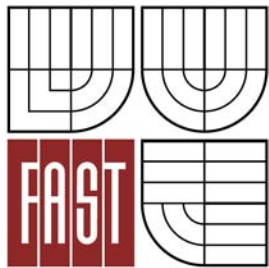




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

# VLIV PROSKLENÍ NA VNITŘNÍ MIKROKLIMA OBJEKTŮ

THE INFLUENCE OF MICROCLIMATE ON THE INSIDE GLASS OBJECTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

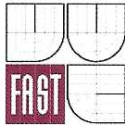
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. HANA DVOŘÁKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2013



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ


**Studijní program** N3607 Stavební inženýrství  
**Typ studijního programu** Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia  
**Studijní obor** 3608T001 Pozemní stavby  
**Pracoviště** Ústav technických zařízení budov

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Diplomant** Bc. Hana Dvořáková  
**Název** Vliv prosklení na vnitřní mikroklima objektů  
**Vedoucí diplomové práce** doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.  
**Datum zadání diplomové práce** 31. 3. 2012  
**Datum odevzdání diplomové práce** 11. 1. 2013

V Brně dne 31. 3. 2012

  
.....  
doc. Ing. Jiří Hirs, CSc.  
Vedoucí ústavu

  
.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT



## **Podklady a literatura**

Podklady a literatura

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální legislativa ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

## **Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)**

A. Analýza tématu, cíle a metody řešení

Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady

Cíl práce, zvolené metody řešení

Aktuální technická řešení v praxi

Teoretické řešení (s využitím fyzikální podstaty dějů)

Experimentální řešení (popis metody a přístrojové techniky)

B. Aplikace tématu na zadané budově - koncepční řešení

Návrh technického řešení ve 2 až 3 variantách v zadané specializaci (včetně doložených výpočtů) v rozsahu studie projektu: půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva

Ideové řešení navazujících profesí TZB (ZTI, UT, silnoproud, MaR) v zadané budově

Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí apod.;

C1. Experimentální řešení a zpracování výsledků

Experiment realizovaný v laboratoři nebo reálné budově postihující zadanou problematiku

## **Struktura bakalářské/diplomové práce**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná část VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....  
doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá problematikou vlivu prosklení na vnitřní mikroklima objektů. Především jsem se zaměřila na stínící součinitel a na různé vlivy, které ho ovlivňují. V diplomové práci dále najdeme i původ a složení slunečního záření, vznik tepelné zátěže a lom světla. V další části diplomové práce jsem se zaměřila na návrh dvou variant stínícího součinitele a jeho dopadu na tepelnou zátěž tělocvičny, sportovní haly a s tím spojené potřebné změny. Poslední část této práce se věnuje experimentálnímu měření sluneční radiace dopadající, procházející oknem na fyzickém reálném modelu. Z naměřených hodnot jsme určili reálný stínící součinitel a následně ho aplikovali v předešlé části této práce.

## **Klíčová slova**

stínící součinitel, sluneční záření (radiace), tepelná zátěž, globální(celkové) záření, difuzní záření, lidské oko, lom světla ke kolmici, lom světla od kolmice

## **Abstract**

This master thesis deals with the influence of glazing on the microclimate inside buildings. In particular, I focused on the shading coefficient and the various factors that affect it. The thesis also concentrates on the origin and composition of the solar radiation, the formation of thermal stress and refraction. In the next part of the thesis, I focused on designing two variants of shielding factor and its impact on the thermal load of gym, sports hall and the related necessary changes. The last part of the thesis deals with experimental measurements of incident solar radiation passing through the window into real physical model. From the measured values, we determined realistic shading coefficient and then applied it in the previous section of this thesis.

## **Keywords**

shading coefficient, solar radiation (radiation), thermal load, global (total) radiation, diffuse radiation, human eye, the vertical refraction, refraction from the perpendicular

### **Bibliografická citace VŠKP**

DVOŘÁKOVÁ, Hana. *Vliv prosklení na vnitřní mikroklima objektů*. Brno, 2013. 86 s., 13 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11.1.2013

.....  
podpis autora  
Hana Dvořáková

## **Poděkování**

Ráda bych zde poděkovala vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Aleši Rubinovi, Ph.D. za velice obětavou pomoc, pevné nervy a cenné rady při řešení a vypracování diplomové práce.

# Obsah

Úvod.....	1
-----------	---

## Část A - Analýza tématu, cíle a metody řešení

1. Diplomová práce - téma a cíle.....	4
---------------------------------------	---

### Teoretické řešení

2. Slunce.....	6
2.1 Sluneční záření.....	10
2.2 Součinitel znečištění atmosféry.....	14
3. Lidské oko, optické záření a člověk.....	16
3.1 Anatomie .....	17
4. Lom světla .....	20
5. Prostup světla stavebními skly .....	24
6. Tepelná zátěž okny.....	27
7. Stínící součinitel.....	30

## Část B - Aplikace tématu na zadané budově

8. Zadaná budova .....	33
9. Varianta č.1.....	37
10. Varianta č.2.....	42

## Část C - Experimentální řešení a zpracování výsledků

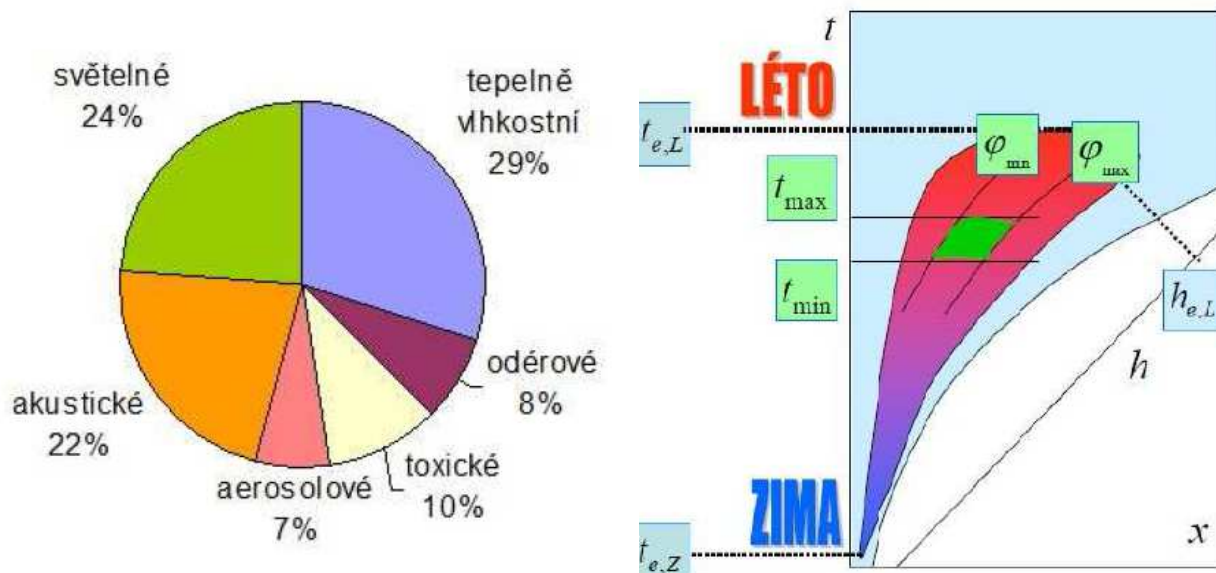
11. Cíle experimentálního měření .....	47
11.1 Analýza místa měření .....	48
12. Použité měřicí přístroje .....	55
12.1 Měřicí ústředna Almemo 3290-8.....	55
12.2 Termočlávkové dráty typ K (NiCr-Ni) .....	57
12.3 Pyranometr.....	57
13. Postup měření.....	59



14.	Vyhodnocení naměřených dat.....	62
15.	Závěr z experimentálního měření.....	78
	<b>Závěr.....</b>	<b>79</b>
	<b>Seznam použitých zdrojů.....</b>	<b>80</b>
	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů.....</b>	<b>82</b>
	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>86</b>
	<b>Přílohy.....</b>	<b>87</b>

## Úvod

Poslední dobou se velice často řeší otázka kvality vnitřního mikroklimatu. Vnitřní mikroklima je pro nás velice důležité, protože každý člověk v dnešní době tráví převážnou část svého života uvnitř budov. V budovách musíme tedy zajistit zdravé vnitřní prostředí, optimální pro pobyt člověka a jeho činnosti, ať už se jedná o práci nebo odpočinek. Člověk se musí při vykonávání činnosti cítit dobře a mít tepelnou pohodu, je to stav při kterém člověk nepocituje teplo ani chlad (je spokojený s tepleným stavem prostředí). V podstatě je kvalita vnitřního mikroklimatu definována jako "teplná, světlá a akustická pohoda apod." Jedním ze základních faktorů ovlivňující vnitřní mikroklima je tepelně-vlhkostní mikroklima, které je určeno teplotou, relativní vlhkostí a rychlostí proudění vzduchu.

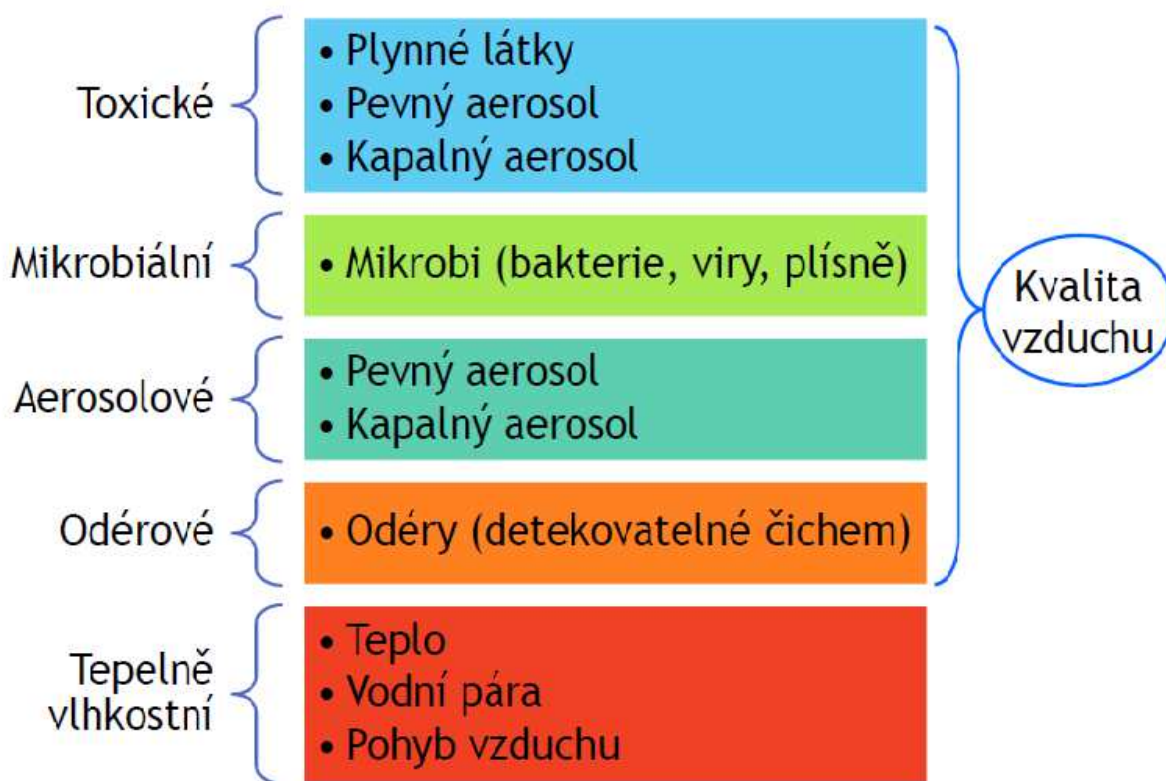


**Obr. 1. :** Složky mikroklimatu.

**Obr. 2. :** Optimální mikroklima.

Jeden z vlivů, který vede k nárůstu vnitřní teploty je sluneční záření, které vstupuje okny do interiéru. V zimním období jsou tepelné zisky vítané, protože snižují spotřebu energie na vytápění. V letním období tepelné zisky vedou ke zvýšení teploty vnitřního prostředí nad hygienické maximum, proto je požadavkem tyto zisky co nejvíce snížit. Hygienické požadavky na kvalitu vnitřního prostředí lze odvodit z nařízení vlády č. 361/2007 Sb. (se změnami 68/210 a 93/2012), kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci a z vyhlášky č. č.6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí bytových místností některých staveb. Zvýšení

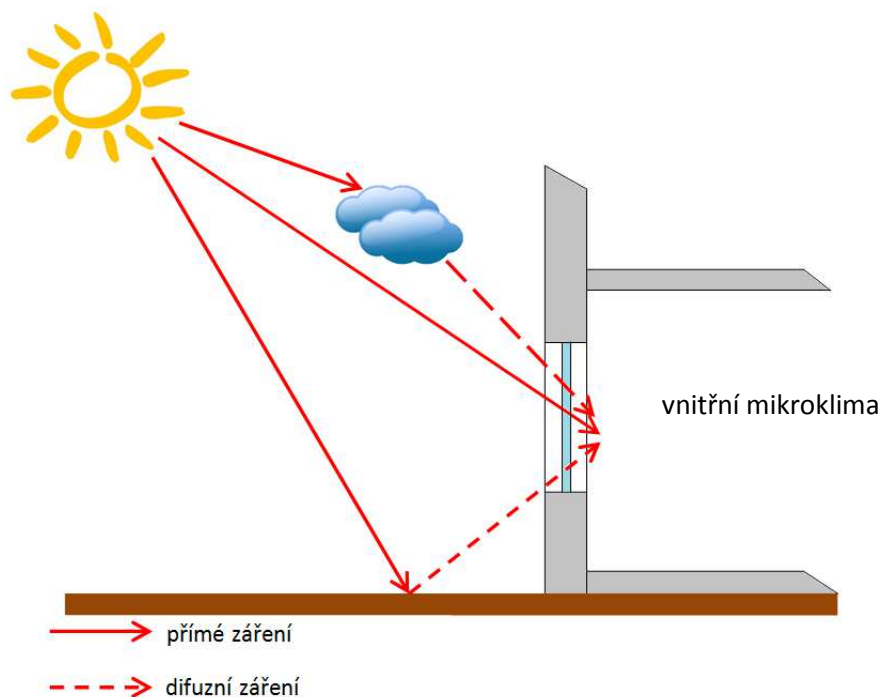
teploty v interiéru vede k pocení člověka (zajištění teplené rovnováhy), ke snížení pracovního výkonu, zdravotním problémům a ke zvýšení počtu úrazů. Zahraniční studie prokázali že např. při lehké práci dochází ke stoprocentnímu výkonu člověka při teplotě 22°C, při teplotě 27°C klesá schopnost podávat plný výkon o 25% a při 30°C se dosahuje pouze 50% z optima.



**Obr. 3.** : Faktory ovlivňující vnitřní mikroklima

Dnešní doba je plná moderních trendů, které s sebou přinášejí nové technologie. Ve výstavbách se uplatňují velké prosklené plochy, kterými proniká světlo i sluneční radiace hluboko do objektu. Akumulační schopnost stavby se snižuje, což je způsobeno např. nahrazením silných zděných stěn lehkými izolacemi. Z toho nám tedy plyne snížení, odvedení či omezení tepelné zátěže. Snížit tepelnou zátěž můžeme pasivně stínící technikou a nebo mechanicky pomocí systému VZT a klimatizace. Při návrhu systému VZT tedy musíme znát celkovou tepelnou zátěž, kde jednou složkou je tepelná zátěž okny. Při výpočtu teplené zátěže okny potřebujeme znát intenzitu sluneční radiace, která je rozdílná před prosklenou plochou (exteriér) a za prosklenou plochou (interiér). Rozdíl mezi těmito hodnotami je způsoben stínícím součinitelem okna (skla), žaluziemi, záclonami, foliemi atd. U oken je stínící součinitel udáván výrobcem. Stínící součinitel je vcelku důležitou hodnotou, protože je korekcí sluneční radiace a tím snížení tepelné zátěže na kterou se navrhuji

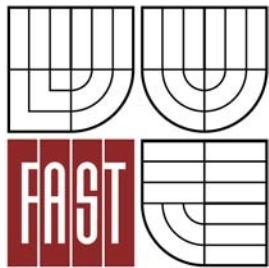
výkony klimatizací. Z důvodu bezpečnosti bychom samozřejmě mohli uvažovat se sluneční radiací (exteriér) bez vlivu stínícího součinitele nicméně návrh by byl předimenzovaný a energeticky neúsporný. V mojí diplomové práci se na stínící součinitel podíváme trochu blíže a pokusíme se zjistit na jakých hodnotách závisí a zda-li jedna jediná hodnota udávaná výrobcem je opravdu dostačující.



**Obr. 4.** : Zjednodušené schéma popisu prostupu tepla záření okny.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

## VLIV PROSKLENÍ NA VNITŘNÍ MIKROKLIMA OBJEKTŮ THE INFLUENCE OF MICROCLIMATE ON THE INSIDE GLASS OBJECTS

### ČÁST A - ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. HANA DVOŘÁKOVÁ

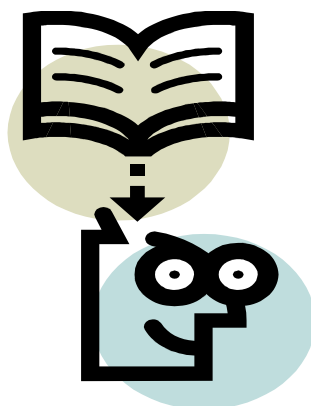
VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2013

# 1. Diplomová práce - téma a cíle

Diplomovou práci jsem rozčlenila do několika částí. První teoretická část se zabývá průnikem slunečního záření, lomem světla, parametry pro výpočet tepelné zátěže, potřebným stínícím součinitelem dle druhu zasklení či stínění. V druhé části diplomové práce jsem provedla aplikaci naměřených hodnot na dvě varianty řešení v objektu sportovní haly. V poslední experimentální části jsem se zabývala měřením sluneční radiace na oknech v rodinném domě ve Velkém Meziříčí, kde jsme měřila sluneční radiaci, teplotu exteriéru, interiéru a povrchové teploty okna (skleněné výplně). V poslední části diplomové práce jsem provedla aplikaci naměřených hodnot na dvě varianty řešení v objektu sportovní haly.



## Teoretické řešení

V teoretické části jsem se zaměřila na sluneční záření, odkud pochází, složky ze kterých se skládá a na jaké části se dělí. Dotkla jsem se i tématu lomu světla a jak světlo vnímá lidské oko. Rozebrala jsem výpočet tepelné zátěže okna a vliv stínícího součinitele. Popsala jsem druhy zasklení a uvedla vybrané typy oken.



## Aplikace tématu na zadané budově

Pro aplikaci tématu mi byl zadán objekt sportovní haly, kterou jsem řešila v mé bakalářské práci. Zaměřila jsem se na místnost tělocvičny, kde jsem v první variantě aplikovala stínící součinitel difuzní a celkový. V druhé variantě jsem počítala se stínícím součinitelem celkovým a náhodně vybraným výrobcem na trhu.



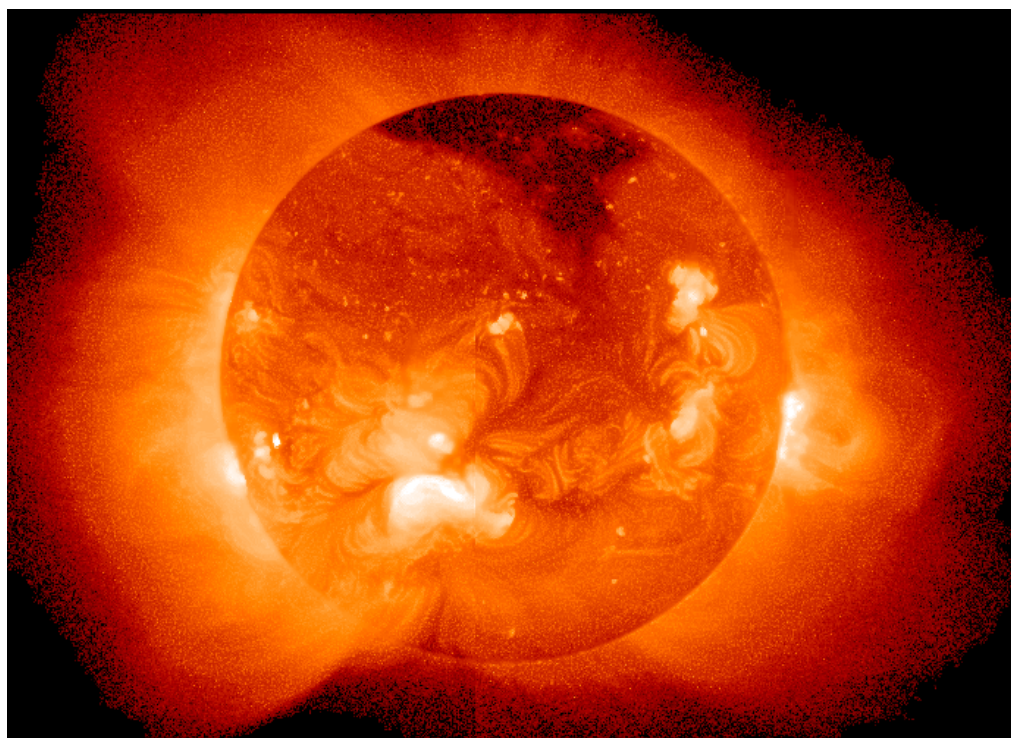
## Experimentální část

V experimentální části jsem si na rodinném domě ve Velkém Meziříčí vybrala okna natočená na různé světové strany a provedla měření. Více jsem se zaměřila na jedno okno mnou vybrané a zde porovnála dvě měření z různých ročních období. Naměřené hodnoty jsem zaznamenala, zpracovala a vyhodnotila.

## 2. Slunce

### TEORETICKÉ ŘEŠENÍ

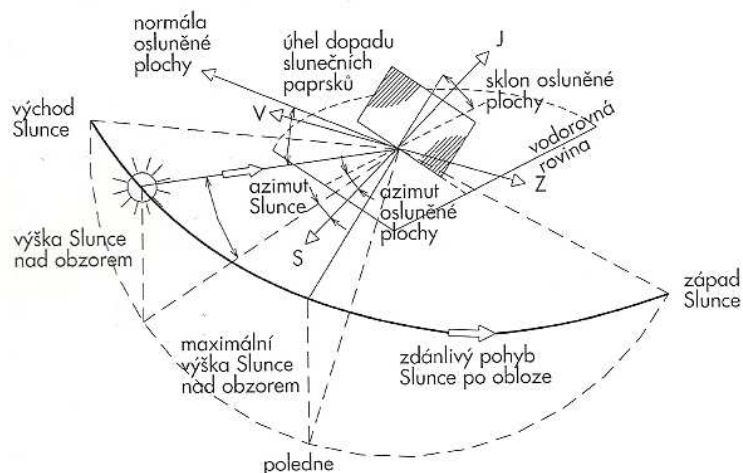
Slunce je hvězda a obíhá okolo středu Mléčné dráhy. Hmotu Slunce tvoří převážně vodík, v menší míře helium a stopové množství dalších prvků. Slunce je koule žhavého plazmatu a neustále produkuje velké množství energie. Energie vyzařovaná Sluncem vzniká při termonukleárních reakcích v jeho jádru. Každou sekundu se přibližně 700 milionů tun přemění na 695 milionů tun hélia a zbylých cca 5 milionů tun hmotnosti se přemění na energii - 96% elektromagnetické záření, 4% odnášejí elektronová neutrina. Výkon Slunce je cca  $4 \times 10^{26} \text{ W}$ , z toho na Zemi dopadne asi jen 45 miliardtin. Tok energie, který jde ze Slunce na Zemi činí asi  $1,4 \text{ kW/m}^2$ . Povrchová teplota Slunce je asi 5800K a proto je lidmi vnímáno jako žluté. Hustota hmoty uvnitř jádra je velmi vysoká je to cca až desetinásobek hustoty olova a směrem k povrchu klesá. Můžeme říct, že v průměru je Slunce o něco hustší než voda. Slunce se vyznačuje magnetickým polem do kterého je ponořena celá sluneční soustava. Jako povrch Slunce vidíme plochu, kterou nazýváme fotosféru. Je tvořena tenkou neprůhlednou vrstvou plynu v plazmatickém stavu, nad touto vrstvou se rozprostírá další avšak řidší, rozměrnější vrstva chromosféry a koróny.



**Obr. 2.1:** Slunce nahlížené roentgenovými paprsky.



Polohu Slunce, která je nezbytná pro určení intenzity slunečního záření lze určit pomocí dvou základních slunečních souřadnic (výška Slunce nad horizontem a azimut)



**Obr. 2.2:** Sluneční souřadnice na obloze a osluněné plochy

- **Výška slunce nad horizontem  $h$  [°]** - úhel, který svírá sluneční paprsek s rovinou horizontu

$$\sin h = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \tau$$

#### $\delta$ - sluneční deklinace [°]

- úhel, který svírá sluneční paprsek směřující ke středu Země s rovinou rovníku, také vyjadřuje číselně zeměpisnou šířku, kde je v daný den ve 12 hodin v poledne Slunce kolmo nad obzorem. Tento úhle nabývá hodnot mezi  $-23,5^\circ$  (21. prosince) a  $+23,5^\circ$  (21. června - dosáhne maxima a vrací se zpět k rovníku)

$$\delta = 23,45 \cdot \sin 29,7 \cdot M + 0,98 \cdot D - 109$$

$M$  - číslo měsíce (1-12)

$D$  - číslo dne (1-31)

**$\varphi$  - zeměpisná šířka [°]**

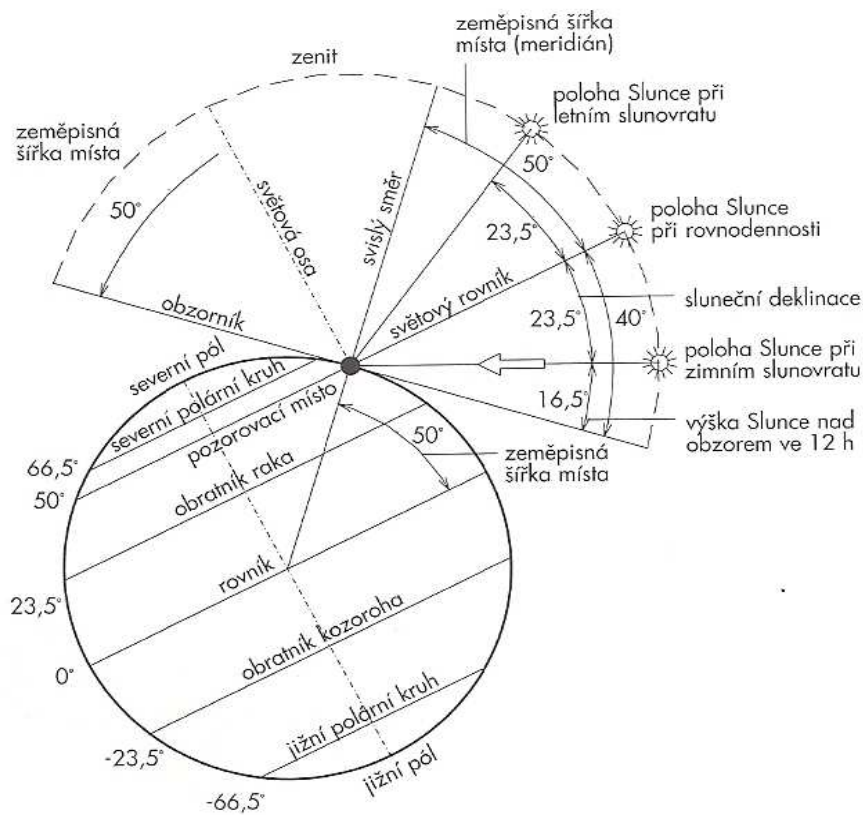
- je to jedna ze zeměpisných souřadnic, která určuje polohu na povrchu Země
- je to úhel, který svírá rovina rovníku s přímkou, která prochází středem Země a daným bodem na povrchu Země

**$\tau$  - časový(hodinový) úhel [°]**

- měřený v obloukových stupních od 12 hodiny (poledne)
- každou hodinu se Země otočí o 15° (jedné hodině odpovídá 15°)

$$\tau = 15 \cdot (H - 12)$$

$H$  - čas [h]



**Obr. 2.3:** Sluneční souřadnice a pohyb Slunce po obloze.

- **Azimut  $\alpha$  [°]** - úhlová odchylka od severu

$$\alpha = 180 - \arcsin \frac{\sin \tau \cdot \cos(\delta)}{\cos h}$$

$\delta$  - sluneční deklinace [°]

$\varphi$  - zeměpisná šířka [°]

$\tau$  - časový(hodinový) úhel [°]

## 2.1 Sluneční záření

Sluneční záření je elektromagnetické záření. Částicí elektromagnetického záření je foton a proto můžeme říct, že sluneční záření je tok fotonů. Každý foton má energii  $E$ .

$$E = h \cdot f \text{ [J]}$$

$h$  - Planckova konstanta ( $h=6,6252 \times 10^{-34}$  [J.s])

$f$  - frekvence [Hz]

Na elektromagnetické záření můžeme nahlížet jako na vlnu, kterou charakterizuje rychlost šíření (rychlost světla ve vakuu), vlnová délka a frekvence.

