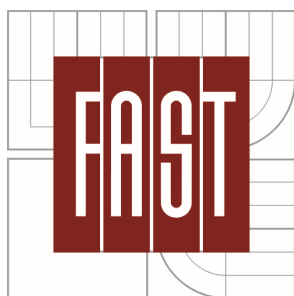


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

TVORBA MIKROKLIMATU PRŮMYSLOVÉ HALY S VYSOKÝMI NÁROKY NA JEHO ROVNOMĚRNOST

CREATING A MIKROCLIMATE OF AN INDUSTRIAL BUILDING
WITH HIGH DEMANDS ON ITS UNIFORMITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

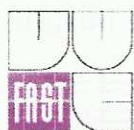
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ELIŠKA RAŠÍNOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Doc. Ing. ONDŘEJ ŠIKULA, Ph.D.

BRNO 2015



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. Eliška Rašínová
Název Tvorba mikroklimatu průmyslové haly s vysokými nároky na jeho rovnoměrnost
Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Ondřej Šikula, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce 31. 3. 2014
Datum odevzdání diplomové práce 16. 1. 2015

V Brně dne 31. 3. 2014


doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu




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

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)

Řešení využívající výpočetní techniku a modelování

B. Aplikace tématu na zadané budově - koncepční řešení

Návrh technického řešení ve variantách v zadané specializaci (včetně doložených výpočtů) v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení: půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva

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

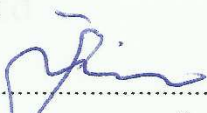
C. Experimentální a simulační řešení a zpracování výsledků. Počítačová simulace souvisejících fyzikálních dějů.

- práce bude zpracována v souladu s platnými předpisy (zákony a vyhláškami, normami) pro navrhování zařízení techniky staveb

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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


.....
doc. Ing. Ondřej Šikula, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá optimalizací mikroklimatu v průmyslové hale, kde je pro výrobu požadována stálá teplota s minimálními výkyvy. Při nedostatečném výkonu dílčí klimatizace bylo cílem navrhnout řešení, které zajistí stálost vnitřní teploty při provozu zejména pro letní období a bude ekonomicky přijatelné. Simulace původního stavu prokazuje definované problémy.

Experimentálním měřením a srovnávací metodou jsou v práci zhodnoceny některé nové či pro stínění netradiční materiály. Každému materiálu je přiřazen stínící součinitel, čímž je dosaženo univerzálnosti ve výpočtu tepelných zisků vznikajících slunečním zářením. Součástí experimentů a jejich zhodnocení je určení tloušťky skla standardního jednoduchého zasklení. Dále je určena poměrná propustnost pro některé vícekomorové polykarbonáty, které jsou v současnosti používány jako výplň průmyslových světlíků i okenních otvorů výrobních hal.

Z experimentů vyplývající návrh je podroben simulaci. Po instalaci navrženého stínění je uvedeno srovnání průběhu teplot v zadaném objektu před provedení úprav a po něm.

Klíčová slova

Sluneční radiace, tepelné zisky, tepelná zátěž, stínění, vícekomorový polykarbonát, poměrná propustnost, součinitel stínění, experimentální měření, simulace

Abstract

This diploma thesis deals with the optimization of microclimate of an industrial building. There is required constant temperature with minimal fluctuations during manufacturing process in the building. Due to insufficient cooling power of air-conditioning system was objective to design a solution that ensures stability of internal temperature during production especially in summer and simultaneously should be the solution economically acceptable. Simulation shows original state defined problems.

Some new or unusual materials for solar shading are reviewed in the thesis by the experimental measurements and by the comparative method. To each material is assigned shading coefficient according to Czech standards, thereby is achieved universality for calculations of heat gains resulting from solar radiation. By one part of the

experiments and their evaluation is determined thickness of the standard single glass glazing. It is also determined proportional transmittance of solar radiation for certain multiwall polycarbonates, which are currently used as fillers of industrial skylights and production hall's window openings.

From experiments resulting design is subjected to the simulation. Comparison of temperatures is shown for the time before the installation of designed solar shading and after the installation of the solar shading.

Keywords

Solar radiation, heat gains, heat load, solar shading, multiwall polycarbonate, proportional transmittance of solar radiation, shading coefficient, experimental measurements, simulation

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Eliška Rašínová *Tvorba mikroklimatu průmyslové haly s vysokými nároky na jeho rovnoměrnost*. Brno, 2015. 103 s., 56 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Ondřej Šíkula, Ph.D.

Prohlášení:

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

V Brně dne 15.1.2015

.....
podpis autora
Bc. Eliška Rašínová

Poděkování:

Chtěla bych poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Ondřeji Šikulovi, Ph.D. za jeho vedení a odborné rady. Ing. Pavlu Nohelovi bych ráda poděkovala za jeho vstřícný přístup a poskytnuté materiály. Dále bych chtěla poděkovat firmám PELZ CZ s.r.o., SHAPE ART s.r.o., DAER s.r.o., KEIMfarben s.r.o. a Tylex Letovice, a.s. za jimi poskytnuté vzorky stínících materiálů. V neposlední řadě děkuji také rodině za podporu během studia.

Obsah

Úvod	15
A. ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ	16
1 Analýza tématu	16
1.1 Interní mikroklima	16
1.2 Pracovní prostředí	16
1.2.1 Teplota a vlhkost na pracovišti	17
1.2.2 Výměna vzduchu	18
1.2.3 Požadavky na osvětlení	18
1.3 Provozy s přesným mikroklimatem předepsaným technologií	19
1.4 Rozložení teplot v halových objektech	20
1.4.1 Zimní období	20
1.4.2 Letní období	20
1.5 Výpočet tepelné zátěže solární radiací a normativní podklady	21
2 Cíl práce, zvolené metody řešení	24
3 Aktuální technická řešení v praxi	24
3.1 Průsvitné konstrukce průmyslových hal	24
3.2 Možnosti zastínění světlíků průmyslových hal	26
3.3 Nucené větrání a chlazení velkých prostorů	29
3.3.1 Větrání celkové	29
3.3.2 Větrání místní	30
3.4 Vytápění průmyslových hal	31
4 Teoretické a fyzikální podklady pro řešení	33
4.1 Definice teplot	33
4.2 Sdílení tepla	34
4.3 Sluneční záření	34
4.4 Prostup sluneční radiace průsvitnou konstrukcí	35
4.5 Experimentální měření	36
4.6 Teorie chyb	37
4.7 Nejistota měření	37
5 Popis metody experimentálního řešení	39

5.1	Poměrná propustnost slunečního záření.....	39
5.2	Součinitel stínění	41
5.3	Nesprávné určení stínícího součinitele	42
5.4	Metoda měření A - stanovení poměrné propustnosti průsvitné konstrukce zvlášť pro přímé a difúzní záření.....	42
5.5	Metoda měření B – stanovení celkové poměrné propustnosti.....	44
5.6	Volba metody.....	46
6	Řešení využívající výpočetní techniku a modelování	46
6.1	Aktuální možnosti	46
6.2	CFD.....	46
6.3	Software pro model a simulaci.....	47
6.4	Zmenšení náročnosti výpočetního procesu.....	47
B.	EXPERIMENTÁLNÍ A SIMULAČNÍ ŘEŠENÍ	48
1	Realizace experimentálního měření.....	48
1.1	Měřicí přístroje.....	48
1.1.1	Snímače globální radiace.....	48
1.1.2	Měřiče intenzity osvětlení.....	49
1.2	Tvar měřících boxů	51
1.3	Stanovení poměrné propustnosti	52
1.4	Stanovení součinitele stínění	53
2	Výsledky experimentálního měření	54
2.1	Poměrná propustnost výplní	54
2.1.1	Seznam materiálů	54
2.1.2	Vyhodnocení poměrné propustnosti.....	55
2.2	Součinitel stínění	58
2.2.1	Seznam materiálů	58
2.2.2	Vyhodnocení účinnosti stínění	60
2.3	Nejistoty experimentálního měření.....	61
2.3.1	Nejistota typu B.....	61
2.3.2	Nejistota typu A.....	62
2.3.3	Kombinovaná nejistota C	63
2.4	Zpracování výsledků experimentálního měření s nejistotami měření	63
2.4.1	Hodnoty měřené pro určení poměrné propustnosti	63

2.4.2	Hodnoty měřené pro určení součinitele stínění.....	65
3	Simulace rozložení teplot a proudění ve VP3	66
3.1	Vstupní údaje	66
3.2	Teplota	68
3.3	Rychlost proudění	71
3.4	Vyhodnocení výsledků simulace	71
C.	APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ	73
1	Průmyslová hala VP3	73
1.1	Budova	73
1.2	Provoz 1	74
1.3	Analýza stavu	75
2	Tepelně-vlhkostní bilance	77
2.1	Tepelná zátěž	77
2.1.1	Tepelné zisky solární radiací průsvitnými konstrukcemi.....	77
2.1.2	Prostup tepla průsvitnými konstrukcemi konvekcí.....	81
2.1.3	Tepelné zisky obvodovými neprůsvitnými konstrukcemi	81
2.1.4	Tepelné zisky od vnitřních zdrojů	83
2.1.5	Celková tepelná zátěž	84
2.2	Vodní zisky	84
2.3	Tepelné ztráty	85
3	Aplikace zastínění na hale VP3	86
3.1	Vybraný materiál a tepelná zátěž solární radiací	86
3.2	Tepelná zátěž solární radiací po zastínění	86
3.3	Vyplyvající doporučení	88
3.4	Předpokládaná úspora při užití stínění	88
3.5	Zhodnocení	89
4	Návrh vzduchotechnické jednotky	90

4.1	Úvod k návrhu	90
4.2	Distribuce vzduchu	90
4.3	Vstupní hodnoty.....	91
4.4	VZT jednotka 1	92
4.5	VZT jednotka 2,	92
5	Hodnocení navržených řešení pro VP3.....	93
5.1	Pořizovací náklady.....	93
5.1	Výsledná doporučení	94
	Závěr.....	95
	Literatura.....	96
	Seznam vybraných použitých symbolů	101
	Seznam svázaných příloh	103
	Seznam volných příloh	103

Úvod

Základním prvkem v tvorbě interního mikroklimatu budovy je vzduchotechnika. Pokud není její návrh dostatečně přizpůsoben uživateli, neplní budova jako celek všechny požadované funkce. Se zvyšující se přesností výrobních strojů dochází k navyšování požadavků na přesnost hodnot týkajících se zejména teploty.

Jedním z trendů u nově postavených či rekonstruovaných výrobních hal je použití obloukových světlíků s výplní z vícekomorového polykarbonátu, který má lepší tepelně-technické parametry než dříve používané drátěné sklo. U těchto materiálů není ve většině případů stanovena poměrná propustnost pro sluneční radiaci.

Normativně předepsané množství denního světla vede k enormní tepelné zátěži a k vysokým požadavkům na chladicí výkon.

Pro provoz 1 výrobní haly VP3, s vysokými požadavky na teplotní rovnoměrnost vnitřního mikroklimatu, byl firmou AZ Klíma a.s. stanoven odhad tepelné zátěže na 202 kW, která o 54 kW převyšovala chladicí výkon stávající klimatizační jednotky. Výplně průsvitných otvorů na hale je vícekomorový polykarbonát, který nebyl zastíněn.

Výše uvedené skutečnosti vedly k potřebě zjištění poměrné propustnosti vícekomorového polykarbonátu používaného jako výplně průsvitných otvorů na halách a stanovení součinitele stínění pro materiály vhodné k zastínění velkých ploch a materiály pro stínění netradiční, ale ekonomicky výhodné. Experimentálně budou v práci stanoveny hodnoty poměrné propustnosti a součinitele stínění. Nově zjištěné hodnoty povedou ke zpřesnění výpočtu množství teplených zisků pocházející ze sluneční radiace a úsporám ve spotřebě elektrické energie.

A. ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ

1 Analýza tématu

1.1 Interní mikroklima

Tvorba interního mikroklimatu budov je procesem, který se vyznačuje přenosem tepla a látek, a který je ovlivňován zejména klimatickými a meteorologickými poměry. Teplota vnějšího vzduchu a sluneční záření mají pro tepelnou bilanci budov nezanedbatelný význam.

Vnitřní prostředí průmyslových hal je určováno zejména požadavky technologií umístěných v objektu, zároveň musí být zajištěna ochrana osob, zvířat, životního prostředí a úspora energie. [15]

Větrání budov je energeticky značně náročné, a proto zvláště dnes při hledání úspor energií je důležité zdůraznit, že hygienické požadavky jsou nadřazeny požadavkům energetickým. Pro pracovní prostředí existují i právně stanovené limity pro mikroklima (teploty, relativní vlhkost, rychlost proudění vzduchu), chemické látky, prašnost, osvětlení a větrání dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb., ve znění nařízení vlády č. 93/2012 Sb. [6]. Pro vnitřní prostředí staveb je vyhláškou č. 20/2012 Sb. limitováno větrání a koncentrace CO₂.

Deformace výrobních strojů teplotou je ideálně kompenzována přímo zařízením. Pokud se tak nestane, je specifikováno teplotní rozmezí, za kterých je přístroj schopen pracovat s minimální odchylkou. Je třeba instalovat přesnou klimatizaci.

Následně budou zmíněny vybrané části, které přiblíží problematiku související s tématem, zákonnými předpisy, normami a fyzikálními principy, které poslouží jako výchozí podklady pro návrh a posouzení.

1.2 Pracovní prostředí

Pojmem pracovní prostředí se dle Krajské hospodářské komory Královéhradeckého kraje „rozumí soubor činitelů působících na činnost člověka v určitém prostoru a/nebo také soubor prostředí, za jakých se uskutečňuje pracovní proces“. [17] Pracoviště může být venkovní, nevenkovní s neudržovanou teplotou, nevenkovní s udržovanou teplotou a nevenkovní klimatizované. Dále jsou uvedeny údaje navazující na pojem nevenkovní pracoviště.

1.2.1 Teplota a vlhkost na pracovišti

Tepelně vlhkostní podmínky pro pracovní prostředí uvedené v nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, [6] obsahují změřenou výslednou teplotu t_g , vypočítanou teplotu operativní t_o a nově zavádí stereoteplotu.

Třída práce IIa je zde definována jako „práce spojená s lehkou manuální prací rukou a paží, řízení osobního, nákladního vozidla, traktorů, autobusů, trolejbusů a ostatních drážních vozidel za běžných provozních podmínek, přesouvání lehkých břemen nebo překonávání malých odporů, automatizované strojní opracovávání a montáž malých lehkých dílců, kusová práce nástrojářů a mechaniků, pokladní“. A je s ní spojen výdej energie 81 až 105 W.m⁻². [6]

Pro kategorii IIa (i I) jsou pro názornost v Tab. 1 uvedeny hodnoty vyňaté z normy.

Tab. 1: Přípustné hodnoty podle nařízení vlády č. 93/2012 Sb.

Celoročně přípustné teploty na pracovišti podle nařízení vlády č. 93/2012 Sb., v závislosti na náročnosti vykonávané činnosti, tj. na energetickém výdeji zaměstnanců					
Třída práce	Energetický výdej		Teplota	Rychlost proudění	Relativní vlhkost
	M	$t_{o \min}$ nebo $t_{g \min}$	$t_{o \max}$ nebo $t_{g \max}$	V_a	R_h
	[W.m ⁻²]	[°C]	[°C]	[m.s ⁻¹]	[%]
I	≤ 80	20	27	0,01 až 0,2	30 až 70
IIa	81 až 105	18	26		

Dodržení přípustných teplot se nevyžaduje za mimořádně teplého dne, kdy nejvyšší teplota venkovního vzduchu dosahuje vyšší hodnoty než 30 °C.

Teplota v tabulce uvedená jako $t_{o \min}$ je platná pro tepelný odpor oděvu 1 clo (např. pánský oblek) v zimě, $t_{o \max}$ je platná pro tepelný odpor oděvu 0,5 clo v létě. [4]

Klimatizovaná pracoviště, kde je klimatizace použita k zajištění optimální pohody prostředí, jsou dále dělena do tří kategorií (A, B, C) podle požadované kvality prostředí a náročnosti vykonávané práce. Platí pro ně další zpřesnění hodnot.

Na pracovištích třídy I a IIa (práce s celkovým průměrným energetickým výdejem do 105 W.m⁻²), musí být dále dodrženy tyto limity:

- rozdíly teplot vzduchu mezi úrovní hlavy a kotníků nesmí být větší než 3 °C [14]

- intenzita osálení hlavy nesmí být větší než $200\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
- asymetrie radiační teploty t_a od oken nebo jiných chladných svislých povrchů nesmí být větší než 10°C
- asymetrie radiační teploty od teplého stropu nebo jiných vodorovných povrchů nesmí být větší než 5°C

Na zadané hale VP3 je klimatizace instalována z důvodů technologických požadavků na prostředí, přesto musí být dodrženy požadavky na pracovní prostředí pro pracoviště IIa, dle Tab. 1: Přípustné hodnoty podle nařízení vlády č. 93/2012 Sb., a další platné předpisy.

Nařízení vlády [6] v části A také přesně určuje přípustné expoziční limity (PEL) pro chemické látky a prašnost.

1.2.2 Výměna vzduchu

Množství čerstvého, do objektu přiváděného vzduchu, je určováno s ohledem na vykonávanou práci a její fyzickou náročnost. Jeho minimální množství je v souladu s minimálními požadavky stavební vyhlášky a činí $25\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ na zaměstnance provádějící práci zatříděnou do třídy práce I nebo IIa na pracovišti bez přítomnosti chemických látek, prachů a jiných zdrojů znečištění a $50\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ na zaměstnance z třídy I nebo IIb pokud tyto látky a zdroje znečištění přítomny jsou. Množství vzduchu se dále zvyšuje s fyzickou náročností práce a množstvím znečištění. Pokud je pracoviště s přístupem veřejnosti, započítává se 0,2 až 0,3 osoby na 1 m^2 nezastavěné plochy. [16]

Jinak je také nutné dodržet minimální požadovanou půlnásobnou výměnu vzduchu v objektech s pobytem osob za hodinu dle stavební vyhlášky č. 268/2009 Sb. [15]

Podmínky stanovené pro použití oběhového vzduchu spolu s podílem venkovního vzduchu z nařízení vlády [6] určují, že i když tento podíl dostatečně navržen podle dávek vzduchu na osobu, nesmí podíl venkovního vzduchu přiváděného při nuceném větrání a klimatizaci poklesnout pod 15 % celkového množství přiváděného vzduchu. A použitý oběhový vzduch musí být vyčištěn tak, aby neobsahoval chemické látky nebo prach v koncentraci vyšší než 5 % jejich přípustného expozičního limitu.

1.2.3 Požadavky na osvětlení

Požadavky na osvětlení jsou pro budovy stanoveny v ČSN 73 0580 [13] Denní osvětlení budov, ČSN 36 0020 Sdružené osvětlení a v ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostor, část 1: Vnitřní pracovní prostory.

Druhá část ČSN 73 0580 se přímo týká denního osvětlení průmyslových budov, kde dle je musí být ve vnitřních prostorech s trvalým pobytem lidí, co nejvíce využíváno denní

osvětlení. Trvalý pobyt lidí znamená délku pobytu větší než 4h vícekrát než jedenkrát týdně. Je udáván činitel denní osvětlenosti.

Paragraf 45, NV č. 361/2007 Sb. přímo v odstavcích 3 a 4 specifikuje hygienické požadavky na osvětlení pracoviště:

„(3) Na pracovišti, na němž je vykonávána trvalá práce, osvětlovaném denním osvětlením, musí být dodrženy tyto minimální hodnoty:

a) denní osvětlení vyjádřené činitelem denní osvětlenosti D , minimální $D_{min} = 1,5 \%$, při horním nebo kombinovaném denním osvětlení i průměrný $D_m = 3 \%$,

b) celkové umělé osvětlení vyjádřené udržovanou osvětleností $\bar{E}_m = 200 \text{ lx}$.

(4) Na pracovišti, na němž je vykonávána trvalá práce, osvětlovaném sdruženým osvětlením musí být dodrženy tyto minimální hodnoty:

a) denní složka sdruženého osvětlení vyjádřená činitelem denní osvětlenosti D , minimální $D_{min} 0,5 \%$ a průměrná $D_m 1 \%$ musí být splněna ve všech případech, tedy i při bočním nebo kombinovaném osvětlení.“

Pouze umělé světlení je budovách možné instalovat jen ve výjimečných případech.

1.3 Provozy s přesným mikroklimatem předepsaným technologií

V průmyslovém odvětví mají klimatizační zařízení zajišťovat podmínky dle požadavků technologie. Podle typu provozu je vyžadována předepsaná teplota, relativní vlhkost či je definována čistota vzduchu. Pro určitou technologii je vyžadováno pouze omezené kolísání teplot nebo vlhkostí a je nutná celoroční úprava vzduchu přiváděného do prostoru.

U objektů s úzkými tolerancemi teplot je obvyklá garance oblasti s požadovanou teplotou až ve vzdálenosti 0,8 m od stěny. Je pracováno s velkou intenzitou výměny vzduchu a malým podílem venkovního vzduchu, i do 10%, což je ale momentálně dle [6] při pobytu osob vyloučeno. Dále je používán malý rozsah teplot (až $\pm 0,5 \text{ K}$) [2] a teplota se upravuje v několika stupních postupně za sebou se zvyšující se přesností. Používají se regulátory s velkou citlivostí.

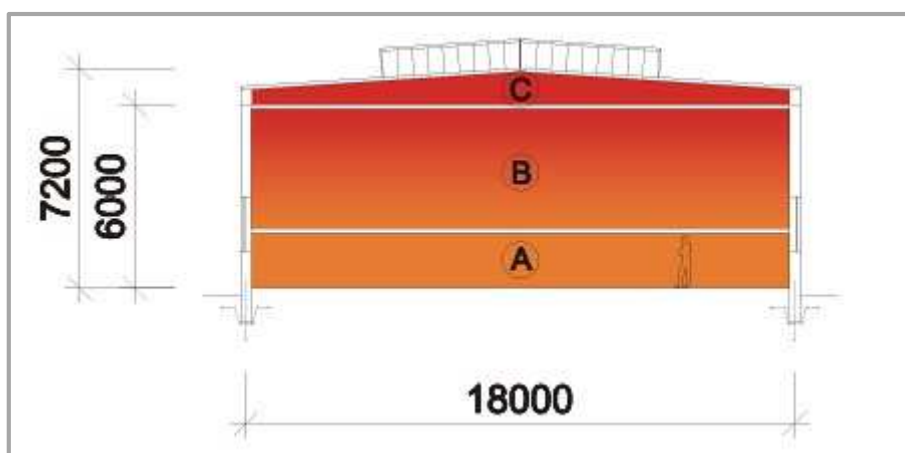
Je možné obklopit klimatizovaný prostor meziprostorem, který z velké části eliminuje teplotní vliv vnějšího prostředí. Také je možné chladit jen obálkovou konstrukci tak, aby nedocházelo k teplotním kmitům. [2]

1.4 Rozložení teplot v halových objektech

1.4.1 Zimní období

Ve vertikálním směru existují v průmyslových halách oproti místnostem s malou výškou pásma, která jsou výrazně ovlivňována venkovními ochlazovanými plochami.

Vzhledem k výšce hal je v zimním období obvyklé hromadění výrazně teplejšího vzduchu v horní vrstvě pod střešou, pod světlíky. Tato vrstva má i o několik stupňů vyšší teplotu než vrstva dole, kde se pohybují osoby, viz Obr. 1: Vertikální zónování teploty v hale, kde A je zóna pobytu člověka, B neutrální zóna a C je zóna energetické náročnosti. Jako referenční teplota je brána teplota 1,5 m až 1,7 m nad zemí.



Obr. 1: Vertikální zónování teploty v hale [26]

Při tomto zónovém rozložení dochází ke zvýšeným tepelným ztrátám oproti výpočtovým ztrátám, při kterých není počítáno s výše zobrazeným rozvrstvením teplot. Je proto vhodné rozložení teplot s vyšší teplotou pod světlíky (zóna C) odstranit. Ideálně je vhodné vytápět pouze vzduch v oblasti pobytu člověka nebo tam, kde je to nutné pro technologii. K tomuto účelu je vhodné zejména sálavé vytápění či vytápění infračervenými plynovými zářiči a vhodně navržené výustě vzduchotechniky ve spojení s rychlostí proudění, tak aby přiváděly ohřátý vzduch pouze do oblasti pobytu člověka. [26]

1.4.2 Letní období

Maximální možný vzrůst teploty vzduchu v místnosti v letním období činí při vnitřním zdroji tepla o velikosti do 25 W/m^3 včetně, na základě ČSN 73 0540-2, $7,5^\circ\text{C}$.

Podle ČSN 73 0580 – 4 je pro prostory s vysokými požadavky na stabilitu mikroklimatu vhodné instalovat šedové světlíky se sklonem směrem k severu. Tato varianta byla ověřena vzhledem k maximálnímu možnému vzrůstu teplot a dostatečné denní osvětlenosti Ateliérem DEK. Lze říci, že bez použití klimatizace nebo stínících prvků

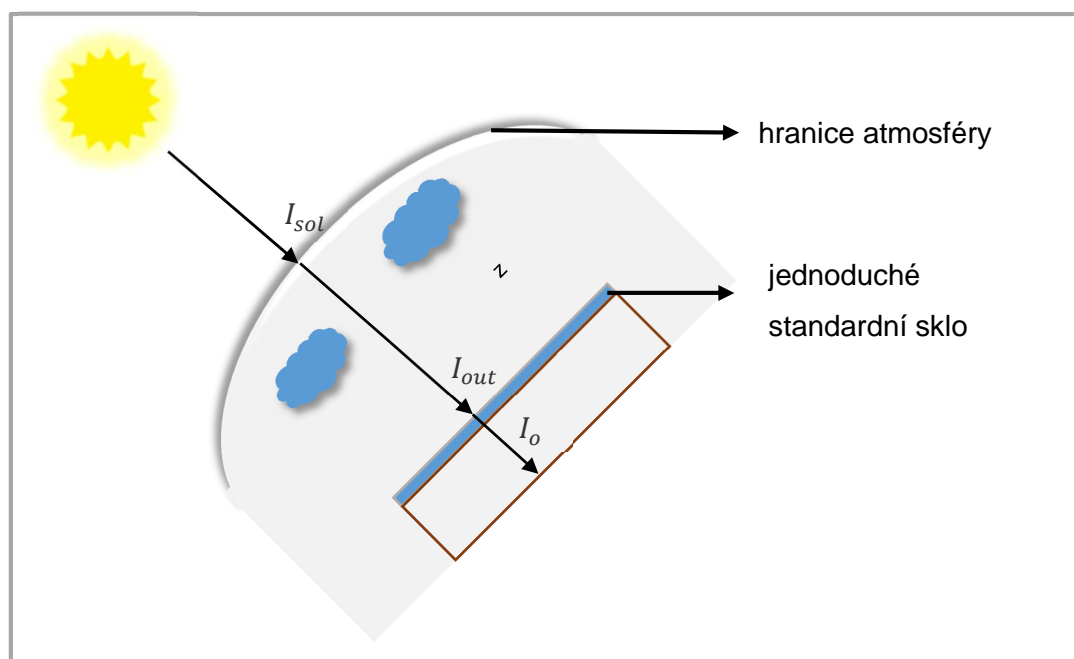
nelze u instalovaných sedlových či obloukových světlíků, s ohledem na typ výplně těchto průsvitných otvorů, dosáhnout splnění kritérií na osvětlenost a zároveň nepřekročit povolený vzrůst teplot v letním období. [25] Stejně jako v zimním období, dochází ke zvýšení teploty v prostoru pod střechou.

1.5 Výpočet tepelné zátěže solární radiací a normativní podklady

Pro výpočet tepelné zátěže solární radiací je možné využít následující tři normy: ČSN EN ISO 13790 Energetická náročnost budov - Výpočet potřeby energie na vytápění a chlazení, ČSN 73 0548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů a ČSN 730542 Způsob stanovení energetické bilance zasklených ploch obvodového pláště budov. [11]

První ČSN EN ISO 13790 zohledňuje i situaci okolních staveb a jejich vliv na výpočet tepelné zátěže. Je obecně vhodnější pro tvorbu softwarového algoritmu či využití již vytvořeného softwaru. [11] Třetí zmiňovaná norma ČSN 73 0542 pracuje s vysokou mírou zjednodušení. Propustnost zasklení je v tomto případě brána jako úhlově nezávislá.

Mnou zvolený algoritmus pro výpočet bude vycházet z normy ČSN 73 0548 [1] pro výpočet tepelné zátěže budov solární radiací. Ta zohledňuje poměrnou propustnost standardního jednoduchého zasklení a jeho závislost na úhlu θ , který svírá normála od povrchu s paprskem dopadu slunečního záření. Zohledňuje také znečištění atmosféry v součiniteli z v daných měsících roku. Schéma prostupu slunečního záření až do interiéru je znázorněno na Obr. 2.



Obr. 2: Schéma prostupu slunečního záření

Na hranici atmosféry dopadá sluneční radiace o hodnotě solární konstanty 1350 W/m². Ta bývá značena I₀, kde indexem je nula. Pro špatnou zřetelnost a malou odlišnost od písmena o, která je u indexů používána pro okno, bude dále, stejně jako na Obr. 2, uváděna jako I_{sol}. Na hranici objektu dopadá celková sluneční radiace I_{out}, která se skládá ze sluneční radiace přímé I_D a difúzní I_d.

Následně uvádím vztahy pro výpočet dle ČSN 73 0548 (či přesnější vztahy pro výpočet dle [5]). Vztahy pro výpočet výšky slunce *h* a úhlu incidence θ (tj. úhel mezi normálou osluněného okna a směrem paprsku), jejichž znalost je nutná pro výpočet tepelné zátěže:

$$\delta = 23,48 \cdot \sin(0,98 \cdot d + 29,7 \cdot M - 109) \quad (1)$$

$$\tau = \frac{hod}{24} \cdot 360 \quad (2)$$

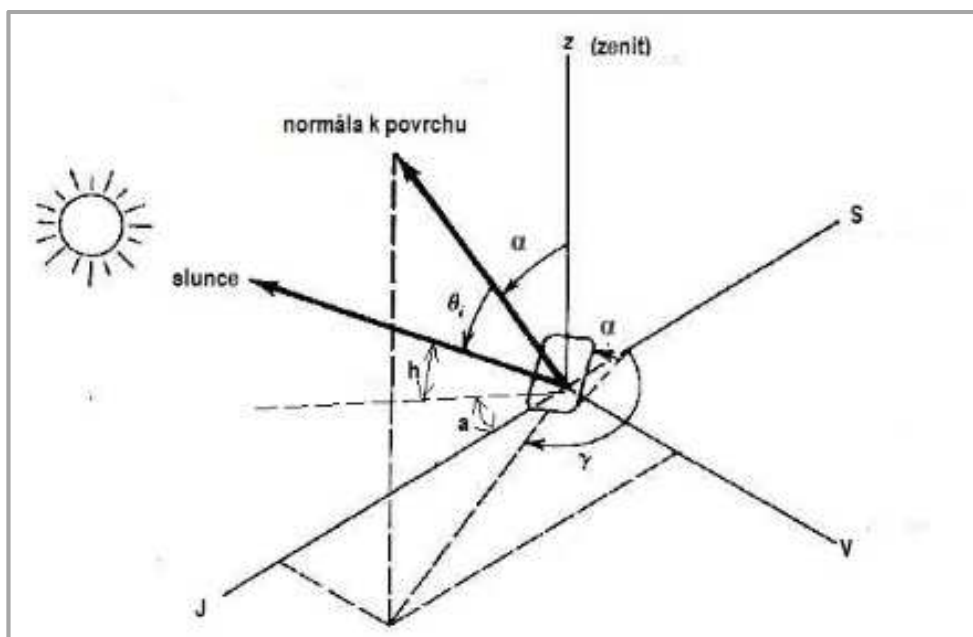
$$h = \sin^{-1}(\sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \tau) \quad (3)$$

$$a = 180 - \sin^{-1} \left(\sin \tau \cdot \frac{\cos \delta}{\cos h} \right) \quad (4)$$

$$\theta = \cos^{-1}(\sin h \cdot \cos \alpha + \cos h \cdot \sin h \cdot \cos(a - \gamma)) \quad (5)$$

δ	.....	sluneční deklinace [°]
d	.....	číslo dne v měsíci
M	.....	číslo měsíce v roce (1-12)
τ	.....	sluneční čas [°]
hod	.....	hodina [h]
h	.....	výška slunce [°]
φ	.....	zeměpisná šířka [°]
a	.....	azimut slunce [°]
θ	.....	úhel mezi normálou povrchu a směrem slunečních paprsků, úhel incidence [°]
α	.....	úhel stěny s vodorovnou rovinou [°]
γ	.....	azimutový úhel normály stěny [°]

Jako vstupní údaje pro výpočet, pokud budeme počítat dle normy, tak postačí den *d*, měsíc *M* a hodina *hod*, kdy bylo měření prováděno; zeměpisná šířka φ ve stupních, azimut natočení průsvitné plochy γ a její sklon α , na který dopadá sluneční záření. Konkrétní veličiny jsou zobrazeny na Obr. 3.



