

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT

# VLIV VNITŘNÍHO STÍNĚNÍ NA TEPELNOU STABILITU MÍSTNOSTÍ

THE IMPACT OF INNER SHIELDING ON THE THERMAL STABILITY OF ROOM

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. ROBERT KANTOR

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. DAVID BEČKOVSKÝ, Ph.D.

BRNO 2013

NAHRADIT LIST ZADÁNÍM DIPL. PRÁCE

### **Abstrakt**

Tato diplomová práce pojednává o vnitřních stínících zařízeních a jejich vlivu na tepelnou stabilitu v místnosti. Dále porovnává rozdíly v chování odlišných použitých materiálů. V poslední řadě srovnává naměřené hodnoty s výpočtovými modely.

### **Klíčová slova**

Teplota, tepelná stabilita, stínící zařízení, výpočtový model

### **Abstract**

This thesis deals with internal shading devices and their influence on the thermal stability of the room. Furthermore, compares the differences in the behavior of different materials. Finally, compares the measured values with the computational models.

### **Key words**

Temperature, thermal stability, shading devices, computational model

### **Bibliografická citace práce**

KANTOR, Robert. *Vliv vnitřního stínění na tepelnou stabilitu v místnosti*. Brno 2013. 69 s., 21 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí diplomové práce Ing. David Bečkovský, Ph.D..

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 1. 2013

.....  
Podpis autora

**Poděkování:**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Davidu Bečkovskému Ph.D. za vedení mé diplomové práce. Vedoucímu děkuji za veškeré cenné rady, věcné připomínky při zpracování diplomové práce, ochotu věnovat svůj čas konzultacím a asistenci při měření. Dále vedoucímu děkuji za zapůjčení přístrojů potřebných k práci. Děkuji rodičům a přítelkyni za trpělivost a podporu během studia.

V Brně dne 10. 1. 2013

## OBSAH

1. Úvod.....	9
1.1 Člověk a budova .....	9
1.2 Současný stav tepelné techniky budov .....	10
2. Tepelná stabilita .....	11
2.1 Možnosti zvýšení tepelné stability .....	11
2.2 Kritická místnost .....	12
3. Hodnocení tepelné stability na základě neustáleného teplotního stavu .....	14
3.1 Fourierův zákon.....	14
3.2 Teplotní útlum a fázový posun teplotního kmitu .....	15
4. Letní tepelná stabilita .....	17
4.1 Z pohledu tepla .....	17
4.2 Z pohledu jednotlivých konstrukcí.....	18
5. Teplota.....	19
6. Sluneční záření .....	21
6.1 Přímé sluneční záření .....	23
6.2 Difuzní sluneční záření.....	23
7. Propustnost slunečního záření.....	25
7.1 Stínícím prvkem .....	26
7.1.1. Sálání .....	27
7.1.2 Zákony .....	27
7.1.3. Emisivita .....	29
8. Stínící zařízení.....	30
9. Počítačová simulace .....	31
9.1 Simulace .....	31
9.2 Stabilita 2010.....	31
10. Tepelná zátěž a legislativa .....	32
10.1 Metoda výpočtu tepelné zátěže .....	32
10.2 Hodnocení dle ČSN 730540.....	33
11. Cíle práce .....	34
11.1 Cíle .....	34
11.2 Důvody volby cílů .....	34

12. Metodika práce.....	35
12.1 Teoretická příprava.....	35
12.2 Programová simulace .....	35
12.3 Experimentální objekt .....	36
12.4 Kalibrace, Ověřovací měření.....	37
12.4.1 Kalibrace.....	38
12.4.1 Ověřovací měření.....	38
12.5 Měření se zastíňovacími prvky.....	39
12.5.1 Měření s kovovou žaluzií.....	39
12.5.2 Měření s dřevěnou žaluzií.....	41
12.6 Použitá měřicí technika .....	42
13. Dílčí výsledky diplomové práce .....	44
13.1 Kalibrace a ověřovací měření.....	44
13.1.1 Kalibrace.....	44
13.1.2 Ověřovací měření.....	46
13.2 Celkové výsledné měření .....	47
13.3 Měření s kovovou žaluzií .....	48
13.4 Měření s dřevěnou žaluzií .....	49
13.5 Výstupy z programu Simulace .....	50
13.5.1 Úprava hodnoty výměny vzduchu .....	51
13.5.2 Možnosti zadávání skladeb obvodových konstrukcí .....	53
13.5.3 Zhodnocení výstup ze Simulace .....	54
14. Naplnění cílů .....	58
14.1 Analýza vlivu zastínění na tepelnou stabilitu.....	58
14.2 Analýza výsledků počítačových simulací .....	60
14.3 Závěr.....	62
Seznam obrázků .....	64
Seznam grafů.....	64
Seznam tabulek .....	64
Seznam použitých zdrojů .....	65
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	67
Seznam příloh.....	69



## 1. Úvod

Lidstvo se s postupem času přemístilo z jeskyně do současných objektů, které si přizpůsobilo svým požadavkům a samozřejmě požadavkům současných norem.

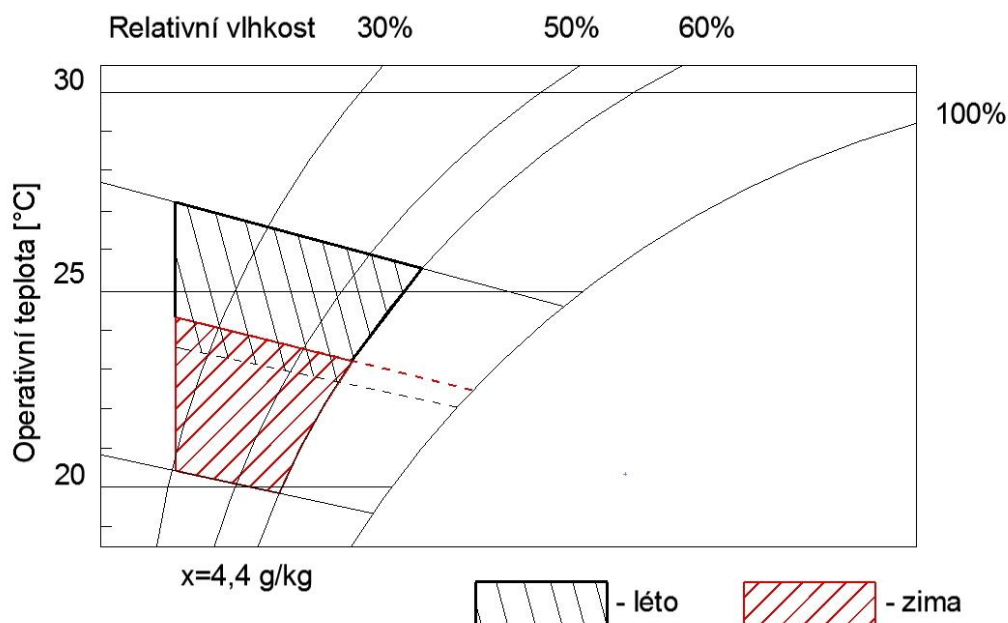
S rozvojem techniky vzrůstá společenská potřeba o kvalitní a zdravé bydlení. Lidé se začínají více zajímat o mechanismy, které probíhají u objektů a ovlivňují vnitřní prostředí budov.

Abychom se v budově cítili dobře, musí být omezeno nebo zabráněno působení škodlivých agencí na nás. Škodlivé účinky působí na jedince ve formě energetické nebo hmotnostní. Tyto škodlivé agencie můžou pocházet z venkovního prostředí nebo být vyprodukovány samotným člověkem.

### 1.1 Člověk a budova

V současné době se u veškerých staveb řeší jak dané negativní vlivy a jejich přenos na člověka omezit. Jednou z mnoha problematik, kterou se zabývá současná legislativa, je tepelná stabilita budov a s tím spjatá tepelná pohoda člověka.

Této problematice se věnuje i má diplomová práce. Pojednává o vlivu vnitřních stínících zařízení na tepelnou stabilitu v místnosti.



Obr. 1) Oblast tepelné pohody v letním a zimním období znázorněná v modifikovaném diagramu vlhkého vzduchu [1]

## **1.2 Současný stav tepelné techniky budov**

Pro vyhodnocení tepelně technických vlastností budov byly zavedeny fyzikální parametry popisující jak chování jednotlivých konstrukcí objektu, tak vnitřního mikroklimatu. Požadavky na tyto parametry jsou v současné době pořád zvyšovány. Jedním z důvodů zpřísnění normových parametrů je environmentální růst společnosti a s tím spojená úspora nákladů na provoz objektu. Každý objekt pro svůj provoz potřebuje určité množství energie. Ať už se jedná o energii potřebnou pro vytápění v zimním období, nebo chlazení v období letním. Tímto směrem se zabývá globální problematika trvale udržitelného rozvoje a snižování normových hodnot potřeby energie na provoz budov.

Cílem veškerých směrnic a norem je realizovat objekty s téměř nulovou spotřebou energie. Objekty by měly být realizovány s ohledem na celkovou spotřebu energie během celého životního cyklu stavby.

Energetická náročnost budovy může být ovlivněna tvarem budovy, orientací ke světovým stranám, velikostí oken a použitými materiály. Dalšími aspekty, které musí být respektovány při návrhu budovy, jsou klimatické podmínky lokality projektované stavby.

V mnoha případech pro dosažení normových hodnot musí být objekt navržen se speciálním zařízením, které pomůže dosáhnout požadovaných parametrů. Jedním z příkladů je montáž vnitřních stínících zařízení pro přiblížení se požadavku tepelné stability v letním období.

Při dodržení tepelně technických parametrů obalových konstrukcí veškeré stavby splňují požadavky na energetickou náročnost budov. V praxi se ale objevují případy, kdy stranou zůstává požadavek na tepelnou stabilitu místnosti.

## 2. Tepelná stabilita

Místnost považujeme za tepelně stabilní tehdy, pokud její tepelný stav zůstane v daném čase v dovolených mezích. Veškeré navrhované místnosti musí splnit tento požadavek jak na letní, tak na zimní období. Tento požadavek je převážně ovlivněn parametry obalových konstrukcí dané místnosti.

V letním období na tepelnou stabilitu má největší vliv poloha a rozměr okenních otvorů. Velikost těchto oken bychom měli proto volit tak, aby byly splněny všechny požadavky norem, a nedocházelo k zbytečnému předimenzování oken.

Při projektové přípravě by se pak měl brát zřetel na veškeré možnosti, které můžou ovlivnit tepelnou stabilitu místnosti.

### 2.1 Možnosti zvýšení tepelné stability

V **letním období** můžeme stabilitu ovlivnit následujícími zásahy do konstrukcí a návrhů.

- Zmenšením plochy průsvitných konstrukcí, při dodržení požadavku na proslunění místnosti
- Správnou orientaci ke světovým stranám
- Snížením součinitele prostupu tepla
- Snížením výměny vzduchu
- Zvýšením tepelné jímavosti vnitřních povrchů místnosti
- Zvýšením akumulačních schopností obalových konstrukcí
- U oken na jižní fasádě navrhnout protisluneční clony
- Využit střešní krytiny s reflexní povrchovou úpravou
- Obvodové pláště navrhnout s provětrávanou vzduchovou mezerou u vnějšího líce

Naopak v **zimním období** pro zvýšení tepelné stability lze aplikovat následující metody:

- Snížení součinitele prostupu tepla obalových konstrukcí
- Zvýšení akumulčních schopností konstrukcí
- Zmenšení plochy okenních otvorů s ohledem na zajištění denního osvětlení v místnostech
- Snížení výměny vzduchu

Pro ověření správnosti návrhu objektu se nejčastěji provádí hodnocení nejkritičtější místnosti. Toto hodnocení se provede na základě neustáleného teplotního stavu.

## 2.2 Kritická místnost

Jako kritickou místnost považujeme tu, která v zimním období vykazuje největší ztráty a naopak v létě největší zisky.

Pro letní období to je místnost s největší plochou přímo osluněných výplňových konstrukcí orientovaných na V, JV, J, JZ, Z.

V letním období vycházíme z podmínek tepelné pohody. Kritická místnost v tomto období musí splňovat podmínku nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti, které jsou stanoveny normou ČSN 73 0540-2. [2]

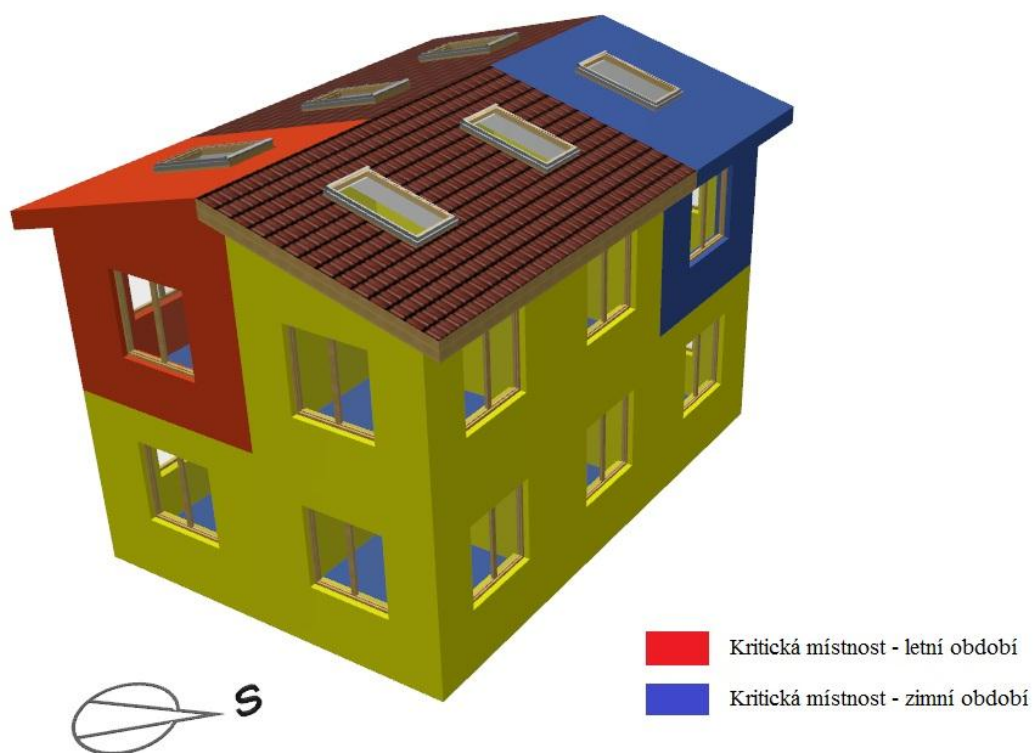
$$\theta_{ai,max} \leq \theta_{ai,max,N} \quad (2.1)$$

kde  $\theta_{ai,max}$  nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období [°C]  
 $\theta_{ai,max,N}$  požadovaná hodnota nejvyšší denní teploty v místnosti v letním období [°C], které se stanoví dle normy ČSN 73 0540

Budovy vybavené strojním chlazením musí splnit podmínku nejvyšší teploty vzduchu v místnosti v letním období:

$$\theta_{ai,max} \leq 32 \text{ °C} \quad (2.2)$$

Do výpočtu se nezahrnuje ani chladicí výkon klimatizace, ani tepelné zisky od technologických zařízení a kancelářského vybavení.



*Obr. 2) Kritické místnosti [zdroj: archiv autora]*

Hodnocení kritické místnosti se provede na základě neustáleného teplotního stavu.

### 3. Hodnocení tepelné stability na základě neustáleného teplotního stavu

Z důvodu přiblížení se skutečnému šíření teplot v konstrukci byl zaveden pojem neustálený teplotní stav. V tomto stavu se teplotní pole při šíření tepla konstrukcí mění v závislosti na čase, tzn., že je funkcí času  $\Theta = f(x, y, z, t)$ . Na základě počtu směru šíření tepla označujeme teplotní pole jako jednorozměrné, dvourozměrné a třírozměrné.

Pro tento neustálený teplotní stav platí druhý Fourierův zákon. [3]

#### 3.1 Fourierův zákon

Druhý Fourierův zákon, který nám udává závislost mezi časovou změnou a místní změnou teploty můžeme vyjádřit pomocí parciální diferenciální rovnice. [3]

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = a \cdot \left( \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2} \right) \quad (3.1)$$

kde  $a$  součinitel teplotní vodivosti [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]  
 $\frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 \Theta}{\partial y^2}, \frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2}$  změna teploty během času (derivace)

Zřejmě nám ale došlo, že ne každý materiál vede teplo stejně a tento fakt musí být nějakým způsobem vyjádřen. Byla proto zavedena veličina součinitele teplotní vodivosti  $a$ . Veličina vyjadřuje schopnost materiálu vyrovnat rozdílné teploty při neustáleném vedení tepla. Tuto veličinu jde vyjádřit vztahem:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (3.2)$$

kde  $a$  součinitel teplotní vodivosti [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]  
 $\rho$  objemová hmotnost materiálu [ $kg \cdot m^{-3}$ ]  
 $c$  měrná tepelná kapacita [ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ]  
 $\lambda$  tepelná vodivost [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

Řešení neustáleného teplotního stavu pomocí Fourierova zákona je velice zdlouhavé, proto se řeší pomocí počítačových aplikací.

Jako příklad schopnosti materiálu vyrovnat teplotní rozdíly si uveďme hliníkovou a plastovou lžičku v horkém čaji. Hliníkový materiál, jak nám je všem známo, má lepší vodivé vlastnosti, tím pádem i lepší schopnost vyrovnávat rozdílné teploty. Na tomto příkladu si můžeme povšimnout dalšího fyzikálního jevu, ke kterému dochází během prostupu energií danou konstrukcí. Prostup energie z jedné strany na druhou trvá nějaký časový úsek a dochází tak ke zpoždění přenosu energie (tepla). Tato energie po přestupu materiálu se nezobrazí pouze s časovým rozdílem, ale nastane u ní taky k útlumu energie vlivem pohltivosti materiálu. Tyto jevy se taktéž odehrávají u veškerých stavebních konstrukcí, na které působí neustálený teplotní stav. Jedná se o fázový posun a teplotní útlum.

