

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

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**Návrh VZT systému administrativní budovy
Teoretická část**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracovala:

Bc. Tereza Šašková

Vedoucí práce:

Ing. Zuzana Veverková, Ph.D.

2018/2019



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Tháškurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šašková Jméno: Tereza Osobní číslo: 423552

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: Návrh VZT systému administrativní budovy

Název diplomové práce anglicky: Design of ventilation system of office building

Pokyny pro vypracování:

Analýza vnitřního prostředí administrativní budovy pro různé způsoby větrání s použitím programu DesignBuilder, vč. legislativních požadavků na kvalitu vnitřního prostředí administrativních budov, analýzy potřeb energií. Výběr vhodného VZT systému pro zadaný objekt se zohledněním kvality vnitřního prostředí v průběhu roku.

Vypracování projektové dokumentace vybraného systému větrání zadaného objektu. Obsahem dokumentace budou půdorysy a řezy větracího systému, výpočet množství vzduchu, hydraulické výpočty, návrh distribučních elementů, technická zpráva, posouzení hluku.

Seznam doporučené literatury:

Günter Gebauer, Helena Horká, Olga Rubinová - Vzduchotechnika

Daniel Klaus, Technika budov - Příručka pro projektanty, Jaga

Příslušné normy a vyhlášky

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Zuzana Veverková, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 9.10.2018

Termín odevzdání diplomové práce: 7.1.2018

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

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

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“.

9.10.2018

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

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

V Praze dne

podpis

Poděkování

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce paní Ing. Zuzaně Veverkové, Ph.D. za odborné vedení práce, věcné připomínky, dobré rady a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce. Také bych chtěla poděkovat svým rodičům, kteří mě vždy podporovali ve studiu.

Obsah

1	ÚVOD	1
2	VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ V ADMINISTRATIVNÍCH BUDOVÁCH	2
2.1	Proč se zabýváme kvalitou vnitřního prostředí	2
2.2	Letní přehřívání	3
2.3	Legislativa	5
4	METODY POSUZOVÁNÍ KVALITY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ	9
4.1	Posuzování reálných budov	9
4.2	Posuzování navrhovaných budov	9
4.3	Metoda CFD	10
5	POPIS ŘEŠENÉ ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY	11
5.1	Popis objektu	11
5.2	Konstrukce	12
5.3	Provoz v budově	13
6	SIMULACE Č. 1	14
6.1	Popis simulace	14
6.2	Zadané parametry HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning)	14
6.3	Vizualizace	15
6.4	Okrajové podmínky	16
6.5	Výsledky simulace č. 1	17
6.6	Alternativa výpočtu intenzity větrání	20
6.7	CFD	22
6.8	Zhodnocení simulace č. 1	24
7	SIMULACE Č. 2 – OPTIMALIZACE OBÁLKY BUDOVY	25
7.1	a) zvýšená intenzita větrání	25
7.2	b) přidání tepelné izolace	26
7.3	c) masivnější konstrukce	27
7.4	d) kvalitnější zasklení	28
7.5	e) stínění	30
7.6	f) kombinace opatření	32
7.7	CFD pro zvolenou kombinaci opatření	34
7.8	Zhodnocení simulace č. 2	35
8	SIMULACE Č. 3 – CHLAZENÍ VZDUCHOTECHNIKOU	36
8.1	Popis simulace	36
8.2	Zadané parametry HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning)	37
8.3	Výsledky simulace č. 3	38
8.4	CFD	40

8.5	Zhodnocení simulace č. 3	41
9	SIMULACE Č. 4 – STROPNÍ CHLAZENÍ	43
9.1	Popis simulace	43
9.2	Zadané parametry HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning)	44
9.3	Výsledky simulace č. 4	45
9.4	CFD	47
9.5	Zhodnocení simulace č. 4	48
10	POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH SIMULACÍ	50
10.1	Porovnání potřeby energie	50
10.2	Porovnání parametrů vnitřního prostředí	51
11	ZÁVĚR	54
11.1	Popis navrženého systému	55
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK	57

Anotace

Předmětem této diplomové práce je analýza vnitřního prostředí administrativní budovy a výběr vhodného systému větrání a chlazení na základě výsledků simulací v programu DesignBuilder. Výstupem je koncepční návrh systému vytápění, větrání a chlazení budovy s ohledem na kvalitu vnitřního prostředí. Navržený způsob větrání je rozpracován v rozsahu prováděcí dokumentace. Podkladem pro vypracování byla stavební část projektu pro stavební povolení.

Klíčová slova

Administrativní budova, vnitřní prostředí, stropní chlazení, projekt vzduchotechniky

Annotation

The subject of the diploma thesis is an internal environment analysis in an office building and selection of appropriate building services according to DesignBuilder simulations results. The aim of this project is to form a conception of the heating, cooling and ventilation system of the building, considering the quality of the internal environment. The ventilation system is designed in a range of project documentation for construction implementation. The project was created on the bases of documentation of a building permit.

Key words

Office building, internal environment, ceiling cooling, project of a ventilation system

1 ÚVOD

Tato diplomová práce se věnuje analýze vnitřního prostředí plánované administrativní budovy v Českých Budějovicích. Podkladem pro její vypracování byla stavební část projektu pro stavební povolení. Výstupem této části diplomové práce je koncepční návrh systému vytápění, větrání a chlazení budovy, který bude působit co nejkomfortněji pro uživatele budovy a zároveň bude energeticky efektivní. V druhé části této práce je navržený způsob větrání rozpracován v rozsahu prováděcí dokumentace.

První kapitoly diplomové práce jsou věnovány teorii vnitřního prostředí. Hodnotí zvyšující se požadavky na úroveň kvality prostředí uvnitř budov, zejména pak kvality pracovního prostředí a jeho vliv na uživatele budov. Dále se zabývá problematikou přehřívání budov v letním období a způsoby, jak tomuto jevu lze zabránit. Část je věnována i současné legislativě, jsou popsány požadavky na vnitřní prostředí, a způsoby, jak lze dané limity měřit a vyhodnocovat, a to jak u stávajících budov, tak u projektovaných objektů.

Všechny analýzy byly prováděny pomocí počítačové simulace v programu DesignBuilder. Tento program (komunikuje pouze v anglickém jazyce, proto jsou výstupy v této práci uvedené v angličtině) se využívá pro kompletní dynamickou simulaci chování budov. Byly posuzovány různé varianty větrání a chlazení tak, aby byl vytvořen návrh budovy s kvalitním vnitřním prostředím, sníženou potřebou energie na provoz a redukováným dopadem na životní prostředí.

Snaha byla zadat do programu co nejpřesnější okrajové podmínky, ale ne vždy to bylo možné. Program DesignBuilder nenabízí meteorologická data naměřená přímo v Českých Budějovicích, a proto byla vybrána nejbližší stanice, ze které jsou k dispozici data z celého roku po desetiminutových intervalech, a to stanice ve městě Linz v Rakousku. Větší problém působil fakt, že k dispozici byla data pouze z roku 2002. To bohužel činí výsledky této práce značně neaktuální, vzhledem k obrovským změnám, které se s našimi klimatickými podmínkami v posledních letech dějí.

Celkem byly prováděny čtyři různé simulace. V první z nich byla simulována budova bez jakýchkoliv stavebních či provozních zásahů, vytápěna konvenčním způsobem pomocí teplovodních otopných těles a větrána přirozeně okny. V druhé simulaci byly optimalizovány konstrukční a provozní vlastnosti budovy. V další byla přidána vzduchotechnika pro zajištění přívodu čerstvého vzduchu a pro odvod tepelné zátěže v letních měsících. Tento způsob chlazení byl porovnáván se systémem sálavého stropního chlazení v poslední simulaci.

Cílem této práce bylo zaprvé porovnat jednotlivé navržené systémy z hlediska potřeby energie nezbytné k zajištění provozu. Účelem bylo posoudit potřebu energie na chlazení vzduchotechnikou oproti chlazení sálavými stropními panely. Hlavním cílem ale bylo najít takové řešení, které bude nejlépe vyhovovat z hlediska úrovně komfortu uživatelů. Proto byly porovnávány vnitřní teploty v průběhu celého roku, počty přehřátých letních dní či rychlosti proudění vzduchu pro jednotlivá řešení.

Vybraný systém je popsán v závěru této práce. Systém větrání je pak rozpracován detailněji, a to v praktické části této diplomové práce – viz Projekt vzduchotechniky administrativní budovy M.A.V. Group v Českých Budějovicích.

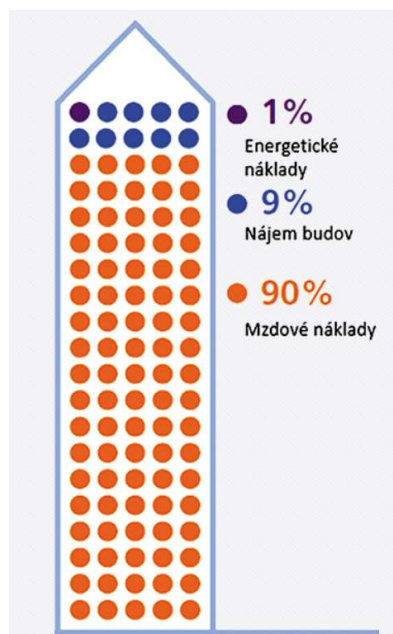
2 VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ V ADMINISTRATIVNÍCH BUDOVÁCH

2.1 Proč se zabýváme kvalitou vnitřního prostředí

Současná generace tráví většinu svého času uvnitř budov. Podle výzkumu společnosti VELUX, který proběhl v březnu 2018 ve 14 státech včetně České Republiky, lidé tráví pobytem uvnitř budovy v průměru 90 % svého času, aniž by si to byli schopni sami sobě přiznat. Pouhých 5 % Čechů si uvědomuje, že v uzavřených budovách tráví 21 až 24 hodin denně a pouze 9 % Čechů je správně informováno o kvalitě vzduchu v interiéru.¹

Čas strávený v kanceláři se u některých profesí pohybuje běžně kolem deseti hodin denně. Vzhledem k této době je velmi důležité zajistit co nejkvalitnější vnitřní prostředí administrativních budov. To, jak se člověk cítí ve svém pracovním prostředí, ho totiž ovlivňuje hned z několika hledisek. V poslední době se velmi často mluví o vlivu prostředí na pohodu a produktivitu práce. Pokud vezmeme v úvahu, že běžné provozní náklady firem se dají rozdělit do tří kategorií, kdy 90 % jsou náklady na mzdy, 10 % na nájem a 1 % jsou energetické náklady (viz obr. 1), je pak zřejmé, že zvýšení produktivity práce o 1 % bude mít mnohem větší vliv na finanční úspory, než snížení nákladů na energie o 1 %. Právě to vede zaměstnavatele ke zvýšení investic do technických zařízení budov a tím ke zvýšení úrovně kvality pracovního prostředí.

¹ <https://www.admd.cz/cechum-hrozi-zdravotni-rizika-travi-prilis-casu-zavreni-v-budovach-aniz-by-si-to-uvedomovali>



Obrázek 1 – Provozní náklady firem ²

Psychická pohoda ovlivňuje kromě schopnosti soustředit se a pracovní výkonnosti také i naše zdraví. Může způsobovat únavu, bolest hlavy, pálení očí, vysoušení sliznic nebo rozvoj alergií. Posuzování vlivu kvality vnitřního prostředí na zdraví a spokojenost uživatelů umožňuje nový certifikační nástroj WELL Building Standard. Ten hodnotí vlastnosti budov, které ovlivňují zdraví jejich uživatelů v 7 kategoriích: vzduch, voda, výživa, světlo, fyzická kondice, pohodlí a mysl. Tento hodnotící systém se vyvíjel již od roku 2014 a od roku 2016 je součástí (nadstavbou) hodnotícího systému LEED (hodnocení budovy z hlediska udržitelného rozvoje, nízké energetické náročnosti, použití ekologických materiálů apod.).³

2.2 Letní přehřívání

Existuje velké množství parametrů vnitřního prostředí. Mezi zásadní patří teplota, vlhkost, proudění vzduchu, koncentrace škodlivých látek, výskyt odérů a mikroorganismů, akustika a mnoho dalších. Tato diplomová práce se věnuje hlavně tepelně vlhkostním parametrům.

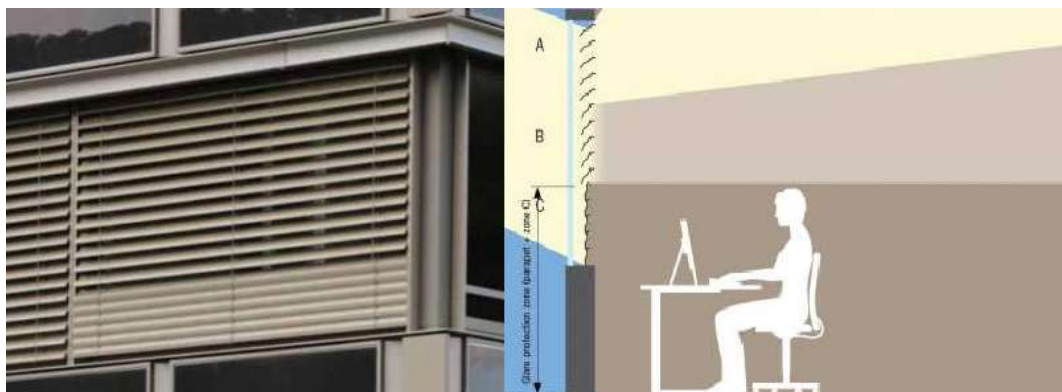
Na kvalitu vnitřního prostředí obecně se v současnosti klade mnohem větší důraz. Může to být přisuzováno zvýšeným nárokům uživatelů budov či pokroku ve vývoji

² <http://www.topin.cz/clanky/pohoda-vnitriho-prostredi-anno-2016-detail-1097>

³ https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/legislativa/well-building-standard-nova-certifikace-na-ceskem-trhu_45915.html

a tím zlepšeným možnostem technického vybavení. Velký vliv má i problém současné doby – letní přehřívání. To je způsobeno extrémními výkyvy počasí, velkým procentem betonových ploch v městské zástavbě i konstrukcemi budov. V poslední době je trendem výstavba administrativních budov s obvodovým pláštěm, který je z většiny prosklený. Tento architektonický prvek sice působí efektně, ale přináší s sebou velký problém s teplotami uvnitř budov. Vůbec nejlepší způsob jak eliminovat tepelné zisky prosklenými plochami je snížit procento zasklení. Pokud to ale není možné, je třeba klást důraz na orientaci prosklených ploch, použití kvalitního zasklení, případně skel s integrovanou fólií, která je pokryta nízkoemisivní vrstvou. Tato vrstva odráží elektromagnetické záření o určitých vlnových délkách. Je proto propustná pro viditelné světlo a zároveň odráží vzdálené infračervené (teplo přenášející) záření. To znamená, že v létě zabraňuje pronikání tepelného záření do místnosti a v zimě zabraňuje jeho pronikání ven.⁴

V krajních případech lze přistoupit k použití různých typů stínění. I zde je velká škála řešení, od méně účinných vnitřních žaluzií, přes účinnější vnější žaluzie až po stínící markýzy či lamelové slunolamy. Nevýhodou těchto řešení je, že značně snižují míru a kvalitu denního osvětlení. To se dá zmírnit například použitím rolet, které mají lamely rozděleny do dvou nebo tří sekcí a každá sekce může být natočena v jiném úhlu. Lamely v horní části tak umožní přísun dostatečného množství denního světla, zatímco spodní lamely chrání před nežádoucím oslněním (viz obr. 2).

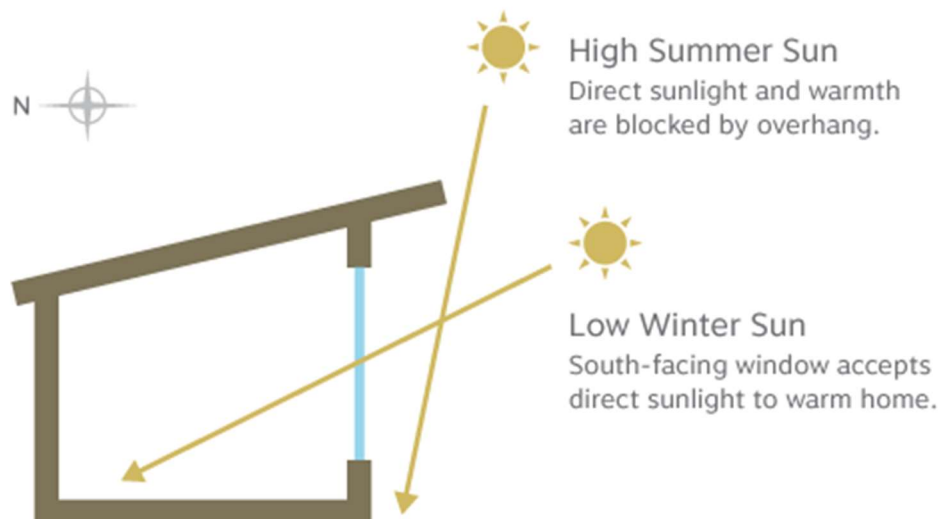


Obrázek 2 – Horizontální rolety se sekčním natočením lamel⁵

⁴ <http://www.izolacniskla.cz/produkt.php?skupina=Izolacni-skla-s-meziskelni-tepelnou-folii---HEAT-MIRROR>

⁵ http://www.tectonica-online.com/products/1475/adjustable_blinds_metalunic_grinotex_reflect_lamisol/

Další vhodnou alternativou je ke stínění použít předsazené konstrukce. Správně navržená konstrukce může totiž v létě, kdy je slunce vysoko na obloze, chránit před nežádoucími paprsky, a naopak v zimě, kdy je slunce nízko, umožní slunečnímu záření proniknout do interiéru a vytvářet tak v zimě potřebné tepelné zisky (viz obr. 3).



Obrázek 3 – Letní vs. zimní stínění⁶

2.3 Legislativa

Některé parametry vnitřního prostředí jsou přesně vymezeny a jejich hodnoty jsou pak vyžadovány legislativou. Dodržením stanovených limitů by mělo být vyloučeno zdravotní riziko pro člověka, nebo alespoň přijatelné riziko v těch prostorech, kde je nevyhnutelné působení škodlivin. Požadavky na vnitřní prostředí budov vycházejí vždy ze zákonů a podrobně jsou rozpracovány v jednotlivých vyhláškách a nařízeních vlády. Kvalitu vnitřního prostředí budov v současné době upravují nebo alespoň zmiňují čtyři zákony:

- zákon č. 183/2006 Sb. ve znění zákona č. 350/2012 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)
- zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví
- zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce
- zákon č. 309/2006 Sb., o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci ⁷

⁶ <https://www.clarum.com/energy-efficiency/sitting-with-the-sun-home-orientation-techniques-for-optimal-sun-exposure/>

⁷ <https://www.asb-portal.cz/tzb/vetrani-a-klimatizace/hygienicke-pozadavky-na-kvalitu-vnitriho-prostredi-budov>

Z pohledu této diplomové práce nás zajímá hlavně legislativa zabývající se požadavky na intenzitu větrání, teplotu interiéru, rychlost proudění vzduchu a podobně. Konkrétní požadavky na kvalitu vnitřních prostor v administrativních budovách jsou uvedeny v Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.⁸, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. To limituje vnitřní teplotu, relativní vlhkost, proudění vzduchu, chemické látky, prašnost, osvětlení a větrání. Dále pak vyhláška č. 20/2012 Sb.⁹ o technických požadavcích na stavby, která udává požadované intenzity větrání a koncentrace CO₂.

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

Toto nařízení specifikuje požadavek na větrání pracovišť takto:

Část třetí, hlava I, § 41:

(1) „Na pracovišti musí být k ochraně zdraví zaměstnance zajištěna dostatečná výměna vzduchu přirozeným, nuceným nebo kombinovaným větráním. Množství vyměňovaného vzduchu se určuje s ohledem na vykonávanou práci a její fyzickou náročnost tak, aby bylo, pokud je to možné, zajištěno dodržování požadavků upravených v příloze č. 1 k tomuto nařízení, části A, tabulce č. 2 již od počátku směny.

(2) Minimální množství venkovního vzduchu přiváděného na pracoviště musí být:

*a) **25 m³/h na jednoho zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do třídy I nebo IIa podle přílohy č. 1 k tomuto nařízení, části A, tabulky č. 1 na pracovišti bez přítomnosti chemických látek, prachů nebo jiných zdrojů znečištění.***

V budově, která je předmětem této práce, se předpokládá administrativní práce, která spadá do kategorie I, podle Tabulky č.1 v příloze č.1, část A.