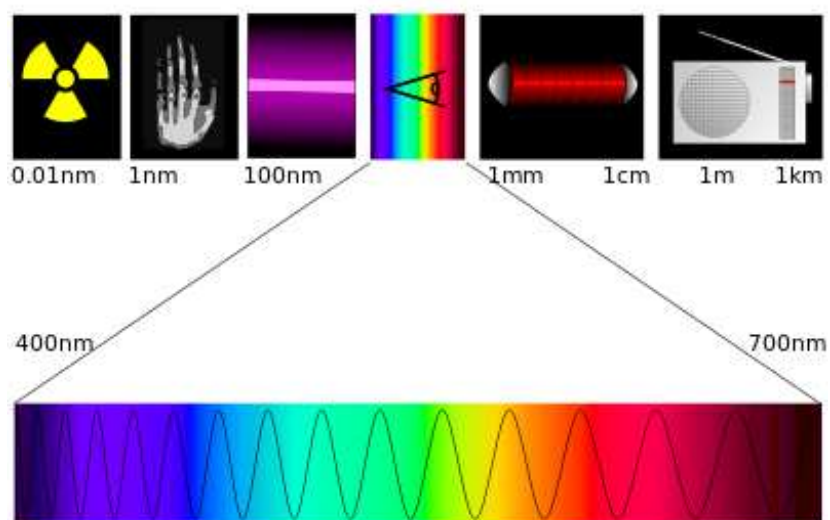
$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ [m]}$$

$c$  - rychlost světla ( $3 \times 10^8$ ) [m/s]

$f$  - frekvence [Hz]

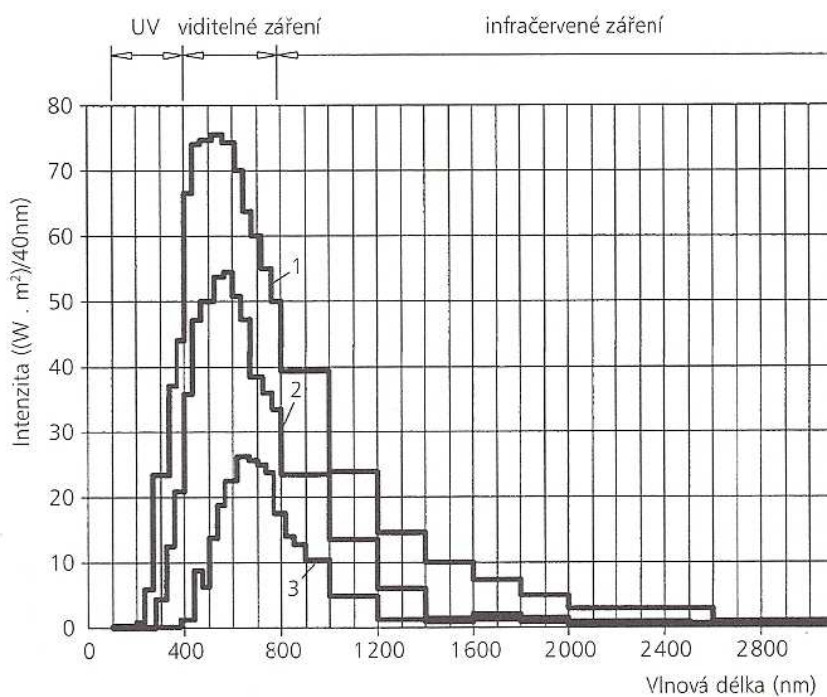
Seřadíme-li složky záření dle vlnové délky vznikne spektrum.

- **ultrafialové záření:** 100nm - 380nm  
- ozon pohlcuje ultrafialové záření
- **viditelné záření:** 380nm - 780nm  
- největší vliv na pohlcení má ozon
- **infračervené záření:** 780nm - 1mm  
- záření, které dopadne na zemský povrch je pohlceno a přeměněno v teplo, které se pak vyzařuje jako infračervené záření pro které je atmosféra nepropustná (skleníkový efekt), největší vliv na pohlcení má CO<sub>2</sub> a vodní pára



**Obr. 2.4:** Spektrum vlnových délek

Spektrální rozsah slunečního záření, které dopadá po průchodu atmosférou na zemský povrch je od 280nm do 3000nm.



**Obr. 2.5:** Spektrální rozdělení energetického obsahu slunečního záření

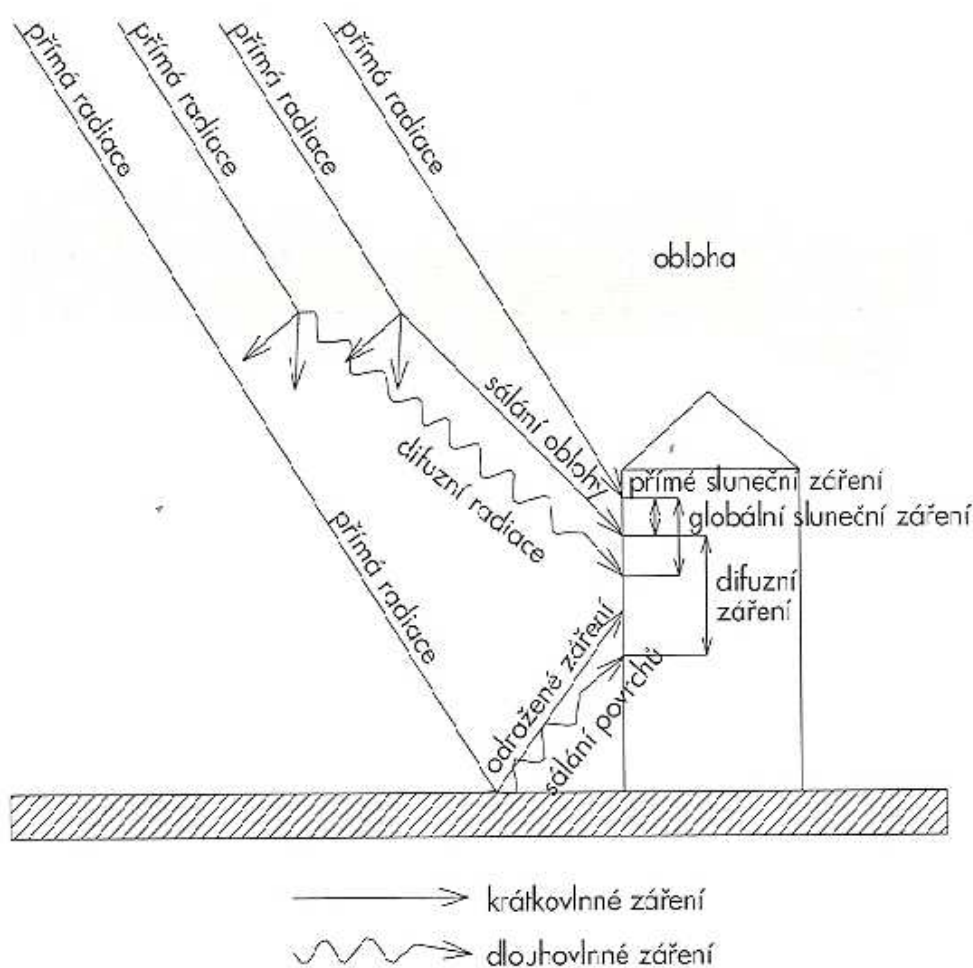
1-na hranici atmosféry, 2-na zemském povrchu při výšce Slunce 60°,

3-pri výšce Slunce 30°

Sluneční energie dopadající na Zemi se dle zákona zachování energie, přeměňuje beze zbytku do jiné formy. Mezi projevy sluneční energie například patří energie fosilních paliv, zemní plyn, energie biomasy atd..

Intenzita slunečního záření je na hranici atmosféry Země v průměru cca  $1360 \text{ W/m}^2$  (sluneční konstanta). V atmosféře se část slunečního záření odrazí zpět do vesmíru, část se pohltí, část se rozptýlí a část dopadá na zemský povrch jako přímé sluneční záření. Sluneční záření můžeme rozdělit na dvě části: přímé a rozptýlené (difuzní). Dalšími složitými přeměnami prochází sluneční záření v biosféře, která se nachází těsně u zemského povrchu kde existuje život. Ze slunečního záření dopadajícího na Zemi připadá 1 % na biologické reakce, které jsou nezbytné pro zachování života na Zemi.

Sluneční záření působící na objekt má různou intenzitu a dobu trvání. Množství dopadající energie je závislé na umístění objektu (zeměpisné šířce) a na orientaci ke světovým stranám.



**Obr. 2.6:** Dělení slunečního záření

## Vznik tepelné zátěže od slunečního záření

Přímé sluneční záření o krátkých vlnových délkách dopadá na zasklení oken, které jej



**Obr. 2.7:** Tepelná zátěž

zčásti odrazí a zčásti pohltí a zbytek propustí dovnitř. Skla oken, stěny, předměty v interiéru a podlaha se pohlceným zářením ohřejí. Teplo, které vzniká v interiéru obtížně uniká ven díky izolaci stěn a oken, což způsobuje přehřívání místnosti. Fyzikálně to tedy znamená, že pohlcené viditelné a infračervené krátkovlnné sluneční záření se promění v tělese na teplo. Tyto tělesa pak vyzařují dlouhovlnné tepelné záření. Zjednodušeně tedy řečeno probíhá změna krátkovlnného záření na dlouhovlnné záření se změnou amplitudy.

## Přímé sluneční záření

Přímé sluneční záření je energeticky nejefektivnější, protože se k zemskému povrchu dostává ve svazku rovnoběžných paprsků ze Slunce při jasné a bezmračné obloze. Pokud na objekt působí tato složka záření tak objekt vrhá vlastní ohraničené stíny.

## Rozptýlené (difuzní) záření

Rozptylem přímého záření molekulami vzduchu, v mracích a na částech prachu vzniká záření difuzní, které na Zemi přichází ze všech směrů. Difuzní záření může převládat nad přímým zářením při východu a západu Slunce, za větší oblačnosti a při větším znečištění atmosféry. Intenzita difuzního záření závisí i na výšce slunce nad obzorem  $h$ . Součástí difuzního záření je i sálání okolních ploch a terénu.

## Odražené sluneční záření

Vzniká odrazem přímého i difuzního záření od okolních ploch. Toto záření je velmi špatně využitelné u vodorovných ploch.

## Globální (celkové) záření

Globální záření je množství sluneční energie dopadající na vodorovnou plochu a je dáno součtem přímého, difuzního a odraženého záření. Difuzní záření za jasného počasí nepřekračuje hodnotu  $100 \text{ W/m}^2$  a to činí 10-15% z celkového záření.

## 2.2 Součinitel znečištění atmosféry



**Obr. 2.8:** Znečištěná atmosféra.

Intenzita slunečního záření se při průchodu atmosférou snižuje, míra snížení je dána součinitelem znečištění atmosféry  $Z$ . Uvedený součinitel závisí na obsahu příměsí ve vzduchu a nadmořské výšce (atmosférickém tlaku). Hodnoty znečištění atmosféry se mění v denním i ročním cyklu.

### Linkeho vztah:

$$Z = \frac{\ln I_0 - \ln I_n}{\ln I_0 - \ln I_c} [-]$$

$I_0$  - sluneční konstanta ( $1360 \text{ W/m}^2$ )

$I_n$  - intenzita slunečního záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění ovzduší [ $\text{W/m}^2$ ]

$I_c$  - intenzita slunečního záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při dokonale čistém ovzduší [ $\text{W/m}^2$ ]



Linkeho vztah v číselném vyjádření představuje počet ideálně čistých atmosfér, které by vyvolali stejné oslabení jako reálná atmosféra. Pro výpočet sluneční radiace, ve kterém zohledňujeme součinitel znečištění atmosféry  $z$  použijeme průměrnou hodnotu podle ročního období bez ohledu na lokální znečištění, které je zahrnuto součinitelem  $c_0$ .

$$Z = z \cdot c_0 \text{ [-]}$$

$z$  - znečištění atmosféry [-]

$c_0$  - lokální znečištění atmosféry [-]

Pro zajímavost uvádím pár příkladů součinitele znečištění, nejmenší hodnoty byly zjištěny na vrcholech velehor (cca  $z=2$ ) a největší v průmyslových městech ( $z=5-6$ ). Znečištění v blízkosti velkých měst vede ke vzniku vlastního mikroklimatu s vlastními teplotami a proudění vzduchu.

### 3. Lidské oko, optické záření a člověk



**Obr. 3.1:** Pohled na lidské oko

Lidský zrak prošel velkým vývojem, který trval miliony let a přizpůsobil se dnešním jasovým poměrům.

K nejvýznamnějším prostředkům, kterými člověk udržuje kontakt s vnějším prostředím je zrak a jeho zrakové procesy. Zrak člověku zprostředkovává více než 80 % informací.

Postupem času, modernizací a rozvojem civilizace se člověk mění a tím i jeho život. Většina lidí tráví svůj čas převážně v interiéru a využívá umělého osvětlení. Takový životní styl způsobuje pokles životních podmínek a poškození fyziologických funkcí z nedostatku denního světla.



**Obr. 3.2:** Denní světlo



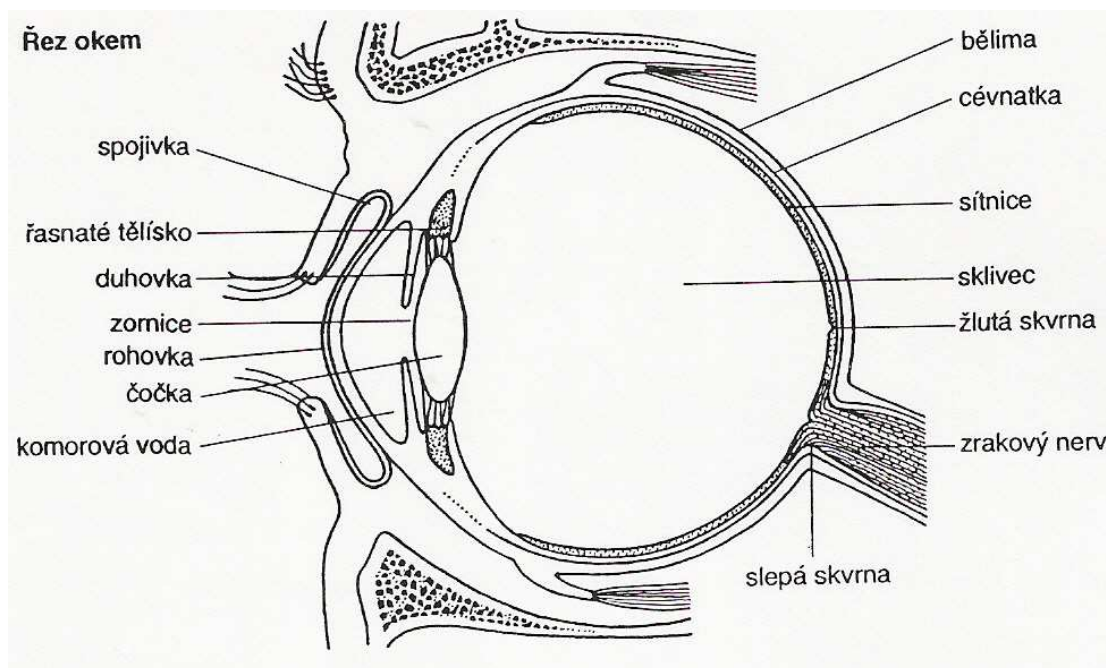
**Obr. 3.3:** Umělé světlo



**Obr. 3.4:** Denní světlo v interiéru

## 3.1 Anatomie

Zrakový systém můžeme brát jako soubor, který se skládá z oka, zrakového nervu a příslušných zrakových center v mozku. Oko rozdělíme na dvě části optickou a světločivnou. **Optickou část** tvoří rohovka, přední komora, duhovka se zorničkou, čočka a sklivec. **Světločivnou část** tvoří sítnice. Zrakové centrum v mozku se sítnicí spojuje zrakový nerv.



**Obr. 3.5:** Řez lidským okem

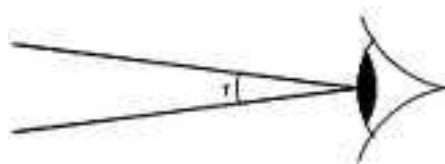
Světlo, které vstupuje do oka musí projít optickým prostředím oka a pak dopadne na světločivné receptory (tyčinky a čípky) v hloubce sítnice. Světločivné receptory jsou plně průhledné a dochází v nich k určitému pohlcení a rozptylu světla. Žádné oko není osově symetrické a jeho vlastnosti se liší dle stáří člověka a vnějšího prostředí.

### Podmínky viditelnosti

Zrak je pro nás "vidění", což znamená pomocí světelné radiace zprostředkovat pro organismus informaci o předmětu zrakové práce (situaci). Viditelnost je závislá na zrakových funkcích a světelných podmínkách prostředí. Pro to abychom dobře viděli jsou pro nás rozhodující kritéria, kterým odpovídají základní fyziologické funkce.

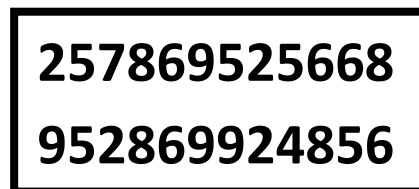
### Kritéria pro dobré vidění:

- úhlový rozměr pozorovaného detailu (nejmenší pozorované drobnosti)



Obr. 3.6: Úhlový rozměr

- kontrast mezi pozorovaným detailem a pozadím (např. černé číslice a bílý papír)



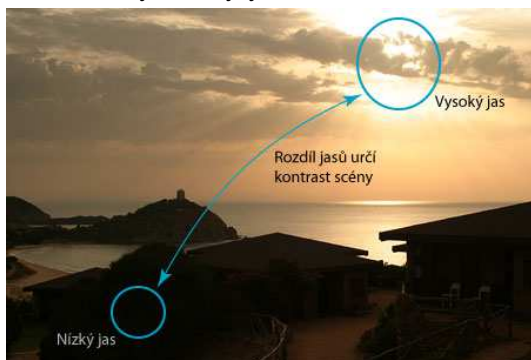
Obr. 3.7: Bílý papír a černé číslice

- doba trvání zrakového vjemu

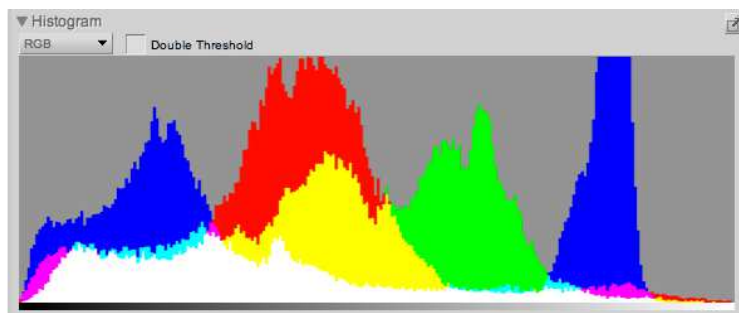
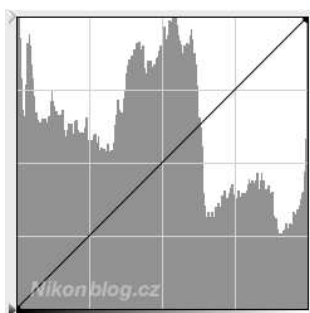


Obr. 3.8: Čas.

- úroveň jasů a jejich rozložení v zorném poli



Obr. 3.9: Úroveň jasů.



Obr. 3.10: Jasový histogram.

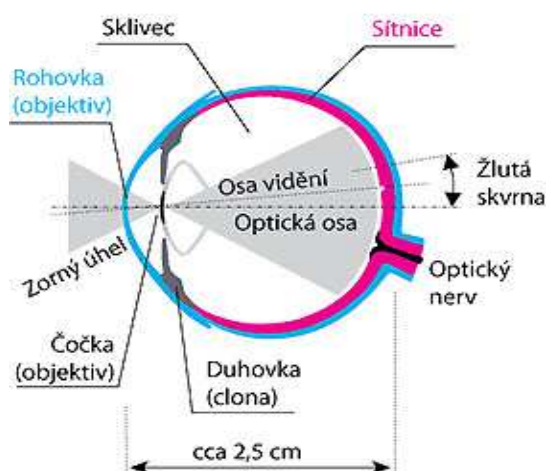
(na vodorovné ose vlevo nejhlubší stíny a vpravo nejvyšší jasy)

**Mezi základní fyziologické funkce v tomto případě patří:**

- rozlišovací schopnost (zraková ostrost)
- světelná citlivost
- kontrastní neboli rozdílová citlivost
- rychlost zrakového vjemu

**Zorné pole**

Pokud svůj pohled v místnosti zaměříme na určité místo tak se nám na sítnici promítne jeho obraz. Přímkou, která vznikne mezi námi zaměřeným bodem a středem sítnice je osou zorného pole (často bývá shodná s optickou osou). Tvar zorného pole je nepravidelný a pro pravé i levé oko jiný. Každé oko má svoje zorné pole, tyto zorná pole se navzájem překrývají a tvoří binokulární zorné pole.

**Obr. 3.11:** Zorné pole.

Viditelné záření má vliv na kůži a nejznámějším účinkem toho záření je fotolytický rozklad bilirubinu v krevním séru novorozenců, kteří mají novorozeneckou žloutenku. Léčbou novorozenecké žloutenky předejdeme poškození mozku a její léčba spočívá ve fototerapii modrým nebo bílým viditelným světlem.

**Obr. 3.12:** Nov. žloutenka.

Viditelné záření a s ním spojené "vidění" je považováno za velice důležité a významné pro člověka, jeho organismus a zachování zdraví. Tvorba světelného prostředí nesmí narušit biologické rytmy člověka.

## 4. Lom světla



**Obr. 4.1:** Následky lomu světla.

Lom záření nastává při průchodu opticky nehomogenním prostředím (materiálem) nebo při průchodu rozhraním mezi dvěma prostředími s různými indexy lomu. Pokud dojde k lomu záření změní se směr a rychlost šíření záření. V opticky homogenním prostředí světelné paprsky zachovávají svůj směr (přímkový). Jak již je zmíněno výše v opticky nehomogenním prostředí je dráha paprsku různě zakřivena.

### Index lomu

Index lomu prostředí je dán poměrem rychlosti šíření elektromagnetických vln ve vakuu k jeho fázové rychlosti v uvažovaném prostředí.

$$n(\lambda) = \frac{c_{vak}}{c} \geq 1 \quad [-]$$

$c_{vak}$  - rychlost šíření záření ve vakuu [m/s]

$c$  - rychlost šíření záření v daném prostředí [m/s]

### Příklad indexů lomu dle vybraných prostředí:

vakuum	$n=1$
suchý vzduch, při normálním atmosférickém tlaku	$n=1,0003$
stavební sklo	$n=1,52$

**Index lomu světla můžeme také vyjádřit pomocí zákona lomu.**

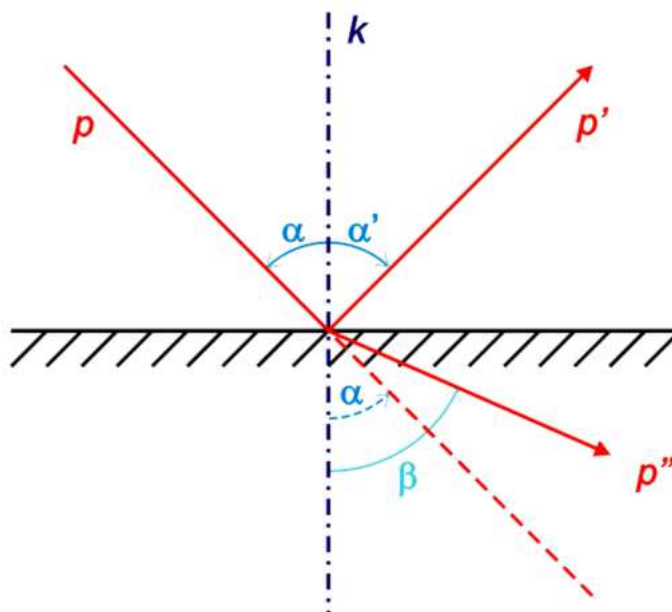
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_1}{n_2}$$

$\alpha$  - úhel dopadu [°]       $n_1, n_2$  - prostředí1, prostředí2 [-]

$\beta$  - úhel lomu [°]

## Zákon odrazu

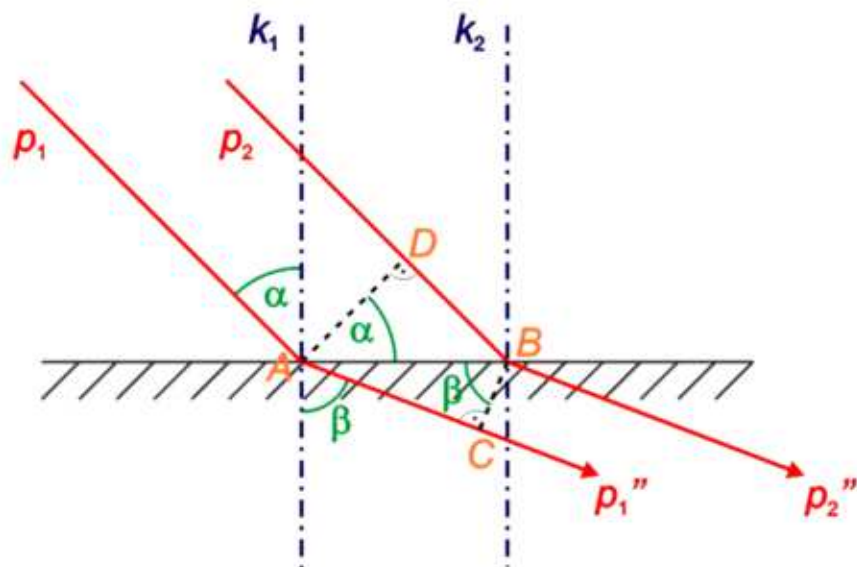
Zjednodušeně můžeme říct, že pokud světlo dopadá na rozhraní dvou prostředí pod úhlem  $\alpha$ , odráží se pod úhlem  $\alpha'$ . Velikost úhlu odrazu  $\alpha'$  se rovná velikosti úhlu dopadu  $\alpha$ . ( $\alpha = \alpha'$ ) Paprsek, který prošel z prvního prostředí do druhého ( $p''$ ), nazýváme lomený paprsek a svírá s kolmicí dopadu úhel lomu  $\beta$ . Veškeré úhly dopadu, odrazu i lomu se odečítají ve směru od kolmice dopadu. Odražený paprsek leží v rovině dopadu.



Obr.4.2: Zákon odrazu.

## Zákon lomu

Lom světla nastává při průchodu světla z jednoho prostředí do druhého a podmínkou je aby obě prostředí byly průhledné nebo průsvitné. Zjednodušeně na rozhraní dvou prostředí (sklo-vzduch) dopadá svazek rovnoběžných paprsků, v okamžiku kdy paprsek  $p_1$  dopadne na rozhraní prostředí, je paprsek  $p_2$  teprve v bodě D a do bodu B dopadne za dobu  $t_1$ . Než ale paprsek  $p_2$  dopadne na rozhraní obou prostředí, paprsek  $p_1$  se nemůže v bodě A samovolně zastavit a musí pokračovat do druhého prostředí a za dobu  $t_1$  se rozšíří do bodu C. Ve vzniklém trojúhelníku  $ABD$  najdeme úhel dopadu  $\alpha$  u vrcholu A a u vrcholu B je úhel lomu  $\beta$ . Navíc pokud si označíme rychlost světla  $v_1$  v prvním prostředí a ve druhém  $v_2$  pak získáme poměr vzdáleností a rychlostí. Z poměru zjistíme, že podíl sinu úhlu dopadu a sinu úhlu lomu je roven podílu rychlostí, kterými se světlo šíří v prvním a druhém prostředí. Lomený paprsek zůstává v rovině dopadu.



