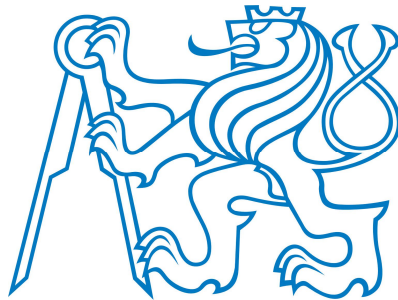


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ ADMINISTRATIVNÍ
BUDOVY S NÁVRHEM
VZDUCHOTECHNICKÉHO SYSTÉMU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval:

Bc. Pavel Málek

Vedoucí práce:

Ing. Miroslav Urban, Ph.D.

2018/2019



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Málek Jméno: Pavel Osobní číslo: 423743
Zadávací katedra: K125 - Katedra technických zařízení budov
Studijní program: Budovy a prostředí
Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vnitřní prostředí administrativní budovy s návrhem vzduchotechnického systému

Název diplomové práce anglicky: Indoor environment quality in an office building with design of ventilation system

Pokyny pro vypracování:

Diplomová práce bude obsahovat tyto jednotlivé části:

1. Rešeršní část v rozsahu: identifikace legislativních požadavků na pracovní prostředí, identifikace způsobu úpravy tepelného komfortu v prosotoru kanceláří, požadavky na tepelný komfort, hodnocení způsobů úpravy tepelného komfortu pomocí simulačního SW DesignBuilder.
2. Projektová část v rozsahu: na základě závěrů rešeršní části bude zpracovaný prováděcí projekt vzduchotechniky na vybranou kancelářskou budovu.

Seznam doporučené literatury:

Chyský, Hemzal - Větrání a klimatizace-technický průvodce

Günter Gebauer, Helena Horká a Olga Rubinová - Vzduchotechnika

ČSN EN ISO 7730

ČSN EN 15251

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Miroslav Urban, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 18.2.2019 Termín odevzdání diplomové práce: 19. 5. 2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

18.2.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Pavel Málek

Název diplomové práce: Vnitřní prostředí administrativní budovy s návrhem
vzduchotechnického systému

Základní část: projekt VZT podíl: 100 %

Formulace úkolů: Koncept vzduchotechnického systému

Návrh vzduchotechnického systému v programu Revit - vytvoření výkresové dokumentace,
seznámení se s výpočty v programu Revit

Textová část:

Legislativa zahrnující vnitřní podmínky pro pracovní prostředí

Rozbor jednotlivých prvků pro distribuci chladu

Analýza vhodného distribučního prvku pro chlazení objektu - modelování CFD v programu
DesignBuilder

Podpis vedoucího DP: ..

Datum: 18. 2. 2019

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta:

Datum:

3. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta:

Datum:

4. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta:

Datum:

Poznámka:

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

Praha, 19. 5. 2019

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Miroslavu Urbanovi, Ph.D. za odborné vedení, poskytnutí materiálů a podnětné rady.

Dále bych chtěl poděkovat firmě TechOrg, s.r.o. za konzultace a poskytnutí podkladů k praktické části.

Obrovské poděkování patří především rodičům a celé rodině a přátelům za podporu a trpělivost při celém studiu.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Teoretická část	1
2.1	Vnitřní prostředí budov	1
2.2	Požadavky na vnitřní prostředí	2
2.3	Klasifikace vnitřního prostředí	3
2.3.1	Předpověď středního tepelného pocitu (PMV)	4
2.3.2	Předpověď procentuálního podílu nespokojených (PPD).....	5
2.3.3	Místní tepelný diskomfort.....	6
2.3.3.1	Průvan	6
2.3.3.2	Vertikální rozdíly teploty vzduchu	6
2.3.3.3	Teplá a chladná podlaha.....	7
2.3.3.4	Asymetrická radiace	8
2.3.4	Kategorie tepelného prostředí	9
2.4	Doporučené parametry	10
2.5	Faktory ovlivňující návrh chlazení.....	11
3	Projektová část.....	12
3.1	Možnosti distribuce chladu.....	12
3.1.1	Indukční jednotky.....	12
3.1.2	Ventilátorový konvektor.....	13
3.1.2.1	Štěrbiny	14
3.1.2.2	Anemostaty	16
3.1.3	Chladicí trámy	17
3.1.3.1	Pasivní trámy.....	18
3.1.3.2	Aktivní trámy	18
3.1.4	Sálavé systémy	19
3.2	Popis objektu.....	21
3.3	Předpoklad nejvhodnějšího systému	21
3.3.1	Chladicí trámce	23
3.3.2	Sálavé stropy	24
3.4	Návrhy systémů a okrajové podmínky pro výpočet v CFD	24
3.4.1	Návrh indukčních parapetních jednotek	26
3.4.2	Návrh kanálových jednotek	27
3.4.2.1	Anemostat	28
3.4.2.2	Štěrbinová výústka	29
3.4.3	Návrh chladicích trámů.....	31
3.4.4	Návrh chladicích stropů	32
3.5	Výstupy a vyhodnocení CFD.....	34
3.5.1	Kanálové jednotky s anemostaty.....	34
3.5.2	Kanálové jednotky se štěrbinami	36
3.5.3	Chladicí trámy	39
3.5.4	Chladicí stropy	42

3.5.5	Ekonomické porovnání distribučních systémů chlazení.....	45
3.5.6	Výběr nejlepší varianty.....	46
4	Ekonomické zhodnocení investice do vnitřního prostředí.....	47
4.1	Variety chlazení	48
4.2	Vykonaná práce navíc	49
4.3	Náklady na chlazení	49
4.4	Předběžný návrh chlazení – pořizovací náklady.....	50
4.5	Návratnost systému chlazení	51
4.6	Závěr ekonomického zhodnocení	52
5	Závěr	52
6	Zhodnocení programu Revit pro návrh vzduchotechniky	53
	Zdroje.....	55
	Seznam obrázků.....	57
	Seznam tabulek.....	59
	Seznam příloh k textové části:.....	60
	Seznam použitých programů.....	61

Anotace:

Součástí této práce je legislativní pohled na vnitřní pracovní prostředí. Cílem práce je porovnat typy distribuce chladu pro prostory open space a vybrat nejvhodnější variantu pro řešený objekt. V další části práce je zamyšlení se nad tím, zda je vhodné navrhovat systémy chlazení do administrativních budov z ekonomického hlediska. Praktická část je věnována návrhu vzduchotechnického systému pro administrativní budovu v rozsahu projektu pro provedení stavby.

Klíčová slova: *tepelná pohoda, rychlost proudění, relativní vlhkost, tepelná zátěž, průvan, pracovní prostředí, kancelářské prostory, distribuční prvky*

Abstract:

The first part of the thesis includes legislative point of view to indoor environment in office spaces. The purpose of thesis is a comparison of cooling distribution types for open spaces and the choice of the best option for the considered building. The following part consists of a consideration if it is appropriate economically to design cooling systems into administrative buildings. The practical part of thesis is focused on HVAC system design for the administrative building. The design is within the scope of documentation for building construction.

Keywords: *thermal comfort, velocity, relative humidity, thermal load, draught, working environment, office spaces, distribution elements*

1 Úvod

Prostředí v budovách je pro člověka velice důležité, jelikož většina z nás v budovách tráví převážnou část svého života. Ať se jedná o školu, práci, či domov, trávíme zde mnoho času, což zvyšuje důležitost kvality prostředí v interiéru.

V posledních letech se ke klasickým systémům technických zařízení budov, jako jsou vytápění, teplá voda a jiné, přidávají dva další systémy. Jimi jsou větrání a chlazení. V této práci budeme mluvit o obou tématech, ale stěžejním systémem bude chlazení. Chlazení je využíváno především v administrativních budovách, jelikož v budovách tohoto typu je mnoho tepelných zisků. Především vnitřní tepelné zisky vyplývající z velké koncentrace pracovníků v prostoru a také z technologií jsou důvodem, proč právě v administrativních budovách je chlazení využíváno.

V této práci je rozebíráno vnitřní pracovní prostředí z hlediska legislativy. V rámci této části jsou zmíněny například hodnotící kritéria a požadavky na vnitřní pracovní prostředí. Dále jsou rozebrány jednotlivé typy distribucí chladu, které jsou pro řešený objekt navrženy a vymodelovány, abychom mohli určit nejideálnější typ distribuce chladu. V modelování návrhů je brán především ohled na rozložení teplot a na obrazce rychlosti proudění, z čehož vyplývá, že v rámci této části je řešeno jak chlazení, tak i větrání. Závěr práce je zaměřen i na ekonomickou výhodnost systému chlazení, zda jsou tyto systémy vhodné pro administrativní budovy.

2 Teoretická část

2.1 Vnitřní prostředí budov

Abychom si mohli definovat úroveň kvality vnitřního prostředí, je nutné ji rozdělit na specifikovatelné složky. Mezi tyto složky se podle *vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov* řadí:

- Teplota vzduchu
- Relativní vlhkost vzduchu
- Rychlost proudění vnitřního vzduchu
- Intenzita osvětlení [1]

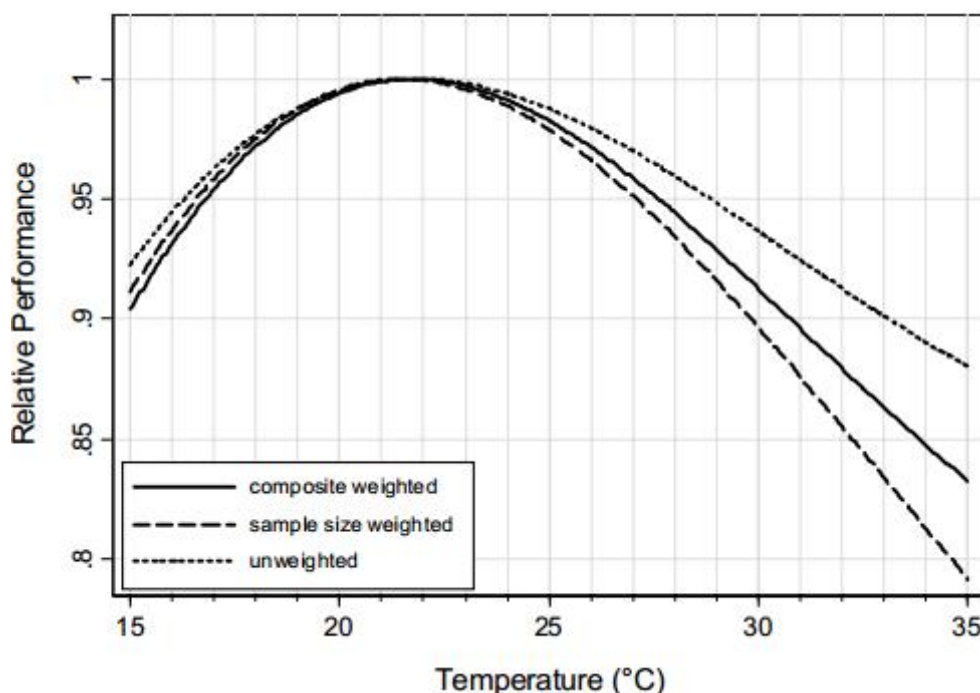
Nicméně faktorů ovlivňující prostředí v budovách je daleko více. Patří mezi ně:

- Koncentrace škodlivin (nejčastěji CO₂)
- Prašnost
- Hluková zátěž
- Teplota povrchů
- Teplota přiváděného vzduchu a další [2]

2.2 Požadavky na vnitřní prostředí

Z hlediska ochrany zdraví člověka je legislativně kladen důraz na mnoho aspektů. Jsou to uvolňování nebezpečných látek, nebezpečné částice ve vzduchu, škodlivá záření, čistota vzduchu, vlhkost, hluk, světelné podmínky a v neposlední řadě podmínky tepelné.

Pokud jde o pracovní prostředí, je velmi důležité, aby podmínky byly splněny co možná nejlépe. Jestliže se pracovník v prostředí cítí komfortně, nic mu nebrání podávat nejlepší výkony a soustředit se pouze na práci. Na následujícím grafu je znázorněn vliv teploty vzduchu v místnosti na produktivitu člověka. Samozřejmě nezáleží pouze na teplotě. Každá složka, která definuje vnitřní prostředí, bude mít na produktivitu podobný účinek.



Obr. 1: Závislost produktivity práce na teplotě [3]

Pro tuto práci je nejzásadnější zátěž tepelná. Ta je, stejně jako ostatní požadavky na podmínky pracovního prostředí, více rozebrána v *Narizení vlády č. 361/2007 Sb., ve znění pozdějších předpisů*. Rozděluje druhy práce do osmi tříd podle průměrného energetického

výdeje a podle ztráty tekutin za osmihodinovou směnu. Třída I je nejméně náročná sedavá práce s minimálním pohybem, což mohou být například laboratorní práce, práce s PC, kancelářské administrativní práce a podobné. Naopak třída V je nejnáročnější, kam se řadí například transport těžkých břemen (pytle s cementem), výkopové práce, práce se sekerou při těžbě dřeva a další. [4]

V následující tabulce jsou vypsány požadavky na mikroklimatické podmínky na nevenkovním pracovišti pro všechny třídy.

Třída práce	M[W.m ⁻²] (brutto)	t _{omin} nebo t _{gmin}	t _{omax} nebo t _{gmax}	V _a [m.s ⁻¹]	Rh[%]
		[°C]	[°C]		
I	≤ 80	20	27	0,01 až 0,2	30 až 70
IIa	81 až 105	18	26		
IIb ³⁾	106 až 130	14	32	0,05 až 0,3	
IIIa	131 až 160	10	30		
IIIb	161 až 200	10	26		
IVa	201 až 250	10	24	0,1 až 0,5	
IVb ¹⁾	251 až 300	10	20		
V ²⁾	301 a více	10	20		

Tab. 1: Třídy práce a jejich parametry [4]

Vidíme, že jsou zde řešeny tři parametry. Teplota (operativní/výsledná teplota kulového teploměru), rychlost proudění vzduchu a relativní vlhkost.

Dále se budeme zabývat administrativní budovou, tudíž je vhodné si určit, kam se lehké administrativní práce řadí. Jedná se o ty nejméně náročné práce z hlediska energetických výdajů a jde tedy o třídy I a IIa. Sloučením těchto dvou tříd dostáváme požadavek na teplotu v rozmezí od 20 °C do 26 °C a požadavek na rychlost proudění je 0,01-0,2 m.s⁻¹. Na relativní vlhkost žádný požadavek pro tyto třídy není. Pro návrh chlazení je tedy nejdůležitější horní hranice 26 °C i rychlost proudění vzduchu může velmi ovlivnit návrh chlazení.

2.3 Klasifikace vnitřního prostředí

Problematika klasifikace vnitřního prostředí je popsána v ČSN EN ISO 7730. Norma se zabývá metodami, které předpovídají celkový tepelný pocit a stupeň diskomfortu osob vystavených mírnému tepelnému prostředí. Pro kvantifikování tepelného komfortu využívá především ukazatele PMV (předpověď středního tepelného pocitu) a PPD (předpovídání

procento nespokojených). Kromě těchto hlavních ukazatelů se soustředí i na kritéria, která popisují místní tepelný komfort.

2.3.1 Předpověď středního tepelného pocitu (PMV)

PMV (predicted mean vote) předpovídá střední tepelný pocit člověka pomocí hlasů velké skupiny osob. Tyto osoby popisují svůj tepelný pocit pomocí sedmibodové stupnice, která pracuje na tepelné rovnováze lidského těla. Ideální stav je ten, kdy se tepelná produkce těla rovná tepelné ztrátě v daném prostředí. Čím větší je rozdíl mezi těmito tepelnými toky, tím horší je celkový pocit člověka. Tělo člověka se v tomto mírném prostředí svými prostředky snaží o rovnováhu, která však tělo stojí jistou energii. Lidské tělo se dokáže přizpůsobit teplotou kůže nebo pomocí vytváření potu se snaží o zachování rovnováhy. Nicméně jakmile je tělo nuceno některým způsobem reagovat na teplotu okolí, je to známka, že tepelný komfort není ideální.

Při hodnocení celkového pocitu člověka z tepelného hlediska samozřejmě nezáleží pouze na teplotě vzduchu. Mezi kritéria, která tepelný pocit ovlivňují, patří izolace oděvu, činnost člověka, střední radiační teplota, rychlost proudění vzduchu a vlhkost vzduchu.

Zjistit PMV lze dvěma způsoby. Jeden je pomocí dotazníků, což znamená, že lidé v místnosti subjektivně hodnotí jejich tepelný pocit, a zároveň se měří parametry vzduchu v místnosti. Také lze PMV zjistit měřením fyziologických změn člověka. Měří se pocení, vlhkost pokožky a teplota pokožky. [5]

ASHRAE		Bedford
Horko	3	Velmi teplo
Teplo	2	Teplo
Tepleji	1	Příjemně teplo
Neutrálně	0	Příjemně
Chladněji	-1	Příjemně chladno
Chladno	-2	Chladno
Zima	-3	Velmi chladno

Tab. 2: Sedmibodová stupnice pro zjištění PMV – v ČSN EN ISO 7730 je použita stupnice ASHRAE [6]

Ideální stav je ten, kdy se PMV rovná nule. PMV lze vyjádřit i rovnicí, tudíž při položení $PMV = 0$ dostaneme rovnici, která umožňuje předpovědět v průměru tepelně neutrální pocit.

Záleží zde samozřejmě na kombinaci činnosti člověka, oděvu a dalších již zmíněných parametrů.

$$PMV = [0,303 \cdot \exp^{-0,036 \cdot M} + 0,028] \cdot L$$

M – energetický výdej člověka [W]

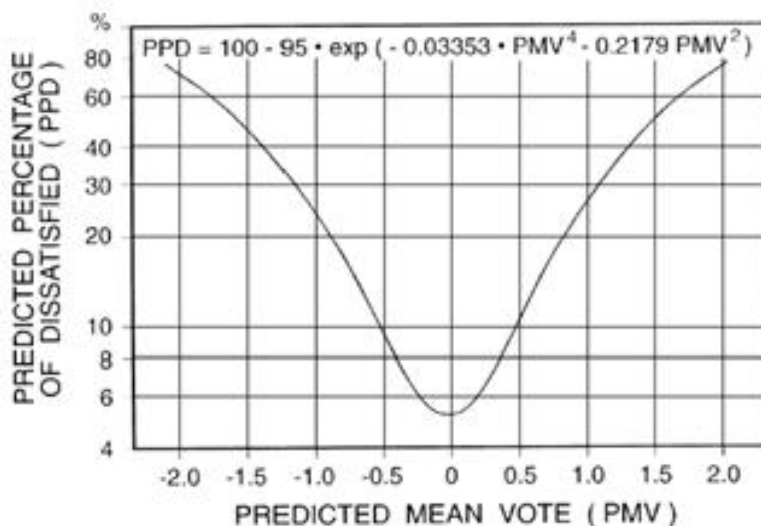
L – rozdíl energetického výdeje a tepla odvedeného bez mokrého pocení [W]

[7]

2.3.2 Předpověď procentuálního podílu nespokojených (PPD)

Pomocí PMV jsme schopni předpovědět střední hodnotu vlastního tepelného pocitu, čímž se snažíme přiblížit hodnotě, která v průměru bude vyhovovat co nejvíce lidem. Nicméně PMV neudává, jakým způsobem jednotlivci hodnotí dané prostředí. Víme, jaké je celkové hodnocení všech dohromady, ale nevíme, kolik lidí je spokojených. Pro to, abychom zjistili zastoupení nespokojených osob, používáme ukazatel PPD (predicted percentage dissatisfied). Pomocí tohoto ukazatele předpovíme procentuální počet osob, které se budou cítit v daném tepelném prostředí nekomfortně. Mezi nespokojené s tepelným pocitem se řadí ti, kteří na sedmibodové stupnici odpovídají těmito čtyřmi možnostmi: horko, teplo, chladno a zima. PPD lze odvodit z hodnoty PMV výpočtem podle následující rovnice. [5]

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp[-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)]$$



Obr. 2: Křivka určující závislost PMV na PPD [8]

2.3.3 Místní tepelný diskomfort

PMV a PPD vyjadřují diskomfort z tepla nebo chladu pro tělo celkově. Nespokojenost může nastat jen pro jednotlivé části těla. To lze nazvat místním diskomfortem. Nejběžnějším typem je průvan. Další jsou zapříčiněny například vysokým vertikálním rozdílem teplot mezi hlavou a kotníky, příliš teplou nebo příliš chladnou podlahou, nebo příliš vysokou asymetrií radiační teploty. Každý tento typ místního diskomfortu lze kvantifikovat pomocí procenta nespokojených.