### 3.2 Teplotní útlum a fázový posun teplotního kmitu

U stavebních konstrukcí s určitou tepelnou pohltivostí a tepelným odporem dochází k teplotnímu útlumu. Útlumem se rozumí kolísání amplitudy pronikající teploty z vnějšího na vnitřní povrch konstrukce. Teplotní útlum je vlastně schopnost konstrukce tlumit výkyvy venkovního vzduchu. [3] Kolísání vnitřní povrchové teploty jde vyjádřit tímto vztahem:

$$\theta_{si,\tau} = \theta_{si,str} + \left(\frac{A_e}{V}\right) \cos(\omega\tau - \varphi - \psi) \quad (3.3)$$

kde  $V = \frac{A_e}{A_{si}}$

$A_{si}$      *teplotní amplituda na vnitřním povrchu konstrukce [K]*

$A_e$      *teplotní amplituda vnějšího vzduchu [K]*

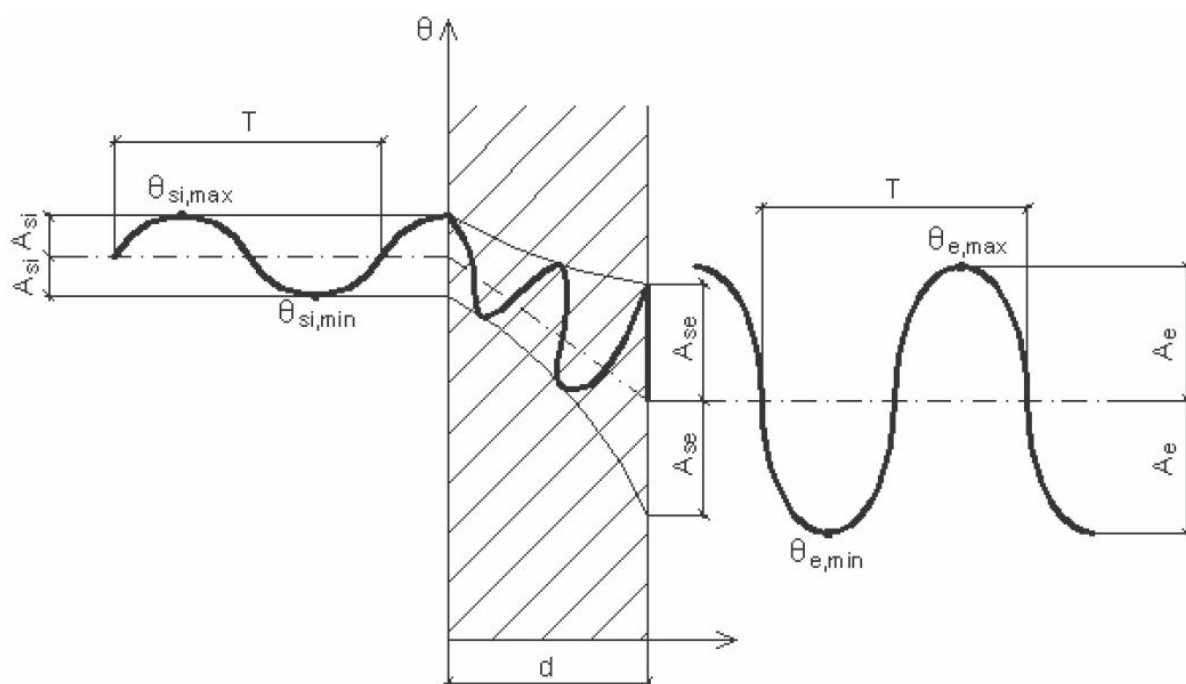
$\psi$      *fázový posun teplotního kmitu [rad]*

U materiálu nedochází jenom ke kolísání amplitudy pronikajícího tepla, ale také k časovému rozdílu mezi maximy vnitřní a vnější teploty. Tento rozdíl nazýváme fázovým posunem teplotního kmitu  $\psi$ . Můžeme jej zapsat následujícím vztahem:

$$\psi = \tau_{A_{si}} - \tau_{A_e} \quad (3.4)$$

kde  $\tau_{A_{si}}$  doba výskytu maximální teploty na vnitřním povrchu konstrukce [hod]

$\tau_{A_e}$  doba výskytu maximální teploty venkovního vzduchu [hod]



Obr. 3) Schéma kmitání teploty na povrchu a uvnitř konstrukce [3]



## **4. Letní tepelná stabilita**

### **4.1 Z pohledu tepla**

V poslední době jsou na stavby kladeny vysoké požadavky, co se týče obalových konstrukcí z pohledu tepelně technických vlastností. U některých staveb se ale zapomíná na druhou velice zásadní složku hodnocení objektů, kterou je tepelná stabilita a tepelná pohoda v objektu.

Dříve postavené objekty byly navrženy na všechny požadované vlastnosti, ale tepelná stabilita objektu byla zanedbána. V současné době jsou na objekty kladeny požadavky norem na tepelnou stabilitu objektu. Tyto požadavky jsou stanoveny v normě ČSN 73 0540-2 a jejich splnění je závazné dle vyhlášky 137/1998 Sb. o obecných technických požadavcích na výstavbu. [4]

Na objekt v letním období působí největší zátěží sluneční energie. Tato energie je ze slunce na zemský povrch vysílána ve formě elektromagnetického záření. Do objektu se tepelná energie nejčastěji dostává špatně navrženými okenními výplněmi.

Orientace a velikost těchto výplní má největší vliv na tepelnou stabilitu v objektu v letním období. Naopak sluneční zisky působící na objekt v zimním období jsou velice vítány. Proto se v dnešní době nebere zřetel jen na tepelně technické vlastnosti obalových konstrukcí ale také na velikost okenních výplní a jejich orientaci ke světovým stranám.

## **4.2 Z pohledu jednotlivých konstrukcí**

Jak už bylo výše uvedeno v předchozí kapitole, největší vliv na tepelnou stabilitu v letním období mají výplňové konstrukce. Dalším faktorem ovlivňujícím stabilitu místnosti je schopnost obalových a vnitřních konstrukcí akumulovat tepelnou energii. Použijeme-li pro obalové konstrukce místnosti materiály s vysokou akumulační schopností, pomůžeme tím snížit teplotu vzduchu v místnosti. Problematika špatné akumulace se nejčastěji týká dřevostaveb, kdy obalovými konstrukcemi jsou materiály s nízkou akumulační schopností a dochází u těchto staveb k přehřívání. Tyto stavby jsou často náročnější na splnění normových požadavků. Pro vyřešení problematiky týkající se tepelné stability místnosti u dřevostaveb někdy vystačí návrh masivnější konstrukce do půdorysu objektu. U objektů z masivních konstrukcí dochází k tzv. přenesení energie v čase. Kdy v době energetického přebytku, což je většinou přes den, dochází k akumulaci energie do konstrukce a v období energetického nedostatku, v noci, je tato energie zpětně vyzařována do interiéru. Tento cyklus působí i obráceně, kdy v letních měsících jsou energetické přebytky v místnosti jímány masivními konstrukcemi, které byly v nočních hodinách ochlazený. Výhodou jímavosti materiálu je udržení stálé teploty v místnosti po delší dobu a využití naakumulované energie v konstrukci. K tomuto nedochází u dřevostaveb postavených z lehkých materiálů a tepelné izolace uvnitř. Tyto stavby se často v letním období přehřívají a teplota vnitřního vzduchu často přesáhne požadovanou hodnotu.

## 5. Teplota

Teplota je jednou z nejdůležitějších veličin, podle které se stanoví kvalita vnitřního prostředí. Hodnotícím kritériem pro stanovení tepelné pohody v místnosti je operativní teplota  $t_o$ , která respektuje kromě teploty vzduchu  $t_a$ , i střední radiační teplotu  $t_r$  a rychlost proudění vzduchu  $v_a$ .

### Teplota vzduchu

Jedná se o teplotu vzduchu bez vlivu sálání z okolních ploch. S touto hodnotou se počítá v běžné projekční činnosti a neuvažuje se s velkým rozdílem mezi teplotou okolních ploch a teplotou vnitřního vzduchu.

### Operativní teplota

Operativní teplota je jednotná teplota černého uzavřeného prostoru, ve kterém těleso sdílí konvencí a sáláním stejné množství tepla jako ve skutečném teplotně nesourodém prostředí. Tuto veličinu můžeme považovat jako teplotu vzduchu plus stěn plus proudění vzduchu. Vyjádřit jej můžeme pomocí vztahu:

$$t_o = A \cdot t_a + (1 - A)t_r \quad (5.1)$$

kde  $A=0,75.v_a0,16$

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

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

$t_r$  střední radiační teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$v_a$  rychlost vzduchu [ $\text{m.s}^{-1}$ ]

$A$  hodnota závislá na relativní rychlosti proudění vzduchu [ - ]

Tabulka 1) Závislost součinitele  $A$  na rychlosti proudění vzduchu v prostoru [18]

$v_a$ [m/s]	< 0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1
$A$ [ - ]	0,5	0,53	0,6	0,65	0,7	0,75

Pokud rychlost proudění vzduchu klesne pod  $0,2 \text{ m.s}^{-1}$  lze operativní teplotu nahradit teplotou výslednou.

## Teplota výsledná

V tomto případě se jedná o celkovou teplotu, ve které je zahrnuta jak teplota vnitřního vzduchu, tak vliv sálání obklopujících stěn. Maximální tepelné pohody v místnosti lze dosáhnout, pokud rozdíl výsledné teploty  $t_g$  a teploty vzduchu v místnosti  $t_a$  nepřesáhne 4 K. Výsledná teplota se měří kulovým teploměrem.

## Střední radiační teplota

Střední radiační teplota byla zavedena z důvodu usnadnění výpočtu sálavého toku z obklopujících ploch v prostoru. Vliv střední radiační teploty je zanedbatelný u objektu s rovnoměrnou povrchovou teplotou okolních ploch. Naopak v místnostech s chladnými, respektive horkými plochami, je tento vliv nezanedbatelný. Střední radiační teplota se bude pak lišit se vzdálenosti od těchto ploch.

Střední radiační teplotu můžeme stanovit dle vzorce:

$$t_r = \sqrt[4]{F_1 T_1^4 + F_2 T_2^4 + \dots + F_n T_n^4} \quad (5.2)$$

kde  $T_n$                       *absolutní teplota okolních povrchů [K]*  
 $F_n$                       *poměry osálení jednotlivých okolních ploch  $S_n$  plochou  $S_r$*   
                                  *(např. lidské tělo)*

$$\sum_n F = 1$$

Příkladem rozdílné středně radiační teploty může být kamenný dům a pasivní dřevostavba. I když vnitřní teplota vzduchu v obou objektech bude stejná, člověk bude pociťovat chlad ze sálajících kamenných zdí.

Aby samotná konstrukce mohla vyzařovat ze sebe energii a ohřívat okolní vzduch potřebuje k tomu zdroj energie.

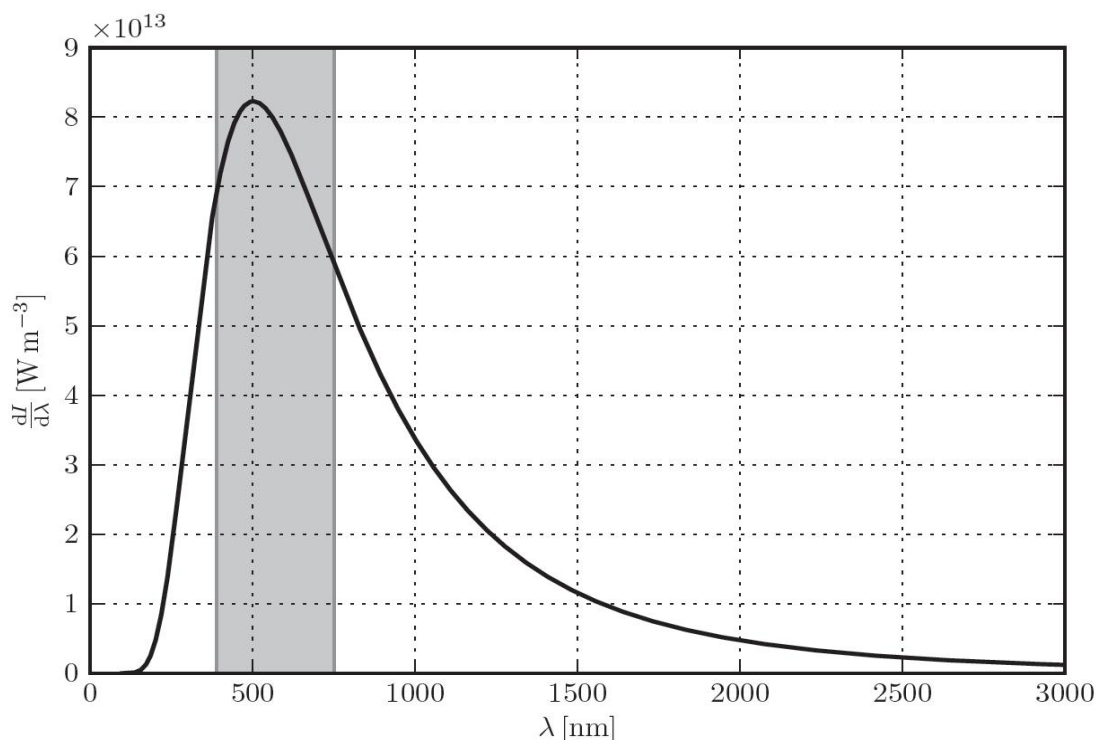
## 6. Sluneční záření

Slunce jako výkonný energetický zdroj ovlivňuje existenci života na Zemi.

Energie vznikající na slunečním povrchu je zapříčiněna hlavně spalováním vodíku na hélium. Sluneční planeta je zásobník vodíku na přibližně 15 miliard let. Vlivem protonové reakce, která se odehrává uvnitř slunečního jádra, pozvolna proniká záření k povrchu Slunce a mění se jeho spektrální složení. Tato energie je vyzařována ze slunečního povrchu (fotosféry) a dopadá na zemský povrch ve formě elektromagnetických vln. Jednotlivé složky záření jsou vlny o určitých vlnových délkách a frekvencích. Složením všech vlnových délek vznikne spektrum obsahující vlnové délky v rozmezí od 0 do 3000 nm. Pro naše oko je viditelné záření o vlnové délce 380 až 780 nm. Záření nacházející se pod touto hranicí nazýváme jako ultrafialové a naopak nad 780 nm se nachází infračervené záření. V této oblasti je maximální záření pro běžné teploty.

Záření, které dopadá na zemský povrch, je filtrováno zemskou atmosférou a vlnové délky pod 280 nm a nad 3000 jsou eliminovány. Tyto vlnové délky se můžou na zemském povrchu vyskytovat pouze v případě umělého vytvoření.

To však nejsou všechny aspekty ovlivňující pohlcování slunečního záření před dopadem na zemský povrch. Dalším pohlcovačem slunečního záření je ozonová vrstva, která filtruje ultračervené a viditelné spektrum záření, nebo vodní pára, která naopak pohlcuje infračervené záření. [14]



Obr. 4) Záření slunce s vyznačením viditelného pásma [5]

Na zemský povrch dopadá sluneční záření o přibližné intenzitě  $1\,370 \text{ W.m}^{-2}$ . Tato hodnota odpovídá solární konstantě, což je tok sluneční energie dopadající na jeden metr čtvereční, kolmo na směr paprsků, za jednu sekundu ve střední vzdálenosti Země od Slunce měřené mimo zemskou atmosféru. Tato konstanta zahrnuje celé spektrum sluneční energie, nejen viditelné pásmo. Země je ve vzdálenosti 150 miliónu kilometrů od Slunce a průměrná teplota na povrchu slunce je 5770 K. [6]

Intenzita slunečního záření je ovlivněna ročním obdobím. V zimním období je slunce nízko, proto je i intenzita menší než v letním období. Z toho plyne, že není důležité posuzovat vliv slunečního záření v zimním období ale naopak se zaměřit na opatření týkající se letní stability a přehřívání objektu v letním období.

Největší tepelnou zátěží objektu v letním období je proto množství a intenzita slunečního záření, která proniká okenním otvorem do objektu a přehřívá jej.

Sluneční záření, které vniká do objektu, se skládá ze dvou složek:

- Difuzní sluneční záření
- Přímé sluneční záření

## 6.1 Přímé sluneční záření

Přímé sluneční záření pronikající na zemský povrch je závislé na intenzitě znečištění atmosféry a nadmořské výšce. Tato hodnota snižující intenzitu slunečního záření je tzv. součinitel znečištění atmosféry. Hodnota se pohybuje v rozmezí od 2-8.

Ve znečištěných městských částech je okolo 5-6, krátkodobě až 8. Naopak v horských oblastech se stanovuje jako hodnota 2.

Hodnotu znečištění označujeme jako  $z$  a můžeme ji dosadit do vztahu pro výpočet intenzity přímé sluneční radiace  $i_p$  procházející znečištěnou atmosférou.

$$i_p = 1350 \cdot \exp. [-0,1 \cdot z \cdot (\frac{16\,000-H}{\sin h})^{0,8}] \quad (6.1)$$

kde  $H$  nadmořská výška příslušného města [m.n.m]

$h$  výška slunce nad obzorem [°]

$i_p$  intenzita přímé sluneční radiace [ $W \cdot m^{-2}$ ]

## 6.2 Difuzní sluneční záření

Sluneční záření rozptýlené molekulami vzduchu nebo částicemi prachu znečištěné atmosféry přeměňuje přímé sluneční záření na difuzní záření radiací. Z toho vyplývá, že čím je atmosféra více znečištěna, tím je difuzní složka radiace menší než složka přímého slunečního záření. Tato složka je někdy nazvána jako oblohová složka záření. Oblohová složka má všesměrný charakter a její zdrojem je každý bod oblohové hemisféry. Složka difuzního záření je významná z hlediska denního osvětlení, a z hlediska insolace neboli proslunění a osvětlení místnosti má rozhodující význam přímé sluneční záření.

Difuzní složku ovlivňuje výška slunce nad horizontem  $h$ .