Obr.4.3: Zákon lomu

**Poměr vzdáleností a rychlostí:**

$$\frac{|DB|}{|AC|} = \frac{v_1 t_1}{v_2 t_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

- podíl můžeme vyjádřit i pomocí úhlů dopadu a lomu

$$\frac{|DB|}{|AC|} = \frac{|AB| \sin \alpha}{|AB| \sin \beta} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad \Rightarrow \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad \text{zákon lomu světla}$$

$DB, AC, AB$  - vzdálenost [m]

$v_1$  - rychlost šíření světla v prostředí 1 [m/s]

$v_2$  - rychlost šíření světla v prostředí 2 [m/s]

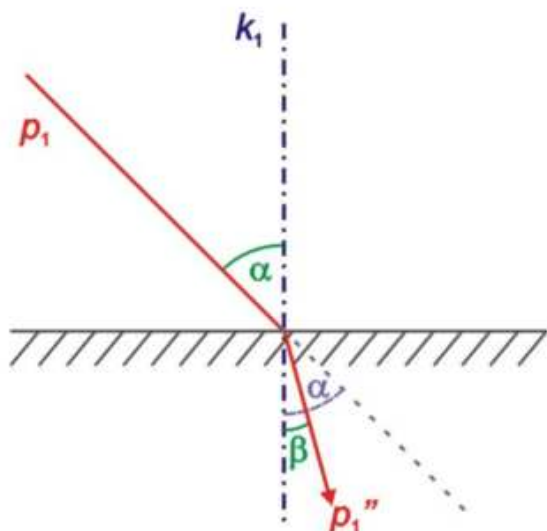
$t_1, t_2$  - čas šíření světla do daných bodů [s]

$\alpha$  - úhel dopadu [°]

$\beta$  - úhel lomu [°]



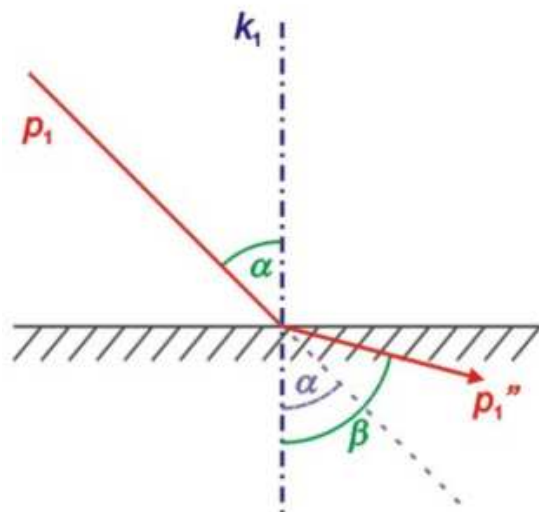
### Lom světla ke kolmici



Obr.4.4: Lom světla ke kolmici.

Pokud světlo dopadá z opticky řidšího prostředí do opticky hustšího prostředí (vzduch-sklo) - index lomu prvního prostředí je menší než index lomu druhého prostředí, znamená to, že úhel lomu  $\beta$  je menší než úhel dopadu  $\alpha$ .

### Lom světla od kolmice



Obr.4.5: Lom světla od kolmice.

V případě, že světlo dopadá z opticky hustšího prostředí do opticky řidšího prostředí (sklo-voda, sklo-vakuum, voda-vzduch) - index lomu prvního prostředí je větší než index lomu druhého prostředí, znamená to, že úhel lomu  $\beta$  je větší než úhel dopadu  $\alpha$ .

## 5. Prostup světla stavebními skly



**Obr.5.1:** Dvojité zasklení,  
jednoduché zasklení

Stavební sklo svými optickými vlastnosti ovlivňuje vstup denního světla z exteriéru do interiéru. Nejčastěji dochází k odrazu a lomu světla na rozhraní dvou různých optických prostředí, k absorpci světla uvnitř hmotného prostředí skla, rozptylu světla na rozhraní prostředí nebo ve hmotě skla, dvojlomu, polarizaci a interferenci.

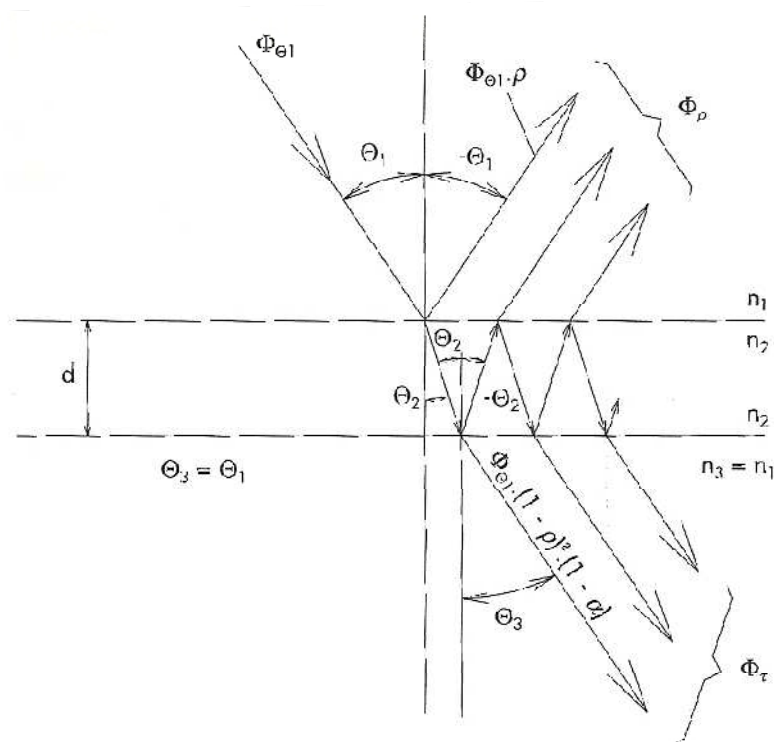
### Přímý vstup jednovrstvým čirým sklem



**Obr.5.2:** Čiré sklo.

Jednovrstvým čirým sklem světlo vstupuje skoro bez rozptylu. Částečný rozptyl můžeme zaznamenat z důvodu vnitřní nehomogenity a nedokonalosti povrchu. Ve výpočtech tento rozptyl zanedbáváme spolu s polarizací a interferencí. Množství světla, které projde sklem určujeme pomocí činitele prostupu  $\tau$ . (Podíl vstupujícího světla a světla dopadajícího na povrch.) Projevuje se

zde i závislost na odrazu světla na rozhraní vzduch-sklo a sklo-vzduch a na pohlcení světla sklem. Odraz světla závisí na úhlu dopadu a indexu lomu.



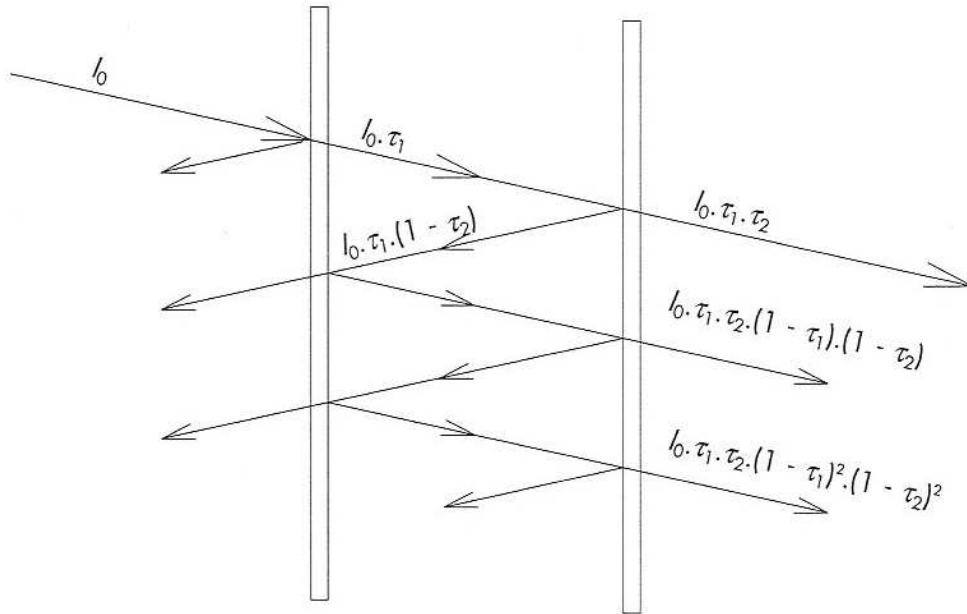
**Obr.5.3:** Odraz a prostup světla čirým sklem.

### Přímý prostup při dvojitém zasklení

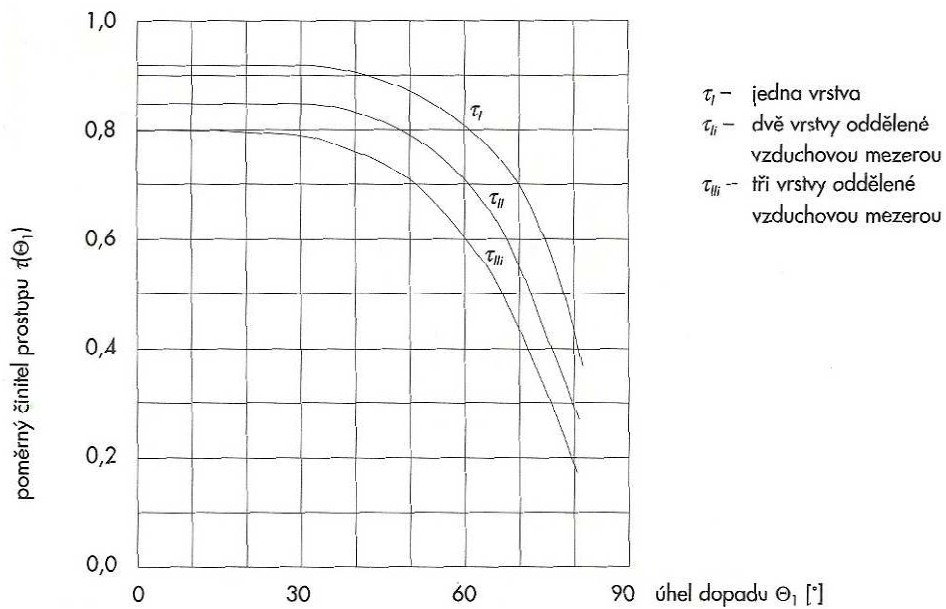


U dvojitého zasklení, které se skládá z dvou vrstev skel oddělených vzduchovou mezerou je prostup světla mnohem složitější než u jednoduchého zasklení, protože dochází k mnohonásobným odrazům mezi skly. Pro zjednodušení zde zanedbáváme pohltivost a uvažujeme, že obě vrstvy skel mají stejné optické vlastnosti.

**Obr.5.4:** Příklad dvojitého zasklení.



**Obr.5.5:** Odraz a prostup světla přes dvojitě zasklení.



**Obr.5.6:** Závislost směrového přímého činitele prostupu světla.

## 6. Tepelná zátěž okny



Obr.6.1: Tepelná zátěž oknem.

O vzniku tepelné zátěže jsem se zmiňovala v předchozím textu, nicméně se řadí mezi tepelné zátěže vnější (z vnějšího prostředí). Tepelná zátěž okny je jednou z prvotních složek hlavně pro návrh klimatizace a vzduchotechnického systému. Teplené zisky oken představují zisky oken konvekcí  $Q_{ok}$  a radiací  $Q_{or}$ .

Výpočet tepelné zátěže okny je zde znázorněn dle normy ČSN 730548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů.

### Prostup tepla oknem konvekcí

Prostup tepla konvekcí se určí pro plochu okna včetně rámu. Pro výpočet potřebujeme znát součinitel prostupu tepla okna.

$$Q_{ok} = U_o \cdot S_{ok} \cdot (t_{ev} - t_i)$$

$U_o$  - součinitel prostupu tepla okna [ $W/(m^2K)$ ]

(např. jednoduché okno dvojitě zasklené, mezera menší než 10mm:  $U_o=3,7 W/(m^2K)$ )

$S_{ok}$  - plocha okna [ $m^2$ ]

$t_{ev}$  - teplota vnějšího vzduchu pro danou hodinu [ $K$ ]

$t_i$  - teplota interiéru [ $K$ ]

### Prostup tepla oknem radiací

Závisí zejména na úhlu dopadu slunečních paprsků a vlastnostech skla. Celková propustnost difuzní sluneční radiace standardního zasklení je stálá a nezávislá na poloze slunce.

### Celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace

$$T_D = 0,87 - 1,47 \left( \frac{\theta}{100} \right)^5$$

$\theta$  - úhel mez normálou k oknu a slunečními paprsky [°]

### Tepelné zisky okna radiací

$$Q_{or} = [S_{os} \cdot I_o \cdot c_o + (S_o - S_{os}) \cdot I_{odif}] \cdot s$$

$I_o$  - celková (globální) sluneční radiace procházející jednoduchým standardním zasklením [ $W/(m^2K)$ ]

$I_{odif}$  - intenzita difuzní radiace procházející standardním jednoduchým zasklením [ $W/(m^2K)$ ]

$S_{os}$  - osluněný povrch okna [ $m^2$ ]

$S_o$  - plocha zasklení jednoho okna ( $S_o = 0,85 \cdot S_{ok}$ ) [ $m^2$ ]

$c_o$  - korekce čistoty atmosféry (venkovská oblast:  $c_o = 0,85$ )

$s$  - stínící součinitel (vliv zasklení a stínících prostředků)

### Osluněný povrch okna

$$S_{os} = [l_a - (e_1 - f)] \cdot [l_b - (e_2 - g)]$$

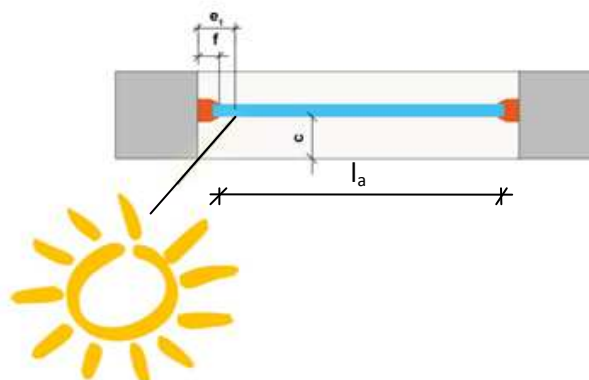
$l_a$  - šířka zasklení [ $m$ ]

$l_b$  - výška zasklení [ $m$ ]

$e_1$  - vodorovný stín na okně [ $m$ ]

$e_2$  - svislý stín na okně [ $m$ ]

$f$  - odstup od svislé stínící překážky (běžně šířka rámu) [ $m$ ]



**Obr.6.2:** Půdorys okna.

$g$  – odstup od vodorovné stínící překážky (běžně šířka rámu) [m]

$\alpha$  - sluneční azimut [°]

$\alpha_s$  - azimut stěny [°]

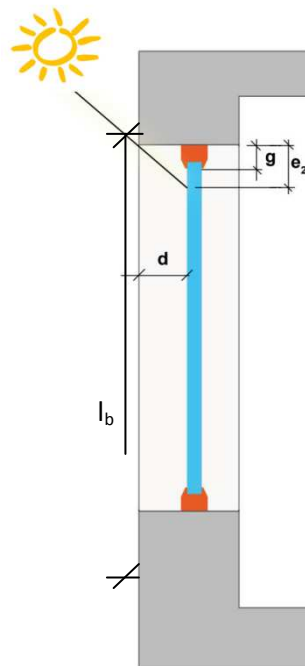
$h$  - výška slunce nad obzorem [°]

### Vodorovný stín na okně

$$e_1 = d \cdot \tan |\alpha - \alpha_s|$$

### Svislý stín na okně

$$e_2 = \frac{c \cdot \tan h}{\cos |\alpha - \alpha_s|}$$



Obr.6.3: Řez okna.

- je-li rozdíl azimutů stěny a slunce větší jak 90° - okno je celé ve stínu

- je-li délka stínu  $e_1$  nebo  $e_2$  menší než cca 100-150mm (šířka rámu okna) - stín dopadá na rám - na celé sklo okna dopadá přímé sluneční záření

### Celková tepelná zátěž okny

$$Q_o = Q_{or} + Q_{ok}$$

$Q_{or}$  - tepelné zisky okna radiací [W]

$Q_{ok}$  - tepelné zisky okna konvekcí [W]

## 7. Stínící součinitel

Vyjadřuje nám jaká část sluneční radiace prochází daným oknem vzhledem ke standardnímu jednoduchému oknu. Pokud máme několik druhů stínících prostředků pak se celkový stínící součinitel vypočte: (dle ČSN 730548)

$$S = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot S_n$$



**Obr.7.1:** Venkovní žaluzie.



**Obr.7.2:** Vnitřní žaluzie.



**Obr.7.3:** Záclona.  $s=0,8$

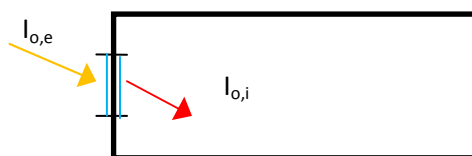
světlé:  $s=0,15$

středně tmavé:  $s=0,65$   
světlé:  $s=0,56$

Výše zmínění stínící součinitel je počítán dle normy ČSN 730548 *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů*. Jedná se tedy jen o čistě teoretickou hodnotu stínícího součinitele.

### Stínící součinitel okna reálný

$$S = \frac{I_{o,i}}{I_{o,e}}$$



**Obr.7.4:** Půdorys místnosti.

$I_{o,e}$  - celková sluneční radiace dopadající na prosklenou část okna [ $W/(m^2K)$ ]

$I_{o,i}$  - celková sluneční radiace procházející prosklenou částí okna do interiéru  
[ $W/(m^2K)$ ]

Reálný stínící součinitel je změřený na fyzickém modelu v experimentální části a zahrnuje všechny okolní vlivy, jedná se tedy o fyzikální veličinu prakticky ověřenou. Reálný stínící součinitel se může od teoretického, který je uveden v normě výrazně lišit.



Může se nám zdát, že hodnota stínícího součinitele je zanedbatelná a nemusíme ji přikládat větší váhu. V dnešní moderní době se snažíme o co nejehospodárnější systémy a proto i stínící součinitel je korekcí tepelných zisků získaných sluneční radiací a nemůžeme ho jen tak přehlížet. V praxi se můžeme setkat s tím, že přidáváme do budovy stínící prostředky tak aby tepelná zátěž nebyla tak vysoká a zdroj chladu předimenzovaný. Na druhou stranu nemůžeme uvažovat s nižším stínícím součinitelem než je uváděn výrobcem protože bychom při návrhu klimatizace nepokryli skutečnou tepelnou zátěž. Otázkou zůstává má-li vliv na stínící součinitel okna počasí (jasno-zataženo), roční období, výška slunce nad obzorem nebo nám opravdu stačí jen jedna hodnota stínícího součinitele pro dané okno?

### **Pro zajímavost uvádím výpočet "činitele stínění" dle ČSN EN 410 - Sklo ve stavebnictví - Stanovení světelných a solárních charakteristik zasklení**

Evropská norma uvádí metody stanovení světelných a slunečních charakteristik zasklení ve stavebnictví. Charakteristiky často slouží jako podklad pro výpočty osvětlení, vytápění a nebo chlazení místnosti a umožňují porovnávat různé druhy zasklení. Norma uvažuje s běžným zasklením a s absorpčním a reflexním. V normě najdeme příslušné vzorce pro jednoduché, dvojitě a trojitě zasklení. Norma je na výpočet vcelku složitá uvažuje s velkým množstvím parametrů, které jako laici nejsme schopni znát a určit bez pomoci výrobců.

#### **Činitel stínění**

$$SC = \frac{g}{0,87}$$

$g$  - celkový činitel prostupu solární energie (solární faktor)

**Solární faktor ( $g$ )** - je to součet činitele prostupu přímého slunečního záření a činitele sekundárního přestupu tepla na vnitřní straně (poměrná část pohlcené části zářivého toku vyzářená směrem dovnitř místnosti)

$$g = \tau_e + q_i$$

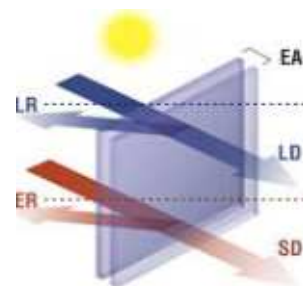
$\tau_e$  - činitel přímého prostupu slunečního záření

$q_i$  - činitel sekundárního přestupu tepla zasklení

## Příklady zasklení a oken vyskytujících se na trhu

- **zasklení AGC YourGlass - dvojitě**

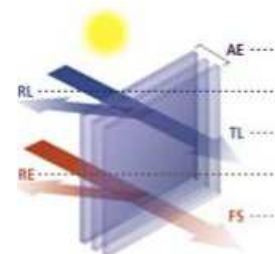
- 4mm sklo včetně ref. vrstvy - 16mm argon - 4mm sklo
- $U_g = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $SC = 0,64$ ,  $g = 56$  (dle EN410)



**Obr.7.5:** Dvojitě zasklení.

- **zasklení AGC YourGlass - trojitě**

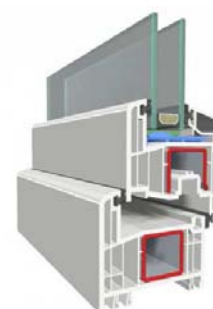
- 4mm sklo včetně ref. vrstvy - 14mm argon - 4mm sklo - 14mm argon - 4mm sklo včetně ref. vrstvy
- $U_g = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $SC = 0,54$ ,  $g = 47$  (dle EN410)



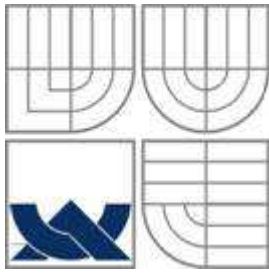
**Obr.7.6:** Trojitě zasklení.

- **plastové okno IQ včetně předcházejícího zasklení**

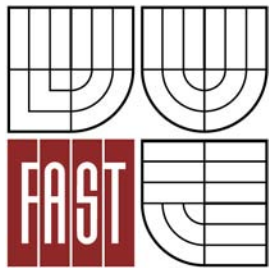
- $U_f = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- počet komor - 6 v rámu i křídle
- zasklení možné 24-60 mm



**Obr.7.7:** Plastové okno.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

## VLIV PROSKLENÍ NA VNITŘNÍ MIKROKLIMA OBJEKTŮ THE INFLUENCE OF MICROCLIMATE ON THE INSIDE GLASS OBJECTS

### ČÁST B - APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. HANA DVOŘÁKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2013

## 8. Zadaná budova

### Informace o objektu pro aplikaci tématu



**Obr. 8.1.:** Sportovní hala.

Pro aplikaci problematiky stínícího součinitele jsem použila budovu sportovní haly umístěnou v Brně, kterou jsem řešila z hlediska vzduchotechniky v mé bakalářské práci. Objekt se skládá z tělocvičny s hledištěm a ze zázemí, které tvoří šatny, sprchy a WC. Skoro celý objekt je umístěn v 1.NP, jen hlediště je umístěno v 2.NP a je součástí tělocvičny. Strojovna vzduchotechniky

je umístěna nad prvním nadzemním podlažím a je přístupná z ploché pochůzné střechy. V bakalářské práci byla řešena realizační dokumentace dvou vzduchotechnických zařízení pro teplovzdušné větrání zázemí a pro teplovzdušné vytápění a klimatizaci tělocvičny. Pro místnost tělocvičny jsem vypočítala tepelnou zátěž pomocí programu Teruna. Tepelnou zátěž jsem využila při návrhu vzduchotechnických jednotek. Technická zpráva uvedena v příloze P1.

V bakalářské práci jsme již počítali tepelnou zátěž pro místnost tělocvičny včetně místností rozhodčí a hlediště - jsou součástí jednoho funkčního celku. Vypočtenou tepelnou zátěž využiji.

V tělocvičně jsme uvažovali s vnitřní tepelnou zátěží 60 sportovců a v hledišti je počítáno se 150 diváky. Většina hal musí být dobře osvětlena, proto i tady je počítáno s vnitřní zátěží z osvětlení. Další důležitou věcí pro nás bude okno, které je umístěné v tělocvičně (viz. obr.8.2 ) a je zdrojem vnější tepelné zátěže. Okno je orientované na jihovýchod.

## Základní převládající konstrukce v objektu

Konstrukční výška objektu je 3,65m a světlá výška místnosti je 2,65m (tělocvična 13m). V místnostech jsou podhledy ze sádkartonu. Objekt je postaven ze systému YTONG. Nosnou funkci střechy tvoří ocelové nosníky procházející celým objektem.

### Konstrukční vlastnosti

- Nosné obvodové zdivo s provětrávanou fasádou tl. 500mm,  $U= 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Nosné vnitřní zdivo tl. 380mm,  $U= 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Nosné vnitřní zdivo tl. 250mm,  $U= 0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Nosné vnitřní zdivo tl. 175mm,  $U= 0,71 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Konstrukce stropu tl. 300mm,  $U= 1,45 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Konstrukce podlahy tl. 260mm,  $U= 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Střecha  $U= 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$

### Rozdělení objektu do funkčních celků

Objekt byl již v bakalářské práci rozdělen do následujících funkčních celků.

