



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

MODELOVÁNÍ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ VÝDEJE LÉČIV

MODELLING THE INTERNAL ENVIRONMENT IN DISPENSING OF PHARMACEUTICALS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

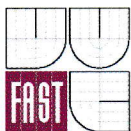
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAN PŘIKRYL

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

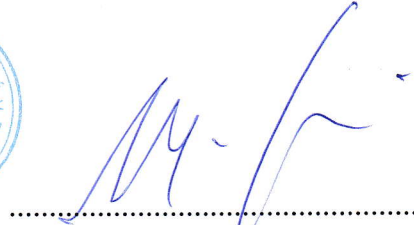
ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Bc. Jan Příklad
Název Modelování vnitřního prostředí výdeje léčiv
Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce 31. 3. 2014
Datum odevzdání diplomové práce 16. 1. 2015

V Brně dne 31. 3. 2014


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




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

Podklady a literatura

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

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

A. Analýza tématu, cíle a metody řešení

Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady

Cíl práce, zvolené metody řešení

Aktuální technická řešení v praxi

Teoretické řešení (s využitím fyzikální podstaty dějů)

B. Aplikace tématu na zadané budově - koncepční řešení

Návrh technického řešení ve 2 variantách v zadané specializaci v rozsahu studie projektu: půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva

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

Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí.

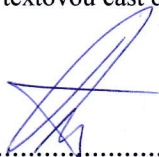
C1. Matematicko – fyzikální řešení a následné zpracování výsledků

Řešení využívající výpočetní techniku a modelování postihující zadanou problematiku.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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



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

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá modelováním vnitřního prostředí v místnosti výdeje léčiv. CFD simulace vnitřního prostředí jsou provedeny pro letní a zimní období ve dvou variantách technického řešení vzduchotechniky a vytápění. Výsledky simulací jsou zobrazeny na a vyhodnoceny.

Klíčová slova

CFD simulace, modelování vnitřního prostředí, vzduchotechnika, kapilární rohože, FAN-COIL.

Abstract

Topic of this Master's thesis is CFD simulations of indoor environment in a pharmacy building. CFD simulation have been done for summer and winter season for two scenarios of HVAC system. Results of simulations are visualized and evaluated.

Keywords

CFD simulations of indoor environment, HVAC, capillary mats, FAN-COIL.

...

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Jan Prikryl *Modelování vnitřního prostředí výdeje léčiv*. Brno, 2015. 160 s., 9 s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických
zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.

Prohlášení:

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

V Brně dne 12.1.2015



.....
podpis autora
Bc. Jan Příkryl

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 12.1.2015



.....
podpis autora
Bc. Jan Příkryl

Poděkování:

Tímto děkuji vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Aleši Rubinovi Ph.D. za jeho ochotu a čas. Dále pak děkuji mé rodině za jejich podporu během celého studia a mému spolubydlícímu Bc. Janovi Panovcům za motivaci.

OBSAH

Úvod.....	1
ČÁST A	2
1 Analýza tématu.....	3
1.1 Analýza cíle modelování	3
1.2 Analýza místnosti výdeje léčiv.....	3
1.3 Kritéria pro vyhodnocení vnitřního prostředí.....	5
2 Cíl práce	6
3 Zvolené metody řešení	6
3.1 CFD analýza	7
3.2 FLUENT	8
4 Normové a legislativní požadavky.....	9
4.1 Vnitřní prostředí	9
4.2 Skladování léčiv	11
5 Aktuální technická řešení v praxi.....	12
5.1 Decentrální klimatizační jednotky.....	12
5.2 Kapilární rohože	13
6 Teoretické řešení	15
6.1 Základy numerického modelování proudění tekutin.....	15
6.1.1 Stavové rovnice	15
6.1.2 Přenos hmoty, hybnosti a tepla při neizotermním proudění nestlačitelné kapaliny	
16	
6.1.3 Diferenciální a integrální forma základních rovnic.....	18
6.2 Model proudění kapalin.....	20
6.2.1 Laminární proudění	22
6.2.2 Turbulentní proudění.....	24
6.2.3 Modelování turbulence.....	25

6.2.4	Modelování proudění v blízkosti stěn	29
6.3	Modelování přenosu tepla	31
6.3.1	Modelování přenosu tepla radiací	32
6.4	Okrajové podmínky	34
6.4.1	Dostupné typy okrajových podmínek v ANSYS FLUENT	34
6.5	Tvorba geometrie a výpočtové sítě.....	39
6.5.1	Posouzení kvality sítě.....	41
6.6	System výpočtu řešení	43
6.6.1	Diskretizační (Interpolační) metody	45
6.6.2	Tlakově-rychlostní spojení.....	45
6.6.3	Konvergence řešení	45
ČÁST B	.....	48
7	Koncepční řešení - Analýza	49
7.1	Analýza objektu	49
7.1.1	Klimatické údaje stavby [20]	50
7.1.2	Návrhové parametry vnitřního prostředí	51
7.1.3	Tepelné ztráty a zátěže	52
7.2	Průtoky vzduchu	54
8	Varianta č. 1	55
8.1	Průtoky vzduchu	58
8.2	VZT zařízení.....	59
8.2.1	Zařízení č. 1 – centrální jednotka	59
8.2.2	Zařízení č. 2 – centrální jednotka	62
8.2.3	Větrání skladu hořlavin	65
8.2.4	Decentrální jednotky FAN-COIL.....	65
8.3	Varianta č. 1 – půdorysy 1:100.....	66
8.4	Tlakové ztráty VZT potrubí.....	67

8.5	Technická zpráva.....	68
8.6	Hodnocení z hlediska vnitřního prostředí.....	76
9	Varianta č. 2.....	77
9.1	Průtoky vzduchu.....	80
9.2	VZT zařízení.....	82
9.2.1	Centrální VZT jednotka.....	82
9.2.2	Větrání skladu hořlavin.....	86
9.2.3	Decentrální jednotky FAN-COIL.....	86
9.2.4	Kapilární rohože.....	86
9.3	Varianta č. 2 – půdorysy 1:100.....	90
9.4	Tlakové ztráty VZT potrubí.....	91
9.5	Technická zpráva.....	92
9.6	Hodnocení z hlediska vnitřního prostředí.....	100
ČÁST C	.....	101
Úvod k části C	.....	102
10	Geometrie a výpočetní síť.....	102
11	.Fluent nastavení.....	107
11.1	Fyzikální modely.....	107
11.2	Okrajové podmínky.....	108
11.2.1	Letní období.....	108
11.2.2	Zimní období.....	108
11.3	Nastavení řešiče.....	109
11.4	Nastavení váhových funkcí.....	109
12	Vyhodnocení konvergence řešení.....	110
12.1	Varianta č. 1.....	110
12.2	Varianta č. 2.....	111
13	Vizualizace výsledků.....	112

13.1	Varianta č. 1	114
13.1.1	Varianta č. 1 – Léto	115
13.1.2	Varianta č. 1 – Zima	120
13.2	Varianta č. 2	122
13.2.1	Varianta č. 2 - Léto	123
13.2.2	Varianta č. 2 - Zima	128
14	Vyhodnocení výsledků simulací	131
14.1	Předpověď ukazatelů PMV a PPD	131
14.2	Vertikální rozdíl teploty vzduchu	133
15	Diskuze	135
15.1	Letní období	135
15.2	Zimní období	136
16	Závěr	138
	Seznam použitých zdrojů	139
	Seznam použitých značek a symbolů	142
	Slovník pojmů	143
	Seznam obrázků	144
	Seznam tabulek	148
	Seznam grafů	148
	Přílohy	149

Úvod

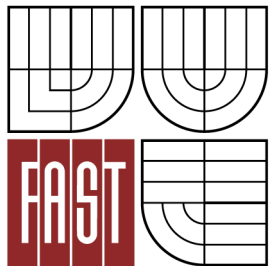
Při návrhu systému pro zajištění vnitřního prostředí v budovách lze téměř vždy uvažovat s více variantami řešení. Jednotlivé varianty se mohou lišit v mnoha aspektech jako pořizovací cena, nároku na údržbu, energie, regulaci. Důležitým aspektem je však kvalita vnitřního prostředí. Při návrhu zařízení se obvykle vychází z technických podkladů výrobců, které však nemohou plně vystihnout individualitu každého řešeného prostoru a vzájemný vliv jednotlivých systému. Řešením tohoto problému mohou být programy umožňující modelování vnitřního prostředí, kdy je možné řešit jednotlivé prostory v celé komplexnosti a vyhodnotit vnitřní prostředí dané varianty před vlastní realizací projektu. To může znamenat výhodu předcházení problému s nekomfortním vnitřním prostředím.

Tato práce se zabývá modelováním vnitřního prostředí v programu ANSYS FLUENT. Předmětem modelování je místnosti výdejce léčiv, která je součástí lékárenských prostor. První část se zabývá analýzou tématu a teoretickým pozadím modelování proudění tekutin. V druhé části jsou představeny dvě různé varianty řešení systému větrání, klimatizace a vytápění na části budovy, ve které jsou lékárenské prostory. Tato část obsahuje také výkresy navržené vzduchotechniky. Poslední část se pak zabývá modelováním proudění vzduchu a přenosem tepla ve výdejně léčiv a následným zobrazením výsledků, jejich vyhodnocením.

Prvním krokem této práce bylo vytvoření dvou variant systému větrání, klimatizace a vytápění, z nichž první varianta byla převzata z bakalářské práce, která se zabývala návrhem vzduchotechniky v této budově. Dalším krokem pak bylo aplikování vhodných geometrických a fyzikálních zjednodušení, tak aby bylo možné vytvořit model reprezentující reálné prostředí. Poté byla vytvořena geometrie modelu a následně výpočetní síť v programu ANSYS Workbench. Dalším krokem bylo vlastní nastavení okrajových podmínek a fyzikálních modelů popisující proudění vzduchu a přenos tepla a poté následoval vlastní výpočet řešení. Poslední krok byl zobrazení výsledků výpočtu, jejich vyhodnocení a následně vyhodnocení parametrů vnitřního prostředí jednotlivých variant.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

A. ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ

A. ANALYSIS OF TOPIC, GOALS AND METHODS OF SOLUTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAN PŘIKRYL

VEDOUČÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2015

1 Analýza tématu

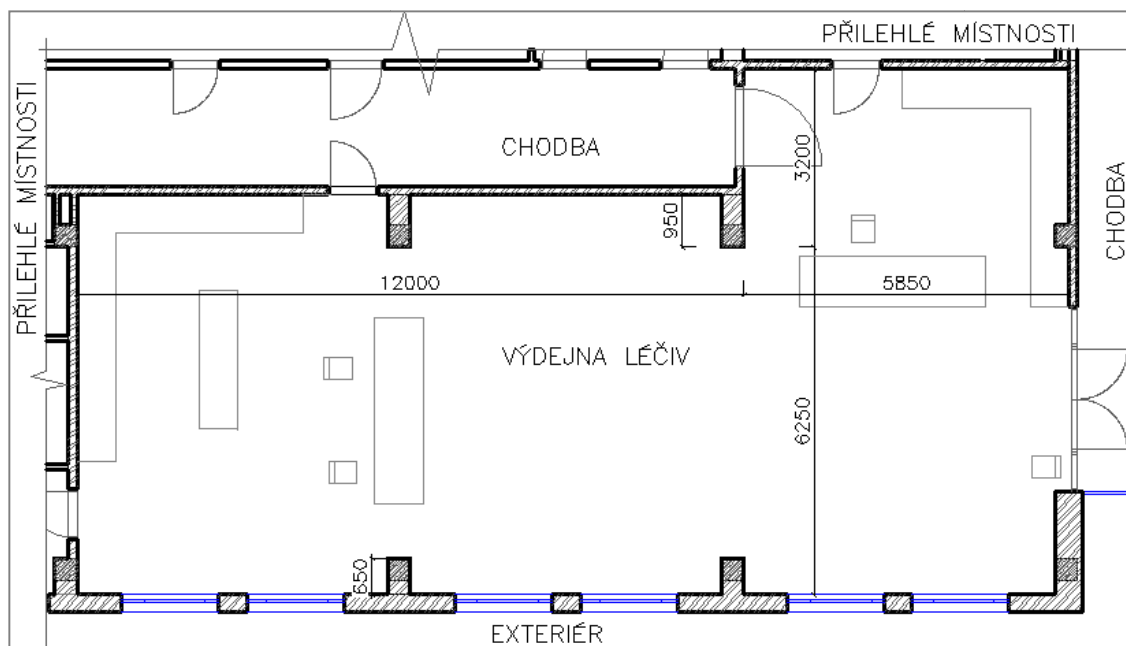
V této kapitole je popsána analýza tématu modelování vnitřního prostředí. Analýza tématu této práce je rozdělena na dvě části. V první části je popsána obecná analýza modelování vnitřního prostředí a další části pak analýza budovy, v níž je umístěna modelovaná místnost a jako poslední část je pak popsána analýza modelované místnosti.

1.1 Analýza cíle modelování

Návrh systémů vytápění, chlazení a větrání budov je dán normovými a legislativními požadavky (kap. 4 Normové a legislativní požadavky). Návrhem systému, splňující tyto požadavky, by mělo být zaručené takové vnitřní prostředí, které je příjemné či komfortní pro co největší procento osob pobývajícím v daném prostoru. Cílem projektanta je tedy navrhnout systém, který jednak splňuje normové a legislativní požadavky pro dané vnitřní prostředí, a zároveň splňuje požadavky na energetickou náročnost systému, náročnost údržby systému (finanční, časovou), možnost regulace a v potaz je nutné brát také investiční náklady. Systémy pro vytápění a větrání a klimatizaci (HVAC z ang. heating-ventilation-air conditioning) se vzájemně ovlivňují a proto je jedno výhodným principem návrhu brát celý systém HVAC jako celek a nenavrhovat jednotlivé části odděleně, pak je možné navrhnout efektivní řešení pro daný případ z hlediska výše zmíněných parametrů.

1.2 Analýza místnosti výdeje léčiv

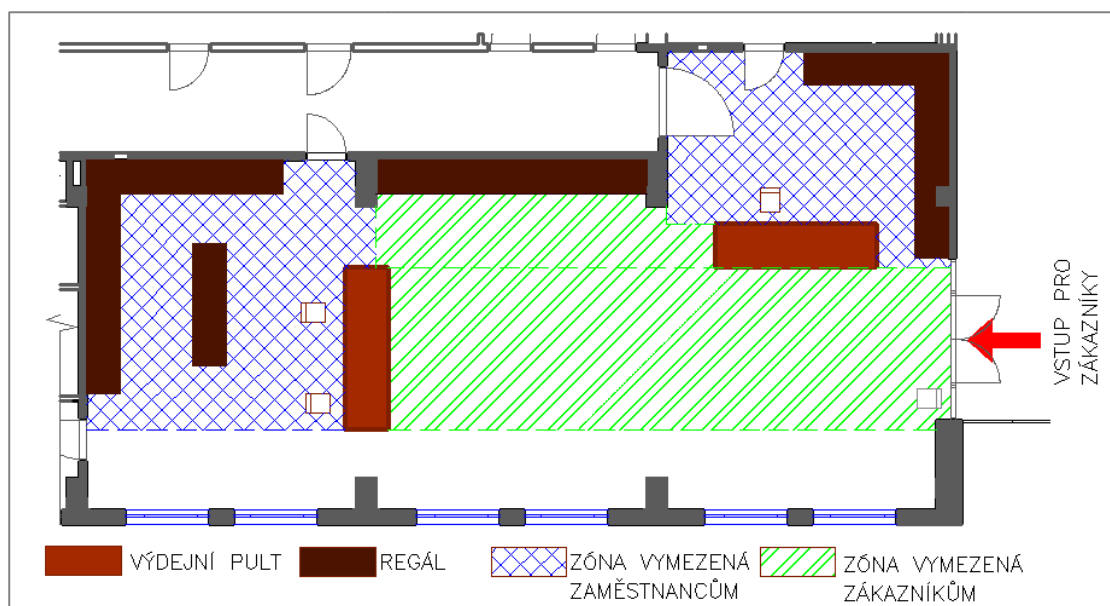
Místnost výdeje léčiv, která je předmětem modelování vnitřního prostředí, se nachází v 1. NP. Půdorys místnosti je vidět na obrázku 1.



Obrázek 1. Půdorys místnosti výdejny léčiv.

Místnost má 126 m^2 podlahové plochy. Na severovýchodní straně se nachází prosklená fasáda, která odděluje místnost od exteriéru, ze všech ostatních stran sousedí výdejna léčiv s přílehlými místnostmi. Světlá výška od podlahy ke spodní straně stropní konstrukce je 3.0 m (V jedné variantě systému HVAC je navržený podhled a světlá výška je 2,6 m).

Předpokládá se s trvalou přítomností 2 až 3 zaměstnanců ve výdejně. Z rozmístění vnitřního vybavení (výdejné pulty, regály) lze odhadnout zóny, kde by se měli zaměstnanci a zákazníci převážně zdržovat. Takový předpoklad je důležitý pro pozdější vyhodnocení výsledků modelování. Místnost rozdělená na zóny pro zaměstnance a zákazníky je vidět na obrázku 2.



Obrázek 2. Místnost výdeje léčiv rozdělená na zóny.

1.3 Kritéria pro vyhodnocení vnitřního prostředí

Pro potřeby vyhodnocení jednotlivých modelů vnitřního prostředí je nutné mít stanoveny kritéria, na základě kterých budou jednotlivé varianty posuzovány z hlediska kvality vnitřního prostředí. Za tímto účelem byly vybrány následující kritéria:

- **Stupeň obtěžování průvanem; DR [%]**

Diskomfort způsobený průvanem lze vyjádřit jako předpověď procenta lidí, kteří jsou obtěžováni průvanem. Stupeň obtěžování průvanem lze vyjádřit pomocí rovnice 1. [1]

$$DR = (34 - t_a) \cdot (v_a - 0.05)^{0.62} \cdot (0.37 \cdot v_a \cdot T_u + 3.14) \quad (1)$$

kde:

- t_a je místní teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$], $t_a = 20$ až 26 $^{\circ}\text{C}$
- v_a je místní rychlost proudění vzduchu [m/s], $v_a < 0.5$ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
- T_u je místní intenzita turbulence [%]

- **Rychlost proudění vzduchu v pobytové zóně, v_a [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]**

Rychlost proudění vzduchu v pobytové zóně by neměla přesáhnout hodnotu v chladném období roku $0,2$ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ a $0,25$ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ v teplém období roku. Poněvadž při práci pokladní v lékárně převažuje práce ve stoje, byla určena hranice pobytové zóny $1,8$ m nad podlahou.

- **Vertikální rozdíl teplot vzduchu mezi hlavou a kotníky**

Diskomfort může být způsoben vertikálním rozdílem teplot mezi kotníky a hlavou. Procento nespokojených PD lze spočítat dle rovnice 2.

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(5.76 - 0.856 \cdot \Delta t_{a,v})} \quad (2)$$

kde:

- $\Delta t_{a,v}$ je vertikální rozdíl teplot vzduchu mezi kotníky a hlavou [$^{\circ}\text{C}$]

Úrovně výšky kotníků a hlavy nad podlahou jsou $0,1$ respektive $1,7$ m.

- **Celkový obraz proudění vzduchu a rozložení teplot v místnosti**

Mělo by být dosaženo rovnoměrného rozložení teplot v místnosti a rychlostí proudění vzduchu.

- **Předpověď středního tepelného pocitu (PMV) a předpověď podílu nespokojených (PPD)**

Ukazatel PMV udává tepelný pocit osob, který byl stanoven na základě jejich subjektivního hodnocení tepelného pocitu na sedmibodové stupnici, kde 0 odpovídá neutrálnímu pocitu, +3 horku, -3 zimě. Pro předpovídání ukazatele PMV je možno použít vztah uvedený v normě ČSN EN 7730.

Ukazatel PPD určuje podíl osob, které se budou cítit nekomfortně z důvodu tepla nebo chladu a určí se přímo z ukazatele PMV.

2 Cíl práce

Cílem této práce je optimalizovat návrh systému vytápění, větrání a klimatizace ve výdejně léčiv. A to využitím výsledků modelování a následných simulací vnitřního prostředí, na základě kterých bude vyhodnocen návrh více různých systémů vzduchotechniky a vytápění z hlediska kvality vnitřního. Za tímto účelem je nutné navrhnout několik variant řešení systému zajišťující požadované vnitřní prostředí v daných prostorách, tak aby bylo možné vybrat tu optimální. Důležité je, že vytápění, větrání a klimatizace je řešeno jako jeden systém, jehož jednotlivé složky se navzájem ovlivňují. Pro každou variantu je vytvořen matematicko-fyzikální model v programu ANSYS FLUENT a pro dané okrajové podmínky vytvořena simulace vnitřního prostředí. Na základě výsledků simulace jsou jednotlivé varianty řešení HVAC vyhodnoceny z hlediska pohody vnitřního prostředí.

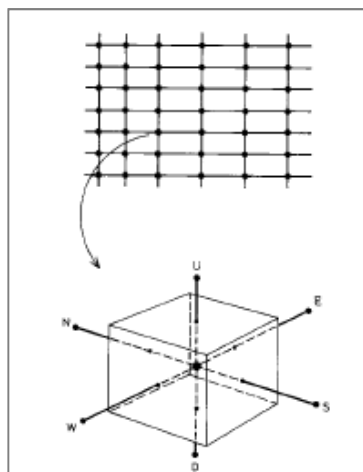
3 Zvolené metody řešení

V této kapitole jsou stručně popsány metody použité k vytvoření matematicko-fyzikálního modelu proudění a přenosu tepla v dané místnosti a k provedení simulací, jejich vizualizaci a vyhodnocení.

3.1 CFD analýza

Za účelem vytvoření matematicko-fyzikálního modelu a následně provedení simulací proudění vzduchu a přenosu tepla je použita metoda CFD. CFD je anglická zkratka pro Computation Fluid Dynamics. Jedná se o metodu předpovídání proudění tekutin, látkového a tepelného přenosu pomocí numerického řešení matematických rovnic (využitím výpočetní techniky), které popisují fyzikální zákony. [3]

Rovnice pro popis proudění se skládají z rovnice kontinuity, tří rovnic hybnosti, tj. pohybové rovnice (každá pro jeden souřadný směr x , y a z), a pokud je požadováno rovnice pro přenos tepla a případně další rovnice pro přenos látek a jejich koncentraci. Další rovnice jsou použity pro případné modelování turbulentního proudění. Celkový popis proudění je tvořen z výše uvedených diferenciálních rovnic, které jsou vzájemně propojené a nelineární a není možné řešit tyto rovnice přímo analyticky. Proto je aplikována numerická metoda, kde je místnost rozdělena pomocí výpočetní sítě na jednotlivé buňky, diferenciální rovnice jsou transformovány do diskretizačních rovnic přiřazených ke každému bodu sítě (Obrázek4). [4]



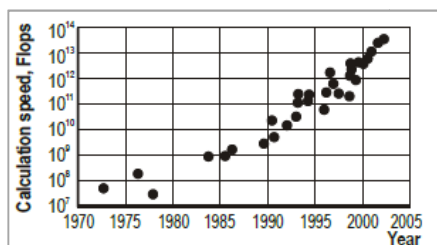
Obrázek 3. Sítě, distribuce a kontrolní objem kolem bodu sítě. [4]

Obecný postup modelování je následující sled jednotlivých kroků: [3]

- Identifikace problému
 1. Definice cíle modelování
 2. Identifikování oblasti modelování, abstrakce
- Pre-processing
 3. Vytvoření geometrie modelu reprezentující danou oblast
 4. Návrh a vytvoření výpočetní sítě

5. Fyzikální vlastnosti: fyzikální modely, vlastnosti materiálů, okrajové podmínky
6. Definování parametrů výpočtů: numerické schéma, kontrola konvergence
 - Processing (řešení rovnic)
 7. Výpočet řešení
 - Post-processing
8. Vyhodnocení výsledků, a jejich interpretace

Je možné očekávat, že využití této metody v procesu návrhu vnitřního prostředí bude stále častější, protože výkonnost počítačů, která má své limity a tyto výpočty jsou poměrně dost náročné, vzrůstá rychleji než cena počítačů. Vývoj výkonnosti počítačů je zobrazen na obrázku 3, který zobrazuje rychlost superpočítačů v průběhu posledních třiceti let. Dalším důvodem je, že flexibilita různého druhu softwaru vzrůstá a stále je vyvíjen nový software. Lze uvést příklad, kdy Chapman v r. 1979 uvedl, že numerický výpočet proudění vzduchu přes profil křídla letadla by trval 30 let, pokud by začal v r. 1960 a stál by 10 mil USD. O dvacet let později by stejný výpočet trval půl hodiny a stál by 1000 USD. Dnes takový výpočet nestojí ani za zmínku. [4]



Obrázek 4. Vývoj výkonnosti počítačů (FLOP: Floating-point Operations per Second [4]). [5]

3.2 FLUENT

Pro vytvoření modelu a provedení simulací byl použit program FLUENT (v platformě ANSYS Workbench), jenž využívá numerickou metodu konečných (kontrolních) objemů MKO. Tato metoda spočívá v těchto základních bodech: [6]

- Rozdělení výpočetní domény na jednotlivé diskretní objemy (výpočetní síť).
- Bilancování neznámých veličin v jednotlivých objemech a diskretizace diferenciálních rovnic.
- Numerické řešení diskretizovaných rovnic.

4 Normové a legislativní požadavky

Legislativní požadavky týkající se vnitřní prostředí jsou buďto závazné a musí se dodržovat nebo nezávazné, které mají charakter doporučení. Závazné legislativní požadavky jsou nařízení vlády a vyhlášky obsažené ve Sbírce zákonů ČR. Doporučující charakter pak mají české technické normy ČSN.

4.1 Vnitřní prostředí

Závazné požadavky na pracovní prostředí stanovuje **Nařízení vlády 361/2007 Sb.** (se změnami: 68/2010 Sb., 93/2012 Sb., 9/2013 Sb.), kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. V tomto nařízení jsou rozděleny třídy práce (I až V) podle celkového energetického výdeje M , požadavky na vnitřní prostředí jsou pak uvedeny jednotlivé třídy práce. Pracovníci v lékárně dle popisu druhu práce spadají do kategorií I a IIa uvedených v následující tabulce.

Tabulka 1. Třídy práce podle celkového energetického výdeje (Část A, Tabulka č.1). [2]

Třída práce	Druh práce	$M [W \cdot m^{-2}]$
I	Práce vsedě s minimální celotělovou pohybovou aktivitou, kancelářské administrativní práce, práce s PC, laboratorní práce, sestavování nebo třídění drobných, lehkých předmětů...	≤ 80
IIa	Práce vstoje s trvalým zapojením obou rukou, paží a nohou spojená s přenášením břemen do 10 kg prodavač,...	81 až 105

Pro stanovené třídy práce I a IIa lze určit přípustné hodnoty nastavené mikroklimatických podmínek pro klimatizované pracoviště, které lze vidět v Tabulce 2. Pro pracovníky v lékárně lze stanovit kategorii A, která platí pro požadovanou střední kvalitu prostředí při práci vyžadující průběžnou pozornost a soustředění.

Tabulka 2. Přípustné hodnoty nastavení mikroklimatických podmínek pro klimatizované pracoviště (Část A, Tabulka č.3). [2]

Třída práce	M [W·m ⁻²]	Kategorie	Klimatizované pracoviště				v _a [m·s ⁻¹]	Rh [%]
			nastavení vytápění		nastavení chlazení			
			Tepelný odpor oděvu 1,0 clo		Tepelný odpor oděvu 1,0 clo			
			t _{omin} (t _{gmin}) [°C]		t _{omin} (t _{gmin}) [°C]			
I	≤ 80	A	22	±1,0	24,5	±1,0	0,05 až 0,2	30 až 70
		B		±1,5		+1,5 -1,0		
		C		+2,5 -2,0		+2,5 -2,0		
IIa	81 až 105	A	22	±1,0	23	±1,0		
		B		±1,5		+1,5 -1,0		
		C		+2,5 -2,0		+2,5 -2,0		

Nařízení vlády 361/2007 Sb. stanovuje množství vyměňovaného vzduchu s ohledem na vykonávanou práci a její fyzickou náročnost (§41 Větrání pracovišť), kde minimální množství venkovního vzduchu přiváděného na pracoviště musí být:

- 25 m³·h⁻¹ na jednoho zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do třídy I nebo IIa na pracovišti bez přítomnosti chemických látek, prachů nebo jiných znečištění.
- 50 m³·h⁻¹ na jednoho zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do třídy I nebo IIa na pracovišti s přítomností chemických látek, prachů nebo jiných znečištění.

Návrh systému větrání a klimatizace může značně ovlivnit prostorové uspořádání pracoviště, například světlou výšku místnosti. Při návrhu je nutné mít na paměti, že jsou stanoveny Nařízením vlády 361/2007 Sb. minimální světlé výšky pracoviště v závislosti na ploše:

- Do 20 m² nejméně 2,50 m.
- Do 50 m² nejméně 2,60 m.
- Od 51 m² do 100 m² nejméně 2,70 m.
- Od 101 do 2000 m² nejméně 3,00m.

Přitom je možné světlé výšky snížit v prodejním prostoru, kanceláři a obdobných prostorech, v nichž se vykonává práce třídy I a IIa za předpokladu, že je pro každého zaměstnance zajištěn minimální objemový prostor 12 m^3 pro třídu práce I a 15 m^3 pro třídu práce IIa, bude-li vyloučeno oslňování a světlá výška nebude nižší než 2,60 m.

Vyhláška 6/2003 Sb., stanovuje hygienické limity pro vnitřní prostředí obytných místností. Rychlost proudění vzduchu v obytných místnostech je stanoveno pro teplé období roku $0,16$ až $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a pro chladné období roku $0,13$ až $0,20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Dále stanovuje množství odváděného vzduchu pro sprchy na 35 až 110 m^3 na 1 sprchu a pro WC pak 50 m^3 na 1 mísu a 25 m^3 na 1 pisoár. Tato vyhláška také stanovuje limit koncentrace chemických ukazatelů ve vnitřním prostředí.

Pro vyhodnocení kvality vnitřního prostředí v budovách je vhodné použít ukazatele vnitřního prostředí PMV a PPD, které jsou uvedeny v normě **ČSN ISO 7730 – Ergonomie tepelného prostředí**. PMV je střední tepelný pocit stanovený na základě odevzdaných hlasů skupiny osob, které hodnotí svůj subjektivní pocit pomocí stupnice. Tento ukazatel lze vypočítat podle vztahu uvedeného v této normě. Předpovědět procentuální procento nespokojených osob lze pomocí ukazatele PPD.

Ukazatelé PPD a PMV vyjadřují diskomfort z tepla nebo chladu pro tělo celkově. Nežádoucím oteplováním nebo ochlazováním těla může být také způsoben tepelný diskomfort. Parametry pro určení lokálního diskomfortu jsou také uvedeny v normě ČSN ISO 7730.

4.2 Skladování léčiv

Skladování léčiv se zabývá vyhláška 84/2008 Sb. Vyhláška o správné lékařské praxi, bližších podmínkách zacházení s léčivými v lékárnách, zdravotnických zařízeních a u dalších provozovatelů a zařízení vydávajících léčivé přípravky. V paragrafu 21 – Uchovávání léčivých přípravků, léčivých látek a pomocných látek je doslova uvedeno, že léčivé látky a pomocné látky se uchovávají za podmínek stanovených výrobcem. Zároveň Státní ústav pro kontrolu léčiv udává v pokynu LEK-5 verze 5 – Doporučené doby použitelnosti léčivých přípravků připravovaných v lékárně, poznámku, ve které se uvádí, že, léčivé přípravky jsou skladovány při teplotě 15°C až 25°C , pokud není uvedena teplota skladování výrobcem. [20]

5 Aktuální technická řešení v praxi

V současné době je na trhu velké množství produktů, které zajišťují požadované vnitřní prostředí v budovách. Pokud je budova rozdělena na více místností či různých zón, je vhodné využít decentralní systém pro chlazení a vytápění tak, aby v každé místnosti nebo skupině místností bylo možné vnitřní prostředí nezávisle upravovat dle místních podmínek. Pro osoby pobývajících v daném prostoru je také výhodné, pokud si mohou teplotu v místnosti upravovat sami. Běžně v praxi používaným systémem jsou decentralní klimatizační jednotky a to buď vodní nebo chladivové. Při použití těchto systémů je však nutné, k pokrytí tepelné zátěže či ztrát velké množství vzduchu, přivádět do místnosti velké množství vzduchu. To může být příčinou některých problémů a diskomfortu osob (průvan, hluk). Možných řešení jak snížit průtok vzduchu pouze na potřebný pro zajištění dostatku čerstvého vzduchu je využití k chlazení systém kapilárních rohoží.

5.1 Decentrální klimatizační jednotky

Decentrální vodní klimatizační jednotky též jendotky FAN-COIL. Tyto jednotky je možné využít jak pro chlazení či ohřívání oběhového vzduchu v místnosti, tak i pro přívod venkovního vzduchu. Pro tento typ jednotek je nutné zajistit zdroj chladicí či topné vody. Příklad podstropní jednotky je vidět na Obrázku 5.



Obrázek 5. Jednotka FAN-COIL. [21]

Dalšími možnými variantami jsou např. parapetní a nástěnné jednotky. Na základě potřebného výkonu a účelu jednotky je nutné navrhnout vhodnou variantu. Pro chlazení či topení se jedná o dvou-trubkový systém pro chladicí či topnou vodu a pro kombinaci se pak jedná o jednotku s čtyř-trubkovým systémem pro chladicí a topnou vodu. Existuje také varianta,

kdy je pro chlazení využita chladicí voda a pro vytápění elektrické topení v jednotce. Zabudovaná jednotka FAN-COIL v pohledu je vidět na obrázku 6.

