho, periody, DC offsetu, úrovně napětí apod.). Pokud Xplorer v tomto režimu připojíme k výkonovému zesilovači, dostáváme velice adaptabilní zdroj elektrického napětí.

Technické specifikace:

Senzory: Do přístroje Xplorer GLX lze připojit všechny senzory řady PASPORT.

Teplotní sondy: Do zdírek na připojení teplotních čidel lze připojit rychlereagující teplotní čidlo PASCO s rozsahem -10 °C až 70 °C nebo ocelovou teplotní sondu o rozsahu -10 °C až 135 °C.

Dalších senzorů je nepřeborné množství – čidla pohybu pro fyzikální školní pokusy, chemická čidla, medicínské vybavení a velmi mnoho dalších.

Data ze všech senzorů se vyhodnocují v programu DataStudio. Zde nastavujete také podmínky sledování experimentu (vzorkovací frekvence, typ zobrazení dat - digitálně, analogově, tabulka, graf aj. - podmínky odloženého startu a automatického ukončení sběru dat, a mnohé jiné).

PASCO SENZORY

Informace získané z jakéhokoliv senzoru řady PASPORTAL se za pomoci jednokanálového SPI-USB konvertoru mohou přenést přímo do PC, kde jsou buďto ukládány nebo – v reálném čase experimentu – zobrazovány a zpracovávány programem DataStudio. Do nejjednoduššího SPI-USB konvertoru (USB link PS-2100A) je možno připojit vždy jen jeden senzor. Pokud bychom potřebovali ukládat či sledovat data z více senzorů naráz, můžeme připojit více USB linků, nebo využít konvertoru s více vstupy (např. 3 vstupní PowerLink PS-2001), nebo využít 4 vstupní datalogger GLX Xplorer PS-2002.

Senzor plynného kyslíku PS 2126



Senzor plynného kyslíku PS 2126

Rozsah senzoru: 0-100% koncentrace kyslíku, 0 až 1,000,000 ppm

Rozlišení: 0,024% kyslíku

Přesnost: ± 1 % kyslíku při konstantní teplotě a tlaku

Provozní teplota: 0-40 °C

Rozsah relativní vlhkosti: 0 to 99 %, nekondenzující

Senzor teploty PS – 2125



Senzor teploty PS – 2125

Rozsah: -35 °C až +135 °C

Přesnost: ± 0.5 °C

Rozlišení: 0.01 °C

Jednotky: °C, °F, K

Max. vzorkovací frekvence: 10 Hz

Nastavená vzorkovací frekvence: 2 Hz

PS-2146 Absolutní tlak, teplota



Senzor PS-2146 Absolutní tlak, teplota

Tlak: rozsah 0 až 700 kPa, přesnost ± 2 kPa, rozlišení 0.1 kPa

Teplota: rozsah -10 až 70 °C, přesnost ± 0.5 °C

Zobrazení teploty v °C, K a °F

MĚŘÍCÍ ROZHRANÍ PASCO PS-2100 A USB LINK



Interface pro připojení standardních čidel do USB portu

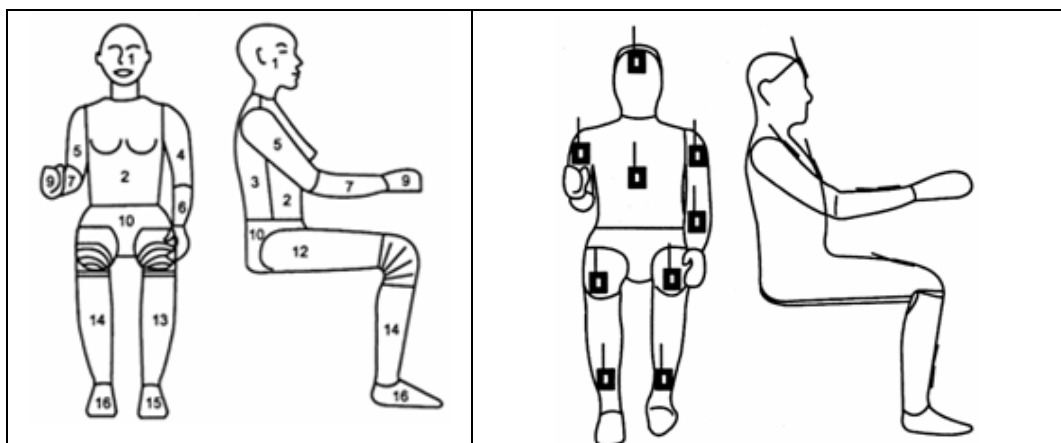
USB Link PS-2100A je jednoduché komunikační rozhraní zajišťující komunikaci všech PASPORT senzorů s počítači vybavenými USB portem

SMĚŘOVÁNÍ DALŠÍHO VÝVOJE MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ

Na Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně běží doktorský grantový projekt GAČR 101/05/H018 - Výzkum efektivních systémů pro zlepšení kvality vnitřního prostředí. Na tomto projektu se podílí i ústav automatizace a informatiky, který má za úkol realizovat snímače pro danou problematiku.

Tepelné figuríny

Tepelná figurína se skládá z lidsky tvarovaného čidla příslušné velikosti, jehož povrch je pokryt samostatně regulovanými zahřívávanými zónami.



Tepelná figurína s rozdělením na jednotlivé zóny a rozložení čidel typu umělá kůže na figuríně

Aby se mohla kontrolovat a měřit teplota, jsou jednotlivé zóny figuríny vyhřívány. Ke každé zóně se vede proud impulsního nízkého napětí v míře, která umožní udržovat vybrané konstanty nebo proměnné povrchové teploty. Měření a regulace se provádí pomocí počítače. Typicky měřené množství pro každou zónu je výkonová spotřeba nebo tepelná ztráta Q (W/m^2) a povrchová teplota t_s ($^{\circ}C$). Přímé měření Q a t_s vyloučí potřebu určování ostatních součástí.

Pro stanovení teploty mohou být použity ploché zahřívávané senzorové prvky různého provedení a tvaru. Sám lidský organismus ovlivňuje tepelný stav prostředí hned několika způsoby: jedním z nich je produkce metabolického tepla, které se mění v závislosti na fyzickém a psychickém stavu člověka, proto se také může lišit vnímání tepelného stavu prostředí u dvou osob v jedné místnosti. Toto metabolické teplo resp. jeho hustota tepelného toku může nabývat hodnot od cca $100 W/m^2$ do cca $250 W/m^2$ (povrchu lidské kůže).



Figurína „Hugo“

Senzory typu umělá kůže tedy simulují tento tepelný účinek a vyhodnocují povrchovou teplotu umělé kůže při udržování konstantního tepelného toku simulující fyzický či psychický stav člověka (100 – 250W/m²). Při změně tepelného stavu prostředí se bude měnit povrchová teplota umělé kůže a tím můžeme vyhodnotit, jak by se člověk v daném prostředí cítil, zda by pociťoval teplo či chlad.

Hustota tepelného toku produkovaná člověkem při různých činnostech	
Činnost	Energetický výdej (W/m ²)
Spánek	46
Sezení	58
Práce v sedě	70
Lehká práce	93
Střední práce	116
Těžká fyzická práce	180 - 380

Hustota tepelného toku produkovaná člověkem při různých činnostech

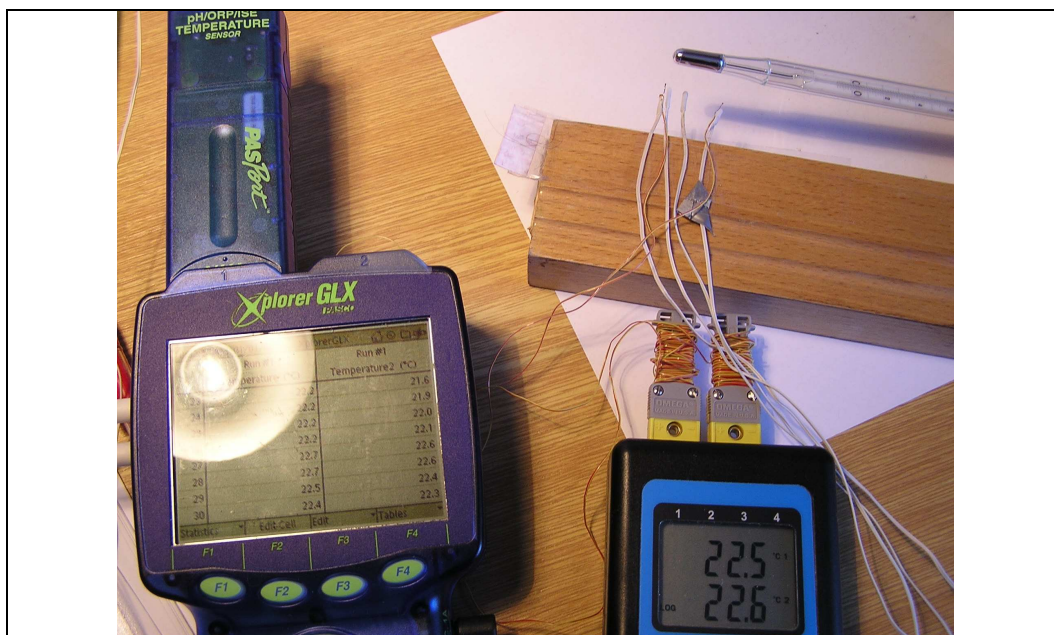
II. 5 Příprava přístrojů před měřením

Měřicí přístroje byly vypůjčeny z několika různých pracovišť - kulový teploměr z Kliniky pracovního lékařství Nemocnice Královské Vinohrady, katateploměr od firmy Airtechnik, dvoukanálový teploměr COMET od energetického auditora, školní systém datalogerů X-plorer spolu s čidly PASCO z Karlovy univerzity, Přírodovědné fakulty.

Přístroje byly v průběhu krátkého času domácí přípravy před měřením vzájemně cejchovány. U kulového teploměru Vernon-Jokl s molitanovým potahem byly navíc sejmuty dynamické charakteristiky.

Cejchování přístrojů

Cejchování záznamových teploměrů probíhalo pro pět čidel systému PASCO a X-plorer a pro čidla teploměru COMET. Drátková čidla byla zafixována lepenkou na podložku a měřila teplotu vzduchu na pracovním stole. Byl použit záznam teplot s časem do ustálení průběhu. Jako „master“ hodnota byl použit přístroj COMET, který měl jediný cejchovní protokol, i když propadlý. Kontrolní měření přesným laboratorním rtuťovým teploměrem s dílkou po 0,1°C.



Cejchování teplotních čidel a záznamníků

Výsledky cejchování – údaje jednotlivých čidel se pohybovaly v pásmu $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Vzhledem k primitivním podmínkám cejchování jde o výsledek na hraně přesnosti domácích podmínek. Korekce jednotlivých čidel jsem do následujících výpočtů tedy raději nezaváděl.

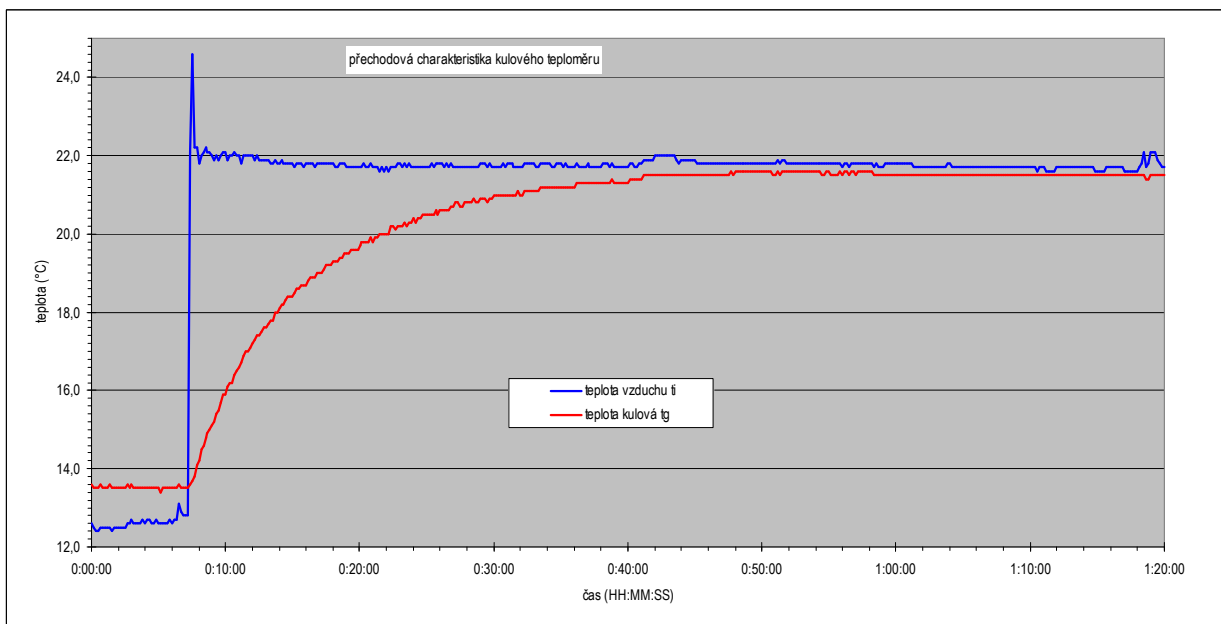
Dynamické vlastnosti kulového teploměru

Dynamické vlastnosti kulového teploměru jsou velmi důležitým prvkem, který je při měření třeba respektovat. Kulový teploměr má značnou tepelnou kapacitu – sestává se z hmotné koule z měděného plechu, ta uzavírá objem vnitřního vzduchu. Původním čidlem je skleněná baňka rtuťového teploměru. Naší snahou při přípravě měření v administrativní budově bylo dílem zrychlit odezvu kulového teploměru, dílem najít odpověď na údaje z literatury o dlouhé době do ustálení naměřené hodnoty.



Kulový teploměr – vychlazování v ledničce před skokovou změnou

Stanovení přechodové křivky se provádělo v domácích podmínkách. Z přístroje jsme odstranili rtuťový teploměr a místo něj vložili tenký drátěný termočlánek. Druhý termočlánek snímal teplotu okolního vzduchu. Teploměr jsem vychladila v ledničce. Tenké termočlánky šly bez problémů zavřít do dveří. Po nějaké době se teploty vzduchu i koule ustálily. Pak následovalo přenesení na stativ do obytné místnosti. Skoková změna teploty vzduchu byla podpořena ohřátím čidla mezi prsty.