2.3.3.1 Průvan

Na procento obtěžovaných průvanem (DR) má vliv teplota vzduchu, rychlost proudění vzduchu a místní intenzita turbulence. Následující rovnice platí pro model s osobami při lehké práci vykonávané převážně v sedě v mírném prostředí (teplota vzduchu 20 – 26 °C).

$$DR = (34 - t_a) \cdot (v - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot v \cdot T_u + 3,14)$$

t_a – teplota vzduchu [°C]

v – rychlost proudění vzduchu [m/s]

T_u – místní intenzita turbulence [%]

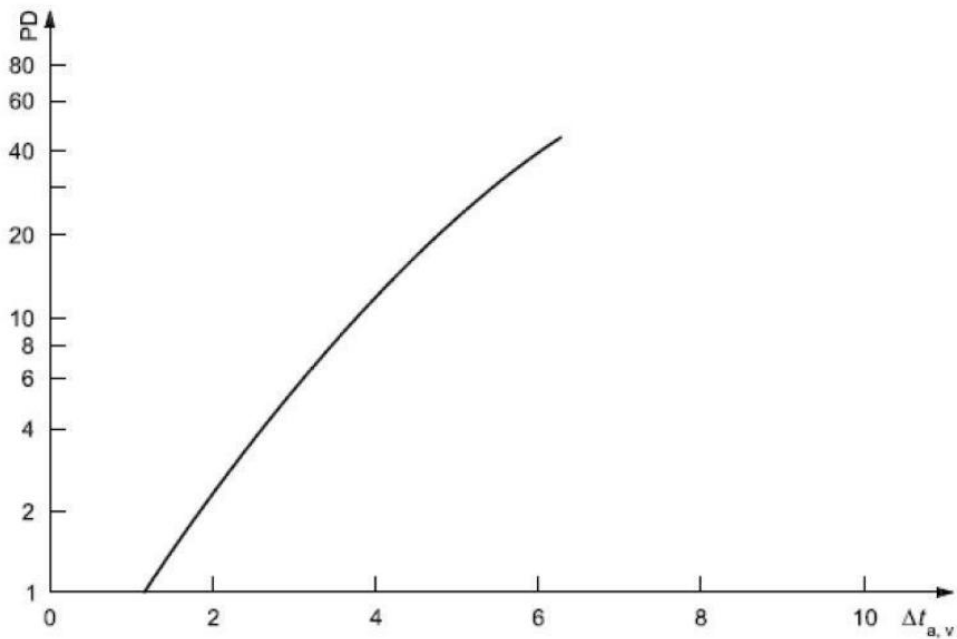
[5]

2.3.3.2 Vertikální rozdíly teploty vzduchu

Pokud se v prostoru nachází vrstvy vzduchu o velmi rozdílných teplotách, opět to má na vnímání prostředí negativní vliv. Teplota vzduchu je důležitá v oblasti mezi kotníky a hlavou. Na základě tohoto rozdílu je dle následující rovnice určeno procento nespokojených. Průběh této rovnice zobrazuje následující graf.

$$PD = \frac{100}{1 + e^{-(5,76 - 0,856 \cdot \Delta t_{a,v})}}$$

$\Delta t_{a,v}$ – vertikální rozdíl teplot vzduchu mezi hlavou a kotníky [°C]



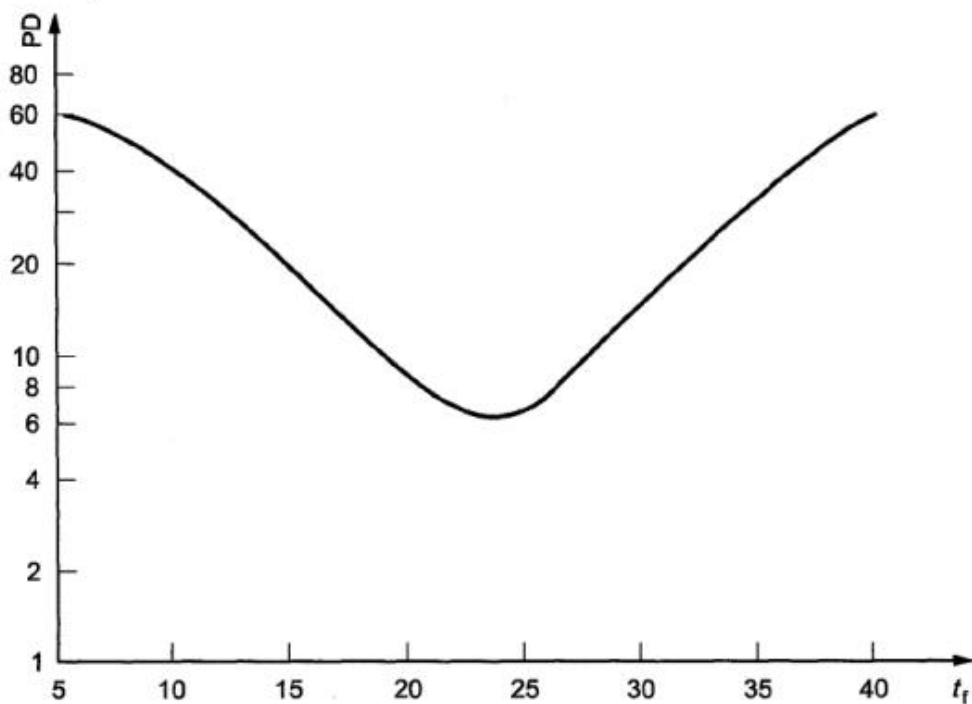
Obr. 3: Křivka určující procento nespokojených na vertikálním rozdílu teplot [5]

2.3.3.3 Teplá a chladná podlaha

Příliš teplá, či příliš chladná podlaha může být další příčinou pro diskomfort pracovníků. Pokud budou pracovníci nosit lehkou domácí obuv, není důležitý materiál podlahové krytiny, ale hlavně teplota podlahy. Procento nespokojených (PD) lze vypočítat pomocí rovnice, jejíž průběh je znázorněn na následujícím grafu v závislosti na teplotě podlahy. Z grafu lze odvodit nejideálnější teplotu podlahy. Ta se pohybuje kolem 24 °C.

$$PD = \frac{100}{1 + e^{-(5,76 - 0,856 \cdot \Delta t_{a,v})}}$$

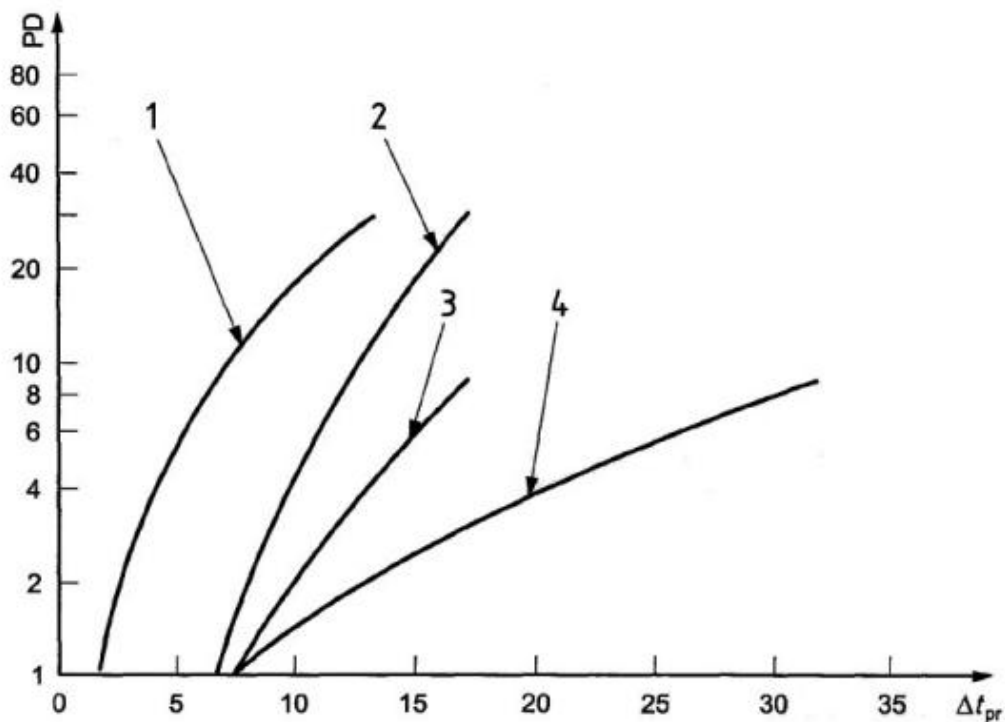
t_f – teplota podlahy [°C]



Obr. 4: Křivka určující procento nespokojených na teplotě podlahy [5]

2.3.3.4 Asymetrická radiace

Poslední, avšak neméně důležitá, je radiační teplota povrchů a její asymetrie. Z grafu znázorňujícího procento nespokojených v závislosti na rozdílu radiačních teplot dvou protilehlých ploch je patrné, že nejvíce problematický lze z tohoto pohledu určit teplý strop a chladnou stěnu.



1 – teplý strop; 2 – chladná stěna; 3 – chladný strop; 4 – teplá stěna

Δt_{pr} – asymetrie radiační teploty [°C]

Obr. 5: Křivka určující procento nespokojených na asymetrii radiace [5]

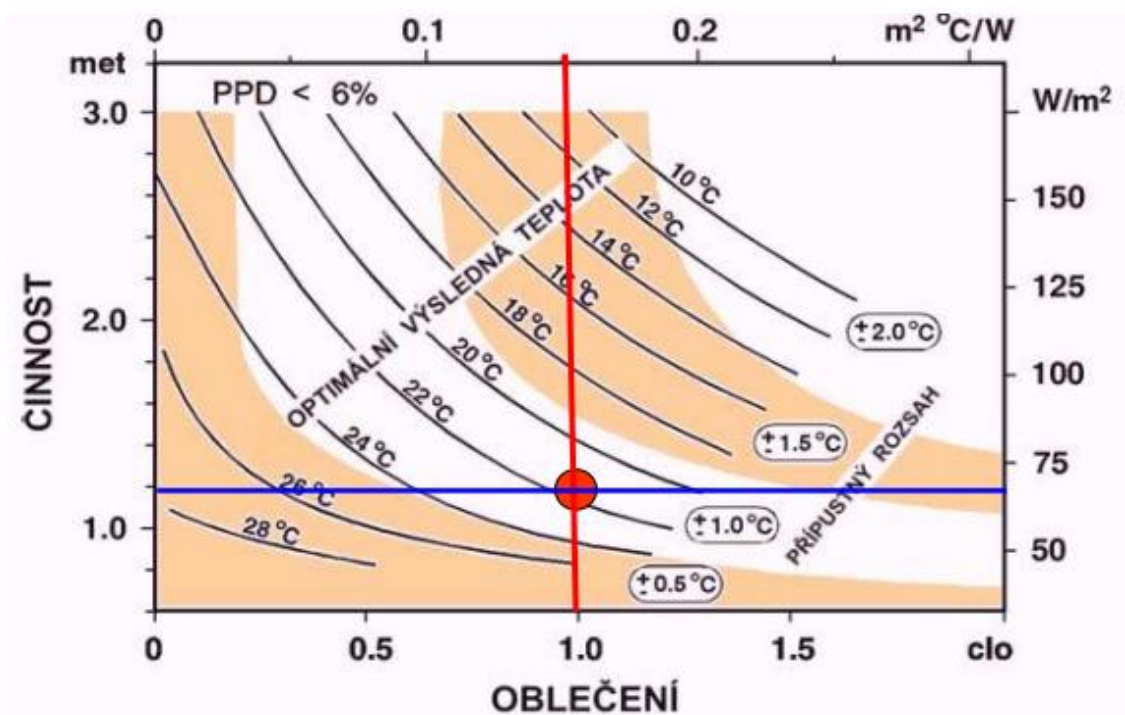
2.3.4 Kategorie tepelného prostředí

Tepelné prostředí řadíme dle ČSN EN ISO 7730 do tří kategorií: A, B a C. Každá kategorie má dané maximální hranice hodnocených kritérií, které jsou popsány níže. Kategorie A zaručuje nejlepší tepelné podmínky, zatímco kategorie C má daleko větší rozmezí a tepelná pohoda v takovémto prostředí není zaručena.

Category	Thermal state of the body as a whole		Local discomfort		
	PPD %	PMV	DR %	PD % caused by	
				vertical air temperature difference	radiant asymmetry
A	< 6	- 0,2 < PMV < + 0,2	< 10	< 3	< 5
B	< 10	- 0,5 < PMV < + 0,5	< 20	< 5	< 5
C	< 15	- 0,7 < PMV < + 0,7	< 30	< 10	< 10

Tab. 3: Kategorie tepelného prostředí s limitními hodnotami kritérií [9]

Pro optimální výslednou teplotu jsou velmi důležité dva parametry. Záleží jak na činnosti člověka, která je v daném prostoru provozována, tak na oblečení, které mají dané osoby na sobě. Podle těchto hodnot a zvolené kategorie vnitřního prostředí můžeme navrhnout optimální výslednou teplotu a rozptyl, ve kterém by se měla pohybovat.



Obr. 6: Optimální výsledná teplota: kategorie vnitřního prostředí A (PPD < 6 %) v závislosti na činnosti a oblečení [10]

Jak víme, každý člověk je jiný, tudíž i každému z nás vyhovují jiné tepelné podmínky. Pro ideální tepelné prostředí každého jedince může být využita technologie, která by se dala individuálně nastavit uživatelem. Další způsob, jak optimalizovat tepelnou pohodu, je mnohem jednodušší. Stačí zvýšit, či snížit tepelný odpor oděvu. Znamená to, že se stačí vhodně obléct, tedy zvolit oděv, který lépe/hůře udrží teplotu lidského těla.

2.4 Doporučené parametry

Pro zjednodušení procesu návrhu je v ČSN EN 15251 rozdělena kvalita vnitřního prostředí do čtyř tříd.

- I - vysoká úroveň očekávání, doporučena pro prostory obsazené velmi citlivými osobami s křehkým zdravím, se zvláštními požadavky, jako jsou například postižení, nemocní, velmi malé děti a starší osoby

- II - běžná úroveň očekávání by měla být použita pro nové budovy a rekonstrukce
- III - přijatelná, střední úroveň očekávání použitelná pro stávající budovy
- IV - hodnoty mimo kritéria pro výše uvedené kategorie. Tato kategorie může být přípustná pouze pro omezenou část roku

Podle těchto tříd a typu prostoru norma stanovuje odpovídající rozsahy teplot. Tento rozsah je využíván pro dimenzování topných i chladicích systémů. Pro návrh chladicích systémů je využívána horní hranice rozsahu teplot, zatímco pro dimenzování otopných systémů se bere v úvahu spodní hranice rozsahu teplot. Zvolené teploty v jednotlivých místnostech pro zimní i letní období společně s průtoky větracího vzduchu slouží pro výpočet tepelných ztrát a tepelné zátěže.

Norma nedoporučuje pouze vnitřní teploty, ale i další parametry, které určují celkové vnitřní mikroklima. Patří mezi ně hluk, osvětlení a větrání. [11]

2.5 Faktory ovlivňující návrh chlazení

Vnitřní prostředí máme již definované a rozebrané na jednotlivé části. Abychom dosáhli zmíněných parametrů vnitřního prostředí, je třeba navrhnout systémy, které upravují teplotu vnitřního vzduchu. Systém pro pokrytí tepelné zátěže, který je součástí této práce, nelze navrhnout pouze podle požadovaných výkonů. Existují další faktory, které jsou pro správný návrh důležité.

Jedním z nich je průběh tepelné zátěže. Pokud tepelná zátěž bude vyrovnaná bez větších výkyvů, výkon chladicího systému bude stálý bez regulace. Pokud ovšem bude průběh tepelné zátěže proměnný, maximální výkon chladicího systému se získá z nejvyšší okamžité potřeby chladu. Tento výkon může být redukován vhodným návrhem budovy, například z hlediska akumulace. Ta by měla zaručit pozvolnější průběh tepelné zátěže a tím snížit nejvyšší okamžitou potřebu chladu.

Náhlé změny tepelné zátěže, ať už například změnou počtu osob, či slunečními zisky, neovlivňují pouze maximální výkon chladicího systému, ale mají dopad i na zvolený typ chladicího systému. Čím rychleji dokáže systém zareagovat na tyto výkyvy, tím méně bude kolísat teplota v místnosti a tím kvalitnější vnitřní prostředí bude. Tuto rychlost reakce lze také nazvat dynamikou chladicího systému. Dynamika chladicích systémů tedy ovlivňuje teplotní rozptyl ve vnitřním prostředí.

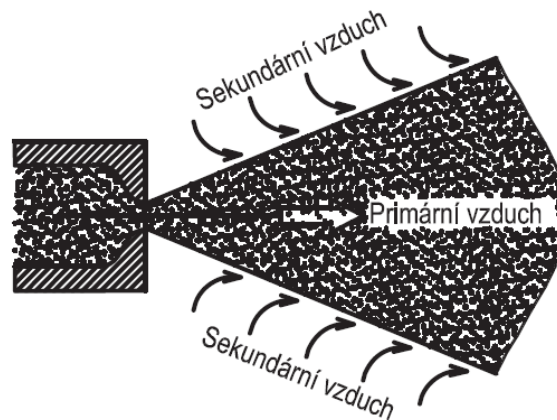
3 Projektová část

V této části bude popsáno a rozebráno několik variant distribuce chladu do řešeného objektu. Tyto varianty budou následně porovnány především kvalitou dosaženého komfortu, ale i jinými hledisky a bude doporučena nejvhodnější varianta chlazení.

3.1 Možnosti distribuce chladu

3.1.1 Indukční jednotky

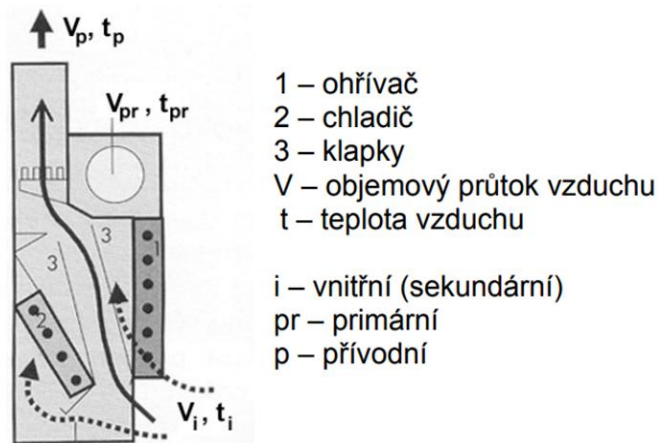
Pro pochopení fungování indukční jednotky je dobré si definovat indukci jako takovou. Indukce nastává při vypouštění vzduchu (primárního) do klidného okolí. Primární vzduchu si nasává sekundární vzduch v místnosti, což nazýváme indukcí. Poměr sekundárního a primárního vzduchu se nazývá indukční a závisí na rozdílu tlaků způsobeným výstupní rychlostí primárního vzduchu, velikostí a tvarem otvoru a okolím otvoru, který může ovlivnit proud vzduchu.



Obr. 7: Indukce – přísávání sekundárního vzduchu do primárního [12]

Indukční poměr těchto jednotek je většinou 2 až 6, což znamená, že sekundární vzduch je zastoupen více než vzduch primární. Aby tento poměr byl možný, je nutné, aby rychlost primárního vzduchu byla dostatečná. Tyto jednotky se tedy řadí do vysokotlakých klimatizací, jelikož mají požadavek na centrální vzduchotechnickou jednotku, kvůli vyššímu tlaku v systému. Samotný proces indukce nastává přímo v jednotce. [12]

Jednotky obsahují jeden, nebo dva výměníky, v závislosti na tom, zda jsou určeny pouze pro chlazení, vytápění, nebo pro oba typy úpravy vzduchu. Součástí jednotky jsou klapky, které umožňují nasměrování vzduchu k výměníkům, či jejich obtok.



Obr. 8: Schéma indukční jednotky [13]

Výhody a nevýhody:

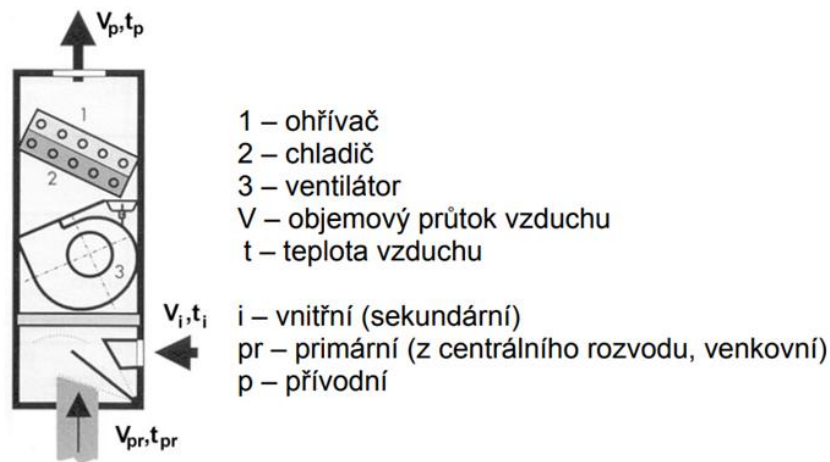
- + neobsahuje ventilátor → tichý provoz; jednotka není napojena na elektřinu
- + neobsahuje filtr → minimální nároky na údržbu
- + větrá, chladí, topí
- + individuální regulace
- + vyšší teplota chladicí vody → bez kondenzátu
- + vyšší teplota přiváděného vzduchu
- + dynamika změny
- větší nároky na vzduchotechnickou jednotku (nutný vysoký tlak)
- bez filtrace cirkulačního vzduchu → tepelně upravený cirkulační vzduch se nečistí
- možný vznik průvanu
- relativně malý chladicí výkon – limit je rosný bod

3.1.2 Ventilátorový konvektor

Ventilátorový konvektor je také odborným slangem nazýván jako fan coil, ale podle aktuálního správného názvosloví by se tyto jednotky měly označovat jako ventilátorové konvektory. [14]

Indukční jednotka a ventilátorový konvektor mají mnohé společné. Vzduch se v těchto jednotkách tepelně dopraví podle požadavků v dané oblasti. Ventilátorový konvektor také obsahuje jeden či dva tepelné výměníky jako indukční jednotka. Na rozdíl od indukční jednotky obsahují tyto jednotky ventilátory. Rovněž obsahují filtry, díky kterým dochází

k čištění cirkulačního vzduchu. Ventilátorové konvektory mohou upravovat venkovní vzduch i vzduch cirkulační. Lze je využít i pro úpravu pouze cirkulačního vzduchu.