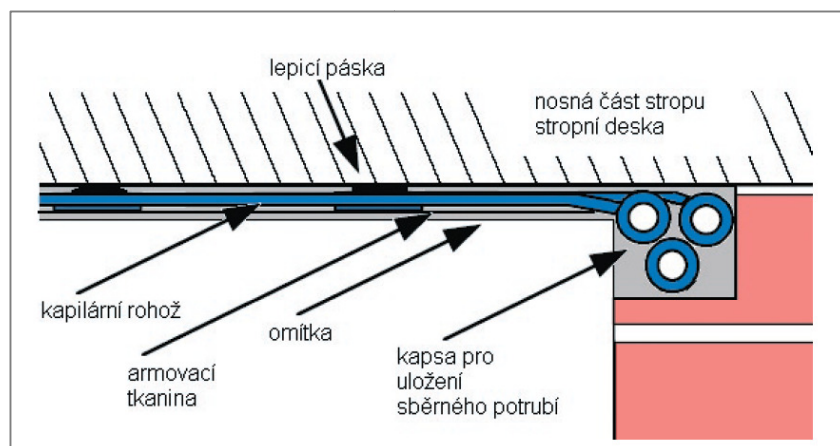


Obrázek 6. Jednotka FAN-COIL v pohledu. [22]

5.2 Kapilární rohože

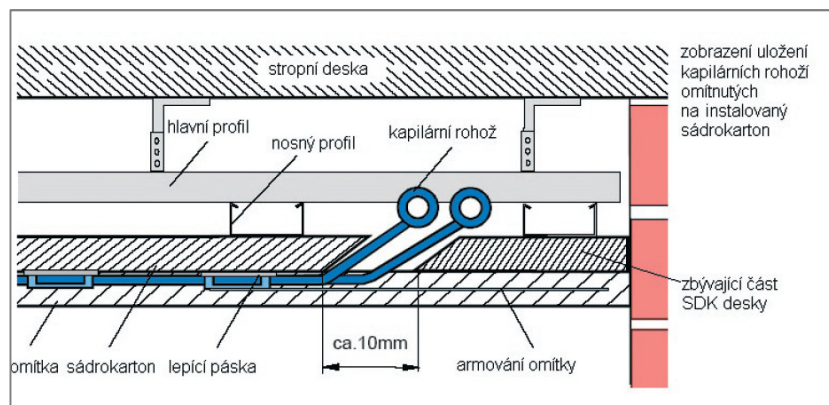
Možnou alternativou k používaným decentrálním klimatizačním jednotkám je systém kapilárních rohoží. Jedná se o systém vytápění či chlazení, kdy je teplotonosná tekutina rozváděna hustou sítí jemných kapilár instalovaných ve stropě, stěně či podlaze. Systém kapilárních rohoží je schopný místnosti v zimě vytápět a v létě chladit [22]

Schéma systému kapilárních rohoží umístěných v omítce pod stropem je vidět na Obrázku 7.



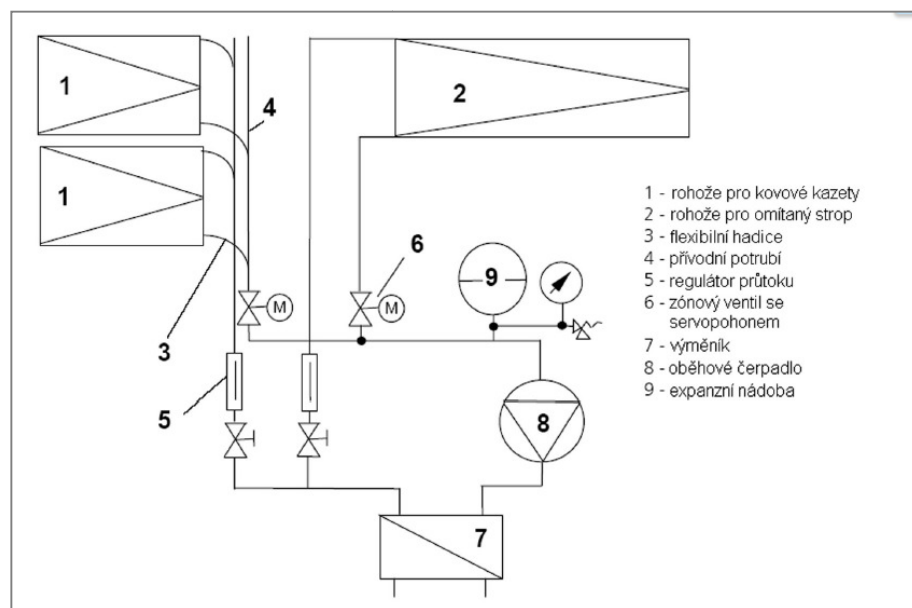
Obrázek 7. Schéma umístění kapilární rohože v omítce. [22]

V případě, že je v místnosti podhled ze sádrokartonových desek, je možné kapilární rohože instalovat podle Obrázku 8.



Obrázek 8. Schéma umístění kapilární rohože na sádrokartonový podhled. [23]

Topné a chladicí stropy fungují jako uzavřený systém, kdy je připravená chladicí či topná voda (primární okruh) oddělena výměníkem od rohoží (sekundární okruh). Jednotlivé části sekundárního systému jsou vidět na Obrázku 9.



Obrázek 9. Komponenty systému sekundárního okruhu kapilárních rohoží. [23]

Při návrhu rohoží pro chlazení je povrchová teplota rohoží omezena teplotou rosného bodu v místnosti tak, abych nedocházelo ke kondenzaci na konstrukci. Při návrhu topení je pak maximální povrchová teplota limitována mezní teplotou spodní strany stropu. A to je dáno možným diskomfortem způsobeným dopadáním příliš velkého množství záření na hlavu, která pak není ochlazována. Při světlé výšce 3 m je maximální teplota stropu 35 °C. [22]

Instalované kapilární rohože jsou vidět na Obrázku 10.



Obrázek 10. Kapilární rohože instalované v podhledu. [23]

6 Teoretické řešení

V této části je jsou popsány základní principy a postupy při modelování v programu ANSYS FLUENT, který využívá k modelování proudění tekutin numerickou metodu konečných (kontrolních) objemů.

6.1 Základy numerického modelování proudění tekutin

Jak již bylo uvedeno v kap. 3 Zvolené metody řešení, princip modelování proudění je založen na matematickém vyjádření fyzikálních zákonů. Tyto zákony jsou vyjádření pomocí základních (řídících) rovnic, které reprezentují zákony zachování ve fyzice: [7]

- Hmotnost tekutiny je zachována.
- Rychlost změny hybnosti se rovná součtu sil působící na částice kapaliny (Newtonův druhý zákon).
- Rychlost změny energie se rovná součtu poměru přírůstku tepla a rychlosti vykonané práce na částice kapaliny (První zákon termodynamiky).

6.1.1 Stavové rovnice

Pro případ proudění tekutiny s přenosem tepla ve tří-dimenzionálním prostoru je systém popsán pomocí pěti parciálních diferenciálních rovnic zachování hmoty, x -, y - a z - hybností a

rovnici přenosu tepla. Neznámé jsou čtyři termodynamické proměnné: hustota ρ , tlak p , vnitřní energie i a teplota T . Vztah mezi termodynamickými proměnnými může být získán za předpokladu termodynamické rovnováhy. Stav látky v termodynamickém rovnovážném stavu můžeme popsat pomocí dvou stavových veličin. Stavové rovnice pak určují vztah ostatních veličin ke dvěma stavovým veličinám. Když použijeme ρ a T jako stavové veličiny, získáme stavové rovnice pro tlak p a vnitřní energii i : [7]

$$p = p(\rho, T) \quad a \quad i = i(\rho, T) \quad (3)$$

Pro ideální plyn platí následující, známé, stavové rovnice:

$$p = \rho \cdot R \cdot T \quad a \quad i = C_v \cdot T \quad (4)$$

kde:

- R je molární plynová konstanta $R = 8,314\,4621 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$

Předpoklad termodynamicky rovnovážného stavu eliminuje kromě dvou, všechny ostatní stavové proměnné. Při proudění **stlačitelné kapaliny** určují stavové rovnice vazbu mezi rovnicí přenosu teploty na jedné straně a rovnicemi pro zachování hmoty a rovnicí hybnosti na straně druhé.

Tekutiny proudící nízkou rychlostí se chovají jako **nestlačitelné kapaliny**. Bez měnící se hustoty není žádná vazba mezi rovnicemi přenos teploty a rovnicemi pro zachování hmoty a hybnosti. Proudění může být tedy vyřešeno pouze s rovnicemi pro zachování hmotnosti a hybnosti. Rovnice pro zachování tepla jsou potřeba řešit, pokud daný problém zahrnuje problematiku přenosu tepla. [7]

6.1.2 Přenos hmoty, hybnosti a tepla při neizotermním proudění nestlačitelné kapaliny

Základní fyzikální zákony popisující proudění kapalin jsou zákon zachování hmotnosti, hybnosti, tepla a případně dalších skalárních veličin. Tyto zákony jsou vyjádřeny Navier – Stokesovými rovnicemi a rovnicemi kontinuity, popisující laminární i turbulentní proudění (rovnice 5 až 9). Pro následující rovnice tří-dimenzionálního proudění kapalin platí tyto předpoklady: [6]

- Proudění je neizotermní.
- Proudění je nestacionární – veličiny kapaliny (např. rychlost) jsou v daném místě časově závislé.
- Proudění nestlačitelné kapaliny – hustota kapaliny je konstantní.

Rovnice kontinuity – vyjadřuje zákon zachování hmoty: [6]

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

Navier-Stokesovy rovnice:

- Hybnost ve směru x: [6]

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + S_x \quad (6)$$

- Hybnost ve směru y: [6]

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + S_y \quad (7)$$

- Hybnost ve směru z: [6]

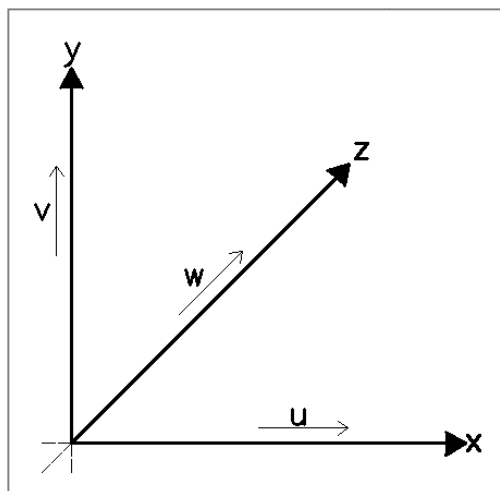
$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + S_z \quad (8)$$

Rovnice pro přenos tepla – vyjadřuje zákon zachování energie: [6]

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + a\phi \quad (9)$$

kde:

- Poloha bodu je definována souřadnicemi $X = (x, y, z)$ a vektor rychlosti je definován složkami $\mathbf{u} = (u, v, w)$ dle obrázku 5
- a je teplotní vodivost $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$ [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
- $S_{x,y,z}$ označuje složky vnější objemové síly (**gravitační**, odstředivé)



Obrázek 11. Souřadný systém.

6.1.3 Diferenciální a integrální forma základních rovnic

Proudění vzduchu a přenos tepla jsou matematicky popsány sadou parciálních diferenciálních rovnic pro zachování hmoty, hybnosti a tepla. Pokud budeme uvažovat obecnou proměnnou ϕ , obecná konzervativní forma všech rovnic proudění kapalin, včetně rovnic pro teplotu a koncentraci polutantů lze vyjádřit rovnicí 10: [4]

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\vec{u}\phi) = \text{div}(\Gamma_\phi \text{grad}\vec{\phi}) + S_\phi \quad (10)$$

kde:

- ϕ je obecná proměnná
- $\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t}$ představuje kolísání množství ϕ v čase, kde ρ je hustota nosné kapaliny (člen akumulace)
- $\text{div}(\rho\vec{u}\phi)$ je čisté množství ϕ přinesené proudem rychlosti u skrz hranice elementárního kontrolního objemu (člen konvektivní)
- $\text{div}(\Gamma_\phi \text{grad}\vec{\phi})$, je množství zvýšení proměnné ϕ důsledkem difúze, kde Γ_ϕ představuje difúzní koeficient proměnné ϕ (člen difúzní)
- S_ϕ je zdroj reprezentující vytváření proměnné ϕ za jednotku objemu a času (člen zdrojový)

Pro případ, kdy kapalina je považována za nestlačitelnou jsou závislé proměnné ϕ , efektivní difúzní koeficient Γ_ϕ a zdrojové členy S_ϕ pro rovnice zachování hmotnosti (rovnice

kontinuity), hybnosti pro 3 složky rychlosti (u,v,w, kde v je vertikální komponent) a entalpie (obecná rovnice vedení tepla) uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 3. Závislé proměnné, efektivní difúzní koeficienty a zdroje v rovnici 3. [4]

Rovnice	ϕ	Γ_ϕ	S_ϕ
Kontinuita	1	0	0
Hybnost ve směru x	u	μ	$-\frac{\partial p}{\partial x}$
Hybnost ve směru y (vertikální)	v	μ	$-\frac{\partial p}{\partial x} - g \cdot \rho$
Hybnost ve směru z	w	μ	$-\frac{\partial p}{\partial z}$
Entalpie	$i = C_v \cdot T$	λ	Q
Koncentrace	$\frac{c}{\rho}$	d	Q_m

Po dosazení za obecnou proměnnou ϕ odpovídajícími proměnnými 1, u, v, w a i (T), a vybrání vhodných hodnot pro difúzní koeficient a zdrojový člen, dostaneme pět parciálních diferenciálních rovnic pro přenos hmoty (kontinuita), hybnosti a tepla. Klíčový krok metody konečných prvků je integrace těchto rovnic přes tří-dimenzionální kontrolní objem CV (konvektivní a difúzní členy jsou přepsány jako integrály přes hraniční povrch kontrolního objemu A užitím Gaussovy věty), integrální forma rovnice je zobrazena rovnicí 11.

$$\int_{CV} \frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} dV + \oint_A \text{div}(\rho\vec{u}\phi) dA = \oint_A \text{div}(\Gamma_\phi \text{grad}\phi) dA + \int_{CV} S_\phi dV \quad (11)$$

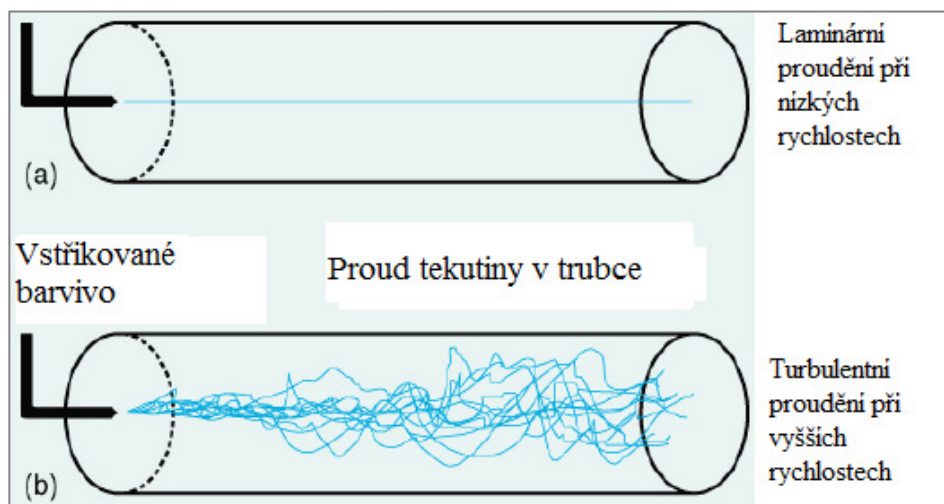
Slovy lze rovnici 11 vyjádřit takto: [7]

Míra růstu proměnné ϕ	+	Čistá míra poklesu proměnné ϕ důsledkem konvekce přes hranice povrchu buňky	=	Míra růstu proměnné ϕ důsledkem difúze přes hranice povrchu buňky	+	Čistá míra tvorby proměnné ϕ v buňce
----------------------------	---	--	---	--	---	---

6.2 Model proudění kapalin

Proudění skutečných kapalin můžeme klasifikováno jako: laminární nebo turbulentní proudění. Při laminárním proudění jsou proudnice rovnoběžné a nemísí se, částice kapaliny se pohybují ve vrstvách, které se vzájemně nepromíchávají a mezi kterými se předpokládá existence vnitřního tření. [8]

Při turbulentním proudění dochází k chaotickému pohybu částic, proudnice se navzájem promíchávají a částice tekutiny vykonávají kromě posouvání i složitý vlastní pohyb. Takové proudění pak obsahuje turbulentní víry (ang. „eddies“) různých velikostí, kde velké víry se rozpadají na menší. Tento proces je ukončen disipací kinetické energie nejmenších víru na tepelnou energii (energie se přenáší z větších víru do menších). [6] [9] Princip laminárního a turbulentního proudění je zobrazeno na obrázku 12.



Obrázek 12. Laminární a turbulentní proudění v trubce. [10]

Při modelování proudění kapalin je nutné určit typ proudění. Pro většinu případů není jednoduché určit, zda se jedná o turbulentní či laminární proudění. Proto je potřeba udělat nejlepší možný odhad. Jako první je možné odhadnout, zda se jedná o proudění přirozené či nucené, k tomu může sloužit poměr Grashofova Gr a Reynoldsova čísla Re :

$$\frac{Gr}{Re^2} = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L}{u^2} \quad (13)$$

kde:

- g je gravitační zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

- β je koeficient teplotní roztažnosti [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
- ΔT je maximální teplotní rozdíl v doméně (místnosti) [K]
- L je charakteristický rozměr domény (např. výška) [m]
- u je odhad rychlosti proudění [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Reynoldsovo číslo Re je bezrozměrná veličina a můžeme ji určit dle rovnice 12:

$$Re = \frac{u \cdot l}{\nu} \quad (12)$$

kde:

- u je rychlostní měřítko turbulence [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
- l je délkové měřítko (charakteristický rozměr) charakterizující turbulentní víry [m]
- ν je kinematický viskozita [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]

Pokud je tento poměr řádově menší jak 1 ($Gr/Re^2 \ll 1$), **jedná se o nucené proudění a vztlakové síly mohou být ignorovány**. Pokud je poměr řádově větší jak 1 ($Gr/Re^2 \gg 1$), pak **vztlakové síly významně ovlivňují proudění**. Vyskytuje se také kombinované proudění, které je kombinací přirozeného a nuceného proudění. Proto je mnohdy těžké odhadnout vliv vztlakových sil na proudění.

Pro přirozenou konvekci je pak určující Rayleighovo číslo Ra , které určuje, zda se jedná o laminární nebo turbulentní proudění:

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu \cdot a} \quad (13)$$

kde:

- a je teplotní vodivost [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
- ν je kinematická viskozita [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]

Pokud $Ra \ll 10^8$ jedná se o laminární proudění. Pokud $Ra \geq 10^{10}$ jde o **turbulentní** proudění.

Pro nucené proudění uvnitř budov lze jeho charakter odhadnout na základně Reynoldsovo čísla. Proudění je turbulentní když: [10]

$$Re \geq 2300 \quad (14)$$

6.2.1 Laminární proudění

Newtonův druhý zákon uvádí, že hmotnost tělesa m vynásobená jeho zrychlením a se rovná vnější síle F : [4]

$$m \cdot a = F \quad (15)$$

V mechanice je **Newtonova rovnice** formulovaná pro těleso s přesně definovanou hmotností a popisuje pohyb a zrychlení toho tělesa. Zrychlení a je vyjádřeno **jako změna rychlosti v čase** (změna rychlosti dělená změnou času, du/dt). [4]

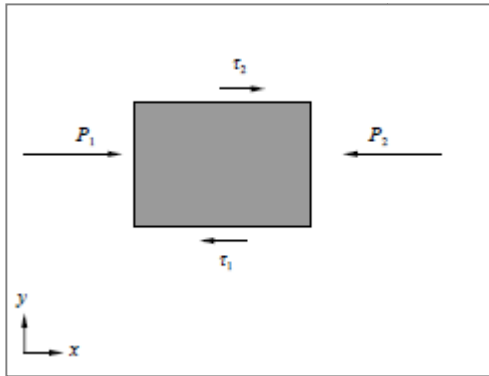
V proudění tekutin je však obtížné definovat část tekutiny a popsat její zrychlení a rychlost Newtonovou rovnicí. Za tímto účelem se používá tedy **Eulerova formulace**, kdy je zrychlení popsáno v daném bodě tekutiny nebo pro malý objem (kontrolní objem), který je fixován v prostoru a rovnice je vyjádřena na jednotky objemu. Zrychlení je vyjádřeno **jako změna rychlosti v prostoru** (změna rychlosti dělená změnou v prostoru du/dx , kde x jsou prostorové souřadnice). [4]

Newtonův zákon pak můžeme vyjádřit rovnicí 16: [4]

$$\rho u \cdot \frac{du}{dx} = f \quad (16)$$

kde f je síla ve směru x [$N \cdot m^{-3}$]

Na obrázku 13 je působící síla na kontrolní jednotku objemu důsledek tlakového rozdílu $p_1 - p_2$, a rozdílu tečného napětí $\tau_1 - \tau_2$.



Obrázek 13. Kontrolní objem s působícími silami tlaku p a tečného napětí τ . [4]

Tlakové rozdíly a rozdíly tečného napětí můžeme zapsat takto: [4]

$$\frac{p_1 - p_2}{x_2 - x_1} = -\frac{\Delta p}{\Delta x} = -\frac{dp}{dx} \quad (17)$$

$$\frac{\tau_2 - \tau_1}{\Delta y} = \frac{d\tau}{dy}$$

Tečné napětí je za předpokladu Newtonova zákona viskozity rovno dynamické viskozitě μ vynásobené změnou rychlosti v prostoru: [4]

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (18)$$

Což dává rovnici 19:

$$\frac{\tau_2 - \tau_1}{\Delta y} = \mu \frac{d^2 u}{dy^2} \quad (19)$$

Vložením rovnic 19 a 17 do rovnice 16 dostaneme rovnici 20:

$$\rho u \frac{du}{dx} = -\frac{dp}{dx} + \mu \frac{d^2 u}{dx^2} \quad (20)$$

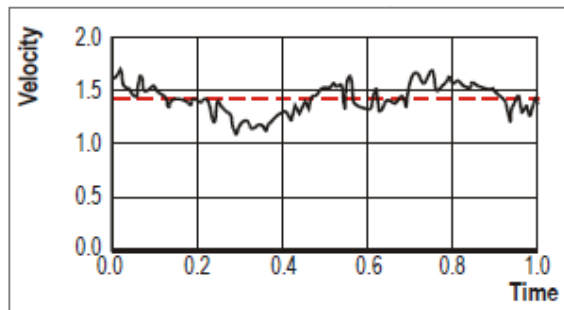
V této rovnici je počítáno pouze s komponent rychlosti ve směru x : u . Komponent rychlosti ve směru y v v této rovnici chybí. Člen zrychlení v důsledku rychlosti v v okrajové vrstvě kontrolního objemu musíme doplnit, rovnice pak vypadá následovně:

$$\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{dp}{dx} + \mu \frac{d^2 u}{dx^2} \quad (21)$$

Tato rovnice popisuje zachování hybnosti v laminární okrajové vrstvě. Derivát d je nahrazen ∂ , protože \mathbf{u} je nyní funkce dvou souřadnic, x a y . [4]

6.2.2 Turbulentní proudění

Proudění považujeme za turbulentní, pokud jeho proměnné (hmotnost, hybnost, skalární veličiny) vykazují nepravidelný (neperiodický) pohyb v čase v daném místě (proměnné nejsou konstantní v čase, ale mění se náhodně). Takové proudění je charakteristické turbulentními víry a zvýšeném promícháváním (hmoty, hybnosti, energie). Obvykle nás nezajímají přesné variance proměnných. Proto bývají tyto proměnné vyjádřeny jako průměrná hodnota v čase. Na Obrázku 14 je vidět průměrná (červená čerchovaná čára) a okamžitá rychlost v bodě v závislosti na čas. [4] [10]



Obrázek 14. Průměrná a okamžitá rychlost (Velocity) v bodě v závislosti na čase (Time).

Vlastnosti turbulentního proudění lze shrnout takto: [6]

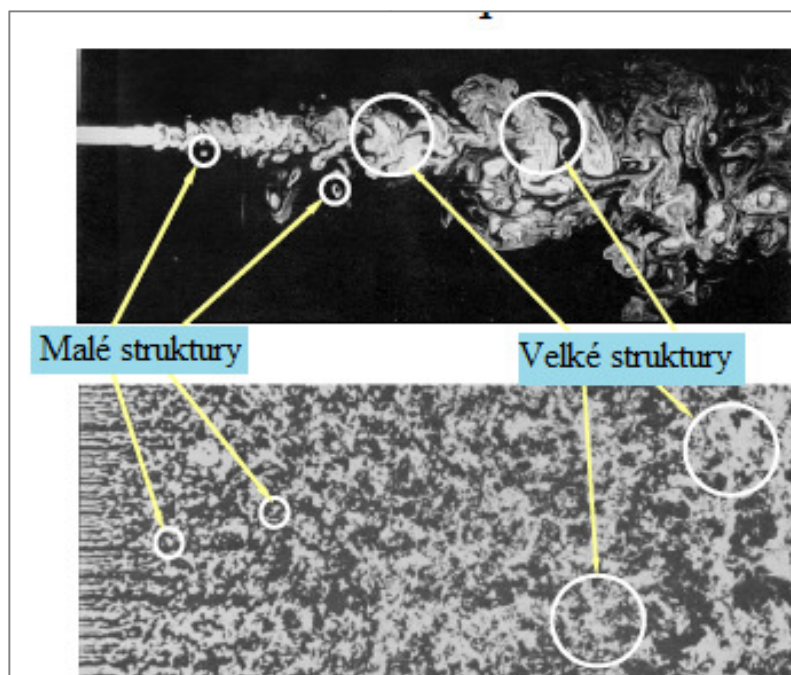
- Jednotlivé částice tekutiny (objemy obsahující velké množství molekul) vykonávají **náhodný pohyb**, přičemž celkový pohyb částic se skládá z uspořádaného středního pohybu a z náhodného neuspořádaného pohybu – fluktuace.
- **Tečné napětí** u laminárního proudění je určeno pouze vnitřním třením a rychlostním gradientem (změna rychlosti dělená změnou v prostoru) – rovnice 14. [4]

U turbulentního proudění je však navíc složka změny hybnosti makroskopických částic, která vzniká jejich pronikáním do sousedních vrstev. Tento pohyb vyvolává **přídavné turbulentní napětí**

- **Difúzní charakter turbulence**, kdy v důsledku rychlostních fluktuací dochází k disipaci energie vlivem vnitřního tření (rozpad větších vírů na menších a disipace energie menších na tepelnou, vnitřní energii). Tím se zvyšuje vnitřní energie na úkor

kinetické energie turbulence k . Pokud nejsou tyto ztráty pokryty přísunem energie, pak turbulence rychle zanikají

Dva příklady turbulentního proudění jsou t zobrazeny na obrázku 8, můžeme vidět jak velké struktury turbulentního proudění odnášejí energii z hlavního proudu. [10]



Obrázek 15. Příklady turbulentního proudění s velkými a malými strukturami turbulentních vírů. [10]

6.2.3 Modelování turbulence

Modelování turbulence je stále ve stádiu vývoje a výzkumu. Při numerické simulaci turbulentního proudění existují tři teoretické přístupy: [6] [10]

- **Metoda přímé simulace** (Direct Numerical Simulation, **DNS**)
 - Teoretický všechny turbulentní proudění lze simulovat numerickým řešením Navier-Stokeosvých rovnic.
 - Je řešeno kompletní spektrum měřítek.
 - Nároky na kapacitu počítačů jsou příliš vysoké a tato metoda není praktická pro průmyslové využití. DNS není k dispozici v programu FLUENT.
- **Metoda velkých vírů** (Large Eddy Simulation, **LES**)
 - V této metodě jsou velké víry přímo vyřešeny, ale víry menší než je velikost buněk sítě jsou modelovány.

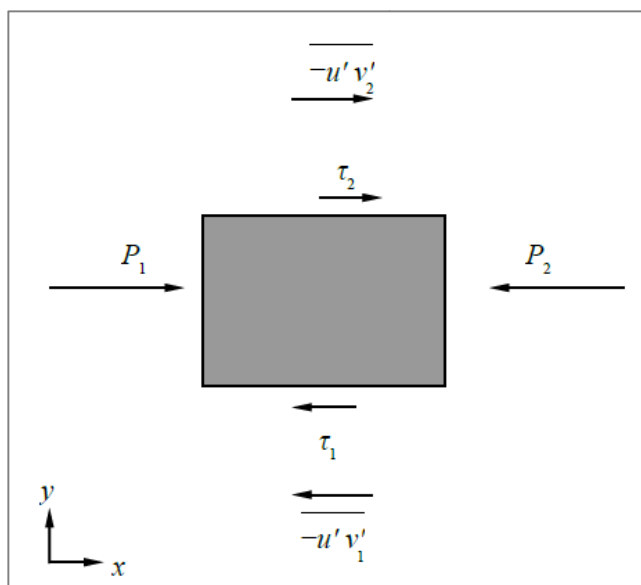
- Menší nároky na kapacitu počítače, ale tato metoda je stále příliš náročná pro většinu praktických aplikací.
- **Metoda časového středování (Reynolds-Averaged Navier-Stokes, RANS)**
 - Kompletní škála turbulencí je modelována.
 - Nejběžněji používaný přístup v průmyslovém využití.
 - Při této metodě jsou okamžité hodnoty rozděleny na část časově středovanou a flukтуаční složku (obrázek 8). Pro rychlost pak platí:

$$u = \bar{u} + u' \quad (22)$$

kde:

- u je okamžitá hodnota rychlosti
- \bar{u} je časově středovaná hodnota
- u' je flukтуаční hodnota rychlosti

Základní problém výpočtu turbulentního smykového napětí spočívá v přítomnosti Reynoldsova napětí $\overline{\rho u'v'}$ v rovnicích popisující pohyb tekutin, takže systém nemůže být uzavřen. Kontrolní objem se silami způsobenými tlakem p , tečným napětím τ a turbulentním smykovým napětím $\overline{u'v'}$ je zobrazen na obrázku 16.



Obrázek 16. Kontrolní objem a síly způsobené tlakem, tečným napětím a turbulentními smykovými napětí. [7]

Reynoldsova napětí tvoří složitý systém diferenciálních rovnic a je obtížně řešitelný. Proto byly zavedeny teorie zabývající se jednodušším vyjádřením Reynoldsových napětí. [6]

Modely **RANS** mohou být uzavřeny jednou z následujících cestou: [10]

1. Eddy-Viscosity Models (**EVM**). Na základě **Boussinequovy hypotézy** o turbulentní (vírové) viskozitě jsou Reynoldsovy napětí modelovány za použití turbulentní (vírové) viskozity μ_t .
2. Reynolds-Stress Models (**RSM**). Řešení diferenciální transportní rovnice pro jednotlivé Reynoldsova napětí. Tento model je výhodný pro komplexní 3D turbulentní proudění s velkými zakřivenými proudnicemi a víry, ale je více náročný na výpočetní kapacitu počítače a obtížněji konverguje než EVM model.

Na základně rozměrové analýzy, turbulentní viskozita μ_t (pro EVM model), může být stanovena z rychlostního a délkového měřítka turbulence. Z hlediska modelování turbulentní viskozity lze modely turbulence rozdělit dle počtu doplňujících diferenciálních rovnic. [6]

Turbulentní viskozita je počítána různě pro jednotlivé turbulentní modely dostupné v programu FLUENT: [10]

- **Spalart-Allmaras model**

- Jednorovnicový model, který řeší pouze jednu transportní rovnici pro turbulentní viskozitu.

$$u_t = f(\tilde{\nu}) \quad (23)$$

- **Standart k - ε , RNG k - ε , Realizable k - ε model**

- Tyto dvou-rovnicové modely řeší rovnice pro k a ε .

$$u_t = f\left(\frac{\rho \cdot k^2}{\varepsilon}\right) \quad (24)$$

- **Standart k - ω , SST k - ω model**

- Tyto dvou-rovnicové modely řeší rovnice pro k a ω .

$$u_t = f\left(\frac{\rho \cdot k}{\omega}\right) \quad (25)$$

kde: (Rovnice 25)

- ν je kinetická vírová (turbulentní) viskozita [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
- k je turbulentní kinetická energie [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$]

- ε je míra disipace [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$]
- ω specifická míra disipace ($\omega \approx \varepsilon / k$) [s^{-1}]

Přehled modelů; turbulence je vidět v tabulce 4:

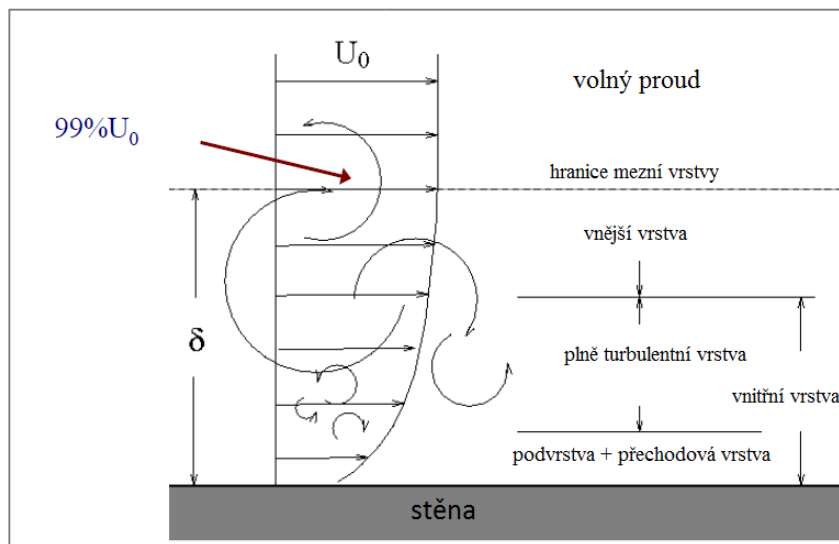
Tabulka 4. Přehled modelů turbulence. [10]

Model	Popis modelu
Spalart Allmaras	Jedno-rovnicový model. Navrhnutý pro letecké aplikace týkající se proudění kolem stěn na velmi jemné výpočetní síti. Výhodný pro velké výpočetní síť. Nevhodný pro 3D proudění. Vhodný pro mírně komplexní, vnější i vnitřní toky a proudění za tlakových rozdílů (např. trup letadla, trupy lodí, rakety).
Standart $k-\varepsilon$	Základní dvou-rovnicový model. Koeficienty jsou empiricky odvozeny. Široce využívaný navzdory jeho známým limitacím. Nedostatečný pro proudění s velkým tlakovým gradientem, proudění s velmi zakřivenými proudnicemi. Vhodný pro počáteční iteraci, počáteční testování alternativních návrhů.
RNG $k-\varepsilon$	Varianta standardního $k-\varepsilon$ modelu. Rovnice a koeficienty jsou analyticky odvozeny. Možnost pro předpovídání víření a proudění s nízkým Reynoldsovým číslem. Vhodný pro komplexní smykové proudění zahrnující mírné víry, víření, a lokálně přechodné toky (větrání místností).
Realizable $k-\varepsilon$	Varianta standardního $k-\varepsilon$ modelu. Určité změny v tomto modelu zlepšují jeho výkon. Nabízí stejné výhody jako RNG model, pravděpodobně přesnější a snadněji konverguje.
Standart $k-\omega$	Dvou-rovnicový model řeší k a ω . Tento základní model prokazuje vynikající výkon pro toky kolem zdí a proudění s nízkým Reynoldsovým číslem. Možnost pro přechodné (má tendenci předpovídat přechod předčasně) stlačitelné proudění.
SST $k-\omega$	Varianta standardního $k-\omega$ modelu. Kombinuje originální model $k-\omega$ pro oblasti v blízkosti stěn a standartní $k-\varepsilon$ model dále od stěn za použití funkce prolnutí.
RSM	Reynoldsovy napětí jsou řešeny přímo transportními rovnicemi, tím se vyhne předpokladu izotropní viskozity, která je předpoklad pro ostatní modely. Použití pro vysoce vířivé toky s velmi zakřivenými proudnicemi a silnými víry. Více náročný na čas a výpočetní kapacitu.