Přechodová charakteristika kulového teploměru po skokové změně teploty

Z průběhu sejmutého grafu je patrné, že doba do ustálení kulového teploměru Vernon-Jokl s molitanovým pláštěm byly delší než 40 minut jako reakce na skokovou změnu.

Z toho vyplývá, že při rychlých změnách v okolí kulového teploměru nebude přístroj „stíhat“ a bude ukazovat hodnoty s určitou diferencí.

III. Experimentální část

III. 1 Měření v administrativní budově

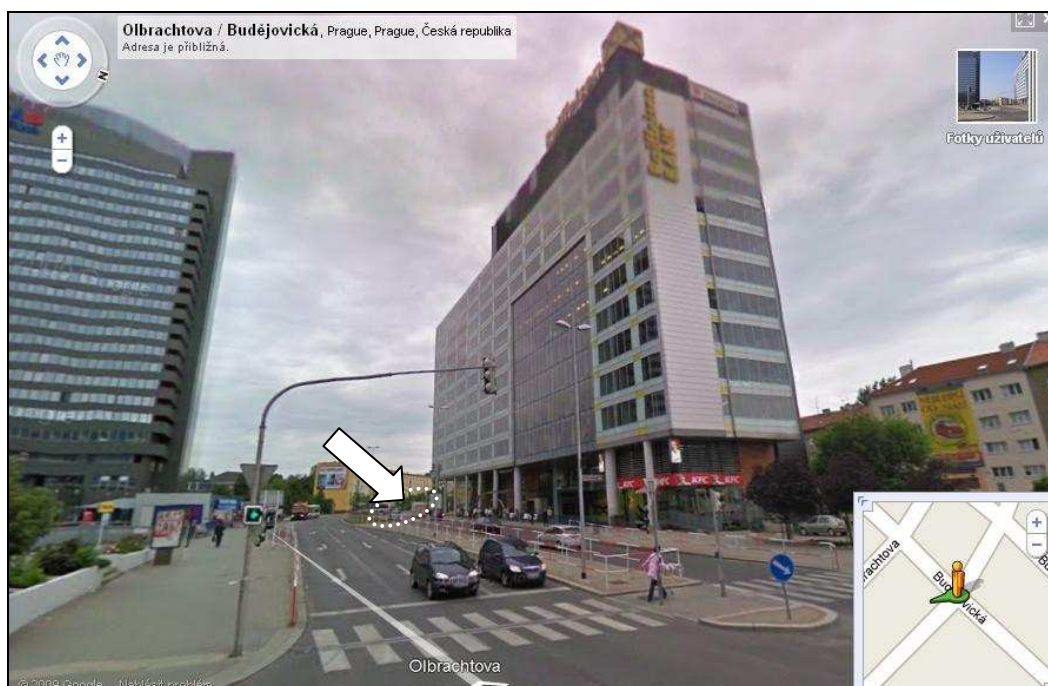
Základním úkolem měření stavu prostředí v administrativní budově je porovnání teploty kulového teploměru a teploty vnitřního vzduchu. Při navrhování a provozování systémů technických zařízení budov se jako vstupní hodnota pro regulaci používá teplota vzduchu. Jde buď o teplotu vzduchu v místnosti, nebo o teplotu vzduchu odváděného klimatizačním zařízením. Cílem práce je prokázat, že tento způsob regulace nereaguje na tepelnou zátěž osálením buď vůbec, nebo na ni reaguje se zpožděním, které kvalitu pracovního prostředí znehodnotí. Snahou práce je vytipovat takový postup, kdy by reakce budovy na vnější osálení byla dostatečně rychlá – tím bude kvalita pracovního prostředí zachována.

Projekt měření

Projekt měření je prezentován v původní formě, tak jak byl napsán v období příprav na měření. Není upravován podle výsledků měření. Zobrazuje tedy reálné představy. V dalším textu – v popisu průběhu měření jsou tato představy (výrazně) korigovány.

Místo

Pro měření je předběžně dohodnuta kancelář v budově ReffeisenBank v Praze 4, nad stanicí metra Budějovická. Kancelář je ve druhém patře, okna jsou na jihovýchod. V budově je centrální klimatizace, v místnosti je podokenní fan-coil jednotka.



Místo měření – budova Reiffeissen, Praha Budějovická

Termín

Měření plánujeme v průběhu 10ti dnů buď koncem měsíce ledna, nebo v první polovině února. Délka měření zahrne dvakrát víkend a mezilehlý pracovní týden. Termín záleží na dvou okolnostech – předpovědi počasí a koordinaci zapůjčení měřících přístrojů. Snaha je provést měření v době, kdy bude svítit slunce do budovy.

MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE

Kulový teploměr

Bude zapůjčen z UK, 3.lékařské fakulty, pokud to nepůjde zkusíme Hyg.ústav ve Šrobárové, Ing.Lajčíková. Kulový teploměr bude umístěn na stativu, na podlaze nebo na pracovním stole v předepsané výšce. Je osazen rtuťovým teploměrem. Ten bude odečítán pouze před měření v rámci kalibrace systému. Pro měření bude okolo rtuťového teploměru zaveden termočlánek Ni-NiCr s velmi malou časovou konstantou. Ten bude snímán DATALOGEREM č.1. Vedle kulového teploměru bude druhý termočlánek téhož datalogeru se stíněním proti osálení a bude snímat teplotu vzduchu.

DATALOGER č. 1

měřená teplota T1, T2

Výrobce COMET, bude zapůjčen od Energetického auditora spolu s termočlánky a prodlužovacím vedením. Kapacita paměti je při vzorkovacím intervalu 2 minuty cca 7900 hodnot. Soubor s naměřenými hodnotami se převede do Excelu a dále zpracuje.

DATALOGER Č.2

měřená teplota	T11, T12, T13, T14
----------------	-----------------------

Výrobce Xplorer, zapůjčen z Univerzity Karlovy, Přírodovědecká fakulta, oddělení Didaktika, RNDr. Šmejkal. Přístroj má čtyři termočláňkové vstupy na měření teploty. Teplota se bude snímat po výšce místnosti. Soubor s naměřenými hodnotami se převede do Excelu a dále zpracuje.

DATALOGER Č.3

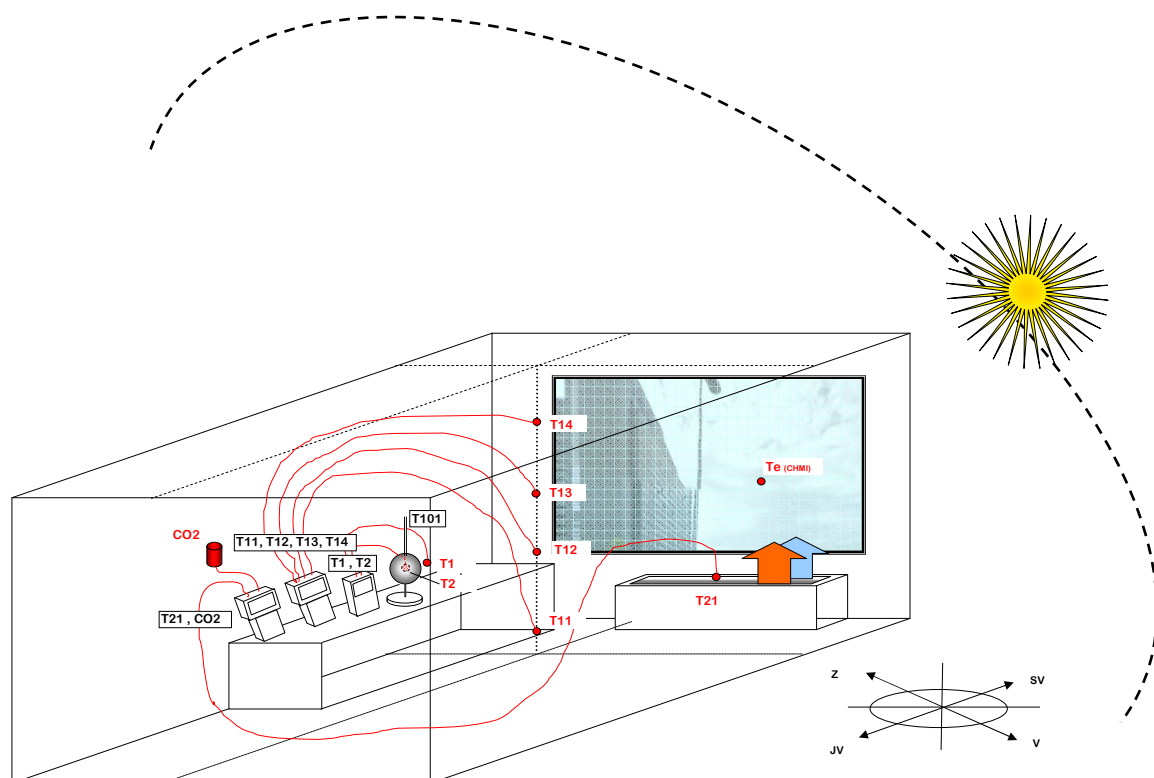
měřená teplota	T21
měřená koncentrace CO2	CO2

Výrobce Xplorer, zapůjčenu z Univerzity Karlovy, Přírodovědecká fakulta, oddělení Didaktika, RNDr. Šmejkal. Přístroj má jeden termočláňkový vstup na měření teploty. Teplota se bude snímat na výstupní mřížce z fan-coil topného tělesa. Druhý vstup je osazen čidlem CO2. Bude se měřit koncentrace CO2 v ppm v místnosti. Soubor s naměřenými hodnotami se převede do Excelu a dále zpracuje.

Venkovní teploty

měřená teplota	Ti
----------------	----

Venkovní teploty a sluneční svit se převezmou z denních pozorování meteorologické stanice ČHMU v Praze – Karlově.



Výstup z měření

Výstupem z měření jsou soubory dat, které se budou dále zpracovávat. Interval vzorkování bude nastaven od 2 do 5ti minut. Velikost výsledných souborů bude přibližně 10dnů x 8 kanálů x 60/2minut x 24 hodin = 57.600 měřených údajů¹.

Výstup z měření

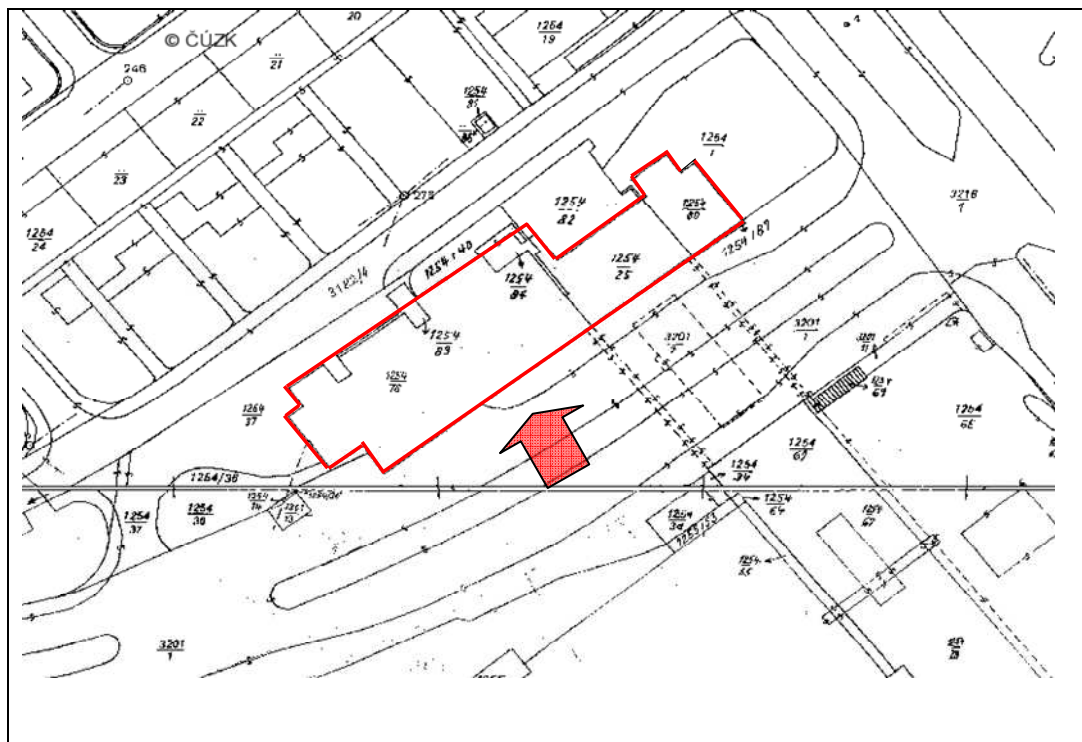
- průběh T_g – kulová teplota
- průběh T_i – teplota vnitřního vzduchu
- průběh T_i po výšce místnosti
- průběh T_{ut} – funkce topného tělesa, chod klimatizace
- průběh CO_2 – koncentrace CO_2

Na počátku měření (bude-li možnost) by bylo dobré změřit účinnou teplotu okolních ploch. V jednání je možnost zapůjčení katateploměru. Jinak se pokusíme měřit kulovou teplotu na počátku na různých místech místnosti, aby byl vidět vliv velkého okna.

¹ Počet naměřených hodnot byl ve skutečnosti několikanásobně vyšší

Provedení měření

Měření jsme prováděli ve dnech 5.2 až 18.2.2010. Místo měření – administrativní budova Reiffeissen, Praha 4 – Pankrác, Olbrachtova 2006/9. Obec – Hlavní město Praha, katastrální území Krč 727598, číslo popisné 2006. Místnost pro měření – číslo 3.33 patří pracovišti SFŽP, Státního fondu životního prostředí.