Obr. 3: Úhly vztahující se k dopadu slunečního paprsku, upraveno dle [55]

Pro horizontálně umístěnou plochu je sklon stěny roven 0° , pro vertikální plochu je úhel sklonu stěny roven 90° , z čehož v těchto speciálních případech vyplývají další zjednodušení pro výpočet úhlu incidence θ .

Tepelné zisky vznikající prostupem sluneční radiace oknem Q_{or} se počítají dle vztahu (6).

$$Q_{or} = [S_{os} \cdot I_o \cdot c_o + (S_o - S_{os}) \cdot I_{o,dif}] \cdot s \quad (6)$$

$$I_o = I_D \cdot T_D + I_d \cdot T_d \quad (7)$$

$$I_{o,dif} = I_d \cdot T_d \quad (8)$$

Q_{or}	.....	tepelné zisky sluneční radiací oknem [W]
S_{os}	.....	osluněný povrch okna [m ²]
I_o	.....	celková intenzita sluneční radiace, procházející standardním jednoduchým zasklením [W/m ²]
c_o	.....	korekce na čistotu atmosféry
S_o	.....	povrch okna [m ²]
$I_{o,dif}$	.....	intenzita difúzní sluneční radiace, procházející standardním jednoduchým zasklením [W/m ²]
s	.....	součinitel stínění [-]
I_D	.....	intenzita přímé sluneční radiace [W/m ²]

T_D	.....	poměrná propustnost jednoduchého standardního zasklení pro přímé sluneční záření [-]
I_d	.....	intenzita difúzní sluneční radiace [W/m ²]
T_d	.....	poměrná propustnost jednoduchého standardního zasklení pro difúzní sluneční záření [-]

2 Cíl práce, zvolené metody řešení

Cílem práce je navrhnout takové řešení pro nízkoenergetickou průmyslovou halu, která je pronajímána, aby nedocházelo k enormním teplotním výkyvům v letním období a byla zajištěna rovnoměrnost teploty časová i prostorová.

Řešení se vztahuje v hale VP3 na provoz 1, který vyžaduje tepelnou rovnoměrnost pro technologii. Je pro něj nainstalována dílčí vzduchová klimatizace, která nemá dostatečný chladicí výkon pro pokrytí všech tepelných zátěží.

Řešením je snížení energetické náročnosti chlazení či navýšení chladicího výkonu se zvážením ekonomické stránky. Hala je pouze necelé tři roky stará a není žádoucí provádět větší stavební zásahy, jako například změnu typu konstrukce střešních světlíků.

První varianta řešení vychází z možnosti instalace účinného stínění. Bude se řídit algoritmem výpočtu dle ČSN 73 0548 a experimentálním zjištěním parametrů jednotlivých možných stínících materiálů.

Dále je nutné určit poměrnou propustnost polykarbonátu instalovaného ve světlících a okenních otvorech na hale pro přesný výpočet teplených zátěží solární radiací. Nejdříve bude vytvořen návrh experimentálního měření pro zjištění požadovaných hodnot. Zároveň bude analyzována teplota a její rozložení v prostoru provozu 1.

Druhá varianta řešení vychází z možnosti návrhu vzduchotechnických jednotek s dostatečným chladicím výkonem.

3 Aktuální technická řešení v praxi

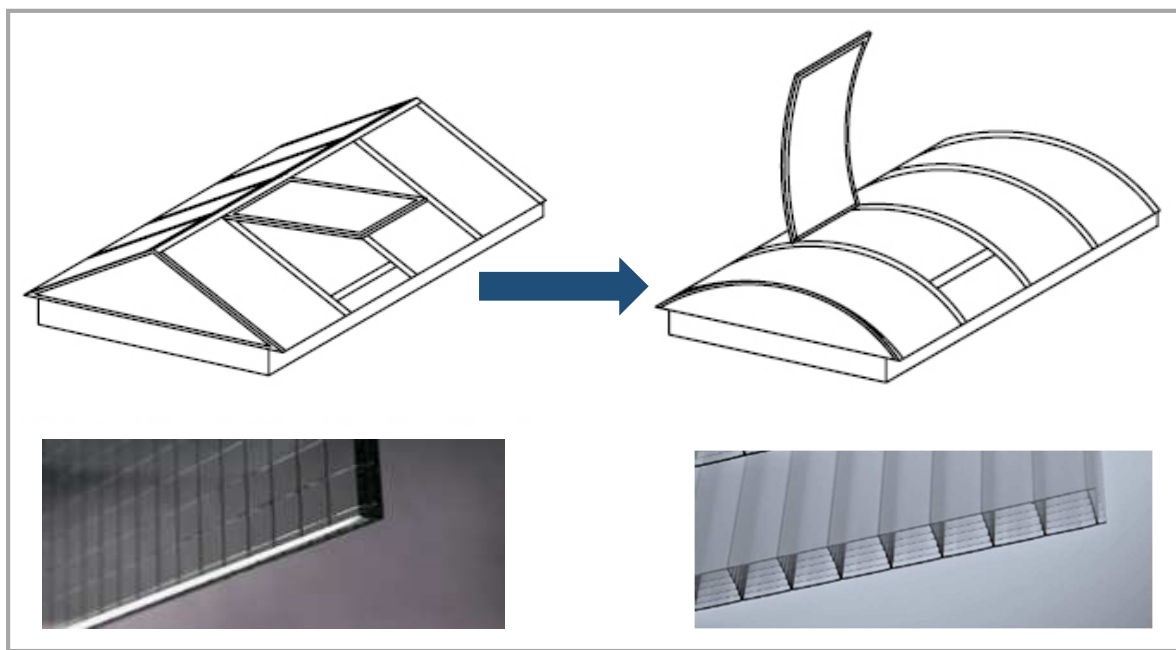
3.1 Průsvitné konstrukce průmyslových hal

S rozvojem zpracování plastů dochází k postupnému nahrazování drátěných skel v halových světlících vícekomorovým polykarbonátem. U nově stavěných hal je ve většině případů u pásových světlíků volen místo sedlového obloukový tvar, kterým se zmenšují tepelné ztráty a pracnost při montáži. Tloušťka desky drátěného skla používaná

v halových světlících se pohybuje okolo 8 mm. Polykarbonát je několikanásobně lehčí než tabule z drátěného skla a počet komor zajišťuje lepší tepelně technické vlastnosti.

Nosné oblouky světlíku jsou nyní vyráběny z hliníku, podsady světlíku jsou převážně z pozinkovaného plechu.

Vícekomorové polykarbonáty tvoří na halách i výplně svislých průsvitných otvorů.



Obr. 4: Vývoj tvaru a materiálů liniových světlíků [35][36][37]

Jak už bylo výše zmíněno v odstavci 1.4.2, optimální pro haly s vysokými požadavky na úzký rozsah teplot je typ šedových světlíků s orientací na sever. Pokud mají světlíky oboustranně průsvitné plochy je vhodné je orientovat podélnou osou ve směru východ-západ dle ČSN 73 0580-4. [12] Níže v Tab. 2 jsou uvedeny základní typy světlíků používaných v České republice.

Tab. 2: Základní typy světlíků v Česku, dle [25]

Orientace hlavních ploch	Typ	Fotografie	Popis a vhodnost použití
Zenitní	Bodový		<ul style="list-style-type: none"> – umístění ve všech místech stavby, bez vážných stavebních a konstrukčních změn, nad jednotlivými bodovými pracovišti, – v návaznosti na rozměr nedochází k tak významným tepelným ziskům – použití je omezeno rozměry

	Pásový obloukový		<ul style="list-style-type: none"> – oproti standardnímu sedlovému tvaru zmenšení plochy prosklení cca o 1/3 – snížení tepelných ztrát – zajištění dostatečného množství denního světla – ekonomicky výhodné (jednoduchá konstrukce, velká plocha výplně)
	Pásový sedlový		<ul style="list-style-type: none"> – tam, kde není možné použít obloukové konstrukce – je možné částečně snížit tepelný vliv slunečního záření správnou orientací ke světovým stranám – na severní straně možnost použít číré desky a tím zvýšit prosvětlení interiéru – ekonomicky nákladnější než světlík obloukový
Boční	Pásový lucernový		<ul style="list-style-type: none"> – charakteristické osvětlovací otvory orientované svisle na dvě protější světové strany – součástí konstrukce vodorovné zastřešení, které brání přímému pronikání slunečních paprsků do interiéru – lze použít větší plochu zasklení než u světlíků zenitních - větší prosvětlení interiéru haly – cenově nákladnější než světlík obloukový nebo sedlový
	Šedový		<ul style="list-style-type: none"> – osvětlovací plocha orientovaná na jednu světovou stranu – dosažení vysokých hodnot činitele denní osvětlenosti díky velké ploše zasklení – výhodný poměr jasů a kontrastů, stálost a rovnoměrnost osvětlení v objektu – ekonomicky nákladnější než obloukový a sedlový světlík


3.2 Možnosti zastínění světlíků průmyslových hal





Pro stínění světlíků s výplní z drátoskla se dříve využívalo každoročně opakovaných nátěrů z vápna. Tento nátěr není možné aplikovat na polykarbonátové výplně používané v současnosti.

Tvorba mikroklimatu průmyslové haly s vysokými nároky na jeho rovnoměrnost

Základní typy stínění používané pro stínění současných světlíků, případně velkoplošných výplní otvorů z polykarbonátu jsou uvedené v Tab. 3.

Tab. 3: Typy zastínění světlíků s polykarbonátovou výplní

Typ	Fotografie	
Nátěr	 <p data-bbox="408 815 831 882">Obr. 5: Barevný nátěr nástřikem [34]</p>	 <p data-bbox="951 815 1406 882">Obr. 6: Stínění odrazivým nátěrem Heatshield [39]</p>
Textilní stínění v interiéru	 <p data-bbox="400 1283 839 1317">Obr. 7: Interiérový baldachýn [40]</p>	
Textilní stínění v exteriéru	 <p data-bbox="411 1715 828 1783">Obr. 8: Textilní stínění exteriéru sedlového světlíku [42]</p>	 <p data-bbox="970 1715 1386 1783">Obr. 9: Textilní stínění exteriéru obloukového světlíku [41]</p>

Slunolam	 <p>Obr. 10: Slunolam obloukového světlíku s regulací natáčení [44]</p>	 <p>Obr. 11: Slunolam sedlového světlíku [43]</p>
Alternativní možnosti	 <p>Obr. 12: Reflektor z leštěné nerezové oceli [56]</p>	 <p>Obr. 13: Stínění rákosovou rohoží připevněnou pásky [45]</p>

Jako první se k snížení tepelné zátěže sluneční radiací stíněním polykarbonátových ploch nabízí solární fólie, které ovšem nemají příliš dlouhou životnost a není možné je odstranit, proto nejsou uvedeny v Tab. 3. Často využívanou variantou stínění jsou v současnosti nátěry, například Heatshield od firmy Pelz CZ s.r.o.. Jejich nevýhodou je permanentnost, výhodou naopak nízké náklady na aplikaci vzhledem k nepotřebnosti vnější konstrukce.

Účinnost použití stínění ze strany interiérové je vždy nižší než při použití totožného stínění z venku, neboť sluneční radiace již pronikla dovnitř. Část solární radiace je vždy pohlcena materiálem stínění, stejně jako u průsvitných konstrukcí a zvýší se tím jeho teplota, viz str. 35. Aplikace slunolamů je ekonomicky několikanásobně náročnější než použití textilií, jako materiál Soltis, či úpletů. K jejich použití (i použití žaluzií) již bylo vypracováno více publikací a proto s nimi v této práci nebude dále pracováno.

Alternativou ke stínění může být využití různých odrazivých ploch i například fotovoltaických panelů a jiných úhlově nastavitelných ploch. Odrazový plech na Obr. 12 je příkladem spojení stínění a směřování sluneční radiace dovnitř interiéru v zimních měsících, kdy je slunce níže nad horizontem. Tyto aplikace s sebou přinesou nesporně

výhody opět přináší vyšší pořizovací náklady. Fotovoltaické panely ale zároveň umožňují využívat elektrickou energii a v tomto případě mohou přinášet i snížení tepelné zátěže prostupem sluneční radiace při vhodném umístění u světlíků.



Obr. 14: Solární panel umístěný na průmyslovém objektu [58]

Použití rákosové rohože může být z hlediska životnosti a rozvoje plísní na jejich povrchu při kontaktní aplikaci problematická, ale jedná se o řešení ekologické. V experimentální části jsou ukázány další materiály alternativního stínění.

3.3 Nucené větrání a chlazení velkých prostorů

Nucené větrání a chlazení je vždy spojeno se spotřebou elektrické energie. Je tedy vhodné nejprve zvážit veškeré změny, které mohou vést ke snížení šíření škodlivin a tepelné zátěže do prostoru a tím ke snížení náročnosti pro větrání i chlazení. Například umístění odsávacího zařízení přímo u přístroje či užití rozdělení prostoru do menších částí a obestavění přístroje skříní či chlazení pouze menšího objemu, jako kompaktní sloupové chladicí jednotky pro přesnou klimatizaci pro serverovny. U větrání i chlazení průmyslových hal je využíváno jak centrálních, tak decentrálních vzduchotechnických systémů.

3.3.1 Větrání celkové

Pro haly využíváme mírně přetlakového větrání v případě, že chceme zabránit vnikání neupraveného vzduchu ze sousedních prostorů. Opačně užíváme podtlakového systému větrání zejména pro toalety, kuchyně.

Při centrálním větrání velkých prostor je využíváno jak větrání zaplavovací, kdy je chladnější vzduch přiváděn do prostoru a účinkem gravitace zaplaví prostor nad podlahou, tak větrání směšovací i větrání soustředěnými proudy většinou z boku, kdy je oblast pobytu větrána zpětnými proudy. Potrubí je nutné vést nad mostovým jeřábem.



Obr. 15: Centrální větrání haly směšovací [47]



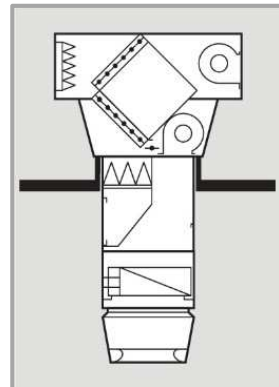
Obr. 16: Centrální větrání haly soustředěnými proudy [48]

Pro jejich dlouhý dosah je potrubí zakončováno velkoobjemovými výustěmi, dralovými výustěmi nebo dýzami při větrání soustředěnými proudy.

Decentralizované větrání, které je používáno pro výrobní haly či například sklady, má podobu jednotlivých klimatizačních jednotek (často dílčí klimatizace) umístěných na střeše haly. Často dále nevede žádné potrubí a jednotka je rovnou zakončena výustí.



Obr. 17: Decentralizované větrání haly z vnějšího pohledu [50]



Obr. 18: Klimatizační jednotka RoofVent pro decentralizované větrání haly, upraveno dle [49]

3.3.2 Větrání místní

Místní větrání je navrhováno zejména pro zmenšení působení škodlivých vlivů okolí a ochranu osob. Je zajišťováno vzduchovými oázami, sprchami a clonami.

Vzduchové oázy se navrhují pro místa odpočinku na pracovišti nebo u zdrojů konvekčního tepla. Vzduchové sprchy přivádí vzduch vyšší rychlostí proti směru působení sálavého zdroje tepla a chrání pracovníky před jeho nadměrným působením. Mohou být individuálně nastavitelné jednotkové nebo s centrální strojovnou a rozvodem vzduchu.

V současné době se při otevírání vrat využívají vzduchové clony. Jsou vhodné tam, kde vrata musí být častěji otevírány z důvodu zvýšeného pohybu manipulační techniky. Vhodné je i instalovat vzduchové clony u dveří se zvýšeným pohybem osob.

Clony se umísťují podél vrat či nad vrata. Existují také varianty, kdy je clona umístěna pod vrata. Ze štěrbinové výustě vychází plochý proud vzduchu a vzniká tak aerodynamická bariéra mezi vnějším prostředím a vnitřním prostředím budovy. Proud je směřován šikmo dovnitř prostoru a působí tak proti přetlaku a zabraňuje narušení proudění vzduchu na hale.

Délka vzduchové clony by měla odpovídat výšce či šířce otvoru, podle typu instalace. Výhodná je z hlediska účinnosti oboustranná varianta clony.

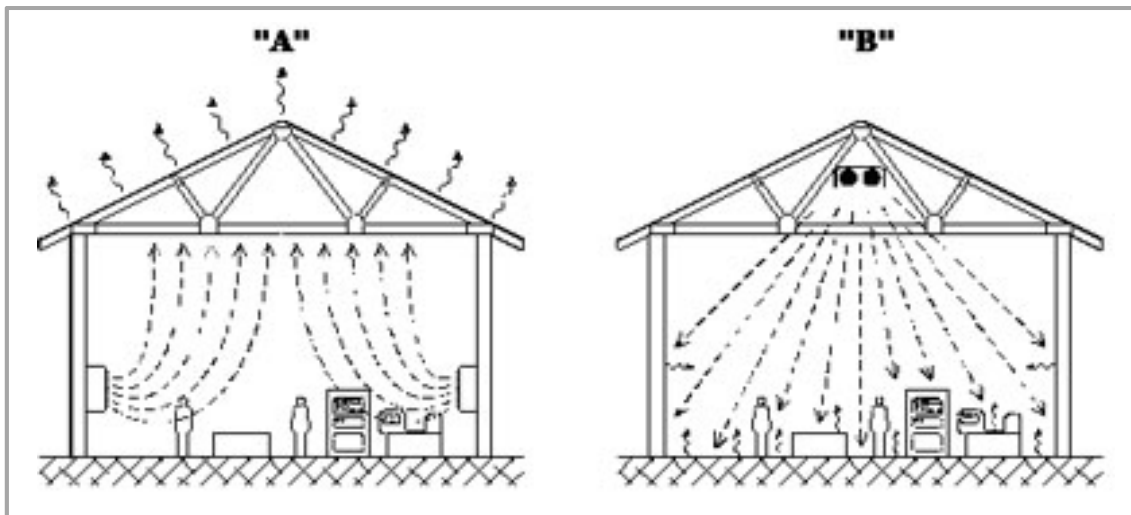


Obr. 19: Oboustranná boční dveřní clona [51]

3.4 Vytápění průmyslových hal

Pro vytápění velkoprostorových objektů se používají převážně teplovzdušné nástěnné soupravy, vodní sálavé panely, infračervené plynové zářiče světlé a tmavé. Může být také využito vzduchotechnického potrubí pro teplovzdušné vytápění. Časté je i použití kombinací jednotlivých typů vytápění.

Pokud srovnáme teplovzdušné vytápění prostoru nástěnnými jednotkami se sálavým vytápěním lze říct, že při použití prvního typu vytápění je teplotní mikroklima v zóně pobytu člověka velice proměnné a dochází k hromadění teplého vzduchu pod střechou hal a zvýšení energetické náročnosti objektu. [27] Pro odstranění tohoto nedostatku je nutné pod střechu haly umístit destratifikátory.



Obr. 20: Teplovzdušné a sálavé vytápění [52]

Další nevýhodou teplovzdušného vytápění nástěnnými soupravami je velký hluk z jednotek a zvýšené víření prachu, neboť ventilátor je umístěn přímo na hale. Jsou tedy vhodnější pro provozy s vyšší hladinou akustického tlaku z výroby, který překryje hluk samotného teplovzdušného vytápění a tam kde není vyžadována větší čistota prostoru. Vytápění je pouze konvektivní.

S teplovzdušným nástěnným vytápěním se setkáváme převážně na starších halách.



Obr. 21: Teplovzdušné vytápění nástěnnými jednotkami [53]



Obr. 22: Infračervený tmavý plynový zářič [54]

U sálavého vytápění lze dosáhnout oproti teplovzdušnému vytápění na hale až 40% úspory na potřebě tepla a optimálního rozložení teploty v pracovní zóně. Dle velikosti se návratnost do sálavých otopných panelů při srovnání s teplovzdušnými nástěnnými jednotkami vrací přibližně za šest let. [28]

U infračervených plynových zářičů je plyn přímo spalován ve vytápěném prostoru a tím dochází k odstranění tepelných ztrát ve zdroji tepla a venkovních rozvodech. Zároveň je ale nutné zvýšit průtok čerstvého vzduchu na přívodu a odvodu z haly při spuštění

plynových zářičů, zvláště u nových hal, kde není z hygienického hlediska dostatečná míra infiltrace.

Účinnost tmavých zářičů se od výšky haly nad 8 metrů výrazně snižuje a při výšce haly 15 metrů je rozdíl oproti účinnosti světlých zářičů 24%. Světlé zářiče mají vyšší výkon a větší sálavé účinnosti oproti tmavým plynovým zářičům. Tmavé zářiče jsou vhodné oproti světlým zářičům i pro prašné prostředí, protože u světlých zářičů mohou prachové částice zanést jejich porézní keramické desky. [29]

4 Teoretické a fyzikální podklady pro řešení

4.1 Definice teplot

Teplotou vzduchu t_i je míněna teplota interiérového vzduchu bez vlivu sálání z okolních povrchů. Střední radiační teplotou t_r je rovnoměrná společná teplota všech ploch v prostoru, při níž by byl přenos tepla sáláním z těla stejný jako ve skutečnosti. [4] Rovná se účinné teplotě okolních ploch.

Výsledná teplota t_g , teplota globe, vyjadřuje společný účinek teploty vnitřního vzduchu a účinné teploty okolních ploch.

Stereoteplotou t_{st} je myšlena směrová radiační teplota měřená kulovým teploměrem, která charakterizuje radiační účinek okolních ploch ve sledovaném prostorovém úhlu. Pojem je použit v nařízení vlády [6]. Stereo teploměr umožňuje vyhodnotit všesměrové sálání a proudění a jeho nerovnoměrnost v prostoru.

Asymetrie střední radiační teploty t_a odpovídá asymetrii střední radiační teploty protilehlých ploch. Operativní teplota t_o udává teplotu uzavřeného černého prostoru, ve kterém by člověk přes povrch těla sdílel konvekcí a radiací stejně tepla, jako by sdílel ve skutečnosti. Určuje se ze střední radiační teploty, teploty vzduchu a rychlosti proudění vzduchu pomocí součinitele A:

$$t_o = t_r + A \cdot (t_i - t_r) \quad (9)$$

Pokud je rychlost proudění vzduchu menší než 0,2m/s lze operativní teplotu nahradit výslednou teplotou vzduchu.

Všechny výše zmíněné teploty jsou součástí skupiny představující teplotu vnitřního prostředí, která je jednou ze základních veličin interního mikroklimatu. [3]

4.2 Sdílení tepla

Fyzikální děj, během kterého dochází k přenosu tepelné energie, se nazývá sdílení tepla. Jde o proces šíření tepla v prostoru nehomogenním teplotním polem, který se děje samovolně a nevratně.

Rozlišujeme tři základní mechanismy přenosu tepla:

- vedení (kondukce)
- proudění (konvekce)
- sálání (radiace)

Vedení tepla dominuje v pevných látkách a v tekutinách bez proudění.

Kinetická energie neuspořádaného pohybu molekul je předávána srážkami na sousední molekuly, čímž se přenáší tepelná energie. Volné elektrony a ionty v tekutinách zvyšují přenos tepla vedením. Proudění převažuje v tekutinách, kdy při přemístění molekul dochází i k přemístění tepelné energie. V pevných látkách se vyskytuje ve formě difúze. Každý objekt, který má teplotu vyšší než 0 K, vyzařuje fotony, které jsou nositeli energie včetně tepelné.

Při reálných dějích se samostatně jednotlivé druhy šíření tepla vyskytují jen výjimečně. Běžně jde o souběh několika dějů zaráz. V případě že hovoříme například o čistém vedení, je předkládáno, že tepelné toky sáláním a prouděním jsou zanedbatelně malé.

Proces přenosu tepla probíhá v závislosti na čase a dělí se tak procesy časově ustálené (stacionární) a časově neustálené (nestacionární).

4.3 Sluneční záření

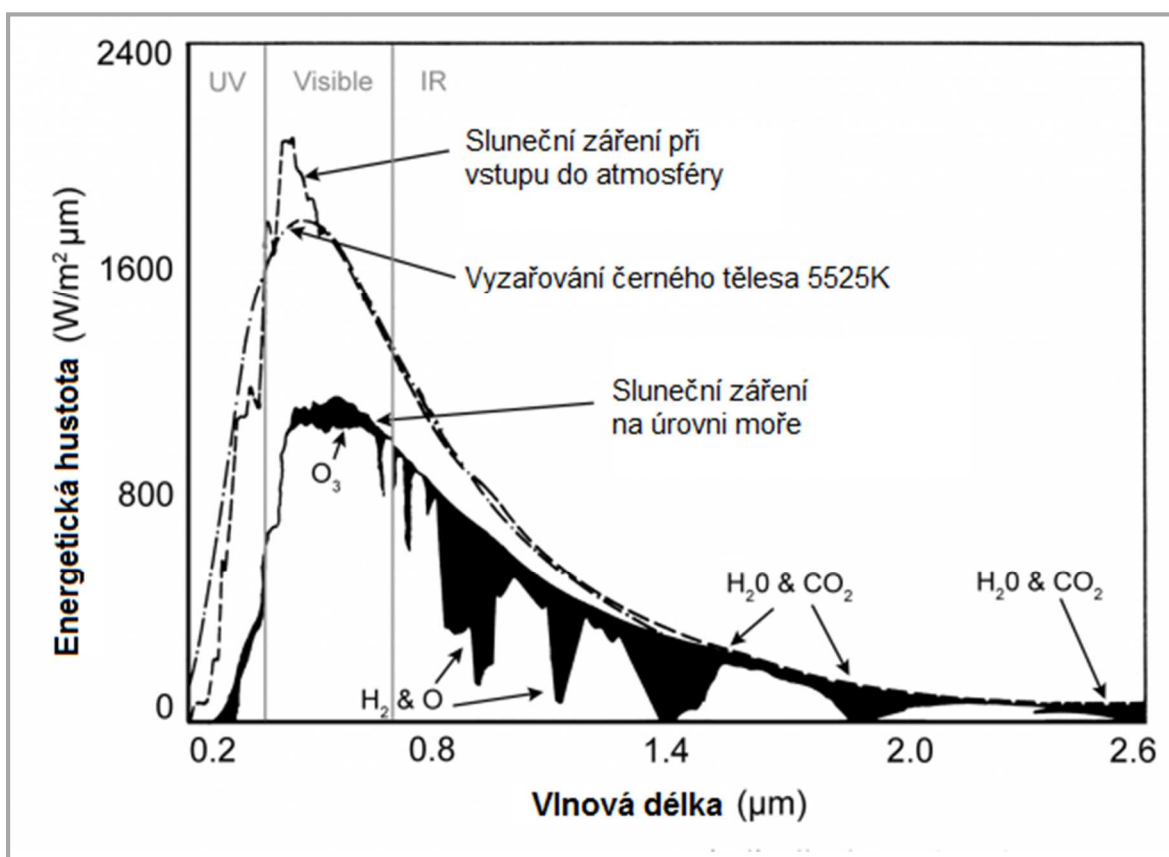
Sluneční záření je elektromagnetické vlnění o komplexním spektru vlnových délek, které lze rozdělit na tři základní části: ultrafialové, viditelné a infračervené sluneční záření.

Vzniká jadernými přeměnami v nitru slunce a představuje základní zdroj energie pro veškeré procesy probíhající na Zemi.

Sluneční záření lze rozdělit na přímé a difúzní sluneční záření. Přímé sluneční záření vzhledem k velké vzdálenosti Země od Slunce tvoří svazek téměř rovnoběžných paprsků. Difúzní, rozptýlené, sluneční záření vzniká rozptylem přímých slunečních paprsků na molekulách plynných složek vzduchu či nejrůznějších aerosolových částicích nacházejících se v ovzduší. Viditelnou část difúzního záření pozorujeme jako modrou barvu oblohy. [30]

Intenzita záření působící na hranici atmosféry, tzv. solární konstanta I_{sol} má průměrnou hodnotu $1350 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Podíl ultrafialového záření (UV) na celkovém slunečním záření dopadajícím na zemský povrch tvoří 0 - 4 %. Viditelné záření tvoří 21 - 45 % a infračervené záření (IR) má 50 – 79 % podíl na celkovém záření. [31]



Obr. 23: Vlnové délky slunečního záření, upraveno dle [57]

4.4 Prostup sluneční radiace průsvitnou konstrukcí

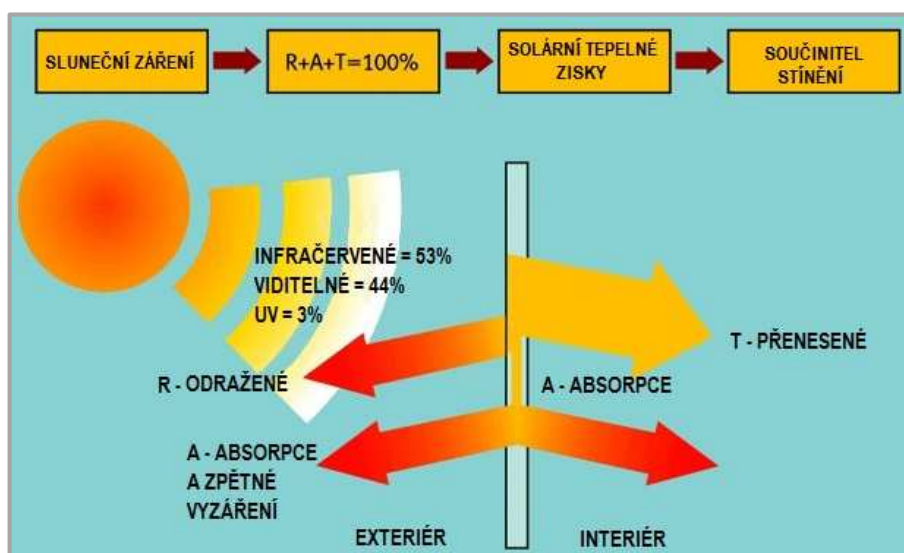
Do budovy se sluneční záření sdílí radiací průsvitnými konstrukcemi a konvekcí konstrukcemi neprůsvitnými. Sluneční záření dopadající na rozhraní atmosféry se vlivem jejího složení rozkládá na složku přímou I_D a difúzní I_d , jak bylo zmíněno v předchozím odstavci, a obě složky působí na obálku budovy. Malý význam pro výpočet tepelné energie dopadající do místnosti má vzájemné sálání mezi zemským povrchem a oblohou. [5]

Celková intenzita sluneční radiace procházející průsvitnou konstrukcí je závislá na slunečním čase, deklinaci, výšce a azimutu slunce, úhlu mezi normálou osluněné plochy a směrem paprsku. Dále ji ovlivňuje součinitel znečištění atmosféry, intenzita celkové sluneční radiace působící na rovinu pláště, poměrná propustnost výplně otvoru pro přímé sluneční i difúzní záření a stínící součinitel použitého stínícího prostředku viz odstavec 1.5 Záření, které je oknem propuštěno do interiéru, se nazývá transmitované záření a jeho

součet s odraženým (reflektovaným) a absorbovaným zářením nabývá vždy hodnoty 1 neboli 100%. Absorbované záření je takové záření, které je oknem pohlceno a zvyšuje jeho teplotu. Jednotliví součinitelé nabývají hodnot 0 až 1.