Třída práce	Druh práce
I	Práce vsedě s minimální celotělovou pohybovou aktivitou, kancelářské administrativní práce, kontrolní činnost v dozornách a velínech, psaní na stroji, práce s PC, laboratorní práce, sestavování nebo třídění drobných lehkých předmětů

Tabulka 1 – Výňatek z tab. č.1, část A v příloze č. 1 k nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

⁸ Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., nařízení vlády ze dne 12. prosince 2007, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci

⁹ Vyhláška č. 20/2012 Sb., vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby

Požadavek na zátěž teplem na pracovišti se hodnotí podle průměrné operativní teploty t_o , výsledné teploty kulového teploměru t_g a rychlosti proudění vzduchu v_a .

Zátěž teplem při práci na nevenkovním pracovišti s neudržovanou teplotou přirozeně větraném, na pracovišti, na němž je k větrání použito kombinované nebo nucené větrání a na pracovišti s udržovanou teplotou jako technologickým požadavkem:

Třída práce	t_{omin} nebo t_{gmin}	t_{omax} nebo t_{gmax}	v_a	Rh
	[°C]	[°C]	[m.s ⁻¹]	[%]
I	20	27	0,01 až 0,2	/

Tabulka 2 – Výňatek z tab. č.2, část A v příloze č. 1 k nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

Přípustné hodnoty nastavení mikroklimatických podmínek pro klimatizované pracoviště třídy I a IIa:

Třída práce	Kategorie	Klimatizované pracoviště				v_a [m.s ⁻¹]	Rh [%]
		nastavení vytápění		nastavení chlazení			
		tepelný odpor oděvu 1,0 clo		tepelný odpor oděvu 0,5 clo			
		t_{omin} (t_{gmin}) [°C]		t_{omin} (t_{gmin}) [°C]			
I	B*)	22	± 1,5	24,5	+ 1,5 - 1,0	0,05 až 0,2	30 až 70

Tabulka 3 – Výňatek z tab. č.3, část A v příloze č. 1 k nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

*) Kategorie B platí pro klimatizovaná pracoviště s požadovanou střední kvalitou prostředí při práci vyžadující průběžnou pozornost a soustředění, například úkony spojené s vyřizováním korespondence, psaní na počítači.

Vyhláška č. 20/2012 Sb.

Tato vyhláška se věnuje opět minimální intenzitě větrání a limitní koncentraci oxidu uhličitého ve vnitřním prostředí. Přesná formulace zní takto:

ČÁST TŘETÍ, § 11:

(3) *Obytné místnosti musí mít zajištěno dostatečné větrání venkovním vzduchem a vytápění v souladu s normovými hodnotami, s možností regulace vnitřní teploty.*

(5) *Pobytové místnosti musí mít zajištěno dostatečné přirozené nebo nucené větrání a musí být dostatečně vytápěny s možností regulace vnitřní teploty. Pro větrání pobytových místností musí být zajištěno v době pobytu osob minimální množství*

vyměřovaného venkovního vzduchu **25 m³/h na osobu**, nebo **minimální intenzita větrání 0,5 1/h**. Jako ukazatel kvality vnitřního prostředí slouží oxid uhličitý CO₂, jehož koncentrace ve vnitřním vzduchu nesmí překročit hodnotu **1 500 ppm**.

Přípustné horizontální rozdíly mezi stereoteplotou a výslednou teplotou kulového teploměru [$\Delta(t_{st}-t_g)$] na úrovni hlavy pro práci třídy I a IIa vykonávanou na klimatizovaném pracovišti, přirozeně větraném pracovišti a na pracovišti, na němž je k větrání použito kombinované nebo nucené větrání pro práci třídy I až V:

(t _g) hlava [°C]	Přípustný horizontální rozdíl $\Delta(t_{st}-t_g)$ na úrovni hlavy [°C]	
	Kategorie A, B	
	Vůči chladnému povrchu	Vůči teplému povrchu
	$\Delta(t_{st}-t_g)$ [°C]	$\Delta(t_{st}-t_g)$ [°C]
19	0,4	6,8
20	0,1	6,6
21	-0,3	6,2
22	-0,9	5,6
23	-1,6	4,9
24	-2,5	3,9
25	-3,6	2,9
26	-4,6	1,9
27	-6,1	0,6

Tabulka 4 – Výňatek z tab. č.4, část A v příloze
č. 1 k nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

Přípustný horizontální rozdíl mezi teplotou kulového teploměru (t_g) na úrovni hlavy a na úrovni kotníků pro klimatizovaná a přirozeně větraná nevenkovní pracoviště a pro pracoviště, na nichž je k větrání použito kombinované nebo nucené větrání, na nichž je vykonávána práce třídy práce I a IIa:

(t _g) na úrovni hlavy [°C]	(t _g hlava - t _g kotník)* [°C]
	Kategorie A, B
19	0,0
20	0,0
21	0,0
22	0,5
23	1,5
24	2,5
25	3,5
26	4,5
27	5,5

Tabulka 5 – Výňatek z tab. č.4, část A v příloze
č. 1 k nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

* Úroveň hlavy =1100 mm nad podlahou, úroveň kotníků =150 mm nad podlahou

4 METODY POSUZOVÁNÍ KVALITY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

4.1 Posuzování reálných budov

V praxi je někdy potřeba zhodnotit aktuální stav vnitřního prostředí ať už kvůli splnění požadavků projektu nebo kvůli vyřešení vzniklých problémů, nevyhovujícímu stavu či stížnostem uživatelů. Existují dvě hlavní metody, jak toho lze docílit.

Analytický přístup

Jedná se v podstatě o metodu založenou na měření parametrů vnitřního prostředí. Měřit se dá mnoho veličin. Teplota vzduchu, teplota kulového teploměru, sálavý tepelný tok plochy, vlhkost vzduchu, rychlost proudění vzduchu nebo emise určitých látek a měření prachových částic. U jednodušších postupů se pouze srovnávají naměřené veličiny s jejich normovými hodnotami. Složitější postupy hodnotí vztah mezi prostředím a člověkem. Posuzují teplotu kůže, intenzitu pocení a určují optimální tepelný komfort vyjádřený v závislosti na metabolické produkci tepla, tepelném odporu oděvu a podmínkách prostředí.

Empirický přístup

U této metody slouží jako indikátor kvality prostředí člověk. Pomocí dotazníků se zjišťuje, jak konkrétní osoby vnímají vnitřní prostředí. Existují různé statistické metody pro vyhodnocení výsledků v závislosti na odpovědích, tepelném odporu oblečení a nastavených podmínkách ve zkoumaném prostředí.¹⁰

4.2 Posuzování navrhovaných budov

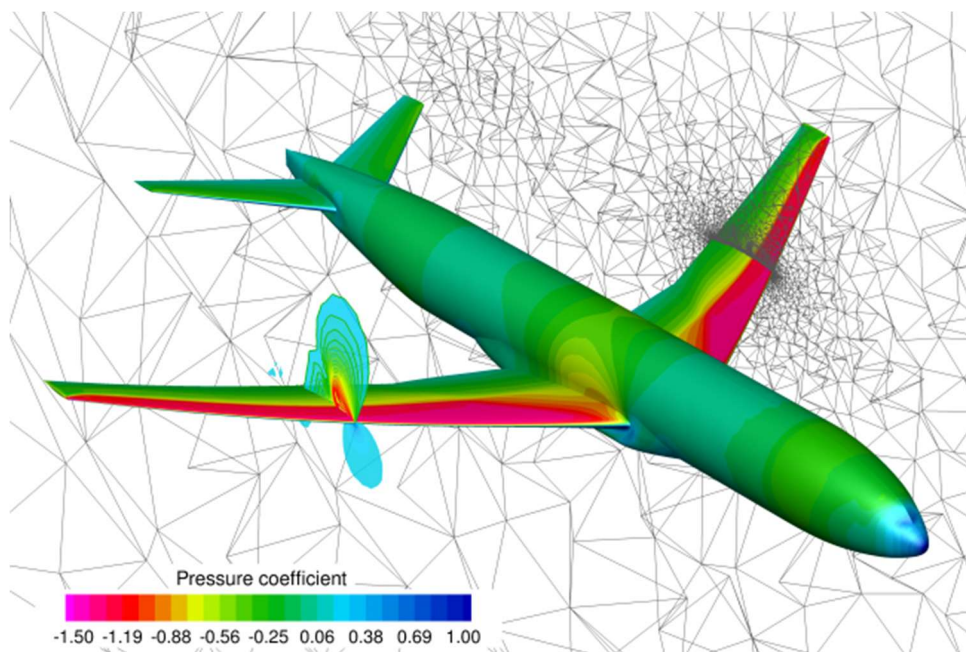
Při navrhování budov je někdy třeba přistoupit k detailnějšímu posouzení úrovně komfortu. To lze provést buď experimentálně v klimatických komorách, kde se nasimulují navrhované vlastnosti konstrukcí, venkovní klimatické podmínky a předpokládané vnitřní zdroje tepla, vlhkosti atd. Další možností je použití teoretických metod – počítačových simulací.

¹⁰ <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125tvnp/prednasky/125tvnp-09.pdf>

4.3 Metoda CFD

Jedna z nejrozšířenějších teoretických metod posuzování vnitřního prostředí je metoda CFD (Computational Fluid Dynamics). Je to výpočetní metoda, která umožňuje modelovat dynamiku proudění kapalin a plynů. Kromě toho také dokáže počítat s přestupem tepla, fázovými změnami, chemickými reakcemi a napětím i deformací pevných materiálů.¹¹ Pomocí této metody lze předpovídat třeba pohyb proudění vzduchu v místnosti a nasimulovat tak navrhovaný způsob distribuce vzduchu v místnosti. Výpočty jsou prováděny pomocí metody konečných prvků. Při simulaci tak vzniká obrovské množství rovnic a řešení tak může trvat v závislosti na výkonu počítače a složitosti zadání i několik hodin nebo dnů. Pro dosažení správných výsledků metoda vyžaduje značné znalosti, a především korektní zadání okrajových podmínek.

Kromě stavebnictví se tento druh simulace běžně využívá i v jiných oborech, např. při návrhu ventilátorů, turbín, letadel nebo automobilů.



Obrázek 4 – Příklad využití metody CFD v letectví¹²

¹¹ <http://www.tes.eu/produkt-cfd-vypocty.html>

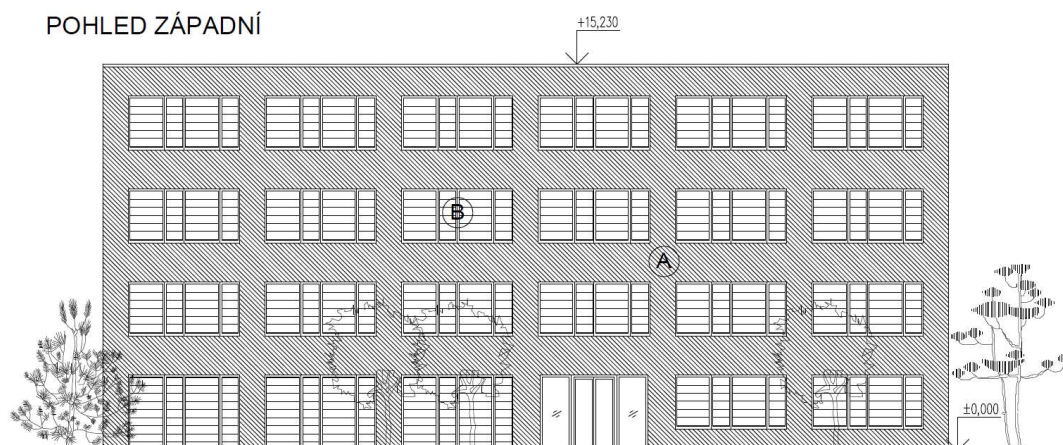
¹² <https://www.cfdlab.mcgill.ca>

5 POPIS ŘEŠENÉ ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY

5.1 Popis objektu

Řešený objekt je administrativní budova firmy M.A.V. Group v Českých Budějovicích. Budova má čtyři nadzemní podlaží. V 1.NP se nachází školící místnost, jídelna, dvě větší zasedací místnosti a technické prostory. V dalších podlažích jsou rozmístěny kanceláře a jednací místnosti. Ve středu dispozice prochází všemi patry ŽB jádro se schodištěm a výtahem. V prostřední části podlaží se vždy nachází ještě sociální zázemí a kuchyňky.

Nosná část obvodové stěny je navržena z železobetonu a zateplena deskami Isover UNI z minerální vlny. Pohledová část je tvořena fasádními deskami CEMBRIT CEMBONIT, oddělenými vzduchovou mezerou. Stropní konstrukce i konstrukce ploché střechy jsou navrženy rovněž z monolitického železobetonu. Vnitřní nosné stěny jsou železobetonové, příčky zděné, celoskleněné nebo jsou tvořeny z nábytkové sestavy.



Obrázek 5 – Pohled na řešený objekt

5.2 Konstrukce

	KONSTRUKCE DLE STAVEBNÍHO PROJEKTU	POUŽITÉ KONSTRUKCE V DESIGN BUILDERU
OBVODOVÁ STĚNA	Fasádní desky CEMBRIT CEMBONIT	Cement fibreboard, magnesium oxysulphide binder – 8 mm
	Svislé latě 40/60 a 40/90 KVH	Air gap - 40 mm
	Omega fasádní fólie, větrotěsná	-
	Vodor. dř. profily 80/60 (Min. rohož desky ISOVER UNI 80 mm)	Mineral wool 80 mm + bridging - soft wood 5 %
	Svislé dř. profily 140/60 (Min. rohož desky ISOVER UNI 140 mm)	Mineral wool 140 mm + bridging - soft wood 5 %
	Monolitický beton - 220 mm	Reinforced concrete 220 mm
	Vnitřní sádrová omítka - 10 mm	Gypsum plaster - 10 mm
PLOCHÁ STŘECHA	Hydroizol. fólie SIKA - 1,5 mm	Asphalts and other roofing finish - 1,5 mm
	Separáční rouno	-
	EPS 450 - 350 mm	EPS $\lambda=0,035$ W/m.K, 400 mm
	ŽB deska - 250 mm	Reinforced concrete 250 mm
	Sádrová omítka	Gypsum plaster 10 mm
PODLAHA NA TERÉNU	Zhutněný terén	-
	Zhutněný násyp 0 - 32 mm	Gravel 200 mm
	Podkladní vodovzdorný beton HVB se sítí - 150 mm	Medium weight concrete 150 mm
	Hydroizolační asfaltový pás 5 mm	Asphalt 5 mm
	XPS 140 mm, podlep cement. lepidlem	XPS 140 mm
	Beton. mazanina vyztuž. vlákny 60 mm	Medium weight concrete 60 mm
	Dlažba + lepidlo 15 mm	Ceramic floor tiles 15 mm

STROPNÍ KONSTRUKCE	Sádrová omítka 10 mm	Gypsum plaster 10 mm
	ŽB deska 250 mm	Reinforced concrete 250 mm
	Vzduchová mezera 75 mm	Air gap 75 mm
	Podlahová dřevotřísková deska 40 mm	Wood chipboard 40 mm
	Koberec	Carpet 5 mm
VNITŘNÍ ŽB STĚNY		Gypsum plaster - 10 mm
		Reinforced concrete 200 mm
		Gypsum plaster - 10 mm
VNITŘNÍ CELOSKLENĚNÉ PŘÍČKY		Glass - solid (soda-lime) 80 mm
NÁBYTKOVÉ PŘÍČKY		Wood chip board - 20 mm
VÝPLŇ OKENNÍCH OTVORŮ	Dvojsklo (3-13-3 mm)	2 layers (3-13-3 mm)
		U (ISO 10292/EN 673) = 1,474 W/m ² K
		Total solar transmission 0,691
		Direct solar transmission 0,624
		Light transmission 0,744
		Aluminium frame (with thermal break) with vertical dividers
		No shading

Tabulka 6 – Stavební konstrukce – projekt vs. DesignBuilder

5.3 Provoz v budově

Obsazenost	4 osoby na jednu kancelář ≈ 0,123 os/m ²
Pracovní doba	8:00 – 17:00 h Po – Pá (mimo svátky)
Aktivita	Kancelářská práce s minimální pohybovou aktivitou
Tepelný odpor oděvu	1,00 clo (zima)
	0,50 clo (léto)
Další vnitřní tepelné zisky	Počítače – 5 W/m ² Vybavení kanceláře – 5 W/m ² Osvětlení 8:00 – 17:00, Po - Pá

Tabulka 7 – Activity

6 SIMULACE Č. 1

6.1 Popis simulace

V první simulaci bylo zkoumáno chování budovy bez jakýchkoliv stavebních úprav. V budově bylo uvažováno pouze vytápění teplovodními otopnými tělesy a přirozené větrání okny.

Vytápění je nastaveno jako nepřetržité, to znamená že se nevypíná přes noc ani o víkendech. To se totiž na základě provedených simulací ukázalo pro tuto budovu jako energeticky nejefektivnější řešení. Návrh vytápění vychází z tradičního konceptu – vytápění teplovodními otopnými tělesy, která jsou schopna zajistit komfortní rozložení teplot vzduchu v místnosti. K nim byl jako zdroj tepla vybrán plynový kotel jako tradiční a poměrně ekologické řešení.

Okna jsou otevřena vždy od začátku do konce pracovní doby a předpokládá se, že jimi prochází konstantní průtok čerstvého vzduchu, a to $25 \text{ m}^3/(\text{h.os})$.

Hodnocení energetické náročnosti jednotlivých řešení probíhalo vždy pro celou budovu, ale pro hodnocení parametrů vnitřního prostředí byla vybrána jedna místnost, a to kancelář č. 409 ve čtvrtém nadzemním podlaží. Tato místnost má okna orientována na západ, a proto je zde předpoklad největších tepelných zisků a s tím spojené nejvyšší riziko přehřívání v letním období.

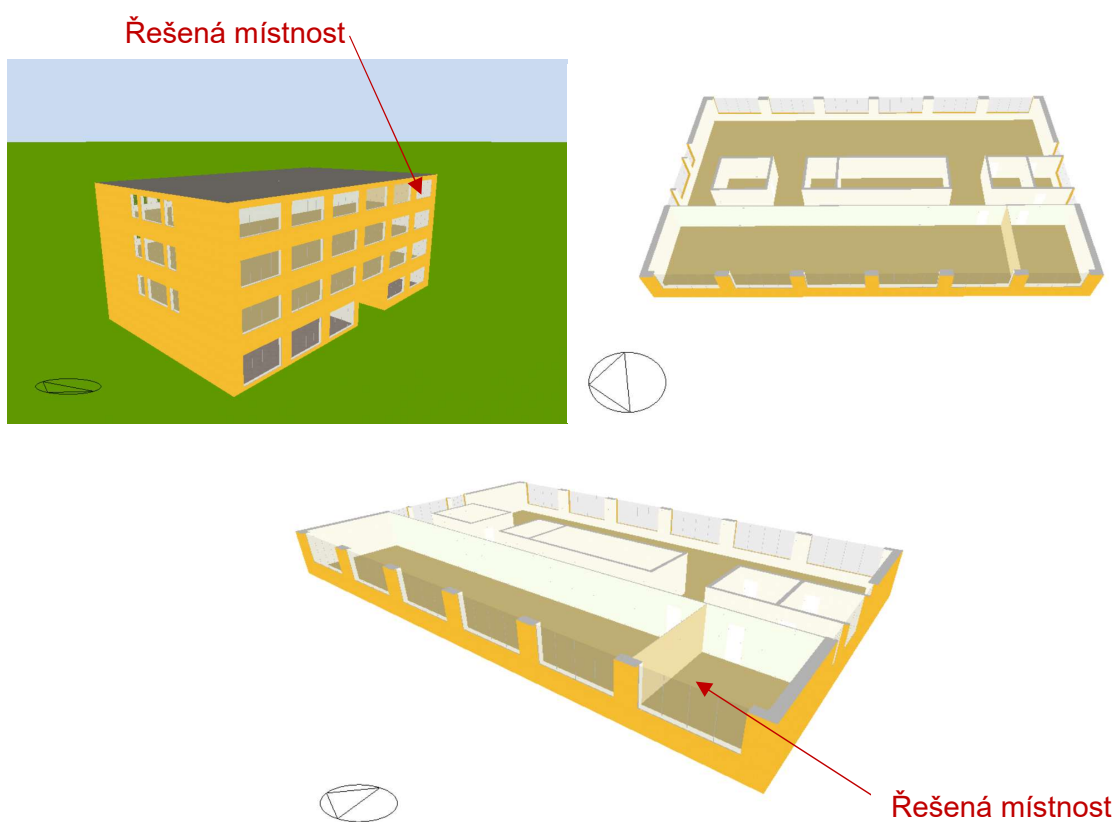
6.2 Zadané parametry HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning)

<u>Větrání</u>	přirozené infiltrace zanedbána
intenzita větrání	dle min. množství čerstvého vzduchu na osobu: $25 \text{ m}^3/\text{h} = 6,944 \text{ l/s}$ pro 4 osoby v kanceláři: $4 \times 25 \text{ m}^3/\text{h} = 100 \text{ m}^3 \approx 1 \text{ h}^{-1}$ (odpovídá jednonásobné výměně vzduchu)
Distribuce vzduchu v místnosti:	neuspořádané proudění
V provozu:	8:00 – 17:00, Po - Pá