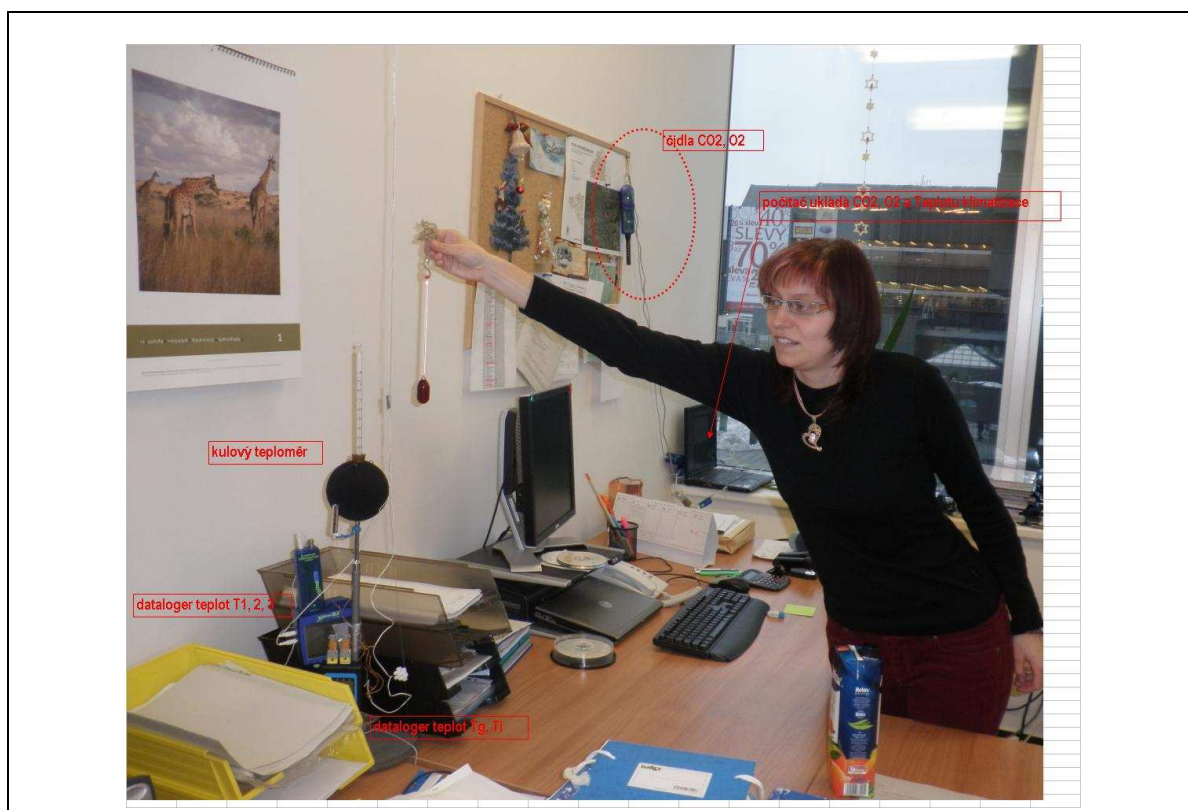
Orientace budovy ke světovým stranám – zdroj: Katastr nemovitostí

Místnost pro měření je orientována do Olbrachtovy ulice, fasáda směřuje na jihovýchod. Odchylka azimutu od jihu je cca 20°.



Panorama kanceláře s instalovanými přístroji (vlevo)

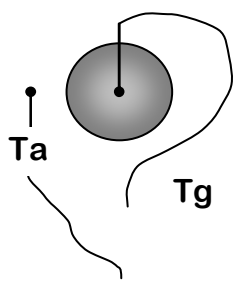
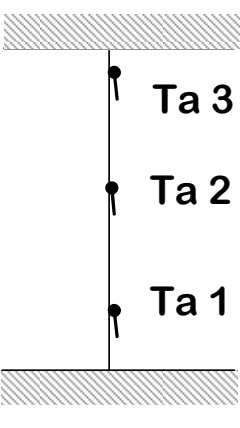
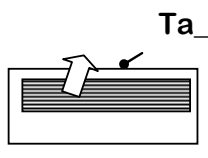
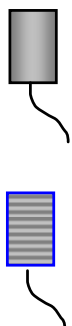
Přístroje v místnosti byly nainstalovány podle projektu. K dispozici byla část pracovního stolu při levé stěně kanceláře. Tedy – kout směrem na východ.



Popis umístění měřících přístrojů a čidel

MĚŘENÉ VELIČINY

Do místnosti jsme instalovali tři měřicí přístroje – záznamový teploměr COMET, dataloger X-plorer (modrá krabice) a notebook s připojenými čidly PASCO.

	<p>Ta – teplota vzduchu vedle kulového teploměru Tg – teplota uvnitř kulového teploměru Připojeno na záznamový teploměr COMET – dvoukanálový, použita velmi rychlá termočláňková čidla chromel-alumel Vzorkovací interval 1 minuta</p>
	<p>Ta3 – teplota vzduchu pod stropem místnosti (+2600mm) Ta2 – teplota vzduchu uprostřed výšky místnosti (+1500 mm) Ta1 – teplota vzduchu u podlahy (+200mm) Připojeno na dataloger X-plorer, použita termistorová čidla Vzorkovací interval 1 minuta</p>
	<p>Ta_fc – teplota vzduchu na výstupní mřížce větrací jednotky fan-coil Vzorkovací interval 1 minuta</p>
	<p>CO2 – koncentrace oxidu uhlíku (ppm) O2 – koncentrace kyslíku (%) Vzorkovací interval 1 minuta Čidla s digitálními převodníky jsou připojena přímo do USB portů notebooku</p>

Tabulka měřených hodnot

POSTUP MĚŘENÍ A SOUBORY UKLÁDANÝCH HODNOT

datum		5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2	23.2	24.2	25.2	
den v týdnu		pá	so	ne	po	út	st	čt	pá	so	ne	po	út	st	čt	pá	so	ne	po	út	st	čt	
teplota vzduchu	Ti	●					●	●				●	●		●							●	●
teplota kulového teploměru	Tg	●					●	●				●	●		●							●	●
teplota vzduchu nahoře	T3	●					●	●				●	●		●								
teplota vzduchu uprostřed	T2	●					●	●				●	●		●								
teplota vzduchu dole	T1	●					●	●				●	●		●								
koncentrace CO2	CO2	●	---	---	---	●	●	●				●	●		●								
koncentrace O2	O2	●	---	---	---	●	●	●				●	●		●								
teplota na výstupu z větrání	T_fc	●	---	---	---	●	●	●				●	●		●								

legenda

- — ● měření proběhlo, data v datovém skladu
- - - - ● měření neproběhlo
- ● měření proběhlo, data ztracena při přenosu

5.2.2010 až 18.2.2010 měření v kanceláři SFŽP, budova Reiffeissen bank, Praha 4
 25.2.2010 náhradní měření v bytě, Vinohradská ul., Praha 3

V tabulce o průběhu měření je patrné, že některé soubory hodnot nejsou dostupné. V období 5-7.2. pracovníci kanceláře omylem vypnuli centrální napájení. Na konci měření v období 16-18.2.2010 došlo ke ztrátě dat při přenosu.

Všechny dostupné datové soubory jsme nahráli do počítače – „centrální datový sklad“. V programovém prostředí tabulkového procesoru EXCEL tvoří tato data matici 16 sloupců x 18863 řádků. Celkem jde o 302tisíc bodů, které jsou ukládány jako souřadnice x, y – tedy naměřená hodnota (např. teplota) a čas měření (dd.mm.rr hh:mm).

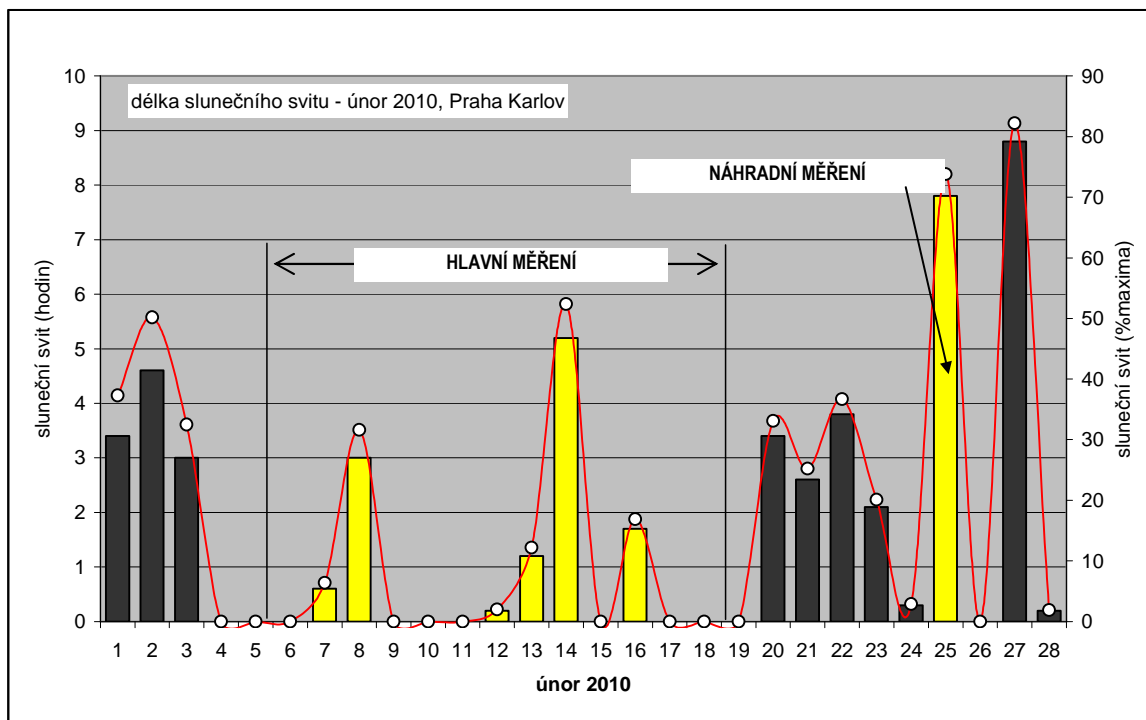
Fotografická dokumentace z přípravy měření a jeho průběhu je v přílohové části.

MĚŘENÍ RYCHLOSTI PROUDĚNÍ

V místě měření kulovým teploměrem jsme provedli měření rychlosti proudění katateploměrem. Baňku měřidla jsme zahřívali fénem na vlasy. Výpočet rychlosti proudění ze známé konstanty katateploměru prokázal vzduch bez proudění ($w_a = 0,00$ až $0,05$ m/s).

SLUNEČNÍ SVIT V DOBĚ MĚŘENÍ

Po dobu měření – tedy 14dnů byl sluneční svit hluboce pod dlouhodobým normálem. Dokládá do to grafické formy převedené měření meteorologické stanice Praha-Karlov.



Graf doby slunečního svitu v měsíci únoru

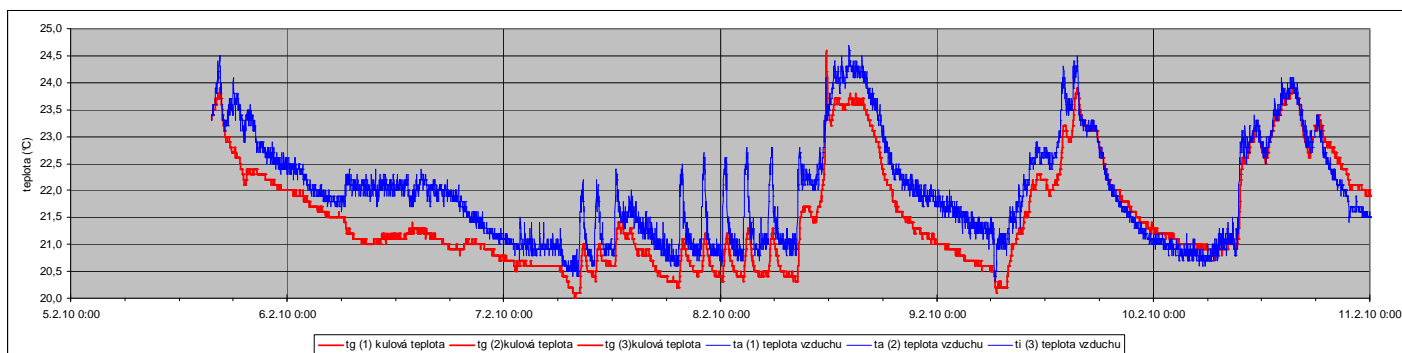
Měření probíhalo od 5. do 18. února 2010. Z těchto 14ti dnů byla naměřena v osmi dnech nulová délka slunečního svitu. Pouze jeden den byl sluneční svit okolo 50% maxima. Tato hodnota ze dne 14. února se však v grafickém záznamu z měření výsledné teploty kulovým teploměrem projevila minimálně.

Pro náhradní měření byl zvolen v následujícím týdnu jediný sluneční den – 25. února 2010. Tento den je charakterizován slunečním svitem v délce 7,8 hodiny, což činí 74% maxima.

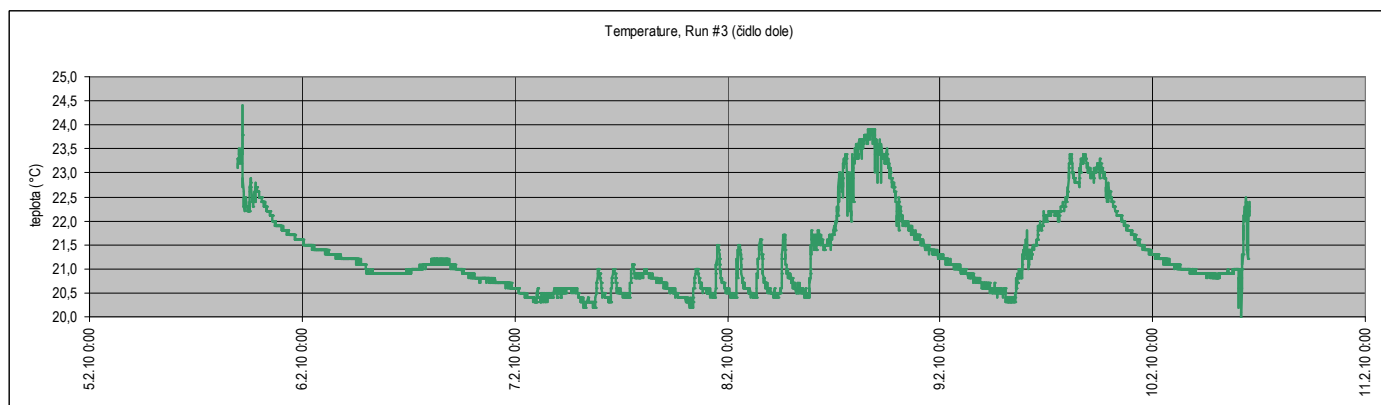
VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Výsledky měření uvádím ve formě grafického záznamu podle jednotlivých období odečtu. Každá datová řada má vlastní graf, jinak jsou obrázky nečitelné.