Vždy tedy platí rovnice:

$$\alpha_e + \tau_e + \rho_e = 1 \quad (10)$$



Obr. 24: Přenos slunečního záření, upraveno dle [46]

4.5 Experimentální měření

Cílem experimentálního měření je stanovit hodnotu měřené fyzikální veličiny. Způsob, kterým je měření prováděno se nazývá metoda měření. Každá metoda je založena na určitém principu, například měření teploty je založeno na principu teplotní roztažnosti látky.

Experimentální určení hodnot se odvíjí od vhodné metody měření. Přímými metodami je fyzikální veličina zjišťována, jak vyplývá z názvu, přímo odečtením ze stupnice použitého měřidla např. u měření délky milimetrovým měřidlem. K měření odporu kovového vodiče je třeba ohmmetru a z něj odečítáme hodnotu. U nepřímých metod je hledaná veličina stanovena a základě fyzikálního vztahu z hodnot jiných veličin změřených jinou metodou např. z měření hmotnosti tělesa a jeho objemu lze výpočtem určit hustotu tělesa.

Volba metody závisí na druhu měřené veličiny a na tom, jaká měřidla jsou použita.

Všechna fyzikální měření extenzivních i intenzivních veličin jsou zatížena určitou nepřesností způsobenou různými negativními vlivy, které se během procesu měření vyskytují. Tato nepřesnost se projeví odchylkou naměřené hodnoty od skutečné hodnoty

sledované veličiny. Výsledek měření se tedy pohybuje v určitém pravděpodobnostním rozsahu, tzv. chybovém intervalu, o který se může skutečná hodnota veličiny lišit od změřené. Chyby měření jsou v současnosti součástí zpracování nejistot měření. Pro formální správnost výsledku je nutné uvádět věcně i formálně správný zápis výsledné hodnoty s určenou nejistotou příp. chybou.

4.6 Teorie chyb

Teorie chyb je výchozí pro určení nejistot měření. Chyby jsou vyjadřovány v absolutních nebo relativních hodnotách. Podle působení je lze rozdělit na systematické, náhodné a hrubé. Dle zdroje se rozdělují chyby na chyby přístroje, metody, pozorování a vyhodnocení.

Hodnota hrubé chyby se značně liší od ostatních hodnot získaných opakovaným měřením. Je způsobena výjimečnou příčinou jako nesprávným zapsáním výsledku, náhlým selháním měřicí aparatury či nesprávným nastavením podmínek měření. Hrubá chyba se ze zpracování výsledků vylučuje, aby nezkreslovala výsledek.

Systematické chyby ovlivňují naměřené hodnoty konstantně jedním směrem. Je způsobena například jistou chybou přístroje, problematická může být její identifikace a kvantifikace. K tomu může sloužit například srovnávací měření jinou metodou či přístrojem. Je možné ji matematicky korigovat a obdržet správné výsledky měření.

Náhodnou chybu bez dostatečného počtu měření není možné určit. Naměřené hodnoty zpracováváme statistickými metodami za určitého předpokladu náhodného rozložení chyb. Minimálně je nutné pro toto zpracování dostat 5 až 10 opakovaných hodnot stejného měření. Při více jak 100 násobném opakování již nedochází k výraznému zpřesňování výsledku. [9]

4.7 Nejistota měření

U nejistoty měření jde o komplexnější přístup k posouzení měření než u chybové koncepce. Základem pro určení nejistoty měření je statistický přístup. Předpokládá se určité rozdělení pravděpodobnosti, se kterou se může měřená hodnota odchylovat od skutečné hodnoty, resp. pravděpodobnost, s jakou se může skutečná hodnota v intervalu daném nejistotou nacházet.

Základem je standardní nejistota u , která představuje rozsah hodnot okolo naměřené hodnoty pomocí směrodatné odchylky. Standardní nejistota se dále dělí na standardní nejistoty typu A a B, které je možné zapisovat se znaménkem \pm i bez něj.

Standardní nejistota typu A - u_A je způsobena náhodnými chybami, jejichž příčina se považuje za neznámou a stanovuje se opakovaným měřením. Při přímém měření jedné veličiny je měřená veličina výběrovým průměrem \bar{y} z n -naměřených hodnot y_i podle vztahu (11). Směrodatná odchylka výběrových průměrů $s(\bar{y})$ (odmocnina rozptylu výběrových průměrů) je zvolena za standardní nejistotu typu A viz (12). [9]

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (11)$$

$$u_A \equiv s(\bar{y}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n \cdot (n - 1)}} \quad (12)$$

$$u_{Ak} = k \cdot s(\bar{y}) \quad (13)$$

Při počtu opakovaných měření menším než deset je určována nejistota u_{Ak} ze vztahu (13), kde koeficient k je závislý na počtu opakovaných měření, viz Tab. 4 .

Tab. 4: Hodnoty korekčních koeficientů pro nižší počet měření než 10

n	9	8	7	6	5	4	3	2
k	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,7	2,3	7,0

V případě, že je třeba zajistit ještě větší jistotu než 68 %, zavádí se rozšířená standardní nejistota U . Získáme ji tak, že interval nejistoty u_A vynásobíme konstantou k_s . Pro $k_s=2$ do tohoto rozšířeného intervalu nejistoty patří 95% hodnot z n měření, pro $k_s=3$ 99,7%.

Známými a odhadnutelnými příčinami vzniku je způsobena standardní nejistota typu B – u_B . U složitých měřících přístrojů je rozsah odchylek $\pm \Delta Z_{max}$ od jmenovité hodnoty udáván výrobcem tak, aby jeho překročení bylo málo pravděpodobné. Za předpokladu normálního rozdělení je $m=2$, $m=1,73$ pro rovnoměrné rozdělení a $m=2,45$ pro trojúhelníkové rozdělení a jednotlivé nejistoty B se určí ze vztahu (14). Výsledná standardní nejistota typu B se pak vypočítá ze vztahu (15).

V praxi se užívá kombinovaná standardní nejistota – u_C del vzathu (16), která zahrnuje nejistotu typu A a B.

$$u_{Bi} = \frac{\Delta Z_{max}}{m} \quad (14)$$

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{Bi}^2} \quad (15)$$

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (16)$$

5 Popis metody experimentálního řešení

5.1 Poměrná propustnost slunečního záření

Jako výchozí pro ideový návrh řešení zjištění poměrné propustnosti byl použit výpočet dle ČSN 73 0548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů [1].

Výstupní signál snímače pyranometru je v mikrovolttech a jeho velikost odpovídá dopadající energii slunečního záření ve wattech na m². Takže měřená hodnota odpovídá výpočtovému vztahu (6).

Norma ČSN 73 0548 zohledňuje pouze poměrnou propustnost jednoduchého standardního zasklení a pro vícevrstvé zasklení používá jen součinitel stínění stejně jako pro žaluzie a další stínící materiály. Dle vztahu (6) lze vypočítat tepelnou zátěž vzniklou vstupem sluneční radiace oknem. Pro upřesnění značení v dalších výpočtech uvádím tento vztah s novými indexy u intenzit sluneční radiace:

$$Q_{or} = [S_{os} \cdot I_{in}^{SG} \cdot c_o + (S_o - S_{os}) \cdot I_{in,d}^{SG}] \cdot s \quad (17)$$

Q_{or}	.....	tepelné zisky sluneční radiací průsvitnou plochou [W]
S_{os}	.....	osluněný povrch průsvitné plochy [m ²]
I_{in}^{SG}	.....	celková intenzita sluneční radiace procházející přes standardní jednoduché zasklení [W/m ²]
S_o	.....	průsvitná plocha [m ²]
$I_{in,d}^{SG}$	.....	intenzita difúzní sluneční radiace procházející přes standardní jednoduché zasklení [W/m ²]

Index SG znamená standardní zasklení (standard glazing). Jeho nahrazení jiným symbolem bude určovat, že je otvor vyplněn odlišným průsvitným materiálem, např. použiji M pro Makrolon viz (18), pozn. Makrolon je výrobcem udávaný název pro

vícekomorový polykarbonát - v tomto konkrétním případě je materiál specifikován v odstavci o současném stavu na hale, viz str. 73.

$$Q_{or} = [S_{os} \cdot I_{in}^M \cdot c_o + (S_o - S_{os}) \cdot I_{in}^M] \cdot s \quad (18)$$

Celkovou intenzitu sluneční radiace procházející jednoduchým zasklením I_{in}^{SG} vypočítáme ze vztahu (19), při němž je základním předpokladem s rovné 1.

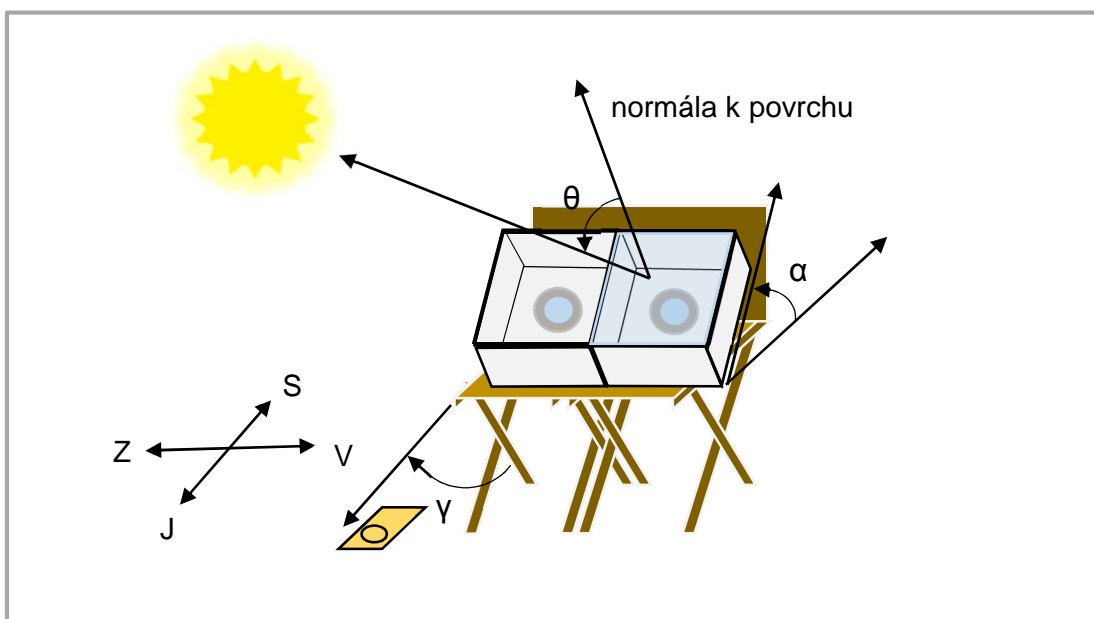
$$I_{in}^{SG} = I_{out,D} \cdot T_D^{SG} + I_{out,d} \cdot T_d^{SG} \quad (19)$$

Vztah (19) zpřesňuje indexy a odpovídá vztahu (7). Je tedy zohledněna poměrná propustnost jednoduchého zasklení pro přímé T_D^{SG} a pro difúzní záření T_d^{SG} . Pro jednoduché zasklení je T_d^{SG} konstantně rovno 0,85 a T_D^{SG} je závislé na úhlu incidence, kde výpočet probíhá dle (20):

$$T_D^{SG} = 0,87 - 1,47 \cdot \left(\frac{\theta}{100}\right)^5 \quad (20)$$

Při experimentu není možné využít laboratoře se spektrálně vhodným zářením, které nahrazuje sluneční záření. Měření bude proto probíhat v exteriéru.

Výchozí idea pro měření vychází z úvahy vytvoření boxů pro měření tak, aby bylo možné použít vzorek ve velikosti, kdy se s ním bude snadno manipulovat a k měřicím přístrojům nebude kromě otvoru k tomu vytvořeného pronikat sluneční záření.



Obr. 25: Popis úhlů u ideového návrhu boxů

Pro stanovení poměrné propustnosti průsvitné konstrukce jsou dále navrženy dvě metody měření. V obou variantách bude každý ze dvou pyranometrů a luxmetrů v boxech pevně spojen s jeho dnem, aby bylo možné snadněji kontrolovat úhel náklonu. Boxy budou zároveň sloužit pro upevnění měřených materiálů a jejich snadnou výměnu. Obě navržené varianty vychází z nepřímého způsobu měření pro zjištění hodnot. Hledaná poměrná propustnost bude dopočítána.

Stínící součinitel je brán jako konstanta. Jeho úhlová závislost u jednotlivých, v práci hodnocených materiálů, je zanedbatelná (pozn. žaluzie jako stínící materiál mají zvlášť určované stínící vlastnosti, které nejsou předmětem stanovení této práce). Jeho určení není závislé na variantě zvolené pro určení poměrné propustnosti a metoda měření je také nepřímá.

5.2 Součinitel stínění

Součinitel stínění je pojem, který zavádí norma ČSN 73 0548. Pro určení hodnoty součinitele stínění vycházíme z výpočtu pro tepelný zisk sluneční radiací pro okno dle vztahu (6) z [1], který pracuje s poměrnou propustností jednoduchého standardního zasklení. Obecně tedy platí, že pro zjednodušení při určování součinitele stínění pro stínící materiál, můžeme pracovat s jednoduchým sklem, pokud se jeho propustnost shoduje s propustností standardního zasklení.

Pro větší přehlednost ještě jednou uvádím výchozí vztah s novými indexy pro intenzitu slunečního záření.

$$Q_{or} = [S_{os} \cdot I_{in}^{SG} \cdot c_o + (S_o - S_{os}) \cdot I_{in,d}^{SG}] \cdot s \quad (17)$$

Výpočet vypadá následovně: Obvykle při výpočtu určujeme jaká část okna je zastíněna S_o . V čase měření je celá plocha „okna“ nezastíněná a na žádné části není stín tedy $S_{os} = S_o$. Proto můžeme ve výpočtu vynechat část s difúzním zářením. Nový vztah pro výpočet pak bude:

$$Q_{or} = [S_{os} \cdot I_{in}^{SG} \cdot c_o] \cdot s \quad (21)$$

Pokud je výplň otvoru sklo, určujeme součinitel stínění při kombinaci více typů stínění dle vztahu (22), experimentálně lze pro jeden materiál určit součinitel stínění dle vztahu (23).

$$S = S_1 \cdot S_2 \cdot \dots \cdot S_n \quad (22)$$

$$s = \frac{I_{in}^{SG}}{(I_{out,D} \cdot T_D^{SG} + I_{out,d} \cdot T_d^{SG}) \cdot c_o} \quad (23)$$

5.3 Nesprávné určení stínícího součinitele

Vzhledem k úhlové závislosti poměrné propustnosti skla nelze jednoduše říci, že úbytek slunečního záření po prostupu zasklením může být experimentálně určen jako součinitel stínění dle rovnice (24) a při prostupu slunečního záření sklem a stínící tkaninou, že úbytek odpovídá celkovému součiniteli stínění dle rovnice (25). Snadno by mohlo dojít k pochybení, že určená hodnota s_1 menší než 1 je už přímo součinitel stínění s , pro jiné, nestandardní sklo. [18]

$$s_1 = \frac{I_{procházející\ sklem}}{I_{dopadající}} \quad (24)$$

$$s = \frac{I_{procházející\ sklem\ a\ stínící\ látkou}}{I_{dopadající}} \quad (25)$$

Kde bychom řekli, že

$$s = s_1 \cdot s_2 \quad (26)$$

a poté, že součinitel stínění jedné látky je

$$s_2 = \frac{s}{s_1} \quad (27)$$

Je vždy nutné znát poměrnou propustnost materiálu výplně otvoru.

I ve variantě kdy porovnáváme sluneční záření procházející jednoduchým zasklením a dopadající na jednoduché zasklení, a pak sluneční záření procházející jednoduchým zasklením se stínícím materiálem je nutné zohlednit poměrnou propustnost v daný čas měření dle úhlu incidence.

5.4 Metoda měření A - stanovení poměrné propustnosti průsvitné konstrukce zvlášť pro přímé a difúzní záření

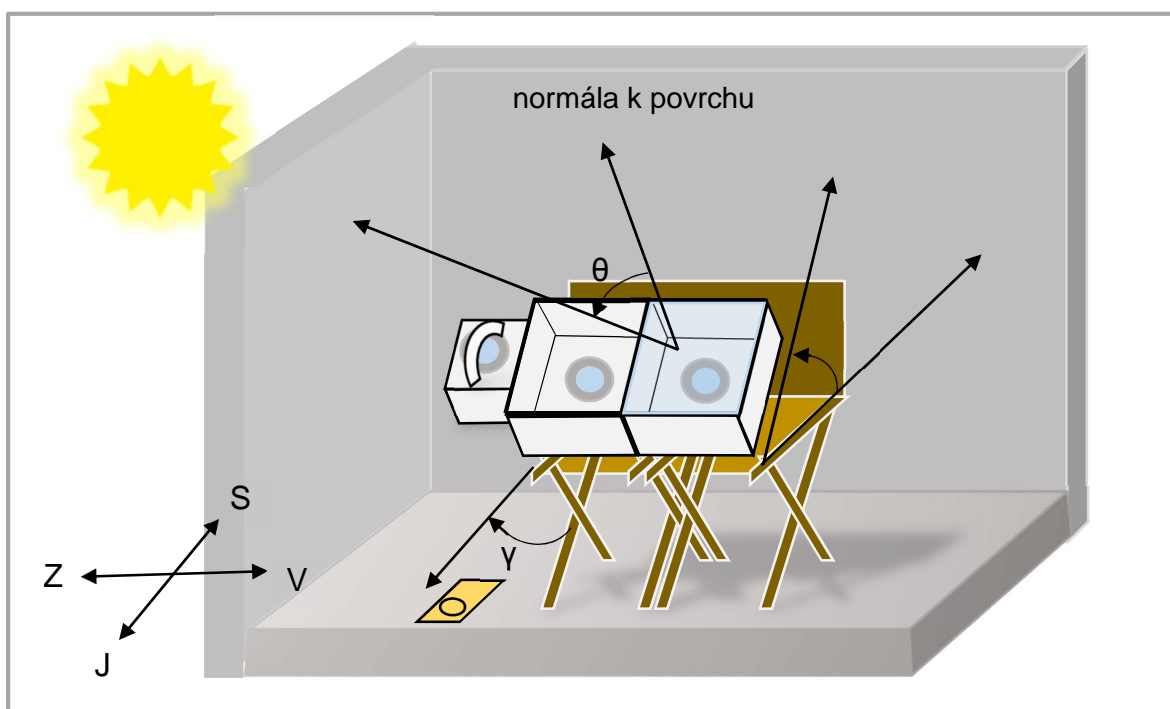
Metoda A umožňuje stanovit celkovou poměrnou propustnost pro difúzní T_d i přímé sluneční záření T_D zvlášť dle výpočtu na str. 40, ale vyžaduje stínící zařízení pro třetí pyranometr, viz Obr. 26. Zároveň s celkovou intenzitou dopadajícího slunečního záření I_{out}

bude měřena odděleně i difúzní složka záření $I_{out,d}$, pomocí pyranometru se speciální clonou, jehož jeden typ je zobrazen na Obr. 27.

Pro stanovení součinitele stínění není nutné měřit difúzní složku slunečního záření dle vztahu (23) a není proto nutné využívat pyranometr s clonou.

Hodnoty poměrné propustnosti, které jsou výsledkem nepřímého měření zobrazeného na schématu Obr. 26, a z nich určený vztah, je možné rovnou zařadit do výpočtu dle normy [1].

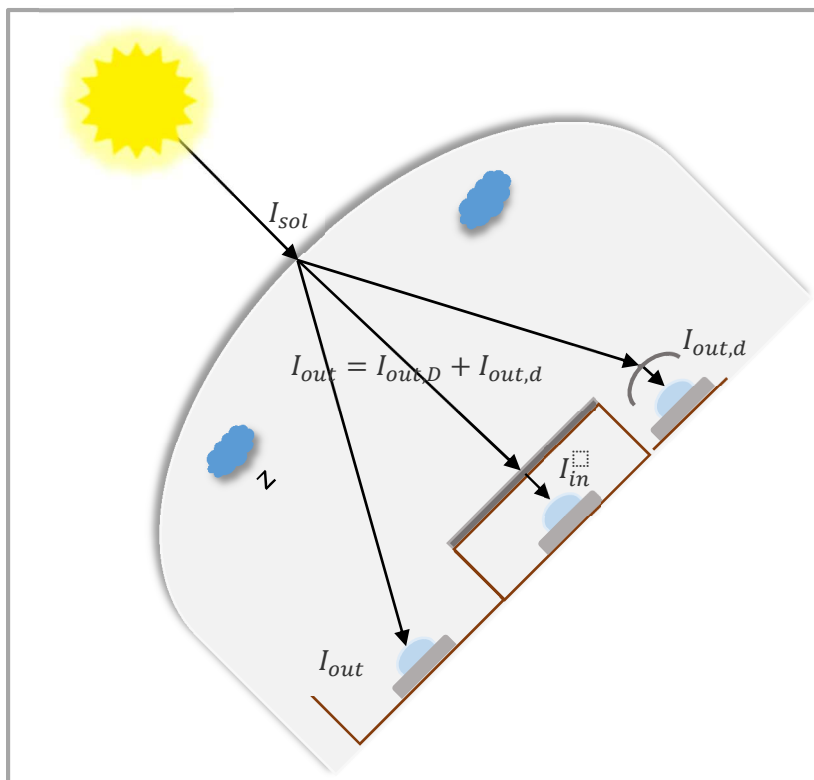
Součinitel stínění bude stanoven, pokud nebude využito standardního zasklení, s využitím nově stanovené poměrné propustnosti pro difúzní a přímé sluneční záření dle vztahu (23). Bude měřena intenzita celkové dopadající a procházející sluneční radiace a intenzita dopadajícího difúzního slunečního záření.



Obr. 26: Schéma měření - Metoda A



Obr. 27: Clona pro pyranometr [38]



Obr. 28: Měřené hodnoty - Metoda A

5.5 Metoda měření B – stanovení celkové poměrné propustnosti

Ve variantě B bude stanovena celková poměrná propustnost průsvitné konstrukce T_{celk} , dohromady pro difúzní a přímé sluneční záření (pozn. horní index je zatím záměrně vynechán stejně jako v odstavci 5.4 , neboť bude měřena poměrná propustnost u více materiálů). Tato metoda návrhu experimentu nevyžaduje třetí pyranometr ani speciální clonu viz Obr. 29.

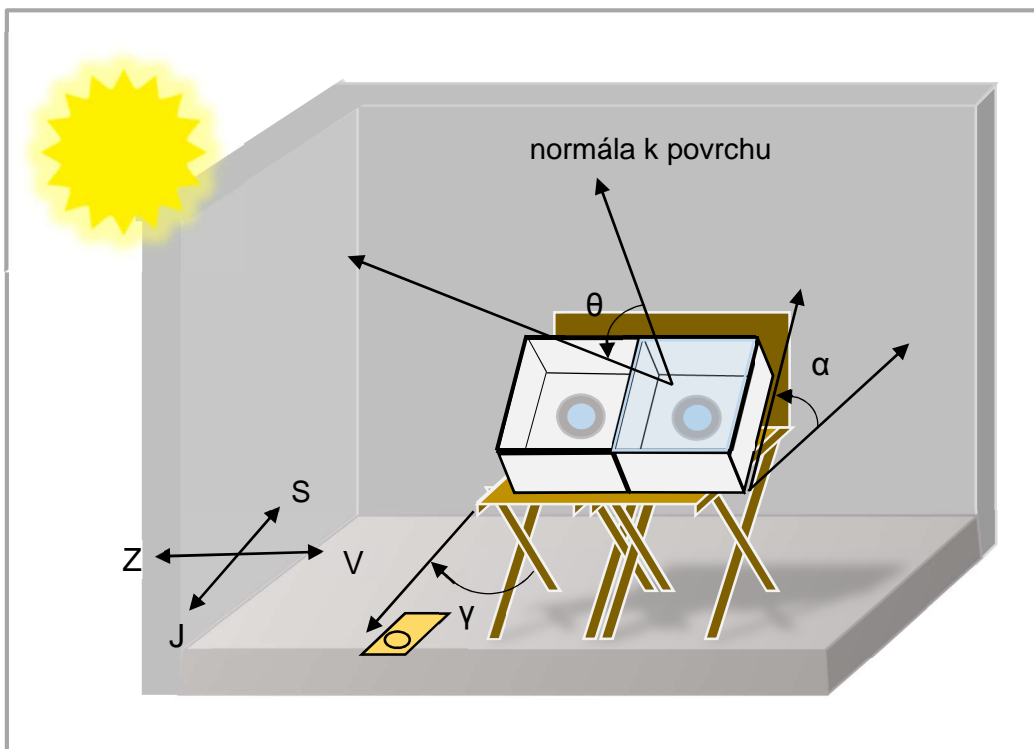
Například pro úhel incidence 10° , stejně jako pro další zvolené úhly incidence bude použit vztah (28).

$$T_{celk,10^\circ} = I_{out} - I_{in} \quad (28)$$

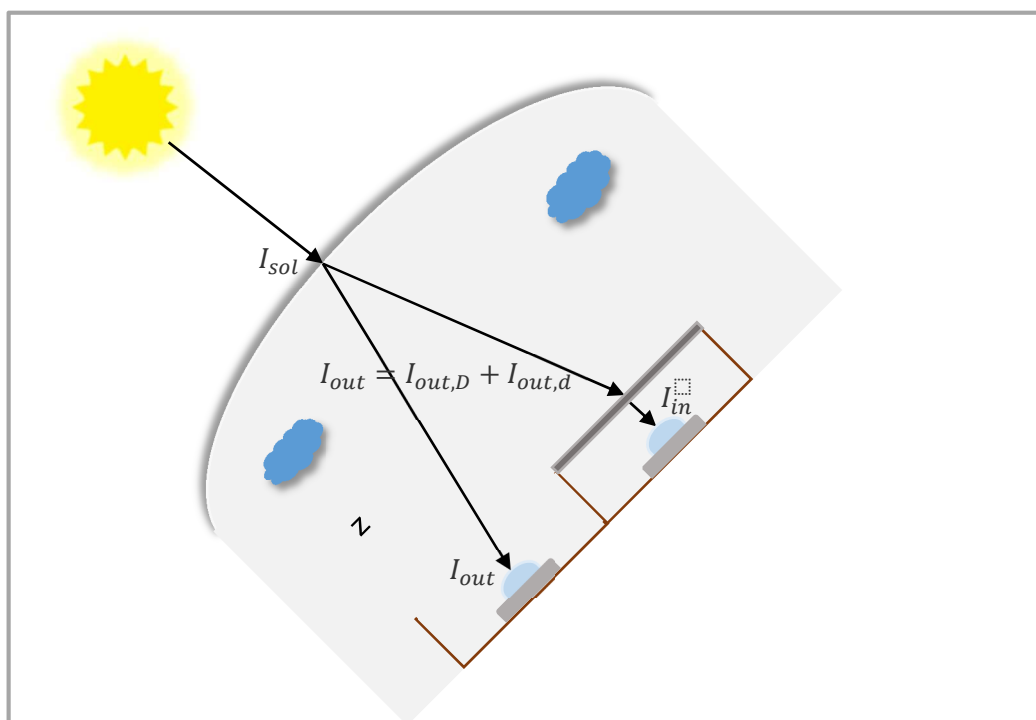
Dále bude z naměřených bodů pro jednotlivé úhly incidence určen polynomický vztah pro T_{celk} . Pro výpočet dle (28) jsou výchozí uvedené vztahy (29) a (30).

$$I_{in} = I_{out} \cdot T_{celk} \quad (29)$$

$$I_{out} = I_{out,D} + I_{out,d} \quad (30)$$



Obr. 29: Schéma měření- Metoda B



Obr. 30: Měřené hodnoty – Metoda B

Metoda je zároveň plně vyhovující pro následné stanovení součinitele stínění. Vztah (23) je pro účel metody měření B upraven na vztah (31). Součinitel stínění bude stanovován při úhlu incidence 0° .

$$s = \frac{I_{in}}{I_{out} \cdot T_{celk,0^{\circ}}} \quad (31)$$

5.6 Volba metody

Zvolena byla Metoda měření B pro nedostupnost stínícího aparátu pro třetí pyranometr. Výsledky měření budou dostatečné pro určení celkové poměrné propustnosti při měření celkové intenzity dopadajícího slunečního záření a celkové intenzity slunečního záření procházejícího přes průsvitnou konstrukci. Dojde tak k očekávanému zpřesnění výpočtu tepelné zátěže solární radiací. Metoda B je zároveň vhodná i pro stanovení součinitele stínění pro jednotlivé materiály.

6 Řešení využívající výpočetní techniku a modelování

6.1 Aktuální možnosti

V současnosti, vzhledem k výkonu a kapacitě stolních, domácích počítačů, je možné vytvářet složité a komplexní 3D modely objektů, systémů či zařízení a pomocí simulace analyzovat jejich vlastnosti a chování, a odhalit tak kritické oblasti. Za jejich pomoci lze snížit náklady na vývoj a výrobu či stavbu ještě ve fázi návrhu. Lze snížit náklady i na samotný provoz jeho optimalizací ještě před zahájením příprav na výrobu či stavbu jako takovou.

6.2 CFD

Výpočetní dynamika tekutin, obvykle zkráceně CFD (Computational fluid dynamics), je odvětví mechaniky tekutin, který používá numerické metody a algoritmy k řešení a analýze problémů, které se týkají proudění tekutin. Počítače jsou využívány k provádění výpočtů potřebných k simulaci interakce kapalin a plynů s povrchy definovanými okrajovými podmínkami. Čím výkonnějších počítačů je použito, tím lepšího řešení může být dosaženo.

V současnosti probíhají výzkumy pro softwary se CFD tak, aby se zvýšila přesnost a rychlost komplexních simulačních scénářů, například pro transsonické nebo turbulentní proudění. Počáteční experimentální ověření takového algoritmu softwaru se provádí pomocí aerodynamického tunelu a finální potvrzení tohoto algoritmu je realizována testováním v plném měřítku, např. letovými zkouškami.

Základem téměř všech CFD „situací“ jsou Navier-Stokesovy rovnice, které definují jednofázové proudění tekutin. Tyto rovnice mohou být zjednodušeny odstraněním výrazu popisujícího viskozitu na Eulerovu rovnici. [32]

Následně budou uvedeny kroky vedoucí k výsledku simulace. (Pozn. Vzhledem k rozšířenosti anglické terminologie v této oblasti, nebudou některé výrazy překládány). První fáze se nazývá preprocessing a její součástí je definice geometrie, poté je objem vyplněný tekutinou rozdělen výpočetní sítí na jednotlivé buňky. Následně se definuje matematicko – fyzikální model. Model tvoří soustava parciálních diferenciálních rovnic jednotlivých fyzikálních jevů, které jsou řešeny metodou konečných objemů. Na závěr preprocessing fáze jsou definovány okrajové podmínky, případně i počáteční podmínky. Druhou fází je processing v němž probíhá simulace a jednotlivé výpočetní operace. Na závěr přichází na řadu post-processor, většinou další program sdružený s tím, ve kterém probíhá samotná simulace. Je využit pro analýzu a vizualizaci řešeného problému. [32]

Typy jednotlivých diskretizačních metod, které se používají pro Navier-Stokesovy rovnice a Eulerovy rovnice, stejně tak typy modelů turbulence či okrajové podmínky, lze nalézt s podrobným rozbohem v publikaci [33].

6.3 Software pro model a simulaci

V této diplomové práci bude pro simulaci využit komerční software ANSYS Fluent 6.3, CFD software. Tento program umožňuje stacionární i nestacionární analýzu a vizualizaci výsledků. Je určený zejména pro modelování úloh v oblasti proudění, přenosu tepla i chemických reakcí.

Kompletní preprocessing bude proveden v softwaru Gambit, který umožňuje tvorbu geometrie, výpočetní sítě i určení základních okrajových podmínek. Gambit obsahuje více typů výpočetní sítě i nástroje pro tvorbu přechodové vrstvy. Je možné importovat sítě z jiných, zejména placených softwarů. Je umožněno i stanovení kvality výpočtové sítě. [24]

6.4 Zmenšení náročnosti výpočetního procesu

U modelování a simulace přenosu tepla a látek v budovách a soustavách TZB je vhodné zvolit opakující se úsek nebo detail konstrukce pro zjednodušení výpočtu. Dále je nutné nastavit krok časové a prostorové diskretizace, tak aby byla zvolena optimální přesnost a adekvátní náročnost výsledku. Vhodné je použít čtvercový typ sítě.