<u>Vytápění</u>	
Energonositel:	zemní plyn
Sezónní COP:	0,85
Koncové prvky:	Otopná tělesa
V provozu:	neustále v provozu
Regulace:	Vnitřní operativní teplota 20°C
<u>Chlazení</u>	žádné
<u>Ohřev TV</u>	zásobníkový
Energonositel:	zemní plyn
Sezónní COP:	0,85

Tabulka 8 – HVAC – simulace č. 1

6.3 Vizualizace



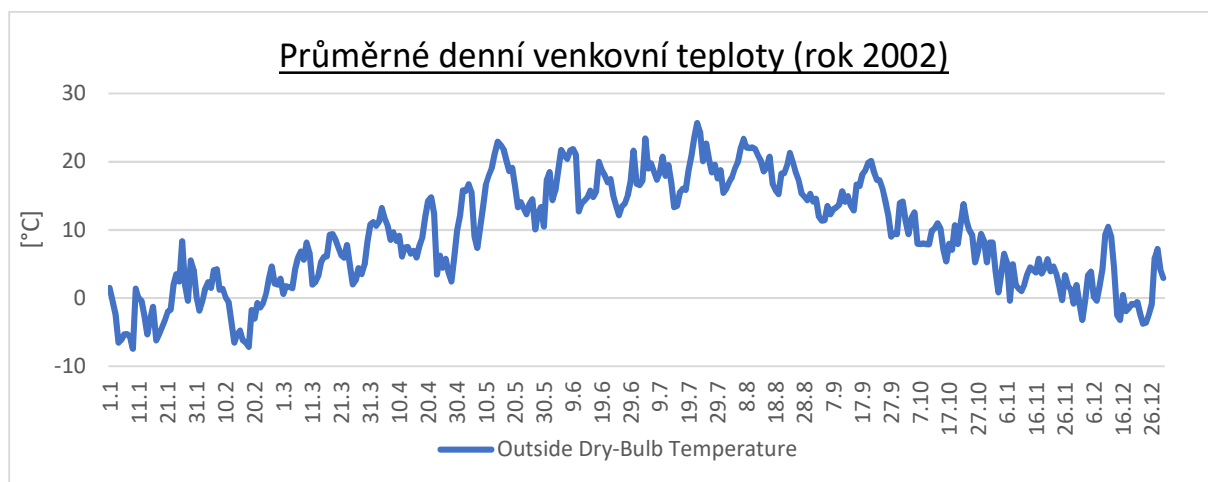
Obrázek 6 – Vizualizace řešeného objektu

6.4 Okrajové podmínky

Zkoumaná budova bude situována v Českých Budějovicích. Program DesignBuilder nenabízí meteorologická data naměřená přímo v tomto místě, a proto byla vybrána nejbližší meteorologická stanice, a to ve městě Linz v Rakousku. Data byla pořízena během roku 2002. Níže jsou uvedeny průměrné denní venkovní teploty. V jednotlivých situacích bylo však počítáno i s průměrnými hodinovými teplotami či s teplotami měřenými po desetiminutových intervalech, pokud to bylo potřebné pro danou simulaci.

Nejchladnější den:	9.1.2002
Průměrná denní venkovní teplota v nejchladnějším dni:	-7,43 °C
Nejteplejší den:	23.7.2018
Průměrná denní venkovní teplota v nejteplejším dni:	25,69 °C

Tabulka 9 – Průměrné denní venkovní teploty během roku 2002



Graf 1 – Průměrné denní venkovní teploty během roku 2002

6.5 Výsledky simulace č. 1

Simulace proběhla v různých časových intervalech. Pro získání údajů o spotřebě energie celé budovy proběhla simulace celého roku, kde byly použity průměrné denní hodnoty. Poté bylo simulováno nejchladnější období (4.1.2002 - 11.1.2002) a nejteplejší období (23.7.2002 – 27.7.2002) pro získání údajů o vnitřních podmínkách ve zkoumané kanceláři č. 409 ve čtvrtém podlaží a pro posouzení letního přehřívání budovy.

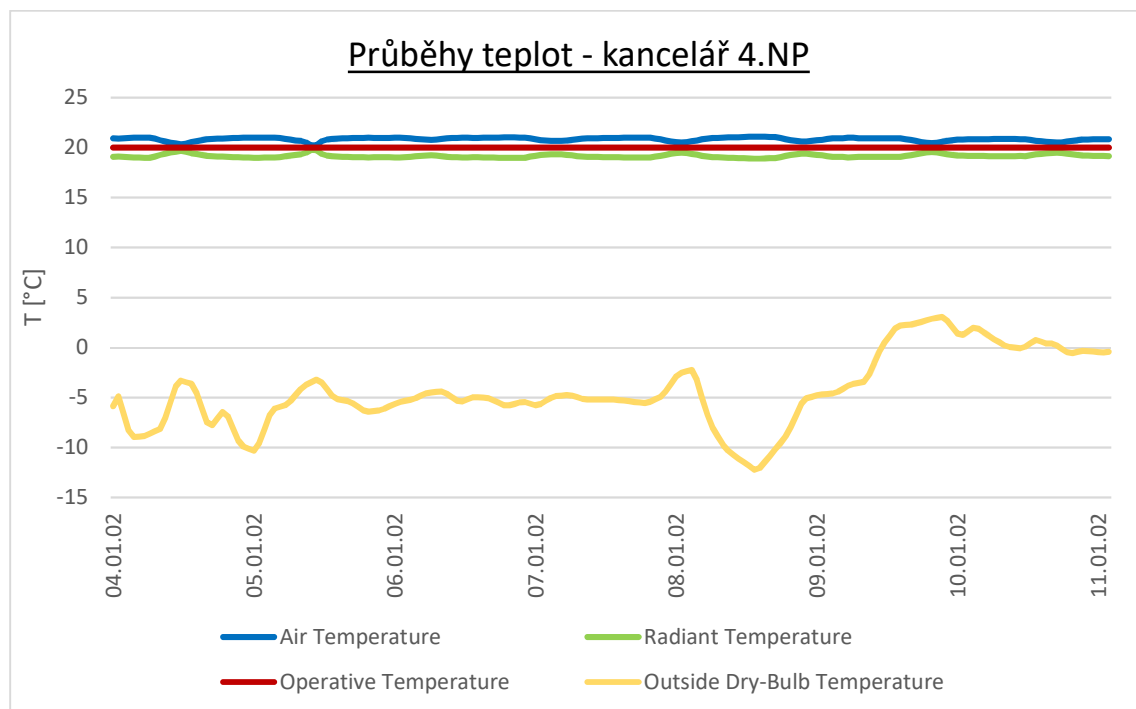
Přesná výsledná data, z kterých vycházejí všechny grafy jsou uvedena v příloze č. 2 – Číselné výsledky simulací.

Potřeba energie:

Potřebný tepelný výkon:	188 kW
Potřebný chladicí výkon:	/
Roční potřeba tepla na vytápění:	52 880 kWh/rok
Roční potřeba tepla na chlazení:	/

Tabulka 10 – Simulace č. 1 – potřeby energie

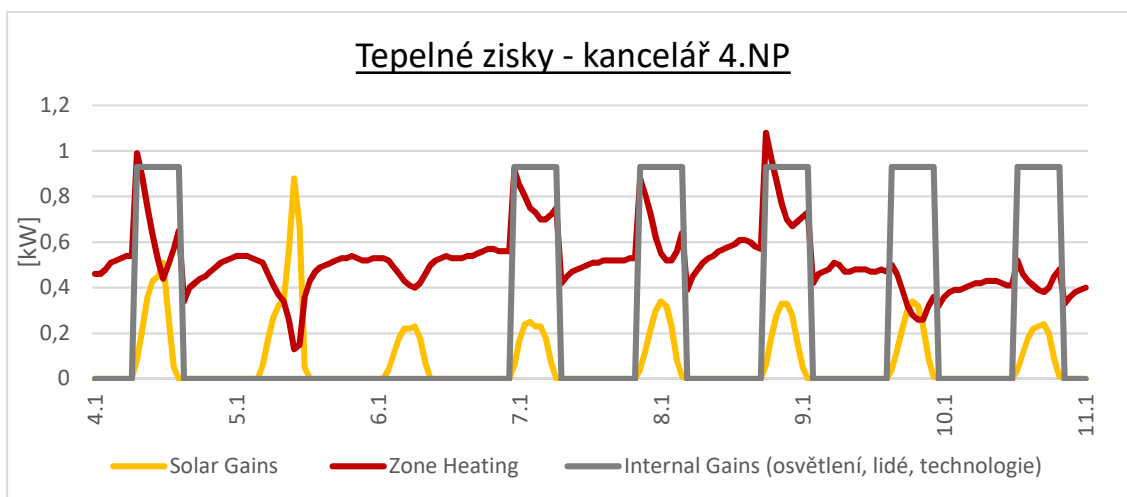
Výsledky v nejchladnějším období (4.1.2002 – 11.1.2002):



Graf 2 – Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 4.1.-11.1.2002 (simulace č. 1)



Graf 3 – Intenzita větrání v kanceláři v 4.NP – 4.1.-11.1.2002 (simulace č.1)



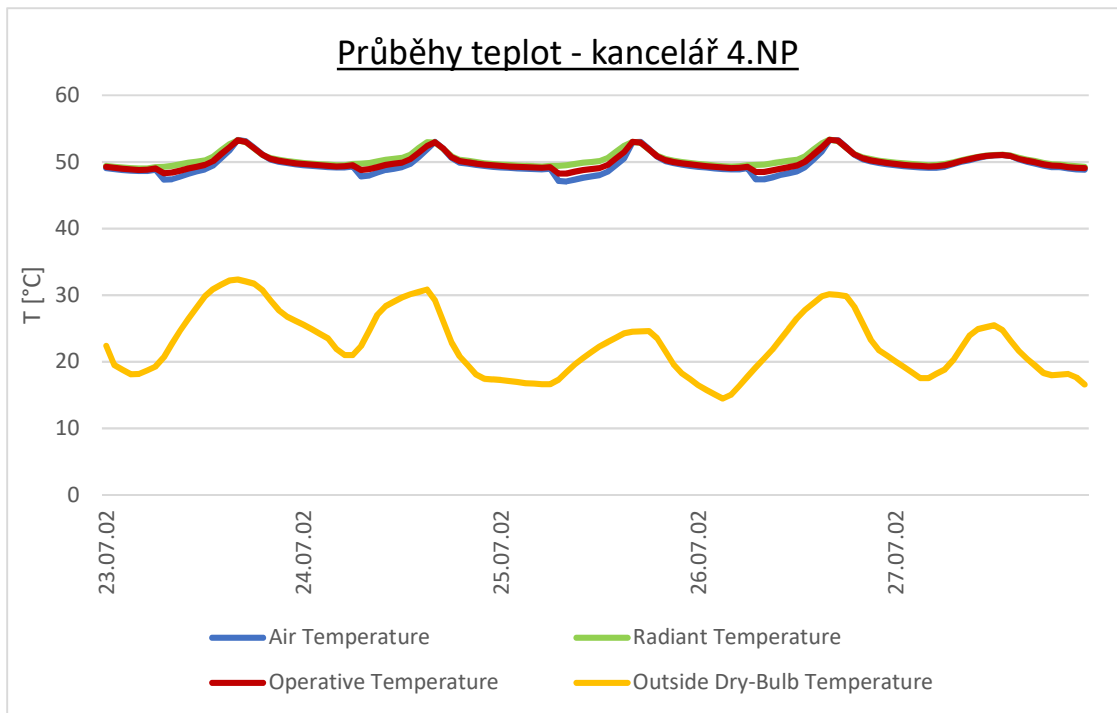
Graf 4 – Tepelné zisky v kanceláři v 4.NP – 4.1.-11.1.2002 (simulace č.1)

Hodnocení nejchladnějšího období:

Simulace prokázala, že vybraný systém vytápění je schopný udržet permanentně vnitřní operativní teplotu na hodnotě 20°C. Vnitřní teplota vzduchu se pohybuje v rozmezí 20,1 – 21,1 °C. Z bilance tepelných zisků je patrné, že vnitřní zisky od lidí, osvětlení a technologie jsou velmi vysoké, ale i tak je výkon otopné soustavy během dne zvýšený kvůli poměrně vysoké intenzitě větrání venkovním chladným vzduchem. Svou roli hrají i solární zisky, které v odpoledních hodinách dovolují snížit výkon vytápění, jelikož místnost je orientována na západ.

Nastavená intenzita větrání je trochu diskutabilní, v reálné situaci by nikdy nešlo dosáhnout konstantní hodnoty intenzity výměny vzduchu pouhým otevřením okna a pravděpodobně by nebylo možné ani zaručit požadovanou minimální hodnotu, proto se tato práce v další kapitole bude věnovat i alternativnímu způsobu stanovení přirozeného větrání.

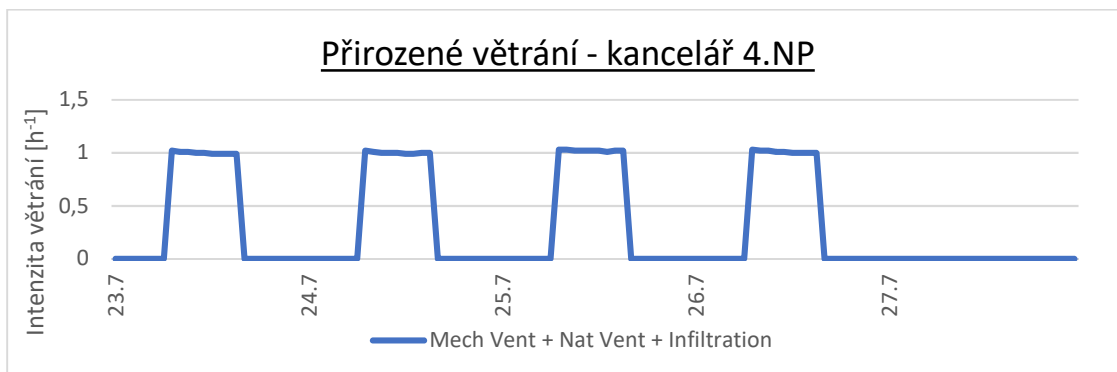
Výsledky v nejteplejším období (23.7.2002 – 27.7.2002):



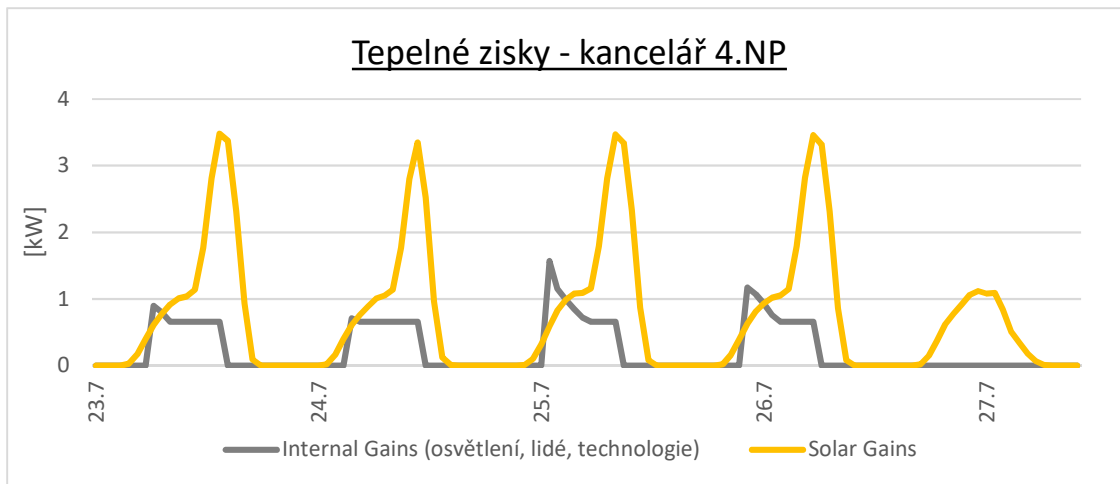
Graf 5 – Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č. 1)

Nejvyšší venkovní teplota: 32,3 °C 23.7.2002 17:00

Nejvyšší vnitřní operativní teplota: 53,2 °C 26.7.2002 17:00



Graf 6 – Intenzita větrání v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č.1)



Graf 7 - Tepelné zisky v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č.1)

Hodnocení nejteplejšího období:

Simulace prokázala, že řešená budova bez jakýchkoliv opatření je v letním období neobyvatelná! Vnitřní operativní teplota překračuje hodnotu 53 °C, což je o cca 20 °C vyšší než nejvyšší venkovní teplota. Budova se tedy chová jako skleník, zadržuje veškeré tepelné zisky a neposkytuje ani zdaleka přijatelné pracovní prostředí. Proto se tato práce bude věnovat primárně provozu budovy v letním období.

6.6 Alternativa výpočtu intenzity větrání

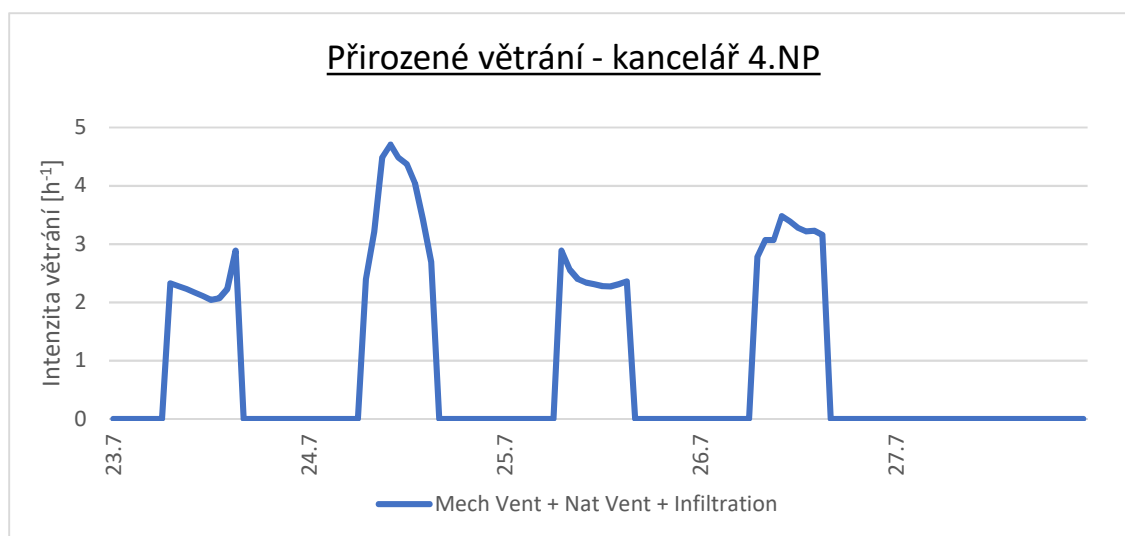
Intenzitu výměny vzduchu lze do programu DesignBuilder buď přímo zadat (jako v předchozím případě hodnotou 25 m³/h na osobu) anebo lze program nechat hodnotu vypočítat podle zadané velikosti větracího otvoru, aktuální síly větru a tlakových podmínek.

V této části je tedy zkoumán alternativní způsob zadání intenzity větrání. Je uvažováno, že 10 % plochy v horní části okenních otvorů je otevíravých. Pro řešenou místnost tomu odpovídá např. otvor o výšce 0,2 m a délce 4 m. Okna jsou otevřena opět od začátku do konce pracovní doby.