6.2.4 Modelování proudění v blízkosti stěn

Modelování proudění v blízkosti stěny ovlivňuje obraz proudění v celé oblasti domény. V blízkosti stěny se řešené veličiny rychle mění. Experimenty prokázaly, že oblast u stěny (**mezní vrstva**) se rozděluje na více oblastí.[6]

1. **Laminární podvrstva** – vrstva **bezprostředně u stěny**, proudění je zde téměř laminární a dominantní vliv na přenos tepla, hybnosti a hmotnosti má molekulární viskozita.
2. **Přechodová vrstva** – vrstva mezi laminární podvrstvou a vnější částí (plně turbulentní vrstvou).
3. **Turbulentní vrstva** – dominantní úlohu zde hrají turbulence.



Obrázek 17. Mezní vrstva proudění u zdi. [10]

Proudění v blízkosti stěny lze modelovat dvěma způsoby: [6]

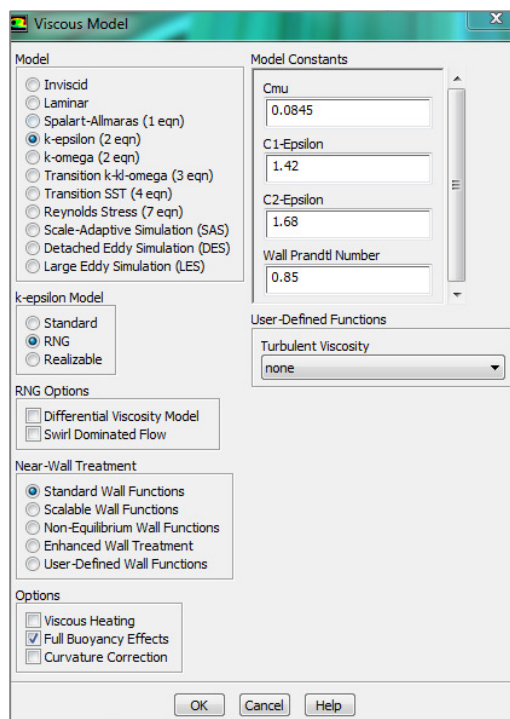
- **Užitím stěnové funkce:** Standartní (Standart Wall Function, SWF) a Nerovnovážná (Non-equilibrium Wall Function, NWF) stěnové funkce, pomocí které se překlene oblast laminární podvrstvy a přechodové vrstvy. Stěnové funkce představují soubor poloempirických vztahů a funkcí, které umožňují propojení proměnné v buňce v blízkosti stěny s hodnotou na stěně. Stěnové funkce jsou vhodné pro proudění s velkým Reynoldsovým číslem, umožňují dostatečně přesné řešení, hustota sítě v blízkosti stěny může být relativně hrubá a snižují nárok na výpočet. [6] [10]
- **Modelováním proudění u stěny** (Enhanced Wall Treatment Option, EWT). V programu Fluent je tato metoda definována jako tzv. metoda modelování v blízkosti

stěhy – dvouvrstvý model. U této metody je nutné vytvořit jemnou výpočetní síť v blízkosti stěny (více jak 10 buněk ve vnitřní vrstvě) a model turbulence je pak modifikován pro vnitřní vrstvu. [6] [10]

Jak již bylo řečeno, Standardní stěnová funkce umožňuje dostatečně přesné řešení pro proudění s velkým Reynoldsovým číslem. Nerovnovážnou stěnovou funkci je pak možné použít, pokud je proudění vystaveno účinkům tlakového gradientu a nerovnováhy. K modelování proudění u stěny (dvouvrstvý model) je nutné přistoupit v následujících případech: [6]

- Jedná-li se o proudění s nízkým Reynoldsovým číslem, má-li vliv stěny velký vliv na obraz proudění (např. proudění štěrbinou, proudění velmi vazkých tekutin, proudění s malou rychlostí).
- Silný tlakový gradient způsobí odtržení mezní vrstvy.
- Významné působení tlakových sil.
- Trojrozměrné proudění v blízkosti stěny.

Nastavení modelu proudění v programu FLUENT je možné vidět na obrázku 18.



Obrázek 18. Nastavení modelu proudění v programu FLUENT.

6.3 Modelování přenosu tepla

Jak již bylo řešeno v kap. 6.1.1 Stavové rovnice, k popisu proudění jsou potřeba pouze rovnice pro zachování hmotnosti (rovnice kontinuity) a rovnic hybnosti. Pokud však problém, který je řešen zahrnuje i přenos tepla, pak je nutné nastavit jeho řešení v programu.

Teplo může být přenášeno 3 základními principy: [6] [2]

- **Kondukcí** (vedení tepla) – důsledek pohybu elektronů mezi pevně fixovanými molekulami pevné látky, popřípadě mezi pohybujícími se molekulami kapalně či plynné látky.
- **Konvekcí** (proudění tepla) – přenos tepla důsledkem proudění tekutiny.
- **Radiací** (sálání tepla) – důsledek elektromagnetického záření.

Složitost matematické modelu přenosu tepla v tekutinách je dána tím, že jednotlivé principy přenosu tepla se v realitě nevyskytují izolovaně. To znamená, že při šíření tepla se obvykle nevyskytuje pouze jeden z uvedených způsobů, ale podílí se na něm více způsobů zároveň. Matematický model pro přenos tepla v tekutinách konvekcí a kondukcí vychází Modelování přirozeného proudění

Přirozená proudění můžeme pozorovat, když je v daném prostoru zdroj tepla (např. osoby atd.) a hustota tekutiny se mění se změnou teploty, proudění je pak vyvoláváno gravitační silou působící na rozdílné hustoty.

Za předpokladu nestlačitelné kapaliny, lze použít **Boussinesqův model**, kde je počítáno s konstantní hustotou (zadanou hodnotou) ve všech řešených rovnicích, s výjimkou vztakového členu v rovnici hybnosti. V tomto modelu je použita **Boussineqova aproximace** (rovnice 26) za účelem eliminovat člen hustoty ρ ve vztakovém členu v rovnici hybnosti. [6] [11]

$$\rho = \rho_0 (1 - \beta \cdot \Delta T) \quad (26)$$

kde:

- ρ_0 je konstantní hustota (zadaná hodnota) [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
- β je koeficient teplotní roztažnosti [K^{-1}]

Boussinesqova aproximace je platná pro malé rozdíly hustot. Boussinesqův model je výstižný pro případy, kdy platí následující vztah (rovnice 27). [11]

$$\beta(T - T_0) \ll 1 \quad (27)$$

Výhodou tohoto modelu je rychlejší konvergence než při použití modelu, kdy je hustota funkcí teploty. Omezením tohoto modelu je pak kromě vhodnosti použití pouze pro malé rozdíly hustot také to, že nemůže být použita spolu s modelováním přenosu částic, hoření a reaktivních toků. [13]

Boussinesqův model musí být použit, pokud je řešeno stacionární proudění. Pro nestacionární proudění je možné použít buď Boussinesqův model nebo model, kdy je hustota vzduchu závislá je jeho teplotě.

6.3.1 Modelování přenosu tepla radiací

Tělesa vyzařují elektromagnetické vlnění o různých vlnových délkách. Část tohoto elektromagnetického vlnění, které odpovídá vlnové délce infračerveného záření (0,78 až 360 μm) se nazývá tepelným zářením či sáláním. Toto záření se při dopadu na jiné těleso částečně odrazí, absorbuje a případně část projde tělesem. Část záření je také rozptýlena látkou, která vyplňuje prostor mezi tělesy (např. prachem, dalšími částicemi). [14]

V programu ANSYS FLUENT je k dispozici několik modelů radiace. Obecně by radiace měla být v modelu zahrnuta, pokud je tepelný tok radiací (rovnice 28) roven nebo větší než přenos tepla konvekcí a kondukcí. [13]

$$Q_{rad} = \sigma(T_{max}^4 - T_{min}^4) \quad (28)$$

kde:

- T je termodynamická teplota [K]
- σ je Stefan-Boltzmanova konstanta ($\sigma = 5,68 \cdot 10^{-8}$) [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$]

Modely radiace v programu ANSYS FLUENT jsou následující: [13]

- **Discrete Orinated Model (DOM)** – tento model řeší radiální rovnici přenosu pro diskrétní počet pevných úhlů. Rovnice přenosu zahrnuje také rozptyl radiace látkou mezi tělesy, proto je vhodný pro model obsahující poloprůhledné látky. Umožňuje také pomocí „banded-gray option“ nastavit přenos závislý na vlnové

délce (Intenzita záření je různá pro různé vlnové délky). Nevýhodou je náročnost na výpočetní kapacitu počítače pro složitější modely.

- **Discrete Transfer Radiation Model (DTRM)** – vychází z předpokladu, že záření opouštějící povrch prvku pod určitým úhlovým rozsahem lze aproximovat pomocí jednoho paprsku. Předpokládá, že všechny povrchy jsou difúzní (odráží záření všemi směry stejné) a efekt rozptylu záření látkou mezi objekty není v tomto modelu zahrnut.
- **P-1 Radiation Model** – výhodou tohoto modelu je jednoduchost řešení rovnic, takže nezabírá příliš výpočetní kapacitu počítače. Výhodou je možnost zahrnout do modelu efekt rozptylu radiace částicemi, kapkami a sazemi. Zjednodušení modelu je difuznost všech povrchů. Je-li optická tloušťka malá, může vést ke ztrátě přesnosti. Tento model také inklinuje k přespřílišnému předpovídání tepelných toků z lokálních tepelných zdrojů
- **Rosseland Model**
- **Surface-to-Surface (S2S)** – S2S model může být použit pro modelování sálavého přenosu v uzavřeném prostoru bez uvažování vlivu látky v prostoru. Tento model je založen na pohledových faktorech. Předpokládá se, že všechny povrchy jsou difúzní. Nemůže být použit s okrajovou podmínkou symetrie.

Optická tloušťka udává, jaká část záření projde látkou (čím větší je optická tloušťka, tím méně záření projde) a rovná se součinu koeficientu absorpce látky a délkovému rozměru domény.

Pro následující problémy mohou být vhodné tyto modely: [13]

- **Náročnost na výpočet** – P-1 model zajistí dostatečnou přesnost s menší náročností než ostatní modely.
- **Vysoká přesnost modelu** – DTRM a DOM.
- **Optická tloušťka** – DTRM/DOM pro opticky tenké látky (optická tloušťka $\ll 1$), P-1 je vhodnější pro opticky tlustší látky
- **Rozptyl sálání částicemi:** P-1 a DOM.
- **Ohraničený prostor bez účasti látky, která ho vyplňuje:** S2S model.

6.4 Okrajové podmínky

Velice důležitou fází vytváření modelu pro simulaci vnitřního prostředí je definování okrajových podmínek. Špatně definované okrajové podmínky mají veliký vliv na konečný výsledek. Okrajové podmínky jsou specifické, jedinečné pro každý řešený problém, musí být specifikovány informace pro hranice domény. To znamená specifikovat toky hybnosti, energie a hmoty proudící do nebo z domény.

Definování okrajových podmínek zahrnuje: [15]

- Identifikace polohy pro okrajové podmínky (např. stěny, přívod vzduchu (inlet), odvod vzduchu (outlet), symetrie a další).
- Zadání informací (známých nebo odhadnutých) pro danou okrajovou podmínku.

6.4.1 Dostupné typy okrajových podmínek v ANSYS FLUENT

Dostupné typy okrajových podmínek v programu ANSYS FLUENT jsou tyto: [15]

- Okrajové podmínky pro plochy hraničící s exteriérem domény:
 - Obecné: Pressure inlet, pressure outlet.
 - Pro proudění **nestlačitelné tekutiny**: Velocity inlet, outflow.
 - Pro proudění **stlačitelné tekutiny**: Mass flow inlet, pressure far-field, mass flow outlet.
 - **Speciální**: Inlet vent, outlet vent, intake fan, exhaust fan.
 - **Ostatní**: Wall (stěna), symmetry.
- Okrajové podmínky pro oblasti buněk uvnitř domény
 - Fluid (tekutina), solid (pevná část, nepropustná), porous media (pro porézní látky), heat exchanger models (model výměníku tepla).
- Okrajové podmínky pro plochy ležící uvnitř domény
 - např. ventilátor, stěna.

Pokud známe, pro nuceně větraný prostor, tlakový rozdíl ventilátoru pak použijeme okrajové podmínky Inlet vent, Outlet vent. V případě, že známe objemový průtok vzduch, pak Velocity inlet, Outflow. Nejčastěji používané okrajové podmínky jsou popsány níže. [15]

Velocity inlet (vstup látky do domény):

Jedná se o podmínky, kterou se určí vstup tekutiny do domén pomocí její rychlosti, teploty a směru a případně dalších veličin (např. množství sledovaných částic unášených vzduchem). Lze ji použít například jako okrajová podmínky pro přírodní elementy pro distribuci vzduchu. [15]

Specifikovat rychlost, která vstupuje do domény lze:

- Rychlost, ve směru normály k ploše [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].
- Pomocí komponentů rychlosti v jednotlivých souřadnicích (x; y; z) v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].
- Rychlostí v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] + komponenty jednotlivých souřadnic kartézského nebo cylindrického souřadného systému.

Tento model je určen pro nestlačitelné proudění. Použití tohoto typu pro stlačitelné proudění může vést k fyzikálně nesprávným výsledkům. [13]

Dále je možné specifikovat (i pro ostatní typy „inlet“): [13]

- Teplotu vstupní tekutiny [K, °C].
- Emisivitu povrchu pro model radiace [-].
- Pro model turbulence např. pro model turbulence k-ε hodnoty:
 - Turbulentní intenzitu [%] a hydraulický průměr [m].
 - Turbulentní kinetickou energii k [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$] a její disipaci ε [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-3}$].
 - Turbulentní intenzity [%] a délkové turbulentní měřítko [m].
 - Turbulentní intenzity [%] a poměr turbulentní viskozity [-].

Pressure inlet (vstup látky do domény):

Jako předchozí podmínka je i touto definován vstup tekutiny do domény, na rozdíl však od předchozí okrajové podmínky je touto charakterizován vstup tekutiny pomocí jeho tlaku. Tento model lze použít například pro modelování proudění vzduchu v budově způsobené tlakem větru. Tento model je vhodný pro proudění stlačitelných i nestlačitelných tekutin.

Specifikace tohoto modelu je dána veličinami:

- Totální manometrický tlak – definuje energii proudu [Pa].

- Statický manometrický tlak (ignorován pokud je proudění podzvukové, byl by použit, pokud by bylo řešení iniciováno z této okrajové podmínky) [Pa].
- Směr proudění buď ve směru normály, nebo pomocí vektoru.

Dále je pak možné zadat další hodnoty jako teplota, veličiny pro model turbulence, množství částic a další.

V tomto typu okrajové podmínky **se zadává manometrický tlak**. Absolutní tlak je součet manometrické p_{man} a operačního tlaku p_{op} (rovnice 29). Operační tlak se zadává v programu ANSYS FLUENT pod záložkou „Define“ v části „Operating Conditions“. Někdy může mít operační tlak vliv na přesnost výsledku. [15]

$$P_{absolute} = P_{man} + P_{op}. \quad (29)$$

Outflow (výstup látky z domény):

Touto podmínkou se charakterizuje výstup tekutiny z domény. Tato okrajová podmínka může být použita například pro odvodní elementy při modelování distribuce vzduchu apod. U této podmínky **není požadováno specifikování rychlosti ani tlaku**, je zde **aplikována korekce hmotnostních toků v doméně**. Pro použití této podmínky platí následující pravidla:

- Je určena pro proudění nestlačitelné kapaliny, nemůže být použita pro nestacionární proudění s proměnnou hustotou tekutiny.
- Nemůže být použita dohromady s okrajovou podmínkou Pressure-inlet, pro **vstup musí být použita podmínka Velocity-inlet**.
- Nelze být použita, pokud je očekáván výsledek se zpětným tokem („back flow“). [15]

Pressure outlet (výstup látky z domény):

Tato okrajová podmínka lze interpretovat jako statický manometrický tlak prostředí, do kterého proudí tekutina z domény. U této okrajové podmínky je nutné specifikovat statický manometrický tlak na okrajové výstupní (outlet) ploše. Během iterací nebo jako část konečného řešení se může objevit i zpětný tok proudu do domény. [15]

Okrajová podmínka stěna (Wall):

Používá se k určení ohraničení domény a k definování pevných částí. Jako výchozí nastavení u tohoto typu je tangenciální rychlost tekutiny rovna rychlosti stěny, normálový člen rychlosti tekutiny na stěně je roven nula. V případě že se stěna pohybuje je možná nastavit její tangenciální komponent rychlosti. Je také možné nastavit smykové napětí na stěně způsobené tekutinou i drsnost stěny (ekvivalentní Sand-Grain drsnost). [15]

Pokud je počítáno s řešením energetických rovnic, je nutné nastavit tepelné podmínky na stěně, ty je možné nastavit pěti různými typy: [11]

- **Pevný tepelný tok** povrchu stěny q :
 - Výchozí pro všechny stěny je adiabatická stěna - nastaven tepelný tok $q = 0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.
 - Teplota stěny T_w , v případě, že přilehlou látkou je tekutina, se je počítán programem ANSYS FLUENT takto:

$$T_w = \frac{q - q_{rad}}{h_f} + T_f \quad (30)$$

kde:

- q_{rad} je tepelný tok radiací [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
- h_f je lokální součinitel přestupu tepla kapaliny [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
- T_f je lokální teplota tekutiny [K]
 - Pokud je přilehlá pevná látka, teplota stěny T_w je počítán takto:

$$T_w = \frac{(q - q_{rad})\Delta n}{k_s} + T_s \quad (31)$$

kde:

- Δn je vzdálenost mezi povrchem stěny a středem přilehlé buňky [m]
- k_s je tepelná vodivost pevné látky [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
- T_s je lokální teplota pevné látky [K]
- **Pevná teplota stěny T_w .**
 - Pokud je zadána teplota stěny, **tepelný tok do stěny z tekutiny** je počítán takto:

$$q = h_f (T_w - T_f) + q_{rad} \quad (32)$$

- **Tepelný tok ze stěny do** tekutiny je pro laminární proudění počítán za použití Fourierova zákona (rovnice 32), pro turbulentní proudění je počítán za použití analogie mezi přenosem teploty a pohybu („law-of-the-wall“).

$$q = k_f \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_{stěně} \quad (33)$$

kde:

- n je lokální souřadnice ve směru normály stěny [m]
- k_f je tepelná vodivost tekutiny [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

- Tepelný tok do stěny z pevné látky je počítá takto:

$$q = \frac{k_s}{\Delta n} (T_w - T_s) + g_{rad} \quad (34)$$

- **Konvektivní přenos tepla do stěny.**

- Při tomto typu je uživatelem **zadána externí teplota T_{ext} a součinitel přestupu tepla** na straně exteriéru h_{ext} . Tepelný tok do stěny se počítá dle rovnice 36:

$$q = h_f (T_w - T_f) + q_{rad} = h_{ext} (T_{ext} - T_w) \quad (35)$$

- **Externí radiace**

- Pokud je použit typ externí radiace, uživatel zadá hodnotu **emisivity povrchu externí zdi ε_{ext} a teplotu zdroje radiace T_∞** , tepelný tok do zdi je pak počítán takto:

$$q = h_f (T_w - T_f) + q_{rad} = \varepsilon_{ext} \cdot \sigma (T_\infty^4 - T_w^4) \quad (36)$$

kde:

- q_{rad} je tepelný tok radiací zevnitř domény [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
- σ je Stefan-Boltzmanova konstanta [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$]

- **Kombinace** konvektivního a radiační přenosu.
 - U typu, kdy je zvolena kombinace externích tepelných podmínek je tepelný tok do stěny počítán takto:

$$q = h_f (T_w - T_f) + q_{rad} = h_{ext} (T_{ext} - T_w) + \varepsilon_{ext} \cdot \sigma (T_{\infty}^4 - T_w^4) \quad (37)$$

Okrajová podmínka pro plochy uvnitř domény:

Tyto okrajové podmínky nemají tloušťku a jsou používány pro specifikování fyzikálních modelů např: [15]

- Ventilátory.
- Radiátory.
- Vnitřní stěny, vybavení interiéru (stěny apod.).

Okrajová podmínka pro zónu buněk:

Je možné definovat skupinu buněk jako různý typ materiálu – pevný, tekutý. Pro definovanou skupinu buněk je pak možné nastavit jejich objemový tepelný výkon (zdroj tepla, $[\text{W} \cdot \text{m}^{-3}]$).

Ostatní okrajové podmínky:

Další okrajové podmínky jsou **Symetrie** (nulová normálová rychlost a gradient všech veličin na této podmínce), **periodická okrajová podmínky** a **porézní materiál**.

Okrajové podmínky Periodické a Symetrie se používají za účelem snížení náročnosti na výpočet. Porézní materiál může být použit např. pro modelování toku skrz papírový filtr, děrované plechy apod.

6.5 Tvorba geometrie a výpočtové sítě

Účelem vytvoření geometrie je reprezentovat realitu. Při její tvorbě je však nutné zvážit možné zjednodušení, příliš mnoho detailů v geometrii může vést k velikému nárůstu výpočetní doby, ale také problémy při vytváření výpočetní sítě. Proto musí být již při tvorbě geometrie přihlédnuto k pozdějšímu vytvoření výpočetní sítě (typu prvků buněk, jejich

velikosti). Při zjednodušení reality je nutné přihlídnout ke složitosti modelu a jeho komplexnosti, s ohledem na požadované výsledky a jejich přesnost.

Výpočtová síť představuje systém rozdělení výpočtové oblasti na jednotlivé na sebe navazující buňky (dvojdímenzionální ve 2D prostoru a trojdímenzionální ve 3D prostoru). Vytvoření sítě ve výpočtové oblasti je základní část matematického modelování, na tuto síť jsou pak vztaženy systémy matematických vztahů. Řešení Matematického modelu založeného na systému diferenciálních rovnic je limitováno výkonem výpočetní techniky: [6]

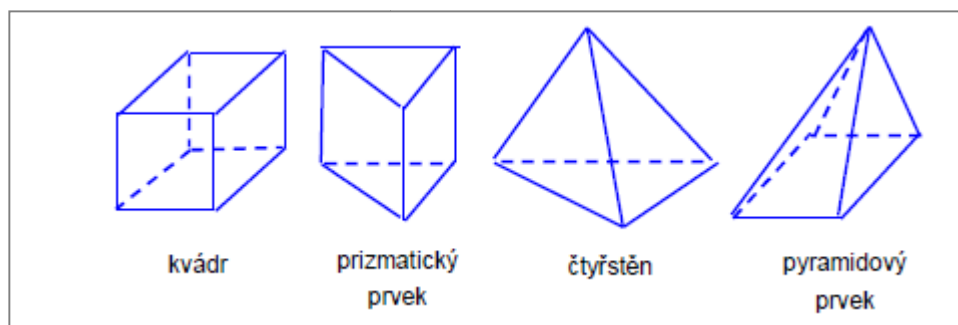
- Výpočet je náročnější, čím více rovnic je zahrnuto do výpočtu.
- Čím více je daná oblast rozdělena na větší počet, tím také stoupá náročnost výpočtu.
- Výpočet je náročnější, čím je kvalita sítě nižší (kvalita sítě je ovlivněna geometrií a uspořádáním buněk).

Hlavní limitující faktor je počet buněk, ty se mohou pohybovat v řádu až desítek miliónů v rámci jednoho modelu a v každé buňce je počítáno mnoho veličin. Je tedy nutné zredukovat počet buněk na nutné minimum, tak aby byla zajištěna dostatečná přesnost výpočtu a zároveň zajištěn přijatelný čas pro provedení simulace.

Snížení počet buněk by však nemělo jít na úkor kvality sítě. Kvalitní síť je taková, která se skládá z geometricky pravidelných, přibližně stejně velkým a pravidelně rozložených buněk po výpočtové oblasti. Jednotlivé buňky by měly mít přiměřenou velikost, tak aby bylo možné zachytit dostatečně přesně daný fyzikální děj. Základním pravidlem při tvorbě **strukturované sítě** je, že hranice jednoho prvku může sousedit pouze s jedinou hranicí druhého prvku a síť je tvořena buňkami tvaru kvádrů a obecných šestistěnů. Novějším typem je **nestrukturovaná síť**, kde je konečným objemem kvádr, čtyřstěn, prizmatický a pyramidový prvek a tyto prvky se mohou kombinovat. Takto lze získat optimálnější síť.

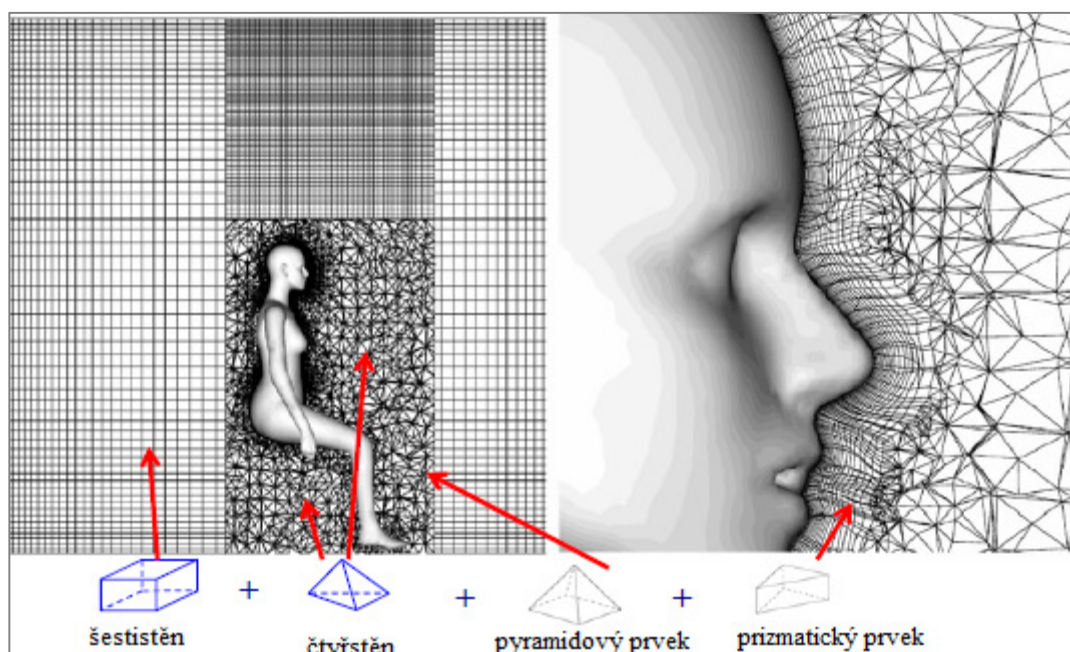
Pokud je model větší velikosti, nelze zajistit dostatečnou velikost buněk ve všech jeho částí, proto se provádí zhušťování buněk v důležitých oblastech.

Na obrázku 6 je možné vidět různé geometrické typy buněk. Výhodou sítě tvořené šestistěny je menší dopad na náročnost výpočtu, lepší přesnost výpočtu a nevýhodou je pak větší čas potřebný k vytvoření sítě tvořené šestistěny, kdy geometrie musí být tvořena z kvádrů (je nutné provést rozdělení modelu na dílčí části – dekompozici modelu na jednotlivé bloky, které mají tvar kvádrů). Síť tvořené čtyřstěny je pak lehčí vytvořit – není nutné provádět rozdělení modelu na dílčí části pro vygenerování sítě. [16]



Obrázek 19. Typy konečných objemů (buněk). [6]

Příklad rozdělení výpočetní oblasti na oblast s rozdílnou velikostí a typem buněk je vidět na obrázku 20.



Obrázek 20. Rozdílný typ a velikost buněk v modelu rozděleném na bloky, pro použití šestistěnných buněk. [17]

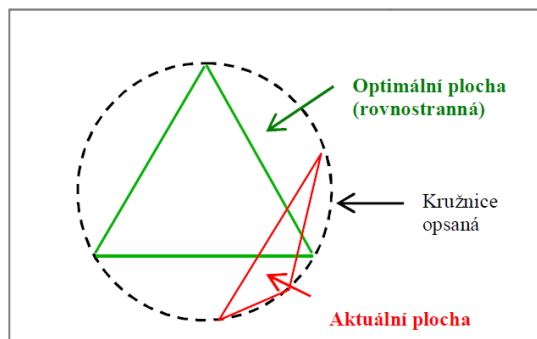
6.5.1 Posouzení kvality sítě

Kvalita výpočetní sítě se posuzuje podle následujících kritérií: [6]

- Velikost buněk (s ohledem na požadovanou přesnost výpočtu)
- Uspořádání buněk v prostoru dle typu konkrétní úlohy (například zhuštění, minimální počet buněk ve vrstvě)
- Kvalita buněk – nesouměrnost (Skewness)

Při posouzení nesouměrnosti buněk, se tvar buňky porovnává s ideálním geometricky pravidelným tvarem. Při jakékoliv tvarové deformaci buňky je její kvalita horší. Kvalita buňky se pak vyjadřuje bezrozměrným číslem v rozsahu 0 až 1, kde 0 znamená nejlepší

výsledek. Tato číselná hodnota se nazývá „míra zkosení buňky“ („skewness measure“) nebo také míra deformace. Optimální geometrie 2D trojúhelníkové buňky je vidět na obrázku 21. [6]



Obrázek 21. Optimální a skutečná plocha buňky. [6]

Nejvíce používaným měřítkem kvality je míra deformace buňky založená na porovnání úhlů Q_{EAS} („EquiAngle Skewness“) nebo na porovnání objemů buněk ve 3D a povrchů ve 2D (Equisize Skewness) Q_{EVS} . [17]

Míra deformace založená na porovnání úhlů Q_{EAS} je definována podle následujícího vztahu, takto lze stanovit míru deformace pro všechny typy prvků: [17]

$$Q_{EAS} = \max \left[\frac{\theta_{\max} - \theta_e}{180 - \theta_e}, \frac{\theta_e - \theta_{\min}}{\theta_e} \right] \quad (38)$$

kde:

- θ_{\max} je velikost největšího úhlu buňky (vnitřního)
- θ_{\min} je velikost nejmenšího úhlu buňky (vnitřního)
- θ_e je optimální velikost úhlu pro daný element (např. 60° pro trojúhelník, 90° pro obdélník)

Míru deformace pro trojúhelníkové prvky lze stanovit také pomocí porovnání optimálního objemu či povrchu buňky se skutečnými hodnotami, míra deformace je pak definována takto Q_{EVS} : [17]

$$Q_{EVS} = \frac{V_{\text{optimal}} - V}{V_{\text{optimal}}} \quad (39)$$

kde:

- V je plocha (2D) nebo objem (3D) dané buňky

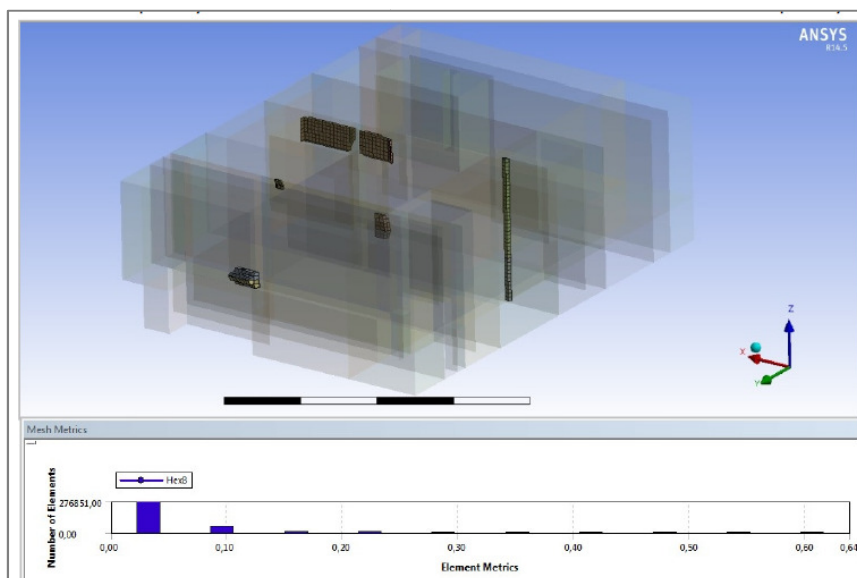
- V_{optimal} je maximální plocha (2D) nebo objem (3D) rovnostranné buňky dané opsanou kružnicí posuzované buňky (viz obrázek 21)

Q_{EVS} or Q_{EAS}	Kvalita
$Q=0$	Perfektní
$0 < Q \leq 0.25$	Výborná
$0.25 < Q \leq 0.5$	Dobrá
$0.5 < Q \leq 0.75$	Dostatečná
$0.75 < Q \leq 0.9$	Slabá
$0.9 < Q \leq 1$	Velmi slabá
$Q = 1$	Nejhorší možná

Obrázek 22. Vyhodnocení kvality buněk. [17]

Míra deformace výpočetní sítě by při použití **šestistěnných** buněk neměla přesáhnout hodnotu **0.85** a při použití **čtyřstěnných** buněk hodnotu **0.9**. [17]

Příklad vyhodnocení výpočetní sítě pro geometrii s vyznačením buněk s nejvyšší mírou deformace je vidět na obrázku 23, míra deformace („skewness“) je vyznačena na dolní liště s daným počtem buněk s touto hodnotou.