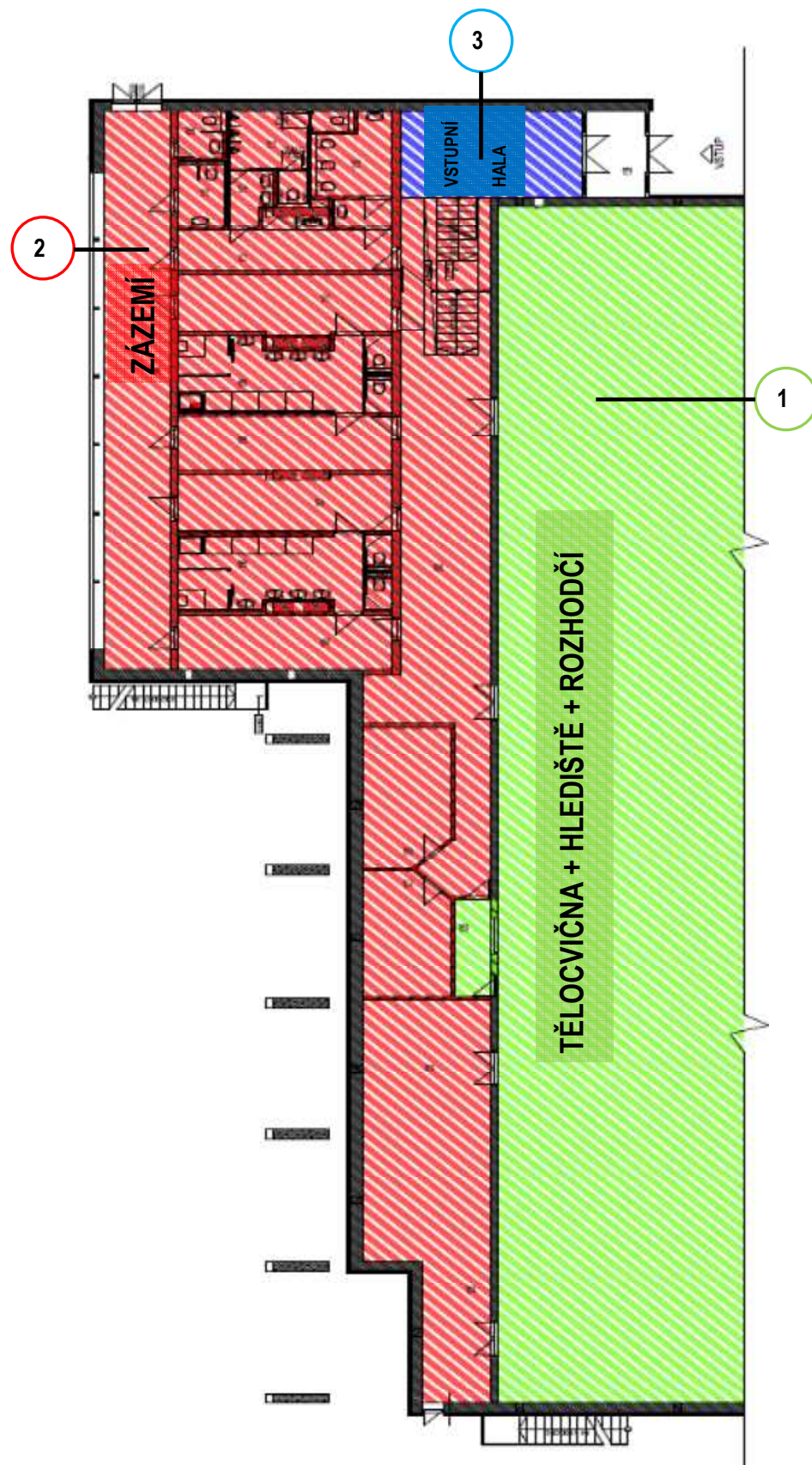
- tělocvična + hlediště + rozhodčí - zařízení č.1 – teplovzdušné vytápění a klimatizace
- zázemí - zařízení č.2 – teplovzdušné větrání
- vstupní hala - zařízení č.3 – dveřní clona

### Provozní údaje

Časová obsazenost sportovců: 8:00 - 23:00, 60 sportovců

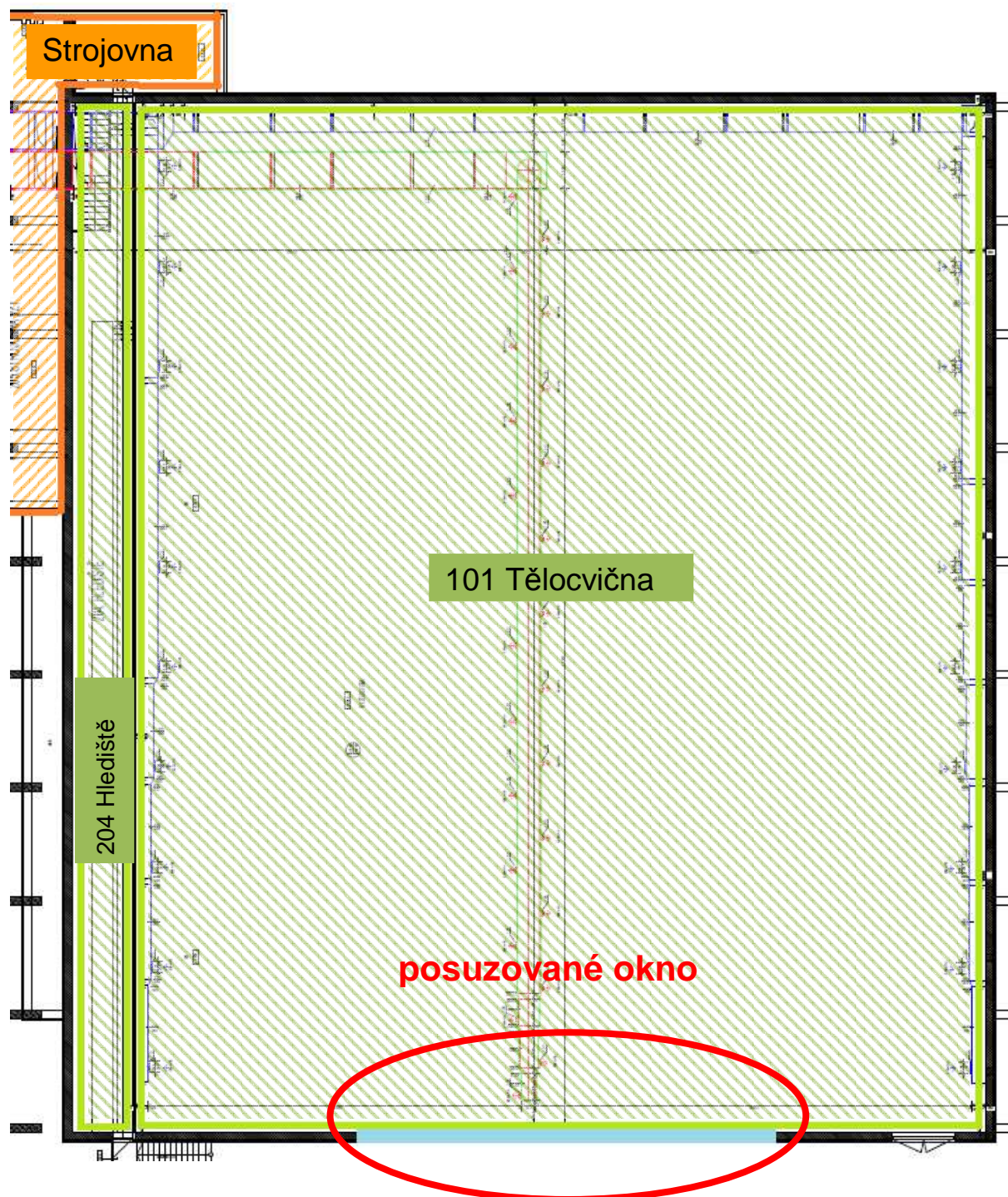
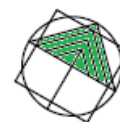
Časová obsazenost diváků: 14:00 - 23:00, 150 diváků

Osvětlení v čase: 18:00 - 23:00



**Obr. 8.2.:** Rozdělení na funkční celky

Pro aplikaci tématu jsem si vybrala místnost s názvem tělocvična. Tělocvična je stěžejní místností celé sportovní haly.



**Obr. 8.3.:** Rozdělení objektu vybrané části.

## 9. Varianta č.1

V této variantě porovnám tepelnou zátěž s původním oknem a s náhodně vybraným, které nabízí výrobci na trhu. Nejprve použiji tepelnou zátěž s původním oknem. Následně spočítám tepelnou zátěž bez okna a po té učím tepelnou zátěž s novým oknem. Na závěr vše porovnám.

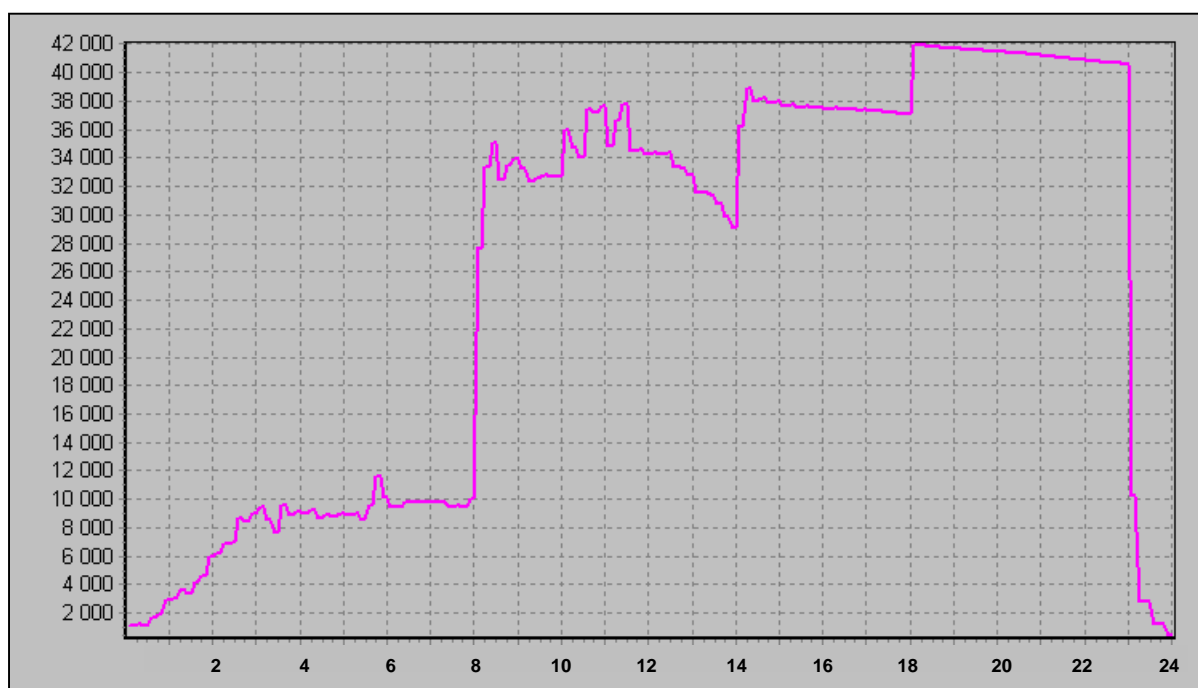
### Vlastnosti původního okna

Okno původní	
Rám okna	kov
Typ zasklení	jednosklo
Výplň mezi skly	-
Orientace	Jihovýchod
Azimut okna	135°
Rozměr okna $d_{xs}$	38,6x3 m
Plocha zasklení $S_o$	98,5 m <sup>2</sup>
Součinitel prostupu tepla okna $U_w$	1,2 W/(m <sup>2</sup> K)
Stínící součinitel	0,85

Tab. 9.1.: Vlastnosti okna.

### Znázornění průběhu tepelné zátěže v závislosti na čase pro den 21.červenec (včetně lidí a okna)

- uvažováno s původním oknem z bakalářské práce ( $s = 0,85$ ,  $U_o = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

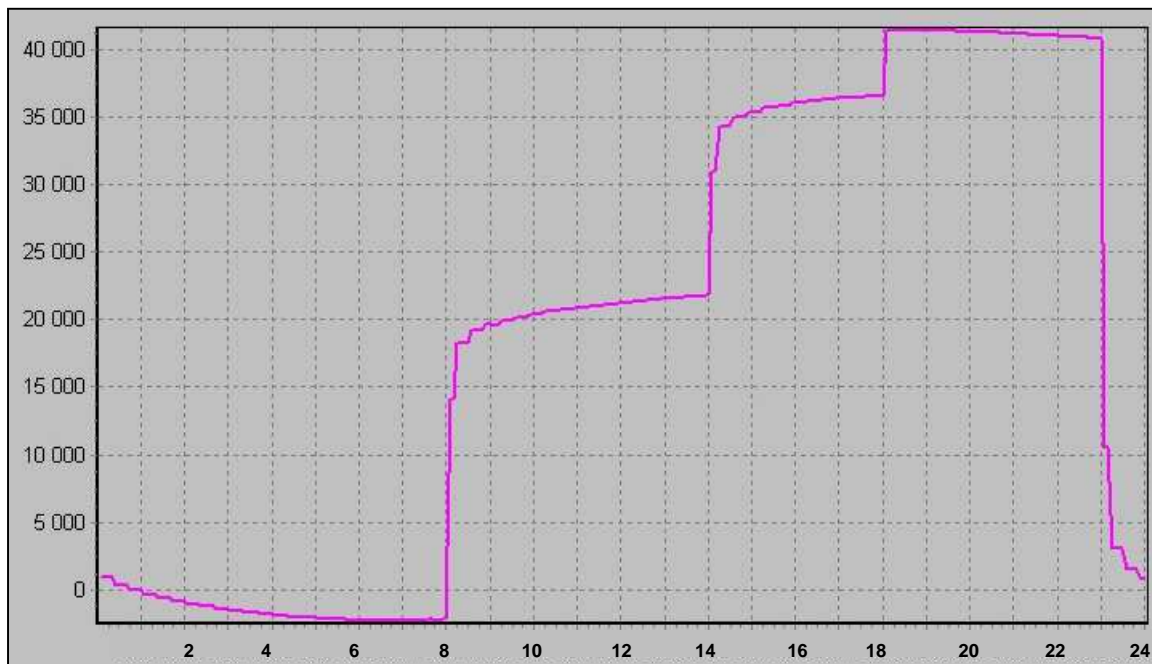


Maximální tepelná zátěž: 41 939 W

osa x – čas [h] , osa y – tepelná zátěž [W]



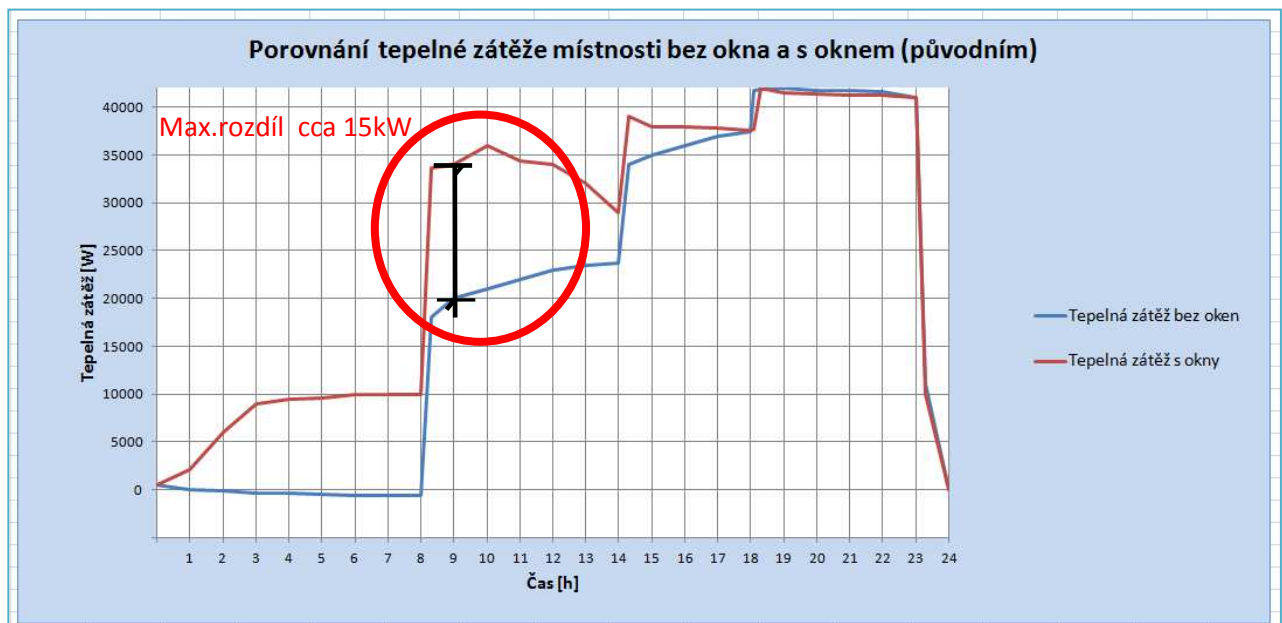
**Znázornění průběhu tepelné zátěže v závislosti na čase pro den 21.červenec - bez okna**



Maximální tepelná zátěž: 41 428 W

osa x – čas [h] , osa y – tepelná zátěž [W]

**Porovnání tepelné zátěže místnosti s oknem a bez okna**



**Obr. 9.1.:** Porovnání zátěží - původní okno a místnost bez okna.

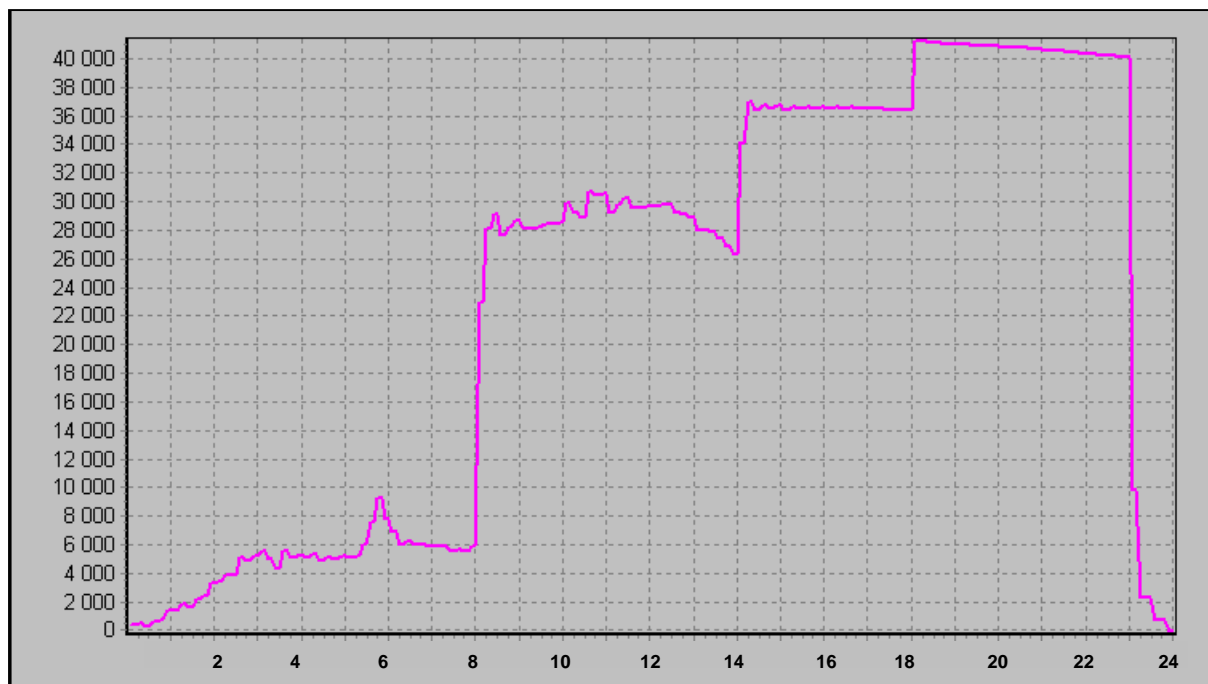
## Vlastnosti nového okna

Nové okno	
Rám okna	Plast
Typ zasklení	trojsklo
Výplň mezi skly	-
Orientace	Jihovýchod
Azimut okna	135°
Rozměr okna $d \times s$	38,6x3 m
Plocha zasklení $S_o$	98,5 m <sup>2</sup>
Součinitel prostupu tepla okna $U_w$	1,2 W/(m <sup>2</sup> K)
Stínící součinitel	0,54

Tab. 9.2.: Vlastnosti okna.

Znázornění průběhu tepelné zátěže v závislosti na čase pro den 21.červenec (včetně lidí a okna)

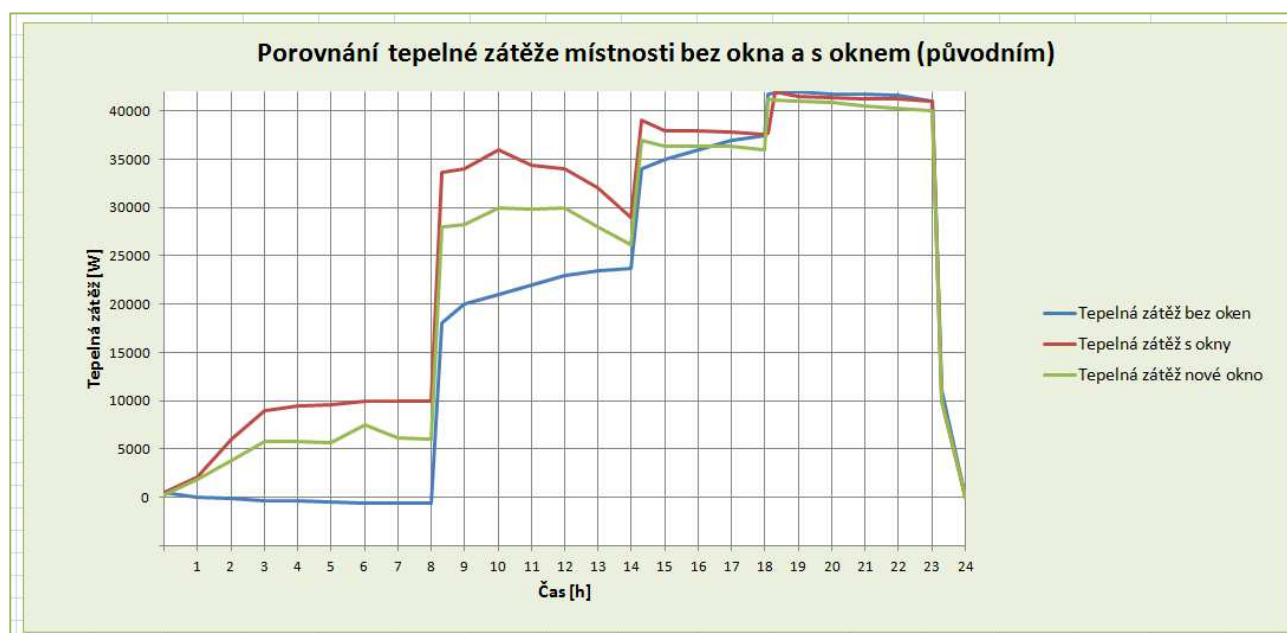
- uvažováno s novým oknem ( $s = 0,54$ ,  $U_o = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )



Maximální tepelná zátěž: 41 561 W

osa x – čas [h] , osa y – tepelná zátěž [W]

## Porovnání tepelné zátěže místnosti bez okna, s oknem původním a novým



Obr. 9.2.: Porovnání tepelných zátěží.

## Srovnávací tabulka

Typ provedení	Tepelná zátěž		
	Max.zátěž	8 hodin	12 hodin
bez okna	41 428 W	-	24 000 W
původní okno	41 939 W	10 000 W	34 000 W
nové okno	41 561 W	6 000 W	30 000 W

Tab. 9.3.: Srovnání.

## Posouzení varianty č.1



V našem specifickém příkladě (ne příliš obvyklém) vidíme, že hlavní zátěž v uvažované místnosti je způsobena od vnitřních zdrojů především lidí. Maximální tepelnou zátěž nám zde netvoří zátěž oknem, mohli by jsme tedy říct, že ať už vybereme jakékoliv okno zásadní vliv to na tepelné zisky mít nebude. Z investičního hlediska máme tedy možnost vybrat kvalitu úměrnou ceně a nemusí to být, žádné extra speciální okno. Návrh vzduchotechnického systému výběr okna také neovlivní, jelikož zdroj chladu je nadimenzovaný na 50kW tedy s dostatečnou rezervou. Ve druhé variantě může uvažovat s tepelnou zátěží od původního okna.

## 10. Varianta č.2



V poslední variantě se pokusím aplikovat zjištěnou teorii z experimentálního měření. Okno máme orientované na jihovýchod, z toho nám vyplývá, že největší tepelná zátěž by měla být nejvyšší kolem 9-10 hodiny. Během dopoledne by tedy měly oknem pronikat paprsky přímého slunečního záření. Znamená to tedy, že během dopoledne budu uvažovat se stínícím součinitelem celkovým - tak jak mi vyšel v experimentálním měření. Difuzní stínící součinitel použiji cca od 13 hodiny až do večera. Vzniklé grafy zátěží porovnáme, případně spojíme a vyhodnotíme.

### Pro aplikaci využijeme vlastnosti okna č.1 z experimentálního měření

- hodnoty stínících součinitelů si vezmeme z experimentálního měření
- difuzní stínící součinitel: 0,33
- celkový stínící součinitel: 0,6

Vlastnosti okna č.1	
Rám okna	dřevo
Typ zasklení	dvojsklo
Výplň mezi skly	vzduch
Orientace	Jihovýchod
Azimut okna	135°
Rozměr okna $d_{xs}$	38,6x3 m
Plocha zasklení $S_o$	98,5 m <sup>2</sup>
Součinitel prostupu tepla okna $U_w$	2,5 W/(m <sup>2</sup> K)
Stínící součinitel	neuvden

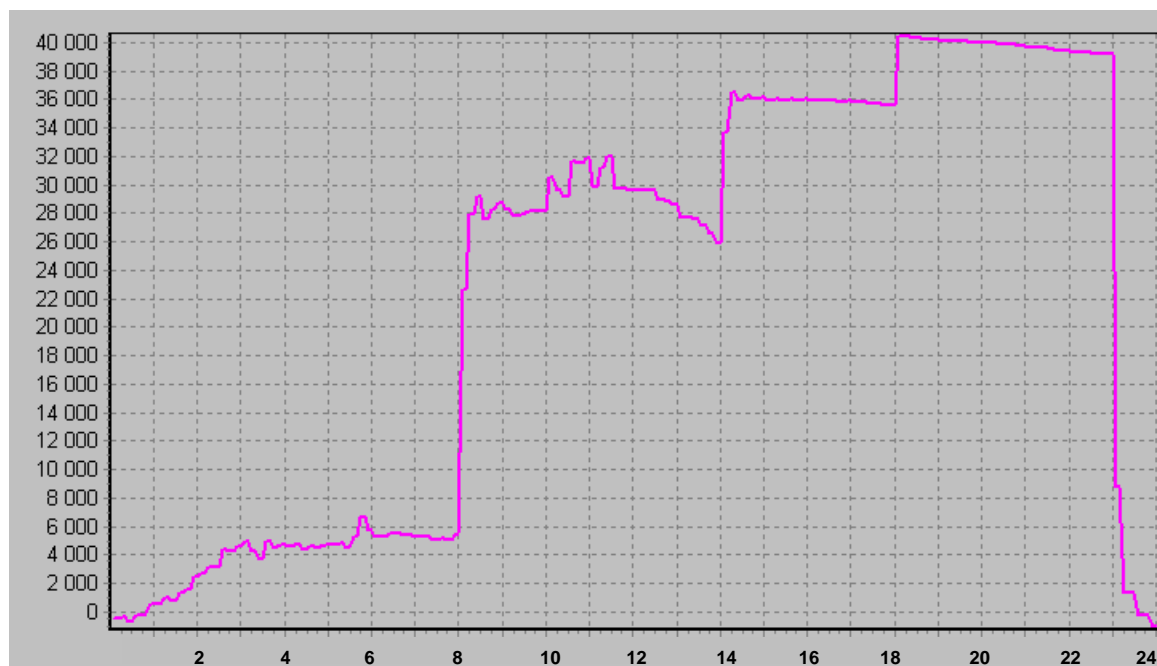
Tab. 10.1.: Vlastnosti okna.