Vstupní hodnoty:

Otevírání oken:	10 % plochy okna, shora
Faktor síly větru:	1 (ponechána předdefinovaná hodnota)
Koeficient průtoku pro okenní otvory:	0,65 (ponechána předdefinovaná hodnota)

Výsledky simulace:



Graf 8 – Alternativa výpočtu intenzity větrání

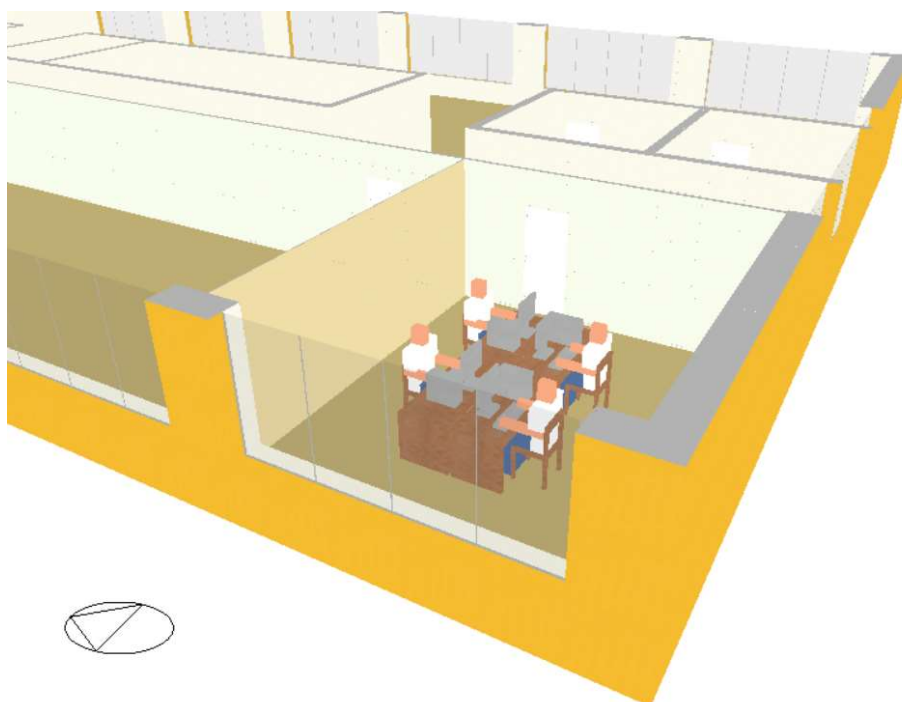
Tento způsob výpočtu intenzity větrání dokázal, že při zadaných okrajových podmínkách a otevřené ploše o velikosti 10 % okenního otvoru, lze dosáhnout v průměru trojnásobné výměny vzduchu v posuzované kanceláři oproti zadané hodnotě 25 m³/(h.os).

Oba způsoby větrání jsou každopádně velmi nekomfortní a v provozu administrativní budovy nepoužitelné. Proto bude v další části této práce navržen a posuzován i jiný způsob přívodu čerstvého vzduchu.

6.7 CFD

Dalším krokem v rámci simulace č. 1 bylo posouzení vnitřních podmínek v kanceláři pomocí metody CFD (Computational Fluid Dynamics). Do zkoumané kanceláře jsme umístili 4 osoby sedící u stolu s počítačem, vykonávající kancelářskou práci. Všechny osoby i počítače produkují zadané množství tepla. Byla hodnocena hodina, kdy byla v místnosti zaznamenána nejvyšší operativní teplota.

Vizualizace:



Obrázek 7 – Vizualizace osob v kanceláři č. 409

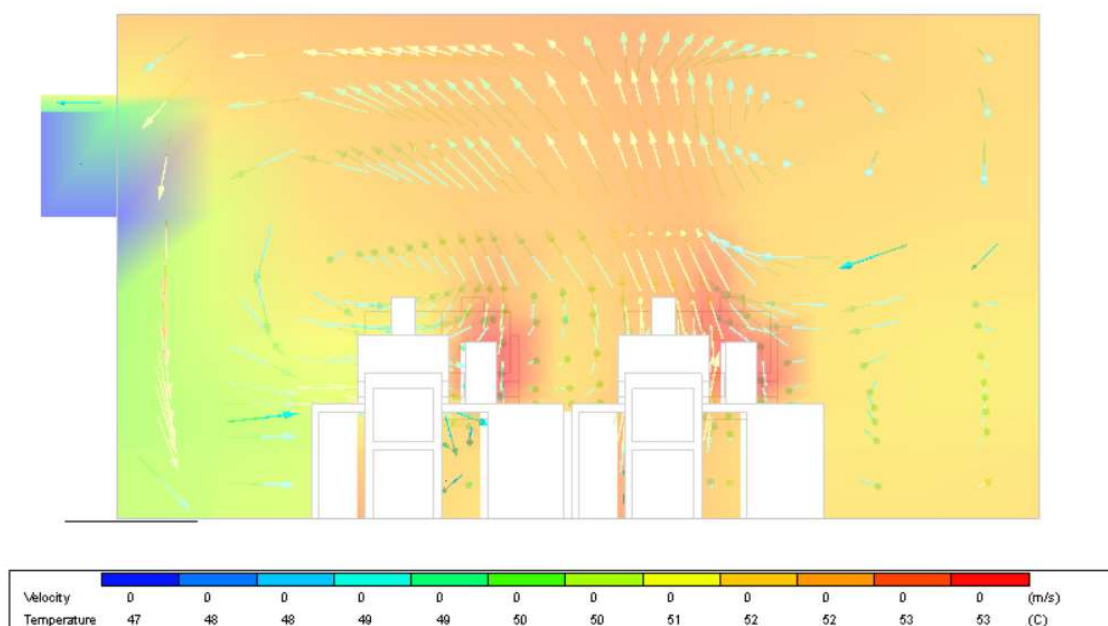
Vstupní hodnoty:

Datum a čas simulace	23.7.2002, 17:00 h
Vnitřní tepelné zisky:	člověk 60 W počítač + monitor 100 W celkem (4 osoby) 640 W
Výměna vzduchu:	přívod okny 27,776 l/s ($\approx 1 \text{ h}^{-1}$) odvod okny 27,776 l/s ($\approx 1 \text{ h}^{-1}$)

Teploty importované ze simulace:	
Vnitřní povrchová teplota podlahy:	55 °C
Vnitřní povrchová teplota stěn:	51 °C
Vnitřní povrchová teplota stropu:	51 °C
Průměrná teplota vzduchu v interiéru:	50 °C
Teplota přicházejícího (venk.) vzduchu:	32 °C

Tabulka 11 – Vstupní hodnoty pro CFD – simulace č. 1

Výstup ze simulace CFD:



Obrázek 8 – Výstup z CFD – simulace č. 1

V takto přehřáté kanceláři nemá příliš velký význam posuzovat proudění vzduchu či rozložení teplot. I přes to bylo alespoň možné zkontrolovat správné fungování větrání. Na obrázku je vidět přívod chladnějšího venkovního vzduchu, který se okamžitě ohřeje na hodnotu cca 47 °C a i tak hned padá k zemi. Ohřátý vzduch se naopak kumuluje pod stropem a proudí ven horní částí otvoru. Nejvíce tepla produkují počítače, které ohřívají vzduch ve svém okolí až na hodnotu cca 53 °C.

6.8 Zhodnocení simulace č. 1

Tato simulace prokázala, že v zimním období je vybraný systém vytápění schopný udržet vnitřní operativní teplotu na hodnotě 20 °C. Systém ale uvažuje s přirozeným větráním otevřenými okny po celou dobu přítomnosti osob v budově. To je jednak velmi neekonomické, protože to přináší velké tepelné ztráty a jednak velmi nekomfortní pro uživatele budovy.

Simulace chování budovy v letním období prokázala, že teplota uvnitř posuzované místnosti dosahuje hodnot až + 53 °C, což je pro administrativní budovu nepřijatelné.

Tato práce se tedy bude dále věnovat hledání efektivnějšího způsobu větrání a návrhu chlazení budovy. Systém vytápění se ukázal jako dostačující, bude tedy pouze snaha o snížení potřeby tepla na vytápění.

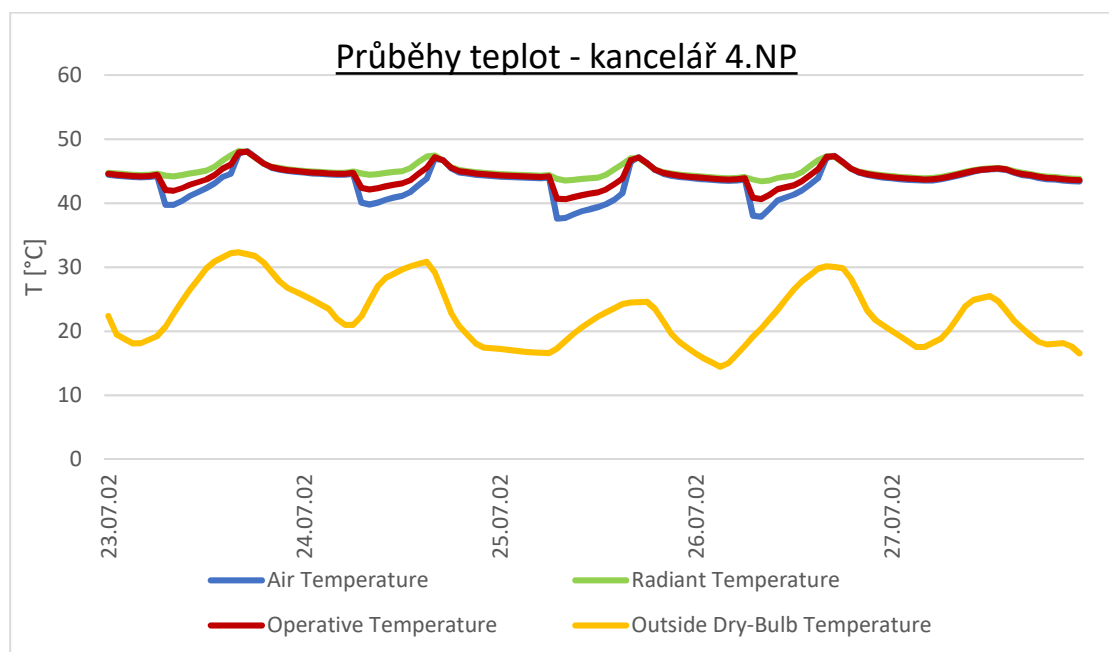
7 SIMULACE Č. 2 – OPTIMALIZACE OBÁLKY BUDOVY

Ve druhé simulaci byl řešen problém letního přehřívání budovy. Byla snaha o optimalizaci vlastností použitých konstrukcí, úpravu způsobu větrání a návrh pasivního chlazení přidáním stínících prvků. Níže budou popsány provedené změny. To, co nebude zmíněno, zůstává shodné se simulací č.1. Úpravy byly provedeny vždy v rámci celé budovy, ale zobrazeny budou pouze grafy znázorňující parametry vnitřního prostředí v řešené kanceláři.

7.1 a) zvýšená intenzita větrání

První úprava se věnuje způsobu větrání. Byl použit alternativní výpočet intenzity výměny vzduchu, kdy ji vypočte sám program dle zadané velikosti větracího otvoru, aktuální síly větru a tlakových podmínek. Lze tak dosáhnout vyšší intenzity výměny vzduchu – více viz kapitola „6.6 - Alternativa výpočtu intenzity větrání“.

Výsledky v nejteplejším období (23.7.2002 – 27.7.2)



Graf 9 - Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č. 2–a)

Původní nejvyšší vnitřní operativní teplota : 53,2 °C (26.7.02 17:00)

Nejvyšší vnitřní operativní teplota po úpravě větrání: 48,1 °C (23.7.02 18:00)

TEPLOTA SNÍŽENA O 5,1 °C.

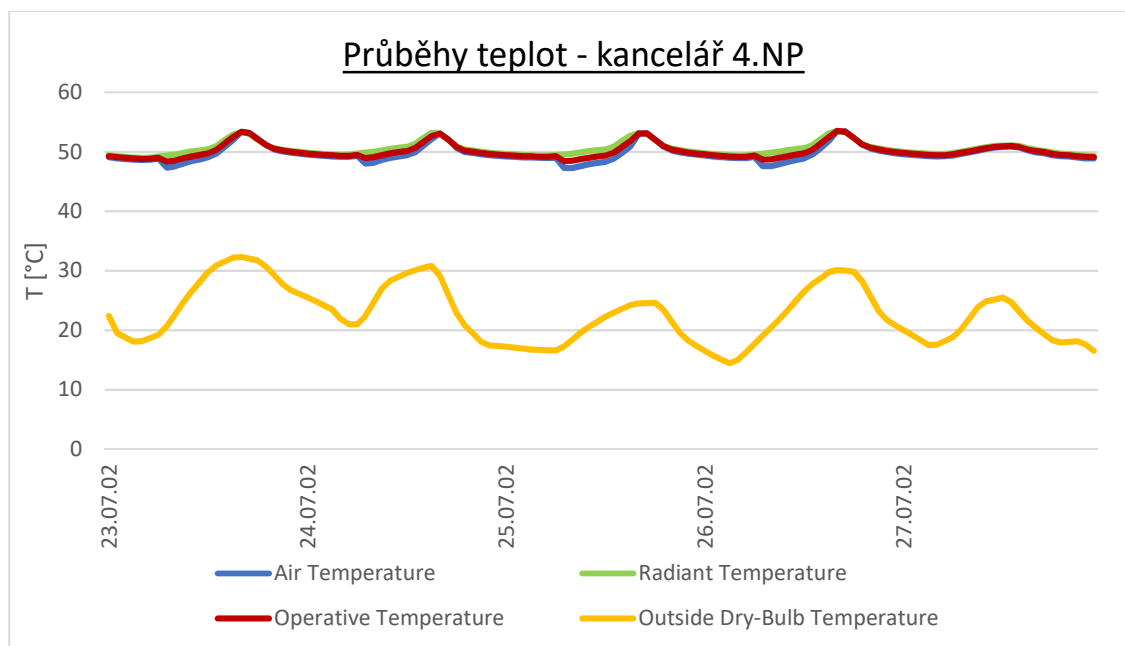
7.2 b) přidání tepelné izolace

Druhá úprava se zabývá tloušťkou tepelné izolace. V obvodové stěně byla zvýšena mocnost minerální vlny o 60 mm a do konstrukce ploché střechy bylo přidáno 200 mm EPS.

	původní stav	nový stav
obvodová stěna	80 + 140 mm	140 + 140 mm
plochá střecha	400 mm	600 mm

Tabulka 12 – Přidání tepelné izolace – simulace č. 2–b

Výsledky v nejteplejším období (23.7.2002 – 27.7.2002):



Graf 10 - Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č. 2–b)

Původní nejvyšší vnitřní operativní teplota : 53,2 °C (26.7.02 17:00)

Nejvyšší vnitřní operativní teplota po úpravě větrání: 53,5 °C (26.7.02 17:00)

TEPLOTA ZVÝŠENA O 0,3 °C.

Tato simulace prokazuje, že tloušťka tepelné izolace nemá téměř žádný vliv na letní přehřívání budov a když, tak pouze negativní, protože brání vychladnutí budovy v nočních hodinách.

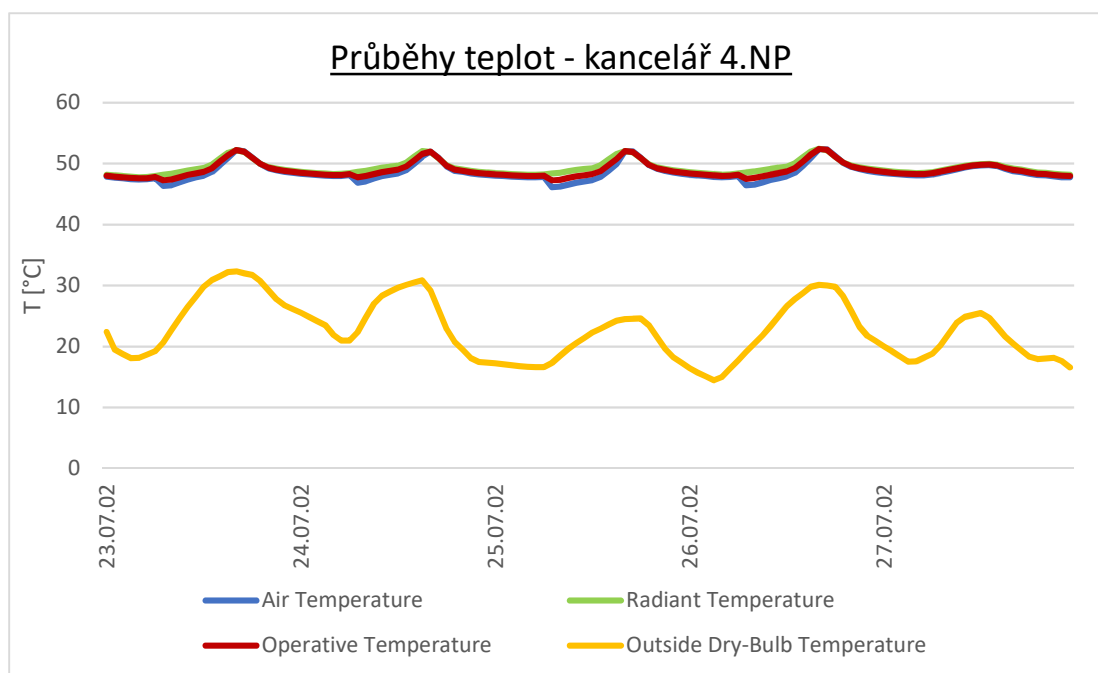
7.3 c) masivnější konstrukce

V rámci této simulace bylo zkoumáno, jak ovlivní masivnější konstrukce průběh vnitřní operativní teploty. Zvětšila se tloušťka železobetonové vrstvy v obvodové stěně o 80 mm a v nosných vnitřních stěnách o 50 mm.

	původní stav	nový stav
obvodová stěna	ŽB 220 mm	ŽB 300 mm
vnitřní stěny	ŽB 200 mm	ŽB 250 mm

Tabulka 13 – Masivnější konstrukce – simulace č. 2–c

Výsledky v nejteplejším období (23.7.2002 – 27.7.2002):



Graf 11 - Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č. 2–c)

Původní nejvyšší vnitřní operativní teplota : 53,2 °C (26.7.02 17:00)

Nejvyšší vnitřní operativní teplota po úpravě větrání: 52,4 °C (26.7.02 17:00)

TEPLOTA SNÍŽENA O 0,8 °C.

Tato simulace prokázala, že masivnější konstrukce mají mírně pozitivní vliv na přehřívání budov. Použití masivnějších konstrukcí by pravděpodobně mělo větší smysl například při použití nočního chlazení, kdy by konstrukce byly schopny naakumulovat chlad během nočních hodin a předávat ho do okolí během teplejších částí dne. Noční chlazení otevřenými okny ale bohužel v administrativní budově nelze použít kvůli zabezpečení objektu.

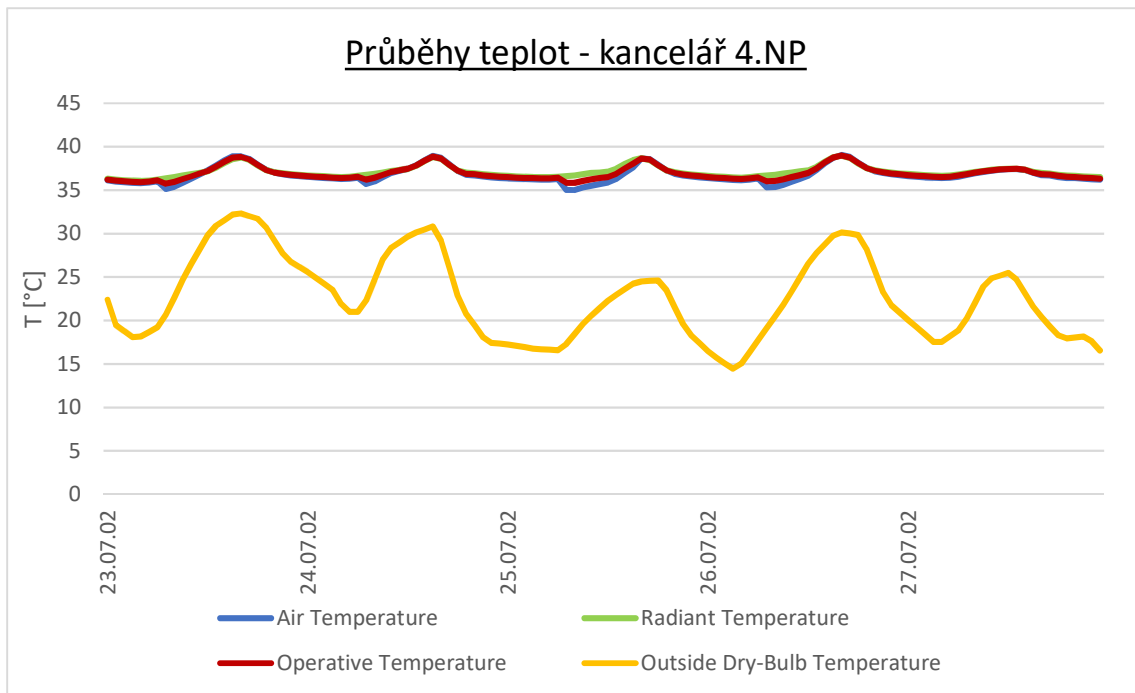
7.4 d) kvalitnější zasklení

Následující úprava se týkala kvality zasklení okenních otvorů. Místo dvojskla bylo vybráno trojsklo s protisluneční externí fólií, která má snížit pronikání slunečního záření do interiéru a tím zamezit jeho přehřívání.