Pro zjednodušení výpočtu intenzity difuzní sluneční radiace dopadající na svislou plochu můžeme použít vzorec:

$$id = \left[ 1350 - i_p - (1080 - 1,4 \cdot i_p) \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right] \cdot \frac{\sin h}{3} \quad (6.2)$$

kde  $\alpha$  úhel mezi sledovanou stěnou a vodorovnou rovinou [°]

$id$  intenzita difuzní sluneční radiace [ $W \cdot m^{-2}$ ]

Z tohoto vzorce pak můžeme odvodit vzorec pro intenzitu difuzní složky radiace pro svislou stěnu:

$$i_{dz} = (1350 - 0,5 \cdot i_p) \cdot \frac{\sin h}{5} \quad (6.3)$$

Celková intenzita slunečního záření je pak:

$$i = i_p + i_d \quad (6.4)$$

kde  $i$  Celková intenzita slunečního záření [ $\text{W.m}^{-2}$ ]  
 $i_p$  Intenzita přímého slunečního záření [ $\text{W.m}^{-2}$ ]  
 $i_d$  Intenzita difuzního slunečního záření [ $\text{W.m}^{-2}$ ]



## 7. Propustnost slunečního záření

Každá konstrukce nějakým způsobem propouští sluneční záření do interiéru objektu. Sluneční záření (nebo jinak energie) je na zemský povrch přiváděno ve formě elektromagnetických vln určitých délek. Celková sluneční energie je na zemský povrch posílána ve formě slunečního spektra o různých vlnových délkách. Více o slunečním záření v předchozí kapitole věnující se této problematice.

Největší množství sluneční energie je do objektu přiváděno okenními otvory. Okenní otvor je dle ČSN 73 6210 konstrukce s průhlednou nebo průsvitnou výplní osazována zpravidla do obvodové konstrukce a je určena k dennímu osvětlení nebo přirozenému větrání objektu.

Okenní výplň je tvořena ze dvou částí. Neprůsvitná část, kterou je zpravidla rám okna a okenní křídlo. Druhou částí je světelně propustná skleněná výplň.

Výplň okenního otvoru zajišťuje několik důležitých funkcí objektu, jako je například: potřeba denního osvětlení objektu, větrání objektu, vizuální komfort atd.

Mezi nejhlavnější funkce okenní výplně patří osvětlení místnosti, případně přirozené větrání. Další neméně důležitou funkcí je zabránění prostupu nežádoucích klimatických vlivů do objektu.

Tyto požadavky musí být splněny za předpokladu dodržení tepelně technických vlastností, které jsou dané platnými normami.

Výplně okenních křídel jsou zpravidla dělány ze skleněných tabulí různých tloušťek. Jsou tvořeny z transparentních materiálů hlavně z důvodu požadavku na denní osvětlení místnosti.

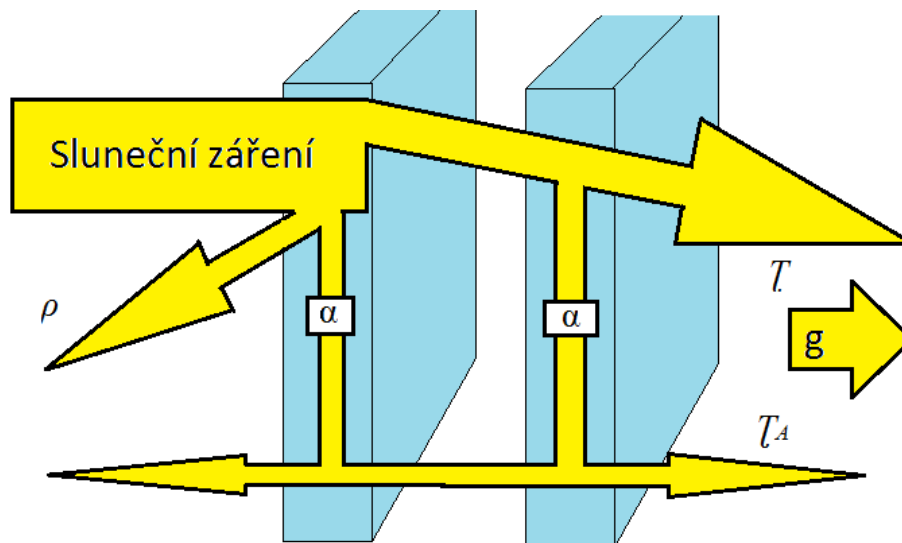
Tyto skelné tabule jsou v dnešní době realizovány jako tepelně izolační dvojskla nebo dokonce trojskla aby celá konstrukce okenní výplně vyhověla tepelně technickým požadavkům.

Průsvitná část výplně okenní konstrukce výrazně ovlivňuje distribuci energetické a insolační složky procházející do interiéru objektu.

Při dopadu energetické složky slunečního záření na povrch skelní výplně se tato složka rozkládá na:

- Část energie, která se odrazí zpět do exteriéru a je vyjádřena činitelem odrazu  $\rho$  neboli reflexe
- Část energie, která se pohltí v materiálu skelné výplně a je vyjádřena činitelem pohlcení přímého slunečního záření  $\alpha$

- Část energie, která je přenesena přes zasklení do interiéru neboli součinitel prostupu  $\tau$



Obr. 5) Prostup energie skelní výplně (zdroj: archiv autora, upraveno dle [2])

Celková propustnost sluneční energie  $g$  skelnou výplní je způsobena dvěma toky energie:

- Přímým tokem energie přes zasklení  $\tau$
- Vyzářeným tokem energie  $\tau_A$  z plochy skla do interiéru

Hodnota celkové propustnosti slunečního záření  $g$  je dle ČSN EN ISO 13792 stanovena jako celková propustnost slunečního záření pro dané zasklení včetně stínících prvků [3]. V případě umístění stínícího zařízení v okenním otvoru, je třeba stanovit celkovou propustnost sluneční energie dle ČSN EN 13363-1 nebo ČSN EN 13363-2 [4] [5].

## 7.1 Stínícím prvkem

Solární propustnost energie stínícím prvkem je dle ČSN 13363-1 stanovena veličinou propustnosti stínícího prvku  $\tau_{E,B}$ . Tato veličina popisuje, jaká poměrná část sluneční energie přímo přestupuje přes stínící prvek. Orientační hodnoty této veličiny jsou stanoveny v tabulce A2 ČSN 13363-1 [4].

Další hodnotou popisující parametry stínícího prvku je solární odrazivost na osluněné nebo odvrácené straně stínícího zařízení  $\rho_{E,B}$  a  $\rho_{E',B}$ . Jedná se o veličinu popisující množství sluneční energie odražené na vnitřní nebo vnější straně stínícího prvku [4].

### 7.1.1. Sálání

Jedná se o fyzikální proces, který se uskutečňuje prostřednictvím elektromagnetických vln o určité vlnové délce.

Sálavé teplo na rozdíl od přenosu tepla vedením a prouděním proniká průteplivými látkami i ve vakuu.

Vyzařování energie tělesem je ovlivněno několika faktory:

- teplotou tělesa
- barvou povrchu
- plochou tělesa

Sálavý tok dopadající na povrch tělesa jde rozdělit na tři složky. Složku sálavého toku  $Q_R$ , která se odrazí, složku  $Q_A$  která se pohltí a část  $Q_T$  procházející tělesem. Celková energie sálání je rovna:

$$Q = Q_R + Q_A + Q_T \quad (7.1)$$

Nebo v poměrném tvaru

$$\frac{Q_R}{Q} + \frac{Q_A}{Q} + \frac{Q_T}{Q} = 1 \quad (7.2)$$

Množství pohlcené a odrážené energie závisí především na jakosti a barvě povrchu ozářeného tělesa.

### 7.1.2 Zákony

S prostupem sluneční energie do interiéru souvisí následující zákony [5]

#### Planckův zákon

Planckův zákon vyjadřuje závislost spektrální intenzity záření dokonale černého tělesa na vlnové délce.

$$\frac{dI}{d\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1)} \quad (7.3)$$

<i>kde</i>	<i>I</i>	<i>intenzita záření [W.m<sup>-2</sup>]</i>
	<i>h</i>	<i>Plancková konstanta</i>
	<i>c</i>	<i>rychlost světla [m.s<sup>-1</sup>]</i>
	<i>T<sub>c</sub></i>	<i>teplota absolutně černého tělesa [°C]</i>

### Wienův posunovací zákon

Tento zákon konstatuje na základě Planckovy teorie, že s rostoucí teplotou se maximální hodnota intenzity záření posouvá ke kratším vlnovým délkám.

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} \quad (7.4)$$

<i>kde</i>	<i>λ<sub>max</sub></i>	<i>vlnová délka maximálního vyzařování [nm]</i>
	<i>T</i>	<i>teplota tělesa [°C]</i>
	<i>b</i>	<i>Wienová konstanta [ 2,898 mm .K]</i>

### Stefanův-Boltzmannův zákon

Tento zákon popisuje celkovou intenzitu absolutně černého tělesa.

Stefan-Boltzmannův zákon říká, že intenzita vyzařovaného tělesa roste se čtvrtou mocninou termodynamické teploty zářícího tělesa.

$$I = \sigma \cdot T^4 \quad (7.5)$$

<i>kde</i>	<i>I</i>	<i>celková intenzita záření [W/m<sup>2</sup>]</i>
	<i>σ</i>	<i>Stefan-Boltzmannova konstanta [ 5.670400.10<sup>-8</sup> Wm<sup>-2</sup>K<sup>-4</sup>]</i>
	<i>T</i>	<i>termodynamická teplota [K]</i>

### 7.1.3. Emisivita

Jak už bylo výše uvedeno, Stefan-Boltzmannův zákon platí pouze pro dokonalé černé těleso. Žádné reálné těleso nedokáže vyzařovat ani pohlcovat veškeré záření. Vždy dojde k nějakým ztrátám. Tyto ztráty jsou vyjádřeny koeficientem  $\varepsilon$  neboli emisivitou. Emisivita je často uváděná jako schopnost tělesa vyzařovat teplo. Jde ji vyjádřit jako poměr intenzity vyzařování reálného tělesa k intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa. Hodnotu emisivity můžeme dosadit do Planckova zákona (7.3) pro vyzařování absolutně černých těles a dostaneme spektrální intenzitu záření reálného tělesa.

$$\frac{dI}{d\lambda} = \varepsilon(\lambda) \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{\lambda k T c}} - 1)} \quad (7.6)$$

kde  $\varepsilon$  emisivita [ - ]

V této diplomové práci měla emisivita určitý vliv při použití rozdílných materiálu stínících prvků a jejich vyzařování energie do interiéru. Emisivita je odlišná u materiálů rozdílných prvků, nebo povrchové úpravy konkrétního stínícího zařízení. Příklady různých emisivit můžeme vidět v tabulce uvedené níže. [5]

Tabulka 2) Příklady emisivit materiálů [zdroj: [www.fluke.eu](http://www.fluke.eu)]

Materiál	Emisivita $\varepsilon$ [ - ]
Bílý nátěr	0,9 – 0,95
Hliník leštěný	0,05
Sklo	0,92
Dřevo smrkové	0,89

## 8. Stínící zařízení

Stínící zařízení bylo vyvinuto pro ochranu osob před oslněním a nadměrnému přehřívání interiéru. Zařízení omezuje vnikání sluneční energie do interiéru. Intenzita pronikajícího slunečního záření do interiéru může být regulována tímto zařízením.

Prvky stínění můžeme dělit z různých hledisek a vztahu ke stíněným plochám. Tyto hlediska ovlivňují celkový účinek stínění.



Obr. 6) Dělení stínících zařízení dle umístění [zdroj: archiv autora]

Dále můžeme stínící zařízení dělit dle materiálu.

- Textilní
- Dřevěné
- Kovové
- Plastové
- Speciální (bambus, ...)

V této diplomové práci jsem se zaměřil na vnitřní stínící zařízení a jejich vliv na tepelnou stabilitu v letním období. I když vnitřní stínící zařízení nemají takový účinek jako venkovní, jsou z mnoha důvodů nejpoužívanějšími.

Nejčastějším důvodem výběru těchto zařízení je jejich nízká pořizovací cena.

## 9. Počítačová simulace

Pro vytvoření výpočtového modelu stavebního objektu jsem použil následující programy: **Simulace 2010**

**Stabilita 2010**

### 9.1 Simulace

Tento program umožňuje hodnocení dynamické odezvy místnosti na tepelnou zátěž v letním období tudíž i hodnotí místnost dle požadavku tepelné stability v letním období dle ČSN 730540-2 [6].

Tímto programem jsme získali časový průběh teploty vnitřního vzduchu námi zvoleného dne.

### 9.2 Stabilita 2010

Programem Stabilita lze stanovit maximální vzestup teploty v interiéru v letním období, který byl zapříčiněn slunečními zisky působícími na hodnocenou místnost. Program vyhodnocuje a posuzuje dané objekty dle ČSN 730540-4 a STN 730540-4 [10].

Oba tyto programy byly vytvořeny doc. Ing. Zbyňkem Svobodou v letech 1994-2007 a následně byly několikrát upravovány dle nových požadavků norem.

Výsledky z těchto počítačových simulací jsou uloženy v přílohách této diplomové práce.

## 10. Tepelná zátěž a legislativa

Při návrhu a provádění staveb je nutné se řídit platnou legislativou. To znamená zákony, ale zároveň normami. Jednou ze závazných norem je tepelně technická ČSN 730540. Požadavkem této normy je tepelně technický stav vnitřního prostředí stavby při jejím užívání. Zejména splnění nároku na úsporu energie a tepelnou ochranu budov zajišťující zdravé životní podmínky a životní prostředí.

Pro návrh a kontrolu požadovaných parametrů staveb se používají ruční i softwarové výpočty. Stabilita místností se řadí k složitějším typům výpočtu, a proto je často prováděná počítačovými softvéry.

### 10.1 Metoda výpočtu tepelné zátěže

Jednou z možností výpočtů odezvy tepelné zátěže na místnost v letním období je metoda tepelné jímavosti.

**Metoda tepelné jímavosti** vychází z ČSN EN ISO 13 792, přílohy A.3 [8]. Hodnotí místnost s použitím dynamických tepelně technických vlastností obalových konstrukcí při kvazistacionárním ději. Metoda, která používá veškeré vztahy (A28) až (A54) uvedené v evropské normě, je použita i v programu Simulace. Pouze vztah (A38) byl v Simulaci doplněn o hodnotu  $\zeta$ . Tato hodnota zohledňuje různou časovou prodlevu reakce konstrukcí na tepelnou zátěž. Po dosazení do vztahu (A38) dostaneme upravený tvar:

$$\Phi_{op,t} = U^* \cdot A \cdot [(\theta_{e,(t-\varphi)} - \theta_{e,m}) \cdot F_a + \theta_{e,m} \cdot \zeta] \quad (10.1)$$

$$\zeta = \frac{\tau_z + \tau}{\Delta\tau} \quad (10.2)$$

kde

$\tau_z$	počet hodin, během kterých trvají klimatické podmínky uvažované ve výpočtu ještě před okamžikem 0, kdy se výpočet zahajuje
$\tau$	počet hodin od začátku výpočtu
$\Delta\tau$	počet hodin, které konstrukce potřebuje, aby dosáhla kvazistacionárního stavu
$\Phi_{op,t}$	tepelná zátěž prostupem tepla neprůsvitnou konstrukcí [ $\text{W/m}^2$ ]
$U$	součinitel prostupu tepla příslušné konstrukce
$A$	plocha



$\theta_{e,(t-\varphi)}$  venkovní teplota v čase  $(t-\varphi)$

$\varphi$  časový posun

$\theta_{e,m}$  průměrná denní teplota venkovní teploty

$F_a$  činitel poklesu

Výše uvedená metoda je vhodná pro hodnocení objektu s masivnějšími konstrukcemi a malou výměnou vzduchu. V našem případě, kdy jsem hodnotil objekt s lehkými obvodovými konstrukcemi, je vliv upraveného vztahu (A38) zanedbatelný.

## 10.2 Hodnocení dle ČSN 730540

Výsledky výpočtového modelu se porovnávají s požadavky normy ČSN 730540-2 [2]. Pro letní stabilitu jsou požadované hodnoty nejvyšší hodnoty vnitřního vzduchu stanoveny tabulkou 12 výše uvedené normy.

Tabulka 3) Požadované hodnoty nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti v letním období  $\theta_{ai,max,N}$  [2]

Druh budovy		Nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období $\theta_{ai,max,N}$ [°C]
Nevýrobní		27,0
Ostatní s vnitřním zdrojem tepla	-do 25 W/m <sup>3</sup>	29,5
	-nad 25W/m <sup>3</sup>	31,5

Vyhodnocení požadavků ČSN 730540-2 má smysl pouze tehdy, pokud byly ve výpočtu použity okrajové podmínky podle ČSN 730540-3.

## 11. Cíle práce

Cílem mé diplomové práce bylo zjistit, jakým způsobem lze ovlivnit tepelnou stabilitu místností na základě použití odlišných druhů stínících prvků.

### 11.1 Cíle

Jelikož je toto téma velice obsáhlé byly stanoveny pouze dva cíle:

- 1) Vytvoření přehledu maximálních denních teplot vnitřního vzduchu v závislosti na použitém materiálu, barvě a konstrukci vnitřního stínícího zařízení.
- 2) Porovnání naměřených hodnot s výsledky v programu Simulace a jejich zhodnocení.

### 11.2 Důvody volby cílů

Téma vnitřních stínících zařízení jsem si zvolil, protože letní stabilita je hodně opomíjené téma a u mnoha staveb dochází k přehřívání vnitřního prostoru. Pro zamezení tepelných zisků v letním období jsou nejčastěji používána vnitřní stínící zařízení, kterým jsem se taktéž rozhodl věnovat.

Dnešní trh nám nabízí nepřeberné množství těchto prvků. Pro pořizovatele jsou tyto prvky jednou z nejlevnějších variant jak zamezit průnik přímého slunečního záření do objektu. Lidé nejčastěji vnitřní stínící zařízení vybírají podle vzhledu prvku a cenové dostupnosti. Laik si však neuvědomuje rozdíly mezi použitými materiály, barvami stínících prvků na celkovou tepelnou stabilitu místnosti. Tento fakt nám vyplývá z předchozích teorií a zákonů popisujících odlišné chování materiálů.