**Znázornění průběhu tepelné zátěže v závislosti na čase pro den 21.červenec  
(s difuzním součinitelem stínění 0,33)**



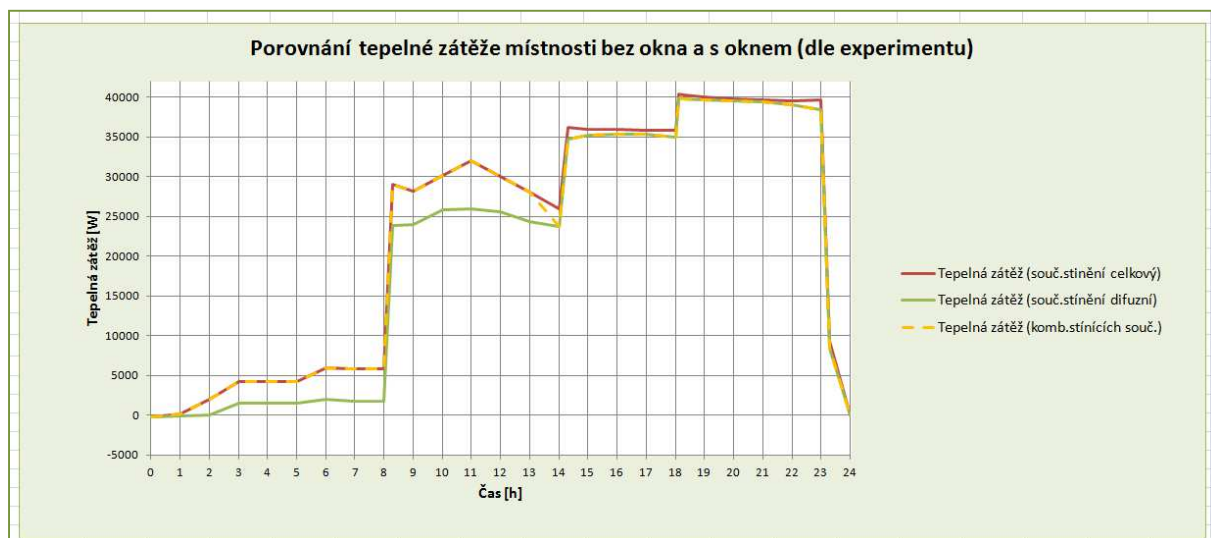
Maximální tepelná zátěž: 39 886 W                      osa x – čas [h] , osa y – tepelná zátěž [W]

**Znázornění průběhu tepelné zátěže v závislosti na čase pro den 21.červenec  
(s celkový součinitelem stínění 0,6)**



Maximální tepelná zátěž: 40 422 W                      osa x – čas [h] , osa y – tepelná zátěž [W]

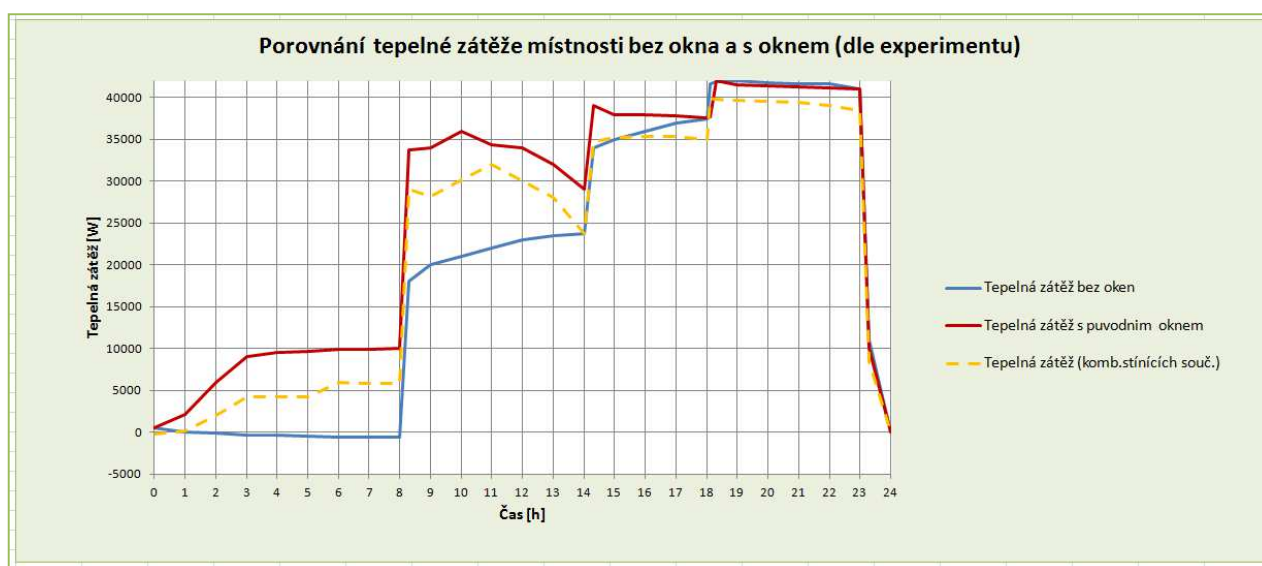
## Porovnání tepelné zátěže místnosti s oknem z experimentálního měření a různými stínícími součiniteli



**Tab. 10.1.:** Tepelná zátěž s kombinací stínícího součinitele.

- kombinací stínících součinitelů jsem dostala tepelnou zátěž která odpovídá použití celkového stínícího součinitele v dopoledních hodinách a difuzního stínícího součinitele v odpoledních hodinách

## Porovnání tepelné zátěže místnosti bez oken a s oknem dle hodnot experimentu + okno původní



**Tab. 10.2.:** Porovnání různých tep. zátěží

- z grafu vyplývá, že díky použitému oknu z experimentu, které má vyšší součinitel prostupu tepla nám tepelná zátěž v pozdějších hodinách částečně klesla
- použitím vyšší hodnoty tepelného součinitele prostupu tepla nedochází k tak velké akumulaci tepla jako tomu je u původního okna kdy součinitel prostupu tepla okna je nižší

### Srovnávací tabulka

Typ provedení	Tepelná zátěž		
	Max.zátěž	9 hodin	10 hodin
bez okna	41 428 W	20 000 W	20 500 W
původní okno	41 939 W	34 000 W	36 000 W
Okno z exp.	40 422 W	29 000 W	30 000 W



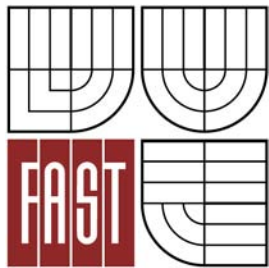
## Posouzení varianty č.2

Jak již jsem se zmiňovala ve variantě č.1 mám ne příliš obvyklý případ, kdy tepelná zátěž od vnitřních zdrojů má významnější vliv než tepelná zátěž okny. Z výše uvedených grafů si můžeme všimnout, že při užití vyššího tepelného součinitele prostupu tepla nedochází k tak velké akumulaci tepla v místnosti. Pokles tepelné zátěže v pozdějších hodinách je též dán změnou stínícího součinitele, protože v odpoledních hodinách jsem uvažovala stínící součinitel difuzní tedy hodnotu cca 0,33. V našem případě zjištěné poznatky z experimentálního měření nemají příliš význam protože tepelná zátěž je ovlivněna minimálně o žádný významný rozdíl se nejedná. Zdroj chladu by jsme v této variantě navrhovali na tepelnou zátěž 40,5kW s se od původního návrhu liší o cca 9,5kW včetně rezervy.

Varianta č.1 ani varianta č.2 by neměli zásadní vliv na navržený stávající vzduchotechnický systém sportovní haly.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

## VLIV PROSKLENÍ NA VNITŘNÍ MIKROKLIMA OBJEKTŮ THE INFLUENCE OF MICROCLIMATE ON THE INSIDE GLASS OBJECTS

### ČÁST C - EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ A ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. HANA DVOŘÁKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2013

## 11. Cíl experimentálního měření



Experimentální měření této diplomové práce se zabývalo intenzitou sluneční radiace dopadající a procházející oknem a následným výpočtem stínícího součinitele. Okna pro měření byla vybraná na rodinném domě ve Velkém Meziříčí.

Cílem experimentálního měření bylo zjistit stínící součinitel vybraných oken, která byla orientována na různé světové strany. K tomu abychom mohli určit stínící součinitel museli jsme měřit sluneční radiaci dopadající a procházející oknem. Měření probíhalo v různá roční období, abychom zjistili zda se stínící součinitel mění respektive je-li to jeden z činitelů, který ho ovlivňuje. Na základě měření, které probíhalo celý den jsme zkoumali jak a čím se mění stínící součinitel během dne. Zajímalo nás zda-li hodnota součinitele je ovlivněna výškou slunce nad obzorem, oblačností a azimutem okna. U vybraného okna jsme provedli porovnání skutečného stínícího součinitele a uvedeného výrobcem. Snažili jsme se zjistit zda-li jedna jediná hodnota stínícího součinitele uvedená výrobcem opravdu stačí a vystihuje vše potřebné.

Měření probíhalo ve vybrané, hlavně o víkendu od konce října 2011 do konce března 2012 na fyzickém reálném modelu.



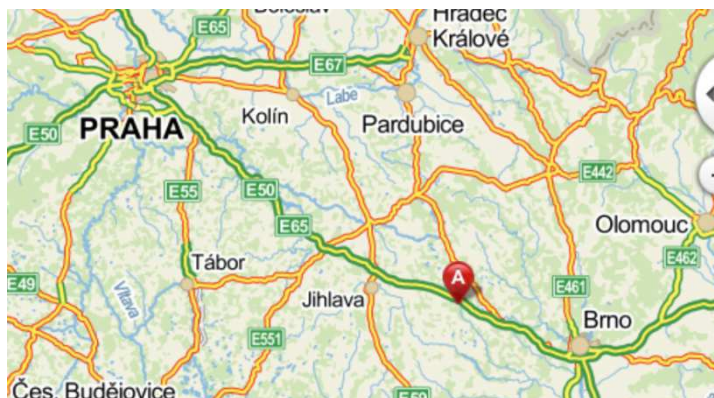
**Obr.11.1:** Objekt pro experiment.

## 11.1 Analýza místa měření

Pro experiment byl zvolen fyzický reálný model rodinného domu, ve kterém bydlím. Dům se nachází v České republice na území Vysočiny ve Velkém Meziříčí (425m n.m.). Pro experimentální měření zde byla vybrána okna, která jsou orientována k různým světovým stranám (jih, sever, západ).

### Klimatické poměry

- místo Velké Meziříčí
- nadmořská výška 425 m n.m.
- normální tlak vzduchu 95,2 kPa
- výpočtová teplota vzduchu léto :+ 28 °C, zima: - 15 °C
- entalpie léto 51,9 kJ/kg s.v.



Obr.11.2: Lokalita experimentu.



Obr.11.3: Letecký pohled na vybraný objekt.

## Informace o objektu

Převládající skladba obvodové konstrukce:

MATERIÁL	Tl. [mm]
Fasádní omítka	15
Tepelná izolace EPS	150
Zdivo Porotherm 44 P+D	440
Omítka MVC	15

## Skladba podlahy

MATERIÁL	Tl. [mm]
Nášlapná vrstva (parkety, ker. dlažba)	10
Betonová mazanina	50
Tepelná a kročejová izolace	50
Stropní konstrukce Hurdís	250
Omítka MVC	15

## Skladba střechy

MATERIÁL
Střešní krytina - betonová střešní taška
Střešní lať
Kontra lať
Paropropustná folie
Tepelná izolace
Parotěsná zábrana
Lať
Podhled (sádrokarton, dřevěný obklad)



**Obr.11.4:** Reálný fyzický model pro experimentální měření.

Dispoziční řešení



Obr.11.5: Zjednodušené půdorysné schéma 1.NP



Obr.11.6: Zjednodušené půdorysné schéma 2.NP

## Vybraná okna pro měření

- Okno č.1 - měřeno dne 28.10.2011, 3.3.2012

Okno č.1 - dětský pokoj	
Rám okna	dřevo
Typ zasklení	dvojsklo
Výplň mezi skly	vzduch
Orientace	jihovýchod-jih
Azimut okna	158 °
Rozměr okna $d_{xs}$	1,5x1,5 m
Plocha zasklení $S_o$	1,91 m <sup>2</sup>
Součinitel prostupu tepla okna $U_w$	2,5 W/(m <sup>2</sup> K)
Stínící součinitel	neuvden

Tab.11.1: Okno č.1



Obr.11.7: Pohled na okno č.1 z interiéru.



Obr.11.8: Pohled na okno č.1 z exteriéru.

- Okno č.2 - měřeno dne 29.10.2011, 10.3.2012

Okno č.2 - ložnice (střešní okno)	
Rám okna	dřevo
Typ zasklení	dvojsklo
Výplň mezi skly	argon
Orientace	jihovýchod-jih
Azimut okna	158 °
Rozměr okna $d_{xs}$	0,78x0,98 m
Plocha zasklení $S_o$	0,65 m <sup>2</sup>
Součinitel prostupu tepla okna $U_w$	1,4 W/(m <sup>2</sup> K)
Stínící součinitel	0,6

Tab.11.2: Okno č.2



Obr.11.9: Pohled na okno č.2 z interiéru.

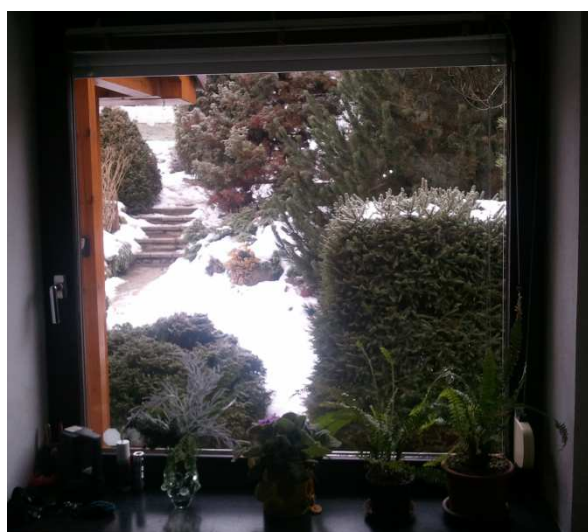


Obr.11.10: Pohled na okno č.2 z exteriéru.

- Okno č.3 - měřeno dne 6.11.2011, 24.3.2012

Okno č.3 - hala (severní část)	
Rám okna	dřevo
Typ zasklení	dvojsklo
Výplň mezi skly	vzduch
Orientace	severozápad- sever
Azimut okna	338°
Rozměr okna $d_{xs}$	1,5x1,5 m
Plocha zasklení $S_o$	1,91 m <sup>2</sup>
Součinitel prostupu tepla okna $U_w$	2,5 W/(m <sup>2</sup> K)
Stínící součinitel	neuveдено

Tab.11.3: Okno č.3



Obr.11.11: Pohled na okno č.3 z interiéru.



Obr.11.12: Pohled na okno č.3 z exteriéru.



- Okno č.4 - měřeno dne 13.11.2011, 17.3.2012

Okno č.4 - hala (západní část)	
Rám okna	dřevo
Typ zasklení	dvojsklo
Výplň mezi skly	vzduch
Orientace	Jihozápad-západ
Azimut okna	248°
Rozměr okna $d \times s$	0,6x1,5 m
Plocha zasklení $S_o$	0,77 m <sup>2</sup>
Součinitel prostupu tepla okna $U_w$	2,5 W/(m <sup>2</sup> K)
Stínící součinitel	neuveдено

Tab.11.4: Okno č.4



Obr.11.13: Pohled na okno č.4 z interiéru.



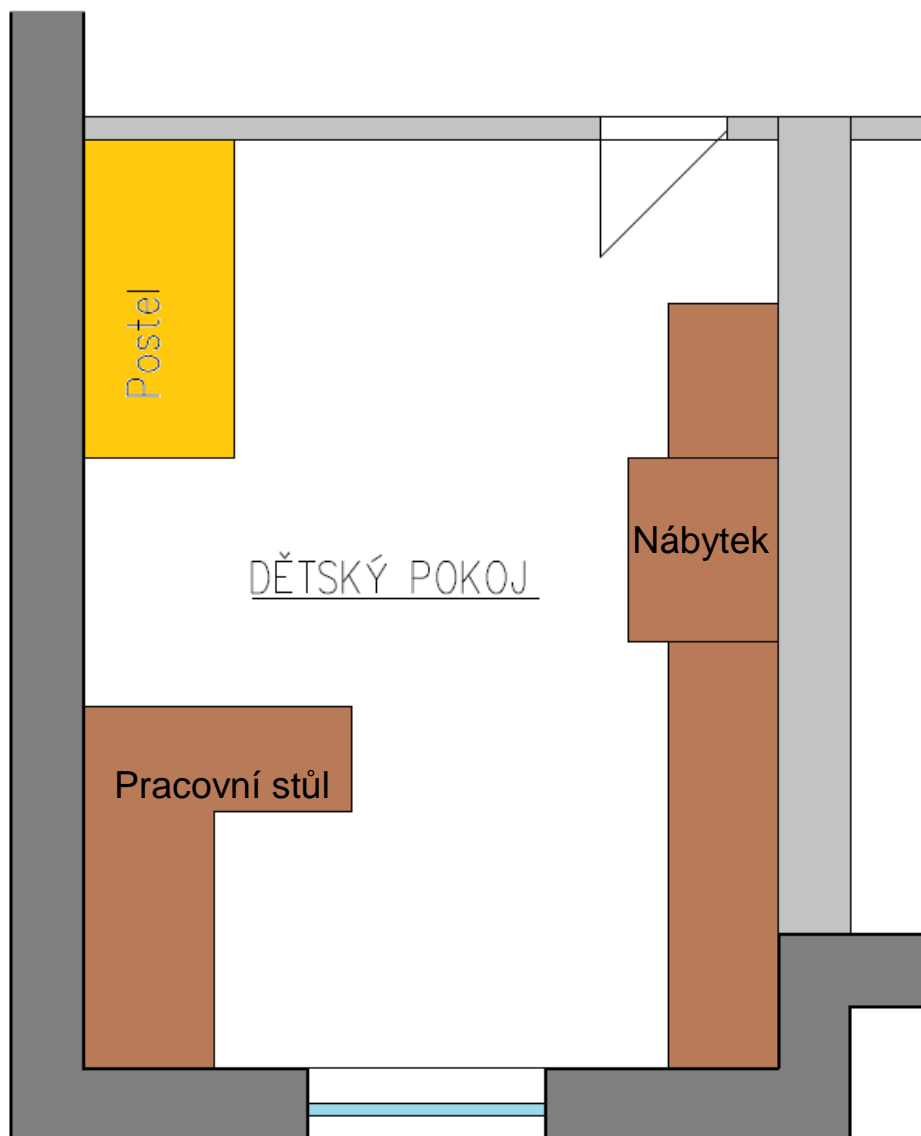
Obr.11.14: Pohled na okno č.4 z exteriéru.

Po vyhodnocení dat z měření nebylo možné použít všechny naměřené hodnoty a to z důvodu nespolehlivosti měřící ústředny. Nespolehlivost ústředny spočívala v nezaznamenávání dat do paměti a hrubou chybou měření. Z tohoto důvodu jsem se zaměřila více na okno č.1, které je umístěno v dětském pokoji (schéma pokoje viz.níže) a bylo zde možné použít naměřená data z dvou dnů měření, lišících se v ročním období.

## Schéma dětského pokoje



Obr.11.15: Reálný pohled do dětského pokoje.



Obr.11.16: Zjednodušené půdorysné schéma dětského pokoje.

## 12. Použité měřicí přístroje



K exmerimentálnímu měření dané problematiky byly použity měřicí přístroje (pyranometry, termočlánky a měřicí ústředna). Měřicí přístroje byly zapůjčeny na ústavu TZB Stavební fakulty VUT v Brně.

### 12.1 Měřicí ústředna Almemo 3290-8

Pro zaznamenávání potřebných hodnot (teplota interiéru - exteriéru, povrchová teplota okna interiéru-exteriéru a sluneční radiace dopadající na okno - za oknem) jsme použili univerzální stolní měřicí ústřednu Almemo 3290-8. Výrobce této ústředny je AHLBORN.

Ústředna je univerzálním měřicím přístrojem pro měření různých fyzikálních veličin s programovatelnými konektory. Měření je založeno na kombinaci mikroprocesorem řízeného indikačního přístroje o vysoké rozlišovací schopnosti s inteligentním konektorovým systémem Almemo. Konektory jsou vybaveny pamětí EEROM, do které jsou uloženy parametry snímače (měřicí rozsah, označení čidel atd.). Přístroj si sám načte parametry čidla z paměti konektoru a automaticky nastaví všechny potřebné funkce.

Datová paměť přístroje má kapacitu 520kB (pro 100 000 měř. hodnot). Ústředna má 9 vstupů pro Almemo konektory a dva výstupy. Data se zobrazují na LCD displeji a ukládají se do paměti přístroje, dále je možné propojení s počítačem pomocí USB kabelu.



**Obr.12.1:** Měřicí ústředna Almemo 3290-8.

Měřicí vstupy	
Počet vstupů	9 vstupů pro ALMEMO konektory
Měřicí kanály	9 základních galvanicky oddělených + 3 funkční kanály na každý ALMEMO vstup
Přepínání kanálů mezi vstupními zdírkami	4-polohové s fotorelé oddělení potenciálů - max 50V offsetové napětí - < 5 mV
Zesílení	1x, 2x, 5x, 10x, 20x, 40x a 100x
Vstupní odpor přístroje	$5 \cdot 10^7 \Omega$
Převodník A/D	16-bit
Rychlost měření	2,5 nebo 10 měření za sekundu
Systémová přesnost	$\pm 0,03 \%$ z měř. hodnoty, $\pm 2$ digity (při 2,5 měření za sekundu)
Kalibrace	automatická korekce na nulový bod
Teplotní drift	$0,005 \%$ $^{\circ}\text{C}^{-1}$
Možné napájení senzorů přímo z přístroje	7-9V, max. 100mA při provozu na baterie, 12V, max.100mA při provozu na síťový adaptér
Výstupy:	
Počet výstupů	2 výstupy pro ALMEMO konektory s možností konfigurace na rozhraní RS-232, Centronics, analogový výstup, apod.
Vybavení:	
Paměť	512 kB, zálohovaná baterií NiCd
Datum a čas	Reálný, zálohován baterií NiCd
Napájení	7-13V ss, galvanicky neodděleno, interní baterie nebo síťový adaptér

**Obr.12.2:** Technické parametry měřicí ústředny Almemo 3290-8.

### Umístění konektorů do vstupů měřicí ústředny

Označení vstupu	Měřená veličina
M0	Intenzita sluneční radiace dopadající na okno [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ]
M1	Intenzita sluneční radiace za oknem v interiéru [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ]
M2	Povrchová teplota okna v exteriéru [ $^{\circ}\text{C}$ ]
M3	Povrchová teplota okna v interiéru [ $^{\circ}\text{C}$ ]
M4	Teplota exteriéru [ $^{\circ}\text{C}$ ]
M5	Teplota interiéru [ $^{\circ}\text{C}$ ]

**Tab.12.1 :** Umístění konektoru do výstupů ústředny.

## 12.2 Termočláňkové dráty typ K (NiCr-Ni)

Termočláňkový drát typu T190-0 se skelnou izolací a měřícím rozsahem  $-25^{\circ}\text{C}$  až  $400^{\circ}\text{C}$  včetně inteligentního konektoru. Termočláňkové dráty fungují na základě elektrických odporů. K měření byly vždy potřebné 4ks termodrátu. Termočláňkové dráty byly umístěny vždy na skleněné výplni okna v exteriéru a interiéru (měřena povrchová teplota okna). Další dva kusy termodrátu jsme potřebovali na měření teploty exteriéru a interiéru dané místnosti pro příslušné okno.



**Obr.12.3:** Termočláňkový drát s inteligentním konektorem.

## 12.3 Pyranometr

Pro měření globální sluneční radiace (množství slunečního záření dopadající na jednotku plochy) byl použit Pyranometr FLA628S (včetně inteligentního konektoru Almemo), který měří nezávisle na okolní teplotě pomocí diferenčního měření teploty.

Pyranometr porovnává rozdíl teplot na černém a bílém povrchu (oslněné a neoslněné části), který je ukryt pod skleněnou kopulí. Rozdíl teplot, který zaznamenává čidlo vyvolává napětí, které odpovídá intenzitě slunečního záření. Přesný broušený skleněný vrchlík odstíní vnější povětrnostní vlivy. Nivelace pyranometru se provádí třemi stavěcími šrouby pomocí libely.

Pro měření jsme potřebovali 2 ks pyranometrů. Z toho jsme umístili jeden na parapet (exteriér) před dané okno pro zjištění sluneční radiace dopadající na okno a druhý pyranometr byl umístěný v interiéru za oknem pro změření procházející sluneční radiace.

### Technické parametry pyranometru FLA628S

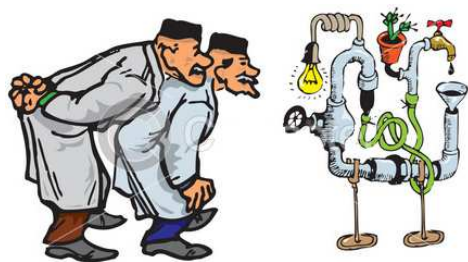
Popis	Rozmezí
<b>Cos-efekt</b>	max.3% z měř.hodnoty
<b>Azimut-efekt</b>	max.3% z měř.hodnoty
<b>Teplotní vliv</b>	max. 1% z měř.hodnoty
<b>Doba odezvy T95</b>	25 [s]
<b>Měřicí rozsah</b>	0-1500 [ $W/m^2$ ]
<b>Pracovní teplota</b>	-40 až + 60 [ $^{\circ}C$ ]

Tab.12.2 : Parametry pyranometru.



Obr.12.4: Pyranometr FLA628S s inteligentním konektorem.

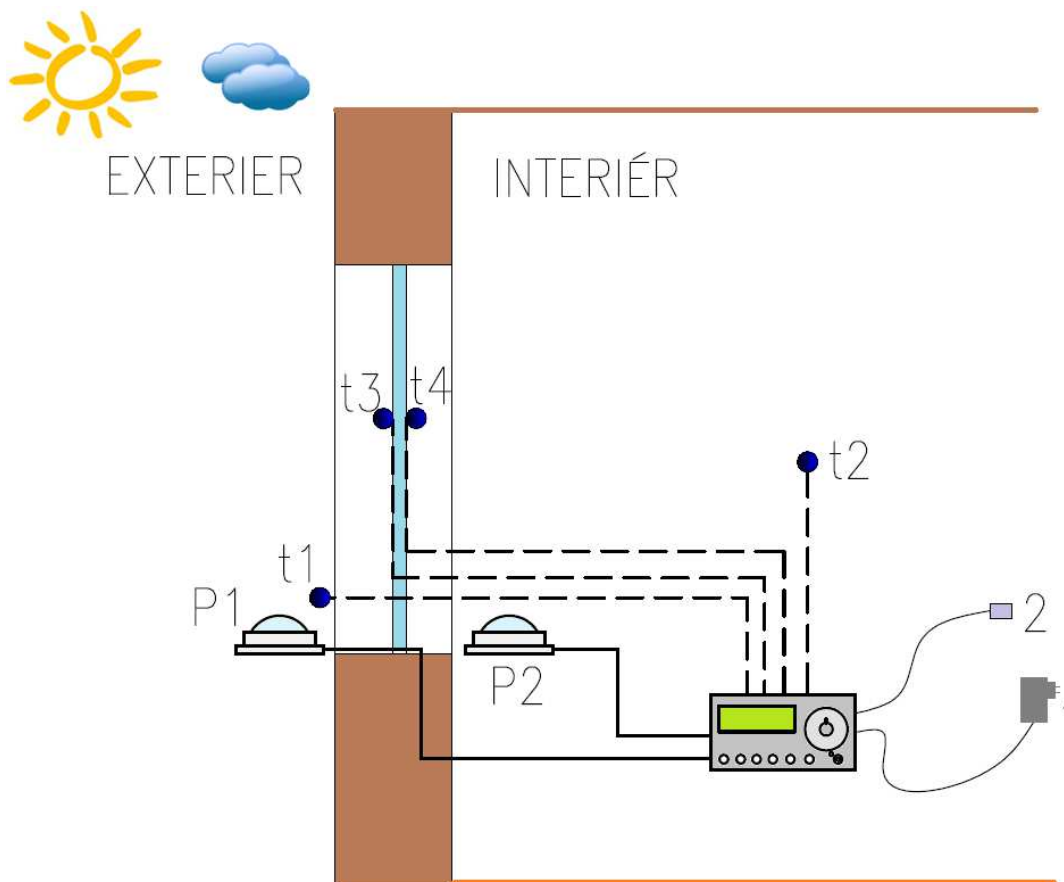
## 13. Postup měření



Experimentální měření probíhalo pouze v dny, kdy nepršelo a bylo slunečné počasí nebo oblačno. Proces byl časově náročný, protože probíhal celý den od cca 9:30 až do západu slunce (do cca 17:00). Experiment jsem z časových důvodů realizovala hlavně o víkendu a to v měsících říjnu, listopadu a

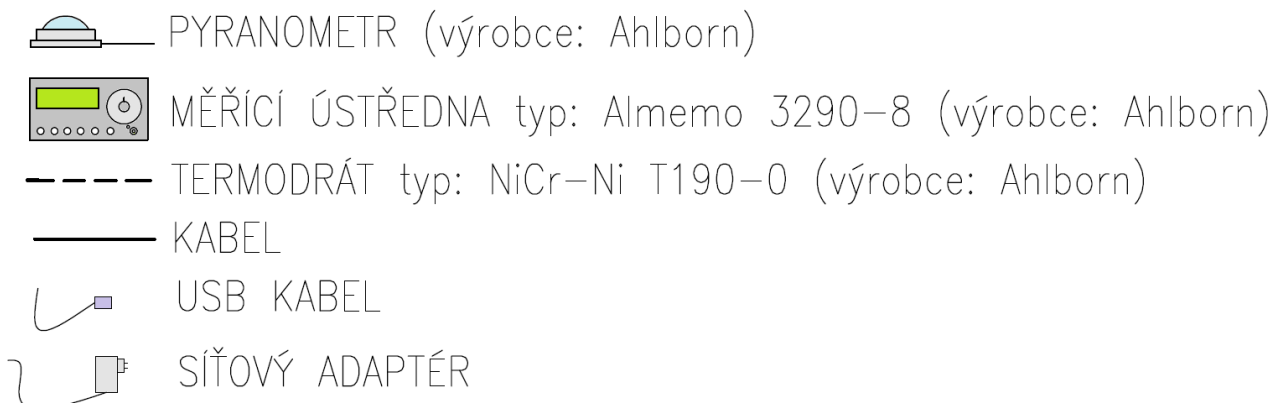
březnu. Během měřícího dne se musela kontrolovat měřící ústředna zda-li jsou zapsaná data v pořádku, snímače jsou nepoškozené a na svých místech. V den měření nesměla být přerušena dodávka elektrické energie, protože baterie v ústředně byla nefunkční.