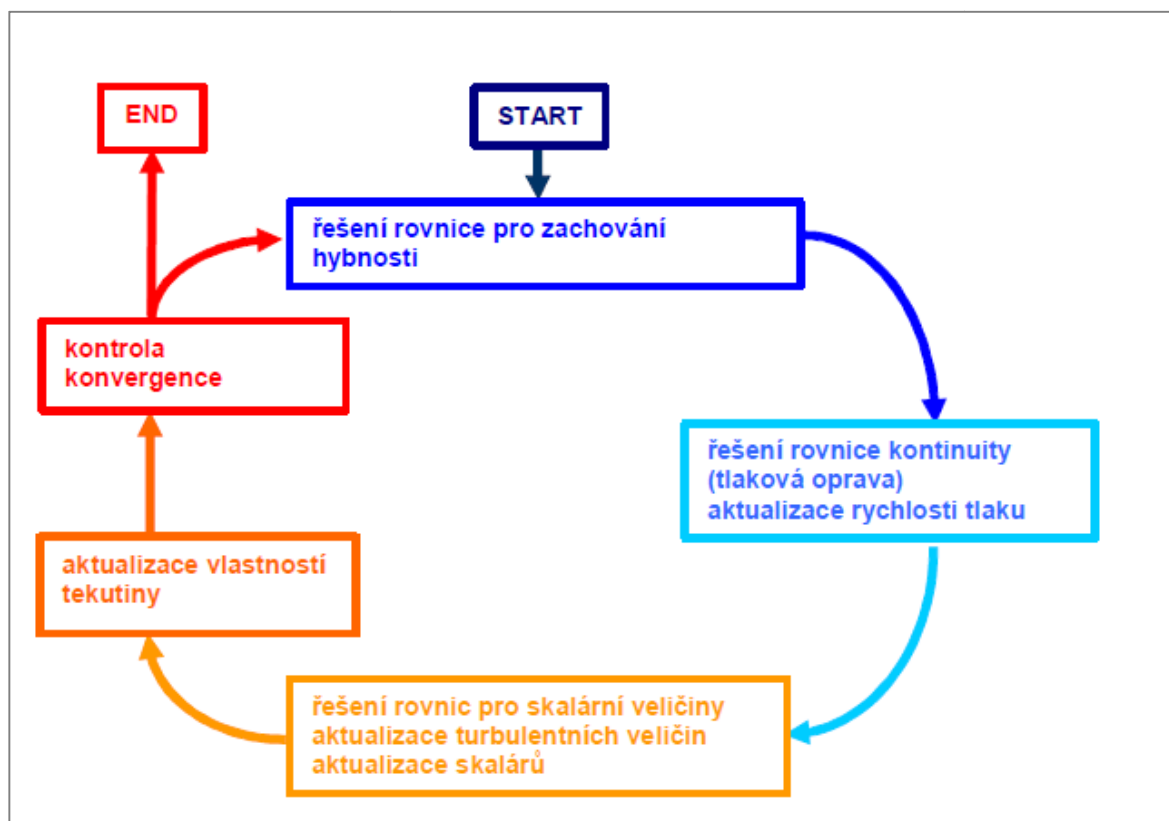


Obrázek 23. Výpočetní síť s vyznačenými buňkami s nejvyšší mírou deformace. [18]

6.6 Systém výpočtu řešení

K popsání proudění kapalin slouží parciální diferenciální rovnice (viz kapitola 6.1.2), tyto rovnice není možné řešit přímo analyticky, proto se využívá numerické metody. Program ANSYS FLUENT pracuje s metodou konečných (kontrolních) objemů. Při této metodě je

výpočetní doména rozdělena výpočetní sítí na konečný počet objemů. Ke každému jednotlivému objemu jsou pak přiřazeny diskretizované diferenciální rovnice, které nahrazují rovnice diferenciální popisující proudění. Diferenciální rovnice jsou pak integrovány podle daného schématu. Každá iterace výpočtu se skládá z kroků zobrazených na obrázku 24.



Obrázek 24. Algoritmus řešení programem ANSYS FLUENT.[6]

Jednotlivé kroky lze popsat slovy takto: [6]

- Pohybové rovnice pro neznámé složky rychlosti jsou řešeny s užitím hodnot tlaků, tak aby bylo aktualizováno rychlostní pole.
- Rychlosti určené v předchozím bodě nesplňují rovnici kontinuity, proto se určí tlakové korekce a poté korekce rychlostního pole.
- Pomocí nových hodnot rychlostí se řeší rovnice pro turbulentní kinetickou energii a její disipaci.
- Poté se aktualizují fyzikální vlastnosti tekutiny (např. viskozita).
- Jako další krok se provede kontrola konvergence, pokud hodnoty reziduálů splňují podmínku ukončení iterace, je výpočet ukončen, jinak se celý proces opakuje.

6.6.1 Diskretizační (Interpolační) metody

Složky rychlosti a skalární veličiny jsou ukládány v geometrických středech kontrolních objemů. Z důvodu výpočtového procesu musí být známy tyto hodnoty na hranicích kontrolních objemů. Hodnoty na hranicích jsou získávány interpolací ze středových hodnot. Za tímto účelem je možné zvolit mezi několika interpolačními schémata, přitom čím je dané schéma přesnější, tím více je náročnější na výpočet: [6]

- Mocninová interpolace.
- Kvadratická upwind interpolace (QICK – Quadratic Upwind Interpolation).
- Interpolace druhého řádu, centrální diference.

6.6.2 Tlakově-rychlostní spojení

Tlakově rychlostní spojení odkazuje na numerický algoritmus, který propojuje rovnice pro kontinuitu a hybnost k odvození tlaku nebo tlakové korekce. Algoritmy dostupné v programu ANSYS FLUENT jsou: [19]

- SIMPLE (Semi Implicit Method for Pressure Linked Equations)
 - Výchozí nastavení, robustní metoda (spolehlivá, netečná vůči změně parametrů).
- SIMPLEC (SIMPLE-Consistent)
 - Zaručí rychlejší konvergenci pro jednoduché případy (např. laminární proudění bez fyzikálních modelů).
- PISO (Pressure-Implicit with Splitting of Operations)
 - Vhodné pro nestacionární proudění nebo pro model s výpočetní sítí obsahující buňky s velkou mírou deformace.

6.6.3 Konvergence řešení

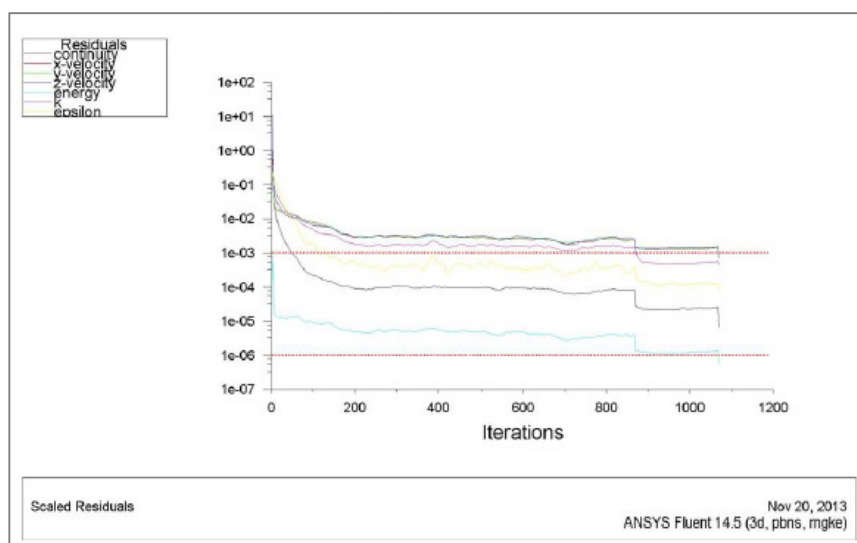
Pokud má být řešení použitelné pro analýzu výsledků, pak je nezbytné, aby dané řešení bylo konvergentní. Konvergentní řešení je takové, které splňuje tyto podmínky:

1. Všechny rovnice jsou vyřešené s požadovanou přesností.
2. Řešení se dále nemění s dalšími iteracemi (např. teplotní, rychlostní pole).
3. Celkové hmotnostní, rychlostní a teplotní bilance jsou dosaženy.

Přitom první bod nemusí být bezpodmínečně splněn, pokud jsou dosaženy ostatní podmínky konvergence.

Pro vyhodnocení prvního bodu slouží monitorování historie reziduálů. Kde reziduály představují rozdíl dvou odpovídajících si veličin v jednom bodě sítě pro dvě po sobě jdoucí iterace.

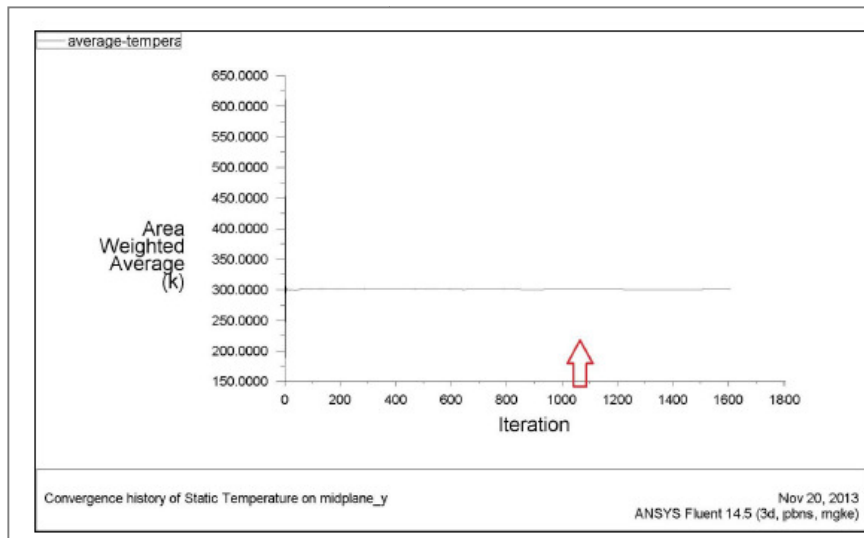
Hodnoty reziduálů by měly s přibývajícím iteracemi klesat. Pokud se tak neděje, je možné změnit hodnoty relaxačních faktorů, které redukují změny každé proměnné v každé iteraci. Hodnoty relaxačních faktorů je nejlépe nastavit na základě zkušeností, jejich vhodné zvolení pak vede k rychlejší konvergenci. [6] [19]



Obrázek 25. Závislost reziduálu sledovaných veličin na počtu iterací. [18]

Pokud hodnoty reziduálu klesnou pod danou hodnotu (červená vodorovná čára na obrázku 14), ale řešení se stále mění nebo nespĺňuje kritérium hmotnostní/tepelné bilance, takové řešení nelze považovat za konvergentní. Proto je vhodné monitorovat průběh zvolené proměnné v závislosti na počtu iterací, například průměrnou hodnotu teploty vzduchu na řezu místnosti.

Pokud se tato veličina nemění s přibývajícím iteracemi, je dosaženo stabilního řešení. Je-li také splněna podmínka hmotnostní/teplotní bilance a hodnoty reziduálů jsou pod danou úrovní (nebo nedochází k výkyvům v jejich hodnotách či nárůstu) je možné považovat řešení za konvergentní.



Obrázek 26. Závislost průměrné teploty na řezu místnosti na počtu iterací. [18]



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

B. APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ – KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

B. TOPIC APPLICATION ON THE BUILDING – CONCEPT OF SOLUTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAN PŘIKRYL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

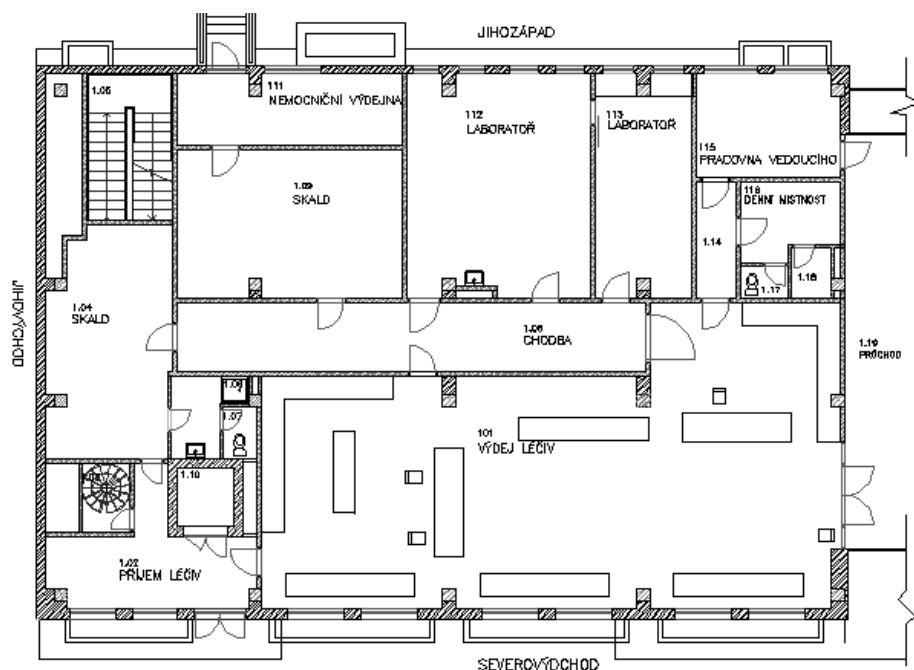
BRNO 2015

7 Koncepční řešení - Analýza

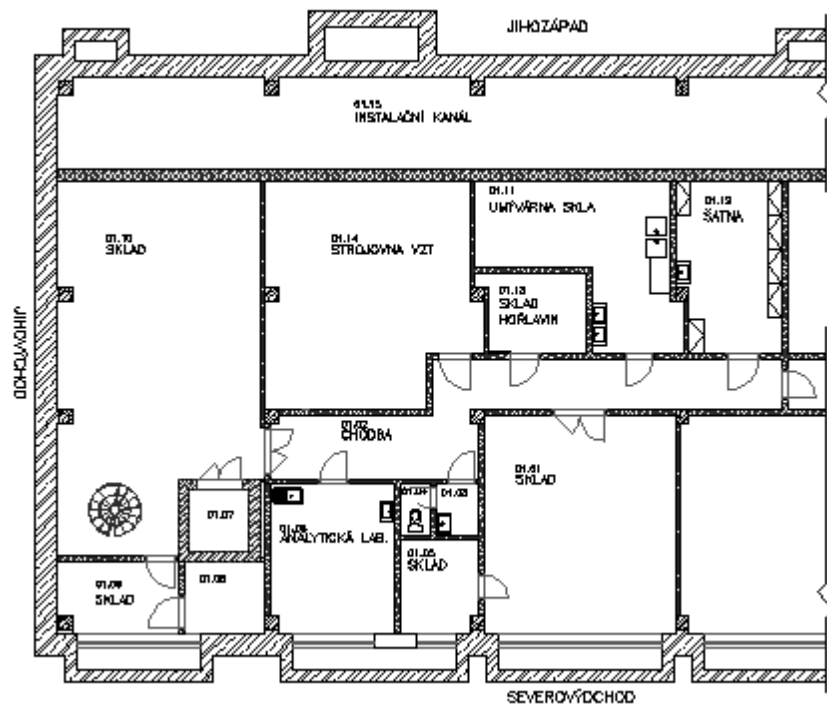
V této části jsou představeny jednotlivé varianty řešení zařízení pro vnitřní prostředí. Jednotlivá řešení jsou navržena pro celé lékárenské prostory, tak aby byla zjištěna návaznost a proveditelnost řešení v celém objektu. Pro jednotlivé varianty pak byl vytvořen model vnitřního prostředí v místnosti výdeje léčiv

7.1 Analýza objektu

Výdejna léčiv je součástí lékárenský prostorů umístěných v budově situované v areálu nemocnice v Břeclavi. Jedná se o třípodlažní budovu, přičemž lékárenské prostory se nacházejí v 1. podzemním a v 1. nadzemním podlaží. Druhé nadzemní podlaží s lékárenskými prostory nespojuje. Nosný systém budovy je železobetonový skelet s výplňovým zdivem z pórobetonových tvárnic. V podzemním podlaží je obvodová železobetonová stěna. Střecha je plochá, krytina je z asfaltových pasů. Světlá výška je v 1. NP 3.0 m a v 1. PP 2.8 m. V podzemním podlaží vede instalační kanál, dále pak jsou zde prostory šatny pro zaměstnance, sklady léčiv, sklad hořlavlin, hygienické zařízení a laboratoř. V 1. nadzemním podlaží je výdejna léčiv, a další prostory sloužící provozu lékárny. [20]



Obrázek 27. Půdorys 1. NP.



Obrázek 28. Půdorys 1. PP.

7.1.1 Klimatické údaje stavby [20]

místoBřeclav, Česká republika

tlak vzduchu99,3 kPa

nadmořská výška157,7 m n. m.

výpočtová teplota vzduchu pro léto30 °C

výpočtová teplota vzduchu pro zimu-12 °C

entalpie v létě59,1 kJ·kg⁻¹

relativní vlhkost vzduchu v zimě95 %

7.1.2 Návrhové parametry vnitřního prostředí

Návrhové letní a zimní teploty pro jednotlivé místnosti jsou vidět v Tabulce 5. Teploty vnitřního vzduchu byly určeny tak, aby splňovaly legislativní požadavky.

Tabulka 5. Návrhové parametry vnitřního prostředí. [20]

č.m.	období název	letní		zimní	
		t_{il}	ϕ_{il}	t_{iz}	ϕ_{iz}
		[°C]	[%]	[°C]	[%]
101	výdej léčiv	25	50	20	35
102	příjem léčiv	26	50	20	35
103	schodiště	25	50	20	35
104	sklad	25	50	20	35
106	předsíň, sprcha	26	50	24	35
107	WC	26	50	20	35
108	chodba	26	50	20	35
109	sklad	25	50	20	35
110	výtah. šachta	26	50	20	35
111	nemocniční výdejna	26	50	20	35
112	laboratoř	26	50	20	35
113	laboratoř	26	50	20	35
114	chodba	26	50	20	35
115	pracovna vedoucího	26	50	20	35
116	denní místnost	26	50	20	35
117	WC	26	50	20	35
118	úklidová místnost	26	50	20	35
01.01	sklad	25	50	20	35
01.02	chodba	26	50	20	35
01.03	předsíň	26	50	20	35
01.04	WC	26	50	20	35
01.05	sklad	25	50	20	35
01.06	laboratoř	26	50	20	35
01.07	výtah. šachta	26	50	20	35
01.08	strojovna výtahu	26	50	20	35
01.09	sklad	25	50	20	35
01.10	sklad	25	50	20	35
01.11	umývárna skla	26	50	20	35
01.12	šatna	26	50	20	35
01.13	sklad hořlavin	26	50	20	35
01.14	strojovna VZT	26	50	20	35

7.1.3 Tepelné ztráty a zátěže

Výpočet tepelných zátěží a ztrát byl proveden v bakalářské práci lit. [20]. Postup výpočtu tepelné zátěže pro jednotlivé místnosti je uveden v bakalářské práci na str. 28 až 31 a podrobné výpočty jsou umístěny v příloze v této práci lit.[20]. V Tabulce 6 jsou uvedeny vypočtené výsledné hodnoty pro tepelné zátěže.

Tabulka 6. Celková tepelná zátěž a vodní zisky.

číslo m.	název	celková tepelná zátěž [W]	Vodní zisky [q·s ⁻¹]
101	výdej léčiv	5950,00	0,21
103	schodiště	118,00	0,00
104	sklad	443,00	0,03
109	sklad	522,00	0,03
112	laboratoř	1603,00	0,03
113	laboratoř	1022,00	0,03
115	pracovna vedoucího	1510,00	0,03
01.01	sklad	196,00	0,00
01.05	sklad	81,00	0,00
01.06	laboratoř	723,00	0,03
01.09	sklad	102,00	0,00
01.10	sklad	331,00	0,00

Výpočet tepelných ztrát byl vypočítán podle ČSN EN 12 831 Tepelné soustavy v budovách – výpočet tepelného výkonu. Podrobný výpočet je v bakalářské práci lit. [20]. V Tabulce 7 jsou výsledné vypočtené hodnoty.

Tabulka 7. Návrhové ztráty prostupem.

číslo m.	název	návrhová ztráta prostupem [W]
101	výdej léčiv	1344,00
102	příjem léčiv	367,00
104	sklad	139,00
106	předsíň, sprcha	154,00
107	WC	-37,00
108	chodba	-28,00
109	sklad	28,00
110	výtah. šachta	43,00
111	nemocniční výdejna	407,00
112	laboratoř	455,00
113	laboratoř	183,00
115	pracovna vedoucího	580,00
116	denní místnost	20,00
118	úklidová místnost	16,00
01.01	sklad	321,00
01.02	chodba	151,00
01.03	předsíň	12,00
01.04	WC	9,00
01.05	sklad	99,00
01.06	laboratoř	234,00
01.07	výtah. šachta	26,00
01.08	strojovna výtahu	66,00
01.09	sklad	183,00
01.10	sklad	485,00
01.11	umývárna skla	198,00
01.12	šatna	125,00
01.13	sklad hořlavin	17,00
01.14	strojovna VZT	208,00

7.2 Průtoky vzduchu

Přívod minimálního množství čerstvého vzduchu byl stanoven jako větší z hodnot:

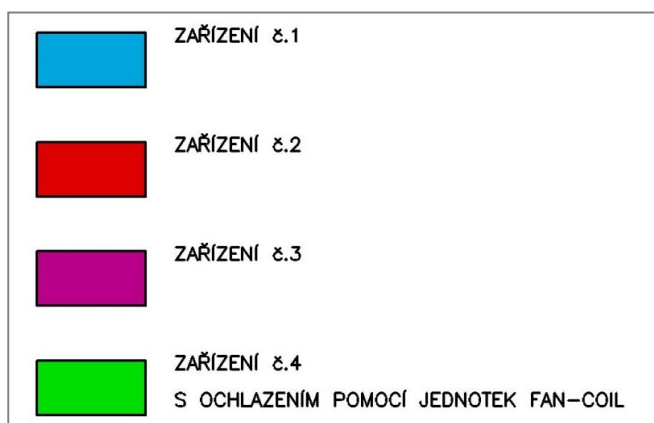
- Násobné výměny vzduchu vztahované na objem místnosti:
 - 2 násobná výměna vzduchu v laboratořích.
 - 0,5 násobná výměna vzduchu v ostatní místnostech.
- Množství čerstvého vzduchu na osobu/zařízení:
 - $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu (stanovení dle předpokládaného množství zaměstnanců v místnosti).
 - $110 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na sprchu.
 - $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na záchodovou mísu.
 - $30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na umyvadlo v umývárně skla.
 - $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na místo/skříňku v šatně.

8 Varianta č. 1

Tato varianta je převzatá z bakalářské práce – lit. [20] a je založena na dvou centrálních VZT jednotkách umístěných ve strojovně VZT v podzemním podlaží. K rozvodu čerstvého vzduchu je použito VZT potrubí a vyústky jako distribuční prvky v jednotlivých místnostech. Centrální VZT jednotky zajišťují ohřev vzduchu a vlhčení v zimním období na teplotu interiéru a požadovanou vlhkost. Dále v letním období chlazení vzduchu. V některých místnostech jsou pak k pokrytí tepelné zátěže použity decentrální jednotky vodního chlazení FAN-COIL. Je počítáno s umístěním zdroje chladu na střeše budovy. Vytápění je zajištěno otopnými tělesy.

Rozdělení prostor na jednotlivé celky je následující:

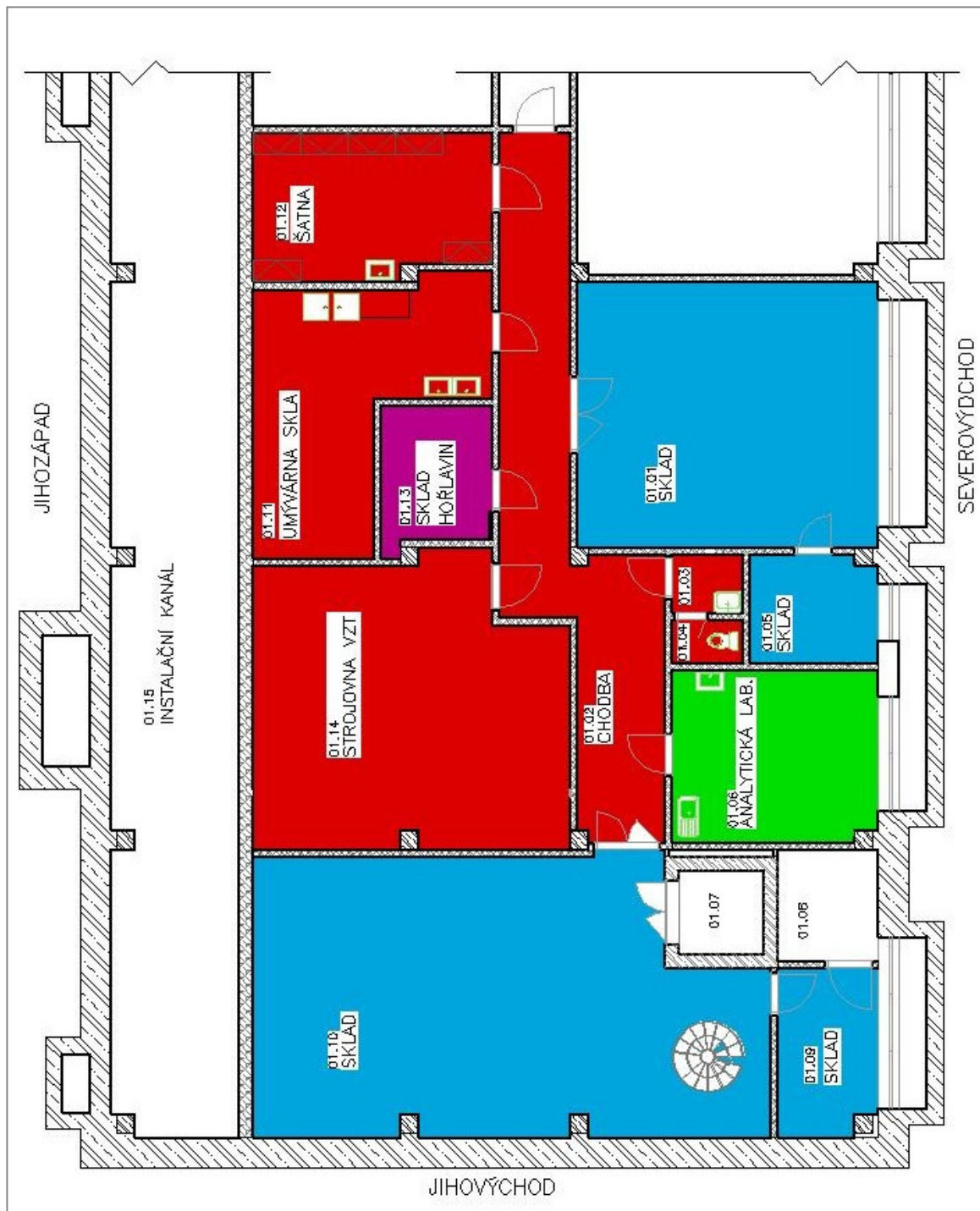
1. **Prostory pro skladování léčiv** – zajišťuje klimatizaci a ohřev vzduchu na požadovanou teplotu interiéru v zimním období (modrá šrafa) – VZT jednotka č. 1.
2. **Prostory bez trvalého pobytu pracovníků** – zajišťuje větráním s ohřevem vzduchu v zimním období a ochlazením v letním období na požadovanou teplotu interiéru (červená šrafa) – VZT jednotka č.2.
3. **Prostory skladu hořlavin** – nucené větrání (fialová šrafa) – diagonální ventilátor.
4. **Prostory s dlouhodobým pobytem pracovníků** – zajišťuje systém kombinované klimatizace s decentrálními oběhovými jednotkami nepřímého chlazení (FAN-COIL) s přívodem čerstvého vzduchu pomocí VZT jednotky č. 2 (zelená šrafa).



Obrázek 29. Legenda šraf k půdorysům rozdělení podlaží na VZT celky (obrázky 30 a 31). [20]



Obrázek 30. 1. NP – rozdělení dle VZT celků na jednotlivá zařízení. [20]



Obrázek 31. 1. PP – rozdělení dle VZT celků na jednotlivá zařízení. [20]

8.1 Průtoky vzduchu

Množství přiváděného čerstvého vzduchu spolu s minimální požadovaným množstvím do jednotlivých místností a množství odváděného vzduchu je zobrazen v Tabulce 8.