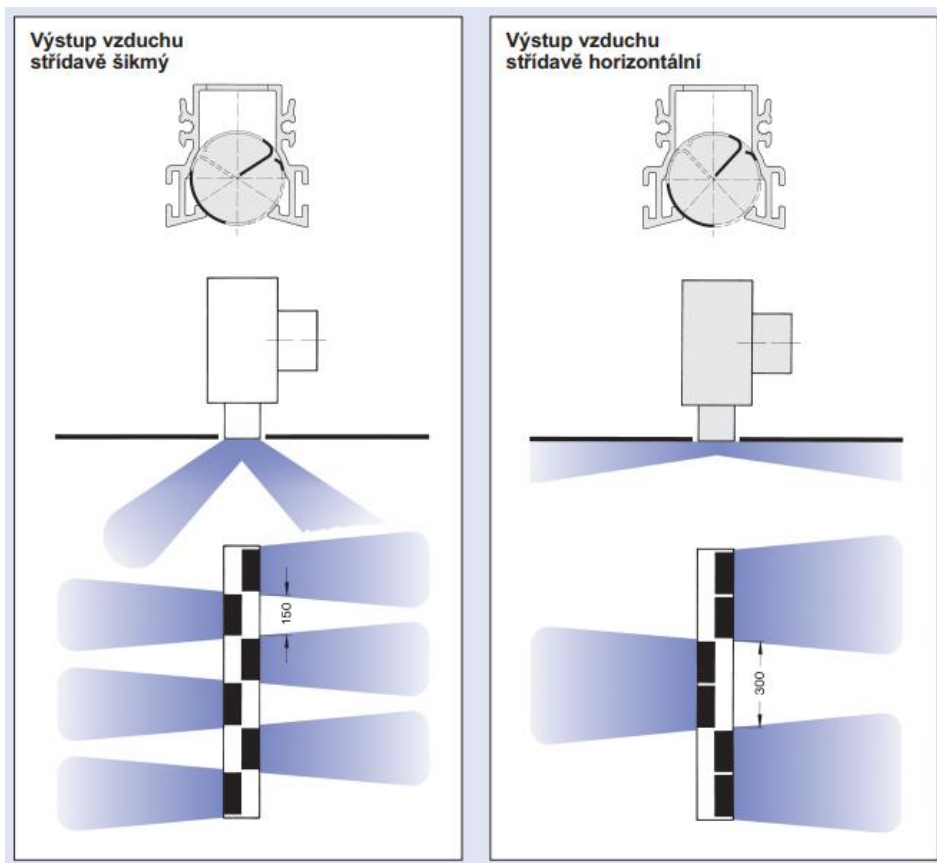
Obr. 9: Schéma ventilátorového konvektoru [13]

Na rozdíl od indukčních jednotek nemusí být ventilátorový konvektor zároveň distribuční prvek. Vzduch se v jednotce upraví a ventilátorem odvede buď přímo do místnosti, pokud je jednotka zároveň distribučním prvkem, nebo do potrubí, jenž vede vzduch k distribučním prvkům, které ovlivňují proudění vzduchu v prostoru.

V této práci budou použity jednotky (kanálové podstropní), které nejsou zároveň distribučními prvky. Tudíž je třeba navrhnout prvky, jenž vhodně přivedou upravený vzduch do místnosti. Dále budou řešeny tyto dvě varianty distribučních prvků: štěrby a anemostaty.

3.1.2.1 Štěrbiny

Liniové výústky, které se mohou nacházet ve stropě i v podlaze. Při vhodné instalaci mohou být velmi estetické. Směr proudění je nastavitelný okolo podélné osy, lze tedy určit, na kterou stranu bude vzduch proudit a pod jakým úhlem. Vhodná je například instalace u prosklených stěn, které mohou být ofukovány, a tím může být zmírněn negativní účinek na vnitřního prostředí povrchovou teplotou zasklení.



Obr. 10: Příčný řez štěrbinou s nastavitelným směrem proudění a schéma možného nastavení [15]



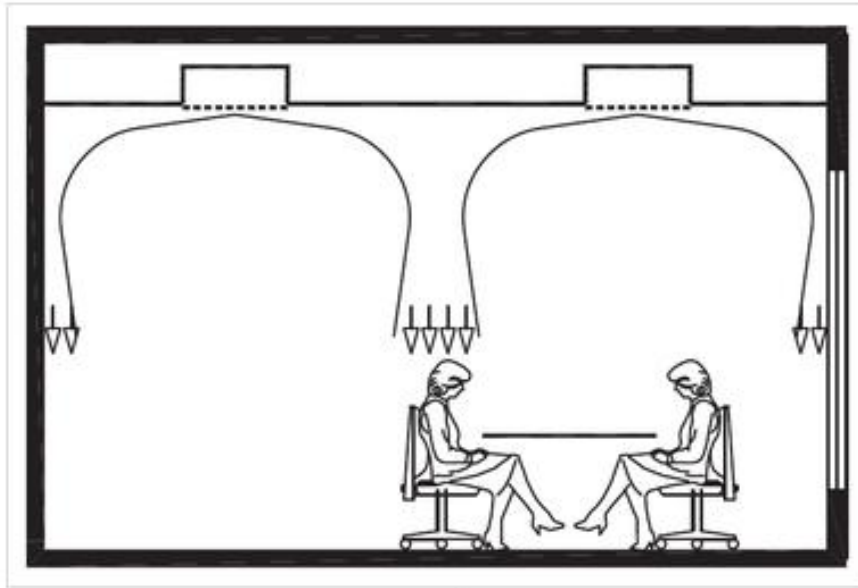
Obr. 11: Štěrbínová výústka [16]

3.1.2.2 Anemostaty

Anemostaty jsou velmi často používané distribuční elementy. Mají velmi mnoho možností distribuce vzduchu, které dokáží vytvořit spoustu obrazců proudění vzduchu. Vzduch lze například směřovat pouze některými směry, nebo oblíbenou variantou jsou anemostaty s vířivou distribucí. U tohoto typu anemostatů dochází k největší indukci primárního vzduchu se vzduchem sekundárním. Při návrhu je třeba klást velký důraz na rychlosti proudění vzduchu a celkové obrazce proudění, aby bylo provětrávání rovnoměrné a především, aby nikde nevznikal průvan. Použití vířivých anemostatů je vhodnější pro místnosti s vyšším stropem, kde stihne dojít k indukci a zpomalení vzduchu nad pobytovou zónou.



Obr. 12: Anemostat s vířivou distribucí vzduchu [17]



Obr. 13: Příklad vzájemné interakce proudů vzduchu [12]

Výhody a nevýhody:

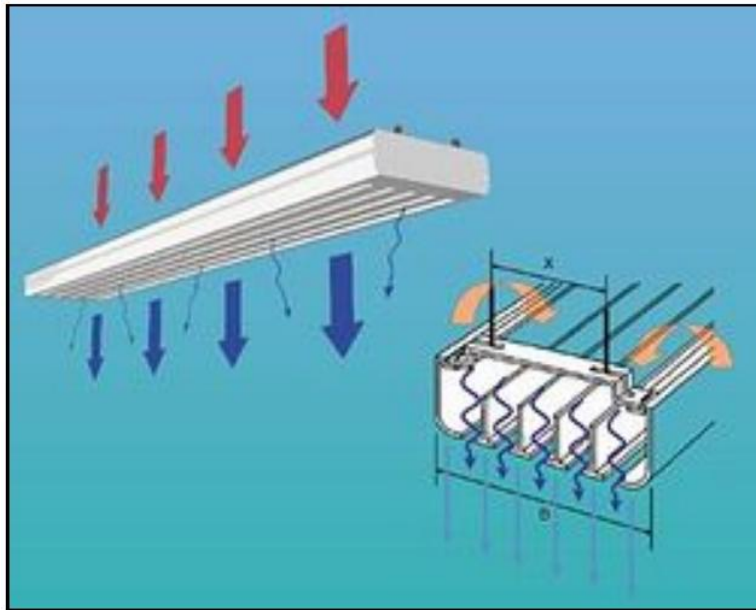
- + větrá, chladí, topí
- + individuální regulace
- + vyšší chladicí výkon
- + filtrace cirkulačního vzduchu
- + dynamika změny
- + variabilita distribučních prvků
- obsahuje ventilátor → hluk; napojení na elektřinu
- obsahuje filtr → nároky na údržbu; ekonomický dopad (výměna filtrů)
- nutnost odvodu kondenzátu
- nižší teplota přiváděného vzduchu
- možný vznik průvanu
- nutnost distribučních prvků

3.1.3 Chladicí trámy

Dalším způsobem chlazení místností je pomocí chladících trámů. Tento způsob se poslední dobou více a více rozšiřuje i díky svému multifunkčnímu použití. Chladicí trámce lze využít na vytápění, větrání a samozřejmě na chlazení. Součástí těchto trámců mohou být například světelné zdroje, čidla měřící kvalitu vzduchu a sprinklery. Dělí se do dvou skupin v závislosti na jejich funkci.

3.1.3.1 Pasivní trámy

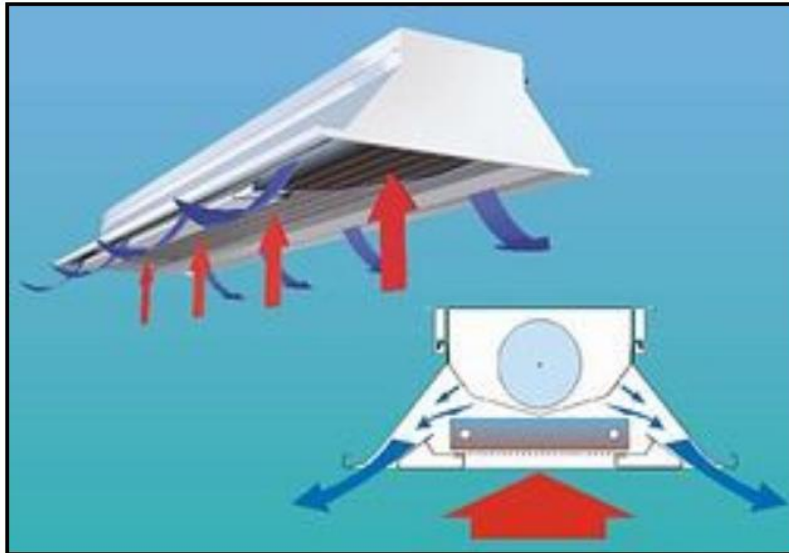
Pasivní trámy, občas nazývané jako statické, neřeší přívod čerstvého vzduchu do prostoru. Větrání je řešeno jiným způsobem. Pasivní trám může i vytápět, ale jeho hlavní funkcí je chlazení. Součástí trámu je tepelný výměník, který pod stropem ochlazuje nejteplejší vzduch v místnosti a ten přirozeně padá k podlaze v místnosti. Vhodné použití trámů je pro objekty, kde jsou velké nároky na chladicí výkon, nebo kde jsou požadavky na individuální regulaci.



Obr. 14: Pasivní trám s příčným řezem [18]

3.1.3.2 Aktivní trámy

Aktivní chladicí trámy mají nejen funkci tepelné úpravy vzduchu, ale zároveň přivádějí čerstvý vzduch. Vzduch je přiváděn do jednotky pod zvýšeným tlakem, odkud je distribuován do prostoru otvory, či tryskami. Díky vzniklé indukci je přisáván sekundární vzduch, který je díky tepelnému výměníku ochlazován. Aktivní trám by se dal nazvat i jako podstropní indukční jednotka, jelikož funguje na stejném principu. Tento typ trámu se dělí na otevřený a uzavřený. Jediný rozdíl je ten, že otevřený trám si nasává vzduch ze shora, tedy buď volně pod stropem, nebo nad podhledem a uzavřený si vzduch nasává přímo z místnosti. [18] [19]



Obr. 15: Aktivní trám s příčným řezem[18]

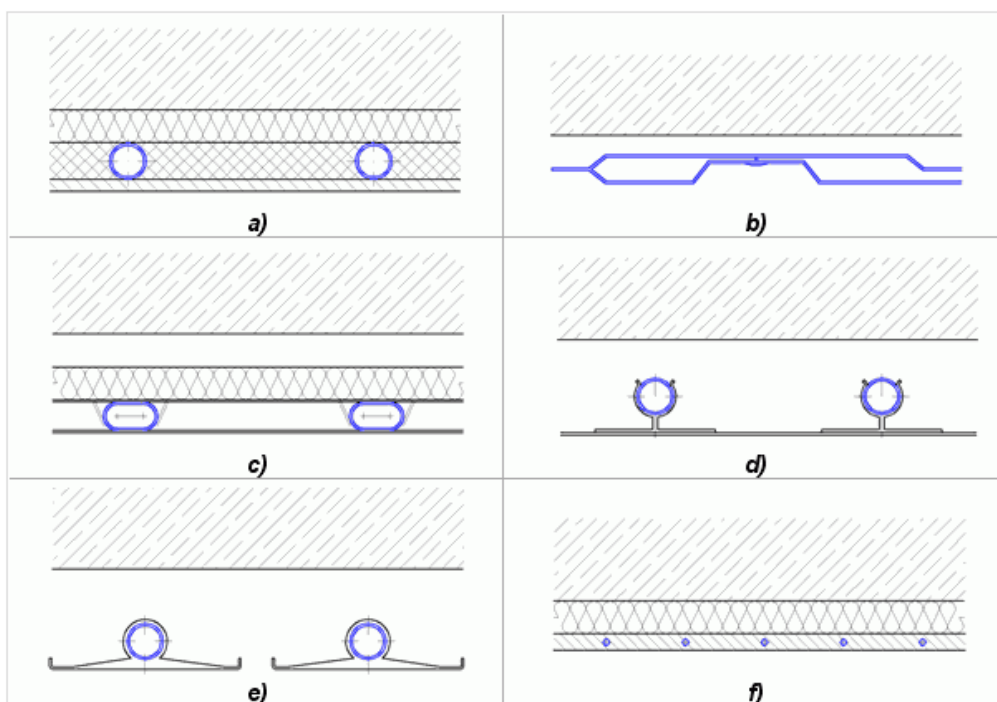
Výhody a nevýhody:

- + neobsahuje ventilátor → tichý provoz; není napojen na elektřinu
- + neobsahuje filtr → minimální nároky na údržbu
- + větrá, chladí, topí
- + individuální regulace
- + vyšší teplota chladicí vody → bez kondenzátu
- + vyšší teplota přiváděného vzduchu
- + dynamika změny
- + integrované funkce (osvětlení, sprinklery...)
- větší nároky na vzduchotechnickou jednotku (nutný vysoký tlak)
- bez filtrace cirkulačního vzduchu
- možný vznik průvanu
- relativně malý chladicí výkon – limit je rosný bod

3.1.4 Sálavé systémy

Výše zmíněné distribuce chladu byly skrze vzduch, který proudil přes tepelný výměník, což ovšem není jediná možnost chlazení. Další způsob, jak ochladit místnosti, je pomocí kapalin, většinou vody. Ta proudí v sálavých chladicích systémech a odvádí tepelnou zátěž. Nejčastějším typem těchto systémů je sálavý strop, ale může být zabudován i v podlaze nebo ve stěnách.

Chladicí stropy se dělí podle konstrukce na masivní a lehké. Za masivní jsou označovány ty, které mají potrubní systém vložený do betonové části stropní konstrukce, naopak lehké jsou ty, kde se potrubní systém nachází v podhledu, nebo samostatně. Lehké chladicí stropy se dále dělí na otevřené a uzavřené. Otevřené umožňují vzduchu proudit až k samotným potrubním systémům, kde dochází především ke konvekci. U uzavřených stropů dochází k tepelnému toku především díky sálání.



- a. Masivní chladicí strop jako součást stropní konstrukce
- b. Modulační klima deska
- c. Chladicí panely umístěné v podhledové konstrukci opatřené izolací
- d. Lamelový chladicí strop upevněný na vodní potrubí
- e. Otevřený chladicí strop v podobě protlačovaných profilů s vodními kanály
- f. Kapilární systém umístěný v omítce

Obr. 16: Schématické řezy základními konstrukcemi chladicích stropů [20]

Pro chlazení jsou nejvhodnější, z hlediska umístění sálavých ploch, právě sálavé stropy. Teplý vzduch totiž stoupá ke stropu, kde následně může být ochlazen a ochlazený vzduch klesá přirozeně zpátky k podlaze. V případě chlazení podlahou vznikají v místnosti vrstvy o velmi rozdílných teplotách, což vede ke zhoršení komfortu vnitřního prostředí.

Problémem tohoto systému může být kondenzace. Pokud bude v interiéru vlhký vzduch o vysoké teplotě a sálavý strop bude mít teplotu pod rosným bodem, bude docházet ke kondenzaci. Aby se tomuto případu zabránilo, vzduchotechnické jednotky bývají vybaveny odvlhčovacími systémy, díky kterým klesá riziko kondenzace. [20]

Výhody a nevýhody:

- + tichý provoz
- + chladí, topí
- + vyšší teplota chladicí vody → bez kondenzátu
- + bez rizika průvanu
- + nízkopotenciální zdroj
- nevětrá → nutný návrh větracího systému
- relativně malý chladicí výkon – limit je teplota rosného bodu
- dynamika změny
- nemožná individuální regulace
- požadavek na odvlhčení vzduchu

3.2 Popis objektu

Řešený objekt, na který bude navržen chladicí systém, se nachází v Praze v ulici Kunderatka. Administrativní objekt se skládá z jednoho podzemního podlaží (částečně podzemního) a čtyř nadzemních podlaží. Střecha objektu je navržena jako plochá. Konstrukční systém je v podzemním podlaží stěnový a v nadzemních podlažích je použit železobetonový skelet.

Objekt je rekonstruován, při čemž dochází k výměně zasklení a přidáním čtvrtého nadzemního podlaží. Také jsou nově instalovány některé systémy TZB včetně chlazení, které bude sloužit i pro vytápění.

V 1. PP se nachází prostory jídelny, sklady, dílna, zkušebna, archiv, server, rozvodna, kotelna, sociální zázemí a technická místnost. V 1.NP - 3.NP jsou především administrativní prostory v podobě open space doplněné o zasedací místnosti a sociální zázemí. 4.NP bude sloužit jako meeting point.

3.3 Předpoklad nejvhodnějšího systému

V následující tabulce jsou shrnuty vlastnosti jednotlivých typů chlazení. Samozřejmě nelze říci, že jeden typ chlazení je nejlepší a jen ten by se měl používat, důležité jsou všechny okolnosti související s návrhem.

		Indukční jednotky	Kanálové jednotky + štěrbiny/anemostaty	Aktivní chladicí trámy	Pasivní chladicí trámy	Sálavý strop
Funkce	Větrání	✓	✓	✓	X	X
	Chlazení	✓	✓	✓	✓	✓
	Vytápění	✓	✓	✓	✓	✓
	Ostatní (osvětlení...)	X	X	✓	✓	X
Vlastnosti chlazení	Typ chlazení	Vzduch	Vzduch	Vzduch	Vzduch	Voda
	Ventilátor	X	✓	X	X	-
	Filtr	X	✓	X	X	-
	Energetický potenciál	Nízký	Vysoký	Nízký	Nízký	Nízký
	Teplotní spád [°C]	16/19	7/13	16/19	16/19	17/19
	Individuální regulace	✓	✓	✓	✓	X
	Dynamika	Velmi rychlá	Rychlá	Rychlá	Rychlá	Pomalá
	Hydraulická stabilita	Nestálá	Nestálá	Nestálá	Nestálá	Velmi stálá
	Odvod kondenzátu	X	✓	X	X	X
	Napojení na VZT jednotku	✓	✓	✓	X	X
	Vysoký tlak systému VZT	✓	X	✓	X	X
Limity	Hluk	Malý	Střední	Malý	Malý	Žádný
	Průvan	Velký	Velký	Velký	Střední	Žádný
	Kondenzace	✓	X	✓	✓	✓

Tab. 4: Shrnující vlastnosti jednotlivých typů chladicích systémů

Pro open space je vhodné navrhnout takový typ chlazení, který bude především rovnoměrný. V open space kancelářích se dispozice mohou jakkoli upravovat a není tedy jasné, kde budou pracující osoby a kde bude nábytek, který může mít vliv na obrazce proudění. Z tohoto důvodu se jako nejméně vhodné typy chlazení jeví ty, které chladí pomocí vzduchu a těžko mohou zaručit, že v pobytové zóně nedojde k průvanu vzhledem k variabilitě dispozice. Mezi tyto typy se dají zařadit ventilátorové konvektory s anemostaty nebo štěrbinami. Navíc tyto jednotky obsahují ventilátory, které produkují hluk, což také může být limitující faktor, nicméně ne zásadní vzhledem k možnému řešení problému například vybudováním akustického podhledu. Samozřejmě pokud výstupní rychlost z distribučních prvků bude nízká, může tento typ chlazení být vhodný.