Z důvodu požadovaného rozsahu diplomové práce jsem se zaměřil na porovnání dvou vnitřních stínících zařízení. Jedná se o dřevěný a kovový stínící prvek s odlišnou povrchovou úpravou ale podobným tvarem. Kovový prvek se však na základě fyzikálních zákonů uvedených v předchozích kapitolách bude chovat jako nízkoemisní sálavý prvek, a tudíž bude vnitřní prostor v letním období dohřívat. Naopak při nízkých teplotách bude prostor ochlazovat.

## **12. Metodika práce**

Tato kapitola popisuje postup získání potřebných dat pro splnění cílů mé diplomové práce a následné jejich vyhodnocení.

### **12.1 Teoretická příprava**

Pro splnění této diplomové práce bylo prvním úkolem se seznámit s danou problematikou tepelné stability objektu. Základní informace ohledně této problematiky jsem se dozvěděl ve výukových hodinách, které jsem absolvoval v předchozích ročnících studia na VUT FAST v Brně. Získané informace jsem prohloubil četbou literatury

A studiem internetových stránek týkajících se dané problematiky. Další cenné informace jsem získal od vedoucího diplomové práce během konzultací a měření na stavbě.

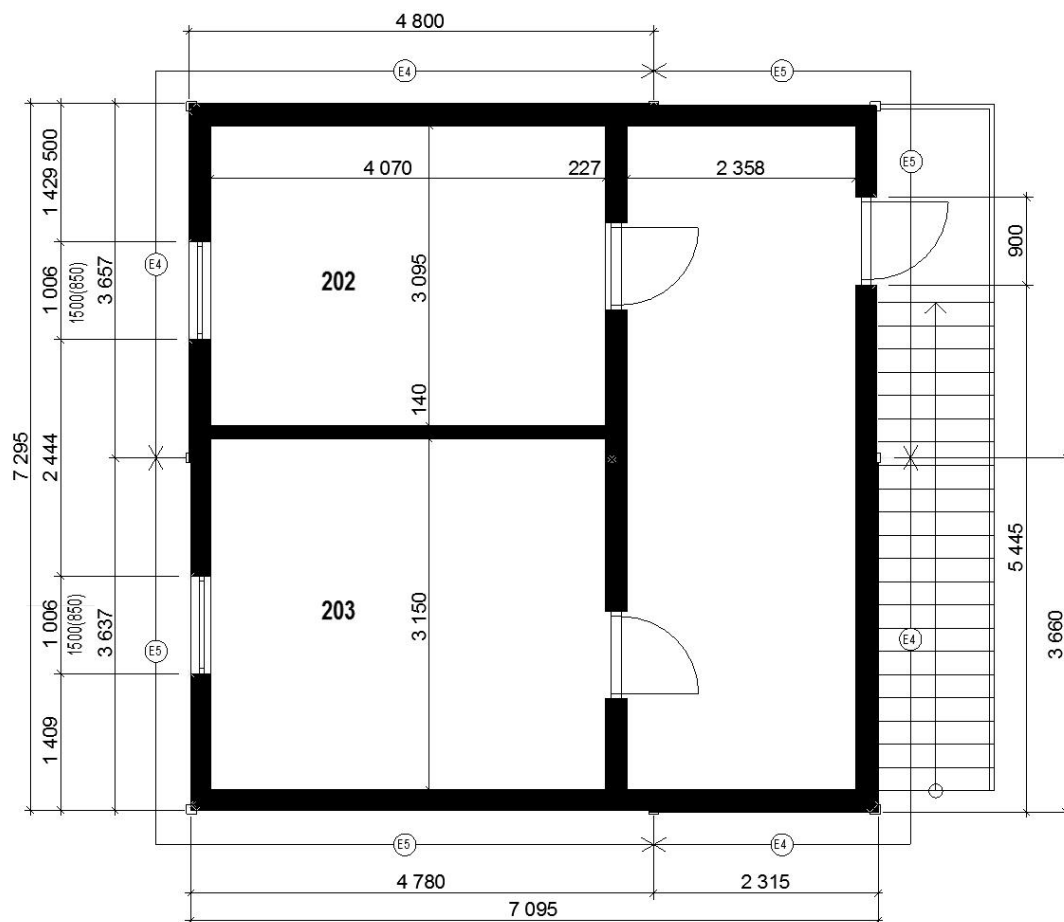
### **12.2 Programová simulace**

U počítačové simulace mé diplomové práce jsem vycházel z dvou programů od firmy Svoboda software. Jedná se o Simulaci 2010 a Stabilitu 2010. S těmito programy jsem se seznámil v předchozích ročnících na fakultě stavební, proto jsem dlouho neváhal

a použil je i pro tuto diplomovou práci. Práce s těmito programy mi byla umožněna v počítačové učebně školy.

## 12.3 Experimentální objekt

Celá měřicí část této diplomové práce byla provedena na experimentálním objektu fakulty stavební v Brně. Jedná se o malý dvoupodlažní objekt o půdorysných rozměrech cca 7 x 7 m.



Obr. 7) Schéma půdorysu experimentální dřevostavby [zdroj: archiv autora]

V každém podlaží se nachází dvě experimentální místnosti a jedna obslužná místnost. Vstup do objektu je řešen na severovýchodní straně objektu. Vstup do druhého nadzemního podlaží je zpřístupněn venkovním schodištěm.

Objekt je konstrukčně řešen jako dřevostavba. Hlavní nosnou část tvoří dřevěný systém tzv. “two by four“, který je tvořen dřevěnými profily 50 x 150 mm a OSB deskami. Celý objekt je zastřešen plochou střechou s povlakovou krytinou. Skladby jednotlivých obalových konstrukcí jsou uvedeny v přílohách mé diplomové práce.



Obr. 8) Experimentální dřevostavba [zdroj: [www.upst.cz](http://www.upst.cz)]

Pro tuto diplomovou práci bylo využito experimentálních prostorů dvou místností v druhém nadzemním podlaží. Toto patro je difuzně otevřeno na rozdíl od 1NP.

Kromě mé diplomové práce se na tomto objektu prováděly a budou provádět různé diplomové a disertační práce zaměřené hlavně na stavebně fyzikální problematiku (vlhkostní problémy, akustika, nedostatky ve vzduchotěsnosti dřevostaveb nebo tepelná stabilita dřevostavby, kterou se zabývá i má diplomová práce).

## 12.4 Kalibrace, Ověřovací měření

Před samotným měřením bylo provedeno ověřovací měření místností experimentální dřevostavby a kalibrace čidel. Výsledky daných měření musely vypovídat, že daná čidla se chovají stejně a vlastnosti obou posuzovaných místností jsou totožné.

### **12.4.1 Kalibrace**

Z důvodu ověření odchylek teplotních čidel použitých při měření této diplomové práce byla provedena kalibrace čidel. Nejednalo se o kalibraci provedenou v atestovaných zkušebnách, ale o orientační ověřovací měření provedeno svépomocně. Průběh zkoušky čidel byl následovný:

- 1) Vložení všech později používaných teplotních čidel do kuchyňského hrnce.
- 2) Umístění čidel tak, aby nedocházelo ke kontaktu s nádobou.
- 3) Zalití čidel vroucí vodou.
- 4) Kontrola čidel a jejich ukotvení proti zamezení samovolného pohybu během chladnutí vody v nádobě.
- 5) Chladnutí vody
- 6) Vyhodnocení průběhu teploty chladnutí vody na jednotlivých čidlech

### **12.4.1 Ověřovací měření**

Další nedílnou součástí před samotným měřením vlivu žaluzií na tepelnou stabilitu místností bylo provedení jednoho ověřovacího měření na experimentálním objektu. Měření bylo provedeno v obou místnostech experimentální stavby popsané v předchozí kapitole. Cílem tohoto měření bylo zjistit, jsou-li vlastnosti obou místností přibližně stejné a nedochází k velkým teplotním odchylkám mezi místnostmi.

V každé místnosti bylo ve volném prostoru osazeno jedno teplotní čidlo, které odečítalo co 15 minut hodnotu vnitřní teploty. Teplotní čidla byla umístěna do papírového obalu pro zamezení zahřívání přímou sluneční energií a sálavou energií z okolních ploch.

Toto měření bylo provedeno od 3. 9. 2012 do 4. 9. 2012.



*Obr. 9) Teplotní čidlo v prostoru místnosti – ověřovací měření [zdroj: archiv autora]*

## **12.5 Měření se zastiňovacími prvky**

Kompletní měření vlivu vnitřních stínících zařízení na tepelnou stabilitu místnosti bylo provedeno na jednom objektu, a to na experimentální dřevostavbě (viz kapitola 12.3). Toto měření bylo provedeno v přechodném období léta a podzimu.

Měřilo se od 24. 9. 2012 do 7. 10. 2012. Pro získání potřebných dat bylo použito obou experimentálních místností v prvním nadzemním podlaží dřevostavby. V jedné místnosti byla použita dřevěná žaluzie světlé barvy a v druhé klasická hliníková žaluzie barvy bílé.

### **12.5.1 Měření s kovovou žaluzií**

Jednou z použitých žaluzií, která byla použita v této diplomové práci, byla žaluzie kovová. Jedná se o stínící prvek s horizontálními hliníkovými lamelami. Lamely byly v našem případě nakloněny pod určitým úhlem tak, aby byla dosažena stejná světelná propustnost v obou testovacích místnostech. Stínící prvek byl po celou dobu měření

v poloze zatažené. Kovová žaluzie, stejně tak jako dřevěná ve vedlejší místnosti, byla ukotvena do nadpraží okenního otvoru z interiérové strany.

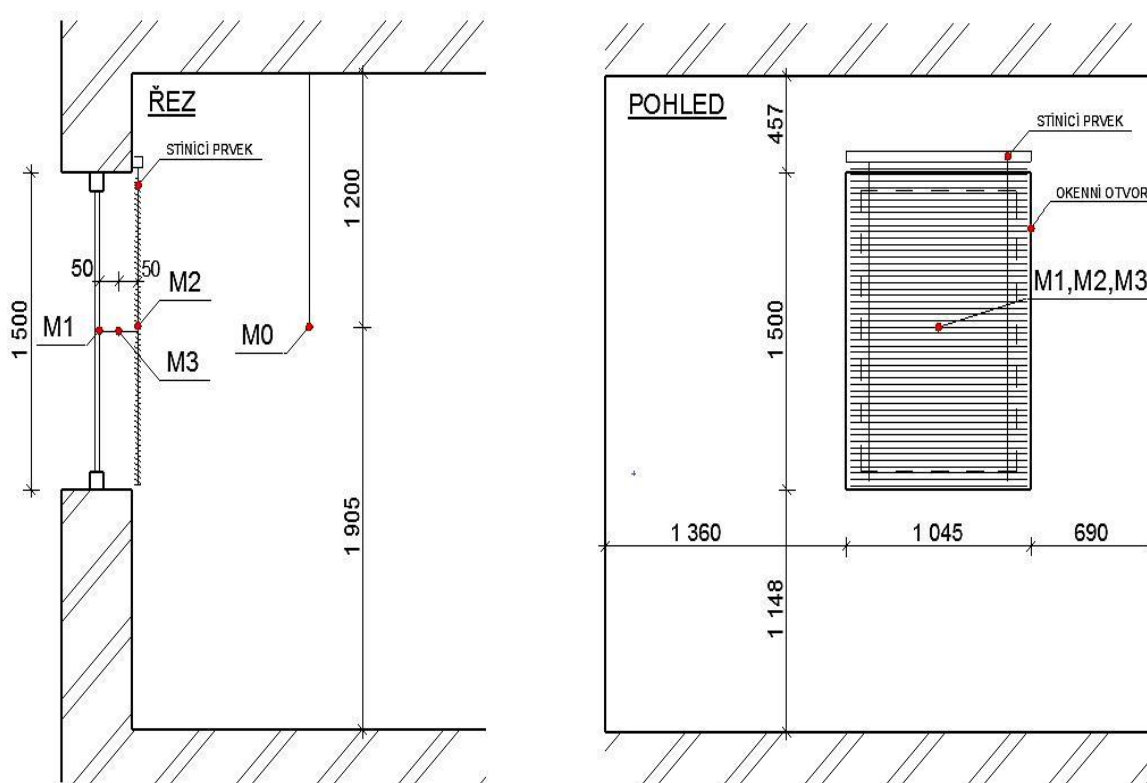
Velikost stínicího prvku odpovídala rozměru okenního otvoru (1 000 × 1 500 mm). Kovová žaluzie byla umístěna v místnosti č. 202 orientované na západní straně objektu.

Po namontování stínících prvků následovalo osazení měřicích čidel, které zaznamenávaly průběh teploty na určitých místech. K získání průběhu teplot bylo v každé místnosti použito čtyř teplotních čidel.

Osazení čidel bylo následující:

- Čidlo M0 - prostor místnosti, 1m před stínícím prvkem, výška odpovídající středu okenního otvoru = 1,2 m pod stropní konstrukcí
- Čidlo M1 - kontakt se skelnou výplní okenního otvoru, střed okenní výplně
- Čidlo M2 – lamela stínicího prvku z externí strany, výška odpovídající středu okenního otvoru
- Čidlo M3 – meziprostor skelní výplně a stínicího prvku

Osazení čidel je znázorněno na obrázku č. 10.



Obr. 10) Schémata osazení čidel [zdroj: archiv autora]



Umístění teplotních čidel bylo předem promyšleno a osazeno na tyto místa z těchto důvodů:

- Průběh vnitřní teploty vzduchu v místnosti = čidlo M0
- Kolísání teploty na skle = teplotní čidlo M1
- Zjištění samotné teploty na jednotlivých žaluziích = čidlo M2
- Vliv sálání a odrazivosti energie od žaluzie, ohřátí vzduchové mezery = M3



*Obr. 11) Osazení čidel [zdroj: archiv autora]*

### 12.5.2 Měření s dřevěnou žaluzií

V druhé místnosti č. 203 byla použita žaluzie dřevěná. Osazení a umístění čidel na tomto stínícím zařízení bylo totožné jako u žaluzie kovové v místnosti č. 202. Tato čidla byly napojeny na dva datalogery. Pro každou místnost jeden. Jednalo se o datalogery popsány v kapitole 12.6.

Pro přesný časový průběh teploty v obou místnostech a jednodušší vyhodnocení dat bylo měření odstartováno sepnutím obou datalogerů současně.

## 12.6 Použitá měřící technika

Pro měření průběhu teplot bylo v této diplomové práci použito přístroje ALMEMO 2590 – 4S. Jedná se o univerzální dataloger pro měření teploty, vlhkosti, proudění vzduchu a jiných veličin. Dataloger umožňuje rychlé a přesné měření dat pomocí až čtyř vstupů. U daného přístroje byla tato možnost zapojení čtyř čidel velkým plusem. Přístroj je vybaven LCD displejem a klávesnicí pro snadnou ovladatelnost. Dataloger je vybaven dvěma výstupními zásuvkami pro analogový, digitální nebo trigger-výstup. Zařízení je možno mezi sebou propojovat a vytvořit tak síť přístrojů. Tuto možnost jsme však nevyužili [12].



Obr. 12) Dataloger ALMEMO 2590 – 4S [12]

Výstupní data byla stažena z přístroje v tabulkové podobě a dále zpracována v programu Microsoft Excel do výsledné podoby grafů.

Dalšími neméně důležitými měřícími pomůckami bylo měřící pásmo pro zaměření skutečných rozměrů objektu a samozřejmě počítač pro vyhodnocení všech naměřených dat a zpracování do elektronické podoby.

Jelikož v době zpracování měření k diplomové práci nebylo možno zapůjčit jasovou kameru ani luxmetr pro zajištění shodných podmínek slunečních zisků v obou místnostech, nastavil jsem žaluzie do polohy, kde vykazovaly stejnou propustnost slunečního záření (úhel žaluzie byl přibližně mezi 40° až 50°). Množství intenzity prostupujícího záření jsem ověřil pomocí digitálního fotoaparátu.

Ověření shodného nastavení proběhlo následujícím způsobem:

- 1) V první místnosti bylo provedeno měření intenzity prostupujícího slunečního záření pomocí expozimetru fotoaparátu. Nastaveno bylo měření intenzity pro střed a okolí v plném manuálním režimu, což odpovídalo v hledáčku pokrytí celého stínícího prvku.
- 2) Měření probíhalo vždy ve výšce 160 cm nad podlahou v místě vstupu do místnosti.
- 3) Na fotoaparátu byla nastavena clona na hodnotu ISO 400 tak, aby se rychlost závěrky pohybovala okolo hodnoty 1/60 s.
- 4) Nastavení fotoaparátu bylo ponecháno a bylo provedeno měření v druhé místnosti.
- 5) Žaluzie byly nastaveny tak, aby expozimetr fotoaparátu vykazoval také hodnotu 1/60 s.
- 6) Provedení kontroly nastavení žaluzií.
- 7) Kontrola nastavení žaluzií v první místnosti.

Použití výše uvedené techniky nám umožnilo získat výsledky z jednotlivých měření a výpočtových modelů.

## **13. Dílčí výsledky diplomové práce**

Výstupem každé dílčí části diplomové práce bylo množství dat, které bylo zpracováno počítačovou technikou do výsledných podob grafů, které jsou uvedeny v následujících kapitolách.