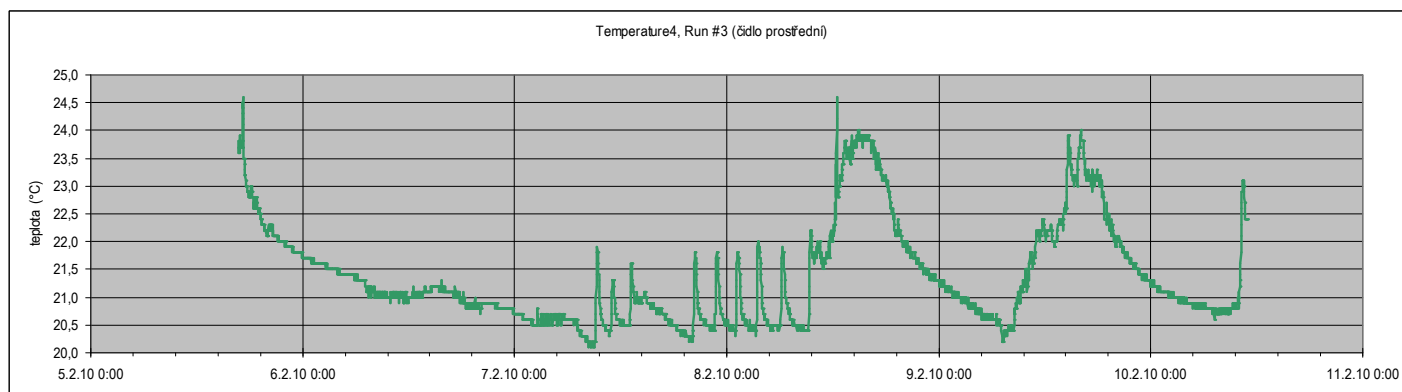
První období – 5-10.2.2010



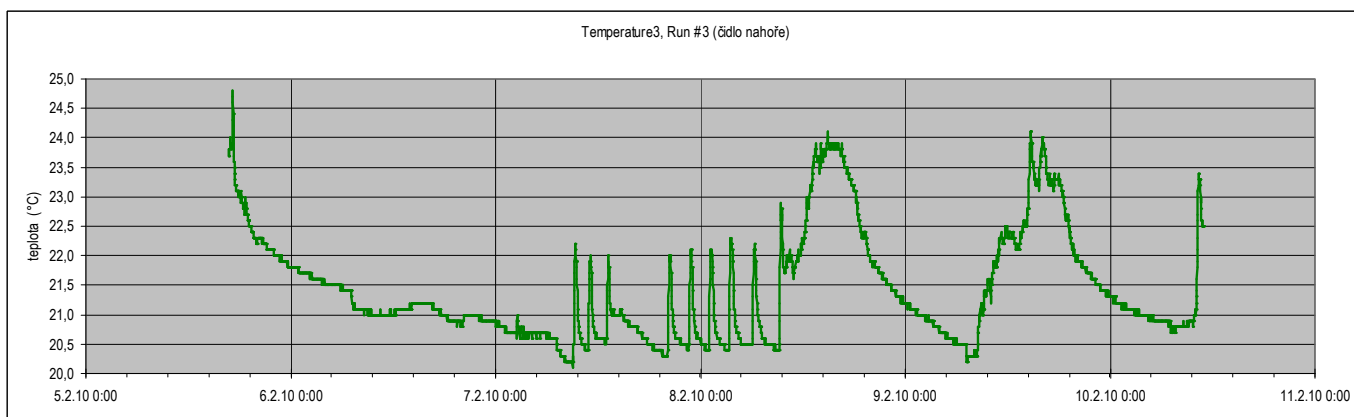
Teplota kulového teploměru a okolní teploty vzduchu



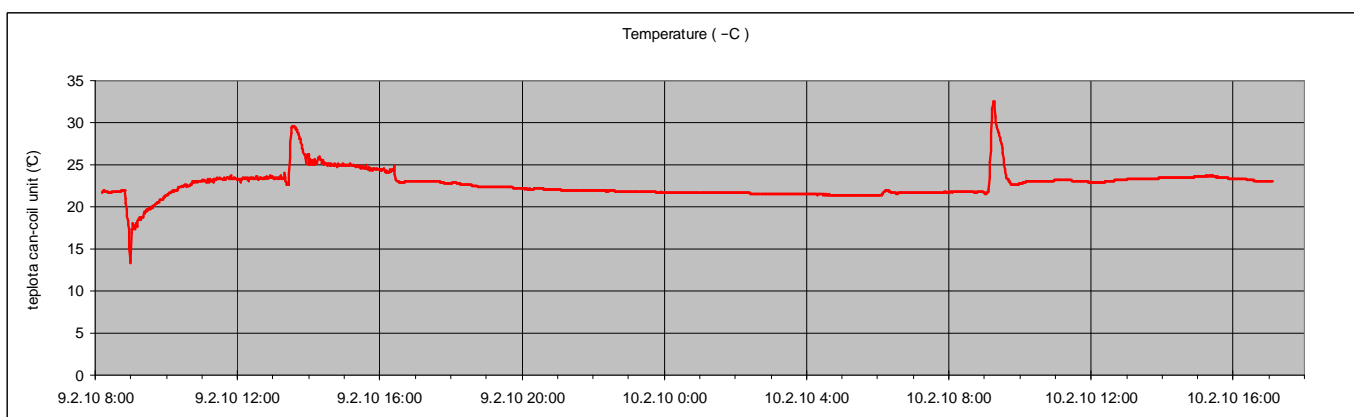
Teploty vzduchu v profilu místnosti – čidlo dole



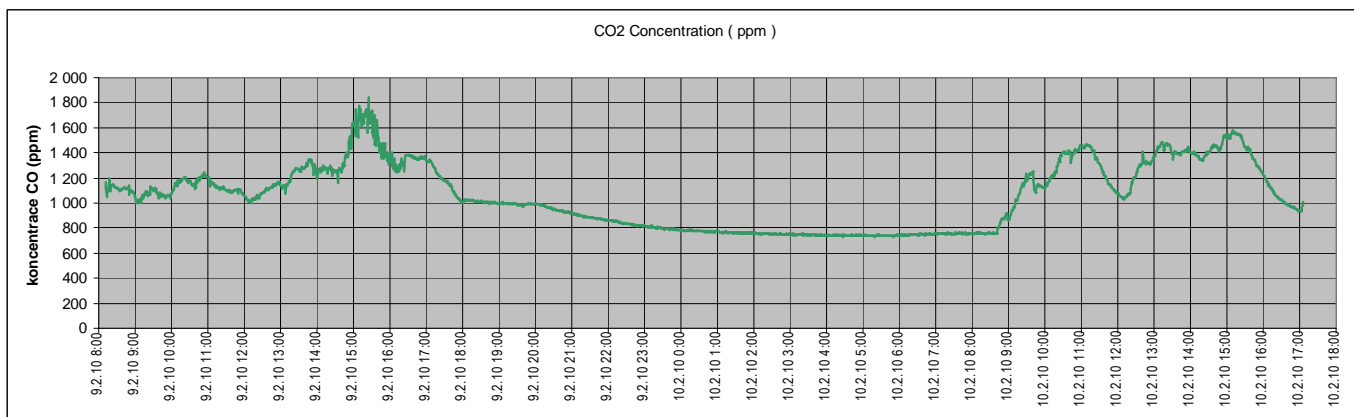
Teploty vzduchu v profilu místnosti – čidlo uprostřed



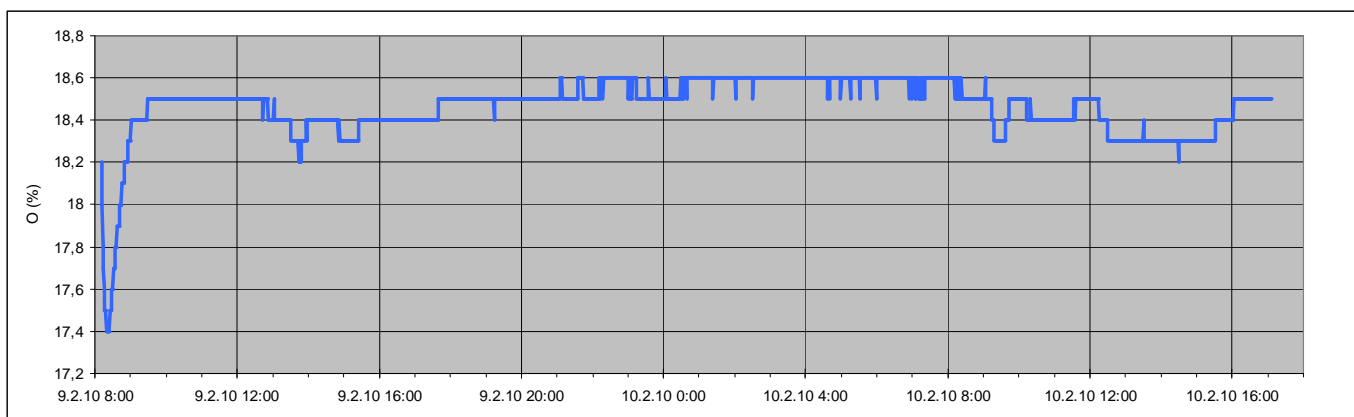
Teploty vzduchu v profilu místnosti – čidlo nahoře