Podobný problém jako ventilátorové konvektory mohou mít jednotky indukční, které se nachází v pobytové zóně. Indukční jednotky parapetní a podlahové vypouští vzduch přímo do pobytové zóny, což znamená, že mohou mířit přímo na pracující osobu. Kvůli tomu se buď snižuje variabilita prostoru, aby nedocházelo k místnímu diskomfortu, nebo některá místa nebudou splňovat ideální parametry vnitřního prostředí.

Jako pravděpodobně nejvhodnější typy chlazení z hlediska dosažené kvality vnitřního prostředí se dají označit chladicí trámce a sálavé stropy. Jsou to velmi odlišné typy chlazení, nicméně mají jedno společné, a to rovnoměrnou distribuci chladu, která je pro open space zásadní. Obě varianty mají své výhody a nevýhody. V následujících kapitolách jsou dané varianty popsány podrobněji.

3.3.1 Chladicí trámce

Pro administrativní prostory budou vhodnější aktivní chladicí trámce než pasivní vzhledem k nutnosti větrání prostoru. Výhodou tohoto řešení je bezesporu jeho dynamika, multifunkčnost a v neposlední řadě možná individuální regulace. Mezi nevýhody oproti sálavým stropům patří především možný vznik průvanu.

Tento typ chlazení je díky své dynamice vhodnější do kancelářských prostor, kde nastávají velké výkyvy průběhu tepelné zátěže. Chladicí trámce dokáží relativně rychle reagovat na aktuální situaci v prostoru a změnit výkon chlazení. Zároveň jsou vhodnější do prostoru, kde je nerovnoměrná tepelná zátěž, nebo kde jsou odlišně nároky na teplotu vzduchu, vzhledem k možné individuální regulaci.

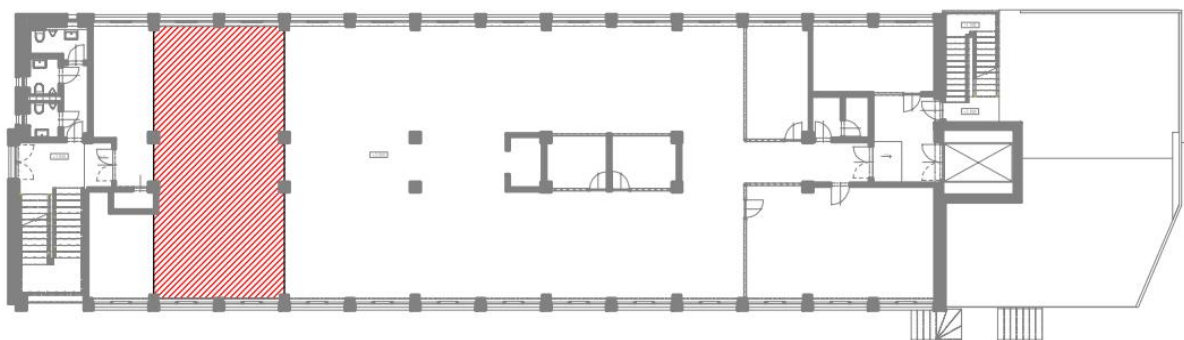
3.3.2 Sálavé stropy

Velká výhoda tohoto systému je v tom, že neupravuje vzduch v jednotce, ale ochlazování vzduchu probíhá přímo v místnosti. Rovnoměrnost distribuce chladu je zaručena, pokud jsou rozvody s chladicí vodou v celé ploše stropu. Další výhodou je v nízkém energetickém potenciálu. Průvan kvůli tomuto systému určitě nevznikne, avšak větrání musí být vyřešeno jiným systémem, který může lokální diskomfort v podobě průvanu zapříčinit. Nevýhodou systému je především v omezeném výkonu. Limitem pro výkon je teplota rosného bodu, při jehož dosažení by začala probíhat na stropě kondenzace. Individuální regulace v tomto případě není možná a ani dynamika tohoto systému není jeho předností.

Tento typ chlazení je naopak vhodnější pro administrativní prostory, kde nedochází k velkým výkyvům průběhu teplotní zátěže a kde bude teplotní zátěž rovnoměrná.

3.4 Návrhy systémů a okrajové podmínky pro výpočet v CFD

Pro zjištění obrazců proudění vzduchu a zjištění kvality vzduchu byl využit software Design Builder s modulem CFD. Obrazce proudění jsou řešeny na typickém modulu budovy v části open space.



Obr. 17: Půdorys podlaží s prostorem jako open space a vyznačený řešený úsek

Důležité okrajové podmínky jsou zmíněny v následující tabulce:

	Jednotky	Simulace bez chlazení	Simulace s chlazením
Plocha řešené oblasti	m ²	77,40	
Součinitel prostupu tepla - zeď	W/m ² .K	0,316	
Součinitel prostupu tepla - okno	W/m ² .K	1,2	

Rozměry oken	mm	2650 x 2300	
Infiltrace	h ⁻¹	0,05	
Nucené větrání v noci	h ⁻¹	2	
Počet pracovních míst	ks	9	
Provoz v pracovní dny	-	8-16	
Max. teplota vzduchu během provozu	°C	-	26
Max. tepelná zátěž	kW	-	6,7
Teplota přiváděného vzduchu	°C	-	20
Objemový průtok přiváděného vzduchu	m ³ /h	-	350

Tab. 5: Základní vstupy do výpočtů a modelovacích programů

Pro simulace pomocí CFD jsou důležité povrchové teploty konstrukcí. Ty byly převzaty ze simulace s chlazením během pracovních hodin, které zaručovalo vnitřní teplotu vzduchu 26 °C.

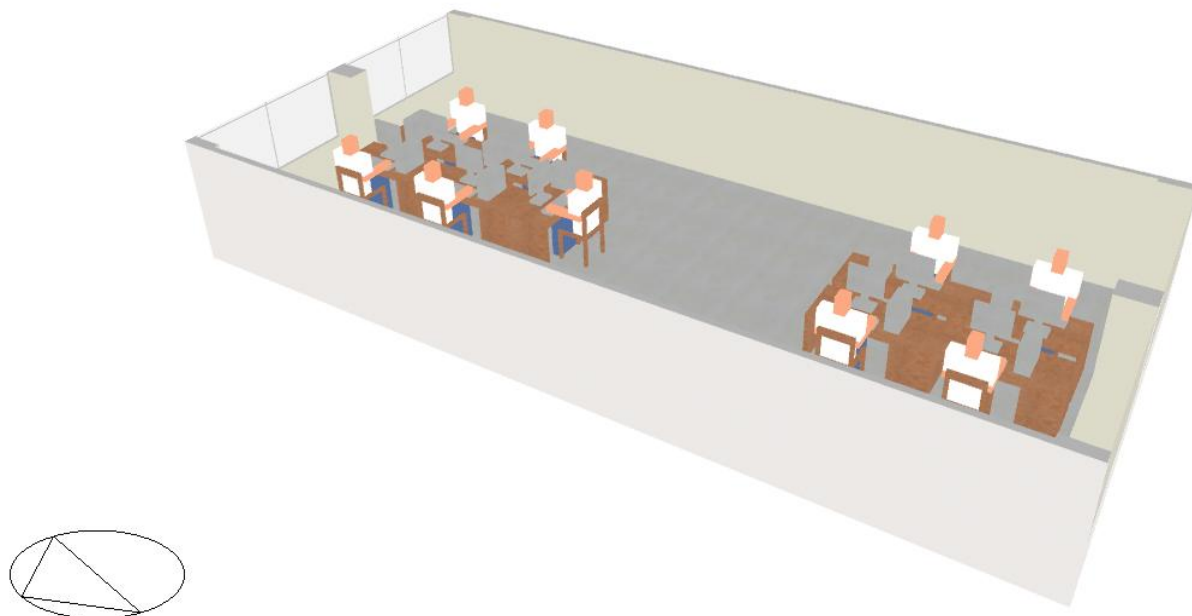
Hodina, kdy byla tepelná zátěž maximální, byla zjištěna z průběhu teploty v budově bez chlazení. Nejtepleji v uvažované části místnosti bylo dne 8. 8. 2002 v 17:00. Teplota v místnosti v tuto hodinu je 32,8 °C v simulaci bez chlazení.

Výsledné vnitřní povrchové teploty konstrukcí ze simulace s chlazením pro zmíněnou hodinu jsou znázorněny v následující tabulce:

Konstrukce	Povrchová teplota [°C]
Strop	27,8
Podlaha	27,9
Vnější zed' - východ	27,3
Okna - východ	30,3
Vnější zed' - západ	27,2
Okna - západ	36,2
Vnitřní konstrukce	28,0

Tab. 6: Vnitřní povrchové teploty konstrukcí – použity pro CFD simulace

Objemový průtok čerstvého vzduchu je $350 \text{ m}^3/\text{h}$, což při uvažované teplotě v interiéru $26 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplotě přiváděného vzduchu $20 \text{ }^\circ\text{C}$ pokryje $0,7 \text{ kW}$ tepelné zátěže. Na chladicí systém tedy zbývá $6,0 \text{ kW}$ tepelné zátěže.



Obr. 18: Vymodelovaná část místnosti s rozložením pracovních míst

3.4.1 Návrh indukčních parapetních jednotek

Vzhledem k velké tepelné zátěži a malému objemu přiváděného čerstvého vzduchu indukční jednotky nejsou schopny pokrýt tepelnou zátěž. Indukční poměr není nekonečný a tak při průtoku $350 \text{ m}^3/\text{h}$ a rozdílu teploty vzduchu v místnosti a střední teploty vody maximálně $10 \text{ }^\circ\text{C}$ lze navrhnout indukční jednotky s celkovým chladicím výkonem kolem $2,5 \text{ kW}$. Jelikož tepelná zátěž, kterou má chladicí systém pokrýt je $6,0 \text{ kW}$, nejsou indukční jednotky vhodné.

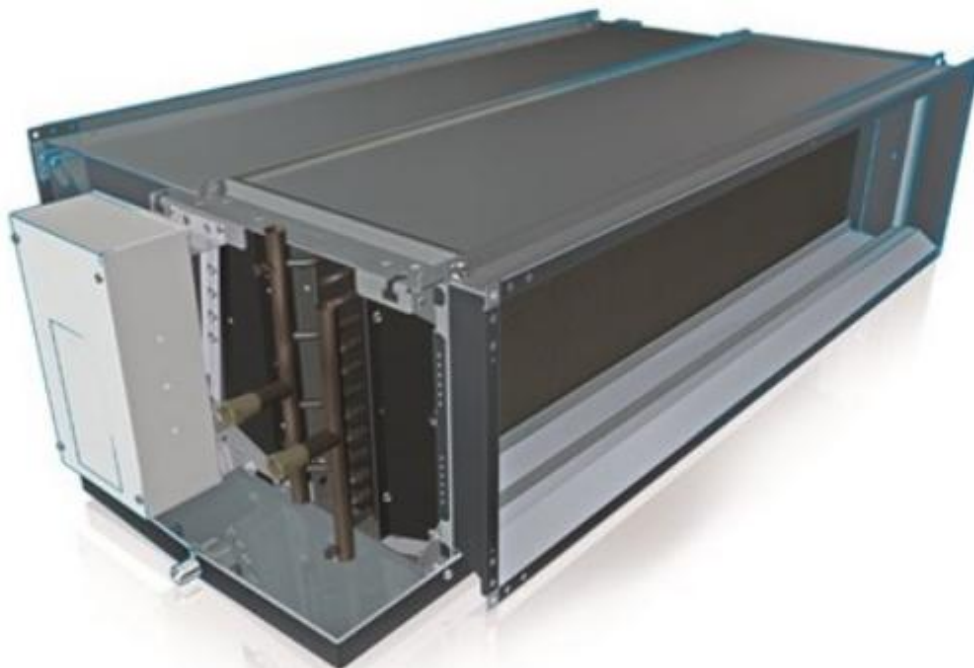
Řešením by bylo zvýšit průtok čerstvého vzduchu, nebo směšování v centrální vzduchotechnické jednotce, aby se navýšil objem přiváděného vzduchu do prostoru. To ale není vhodné vzhledem k rozměrům jak vzduchotechnické jednotky, tak vzduchotechnickým rozvodům.

Dalším řešením by byla kombinace více systémů chlazení. Nicméně pokud jiný systém je schopen pokrýt tepelnou zátěž sám, není vhodné zřizovat parapetní indukční jednotky.

Parapetní indukční jednotky nejsou vhodné pro řešení prostor vzhledem k malému chladicímu výkonu zapříčinenému malým průtokem primárního vzduchu.

3.4.2 Návrh kanálových jednotek

Pro tento typ distribuce byly zvoleny pro řešenou oblast dvě kanálové jednotky HyPower-Geko GH21 s chladicím výkonem 4,0 kW.



Obr. 19: Ventilátorový konvektor HyPower-Geko [21]

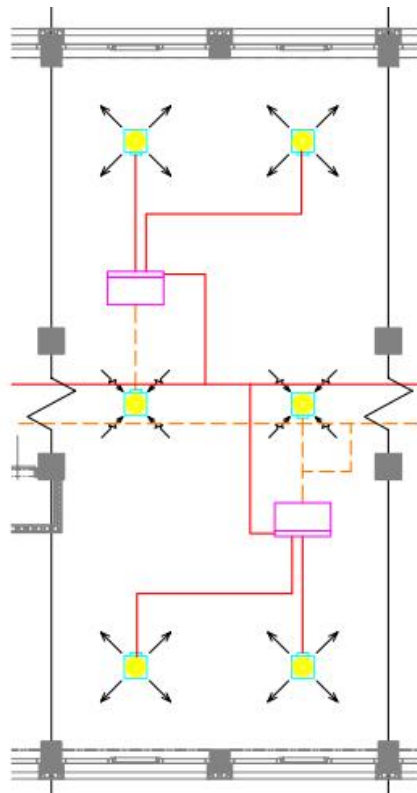
Objemový průtok cirkulačního vzduchu	1680 m ³ /h
Teplota upraveného cirkulačního vzduchu	15,0 °C
Potřeba chladicího výkonu	6,0 kW
Chladicí výkon kanálových jednotek	2 x 4,0 kW
Teplotní spád vody	7/13 °C
Celkový objemový průtok přiváděného vzduchu	2030 m ³ /h
Teplota přiváděného vzduchu	15,9 °C

Tab. 7: Parametry návrhu kanálových jednotek

Pro distribuci vzduchu jsou navrženy dvě možnosti: anemostaty a štěrby.

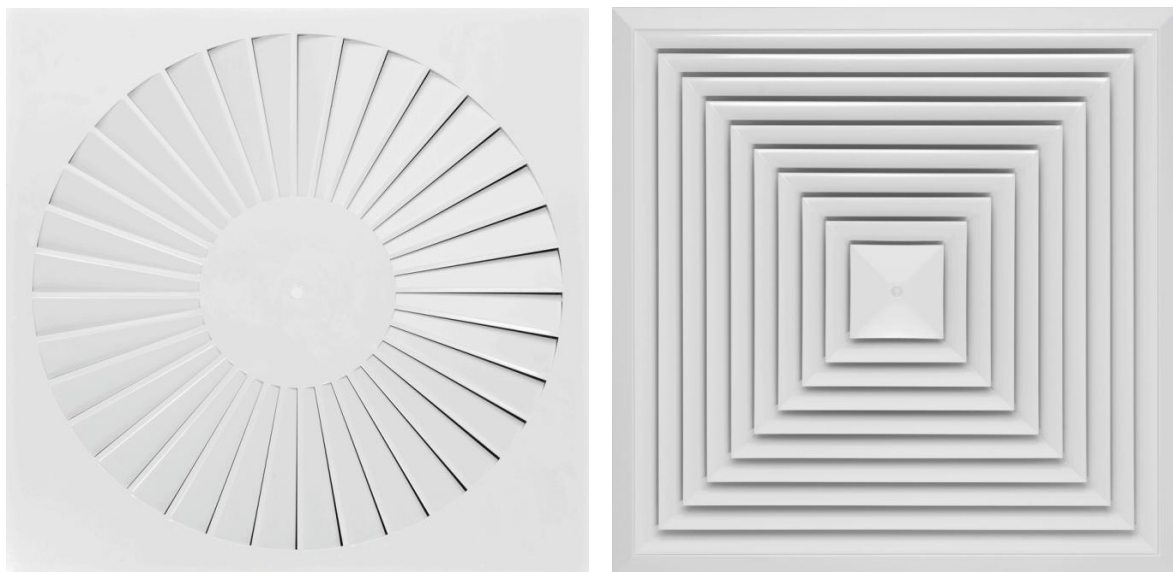
3.4.2.1 Anemostat

Prvním typem distribučních prvků jsou anemostaty. Každá kanálová jednotka je napojena na dva přívodní a jeden odvodní anemostat. Přiváděný venkovní vzduch je napojen až za kanálovou jednotkou, tudíž není touto jednotkou upravován. Výhoda tohoto řešení je v tom, že pokud není potřeba upravovat vnitřní teplotu pomocí výměníků ventilátorových konvektorů, ventilátory v těchto jednotkách nemusí být v pohotovosti a přiváděný venkovní vzduch se do prostoru i tak dostane. Každý anemostat musí v případě maximální tepelné zátěže distribuovat až 508 m³/h.



Obr. 20: Schéma systému s kanálovými jednotkami a anemostaty

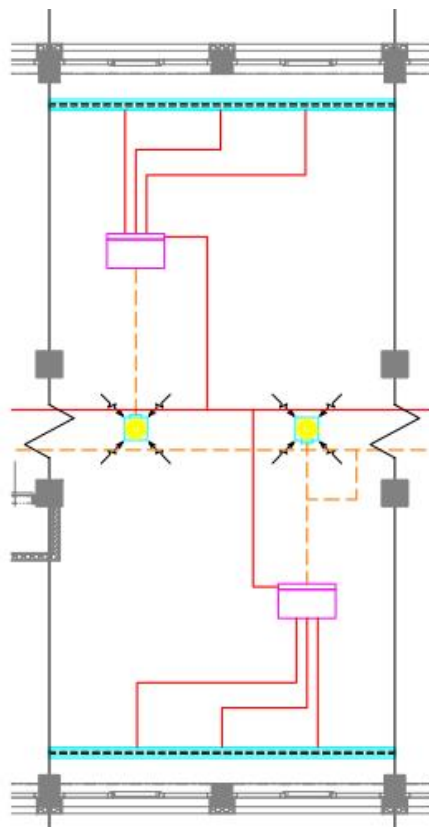
V Design Builderu v CFD nelze navrhnout anemostat s vířivou distribucí vzduchu. V simulaci je počítáno s anemostatem, který distribuuje vzduch do čtyř směrů pod úhlem 60° od svislé osy. Výústce v simulaci by mohl odpovídat například anemostat TROX DLQ-AK-4-M-0/500. Rychlost vzduchu při opouštění distribučního prvku byla zadána 2,5 m/s. Pro pravděpodobně lepší výsledek z hlediska rychlosti proudění vzduchu by mohl být navržen anemostat s vířivou distribucí vzduchu, například TROX FD-Q-Z-H-M-L/600.



Obr. 21: Anemostat s vířivou distribucí vzduchu TROX FD (vlevo), anemostat s distribucí vzduchu do čtyř stran TROX DLQ (vpravo) [22]

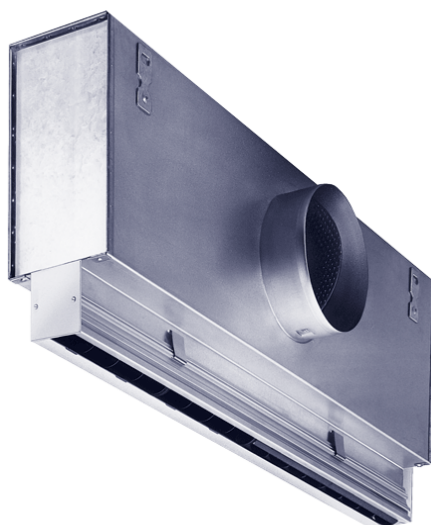
3.4.2.2 Štěrbínová výústka

Také pro štěrbinové výústky byly zvoleny dvě kanálové jednotky HyPower-Geko GH21 s chladicím výkonem 4,0 kW. Každá jednotka je napojena na tři přívodní štěrbinové výústky a jeden odvodní anemostat.