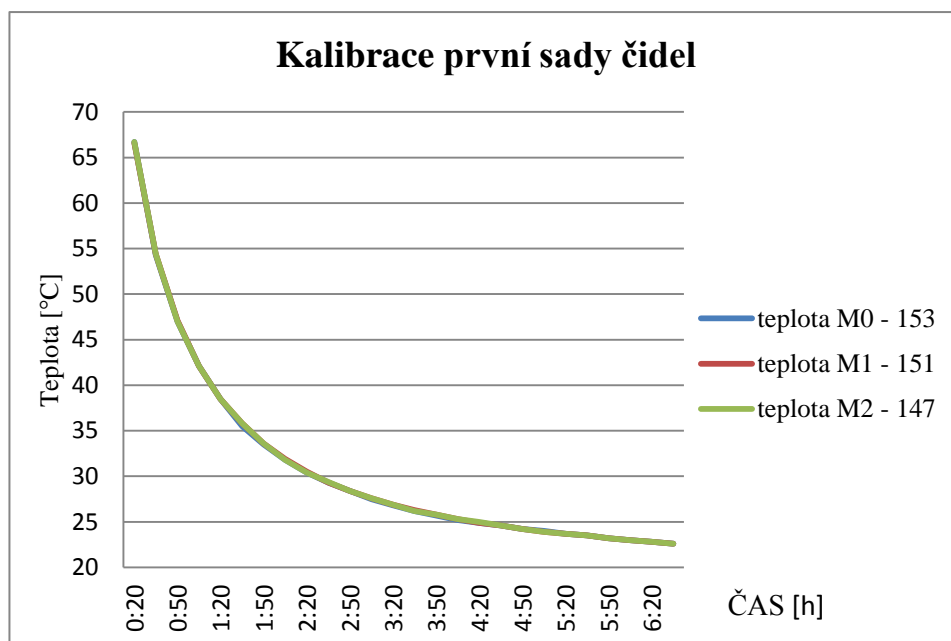
### **13.1 Kalibrace a ověřovací měření**

Jedním z prvních úkolů, pro možnost pokračování v dalších měřeních, bylo vyhodnocení dat z kalibrace čidel a ověřovacího měření.

#### **13.1.1 Kalibrace**

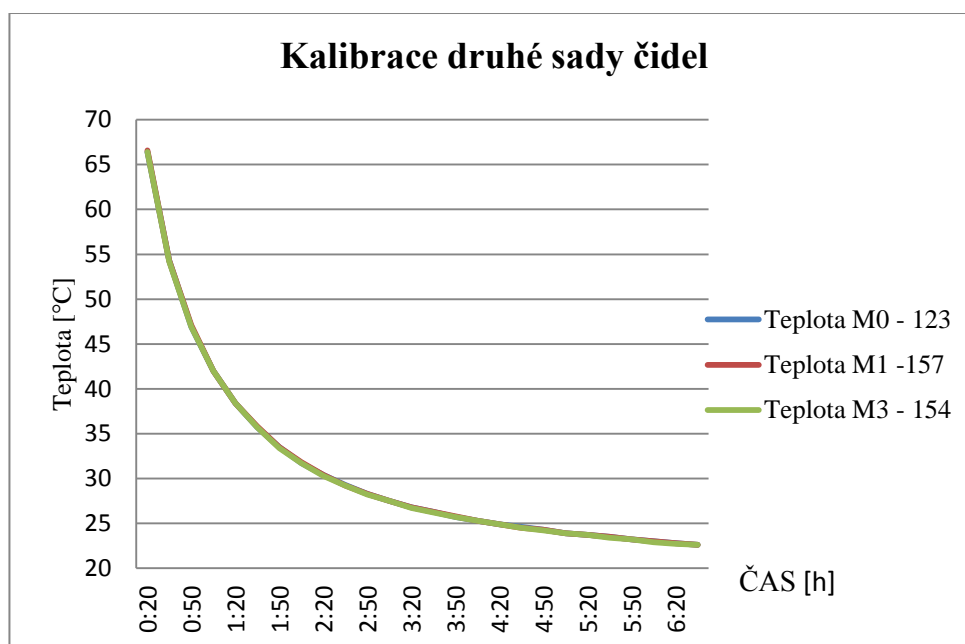
Vyhodnocení dat z kalibrace čidel nám ukázalo příznivé výsledky, které nám umožnily pokračovat v dalším měření.

U první sady čidel byla maximální odchylka u čidla číslo 153, která činila  $0,3^{\circ}\text{C}$ . Tato odchylka vznikla při teplotě  $35,5^{\circ}\text{C}$ . V grafu uvedeném níže můžeme vidět překrývající se křivky chladnutí vody změřené kalibrovanými čidly.



Graf 1) Kalibrace čidel datalogeru č. 879 [zdroj: archiv autora]

U druhé sady čidel měřené datalogerem č. 878 čidla vykazovala největší odchylku mezi sebou 0,1-0,2 °C.

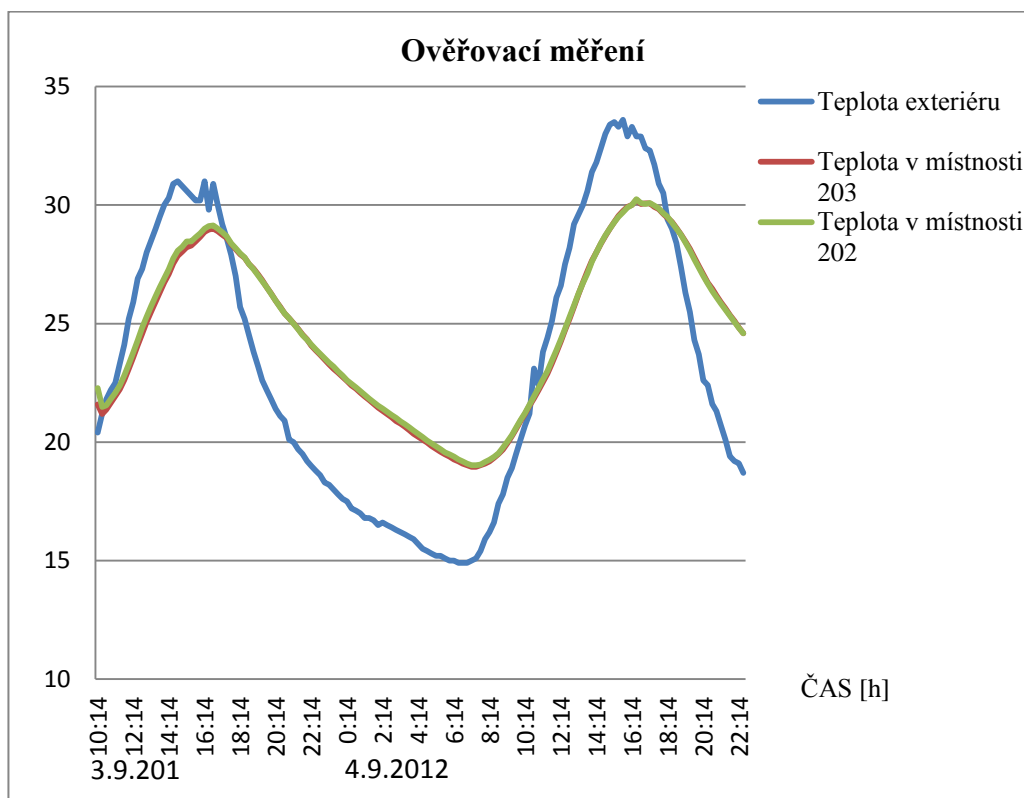


Graf 2) Kalibrace čidel datalogeru č. 878 [zdroj: archiv autora]

Po provedení rozboru těchto dat jsem usoudil, že čidla jsou v pořádku a vhodná pro následné využití v této diplomové práci. Sady čidel jsou rozděleny do dvou grafů, ale ve spojení se překrývají. Odchyly se pohybovaly v přijatelném rozmezí, které neměly velký vliv na vypracování a vyhodnocení této diplomové práce.

### 13.1.2 Ověřovací měření

Ověřovací měření, které bylo provedeno před samotným hlavním měřením mé diplomové práce, nevykazovalo žádné radikální rozdíly mezi posuzovanými místnostmi. Jak už bylo v předchozích kapitolách uvedeno, cílem tohoto měření bylo zjistit rozdíl průběhu teplot a chování místnosti v letním období.



Graf 3) Ověřovací měření [zdroj: archiv autora]

Odchyly průběhu vnitřní teploty v jednotlivých místnostech byly minimální. Tento výsledek byl tak trochu očekávaný na základě mnoha stejných parametrů posuzovaných místností. Jednou z příčin eliminace rozdílných vlastností místností byla podobná skladba obvodového pláště místností. Tepelné zisky z vnějšího prostředí byly v těchto skladbách částečně omezeny provětrávanou fasádou.

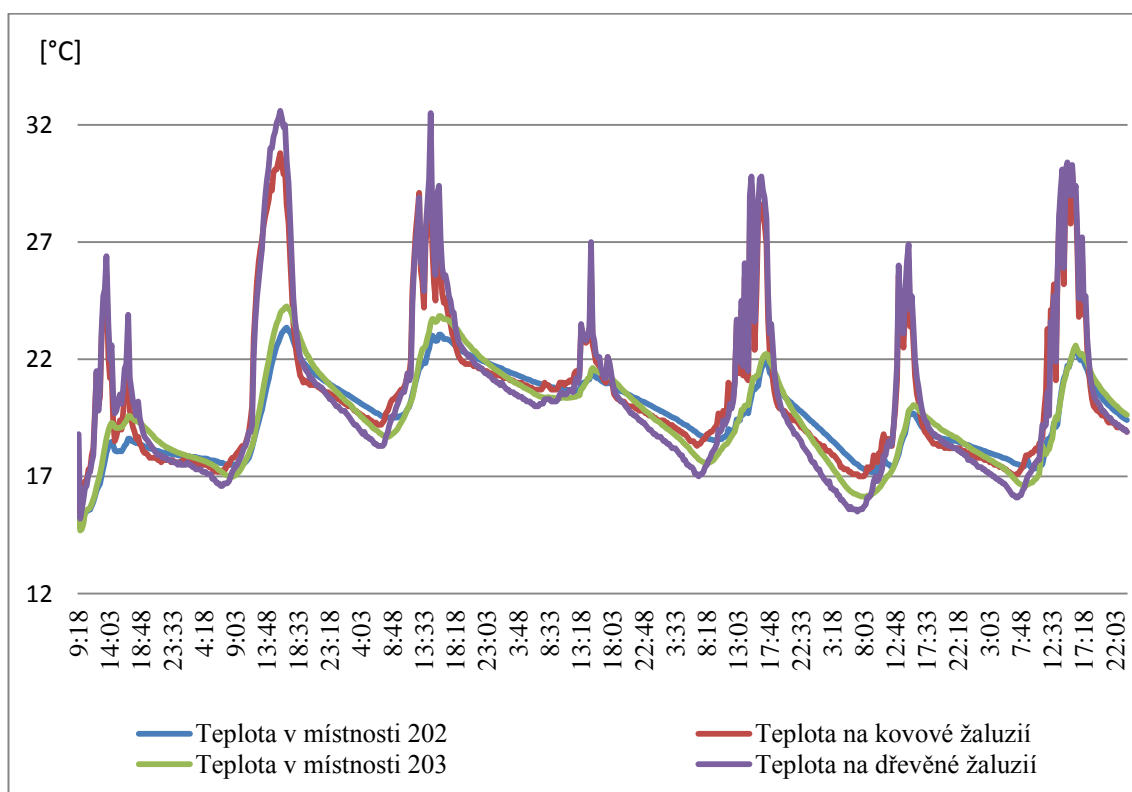
Jediným možným parametrem, který by mohl ovlivnit tepelnou rovnováhu místnosti, je odlišná orientace ke světovým stranám a její vliv na množství teplotních zisků v místnostech. Ale ani tento aspekt neměl vliv na průběh teploty v posuzovaných místnostech dřevostavby.

Z naměřených hodnot průběhu teplot v obou místnostech, které můžeme vidět v grafu č. 3, jsem vyhodnotil, že dané posuzované místnosti mají velice podobné vlastnosti. Toto jsem usoudil na základě stejného průběhu teplot v obou místnostech.

Na základě pozitivních výsledků ověřovacího měření bylo s odstupem času zahájeno hlavní měření vlivu vnitřních stínících zařízení na tepelnou stabilitu objektu.

### 13.2 Celkové výsledné měření

Výstupem hlavního měření vlivu vnitřních žaluzií na tepelnou stabilitu v objektu byl graf průběhu teplot na zvolených místech. Výstupní data byla pro přehlednost zúžená na časový interval odpovídající výskytu největší teploty v místnostech. Celkové měření bylo provedeno od 24. 9. 2012 do 7. 10. 2012. V grafu číslo 4) můžeme vidět průběh vybraných teplot v zúženém intervalu 7 dnů.

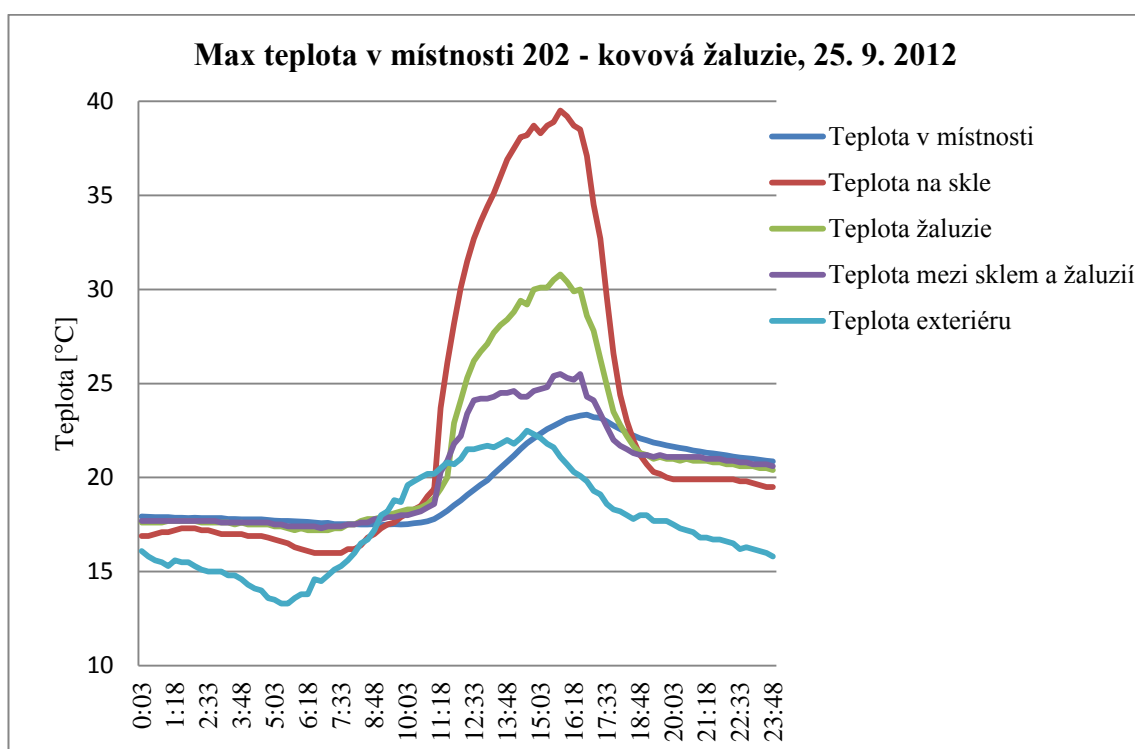


Graf 4) Celkový graf průběhu teplot v místnostech [zdroj: archiv autora]

Pro podrobnější analýzu a vymodelování průběhu teplot v programu Simulace jsem se zaměřil na den s největším vzestupem teploty vnitřního vzduchu z celého měřeného období. Tímto dnem bylo 25. září. V následujících kapitolách se budu proto věnovat převážně tomuto dnu.

### 13.3 Měření s kovovou žaluzií

V místnosti č. 202, opatřené kovovým stínícím zařízením, která byla orientovaná na severozápadní straně objektu, byl naměřen následující průběh teplot.



*Graf 5) Maximální teplota v místnosti 202, dne 25. 9. 2012 + teplota exteriéru*

*[zdroj: archiv autora]*

Teplota interiérového vzduchu vystoupala v nejteplejším dnu měření na hodnotu 23,4°C.

Nejvyšší teplotu však vykazoval povrch skelné výplně okenního otvoru. Vysoká hodnota na skle byla zapříčiněna přímým kontaktem s externím prostředím. Skelná výplň se zahřála a část sluneční energie se absorbovala do skelných tabulí.

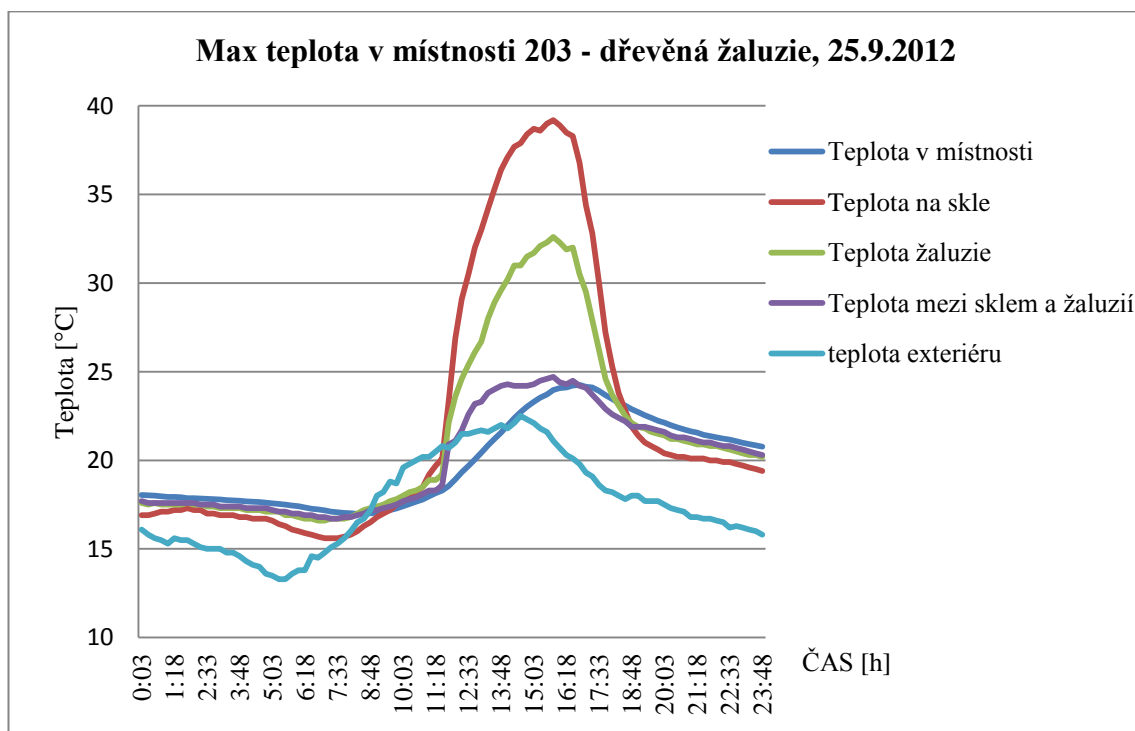
O několik stupňů méně vykazoval povrch kovové žaluzie. Zahřátí konstrukce žaluzie bylo zapříčiněno taktéž množstvím energie pohlcené materiálem.