Teplota na mřížce větrací jednotky

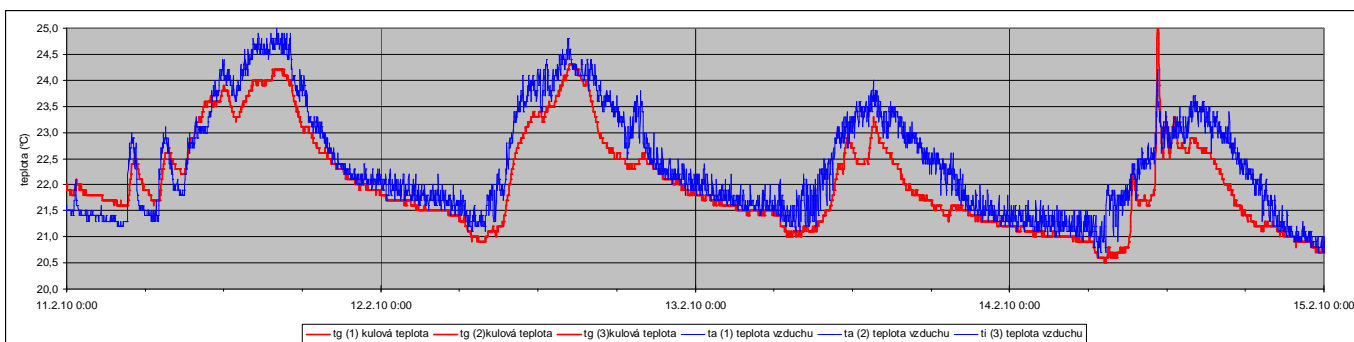


Koncentrace CO2

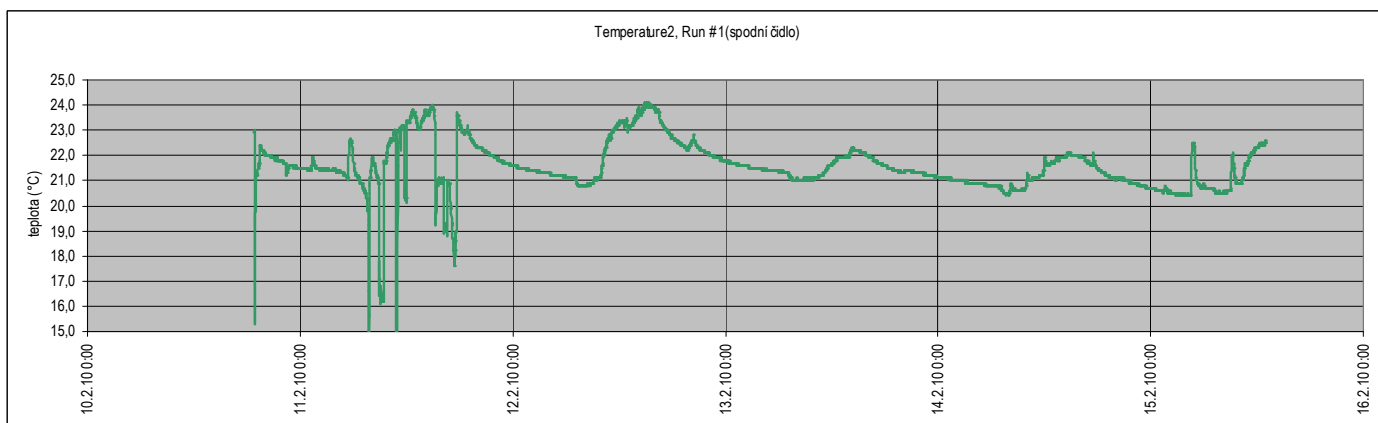


Koncentrace kyslíku O2

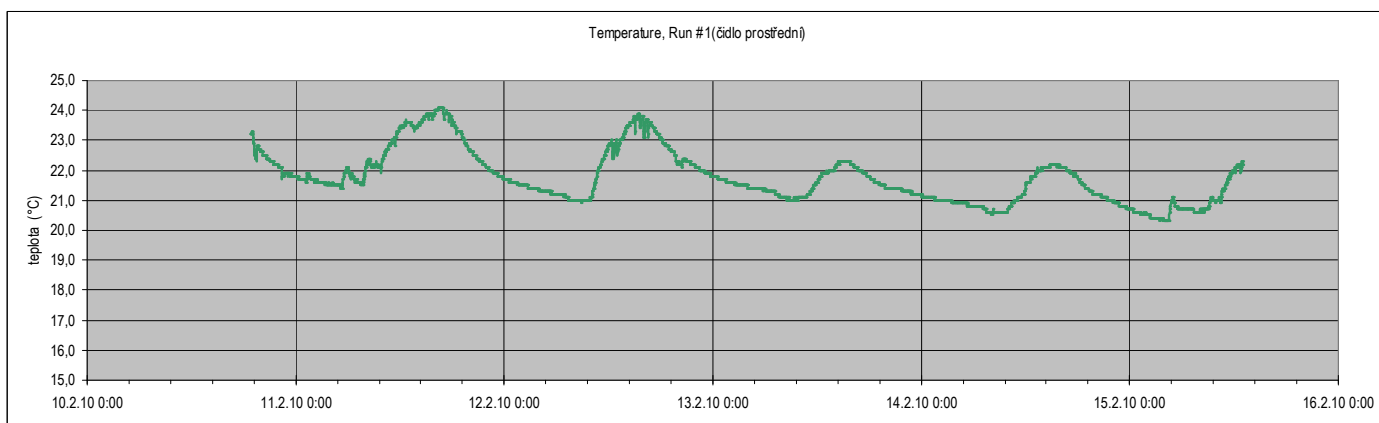
Druhé období – 11.-14.2.2010



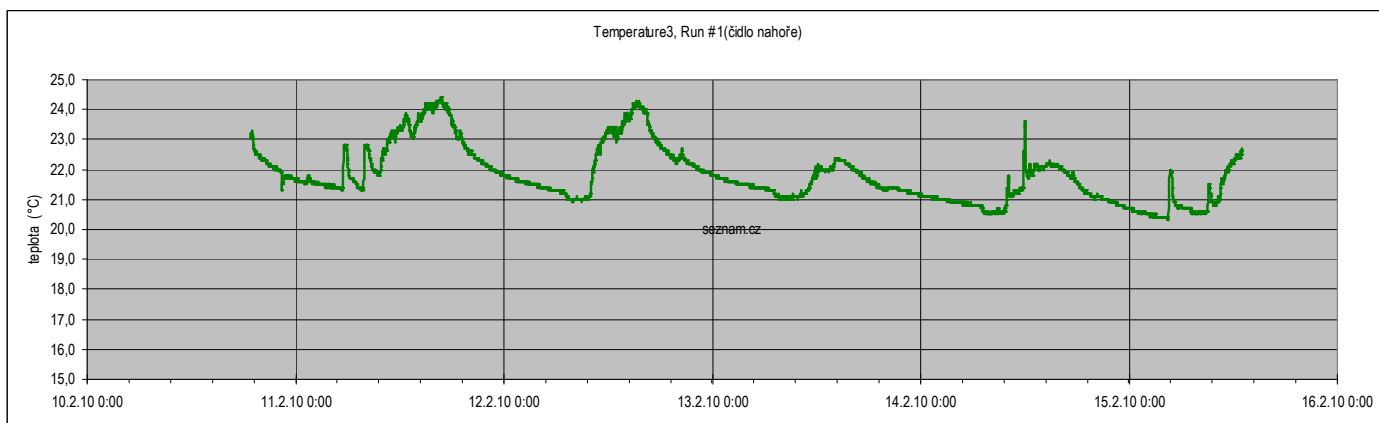
Teplota kulového teploměru a okolní teploty vzduchu



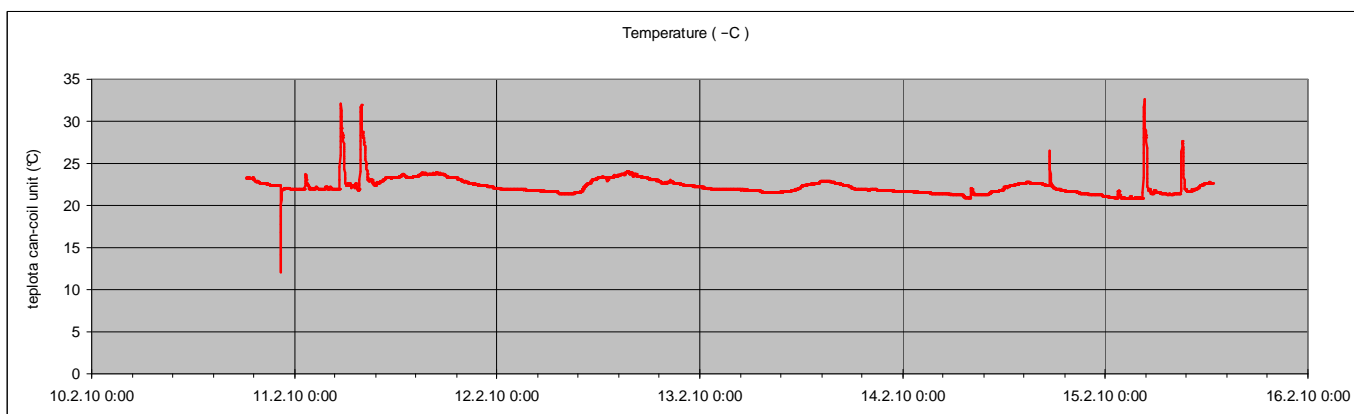
Teploty vzduchu v profilu místnosti – čidlo dole



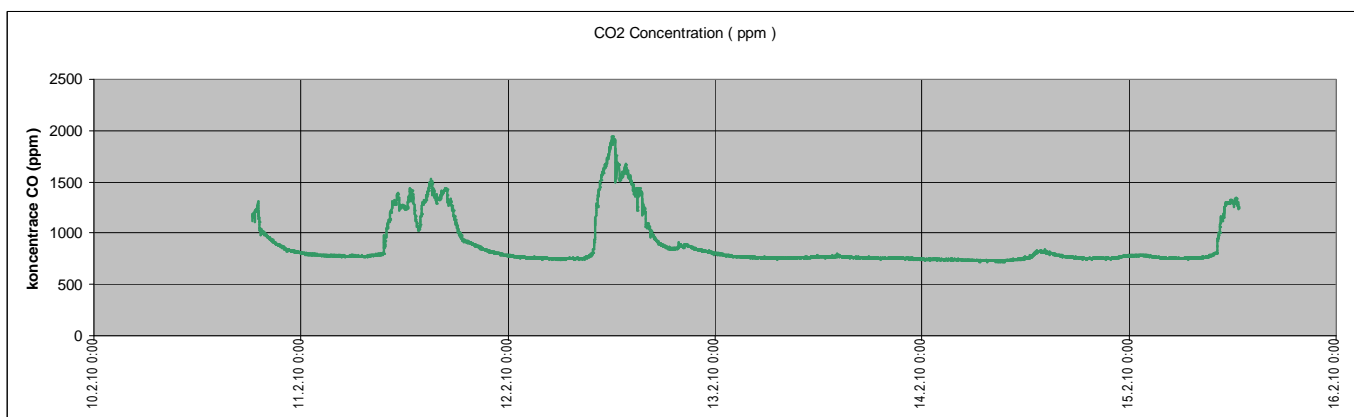
Teploty vzduchu v profilu místnosti – čidlo uprostřed



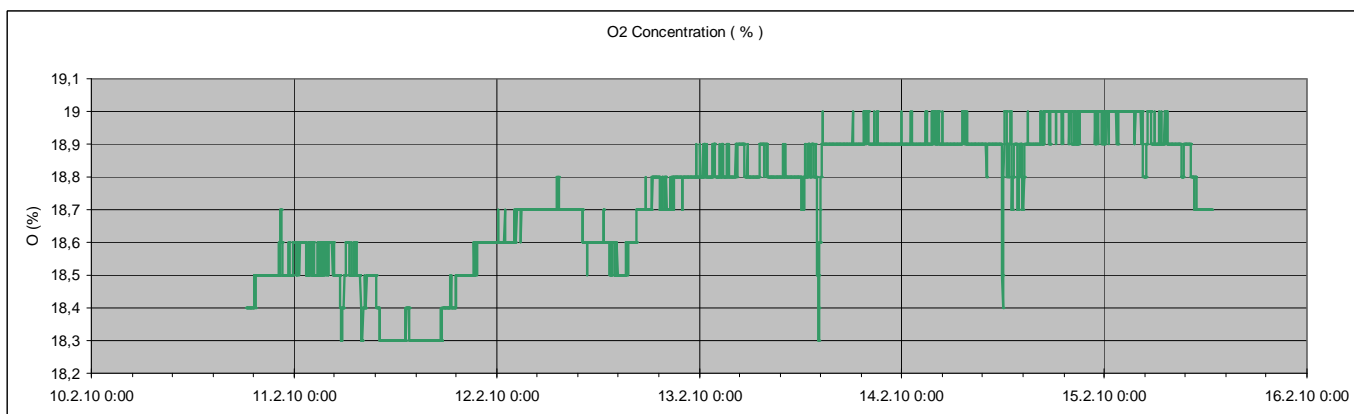
Teploty vzduchu v profilu místnosti – čidlo nahoře



Teplota na mřížce větrací jednotky

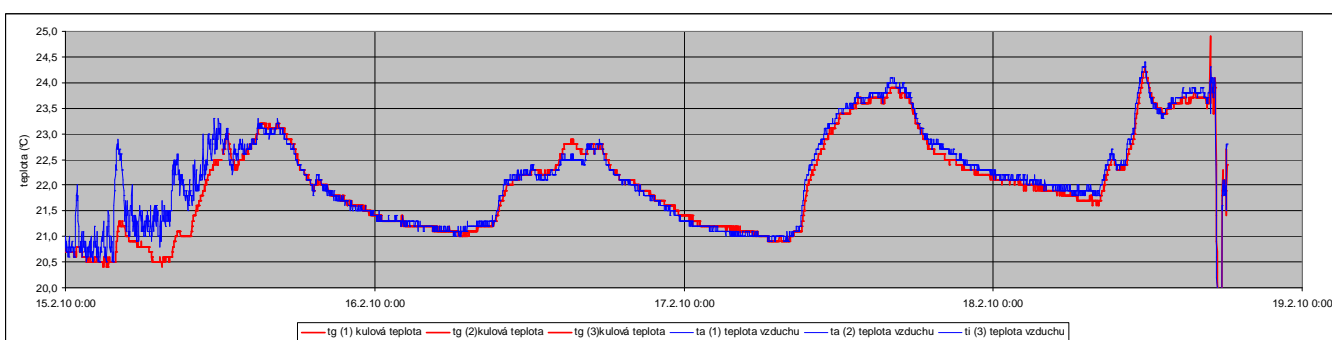


Koncentrace CO2



Koncentrace kyslíku O2

Třetí období – 15.-18.2.2010

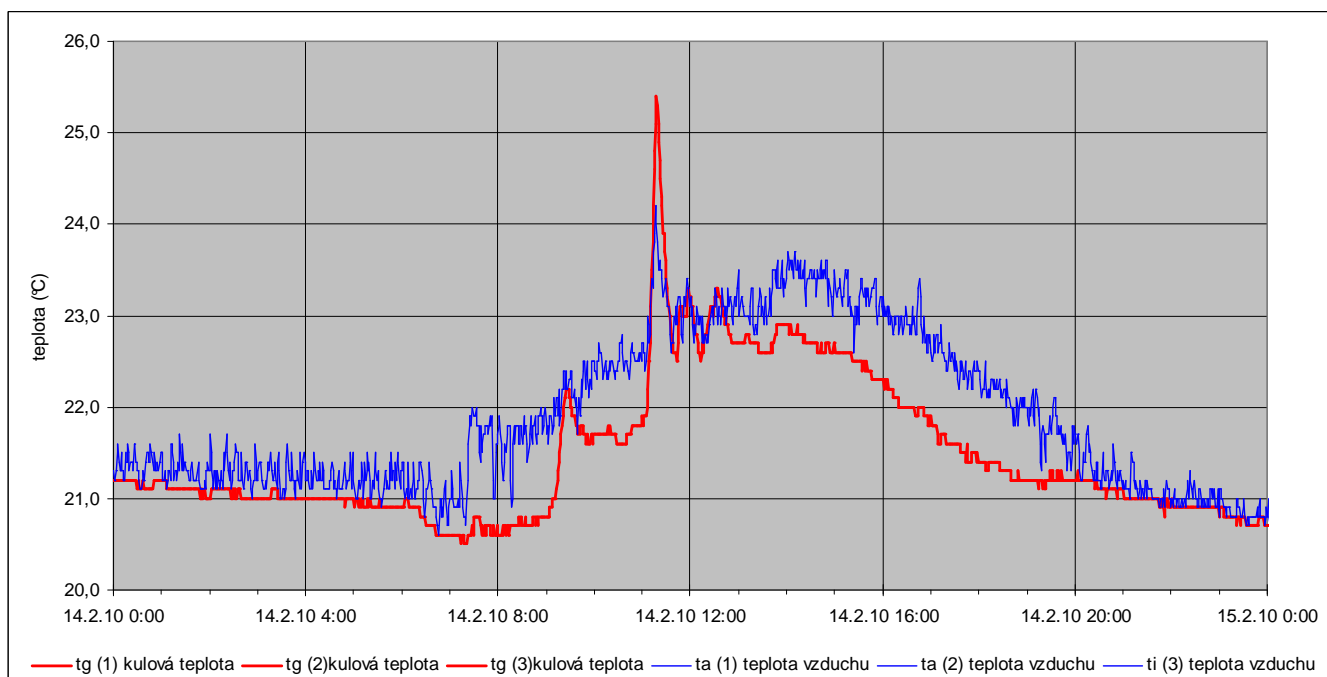


Teplota kulového teploměru a okolní teploty vzduchu

Závěry z měření v administrativní budově

Měření v terénu, v kanceláři administrativní budovy Reiffeissen v Praze na Budějovické nesplnilo očekávání. Po dobu měření nenastala očekávaná

modelová situace, kdy by svítilo slunce do oken kanceláře po delší dobu.
Na detailních grafech je jediný náznak podobné situace k datu 14.2.2010:



Den se slunečním svitem – špička na záznamu v 11:30

Oproti měření z meteorologické stanice Praha-Karlov je špička v čase 11:30 neprůkazná. Projevila se zřejmě též orientace prosklené stěny na jiho-východ, nikoliv k čistému jihu.

Výsledky měření jsou kvůli absenci předpokládaných okrajových podmínek – slunečního svitu – neprůkazné.

Měření v administrativní budově bylo časově omezené a nedalo se prodloužit.

Po vyhodnocení dat a zjištění uvedeného závěru jsem se rozhodla v čase, který zbýval do vrácení zbývajících částí přístrojů uspořádat náhradní měření.

III. 2 Náhradní měření

Po vyhodnocení výsledků měření v administrativní budově jsem musela vrátit část zapůjčených přístrojů (dataloger X-plorer a převodníková čidla PASCO). Zbyl pouze záznamový teploměr COMET a souprava kulového teploměru. S nimi jsem proto vykonala náhradní měření v obývacím pokoji svého bytu v Praze, na Vinohradské třídě.

Projekt měření

Projekt měření byl sestaven na základě improvizace ze zbylých přístrojů a místnosti, která byla k dispozici.



Místo – obývací pokoj bytového domu v Praze, Vinohradská 138 se nachází ve čtvrtém patře a má okno orientované na jih, do dvora. Azimut odklonu od jihu je cca 2°.

Přístrojové vybavení – záznamový teploměr dvoukanálový COMET. Čidla – vlasové termočlánky Ni-NiCr. Vzorkovací interval – doba snímání hodnot nastavena na 1 minutu.