B. EXPERIMENTÁLNÍ A SIMULAČNÍ ŘEŠENÍ

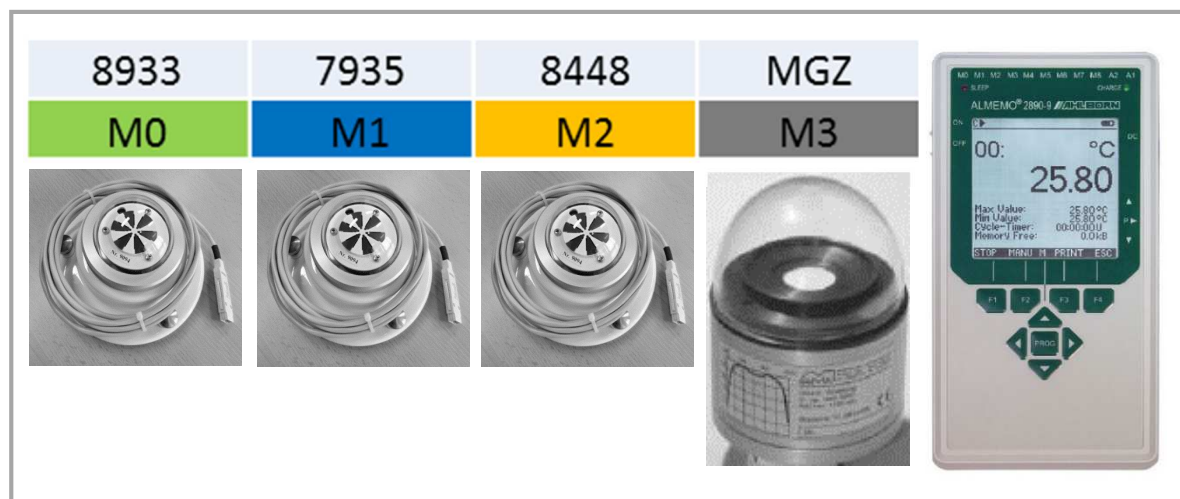
1 Realizace experimentálního měření

1.1 Měřicí přístroje

1.1.1 Snímače globální radiace

Pro měření intenzity dopadajícího a procházejícího slunečního záření byly jako nejvhodnější vybrány pyranometry.

Dostupné byly v čase měření tři pyranometry dle Dirmhirna FLA628S pro měření globálního, slunečního a krátkovlnného reflexního záření (M0, M1, M2) a jeden měřič globálního záření (MGZ) viz Obr. 31.



Obr. 31: Přístroje použité k měření globálního slunečního záření

Všechny tyto měřicí přístroje jsou od firmy Ahlborn a pro záznam měření byla použita ústředna Almemo 2890-9.

Bylo provedeno srovnávací měření v horizontální poloze, Obr. 32.

Při srovnávacím měření se ukázalo, že měřič globálního záření nevykazuje shodu s pyranometry, a proto byl ihned z měření vyloučen. S největší pravděpodobností byl u něj neodborným zásahem přenastaven přepočtení vztah v konektoru.

Pro experimentální určení hodnot budou použity pyranometry M0 a M2, které vykazovaly nejlepší shodu a hodnoty převádí s přesností na jedno desetinné místo.

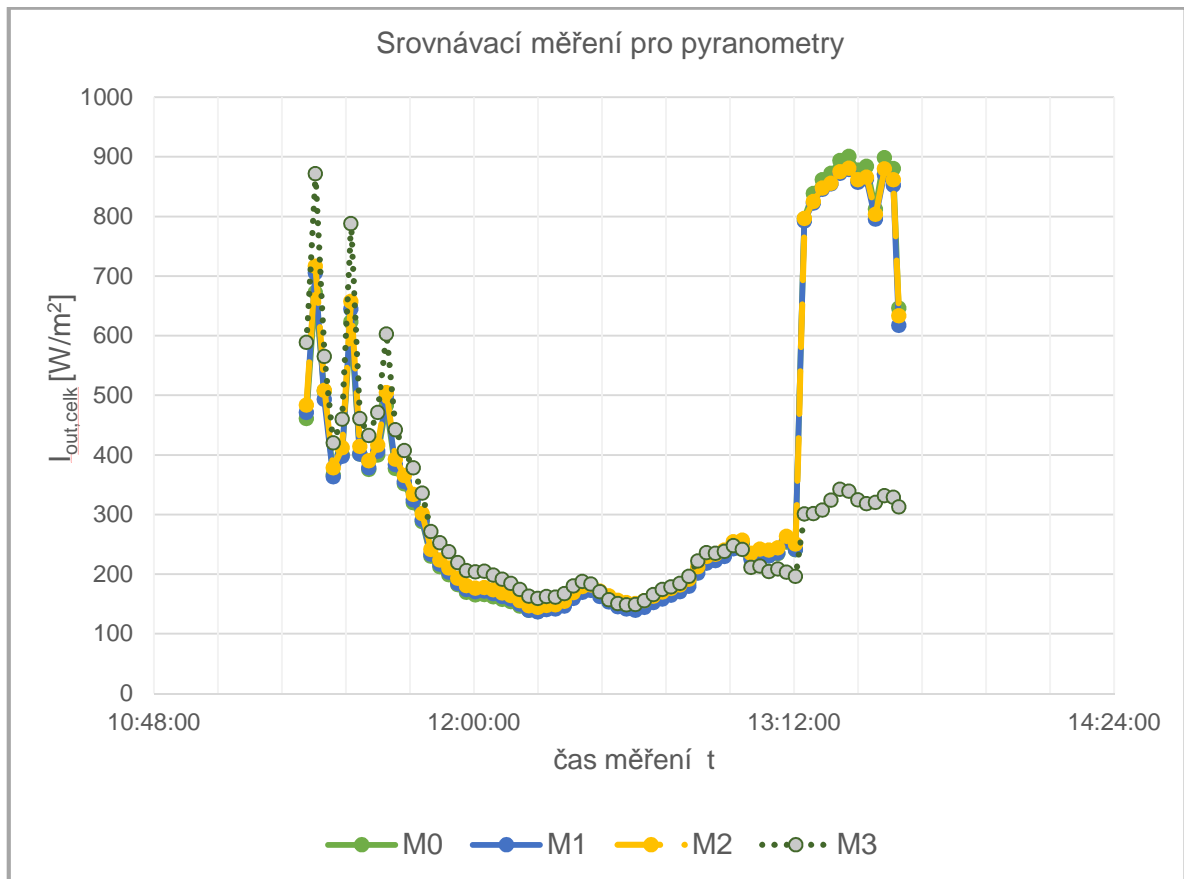
Parametry pyranometru udávané výrobcem

- měřicí rozsah: 0 až 1500 W/m²

- spektrální rozsah: 0,3 až 3 μm pracovní teplota: -40 až +60 $^{\circ}\text{C}$,
- měření je nezávislé na okolní teplotě pomocí diferenčního měření teploty

Odchyłka měření pyranometry uváděná výrobcem:

- cos-efekt: max. 3 % z měřené hodnoty
- azimut-efekt: max. 3 % z měřené hodnoty
- teplotní vliv: max. 1 % z měřené hodnoty



Obr. 32: Srovnávací měření pro pyranometry

1.1.2 Měřiče intenzity osvětlení

Pro měření viditelné části sluneční radiace budou použity dvě lux-sondy pro měření intenzity osvětlení Testo. Kvůli odlišnosti jejich konektorů byla jedna pro měření spojena s ústřednou Testo 435-4 a druhá s ústřednou Testo 480 viz Obr. 33.

Parametry sond pro měření intenzity osvětlení:

- měřící rozsah: 0 - 100000 lx, 0 – 300 Hz
- rozlišení: 1 lx; 0,1 Hz

Odchyłka měření udávaná výrobcem pro sondu intenzity osvětlení:

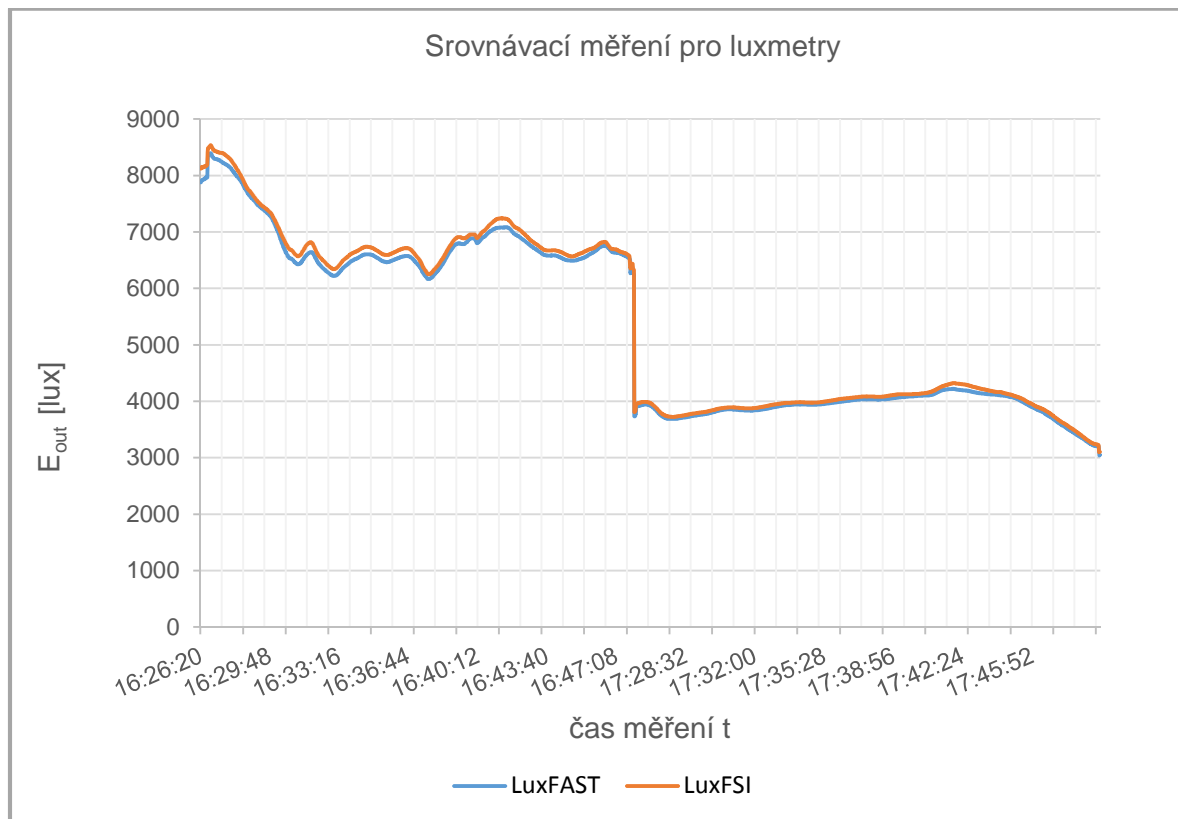
Tvorba mikroklimatu průmyslové haly s vysokými nároky na jeho rovnoměrnost

- ± 1 digit
 - $\pm 0,1$ % of reading (Hz)
 - třída C dle DIN 5032-7, ($f_1 = 6$ % V-Lambda, $f_2 = 5$ % cos)
- [21]



Obr. 33: Měřicí přístroje použité k měření intenzity osvětlení [20]

Bylo provedeno srovnávací měření pro oba luxmetry v horizontální poloze, viz Obr. 34.

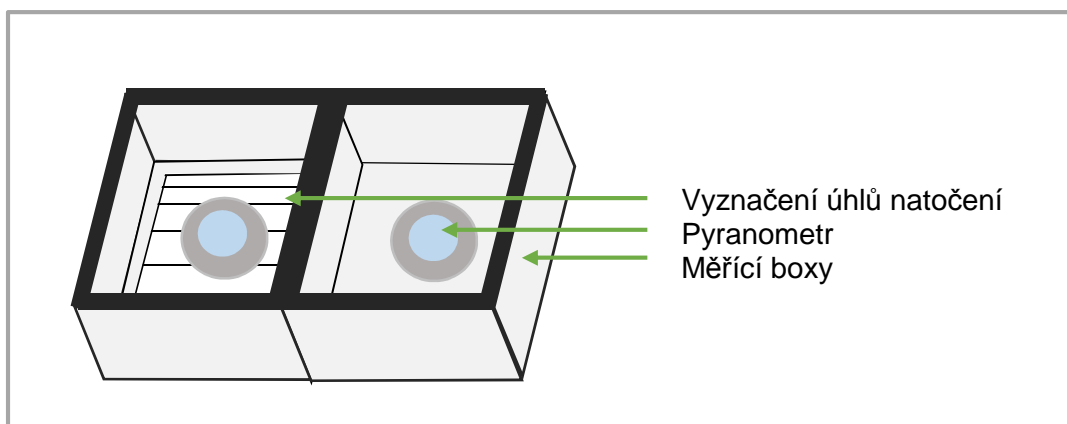


Obr. 34: Srovnávací měření pro luxmetry

1.2 Tvar měřících boxů

Pro vytvoření měřících boxů byla určující jejich dostatečná pevnost a únosnost pro vzorky výplní průsvitných otvorů a stínící materiály, cena materiálu a jeho snadné uvedení do požadovaného tvaru.

Původně byla zvažována varianta natáčení boxů dle úhloměru od horizontální roviny. Tato metoda se ukázala pro praktické měření v exteriéru jako téměř neproveditelná, protože by vyžadovala neustálý přepočítání úhlu dopadu slunečních paprsků dle aktuálního času. Řešením tohoto problému bylo vyznačení úhlu natočení přímo v boxu.



Obr. 35: Schéma boxů



Obr. 36: Měřící boxy před instalací čidel



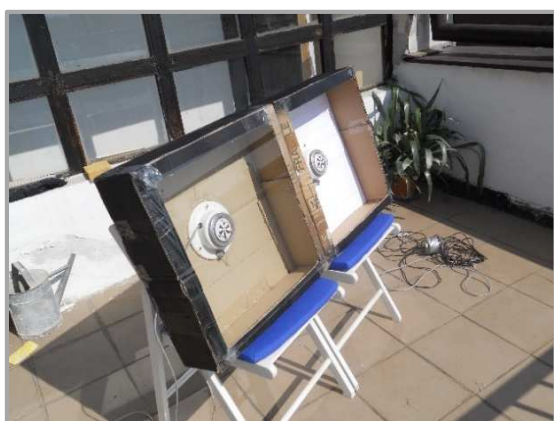
Obr. 37: Boxy s čidly, levý box krytý optickým rastrem

Kartonové boxy dosáhly dostatečné nosnosti pro měření s lehčími materiály. Při měření s těžšími materiály vykazovaly opotřebení, a proto byly nahrazeny boxy z dřevěných latí a sololitu.

1.3 Stanovení poměrné propustnosti

Stanovení poměrné propustnosti T_{celk} probíhalo podle zvolené metody měření B, viz odstavec 5.6 na straně 46. Základ užití metody pro dosažení výsledků vyplývá z určení úhlu natočení boxů a tím i natočení materiálů.

Pro určený úhel dopadu je vždy v daný moment měřena poměrná propustnost pro globální záření. Měření je prováděno pro úhly incidence (úhel mezi normálou k povrchu a paprskem dopadajícího záření) $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ až 70° . Do nezakryvaného boxu je vložen list papíru, na kterém jsou naznačené linky pro úhly incidence 0° až 70° vždy po 10° , viz Obr. 40. Úhel incidence je zobrazen na Obr. 41 jako úhel epsilon.



Obr. 38: Měření poměrné propustnosti



Obr. 39: Měření součinitele stínění

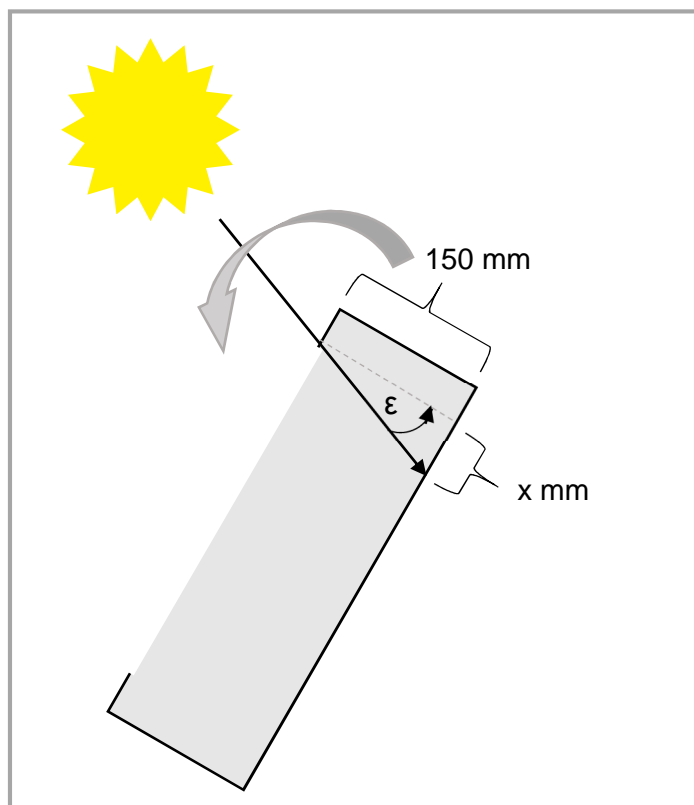
Tab. 5: Rozměry x pro určení úhlu dopadu

úhel [°]	x [mm]
10	26,4
20	54,6
30	86,6
40	125,9
50	178,8
60	259,8
70	412,1



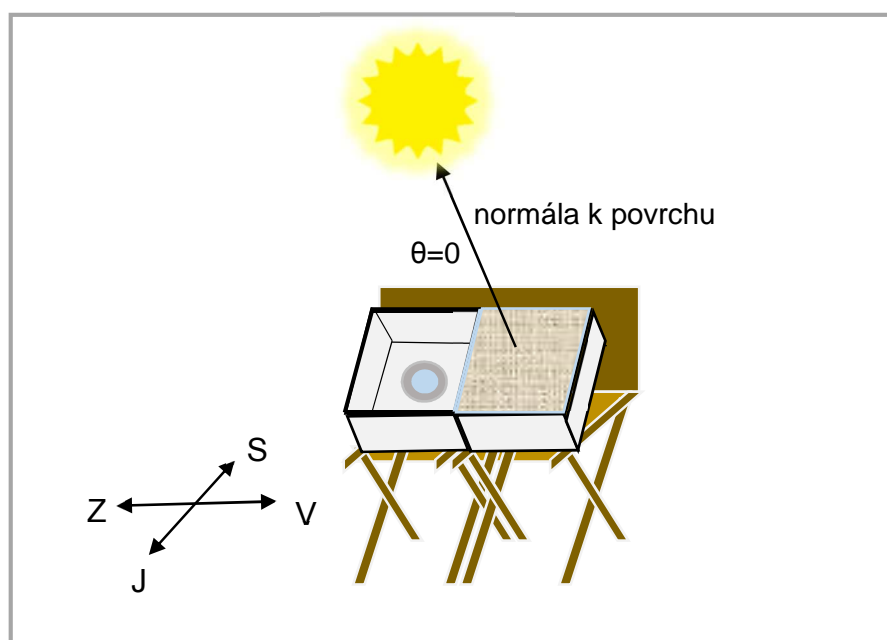
Obr. 40: Vyznačení linií pro natáčení boxu

List, na kterém jsou úhly naznačeny, má přesně rozměr otvoru, který dovnitř propouští sluneční záření a je shodně umístěn na dně pro zachycení úhlu incidence 0° .



Obr. 41: Náskres určení úhlu dopadu slunečních paprsků v boxu

1.4 Stanovení součinitele stínění



Obr. 42: Zobrazení natočení boxů pro měření stínícího součinitele

Experimentální měření pro určení součinitele stínění proběhlo dle metody měření B postupem stanoveným v odstavci 5.2 , vztahu (31). Pro jeho zjištění je nutné měřit intenzitu celkového procházejícího a dopadajícího slunečního záření. Ve výpočtu je třeba násobit intenzitu procházející sluneční radiace zjištěnou celkovou poměrnou propustností.

Na Obr. 43 je záběr ze stanovení součinitele stínění pro rašlový úplet typu 82%.



Obr. 43: Stanovení součinitele stínění

2 Výsledky experimentálního měření

2.1 Poměrná propustnost výplní

2.1.1 Seznam materiálů

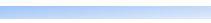
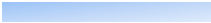


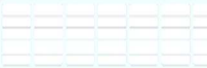


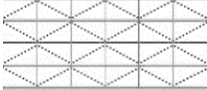

Materiály, které byly zahrnuty do určení poměrné propustnosti, jsou shrnuty v Tab.6. Zároveň je pro názornost ukázán řez materiálem.

Pro zjištění tloušťky poměrné propustnosti jednoduchého zasklení byly vybrány skleněné desky o tloušťce 4 a 6 mm. Dále byla zjišťována poměrná propustnost u drátěného skla, které bylo používáno jako výplň starého sedlového světlíku po více let.

Vybrány byly pro měření i vícekomorové polykarbonáty tak, aby bylo možné porovnat stejně členěné polykarbonáty s různým zabarvením a povrchovými úpravami, které je možné ohýbat za studena. Polykarbonát s větší tloušťkou konstrukce byl vybrán pro vyhodnocení materiálu splňující podmínky zvyšujících se nároků na velikost součinitele prostupu tepla.

Jako poslední bylo měření poměrné propustnosti prováděno na skleněném optickém rastru, jejímž výrobcem je ENKI, o.p.s.. Tento konkrétní rastr je vhodný pro vertikální umístění a dle výrobce v létě propouští výrazně méně sluneční radiace než obyčejné zasklení a v zimě naopak nebrání prostupu radiace do místnosti.

Tab. 6: Seznam měřených výplň otvorů

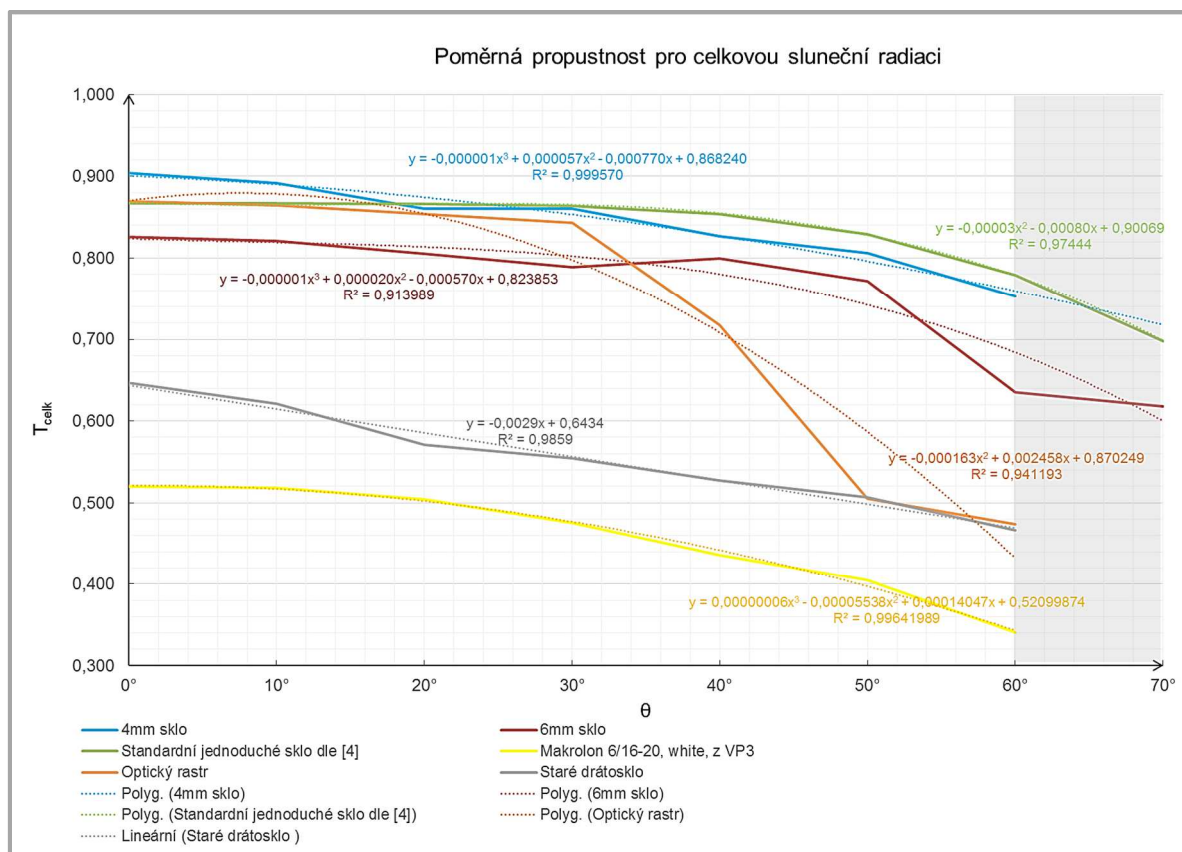
Materiál		Řez
1.	Sklo čiré, tl. 4 mm	
2.	Sklo čiré, tl. 6 mm	
3.	Drátosklo, použité, tl. 9 mm	
4.	Makrolon 6/16-20, white, z VP3	
5.	Makrolon multi UV 6/16-20, čirý	
6.	Makrolon multi UV 6/16-20, white	
7.	Makrolon profi, multi UV 6/16-20, white	
8.	Makrolon 5M/25, mléčný	
9.	Optický rastr, Raywall 90	

2.1.2 Vyhodnocení poměrné propustnosti

Výsledkem vyhodnocení průsvitných materiálů je stanovení regresivní polynomiální křivky pro poměrnou propustnost pro globální záření T_{celk} pro jednotlivé materiály, podle které následně může být určena poměrná propustnost pro jakýkoli úhel dopadu slunečního záření. S vysokou mírou spolehlivosti byla poměrná propustnost měřena od úhlu dopadu 0° až do úhlu dopadu 60° . Hodnoty nacházející se v šedé oblasti vyznačené v Obr. 44 mohou být částečně ovlivněné vyšší složkou difúzního záření. Na Obr. 44 je znázorněna část experimentálně měřených hodnot.

V návaznosti na provedené srovnávací měření pro nepřesnost výroby měřících boxů byly výsledky měření korigovány.

Bylo ověřeno, že standardní jednoduché zasklení je jednoduché sklo o tloušťce 4mm. Hodnota pro tloušťku jednoduchého standardního zasklení není v normě [1] uvedena.



Obr. 44: Poměrná propustnost jednotlivých materiálů

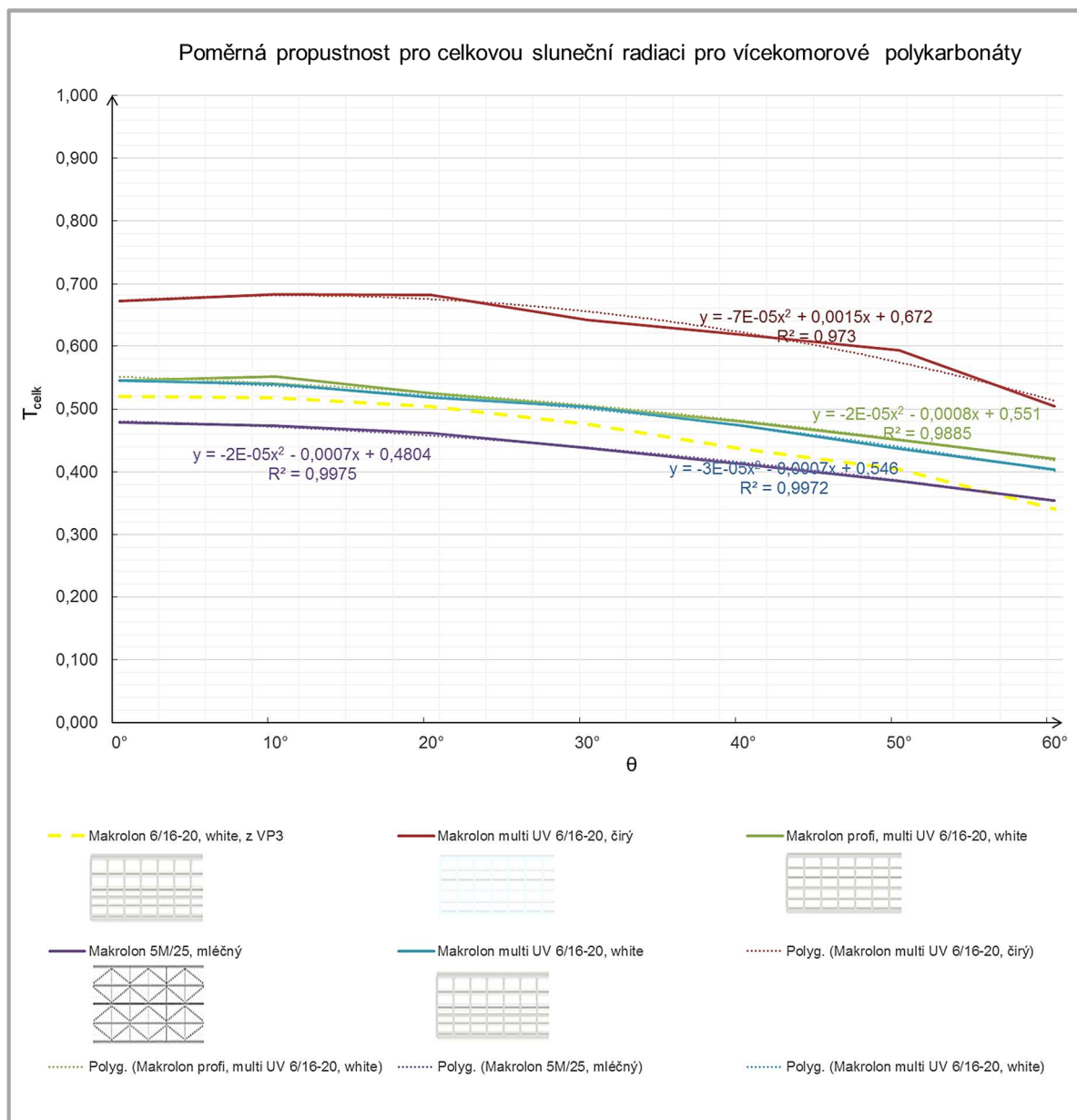
Z Obr. 44 vyplývá, že optický rastr Raywall 90 dosahuje při natočení hladké strany směrem do exteriéru, jak je požadováno v návodu, obdobných vlastností jako běžné sklo při dopadu slunečních paprsků pod úhlem 0° a stejnou hodnotu propustnosti má až téměř do úhlu dopadu 30° .

Následně při dále se zvyšujícím úhlu dopadu dojde k výraznému poklesu propustnosti a je tedy prokazatelné, že v letních měsících bude v budovách při použití tohoto optického rastru očekávatelná nižší střední radiační teplota i nižší teplota interiéru oproti budovám, kde je použito běžné zasklení, aniž by došlo ke snížení osvětlenosti v místnostech a v zimních měsících k nevýhodnému snížení tepelných zisků.

Níže na Obr. 45 je zobrazena poměrná propustnost pro vícekomorový polykarbonát Makrolon 6/16-20 1146 se zabarvením White, který je instalován na hale VP3 v areálu Vienna Point spolu s dalšími vzorky vícekomorového polykarbonátu. Zde je patrné, že větší vliv na propustnost než tloušťka materiálu má jeho zabarvení, i když obecně lze říct, že se zvyšující se tloušťkou konstrukce klesá její poměrná propustnost.

Vícekomorové polykarbonáty s bílým zabarvením snižují tepelnou zátěž ze solární radiace oproti čirým polykarbonátům. V porovnání s čirými polykarbonáty ale také ještě

více zabraňují průniku denního světla do interiéru, viz Obr. 46: Srovnání poměrné propustnosti pro světelnou složku a celkovou solární radiaci při úhlu incidence 0°.