Veškerá energie se však nepohltila tímto stínícím zařízením a prošla do interiéru objektu. Tato část energie je vyjádřena součinitelem propustnosti stínícího prvku uvedena v ČSN 13363-1 [9]. Další části energie ovlivňující průběh teploty je množství energie, která se odrazila od stínícího zařízení. Množství odražené sluneční energie vyjádřené parametrem odrazivosti mělo taktéž vliv na teplotu v meziprostoru skla a stínícího prvku. Energie odražená od žaluzie a sálána z povrchu skla a žaluzie zapříčinila vzrůst teploty v tomto meziprostoru. Akumulace vyššího tepla v meziprostoru než ve vzduchu interiéru místnosti byla taktéž zapříčiněna nedostatečnou cirkulací vzduchu.

### 13.4 Měření s dřevěnou žaluzií

Výsledky měření s dřevěnou žaluzií v místnosti č. 203 byly velice podobné. U tohoto měření byla zjištěna maximální teplota vnitřního vzduchu a celkový průběh teplot byl o něco vyšší než u měření s žaluzií kovovou. Rozdíl v naměřených hodnotách nebyl ale tak markantní.



Graf 6) Maximální teplota v místnosti 203 dne 25. 9. 2012 + teplota exteriéru

[zdroj: archiv autora]

Maximální naměřená hodnota vnitřního vzduchu byla 24,3 °C, tím pádem rozdíl se sousední místností činil 0,9 °C.

Celkově průběh teplot v jednotlivých zkoumaných místech byl velice podobný průběhu teplot u žaluzie kovové.

Odlišnost teplot mohla být zapříčiněna různými faktory. Jedním z nich mohla být odlišnost použitých materiálů. Tím pádem se liší i množství odražené a pohlcené energie, která danou žaluzií ohřívá. Dalším parametrem je emisivita jednotlivých povrchových úprav a materiálu použitých na experimentálním objektu.

Veškeré tyto zákonitosti jsou podrobněji popsány v kapitole 7.

Hodnoty, které nejsou uvedeny v této textové části mé diplomové práce, avšak byly naměřeny na experimentálním objektu, jsou uvedeny v přílohách této práce.

### **13.5 Výstupy z programu Simulace**

Na základě provedeného měření na dřevostavbě byl zhotoven výpočtový model experimentálního objektu v simulačním programu. Použitým programem byla Simulace od doc. Zbyňka Svobody, viz kapitola 9.1.

Experimentální objekt byl vymodelován dle skutečných parametrů objektu. Obalové konstrukce místnosti byly do programu přesně zadány dle skutečných rozměrů a skladeb.

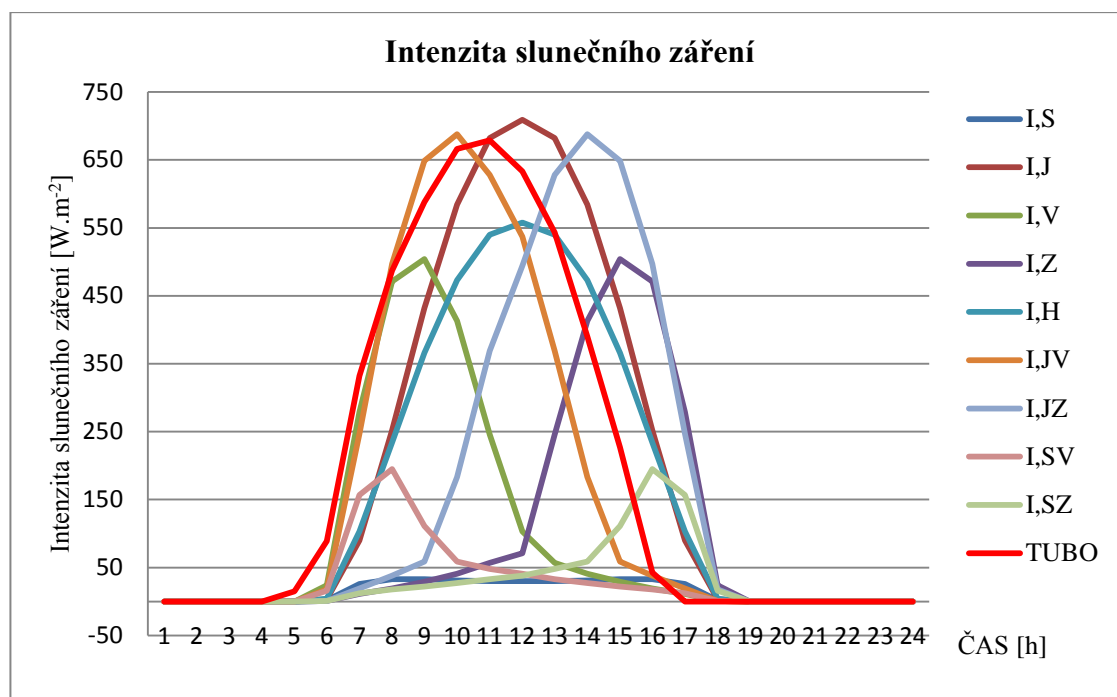
Nedílnou součástí potřebných dat pro vyhodnocení modelovaného příkladu byla intenzita slunečního záření a teploty vnějšího vzduchu.

Průběh teploty vnějšího vzduchu, který jsem získal z meteorologické stanice TUBO, byl přímo nastaven do tabulky programu.

Intenzitu slunečního záření jsem na základě nedostačujících parametrů nechal vypočítat programem. Tyto hodnoty intenzity slunečního záření dopadající na jednotlivě orientované plochy byly pouze přizpůsobeny dle parametrů umístění objektu a hodnotícího dne. Důvod nedostačujících naměřených hodnot intenzity slunečního záření byl následující. Meteorologická stanice mi poskytla pouze globální intenzitu slunečního záření, ale Simulace vyžadovala intenzitu na jednotlivě orientované plochy.

V grafu číslo 7. můžeme vidět křivky intenzit slunečních záření působící na jednotlivě orientované plochy a globální intenzitu převzatou ze stanice Tubo.

Tato varianta byla nakonec zvolena pro téměř identickou pozici vrcholu globální intenzity slunečního záření a maximální intenzity působící na jižní stranu objektu.



Graf 7) Intenzity slunečního záření dosažené do Simulace [zdroj: archiv autora]

Pro vytvoření výpočtového modelu v programu simulace byly nejen potřebné hodnoty intenzity slunečního záření, ale taktéž násobek výměny vzduchu v místnosti za jednotku času.

### 13.5.1 Úprava hodnoty výměny vzduchu

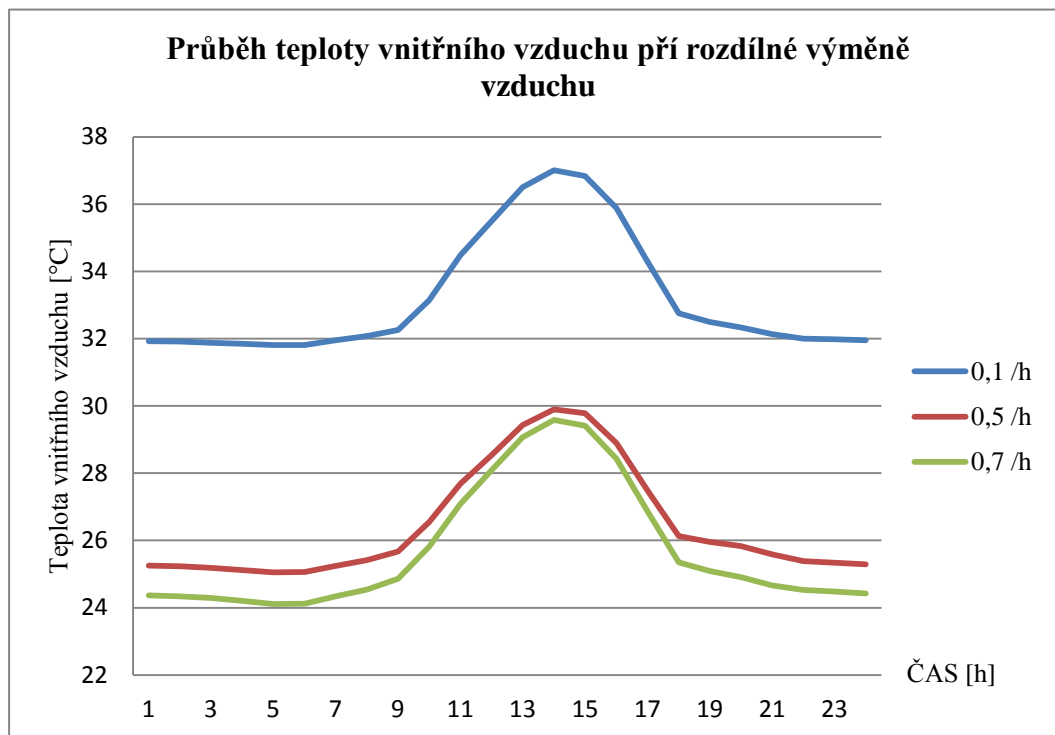
U matematického modelu objektu byly testovány různé varianty výměny vzduchu v místnosti.

Jelikož jsem neměl možnost zjistit násobek výměny vzduchu, byla tato hodnota odhadována a výsledný průběh teploty v místnosti byl tímto způsobem poupraven.

Experimentální objekt v průběhu celého měření nebyl větrán. Výměna vzduchu byla pouze netěsnostmi v obalových konstrukcích a v místě dveřního prahu. Z tohoto důvodu byl průběh výměny vzduchu přirozeným větráním stanoven jako konstantní hodnota v celém časovém intervalu.

Násobky výměny vzduchu byly voleny jako 0,1; 0,5 a 0,7.

Po dosazení odhadovaných hodnot výměny vzduchu do programové simulace jsem získal následující průběhy vnitřních teplot vzduchu.



Graf 8) Průběh teplot v místnosti při různých výměnách vzduchu

[zdroj: archiv autora]

V grafu si povšimneme enormního vzrůstu vnitřní teploty vzduchu při nejnižší volené hodnotě násobku výměny objemu vnitřního vzduchu  $n = 0,1$ .

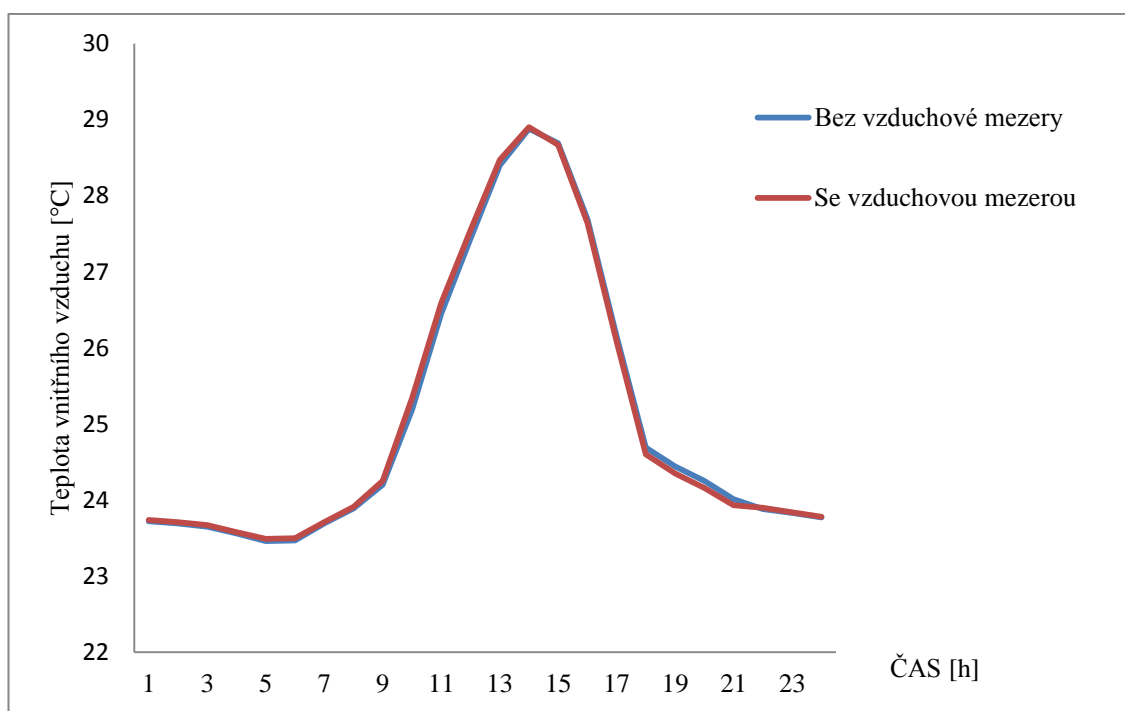
Konečná hodnota výměny vzduchu, která byla dosazována do výpočtového modelu, byla volena jako 0,7/h.

### 13.5.2 Možnosti zadávání skladeb obvodových konstrukcí

U modelovaného objektu jsem narazil na dvě varianty zadávání provětrávané mezery v obvodovém plášti.

- Prvním způsobem bylo klasické zadání všech vrstev obvodového pláště včetně provětrávané mezery a dřevěného obkladu.
- Jednodušší druhou variantou bylo zadat obvodovou konstrukci bez provětrávané mezery ale odlišnou intenzitou slunečního záření působící na tuto konstrukci. Intenzita v celém časovém intervalu a orientacích ke světovým stranám byla u těchto konstrukcí nastavena jako nulová. Průběh venkovní teploty byl však ponechán stejný.

Průběh vnitřní teploty místnosti při různých variantách zadání obvodových konstrukcí můžeme vidět v grafu č. 9.



*Graf 9) Průběh teploty vzduchu při odlišném zadávání obalových konstrukcí místnosti*

*[zdroj: archiv autora]*

Z grafu jde vidět, že obě křivky průběhu teplot se téměř překrývají. Rozdíly mezi těmito hodnotami teplot vnitřního vzduchu byly minimální.

Závěrem této úvahy je usnadnění práce se zadáváním skladeb konstrukcí do simulačních programů. Při použití druhé metody s nulovou intenzitou slunečního záření ušetříme čas se zadáváním přesných parametrů vzduchové mezery, protože tuto mezeru nemusíme vůbec uvádět. Další výhodou je odstranění zadávání veškerých vrstev od vzduchové mezery směrem k exteriéru.

### 13.5.3 Zhodnocení výstup ze Simulace

Do programu Simulace byly zadány všechny okrajové parametry.

Skladby a rozměry jednotlivých konstrukcí experimentální dřevostavby byly do programu dosazeny až po ověření jejich správnosti. Totožnost skutečných skladeb a uvedených v projektové dokumentaci stavby jsem si ověřil osobně na stavbě a konzultací s vedoucím diplomové práce.

U objektu nebyl uvažován jakýkoliv vnitřní zdroj tepla.

Průsvitné konstrukce se zastíňovacím zařízením jsem nastavil následovně:

- Skladebný rozměr okna  $1,57 \text{ m}^2$
- Součinitel prostupu tepla uvedený výrobcem  $U = 1,3 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$
- Činitele odrazu přímého slunečního záření na osluněné a odvrácené straně jsem volil 0,2.

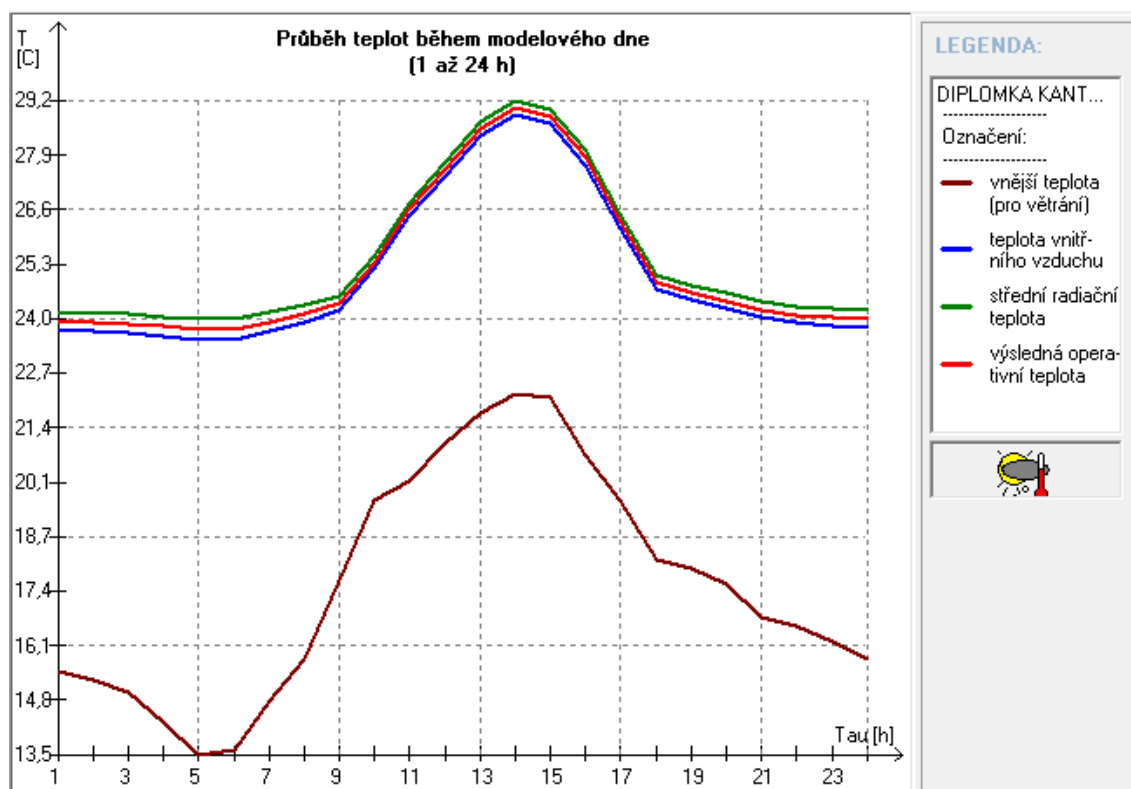
Pak výsledné parametry charakterizující průsvitnou konstrukcí byly:

- Celková propustnost slunečního záření  $g = 0,35$
- Činitel prostupu slunečního záření  $\tau_E = 0$

Po dosažení veškerých okrajových hodnot do programu jsem získal výstup v podobě protokolu a grafu, který můžete vidět níže. Jedná se o 25. září.