Časový průběh – po ranním zjištění bezoblačného počasí a sestavení aparatury začal záznam v 9:30. Měření jsem dokončila o dva dny později – 27.2.2010 v osm hodin ráno. Pokud bych vydržela ještě do odpoledne, byl tento den nejslunečnější z celého měsíce února.

Provedení měření

Kulový teploměr byl umístěn na konferenční stůl v obývacím pokoji cca 1 metr nad zemí. Vzdálenost od okna cca 1,5 metru. Sluneční paprsky byly zpočátku odstíněny střechami sousedních budov. V období plného osvětlení se projevoval na teplotě vliv přechodu stínu okenních rámu plastového okna.

čas	tg rtuťový	tg digi	fi digi	t venkovní	poznámky
9:45	23,9	24,1	23,6		začátek měření dne 25.února 2010
10:00	23,8	23,4	24,4		stín
10:30	23,0	23,7	23,4		
11:00	24,0	24,2	23,6		
11:30	24,5	24,8	23,8		11:15 začátek oslunění sluncem
12:00	27,4	27,7	24,0	9,4	11:15 začátek oslunění sluncem, přechází stín rámu okna
12:30	26,6	29,0	25,0	9,7	přechází stín rámu okna
12:35	28,6	31,0	25,0		plné oslunění
12:45	31,0	33,3	25,0	9,9	plné oslunění
13:00	31,2	31,1	25,2	10,2	plné oslunění
13:30	30,5	30,9	24,8	10,4	přechází stín rámu okna
14:00	26,9	27,0	24,5	10,4	plné oslunění
14:30	24,7	24,8	23,8	10,7	plné oslunění
15:00	23,9	23,8	23,3		slunce už zašlo před 15 hodinou
15:30	23,5	23,5	23,0	10,4	slunce už zašlo před 15 hodinou
16:00	23,2	23,2	23,0		slunce už zašlo před 15 hodinou
16:30	23,3	23,4	23,3	9,8	slunce už zašlo před 15 hodinou
17:00	23,2	23,2	23,0	9,3	
17:30	23,0	23,1	23,3	8,4	přišel Andrej a jsou 3 lidi v místnosti, později 4
18:00	23,4	23,4	23,6	7,9	přišel Andrej a jsou 3 lidi v místnosti, později 4
18:30	23,8	23,8	23,8	7,6	přišel Andrej a jsou 3 lidi v místnosti, později 4
19:00	23,9	23,9	23,8	7,4	přišel Andrej a jsou 3 lidi v místnosti, později 4
19:30					až do 18:45
20:00	23,9	24,0	24,0	6,5	
20:30	24,2	24,2	24,1	6,4	
21:00	24,0	24,0	23,9	6,2	

Záznam událostí v tabulce

3d model místnosti

Při zpracování měření jsem se setkala s projektanty – stavaři, kteří používají programy pro trojrozměrné modelování. Byl použit program Google SketchUp Pro 7. Google SketchUp Pro je produkt firmy Google. Záměrem programu je poskytnout intuitivně ovladatelný program zaměřený na vytváření koncepční fáze designu. SketchUp spojuje "skicování tužkou" s rychlostí a flexibilitou digitálních technologií. Je to silný nástroj pro vytváření, prohlížení a modifikaci 3D konceptu, a to rychle a snadno.

Program má zabudovanou funkci osvětlení sluncem podle skutečného ročního času. Nechala jsem namalovat jednoduchý model místnosti s teploměrem a oknem.

Na obrázcích je vidět oslunění pro den měření – 25.února 2010.



Čas – 11:30 – největší oslunění



Čas 14:30 – přechod slunce za stěnu domu

Důkazem potvrzujícím existenci problému prostředí administrativních budov v zimním období jsou následující obrázky



Dosah slunečního záření v lednu



Dosah slunečního záření v červenci

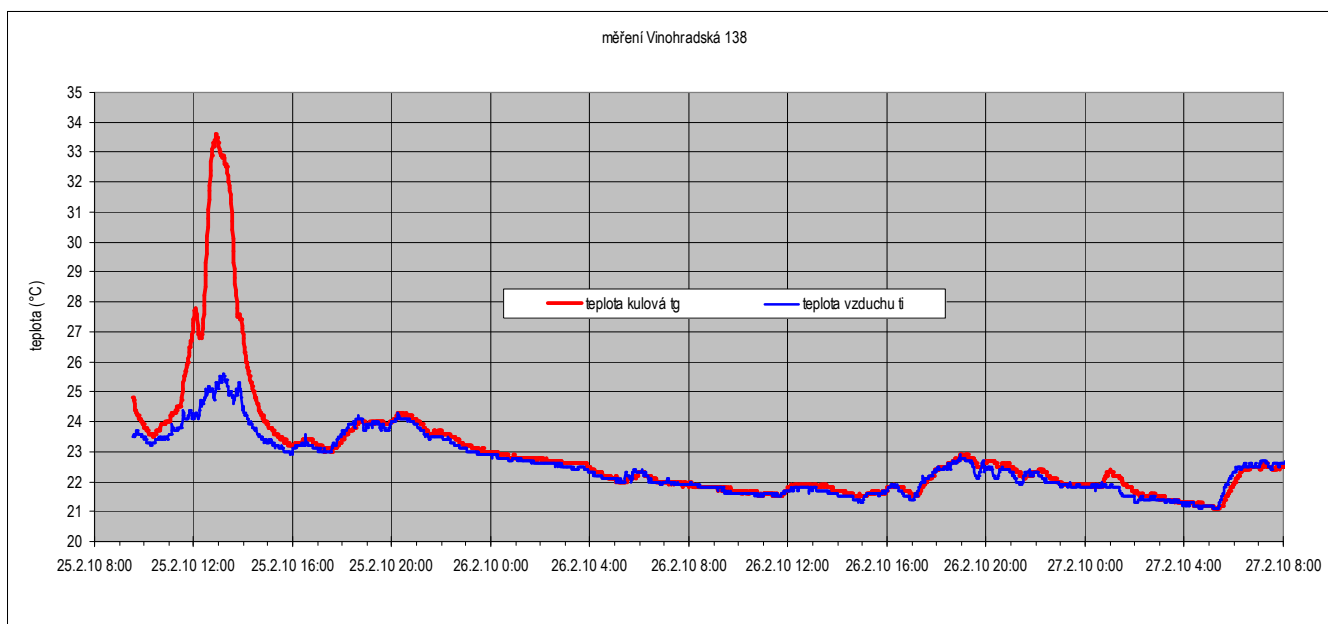
Z nakresleného průběhu zasažení slunečním zářením je jasné, že kritickým obdobím jsou zimní měsíce. V létě je osálaná plocha výrazně menší.

Výsledky měření

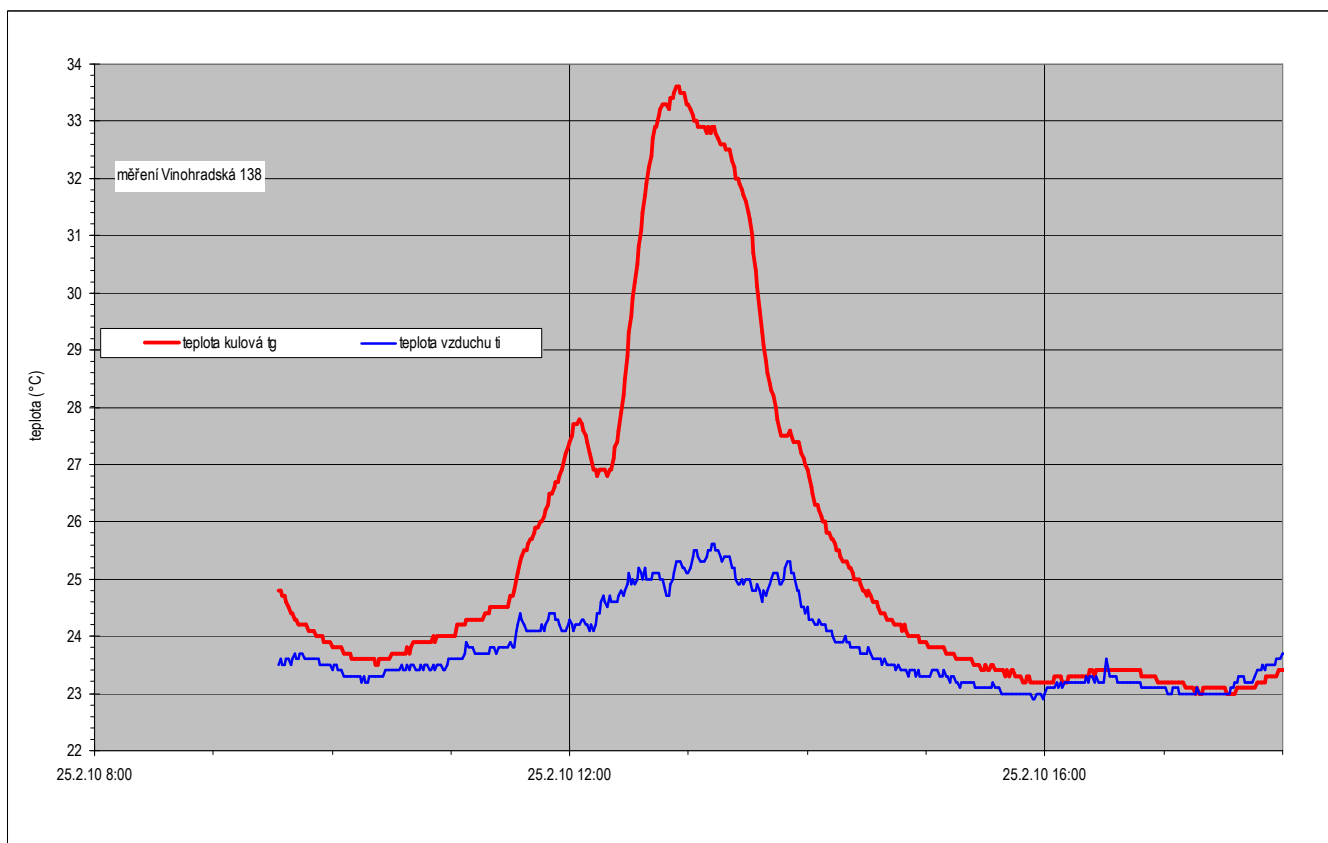
Výsledky měření uvádím ve formě grafického záznamu za celé období jako přehled a za vybraný slunečný den. V jednom grafu jsou podobně jako při hlavním měření zakresleny průběhy – ta – teploty vzduchu a tg – výsledné teploty kulového teploměru.

Výsledky náhradního měření jednoznačně potvrdily existenci problému v administrativních prosklených budovách - zhoršení kvality pracovního prostředí vlivem slunečního záření v zimním období.

Existence problému administrativních prosklených budov - zhoršení pracovního prostředí při osálení šikmými slunečními paprsky v zimním období je prokázáno.



Celkový záznam teplot z náhradního měření (první den slunce, druhý zataženo)



Detail slunečného dne při náhradním měření

III. 3 Závěry experimentální části

Experimentální část práce přinesla velké množství dat, zejména z měření v administrativní budově. Kvůli nepřízní počasí – během měření nenastaly předpokládané okrajové podmínky se slunečním svitem, bylo provedeno náhradní měření. V dalším textu jsou vyhodnocené výsledky z tohoto krátkodobého měření.

HODNOCENÍ PRACOVNÍHO PROSTŘEDÍ

Hodnocení pracovního prostředí je provedeno podle legislativních předpisů - Nařízení vlády 361/2007Sb. kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci a Metodiky - Málek, Matthausarová, Měření mikroklimatických parametrů pracovního prostředí a vnitřního prostředí staveb.

METODIKA PRÁCE

Výstupem měření je časový záznam teploty kulového teploměru t_g a teploty vzduchu vedle kulového teploměru. V průběhu měření byla změřena rychlost proudění vzduchu katateploměrem.

Stanovení střední radiační teploty t_r

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

kde t_g - výsledná teplota kulového teploměru ϕ 0,10 m ($^{\circ}\text{C}$)

t_a - teplota vzduchu ($^{\circ}\text{C}$)

v_a - rychlost proudění vzduchu ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Stanovení operativní teploty t_o

$$t_o = \bar{t}_r + A (t_a - \bar{t}_r)$$

kde t_a - teplota vzduchu ($^{\circ}\text{C}$) – průměrná hodnota za směnu nebo zvolený časový interval

\bar{t}_r - střední radiační teplota ($^{\circ}\text{C}$) – průměrná hodnota za směnu nebo zvolený časový interval

A - koeficient, který je funkcí rychlosti proudění vzduchu podle tab. 1

Přípustné hodnoty mikroklimatických podmínek

Podle - Nařízení vlády 361/2007Sb pro kancelářskou práci třídy I platí:

Třída práce	Druh práce	M ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
I	Práce vsedě s minimální celotělovou pohybovou aktivitou, kancelářské administrativní práce, kontrolní činnost v dozornách a velínech, psaní na stroji, práce s PC, laboratorní práce, sestavování nebo třídění drobných lehkých předmětů.	≤ 80