Obr. 22: Schéma systému s kanálovými jednotkami a štěrbinami

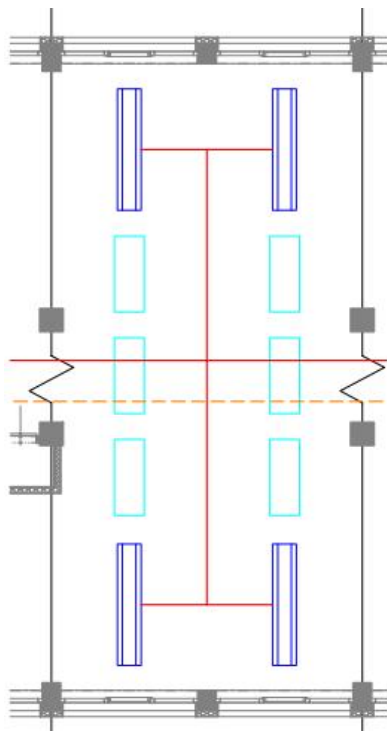
Štěrbínové výústky byly v CFD nahrazeny více nespecifikovanou výústkou, které byl dán úzký a podlouhlý tvar. Směr proudění vzduchu je simulováno přímo dolů, ačkoliv reálně může být úhel směru proudění vzduchu upravován. Navrženy by mohly být štěrbininy typu TROX VSD50-2-AK-M-L/2000x158x25/C2/B00. Rychlost vzduchu v momentě vyfukování ze štěrbin je 2,6 m/s.



Obr. 23: Štěrbina TROX VSD50 [22]

3.4.3 Návrh chladicích trámů

Chladicí trámce jsou na tom velmi podobně jako indukční jednotky. Aktivní chladicí trámy nestačí pokrýt tepelnou zátěž kvůli malému průtoku primárního vzduchu. Nicméně zde se nabízí doplnění aktivních chladicích trámů trámy pasivními.



Obr. 24: Schéma systému s aktivními a pasivními trámy

Pro řešenou oblast jsou navrženy 4 aktivní chladicí trámy typu TROX DID312-LR-2-M-LL-AV/2400x2400x293 s chladicím výkonem 4 x 652 W tedy 2,6 kW. Tyto chladicí trámce jsou umístěny u oken. Rychlost vzduchu při distribuci byla zadána 0,8 m/s. Aktivní trámy jsou doplněny trámy pasivními TROX PKV-L-G-W/1500x575x200 s chladicím výkonem 6 x 567 W, což odpovídá 3,4 kW. Výstupní rychlost vzduchu u těchto prvků byla zvolena 0,4 m/s. Dohromady trámy uchladí 6 kW, čímž se tepelná zátěž pokryje.

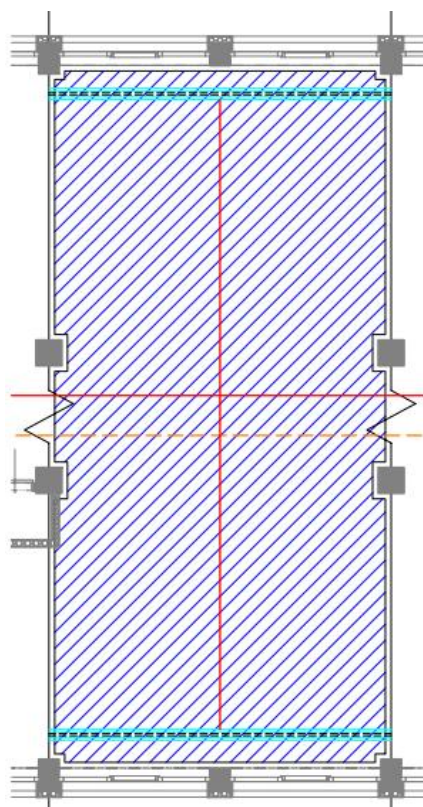
Teplotní spád vody – aktivní trám	16,0/18,9 °C
Teplotní spád vody – pasivní trám	16,0/19,1 °C
Chladicí výkon aktivních chladicích trámů	4 x 652 W
Objemový průtok z aktivních chladicích trámů	4 x 324 m ³ /h
Chladicí výkon pasivních chladicích trámů	6 x 567 W
Objemový průtok z pasivních chladicích trámů	6 x 208 m ³ /h

Tab. 8: Parametry návrhu chladicích trámů



Obr. 25: Aktivní chladicí trám TROX DID312 (vlevo), pasivní chladicí trámeček TROX PKV (vpravo) [22]

3.4.4 Návrh chladicích stropů



Obr. 26: Schéma sálového systému s přívodem vzduchu pomocí štěrbin

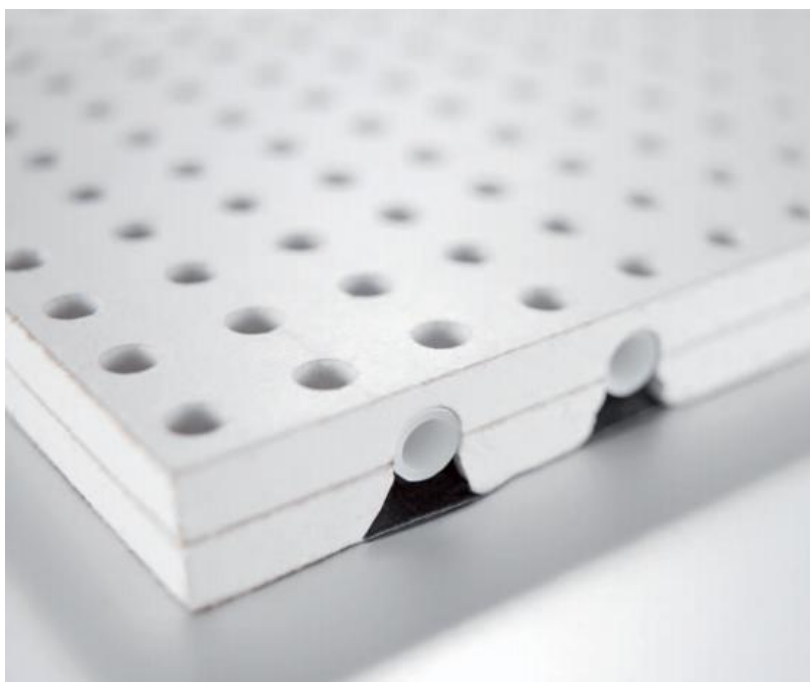
Teplotní spád	16/18 °C
Aktivní plocha stropu	72,0 m ²
Povrchová teplota stropu	17,5 °C

Tab. 9: Parametry návrhu chladicích stropů

Pro simulaci chladicích sálavých stropů byla změněna vnitřní povrchná teplota stropu na teplotu 17,5 °C, což by mělo odpovídat chladicímu výkonu 6 kW. Pro tento návrh je nutné navrhnout vzduchotechnický systém zajišťující větrání prostoru. Pro simulaci byly jako přívodní prvky zvoleny štěrby, které distribuuji vzduch o objemovém průtoku 350 m³/h s výstupní rychlostí 2 m/s.

Jako sálavý systém by mohl být navržen systém od Rehau s volně zavěšenou stropní deskou 8/18 R. Chladicí výkon tohoto systému může být až 92 W/m² při rozdílu teplot 10 °C. Byl zvolen rozdíl 9 °C, aby se snížilo riziko kondenzace, což bude mít za následek snížení výkonu na 82 W/m², tudíž na pokrytí tepelné zátěže postačí. Systémový prvek je vytvořen ze slepených sádkartonových děrovaných desek, do kterých jsou vyfrézovány drážky, v nichž jsou integrovány trubky RAUTHERM S 10,1 x 1,1 mm. [23]

Potřebný výkon chladicího stropu je takový, že je nutné hlídat teplotu rosného bodu, respektive vlhkost vzduchu v interiéru. Je nutné do vzduchotechnické jednotky navrhnout odvlhčení, aby nehrozila kondenzace na chladicím stropu v době vyšší vlhkosti vzduchu.



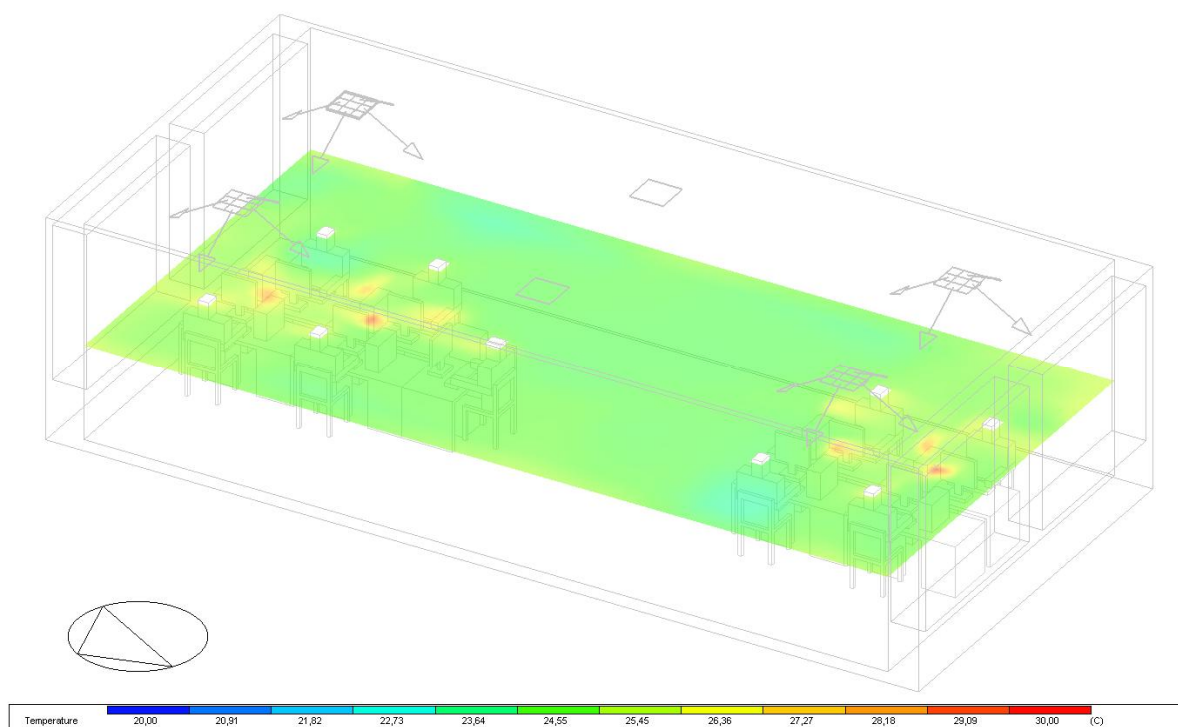
Obr. 27: Chladicí stropní deska Rehau [24]

3.5 Výstupy a vyhodnocení CFD

Kompletní výstupy ze CFD se nacházejí v příloze *Výstupy z Design Builderu*. Zde budou uvedeny základní výstupy, podle kterých si lze udělat představu o jednotlivých typech návrhů, a jejich vyhodnocení.

3.5.1 Kanálové jednotky s anemostaty

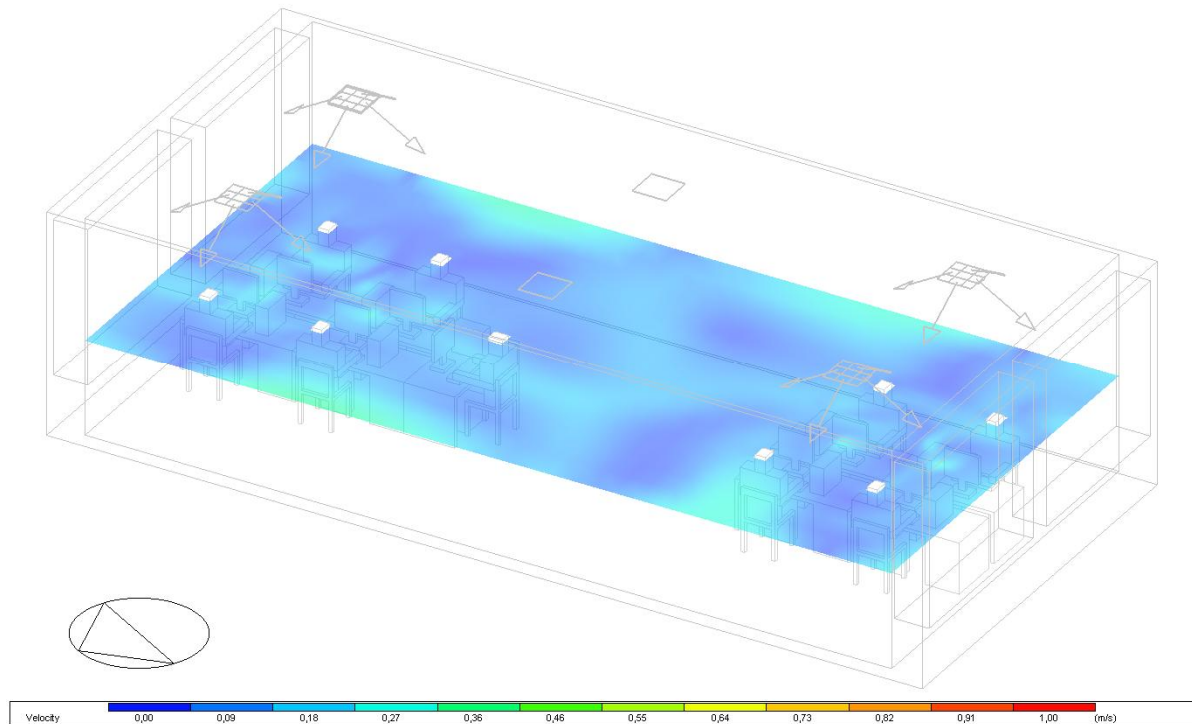
Výsledky modelu s distribucí vzduchu anemostaty ukazují, že ochlazený vzduch je relativně rovnoměrně distribuován do celého prostoru. Nicméně teplené zisky nejsou rovnoměrné, tudíž v některých částech místnosti je vyšší teplota vzduchu. Tento fakt bude u všech systémů stejný, jelikož v místnosti jsou vymodelovány především počítače, které produkují zásadnější vnitřní teplené zisky.



Obr. 28: Rozložení teploty vzduchu ve výšce 1,4 m nad podlahou

Vzduch z anemostatů je přiváděn do čtyř směrů, tudíž se vzduch podél stropu dostává k „překážce“, kterou je buď stěna, nebo další proud vzduchu v opačném směru, a poté klesá dolů. Tam, kde se vzduch dostává do pobytové zóny, má vzduch dle modelu nejvyšší rychlost proudění 0,35 m/s u stěn a nejnižší teplotu 23 °C. Nejvyšší dosažená rychlost může být ovlivněna ohraničením části budovy stěnami, které nahrazují proudění vzduchu v opačném směru. Rychlost by ve výsledku měla být v těchto místech o něco menší. Tyto parametry jsou

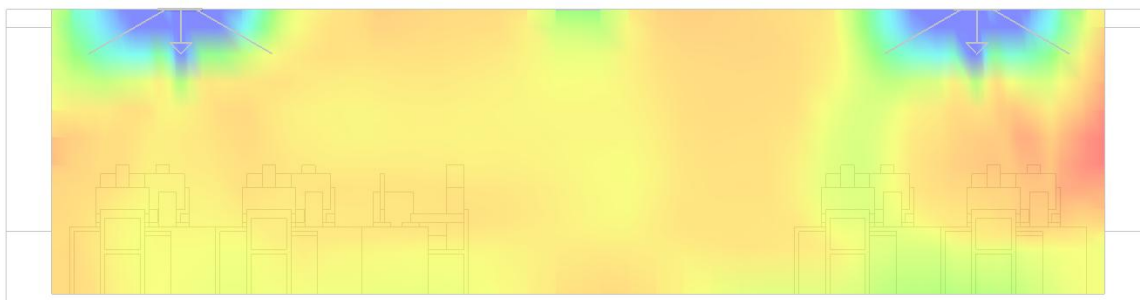
závislé na typu anemostatu. Teplota 23 °C napovídá, že přiváděný vzduch se dostatečně smísí se vzduchem v místnosti, než se dostane do pobytové zóny.



Obr. 29: Rozložení rychlosti vzduchu ve výšce 1,4 m nad podlahou

Pokud by open space byl vyřešen dle tohoto modelu, nejvyšší rychlosti proudění vzduchu by příliš neohrožovali pracovní místa, nicméně například u oken můžou pracovníci být negativně ovlivněni tímto studeným vzduchem s vyšší rychlostí proudění. U open space prostoru nelze očekávat, že uspořádání pracovních míst je trvalé, tudíž by v celém prostoru měly být co možná nejlepší podmínky, což varianta s anemostaty ne vždy je schopna zaručit. V tomto případě je v některých místech rychlost proudění vzduchu vyšší než doporučené hodnoty, není tedy vyloučeno, že místní diskomfort v podobě průvanu zde může vzniknout.

Zobrazení výsledků PPD a PMV říká, že nejhorší podmínky budou v inkriminovaný čas u západního okna, kde se PMV blíží k hodnotě 1 a PPD zde dosahuje 16 %. I u okna na druhé straně místnosti jsou hodnoty o něco málo horší než ve zbytku místnosti, ale zde jde pouze o malý prostor v těsné blízkosti oken a ne tak extrémní hodnoty. Ve zbytku místnosti jsou relativně dobré výsledky, hodnoty PMV se zde pohybují od 0,0 do 0,5 a PPD do 10 %, což odpovídá teplejšímu prostředí, než je ideální, ale bez výrazného dalšího zhoršení kvality prostředí.

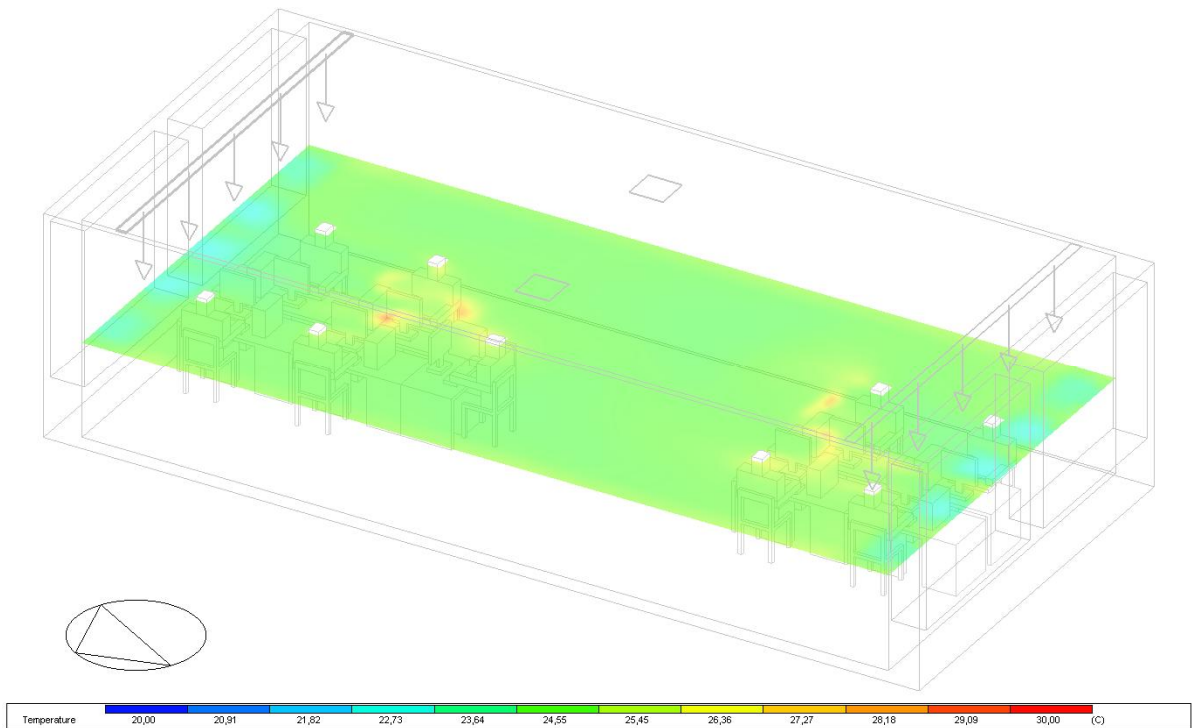


Obr. 30: Řez místností s průběhem PMV

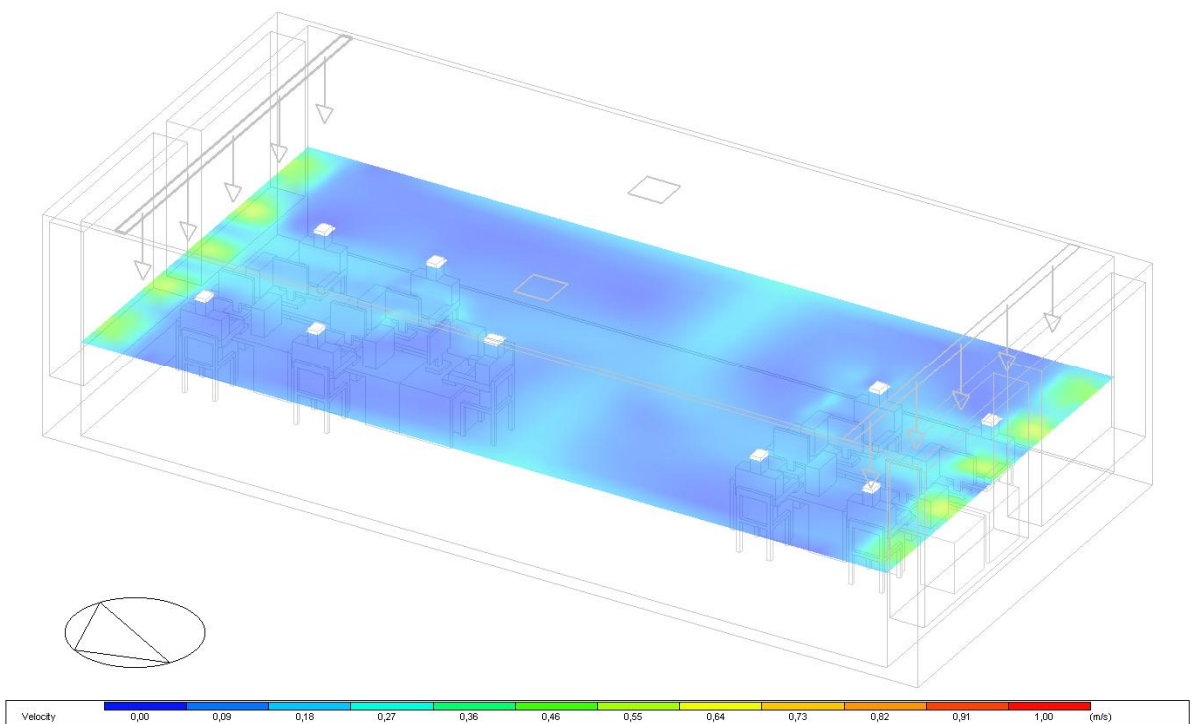
Pro tento prostor není varianta s anemostaty špatná volba, nicméně riziko především průvanu, ale i proudění chladnějšího vzduchu na pracovní místa tu je. Co se týče zařazení do kategorie tepelného prostředí, jsou zde zastoupeny všechny tři A, B i C. Nejvíce jsou zastoupeny kategorie A a B, ale především v blízkosti oken jsou místa, která odpovídají kategorii C. Velmi zde bude záležet na pozicích pracovních míst. Pokud bude navržen správný typ a umístění anemostatů, které zaručí v celé pobytové zóně vyhovující podmínky, může být tato varianta vhodná. Jelikož je v řešené místnosti velká tepelná zátěž, která má za následek velký objemový průtok chladicího vzduchu, je velmi složité dosáhnout optimálních podmínek v celé pobytové zóně, avšak i z tohoto modelu lze vidět, že to není nereálné.