Simulace konkrétního dne pro místnost č. 203 byla vymodelována ve dvou variantách.

První variantou byla simulace místností *se stínícím zařízením*.

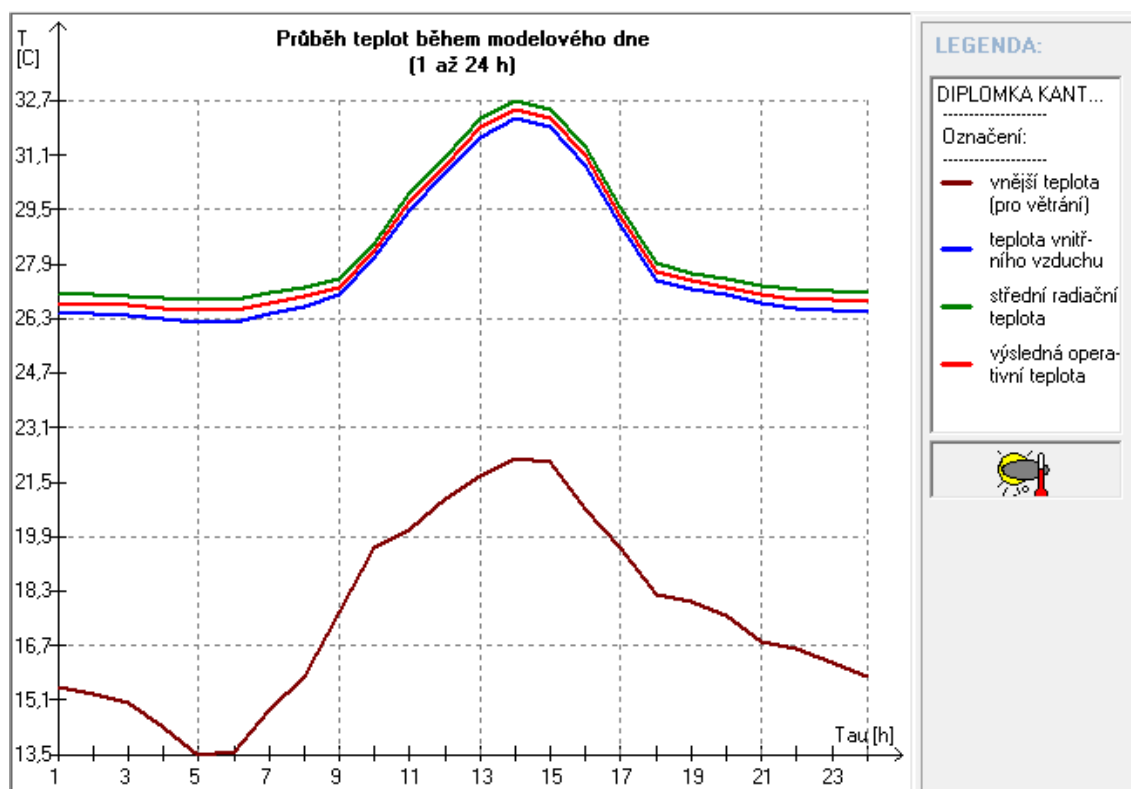


Graf 10) Průběh teploty během modelovaného dne 25. 9. 2012 s žaluzií

[zdroj: archiv autora]

Tato varianta výpočtového modelu vykazovala největší hodnotu vnitřního vzduchu 28,9 °C. Nebyla proto dosažena normová hodnota nejnižší teploty vnitřního vzduchu  $\theta_{ai,max,N}$  dle [2].

Druhou variantou výpočtového modelu byla průsvitná konstrukce *bez stínícího zařízení*. Výsledky této situace vyšly dle očekávání hůř než s použitím vnitřního stínícího zařízení. Hodnota vnitřní teploty vzduchu vystoupala v tomto případě na 32,2 °C. Průběh celé teploty je znázorněn v grafu č. 11.

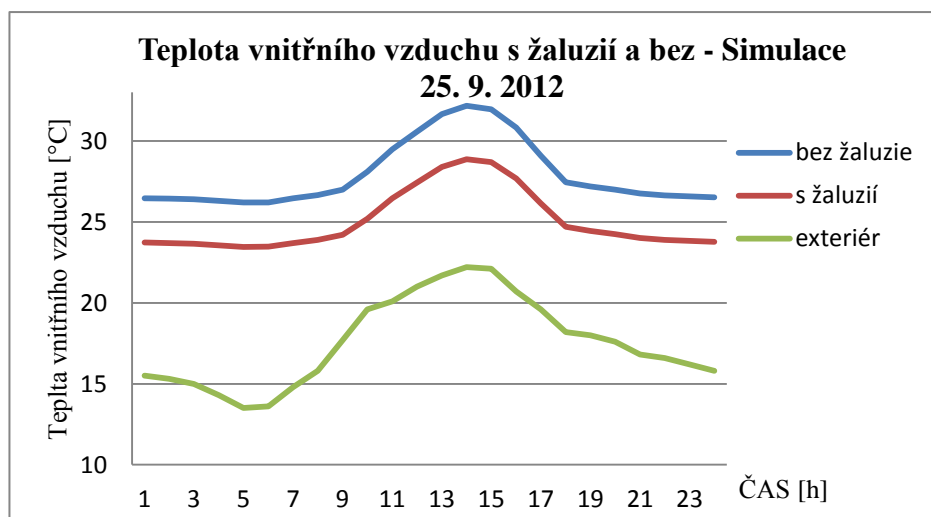


Graf 11) Průběh teploty během modelovaného dne 25. 9. 2012, **bez žaluzie**

[zdroj: archiv autora]

Rozdíl mezi modelovanou situací bez vnitřního stínícího zařízení a s žaluzií byl následovný. Maximální teplota vnitřního vzduchu u modelu s žaluzií byla o 3,3°C menší než v druhém případě.





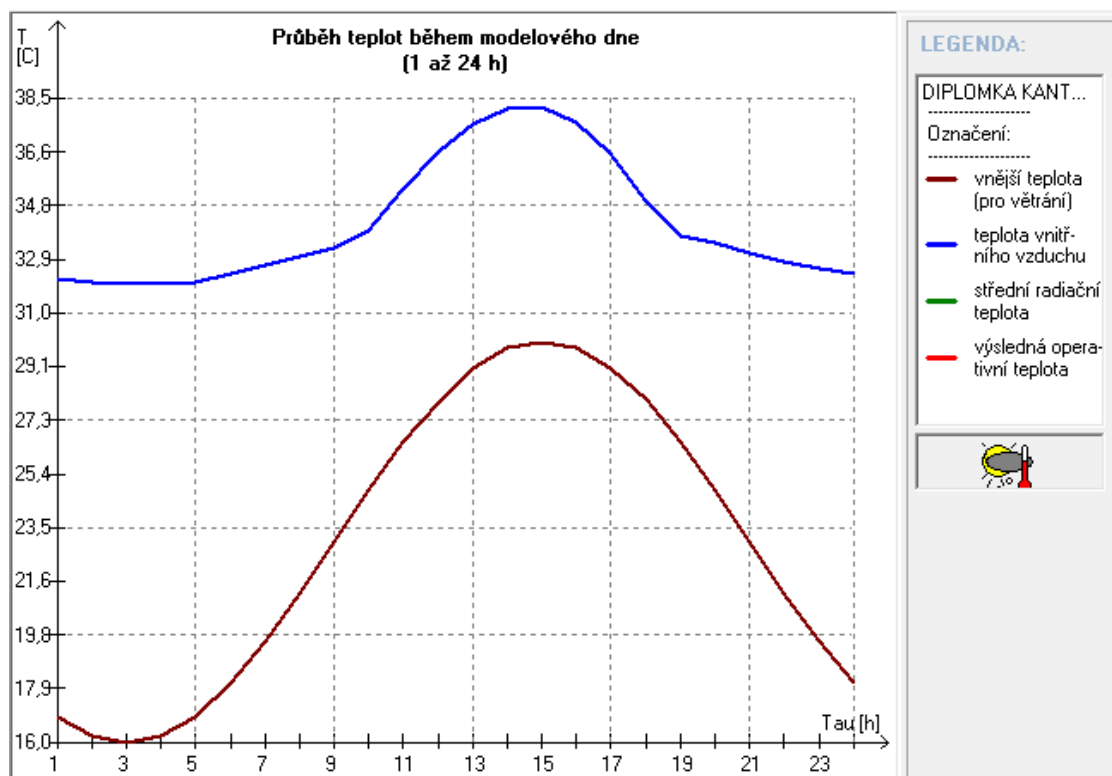
Graf 12) Teplota vnitřního vzduchu s žaluzií a bez – Simulace [zdroj: archiv autora]

### Simulace 21. 8.

Posledním výpočtovým modelem byla vytvořena simulace nejkritičtějšího letního dne. Tento den nastává dle ČSN 730540-3 21. srpna. [13]

Model byl vytvořen pro ověření rozdílu mezi měřeným obdobím a nejkritičtějším dnem pro letní stabilitu místností.

Výsledný průběh teploty vnitřního vzduchu vysoce překročil požadovanou maximální teplotu stanovenou normou. Tato hodnota se vyšplhala na 38,2 °C.



Graf 13) Průběh teplot ze Simulace pro 21. srpna [zdroj: archiv autora]

## 14. Naplnění cílů

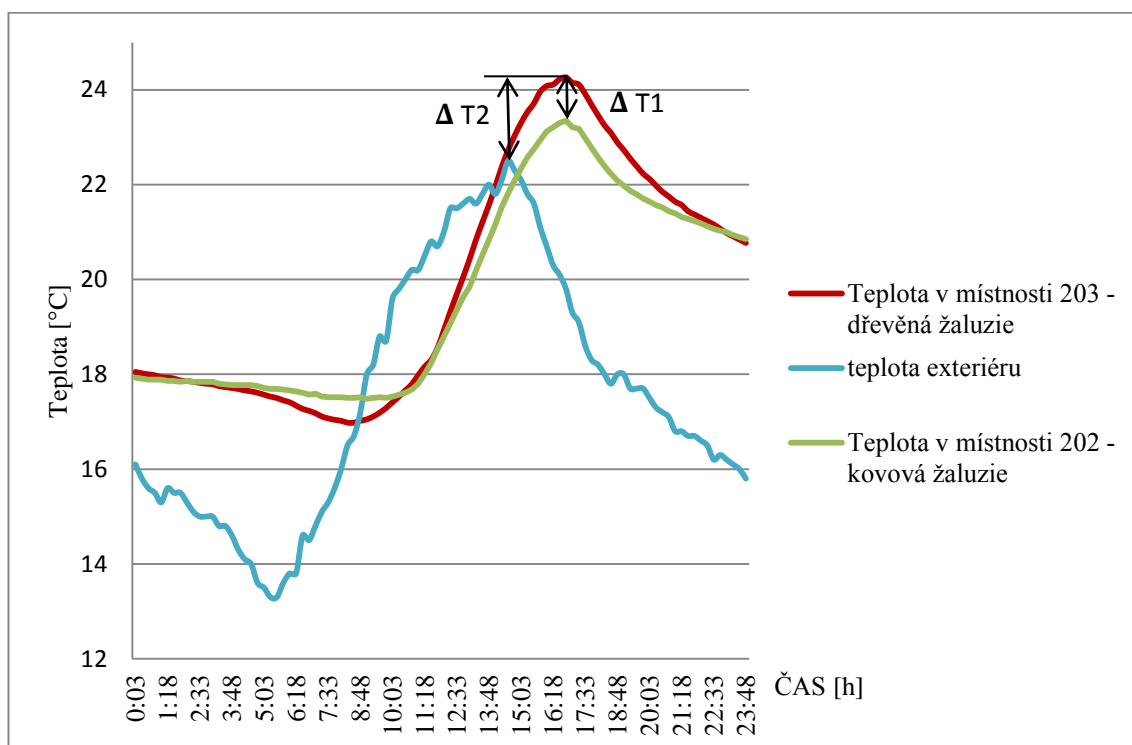
V první části této diplomové práce jsem se věnoval vlivu použitého druhu stínicího zařízení na tepelnou stabilitu v místnosti.

### 14.1 Analýza vlivu zastínění na tepelnou stabilitu

Na dnešním trhu je neomezené množství materiálu a barevných tónů vnitřních stínicích zařízení, z kterých si člověk může vybrat. Já jsem měl k dispozici porovnat chování dvou žaluzií podobných odstínů ale jiného materiálového provedení. Jednalo se o dřevěnou a kovovou žaluzii.

Po vyhodnocení dat z měření se ukázalo, že rozdíly průběhů teplot v obou místnostech nebyly příliš velké. Rozdíl  $\Delta T_1$  mezi teplotami v místnostech v době maximální hodnoty činil 1,0 °C. Otázkou teď zůstává, zdali teplotní rozdíl mezi místnostmi byl zapříčiněn rozdílnými stínicími prvky, nebo došlo k odchylce vlivem jiných aspektů.

V grafu číslo 14. vidíme jak rozdíl teplot  $\Delta T_1$  vnitřních vzduchů tak fázový posun teploty exteriéru a interiéru.

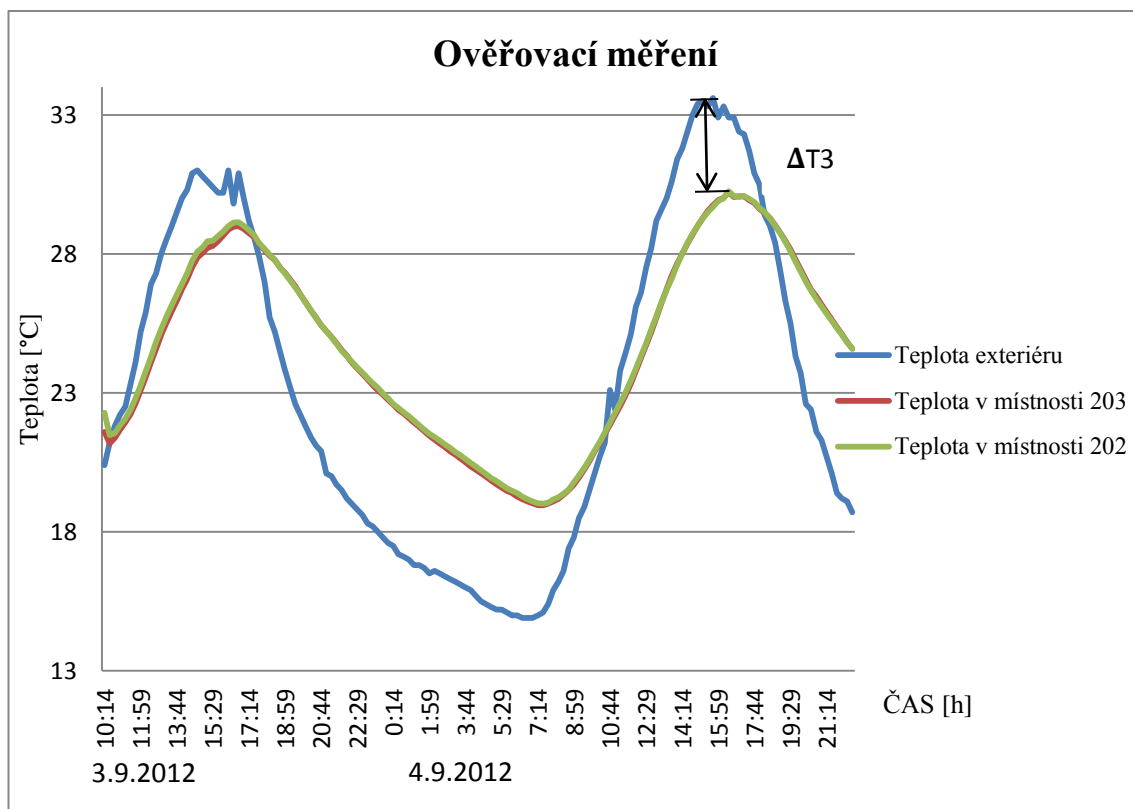


Graf 14) Rozdíl teplot v místnostech [zdroj: archiv autora]

Dále si v grafu můžeme všimnout velice zajímavého jevu, který nastal u měřeného objektu. Teplota interiéru překročila hodnotu maximální externí teploty. Z toho vyplývá, že v místnosti se akumulovalo teplo a došlo k přehřátí interiéru. K tomuto jevu často dochází u objektů s lehkou obvodovou konstrukcí, což náš experimentální objekt je.

Otázkou zůstává, zdali v daném případě nedošlo k částečné akumulaci tepla do konstrukce stínicího zařízení a následného sálání do vnitřního prostoru. Stínicí zařízení by se tak stalo nízkoteplotním sálavým zdrojem tepla. Bohužel z důvodu opožděné výstavby experimentální dřevostavby a povětrnostních podmínek bylo měření provedeno v přechodném období a nebylo možno provést další srovnávací měření bez žaluzie.

Při pohledu na naměřená data z ověřovacího měření, kdy v objektu nebyly instalovány vnitřní stínicí zařízení (nejedná se o totožné příklady, jelikož ověřovací měření bylo provedeno v období, kdy amplituda vnějšího vzduchu byla skoro dvojnásobná oproti měření s žaluziemi) nastal v objektu jev, který je často očekáván při použití žaluzie. Teplota v místnosti měla menší amplitudu než teplota exteriéru. Rozdíl těchto teplot jde vidět v grafu č. 15.



Graf 15) Rozdíl teplot  $T_e$  a  $T_i$  u ověřovacího měření [zdroj: archiv autora]

Na rozdíl teplot exteriéru a interiéru měly účinek povětrnostní podmínky před započítáním měření a vysoká intenzita slunečního záření během měření. Došlo tak k velkému rozdílu mezi „podchlazenou“ místností a teplým exteriérem.