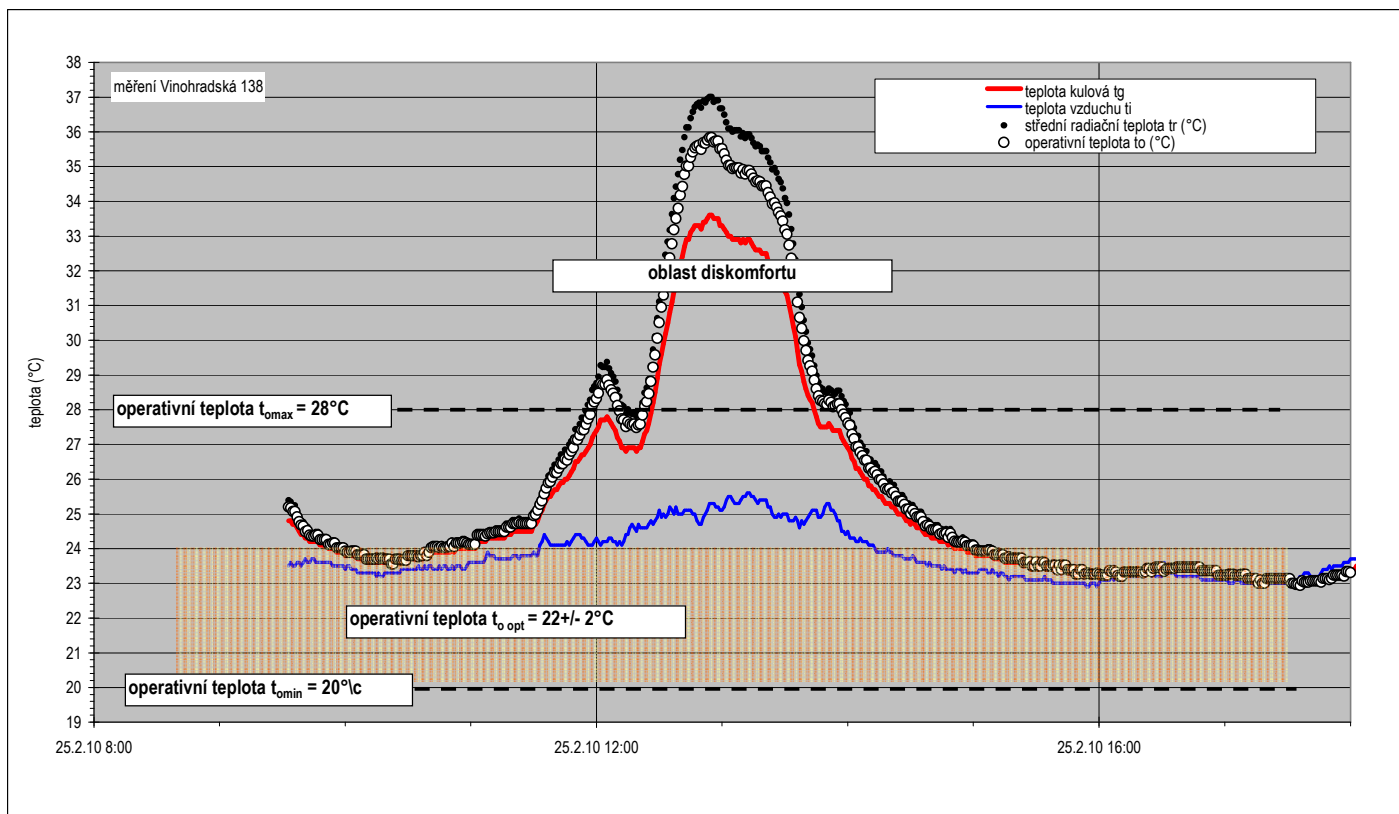
A k tomu přípustné hodnoty operativní teploty:

Třída práce	M ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)	Operativní teplota t_o ($^{\circ}\text{C}$)			v_a ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
		t_o min	t_o opt	t_o max	
I	≤ 80	20	22 ± 2	28	0,1-0,2

Výpočet a hodnocení

Za interval pro výpočet byl zvolen vzorkovací interval měření. Výpočet byl proveden v tabulkovém procesoru EXCEL.

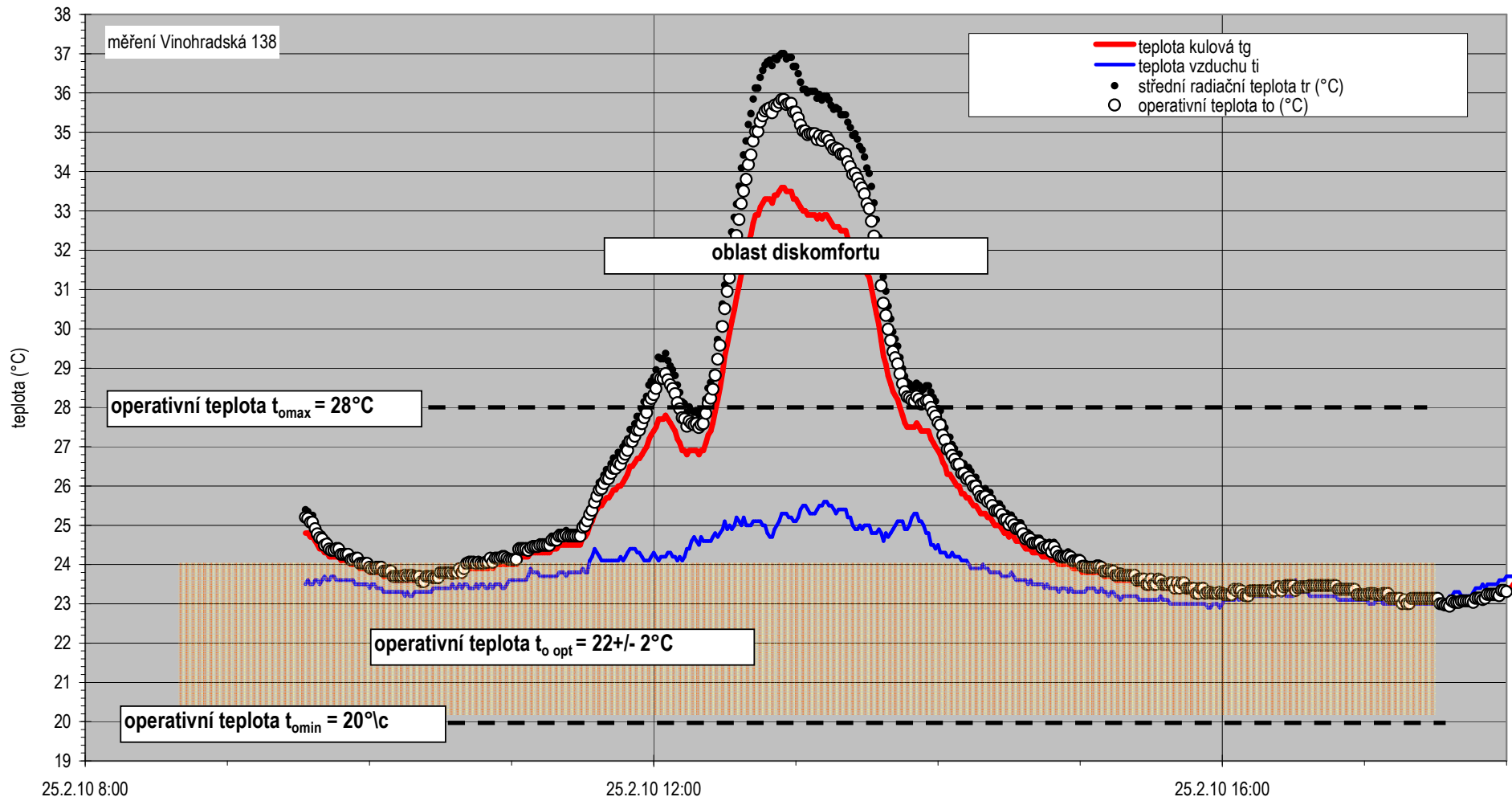
Výsledkem je graf denního průběhu naměřených a vypočtených teplot spolu se zákresem mezí minimální, optimální a maximální operativní teploty.



Výsledek práce – průběh naměřených a vypočtených teplot spolu se zakreslením přípustných hodnot operativní teploty

Posuzovaná místnost nevyhovuje pro kancelářskou práci při oslunění v zimním období. Při oslunění stoupá operativní teplota nad maximálně přípustných 28°C . Ve špičce oslunění dosahuje až 36°C .

Nejde pouze o problém jedné místnosti v bytovém domě, ale o velké množství pracovních míst v kancelářských budovách.



Výsledek práce – průběh naměřených a vypočtených teplot spolu se zakreslením přípustných hodnot operativní teploty

IV. Část doporučení

Následující kapitola přináší poznámky k projektování administrativních budov a jejich provozování. Respektování problému tepelné zátěže sluneční radiací – a eliminace této zátěže má dva hlavní aspekty:

Zlepšení pracovního prostředí zaměstnanců

Výrazné snížení energetických nákladů na chlazení v létě

Možností kompenzování vlivu sluneční tepelné zátěže je několik – žaluzie a slunolamy, umístění pracovních míst mimo bezprostřední blízkost oken, čidla pro automatickou regulaci zachycující sálání (kulová čidla), používání metod 3d projektování pro vyšetření tepelné zátěže.

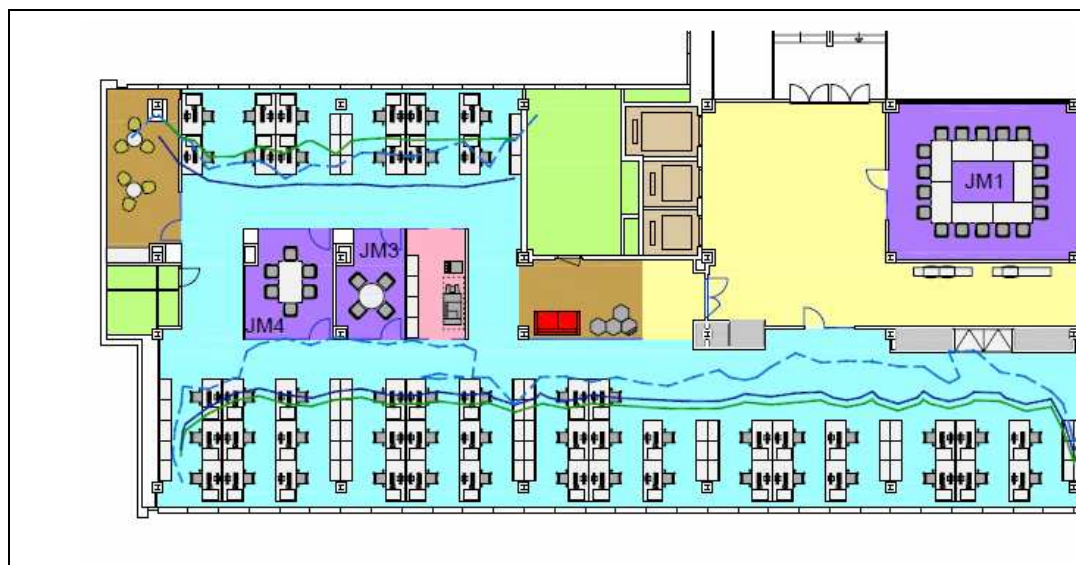
IV. 1 Navrhování budov

RIZIKA NAVRHOVÁNÍ BUDOV

Příkladem diskutabilního projektového řešení administrativní budovy je projekt rekonstrukce kancelářských prostorů. Investor zde nutí projektanta odstranit stávající parapety a v uvolněném prostoru vytvořit další pracovní místa v open space kanceláři. Následující obrázky ukazují stav před a po zásahu:



Návrh rekonstrukce kancelářského podlaží – varianta s původními parapety a dvěma místy u stolů



Návrh rekonstrukce kancelářského podlaží – varianta s demontáží parapetů a třemi místy u stolů



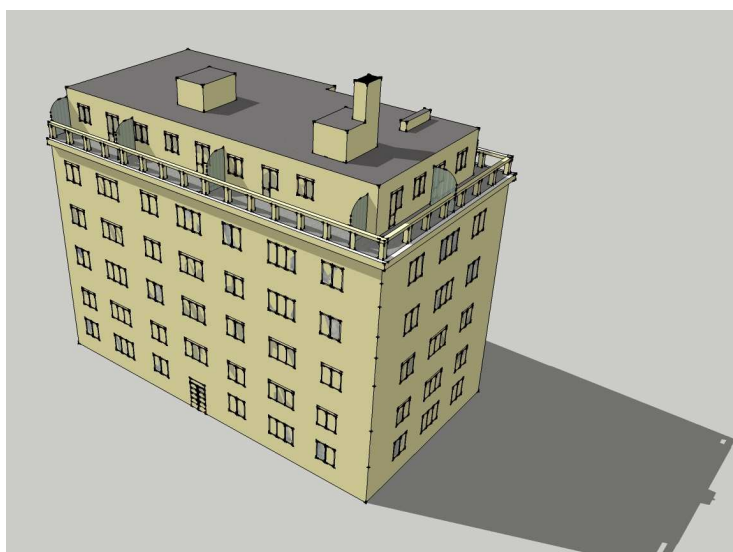
Okna kanceláře směřují na východ – oslunění nastane v dopoledních hodinách

Z posouzení obrázků je zřejmé, že investor si zadělává na problém s pracovním prostředím. Jeho snahou je dosáhnout co největšího obsazení kanceláří. Část pracovní plochy u oken bude zatížena osluněním celoročně. Při ponechání stávajících parapetů se pracovní místa posunou do hloubky místnosti a nebudou osluněna v průběhu letního období, kdy je slunce vysoko nad obzorem a svítí pouze na úzký pruh parapetu.

SIMULACE OSLUNĚNÍ BUDOVY 3D MODELOVÁNÍ

Použití trojrozměrného programového vybavení - 3d modelování pro předpověď průběhu a času sluneční zátěže v jednotlivých dnech roku bylo předvedeno v kapitole „náhradní měření“. Zde jsme ukázali možnosti předpovědi tepelné zátěže osáláním pro interiér. Podobně lze postupovat při návrhu stínící techniky ze strany exteriéru.

Příkladem je vyšetřování stínů a oslunění fasády pro fasádu bytového domu v Praze 10-Vršovicích. Úkol od investora zněl – na fasádě se budou vyměňovat okna, je potřeba posoudit zda instalovat též venkovní žaluzie ručně ovládané.



Vyšetřování oslunění východní fasády bytového domu v Praze - Vršovicích

IV. 2 Měření a regulace

ČIDLA OSÁLÁNÍ PRO SYSTÉM MĚŘENÍ A REGULACE

V oblasti měření a regulace se obvykle snímá prostá teplota vzduchu buď v místnosti, nebo v odsávacím vzduchotechnickém potrubí. Lokální chladicí a topné jednotky fan-coil se dokonce ovládají termostatem na zdi

u dveří. Takováto čidla nereagují na venkovní osálení, nebo reagují až po vzrůstu teploty v celém prostoru.

Některé firmy však dodávají sortiment čidel na způsob kulového teploměru. Koule je z plastu o průměru 50mm. Jsou v provedení buď zavěsit do prostoru, nebo nástěnné s polokoulí.



Čidla pro systém měření a regulace zachycující sálání (sluneční záření)

Čidla při správném umístění (viz 3d projektování) dokážou indikovat osálení již v počátku a vydat povel ke spuštění žaluzií, nebo k snížení teploty klimatizačním zařízením.

IV. 3 Provozování budov

AUTOMATICKÉ ŽALUZIE NA FASÁDĚ

Venkovní žaluzie jsou významnou ochranou proti slunečnímu záření. Jde o žaluzie zavěšené na venkovní straně oken, nebo celé fasády. Listy žaluzií se natáčejí podle vodorovné osy. Celá žaluzie se spouští přes okno, nebo zatahuje do kastlíku nad oknem.