3.5.2 Kanálové jednotky se štěrbinami

Z výsledků je patrné, že v prostoru pod štěrbinami je výrazně vyšší rychlost proudění vzduchu. Vzduch zde dosahuje rychlosti až 0,6 m/s ve výšce 1,4 m od podlahy, což způsobí nemalý lokální diskomfort u oken. Navíc teplota tohoto vzduchu je výrazně nižší než teplota ve zbylé části místnosti. Teplota přiváděného vzduchu je 18,9 °C a ve výšce 1,4 m od podlahy v místech distribuce nedojde k dostatečně indukci a zvýšení teploty přiváděného vzduchu. Teplota vzduchu v těchto místech je kolem 22 °C, což je o 4 °C méně než průměrná teplota vzduchu v místnosti.



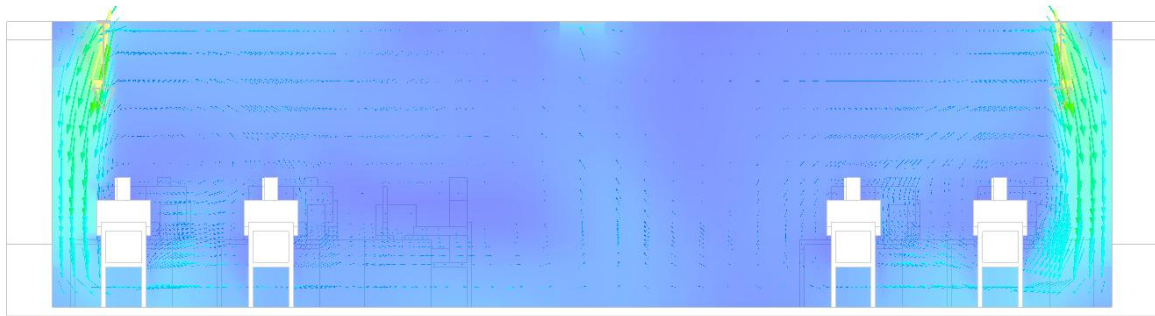
Obr. 31: Štěrbiny - rozložení teploty vzduchu ve výšce 1,4 m nad podlahou



Obr. 32: Štěrbiny - rozložení rychlosti vzduchu ve výšce 1,4 m nad podlahou

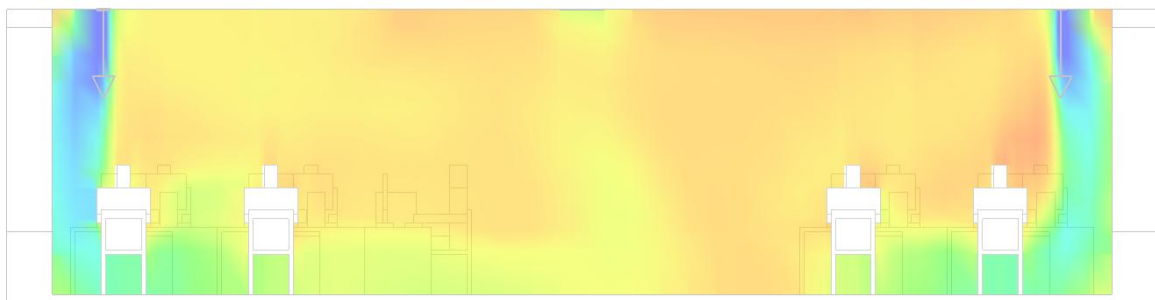
Ve zbylé části místnosti je však dosaženo solidních výsledků. Rychlosti vzduchu téměř odpovídají doporučeným rychlostem a teplota vzduchu je relativně stálá. Nevýhoda tohoto návrhu je v tom, že chladný vzduch se téměř ihned dostane k podlaze místnosti, tudíž prostor

neochladí rovnoměrně. Dochází k tomu, že teplota u podlahy je nižší a rychlost proudění vyšší, než ve vyšších vrstvách vzduchu, což opět může způsobit lokální diskomfort v podobě odlišných teplot horizontálních vrstev.



Obr. 33: Štěrbiny - řez místností s vyznačeným směrem a rychlostí proudění vzduchu

Z výsledků PMV a PPD lze vyčíst již zmíněnou odlišnost vrstev v blízkosti oken. Vzduch u podlahy je výrazně chladnější než vzduch ve vyšších vrstvách. Dalším problémem je pozice pracovních míst v blízkosti oken, kde se hodnota PPD dostává k hranici 20 %. Ve zbytku místnosti jsou výsledky srovnatelné s výsledky při použití anemostatů, nicméně rizikových faktorů je zde více.

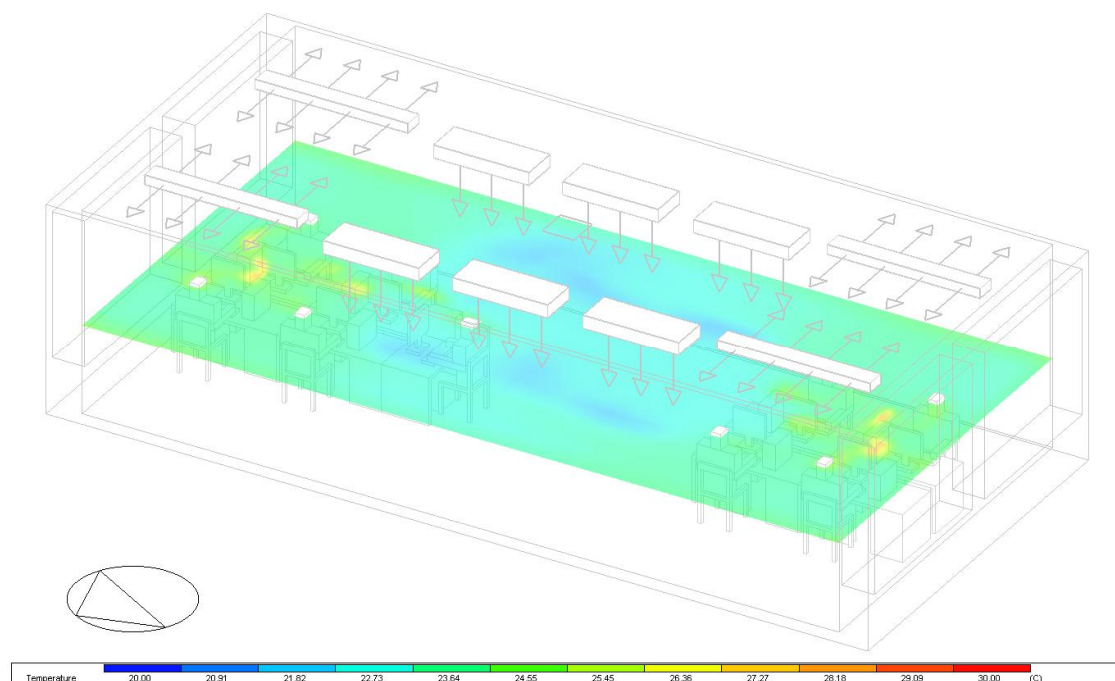


Obr. 34: Štěrbiny - řez místností s průběhem PMV

Tento návrh není pro řešený objekt ideální. Důvodem je především to, že řešený prostor je navržen jako open space. To většinou znamená, že prostor by měl být velmi variabilní. V momentě, kdy se pracovní místa nacházejí v blízkosti oken, pracovníci mohou pociťovat velký diskomfort z důvodu chladného vzduchu, který proudí s vyšší rychlostí. V případě, že by šlo o kancelář, kde by pracovní místa byla předem jasně určena a nenacházela by se pod štěrbinami, návrh by byl mnohem vhodnější. Nicméně i v tomto případě může docházet k diskomfortu z hlediska odlišných teplot v jednotlivých vrstvách vzduchu. Ani z hlediska kategorie tepelného prostředí nevychází tento návrh příliš dobře. Z hlediska PPD a PMV je většina místnosti ještě v kategorii B, ale jsou zde i místa, která již spadají do kategorie C. Zlepšení by mohlo nastat díky nastavení jiného směru proudění vzduchu ze štěrbin. Částečně by mohl být nasměrován na okno a částečně na druhou stranu do prostoru ke stropu. V tomto případě by štěrbinové proudění mohlo ukázat daleko lepší obrazce proudění než v tomto modelu. Řešený prostor je však celkem rozsáhlý na to, aby na distribuci chladu byly dostačující a nejvhodnější štěrbinové výústky napojeny na kanálovou chladicí jednotku.

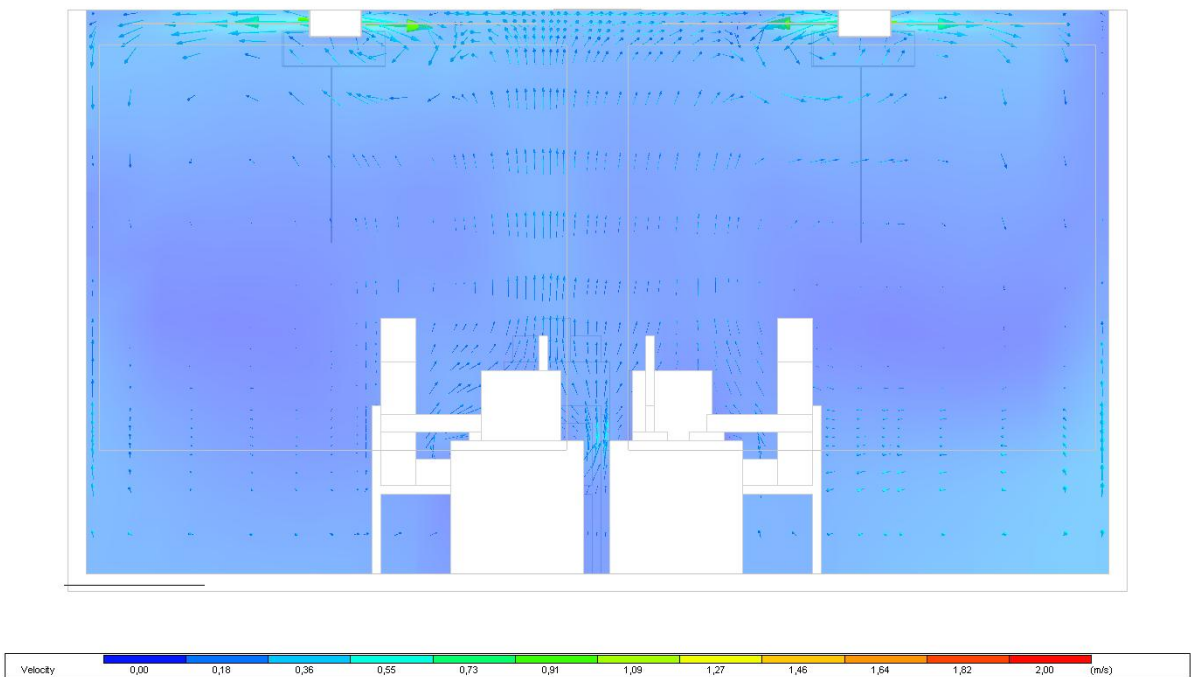
3.5.3 Chladicí trámy

Model s trémci je jednoznačně nejkomplicovanější vzhledem k počtu a typu prvků pro distribuci chladu. Možná i proto jsou výsledky poněkud odlišné oproti ostatním výpočtům. Jde především o průměrnou teplotu vzduchu v místnosti. Ačkoliv by měla být kolem 26 °C, z výsledku lze odečíst průměrnou teplotu vzduchu v místnosti minimálně o 2 °C nižší.



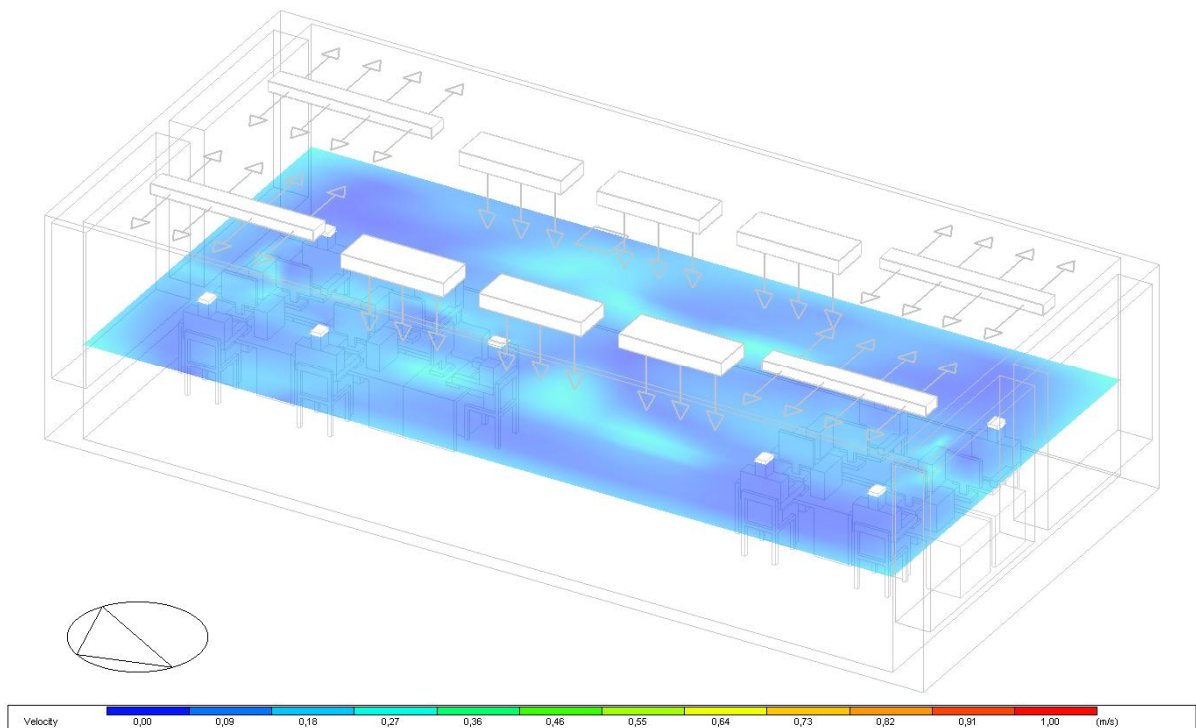
Obr. 35: Chladicí trámy - rozložení teploty vzduchu ve výšce 1,4 m nad podlahou

Aktivní trámy vyfukují vzduch pod strop, odkud by se měl díky rychlosti proudění a teplotě vzduchu dostávat postupně k zemi. U stěny tento předpoklad víceméně splněn je, i když dle výsledků vypadá, že se tento vzduch nedostane až k zemi vzhledem k jeho nižší rychlosti distribuce. Pokud se podíváme, jak vypadá toto proudění mezi aktivními trámy, předpokládaný obraz proudění zde určitě naplněn není. Vzduch je distribuován na střed místnosti u stropu, tam ale převládá proudění ohřátého vzduchu a ochlazený vzduch se vrací zpět do trámce, čímž dochází ke zkratu. Aby proud ochlazeného vzduchu došel až do pobytové zóny, by byla potřeba vyšší výstupní rychlost tohoto vzduchu.



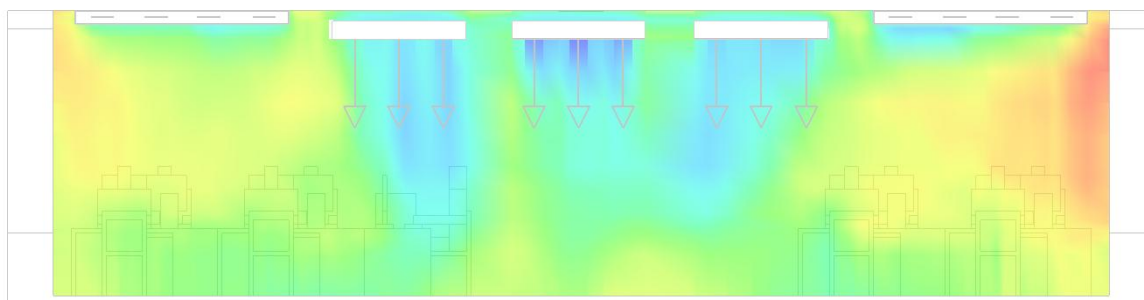
Obr. 36: Chladicí trámy - řez místností s vyznačeným směrem a rychlostí proudění vzduchu

U pasivních trámů je vzduch nasáván nad trámy a distribuován pod ně, což dle výsledků takto funguje. Vzhledem k velké ploše distribuce zde nedochází k velkému promíchání vzduchu, tudíž se do pobytové zóny dostává vzduch o teplotě 22 °C. I když vzhledem k průměrné teplotě vzduchu v místnosti to není až takový rozdíl. Rychlost proudění vzduchu je v tomto případě vcelku nízká v celé pobytové zóně. Jen pod pasivními trámci může vzniknout malý diskomfort vzhledem k rychlosti proudění vzduchu 0,35 m/s a nižší teplotě vzduchu.



Obr. 37: Chladicí trámy - rozložení rychlosti vzduchu ve výšce 1,4 m nad podlahou

Výsledky PMV a PPD jsou velmi ovlivněny celkovou teplotou vzduchu v místnosti, která není požadovaných 26 °C. Tím pádem jsou hodnoty PMV nižší a i PPD bude pravděpodobně lepší v některých případech. I v tomto případě je krizové místo u západního okna, které je osluněno, nicméně vyšší hodnoty PPD jsou jen v blízkosti zasklení, což napovídá, že je zde problém především teplotní, ne kvůli vysoké rychlosti proudění vzduchu. Také je překvapivě kritické místo pod pasivními trámy, kde jsou hodnoty PMV až -0,5, což v letním teplém dni určitě není ideální. Jak jsem zmínil, výsledky nejsou příliš přesné vzhledem k teplotě, ale lze předpokládat, že problém u okna by v případě vyšší teploty vzduchu v místnosti byl větší a kritická oblast by se rozšířila. Naopak pod pasivními chladiči by se pravděpodobně neměly objevovat záporné hodnoty PMV.