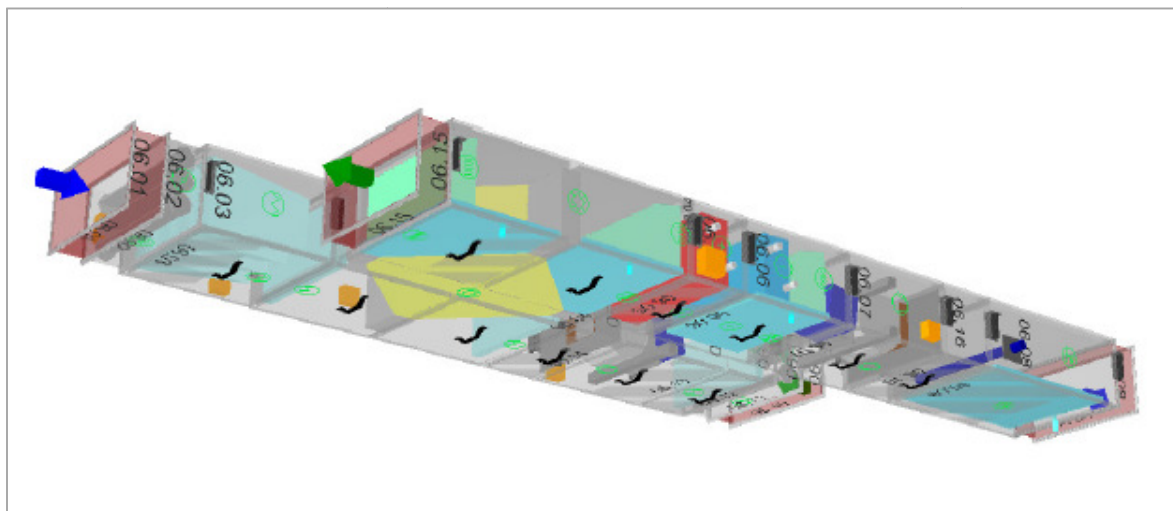
Tabulka 8. Potřeba čerstvého vzduchu a tlakové poměry pro jednotlivé místnosti (místnost výdeje léčiv 101 – červená barva). [20]

číslo místnosti	název	podlahová plocha [m ²]	objem místnosti [m ³]	n - náso bná výmě na [h ⁻¹]	V _n [m ³ ·h ⁻¹]	počet osob, zařízení [osob,zař.]	potřeba vzduchu na osobu, zařízení [m ³ ·h ⁻¹]	V _{po} [m ³ ·h ⁻¹]	V _{pe} > { V _{po} ; V _n } [m ³ ·h ⁻¹]	přiváděný vzduch do místnosti [m ³ ·h ⁻¹]	odváděný vzduch z místnosti [m ³ ·h ⁻¹]
VZT JEDNOTKA Č.1											
1. NP											
104	sklad	39,73	0,00	0,5	0,00	1	50	50	50,00	312,0	202,0
109	sklad	34,56	0,00	0,5	0,00	1	50	50	50,00	194,0	194,0
106	sprcha	4,70	0,00	0,5	0,00	1	110	110	110,00	0,0	110,0
1. PP											
01.01	sklad	35,59	0,00	0,5	0,00	0	0	0	0,00	119,0	0,0
01.05	sklad	6,08	0,00	0,5	0,00	0	0	0	0,00	0,0	119,0
01.09	sklad	7,29	0,00	0,5	0,00	0	0	0	0,00	70,0	0,0
01.10	sklad	67,34	0,00	0,5	0,00	0	0	0	0,00	123,0	193,0
Σ										818	818
VZT JEDNOTKA Č.2											
1. NP											
101	výdej léčiv	126,3	378,9	0,5	189,45	5	50	250	250,00	294,0	154,0
102	příjem léčiv	16,4	49,1	0,5	24,57	0	0	0	24,57	60,0	60,0
108	chodba	30,4	91,1	0,5	45,53	0	0	0	45,53	0,0	140,0
112	laboratoř	38,5	115,6	2	231,18	1	50	50	231,18	232,0	232,0
113	laboratoř	20,7	62,1	2	124,20	1	50	50	124,20	124,2	124,0
114	chodba	4,4	13,2	0,5	6,62	0	0	0	6,62	0,0	115,0
115	pracovna vedoucího	14,0	41,9	0,5	20,94	1	50	50	50,00	95,0	0,0
116	denní místnost	6,8	20,3	0,5	10,13	0	0	0	10,13	70,0	0,0
117	wc	1,5	4,4	0,5	2,18	1	50	50	50,00	0,0	50,0
1. PP											
01.04	wc	1,9	5,2	0,5	2,62	1	50	50	50,00	0,0	50,0
01.06	analytická laboratoř	15,6	43,8	2	87,58	0	0	0	87,58	125,0	75,0
01.11	umývárna skla	21,5	60,3	0,5	30,16	4	30	120	120,00	120,0	120,0
01.12	šatna	15,0	42,1	0,5	21,03	6	20	120	120,00	120,0	120,0
01.14	sklad	34,8	97,4	0,5	48,72	0	0	0	48,72	55,0	55,0
Σ										1295	1295
Σ CELK.										2113	2113

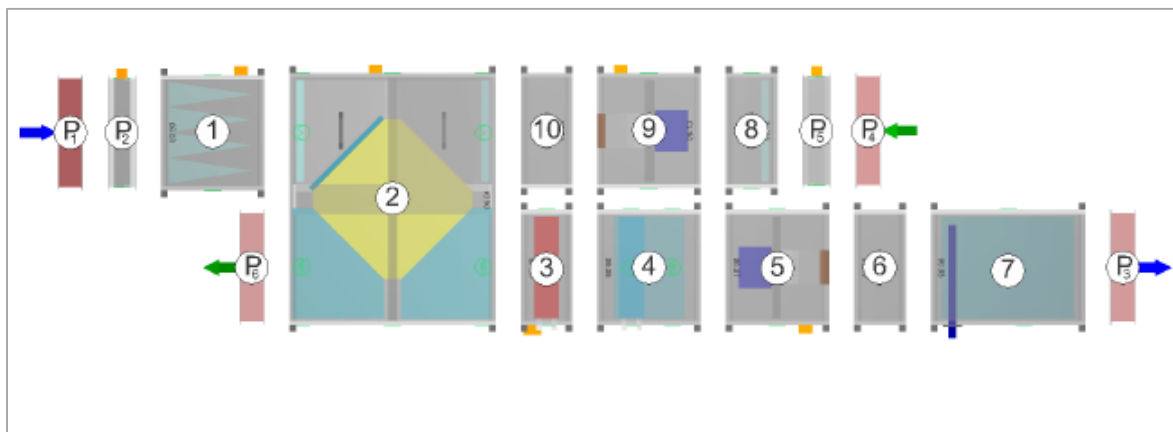
8.2 VZT zařízení

8.2.1 Zařízení č. 1 – centrální jednotka

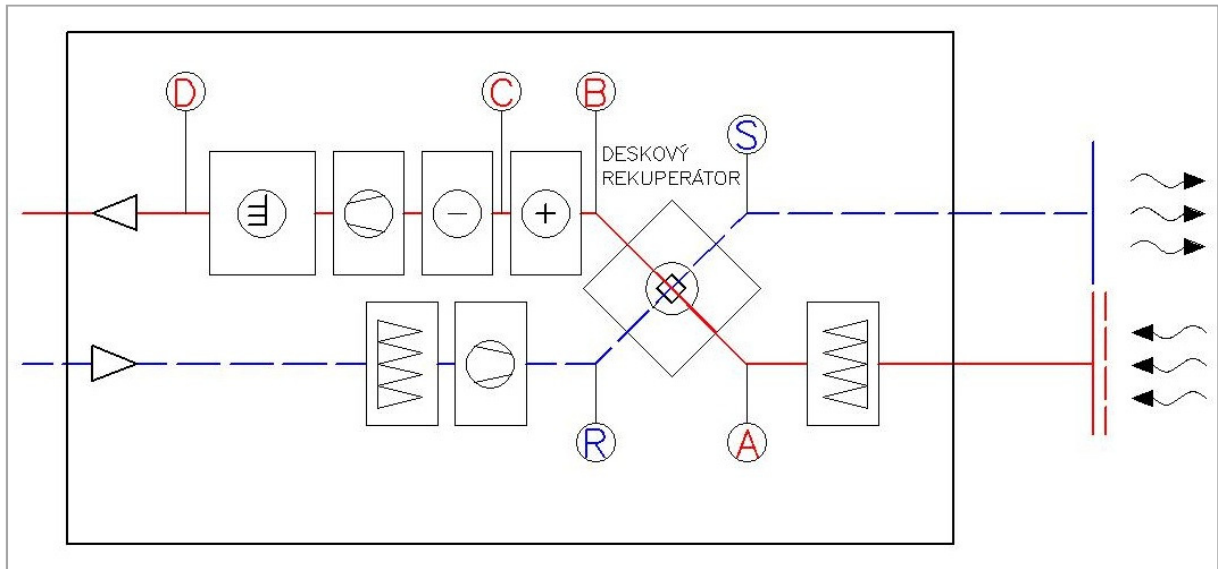
Tato jednotka zajišťuje úpravy vzduchu pro prostory určené ke skladování léčiv. Za tímto účelem byla navržena podstropní jednotka v programu AeroCAD.



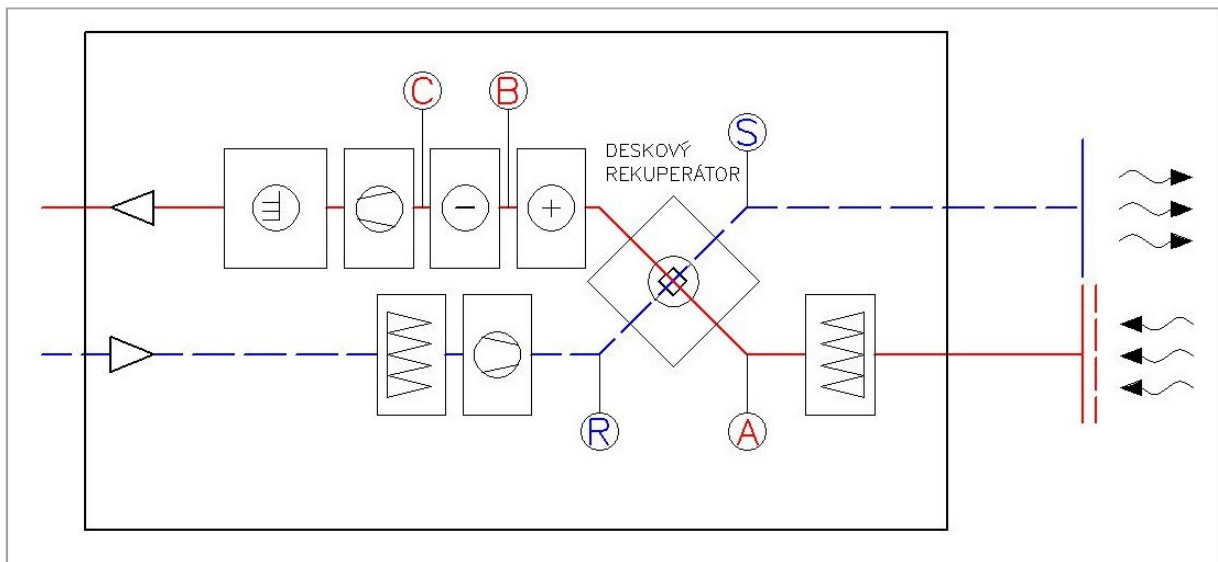
Obrázek 32. Pohled na jednotku č. 1 – vytvořeno v program AeroCAD.



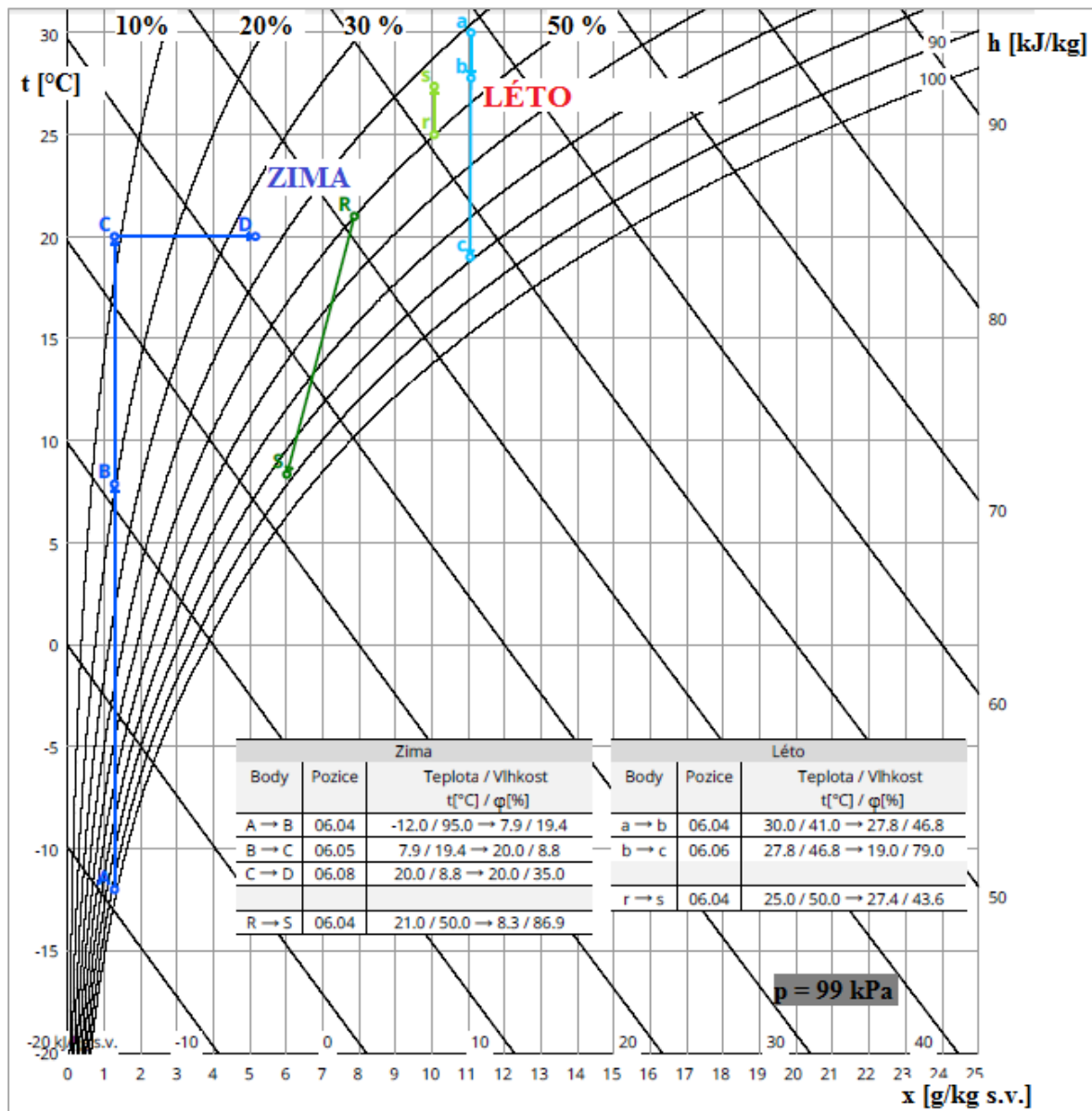
Obrázek 33. Blokové schéma jednotky č. 1 – vytvořeno v programu AeroCAD.



Obrázek 34. Schéma zařízení č. 1 – zimní provoz. [20]



Obrázek 35. Schéma zařízení č. 1 – letní provoz. [20]

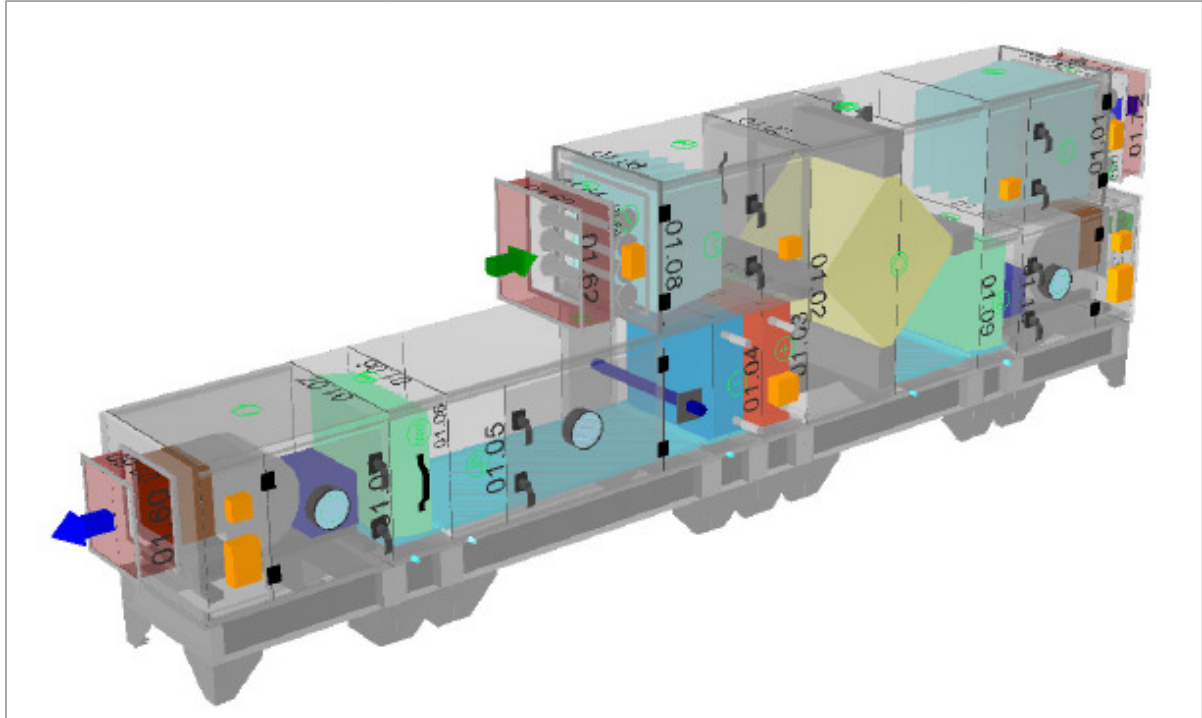


Obrázek 36. Úpravy vzduchu v centrální VZT jednotce č. 1 – vytvořeno v programu AeroCAD.

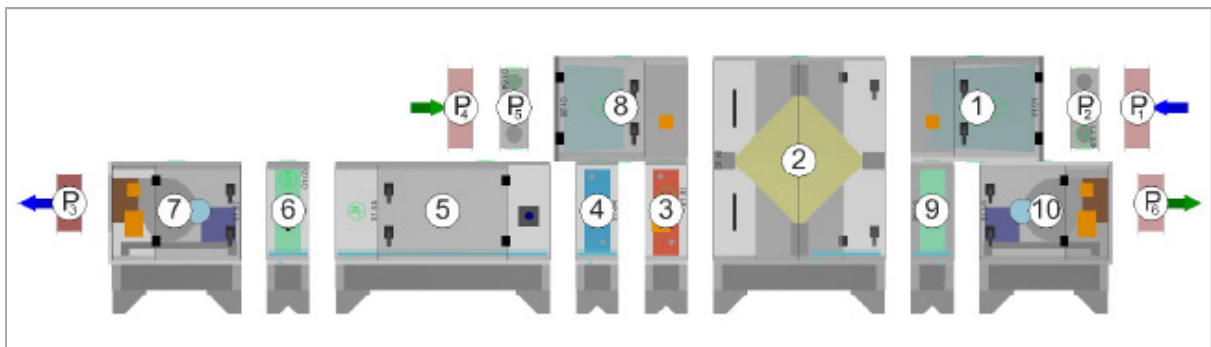
Pro použitý teplotní spád chladicí vody (7/13 °C) a němu odpovídající střední teplotě výměníku přibližně 10 °C by mělo při chlazení vzduchu v chladiči (stav A -> B) docházet ke kondenzaci vody a tzv. mokrému chlazení. Stavů C by pak odpovídala nižší relativní a měrná vlhkost vzduchu. To samé platí i pro Obrázek 41 a 51.

8.2.2 Zařízení č. 2 – centrální jednotka

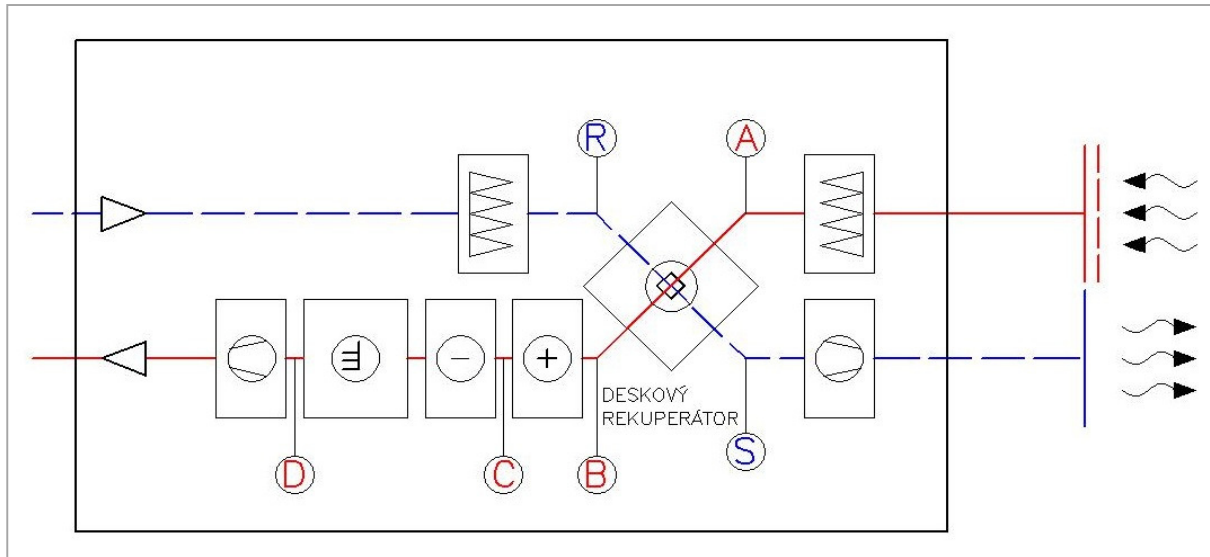
Tato centrální jednotka zajišťuje úpravy vzduchu pro ostatní nuceně větrané místnosti. Tato jednotka je určena k umístění na podlahu.



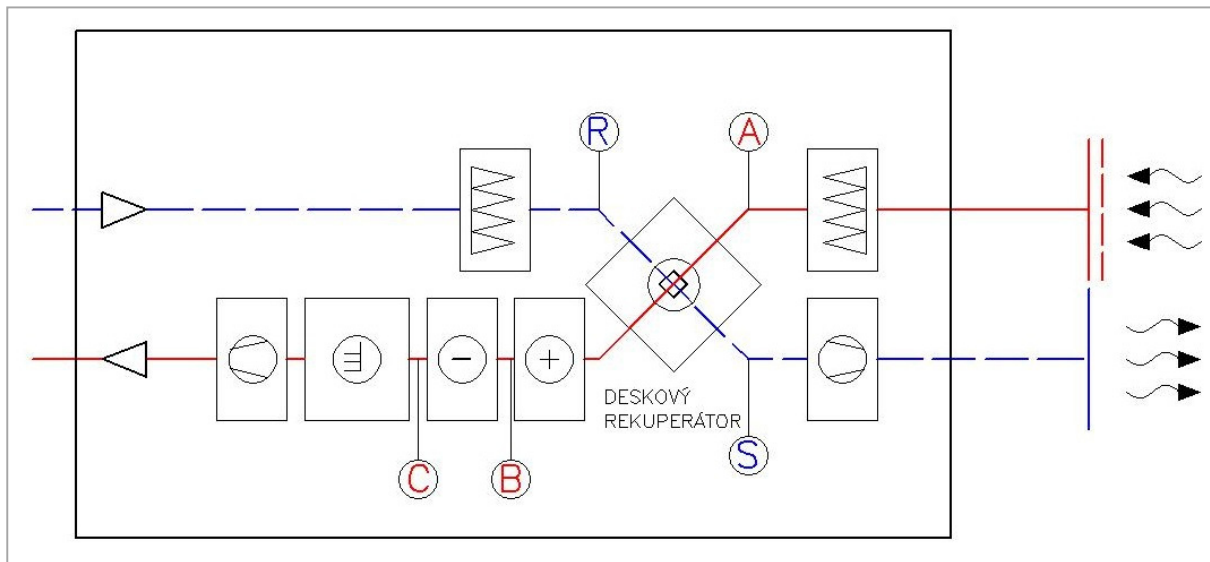
Obrázek 37. Pohled na VZT jednotku č. 2 – vytvořeno v programu AeroCAD.



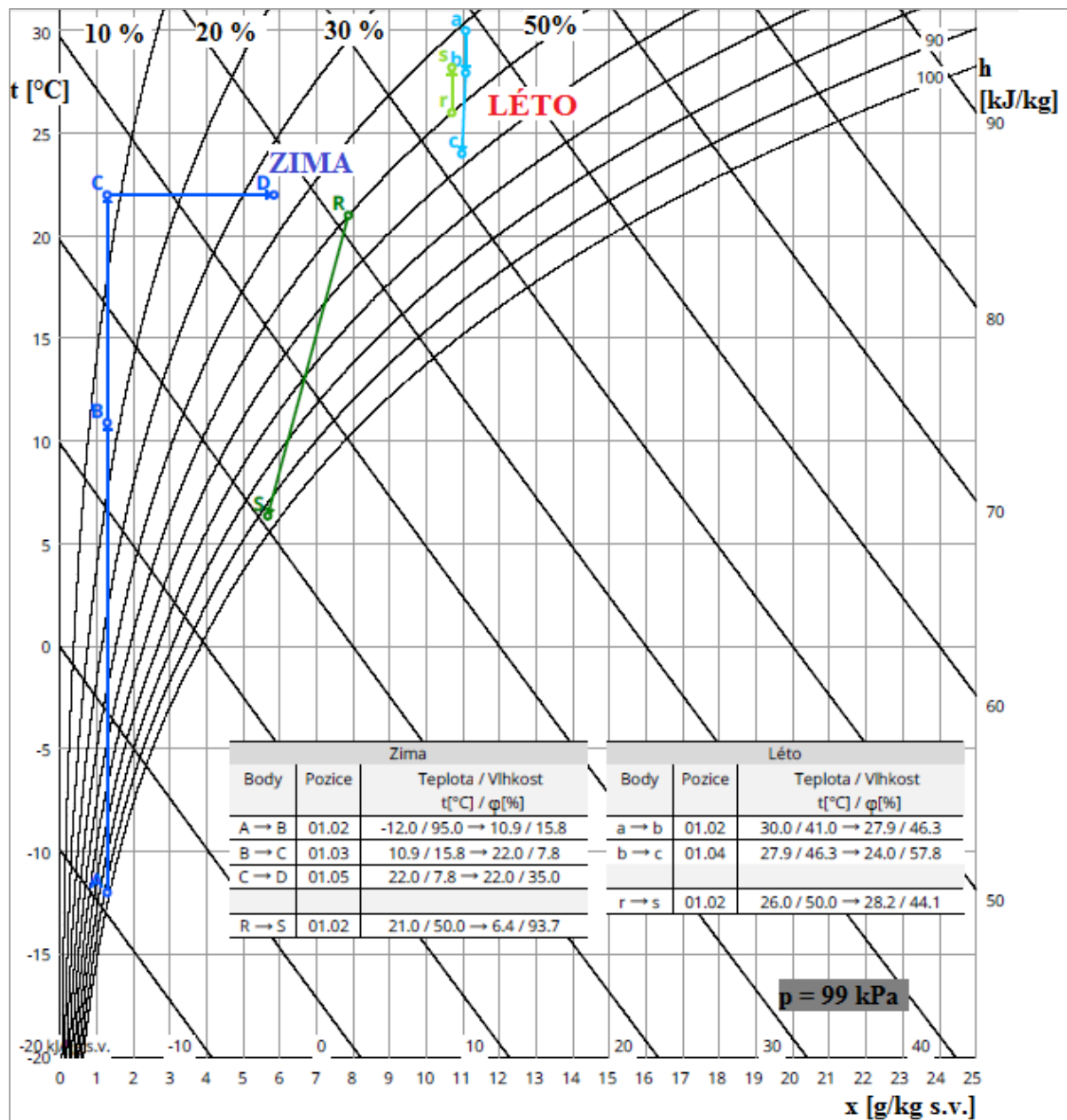
Obrázek 38. Blokové schéma jednotky č. 2 – vytvořeno v programu AeroCAD.



Obrázek 39. Schéma zařízení č. 2 – zimní provoz. [20]

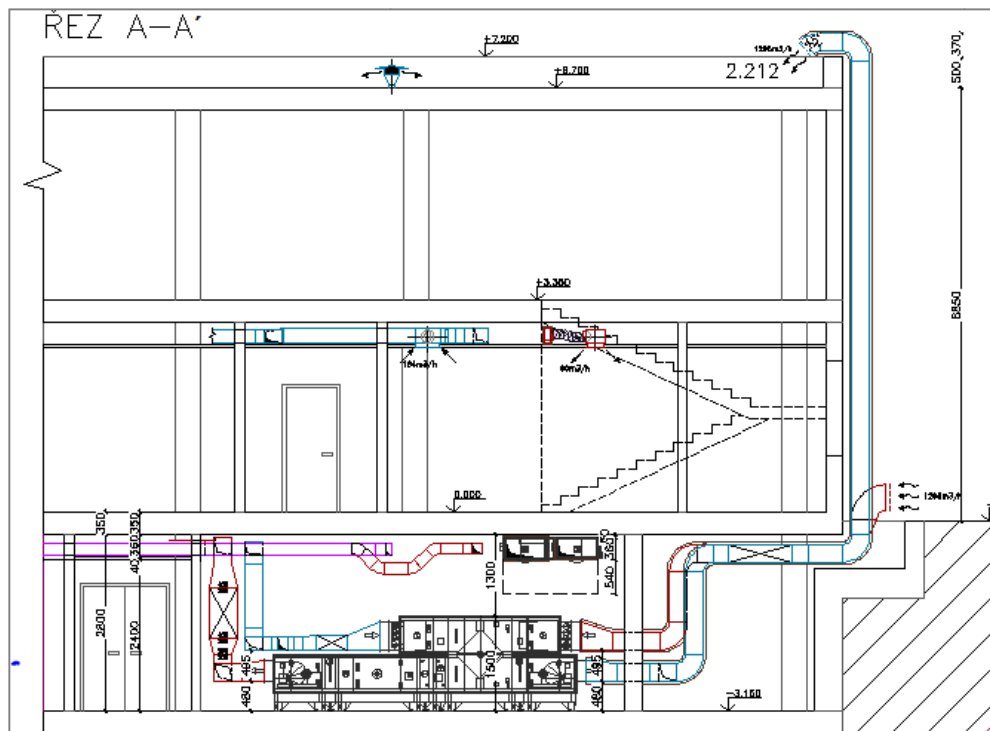


Obrázek 40. Schéma zařízení č. 2 – letní provoz [20]



Obrázek 41. Úpravy vzduchu v centrální VZT jednotce – vytvořeno v programu AeroCAD.

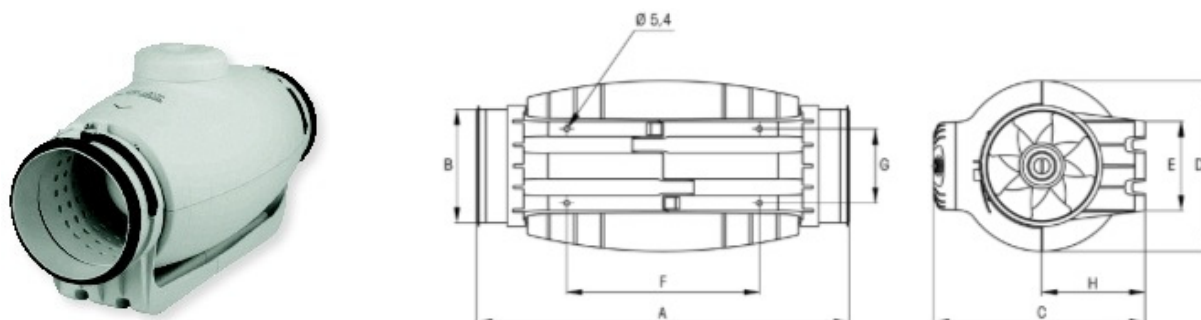
Řešení sání a výfuku vzduchu a řez strojovnou VZT jsou vidět na Obrázku 42 – řezová rovina je naznačená ve Výkrese č. 2 – Půdorys 1. PP.



Obrázek 42. Řez strojovnou VZT a řešení sání a výfuku vzduchu ve Variantě č. 1. [20]

8.2.3 Větrání skladu hořlavin

Pro větrání skladu hořlavin byl navržen zvukově izolovaný diagonální ventilátor. Tento ventilátor zajistí požadovanou výměnu vzduchu.



Obrázek 43. Diagonální ventilátor TD silent. [20]

8.2.4 Decentrální jednotky FAN-COIL

V místnostech č. 101, č. 112, č. 113, č. 115, č. 01.06 je přívod čerstvého vzduchu zajištěn centrální VZT jednotkou č. 2. K pokrytí tepelné zátěže jsou navrženy kazetové jednotky FAN-COIL v podstropním provedení Gassete – Geko firmy GEA. Návrh jednotek je uveden v bakalářské práci lit. [20].]

8.3 Varianta č. 1 – půdorysy 1:100

Viz příloha č. 4 a příloha č. 5.

8.4 Tlakové ztráty VZT potrubí

Tlakové ztráty potrubí se skládají ze ztrát třením a ztrát způsobeným místními odpory a ovlivňují provozní náklady jednotky (el. spotřeba ventilátorů). Celková ztráta potrubí se přibližně vypočítá dle vztahu 40.

$$\Delta p = 0,5 \cdot \xi \cdot \rho \cdot u^2 + R \cdot L \quad (40)$$

kde:

- ξ je součinitel ztráty místními odpory [-]
 - Součinitel byl stanoven z tabulek – lit. [24].
- ρ hustota vzduchu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
 - Stanovená na hodnotu $1,2 \text{ kg m}^{-3}$.
- u rychlost proudění vzduchu v potrubí [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
- R měrná tlaková ztráta potrubí [$\text{Pa}\cdot\text{m}^{-1}$]
 - Stanovena z výpočetního programu dostupného na [23].
- L je délka potrubí [m^{-1}]

Vypočtená tlaková ztráta potrubí pro jednotlivé VZT jednotky je vidět v Tabulce 9.

Tabulka 9. Tlakové VZT ztráty potrubí.

	jednotka č.1	jednotka č.2	Σ
	[Pa]	[Pa]	[Pa]
přívod vzduchu	82,21	20,94	103,15
odvod vzduchu	97,35	16,48	113,83

8.5 Technická zpráva

Tato technická zpráva byla převzata z bakalářské práce – lit. [20].

Základní koncepční řešení

Je uvažováno s kombinovanou klimatizací a s přívodem vzduchu o požadované teplotě interiéru v zimním období do prostorů s pobytem zaměstnanců. Na základě hygienických požadavků a požadavků pro skladování léčiv s klimatizací a s přívodem vzduchu o požadované teplotě interiéru v zimním období do prostorů určených pro skladování léčiv a s nuceným větráním skladů hořlavin. Vytápění je zajištěno otopnými tělesy. Výměna vzduchu v těchto provozech bude provedena nuceným systémem v souladu s příslušnými předpisy a normami platnými na území České republiky. Výpočtové metody a výpočtové hodnoty jsou převzaty z výše uvedených obecně závazných předpisů a norem.

Elektrická energie

Elektrická energie

Elektrická energie je uvažována pro pohon elektromotorů VZT zařízení a elektrodový parní vyvíječ.

Tepelná energie

Pro ohřev vzduchu v tepelném výměníku centrálních VZT jednotek bude sloužit topná voda s rozsahem provozních teplot $t_{w1}/t_{w2} = 90/70$ °C. Přívod teplé vody zajistí příslušné profese.

Pro chlazení vzduchu v centrálních i necentrálních jednotkách je uvažován systém nepřímého vodního chlazení teplotnosnou látkou o teplotním rozsahu $t_{w1}/t_{w2} = 7/13$ °C. Pro výrobu chladu bude sloužit zdroj chladu umístěný na střeše objektu. Výrobu chladu a přívod teplotnosné látky zajistí příslušná profese.

Koncepce větracích zařízení

Návrh řešení větrání předmětných prostor vychází ze současných stavebních dispozic a požadavků kladených na interní mikroklima jednotlivých místností. V zásadě jsou větrány místnosti, které je potřeba větrat z hlediska hygienického, funkčního či technologického.

Rozvod vzduchu je zajištěn nízkotlakým systémem. Navržená VZT zařízení jsou rozdělena do následujících funkčních celků:

Zařízení č. 1 – Větrání – klimatizace skladovacích prostorů

Pro dodržení hygienických potřeb výměny vzduchu a pokrytí tepelné zátěže je navržena centrální VZT jednotka, která zajistí jednostupňovou filtraci čerstvého vzduchu a znehodnoceného vzduchu, rekuperaci pomocí deskového výměníku, navlhčení a ohřev přívodního vzduchu v zimním období na požadovanou teplotu interiéru, chlazení vzduchu v letním období pro pokrytí tepelné zátěže místností a také eliminaci kapek v odvodním i přívodní části jednotky. Jednotka bude v provozu pouze přes den (v závislosti na ročním období), v noci bude jednotka v případě nárůstu teploty v prostorech skladů na danou hodnotu teploty interiéru uvedena do provozu tak, aby nebyla překročena požadovaná teplota interiéru v těchto prostorech – zajistí profese MaR. Jednotka bude umístěna ve strojovně VZT, která je situována v 1. podzemním podlaží. Sání čerstvého vzduchu bude provedeno nad terénem na jihozápadní straně budovy. Výfuk znehodnoceného vzduchu bude veden na střechu budovy. Sání vzduchu bude opatřeno protidešťovou žaluzií a krycí mřížkou. Výfuk vzduchu bude skloněn pod úhlem 45° a bude opatřen krycí mřížkou. Transport jednotky bude po jednotlivých komorách. Filtrovaný, tepelně upravený, případně v zimním období navlhčený vzduch bude do daných prostorů transportován čtyřhranným potrubím z pozinkovaného plechu a ohebnými hadicemi. Jako koncové elementy budou sloužit vířivé vyústě. Odvod znehodnoceného vzduchu bude pomocí čtyřhranného potrubí a ohebných hadic s osazenými koncovými elementy – vířivé vyústě. Zařízení bude pracovat se 100 % čerstvého vzduchu. Systém větrání je navržen vzhledem k VZT jednotce jako rovnotlaký. Místnost hygienického zařízení č. 106 bude větrána podtlakově, úhrada vzduchu bude z okolního prostředí přes dveřní mřížku.