PŮVODNÍ ZASKLENÍ	Dvojsklo (3-13-3 mm)	U (ISO 10292/EN 673) = 1,474 W/m ² K
		Total solar transmission (SHGC) 0,691
		Direct solar transmission 0,624
		Light transmission 0,744
		Hliníkové okno s přerušením tepelného mostu, s vertikálními stojinami
		žádné stínící prvky
NOVÉ ZASKLENÍ	Trojsklo s protisluneční externí fólií (6-13-55-13-6 mm)	U (ISO 10292/EN 673) = 0,883 W/m ² K
		Total solar transmission (SHGC) 0,222
		Direct solar transmission 0,129
		Light transmission 0,274
		Hliníkové okno s přerušením tepelného mostu, s vertikálními stojinami
		žádné stínící prvky

Tabulka 14 – Kvalitnější zasklení – simulace č. 2–d

Výsledky v nejteplejším období (23.7.2002 – 27.7.2002):



Graf 12 – Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č. 2–d)

Původní nejvyšší vnitřní operativní teplota : 53,2 °C (26.7.02 17:00)

Nejvyšší vnitřní operativní teplota po úpravě větrání: 39,0 °C (26.7.02 17:00)

TEPLOTA SNÍŽENA O 14,2 °C.

Použití kvalitnějšího zasklení se zatím ukázalo jako nejefektivnější řešení, jelikož největší tepelné zisky byly způsobeny právě radiací skrz zasklení okenních otvorů. Zasklení mělo v původním návrhu velmi vysoký součinitel prostupu tepla, který byl téměř na hranici požadované hodnoty dle ČSN 73 0540-2.

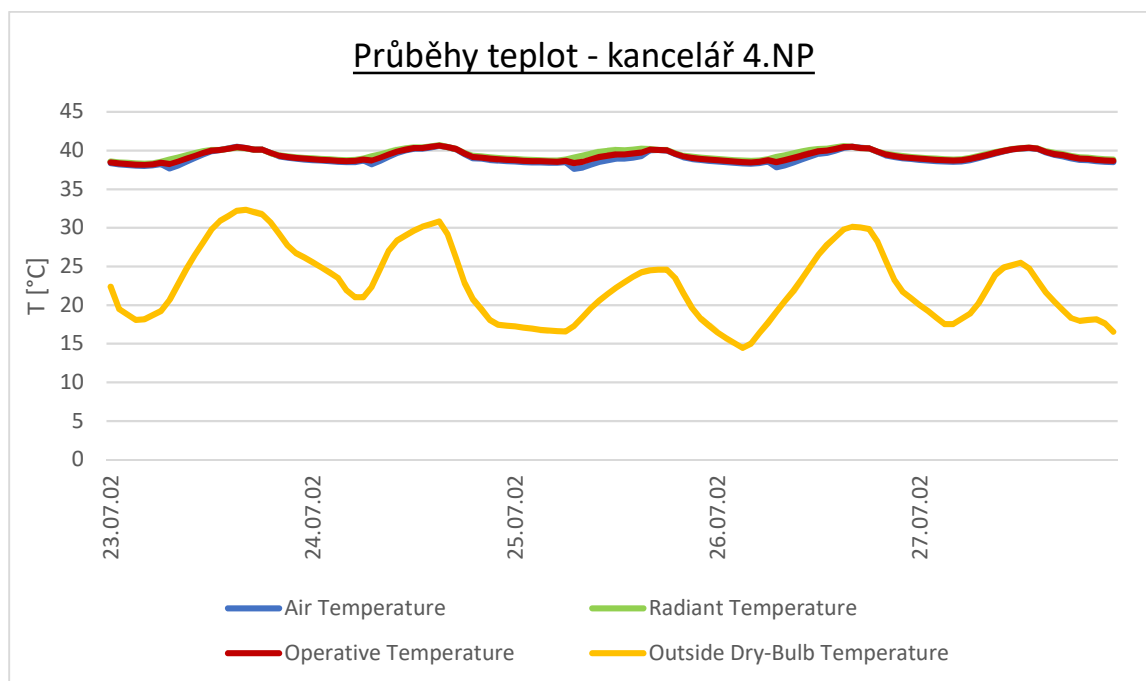
7.5 e) stínění

V této simulaci byl posuzován vliv venkovního stínění. Žaluzie se automaticky spustí při překročení hodnoty intenzity slunečního záření 250 W/m^2

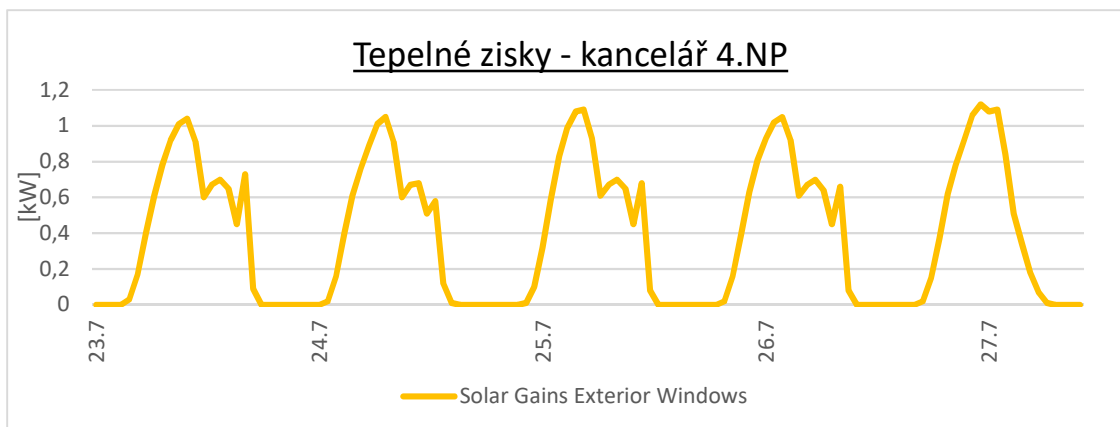
Typ stínění:	venkovní rolety s vysokou odrazivostí
Orientace lamel:	horizontální, úhel 45°
Odrazivost lamel:	0,8
Emisivita:	0,9
Spouštění:	intenzita slunečního záření $> 250 \text{ W/m}^2$

Tabulka 15 – Stínění – simulace č. 2–e

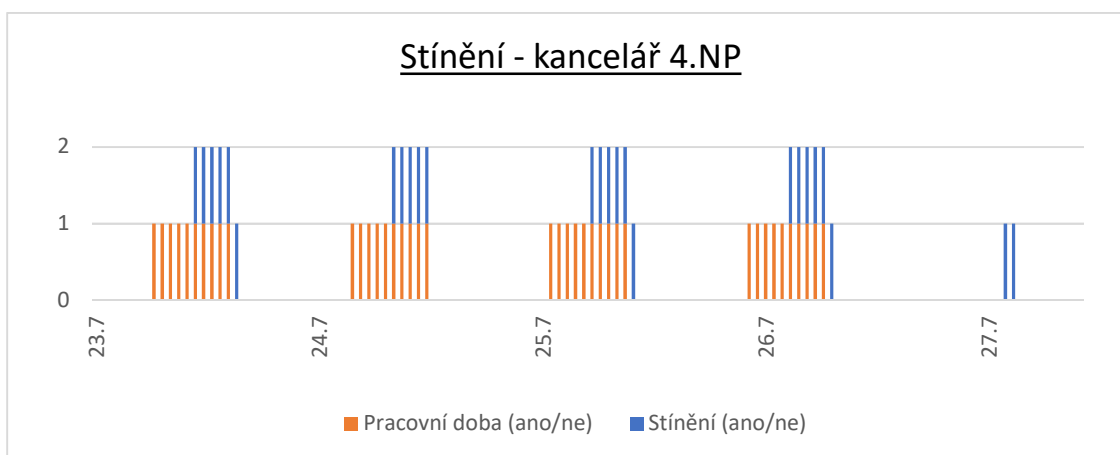
Výsledky v nejteplejším období (23.7.2002 – 27.7.2002):



Graf 13 – Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č. 2–e)



Graf 14 – Tepelné zisky v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č. 2-e)



Graf 15 – Stínění v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č. 2-e)

Původní nejvyšší vnitřní operativní teplota : 53,2 °C (26.7.02 17:00)

Nejvyšší vnitřní operativní teplota po přidání stínění: 40,6 °C (26.7.02 17:00)

TEPLOTA SNÍŽENA O 12,6 °C.

Přidání venkovního stínění se ukázalo jako taktéž velmi efektivní z hlediska vnitřní teploty. Díky regulaci dle intenzity slunečního záření je stínění ve zkoumané kanceláři, která je orientována na západ, v provozu vždy v odpoledních hodinách, přibližně od 13:00 do 18:00 h. Nevýhodou tohoto řešení je ovšem omezení denního osvětlení, což může působit negativně na psychiku člověka, či v krajních případech na jeho zdraví.

7.6 f) kombinace opatření

V poslední simulaci byla aplikována pouze některá řešení, která měla dostatečný vliv na snížení vnitřní teploty a zároveň neznamena příliš velkých zásahů do konstrukce budovy.

	Nejvyšší vnitřní operativní teplota po úpravě	Snížení teploty	Realizace
a) Zvýšená intenzita větrání	48,1 °C	5,1 °C	
b) Přidání tepelné izolace	53,5 °C	0,3 °C	
c) Masivnější konstrukce	52,4 °C	0,8 °C	
d) Kvalitnější zasklení	39,0 °C	14,2 °C	
e) Stínění	40,6 °C	12,6 °C	

Tabulka 16 – Kombinace navržených opatření – simulace č. 2-f

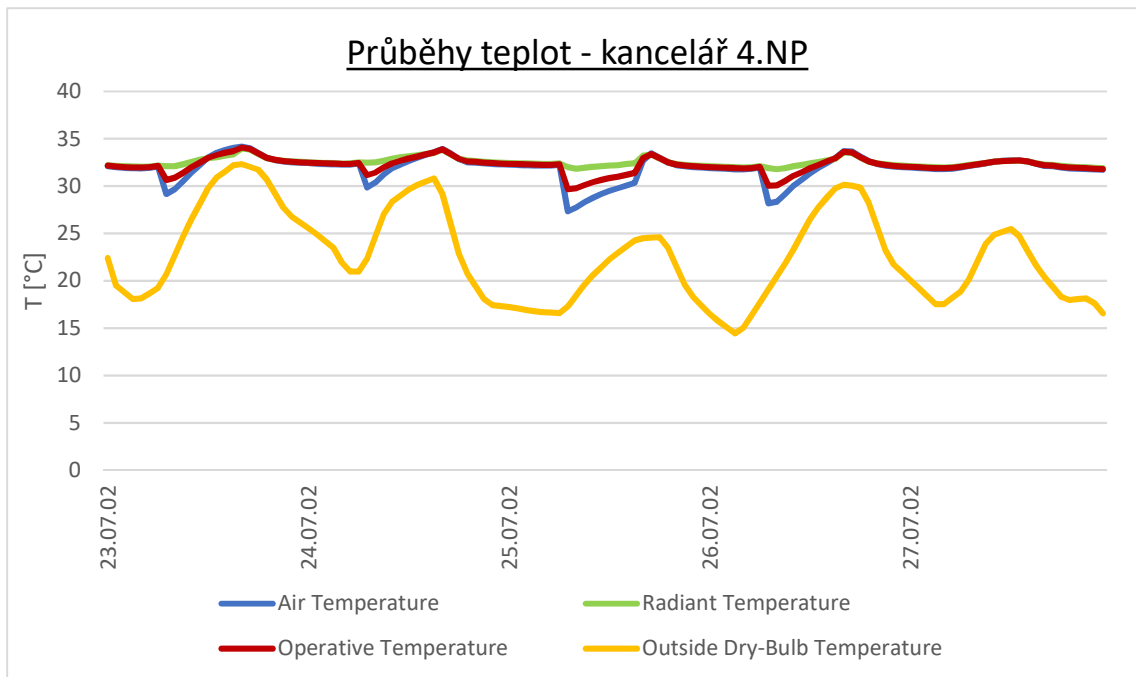
Porovnání potřeby energie:

	SIMULACE Č. 1 – BUDOVA BEZ ÚPRAV	SIMULACE Č. 2 – OPTIMALIZACE OBÁLKY BUDOVY
Potřebný tepelný výkon:	188 kW	172 kW
Potřebný chladicí výkon:	/	/
Roční potřeba tepla na vytápění:	52 880 kWh/rok	370 457 kWh/rok
Roční potřeba tepla na chlazení:	/	/

Tabulka 17 – Porovnání potřeby energie – simulace č. 2-f

Díky kvalitnějšímu zasklení se snížil potřebný tepelný výkon na vytápění budovy. Nicméně potřeba tepla na vytápění se zvýšila cca sedminásobně kvůli zvýšené intenzitě větrání chladným venkovním vzduchem.

Výsledky v nejteplejším období (23.7.2002 – 27.7.2002):



Graf 16 – Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č. 2-f)



Graf 17 – Intenzita větrání v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č.2-f)

Původní nejvyšší vnitřní operativní teplota : 53,2 °C (26.7.02 17:00)

Nejvyšší vnitřní operativní teplota po přidání stínění: 34,1 °C (23.7.02 17:00)

TEPLOTA SNÍŽENA O 19,1 °C.

7.7 CFD pro zvolenou kombinaci opatření

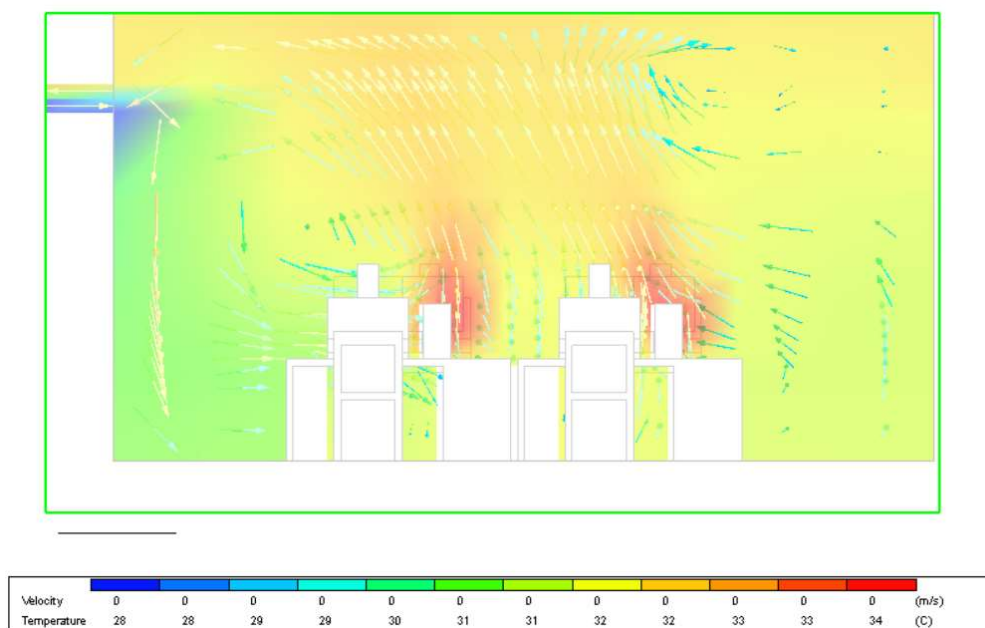
Pro zvolenou kombinace opatření byla provedena simulace CFD. Byla vybrána hodina, ve které byl největší rozdíl mezi venkovní a vnitřní teplotou, což generovalo větší průtoky větracího vzduchu

Vstupní hodnoty:

Datum a čas simulace	25.7.2002, 16:00 h
Vnitřní tepelné zisky:	celkem (4 osoby) 640 W
Výměna vzduchu:	přívod okny 126,0 l/s = 453,6 m ³ /h odvod okny 128,3 l/s = 461,9 m ³ /h přívod dveřmi 2,3 l/s = 8,28 m ³ /h
Teploty importované ze simulace:	
Vnitřní povrchová teplota podlahy:	32 °C
Vnitřní povrchová teplota stěn:	32 °C
Vnitřní povrchová teplota stropu:	33 °C
Průměrná teplota vzduchu v interiéru:	29 °C
Teplota přicházejícího (venk.) vzduchu:	25 °C

Tabulka 18 – Vstupní hodnoty pro CFD – simulace č. 1

Výstup ze simulace CFD:



Obrázek 9 – Výstup z CFD – simulace č. 2–f

7.8 Zhodnocení simulace č. 2

Kombinace navržených opatření pomohla snížit vnitřní operativní teplotu na maximální hodnotu 34,1 °C. To je sice mnohem příznivější hodnota, ale stále nesplňuje požadavek nařízení vlády č. 361/2007 Sb., který stanoví maximální vnitřní operativní teplotu na přirozeně větraném pracovišti 27 °C.

Níže je uvedena tabulka s nejvyššími vnitřními operativními teplotami během pracovní doby v posuzované kanceláři ve 4.NP v jednotlivých dnech během letního období. Je z ní patrné, že **limit 27 °C byl překročen v celkem 46 dnech**, a to většinou v odpoledních hodinách mezi 15:00 – 17:00 h. Další část této práce se tedy bude věnovat snížení počtu přehřátých dnů.

Datum	Nejvyšší vnitřní operativní teplota [°C]	Datum	Nejvyšší vnitřní operativní teplota [°C]	Datum	Nejvyšší vnitřní operativní teplota [°C]	Datum	Nejvyšší vnitřní operativní teplota [°C]
1.5.02	20,30	9.6.02	26,93	18.7.02	24,81	26.8.02	28,60
2.5.02	20,35	10.6.02	27,87	19.7.02	24,93	27.8.02	27,78
3.5.02	22,65	11.6.02	28,81	20.7.02	26,15	28.8.02	27,11
4.5.02	22,12	12.6.02	24,81	21.7.02	26,63	29.8.02	26,40
5.5.02	22,40	13.6.02	25,12	22.7.02	29,89	30.8.02	26,26
6.5.02	22,74	14.6.02	24,48	23.7.02	34,08	31.8.02	27,56
7.5.02	20,97	15.6.02	25,01	24.7.02	33,93	1.9.02	28,04
8.5.02	20,61	16.6.02	26,14	25.7.02	32,95	2.9.02	26,42
9.5.02	21,38	17.6.02	23,80	26.7.02	33,63	3.9.02	24,19
10.5.02	22,60	18.6.02	24,84	27.7.02	32,22	4.9.02	23,68
11.5.02	22,46	19.6.02	26,70	28.7.02	29,98	5.9.02	23,21
12.5.02	22,51	20.6.02	25,03	29.7.02	29,34	6.9.02	24,77
13.5.02	24,25	21.6.02	25,20	30.7.02	29,13	7.9.02	25,21
14.5.02	25,04	22.6.02	26,47	31.7.02	29,40	8.9.02	25,28
15.5.02	25,91	23.6.02	25,28	1.8.02	26,49	9.9.02	24,33
16.5.02	26,64	24.6.02	24,76	2.8.02	26,03	10.9.02	24,89
17.5.02	27,28	25.6.02	24,54	3.8.02	26,57	11.9.02	24,99
18.5.02	26,71	26.6.02	23,15	4.8.02	26,68	12.9.02	23,08
19.5.02	27,70	27.6.02	22,92	5.8.02	26,85	13.9.02	23,74
20.5.02	27,45	28.6.02	23,11	6.8.02	28,24	14.9.02	23,19
21.5.02	26,47	29.6.02	24,92	7.8.02	29,02	15.9.02	22,87
22.5.02	25,04	30.6.02	25,32	8.8.02	29,59	16.9.02	23,68
23.5.02	24,97	1.7.02	25,57	9.8.02	29,19	17.9.02	24,59
24.5.02	24,38	2.7.02	25,50	10.8.02	29,63	18.9.02	25,02
25.5.02	26,20	3.7.02	24,44	11.8.02	30,08	19.9.02	25,27
26.5.02	25,24	4.7.02	25,53	12.8.02	29,86	20.9.02	25,53
27.5.02	24,75	5.7.02	27,32	13.8.02	29,90	21.9.02	25,43
28.5.02	22,60	6.7.02	27,19	14.8.02	29,75	22.9.02	25,68
29.5.02	23,55	7.7.02	26,55	15.8.02	28,98	23.9.02	25,73
30.5.02	23,08	8.7.02	26,75	16.8.02	29,99	24.9.02	25,01
31.5.02	22,19	9.7.02	26,66	17.8.02	30,07	25.9.02	24,60
1.6.02	24,02	10.7.02	27,45	18.8.02	29,30	26.9.02	23,43
2.6.02	23,84	11.7.02	28,18	19.8.02	28,66	27.9.02	22,53
3.6.02	22,83	12.7.02	26,38	20.8.02	27,45	28.9.02	22,81
4.6.02	23,42	13.7.02	27,21	21.8.02	28,58	29.9.02	22,50
5.6.02	25,20	14.7.02	27,39	22.8.02	28,59	30.9.02	21,06
6.6.02	26,18	15.7.02	24,94	23.8.02	28,13		
7.6.02	26,20	16.7.02	24,66	24.8.02	28,06		
8.6.02	26,64	17.7.02	25,88	25.8.02	28,06		

Tabulka 19 – Nejvyšší vnitřní operativní teploty v kanceláři v 4.NP v jednotlivých dnech

8 SIMULACE Č. 3 – CHLAZENÍ VZDUCHOTECHNIKOU

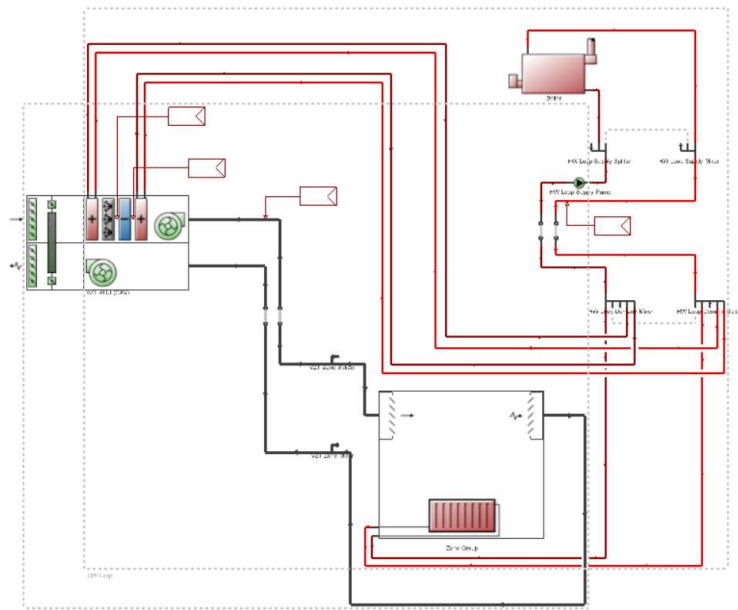
8.1 Popis simulace

Tato kapitola se věnuje variantě, kdy je budova vytápěna stejným způsobem, tedy plynovým kotlem a otopnými tělesy, ale větrání je navrženo jako nucené pomocí vzduchotechnické jednotky. Cílem je zjistit, zda větrání vzduchotechnikou, která bude zároveň odvádět i tepelnou zátěž, pomůže snížit vnitřní teplotu během nejteplejších dní, jaká bude vhodná teplota přiváděného vzduchu tak, aby přiváděný chladný vzduch nepůsobil diskomfortně a jak se změní celková spotřeba energií v budově.