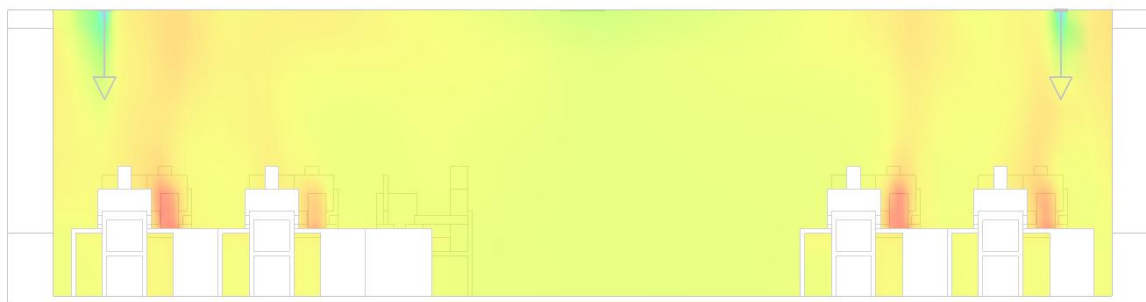


Obr. 38: Chladicí trámy - řez místností s průběhem PMV

Tento způsob chlazení je vcelku vhodný pro open space, jelikož distribuce chladu je rozložena do více prvků, které pokryjí velkou plochu. Jsou tedy menší rozdíly teplot vzduchu v místnosti. Navíc rychlost proudění vzduchu by vzhledem k nižším výstupním rychlostem z distribučních prvků neměla dělat průvan v pobytové zóně. I když z výsledků vyplývá, že ochlazený vzduch z pasivních chladicích trámů klesá k zemi rychlostí, který průvan zapříčiňuje. Kategorie tepelného prostředí z tohoto modelu odpovídá A a B. Místa pod pasivními trámy jsou příliš chladná, naopak pod aktivními trámy jsou teplejší a PMV zde vychází vyšší. Nicméně větší riziko diskomfortu se nachází uprostřed místnosti pod pasivními trámy. Řešením by bylo vhodnější uspořádání trámů, či změna výkonů, čímž by se téměř celý prostor mohl zařadit do kategorie A. Rizikem tohoto systému je tvorba kondenzace. Je nutné přiváděný vzduch odvlhčit ve vzduchotechnické jednotce, abychom se vyhnuli dosažení rosného bodu.

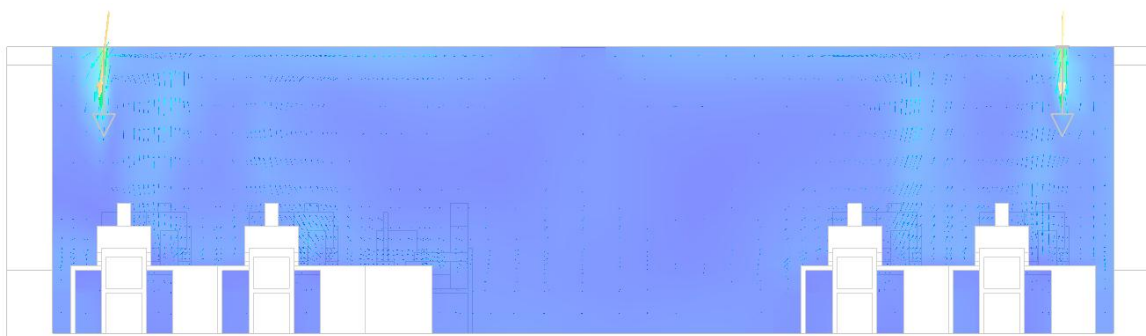
3.5.4 Chladicí stropy

Naopak v modelu s chladicím stropem je teplota vzduchu v průměru spíše vyšší než 26 °C i když jen nepatrně. Může to být způsobeno tím, jakým způsobem Design Builder počítá s přenosem tepla sáláním.



Obr. 39: Chladicí stropy - řez místností s rozložením teploty vzduchu

V této variantě není tolik podstatné proudění vzduchu, jelikož distribuce chladu je zajištěna vodou vedenou v sálavých stropních panelech. Přiváděný vzduch má za úkol pouze větrání prostoru, tudíž objem tohoto vzduchu je daleko menší než v předešlých variantách. Rychlost vzduchu je v pobytové zóně pod štěrbinami vyhovující, jelikož vzduch dosahuje rychlostí maximálně 0,3 m/s. Provětrání celého prostoru je zajištěno díky odtahu, který je umístěn mezi štěrbinami uprostřed místnosti u stropu. Znehodnocený ohřátý vzduch stoupá zpět ke stropu a poté je odveden. Avšak v tomto případě je podstatnější rozložení teploty vzduchu.

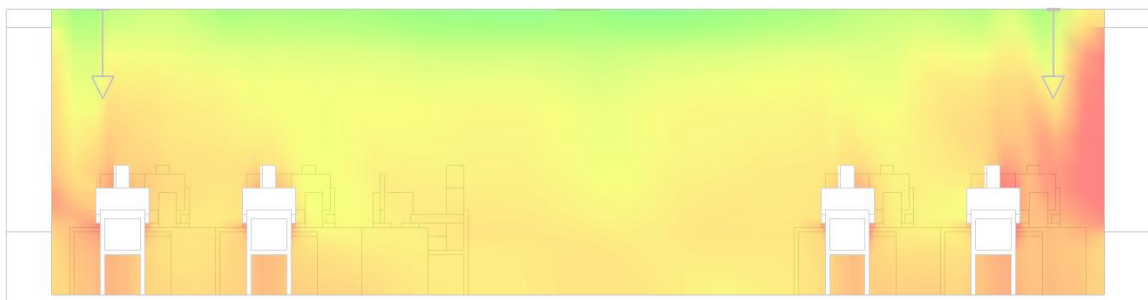


Obr. 40: Chladicí stropy - řez místností s vyznačeným směrem a rychlostí proudění vzduchu

Teplota přiváděného vzduchu se v pobytové zóně nijak zásadně neliší od ostatního vzduchu, teplota v místnosti je tedy velmi stálá. V celém prostoru se teplota vzduchu

pohybuje lehce nad hranicí 26 °C, což bude zapříčeno výpočtem sálání chladného stropu v modelu. Nejteplejší vzduch se nachází nad místy, kde se nacházejí počítače, stejně jako u ostatních modelů. Sálavý systém celou plochou ochlazuje nejteplejší vzduch, který klesne k podlaze a tím distribuuje chlad nejrovnoměrněji ze všech zmíněných systémů, proto je teplota v celé místnosti velmi podobná.

Hodnoty PMV a PPD jsou zde, stejně jako teplota, velmi stálé. Tradičně nejproblematičtějším místem je západní okno, u kterého lze najít hodnoty PMV blíží se k hodnotě 1. Ve zbytku místnosti jsou hodnoty PMV v rozptýlu 0,2 - 0,5, kromě míst ovlivněných vnitřními tepelnými zisky. Při pohledu na řez je zajímavé, že u stropu je PMV výrazně nižší (blíží se k nule) díky chladicímu stropu. Mělo by to mít za následek příjemný pocit chladu dopadající pozvolna směrem k podlaze. Z hlediska PPD se hodnoty v místnosti pohybují většinou pod 10 %, ale u oken a v několika dalších místech hodnota přesáhne hranici 10 %. Nicméně opět toto hodnocení je ovlivněno vyšší teplotou v místnosti. Pokud by se pohybovala kolem požadovaných 26 °C, výsledky této metody by byly daleko lepší vzhledem k malým rozdílům výsledků v celé místnosti.



Obr. 41: Chladicí stropy - řez místností s průběhem PMV

Stropní chlazení velmi dobře pokrývá tepelnou zátěž ve velké ploše. Z výstupů vyplývá, že pracovní pozice by se daly ještě zařadit do kategorie tepelného prostředí B, ale některá místa už se minimálně blíží ke kategorii C, nicméně je to opět z důvodu vyšší teploty v celém prostoru. Při redukci teploty věřím, že tento systém může zaručit pro většinu prostoru parametry, které spadají do nejlepší kategorie A. Problémová jsou okna, kterými do místnosti přichází velké tepelné zatížení. V tomto případě je tento faktor mírně redukován přírodními štěrbinami u oken, které přivádějí vzduch o teplotě 20 °C, i tak jsou podmínky u západního

okna navečer výrazně horší než ve zbytku místnosti. Další zlepšení by přišlo nasměrováním štěrbin na okno, aby povrchová teplota byla nižší. Celkově se stropní chlazení jeví jako velmi vhodné do tohoto prostředí vzhledem k variabilitě prostoru. Také při tomto systému je minimální riziko průvanu, což je velká výhoda. Nevýhodou je riziko tvorby kondenzace, která v tomto modelu velmi reálně hrozí, jelikož teplotní spád chladicí vody je 16/18 °C.

3.5.5 Ekonomické porovnání distribučních systémů chlazení

Investiční náklady na chlazení rostou s velikostí objektu. V příloze *Pořizovací náklady systémů pro distribuci chladu* jsou spočteny ceny jednotlivých typu chlazení. Ceny především ekonomicky významnějších prvků byly poptány u výrobců, ceny méně náročných prvků byly odvozeny ze starších katalogů, či podobných výrobků, u kterých byla cena uvedena. Ceny jsou uvedeny pro řešenou část místnosti.

Kanálová jednotka + anemostaty	79 940 Kč
Kanálová jednotka + štěrbin	104 960 Kč
Aktivní + pasivní trámy	130 000 Kč
Chladicí strop + štěrbin	275 600 Kč

Tab. 10: Pořizovací náklady na distribuční systém chlazení

Z této tabulky je patrné, že systémy s kanálovými jednotkami jsou z hlediska pořizovacích nákladů nejvýhodnější. Je to dáno především tím, že v tomto systému jsou jen dva výměníky v kanálových jednotkách a minimum navazujících prvků. Štěrbiny jsou přibližně o 25 000 Kč dražší, než když jsou na jednotky napojeny anemostaty.

Systém s trámy je o dalších 25 000 Kč dražší než kanálová jednotka se štěrbinami, nicméně jednoznačně nejdražší systém je chladicí strop. Je to dáno vysokým požadavkem na výkon stropu na 1 m². Pokud by se potřeba výkonu snížila, dal by se navrhnout levnější systém, který by znamenal téměř poloviční cenu tohoto systému.

Kanálové jednotky jsou sice nejlevnější z hlediska pořizovacích nákladů, ale jsou ekonomicky nejnáročnější z hlediska provozu. Je nutné ventilátorům v jednotkách dodávat elektrickou energii a navíc je nutná údržba jednotek v podobě výměny filtrů.

3.5.6 Výběr nejlepší varianty

Podle předpokladů se velmi dobře jeví systémy se sálavým stropem a s aktivními trámy doplněné o trámy pasivní. Překvapivě dobře si vedl systém s anemostaty, který se téměř vyrovnal výše zmiňovaným systémům. Systém se šěrbinami dle mého názoru neobstál a systém s indukčními parapetními/podlahovými jednotkami byl zavrhnut již na začátku návrhu.

Systém se sálavým stropem je výjimečný především svou rovnoměrností. Chladí ve velké ploše, čímž dokáže zaručit stejné účinky v celé místnosti. Výhodou je celkově menší proudění vzduchu, tudíž nehrozí riziko průvanu. Zásadní nevýhoda tohoto systému bude v nemožnosti individuální regulace a v dynamice tohoto systému. Nicméně si myslím, že pro open space je sálavý strop velmi vhodný. Další nevýhodou je riziko kondenzace. Avšak tepelná zátěž řešené budovy bude nakonec nižší, jelikož zde budou navrženy vnější žaluzie, čímž se zredukuje tepelná zátěž, sníží se požadovaný chladicí výkon a rozdíl mezi teplotou stropu a teplotou vzduchu tedy nemusí být tak velký. Riziko kondenzace bude daleko menší než v tomto modelu, i když požadavek na odvlhčování přiváděného vzduchu zůstane. Jednoznačná nevýhoda systému je pořizovací cena, která by se ovšem snížila se sníženým požadavkem na výkon na 1 m².

Výsledky z modelu s chladicími trámy nejsou příliš přesné, tudíž hodnocení tohoto systému vychází částečně i z osobních předpokládaných výsledků. Výhoda tohoto systému je v tom, že o distribuci chladu se stará mnoho jednotek, které chlad distribuují ve velké ploše. Zároveň je možná individuální regulace, což je pro open space ideální kombinace. Nevýhoda systému, jak je vidět z výsledků, může být rychlost proudění chladného vzduchu. I zde je riziko kondenzace, ale řešení tohoto problému by bylo stejné jako u chladicích stropů, tudíž v modelu s vnějšími žaluziemi a vyšší teplotou chladicí vody by se toto riziko velmi snížilo.

Kanálové jednotky s anemostaty se vhodným výsledkům také velmi přiblížily. Distribuce chladného vzduchu ale není tak rovnoměrná, navíc je dle mého názoru větší riziko v chybném návrhu, který by znamenal průvan v pobytové zóně. Provoz ventilátorových podstropních konvektorů stojí jak elektrickou energii, tak je třeba údržba v podobě výměny filtrů, nicméně pořizovací náklady jsou jednoznačně nejmenší.

Výběr nejlepšího systému není vůbec jednoduchý, pomoci v tom může ekonomická náročnost systémů. Z hlediska poměru cena (pořizovací)/výkon bych jako nejlepší systém zvolil kanálové jednotky s anemostaty. Pokud by se cena nevztahovala jen k pořizovací částce, ale i provozním nákladům, v tom případě bych jako nejlepší typ chlazení zvolil

variantu s chladicími trámy. Nicméně z hlediska komfortu, což je pro tuto práci nejdůležitější, a bez ohledu na cenu, bych se přiklonil k variantě chladících stropů a to především kvůli celoplošné distribuci chladu a vyhnutí se riziku průvanu. Velmi důležitým faktorem je typ chlazeného prostoru. Pokud by nešlo o open space, ale o jiný typ místnosti, například menší kancelář, je možné, že by jako nejlepší systém chlazení byl vybrán jiný.

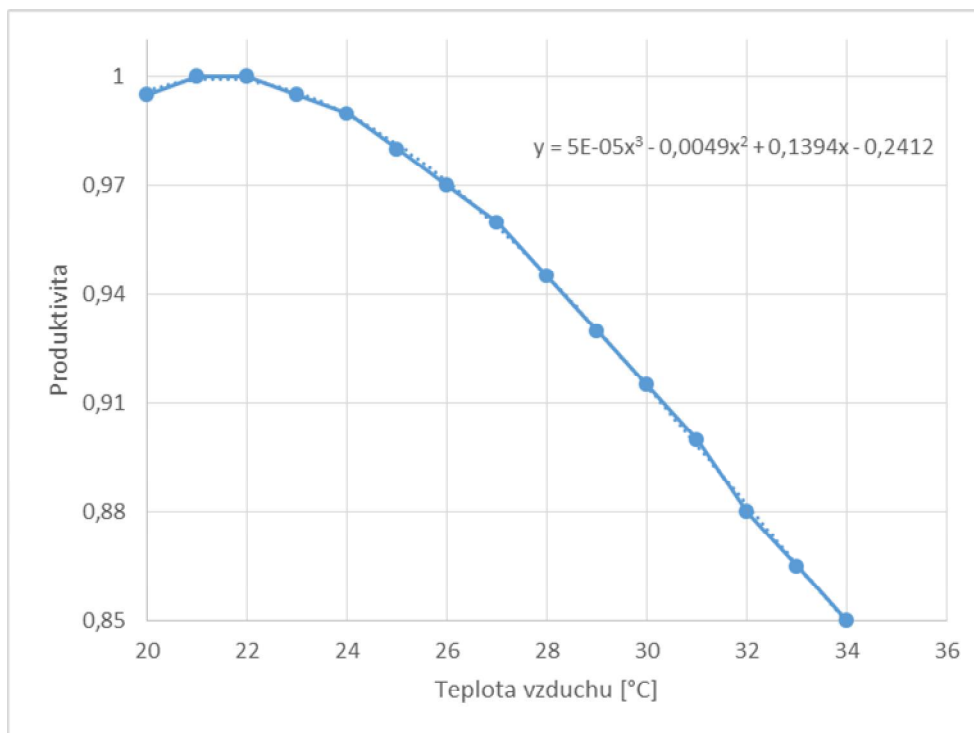
4 Ekonomické zhodnocení investice do vnitřního prostředí

Na závěr rešeršní části bych se chtěl podívat na ekonomickou náročnost na vnitřním prostředí tak trochu z jiné perspektivy. V úvodu práce je graf ukazující závislost produktivity práce lidí na teplotě vzduchu. Samozřejmě teplota není jediný faktor ovlivňující produktivitu. Všechny složky patřící do vnitřního prostředí ji mohou ovlivnit. Pokusím se porovnat ekonomickou náročnost na chlazení s eventuálním ušlým ziskem způsobeným nižší produktivitou zaměstnanců.

Pro příklad si vezměme modul budovy v části open space, který byl řešen i v předešlé části. Plocha této části je přibližně 73 m². Pokud vezmeme, že na pracovníka bude 8 m², v modulu se bude nacházet 9 pracovníků. Průměrný plat v Praze je kolem 40 000 Kč měsíčně, což využijeme jako měsíční mzdu pro naše pracovníky.

Byly porovnány tři varianty průběhu teplot za celý rok, kterým bude odpovídat produktivita lidí. Z Design Builderu byly extrahovány teploty vzduchu v interiéru po hodině v inkriminované části místnosti. Budova je modelována bez chlazení, ale s nuceným větráním s dvojnásobnou výměnou vzduchu za hodinu po celý den. Celý den z důvodu, že v létě toto větrání výrazně ochladí budovu, jelikož teplota vzduchu v interiéru je vyšší než v exteriéru.

Z hodinových teplot byla na základě zmíněného grafu odvozena produktivita práce pro každou hodinu. Měsíční mzda byla tedy zvolena 40 000 Kč, počet pracovníků je 9 a počítáno je s osmi hodinovou pracovní dobou. Velmi zjednodušeně byla určena hodinová mzda pro 9 pracovníků. Ta činí přibližně 2 046 Kč za hodinu na posuzovanou část místnosti. Pokud tedy pracovníci budou mít 100 % produktivitu, hodnota jejich práce za hodinu je zmíněných 2 046 Kč. Z této částky byla odvozena hodnota odvedené práce pro každou hodinu dle teploty vzduchu podle následující křivky.



Obr. 42: Závislost produktivity na teplotě vzduchu a rovnice proložené křivky

4.1 Varianty chlazení

Teploty vzduchu ve variantě 2 s chlazením byla odvozena z první, nicméně maximální teplota byla omezena. Počítáno je s chlazením, které při překročení teploty vzduchu v interiéru 26 °C zaručí, že teplota vzduchu tuto hodnotu nepřekročí a udrží se právě na této hodnotě. Teploty jsou tedy stejné, ale maximální hodnota teploty vzduchu v interiéru během pracovní doby je omezena hodnotou 26 °C.

Poslední varianta zahrnuje stejnou podmínku jako varianta 2, ale ochlazuje vzduch i při překročení teploty vzduchu 22 °C právě na tuto teplotu. Zároveň maximální ochlazení je o 5 °C, aby nebyl příliš velký rozdíl mezi teplotou vzduchu v interiéru a exteriéru. Stejně jako ve variantě 2 bude teplota upravena jen během pracovní doby. Pro zjednodušení jsou shrnuty podmínky chlazení v následující tabulce.

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Intenzita nuc. větrání [h⁻¹]	2	2	2
Chlazení	X	✓	✓
Způsob chlazení	20-22	Bez chlazení	Bez chlazení
Teplota vzduchu [°C]	22-26	Bez chlazení	22
	26-27	26	22

	27+	26	$x - 5$ (max. 26)*
--	-----	----	--------------------

* x = teplota vzduchu z Varianty 1

Tab. 11: Shrnutí posuzovaných variant

4.2 Vykonaná práce navíc

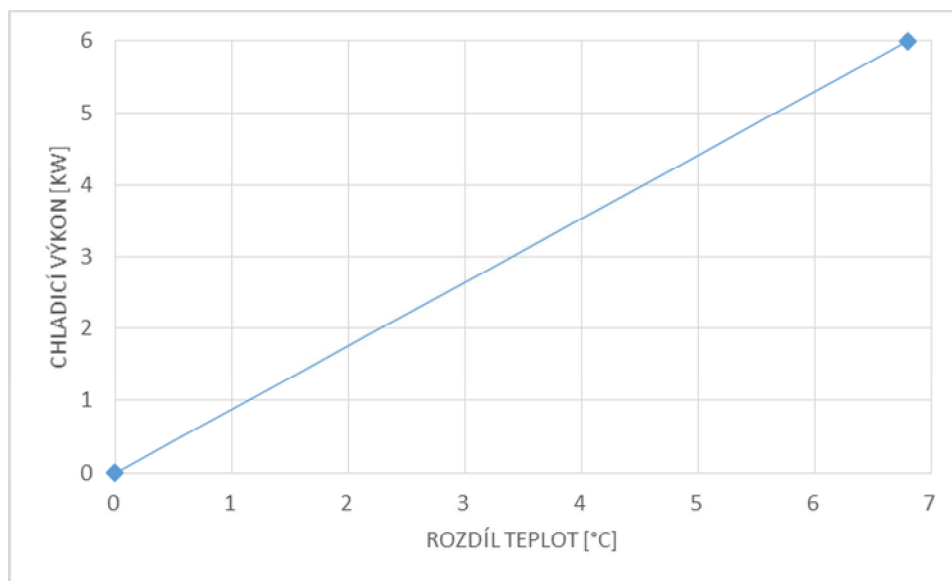
Pokud porovnáme hodinové zisky z vykonané práce u variant s chlazením a výchozí varianty bez chlazení, dostaneme vyčíslenou hodnotu práce, která se díky lepší produktivitě pracovníků vykoná. Při chlazení podle varianty 2 dojde k nárůstu pracovní produktivity, která má za následek vykonání práce v hodnotě 7 436 Kč navíc. Tato hodnota odpovídá řešené části místnosti, kde se nachází 9 pracovníků, uvažované na jeden rok.