Systém potrubí bude veden v jednotlivých místnostech v podhledu. Potrubí rozvádějící vzduch do jednotlivých místností bude zaizolován izolací z minerálních vláken s hliníkovou fólií, tak aby bylo zabráněno povrchové kondenzaci v letním období. Izolace potrubí mezi exteriérem a VZT jednotkami bude též zaizolována izolací z minerálních vláken tl. 20 mm s hliníkovou fólií. Potrubní rozvod odvodního potrubí v exteriéru bude zaizolován izolací z minerálních vláken tl. 60 mm s oplechováním. V prostorách pro skladování léčiv bude zajištěno měření a zaznamenávání teploty teploměry s maximální chybou měření ± 1 °C – zajistí profese MaR.

Zařízení č. 2 – Větrání – klimatizace provozních prostorů lékárny

Pro dodržení hygienických potřeb výměny je navržena centrální VZT jednotka, která zajistí jednostupňovou filtraci čerstvého vzduchu a znehodnoceného vzduchu, rekuperaci pomocí deskového výměníku, navlhčení a ohřev přívodního vzduchu v zimním období na požadovanou teplotu interiéru, chlazení vzduchu v letním období na požadovanou teplotu interiéru a v místnosti č. 101 o 1 °C vyšší. VZT jednotka zajistí také eliminaci kapek v odvodním i přívodní části jednotky. Mimo pracovní dobu bude jednotka přepnuta na provětrávací režim, to znamená snížení průtoku asi o 40 %, snížení průtoku bude zajištěno pomocí frekvenčních měničů motorů přívodního a odvodního ventilátoru. Jednotka bude umístěna ve strojovně VZT, která je situována v 1. podzemním podlaží. Sání čerstvého vzduchu bude provedeno nad terénem na jihozápadní straně budovy. Výfuk znehodnoceného vzduchu bude veden na střechu budovy. Sání vzduchu bude opatřeno protidešťovou žaluzií a krycí mřížkou. Výfuk vzduchu bude skloněn pod úhlem 45° a bude opatřen krycí mřížkou. Transport jednotky bude po jednotlivých komorách. Filtrovaný, tepelně upravený, případně v zimním období navlhčený vzduch bude do daných prostorů transportován čtyřhranným potrubím z pozinkovaného plechu a ohebnými hadicemi. Jako koncové elementy budou sloužit vířivé vyústě, v místnosti č. 101 štěrbínové vyústě. Odvod znehodnoceného vzduchu bude pomocí čtyřhranného potrubí a ohebných hadic s osazenými koncovými elementy – vířivé vyústě, v místnostech č. 117 a č. 01.03 odvodní talířové ventily. Zařízení bude pracovat se 100 % čerstvého vzduchu. Systém větrání je navržen vzhledem k VZT jednotce jako rovnotlaký. Místnosti hygienického zařízení č. 117 a č. 01.04 budou větrána podtlakově, úhrada vzduchu bude z okolního prostředí přes dveřní mřížku.

Systém potrubí bude veden v jednotlivých místnostech v podhledu. Izolace potrubí mezi exteriérem a VZT jednotkami bude zaizolování izolací z minerálních vláken tl. 20 mm s hliníkovou fólií. Potrubní rozvod odvodního potrubí v exteriéru bude zaizolován izolací z minerálních vláken tl. 60 mm s oplechováním. Ve výdejně léčiv – místnosti č. 101 bude zajištěno měření a zaznamenávání teploty teploměry s maximální chybou měření ± 1 °C – zajistí profese MaR.

Zařízení č. 3 – Nucené větrání skladu hořlavin

Pro zajištění potřebné výměny vzduchu ve skladu hořlavin bude sloužit diagonální zvukově izolovaný ventilátor TD 250/100 SILENT, který bude umístěn na přívodním potrubí v místnosti skladu hořlavin. Ventilátor bude spřažen s uzavírací klapkou, která se v případě vypnutí ventilátoru uzavře a v době chodu zajistí pracovní bod pro požadovaný průtok vzduchu. Sání přívodního potrubí bude na jihozápadní fasádě budovy a bude opatřeno zkoseným koncovým kusem pod úhlem 45° s krycí mřížkou. Distribuce vzduchu do místnosti bude pomocí ohebné hadice talířovým přívodním ventilem. Odvod vzduchu bude pomocí potrubí vyvedené na střechu budovy, na střeše bude opatřeno krycí stříškou a v místnosti krycí mřížkou. Přívodní potrubí bude zaizolováno izolací z minerálních vláken tl. 40 mm proti povrchové kondenzaci v zimním období.

Jednotky decentrální klimatizace prostor s dlouhodobým pobytem pracovníků

V místnostech č. 101, č. 112, č. 113, č. 113, č. 115 a č. 01.06 budou umístěny decentrální jednotky nepřímého chlazení v podstropním provedení, které budou umístěny v podhledu. Tyto jednotky zajistí pokrytí tepelné zátěže místností v letním období. Vzduch do těchto místností bude distribuován zařízením č. 2. a odvod znehodnoceného vzduchu bude také zajištěn pomocí zařízení č. 2. Tyto jednotky budou nasávat oběhový vzduch z místnosti a tento vzduch ochlazovat, tak aby zajistily požadovanou teplotu interiéru. K řízení jednotek bude v každé místnosti umístěn termostat napojený na dané jednotky, pomocí kterého bude regulován výkon jednotek tak, aby byla zajištěna požadovaná teplota interiéru. Návrh rozvodů teplotonosné látky a regulaci zajistí profese Chlazení. Nejnižší teplota přiváděná do místnosti jednotkami bude 19 °C.

Nároky na energie

Součtové elektrické příkony ventilátorů:

$$1.01 \quad P_{v,přivod} = 0,42 \text{ kW}$$

$$P_{v,odvod} = 0,37 \text{ kW}$$

$$1.02 \quad P_{v,přivod} = 0,64 \text{ kW}$$

$$P_{v,odvod} = 0,60 \text{ kW}$$

Elektrický příkon zvlhčovačů:

1.01 $P_v = 3,8 \text{ kW}$

1.02 $P_v = 6 \text{ kW}$

Měření a regulace, protimrazová ochrana

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

- Ovládání chodu ventilátorů, silové napájení ovládaných zařízení.
- Zajištění tlumeného chodu daného zařízení mimo pracovní dobu a to asi 60 % maximálního výkonu, na přívodu i odvodu vzduchu pomocí frekvenčního měniče.
- Regulace teploty vzduchu řízením výkonu teplovodního ohřívače ve VZT jednotkách v zimním období.
- Regulace teploty vzduchu řízením výkonu nepřímo chlazeného chladiče ve VZT jednotkách v letním období.
- Umístění teplotních a vlhkostních čidel podle požadavků.
- Řízení protimrazové ochrany deskového výměníku nastavováním obtokové klapky – snímač namrzání rekuperátoru.
- Ovládání uzavíracích klapek na jednotkách včetně servophonů a jejich synchronizace s chodem ventilátorů.
- Protimrazová ochrana teplovodního výměníku – protimrazové čidlo na straně vody.
- Signalizace bezporuchového chodu ventilátorů pomocí diferenčního snímače tlaku.
- Měření a signalizace zanášení (tlakové ztráty) všech stupňů filtrace.
- Poruchová signalizace.
- Připojení regulace a signalizace stavu všech zařízení a velicí centralizované stanoviště.
- Zajištění požadované současnosti chodu jednotlivých zařízení v příslušných funkčních celcích.
- Signalizace požárních klapek (Z/O) – podružná signalizace polohy na panel požárních klapek.

- Synchronizace vlhkostních čidel s vyvíječi páry.

Protihluková a protiotřesová opatření

Do rozvodných tras budou vloženy kulisové tlumiče hluku, které zabrání nadměrnému šíření hluku od ventilátorů do větraných místností a do okolní zástavby. Tyto tlumiče budou osazeny jak v přívodním, tak v odvodním potrubí, kde by bez tlumiče nevyhověla hladina hluku dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. Veškeré točivé stroje budou pružně uloženy za účelem zmenšení vibrací přenášejících se stavebními konstrukcemi – stavitelné nohy základového rámu budou podloženy rýhovanou gumou. Veškeré VZT potrubí bude napojeno k VZT jednotkám pomocí tlumících pružných manžet. Všechny prostupy VZT potrubí stavebními konstrukcemi budou obloženy a dotěsněny izolací.

Izolace a nátěry

Navrženy jsou tepelné izolace z minerálních vláken. Navržené izolace jsou zobrazeny ve výkresech. Navržené tepelné izolace:

- Tepelná izolace z minerálních vláken s hliníkovou fólií, tl. 20 mm, $\lambda_D = 0,042 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.
- Tepelná izolace z minerálních vláken s hliníkovou fólií, tl. 40 mm, $\lambda_D = 0,042 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.
- Tepelná izolace z minerálních vláken s hliníkovou fólií, tl. 60 mm, $\lambda_D = 0,042 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

V případě použití jiného druhu izolací je nutné se řídit uvedenými parametry a dodržet hygienické a funkční parametry. Nátěry nejsou uvažovány.

Protipožární opatření

Všechny prostory okolo VZT potrubí procházející přes požárně dělící konstrukce budou opatřeny požárními ucpávkami. Do vzduchovodů procházejících požárně dělícími konstrukcemi budou vřazeny protipožární klapky, zabraňují v případě požáru jeho šíření z jednoho požárního úseku do jiného nebo mimo tento požární úsek. V případě, kdy nebude možné osadit protipožární klapku do požárně dělící konstrukce, bude potrubí mezi touto konstrukcí a požární klapkou opatřeno izolací s požadovanou dobou požární odolnosti.

Osazené požární klapky budou v provedení teplotního a ručního spouštění se signalizací na 24 V.

Nároky na spolusouvisející profese:

Stavební úpravy

- Otvory pro prostupy vzduchovodů včetně zapravení a odklizení sutě.
- Obložení a dotěsnění prostupů VZT potrubí izolačními protidešťovými hmotami v rámci zapravení.
- Dotěsnění a oplechování prostupů VZT potrubí.
- Zajištění případných nátěrů VZT prvků na fasádě, či střeše objektu (architektonické řešení).
- Zajištění povrchové úpravy podlahy strojovny VZT pro bezprašný provoz a vyspádování k instalované vpusti.
- Stavební, výpomocné práce.
- Zřízení instalačních šachet pro vedení VZT potrubí.
- Zřízení revizních otvorů pro přístup k ventilátoru, požárním klapkám nerozebíratelných částí podhledu.

Silová elektroinstalace

- Využití stávajících rozvodů k napojení všech potřebných komponentů – zajistí příslušné profese.

Měření a regulace

- Ovládání a řízení chodu.
- Řízení chodu VZT.
- Signalizace chodu provozních stavů a poruch.
- Ovládání servopohonů a klapek.
- Snímání čidel a manostatů.
- Řízení přívodu teploty a vlhkosti v zimním období.
- Zajištění požadavků chlazení.
- Hlídaní mrazové ochrany výměníků.

Zdravotní technika

Odvod kondenzátu od VZT jednotek zařízení č. 1 a č. 2, umístěných ve strojovně a od jednotek FAN-COIL zařízení č. 3 v jednotlivých místnostech. Svod kondenzátu bude napojen na odpadní potrubí.

Rozvody tepla a chladu

Rozvody teplonosné látky pro výměníky pro chlazení a ohřev u všech zařízení zajistí příslušné profese.

Závěr

Navržená větrací a klimatizační zařízení splňují nároky kladené na provoz daného typu a charakteru. Celoročně zabezpečují v daných místnostech optimální pohodu prostředí.

8.6 Hodnocení z hlediska vnitřního prostředí

Hodnocení vnitřního prostředí ve výdejně léčiv, na základě simulací provedených na vytvořeném fyzikálním modelu, je rozděleno na dvě části a to pro letní a zimní období. V letním období slouží k pokrytí tepelné zátěže decentrální oběhové jednotky FAN-COIL, které mají v případě provozu rozhodující vliv na obraz proudění vzduchu v místnosti. Z výsledků simulací vyplývá, že ačkoliv byly tyto jednotky navrženy v souladu s podklady výrobce, tak rychlost proudění vzduchu v pobytové zóně při jejich provozu přesahuje v některých oblastech místnosti limitní $v = 0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pro teplé období roku a to až k $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Tyto jednotky byly navrženy tak, že při maximální tepelné zátěži je teplota vzduchu přiváděná z jednotek nižší o $6 \text{ }^\circ\text{C}$ oproti teplotě vzduchu v místnosti ($t_i = 25 \text{ }^\circ\text{C}$). K udržení této teploty v případě velké tepelné zátěže může kombinace nízké teploty a velké rychlosti vzduchu vycházejícího z jednotek způsobit v určitých částech problém se tzv. stupněm obtěžování průvanem **DR**, který dosahuje v několika malých oblastech pobytové zóny vysokých hodnot a to až 50 % (lze předpokládat, že 40 % lidí by bylo obtěžováno průvanem). Z toho vyplývá, že v případě provozu jednotek FAN-COIL, bude vysoké procento lidí pociťovat diskomfort vlivem proudícího studeného vzduchu.

V zimním období dle vytvořených simulací dochází k pouze k mírnému rozdělení teplot po výšce místnosti. Při průměrné teplotě v místnosti $21,5 \text{ }^\circ\text{C}$ dosahuje rozdíl mezi kotníky a hlavou asi $1 \text{ }^\circ\text{C}$, což by nemělo způsobit diskomfort vlivem vertikálního rozdílu teplot.

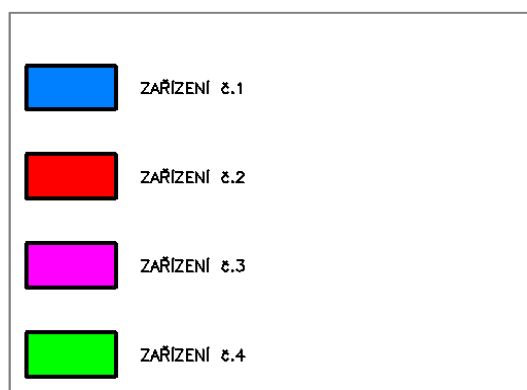
Tepelný stav místnosti výdeje léčiv jako celku byl vyhodnocen pomocí ukazatelů PMV a PPD dle ČSN EN 7730:2006. Pro zimní i letní období spadá tepelné prostředí do kategorie B pro parametr tepelného stavu jako celku. Předpověděné procento nespokojený PPD bylo vypočteno pro zimní období roku jako $\text{PPD} = 6,3 \%$ a pro letní období roku $\text{PPD} = 9,2 \%$, těmto hodnotám odpovídajíc ukazatele středního tepelného pocitu $\text{PMV} = 0,45$ pro letní období a $\text{PMV} = 0,25$ pro zimní období roku (Tabulka 14) Tyto hodnoty jsou však závislá mimo jiné na parametrech jako tepelný odpor oděvu a energetický výdej, které mohou být poměrně variabilní. Jedná se tedy jen o orientační hodnoty vyhodnocující tepelný stav místnosti.

9 Varianta č. 2

V této variantě slouží jediná centrální VZT jednotka k úpravám čerstvého vzduchu a jeho transportu do jednotlivých místností pomocí VZT potrubí a koncových elementů. Na rozdíl od Varianty č. 1 je strojovna VZT umístěna na střeše budovy, kde se také předpokládá umístění zdroje chladu (stejně jak u Varianty č. 1). V této variantě se také počítá s distribucí vzduchu do jednotlivých místností o teplotě vzduchu rovné teplotě vzduchu v interiéru. K pokrytí tepelné zátěže v klimatizovaných místnostech slouží jednotky FAN-COIL a v místnosti výdeje léčiv pak kapilární rohože, které slouží také k vytápění v otopném období. V ostatních místnostech slouží k vytápění otopná tělesa stejně jak ve Variantě č. 1.

Rozdělení prostor na jednotlivé celky/zařízení je následující:

1. **Místnost výdeje léčiv** – čerstvý vzduchu ohřátý/ochlazený na teplotu interiéru zajistí centrální jednotka. Pokrytí tepelné zátěže/ztrát je zajištěno kapilárními rohožemi umístěnými v omítce pod stropem.
2. **Ostatní klimatizované prostory** – princip je stejný jako u výdeje léčiv, pouze k chlazení slouží decentrální jednotky FAN-COIL a k vytápění otopná tělesa. Jedná se místnosti určené pro skladování léčiv a prostory, kde se předpokládá dlouhodobý pobyt pracovníků.
3. **Prostory skladu hořlavin** – nucené větrání zajišťuje diagonální ventilátor umístěný v potrubí.
4. **Prostory bez dlouhodobého pobytu osob** – prostory, kde zajišťuje dodávku čerstvého vzduchu centrální VZT jednotka bez dalších decentrálních klimatizačních jednotek.



Obrázek 44. Legenda šraf k půdorysům rozdělení podlaží na VZT celky (obrázky 44 a 45).



Obrázek 45. 1NP – rozdělení VZT celků.



Obrázek 46. 1. PP – rozdělení dle VZT celků.

9.1 Průtoky vzduchu

Množství přiváděného čerstvého vzduchu spolu s minimální požadovaným množstvím do jednotlivých místností a množství odváděného vzduchu je zobrazen v Tabulce 10.

Tabulka 10. Potřeba čerstvého vzduchu a tlakové poměry pro jednotlivé místnosti (místnost výdeje léčiv 101 – červená barva).

číslo místnosti	název	podlahová plocha [m ²]	objem místnosti [m ³]	n - náso bná výmě na [h ⁻¹]	V _n [m ³ ·h ⁻¹]	počet osob, zařízení [osob,zař.]	potřeba vzduchu na osobu, zařízení [m ³ ·h ⁻¹]	V _{po} [m ³ ·h ⁻¹]	V _{pe} > { V _{po} ; V _n } [m ³ ·h ⁻¹]	přiváděný vzduch do místnosti [m ³ ·h ⁻¹]	odváděný vzduch z místnosti [m ³ ·h ⁻¹]
VZT JEDNOTKA Č.1											
1. NP											
101	výdej léčiv	126,3	378,9	0,5	189,45	5	50	250	250,00	379,0	379,0
102	příjem léčiv	16,4	49,1	0,5	24,57	0	0	0	24,57	60,0	60,0
103	schodiště	3,23	9,7	0,5	4,85	0	0	0	4,85	0,0	0,0
104	sklad	39,73	119,2	0,5	59,60	1	50	50	59,60	60,0	60,0
106	sprcha	4,70	14,1	0,5	7,05	1	110	110	110,00	110,0	0,0
107	wc	1,73	5,2	1,5	7,79	1	50	50	50,00	0,0	110,0
109	sklad	34,56	103,7	0,5	51,84	1	50	50	51,84	60,0	60,0
112	laboratoř	38,5	115,6	2	231,18	1	50	50	231,18	232,0	232,0
113	laboratoř	20,7	62,1	2	124,20	1	50	50	124,20	124,0	124,0
114	chodba	4,4	13,2	0,5	6,62	0	0	0	6,62	0,0	114,0
115	pracovna vedoucího	14,0	41,9	0,5	20,94	1	50	50	50,00	94,0	0,0
116	denní místnost	6,8	20,3	0,5	10,13	0	0	0	10,13	70,0	0,0
117	wc	1,5	4,4	0,5	2,18	1	50	50	50,00	0,0	50,0
									Σ 1. NP	1189,0	1189,0
1. PP											
01.01	sklad	35,6	99,7	0,5	49,83	0	0	0	49,83	60,0	0,0
01.03	předsíň	1,4	3,8	0,5	1,9	0,0	0,0	0,0	1,9	50,0	0,0
01.04	wc	1,9	5,2	0,5	2,62	1	50	50	50,00	0,0	50,0
01.05	sklad	6,08	17,02	0,5	8,51	0	0	0	8,51	0,0	60,0
01.06	analytická laboratoř	15,6	43,8	2	87,58	0	0	0	87,58	90,0	90,0
01.09	sklad	7,29	20,41	0,5	10,21	0	0	0	10,21	50,0	0,0
01.10	sklad	67,3	188,6	0,5	94,28	0	0	0	94,28	100,0	150,0
01.11	umývárna skla	21,5	60,31	0,5	30,16	4	30	120	120,00	120,0	120,0
01.12	šatna	15,0	42,1	0,5	21,03	6	20	120	120,00	120,0	120,0
01.14	sklad	34,8	97,44	0,5	48,72	0	0	0	48,72	50,0	50,0
									Σ 1. PP	640	640
									Σ CELK.	1829,0	1829,0

Ve Variantě č.2 bylo provedeno několik změn v průtocích vzduchu jednotlivými místnostmi oproti Variantě č.1, tyto místnosti jsou označeny oranžovou barvou v Tabulce 8. Tyto změny jsou následující:

- Místnost výdeje léčiv (m. č. 101) – zvýšení přívodu čerstvého vzduchu z 294 na 379 m³·h⁻¹. Důvod je možné navýšení počtu osob zákazníky. Navýšený

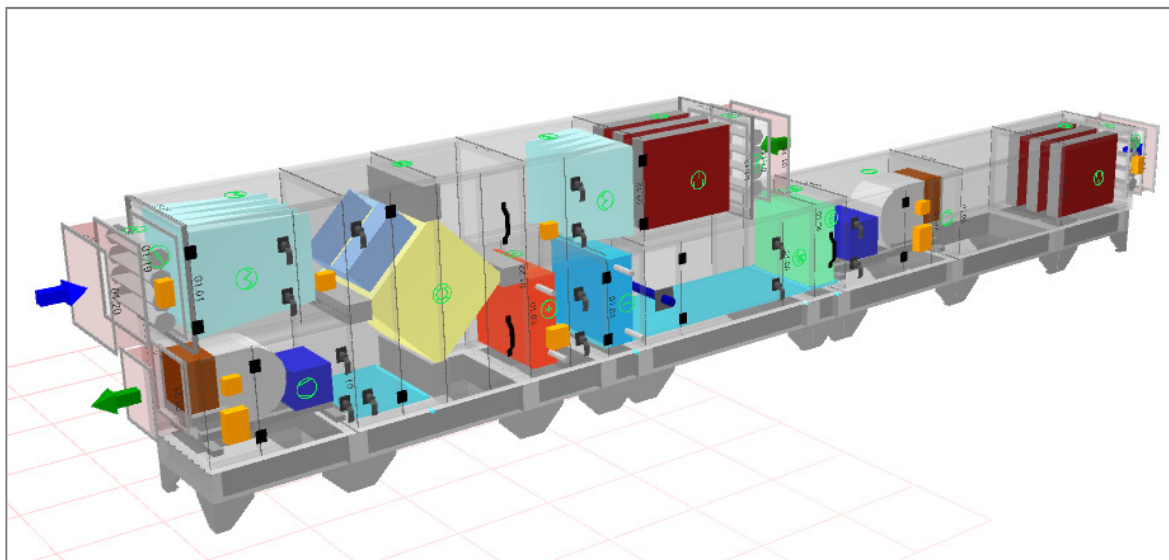
přívod čerstvého vzduchu odpovídá cca 7,5 osobám (50 m^3 na osobu) pobývajících ve výdejně léčiv.

- Prostory pro skladování (m. č. 104; 104; 01.01; 01.05; 01.09; 01.10) – v těchto místnostech byl přívod čerstvého vzduchu snížen a to na hodnotu minimální výměny vzduchu, přibližně na $0,5 \cdot \text{h}^{-1}$. Ve Variantě č. 1 byly tyto místnosti chlazeny za pomoci centrální jednotky. Výměna vzduchu tak byla navržena pro pokrytí tepelné zátěže. Ve variantě byly pro chlazení umístěny do těchto místností jednotky FAN-COIL pracující s oběhovým vzduchem v místnosti. Výměna vzduchu tak mohla být snížena.
- Sprcha a WC v 1.NP (m.č. 106 resp. 107) – na rozdíl od Varianty č. 1 je čerstvý vzduch přiváděn do místnosti sprchy a odváděn přes dveřní mřížku z místnosti WC. Z důvodů šíření oděrů je tato varianta vhodnější. Ve Variantě č. 1 byl vzduchu odváděn z místnosti sprchy, do které proudil přes dveřní mřížku z přilehlé místnosti.
- WC a předsíň v 1. PP (m. č mřížky z chodby. Ve Variantě č. 2 byl přívod čerstvého vzduchu umístěn do místnosti předsíně hned vedle WC, kde je umístěno umyvadlo.
- Analytická laboratoř v 1. PP (m. č. 01.06) – v této variantě byl přívod vzduchu snížen na hodnotu dvounásobné výměny vzduchu. Ve Variantě č. 1 byl přívod vzduchu vyšší o část, která proudila do chodby skrz dveřní mřížku.
- Chodby (m.č. 108 a 01.04) – pro tyto prostory není navrženo nucené větrání ve Variantě č. 2.

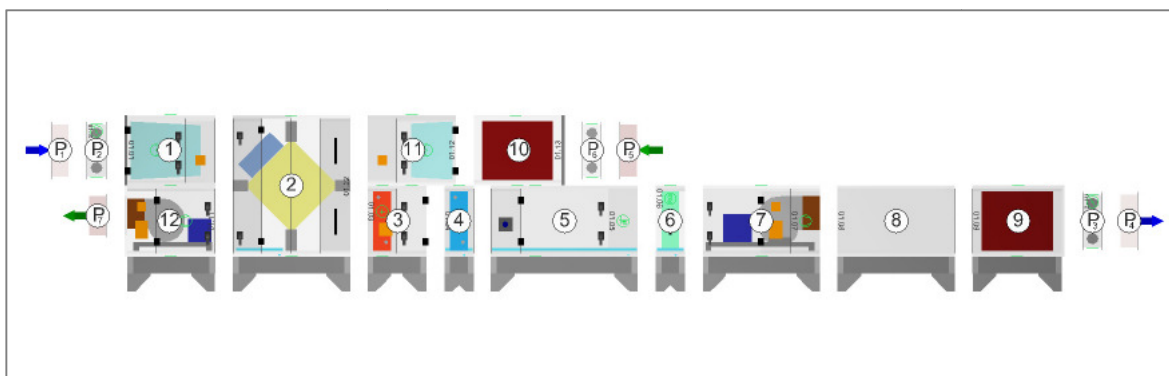
9.2 VZT zařízení

9.2.1 Centrální VZT jednotka

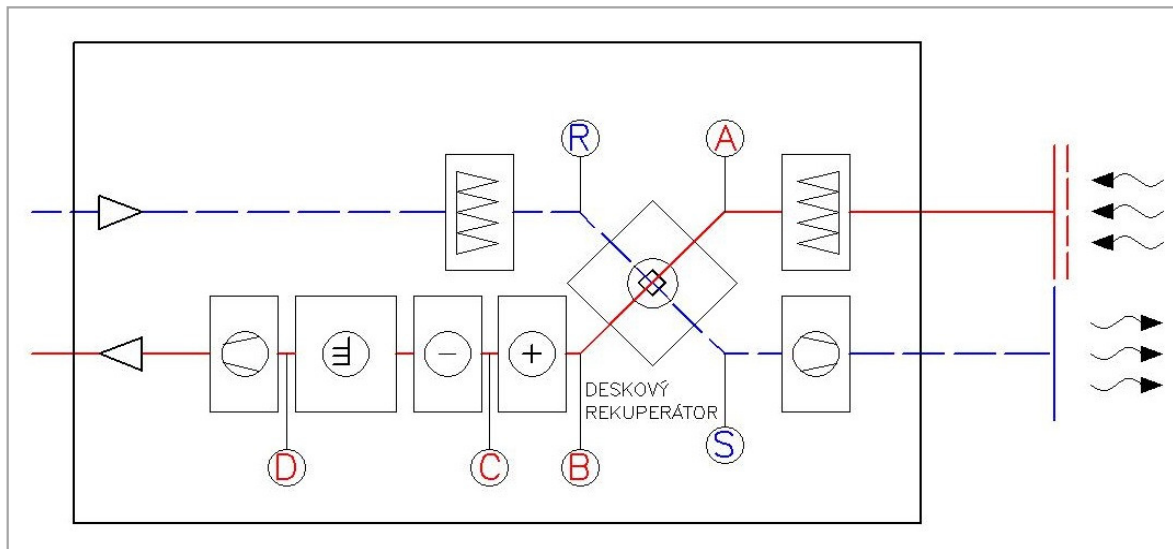
Tato centrální jednotka zajišťuje úpravy vzduchu pro všechny klimatizované a nuceně větrané místnosti.



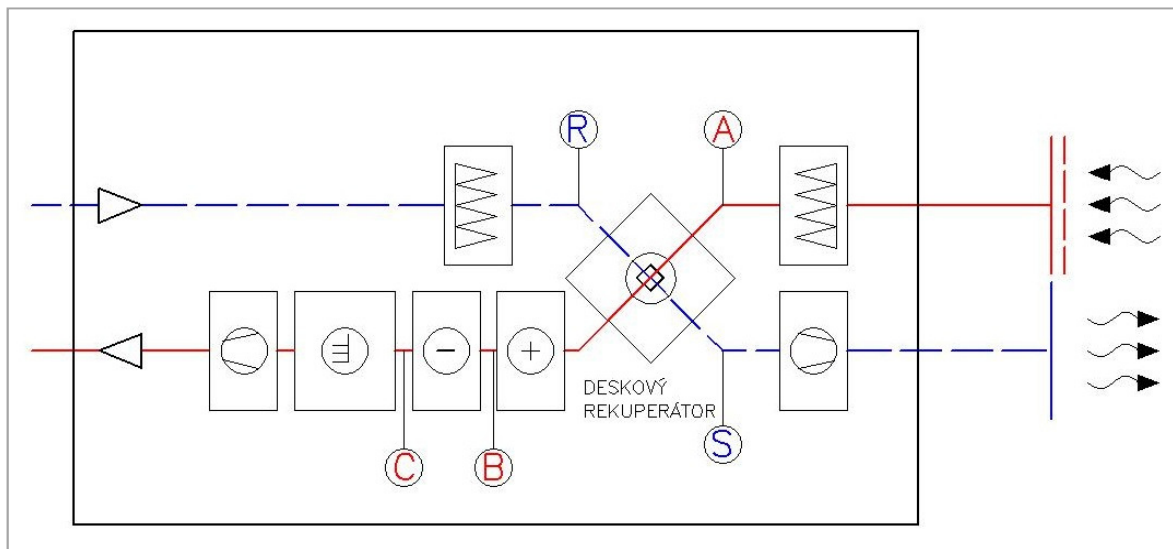
Obrázek 47. Axonometrický pohled na centrální VZT jednotku – vytvořeno v programu AeroCAD.



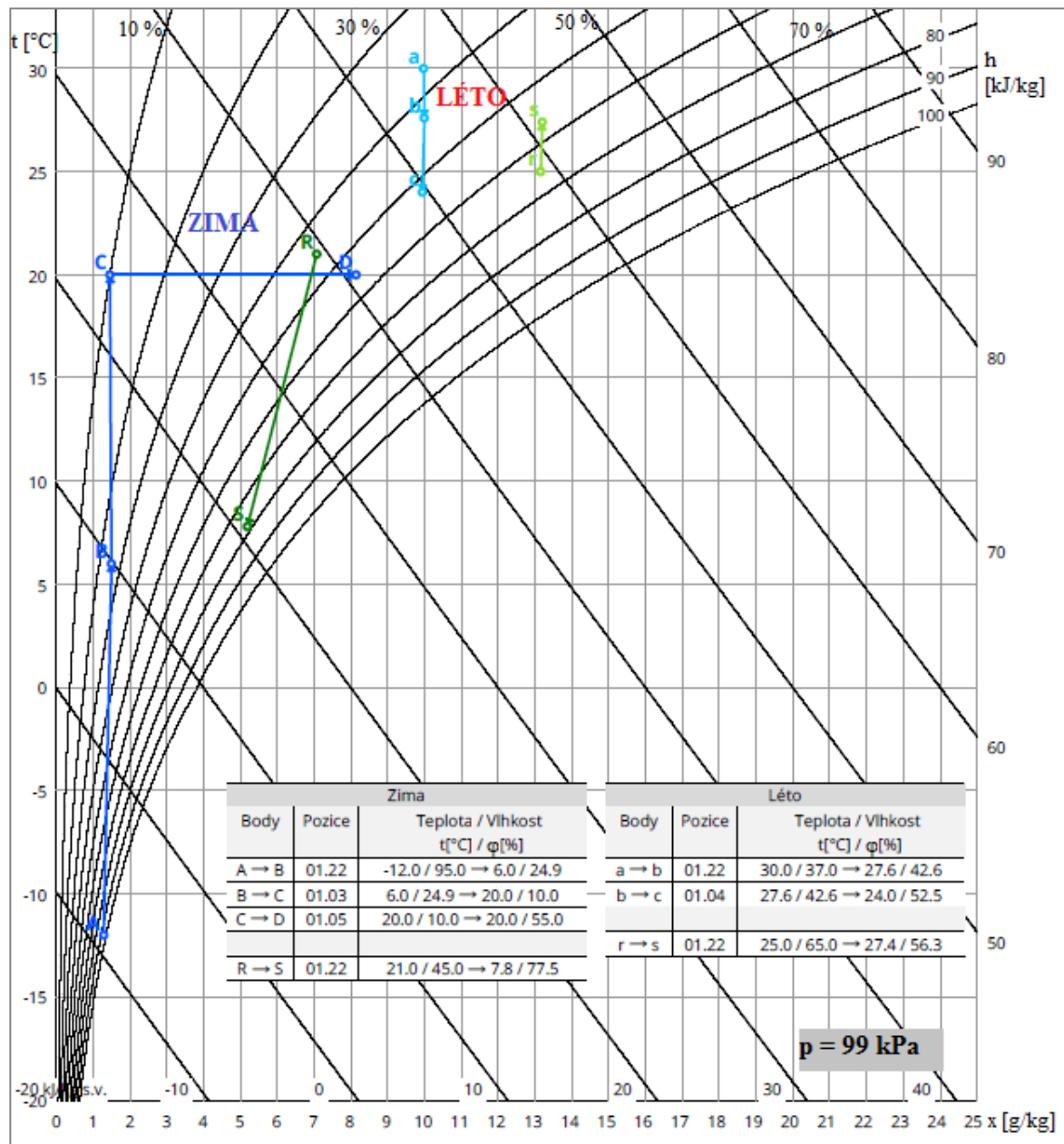
Obrázek 48. Jednotlivé bloky jednotky – vytvořeno v programu AeroCAD.