Proto by bylo vhodné měření provádět v již obývaných stavbách, kde by nedocházelo k podchlazení místnosti. Teplota v takto obývané stavbě by byla udržována pomocí klimatizace nebo vytápění na určité hodnotě a nedocházelo by k radikálním výkyvům teplot.

## **14.2 Analýza výsledků počítačových simulací**

V této kapitole se zaměřím na srovnání jednotlivých výsledků z matematického modelu. Na závěr zhodnotím rozdíly mezi naměřenými hodnotami z experimentálního objektu a výsledky ze Simulace.

Modelovaná situace vyžadovala nemalé množství parametru popisující jak materiálové schopnosti jednotlivých konstrukcí, tak veškeré jevy působící na tyto konstrukce. I přes snahu přesného dosazení všech okrajových podmínek mohlo dojít ke skresleným výsledkům. Do Simulace byly dosazeny veškeré získané informace a odhadoval jsem pouze některé parametry. Jedním z těchto odhadovaných čísel bylo množství výměny vzduchu v místnosti za jednotku času. Tato hodnota byla v koncové fázi nastavena jako 0,7 objemu místnosti za hodinu. Nastavení výměny vzduchu hodnoty mělo velký vliv na průběh teploty. Rozdíly mezi testovanými hodnotami můžete vidět v grafu č. 8.

Další možností ovlivnění rozdílu mezi výpočtovým modelem a naměřenými hodnotami se mohla stát přesnost zadání obalových konstrukcí místností. Exaktnost zadání těchto konstrukcí byla umožněna nastavením nehomogenity materiálu jednotlivých vrstev. Nestejnorodost materiálu byla nastavena dle projektové dokumentace stavby. Skutečné provedení všech konstrukcí však nemuselo odpovídat těmto výkresům. Pak veškerá tato zjednodušení mohla mít vliv na výsledný průběh teplot.

Z dílčích výsledků uvedených v předchozích kapitolách je zřejmé, že výpočtový model neodpovídá skutečnému měření provedenému na stavbě.

Odchyly mezi jednotlivými výsledky jsou nemalé a žádná z výpočtových variant neodpovídala normovým požadavkům na maximální teplotu vnitřního vzduchu.

Pro přehlednost jsou tyto hodnoty uvedeny v tabulce č. 4. a 5.

Tabulka 4) Hodnocení dílčích výsledků pro 25. 9. 2012

	Teplota vnitřního vzduchu	
	$\theta_{ai,max}$ [°C]	
	Měřením na stavbě	Simulace
Kovová žaluzie	23,4	
Dřevěná žaluzie	24,3	
Simulace – s žaluzií		28,9
Simulace – bez žaluzie		32,2

Výpočtový model, který byl sestaven pro nejteplejší den letního období, nevyhověl požadavkům normy [2]. Hodnocení můžeme vidět v tabulce č. 5.

Tabulka 5) Hodnocení dílčích výsledků dle ČSN 73 0540-2 [2]

	Teplota vnitřního vzduchu $\theta_{ai,max}$ [°C]		Nejvyšší denní teplota v místnosti dle ČSN 73 0540 $\theta_{ai,max,N}$ [°C]	Hodnocení
Simulace – s žaluzií (21. 8.)	38,2	>	Nevýrobní objekt 27	Nevyhoví

### 14.3 Závěr

Prvním cílem mé diplomové práce bylo ověření rozdílných materiálu použitých na vnitřní stínící zařízení a jejich vliv na tepelnou stabilitu místností. Ta je ovlivněna jak stínícími prvky, tak obalovými konstrukcemi místností. Z důvodu omezeného času jsem prováděl měření v přechodném období léta a podzimu. Nejteplejší dny roku byly ověřeny pouze výpočtovým modelem. Z důvodu rozsahu diplomové práce jsem se zaměřil na dvě stínící zařízení odlišných materiálu, ale podobných odstínů.

Porovnal jsem situaci při ověřovacím měření bez stínících prvků, kde došlo k minimálním rozdílům mezi teplotami, s hlavním měřením se stínícími prvky. U měření se stínícími prvky došlo k nepatrným odchylkám mezi průběhy teplot. Toto mohlo být zapříčiněno odlišností použitých žaluzií. Mezi parametry, které způsobily rozdílné průběhy teplot, můžeme řadit emisivitu materiálu. Veškeré činitele měly za následek rozdíl mezi teplotami vnitřních vzduchů, který činil 0,7 °C. Vliv použití jiných stínících zařízení se proto až tak neprojevil.

Aby bylo vypovídající, že dané žaluzie se chovají s určitým rozdílem, měření by bylo dobré provést za stejných okrajových podmínek.

Druhým mým cílem bylo ověřit rozdíly mezi naměřenými hodnotami na stavbě s výpočtovým modelem. Pro výpočtový model jsem použil veškeré okrajové podmínky, které jsem získal z měření na stavbě. Teplota exteriéru a intenzita slunečního záření byly staženy z webových stránek meteorologické stanice TUBO. Veškeré ostatní parametry byly buď převzaty z norem, které často nabízel sám program, nebo odhadnuty.

U diplomové práce jsem narazil na možnost zadávání obvodových konstrukcí více způsoby. Zkoumaný vliv odlišného zadávání obalových konstrukcí objektu (popsán více v kapitole 13.5.2) nám však ukázal, že nemá vliv na výsledný průběh teploty v interiéru.

Výpočtový model byl v první řadě vymodelován na měřený den s maximální teplotou v místnosti č. 203. Tímto dnem bylo 25. září. Výstup z programu se lišil o více jak 4,5 °C oproti naměřeným hodnotám. Tato hodnota nám dokazuje dostatečně velkou rezervu mezi „projektovanou“ teplotou a teplotou skutečnou.

Odchylka mezi jednotlivými výstupy je výrazná, ale je třeba vzít v potaz veškerá zjednodušení, která měla v koncové fázi vliv na výsledek. Naskýtá se zde prostor pro další výzkum rozdílu mezi modelem a skutečností. Hlubšímu zkoumání tohoto rozdílu však nebyl vyčleněn čas v mé diplomové práci.

Komparací dílčích výsledků jsem usoudil, že při dodržení správných okrajových podmínek, je vhodné výpočtový model použít jako predikci v době projektové přípravy.

V poslední části diplomové práce jsem se věnoval simulaci experimentální místnosti v období nejteplejšího letního dne. Tímto dnem je dle ČSN 73 0540-3 21. srpen [13].

Tento den, stejně jako všechny modelované situace mé diplomové práce nevyhověly na požadavek letní tepelné stability a nejvyšší teploty vzduchu v místnosti.

## Seznam obrázků

<i>Obr. 1) Oblast tepelné pohody v letním a zimním období znázorněná v modifikovaném diagramu vlhkého vzduchu [1] .....</i>	<i>9</i>
<i>Obr. 2) Kritické místnosti [zdroj: archiv autora] .....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 3) Schéma kmitání teploty na povrchu a uvnitř konstrukce [3].....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 4) Záření slunce s vyznačením viditelného pásma [5].....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 5) Prostup energie skelní výplní (zdroj: archiv autora, upraveno dle [2]).....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 6) Dělení stínících zařízení dle umístění [zdroj: archiv autora] .....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 7) Schéma půdorysu experimentální dřevostavby [zdroj: archiv autora].....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 8) Experimentální dřevostavba [zdroj: www.upst.cz] .....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 9) Teplotní čidlo v prostoru místnosti – ověřovací měření [zdroj: archiv autora] .....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 10) Schémata osazení čidel [zdroj: archiv autora] .....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 11) Osazení čidel [zdroj: archiv autora].....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 12) Dataloger ALMEMO 2590 – 4S [12].....</i>	<i>42</i>

## Seznam grafů

<i>Graf 1) Kalibrace čidel datalogeru č. 879 [zdroj: archiv autora] .....</i>	<i>45</i>
<i>Graf 2) Kalibrace čidel datalogeru č. 878 [zdroj: archiv autora] .....</i>	<i>45</i>
<i>Graf 3) Ověřovací měření [zdroj: archiv autora] .....</i>	<i>46</i>
<i>Graf 4) Celkový graf průběhu teplot v místnostech [zdroj: archiv autora].....</i>	<i>47</i>
<i>Graf 5) Maximální teplota v místnosti 202, dne 25. 9. 2012 + teplota exteriéru .....</i>	<i>48</i>
<i>Graf 6) Maximální teplota v místnosti 203 dne 25. 9. 2012 + teplota exteriéru .....</i>	<i>49</i>
<i>Graf 7) Intenzity slunečního záření dosazené do Simulace [zdroj: archiv autora] .....</i>	<i>51</i>
<i>Graf 8) Průběh teplot v místnosti při různých výměnách vzduchu .....</i>	<i>52</i>
<i>Graf 9) Průběh teploty vzduchu při odlišném zadávání obalových konstrukcí místnosti [zdroj: archiv autora] .....</i>	<i>53</i>
<i>Graf 10) Průběh teploty během modelovaného dne 25. 9. 20112 s žaluzií.....</i>	<i>55</i>
<i>Graf 11) Průběh teploty během modelovaného dne 25. 9. 20112, bez žaluzie .....</i>	<i>56</i>
<i>Graf 12) Teplota vnitřního vzduchu s žaluzií a bez – Simulace [zdroj: archiv autora] .....</i>	<i>57</i>
<i>Graf 13) Průběh teplot ze Simulace pro 21. Srpna [zdroj: archiv autora] .....</i>	<i>57</i>
<i>Graf 14) Rozdíl teplot v místnostech [zdroj: archiv autora] .....</i>	<i>58</i>
<i>Graf 15) Rozdíl teplot <math>T_e</math> a <math>T_i</math> u ověřovacího měření [zdroj: archiv autora].....</i>	<i>59</i>

## Seznam tabulek

<i>Tabulka 1) Závislost součinitele <math>A</math> na rychlosti proudění vzduchu v prostoru [18].....</i>	<i>19</i>
<i>Tabulka 2) Příklady emisivit materiálů [zdroj: www.fluke.eu] .....</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka 3) Požadované hodnoty nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti v letním období <math>\theta_{ai,max,N}</math> [2] .....</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka 4) Hodnocení dílčích výsledků pro 25. 9. 2012 .....</i>	<i>61</i>
<i>Tabulka 5) Hodnocení dílčích výsledků dle ČSN 73 0540-2 [2] .....</i>	<i>61</i>



## Seznam použitých zdrojů

- [1] CENTNEROVÁ, Lada. Tepelná pohoda a nepohoda. *www.tzb-info.cz*. [Online] 13. 12 2000. [Citace: 12. 12 2012.] <http://www.tzb-info.cz/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>.
- [2] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha : Český normalizační institut, 2011.
- [3] KLÍMOVÁ , Sylva. *Tepelná technika budov. Neustálený teplotní stav*. Brno : autor neznámý, 2006. Modul 03.
- [4] ČSN EN 13363-2. *Zařízení protisluneční ochrany kombinované se zasklením - Výpočet propustnosti solární energie a světla - Část 2: Podrobná výpočtová metoda*. místo neznámé : Český normalizační institut, 2005.
- [5] MARTÍNEK, Jan. *Aplikovaná fyzika. Otázky k předmětu CB01*. Brno : autor neznámý, 2011.
- [6] HALAHYJA, MARTIN a VALÁŠEK, JAROSLAV. *Solárna energia a jej využitie*. Bratislava : ALFA, 1983.
- [7] EUROPE, tým společnosti AGC Glass. *Skla s povlakem ve stavebnictví*. Česká rada pro šetrné budovy. [Online] 14. 2 2012. [Citace: 27. 12 2012.] <http://czgbc.org/zpravy/zprava/67/skla-s-povlakem-ve-stavebnictvi>.
- [8] ČSN EN ISO 13792. *Tepelné chování budov - Výpočet vnitřních teplot v místnosti v letním období bez strojního chlazení - Zjednodušené metody*. Praha : Český normalizační institut, 2012.
- [9] ČSN EN 13363-1. *Zařízení protisluneční ochrany kombinované se zasklením - Výpočet propustnosti sluneční energie a světla - Část 1: Zjednodušená metoda*. místo neznámé : český normalizační institut, 2009.
- [10] ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. Praha : Český normalizační institut, červen 2005.
- [11] ČSN 73 0540-1 . *Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie*. Praha : Český normalizační institut, 2009.
- [12] *www.ahlborn.cz. Alborn*. [Online] [Citace: 26. listopad 2012.] <http://www.ahlborn.cz>.
- [13] ČSN 730540-3. *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha : Český normalizační institut, 2005.
- [14] SZÉKYOVÁ, MARTA, FERTSL , Karol a NOVÝ, RICHARD. *Větrání a klimatizace*. Bratislava : JAGA GROUP, s.r.o., 2006. ISBN 80-8076-037-3.

- [15] ŘEHÁNEK, Jaroslav. *Tepelná akumulace budov*. Praha : ČKAIT, Praha, 2002. ISBN 80-86364-59-3.
- [16] RYBÁŘ, Petr, a další. *Denní osvětlení a oslunění budov*. Brno : ERA grou spol. s.r.o., 2002. ISBN 80-86517-33-0.
- [17] ČUPROVÁ, Danuše a KLÍMOVÁ, Sylva. *Stínící technika*. Brno : ERA group, spol. s.r.o., 2006. ISBN 80-7366-046-6.
- [18] ZMRHAL, Vladimír. Stanovení střední radiační teploty. *tzb-info.cz*. [Online] 20. 2 2006. [Citace: 20. 12 2012.] <http://www.tzb-info.cz/3072-stanoveni-stredni-radiacni-teploty-i>.

## Seznam použitých zkratk a symbolů

$b$	Wienová konstanta	[mm .K]
$c$	rychlost světla	[ m.s <sup>-1</sup> ]
$f$	funkce	[ - ]
$g$	celková propustnost slunečního záření	[ - ]
$H$	nadmořská výška příslušného města	[m.n.m]
$h$	výška slunce nad obzorem	[ ° ]
$I$	intenzita záření	[W.m <sup>-2</sup> ]
$i$	celková intenzita slunečního záření	[W.m <sup>-2</sup> ]
$i_d$	intenzita difuzního slunečního záření	[W.m <sup>-2</sup> ]
$i_{dz}$	intenzita difuzního slunečního záření pro svislou plochu	[W.m <sup>-2</sup> ]
$i_p$	intenzita přímého slunečního záření	[W.m <sup>-2</sup> ]
$\tau$	činitel prostupu	[ - ]
$z$	intenzita znečištění atmosféry	[ - ]
$\alpha$	činitel pohlcení	[ - ]
$\lambda$	vlnová délka	[nm]
$\rho$	činitel odrazu	[ - ]
$\sigma$	Stefan – Boltzmannova konstanta	[Wm <sup>-2</sup> K <sup>-4</sup> ]
$\theta$	teplota	[°C, K]
$\alpha$	úhel mezi sledovanou stěnou a vodorovnou rovinou	[ ° ]
$a$	součinitel teplotní vodivosti	[m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$\rho$	objemová hmotnost material	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$c$	měrná tepelná kapacita	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$\lambda$	tepelná vodivost	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$A_{si}$	teplotní amplituda na vnitřním povrchu konstrukce	[K]
$A_e$	teplotní amplituda vnějšího vzduchu	[K]
$\psi$	fázový posun teplotního kmitu	[rad]
$t_o$	operativní teplota	[°C]
$t_a$	teplota vzduchu	[°C]

$t_r$	<i>střední radiační teplota</i>	$[^{\circ}\text{C}]$
$v_a$	<i>rychlost vzduchu</i>	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
$t_g$	<i>výsledná teplota</i>	$[\text{K}]$
$\partial$	<i>parciální derivace</i>	$[-]$
$\tau_{A_{Si}}$	<i>doba výskytu maximální teploty na vnitřním povrchu konstrukce</i>	$[\text{hod}]$
$\tau_{A_e}$	<i>doba výskytu maximální teploty venkovního vzduchu</i>	$[\text{hod}]$
$A$	<i>hodnota závislá na relativní rychlosti proudění vzduchu <math>v_a</math></i>	$[-]$
$T_n$	<i>absolutní teplota okolních povrchů</i>	$[\text{K}]$
$F_n$	<i>poměry osálení jednotlivých okolních ploch <math>S_n</math> plochou <math>S_r</math></i>	$[-]$
$T_c$	<i>teplota absolutně černého tělesa</i>	$[^{\circ}\text{C}]$
$h$	<i>Planckova konstanta</i>	
$\lambda_{\max}$	<i>vlnová délka maximálního vyzařování</i>	$[\text{nm}]$
$\varepsilon$	<i>emisivita</i>	$[-]$
$\tau_z$	<i>počet hodin, během kterých trvají klimatické podmínky uvažované ve výpočtu ještě před okamžikem 0, kdy se výpočet zahajuje</i>	$[-]$
$\tau$	<i>počet hodin od začátku výpočtu</i>	$[-]$
$\Delta\tau$	<i>počet hodin, které konstrukce potřebuje, aby dosáhla kvazist. stavu</i>	$[-]$
$\Phi_{op,t}$	<i>tepelná zátěž prostupem tepla neprůsvitnou konstrukcí</i>	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$
$U$	<i>součinitel prostupu tepla příslušné konstrukce</i>	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
$A$	<i>plocha</i>	$[\text{m}^2]$
$\theta_{e,(t-\varphi)}$	<i>venkovní teplota v čase <math>(t-\varphi)</math></i>	$[^{\circ}\text{C}]$
$\theta_{e,m}$	<i>průměrná denní teplota venkovní teploty</i>	$[^{\circ}\text{C}]$
$F_a$	<i>činitel poklesu</i>	$[-]$

## Seznam příloh

Veškeré přílohy jsou v elektronické podobě

- 1) Diplomová práce
- 2) Kalibrace
  - 2.1) Kalibrace první sady čidel
  - 2.2) Kalibrace druhé sady čidel
- 3) Ověřovací měření
- 4) Výpočtové modely – Simulace
  - 4.1) Výstup 25. 9. 2012, s žaluzií
  - 4.2) Výstup 25. 9. 2012, bez žaluzie
  - 4.3) Výstup 21. 8. 2012, s žaluzií
- 5) Výstupy hlavního měření
- 6) Meteorologické údaje stanice Tubo v Brně