Ke specifikaci systému HVAC již nebyl použit přednastavený model z nabídky programu DesignBuilder, tak jako v předchozích případech, kdy byly pouze specifikovány jednotlivé parametry systému, ale celý systém HVAC byl vymodelován od nuly poskládáním jednotlivých topných okruhů.

Plynový kotel funguje jako zdroj tepla pro vytápění deskovými otopnými tělesy a zároveň jako zdroj tepla pro vzduchotechnickou jednotku. Zdroj chladu pro VZT jednotku je tepelné čerpadlo vzduch-vzduch, jehož výhody oproti vzduch-voda jsou například snadná a rychlá instalace, nižší pořizovací náklady a není potřeba provádět údržbu rozvodu chladiva. Tepelné čerpadlo bude využíváno jen jako zdroj chladu v letním období. Tím odpadne problematický provoz chladivového systému v režimu vytápění, kdy dochází k namrzání výparníku a je nutné ho odmrazovat.

8.2 Zadané parametry HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning)



Obrázek 10 – Schéma systému HVAC – simulace č. 3 – větrání vzduchotechnikou

<u>Vytápění</u>	
Energonositel:	zemní plyn
Sezónní COP:	0,85
Koncové prvky:	Otopná tělesa
Regulace:	Výkon kotle regulován dle venkovní teploty: $< 5\text{ °C} \Rightarrow 80\text{ °C}$ $15\text{ °C} \Rightarrow 60\text{ °C}$ $> 15\text{ °C} \Rightarrow \text{vypnutý}$
Teplotní spád:	$\Delta T = 10\text{ K}$
<u>Větrání VZT</u>	
Přiváděný vzduch v letním období:	500 m ³ /h (v posuzované kanceláři) teplota 24 °C
V provozu:	8:00 – 17:00, Po - Pá
Rekuperace:	Deskový výměník – účinnost 0,7
Cirkulace:	žádná

Chlazení	žádné
Ohřev TV	zásobníkový
Energonositel:	zemní plyn
Sezónní COP:	0,85

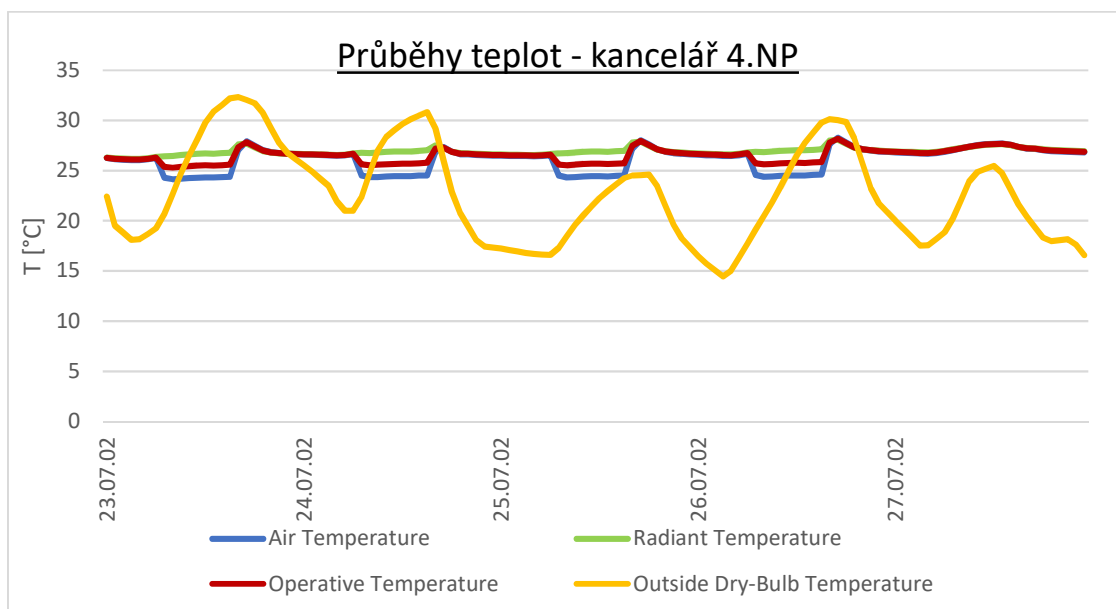
Tabulka 20 – HVAC – Simulace č. 3 – větrání vzduchotechnikou

Množství a teplota přiváděného vzduchu byla po několika pokusech zvolena tak, aby se vnitřní operativní teplota pohybovala v přijatelných mezích a zároveň nebyl proud přiváděného vzduchu výrazně chladnější než vnitřní teplota vzduchu. Aby toto bylo dodrženo, bylo potřeba zvýšit intenzitu výměny vzduchu na pětinasobek oproti požadovanému průtoku.

Provoz VZT jednotky během nočních hodin a o víkendu byl pro tyto účely zanedbán. Správně by měla jednotka zajišťovat neustále alespoň minimální intenzitu výměny vzduchu.

8.3 Výsledky simulace č. 3

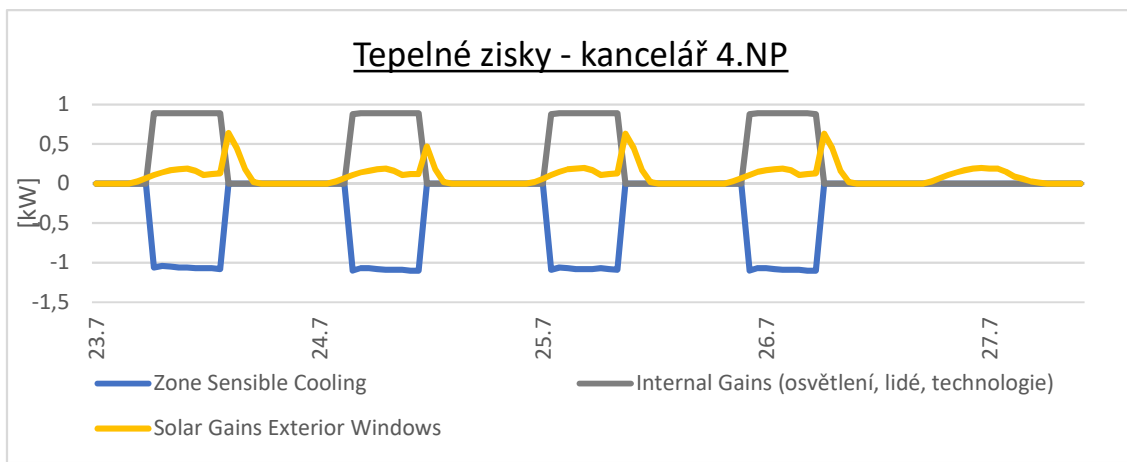
Výsledky v nejteplejším období (23.7.2002 – 27.7.2002):



Graf 18 – Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 23.7. – 27.7.2002 (simulace č. 3)



Graf 19 – Intenzita větrání v kanceláři v 4.NP – 23.7. – 27.7.2002 (simulace č. 3)



Graf 20 – Tepelné zisky v kanceláři v 4.NP – 23.7. – 27.7.2002 (simulace č. 3)

Vzduchotechnika, která je v provozu vždy během pracovní doby, dokázala snížit vnitřní operativní teplotu na průměrnou hodnotu kolem 26 °C . Maximální vnitřní operativní teplota dosahuje hodnoty **$27,8\text{ °C}$** (26.7.02 17:00).

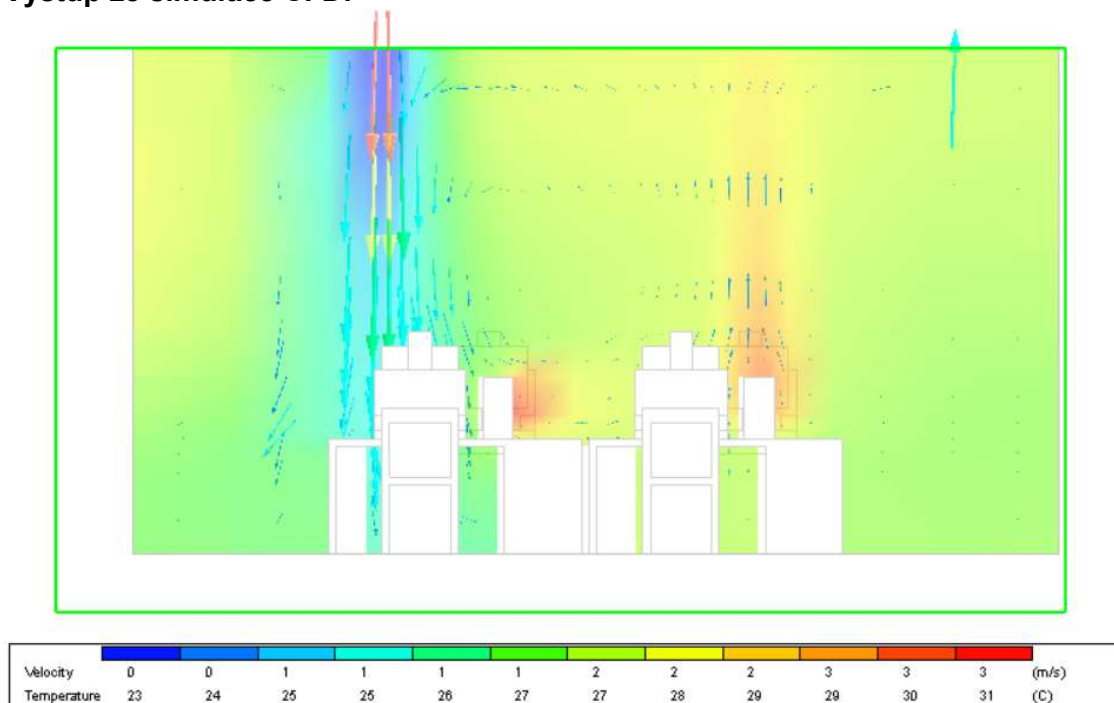
8.4 CFD

Vstupní hodnoty:

Datum a čas simulace	26.7.2002, 17:00 h
Vnitřní tepelné zisky:	člověk 60 W počítač + monitor 100 W celkem (4 osoby) 640 W
Výměna vzduchu:	nucený přívod 500 m ³ /h nucený odvod 500 m ³ /h
Teploty importované ze simulace:	
Vnitřní povrchová teplota podlahy:	28 °C
Vnitřní povrchová teplota stěn:	27 °C
Vnitřní povrchová teplota stropu:	27 °C
Průměrná teplota vzduchu v interiéru:	27 °C
Teplota přicházejícího vzduchu:	24 °C

Tabulka 21 – Vstupní hodnoty pro CFD – simulace č. 3 – větrání vzduchotechnikou

Výstup ze simulace CFD:



Obrázek 11 – Výstup z CFD – simulace č. 3 – větrání vzduchotechnikou

8.5 Zhodnocení simulace č. 3

Počet přehřátých dní:

Z tabulky je patrné, že limit 27 °C, dle požadavku nařízení vlády č. 361/2007 Sb., byl překročen **v celkem 30 dnech**, ale opět vždy v odpoledních hodinách mezi 15 – 17 h.

Datum	Nejvyšší vnitřní operativní teplota [°C]	Datum	Nejvyšší vnitřní operativní teplota [°C]	Datum	Nejvyšší vnitřní operativní teplota [°C]	Datum	Nejvyšší vnitřní operativní teplota [°C]
1.5.02	22,31	9.6.02	27,14	18.7.02	25,78	26.8.02	25,81
2.5.02	22,49	10.6.02	26,70	19.7.02	25,92	27.8.02	26,76
3.5.02	23,03	11.6.02	25,77	20.7.02	27,27	28.8.02	26,30
4.5.02	23,75	12.6.02	26,26	21.7.02	27,78	29.8.02	26,24
5.5.02	24,03	13.6.02	26,09	22.7.02	27,37	30.8.02	25,27
6.5.02	23,36	14.6.02	25,73	23.7.02	27,32	31.8.02	27,41
7.5.02	23,14	15.6.02	26,29	24.7.02	27,19	1.9.02	28,02
8.5.02	22,67	16.6.02	27,44	25.7.02	27,48	2.9.02	25,88
9.5.02	23,01	17.6.02	25,59	26.7.02	27,81	3.9.02	25,42
10.5.02	26,06	18.6.02	25,67	27.7.02	27,66	4.9.02	25,08
11.5.02	24,41	19.6.02	26,69	28.7.02	29,46	5.9.02	24,90
12.5.02	23,53	20.6.02	25,62	29.7.02	27,85	6.9.02	25,49
13.5.02	23,97	21.6.02	25,66	30.7.02	28,18	7.9.02	26,45
14.5.02	24,67	22.6.02	27,30	31.7.02	27,89	8.9.02	26,53
15.5.02	25,46	23.6.02	26,27	1.8.02	26,79	9.9.02	25,33
16.5.02	25,75	24.6.02	26,17	2.8.02	26,37	10.9.02	25,71
17.5.02	26,14	25.6.02	25,70	3.8.02	26,94	11.9.02	24,41
18.5.02	26,62	26.6.02	25,34	4.8.02	26,98	12.9.02	24,04
19.5.02	27,65	27.6.02	24,99	5.8.02	26,38	13.9.02	24,08
20.5.02	25,93	28.6.02	25,43	6.8.02	25,59	14.9.02	24,64
21.5.02	25,95	29.6.02	26,97	7.8.02	25,77	15.9.02	24,34
22.5.02	25,67	30.6.02	27,37	8.8.02	25,91	16.9.02	23,72
23.5.02	25,39	1.7.02	26,15	9.8.02	25,89	17.9.02	23,80
24.5.02	25,31	2.7.02	26,59	10.8.02	28,72	18.9.02	23,94
25.5.02	26,94	3.7.02	25,76	11.8.02	29,26	19.9.02	24,04
26.5.02	26,02	4.7.02	25,83	12.8.02	26,36	20.9.02	24,10
27.5.02	25,80	5.7.02	25,40	13.8.02	26,38	21.9.02	25,93
28.5.02	25,03	6.7.02	28,06	14.8.02	26,32	22.9.02	26,41
29.5.02	25,40	7.7.02	27,46	15.8.02	26,10	23.9.02	24,36
30.5.02	25,22	8.7.02	26,96	16.8.02	26,19	24.9.02	24,37
31.5.02	24,92	9.7.02	26,90	17.8.02	28,83	25.9.02	24,24
1.6.02	26,21	10.7.02	25,55	18.8.02	28,22	26.9.02	24,01
2.6.02	26,30	11.7.02	25,70	19.8.02	26,08	27.9.02	23,68
3.6.02	25,17	12.7.02	26,30	20.8.02	26,73	28.9.02	23,96
4.6.02	25,07	13.7.02	27,44	21.8.02	25,82	29.9.02	23,66
5.6.02	26,24	14.7.02	27,78	22.8.02	25,77	30.9.02	23,03
6.6.02	26,52	15.7.02	26,00	23.8.02	26,70		
7.6.02	25,83	16.7.02	25,83	24.8.02	27,37		
8.6.02	27,83	17.7.02	26,50	25.8.02	27,45		

Tabulka 22 – Nejvyšší vnitřní operativní teploty v kanceláři v 4.NP v jednotlivých dnech – simulace č. 3

Porovnání potřeby energie:

	SIMULACE Č. 1 – BUDOVA BEZ ÚPRAV	SIMULACE Č. 2 – OPTIMALIZACE OBÁLKY BUDOVY	SIMULACE Č. 3 – VĚTRÁNÍ VZDUCHOTECHNIKOU
Potřebný tepelný výkon:	188 kW	172 kW	183 kW
Potřebný chladicí výkon:	/	/	/
Roční potřeba tepla na vytápění:	52 880 kWh/rok	370 457 kWh/rok	139 658 kWh/rok
Roční spotřeba elektřiny:	Chlazení	/	10 228 kWh/rok
	Ventilátory	/	27 866 kWh/rok
	Čerpadla	/	2 039 kWh/rok
	Vlhčení	/	38 300 kWh/rok

Tabulka 23 – Porovnání potřeby energie – simulace č. 3

Po přidání vzduchotechnické jednotky, která přivádí čerstvý větrací vzduch, spadla nejvyšší vnitřní operativní teplota v posuzovaném období z hodnoty 34,1 °C na hodnotu **27,8 °C** a počet přehřátých dní se snížil z 46 na **30 dní**. Díky rekuperaci došlo k velké úspoře v potřebě tepla na vytápění. Na druhou stranu přibyla potřeba elektrické energie na provoz vzduchotechnické jednotky a na provoz tepelného čerpadla jako zdroje chladu.

Ze simulace CFD je patrné, že teplota vzduchu v místnosti je sice poměrně nízká, ale velký proud vzduchu o teplotě 24 °C by působil velmi nepříjemně a vytvářel pocit průvanu. Vzduch ze stropní vyústky proudí rychlostí 3,09 m/s a v pobytové zóně klesá na hodnotu cca **2,25 m/s**, která je stále příliš vysoká. Rychlost proudění vzduchu by se dala snížit zvolením jiného typu vyústky vzduchotechniky, např. vířivým anemostatem. I tak by ale bylo nemožné dostat se na snesitelnou hodnotu, díky velkému průtoku vzduchu a malé světlé výšce místnosti.

V další simulaci bude snaha o snížení počtu přehřátých dnů na nulu, a to takovým způsobem, aby rozložení teplot v místnosti a proudění vzduchu působil stále co nejkomfortněji pro uživatele budovy.

9 SIMULACE Č. 4 – STROPNÍ CHLAZENÍ

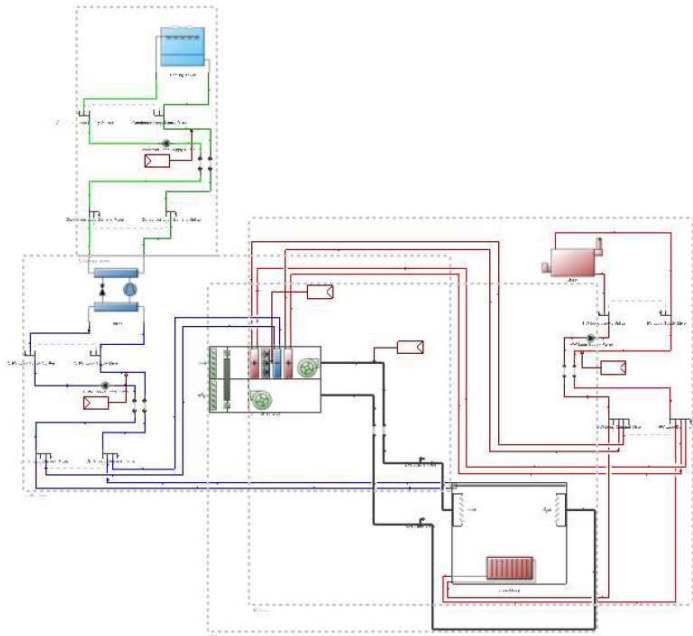
9.1 Popis simulace

Tato simulace se věnuje variantě, kdy nucené větrání obstarává vzduchotechnická jednotka a navíc je přidáno ještě stropní chlazení pomocí závěsných stropních SDK panelů s integrovaným potrubím s chladicí kapalinou. Systém vytápění bude stávající, tedy pomocí plynového kotle a deskových otopných těles.