Obrázek 50. Schéma jednotky – zimní provoz.

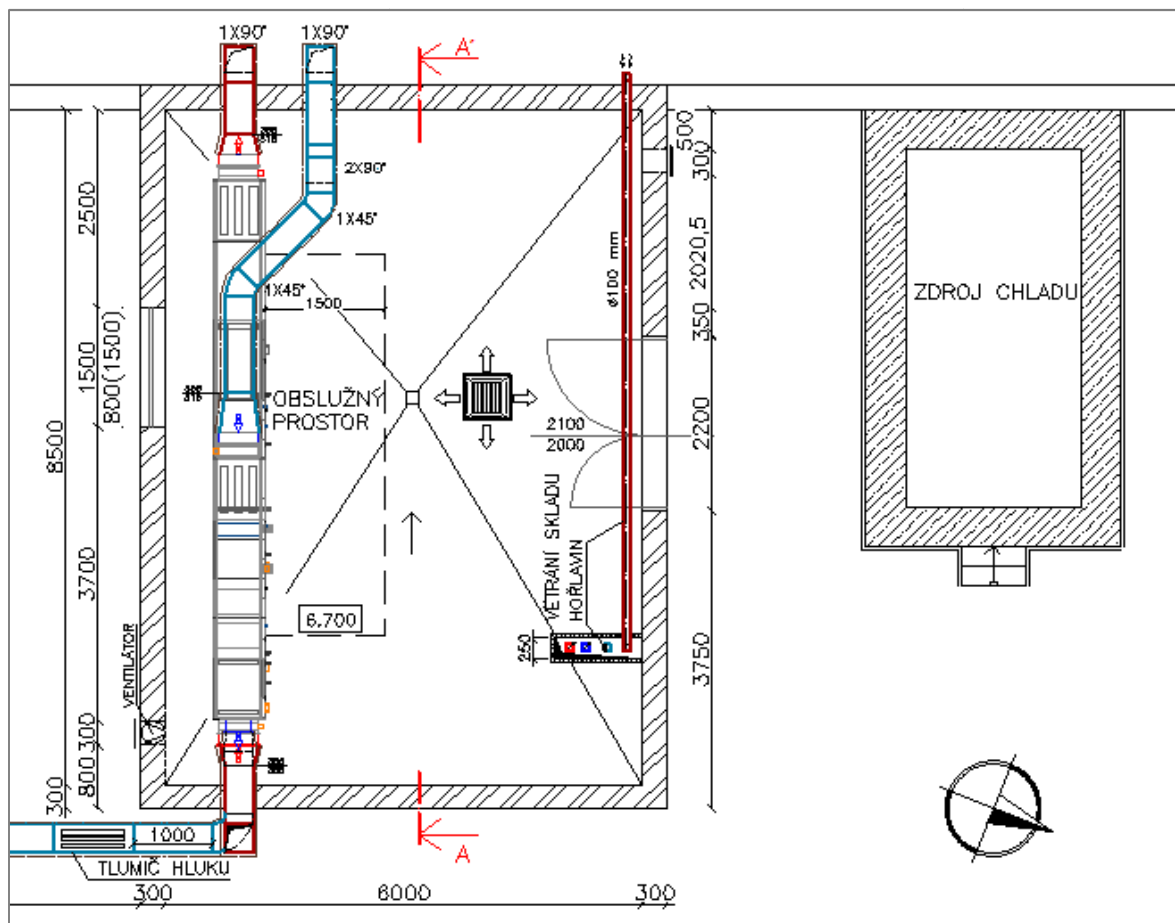


Obrázek 49. Schéma VZT jednotky – letní provoz.

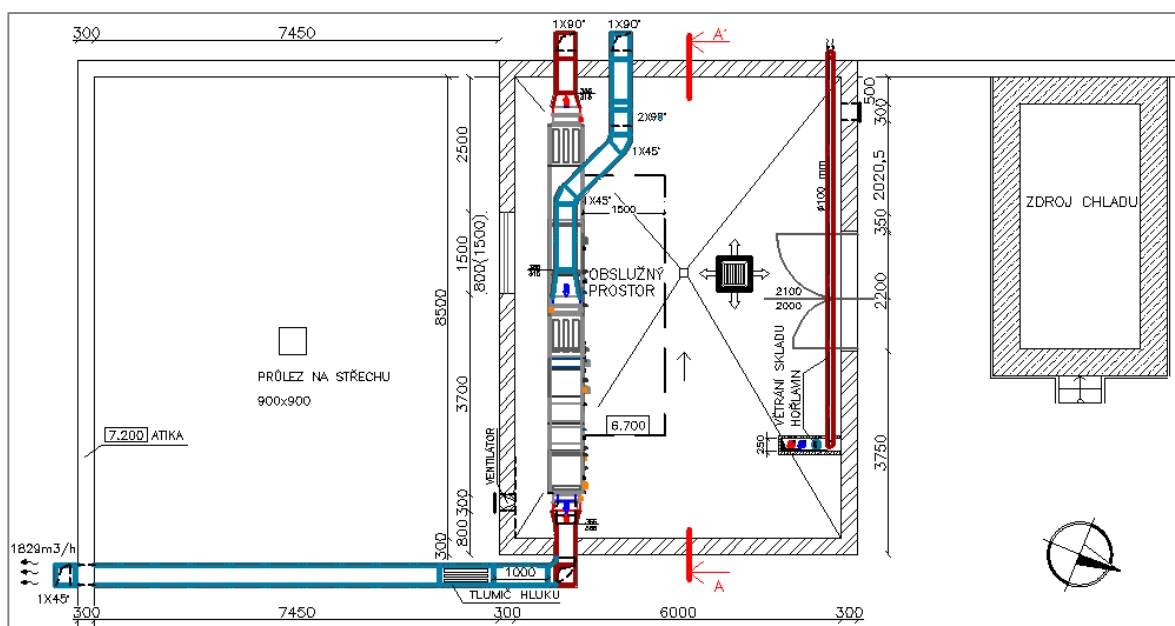


Obrázek 51. Úpravy vzduchu v centrální VZT jednotce – vytvořeno v programu AeroCAD.

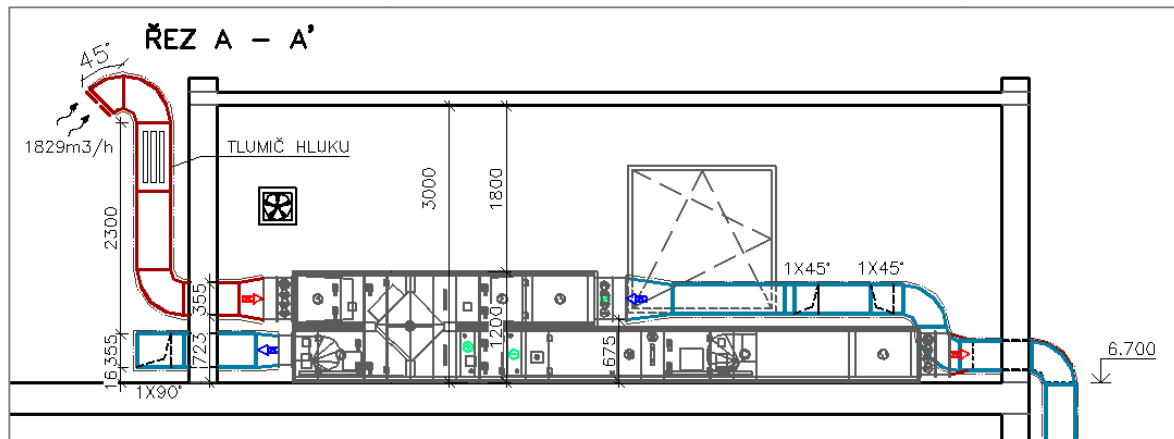
Koncepce strojovny umístěné na střeše budovy je vidět na následujících obrázcích. Zobrazené VZT jednotky j byly exportovány z programu AeroCAD:



Obrázek 52. Koncepce strojovny umístěné na střeše budovy – půdorys.



Obrázek 53. Koncepce strojovny umístěné na střeše budovy – půdorys.



Obrázek 54. Koncepce strojovny umístěné na střeše budovy – řez.

9.2.2 Větrání skladu hořlavin

Větrání skladu hořlavin je řešeno stejně jako v případě Varianty č. 1 a to samostatným diagonálním ventilátorem umístěným v potrubí. Rozdíl oproti Variantě č. 1 je v řešení sání a výfuku vzduchu. Ve Variatně č. 2 jsou oboje, sání i výfuk vzduchu umístěny na střeše budovy – na Obrázcích 51, 52 je vidět sání čerstvého vzduchu, kde je potrubí vedeno pod stropem strojovny a je vyústěno na fasádě a výfuk vzduchu je veden vertikálně a vyústěn na střeše strojovny a zakončen protideštovou stříškou (ve Variantě č. 1 je výfuk na střeše a sání na jihozápadní fasádě asi 3 m nad okolním terénem – potrubí je vedeno v pohledu 1. NP).

9.2.3 Decentrální jednotky FAN-COIL

V místnostech č. 104, č. 109, č. 112, č. 113, č. 115, č. 01.01, č. 01.06, č. 01.10, č. 01.14 jsou k pokrytí tepelné zátěže místností určeny jednotky FAN-COIL. Jedná se o místnosti, kde je potřeba udržovat požadovanou z důvodů skladování léčiv nebo místnosti, kde se předpokládá trvalý pobyt osob – pracovníků lékárny.

9.2.4 Kapilární rohože

Do místnosti výdeje léčiv (m. č. 101) je počítáno s přívodem vzduchu o požadované teplotě interiéru jak v letním tak v zimním období. Kapilární rohože umístěné pod stropem místnosti v omítce (rohože jsou umístěny na hrubý strop a pak omítnuty) pak slouží k pokrytí tepelné zátěže v letním období a tepelných ztrát v zimním období.

Kapilární rohože je nutné oddělit od zbytku topného/chladícího systému výměňkovou stanicí. Komponenty výměňkové stanice jsou výměník, oběhové čerpadlo, směšovací trojcestná armatura se servopohonem, expanzní nádoba a spiroventil (odplyňovač). [24]

Pro návrh kapilárních rohoží byly použity podklady výrobce G-TERM a pro návrh byly potřebné následující údaje:

Výdejna léčiv:

podlahová plocha.....	140 m ²	
světla výška	3,0 m	
průtok vzduchu	379 m ³ ·h ⁻¹	
tepelná zátěž	5100 W;	36,4 W·m ⁻²
potřeba tepla pro vytápění	1300 W;	9,3 W·m ⁻²

Kapilární rohože v omítnutém stropě:


Chlazení:

teplota interiéru	24 °C
teplota přívodu	16 °C
teplota zpátečky	19 °C
měrný výkon	49,8 W·m ⁻²

Vytápění:

teplota interiéru	20 °C
teplota přívodu	33 °C
teplota zpátečky	22 °C
měrný výkon	58,4 W·m ⁻²

MĚRNÝ VÝKON



G-TERM
ODŠTĚPNÝ ZÁVOD
HENNICH INDUSTRIETECHNIK spol. s r. o.

Kapilární rohože v různých typech instalací

TOPENÍ

tp - teplota přívod ...	33 °C	q _{top} = 58,4 W/m ²
tz - teplota zpátečka ...	22 °C	
ti - teplota místnosti ...	20 °C	

CHLAZENÍ

tp - teplota přívod ...	17 °C	q _{chl} = 41,3 W/m ²
tz - teplota zpátečka ...	20 °C	
ti - teplota místnosti ...	24 °C	

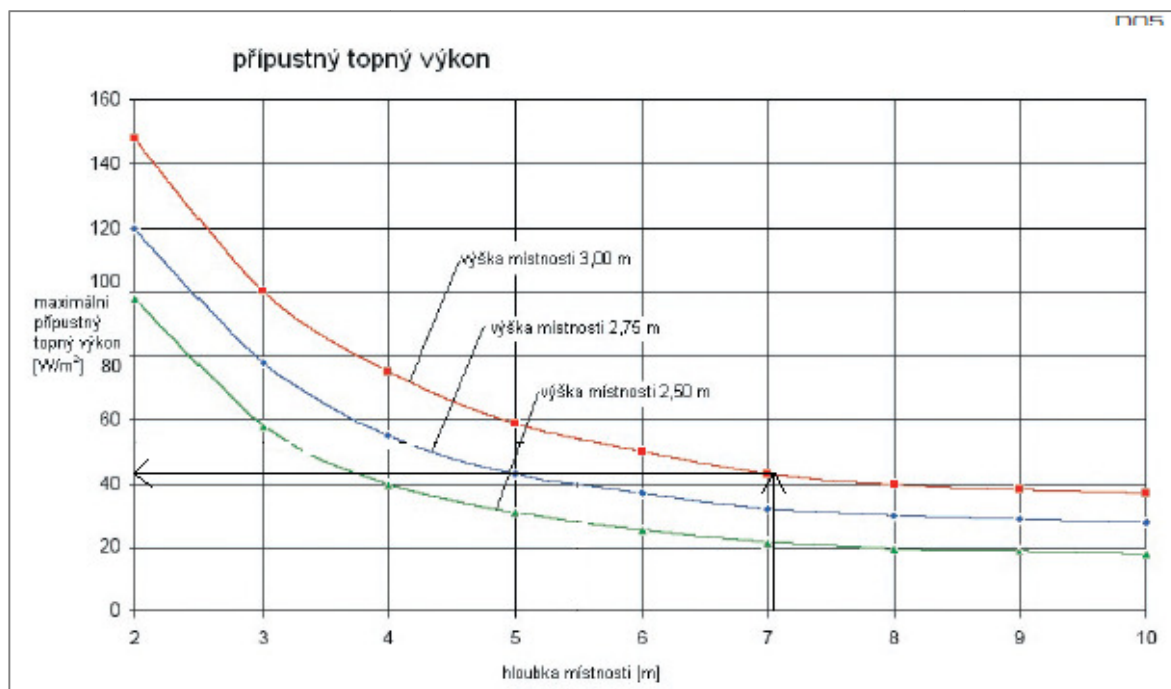
TYP INSTALACE

číslo typu instalace ... 2

č.	typ instalace
1	kovová stropní kazeta
2	v omítnutém stropu, tl. omítky cca 9mm
3	rohože nad SDK podhledem

Obrázek 55. Stanovení měrného výkonu rohoží. [24]

Přípustná mezní teplota spodní strany stropu při použití rohoží pro topení lze odečíst z grafu, který je součástí podkladů firmy G-TERM. Omezení je dáno množstvím tepla dopadajícího zářením na hlavu osob, kdy při vyšších hodnotách může docházet k porušení pohody. [25]



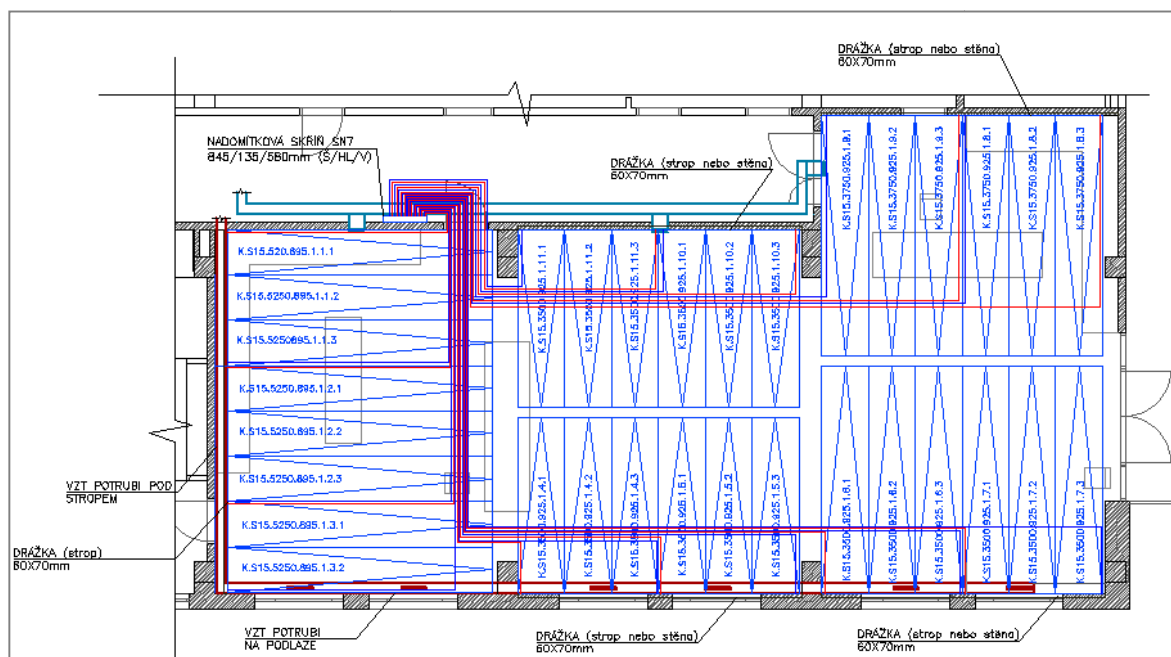
Obrázek 56. Přípustný topný výkon rohoží v omítnutém stropě. [25]

Pro místnost výdeje léčiv je maximální přípustný topný výkon asi $40 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, požadovaný je $9,3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Chladicí strop vyžaduje prostorovou regulaci, regulaci rosného bodu a regulaci náběhové teploty studené vody. K regulaci prostorové teploty slouží prostorový regulátor, který zapíná při podkročení/překročení nastavené teploty regulační ventil poháněný servopohonem.

K regulaci rosného bodu je vhodné umístit vlhkostní čidlo do nejchladnějšího místa místnosti. Při nebezpečí orosování je pak regulována klouzavě náběhová teplota, kdy regulátor vypočítává z měřené prostorové vlhkosti a zadané teploty prostoru odpovídající teplotu rosného bodu – při kritické vlhkosti vzduchu se strop neodpojí a funguje dále s částečným výkonem.

Kladečský plán rohoží v místnosti výdeje léčiv je vidět na následujícím obrázku. Červené potrubí značí přívodní potrubí a modré zpátečku.



Obrázek 57. Kladečský plán rohoží výdeje léčiv-vytvořeno firmou G-TERM.

9.3 Varianta č. 2 – půdorysy 1:100

Viz příloha č. 6 a příloha č. 7.

9.4 Tlakové ztráty VZT potrubí

Tlakové ztráty potrubí byly spočítány stejným způsobem jako u Varianty č. 1 (Rovnice 40). Výsledné hodnoty jsou vidět v Tabulce č. 11.

Tabulka 11. Tlakové ztráty VZT potrubí.

	VZT jednotka
	[Pa]
přívod vzduch	63,85
odvod vzduch	241,18

9.5 Technická zpráva

Některé části této technické zprávy jsou shodné s technickou zprávou Variant č. 1. Pozměněny byly části týkající se koncepce řešení, jednolitých VZT zařízení a tepelných izolací.

Základní koncepční řešení

Je uvažováno s kombinovanou klimatizací a s přívodem vzduchu o požadované teplotě interiéru v zimním období za pomoci centrální VZT jednotky. Dále pak s nuceným větráním skladu hořlavin. Vytápění je zajištěno otopnými tělesy ve všech vytápěných místnostech kromě výdeje léčiv, kde je vytápění zajištěno kapilárními rohožemi umístěnými na stropě. Výměna vzduchu bude provedena nuceným systémem v souladu s příslušnými předpisy a normami platnými na území České republiky. Výpočtové metody a výpočtové hodnoty jsou převzaty z výše uvedených obecně závazných předpisů a norem.

Elektrická energie (Shodné s Variantou č. 1)

Elektrická energie

Elektrická energie je uvažována pro pohon elektromotorů VZT zařízení, jednotky FAN-COIL a elektroodový parní vyvíječ- napájecí napětí 3NPE 400 V, 50 Hz

Tepelná energie

Pro ohřev vzduchu v tepelném výměníku centrální VZT jednotky bude sloužit topná voda s rozsahem provozních teplot $t_{w1}/t_{w2} = 90/70$ °C. Přívod teplé vody zajistí příslušné profese.

Pro chlazení vzduchu v centrálních i necentrálních jednotkách je uvažován systém nepřímého vodního chlazení teplonosnou látkou o teplotním rozsahu $t_{w1}/t_{w2} = 7/13$ °C. Pro výrobu chladu bude sloužit zdroj chladu umístěný na střeše objektu. Výrobu chladu a přívod teplonosné látky zajistí příslušná profese.

Koncepce větracích zařízení

1. Centrální VZT jednotka

Pro dodržení hygienických potřeb výměny vzduchu a pokrytí tepelné zátěže je navržena centrální VZT jednotka, která zajistí jednostupňovou filtraci čerstvého vzduchu a znehodnoceného vzduchu, rekuperaci pomocí deskového výměníku, navlhčení a ohřev přívodního vzduchu v zimním období na požadovanou teplotu interiéru, chlazení vzduchu v letním období pro pokrytí tepelné zátěže místností. Tato jednotka zajišťuje přísun čerstvého vzduchu a odvod odpadního do všech nuceně větraných a klimatizovaných místností kromě prostoru skladu hořlavín. Jednotka bude umístěna ve strojovně VZT, která je situována na střeše budovy. Sání čerstvého vzduchu bude provedeno asi 2,8 m nad úrovní střechy u severovýchodní stěny strojovny. Sání vzduchu bude opatřeno protidešťovou žaluzií a krycí mřížkou. Výfuk vzduchu bude skloněn pod úhlem 45° a bude opatřen krycí mřížkou. Výfuk vzduch bude umístěn na jihovýchodní straně budovy na úrovni střechy a bude skloněn pod úhlem 45° a bude opatřen krycí mřížkou. Jednotka bude v provozu během pracovní doby. Navíc bude uvedena v dostatečném předstihu před otevírací dobou, tak aby bylo zajištěno požadované vnitřní prostředí v době počátku pracovní doby. Transport jednotky bude po jednotlivých komorách. Filtrovaný, tepelně upravený, případně v zimním období navlhčený vzduch bude do daných prostorů transportován čtyřhranným potrubím z pozinkovaného plechu a ohebnými hadicemi. Jako koncové elementy budou sloužit vířivé vyústě, talířové ventily a podlahové mřížky - ve výdejně léčiv. Odvod znehodnoceného vzduchu bude pomocí čtyřhranného potrubí a ohebných hadic s osazenými koncovými elementy. Zařízení bude pracovat se 100 % čerstvého vzduchu. Systém větrání je navržen vzhledem k VZT jednotce jako rovnotlaký. Tlakové poměry jednotlivých místností jsou zobrazeny ve výkresech a v tabulce č. 10. VZT potrubí bude vedeno v jednotlivých místnostech v podhledu kromě místnosti výdeje léčiv, kde část přívodního potrubí bude vedena pod stropem a část na úrovni podlahy, kde bude potrubí opatřeno krytem s otvory nad jednotlivými vyústěními vzduchu. Potrubí vedené v exteriéru mezi jednotkou a interiérem prostorů výdeje léčiv – přívodní i odvodní (svislé potrubí na jihozápadní straně budovy) bude opatřeno izolací z minerálních vláken tl. 40 mm s oplechováním, dále pak přívodní potrubí v instalačním kanálu v 1. PP bude taktéž zaizolováno izolací z minerálních vláken tl. 40 mm s hliníkovou folií. Odvodní potrubí mezi místem výfuku vzduchu na střeše a strojovnou bude zaizolováno izolací z minerálních vláken tl. 40 mm s oplechováním, tato izolace bude provedena až po VZT jednotku (ve strojovně bude opatřena hliníkovou folií na místo oplechování). Přívodní potrubí

bude ve strojovně zaizolováno izolací tl. 40 mm s hliníkovou folií za i před jednotkou. Odvodní potrubí za VZT jednotkou bude opatřeno izolací z minerálních vláken o tl. 20 mm s hliníkovou folií.

Kapilární rohože v místnosti výdeje léčiv

V místnosti výdeje léčiv bude centrální jednotkou zajištěn přísun čerstvého vzduchu o požadované teplotě interiéru. K pokrytí tepelné zátěže v letním období a tepelných ztrát bude zajištěno kapilárními rohožemi umístěnými na hrubý strop a následně omítnuty. Systém bude rozdělen na 2 okruhy – sekundární okruh kapilárních rohoží a primární chladicí/topný okruh. Primární a sekundární okruh budou odděleny výměňkovou stanicí. Návrh okruhů zajistí příslušná profese. Regulaci prostorové teploty, rosného bodu a náběhové teploty chladicí/topné vody zajistí profese MaR. Aby bylo zajištěno zabránění kondenzaci stavební konstrukci stropu, bude zajištěna klouzavá regulace náběhové teploty při konstantním objemu chladicí vody. Odpovídající teplota náběhové vody bude vypočtena regulátorem z měřené prostorové vlhkosti změřené pomocí vlhkostních čidel umístěných v místnosti a zadané teploty prostoru odpovídající teplotě rosného bodu – zajistí profese MaR. Regulace prostorové teploty bude zajištěna prostorovým regulátorem (umístěným do místa, které není přímo ozařováno sluncem 1,5 m nad podlahu), který ovládá regulační ventil upravující přítok náběhové vody. Jako pohon pro ventil slouží termální servopohon.

Jednotky decentrální klimatizace prostor s dlouhodobým pobytem pracovníků a skladů léčiv (Shodné s Variantou č. 1, kromě výčtu místností)

V místnostech č. 104, č. 109, č. 112, č. 113, č. 113, č. 115, č. 01.01, č. 01.06, č. 01.10, č. 01.14 budou umístěny decentrální jednotky nepřímého chlazení v podstropním provedení, které budou umístěny v podhledu. Tyto jednotky zajistí pokrytí tepelné zátěže místností v letním období. Vzduch do těchto místností bude distribuován centrální VZT jednotkou a odvod znehodnoceného vzduchu bude také zajištěn centrální jednotkou. Tyto jednotky budou nasávat oběhový vzduch z místností a tento vzduch ochlazovat, tak aby zajistily požadovanou teplotu interiéru. K řízení jednotek bude v každé místnosti umístěn termostat napojený na dané jednotky, pomocí kterého bude regulován výkon jednotek tak, aby byla zajištěna požadovaná teplota interiéru. Návrh rozvodů teplonosné látky a regulaci zajistí profese Chlazení. Nejnižší teplota přiváděná do místností jednotkami bude 19 °C.

V prostorách pro skladování léčiv bude zajištěno měření a zaznamenávání teploty teploměry s maximální chybou měření $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ – zajistí profese MaR.

Zařízení č. 3 – Nucené větrání skladu hořlavin (Shodné s Variantou č. 1)

Pro zajištění potřebné výměny vzduchu ve skladu hořlavin bude sloužit diagonální zvukově izolovaný ventilátor TD 250/100 SILENT, který bude umístěn na přívodním potrubí v místnosti skladu hořlavin. Ventilátor bude spřažen s uzavírací klapkou, která se v případě vypnutí ventilátoru uzavře – v přívodním i odvodním potrubí a v době chodu zajistí pracovní bod pro požadovaný průtok vzduchu. Sání přívodního potrubí bude na jihozápadní fasádě budovy a bude opatřeno zkoseným koncovým kusem pod úhlem 45° s krycí mřížkou. Distribuce vzduchu do místnosti bude pomocí ohebné hadice talířovým přívodním ventilem. Odvod vzduchu bude pomocí potrubí vyvedené na střechu budovy, na střeše bude opatřeno krycí stříškou a v místnosti krycí mřížkou. Přívodní potrubí bude zaizolováno izolací z minerálních vláken tl. 40 mm proti povrchové kondenzaci v zimním období. [20]

Nároky na energie

Součtové elektrické příkony ventilátorů centrální jednotky:

$$P_{v,přivod} = 0,66 \text{ kW}$$

$$P_{v,odvod} = 0,79 \text{ kW}$$

Elektrický příkon parního vzhčovače:

$$P_v = 11,3 \text{ kW}$$

Měření a regulace, protimrazová ochrana (Shodné s Variantou č. 1)

Navržený vzduchotechnický systém bude řízen a regulován samostatným systémem měření a regulace – MaR. Základní funkční parametry jsou: [20]

- Ovládání chodu ventilátorů, silové napájení ovládaných zařízení.
- Zajištění tlumeného chodu daného zařízení mimo pracovní dobu a to asi 60 % maximálního výkonu, na přívodu i odvodu vzduchu pomocí frekvenčního měniče.
- Regulace teploty vzduchu řízením výkonu teplovodního ohřivače ve VZT jednotkách v zimním období.
- Regulace teploty vzduchu řízením výkonu nepřímo chlazeného chladiče ve VZT jednotkách v letním období.
- Umístění teplotních a vlhkostních čidel podle požadavků.
- Řízení protimrazové ochrany deskového výměníku nastavováním obtokové klapky – snímač namrzání rekuperátoru.
- Ovládání uzavíracích klapek na jednotkách včetně servophonů a jejich synchronizace s chodem ventilátorů.
- Protimrazová ochrana teplovodního výměníku – protimrazové čidlo na straně vody.
- Signalizace bezporuchového chodu ventilátorů pomocí diferenčního snímače tlaku.
- Měření a signalizace zanášení (tlakové ztráty) všech stupňů filtrace.
- Poruchová signalizace.
- Připojení regulace a signalizace stavu všech zařízení a velicí centralizované stanoviště.
- Zajištění požadované současnosti chodu jednotlivých zařízení v příslušných funkčních celcích.
- Signalizace požárních klapek (Z/O) – podružná signalizace polohy na panel požárních klapek.
- Synchronizace vlhkostních čidel s vyvíječi páry.

Protihluková a protiotřesová opatření (Shodné s Variantou č. 1)

Do rozvodných tras budou vloženy kulisové tlumiče hluku, které zabrání nadměrnému šíření hluku od ventilátorů do větraných místností a do okolní zástavby. Tyto tlumiče budou osazeny jak v přívodním, tak v odvodním potrubí, kde by bez tlumiče nevyhověla hladina hluku dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. Veškeré točivé stroje budou pružně uloženy za účelem zmenšení vibrací přenášejících se stavebními konstrukcemi – stavitelné nohy základového rámu budou podloženy rýhovanou gumou. Veškeré VZT potrubí bude napojeno k VZT jednotkám pomocí tlumících pružných manžet. Všechny prostupy VZT potrubí stavebními konstrukcemi budou obloženy a dotěsněny izolací. [20]

Izolace a nátěry

Navrženy jsou tepelné izolace z minerálních vláken. Navržené izolace jsou zobrazeny ve výkresech. Navržené tepelné izolace:

- Tepelná izolace z minerálních vláken s hliníkovou fólií, tl. 20 mm, $\lambda_D = 0,042 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.
- Tepelná izolace z minerálních vláken s hliníkovou fólií, tl. 40 mm, $\lambda_D = 0,042 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.
- Tepelná izolace z minerálních vláken s oplechováním, tl. 40 mm, $\lambda_D = 0,042 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

V případě použití jiného druhu izolací je nutné se řídit uvedenými parametry a dodržet hygienické a funkční parametry. Nátěry nejsou uvažovány.

Protipožární opatření (Shodné s Variantou č. 1)

Všechny prostory okolo VZT potrubí procházející přes požárně dělící konstrukce budou opatřeny požárními ucpávkami. Do vzduchovodů procházejících požárně dělícími konstrukcemi budou vřazeny protipožární klapky, zabraňují v případě požáru jeho šíření z jednoho požárního úseku do jiného nebo mimo tento požární úsek. V případě, kdy nebude možné osadit protipožární klapku do požárně dělící konstrukce, bude potrubí mezi touto konstrukcí a požární klapkou opatřeno izolací s požadovanou dobou požární odolnosti. Osazené požární klapky budou v provedení teplotního a ručního spouštění se signalizací na 24 V. [20]

Nároky na spolusouvisející profese:**Stavební úpravy [20] (Shodné s Variantou č. 1)**

- Otvory pro prostupy vzduchovodů včetně zapravení a odklizení sutě.
- Obložení a dotěsnění prostupů VZT potrubí izolačními protidešťovými hmotami v rámci zapravení.
- Dotěsnění a oplechování prostupů VZT potrubí.
- Zajištění případných nátěrů VZT prvků na fasádě, či střeše objektu (architektonické řešení).
- Zajištění povrchové úpravy podlahy strojovny VZT pro bezprašný provoz a vyspádování k instalované vpusti.
- Stavební, výpomocné práce.
- Zřízení instalačních šachet pro vedení VZT potrubí.
- Zřízení revizních otvorů pro přístup k ventilátoru, požárním klapkám nerozebíratelných částí podhledu.

Silová elektroinstalace [20] (Shodné s Variantou č. 1)

- Využití stávajících rozvodů k napojení všech potřebných komponentů – zajistí příslušné profese.