Do zásuvky jsme připojili síťový adaptér měřící ústředny (1) a spustili ústřednu zeleným tlačítkem, které se nachází vpravo dole na čelní straně ústředny. Paměť ústředny jsme vymazali, přístroj restartovali a nastavili aktuální datum ve tvaru (dd:mm:rrrr), čas (hh:mm:ss), zapisování dat do paměti ústředny, časový krok pro zapisování dat byl nastaven na 00:03:00 (3 minuty).



**Obr.13.1:** Schéma zapojení měřící soustavy.

## LEGENDA MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ

**Obr.13.2.:** Legenda k měřicí soustavě.

Začali jsme rozmístění pyranometrů (P1,P2), termodrátů (t1,t2,t3,t4). Pyranometr P1 byl umístěný na venkovní parapet ve vodorovné poloze (90°) a pyranometr P2 byl umístěn na vnitřní parapet ve vodorovné poloze (90°). Pyranometr P1 měří sluneční radiaci před oknem ( $W/m^2$ ) a pyranometr P2 měří sluneční radiaci za oknem ( $W/m^2$ ). Snímače sluneční radiace byly umístěny do vstupů měřicí ústředny M0-pyranometr P1, M1-pyranometr P2.

Naším dalším krokem bylo rozmístění termodrátů. Termodrát t1 byl volně přichycen po délce lepicí páskou na parapet a měřil teplotu venkovního vzduchu (°C), termodrát t2 byl volně postaven a měřil teplotu vzduchu v interiéru (°C).

Venkovní povrchová teplota okna byla měřena termodrátém t3 (°C), který byl přilepen lepicí páskou na skleněnou výplň okna z venkovní strany. Vnitřní povrchová teplota okna byla měřena termodrátém t4, který byl opět přilepen lepicí páskou na vnitřní skleněnou výplň okna. Snímače teploty byly umístěny do zbývajících vstupů měřicí ústředny M2-termodrát t1, M3-termodrát t2, M4-termodrát t3, M5-termodrát t4.

Následně po umístění všech snímačů do měřicí ústředny proběhla kontrola správného upevnění, uchycení a zapsání pořadí snímačů. Po kontrole následovalo spuštění zápisu naměřených hodnot do paměti měřicí ústředny v daném přednastaveném časovém kroku pomocí tlačítka START/STOP, které se nachází v levém dolním rohu pod displejem. Po západu slunce v měřicí den byl záznam dat do paměti měřicí ústředny vypnut tlačítkem START/STOP. Z ústředny jsme odpojily snímače M0-M5 a uklidili do příslušných krabiček.





**Obr.13.3:** Jednoduché stažení dat z ústředny.

programu Excel a vyhodnotili. Po stažení a uložení dat do počítače byl datový kabel USB (2) odpojen od počítače i ústředny. Ústředna po té byla vypnuta zeleným tlačítkem, které se nachází vpravo dole na čelní straně ústředny. Po vypnutí ústředny byl odpojen síťový adaptér a ústředna byla uložena do krabice.

Na závěr jsme do ústředny připojili datový kabel s koncovkou USB (2) do vstupu A0 na zadní straně měřicí ústředny a ústřednu připojili k PC. Pomocí příslušného programu jsme stáhli data z paměti ústředny do počítače -

poznámkového bloku a následně naměřená data exportovali do

## 14. Vyhodnocení naměřených dat



Výstup naměřených dat z ústředny jsme získali v textovém souboru a následně je převedly do tabulkového procesoru Excel, kde jsme data upravili do tabulek a grafů.

- Na základě jednoduchého vztahu, který je uveden v teoretické části jsme si spočítali skutečný reálný stínící součinitel.

$$s = \frac{I_{o,i}}{I_{o,e}}$$

$I_{o,e}$  - celková sluneční radiace dopadající na prosklenou část okna [ $W/(m^2K)$ ]

$I_{o,i}$  - celková sluneční radiace procházející prosklenou částí okna do interiéru  
[ $W/(m^2K)$ ]

- Pro zhodnocení dat jsme určili výšku slunce nad obzorem dle vzorce:

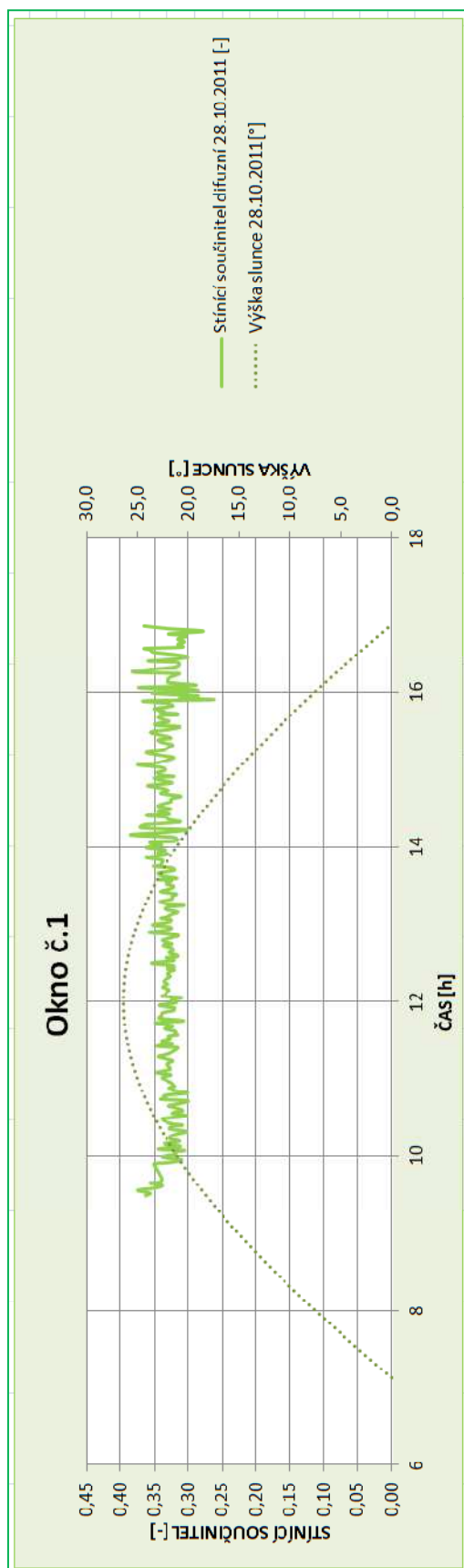
$$\sin h = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \tau$$

$\delta$  - sluneční deklinace [°]

$\varphi$  - zeměpisná šířka [°] (pro Velké Meziříčí (49,355°))

$\tau$  - časový(hodinový) úhel [°]

• Měření dne 28.10.2011 - Okno č.1 - jihovýchod - jih



Graf č.1: Okno č.1, měření 28.10.2011, jihovýchod-jih

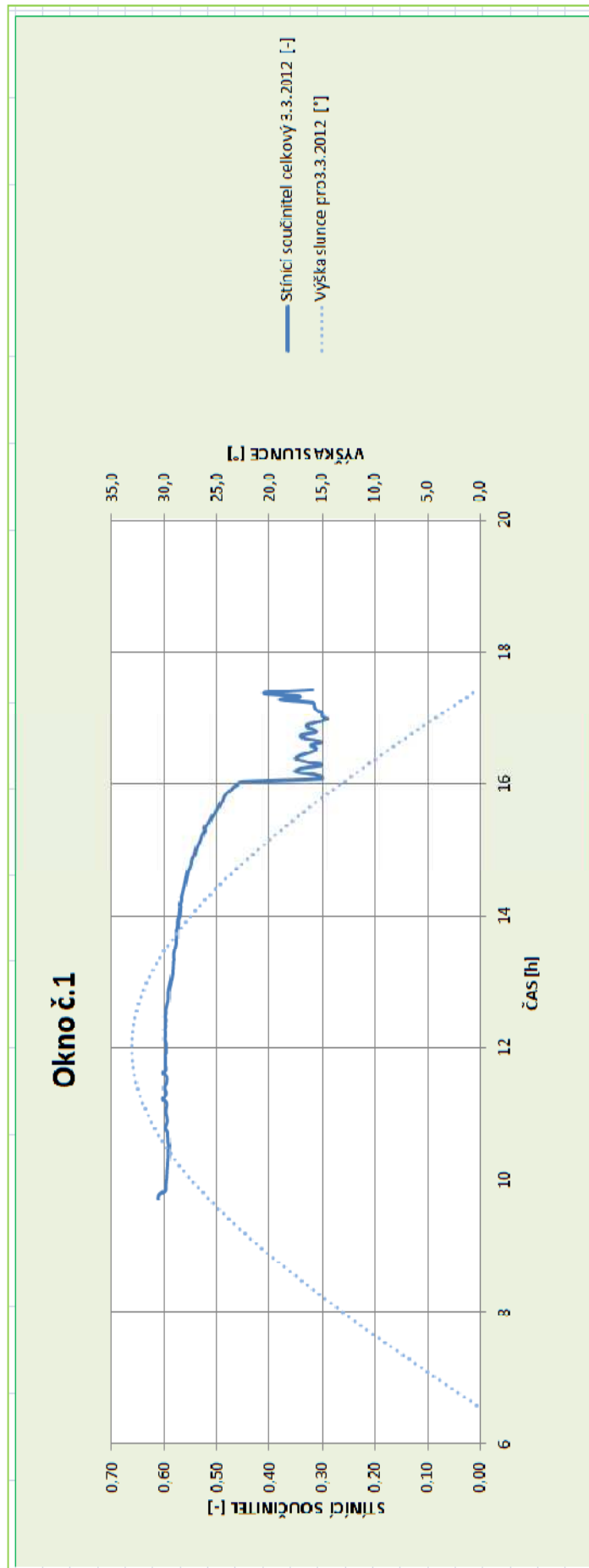
### **Poznámky k Grafu č.1 (viz. výše)**

- obloha byla celý den zatažená
- z grafu je zřejmé, že byla měřena jen difuzní složka slunečního záření, z důvodu zatažené oblohy
- ze závislosti vidíme, že stínící součinitel při difuzním záření si udržuje stálou hodnotu bez ohledu na změnu času nebo výšky slunce nad obzorem
- hodnota stínícího součinitele se po celou dobu pohybuje kolem cca 0,33 z toho plyne, že difuzní záření těžko proniká do interiéru, což je způsobeno rozptýleným přímým zářením = difuzní záření

### **• Měření dne 3.3.2012 - Okno č.1 - jihovýchod - jih**

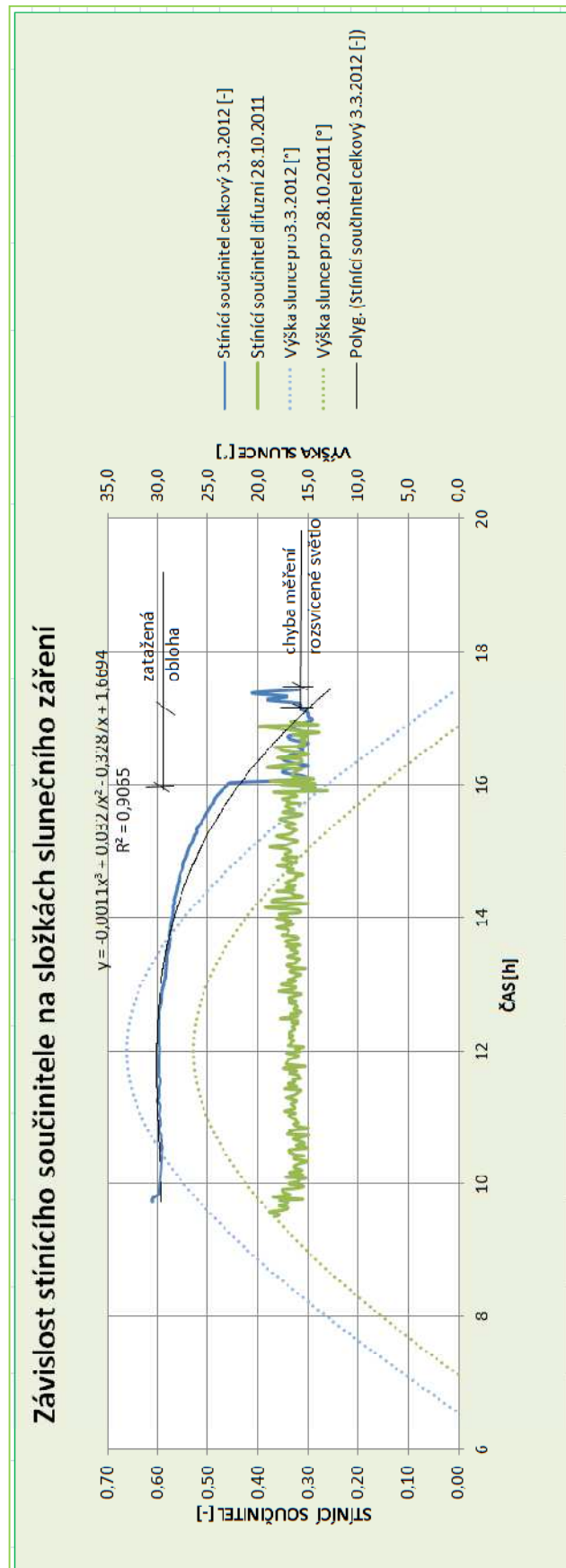
#### **Poznámky k Grafu č.2 (viz. níže)**

- obloha byla celý den jasná jen kolem 16h se objevila oblačnost
- z grafu je patrné, že stínící součinitel se udržoval do 12h na nejvyšších možných hodnotách a po té začal klesat, což je způsobeno azimutem okna (jihovýchod-jih)
- stínící součinitel do 12h nabývá hodnot cca 0,6 z toho nám vyplývá, že slunce do interiéru proniká lépe než v případě pouhého difuzního záření
- vyšší hodnota stínícího součinitele je dána celkovým zářením (přímé + difuzní záření)



**Graf č.2:** Okno č.1, měření 3.3.2012, jihovýchod-jih

- Porovnání měření dne 28.10.2011 a 3.3.2012  
Okno č.1 - jihovýchod - jih



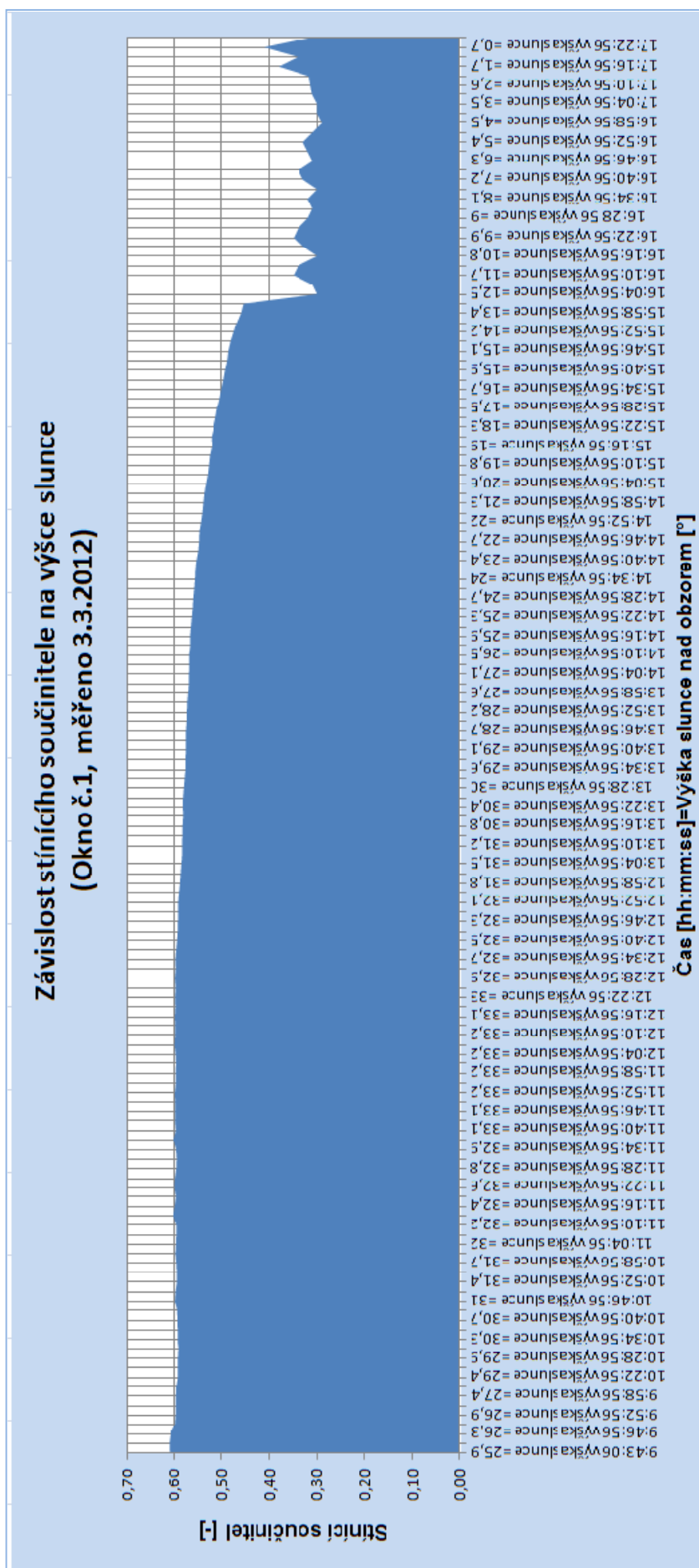
**Graf č.3:** Okno č.1, měření 28.10.2011 a 3.3.2012, jihovýchod-jih

### **Poznámky k Grafu č.3 (viz. výše)**

- z grafu č.3, kde máme porovnání dvou měření na stejném okně nám vyplývá, že stínící součinitel okna při zatažené obloze (difuzní záření) je vždy stejný a stálý a pro naše vybrané okno je hodnota stínícího součinitele difuzního 0,33
- dále z grafu můžeme vyčíst, že jsme schopni popsat závislost stínícího součinitele na čase polynomickou funkcí (při jasné obloze) s vysokou hodnotou spolehlivosti

- **Závislost stínícího součinitele na výšce slunce nad obzorem při jasné obloze, měřeno dne 3.3.2012, Okno č.1 - jihovýchod - jih (viz.níže)**

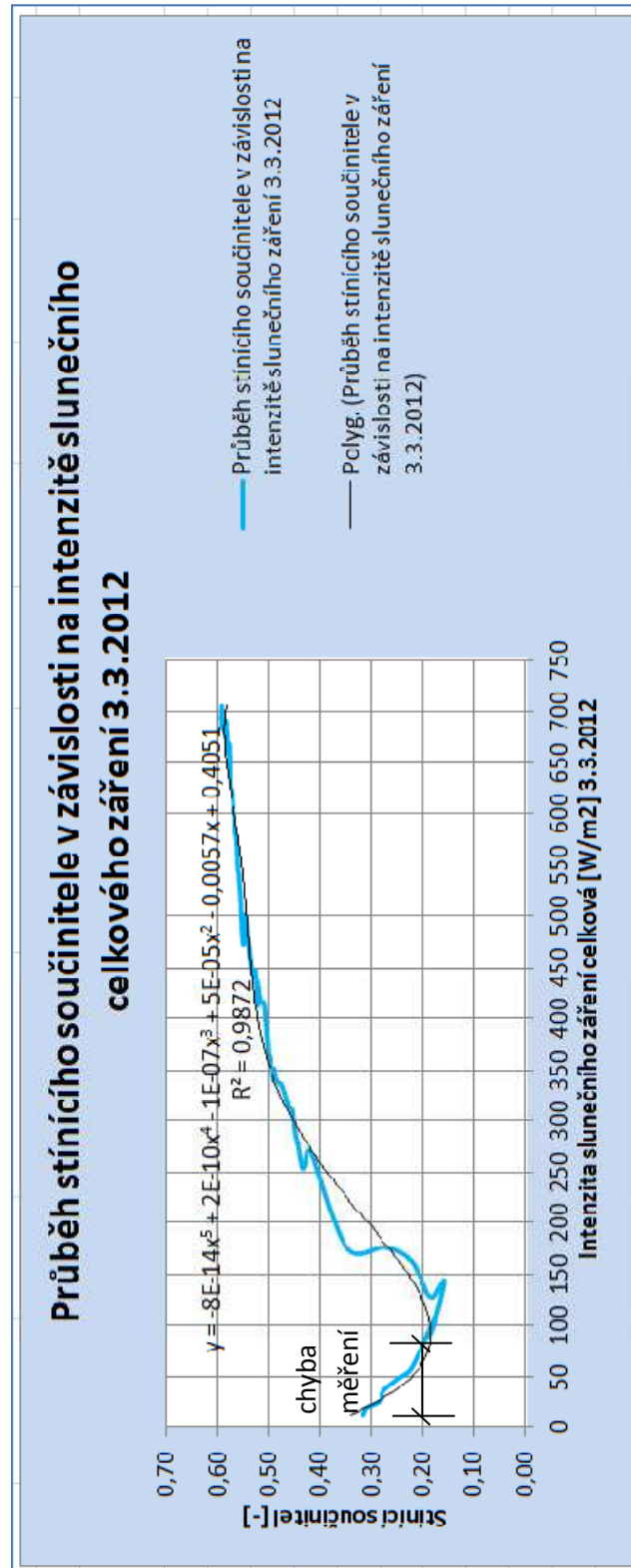
- z tohoto grafu vyplývá jak významný vliv má přímá složka slunečního záření na stínící součinitel
- pokud jde o celkové sluneční záření (přímé záření+difuzní) tak nám stínící součinitel vzroste a když přímé sluneční záření vymizí v důsledku pohybu slunce tak tím se stínící součinitel výrazně sníží až na polovinu



**Graf č.4:** Závislost stínícího součinitele na výšce slunce, Okno č.1, 3.3.2012, jihovýchod-jih



- Závislost stínícího součinitele na intenzitě slunečního celkového záření dne 3.3.2012, Okno č.1 - jihovýchod - jih



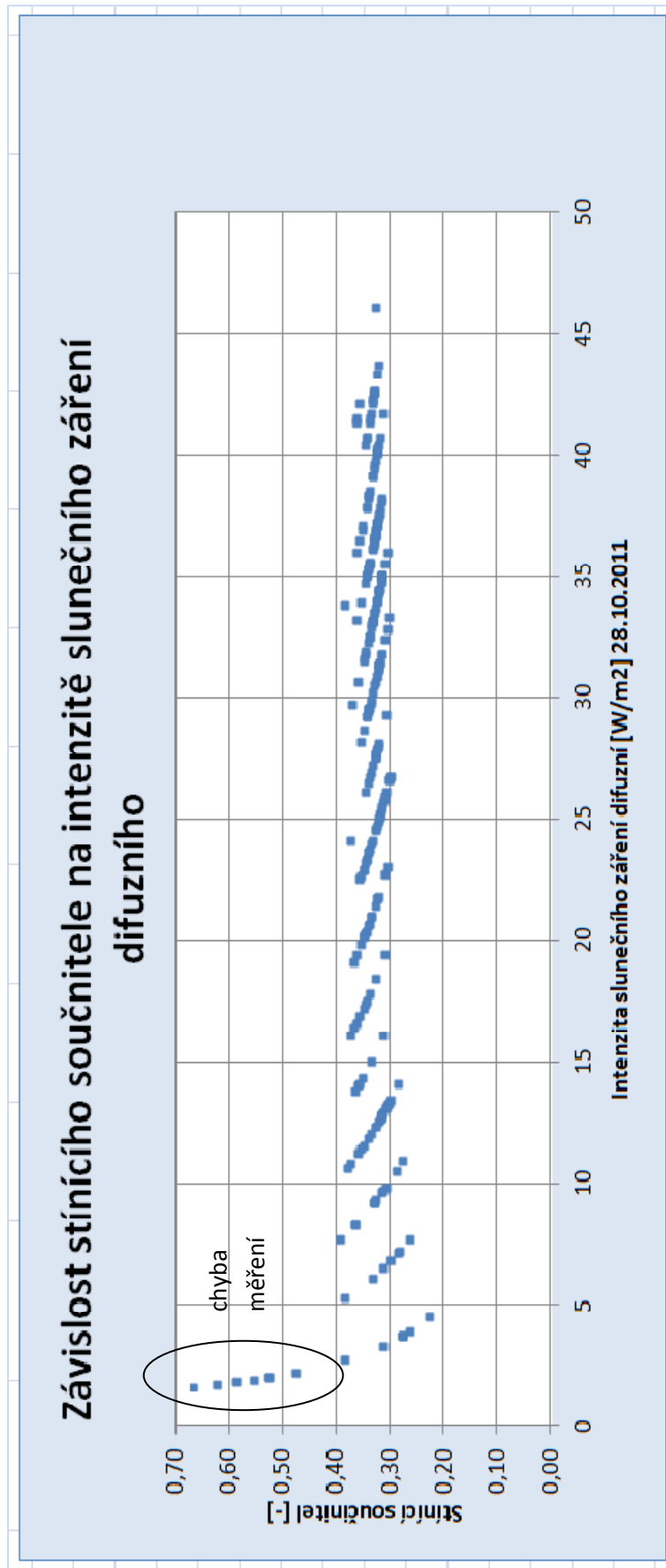
**Graf č.5:** Závislost stínícího součinitele na intenzitě slunečního záření celkového, Okno č.1, 3.3.2012, jihovýchod-jih

**Poznámky k Grafu č.5 (viz. výše)**

- z grafu je zřejmé, že pokud roste intenzita slunečního záření celkového roste nám i hodnota stínícího součinitele což je především způsobeno rostoucí složkou přímé sluneční radiace
- pokles stínícího součinitele i intenzity slunečního záření celkového v tomto případě značí snížení přímé radiace způsobné pohybem země, v dobu kdy už je slunce za oknem, které je osazené na jihovýchod-jih

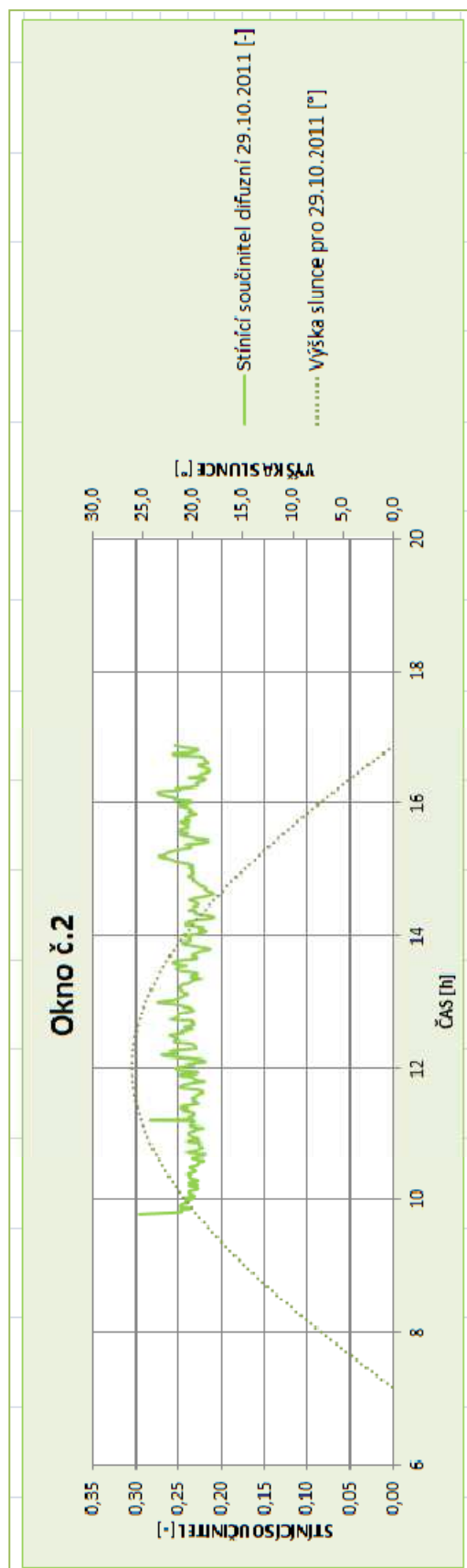
**• Závislost stínícího součinitele na intenzitě slunečního záření difuzního dne 28.10.2012, Okno č.1 - jihovýchod - jih (viz.níže)**

- z grafu č.6 nám vyplývá, že stínící součinitel nezávisí na intenzitě slunečního záření difuzního, hodnota stínícího součinitele se pořád udržuje ve stejném rozmezí