Jako zdroj chladu byla vybrána kompresorová chladicí jednotka s vodou chlazeným kompresorem. Tento nejběžnější zdroj chladu byl vybrán díky menším rozměrům kompresorových jednotek, větší účinnosti při výrobě chladu či menším pořizovacím nákladům oproti například absorpčnímu chlazení. Kompresor bude chlazen vodou v chladicí věži. Toto řešení disponuje vyšším chladícím faktorem oproti vzduchem chlazeným jednotkám. Kompresorová jednotka bude zároveň sloužit i jako zdroj chladu pro vzduchotechnickou jednotku.

9.2 Zadané parametry HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning)

System HVAC byl opět vymodelován poskládáním jednotlivých topných, chladících a větracích okruhů v jeden fungující celek.



Obrázek 12 – Schéma systému HVAC – simulace č. 4 – stropní chlazení

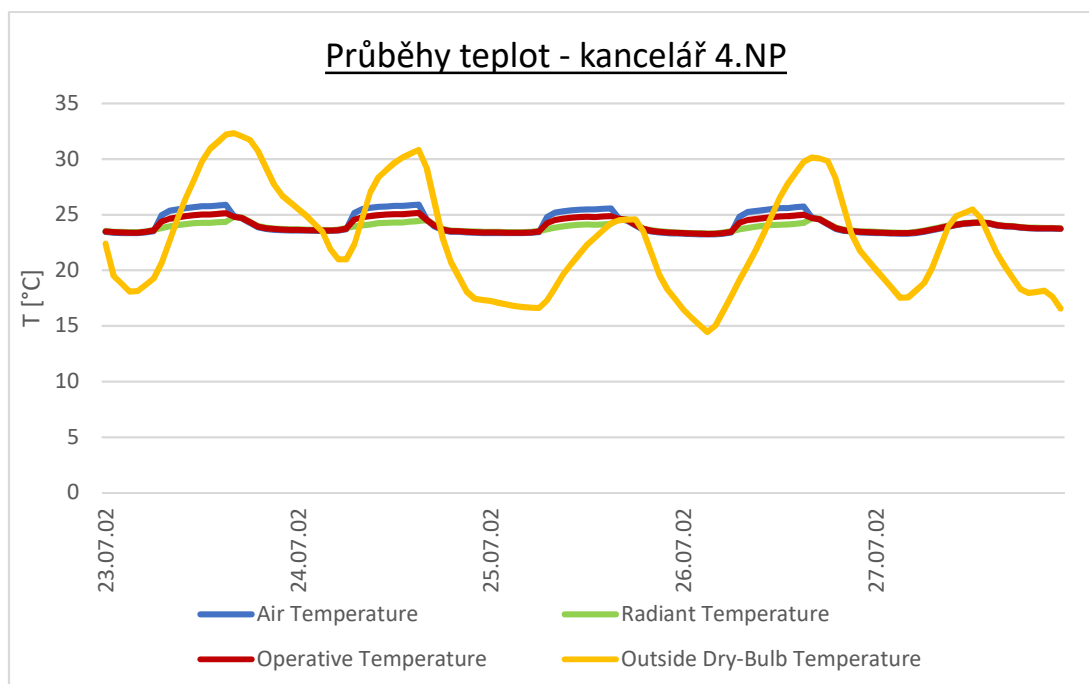
<u>Vytápění</u>	
Energonositel:	zemní plyn
Sezónní COP:	0,85
Koncové prvky:	Otopná tělesa
Regulace:	Výkon kotle regulován dle venkovní teploty: $< 5\text{ °C} \Rightarrow 80\text{ °C}$ $15\text{ °C} \Rightarrow 60\text{ °C}$ $> 15\text{ °C} \Rightarrow \text{vypnutý}$
Teplotní spád:	$\Delta T = 10\text{ K}$
<u>Větrání VZT</u>	
Přiváděný vzduch v letním období:	100 m ³ /h (v posuzované kanceláři) teplota 24 °C
V provozu:	8:00 – 17:00, Po - Pá
Rekuperace:	Deskový výměník – účinnost 0,7

Cirkulace:	žádná
<u>Chlazení</u>	
COP chilleru:	5,5
V provozu:	8:00 – 18:00, Po - Pá
Regulace:	podle operativní teploty v zóně: > 26 °C = 16 °C 22 °C = 20 °C < 22 °C = mimo provoz
Teplotní spád:	6/10 °C
<u>Ohřev TV</u>	zásobníkový
Energonositel:	zemní plyn
Sezónní COP:	0,85

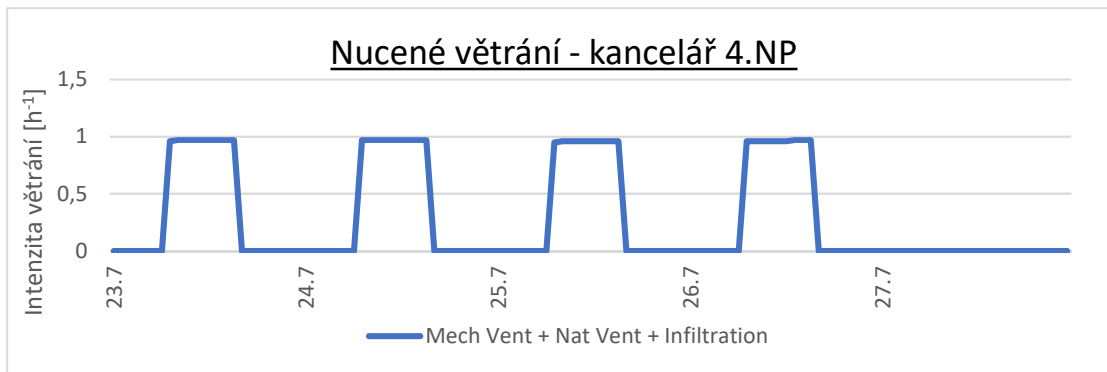
Tabulka 24 – HVAC – Simulace č. 4 – stropní chlazení

9.3 Výsledky simulace č. 4

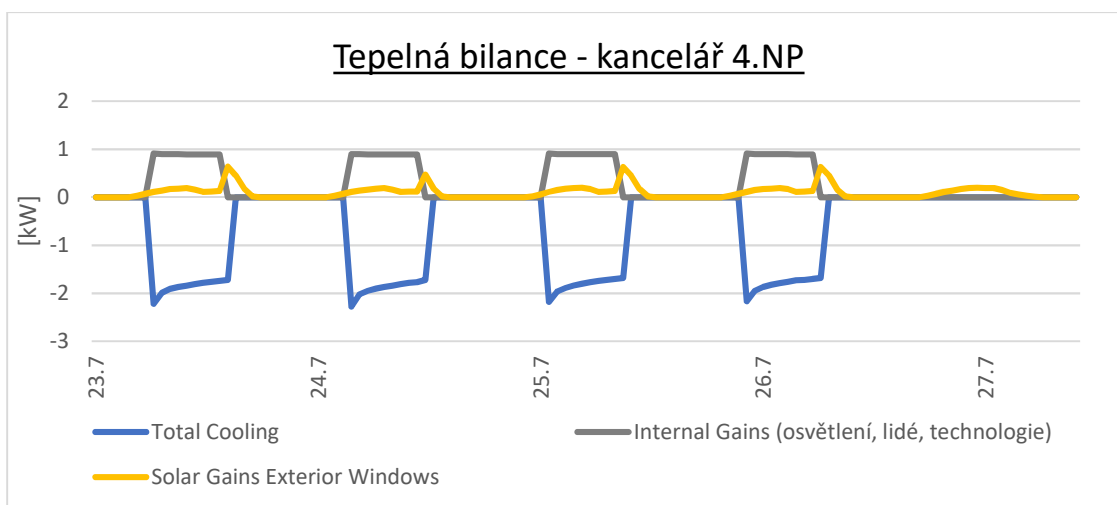
Výsledky v nejteplejším období (23.7.2002 – 27.7.2002):



Graf 21 – Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 23.7. – 27.7.2002 (simulace č. 4)



Graf 22 – Intenzita větrání v kanceláři v 4.NP – 23.7. – 27.7.2002 (simulace č. 4)



Graf 23 – Tepelné zisky v kanceláři v 4.NP – 23.7. – 27.7.2002 (simulace č. 4)

Z grafů je vidět, že stropní chlazení dokáže udržet vnitřní operativní teplotu v kanceláři ve 4. NP na průměrné hodnotě 24 °C. Maximální vnitřní operativní teplota dosahuje hodnoty **25,2 °C** (24.7.02 16:00). Minimální hodnota 23,3 °C je naměřena v brzkých ranních hodinách (26.7.02 4:00).

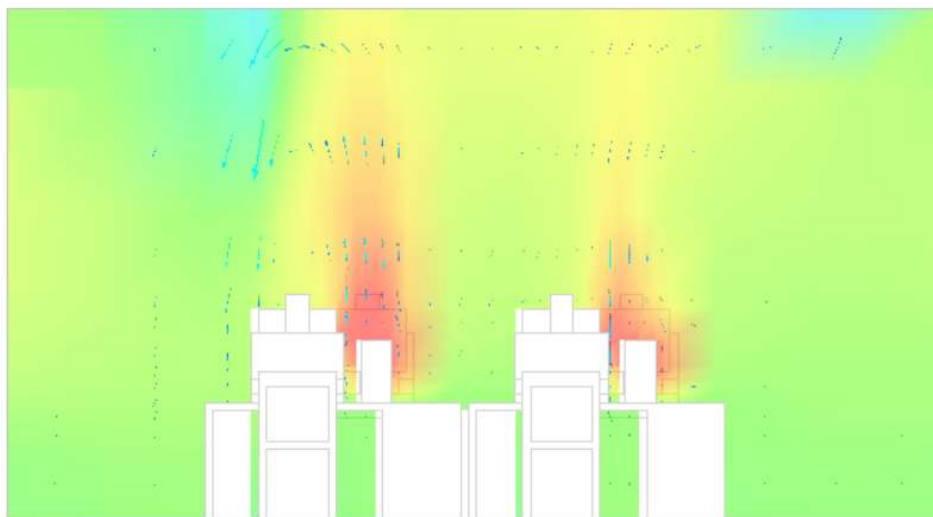
9.4 CFD

Vstupní hodnoty:

Datum a čas simulace	24.7.2002, 16:00 h
Vnitřní tepelné zisky:	člověk 60 W počítač + monitor 100 W celkem (4 osoby) 640 W
Výměna vzduchu:	nucený přívod 100 m ³ /h nucený odvod 100 m ³ /h
Teploty importované ze simulace:	
Vnitřní povrchová teplota podlahy:	25 °C
Vnitřní povrchová teplota stěn:	25 °C
Vnitřní povrchová teplota stropu:	21 °C
Průměrná teplota vzduchu v interiéru:	27 °C
Teplota přiváděného vzduchu:	24 °C

Tabulka 25 – Vstupní hodnoty pro CFD – simulace č. 4 – stropní chlazení

Výstup ze simulace CFD:



Obrázek 13 – Výstup z CFD – simulace č. 4 – stropní chlazení

9.5 Zhodnocení simulace č. 4

Z posuzovaných řešení se toto ukázalo jako nejkomfortnější, rozložení teplot v místnosti je díky stropnímu chlazení velmi rovnoměrné. Rychlost proudění vzduchu ze stropní vyústky je 0,54 m/s a v pobytové zóně klesá na ideální hodnotu **0,18 m/s**. Systém je schopný udržet vnitřní operativní teplotu během nejteplejšího letního týdne v rozmezí 23,3 – 25,2 °C.

Dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. je pro klimatizované pracoviště tolerance vnitřní operativní teploty od 23,5 °C do 26,0 °C. Dalším krokem tedy bylo posouzení nejvyšších a nejnižších hodnot vnitřní operativní teploty během pracovní doby v průběhu celého léta.

Datum	Nejvyšší vnitřní operativní teplota [°C]	Nejnižší vnitřní operativní teplota [°C]	Datum	Nejvyšší vnitřní operativní teplota [°C]	Nejnižší vnitřní operativní teplota [°C]	Datum	Nejvyšší vnitřní operativní teplota [°C]	Nejnižší vnitřní operativní teplota [°C]	Datum	Nejvyšší vnitřní operativní teplota [°C]	Nejnižší vnitřní operativní teplota [°C]
1.5.02	22,71	22,33	9.6.02	25,12	23,56	18.7.02	23,85	23,63	26.8.02	24,52	24,31
2.5.02	22,86	22,46	10.6.02	25,04	24,80	19.7.02	23,64	23,45	27.8.02	24,27	24,10
3.5.02	23,17	22,63	11.6.02	24,86	24,51	20.7.02	23,78	22,66	28.8.02	24,14	23,83
4.5.02	22,78	21,56	12.6.02	24,02	23,95	21.7.02	24,57	23,30	29.8.02	23,80	23,63
5.5.02	23,15	21,97	13.6.02	23,94	23,76	22.7.02	24,75	24,47	30.8.02	23,81	23,47
6.5.02	23,64	23,29	14.6.02	23,73	23,38	23.7.02	25,13	24,65	31.8.02	23,86	22,51
7.5.02	23,16	22,85	15.6.02	22,77	22,35	24.7.02	25,20	24,78	1.9.02	24,52	22,89
8.5.02	22,77	22,63	16.6.02	24,19	22,69	25.7.02	24,88	24,23	2.9.02	24,13	23,94
9.5.02	23,11	22,66	17.6.02	23,76	23,72	26.7.02	25,00	24,26	3.9.02	23,46	23,36
10.5.02	23,32	22,75	18.6.02	23,80	23,56	27.7.02	24,31	23,81	4.9.02	23,19	23,07
11.5.02	22,93	21,82	19.6.02	24,08	23,57	28.7.02	25,77	24,02	5.9.02	23,14	22,83
12.5.02	23,18	22,24	20.6.02	23,94	23,72	29.7.02	25,31	25,16	6.9.02	23,49	23,07
13.5.02	23,87	23,48	21.6.02	23,88	23,64	30.7.02	24,88	24,67	7.9.02	23,26	21,87
14.5.02	23,96	23,63	22.6.02	23,91	22,47	31.7.02	24,78	24,51	8.9.02	23,55	22,12
15.5.02	24,17	23,81	23.6.02	23,13	22,89	1.8.02	24,16	24,14	9.9.02	23,54	23,35
16.5.02	24,28	23,93	24.6.02	23,77	23,66	2.8.02	23,86	23,77	10.9.02	23,60	23,16
17.5.02	24,40	23,90	25.6.02	23,69	23,54	3.8.02	22,84	22,61	11.9.02	23,58	23,20
18.5.02	24,29	23,16	26.6.02	23,48	23,20	4.8.02	23,21	22,89	12.9.02	23,19	23,02
19.5.02	25,47	23,69	27.6.02	23,34	23,08	5.8.02	24,22	23,96	13.9.02	23,30	22,92
20.5.02	24,88	24,83	28.6.02	23,33	23,22	6.8.02	24,27	23,77	14.9.02	21,96	21,80
21.5.02	24,48	24,32	29.6.02	23,89	22,22	7.8.02	24,48	23,91	15.9.02	21,79	21,71
22.5.02	23,91	23,86	30.6.02	24,40	22,89	8.8.02	24,62	24,06	16.9.02	23,22	22,94
23.5.02	23,84	23,56	1.7.02	24,35	24,08	9.8.02	24,46	24,12	17.9.02	23,37	22,95
24.5.02	23,77	23,57	2.7.02	24,03	23,64	10.8.02	24,82	23,53	18.9.02	23,49	23,05
25.5.02	23,97	22,47	3.7.02	23,94	23,82	11.8.02	25,68	23,97	19.9.02	23,62	23,06
26.5.02	23,31	22,98	4.7.02	24,00	23,62	12.8.02	25,23	25,08	20.9.02	23,64	23,27
27.5.02	23,90	23,72	5.7.02	24,38	23,68	13.8.02	24,94	24,67	21.9.02	23,61	22,24
28.5.02	23,56	23,41	6.7.02	24,42	22,93	14.8.02	24,80	24,53	22.9.02	24,07	22,64
29.5.02	23,55	23,35	7.7.02	24,36	23,59	15.8.02	24,58	24,37	23.9.02	23,95	23,73
30.5.02	23,46	23,30	8.7.02	24,58	24,52	16.8.02	24,57	24,20	24.9.02	23,76	23,44
31.5.02	23,43	23,16	9.7.02	24,36	24,22	17.8.02	24,69	23,57	25.9.02	23,63	23,31
1.6.02	23,40	22,35	10.7.02	24,33	23,94	18.8.02	24,42	23,74	26.9.02	23,29	23,14
2.6.02	23,58	22,90	11.7.02	24,51	24,02	19.8.02	24,64	24,55	27.9.02	23,05	22,93
3.6.02	23,74	23,57	12.7.02	24,14	23,82	20.8.02	24,29	24,17	28.9.02	21,51	21,40
4.6.02	23,75	23,55	13.7.02	23,84	23,61	21.8.02	24,25	23,88	29.9.02	21,40	21,25
5.6.02	23,94	23,56	14.7.02	24,32	23,55	22.8.02	24,20	23,88	30.9.02	22,67	22,43
6.6.02	24,20	23,70	15.7.02	23,97	24,08	23.8.02	24,15	23,90			
7.6.02	24,14	23,88	16.7.02	23,85	23,56	24.8.02	23,41	23,09			
8.6.02	24,66	23,02	17.7.02	23,84	23,50	25.8.02	23,82	23,51			

Tabulka 26 – Nejvyšší a nejnižší vnitřní operativní teploty v kanceláři v 4.NP v jednotlivých dnech – simulace č. 4

V tabulce vidíme, že vnitřní operativní teplota během letního období nepřesáhla hranici 26,0 °C ani jednou. Systém má tedy dostatečnou kapacitu na vychlazení budovy.

Teploty naopak spadly pod minimální hranici 23,5 °C, a to zejména v ranních hodinách na začátku a na konci léta. To už je ale spíše otázka regulace, která by se v reálném projektu, na rozdíl od programu DesignBuilder, dala nastavit mnohem detailněji. Teplota chladícího média v této simulaci závisí pouze na vnitřní operativní teplotě a nebere už v potaz teplotu venkovního vzduchu.

10 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH SIMULACÍ

10.1 Porovnání potřeby energie

		SIMULACE Č. 1 BUDOVA BEZ ÚPRAV	SIMULACE Č. 2 OPTIMALIZACE OBÁLKY BUDOVY	SIMULACE Č. 3 VĚTRÁNÍ VZT	SIMULACE Č. 4 STROPNÍ CHLAZENÍ
Potřebný tepelný výkon:		188 kW	172 kW	183 kW	183 kW
Potřebný chladicí výkon:		/	/	/	120 kW
Roční potřeba tepla na vytápění:		52 880 kWh/rok	370 457 kWh/rok	139 658 kWh/rok	26 778 kWh/rok
Roční spotřeba elektřiny:	Chlazení	/	/	10 228 kWh/rok	9 684 kWh/rok
	Ventilátory	/	/	27 866 kWh/rok	8 150 kWh/rok
	Čerpadla	/	/	2 039 kWh/rok	1 839 kWh/rok
	Vlhčení	/	/	38 300 kWh/rok	11 237 kWh/rok

Tabulka 27 – Porovnání potřeby energie v jednotlivých simulacích

Potřebný tepelný výkon se snížil po optimalizaci obálky budovy díky lepším tepelně izolačním vlastnostem konstrukcí. V dalších simulacích se opět mírně zvýšil díky potřebnému výkonu na provoz VZT jednotky.

Potřebný chladicí výkon umí program DesignBuilder počítat pouze tehdy, když je přímo navrženo chlazení budovy, ne pokud je tento účel plněn větrací jednotkou.

Roční potřeba tepla na vytápění se mnohonásobně zvýšila v simulaci č. 2 a to díky změně způsobu zadávání přirozeného větrání, jehož intenzita v této simulaci je průměrně rovna dvojnásobné výměně vzduchu, chvílemi ale dosahuje až pětinasobně vyšších hodnot oproti simulaci č. 1. Při navržení nuceného větrání se hodnota opět snížila kvůli nižším tepelným ztrátám díky rekuperaci. V simulaci č. 3 byla intenzita větrání zvýšena na pětinasobek

požadované intenzity výměny vzduchu, protože úkolem vzduchotechniky byl i odvod tepelné zátěže. To mělo negativní vliv na roční potřebu tepla na vytápění. Nejlépe dopadla poslední simulace, kde byla intenzita větrání opět ponížena na hodnotu 25 m³/h/os.