Ovládání může být buď manuální – pro každou místnost zvlášť (budova SIEMENS, Praha Dejvice, Na Hadovce), nebo centrálně, pro celou fasádu podle pokynu venkovního čidla, nebo časového programu (palác Chemapol, Praha 10 Kodaňská ulice- žaluzie od roku 1985), dále též kancelářská část Kongresového centra Praha, od 2000.

V. Závěry

Měření a hodnocení tepelné pohody při práci je téma značně rozsáhlé. Pro předmět své práce jsem zvolila přístup experimentální – formou měření v terénu. Řada mých známých pracuje v administrativních budovách. Na první pohled lehká administrativní práce je však v prosklených budovách ztížena slunečním osláním. Paradoxně vznikají největší problémy v zimním období a na jaře, kdy je slunce nízko nad obzorem. Rozhodla jsem se provést práci založenou na experimentálním měření na téma - Měření a hodnocení tepelné pohody při práci v administrativní budově za podmínek oslání pracovního místa slunečními paprsky zimním obdobím.

Cílem práce je potvrdit problém prosklených budov – tepelnou zátěž slunečním zářením v zimním období. Práce je zaměřena na vlastní měření a na doporučení pro navrhování a provozování budov.

Rešeršní část popisuje pojem tepelné pohody, tepelnou bilanci lidského těla a faktory, které tuto bilanci ovlivňují. Uvádí řadu kritérií používaných pro hodnocení pracovního prostředí. Obsahuje seznam právních předpisů. Přejímá současnou oficiální metodiku měření. Uvádí seznam měřících přístrojů, použitých v experimentální části. Hlavním použitým měřidlem je kulový teploměr.

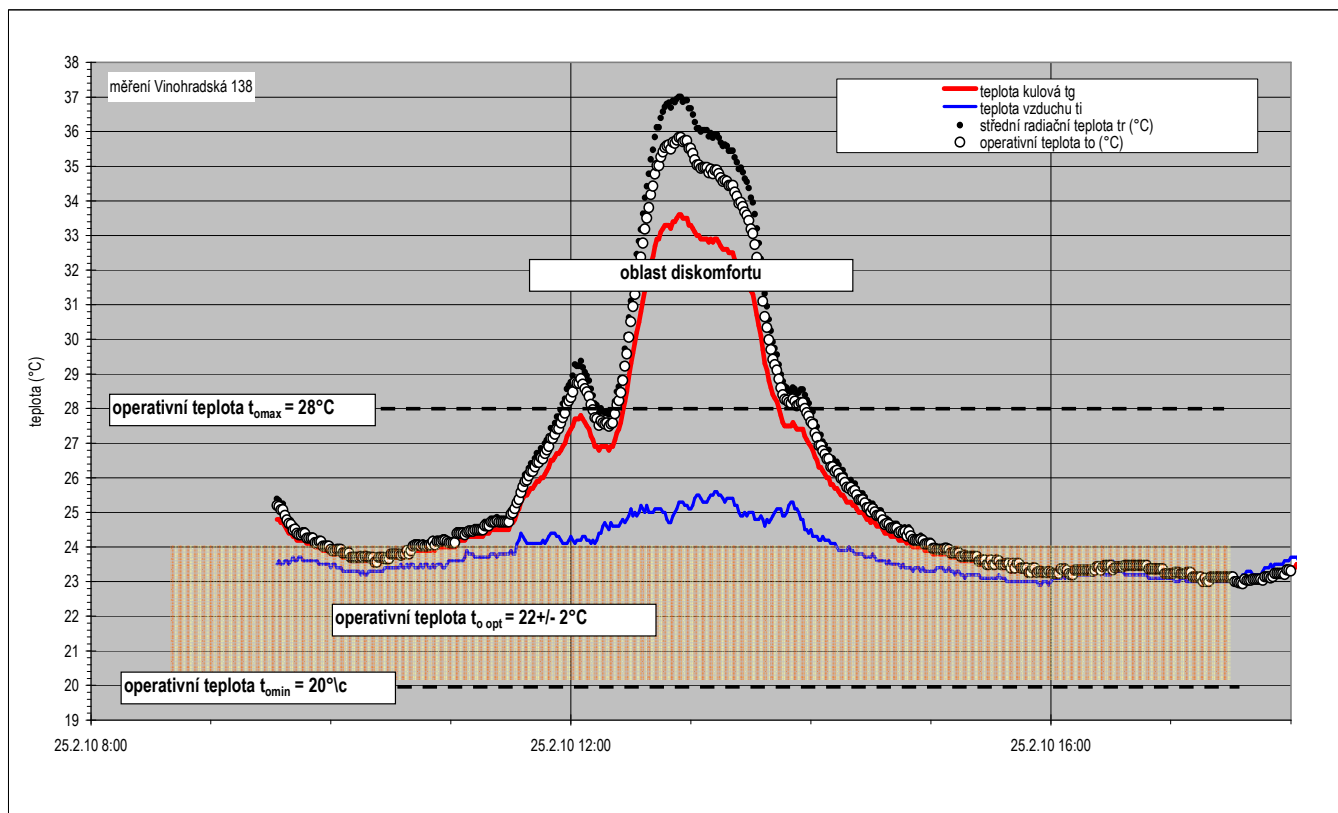
Experimentální část popisuje měření v kanceláři administrativní budovy v Praze. Po dobu 14ti dnů v měsíci únoru se sledovala teplota kulového teploměru, teplota vzduchu, teplotní profil a koncentrace O₂ a CO₂. Hlavní měření bylo prováděno v kancelářské budově Reiffeissen v Praze na Budějovické. Základním použitým přístrojem byl kulový teploměr pro stanovení výsledné kulové teploty t_g . Teploty byly snímány termočláňkovými čidly a ukládány do měřících přístrojů se zápisem. Byly snímány – teplota kulového teploměru, teplota vzduchu u kulového teploměru, teplotní profil po výšce místnosti, teplota vzduchu na výstupu z klimatizační jednotky. Dále koncentrace CO₂ a koncentrace O₂. Bylo provedeno měření zachycující průběh teplot po dobu 14dnů.

Měření nepřineslo očekávané výsledky – po celou dobu měření nesvítilo slunce. Proto bylo doplněno krátkodobé náhradní měření. To potvrdilo závažnost problému – významný rozdíl mezi teplotou vzduchu a teplotou kulového teploměru při oslání slunečními paprsky.

Měření bylo vyhodnoceno podle standardní metodiky. Byla vypočtena operativní teplota v místnosti a její časový průběh za jeden den. Vstupy jsou – teplota kulového teploměru, teplota vzduchu, a rychlost proudění.

Výsledky měření byly porovnány s minimálními, maximálními a přípustnými hodnotami operativní teploty podle Nařízení vlády 361/2007Sb. Ochrana zdraví při práci za podmínek práce v třídě I.

Grafický výstup vyhodnocení naměřených hodnot:



Práce konstatuje, že pohoda prostředí v měřené místnosti není při oslunění v zimním období dosažena.

Pomocí modelování průběhu oslunění místnosti v trojrozměrném projektovacím programu práce dokládá, že větší problém nastává v zimním období, kdy sluneční paprsky zasahují až do hloubky místnosti.

Část doporučení pro navrhování a provoz budov uvádí příklad nevhodné rekonstrukce administrativní budovy. Zde se plánují nová pracovní místa těsně u skleněných stěn, v místě největší tepelné zátěže. Ukazuje možnosti jak omezit vliv tepelné zátěže – venkovní žaluzie nebo čidla sálání pro systém měření a regulace. Přínosem je použití metody projektování budovy v trojrozměrném zobrazení. Program zakreslí zóny oslunění pro zimní i letní období.

Základním úkolem měření stavu prostředí v administrativní budově bylo porovnání teploty kulového teploměru a teploty vnitřního vzduchu. Při navrhování a provozování systémů technických zařízení budov se jako vstupní hodnota pro regulaci používá teplota vzduchu. Jde buď o teplotu vzduchu v místnosti, nebo o teplotu vzduchu odváděného klimatizačním zařízením. Cílem práce je prokázat, že tento způsob regulace nereaguje

na tepelnou zátěž osáláním buď vůbec, nebo na ni reaguje se zpožděním, které kvalitu pracovního prostředí znehodnotí. Snahou práce je vytipovat takový postup, kdy by reakce budovy na vnější osálení byla dostatečně rychlá – tím bude kvalita pracovního prostředí zachována.

Práce potvrdila existenci problému – tepelné nepohody v prosklených kancelářských budovách v zimním období při slunečním svitu. Ukazuje několik způsobů řešení, jak tepelnou zátěž omezit.

Seznam použité literatury

- 1 Janečka, J., Zuth, D., Systémy pro monitorování tepelné pohody člověka, Bulletin ASI asociace strojních inženýrů Praha, březen 2008, číslo 42, strana 22
- 2 Jiráček, Z. et al, Návrh hodnocení nerovnoměrné tepelné zátěže pomocí kulového stereoteploměru, časopis České pracovní lékařství, číslo 2-3, ročník 2008, str. 56-59
- 3 Lehocká, H., Jiráček, Z., Kulový teploměr a jeho vývoj z hlediska hodnocení tepelné pohody organismu, 28.11.2005, www.tzb-info.cz
- 4 Málek, B., Matthauserová, Z., Měření mikroklimatických parametrů pracovního prostředí a vnitřního prostředí staveb (metodika měření), In Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky, částka 11, listopad 2004, HEM-3444-12.2.04/4133
- 5 Nařízení vlády 361/2007 Sb. Ochrana zdraví při práci
- 6 Nařízení vlády 68/2010 Sb. Podmínky ochrany zdraví při práci, 22.2.2010
- 7 Szekyová, M., Ferstl, K., Nový, R., Vetranie a klimatizácia, JAGA, Bratislava 2004, IBSN80-8076-000-4
- 8 Vorálek, D., Měření střední radiační teploty a její vliv na tepelnou pohodu, Diplomová práce, Univerzita Tomáš Bati ve Zlíně, 2008
- 9 Zmrhal, V., Výpočetní program MRT Analysis pro určení střední radiační teploty v prostoru, ČVUT Fakulta strojní, ústav techniky prostředí, Praha, 2005

Shrnutí

Bakalářská práce na téma „měření a hodnocení tepelné pohody při práci v administrativních budovách“. Cílem práce je potvrdit problém prosklených budov – tepelnou zátěž slunečním zářením v zimním období. Práce je zaměřena na vlastní měření a na doporučení pro navrhování a provozování budov.

Rešeršní část popisuje pojem tepelné pohody, tepelnou bilanci lidského těla a faktory, které tuto bilanci ovlivňují. Uvádí řadu kritérií používaných pro hodnocení pracovního prostředí. Obsahuje seznam právních předpisů. Přejímá současnou oficiální metodiku měření. Uvádí seznam měřících přístrojů, použitých v experimentální části. Hlavním použitým měřidlem je kulový teploměr.

Experimentální část popisuje měření v kanceláři administrativní budovy v Praze. Po dobu 14ti dnů v měsíci únoru se sledovala teplota kulového teploměru, teplota vzduchu, teplotní profil a koncentrace O₂ a CO₂. Měření nepřineslo očekávané výsledky – po celou dobu nesvítilo slunce. Proto bylo doplněno krátkodobé náhradní měření. To potvrdilo závažnost problému – významný rozdíl mezi teplotou vzduchu a teplotou kulového teploměru při osálení slunečními paprsky.

Část doporučení pro navrhování a provoz budov uvádí příklad nevhodné rekonstrukce administrativní budovy. Zde se plánují nová pracovní místa těsně u skleněných stěn, v místě největší tepelné zátěže. Ukazuje možnosti jak omezit vliv tepelné zátěže – venkovní žaluzie nebo čidla sálání pro systém měření a regulace. Přínosem je použití metody projektování budovy v trojrozměrném zobrazení. Program zakreslí zóny oslunění pro zimní i letní období.

Práce potvrdila existenci problému – tepelné nepohody v prosklených kancelářských budovách v zimním období při slunečním svitu. Ukazuje několik způsobů řešení, jak tepelnou zátěž omezit.

Summary

Bachelor thesis: Measurement and evaluation of thermal comfort in administrative (office) buildings.

The Bachelor thesis was focused on confirmation of problems of glassed-in buildings – heat stress caused by solar radiation in winter. On the basis of measurements and monitoring of the heat stress in an office building, recommendations for design and operating of the glassed-in buildings were mentioned.

In the first part of the thesis based on background research of related publications and reliable internet sources, the conceptions of thermal comfort, thermal balance of human body and factors which affect the balance have been described. The criteria used for evaluation of working environment, legal enactments background, official measurement methodology and list of used devices and equipment have been also introduced in this part. The most important measurement device was the ball thermometer.

The experimental part describes the results of the measurements and monitoring of selected office in the glassed-in building located in Prague. The temperature of the ball thermometer, air temperature, temperature profile and oxygen and carbon dioxide concentrations were followed during two week period. Unfortunately, the measurements were complicated by weather conditions, because the sun radiation was of a low intensity during the measurement period. Hence, short supplemental measurements were done and evaluated. The supplemental measurements in connection with the regular measurements confirmed the mentioned problem – the significant difference between air temperature and temperature measured by ball thermometer irradiated by sun.

On the basis of the measurements, the third part of the thesis deals with recommendations for design and operating of the glassed-in buildings. An example of an unsuitable reconstruction of administrative building has been mentioned, in which new working stations were planned to be located near glass wall, on the site of the maximum thermal stress. The possibilities of limitation of thermal stress have been proposed, for example responsible planning of working station locations, installation of jalousies and/or installation of measurement and regulation systems based on suitable sensors. The method of 3D projection showed to be very beneficial for the evaluation of the thermal stress and proposition of suitable arrangements. The suitable software can show the sun irradiated zones for selected season (winter, summer, etc.) and identify problematic zones.

Generally, the thesis confirmed the existence of thermal stress in glassed-in administrative buildings even in winter season as it was demonstrated by measurements and confirmed using suitable software for 3D projection of the building. Some methods of limitations of consequences of thermal stress have been proposed to improve the working environment in glassed-in administrative building.

Přílohy

**Přehled měření meteorologické stanice ČHMU Praha Karlov – únor
2010**

Kulový teploměr Vernon-Jokl – přihláška patentu

Dotazníky o chování uživatelů kanceláře v administrativní budově

Fotografická příloha