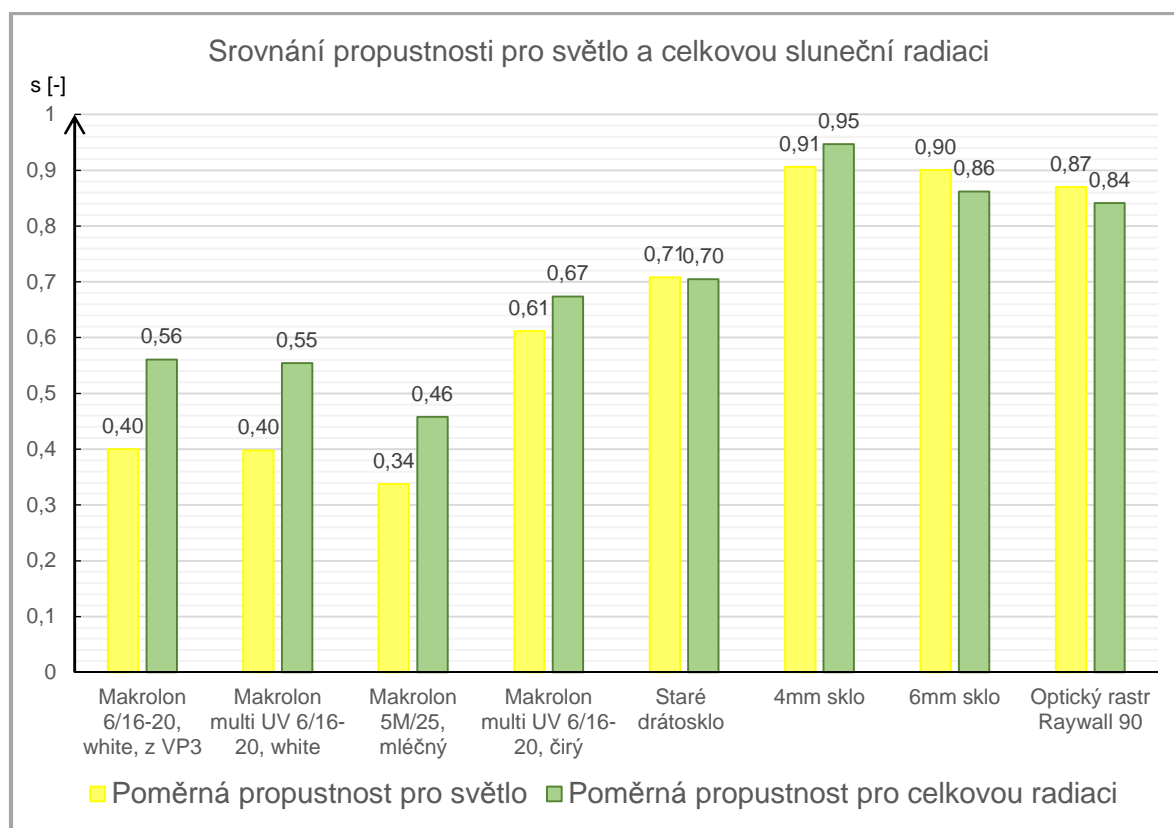


Obr. 45: Poměrná propustnost vícekomorových polykarbonátů

Dále bylo provedeno srovnání poměrné propustnosti pro intenzitu globálního záření průsvitných konstrukcí s poměrnou propustností pro světelnou složku globální sluneční radiace, viz Obr. 46. Pro názornost je vidět vyhodnocení srovnání v sloupcovém grafu světelné poměrné propustnosti a propustnosti pro celkovou radiaci pro úhel incidence slunečních paprsků 0°.

Starší drátosklo, dosahuje z hlediska propustnosti pro radiaci srovnatelných vlastností jako polykarbonát Makrolon multi 6/16-20, čirý. Skleněné materiály menších

tloušťek vykazují vyšší propustnost pro světelnou složku sluneční radiace než pro globální sluneční radiaci oproti silnější čiré skleněné desce. Pravděpodobně je tato vlastnost způsobena odlišným složením skla, ale tuto teorii nelze v diplomové práci ověřit.



Obr. 46: Srovnání poměrné propustnosti pro světelnou složku a celkovou solární radiaci při úhlu incidence 0°

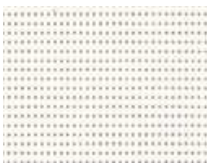

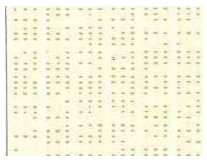
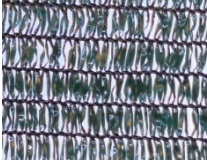

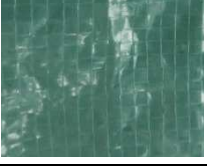
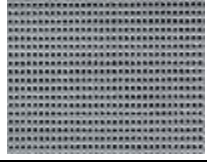
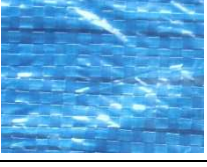
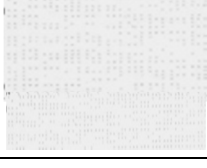
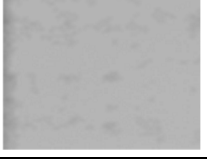

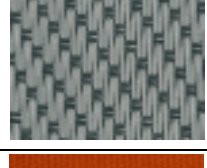




2.2 Součinitel stínění

2.2.1 Seznam materiálů

Vzhledem k vyšším pořizovacím nákladům na stínění žaluziemi či jinými natáčivými lamelami, jak bylo zmíněno na str. 26, byly hodnoceny pouze materiály, u kterých je tloušťka oproti ostatním rozměrům minimální, a jsou používány v ploše. Vyhodnocovány byly jak materiály oficiálně používané pro stínění, tak materiály, které jsou využívány pro jiné účely a vzhledem k jejich povaze není výrobcem garantována životnost. Následně jsou v Tab. 7 uvedeny jednotlivé vyhodnocované materiály spolu s fotografií detailu a zkráceným názvem výrobce či dodavatele.

Materiály v levém sloupci patří v současnosti k standardně užívaným ke stínění velkých ploch. Látky v pravém sloupci nebyly zatím ke stínění sloužícímu ke snižování tepelné zátěže solární radiací využívány.

Tab. 7: Seznam stínících materiálů

č.	Výrobce/ prodejce	Název materiálu	Foto materiálu	č.	Výrobce/ prodejce	Název materiálu	Foto materiálu
1.	Pelz	Soltis 86 - 2044		8.	Agrotex	Rašlový úplet 82%	
2.		Soltis 92 – 2172/ 2135		9.		Rašlový úplet 60%	
3.		Nátěr Heatshield		10.	např. Arnak	PE plachta lehká - zelená	
4.	Soltis 86 - 2045		11.	PE plachta lehká - modrá			
5.	ShapeArt	Soltis 92 - 2044		12.	Keim	Nátěr SOLDALIT	
6.		Sunscreen - Grey/Anthracite	 	13.	Tylex	Záclonovi- na	 
7.	Bohemia Flex	Berlin transparent 210 g/m ²		14.	-	Rašlový úplet	

Nátěr SOLDALIT byl připraven přímo pro vícekomorový polykarbonát a v práci je vyhodnocen pouze v základní variantě, je možné jeho intenzitu dle konkrétního požadavku navýšit.

Materiál Sunscreen má odlišné strany stejně jako záclonovina a jsou proto ověřovány vlastnosti obou stran.

Další specifikace materiálů jsou uvedeny v přílohách 2., kde jsou podklady dodávané k materiálům od výrobců.

2.2.2 Vyhodnocení účinnosti stínění

Tab. 8: Tabulka stínících materiálů s vyhodnocením stínivosti

Výrobce/dodavatel	Název materiálu	cena* materiálu [Kč/m ²]	cena instalace včetně práce [Kč]	umístění	udávané stínění [%]	součinitel stínění s [-]		účinnost stínění [%]	
						celková sluneční radiace	světlo	celková sluneční radiace	světlo
SHAPE ART s.r.o	Sunscreen - Grey/Anthracite	600	-	exteriér	94	0,069	0,062	93	94
Agrotex, DAER s.r.o.,	Rašlový úplet 82%	40	-	exteriér	-	0,148	0,125	85	88
PELZ CZ s.r.o.	Soltis 92 - 2172/2135	600	1900	exteriér	92	0,165	0,127	83	87
SHAPE ART s.r.o	Soltis 86 - 2045	500	-	exteriér	84	0,178	0,173	82	83
SHAPE ART s.r.o	Soltis 92 - 2044	600	-	exteriér	92	0,288	0,418	71	58
např. Arnak, s.r.o.	PE plachta lehká - zelená	11	-	exteriér	-	0,346	0,221	65	78
KEIMfarben s.r.o.	Nátěr SOLDALIT	86,6	-	exteriér	-	0,350	0,210	65	79
Bohemiaflex CS, s.r.o.	Berlin transparent 210 g/m ²	104	-	interiér	-	0,358	0,086	64	91
PELZ CZ s.r.o.	Soltis 86 -2044	500	1800	exteriér	84	0,409	0,292	59	71
Agrotex, DAER s.r.o.,	Rašlový úplet 60%	13	-	exteriér	-	0,466	0,445	53	55
např. Arnak s.r.o.	PE plachta lehká - modrá	11	-	exteriér	-	0,488	0,279	51	72
-	Rašlovitý úplet	40	-	exteriér	-	0,524	0,467	48	53
Tylex Letovice	Záclonovina	43	-	interiér	-	0,652	0,628	35	37
PELZ CZ s.r.o.	Nátěr Heatshield	90	440	exteriér	72	0,781	0,746	22	25

*(přepočítáno dle role a dle přibližné spotřeby na m²), bez DPH, k 29.4.2014

Životnost materiálů nebyla většinou výrobců udávána, a proto není následně zahrnuta v celkovém vyhodnocení materiálů. Materiály s garantovanou životností mají zpravidla vyšší cenu.

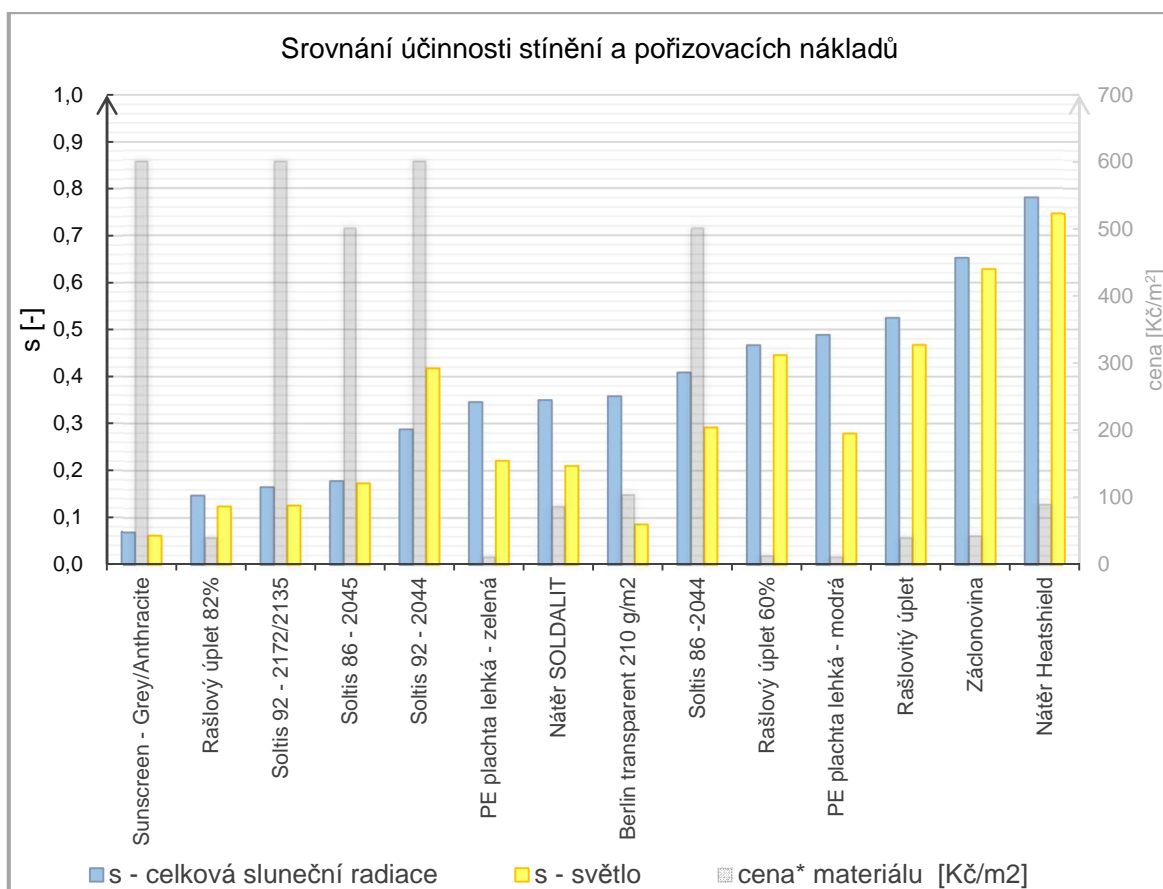
Tvorba mikroklimatu průmyslové haly s vysokými nároky na jeho rovnoměrnost

Čím nižší je součinitel stínění, tím vyšší je účinnost stínění materiálu. Pro snazší pochopení problematiky je v Tab. 8 uvedeno vyhodnocení i procentuální.

Nejúčinněji zastíní plochu materiál Sunscreen, který odstíní 95% celkové sluneční radiace. Tento materiál slouží k exteriérovému zastínění o velkých rozměrech.

Nejlepší poměr ceny k účinnosti stínění je dosažen u rašlového úpletu 82% (název uváděn také jako Rašlet ST80), viz graf na Obr. 47.

U nátěru HeatShield byla prokázána menší účinnost stínění, než byla očekávána. Pro celkové zhodnocení je třeba zvážit i konstrukci pro jednotlivé látky po stránce požární bezpečnosti objektu, jejíž součástí jsou výklopné části světlíků. Cena nosné konstrukce se tímto zvyšuje.



Obr. 47: Srovnání účinnosti stínění

2.3 Nejistoty experimentálního měření

2.3.1 Nejistota typu B

Nejistota měření typu B pro měření luxmetrem, za předpokladu normálního rozložení pravděpodobnosti ($m=2$), se opět určí dle vztahů (14) a (15). Pak chyba rozlišení je:

Tvorba mikroklimatu průmyslové haly s vysokými nároky na jeho rovnoměrnost

$$u_{B1} = 16,67 \text{ lx}$$

A chyba čtení je:

$$u_{B2} = 0,5 \text{ lx}$$

Celková nejistota typu B pro luxmetr je

$$u_{B,L} = \sqrt{16,67^2 + 0,5^2} = \pm 16,68 \text{ lx}$$

Nejistota měření typu B pro měření pyranometrem, za předpokladu normálního rozložení pravděpodobnosti ($m=2$), se opět určí dle vztahů (14) a (15).

Celková nejistota typu B pro pyranometr je

$$u_{B,P} = \sqrt{1,5^2 + 1,5^2 + 0,5^2} = 2,2 \%$$

z měřené hodnoty.

2.3.2 Nejistota typu A

U přímé nejistoty měření vycházíme ze vztahů (11),(12) a (13). Pokud hledanou veličinu nazveme Z, pak pro nejistotu typu A nepřímého měření Z platí:

„Je-li hledaná veličina Z funkcí přímo měřených veličin(X,Y) a konstant (a,k) Z = f(X, Y, a, k), pak odhad údaje Z měřené veličiny získáme dosazením aritmetických průměrů přímo měřených veličin X a Y (včetně konstant) do funkce.“

$$u_{Az} = \sqrt{u_X^2 \cdot \left(\frac{\partial Z}{\partial X} \right)_{\bar{X},\bar{Y}}^2 + u_Y^2 \cdot \left(\frac{\partial Z}{\partial Y} \right)_{\bar{X},\bar{Y}}^2} \quad (32)$$

A „je-li souvislost mezi hledanou veličinou Z a přímo měřenými veličinami dána jednoduchou funkcí (součet, rozdíl, součin, podíl nebo mocnina), pak vedou parciální derivace podle Gaussova zákona rozdělení chyb zase na jednoduchou funkci.“ [8]

$$Z = \frac{X}{Y} \Rightarrow u_{Az} = \frac{X}{Y} \sqrt{\left(\frac{u_X}{X} \right)^2 + \left(\frac{u_Y}{Y} \right)^2} \quad (33)$$

$$Z = X \cdot Y \Rightarrow u_{Az} = XY \sqrt{\left(\frac{u_X}{X} \right)^2 + \left(\frac{u_Y}{Y} \right)^2} \quad (34)$$

Kde X a Y jsou měřené veličiny včetně konstant.

Určení nejistoty měření pro poměrnou propustnost vychází ze vztahu (33) a určení nejistoty měření pro součinitel stínění vychází ze vztahu (33) a (34)

$$T_{celk} \Rightarrow u_{AT} = \frac{\overline{I_{in}}}{\overline{I_{out}}} \sqrt{\left(\frac{u_{I_{in}}}{\overline{I_{in}}}\right)^2 + \left(\frac{u_{I_{out}}}{\overline{I_{out}}}\right)^2}$$

$$s \Rightarrow u_{As} = \frac{\overline{I_{in}}}{Y} \sqrt{\left(\frac{u_{I_{in}}}{\overline{I_{in}}}\right)^2 + \left(\frac{u_Y}{Y}\right)^2}$$

$$Y \Rightarrow u_{AY} = \overline{I_{out}} \cdot T_{celk} \cdot \sqrt{\left(\frac{u_{I_{out}}}{\overline{I_{out}}}\right)^2 + \left(\frac{u_{AT}}{T_{celk}}\right)^2}$$

2.3.3 Kombinovaná nejistota C

Nejistota pro poměrnou propustnost celkové sluneční radiace bude stanovena dle vztahu (16) jako

$$u_{C,P} = \sqrt{u_{A,T}^2 + u_{B,P}^2}$$

Nejistota pro poměrnou propustnost světelné složky slunečního záření:

$$u_{C,L} = \sqrt{u_{A,T}^2 + u_{B,L}^2}$$

Obdobně je stanovena nejistota typu C pro součinitel stínění.

2.4 Zpracování výsledků experimentálního měření s nejistotami měření

2.4.1 Hodnoty měřené pro určení poměrné propustnosti

Ukázka zpracování hodnot poměrné propustnosti pro celkovou sluneční radiaci T_{celk} a světlo T_{sv} pro jednotlivé úhly incidence je uvedena níže v Tab. 9 pro jednoduché sklo o tloušťce 4 mm. Poměrná propustnost materiálu pro světlo T_{sv} je zpracována u materiálu v pro úhel incidence 0°. Celková nejistota výsledku měření u_c je uvedena pod určenou propustností.

Tab. 9: Měřené hodnoty a výsledná poměrná propustnosti skla o tloušťce 4 mm s celkovou nejistotou měření

Údaje z měření poměrné propusti									
		M0	M1			Lux FAST	Lux FSI		
		8933	8448			435-4	480		
		nic	materiál			materiál	nic		
		$I_{out,celk}$	I_{in}	T_{celk}		E_{in}	E_{out}	T_{sv}	
		W/m²	W/m²	-		lx	lx	-	
Sklo, 4 mm									
NUMBER: 8	čas	I_{in} [W/m ²]	I_{out} [W/m ²]	T_{celk}	LUX	čas	E_{in} [lx]	E_{out} [lx]	T_{sv}
12.4.2014	9:53:30	1038	854		19.9.2014	10:28:07	86484	98788	
úhel= 0°	9:54:30	1040	854		úhel= 0°	10:28:10	86775	98928	
	9:55:30	1037	850			10:28:13	86887	99142	
	9:56:30	1040	851			10:28:16	87270	99463	
	9:57:30	1034	845			10:28:19	87395	99620	
	9:58:30	1032	841			10:28:22	87645	99963	
	9:58:36	1031	841			10:28:25	88583	100177	
	\bar{x}	1036	848	0,904		10:28:28	88798	100453	
		nejistota měření $u_c = \pm 0,020$				10:28:31	88859	100503	
NUMBER: 9						10:28:34	88868	100520	
12.4.2014	10:03:01	1007	816			10:28:37	87916	99923	
úhel= 10°	10:04:01	1015	820			10:28:40	86039	98930	
	10:05:01	1016	820			\bar{x}	87627	99701	0,909
	10:06:01	1022	825			nejistota měření $u_c = \pm 0,004$			
	10:07:01	1029	830						
	10:08:01	1029	829						
	10:08:06	1030	829						
	\bar{x}	1021	824	0,892					
		nejistota měření $u_c = \pm 0,020$							
NUMBER: 10					NUMBER: 12				
12.4.2014	10:23:01	1036	819		12.4.2014	10:50:45	801	587	
20°	10:24:01	1048	823		úhel= 50°	10:51:45	799	582	
	10:25:01	1011	793			10:52:45	707	513	
	10:26:01	1043	818			10:53:45	777	567	
	10:27:01	1032	809			10:54:45	752	552	
	10:28:01	1032	808			10:56:45	768	562	
	10:29:01	1041	814			10:57:45	776	567	
	10:30:01	1045	816			10:58:45	773	565	
	10:30:49	1054	822			10:58:51	775	566	
	\bar{x}	1038	814	0,866		\bar{x}	770	562	0,806
		nejistota měření $u_c = \pm 0,020$				nejistota měření $u_c = \pm 0,023$			
NUMBER: 9					NUMBER: 13				
12.4.2014	10:15:03	973	762		12.4.2014	11:01:36	649	442	

úhel= 30°	10:16:03	970	756	úhel= 60°	11:02:36	656	449	
	10:17:03	974	758		11:03:36	653	443	
	10:19:03	958	749		11:04:36	649	442	
	10:20:03	974	757		11:05:36	654	445	
	10:21:03	985	764		11:06:36	651	443	
	10:21:08	986	765		11:07:36	656	447	
	\bar{x}	974	759		0,860	11:07:49	653	446
nejistota měření $u_c = \pm 0,019$				\bar{x} 653 445 0,752				
NUMBER: 11				nejistota měření $u_c = \pm 0,017$				
12.4.2014	10:33:00	891	670	NUMBER: 14				
úhel= 40°	10:34:00	888	666	12.4.2014	11:12:33	236	201	
	10:35:00	882	661	úhel= 70°	11:13:33	238	203	
	10:36:00	883	660		11:14:33	218	183	
	10:37:00	904	676		11:15:33	237	204	
	10:38:00	909	678		11:16:33	232	198	
	10:38:06	906	676		11:17:33	238	202	
	\bar{x}	895	669		0,826	\bar{x}	233	199	0,941
nejistota měření $u_c = \pm 0,019$					nejistota měření $u_c = \pm 0,032$			


Hodnoty z měření s výslednou poměrnou propustností a nejistotou měření pro zbývající materiály je uvedeno v přílohách práce.

2.4.2 Hodnoty měřené pro určení součinitele stínění

Obdobně jako poměrná propustnost je zpracováno měření pro určení součinitele stínění s pro celkové sluneční záření a s_{sv} pro světlo. Doplněn je materiál s určenou poměrnou propustností, s jehož součinností, byl součinitel stínění pro daný materiál zpracován. V Tab. 10 jsou měřené a zpracované hodnoty pro rašlový úplet 80%. Hodnoty z měření pro další materiály jsou součástí přílohy práce.

Tab. 10: Hodnoty pro určení součinitele stínění a výsledný součinitel s celkovou nejistotou měření

Údaje z měření stínících materiálů								
Stínící materiál	Celková sluneční radiace			součinitel stínění pro celkovou radiaci	Světlo		součinitel stínění pro světlo	
	Čas	M0	M1		Čas	LUXL		LUXP
Foto/ místění/ datum měření		8933	8448	bez výplně		stínící materiál + sklo 4mm	FAST	FSI
		I_{out} [W/m ²]	I_{in} [W/m ²]				s	E_{in} [lx]	$E_{out}$ [lx]	$s_{sv}$

Rašlet 82%								
		12:28:28	1060	111	14:37:20	2845	69471	
		12:28:58	1066	112	14:37:21	2847	69445	
		12:29:28	1057	111	14:37:22	2843	69435	
		12:29:58	1056	111	14:37:23	2846	69456	
		12:30:28	1063	112	14:37:24	2846	69600	
		12:30:58	1068	112	14:37:25	2855	69709	
	Exteriér	12:31:28	1075	110	14:37:26	2856	69739	
	celková radiace	12:31:58	1078	107	14:37:27	2855	69695	
	NUMBER: 17	12:32:28	1064	106	14:37:28	2852	69646	
	12.4.2014	12:32:58	1051	105	14:37:29	2855	69680	
	světlo	12:33:01	1050	105	14:37:30	2856	69738	
	NUMBER: 27	\bar{x}	1063	109	14:37:31	2856	69745	
	18.9.2014			0,148	\bar{x}	2851	69613	0,125
			nejistota měření $u_c=$	±0,003		nejistota měření $u_c=$	±0,001	

Postup pro zpracování výsledné nejistoty měření C pro součinitel stínění je uveden výše.

3 Simulace rozložení teplot a proudění ve VP3

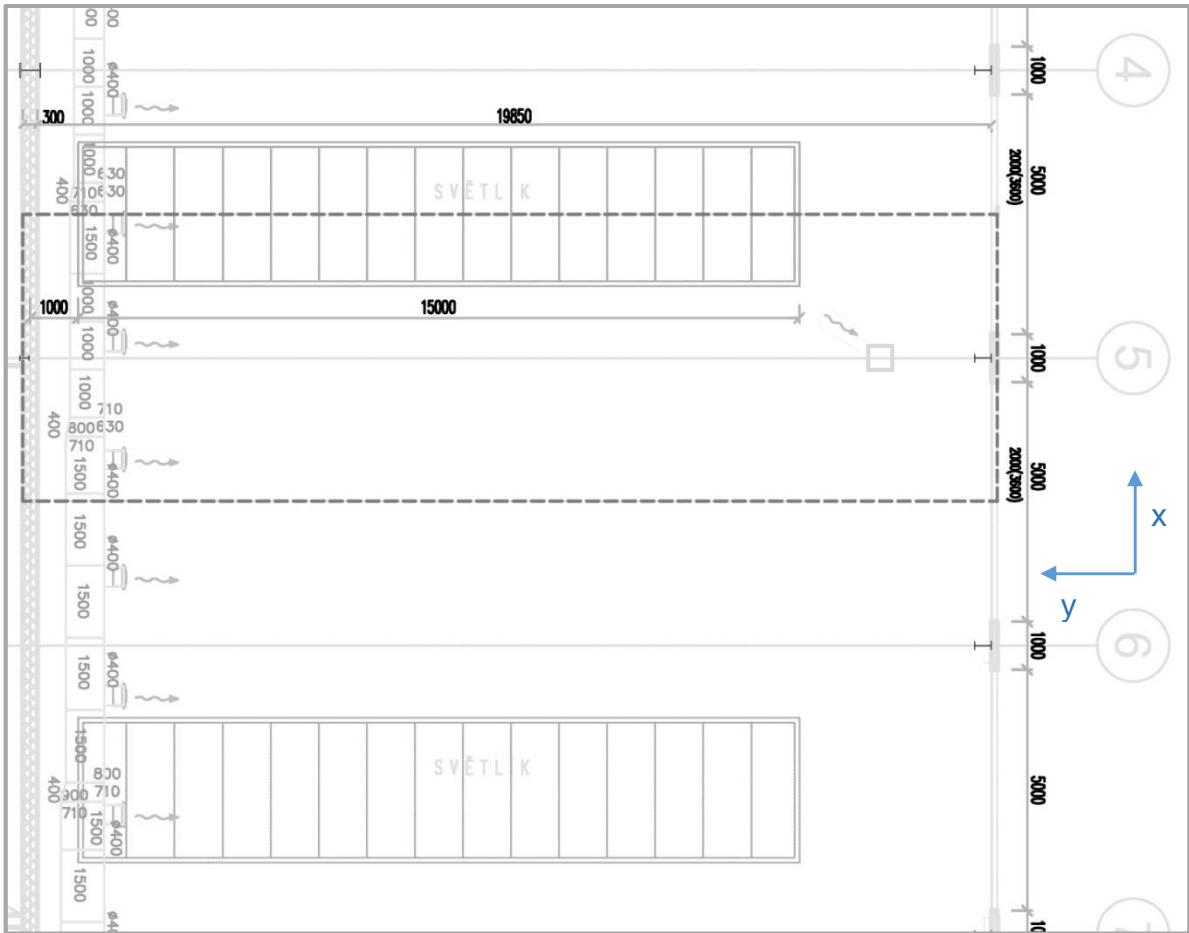
3.1 Vstupní údaje

V zadané budově není nedostatečný chladicí výkon vzduchotechnické jednotky. Pro zjištění rozložení teplot v provozu 1 na hale VP3 v letním návrhovém období byla vytvořena analýza stavu metodou počítačového modelování dynamiky tekutin – metodou CFD. Vytvořený geometrický model odpovídal typickému, opakujícímu se výseku konstrukce haly na Obr. 48.

Geometrický model byl vytvořen v softwaru Gambit a doplněn okrajovými podmínkami, tak aby mohla proběhnout numerická simulace. Zároveň byl doplněn ve výřezu odvod vzduchu tak, aby byly dodrženy zákony zachování hmotnosti a energie. Samotný výpočet proběhl v programu ANSYS Fluent.

Zvolený algoritmus simulace pracoval se stacionárním výpočtem s časově ustáleným prouděním vzduchu s vlivem turbulence a tepelné radiace.

Byla vytvořena simulace původního nezastíněného stavu i nového návrhového stavu. Nový návrhový stav obsahuje navíc oproti původnímu použití zastínění vybraným stínícím materiálem u všech světlíků v provozu 1, rašlového úpletu 82 %, dle specifikovaných požadavků na řešení.



Obr. 48 Půdorys typického stavebního úseku

Okrajové podmínky:

- rychlost proudění z dýzy: 7,52 m/s
- objemový průtok z dýzy: 1125 m³/h
- intenzita turbulence: 10 %
- teplota exteriéru: 29 °C
- teplota interiéru: 23 °C
- teplota přívodního vzduchu: 21°C
- vnitřní tepelná zátěž: 1,17 W/m³
- návrhový den: 21.7.
- teplota zapnutí: 24 °C
- teplota vypnutí: 22 °C
- teplota zeminy: 20 °C

Součinitelé prostupu tepla (součinitelé přestupu z vnější strany jsou s nimi v souladu) z odstavce 2.1.2 a 2.1.3 na straně 81.