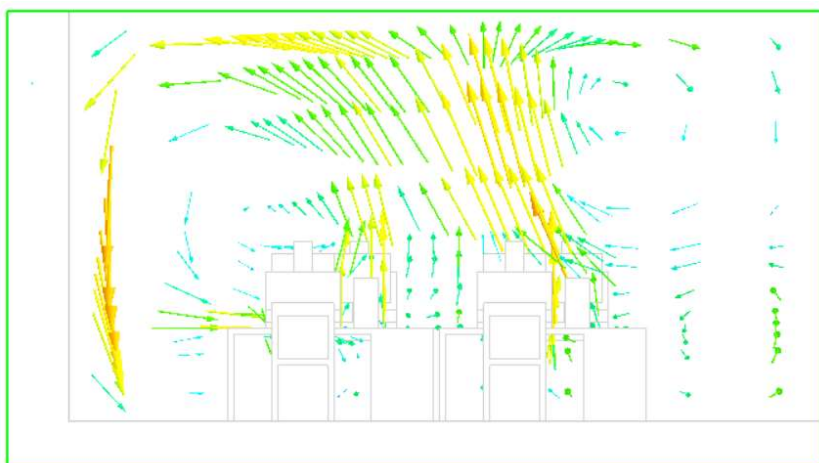
Roční spotřeba elektřiny na chlazení se v poslední simulaci snížila pravděpodobně díky efektivnějšímu způsobu distribuce chladu do prostoru.

Roční spotřeba elektřiny na provoz ventilátorů, čerpadel a na vlhčení se opět snížila díky nižší intenzitě výměny vzduchu zajišťované vzduchotechnickou jednotkou.

10.2 Porovnání parametrů vnitřního prostředí

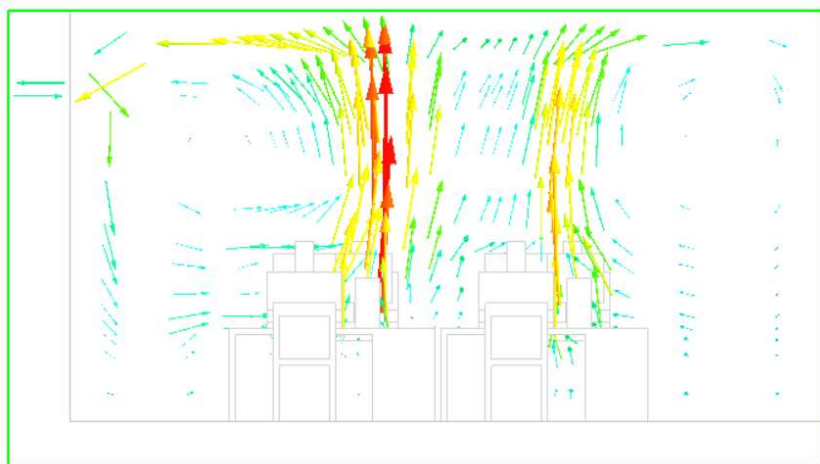
	SIMULACE Č. 1 BUDOVA BEZ ÚPRAV	SIMULACE Č. 2 OPTIMALIZACE OBÁLKY BUDOVY	SIMULACE Č. 3 VĚTRÁNÍ VZT	SIMULACE Č. 4 STROPNÍ CHLAZENÍ
Množství čerstvého vzduchu / os.	25 m ³ /h	52 – 118 m ³ /h	125 m ³ /h	25 m ³ /h
Průměrná vnitřní operativní teplota v zimním období	20 °C	20 °C	20 °C	20 °C
Max. vnitřní oper. teplota v pracovní době v letním období	53,2 °C	34,1 °C	27,8 °C	25,2 °C
Počet přehřátých dní (dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb.)	176 dní	46 dní	30 dní	0 dní
Rychlost proudění vzduchu v pobytové zóně v nejteplejším týdnu	0,19 m/s	0,25 m/s	2,25 m/s	0,18 m/s
Teplota přívod. vzduchu během nejchladněj. týdne	od -12,2 do +3,1 °C	od -12,2 do +3,1 °C	22 °C	22 °C
Teplota přívod. vzduchu během nejteplej. týdne	32 °C	32 °C	24 °C	24 °C

Rychlost proudění vzduchu v posuzované místnosti v jednotlivých simulacích:



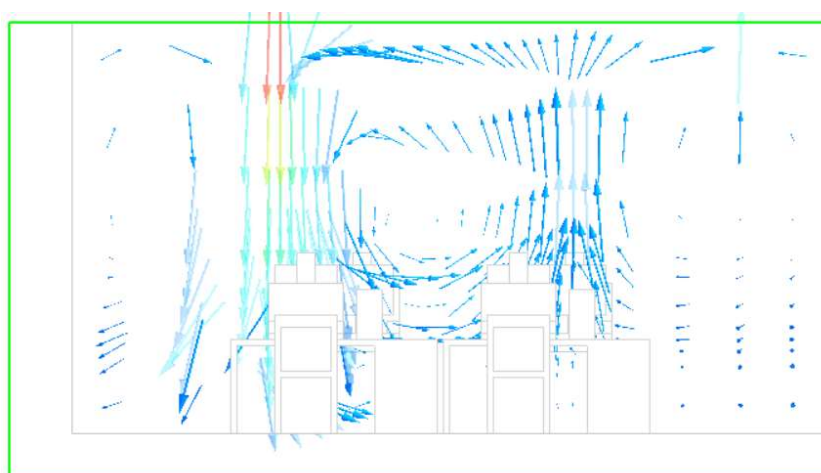
Contour band active 4
Contour band value 4 (... 0,074
Contour band active 5
Contour band value 5 (... 0,098
Contour band active 6
Contour band value 6 (... 0,122
Contour band active 7
Contour band value 7 (... 0,146
Contour band active 8
Contour band value 8 (... 0,170
Contour band active 9
Contour band value 9 (... 0,194

Obrázek 14 – Proudění vzduchu – simulace č. 1 – budova bez úprav



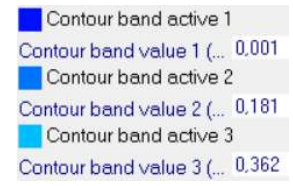
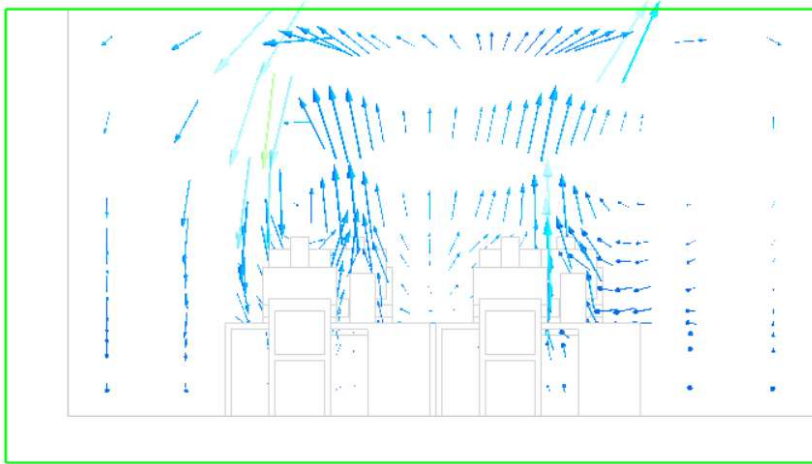
Contour band active 1
Contour band value 1 (... 0,001
Contour band active 2
Contour band value 2 (... 0,282
Contour band active 3
Contour band value 3 (... 0,562
Contour band active 4
Contour band value 4 (... 0,843
Contour band active 5
Contour band value 5 (... 1,124
Contour band active 7
Contour band value 7 (... 1,685
Contour band active 8
Contour band value 8 (... 1,966
Contour band active 9
Contour band value 9 (... 2,247
Contour band active 10
Contour band value 10 ... 2,528
Contour band active 11
Contour band value 11 ... 2,808
Contour band active 12
Contour band value 12 ... 3,089

Obrázek 15 – Proudění vzduchu – simulace č. 2 – optimalizace obálky budovy



Contour band active 4
Contour band value 4 (... 0,068
Contour band active 5
Contour band value 5 (... 0,090
Contour band active 6
Contour band value 6 (... 0,112
Contour band active 7
Contour band value 7 (... 0,134
Contour band active 8
Contour band value 8 (... 0,156
Contour band active 9
Contour band value 9 (... 0,178
Contour band active 10
Contour band value 10 ... 0,201
Contour band active 11
Contour band value 11 ... 0,223
Contour band active 12
Contour band value 12 ... 0,245

Obrázek 16 – Proudění vzduchu – simulace č. 3 – větrání vzduchotechnikou



Obrázek 17 – Proudění vzduchu – simulace č. 4 – stropní chlazení

11 ZÁVĚR

Provedené simulace prokázaly, že jediné varianta se stropním chlazením je schopna zajistit vyhovující parametry vnitřního prostředí v průběhu celého roku. Vytápění teplovodními otopnými plochami zajistí v zimě konstantní hodnotu vnitřní operativní teploty 20°C a sálavé stropní panely udrží vnitřní teplotu v letním období po celou dobu pod hodnotou 26°C. Jediný problém byl s příliš nízkými teplotami v ranních hodinách letních dní, ale to by vyřešila kvalitní regulace systému, která by brala v potaz i venkovní teploty. Jelikož vzduchotechnika obstarává pouze funkci přívodu čerstvého vzduchu, v místnosti díky malým průtokům nevzniká nepříjemný pocit průvanu a rychlost proudění vzduchu padá v pobytové zóně na hodnotu 0,18 m/s.

Oproti třetí variantě, kdy byla vzduchotechnika použita i na odvod tepelné zátěže, dopadla varianta se stropním chlazením mnohem lépe z hlediska spotřeby energie. To bylo způsobeno hlavně menšími průtoky vzduchu vzduchotechnickou jednotkou. Kvůli odvodu tepelné zátěže byl průtok vzduchu ve třetí variantě zvýšen na pětinásobek, což nejvíce ovlivnilo spotřebu tepla na vytápění, protože jednotka musela v zimním období ohřívat pětikrát více vzduchu, než by bylo potřeba. To by se dalo vyřešit tím, že by se oddělilo zadání vstupních dat pro zimní a letní návrhový stav, což bohužel v DesignBuilderu provést nelze. Potřeba tepla na vytápění by se také dala snížit tím, že by jednotka nepřiváděla 100 % čerstvého vzduchu ale pracovala by i s cirkulačním vzduchem.

Místo vytápění plynovým kotlem a otopnými tělesy mohlo být pravděpodobně již na začátku vybráno lepší řešení – například tepelné čerpadlo a stropní vytápění, které by využilo již instalovaných podhledů se zabudovanými trubními rozvody. Ušetřilo by se tak za montáž druhého systému (vytápění/chlazení) a přenos tepla radiací by i tak zajistil vysokou úroveň tepelného komfortu. Bohužel stropní vytápění nelze v programu DesignBuilder nasimulovat.

Všechny simulace byly založeny na principu regulaci podle vnitřní operativní teploty. V reálném projektu ale není možné měřit operativní teplotu místnosti, používá se prostorový termostat, který snímá teplotu vzduchu v místnosti. Proto by pravděpodobně výsledky simulací více odpovídaly realitě, kdyby se použila regulace podle teploty vnitřního vzduchu.

11.1 Popis navrženého systému

Vytápění

Zdroj tepla je plynový kotel, který bude umístěn v kotelně v 1.NP. Odtud povedou rozvody k otopným deskovým tělesům, která budou umístěna ve všech obytných místnostech pod okny. Plynový kotel bude zároveň sloužit i jako zdroj tepla pro vzduchotechnickou jednotku. Řízení chodu celého systému bude automatické pomocí ekvitermní regulace, bude regulována teplota topné vody podle venkovní teploty. Regulaci v jednotlivých místnostech zajistí termostatické hlavice. Provoz otopné soustavy bude nepřetržitý, nebude se vypínat v nočních hodinách nebo o víkendech.

Větrání

Systém větrání bude zajišťovat jedna rovnotlaká větrací jednotka, která bude umístěna na střeše objektu. Vzduchotechnická jednotka bude sloužit pouze pro přívod čerstvého větracího vzduchu, který bude do místností přivádět pomocí vířivých výustí či textilních vyústek a odvádět ho bude pomocí větracích mřížek či talířových ventilů. Primární účel vzduchotechnické jednotky nebude odvod tepelné zátěže. Vzduch přiváděný v létě bude o 2 °C chladnější než návrhová vnitřní teplota a v zimě o 1 °C teplejší. Množství přiváděného vzduchu bude regulováno podle obsazenosti, v kancelářích podle čidel CO₂ a v místnostech sociálního zázemí bude regulace propojena s ovládáním osvětlení.

Chlazení

Funkci chlazení budou obstarávat chladicí závěsné podhledy s integrovanými rozvody chladiva. Chladicí podhledy budou umístěny v kancelářích a ostatních shromažďovacích místnostech. Regulace celého systému bude opět ekvitermní – bude regulována teplota chladicí kapaliny dle venkovní teploty. Regulaci v jednotlivých místnostech budou zajišťovat prostorové termostaty, které budou ovládat regulační armatury v rozdělovačích stropního chlazení. Zdroj chladu je kompresorová chladicí jednotka s vodou chlazeným kompresorem, která bude umístěna také na střeše objektu. Kompresor bude chlazen vodou v chladicí věži. Kompresorová jednotka bude zároveň sloužit i jako zdroj chladu pro vzduchotechnickou jednotku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] <https://www.admd.cz/cechum-hrozi-zdravotni-rizika-travi-prilis-casu-zavreni-v-budovach-aniz-by-si-to-uedomovali>
- [2] <http://www.topin.cz/clanky/pohoda-vnitriho-prostredi-anno-2016-detail-1097>
- [3] https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/legislativa/well-building-standard-nova-certifikace-na-ceskem-trhu_45915.html
- [4] <http://www.izolacniskla.cz/produkt.php?skupina=Izolacni-skla-s-meziskelni-tepelnou-folii---HEAT-MIRROR>
- [5] http://www.tectonica-online.com/products/1475/adjustable_blinds_metalunic_grinotex_reflect_lamisol
- [6] <https://www.clarum.com/energy-efficiency/sitting-with-the-sun-home-orientation-techniques-for-optimal-sun-exposure/>
- [7] <https://www.asb-portal.cz/tzb/vetrani-a-klimatizace/hygienicke-pozadavky-na-kvalitu-vnitriho-prostredi-budov>
- [8] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., nařízení vlády ze dne 12. prosince 2007, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci
- [9] Vyhláška č. 20/2012 Sb., vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby
- [10] <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125tvnp/prednasky/125tvnp-09.pdf>
- [11] <http://www.tes.eu/produkt-cfd-vypocty.html>
- [12] <https://www.cfdlab.mcgill.ca>

SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK

Obrázek 1 – Provozní náklady firem	3
Obrázek 2 – Horizontální rolety se sekčním natočením lamel.....	4
Obrázek 3 – Letní vs. zimní stínění	5
Obrázek 4 – Příklad využití metody CFD v letectví	10
Obrázek 5 – Pohled na řešený objekt.....	11
Obrázek 6 – Vizualizace řešeného objektu.....	15
Obrázek 7 – Vizualizace osob v kanceláři č. 409.....	22
Obrázek 8 – Výstup z CFD – simulace č.1	23
Obrázek 9 – Výstup z CFD – simulace č. 2–f	34
Obrázek 10 – Schéma systému HVAC – simulace č. 3 – větrání vzduchotechnikou ..	37
Obrázek 11 – Výstup z CFD – simulace č. 3 – větrání vzduchotechnikou.....	40
Obrázek 12 – Schéma systému HVAC – simulace č. 4 – stropní chlazení.....	44
Obrázek 13 – Výstup z CFD – simulace č. 4 – stropní chlazení.....	47
Obrázek 14 – Proudění vzduchu – simulace č. 1 – budova bez úprav.....	52
Obrázek 15 – Proudění vzduchu – simulace č. 2 – optimalizace obálky budovy.....	52
Obrázek 16 – Proudění vzduchu – simulace č. 3 – větrání vzduchotechnikou	52
Obrázek 17 – Proudění vzduchu – simulace č. 4 – stropní chlazení	53

Graf 1 – Průměrné denní venkovní teploty během roku 2002	16
Graf 2 – Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 4.1.-11.1.2002 (simulace č. 1)	17
Graf 3 – Intenzita větrání v kanceláři v 4.NP – 4.1.-11.1.2002 (simulace č.1).....	18
Graf 4 – Tepelné zisky v kanceláři v 4.NP – 4.1.-11.1.2002 (simulace č.1).....	18
Graf 5 – Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č. 1)	19
Graf 6 – Intenzita větrání v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č.1)	19
Graf 7 - Tepelné zisky v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č.1)	20
Graf 8 – Alternativa výpočtu intenzity větrání.....	21
Graf 9 - Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č. 2–a)	25
Graf 10 - Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č. 2–b)	26
Graf 11 - Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č. 2–c).....	27
Graf 12 – Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č. 2–d).....	29
Graf 13 – Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č. 2–e).....	30
Graf 14 – Tepelné zisky v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č. 2-e).....	31
Graf 15 – Stínění v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č. 2-e).....	31
Graf 16 – Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č. 2–f).....	33
Graf 17 – Intenzita větrání v kanceláři v 4.NP – 23.7.-27.7.2002 (simulace č.2–f)	33
Graf 18 – Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 23.7. – 27.7.2002 (simulace č. 3).....	38
Graf 19 – Intenzita větrání v kanceláři v 4.NP – 23.7. – 27.7.2002 (simulace č. 3)	39
Graf 20 – Tepelné zisky v kanceláři v 4.NP – 23.7. – 27.7.2002 (simulace č. 3).....	39
Graf 21 – Průběhy teplot v kanceláři v 4.NP – 23.7. – 27.7.2002 (simulace č. 4).....	45
Graf 22 – Intenzita větrání v kanceláři v 4.NP – 23.7. – 27.7.2002 (simulace č. 4)	46
Graf 23 – Tepelné zisky v kanceláři v 4.NP – 23.7. – 27.7.2002 (simulace č. 4).....	46

Tabulka 1 – Výňatek z tab. č.1, část A v příloze č. 1 k nařízení vlády č. 361/2007 Sb. .	6
Tabulka 2 – Výňatek z tab. č.2, část A v příloze č. 1 k nařízení vlády č. 361/2007 Sb. .	7
Tabulka 3 – Výňatek z tab. č.3, část A v příloze č. 1 k nařízení vlády č. 361/2007 Sb. .	7
Tabulka 4 – Výňatek z tab. č.4, část A v příloze č. 1 k nařízení vlády č. 361/2007 Sb. .	8

Tabulka 5 – Výňatek z tab. č.4, část A v příloze č. 1 k nařízení vlády č. 361/2007 Sb. .	8
Tabulka 6 – Stavební konstrukce – projekt vs. DesignBuilder.....	13
Tabulka 7 – Activity	13
Tabulka 8 – HVAC – simulace č. 1	15
Tabulka 9 – Průměrné denní venkovní teploty během roku 2002	16
Tabulka 10 – Simulace č. 1 – potřeby energie	17
Tabulka 11 – Vstupní hodnoty pro CFD – simulace č. 1	23
Tabulka 12 – Přidání tepelné izolace – simulace č. 2–b	26
Tabulka 13 – Masivnější konstrukce – simulace č. 2–c.....	27
Tabulka 14 – Kvalitnější zasklení – simulace č. 2–d	28
Tabulka 15 – Stínění – simulace č. 2–e	30
Tabulka 16 – Kombinace navržených opatření – simulace č. 2–f	32
Tabulka 17 – Porovnání potřeby energie – simulace č. 2–f	32
Tabulka 18 – Vstupní hodnoty pro CFD – simulace č. 1	34
Tabulka 19 – Nejvyšší vnitřní operativní teploty v kanceláři v 4.NP v jednotlivých dnech	35
Tabulka 20 – HVAC – Simulace č. 3 – větrání vzduchotechnikou.....	38
Tabulka 21 – Vstupní hodnoty pro CFD – simulace č. 3 – větrání vzduchotechnikou .	40
Tabulka 22 – Nejvyšší vnitřní operativní teploty v kanceláři v 4.NP v jednotlivých dnech – simulace č. 3.....	41
Tabulka 23 – Porovnání potřeby energie – simulace č. 3	42
Tabulka 24 – HVAC – Simulace č. 4 – stropní chlazení.....	45
Tabulka 25 – Vstupní hodnoty pro CFD – simulace č. 4 – stropní chlazení	47
Tabulka 26 – Nejvyšší a nejnižší vnitřní operativní teploty v kanceláři v 4.NP v jednotlivých dnech – simulace č. 4.....	48
Tabulka 27 – Porovnání potřeby energie v jednotlivých simulacích	50