**Graf č.6:** Závislost stínícího součinitele na intenzitě slunečního záření difuzního, Okno č.1, 28.10.2011, jihovýchod-jih

- Měření dne 29.10.2011 - Okno č.2 - jihovýchod - jih



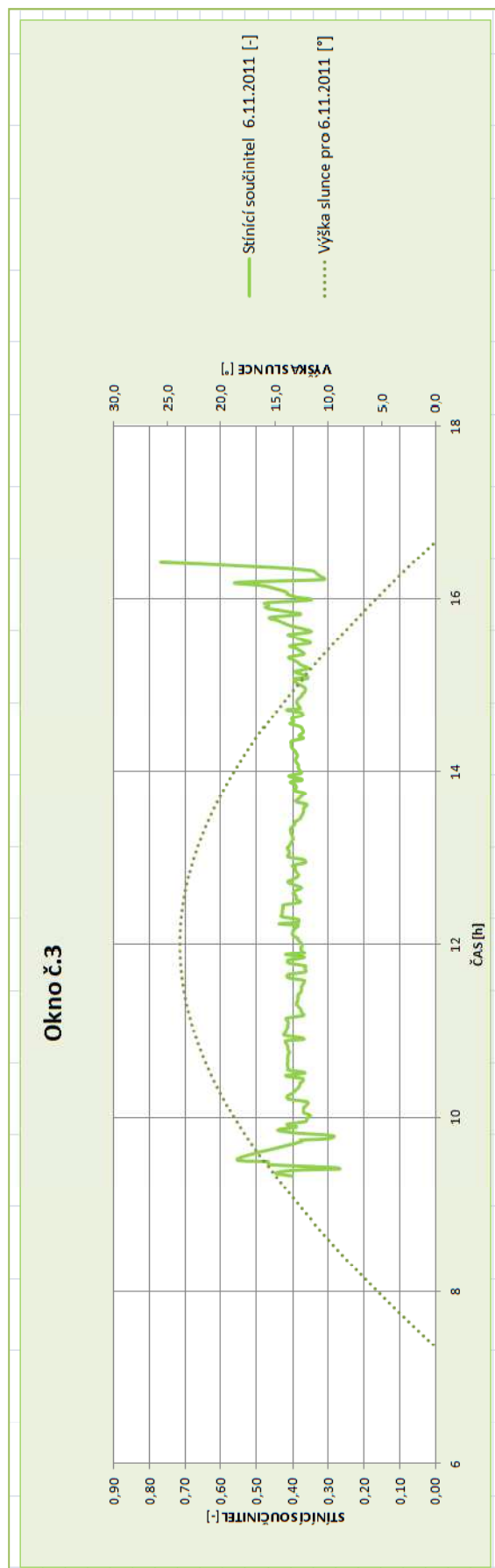
Graf č.7: Okno č.2, měření 29.10.2011, jihovýchod-jih (střešní okno)

**Poznámky k Grafu č.7 (viz. výše)**

- obloha byla celý den zatažená stejně jako při měření dne 28.10.2011
- tento graf potvrzuje teorii měření pouze difuzní složky slunečního záření při zatažené obloze tak jak tomu bylo i v grafu č.1
- jak již bylo zmiňováno u grafu č.1 stínící součinitel difuzní si udržuje přibližně stejnou hodnotu bez ohledu na výšku slunce nad obzorem, hodnota součinitele činí cca 0,25
- měření probíhalo na střešním okně, které má lepší zaklení než okno č. 1 toho můžeme usuzovat ještě menší stínící součinitel i přesto, že sluneční záření difuzní je rozptýlené a proto těžko proniká do interiéru

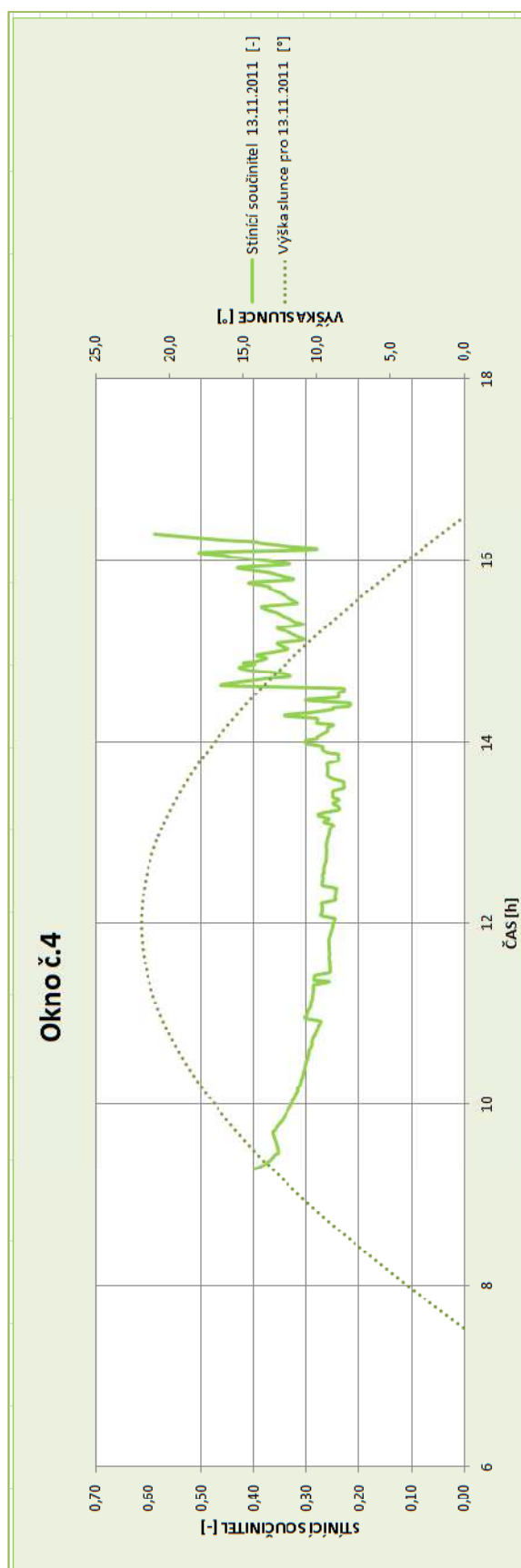
• **Měření dne 6.11.2011 - Okno č.3 - severozápad-sever**  
(viz.níže)

- v den měření byla obloha oblačná
- stínící součinitel se udržoval na celkem stálé hodnotě 0,4 a s rostoucí změnou výšky slunce se výrazně neměnil
- z tohoto měření můžeme usoudit, že se spíše jedná o změřenou složku difuzního záření



**Graf č.8:** Okno č.3, měření 6.11.2011, severozápad-sever

- Měření dne 13.11.2011 - Okno č.4 - jihozápad-západ



**Graf č.9:** Okno č.4, měření 13.11.2011, jihozápad-západ

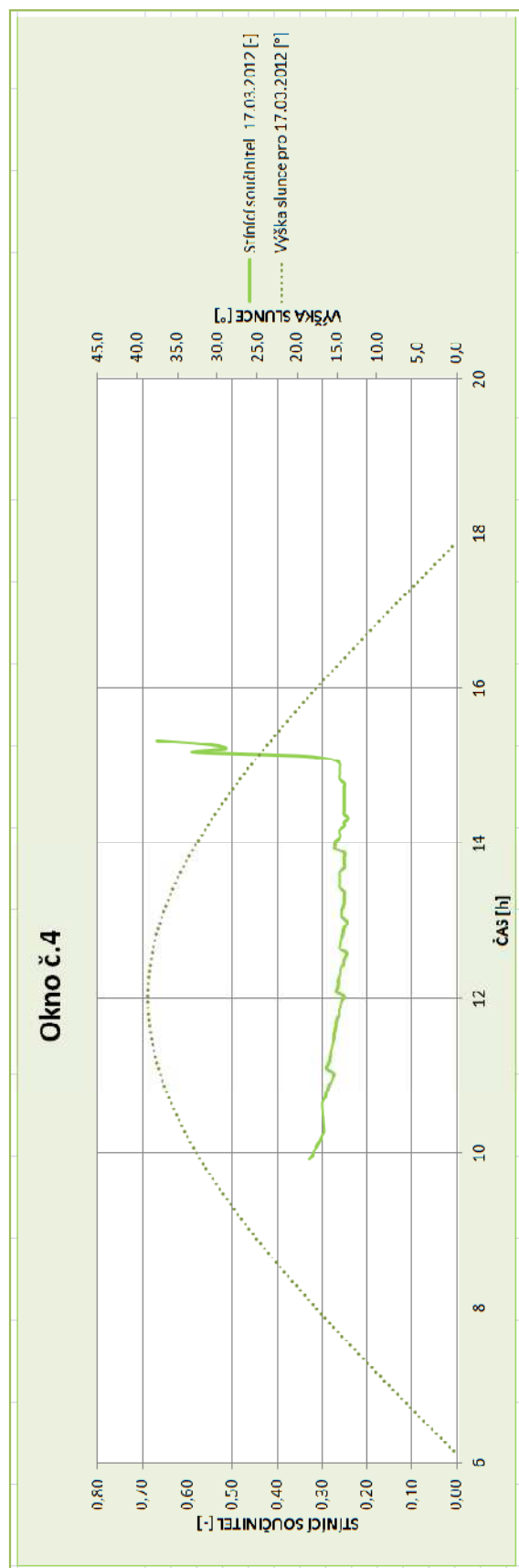
**Poznámky k Grafu č.9** (*viz. výše*)

- obloha v den měření byla polojasná
- v grafu vidíme, že stínící součinitel vzrostl až od cca 14h to je způsobeno přidáním přímé složky což je způsobeno orientací okna, které se nachází mezi jihozápadem a západe
- opět vidíme jak přímá složka zvyšuje hodnotu stínícího součinitele

• **Měření dne 17.03.2012 - Okno č.4 - severozápad-sever**  
(*viz.níže*)

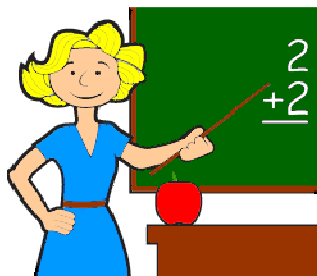
- stejně tak jak v předchozím grafu č.9 je patrné, že stínící součinitel vzroste po cca 15h kdy se přidá přímá složka slunečního záření a tím se zvýší celkové sluneční záření, které lépe proniká do interiéru





**Graf č.10:** Okno č.4, měření 17.03.2012, jihozápad-západ

## 15. Závěr z experimentálního měření



Z měření v den oblačnosti vyplývá, že byla měřena pouze difuzní složka slunečního záření. Difuzní stínící součinitel si udržuje přibližnou stálou hodnotu propustnosti slunečního záření do místnosti. Potvrzuje se nám teorie, že difuzní stínící součinitel nabývá malých hodnot a to z důvodu rozptýleného přímého záření, které těžko prochází přes sklo okna do místnosti. Nicméně pokud se k difuznímu záření přidá přímá složka slunečního záření tak stínící součinitel prudce vzroste. V grafech je to patrné například u oken, která mají azimut západním směrem. Můžeme zde vidět, že během dopoledne a části odpoledne, kdy slunce nepřímě svítí na okno chybí přímá složka záření, po té co se země pootočí a slunce svým přímým zářením dopadá přímo na okno tak hodnota stínícího součinitele vzroste.

Porovnávání součinitelů našim a uváděných výrobcí není v našem případě možné, protože náš stínící součinitel je reálný a fyzicky ověřený pro námi vybranou oblast. Výrobci uvádí pouze jeden teoretický stínící součinitel, který nemůžeme spolehlivě brát pro naši oblast. V našem případě jsme navíc u okna se známým stínícím součinitelem zjistili pouze difuzní stínící součinitel, nemůžeme tedy provést objektivní srovnání. Z experimentu vyplynulo, že by bylo třeba nutně uvažovat s dvěma hodnotami stínícího součinitele a jak moc je to užitečné jsme využili v části aplikace na vybraný objekt.

## Závěr

V této diplomové práci jsem popsala vznik a složky slunečního záření, vysvětlila jsem vznik tepelné zátěže v objektech a dotkla se i lomu světla. Hlavně jsem se zaměřila na stínící součinitel, který má při výpočtu tepelné zátěže okny důležitou roli. Experimentální měření probíhalo na reálném fyzickém modelu a měřila jsem intenzitu sluneční radiace dopadající a procházející oknem. Z tohoto měření jsem určila reálný stínící součinitel. Z experimentu je patrné, že bychom měli uvažovat dva stínící součinitele. Poznatek z experimentu jsem použila v aplikaci na předem přiděleném objektu.

Z aplikace tématu pro náš objekt a pro naše specifické podmínky plyne, že stínící součinitel je naprosto zanedbatelný vůči vnitřní tepelné zátěži od lidí. Náš příklad nepatří mezi standardní proto se nám naše teorie z experimentálního měření v aplikaci tématu nepříliš projevila. Kombinací vyššího tepelného součinitele prostupu tepla a stínícího součinitele difuzního v odpoledních hodinách jsme dosáhli nižší akumulace tepla v místnosti. Změna není příliš výrazná vůči ostatním tepelným zátěžím jak je již zmiňováno výše.

Nicméně měření, která jsem provedla nebyla v dostatečné míře. Problematika stínícího součinitele je na tolik složitá, že by bylo třeba měřit celý rok na více stejných oknech a k tomu získat data z ČHMU abychom byli schopni zpětně zjistit jaké v daný čas bylo počasí. Pokud by jsme uskutečnili měření po celý rok dokázali bychom zjistit jestli opravdu platí teorie, že s difuzním součinitelem můžeme počítat v dobu kdy na okno nedopadá přímé sluneční záření a celkový stínící součinitel by jsme ve výpočtu uvažovali při plném oslunění okna tak jak tomu bylo v aplikaci tématu ve variantě č.1. V hodné by bylo provést aplikaci na reálné budově s klasickými parametry (např. obývací pokoj, kancelář) a následně uskutečnit měření a porovnat výsledky.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] DVORŽÁKOVÁ, Hana. *Vzduchotechnika sportovní haly*. Brno, 2011. 112 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.
- [2] GEBAUER, Günter, Olga RUBINOVÁ a Helena HORKÁ. *Vzduchotechnika*. 2. vyd. Brno: ERA, 2007, 262 s. Technická knihovna. ISBN 978-80-7366-091-8 (brož.) .:
- [3] CHYSKÝ, Jaroslav a Karel HEMZAL. *Větrání a klimatizace: Technický průvodce*. 3. vyd. Brno: BOLI-B Press, 1993, 430 s. ISBN 80-901574-0-8.
- [4] SZÉKYOVÁ, Marta, Karol FERSTL a Richard NOVÝ. *Větrání a klimatizace*. 1. vyd. Bratislava: Jaga, 2006, 359 s. ISBN 80-8076-037-3.
- [5] RYBÁR, Peter. *Denní osvětlení a oslunění budov*. 1. vyd. Brno: ERA group, 2002, 271 s. Technická knihovna. ISBN 80-86517-33-0.
- [6] DANUŠE, Čuprová a Sylva KLÍMOVÁ. *Stínící technika*. 1. vyd. Brno: ERA, 2006, 126 s. Bydlíme. Pohoda prostředí. ISBN 80-7366-046-6 (brož.).
- [7] RUBINOVÁ, Olga. *Vzduchotechnika pro obor S*. [online]. Přednášky Brno, 2013 [cit. 2013-01-10]. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technických zařízení budov. Dostupné z: <http://www.fce.vutbr.cz/TZB/rubinova.o/vzt.htm>
- [8] POČINKOVÁ, Marcela, Petr HORÁK a Iva AMBROŽOVÁ. Stanovení tepelných zisků zasklení ze slunečního záření v energetickém hodnocení budov. In: *TZB-info* [online]. 27.8.2012. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov/8972-stanoveni-tepelnych-zisku-zaskleni-ze-slunecniho-zareni-v-energetickem-hodnoceni-budov>
- [9] *TZB-info* [online]. 2001-2013. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/>
- [10] *InfoGLASS: Sklo ve stavebnictví* [online]. 2012-2013. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.infoglass.cz>

- [11] Sluneční energie. *Wikipedie* [online]. 12.11.2012 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Slune%C4%8Dn%C3%AD\\_energie](http://cs.wikipedia.org/wiki/Slune%C4%8Dn%C3%AD_energie)
- [12] Elektro. záření. *Wikipedie* [online]. 28.12.2012 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9\\_z%C3%A1r%C5%99en%C3%AD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_z%C3%A1r%C5%99en%C3%AD)
- [13] *Plastová okna* [online]. 2013. vyd. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.vokno-plastova-okna.cz>
- [14] SÁZAVSKÝ, Miroslav. *Solární faktor nebo stínící součinitel* [online]. 2010. vyd. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: [www.sazovsky.cz](http://www.sazovsky.cz)
- [15] *Stavebnictví 3000* [online]. 2001-2013. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/>
- [16] *Ahlborn* [online]. 2013. vyd. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.ahlborn.cz/>
- [17] Optika jednoduše: Seminář fyziky. *Optika* [online]. 2006. vyd. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://optika.kuratko.net/odraz.htm>
- [18] ADÁMEK, Martin. *Mikrosenzory a mikromechanické systémy: Laboratorní cvičení*. Vysoké učení technické. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Brno, 2011, 36 s. Učební text.
- [19] ČSN 730548. *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů*. 11.1.1985.32s.
- [20] ČSN EN 410. *Sklo ve stavebnictví: Stanovení světelných a solárních charakteristik zasklení*. 1.9.2011. 52 s. překlad zajištěn Úřaden pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví
- [21] *ClipartOf: Clipart and Illustrations* [online]. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.clipartof.com>

## Seznam použitých zkratek a symbolů

<u>Označení</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Význam</u>
$h$	[°]	výška slunce nad horizontem
$\delta$	[°]	sluneční deklinace
$M$	[-]	číslo měsíce (1-12)
$D$	[-]	číslo dne (1-31)
$\phi$	[°]	zeměpisná šířka
$\tau$	[°]	časový(hodinový) úhel
$\alpha$	[°]	úhlová odchylka od severu
$E$	[J]	energie
$h$	[J.s]	Planckova konstanta
$f$	[Hz]	frekvence
$c$	[m/s]	rychlost světla
$\lambda$	[m/s]	vlnová délka
$I_0$	[W/m <sup>2</sup> ]	sluneční konstanta
$I_n$	[W/m <sup>2</sup> ]	intenzita slunečního záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění ovzduší
$I_c$	[W/m <sup>2</sup> ]	intenzita slunečního záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při dokonale čistém ovzduší

<b><u>Označení</u></b>	<b><u>Jednotka</u></b>	<b><u>Význam</u></b>
$z$	[-]	znečištění atmosféry
$c_0$	[-]	lokální znečištění atmosféry
$n(\lambda)$	[-]	index lomu
$c_{vak}$	[m/s]	šíření záření ve vakuu
$c$	[m/s]	rychlost šíření záření v daném prostředí
$\alpha$	[°]	úhel dopadu
$\beta$	[°]	úhel lomu
$n_1, n_2$	[-]	prostředí1, prostředí 2
$DB, AC, AB$	[m]	vzdálenost
$v_1$	[m/s]	rychlost šíření světla v prostředí 1
$v_2$	[m/s]	rychlost šíření světla v prostředí 2
$U_o$	[W/(m <sup>2</sup> K)]	součinitel prostupu tepla okna
$S_{ok}$	[m <sup>2</sup> ]	plocha okna
$t_{ev}$	[K]	teplota vnějšího vzduchu pro danou hodinu
$t_i$	[K]	teplota interiéru
$\theta$	[°]	úhel mez normálou k oknu a slunečními paprsky
$I_o$	[W/(m <sup>2</sup> K)]	celková (globální) sluneční radiace procházející jednoduchým standardním zasklením
$I_{odif}$	[W/(m <sup>2</sup> K)]	intenzita difuzní radiace procházející standardním jednoduchým zasklením

<u>Označení</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Význam</u>
$S_{os}$	$[m^2]$	osluněný povrch okna
$S_o$	$[m^2]$	plocha zasklení jednoho okna ( $S_o = 0,85 \cdot S_{ok}$ )
$c_o$	$[m^2]$	korekce čistoty atmosféry (venkovská oblast: $c_o = 0,85$ )
$s$	$[-]$	stínící součinitel (vliv zasklení a stínících prostředků)
$I_o$	$[W/(m^2K)]$	celková (globální) sluneční radiace procházející jednoduchým standardním zasklením
$I_{odif}$	$[W/(m^2K)]$	intenzita difuzní radiace procházející standardním jednoduchým zasklením
$l_a$	$[m]$	šířka zasklení
$l_b$	$[m]$	výška zasklení
$e_1$	$[m]$	vodorovný stín na okně
$e_2$	$[m]$	svislý stín na okně
$f$	$[m]$	odstup od svislé stínící překážky (běžně šířka rámu)
$g$	$[m]$	odstup od vodorovné stínící překážky (běžně šířka rámu)
$\alpha$	$[^\circ]$	sluneční azimut
$\alpha_s$	$[^\circ]$	azimut stěny
$h$	$[^\circ]$	výška slunce nad obzorem
$Q_{or}$	$[W]$	tepelné zisky okna radiací
$Q_{ok}$	$[W]$	tepelné zisky okna konvekci
$g$	$[-]$	celkový činitel prostupu solární energie (solární faktor)
$\tau_e$	$[-]$	činitel přímého prostupu slunečního záření



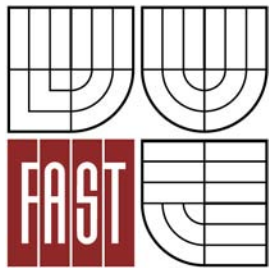
<b><u>Označení</u></b>	<b><u>Jednotka</u></b>	<b><u>Význam</u></b>
$q_i$	[-]	činitel sekundárního přestupu tepla zasklení
$I_{o,e}$	$[W/(m^2K)]$	celková sluneční radiace dopadající na prosklenou část okna
$I_{o,i}$	$[W/(m^2K)]$	<i>celková sluneční radiace procházející prosklenou částí okna do interiéru</i>

# Seznam příloh

<b>P1.</b>	<b>Aplikace tématu na zadané budově</b>	
1.1	Technická zpráva.....	87
	1.1.1 Funkční zapojení.....	98
1.2	Výkresová část	
	1.2.1 Půdorys tělocvičny.....	M1:100



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

# VLIV PROSKLENÍ NA VNITŘNÍ MIKROKLIMA OBJEKTŮ

THE INFLUENCE OF MICROCLIMATE ON THE INSIDE GLASS OBJECTS

## PŘÍLOHA P1

### 1.1. Technická zpráva

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. HANA DVOŘÁKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2013

## OBSAH:

1	Úvod .....	88
2	Základní koncepční řešení .....	89
3	Popis technického řešení .....	90
4	Nároky na energie .....	93
5	Měření a regulace, protimrazová ochrana .....	93
6	Protihluková a protidešťová opatření .....	94
7	Izolace a nátěry .....	94
8	Protipožární opatření .....	94
9	Nároky na spolusouvisející profese .....	95
10	Montáž, provoz, údržba a obsluha zařízení .....	95
11	Závěr .....	97

# 1 Úvod

Předmětem této technické zprávy je návrh koncepce nuceného větrání a klimatizace prostorů v objektu sportovní haly v Brně, tak aby byly zajištěny předepsané hodnoty hygienických výměn vzduchu a pohody prostředí v uvažovaných místnostech. Podrobně se budeme věnovat zařízení č.1 a č.2.

## 1.1 Podklady pro zpracování

Podkladem pro zpracování této technické zprávy jsou výkresy jednotlivých půdorysů a řezů stavební části, příslušné zákony a prováděcí vyhlášky, české technické normy a podklady výrobců vzduchotechnických zařízení, zejména:

- Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci
- Nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.
- ČSN 73 05 48 – Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů
- ČSN 12 70 10 – Navrhování větracích a klimatizačních zařízení
- ČSN 73 08 02 a ČSN 73 08 10 – Požární bezpečnost staveb.
- ČSN 73 08 72 – Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením

## 1.2 Výpočtové hodnoty klimatických poměrů

Místo:	Brno
Nadmořská výška:	287 m n. m.
Výpočtová teplota vzduchu:	Léto: 29°C Zima: -12°C
Relativní vlhkost:	Léto: 37% Zima: 95%

## 2 Základní koncepční řešení

Na základě hygienických požadavků je uvažováno s teplovzdušným vytápěním a klimatizací tělocvičny. Zázemí je řešeno teplovzdušným větráním, které zabezpečuje výměnu vzduchu v souladu s příslušnými hygienickými, zdravotnickými, bezpečnostními, protipožárními předpisy a normami platnými na území České republiky, přitom implicitní hodnoty údajů ve výpočtech dále uvažovaných, jakož i předmětné výpočtové metody jsou převzaty zejména z výše uvedených obecně závazných předpisů a norem. V jednotlivých částech budovy bude nucené větrání a klimatizace rozdělena do jednotlivých základních typů (viz. analýza objektu).

### 2.1 Hygienické a stavební větrání

Hygienické větrání bude navrženo v úrovni nejméně hygienického minima ve smyslu obecně závazných předpisů. Přitom jako základní principy návrhu objektového řešení jsou přijaty následující podmínky:

- Podtlakové větrání je navrženo v místnostech hygienického vybavení a zázemí objektu (WC, sprchy).
- Úhrada vzduchu bude hrazena z okolního prostředí netěsnostmi ve stavebních konstrukcích nebo přes stěnové mřížky.
- Odvětrávání bude vzhledem k obsluhovaným prostorům tvořit samostatné jednotlivé systémy podle stavební dispozice a podle potřeby nuceného větrání.
- Výfuky znehodnoceného vzduchu budou vedeny nad střechu strojovny.
- Nejvyšší přípustná maximální hladina vnějšího a vnitřního hluku  $L_{Amax}=40-50$  dB dle druhu provozu a účelu jednotlivých místností a bude zajištěna tlumiči hluku (viz. útlum hluku).

### 2.2 Energetické zdroje

#### Elektrická energie

Elektrická energie je uvažována pro pohon elektromotorů VZT a chladicího zařízení – rozvodná soustava 3NPE, 50 Hz, 400V.

#### Tepelná energie

Pro ohřev vzduchu v tepelném výměníku centrálních vzduchotechnických jednotek bude sloužit topná voda s rozsahem pracovních teplot  $t_{w1}/t_{w2} = 80/60^{\circ}\text{C}$ . Výrobu teplé vody zajistí profese ÚT.

Pro chlazení vzduchu v centrální jednotce č.1 je uvažován systém nepřímého chlazení pomocí vzduchem chlazeného chilleru umístěného na střeše vedle strojovny vzduchotechniky. Použité chladivo v chilleru je R134a. Výrobu studené vody dále zajišťuje profese chlazení. Pracovní rozsah vody ve vodním chladiči ve vzduchotechnické jednotce je  $t_{w1}/t_{w2} = 7/13^{\circ}\text{C}$

## 3 Popis technického řešení

### 3.1 Koncepce větracích zařízení

Návrh řešení větrání předmětných prostor vychází ze současných stavebních dispozic a požadavků kladených na interní mikroklima jednotlivých místností. V zásadě jsou větrány místnosti, které to nezbytně potřebují z hlediska hygienického, funkčního či technologického. Pro rozvod vzduchu se počítá s nízkotlakým systémem.

Výměny vzduchu v jednotlivých místnostech jsou navrženy podle hygienických předpisů a podle výměn všeobecně stanovených 361/2007 Sb. (viz. průtoky vzduchu). Navržená VZT zařízení jsou rozdělena do následujících funkčních celků.

#### Zařízení č.1 – Teplovzdušné vytápění a klimatizace

Pro dodržení hygienických potřeb výměn vzduchu a pokrytí tepelné zátěže (léto) a tepelných ztrát (zima) v místnostech tělocvična, hlediště a rozhodčí v 1NP je navržena centrální VZT jednotka, která zajistí jednostupňovou filtraci čerstvého vzduchu (stupeň F5) a znehodnoceného vzduchu (stupeň G4), rekuperaci pomocí deskového výměníku tepla, ohřev a chlazení přívodního vzduchu pomocí daných výměníků a směšování. Snížení vzduchového výkonu v mimopracovní době na 50% denní hodnoty bude řešeno pomocí frekvenčních měničů přívodního a odvodního ventilátoru.