Srovnání varianty 3 je hodnota odvedené práce navíc daleko větší. Odvede se o 23 655 Kč více práce než v budově bez chlazení.

Když víme, kolik je možné získat odvedené práce navíc díky chlazení, je logické tyto hodnoty srovnat s náklady na chlazení.

4.3 Náklady na chlazení

Celková spotřeba energie na chlazení, ze které se posléze vypočítají náklady, byla spočtena velmi zjednodušeně, což pro naše porovnání bude dostatečné, i když zdaleka ne tak přesné. Porovnáním průběhů teplot výchozí varianty a variant s chlazením byl dopočten rozdíl teplot pro každou hodinu. Z těchto rozdílů teplot byl zjednodušeně vypočten výkon na ochlazení tak, že největšímu rozdílu teplot odpovídá spočtený maximální chladicí výkon. Toto porovnání vedlo k odvozování ostatních výkonů dle následujícího grafu.



Obr. 43: Závislost chladicího výkonu na rozdílu teplot

Celkově spotřeba energie na chlazení byla pro variantu 2 spočtena 197 kWh a pro variantu 3 to bylo 1 039 kWh. Cena 1 kWh chladu byla spočtena z odhadované ceny elektřiny 3 Kč/kWh a přibližného chladicího faktoru zdroje 4,5. Cena 1 kWh chladu byla spočtena na 0,67 Kč, z čehož vychází roční náklady na chlazení 132 Kč respektive 693 Kč pro druhou variantu. Cena energie na chlazení je tedy v porovnání s prací, která je díky vyšší produktivitě odvedena navíc, mnohonásobně menší. Samozřejmě aby bylo možné chladit, je třeba systém chlazení pořídit, z čímž jsou spjaté nemalé náklady.

4.4 Předběžný návrh chlazení – pořizovací náklady

Pro orientační cenu systému byl na základě původních okrajových podmínek a dispozic spočten celkový potřebný výkon zdroje chladu, což odpovídalo 115,5 kW. Vzduchotechnikou bylo počítáno, že se uchladí 20 kW, tudíž pro návrh chlazení zbývá uchládit 95,5 kW. Na základě těchto hodnot byl předběžně navržen systém pro chlazení včetně chlazení vzduchotechnických jednotek. Pro distribuci je zde uvažován systém s trámy. Odhad pořizovacích investic je shrnut v následující tabulce.

Zařízení	Jednotková cena [Kč]	Množství [ks]	Cena [Kč]
Kondenzační jednotky SERQ250AW1	200 000	2	400 000
Kondenzační jednotky SERQ125AW1	135 000	2	270 000

Tepelné čerpadlo – kompletní systém	560 000	1	560 000
Strojovna	150 000	1	150 000
Páteřní rozvody	400 000	1	400 000
Montáž	250 000	1	250 000
Distribuční část	1 920 000		1 920 000
Celkem			3 950 000

Tab. 12: Odhad pořizovacích nákladů

4.5 Návratnost systému chlazení

Pokud dáme dohromady všechny výše zmíněné hodnoty, dostaneme dobu, při které se nám počáteční investice vrátí.

	Jednotky	Varianta 1	Varianta 2
Počet pracujících v objektu	osob	120	
Plocha pro pracovní místa	m ²	1 080	
Hodnota práce navíc na osobu za rok	Kč	826	2 628
Náklady na chlazení na pracovní místo (9 m²) za rok	Kč	15	77
Celková hodnota práce navíc za rok	Kč	99 152	315 405
Celkové náklady na chlazení za rok	Kč	1 755	9 239
Roční bilance	Kč	+97 398	+306 166
Požizovací náklady	Kč	3 950 000	
Doba návratnosti	let	40,6	12,9

Tab. 13: Tabulka shrnující ekonomické parametry

Doba návratnosti není nijak oslnivá, nicméně je důležité, že lze pro systém chlazení vůbec o nějaké návratnosti mluvit pro pracovní prostředí. Také je důležité, že systém na chlazení funguje i pro vytápění, čímž dojde k dalšímu zvýhodnění a nejde tedy jen o systém navíc, ale má dvě funkce.

4.6 Závěr ekonomického zhodnocení

Záměr této části bylo podívat se na ekonomickou stránku chlazení z trochu jiného úhlu. Vypočtené hodnoty nejsou příliš přesné vzhledem k velmi zjednodušeným výpočtům, ale jistou výpovědní hodnotu mají. Z vypočtených hodnot jasně vyplývá, jak zanedbatelné jsou provozní náklady (náklady na energii) vzhledem k pořizovacím nákladům a vzhledem k podmínkám prostředí, které mají dopad na produktivitu práce. Pokud je systém chlazení instalován v administrativní budově, je velmi vhodné a výhodné tento systém využívat tak, aby byly zaručeny co možná nejlepší tepelné podmínky. Pokud chce někdo „ušetřit“ na chlazení, ve skutečnosti se okrádá o vykonanou práci, jelikož produktivita pracovníků s navyšující se teplotou dramaticky klesá.

Dalším výsledkem je určitá návratnost systému. Není to typická návratnost, která se objevuje v našem oboru. V tomto případě pořizovací náklady na systém nemají snížit spotřebu energie a z toho plynoucí ušetření peněz. Tato návratnost souvisí s odvedenou prací navíc díky lepším podmínkám. Doba, za kterou se investice vrátí, není pro klasického podnikatele příliš výhodná, jelikož v tomto případě vychází přibližně 40,5 let respektive 12,9 let. Nicméně tato část měla připomenout, že investice do chlazení nejsou pouze odevzdané peníze s žádnou návratností, ale že se postupně tento systém může vyplatit. Navíc systém může být použit i pro vytápění.

5 Závěr

V teoretické části této práci bylo rozebráno vnitřní pracovní prostředí, jeho dělení, hodnocení a doporučené parametry pro jednotlivá pracovní prostředí. Samozřejmě byla zmíněna legislativa, která se zabývá vnitřním pracovním prostředím. Dále byly rozebrány jednotlivé typy procesů, které mají za následek místní diskomfort.

V takzvané projektové části byly popsány typy chladicích systémů z hlediska distribuce chladu, jednotlivé typy byly pečlivě rozebrány a zhodnoceny. Následně tyto systémy byly použity na část řešeného objektu. Pro některé typy distribucí byla následně provedena simulace v Design Builderu v CFD. Z výsledků byly porovnávány jak vlastnosti prostředí (teplota vzduchu a rychlost proudění vzduchu), tak hodnotící parametry v podobě PMV a PPD. Po pečlivém rozebrání výstupů byla jako nejlepší varianta z pohledu tepelného komfortu zvolena s chladicím stropem, který zaručí rovnoměrné ochlazení celého prostoru.

V poslední části byl nastíněn trochu jiný pohled na ekonomickou výhodnost chladicích systémů. Velmi zjednodušeným výpočtem byla porovnána ekonomická náročnost na provoz chladicích systémů s vykonanou prací navíc proti budově bez chlazení. Hodnota této vykonané práce byla odvozena z produktivity pracovníků v závislosti na teplotě vzduchu v interiéru.

6 Zhodnocení programu Revit pro návrh vzduchotechniky

Těžištěm praktické části bylo zpracování projektu vzduchotechniky pomocí programu Revit a zjištění, jaké možnosti BIM programy mají a kam se můžou tyto programy dále vyvíjet.

Program Revit a další BIM programy jsou budoucnost pro projektanty, a to nejen pro stavaře, ale pro naprostou většinu profesí. Pokusil jsem se za relativně krátký čas nejen navrhnout projekt v programu Revit, ale i zjistit, jaké možnosti tento program má a pokusit se využít některé z nich.

Navrhování v programu Revit je obrovskou měrou závislý na propracovanosti a připravenosti šablon, nastavení a především rodin. Jelikož tento projekt byl první, který jsem v tomto programu navrhoval, neměl jsem k dispozici mnou připravené materiály, proto jsem se snažil využít především rodiny, které jsem měl k dispozici. Především kvalita připravenosti rodin potrubí a příslušenství, která se na potrubí nachází, mají vliv na to, jaké všechny výpočty nám program nabídne. Rovněž záleží na výrobci vzduchotechnických jednotek, zda disponuje možností vytvořit jednotku pro tento program s dostatkem informací. Následná kompatibilita všech prvků, které jsou součástí výpočtů, je nutná pro správnou funkci.

Pokusím se shrnout možnosti, jaké program nabízí, či by měl nabízet v blízké budoucnosti. Objemové průtoky v jakémkoli prvku potrubí jsou informace, které jsem využil při navrhování. S tím je spojena i informace o rychlosti vzduchu v potrubí, ale i tlakové ztráty třením a místní tlakové ztráty. Bohužel rodiny potrubí, kterými jsem disponoval, nesprávně počítaly místní tlakové ztráty, tudíž celkové tlakové ztráty systémů s vyznačením kritických cest jsem nepoužil. Dalším důležitým hlediskem pro návrh vzduchotechniky je hluk. Jednotky, které jsem do projektu navrhl, jsou od výrobce Systemair a ty disponují velkým množstvím informací. Kromě možných průtoků a tlakových možností jsou uvedeny i hlukové parametry jednotlivých hrdel. Nemyslím si, že není nyní možné posuzovat hluk v tomto programu, ale tato varianta se určitě nabízí jako další meta, kam se program může posunout.

Výhoda programu není jen v informacích, kterými mohou prvky disponovat, ale i vizuální stránka. Možnosti programu ve vykreslování je opravdu veliká a to především díky 3D vizualizacím. Zároveň úpravy projektů se nemusí dělat na vícekrát, jak to známe z klasických programů, ale stačí upravit prvek jednou a změní se samozřejmě ve všech výkresech (řezy, pohledy atd.). Dalším plusem programu je možnost exportu výkazu výměr. Znovu záleží na šablonách, jaké si každý vytvoří, co chce vykázat a podle jakých parametrů. Možnosti jsou opět závislé na rodinách, jakými parametry disponují.

Nevýhody programu velmi korespondují s výhodami. Čím více má projekt informací, tím více věcí se může při návrhu pokazit. Například potrubí musí být spojeno nejen vizuálně, ale i program musí vědět, že potrubí je spojeno, což občas není jednoduché. Model musí být dokonale funkční, aby program mohl pracovat s jednotlivými informacemi, nic tedy neodpustí.

Věřím, že Revit je budoucnost a ulehčí práci projektantům napříč všemi profesemi. Jako každý program má své výhody a nevýhody, ale pokud má projektant dostatek kvalitních materiálů pro projektování v programu, nevýhody bude mnohem méně. Jsem rád, že jsem si vyzkoušel práci v programu Revit, nicméně na větší analýzu, zjištění možností a naučení se s programem by bylo potřeba o mnoho měsíců i let více.

Zdroje

- [1] *Vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov*
- [2] *Vnitřní prostředí* [online]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi>
- [3] Závislost produktivity práce na teplotě vzduchu. *Optimal Temperature* [online]. Dostupné z: <https://michaelsenergy.com/briefs/optimal-temperature/>
- [4] *Nářízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci*
- [5] ČSN EN ISO 7730 - Ergonomie tepelného prostředí - Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu
- [6] Měřítka tepelné pohody. *Tepelná pohoda a nepohoda* [online]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>
- [7] *Posouzení parametrů prostředí v místnosti klimatizované jednotkou SPLIT* [online]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/2700-posouzeni-parametru-prostredi-v-mistnosti-klimatizovane-jednotkou-split>
- [8] Křivka určující závislost PMV na PPD. *Assessing Thermal Comfort Results* [online]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/cfd/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ENU/SimCFD/files/GUID-3283C0AF-B483-4897-970B-16A663ACF14E-htm.html>
- [9] Kategorie tepelného prostředí. *Overview of design regulations for thermal comfort thermal comfort –reviews and highlights reviews and highlights of latest thermal comfort standards* [online]. Dostupné z: <https://www.cibse.org/getmedia/63b6b775-2291-4b59-bbd6-15f93ac456a0/Overview-of-design-regulations-Ken-Parsons.pdf.aspx>
- [10] Optimální výsledná teplota. *Teorie vnitřního prostředí budov* [online]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125tvnp/prednasky/125tvnp-03.pdf>
- [11] ČSN EN 15251 - Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky
- [12] *Praktické zkušenosti s využitím indukčních výústí k distribuci vzduchu a z provozu vzduchotechnických systémů* [online]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/regulace-vetrani-klimatizace/13946-prakticke-zkusenosti-s-vyuzitim-indukcnich-vyusti-k-distribuci-vzduchu-a-z-provozu-vzduchotechnicky-systemu>

- [13] *Systémy chlazení ve vzduchotechnice* [online]. Dostupné z: http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuuka/tz31/zadani/tz31-u5-chlazení_ve_vzduchotechnice.pdf
- [14] *Vytápění větrání instalace: Dodržování názvosloví v oboru techniky prostředí*. 2018, **27. Ročník** (5).
- [15] *Štěrbínové vyústě* [online]. Dostupné z: https://www.trox.cz/downloads/bd29e34714d8e1de/VSD-35-2_2-6.pdf?type=product_info
- [16] *Type VSD35* [online]. Dostupné z: <https://www.trox.cz/%C5%A0t%C4%9Brbinov%C3%A9-vy%C3%BAst%C4%9B/type-vsd-35-5626d8392fab5fac>
- [17] *VVM 300 C* [online]. Dostupné z: <https://www.ventilatory.net/vvm-300-c.html>
- [18] *Chladicí trámy - alternativní vzduchotechnický systém* [online]. [cit. 2019-01-13]. Dostupné z: https://m.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/1277-chladici-tramy-alternativni-vzduchotechnicky-system?fbclid=IwAR0UHoU9ULNjXqsIQwCrbIFGLcQv5fVmLmBglCElyt_6p3Y74EjBINiJRw
- [19] *Chladicí trám nebo fan-coil?* [online]. Dostupné z: https://m.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/7147-chladici-tram-nebo-fan-coil?fbclid=IwAR0yU9obtIrLG60P9vCggHxoNb52C6ZjFdGMirjwJFRwrQU-C_nebb61mo4
- [20] *Sálavé chladicí systémy (I)* [online]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/3251-salave-chladici-systemy-i>
- [21] *HyPower-Geko FAN COIL UNIT* [online]. Dostupné z: <https://www.flaktgroup.com/en/products/air-diffusion-/fan-coils/ductable/hypower-geko/>
- [22] *Návrhový program TROX Easy Product Finder*
- [23] *PLOŠNÉ VYTÁPĚNÍ / CHLAZENÍ* [online]. Dostupné z: <https://www.rehau.com/download/1398624/vytapeni-chlazení-ti-cz.pdf>
- [24] *Chladicí stropní deska Rehau. TECHNICKÁ INFORMACE* [online]. Dostupné z: http://www.potrubizplastu.cz/_foto/rautherms_technicke_informace.pdf

Seznam obrázků

Obr. 1: Závislost produktivity práce na teplotě [3].....	2
Obr. 2: Křivka určující závislost PMV na PPD [8].....	5
Obr. 3: Křivka určující procento nespokojených na vertikálním rozdílu teplot [5].....	7
Obr. 4: Křivka určující procento nespokojených na teplotě podlahy [5].....	8
Obr. 5: Křivka určující procento nespokojených na asymetrii radiace [5].....	9
Obr. 6: Optimální výsledná teplota: kategorie vnitřního prostředí A (PPD < 6 %) v závislosti na činnosti a oblečení [10].....	10
Obr. 7: Indukce – přísávání sekundárního vzduchu do primárního [12].....	12
Obr. 8: Schéma indukční jednotky [13].....	13
Obr. 9: Schéma ventilátorového konvektoru [13].....	14
Obr. 10: Příčný řez štěrbinou s nastavitelným směrem proudění a schéma možného nastavení [15].....	15
Obr. 11: Štěrbinová výústka [16].....	15
Obr. 12: Anemostat s vířivou distribucí vzduchu [17].....	16
Obr. 13: Příklad vzájemné interakce proudů vzduchu [12].....	17
Obr. 14: Pasivní trám s příčným řezem [18].....	18
Obr. 15: Aktivní trám s příčným řezem [18].....	19
Obr. 16: Schématické řezy základními konstrukcemi chladicích stropů [20].....	20
Obr. 17: Půdorys podlaží s prostorem jako open space a vyznačený řešený úsek.....	24
Obr. 18: Vymodelovaná část místnosti s rozložením pracovních míst.....	26
Obr. 19: Ventilátorový konvektor HyPower-Geko [21].....	27
Obr. 20: Schéma systému s kanálovými jednotkami a anemostaty.....	28
Obr. 21: Anemostat s vířivou distribucí vzduchu TROX FD (vlevo), anemostat s distribucí vzduchu do čtyř stran TROX DLQ (vpravo) [22].....	29
Obr. 22: Schéma systému s kanálovými jednotkami a štěrbinami.....	30
Obr. 23: Štěrbinová jednotka TROX VSD50 [22].....	30
Obr. 24: Schéma systému s aktivními a pasivními trámy.....	31
Obr. 25: Aktivní chladicí trám TROX DID312 (vlevo), pasivní chladicí trámec TROX PKV (vpravo) [22].....	32
Obr. 26: Schéma sálavého systému s přívodem vzduchu pomocí štěrbin.....	32
Obr. 27: Chladicí stropní deska Rehau [24].....	33

Obr. 28: Rozložení teploty vzduchu ve výšce 1,4 m nad podlahou.....	34
Obr. 29: Rozložení rychlosti vzduchu ve výšce 1,4 m nad podlahou.....	35
Obr. 30: Řez místností s průběhem PMV	36
Obr. 31: Štěrbiny - rozložení teploty vzduchu ve výšce 1,4 m nad podlahou.....	37
Obr. 32: Štěrbiny - rozložení rychlosti vzduchu ve výšce 1,4 m nad podlahou.....	37
Obr. 33: Štěrbiny - řez místností s vyznačeným směrem a rychlostí proudění vzduchu.....	38
Obr. 34: Štěrbiny - řez místností s průběhem PMV	38
Obr. 35: Chladicí trámy - rozložení teploty vzduchu ve výšce 1,4 m nad podlahou.....	39
Obr. 36: Chladicí trámy - řez místností s vyznačeným směrem a rychlostí proudění vzduchu.....	40
Obr. 37: Chladicí trámy - rozložení rychlosti vzduchu ve výšce 1,4 m nad podlahou.....	41
Obr. 38: Chladicí trámy - řez místností s průběhem PMV.....	42
Obr. 39: Chladicí stropy - řez místností s rozložením teploty vzduchu.....	43
Obr. 40: Chladicí stropy - řez místností s vyznačeným směrem a rychlostí proudění vzduchu.....	43
Obr. 41: Chladicí stropy - řez místností s průběhem PMV	44
Obr. 42: Závislost produktivity na teplotě vzduchu a rovnice proložené křivky	48
Obr. 43: Závislost chladicího výkonu na rozdílu teplot.....	50

Seznam tabulek

Tab. 1: Třídy práce a jejich parametry [4]	3
Tab. 2: Sedmibodová stupnice pro zjištění PMV – v ČSN EN ISO 7730 je použita stupnice ASHRAE [6].....	4
Tab. 3: Kategorie tepelného prostředí s limitními hodnotami kritérií [9].....	9
Tab. 4: Shrnující vlastnosti jednotlivých typů chladicích systémů	22
Tab. 5: Základní vstupy do výpočtů a modelovacích programů	25
Tab. 6: Vnitřní povrchové teploty konstrukcí – použity pro CFD simulace.....	25
Tab. 7: Parametry návrhu kanálových jednotek	27
Tab. 8: Parametry návrhu chladicích trámů	31
Tab. 9: Parametry návrhu chladicích stropů.....	32
Tab. 10: Pořizovací náklady na distribuční systém chlazení	45
Tab. 11: Shrnutí posuzovaných variant.....	49
Tab. 12: Odhad pořizovacích nákladů	51
Tab. 13: Tabulka shrnující ekonomické parametry	51

Seznam příloh k textové části:

Příloha 1: Výpočet množství větracího vzduchu

Příloha 2: Výpočet tepelné zátěže řešené oblasti

Příloha 3: Výstupy z Design Builderu

Příloha 4: Pořizovací náklady systémů pro distribuci chladu

Příloha 5: Výstup z programu Protech – Tepelná zátěž

Příloha 6: Schéma chlazení

Příloha 7: Ukázka výpočtu produktivity a hodnoty odvedené práce

Příloha 8: Zhodnocení využití programu Revit

Seznam použitých programů

DesignBuilder

Revit

AutoCAD

Protech

DIMSilencer

Easy Product Finder 2

Excel

Word