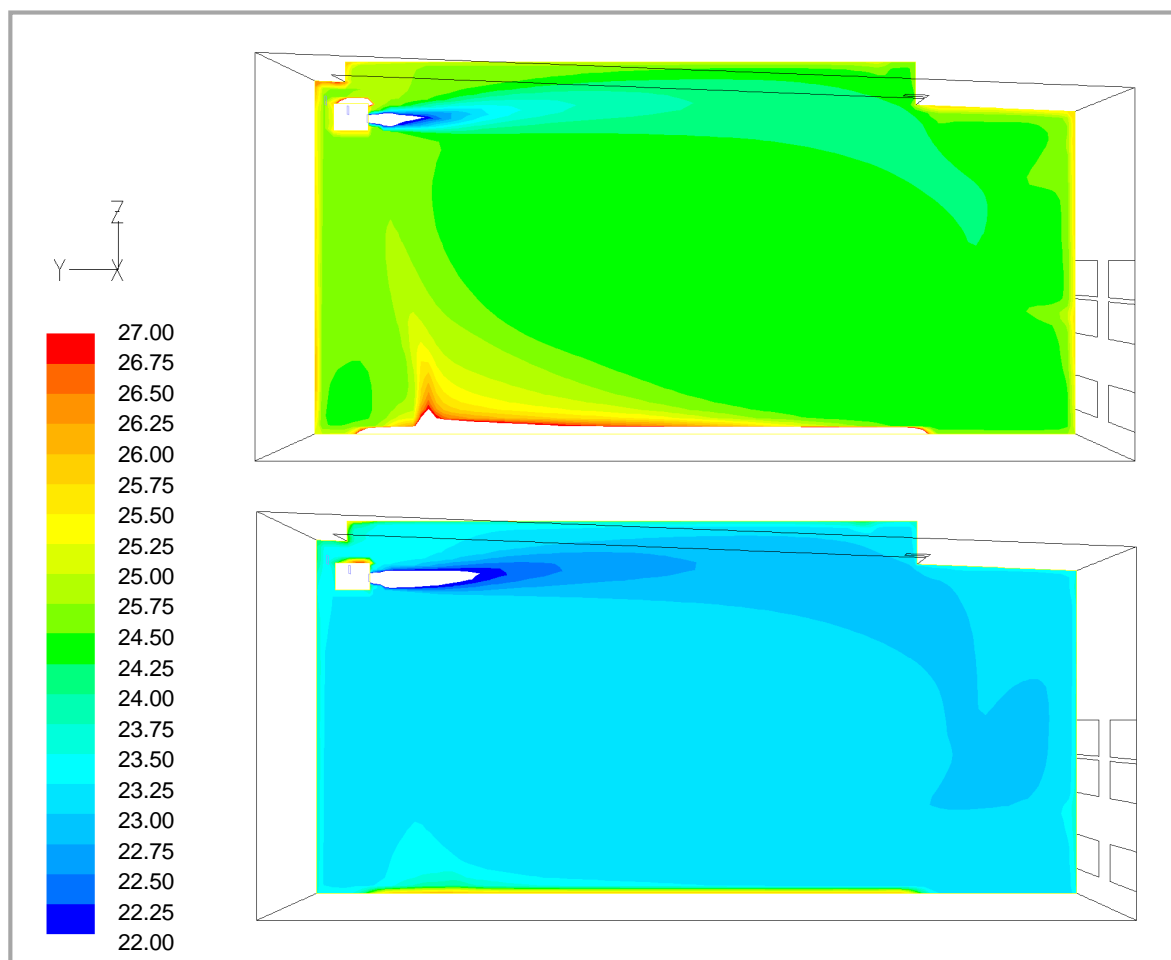
Tvorba mikroklimatu průmyslové haly s vysokými nároky na jeho rovnoměrnost

3.2 Teplota

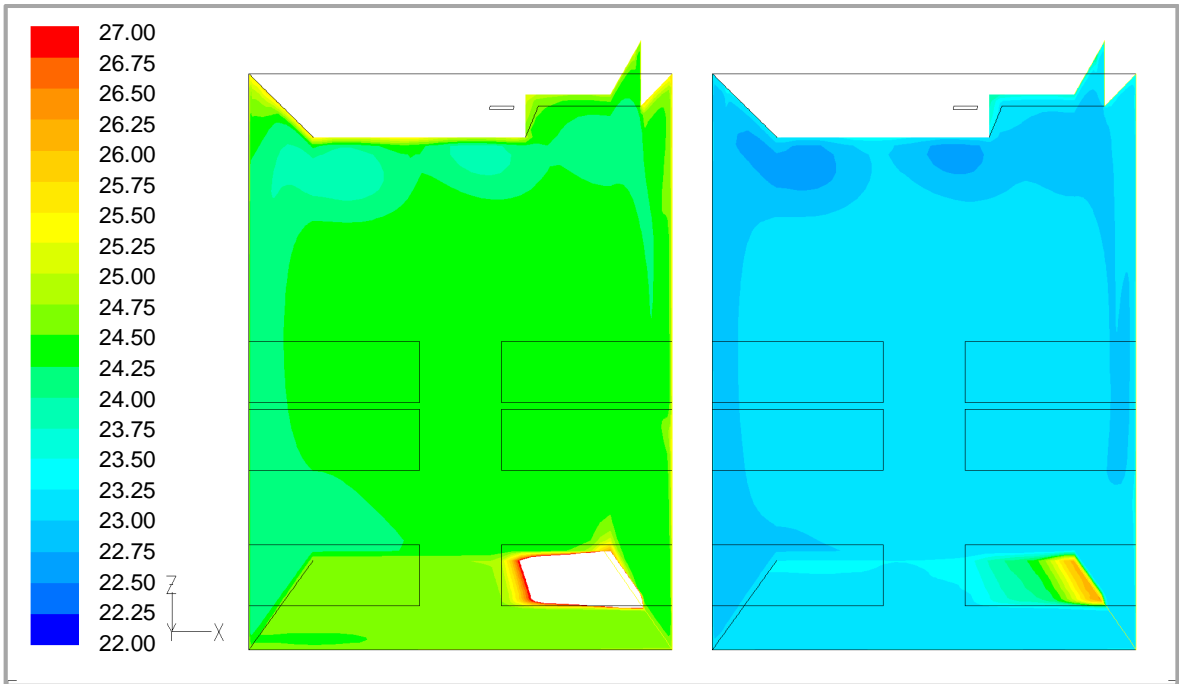
Zobrazení prostorového teplotního pole pro radiační teplotu a teplotu vzduchu pro typický výsek provozu 1 haly VP3 jsou uvedeny níže na Obr. 49, Obr. 50, Obr. 51, a Obr. 52. Výsledný stav je ustálený. Konkrétní hodnoty průměrných teplot v referenční výšce 1,5 m i teploty minimální a maximální jsou uvedeny v následujících tabulkách 11 a 12.

Tab. 11: Výsledné teploty vnitřního vzduchu na základě simulace

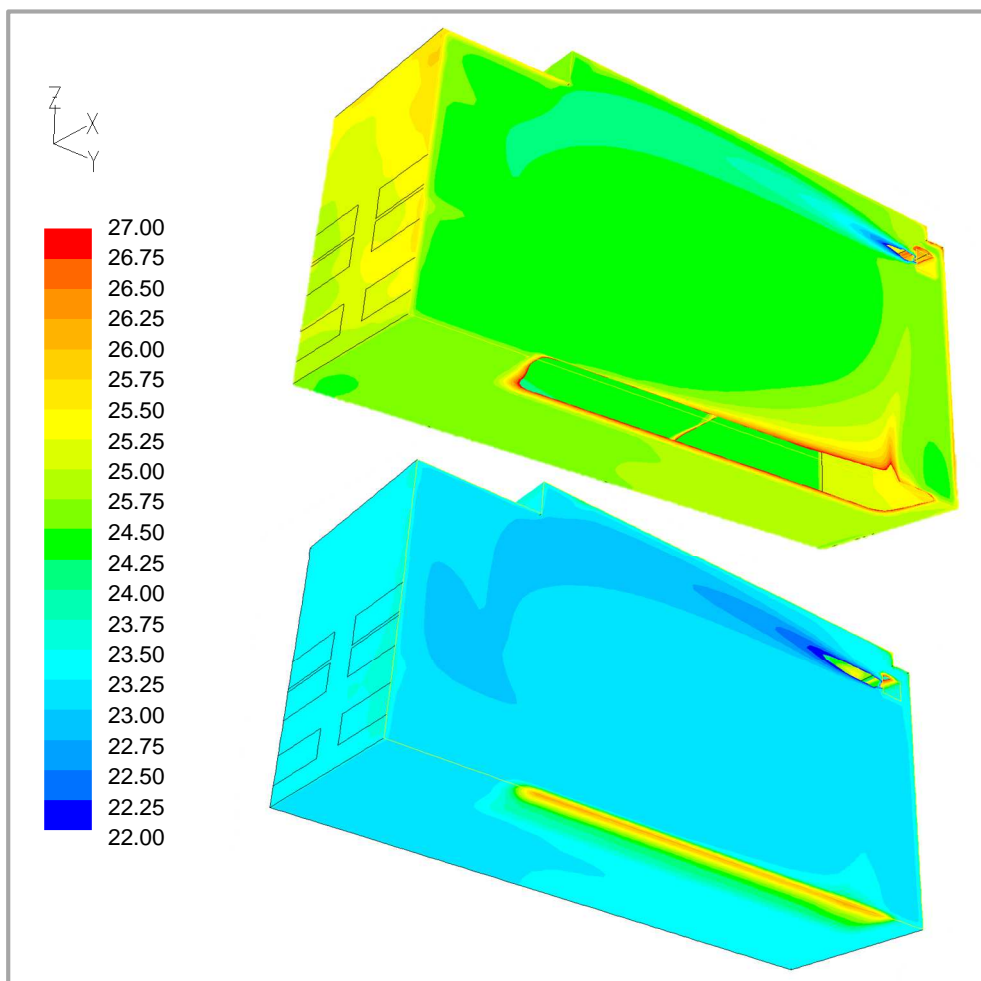
Teploty vnitřního vzduchu						
Stav	t_i ve výšce		$t_{i,min}$		$t_{i,max}$	
	[K]	[°C]	[K]	[°C]	[K]	[°C]
Původní	297,51	24,36	297,25	24,10	297,41	26,26
Nový	296,21	23,06	296,01	22,86	296,92	23,76



Obr. 49: Rozložení teplot vzduchu v řezu YZ, nahoře nezastíněný stav, dole po zastínění, [°C]



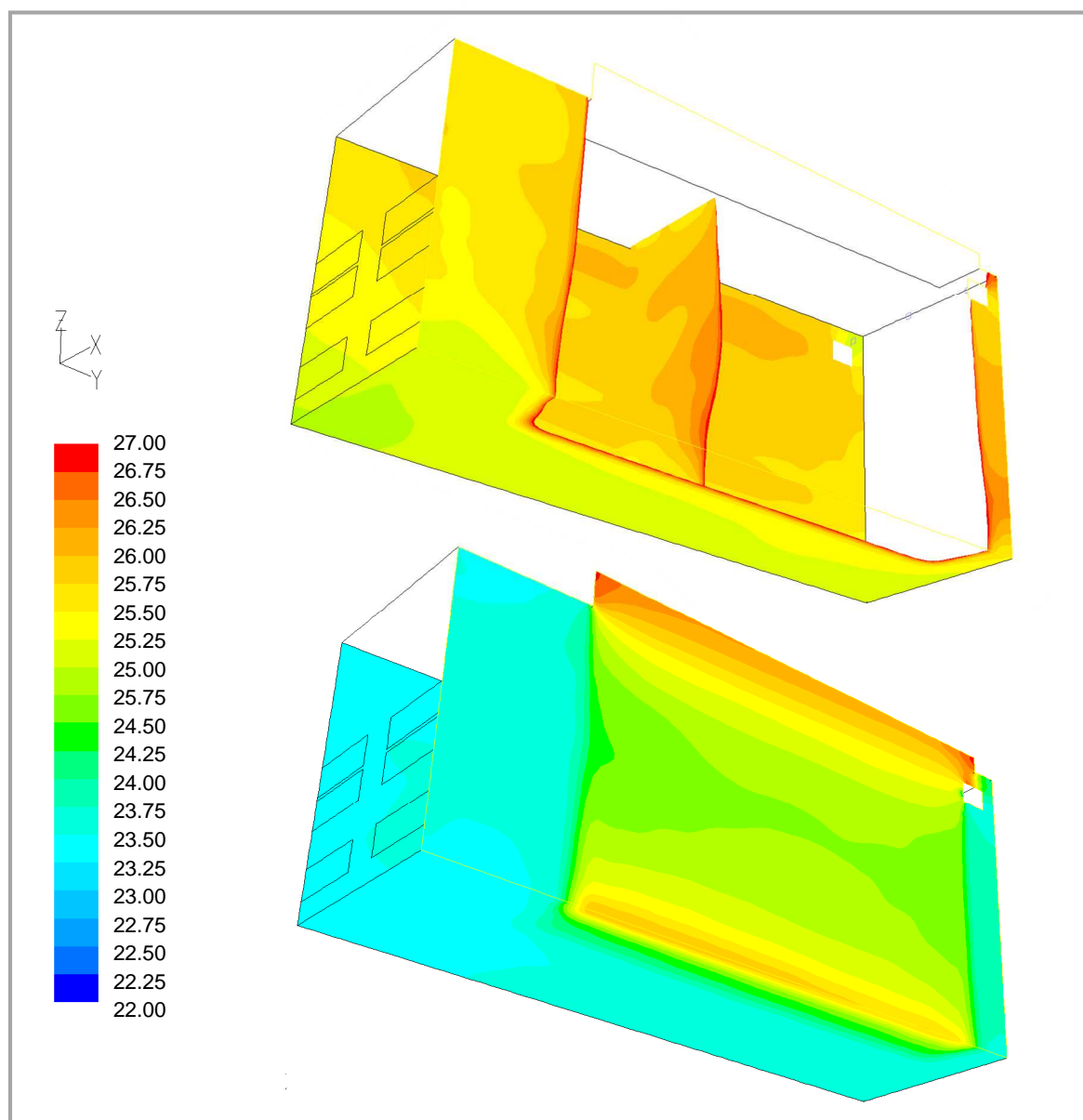
Obr. 51: Rozložení teplot vzduchu z pohledu XZ v typickém výřezu, vlevo nezastíněný stav, dole po zastínění, [°C]



Obr. 50: Rozložení teplot vzduchu v typickém výseku, nahore původní stav, dole po zastínění, [°C]

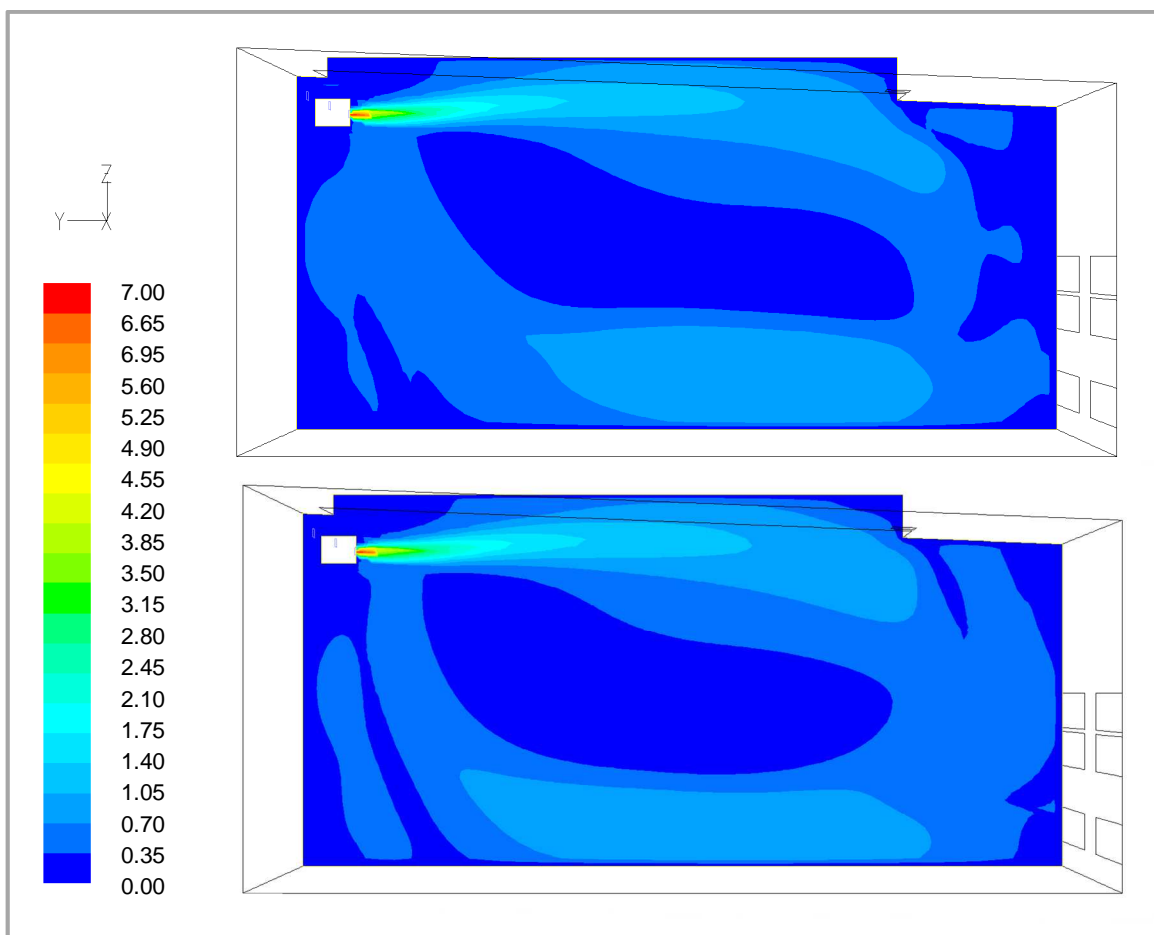
Tab. 12: Výsledné radiační teploty na základě simulace

Výsledné radiační teploty						
Stav	t_r ve výšce 1,5 m		$t_{r,min}$		$t_{r,max}$	
	[K]	[°C]	[K]	[°C]	[K]	[°C]
Původní	299,96	26,81	298,36	25,19	308,16	35,01
Nový	296,97	23,82	296,60	23,45	298,23	26,08



Obr. 52: Rozložení radiačních teplot v typickém výseku, původní stav nahoře, dole stav po zastínění, [°C]

3.3 Rychlost proudění



Obr. 53: Rychlost proudění z výustě před zastíněním v řezu YZ, nahoře, a po jeho zastínění, dole, [m/s]

Rozložení rychlostí proudění, které je výsledkem numerické simulace, na hale před instalací zastínění a po něm, je zobrazeno v řezech výše na Obr. 53.

3.4 Vyhodnocení výsledků simulace

Simulace původního nezastíněného stavu světlíků pro letní návrhový stav prokazuje, že prostorový rozdíl hodnot teplot vzduchu v úrovni hlavy a kotníků překračuje povolený rozdíl 3 °C [14], dále je překročena povolená asymetrie radiační teploty 5 °C o 5 °C stupně v referenční rovině ve výšce 1,5 m, kvůli přehřívání v oblasti světlíku a podlahy pod ním. Teplota vzduchu interiéru zjištěná ve výšce 1,5 m neodpovídá teplotě požadované pro technologii tj 23 ± 2 °C a překračuje i celoročně přípustnou teplotu 26°C pro pobyt pracovníků, viz odstavec 1.2.1, str. 17.

Po aplikaci zastínění, pro které byla experimentálně zjištěna druhá nejlepší účinnost stínění pro celkovou sluneční radiaci, tj. nový návrhový stav u simulace, nastane prokazatelné prostorové zrovnornění teploty na hale snížením prostupu celkové sluneční radiace. Bude dodržena teplota na hale pro zajištění výroby 23°C v celé úrovni, kde jsou zařízení umístěny.

Zobrazení rychlosti proudění ukazuje, že v obou případech, jak před zastíněním, tak po něm, je uprostřed haly mírně zvýšená rychlost proudění vzduchu v pobytové oblasti osob. Tato rychlost bude pravděpodobně vyšší, než povolená rychlost pro proudění vzduchu na pracovišti při pobytu osob viz Tab. 1 na straně 17. Zároveň v oblasti až 3 m od stěny, na které je umístěno vzduchotechnické potrubí, nemusí docházet k dostatečnému provětrání a bude zde vyšší teplota až od podlahy až do výšky 2 m.

Instalací vhodného zastínění prokazatelně dojde ke snížení tepelné zátěže sluneční radiací. Stínění je tak pro optimalizaci teplotního rozložení na hale dostatečným řešením.

Tento závěr je dále rozveden v části práce C.

C. APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ

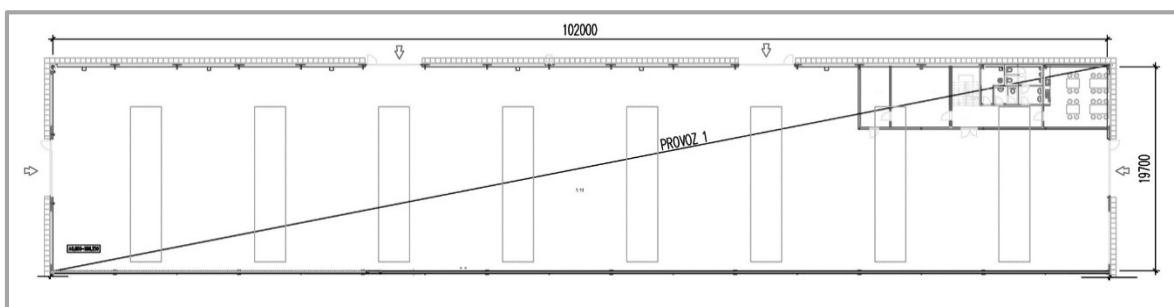
1 Průmyslová hala VP3

1.1 Budova

Hala VP3 se nachází v areálu Vienna Point a.s. v Brně na Vídeňské 199b. Objekt je rozdělen na tři konstrukčně oddělené provozy a posuzován bude provoz 1 na oddělené polovině haly. Provoz je s vysokými nároky na rovnoměrnost teplotního mikroklimatu.

Objekt se nachází ve výšce 208,25 m n. m.. Celá hala je jednodílná o rozpětí 40,0 m a celkové délce 102,0 m (osově). Nosné konstrukce jsou ocelové, postavené v modulu 6,0 m (středové sloupy v modulu 12,0 m). Obvodový plášť je řešen sendvičovými stěnovými dílci – panely PUR tloušťky 120 mm, stojícími na 600 mm vysokém soklu. Světlá výška objektu je 8,5 m u vnější obálky budovy. Střecha je plochá (sklon 4 %), tvořená ocelovými trámy s podpěrami u středové konstrukce a trapézovými plechy s ocelovými rámy pro osazení střešních světlíků a pro VZT zařízení, tloušťka střešní izolace činí 200 mm.

Vnitřní prostor je rozdělen na 4 provozní celky, z nichž jeden je určen pro zařízení nezbytné pro provoz haly a další tři jsou určeny nájemcům. Ve vnitřní dispozici je v podélné ose objekt rozdělen zdí po celé výšce. Provoz 1 se nachází v polovině haly orientované svou podélnou stranou k východu.



Obr. 54: Půdorys haly provozu 1 haly VP3

Provoz 1 je vybaven dvoupodlažní vestavbou, která soustřeďuje administrativní, sociální a hygienické zázemí provozu. Zároveň je vybaven jeřábovou dráhou ve výšce 6 m. Výrobní část haly bez vestavby má vzdušný objem 17 038 m³. Vstupy a vjezdy do objektu jsou navrženy dveřmi a vraty z přilehlé zpevněné plochy. V jednotlivých modulech v celé délce haly jsou použita okna s výplní polykarbonátem. Ve střešní konstrukci je osm obloukových světlíků o půdorysném rozměru 3 x 12 m s výplní z Makrolonu Multi UV 6/16-

20 White 1146, ohýbaném za studena. Plocha průsvitných otvorů je navržena pro zajištění osvětlení haly dle požadavků na denní prosvětlenost budovy.



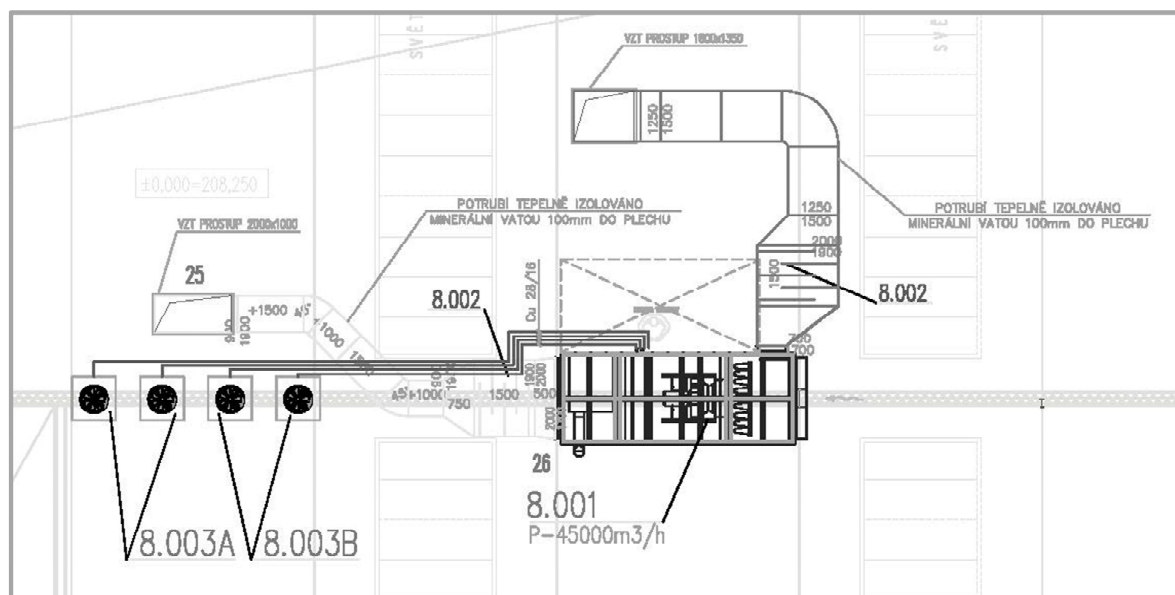
Obr. 55 Exteriér haly



Obr. 56 Interiér haly

1.2 Provoz 1

Výrobní prostor provozu 1 haly VP 3 je v současnosti větrán přetlakově pomocí jednoduchého vzduchotechnického rozvodu s dýzami DUK-V 400, umístěného pod střechou na dělicí stěně haly. Hygienické zázemí, které je umístěné ve vestavbě, je řešeno samostatně podtlakovým systémem větrání a stejně jako rovnotlaké větrání dalších prostor vestavby nebude součástí následného návrhu.



Obr. 57: Schéma VZT jednotky a vzduchotechnických rozvodů pro výrobu provozu 1 na střeše VP3

Vzduchotechnická jednotka dílčí klimatizace pro výrobní prostor je umístěná na střeše ve venkovním prostředí a zajišťuje pouze filtraci, ohřev, chlazení a směšování přírodního vzduchu se vzduchem odváděným z haly.

Produkce na hale VP3 v provozu 1 je stabilní a spotřeba energie na provoz strojů se v průběhu měsíců nijak zvlášť nemění. Předpoklad spotřeby elektrické energie pro výrobu činí 5 kW. Obvykle je současně v provozu ¼ stolů z 24. Výroba neprodukuje žádné škodliviny. Požadována je teplota 23 °C s maximálním výkyvem ± 2 K.

Pracovní směna začíná v 6 h a končí v 17 h. Na hale v průměru bývá přítomno 19 pracovníků.

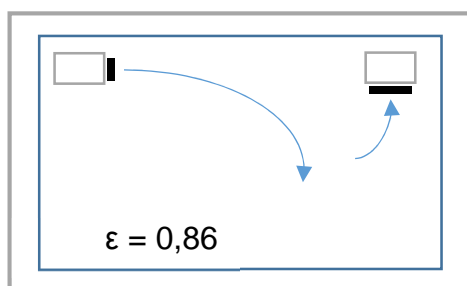
Prosvětlovací otvory jsou navrženy tak, aby bylo dosaženo dostatečného denního osvětlení. Vnitřní osvětlení, liniové zářivky, je používáno během celé pracovní doby.

V provozu 1 na hale VP3 se nepředpokládá překročení přípustných expozičních limitů (PEL) pro chemické látky a prašnost dle nařízení vlády [6].

1.3 Analýza stavu

Odhad tepelné zátěže je pro letní období firmou AZ Klíma a.s. stanoven na 202 kW. Klimatizační jednotka má nedostatečný chladicí výkon 148 kW. Na hale nastává v letním období přehřívání interiéru a v tomto případě není možné zajistit produkci na hale. Velké tepelné zátěže jsou způsobeny značným rozměrem ploch průsvitných konstrukcí VP3. Vysokou a nerovnoměrnou teplotu na hale vykazuje i simulace letního návrhového stavu, viz strana 68.

Dle projektové dokumentace nebyla jednotka realizována v plném rozsahu, s rekuperací, což odporuje vyhlášce o snižování energetické náročnosti budov [13]. Větrání je plně přetlakové. Není realizován odvod vzduchu do venkovního prostoru. Čerstvý vzduch je pouze přiváděn a směšován se vzduchem odvodněným z provozu 1. Odvod vzduchu je realizován jen jedním otvorem pod střešou. Vzhledem k výškovému teplotnímu rozvrstvení v prostoru toto řešení v letním období ještě více zvyšuje energetickou náročnost chlazení. Nedochozí k plnému provětrání pobytové zóny. Subjektivně bylo zaznamenáno nevyhovující oděrové mikroklima.



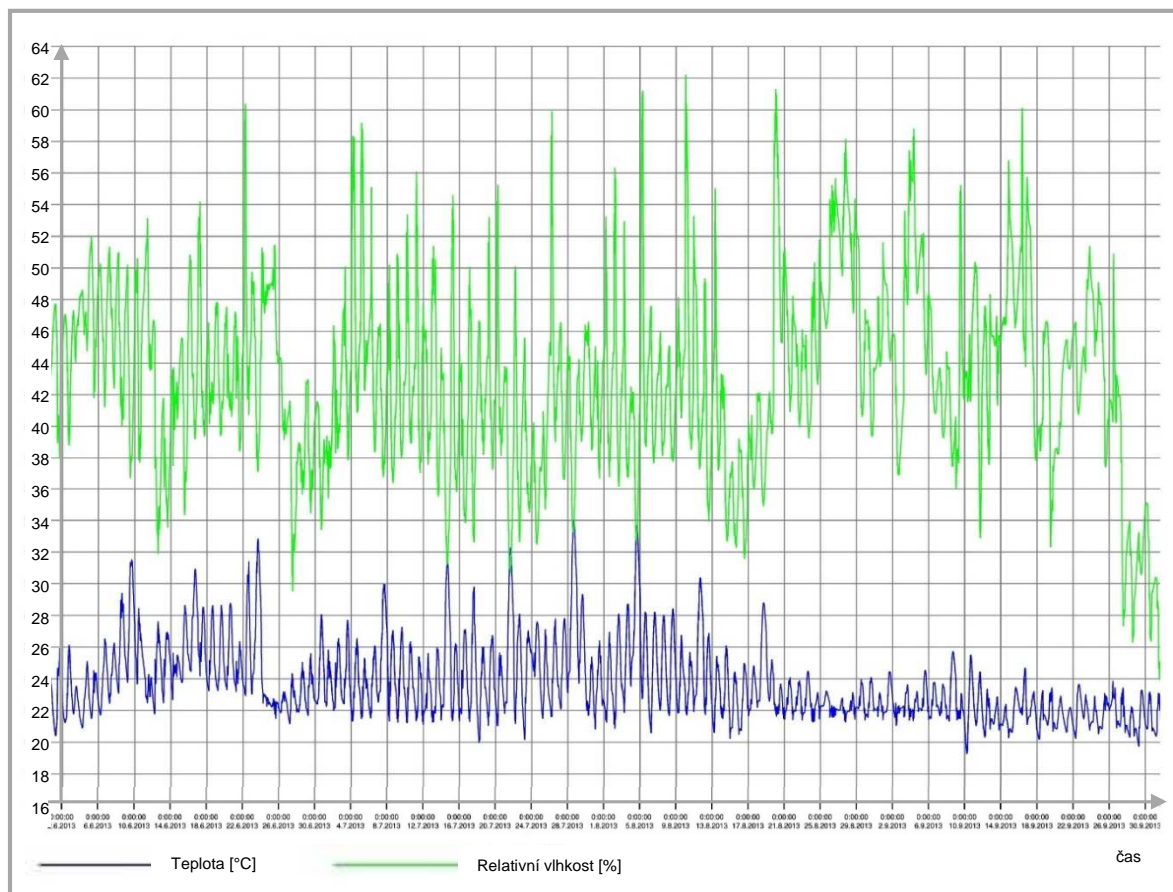
Obr. 58: Efekt provětrání [4]

Efekt provětrání prostoru u rozvodu odpovídajícímu schématu na Obr. 58 dle [4] je roven 0,86. V tomto případě bude efekt provětrávání nižší.

Měření vlhkosti a teploty v hale VP3, provozu 1 [59], z letního období roku 2013 na Obr. 59 dokládá i velkou časovou nerovnoměrnost teploty i vlhkosti během jednotlivých dnů.

Relativní vlhkost se pohybovala mezi hodnotami 24 % až 60 %. Lze tedy předpokládat, že se vlhkost v zimním období často pohybuje pod 30 % a nejsou tak dodrženy hodnoty relativní vlhkosti vzduchu vhodné a stanovené pro pobyt osob.

Teplota vzduchu na hale vícekrát překročila hodnotu 30 °C a během pracovní doby vykazovala výkyv až 8 °C, který překračuje povolený limit povolený 7,5 °C dle ČSN 73 0540-2.