Jednotka bude umístěna ve strojovně VZT (místnost č.205), která je přístupná z pochůzného střešy. Sání čerstvého a výfuk znehodnoceného vzduchu bude provedeno přímo ze strojovny tak, aby nedošlo k nasátí znehodnoceného vzduchu. Výfuk a sání budou zakončeny jednotlivými výfukovými (sacími) hlavicemi a protidešťovými tvarovkami. Transport jednotky na místo osazení bude po jednotlivých komorách.

Chlazení přiváděného vzduchu v letním období bude řešeno systémem nepřímého chlazení. Na střeše vedle strojovny bude umístěn vzduchem chlazený chiller napojený na vodní chladič v jednotce.

Filtrovaný, tepelně upravený vzduch (teplota přívodního vzduchu dle požadavku  $t_p = +17^\circ\text{C}$  (léto),  $t_p = +25^\circ\text{C}$  (zima)) bude do obsluhovaných prostorů transportován čtyřhranným a kruhovým potrubím z pozinkovaného plechu a ohebnými hadicemi. Jako koncové elementy budou sloužit přívodní dýzy s dalekým dosahem. Odvod znehodnoceného vzduchu bude zajištěn taktéž potrubním rozvodem s osazenými koncovými vyústkami na hranatém potrubí a talířovým ventilem. Rozvody budou vedeny stěnou mezi strojovnou a tělocvičnou přímo do místností. V místnosti rozhodčí bude podtlakové vytápění, kdy je do této místnosti přívodní vzduch distribuován pouze netěsnostmi v konstrukci dveří a stěnovou mřížkou. V jednotce je využito směšování vzduchu, protože systém pracuje s větším množstvím vzduchu než je hygienické minimum. Procento cirkulačního vzduchu je 22,6%.

Izolace na centrálním VZT systému: přívodní potrubní rozvod bude v daném prostoru podlaží (tělocvična) tepelně izolován tvrzenou tepelnou izolací tl.40 mm – zabránění kondenzace vodní páry na potrubí v letním období. Veškeré potrubní rozvody budou ve strojovně VZT izolovány tvrzenou izolací tl.60 mm (viz. izolace potrubí).

## **Zařízení č.2 – Teplovzdušné větrání**

Pro dodržení hygienických potřeb v místnostech chodeb, sprch, WC a šaten je navržena VZT jednotka, která zajistí jednostupňovou filtraci čerstvého vzduchu (stupeň F5) a znehodnoceného vzduchu (stupeň G4), rekuperaci pomocí deskového výměníku tepla a ohřevu přívodního vzduchu pomocí daných výměníků. Snížení vzduchového výkonu v mimoprovozní době o 50% bude zajištěno pomocí frekvenčních měničů motoru přívodního a odvodního ventilátoru.

Jednotka bude umístěna ve strojovně vzduchotechniky, (místnost č.205), která je přístupná z pochozí střechy. Sání čerstvého vzduchu bude přivedeno z fasády do strojovny a kryto protidešťovou žaluzií. Výfuk znehodnoceného vzduchu bude vyveden na střechu strojovny a zakončen dvěma koleny opatřenými protidešťovou žaluzií. Transport jednotky na místo osazení bude probíhat po jednotlivých komorách.



Přiváděný vzduch bude dle potřeby dohříván na přívodní teplotu. Filtrovaný, tepelně upravený vzduch (teplota přiváděného vzduchu dle požadavku  $t_p = 26^\circ\text{C}$  (pro léto a po rekuperaci  $t_p = 27,5^\circ\text{C}$ ),  $t_p = 24^\circ\text{C}$  (zima)) bude do obsluhovaných prostorů transportován čtyřhranným potrubím z pozinkovaného plechu a ohebnými hadicemi. Jako koncové elementy budou sloužit přívodní vířivé anemostaty a talířové ventily. Odvod znehodnoceného vzduchu bude taktéž potrubním rozvodem s osazenými koncovými elementy - odvodními anemostaty a talířovými ventily. Rozvody budou vedeny prostupem ze strojovny přímo do místností č. 105 a č.106 stropní konstrukcí. Z místností č.105 a č.106 budou rozvody vedeny v podhledu. Zařízení bude pracovat se 100% čerstvého vzduchu. V některých místnostech hygienického vybavení objektu (WC, sprchy) je navrženo podtlakové větrání, kdy je do těchto místností přívodní vzduch distribuován pouze netěsnostmi v konstrukci dveří a nebo pomocí stěnových mřížek.

Izolace na centrálním VZT systému: přívodní potrubní rozvod bude v daném prostoru zázemí tepelně izolováno tvrzenou izolací tl. 60mm – zabránění kondenzace vodní páry na potrubí v letním období. Odvodní potrubí bude v prostoru chodeb izolováno tepelnou tvrzenou izolací tl. 40mm – zabránění kondenzace vodní páry na potrubí v zimním období. Veškeré potrubní rozvody budou ve strojovně VZT izolovány tepelnou tvrzenou izolací tl. 60mm. (viz. izolace potrubí)

### **Zařízení č.3 – Dveřní clona.**

Pro udržení teploty a stabilního prostředí objektu nejvíce za extrémních zimních a letních podmínek je navržena dveřní clona nad vchodovými dveřmi do vstupní haly (místnost 102). Teplotní spád vody je  $t_{w1}/t_{w2} = 80/60^\circ\text{C}$ . Vzduch je nasáván z přední části clony a je vydechován směrem dolů tak, že cloní dveřní otvor a minimalizuje tepelné ztráty popřípadě dohřívá zbytkový proniklý venkovní vzduch. Dveřní clona je napojena na nástěnný regulátor.

## 4 Nároky na energie

- součtové elektrické příkony ventilátorů:

$$1.01 \quad -P_{V,odvod} = 7,5\text{kW} \quad P_{V,přívod} = 7,5\text{kW}$$

$$1.02 \quad -P_{V,odvod} = 3 \text{ kW} \quad P_{V,přívod} = 4 \text{ kW}$$

## 5 Měření a regulace, protimrazová ochrana

Navržený vzduchotechnický systém bude řízen a regulován samostatným systémem měření a regulace – profese MaR. Základní funkční parametry jsou:

- Ovládání chodu ventilátorů, silové napájení ovládaných zařízení.
- Zajištění tlumeného chodu konkrétních zařízení mimo pracovní dobu cca  $\frac{1}{2}$  max. výkonu, na přívodu i odvodu vzduchu (jendootáčkový motor 6 – 60Hz), zajištění tlumeného chodu – frekvenční měniče.
- Regulace teploty vzduchu řízením výkonu teplovodního ohříváče v zimním období.
- Regulace teploty vzduchu výkonu nepřímo chlazeného chladiče ve VZT jednotce
- Umístění teplotních a vlhkostních čidel podle požadavků (referenční místnosti apod.)
- Řízení účinnosti protimrazové ochrany deskového výměníku nastavováním obtokové klapky (na základě teploty odpadního vzduchu nebo tlakové ztráty)
- Ovládání uzavíracích klapek na jednotce včetně dodání servopohonů.
- Protimrazová ochrana teplovodního výměníku – měření na straně vzduchu i vody. Při poklesu teploty 1.- vypnutí ventilátoru, 2.- uzavření klapek, 3.- otevření třífázového ventilu, 4.- spuštění čerpadla.
- Signalizace bezporuchového chodu ventilátoru pomocí diferenčního snímače tlaku.
- Měření a signalizace zanášení (tlakové ztráty) všech stupňů filtrace.
- Poruchová signalizace
- Připojení regulace a signalizace stavu všech zařízení na velící centralizované stanoviště.
- Zajištění požadované současnosti chodu jednotlivých zařízení v příslušných funkčních celcích.
- Signalizace požárních klapek (Z/O) – podružná signalizace polohy na panel požárních klapek a systému EPS.

## 6 Protihluková a protidešťová opatření

Do rozvodných tras budou vloženy kulisové tlumiče hluku, které zabrání nadměrnému šíření hluku od ventilátorů do větraných místností a do okolní zástavby. Tyto tlumiče budou osazeny jak v přívodních, tak odvodních trasách vzduchovodů, kde by bez tlumiče nevyhověla hladina hluku dle nařízení vlády č.148/2006 (viz. útlum hluku). Vzduchovody budou protihlukově izolovány od zdroje hluku za jednotlivé tlumiče jak na sání, tak na výtlaku. Veškeré točivé stroje (jednotky, ventilátory) budou pružně uloženy za účelem zmenšení vibrací přenášejících se stavebními konstrukcemi – stavitelné nohy budou podloženy rýhovanou gumou. Veškeré vzduchovody budou napojeny na jednotky přes tlumící vložky. Všechny prostupy VZT potrubí stavebními konstrukcemi budou obloženy a dotěsněny izolací.

## 7 Izolace a nátěry

Jsou navrženy tvrzené izolace tepelné. Ve výkresové části technické zprávy jsou uvažované izolace zobrazeny ve výkresech. Potrubní rozvody ve strojovně vzduchotechniky budou izolovány tvrzenou izolací tl. 60 mm.

Tvrzené tepelné izolace – šířka izolace 40 a 60 mm	$\lambda=0,04$ W/mK
Protipožární tepelná izolace – šířka izolace 60 mm	EI 60 minut

Nátěry nejsou uvažovány. Všechny protidešťové žaluzie jsou tvořeny z pozinkovaného plechu – možnost nátěru.

## 8 Protipožární opatření

Všechny prostory vzduchovodních potrubí procházející přes požárně dělící konstrukce budou opatřeny požárními ucpávkami. Do vzduchovodů procházejících stavební konstrukcí ohraničující určitý požární úsek budou vřazeny protipožární klapky, zabraňující v případě požáru v některém požárním úseku jeho šíření do dalších úseků nebo na celý objekt. V případech, kdy nebude protipožární klapku možno osadit do požárně dělící konstrukce, bude potrubí mezi touto konstrukcí a požární klapkou opatřeno izolací s požadovanou dobou odolnosti. Osazené požární klapky budou v provedení teplotní a ruční spouštění se signalizací na 24V.

## 9 Nároky na spolusouvisející profese

### 9.1 Stavební úpravy

- Otvory pro prostupy vzduchovodů včetně zapravení a odklizení sutě.
- Obložení a dotěsnění prostupů VZT potrubí izolačními protiotřesovými hmotami v rámci zapravení.
- Dotěsnění a oplechování prostupů VZT. Oplechování tepelné izolace v exteriéru.
- Dotěsnění a oplechování prostupů VZT.
- Zajištění případných nátěrů VZT prvků na fasádě, či střeše objektu. (architektonické ztvárnění)
- Zřízení prostorů strojovny VZT na střeše nad 1NP (pro zařízení č.1 a č.2) .
- Zajištění povrchové úpravy podlahy pro bezprašný provoz a vyspádování podlahy k instalované vpusti.
- Stavební, výpomocné práce.
- Zřízení revizních otvorů pro přístup k ventilátorům, regulačním a požárním klapkám nerozebíratelných částí podhledu.

## 10 Montáž, provoz, údržba a obsluha zařízení

- Realizační firma v rámci své dodávky provede rozpis VZT potrubí pro výrobní a montážní účely (rozdělení vzduchovodů na jednotlivé roury a tvarovky včetně potřebných „rozměrů“ ) včetně kontroly technické zprávy ve smyslu úplnosti §55 obchodního zákoníku.
- Realizační firma před naceněním provede prohlídku stávajících prostorů a stávající stav demontáží. Rozvody VZT budou instalovány před ostatními profesemi kvůli zjištění prostorových nároků.
- Všechny dešťové žaluzie budou tvořeny z pozinkovaného plechu připravené k případnému nátěru – architektonické řešení.
- Při montáži požárních klapek budou zajištěny přístupy pro následné revize – nutná opětovná koordinace se stavební profesí v průběhu realizace výstavby.
- Osazení VZT jednotek bude provedeno na podložky z rýhované gumy.
- Při zaregulování systému VZT s motory ovládanými frekvenčními měniči je nutné nastavení požadovaných vzduchových výkonů koordinovat s profesí MaR – např. pomocí prandtlové trubice.

- Montáž všech vzduchotechnických zařízení bude provedena odbornou montážní firmou. Navržená VZT zařízení budou montována podle montážních předpisů jednotlivých VZT prvků.
- Všechny odbočky, rozbočky a nástavce na čtyřhranných potrubních rozvodech budou vybaveny náběhovými plechy – třetí stupeň regulace.
- Připojení koncových elementů pro přívod i odvod vzduchu v zařízení č.1 a 2 bude proveden tepelně izolovanými hadicemi typu SONOFLEX MO. Při montáži musí být dodržena veškerá bezpečnostní opatření dle platných předpisů.
- Veškerá zařízení musí být po montáži vyzkoušena a zaregulována. Při zaregulování vzduchotechnických systémů bude postupováno v součinnosti s profesí MaR. Uživatel musí být řádně seznámen s funkcí, provozem a údržbou zařízení.
- VZT zařízení, seřízená a odevzdaná do trvalého provozu, smí být obsluhována pouze řádně zaškolenými pracovníky, a to dle provozních předpisů dodavatelů vzduchotechnických zařízení, pokud není v projektové dokumentaci uvedeno jinak. Při provozu odpovídá za bezpečnost práce provozovatel. Všechny podmínky pro bezpečnou práci musí být uvedeny v provozním řádu. Vypracování provozního řádu včetně zaškolení obsluhy zajistí dodavatel.
- VZT zařízení musí být pravidelně kontrolována, čištěna a udržována stále v provozuschopném stavu. Okolí zařízení musí být vždy čisté a přístupné pro snadnou kontrolu a bezpečnou obsluhu nebo údržbu. Vizuálně bude hygienická účinnost provozu (filtrační část) jednotlivých VZT zařízení kontrolována nejméně jednou týdně, v rámci profese MaR bude kontrolováno zanášení jednotlivých stupňů filtrace (pomocí měření tlakové difference filtrů). O kontrolách a údržbě musí být veden záznam a jejich frekvence bude určena v provozním řádu – zajistí dodavatel.
- Výměna dílčích prvků vzduchotechnických zařízení a následné nakládání s nimi bude prováděna podle předpisů jednotlivých výrobců.
- Navržená VZT zařízení budou řízena a regulována samostatným systémem měření a regulace – profese MaR. Údržbu a kontrolu nad chodem zařízení budou zajišťovat techničtí pracovníci sportovní haly, kteří jsou pro tuto činnost zaškolení.

## 11 Závěr

Navržená větrací zařízení splňují nároky kladené na provoz daného typu a charakteru. Zabezpečí v daných místnostech optimální pohodu prostředí požadovanou předpisy.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

# VLIV PROSKLENÍ NA VNITŘNÍ MIKROKLIMA OBJEKTŮ

THE INFLUENCE OF MICROCLIMATE ON THE INSIDE GLASS OBJECTS

## PŘÍLOHA P1

### 1.1.1 Funkční schéma

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

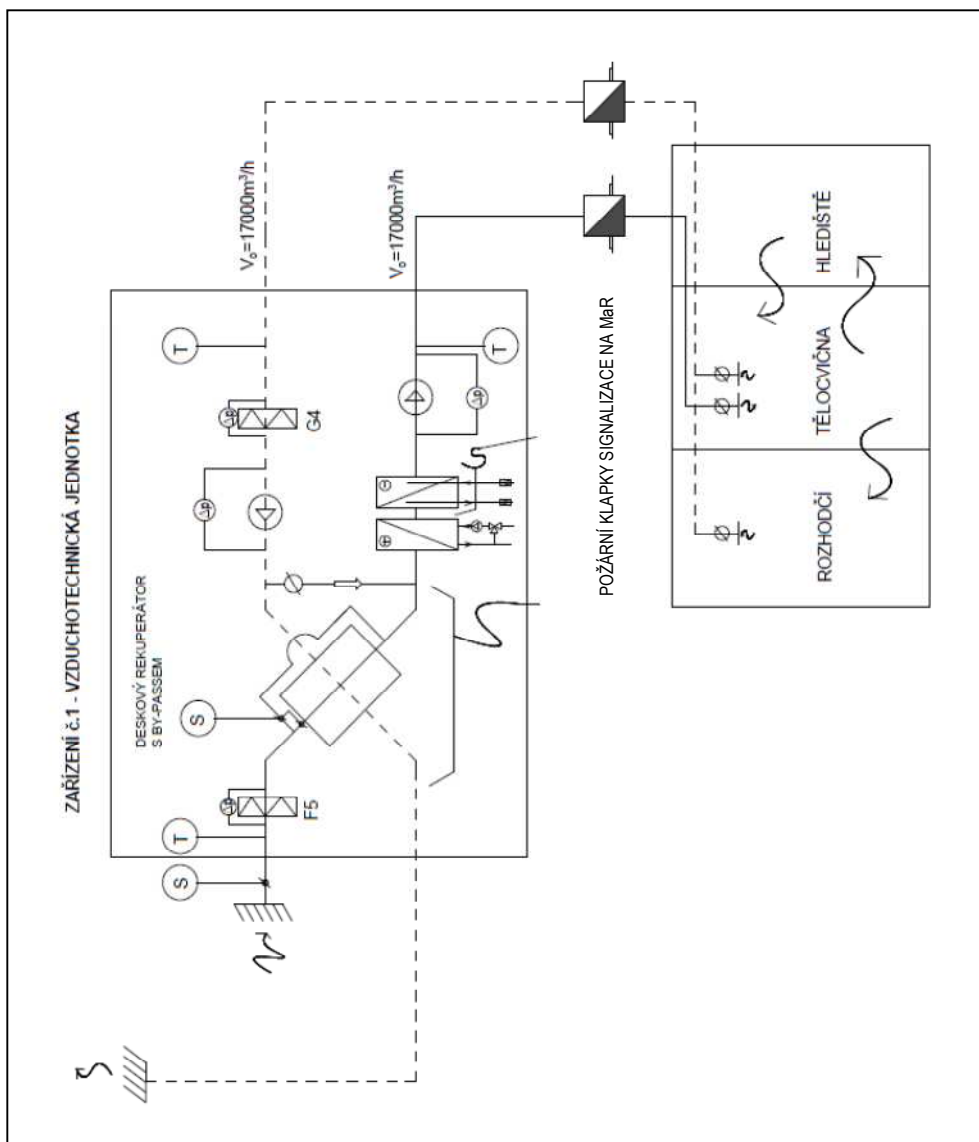
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. HANA DVOŘÁKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

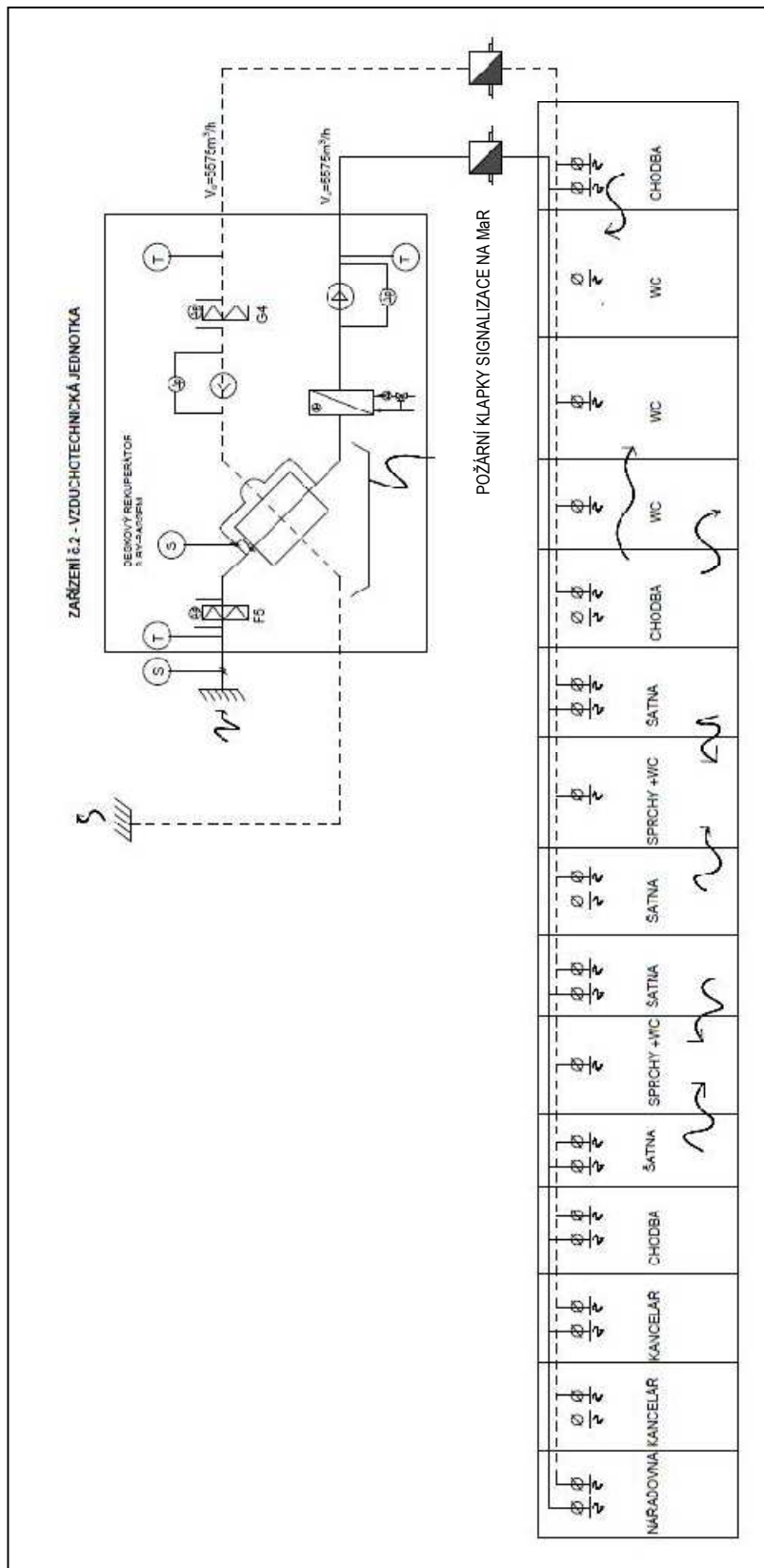
doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

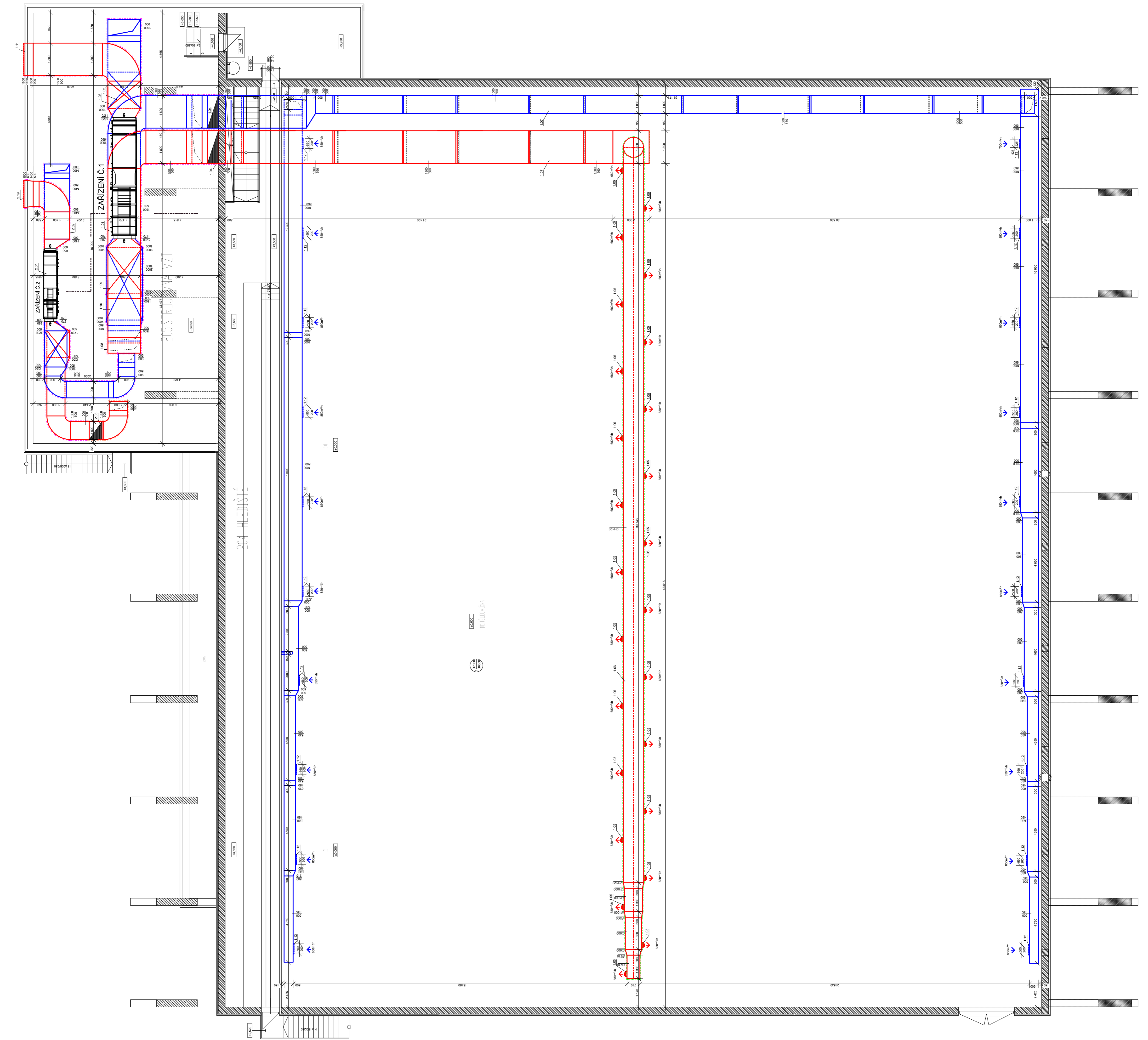
ZAŘÍZENÍ č.1 – TEPLOVZDUŠNÉ VYTÁPĚNÍ A KLIMATIZACE





ZAŘÍZENÍ č.2 – TEPLOVZDUŠNÉ VĚTRÁNÍ





### LEGENDA VZT ZAŘIŽENÍ

<b>VÝSAVAČKA VYPLAČKA</b> 1.05	<b>PROJEKTOVANÉ VÝŠKOVÉ ÚROVNĚ</b> 1.05 1.12 1.13
<b>VÝSAVAČKA VYŠKOVÁ</b> 2.06	<b>STŘEDNÍ MĚRKA VÝŠKOVÝCH</b> 2.25 2.24
<b>VÝSAVAČKA VYŠKOVÁ</b> 2.07	<b>STŘEDNÍ MĚRKA VÝŠKOVÝCH</b> 2.23 2.22
<b>VALBOVÝ VENTIL 100</b> 2.08	<b>OBŘADZOVÉ ŽEBŘIČKY</b> 2.65 2.66
<b>VALBOVÝ VENTIL 200</b> 2.09	<b>MANŽEVY OVÁSNÉHO VZDUCHU (P/1)</b> 2.65 2.66
<b>VALBOVÝ VENTIL 311</b> 2.11	<b>MANŽEVY OVÁSNÉHO VZDUCHU (P/2)</b> 2.65 2.66
<b>POŽÁRNÍ KLAPKA</b> T.01, Z.03, Z.04	<b>VÝŠKOVÉ POTŘEBÍ</b> TEPELNÁ PROTİPOŽÁRNĚ TL 40mm EI 60 min
	<b>LEGENDA POTŘEBÍ</b> PŘIPLAČKA VÝSAVAČKA SMÍŠENÝ VZDUCH
	<b>CHERNA THIGSE SKORREKT</b> 0 100 00000 0 105 00000 0 110 00000 0 115 00000 0 120 00000 0 125 00000 0 130 00000

0,00-287 m n.m. B.P.V.

INVESTOR: PŘIHLÁŠKA	PROJEKT: DIPLOMOVÁ PRÁCE	STAV: A	STAVBA: CS
VYPRACOVANÁ: HANA DVORÁKOVÁ	Č. ZAHÁJKY: DIPLOMOVÁ PRÁCE		
VEDOUcí: doc. Ing. ALES RURIKA Ph.D.	STATUS DOKUMENTACE: VÝKOVÁ VERZE ARCHICADU		
	VERZE: 1:100	PRŮBĚH: C. DOKUMENTACE	
VYSOKÁ ŠKOLA TECHNICKÁ A EKONOMICKÁ V BRNĚ PŘÍRODNÍ VĚDECKÝ ÚSTAV V BRNĚ	PRŮBĚH: A		