Obr. 59: Záznam teplot a relativních vlhkostí v provozu 1 od 1.6.2013 do 30.9.2013 (pozn. jeden vyznačený díl časové osy odpovídá 4 dnům)

2 Tepelně-vlhkostní bilance

2.1 Tepelná zátěž

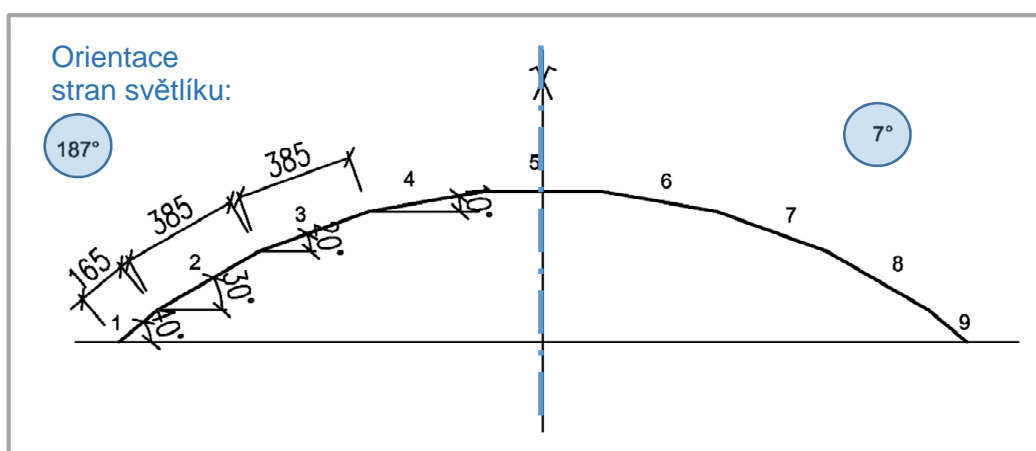
Tepelná zátěž představuje celkový tepelný tok vstupující do klimatizovaného prostoru, který musí být pokryt klimatizačním zařízením. Jedná se o tepelný zisk, který je zmenšený o složku akumulace. Výpočet bude proveden na základě výpočtu dle [1] upraveného pro použití experimentálně zjištěných hodnot.

Návrhový den: 21.7.

2.1.1 Tepelné zisky solární radiací průsvitnými konstrukcemi

Obloukový světlík z haly VP3 je pro účel výpočtu tepelné zátěže solární radiací rozdělen na 9 segmentů v oblé části a 2 čela světlíku viz Obr. 60 a Obr. 61.

Pro výpočet je použita experimentálně zjištěná hodnota poměrné propustnosti. Vztah pro určení poměrné propustnosti Makrolonu Multi UV 6/16-20 White 1146 je zapsán v rovnici (35).



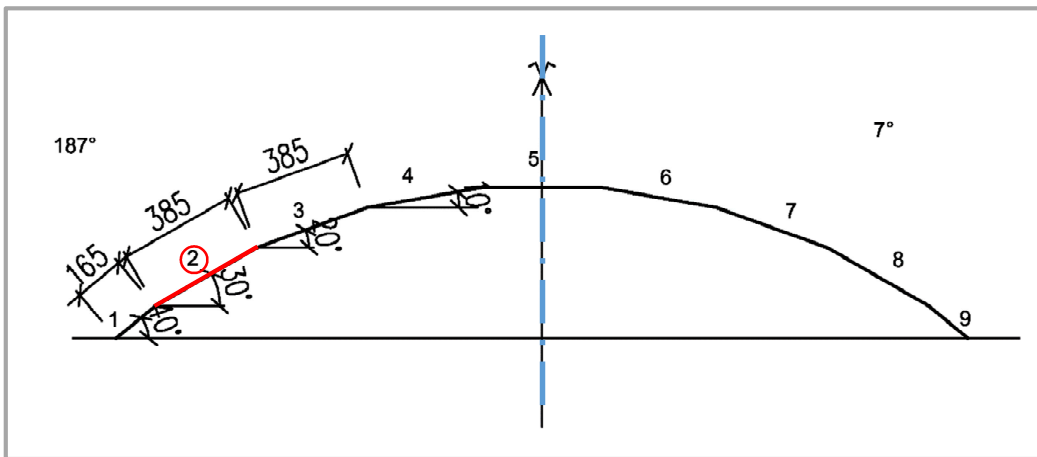
Obr. 60: Schéma rozdělení obloukového světlíku pro výpočet tepelné zátěže solární radiací

$$T_{celk}^M = 0,000000062395 \cdot \theta^3 - 0,000055546756 \cdot \theta^2 + 0,000143723568 \cdot \theta + 0,521011526157 \quad (35)$$

$$I_{in}^M = I_{out} \cdot T_{celk}^M \quad (36)$$

$$Q_{or} = [S_{OS} \cdot I_{in}^M \cdot c_o] \cdot s \quad (37)$$

θ	.....	úhel mezi normálou povrchu a směrem slunečních paprsků, úhel incidence [°]
T_{celk}^M	.....	celková poměrná propustnost sluneční radiace Makrolonu [-]
I_{in}^M	.....	celková intenzita procházející přes Makrolon [W/m ² K]
I_{out}	.....	celková intenzita sluneční radiace dopadající na plochu [W/m ² K]
Q_{or}	.....	tepelné zisky solární radiací[W]
c_o	.....	korekce na čistotu atmosféry [-]
s	.....	stínící součinitel [-]



Obr. 61: Jeden výpočtový segmentu světlíku

Níže jsou uvedeny výpočtové hodnoty tepelné zátěže jedním světlíkem v Tab. 13, a poté výpočet tepelného zisku z prostupu slunečního záření jedním byl aplikován na všechny průsvitné plochy. V Tab. 14 jsou uvedeny výpočtové hodnoty oken dle jejich orientace ke světovým stranám. Z jednotlivých hodinových kroků pro všechny průsvitné konstrukce byla vytvořena suma a určeno hodinové maximum ve 12 h.

Tab. 13: Vstupní údaje pro výpočet tepelné zátěže solární radiací jedním segmentem světlíku

Výpočet tepelné zátěže solární radiací segmentem světlíku č.2			
Místo	Brno - Vienna Point		
zeměpisná šířka	$\phi =$	50	°
nadmožská výška	$H =$	0,228	km
Okno	$\alpha =$	30	sklon segmentu
	výška:	0,385	m
	šířka:	14,8	m

ostění a nadpraží	šířka rámu:	0 m
	c/d:	0 m
	s=	1 bez stínění
	orientace stěny	a _s = 187 °
Znečištění ovzduší		z= 5
		c ₀ = 0,85 pro městskou oblast
Den		21.7.
Solární konstanta		I _{sol} 1350 W/m ²

Tab. 14: Suma tepelného zisku jednotlivými částmi 1 světlíku

Segment	Časový úhel	Výška slunce	Azimut slunce	Úhel incidence	Intenzita sluneční radiace na vnějším povrchu okna	Poměrná propustnost polykarbonátu	Celková intenzita sluneční radiace procházející výplní	Osluněná plocha okna	Tepelný zisk radiací
č.	τ [°]	h [°]	a [°]	θ [°]	I _{out,celk} [W/m ²]	T ^M _{celk} [-]	I _{in} ^M [W/m ²]	S _{os} [m ²]	Q _{or} [W]
1	180	61,35	180	12,003	937,447	0,515	482,637	2,442	1001,81
2	180	61,35	180	3,683	951,314	0,521	495,435	5,698	2399,54
3	180	61,35	180	9,102	944,086	0,518	488,815	5,698	2367,48
4	180	61,35	180	18,759	915,062	0,505	461,716	5,698	2236,23
5	180	61,35	180	28,648	865,434	0,481	416,282	5,698	2016,18
6	180	61,35	180	38,591	796,710	0,447	356,465	5,698	1726,47
7	180	61,35	180	48,554	710,978	0,404	287,362	5,698	1391,78
8	180	61,35	180	58,528	610,842	0,352	214,807	5,698	1040,37
9	180	61,35	180	68,506	499,346	0,290	144,925	2,442	300,82
če1	180	61,35	180	86,650	278,790	0,157	43,769	2,397	89,18
če2	180	61,35	180	93,350	195,105	0,101	19,733	2,397	40,21
Celkové tepelné zisky solární radiací jedním světlíkem Q_{or} [W]:									14610,08

Tab. 15: Suma tepelného zisku okny

Orientace oken	Časový úhel	Výška slunce	Azimut slunce	Úhel incidence	Intenzita sluneční radiace na vnějším povrchu okna	Poměrná propustnost polykarbonátu	Celková intenzita sluneční radiace procházející výplní	Osluněná plocha okna	Tepelný zisk radiací
	τ [°]	h [°]	a [°]	θ [°]	I _{out,celk} [W/m ²]	T _{celk} ^M [-]	I _{in} ^M [W/m ²]	S _{os} [m ²]	Q _{or} [W]
V	180	61,352	180	86,650	278,790	0,157	43,769	142,507	5301,82
J	180	61,352	180	61,585	577,730	0,334	192,824	18,600	3048,55
S	180	61,352	180	118,415	103,835	0,137	14,251	37,200	450,61
Celkové tepelné zisky solární radiací okny Q_{or} [W]:									8800,99

Sluneční deklinace	Hodina	Časový úhel	Výška slunce	Azimut slunce	Úhel incidence	Intenzita přímé sluneční radiace	Intenzita difúzní sluneční radiace	Intenzita sluneční radiace na vnějším povrchu okna	Poměrná propustnost polykarbonátu	Celková intenzita sluneční radiace procházející výplní	Osluněná poloha okna	Tepelný zisk radiací
δ [°]	[h]	τ [°]	h [°]	a [°]	θ [°]	$I_{out,D}$ [W/m ²]	$I_{out,d}$ [W/m ²]	$I_{out,celk}$ [W/m ²]	T [-]	I_{in}^M [W/m ²]	S_{os} [m ²]	Q_{or} [W]
21,3523	1	15	-17,419	14,634	137,062	0,00	0,00	0,00	-	0,00	5,698	0,000
	2	30	-13,860	28,662	131,194	0,00	0,00	0,00	-	0,00	5,698	0,000
	3	45	-8,303	41,724	122,120	0,00	0,00	0,00	-	0,00	5,698	0,000
	4	60	-1,170	53,780	111,101	0,00	0,00	0,00	-	0,00	5,698	0,000
	5	75	7,121	65,042	98,931	-15,62	33,67	33,67	0,0520	1,75	5,698	8,477
	6	90	16,196	75,894	86,064	23,85	74,64	98,49	0,1617	15,93	5,698	77,147
	7	105	25,713	86,858	72,758	154,26	110,45	264,71	0,2615	69,21	5,698	335,204
	8	120	35,328	98,649	59,168	324,39	137,37	461,76	0,3480	160,68	5,698	778,238
	9	135	44,607	112,326	45,393	495,68	154,80	650,48	0,4189	272,50	5,698	1319,784
	10	150	52,880	129,497	31,498	640,78	164,20	804,98	0,4724	380,26	5,698	1841,690
	11	165	59,002	152,092	17,538	740,56	167,96	908,52	0,5068	460,42	5,698	2229,969
	12	180	61,352	180,000	3,683	783,09	168,23	951,31	0,5208	495,44	5,698	2399,542
	13	195	59,002	207,908	10,613	763,38	166,00	929,38	0,5164	479,89	5,698	2324,255
	14	210	52,880	230,503	24,576	683,43	160,80	844,23	0,4919	415,29	5,698	2011,389
	15	225	44,607	247,674	38,509	552,33	150,82	703,15	0,4477	314,83	5,698	1524,792
	16	240	35,328	261,351	52,351	386,61	133,77	520,38	0,3853	200,48	5,698	970,978
	17	255	25,713	266,858	62,931	236,83	106,87	343,70	0,3256	111,92	5,698	542,043
	18	270	16,196	284,106	79,505	63,28	73,54	136,83	0,2127	29,10	5,698	140,943
	19	285	7,121	294,958	92,614	-4,59	33,53	33,53	0,1074	3,60	5,698	17,448
	20	300	-1,170	306,220	105,172	0,00	0,00	0,00	-	0,00	5,698	0,000
	21	315	-8,303	318,276	116,836	0,00	0,00	0,00	-	0,00	5,698	0,000
	22	330	-13,860	331,338	127,003	0,00	0,00	0,00	-	0,00	5,698	0,000
	23	345	-17,419	345,366	134,645	0,00	0,00	0,00	-	0,00	5,698	0,000
	24	360	-18,648	360,000	138,342	0,00	0,00	0,00	-	0,00	5,698	0,000

Tab. 16: Výpočet pro segment světlíku č.2 v kroku jedné hodiny

2.1.2 Prostup tepla průsvitnými konstrukcemi konvekcí

Tepelný zisk průsvitnými konstrukcemi konvekcí představuje teplo, které se sdílí vedením z venkovního do vnitřního prostoru přes výplň otvoru.

$$Q_{ok} = S_{ok} \cdot U_o \cdot (t_e - t_i) \quad (38)$$

Q_{ok}	tepelné zisky průsvitnými konstrukcemi konvekcí [W]
S_{ok}	plocha průsvitné konstrukce [m ²]
U_o	součinitel prostupu tepla průsvitnou konstrukcí [W/m ² K]
t_e	korekce na čistotu atmosféry [-]
t_i	stínící součinitel [-]

Světlíky jsou zjednodušeně brány jako horizontální konstrukce. Konstrukce jsou dle typu počítány souhrnně.

Tab. 17: Tepelný zisk průsvitnými konstrukcemi konvekcí

Orientace	Osluněná plocha okna	Součinitel prostupu tepla průsvitnou konstrukcí	Teplota exteriéru	Teplota interiéru	Tepelný zisk konvekcí
	S_{os} [m ²]	U_o [W/m ² K]	t_e [°C]	t_i [°C]	Q_{ok} [W]
V	142,507	1,8	27,9	23	1256,912
J	18,600	1,8	27,9	23	164,052
S	37,200	1,8	27,9	23	328,104
H	396,515	2	27,9	23	3885,846
Celkové tepelné zisky konvekcí Q_{ok} [W]:					5634,914

Hodnoty součinitele prostupu udává výrobce a dle [2] jsou stejné jako v zimním období. Výpočet je proveden pro stejnou dobu, v kterou vznikají maximální tepelné zisky solární radiací.

2.1.3 Tepelné zisky obvodovými neprůsvitnými konstrukcemi

Obvodovou stěnu haly lze zatřídit jako stěnu středně těžkou dle vztahu (34) a je třeba respektovat ovlivnění prostupu tepla kolísáním teplot se zpožděním při prostupu

tepla konstrukcí. Velká vrata budou počítána jako stěny lehké dle (33). Stejně tak střecha je stěna středně těžká.

$$t_r = t_e + \varepsilon \cdot I_{out} / \alpha_e \quad (39)$$

$$Q_s = U \cdot S \cdot (t_r - t_i) \quad (40)$$

- t_r rovnocenná sluneční teplota vzduchu [°C]
 t_e teplota vzduchu exteriéru, pro typický letní den 30 °C
 ε součinitel poměrné pohltivosti pro sluneční radiaci [m²]
 I_{out} intenzita celkové sluneční radiace dopadající na povrch [W/m²]
 α_e amplituda kolísání teplot, 7 K
 Q_s tepelný zisk stěnou [W]
 U součinitel prostupu tepla [W/m²K]
 S plocha stěny [m²]
 t_i teplota interiéru [°C]

$$Q_s = U \cdot S \cdot [(t_{rm} - t_i) + m \cdot (t_{r\psi} - t_{rm})] \quad (41)$$

$$m \doteq \frac{1 + 7,6 \cdot \delta}{2500\delta} \quad (42)$$

$$\psi \doteq 32 \cdot \delta - 0,5 \quad (43)$$

- Q_s tepelný zisk stěnou [W]
 U součinitel prostupu tepla [W/m²K]
 S plocha stěny [m²]
 t_i teplota interiéru [°C]
 t_{rm} průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 h
 $t_{r\psi}$ rovnocenná sluneční teplota v době o ψ dřívější
 m součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu stěnou
 ψ časové zpoždění [h]
 δ odpovídá tloušťce stěny [m]

Vztahy (35) a (36) je možné mírně zpřesnit dle typu stěny použitím diagramu z [2].

Tab. 18: Tepelný zisk obvodovými lehkými a středně těžkými stěnami

Orientace	Typ konstrukce	Osluněná plocha okna	Součinitel prostupu tepla konstrukcí	Rovnocenná sluneční teplota ve 12h	Časové zpoždění [h]	Rovnocenná sluneční teplota v době o ψ dřívější	Součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu stěnou	Průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 h	Teplota interiéru	Tepelný zisk konvekce
		S [m ²]	U [W/m ² K]	t_r [°C]	ψ [h]	t_{re} [°C]	m [-]	t_{rm} [°C]	t_i [°C]	Q_{ok} [W]
V	stěna	496,458	0,185	-	2	45	0,9	29,7	23	1880,060
	sokl	40,920	0,19	-	11	16,9	0,2	29,7	23	32,188
	vrata, dveře	32,8	0,58	34,6	-	-	-	-	23	220,678
J	stěna	108,387	0,185	-	2	43	0,9	29,6	23	374,164
	sokl	5,058	0,19	-	11	16,9	0,2	29,6	23	3,902
	vrata, dveře	16,4	0,58	50,2	-	-	-	-	23	258,726
S	stěna	119,547	0,185	-	2	30,9	0,9	26,2	23	164,324
	sokl	8,778	0,19	-	11	16,9	0,2	26,2	23	2,235
	vrata, dveře	16,4	0,58	34,6	-	-	-	-	23	110,339
H	střecha	1992,060	0,17	-	6	25,1	0,8	33,6	23	1286,871
Celkové tepelné zisky Q_{ok} [W]:										4333,486

2.1.4 Tepelné zisky od vnitřních zdrojů

Tyto zisky vyplývají z jednotlivých vnitřních zdrojů tepla a jsou dány jejich součtem. Patří do ní produkce tepla lidí dle [2], svítidel, elektromotorů a vnitřních zařízení, produkce tepla ventilátory, produkce tepla od jídel a ohřátím vzduchu ve vzduchovodu před místnostmi, tepelný zisk z okolních místností s jinou teplotou i produkce tepla teplými povrchy, případně materiály.

Typ zdroje tepla	Q [W]
Produkce tepla lidmi:	$6,2 \cdot (36 - 23) \cdot 20 = 1612 \text{ W}$
Produkce tepla svítidly:	14173 W
Produkce tepla elektromotory:	5000 W

Dále jsou uvedeny tepelné zisky vnitřními stěnami. Tepelné zisky vzhledem k délce rozvodu a jeho izolaci tloušťky 100 mm budou zanedbány.

Tab. 19: Tepelné zisky vnitřními stěnami

Popis	Typ konstrukce	Plocha konstrukce	Součinitel prostupu tepla	Teplota přilehlých interiérů	Teplota interiéru	Tepelný zisk konvekcí
		S_{is} [m ²]	U [W/m ² K]	t_{si} [°C]	t_i [°C]	Q_{si} [W]
stěna mezi provozy	stěna	910,860	0,4	28	23	1821,720
	sokl	61,200	2,63	28	23	804,780
vestavba	stěna	160,210	0,4	28	23	320,420
	dveře	2,000	2,6	28	23	26,000
	sokl	16,890	2,63	28	23	222,104
	strop	148,800	0,4	28	23	297,600
Celkové tepelné zisky Q_s [W]:						3492,624

2.1.5 Celková tepelná zátěž

Tab. 20: Souhrn tepelných zátěží

Typ tepelné zátěže	značení	[W]
Tepelné zisky solární radiací všemi světlíky	Q_{or}	116881
Tepelné zisky solární radiací okny	Q_{or}	8801
Tepelný zisk průsvitnými konstrukcemi konvekcí	Q_{ok}	5635
Tepelné zisky obvodovými neprůsvitnými konstrukcemi	Q_{ok}	4333
Produkce tepla lidmi	Q_i	1612
Produkce tepla svítidly	Q_i	14173
Produkce tepla elektromotory	Q_i	5000
Tepelné zisky vnitřními stěnami	Q_s	3493
Celková tepelná zátěž Q [W]:		159 928

2.2 Vodní zisky

V daném provozu je produkována pouze vodní pára lidmi m_{w1} , která je závislá na činnosti člověka a určí se ze vztahu (37).

$$m_{w1} = n_1 \cdot g_w \quad (44)$$

- m_{w1} hmotnostní tok vodní páry
 n_1 počet osob
 g_w produkce vodní páry [g/h]

Tab. 21: Vodní zisky

Produkce vodní páry lidmi				
Činnost	t_i [°C]	n_1	g_w [g/h]	m_{w1} [g/h]
Stojící, lehká práce	23	20	116	2360
Celková produkce vodní páry od lidí m_{w1} [g/h]:				2360,00

2.3 Tepelné ztráty

Výpočet tepelných ztrát je realizován dle algoritmu z ČSN EN 12 831 Tepelné soustavy v budovách – výpočet tepelného výkonu.

Tab. 22: Tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí

Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_k	ΔU	U_{kc}	e_k	$A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$
SO1	Venkovní stěna	724,39	0,19	0,02	0,21	1,00	148,50
Sok1	Sokl venkovní stěny	54,76	0,19	0,02	0,21	1,00	11,50
Sch1	Střecha	1992,06	0,17	0,02	0,19	1,00	378,49
V1	Vrata	57,60	0,58	0,02	0,60	1,00	34,56
D1	Dveře	7,20	0,58	0,02	0,60	1,00	4,32
O1	Okna	198,31	1,80	0,02	1,82	1,00	360,92
SV1	Světlíky	396,51	2,00	0,05	2,05	1,00	812,86
Celková měrná tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí					$H_{t,ie} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$		1751,14

Tab. 23: Tepelná ztráta přímo z/do prostor s odlišnou teplotou

Stavební konstrukce						
Č.k.	Popis	A_k	U_k	t_{si}	f_{ij}	$A_k \cdot U_k \cdot f_{ij}$
SN1	Stěna mezi provozy	910,86	0,40	20,00	0,09	31,23
Sok2	Sokl obvodové stěny	61,20	2,63	20,00	0,09	13,80
SN2	Příčka vestavby	163,08	0,40	20,00	0,09	5,59
Sok3	Sokl vestavby	18,12	2,63	20,00	0,09	4,08
S2	Strop vestavby	148,80	0,40	20,00	0,09	5,10
Celková měrná tepelná ztráta přímo z/do prostor s odlišnou teplotou				$H_{t,iue} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot f_{ij}$		59,80

Tab. 24: Tepelná ztráta zeminou

Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	$U_{eqv,k}$	G_w	f_{g1}	f_{g2}	$A_k \cdot U_{eqv,k}$
P1	Podlaha	1875,90	0,20	1,00	1,45	0,55	383,25
Celková měrná tepelná ztráta zeminou				$H_{t,ig} = (\sum_k A_k \cdot U_{eqv,k}) \cdot f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$			308,03

Tab. 25: Celková měrná tepelná ztráta prostupem, návrhová ztráta prostupem

Celková měrná tepelná ztráta prostupem				2118,98
$\theta_{int, i}$	θ_e	$\theta_{int, i} - \theta_e$	$H_{T, i}$	Návrhová ztráta prostupem $\Phi_{T, i}$ [W]
23	-12	35	2118,975		74164,13

3 Aplikace zastínění na hale VP3

3.1 Vybraný materiál a tepelná zátěž solární radiací

Pro obloukové světlíky z vícekomorového polykarbonátu na hale VP3 bylo vybráno stínění materiálem Rašlet 82 % u kterého byl vyhodnocen nejlepší poměr účinnosti stínění a pořizovací ceny. Jak dokládají výsledky simulace na straně 68, dojde k výraznému snížení teploty vzduchu a radiační teploty k výraznému prostorovému zrovnoměrnění teplot v interiéru.

Výpočet tepelné zátěže solární radiací proběhne dle stejného algoritmu jako v odstavci 2.1.1 Tepelné zisky solární radiací průsvitnými konstrukcemi s přidáním součinitele stínění pro zvolený materiál.

Vstupní hodnota pro součinitel stínění Rašletu 82%, $s = 0,148$.

Tepelné zátěže před zastíněním pro návrhový den 21.7. činily 159 928 W.

3.2 Tepelná zátěž solární radiací po zastínění

Po instalaci zastínění na všech světlících nad provozem 1 na hale VP3 nastane snížení tepelné zátěže. Jak je doloženo výpočtem dle [1] v Tab. 26 a Tab. 27 na následující straně.

Tab. 26: Tepelná zátěž prostupem solární radiace jedním světlíkem, po instalaci Rašletu 82%

Segment	Hodina	Časový úhel	Výška slunce	Azimut slunce	Úhel incidence	Intenzita přímé sluneční radiace	Intenzita difúzní sluneční radiace	Intenzita sluneční radiace na vnějším povrchu okna	Poměrná propustnost polykarbonátu	Celková intenzita sluneční radiace procházející výplní	Osluněná plocha okna	Tepelný zisk radiací
č.	[h]	τ [°]	h [°]	a [°]	θ [°]	$I_{out,D}$ [W/m ²]	$I_{out,d}$ [W/m ²]	$I_{out,celk}$ [W/m ²]	T_{celk}^M [-]	I_{in}^M [W/m ²]	S_{os} [m ²]	Q_{or} [W]
1	12	180	61,35	180	12,003	767,89	169,56	937,45	0,515	482,637	2,442	148,27
2	12	180	61,35	180	3,683	783,09	168,23	951,31	0,521	495,435	5,698	355,13
3	12	180	61,35	180	9,102	775,17	168,92	944,09	0,518	488,815	5,698	350,39
4	12	180	61,35	180	18,759	743,35	171,71	915,06	0,505	461,716	5,698	330,96
5	12	180	61,35	180	28,648	688,95	176,49	865,43	0,481	416,282	5,698	298,39
6	12	180	61,35	180	38,591	613,61	183,10	796,71	0,447	356,465	5,698	255,52
7	12	180	61,35	180	48,554	519,63	191,35	710,98	0,404	287,362	5,698	205,98
8	12	180	61,35	180	58,528	409,86	200,98	610,84	0,352	214,807	5,698	153,98
9	12	180	61,35	180	68,506	287,64	211,71	499,35	0,290	144,925	2,442	44,52
če1	12	180	61,35	180	86,650	45,87	232,92	278,79	0,157	43,769	2,397	13,20
če2	12	180	61,35	180	93,350	0	236,948	236,948	0,101	23,965	2,397	7,23
Celkové tepelné zisky solární radiací jedním světlíkem po zastínění Q_{or} [W]:												2163,57

Tab. 27: Celková tepelná zátěž v provozu 1 při použití zastínění

Typ tepelné zátěže	značení	[W]
Teplené zisky solární radiací všemi světlíky	Q_{or}	17309
Teplené zisky solární radiací okny	Q_{or}	8801
Tepelný zisk průsvitnými konstrukcemi konvekcí	Q_{ok}	5635
Tepelné zisky obvodovými neprůsvitnými konstrukcemi	Q_{ok}	4333
Produkce tepla lidmi	Q_i	1612
Produkce tepla svítidly	Q_i	14173
Produkce tepla elektromotory	Q_i	5000
Tepelné zisky vnitřními stěnami	Q_s	3493
Celková tepelná zátěž Q [W]:		56456

Celková tepelná zátěž se po zastínění rašlovým úpletem 82 % sníží z 159 928 W na 56 456 W. Je tedy nižší o 103,5 kW.

3.3 Vyplyvající doporučení

Stínění haly musí být realizováno tak, aby nebylo bráněno užití požárně bezpečnostního zařízení pro odvod kouře a spalin, jímž jsou pneumaticky se vyklápějící části obloukových světlíků. Řešením je tuhá externí konstrukce ve tvaru stanu s výklopnými díly nebo kontaktní aplikace s bodovým zatížením o váze, kterou je schopen pneumatický systém bez problémů překonat.

Celková tepelná zátěž výpočtově poklesne na hodnotu, kterou je schopna současná vzduchotechnická jednotka pokrýt výkonem na chlazení 148 kW.

Vzhledem k umístění stávajícího odvodu vzduchu, mřížce umístěné přímo v konstrukci stropu, a k tomu, že teploty exteriéru často převyšují teplotu stanovenou, dle [3] pro Brno 29 °C, je nutné zmínit, že výkon, který vzduchotechnická jednotka skutečně potřebuje k chlazení, může být vyšší, než je výpočtem určená tepelná zátěž.

3.4 Předpokládaná úspora při užití stínění

Náklady na chlazení byly určeny dle současných zkušeností, trvání slunečního svitu v Brně dle ČHMÚ, tarifu poskytovaného majiteli areálu a průměrných hodnot tepelné zátěže solární radiací během návrhového dne.

Tab. 28: Energie potřebná k chlazení

Energie vynaložená na eliminaci tepelných zátěží vlivem prostupu solární radiace světlíky (polovina dubna až konec září)	
Před zastíněním	62,7 MWh
Po zastínění	10,3 MWh

Tab. 29: Náklady při užití rašletu 82%

Položka	Cena včetně DPH
Investiční náklady – Rašlet 82 -%	24 900 Kč
Náklady na energie před zastíněním	207 240 Kč
Náklady na energie po zastínění	30 920 Kč
Předpokládaná roční úspora	173 320 Kč

Návratnost takovéto investice je nižší než jeden měsíc.

3.5 Zhodnocení

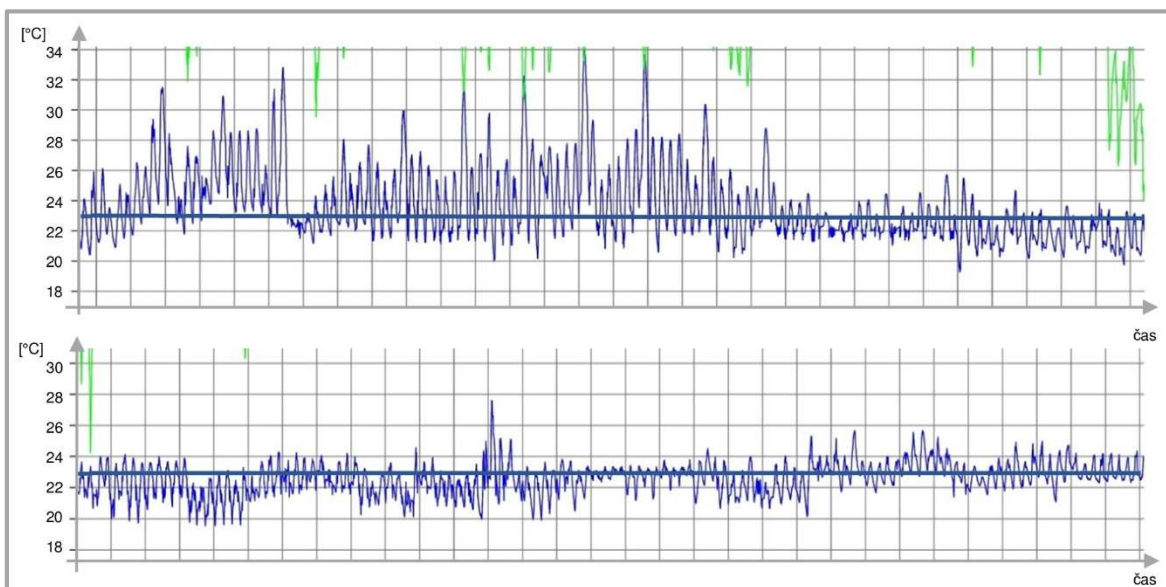
Na světlicích nad provozem 1 haly VP3 je již v současnosti naistalováno zastínění z rašlového úpletu 82%. Použité bodové zatížení nebrání pneumatickému otevření požárně - bezpečnostnímu výklopu, pro odvod spalin a kouře.



Obr. 62: Stínění světlíků provozu 1 na VP3 rašlovým úpletem.

Varianta řešení 1 s užitím rašlového úpletu 82% je vhodná pro snížení tepelných zátěže vznikající prostupem solární radiace světlíky.

Po instalaci zastínění došlo k výraznému časovému i prostorovému zrovnoměrnění teploty oproti původnímu stavu, jak dokládají měření z období 1.6.2014 až 30.9.2014. Níže na Obr. 63 je zobrazeno srovnání teplot pro stejné období 1.6. až 30.9. v roce 2013 původní stav před instalací zastínění) a v roce 2014 (po instalaci zastínění).



Obr. 63: Měření teploty na hale; 1.6. – 30.9. v roce 2013 – nahoře; 1.6.- 30.6. v roce 2014 – dole; [°C]; (pozn. jeden vyznačený díl časové osy odpovídá 4 dnům)

Je dodrženo požadované teplotní rozmezí $23^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ K}$ a teplotní výkyvy nyní nenarušují výrobu na hale.

Není upravována vlhkost vzduchu.

4 Návrh vzduchotechnické jednotky

4.1 Úvod k návrhu

Návrh klimatizace pro výrobní prostor provozu 1 na hale VP3 bude dále probíhat zejména s ohledem na technologie a s ohledem na dodržení parametrů prostředí, které se týkají oblasti s pobytem osob. Dle navrženého řešení 2 bude respektováno navýšení chladicího výkonu při zachování původního stavu bez stínění.

Na základě analýzy zadaného prostoru byly vypracovány dvě varianty návrhu centrální vzduchotechnické jednotky. **VZT jednotka 1** pro původně předpokládaný stav interního mikroklimatu na hale s velkou prostorou a časovou nerovnoměrností teplot a s dodržením parametrů pracovního prostředí.

Druhá varianta návrhu centrální vzduchotechnické jednotky byla vypracována po obdržení přímých hodnot měření teplot a vlhkostí ze zadaného provozu, kde není oproti původnímu předpokladu dodržena minimální vlhkost vzduchu 30 %. Návrh **VZT jednotky 2** zohledňuje i nutnost vlhčit vzduch a doplňuje rekuperaci.

Původní jednotka má zabudovaný přímý plynový ohřev vzduchu. Po konzultaci s firmou Remak a.s., je v obou variantách návrhu vzduchotechnických jednotek plynový ohřevač nahrazen vodním. U vodních ohřevačů je lepší regulovatelnost výkonu a byl by doplněn plynový kotel pro ohřev topné vody. Plynové ohřevače vzduchu také mají výrazně nižší životnost než ohřevač vodní s plynovým kotlem.

Pro možnost využít napojení na současné kondenzačních jednotky pro VZT a jejich doplnění na požadovaný chladicí výkon, je voleno chladivo R407c.

4.2 Distribuce vzduchu

V průmyslovém objektu je možné navrhnout rychlost proudění vzduchu v potrubní síti na velikost 6 až $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Stávající přívodní vzduchotechnické potrubí je vedeno pod střechou podél boční dělicí stěny. Distribučními prvky jsou dýzy Duk-400. Odvod vzduchu je realizován jednou odvodní mřížkou uprostřed střechy haly.

Je uvažováno s připojením nové jednotky na stávající potrubní síť a byla posouzena tlaková ztráta potrubí pro návrh jednotek. Potrubí je osazeno tlumiči hluku a není

předpokládáno překročení ekvivalentní hladiny akustického tlaku 70 dB, pro pracoviště, kde hluk nevzniká pracovní činností, dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb.

4.3 Vstupní hodnoty

Při návrhu je vycházeno z výpočtu tepelně-vlhkostních bilancí, vypočítané tlakové ztráty potrubí a údajů poskytnutých nájemcem haly k provozu.

Vzhledem k umístění stávajícího odvodu vzduchu a k faktu, že teploty exteriéru často převyšují teplotu 29 °C, je pro zajištění vyhovujících parametrů vnitřního mikroklimatu pro technologii vhodné předpokládat vyšší chladicí výkon na stranu bezpečnou.

VZT jednotka 1: Jednotka pro venkovní (nástřešní) umístění

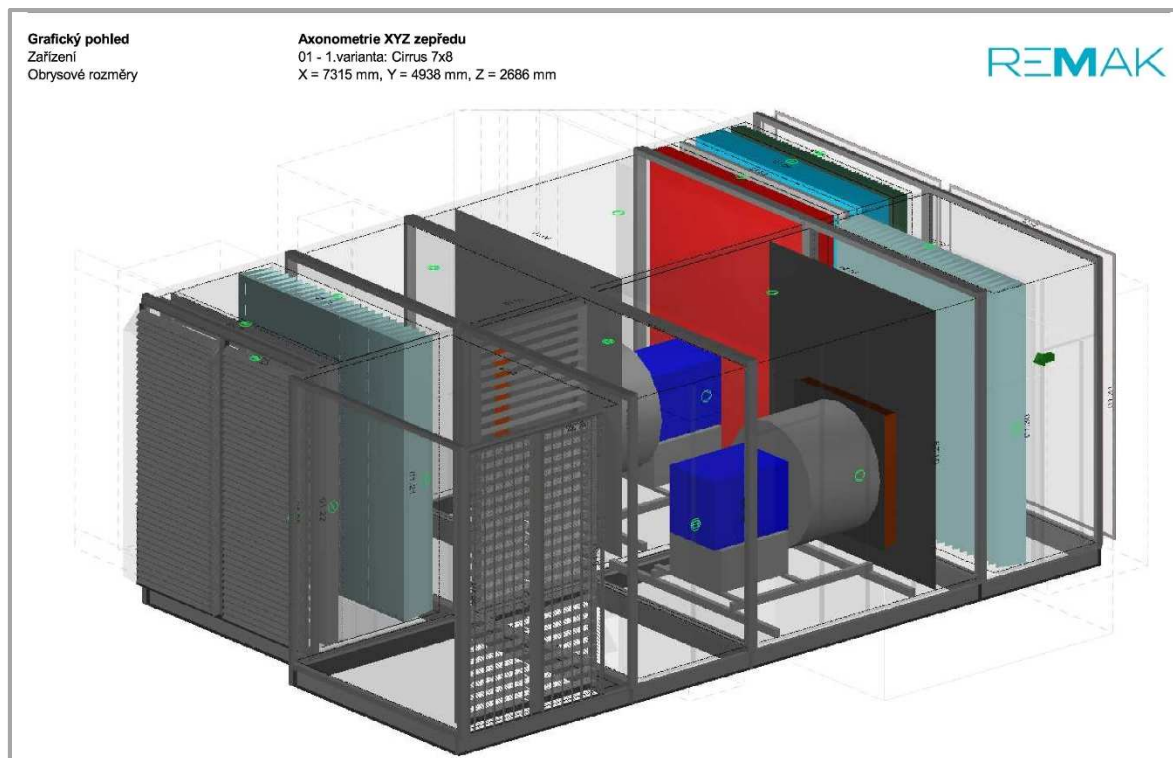
Tab. 30: Vstupní údaje pro jednotku

Vzduch	Parametr	Léto	Zima
Odváděný z místnosti	Teplota	24 °C	22 °C
	Relativní vlhkost	65 %	30 %
Přiváděný do místnosti	Teplota	21 °C	23 °C
	Přívod	Odvod	
Průtok vzduchu	59 406 m ³ /h	58 000 m ³ /h	
Tlaková ztráta potrubí	394 Pa	103 Pa	
Oblast návrhu:	Brno		
Tepelná zátěž v létě:	200kW		
Tepelné ztráty v zimě:	74,2 kW		
Nutný průtok čerstvého vzduchu:	8911 m ³ /h		
Vodní zisky:	0,7 g/s		
Teplota interiéru pro léto i zimu:	23 °C		
Požadované typy komponentů:	filtr-přívod F5/ odvod G4, plynový ohříváč, vodní chladič (chladiivo R407c), samostatná směšovací komora; MaR včetně		

VZT jednotka 2: viz varianta 1, požadováno: bez směšování, deskový rekuperátor a parní vlhčení (pro zimu relativní vlhkost přívodního vzduchu 50%)

4.4 VZT jednotka 1

Vstupní hodnoty jsou uvedeny výše. Jednotka odpovídající zadaným parametrům od firmy Remak a.s.:

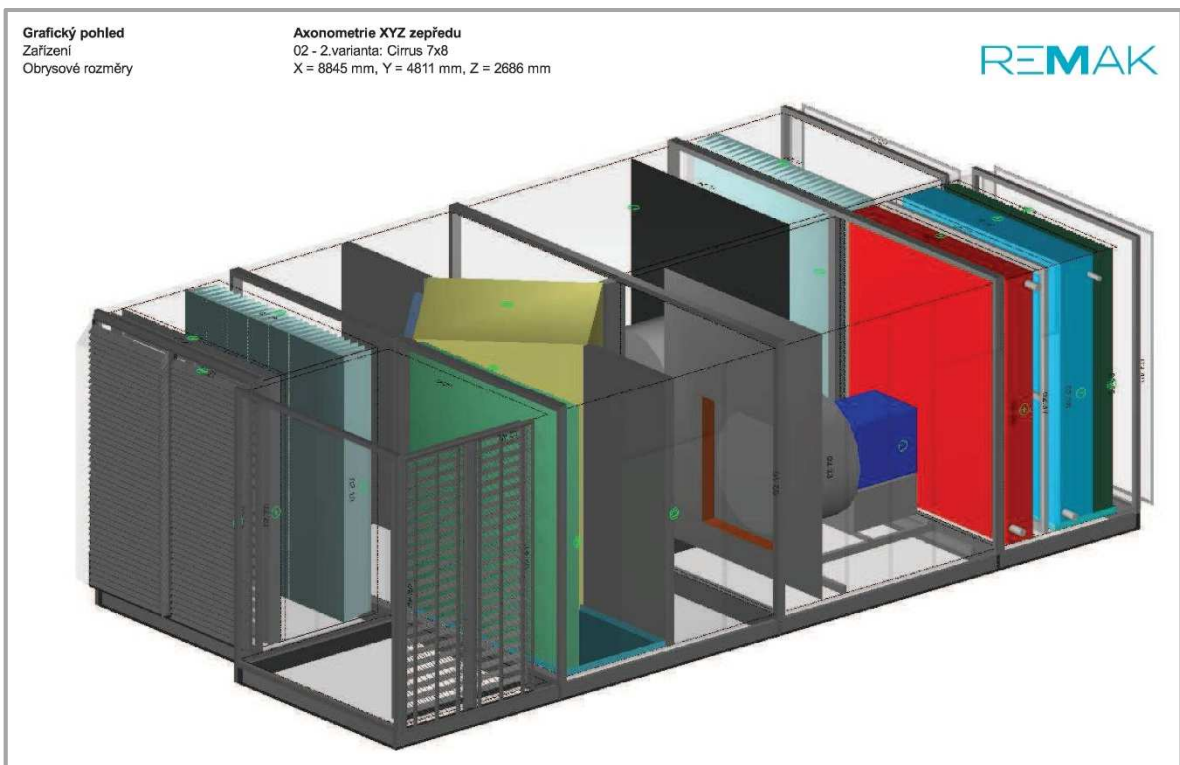


Obr. 64: Axonometrické zobrazení jednotky AeroMaster Cirrus 7x8, 1. varianta

V přílohách je uvedena stručná technická zpráva týkající se realizace instalace této jednotky dílčí klimatizace. Je přiložena sestava navržené jednotky.

4.5 VZT jednotka 2

Vstupní hodnoty obdobně uvedeny výše. Přidán byl požadavek na vlhčení vzduchu a deskový rekuperační výměník. Zpracováno je parní vlhčení přívodního vzduchu přímo v jednotce a jednotka vzhledem k odvodu kondenzátu není vhodná pro umístění do venkovního prostoru,



Obr. 65: Axonometrické zobrazení jednotky AeroMaster Cirrus 7x8, 2. varianta

Tato varianta by vyžadovala stavební úpravy v objektu pro umístění jednotky a vyvíječe páry. Sestava navržené jednotky je zařazena v přílohách.

5 Hodnocení navržených řešení pro VP3

5.1 Pořizovací náklady

Zde jsou ukázány náklady na jednotlivé ucelené varianty navržených řešení. Varianta řešení 1 obsahuje externí zastínění světlíků alternativním materiálem: Rašlet 82%.

Varianta řešení 2a odpovídá nové VZT jednotce č. 1 pro venkovní použití s dostatečným výkonem na chlazení. Obsahuje doplnění chladicího výkonu přidaným kondenzátorem.

Varianta řešení 2b obsahuje novou vzduchotechnickou jednotku pro vnitřní použití s deskovým rekuperátorem a parním zvlhčovačem. Její součástí je také vyvíječ páry.

Tab. 31: Pořizovací náklady pro jednotlivé varianty řešení

Varianta řešení		Pořizovací náklady (zařízení, montáž)
1	Zastínění světlíků – Rašlet 82%	24 900 Kč
2a	Nová vzduchotechnická jednotka č.1, včetně doplněné kondenzační jednotky	2 117 199 Kč
2b	Nová vzduchotechnická jednotka č.2, včetně vyvíječe páry se servisní sekcí a doplněnou kondenzační jednotku	4 762 327 Kč

5.1 Výsledná doporučení

Realizace prvního navrženého řešení, zastínění halových světlíků, pomohla zrovnoměnit teplotní mikroklima v zadaném prostoru. Vzhledem k nízké relativní vlhkosti vzduchu v některých obdobích roku nejsou dodrženy hygienické požadavky na interní mikroklima pracovního prostředí. Řešení 1 nemůže tedy, v souvislosti s tepelně-vlhkostním komfortem pro osoby, být považováno za komplexní.

Vzhledem k ekonomické a stavební náročnosti realizace vlhčení vzduchu přímo v jednotce, by bylo vhodné pro vlhčení vzduchu zvážit a případně podrobněji posoudit, umístění zvlhčování v přírodním vzduchotechnickém potrubí se zajištěním stavebních změn pro instalaci vyvíječe páry. Vyvíječ páry je nutné umístit v interiéru.

Stav oděrového mikroklimatu by měl být podrobněji vyhodnocen.

Při zachování současného rozvodu nedochází na základě provedených simulací u dělící stěny k plnému provětrání prostoru. Měla by být zvážena možnost doplnění potrubí pro odvod vzduchu pro zlepšení provětrání haly. Tato možnost by mohla mít vliv na další snížení energetické náročnosti chlazení. V návaznosti na známá řešení z praxe, by mělo být plně vyhovující realizovat odvodní potrubí při stejné stěně, jako je přívod, ve výšce ca 2,5 m od země, s orientací výustí směrem k podlaze. Pro nasávání vzduchu je možné použít mřížek vsazeným přímo v otvorech potrubí.

Pro snížení energetické náročnosti chlazení a větrání v letním období slouží často noční otevření světlíků. Je tím zajištěno provětrání prostoru čerstvým vzduchem a přirozené chlazení. Při realizaci jiného, než navrženého řešení stínění, by měla být i tato možnost uvážena.

Závěr

V souladu se stanovenými cíli práce byl pro první variantu řešení navržen k zastínění světlíků haly VP3 Rašlet 82 %. U druhé varianty, která pracovala s využitím strojního řešení chlazení, byla možnost posílení chladicího výkonu vzduchotechnické jednotky shledána jako neekonomická.

V práci byla stanovena celková poměrná propustnost pro globální sluneční radiaci i světelnou složku slunečního záření pro sedm typů vícekomorových polykarbonátů. Zároveň bylo zjištěno, že standardní zasklení odpovídá jednoduchému sklu o tloušťce 4 mm. Tato hodnota není v normě ČSN 73 0548 uvedena.

Z vyhodnocení experimentálního měření vyplynulo, že některé hodnoty stínění udávané výrobcí neodpovídají realitě. Určení stínicího součinitele pro velké množství materiálů může posloužit pro výpočty projektantů při návrhu stínících systémů a zpřesnit výpočet tepelných zátěží.

Simulační řešení vykazuje po instalaci vybraného zastínění výrazné prostorové zrovnoměrnění teploty. Stíněním dochází ke snížení tepelné zátěže solární radiací na úroveň, kdy je současná vzduchotechnická jednotka schopna udržet teplotu v požadovaném rozmezí, a jsou tím zajištěny podmínky pro nepřerušovanou výrobu. Časové zrovnoměrnění teploty v letním období po instalaci externího zastínění bylo prokázáno dlouhodobým měřením teplot v provozu 1 haly VP3. Prvotního cíle diplomové práce bylo zrovnoměrnění teploty na hale dosaženo za minimálních ekonomických nákladů.

Po provedené analýze bylo zjištěno, že bez strojního vlhčení není možné zajistit v zadaném prostoru relativní vlhkost stanovenou pro pobyt osob. Realizaci vlhčení přírodního vzduchu, stejně jako realizaci odvodu vzduchu do exteriéru, by bylo vhodné pro zadaný prostor dále posoudit.

Literatura

- [1] ČSN 73 0548. *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů*. Praha 10, Hostivař: VYDAVATELSTVÍ ÚNM, 1981.
- [2] CHYSKÝ, Jaroslav. *Větrání a klimatizace*. Vyd. 3., zcela přeprac. Praha: Česká Matica technická, 1993, 490 s. ISBN 80-901-5740-8.
- [3] HIRŠ, Jiří. *Vzduchotechnika v příkladech*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 230 s. ISBN 80-720-4486-9.
- [4] GEBAUER, Günter. *Vzduchotechnika*. Brno: Era, 2005, xviii, 262 s. ISBN 80-736-6027-X.
- [5] Puškáš, J: *Slnko v urbanizme a architektúre*, Alfa Bratislava 1992; ČSN 730581
- [6] Nařízení vlády: kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění nařízení vlády č. 68/2010 Sb. In: 93/2012. 2012. Dostupné z: <file:///C:/Users/Mia/Downloads/sb0037-2012-93-2012.pdf>
- [7] NEJISTOTY MĚŘENÍ. In: HLAVÁČ, Vladimír. *ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Technická měření* [online]. 1997 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/cz/u12110/tem/nejistoty/nejistoty1.pdf>
- [8] Nejistota měření - postup stanovení. In: *VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební* [online]. 2010 [cit. 2015-01-09]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=nejistota_postup
- [9] SCHOVÁNEK, Petr a Vítězslav HAVRÁNEK. *Chyby a nejistoty měření: doplňující text k laboratornímu cvičení*. 2012. Dostupné z: <http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/pext2-nejistoty.pdf>
- [10] VAVERKA, Jiří. *Stavební fyzika*. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 80-214-1649-1.
- [11] AMBROŽOVÁ, Iva a Petr HORÁK. Stanovení tepelných zisků zasklení ze slunečního záření v energetickém hodnocení budov. In: *Portál TZB-info*[online]. [cit. 2014-03-18]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/8972-stanoveni-tepelnych-zisku-zaskleni-ze-slunecniho-zareni-v-energetickem-hodnoceni-budov>

- [12] ČSN 73 0580-4. *Denní osvětlení budov. Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov*. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1994.
- [13] Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov. In: 36/2013. 2013.
- [14] ČSN EN ISO 7730. *Ergonomie tepelného prostředí - Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu*. ČR: Český normalizační institut, 2006
- [15] Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby. In: 268 / 2009. 2009.
- [16] MAUTHAUSEROVÁ, Zuzana. Hygienické požadavky na vnitřní prostředí staveb. In: *TZB-info* [online]. 2001-2014 [cit. 2014-12-17]. ISSN ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/9595-hygienicke-pozadavky-na-vnitri-prostredi-staveb>
- [17] Plánování a řízení zdrojů: Pracovní prostředí. In: *Krajská hospodářská komora Královéhradeckého kraje* [online]. 2008 [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: <http://www.komora-khk.cz/business/documents/?soubor=moduly/5-jakost/07-planovani-a-rizeni-zdroju/07-03-prostredi.pdf>
- [18] RUBINOVÁ, Olga a Aleš RUBINA. 100 1 příklad z technického prostředí. V Tribunu vyd. 1. Brno: Tribun EU, 2011. ISBN 978-80-7399-265-1.
- [19] James Robertshaw. [Http://www.jamesrobertshaw.co.uk/](http://www.jamesrobertshaw.co.uk/) [online]. 2014 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://www.jamesrobertshaw.co.uk/blog/commercial/2011/06/what-is-solar-gain/>
- [20] Testo AG [online]. 2013 [cit. 2014-10-13]. Dostupné z: <http://www.testo.cz/pristroje-detailne/0635+0545/Sonda-pro-mereni-intenzity-osvetleni>
- [21] Lux-/Hz-probe 0635 0545 en: Application information. In: *Testo A.G.* [online]. 2014 [cit. 2015-01-11]. Dostupné z: http://www.testo.com.au/resources/media/global_media/probes/lux_hz/Lux_Hz_probe_AI_0973_0511_01.pdf
- [22] *Enki o.p.s.* [online]. 2012 [cit. 2014-10-13]. Dostupné z: <http://www.enki.cz/cs/cinnost/solarni-energetika/opticke-rastry>
- [23] JIRKA, Vladimír, Jozef KOREČKO, Jiří ČÁP a Bořivoj ŠOUREK. Optické rastry ze skla ve stavebnictví a architektuře Zdroj: <http://www.tzb-info.cz/1954-opticke-rastry-ze-skla-ve-stavebnictvi-a-architekture>. In: *TZB-info* [online]. 2001-

2014 [cit. 2014-10-13]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1954-opticke-rastry-ze-skla-ve-stavebnictvi-a-architekture>

- [24] KOZUBKOVÁ, Milada. VŠB. *Modelování proudění tekutin: FLUENT, CFX* [online]. Ostrava, 2008 [cit. 2015-01-08]. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/PDF/Kozubkova-Fluent.pdf>
- [25] HŮLKA, Ctibor a Pavel ŠTAJNRT. Návrh horního osvětlení hal. In: *DEK, a.s.* [online]. 2014 [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: <http://atelier-dek.cz/navrh-horniho-osvetleni-hal-231>
- [26] KOTRBATÝ, Miroslav a Zuzana KOVÁŘOVÁ. Inteligentní průmyslové haly - část 1. In: *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2001-2014 [cit. 2014-12-18]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/inteligentni-budovy/6136-inteligentni-prumyslove-haly-cast-1>
- [27] Vytápění průmyslových a velkoprostorových objektů (III): Komplexní pohled na vytápění průmyslových hal v soustavách CZT Zdroj: <http://www.tzb-info.cz/3152-vytapeni-prumyslovych-a-velkoprostorovych-objektu-iii>. In: *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2001- [cit. 2014-12-23]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3152-vytapeni-prumyslovych-a-velkoprostorovych-objektu>
- [28] LEŽOVIČ, Tomáš. *Větrání a vytápění průmyslových hal*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Vladimír Krejčí, Ph.D.
- [29] PETRÁŠ, Dušan. *Vytápění velkoprostorových a halových objektů*. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2006, 205 s. ISBN 80-807-6040-3.
- [30] BEDNÁŘ, Jan. *Pozoruhodné jevy v atmosféře*. Praha: Academia, 1989, 236 s. ISBN 80-200-0054-2.
- [31] ULBRICHOVÁ, Iva. Sluneční záření. In: *Fakulta lesnická a environmentální, Česká zemědělská univerzita v Praze* [online]. 2007 [cit. 2015-01-07]. Dostupné z: http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta_EKOL/lesazareni/slunecnizareni.htm
- [32] Computational fluid dynamics. In: *Wikipedia: The Free Encyclopedia* [online]. 2001 [cit. 2015-01-08]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Computational_fluid_dynamics
- [33] CHUNG, T. *Computational fluid dynamics*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2010, xxii, 1034 s. ISBN 978-0-521-76969-3.

Zdroje obrázků:

- [34] NÁTĚRY GROUP. *Ostatni_natery5* [fotografie]. 2004-2014 [cit. 20.12.2014]. Dostupné z: http://www.natery.cz/galerie/ostatni_natery5.jpg
- [35] VEDAG. *Priklady liniovych svetliku* [fotografie]. 1999 [cit. 29.9.2014]. Dostupné z: <http://svetliky.icopal.cz/uploads/images/priklady%20liniovych%20svetliku%20res2.jpg>
- [36] SVOBODA SKLENÁŘSTVÍ. *Dratene sklo* [fotografie]. 2009 [cit. 29.9.2014]. Dostupné z: <http://www.sklo-svoboda.cz/Images/Products/31.jpg>
- [37] PLAST PARTNER. *Dutinkovy polykarbonat* [fotografie]. 2010 [cit. 20.12.2014]. Dostupné z: http://www.pergoly-zastreseni.cz/upload/products/1/thumb_200x200_4d12157823145.jpeg
- [38] KIPP & ZONEN. *Shadow ring* [fotografie]. 2013 [cit. 29.9.2014]. Dostupné z: http://www.kippzonen.com/Data/uploads/resized/product/resized_244_12_Accessories_11_CM121_Shadow_Ring_01_CM121B.jpg
- [39] PELZ. *Heatshield_3* [fotografie]. 2008 [cit. 21.12.2014]. Dostupné z: http://www.pelz.cz/old/images/heatshield_3.jpg
- [40] ARS ÚSTÍ SPOL. *Svetliky 01* [fotografie]. 2014 [cit. 21.12.2014]. Dostupné z: <http://www.ars-usti.cz/userfiles/svetliky/01.jpg>
- [41] STÍNĚNÍ KURTH. *Xxl rolety 9* [fotografie]. 2012-2014 [cit. 20.12.2014]. Dostupné z: http://www.stinenikurth.cz/wp-content/uploads/xxl_rolety_9.jpg
- [42] PELZ. *IMG_0480* [fotografie]. 2008 [cit. 20.12.2014]. Dostupné z: http://www.pelz.cz/old/images/reference/thumb_1254817703IMG_0480_zk.jpg
- [43] ALARIS. *TX_1_1* [fotografie]. 2014 [cit. 20.12.2014]. Dostupné z: http://www.alaris.cz/data/images/tx11_1_tn.jpg
- [44] PRUNIWERK. *Detail 124* [fotografie]. 2012-2014 [cit. 20.12.2014]. Dostupné z: <http://www.pruniwerk.cz/katalog-obrazku/clanek-1/detail-124-ofirme.jpg>
- [45] KAREL HÁJEK. *Stinovky* [fotografie]. 2011 [cit. 20.12.2014]. Dostupné z: http://rakos.kvalitne.cz/wp-content/uploads/stinovky_1.jpg
- [46] BUILDING INDUSTRY COUNCIL. *Solar Heat Gain Coefficient* [fotografie]. 2012 [cit. 29.3.2014]. Dostupné z:

<http://buildingindustry.org/web/bundles/brainforcefrontend/images/uploads/posts/original/images/51/Investigations/d568475bea1fe7fef702a1b4729448f0.jpg>

- [47] KLIMAK. *MAGNA, Devínska nová ves* [fotografie]. 2014 [cit. 23.12.2014]. Dostupné z: <http://klimakslovakia.com/wp-content/uploads/P1040881.jpg>
- [48] TEMEX. *Vzduchotechnika pro halu s rychlokovacím strojem 3/8* [fotografie]. 2008 [cit. 23.12.2014]. Dostupné z: <http://www.temex.cz/katalog-obrazku/produkt-391/detail-vzduchotechnika-pro-rychlokovaci-stroj-1345.jpg>
- [49] HOVAL. *RoofVent: Příručka pro projektanty*. 2007. Dostupné z: <http://www.hoval.cz/produkty/roofvent/>
- [50] SORKE. *Sortiment* [fotografie]. 2010 [cit. 23.12.2014]. Dostupné z: <http://img.firmy.cz/photo/full/201202/2911/1d/4f4e08ae1d0b371aa5480000?v=1>
- [51] MULTI-VAC. *Průmyslové clony INDESSE Industry* [fotografie]. 2014 [cit. 23.12.2014]. Dostupné z: http://www.multivac.cz/editor/image/produkty1_galerie/tn_zoom_obrazek_38.jpg
- [52] RODA. *Obr. 1* [fotografie]. 2007 [cit. 23.12.2014]. Dostupné z: <http://www.roda.cz/obrazky/obr1.jpg>
- [53] KOTRBATÝ, Miroslav. *Vytápění výrobní haly teplovzdušnými plynovými jednotkami* [fotografie]. 2006 [cit. 23.12.2014]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/docu/clanky/0030/003000o6.jpg>
- [54] KOTRBATÝ. *03-10-KM-O-01-0000* [fotografie]. 2007-2009 [cit. 23.12.2014]. Dostupné z: <http://kotrbaty.cz/data/image/Vyrobky/03-10-KM/03-10-KM-O-01-0000.jpg>
- [55] STINE, William B. a Michael GEYER. *Figure 4.1 A fixed aperture with its orientation defined by the tilt angle and the aperture azimuth angle . The aperture normal N and sun position vector S are also shown.* [Fotografie]. 2001 [cit. 6.1.2013]. Dostupné z: <http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter04/Image150.jpg>
- [56] ACTUAL-SIZE ARCHITECTURE. *Bogan2* [Fotografie]. 2009-2013 [cit. 7.1.2015]. Dostupné z: <http://www.actual-size.com/portfolio/bogan/bogan2.jpg>
- [57] ITACA. *Figure 2.6: The extraterrestrial solar spectrum (AM = 0), the theoretical black body curve and the solar spectrum at the Earth's surface for AM = 2 and the absorbed regions shown in black.* [Fotografie]. 2005 [cit. 7.1.2015]. Dostupné z: <http://www.itacanet.org/wp-content/uploads/2011/05/spec-600x428.png>
- [58] ENERGY SAVING SOLAR. *Shutterstock_75283087x2* [fotografie]. 2014 [cit. 12.1.2014]. Dostupné z: http://www.energysavingsolar.co.uk/wp-content/uploads/2014/04/shutterstock_75283087x2.jpg
- [59] ESKO BRNO S.R.O. *Měření na hale VP3* [Graf]. 2013 [cit. 20.11.2014].

Seznam vybraných použitých symbolů

A	.....	amplituda kolísání teplot venkovního vzduchu [K]
a	.....	sluneční azimut [°]
c_o	.....	korekce na čistotu atmosféry [-]
h	.....	výška slunce nad obzorem [°]
I	.....	intenzita sluneční radiace [W/m ²]
I_o	.....	sluneční konstanta, v ČSN, $I_o = 1350$ [W/m ² K]
I_{sol}	.....	sluneční konstanta, $I_{sol} = 1350$ [W/m ² K]
I_d	.....	intenzita difúzní sluneční radiace [W/m ² K]
I_D	.....	intenzita přímé sluneční radiace [W/m ² K]
I_o	.....	celková intenzita procházející přes jednoduché zasklení, v ČSN, [W/m ² K]
I_{in}^{SG}	.....	celková intenzita procházející přes jednoduché zasklení [W/m ² K]
I_{in}^M	.....	celková intenzita procházející přes Makrolon [W/m ² K]
I_{out}	.....	celková intenzita sluneční radiace dopadající na plochu [W/m ² K]
M	.....	číslo měsíce [-]
M	.....	hmotnost [kg]
m	.....	součinitel zmenšení teplotního kolísání [-]
n	.....	počet [-]
P	.....	elektrický příkon [W]
Q	.....	tepelný tok (tepelný výkon) [W]
s	.....	stínící součinitel [-]
S	.....	plocha [m ²]
S_o	.....	plocha zastíněné části okna [m ²]
S_{os}	.....	plocha osluněné části okna [m ²]
t	.....	teplota [°C]
T	.....	poměrná propustnost sluneční radiace [-]
U	.....	součinitel prostupu tepla [W/m ² K]
z	.....	součinitel znečištění atmosféry [-]
α	.....	úhel stěny s vodorovnou rovinou [°]
ε	.....	součinitel poměrné tepelné pohltivosti pro sluneční radiaci [-]
δ	.....	sluneční deklinace [°]
γ	.....	azimutový úhel normály stěny [°]
τ	.....	sluneční čas [h]

ψ	.....	fázové posunutí teplotních kmitů [-]
θ	.....	úhel mezi normálou povrchu a směrem slunečních paprsků, úhel incidence [°]

Indexy:

e	.....	exteriér, vnější
i	.....	interiér, vnitřní
d	.....	difúzní sluneční záření
D	.....	přímé sluneční záření
SG	.....	jednoduché zasklení
o	.....	okno
os	.....	osluněné okno
in	.....	procházejí přes materiál, vnitřní
out	.....	dopadající na plochu, venkovní
M	.....	Makrolon

Seznam svázaných příloh:

- 1. Údaje k měřicím přístrojům**
 - 1.1. Ústředna Almemo 2890-9**
 - 1.2. Ústředna Testo 435-4**
 - 1.3. Ústředna Testo 480**
 - 1.4. Sonda Lux, Testo**
 - 1.5. Pyranometry FLA628S**
- 2. Údaje výrobců k měřeným materiálům**
- 3. Výsledky experimentálního měření**
 - 3.1. Hodnoty z měření poměrné propustnosti**
 - 3.2. Hodnoty z měření součinitele stínění**
- 4. Specifikace navržených VZT jednotek**
- 5. Stručná technická zpráva**

Seznam volných příloh:

Výkresová dokumentace haly VP3 – Provoz 1:

01 PŮDORYS 1.NP ±0,000

02 PŮDORYS 2.NP +3,000

03 PŮDORYS STŘECHY

04 ŘEZ 1-1

05 POHLEDY

06 VZT+CHL - PŮDORYS