Měření a regulace [20] (Shodné s Variantou č. 1)

- Ovládání a řízení chodu.
- Řízení chodu VZT.
- Signalizace chodu provozních stavů a poruch.
- Ovládání servopohonů a klapek.
- Snímání čidel a manostatů.
- Řízení přívodu teploty a vlhkosti v zimním období.
- Zajištění požadavků chlazení.
- Hlídaní mrazové ochrany výměníků.

Zdravotní technika (Shodné s Variantou č. 1)

Odvod kondenzátu od VZT jednotky umístěné ve strojovně a od jednotek FAN-COIL zařízení v jednotlivých místnostech. Svod kondenzátu bude napojen na odpadní potrubí. [20]

Rozvody tepla a chladu (Shodné s Variantou č. 1)

Rozvody teplotnosné látky pro výměníky pro chlazení a ohřev u všech zařízení zajistí příslušné profese. [20]

Osvětlení ve výdejně léčiv

Osvětlení bude navrženo příslušnou profesí, bude však nutné brát ohled na navržené kapilární rohože umístěné na stropní konstrukci. Pro osvětlení bude možné použít závěsné svítidla, které budou ukotveny ve stropě ve volných plochách stropu. Je možné také před kladením rohoží ukotvit lanka pro osvětlení do stropu a kapiláry poté roztáhnout kolem ukotvení. Elektrické vedení je možné vést ve volném prostoru, případně by bylo nutné upravit rozměry rohoží.

Závěr (Shodné s Variantou č. 1)

Navržená větrací a klimatizační zařízení splňují nároky kladené na provoz daného typu a charakteru. Celoročně zabezpečují v daných místnostech optimální pohodu prostředí. [20]

9.6 Hodnocení z hlediska vnitřního prostředí

Tak jako u Varianty č. 1 byly provedeny simulace pro letní a zimní období se zvolenými příslušnými okrajovými podmínkami pro každé období.

V této Variantě byly použity kapilární rohože ve výdejně léčiv umístěné na stropě místnosti, které slouží k chlazení i vytápění. Jedním z důvodů pro použití rohoží bylo snížení vysokých rychlostí proudícího vzduchu v obytné zóně způsobené oběhovými jednotkami FAN-COIL

Vytápění pomocí kapilárních rohoží zajistí sálavý přenos tepla na okolní plochy i podlahu a akumulace horkého vzduchu u stropu není výrazná. V letním období výsledky simulací neukázaly větší rychlosti proudění vzduchu jak $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, takové rychlosti proudění vzduchu jsou v přípustných mezích. Nejvyšší hodnoty stupně obtěžování průvanem **DR** bylo v provedených simulacích 15 %, což je výrazně nižší hodnota než u Varianty č. 1, kde dosahovaly hodnoty **DR** až 40 % v obytné zóně.

Vypočtené ukazatele předpovědi procenta nespokojených jsou pro tuto variantu PPD = 7,3 % pro letní období a 6,8 % pro zimní období, čemuž odpovídá střední tepelný pocit PMV = 0,33 pro letní období a PMV = 0,29 pro zimní období (Tabulka 14).

Na základě provedených simulací a výpočtů lze doporučit Variantu č. 2 jako vhodnější z hlediska pohody vnitřního prostředí.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

C. MATEMATICKO – FYZIKÁLNÍ ŘEŠENÍ A NÁSLEDNÉ ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ

C. MATHEMATICAL – PHYSICAL SOLVING AND POST-PROCESSING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAN PŘIKRYL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2015

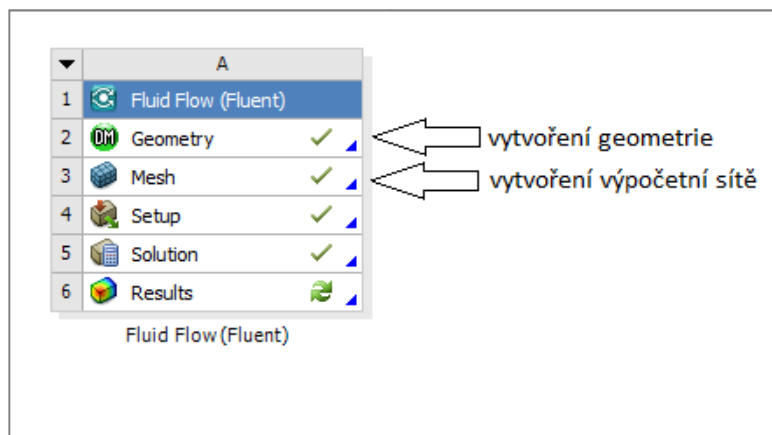
Úvod k části C

Tato část byla vytvořena v rámci speciálního kurzu na Dánské technické univerzitě - DTU pod vedením kantora Jianhua Fan. Název této práce je CFD investigation of Indoor Environment in a Pharmacy Building a byla vytvořena během jarního semestru v roce 2014.

10 Geometrie a výpočetní síť

Aby bylo možné provést simulace je v první řadě nutné vytvořit geometrický model. Byly vytvořené geometrické modely pro každou variantu a pro Variantu č. 1 byl vytvořen jeden model pro letní a druhý pro zimní období (v modelu pro letní období nebyly vytvořeny radiátory a pro zimní období nebyly vytvořeny jednotky FAN-COIL kvůli zjednodušení geometrie), pro Variantu č. 2 byl jeden model pro letní i zimní období. Není možné v modelu zachytit všechny detaily, které jsou přítomny v reálném případě, proto je nutné přistoupit k vhodným geometrickým zjednodušením. Vytvoření vhodného modelu úzce souvisí s výpočetní sítí, protože nevhodně vytvořený geometrický přímo ovlivňuje kvalitu sítě. Může se stát, že při špatně vytvořené geometrii není možné vygenerovat výpočetní síť, či síť ve vhodné kvalitě.

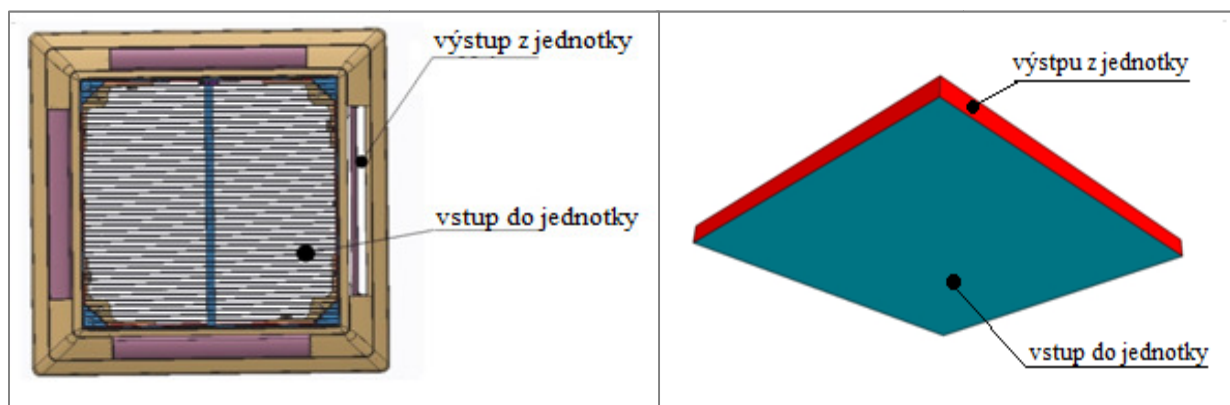
Jako první krok byl vytvořen 3D model místnost v programu SketchUp. Takový model je možné velice rychle vytvořit. 3D model v programu SketchUp byl vytvořen jen jako pomocný model, který je možné snadno upravovat a poté z tohoto modelu odečítat rozměry při vytváření vlastního geometrického modelu. Ten byl vytvořen v Ansys Workbench , stejně jako výpočetní síť.



Obrázek 58. Práce v programu Ansys Workbench.

Následující části interiéru byly vytvořeny jako součást matematicko-fyzikálního modelu. Byly vytvořeny proto, že buď ovlivňují proudění vzduchu uvnitř místnosti, nebo jsou významné z hlediska vnitřního prostředí – je na nich aplikována okrajová podmínka (např. stůl jako zdroj tepla od počítače).

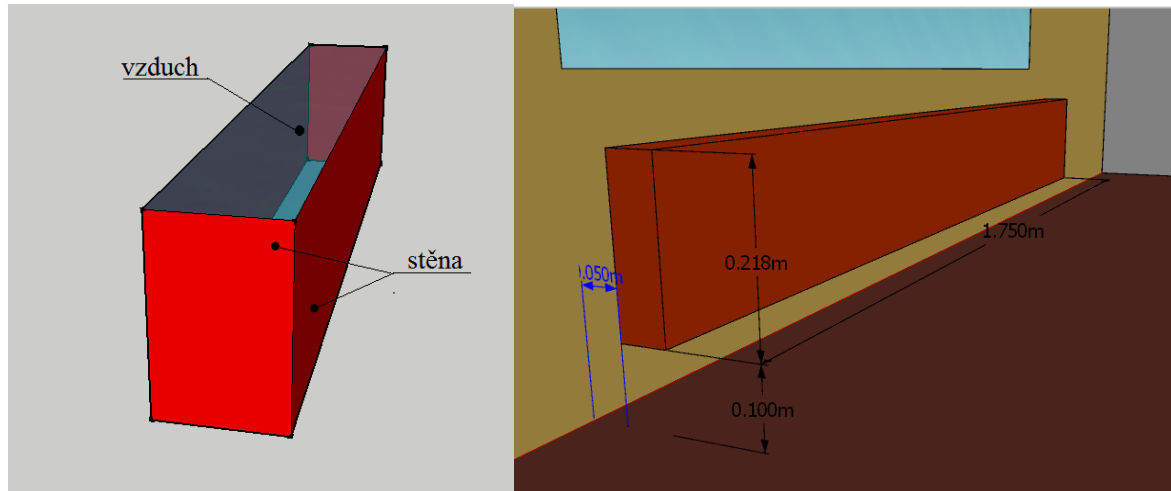
- **Vstup vzduchu do modelu – Inlet** – navržené vyústky jsou obdélníkové prvky. I v modelu byly vytvořeny jako obdélníkové prvky, avšak byly upraveny rozměry. Reálné vyústky jsou kryty mřížkou (štěrbinové vyústky ve Variantě 1 a podlahové ve Variantě 2), v modelu by bylo příliš náročné vytvořit přesný geometrický model, proto byly vytvořeny jako obdélník, který má stejnou efektivní plochu jako navržené vyústky a to tak, že délka vyústky byla zachována a byla upravena šířka.
- **Výstupu vzduchu z modelu – Outlet** – byly vytvořeny stejným postupem jako vstupní prvky.
- **Jednotky FAN-COIL** – tyto jednotky byly použity pouze ve Variantě 1. Oběhové jednotky FAN-COIL obsahují vstupní i výstupní okrajovou podmínku. Efektivní plochy pro tyto jednotky nebyly nikde nalezeny, proto je bylo nutné odhadnout. K odhadu efektivní ploch byl použit 3D model použité jednotky poskytnutý firmou GEA.



Obrázek 59. 3D model reálné jednotky (vlevo) a zjednodušený použitý model (vpravo).

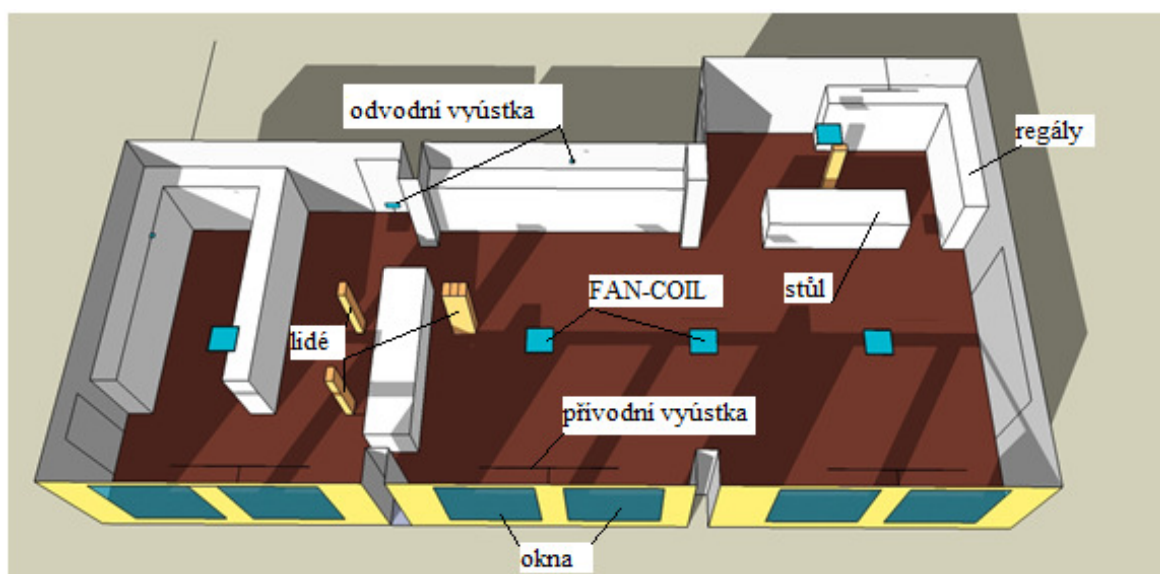
- **Radiátory** – radiátory byly použity ve Variantě 1. Rozměry radiátorů vychází z reálných radiátorů dostupných na trhu, rozměry byly však upraveny tak, aby měly stejnou šířku jako okna kvůli snadnějšímu vytváření výpočetní sítě. Model radiátoru a jeho umístění pod oknem je vidět na obrázku 60. Okrajová podmínka „stěna“ byla použita pro svislé stěny radiátoru a vodorovné stěny byly nastaveny jako volné tak,

aby mohl vzduch proudit skrz radiátor. Objemu uvnitř radiátoru byl pak přiřazen objemový tepelný zdroj v jednotkách [$\text{W} \cdot \text{m}^{-3}$].

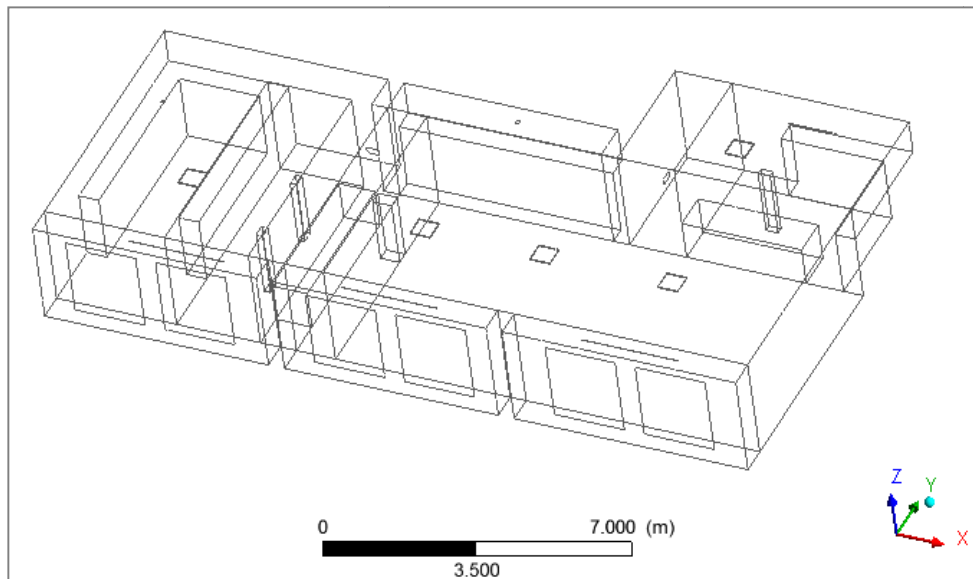


Obrázek 60. Geometrický model radiátoru.

- **Osoby** – osoby byly vytvořeny v modelu zejména jako tepelný zdroj. Byly uvažovány stojící osoby, zjednodušeně jako kvádry o výšce 1,7 m šířce 0,16 m a tloušťce 0,3 m.
- **Regály, stoly** – byly vytvořeny kvádry reprezentující regály a stoly v místnosti.
- **Okna** – pro okna byla použita obdélníková rovina.

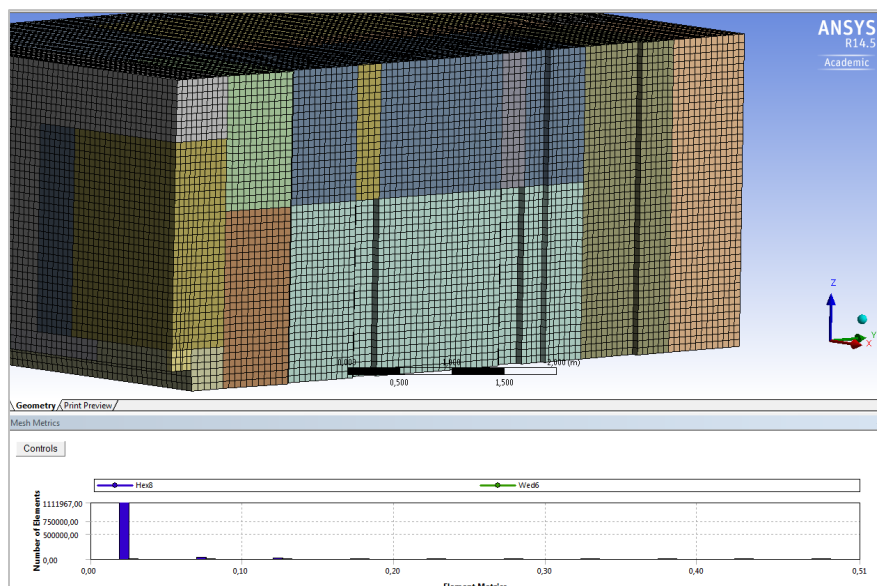


Obrázek 61. Geometrie místnosti - 3D model vytvořený v programu SketchUp.

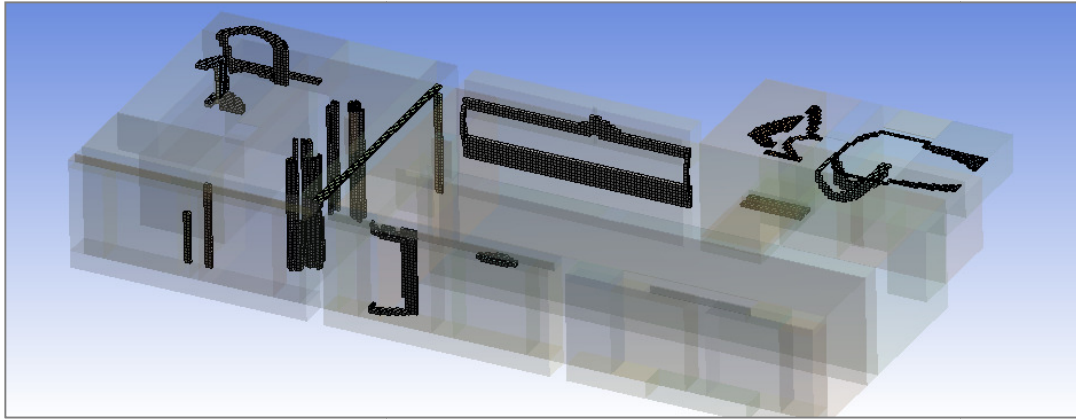


Obrázek 62. Geometrie v Ansys Workbench.

Jakmile je vytvořena geometrie je nutné model rozložit tak na jednotlivé kvádrové prvky, tak abych bylo možné použít hexahedrální síť. Poté je možné vytvořit výpočetní síť, která je po nastavení vygenerována automaticky. Byly nastaveny hodnoty maximální velikosti stěny prvku sítě jako 0,7 m. Jakmile byla síť vytvořena, byla vyhodnocena její kvalita pomocí parametru šikmosti (skewness).



Obrázek 63. Výpočetní síť na řezu místnosti a šikmost sítě rozdělená podle počtu prvků o dané šikmosti.



Obrázek 64. Zvýrazněné elementy sítě o nižší kvalitě (šikmosti 0,173).

11 .Fluent nastavení

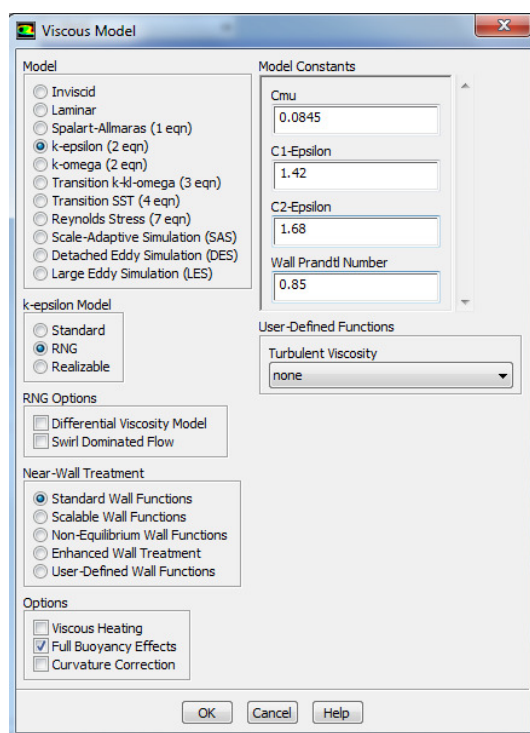
11.1 Fyzikální modely

Za účelem dosažení realistických výsledků je nutné nastavit jednotlivé modely popisující fyzikální zákony. Následující parametry byly nastaveny:

Energy (rovnice pro přenos tepla) **on**

Gravitace **-9.81 m·s⁻²**

Model turbulence **RNG *k-ε*** (2 rovnicový model)



Obrázek 65. Nastavení modelu turbulence.

Model radiace **Surface to Surface (S2S)**

Model přirozeného proudění **Boussinesqův model** (kap. 6.3.2), součinitel teplotní roztažnosti $0,00335 \text{ K}^{-1}$, hustota $1,18 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

11.2 Okrajové podmínky

Pro každou variantu byly provedeny simulace pro letní i zimní období. Pro každé období pak byly nastaveny níže uvedené okrajové podmínky. Součinitel prostupu tepla pro venkovní zdi a okna se nastavuje od vnitřního povrchu zdi do venkovního prostředí. Proto byl spočítán pouze odpor pro přestup tepla na vnější straně R_{se} (0,04 pro zimní období a 0,07 pro letní období).

11.2.1 Letní období

doba výpočtu 21. června, 8:00 ráno.

návrhová teplota vnitřní vzduchu $t_i = 24 \text{ °C}$

teplota venkovního vzduchu $t_e = 21.2 \text{ °C}$

součinitel prostupu tepla - okna $1.25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

součinitel prostupu tepla – venkovní zdi $0.31 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

vnitřní zdi, podlaha, strop – adiabatická okrajová podmínka

Vnitřní tepelné zisky

lidé 80 W/osobu

6 lidí = 480 W, nastaveno jako plošný zdroj [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

počítače 100 W/počítač

3 počítače = 300 W, nastaveno jako plošný zdroj na povrch stolů [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

umělé osvětlení $20 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

70 m^2 (bylo uvažováno s umělým osvětlením ve vzdálenosti větší jak 4 m od oken) = 1400 W, nastaveno jako objemový zdroj tepla v celém objemu místnosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-3}$]

Venkovní tepelné zisky

sluneční radiace 2888 W

Tepelné zisky od sluneční radiace byly rozprostřeny na podlahu místnosti a nastaveny jako plošný zdroj [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] a to na celé podlahové ploše vyjma výklenku v zadní části místnosti (nejdále od oken asi 13 m^2).

11.2.2 Zimní období

návrhová teplota vnitřní vzduchu $t_i = 20 \text{ °C}$

teplota venkovního vzduchu $t_e = -12 \text{ °C}$

teplota suterénu	$t_a = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
součinitel prostupu tepla – okna.....	$1.25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
součinitel prostupu tepla – venkovní zdi.....	$0.32 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
součinitel prostupu tepla – podlaha.....	$0.26 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
vnitřní zdi, strop – adiabatická okrajová podmínka	

Vnitřní tepelné zisky:

Vnitřní tepelné zisky pro zimní období nebyly uvažovány. Důvod pro to je, že je vhodné provést simulace pro případ, kdy systém vytápění pracuje na maximální výkon. Proto byl nastaven pouze tepelný zisk od jedné osoby (v zadní části místnosti).

lidé..... 80 W/osobu

1 osoba = 80 W, nastaveno jako plošný zdroj [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]

Venkovní tepelné zisky:

Pro zimní období žádné tepelné zisky nebyly uvažovány.

11.3 Nastavení řešiče

Tlakové rychlostní spojení:

Schéma Simple

Interpolační metoda – diskretizační schéma:

Tlak..... Presto

Gradient..... Green-Gauss Node based

First Order Upwind byl nastaven pro momentum, energii, turbulentní kinetickou energii, disipace turbulentní energie.

11.4 Nastavení váhových funkcí

Tyto funkce slouží ke korekci reziduí, které vznikají při řešení rovnic iterační metodou. Jako první byly nastaveny hodnoty 0,3 pro tlak, 0,7 pro momentum a 0,95 pro energii, pro ostatní parametry byly použity výchozí hodnoty. V případě, že hodnoty reziduálů neklesly pod specifikovanou hodnotu asi po 1500 iteracích, byly hodnota pro tlak nastaveny na 0,2 a 0,4

pro momentum. Pokud hodnoty všech reziduálů neklesly po dalších asi 200 iteracích pod dané hodnoty, byla hodnota pro tlak nastavena na 0,4 a pro momentum na 0,4. V případě že hodnoty reziduálů neklesly pod dané hodnoty po dalších asi 100 iteracích, byl výpočet ukončen a byly vyhodnoceny ostatní kritéria konvergence (konstantní teplota v doméně, teplotní a hmotností bilance).

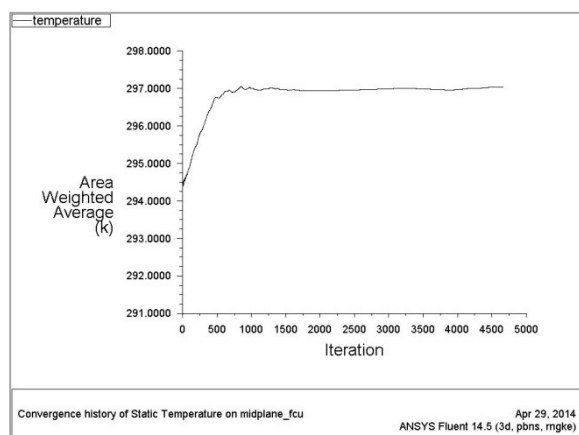
12 Vyhodnocení konvergence řešení

Během průběhu výpočtu byly zobrazovány zapisovány průběžné hodnoty reziduálů a průměrná teplota v doméně. Pokud hodnoty reziduálů klesly pod dané hodnoty (10^{-6} pro energii, 10^{-3} pro x, y a z rychlost, k , ε a kontinuitu), byl výpočet ukončen a byly ověřeny teplotní a hmotnostní bilance. Pokud rozdíl v hmotnostních a teplotních bilancích byl nižší než 1 % a sledovaná proměnná (teplota vzduchu) byla ustálena, řešení bylo považováno za konvergentní. V případě, že hodnoty reziduálů klesly pod dané hodnoty, ale podmínka bilancí nebyla splněna, výpočet řešení pokračoval, dokud nebyly splněny teplotní a hmotností bilance.

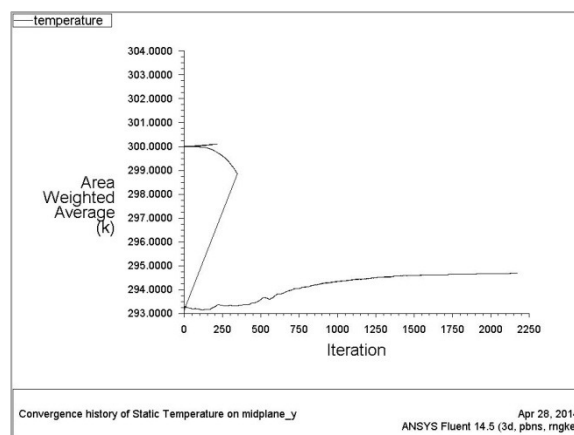
12.1 Varianta č. 1

Tabulka 12. Teplotní bilance – Varianta č. 1.

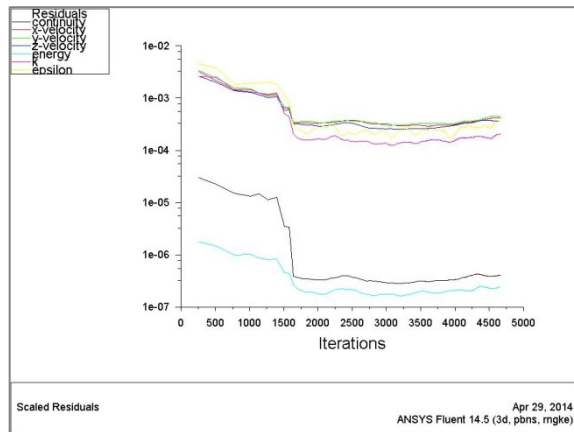
	Léto	Zima
Průměrná teplota v doméně [°C]	23.98	21.52
Nerovnováha [W]	-1375.19	-1132.53
Přímí zisk do domény [W]	1400.00	1140.00
Upravená nerovnováha [W]	24.80	7.47
Nerovnováha 1 % [W]	48.66	15.70



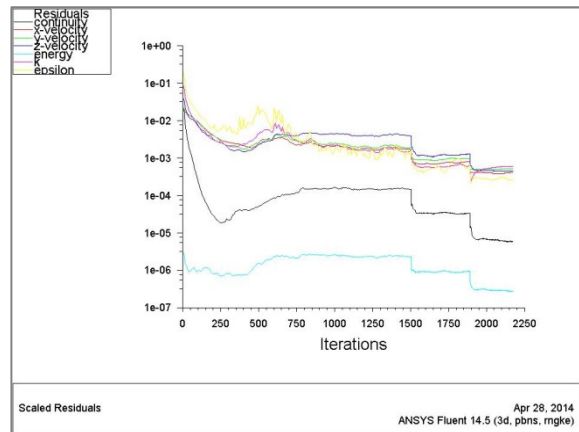
Obrázek 66. Léto - průběh průměrné teplotě během výpočtu řešení – Varianta č. 1.



Obrázek 67. Zima - průběh průměrné teplotě během výpočtu řešení – Varianta č. 1.



Obrázek 69. Léto – průběh reziduálů během výpočtu řešení – Varianta č. 1.



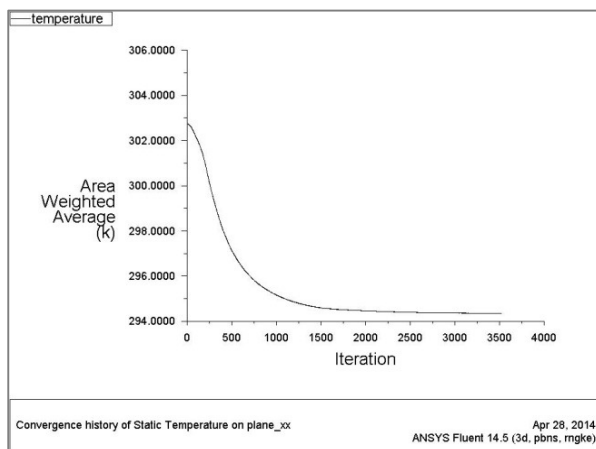
Obrázek 68. Zima – průběh reziduálů během výpočtu řešení – Varianta č. 1.

Pro zimní i letní období vypočtené řešení lze považovat za konvergentní – hodnoty reziduálů jsou pod danými hodnotami, průměrná teplota je ustálená a s přibývajícými iteracemi se nemění, jsou splněny teplotní a hmotností bilance toků domény.

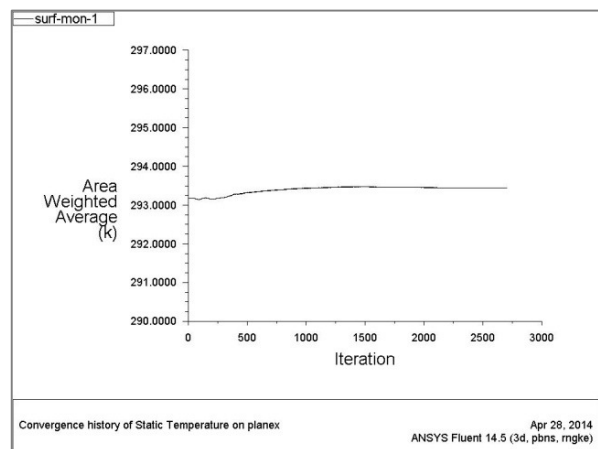
12.2 Varianta č. 2

Tabulka 13. Teplotní bilance – Varianta č. 2.

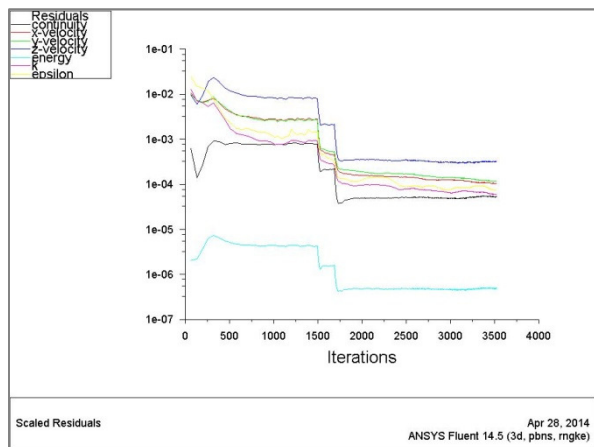
	Léto	Zima
Průměrná teplota v doméně [°C]	24.48	21.21
Nerovnováha [W]	-1390.00	-0.81
Přímí zisk do domény [W]	1400.00	—
Upravená nerovnováha [W]	9.15	-0.81
Nerovnováha 1 % [W]	37.63	11.06



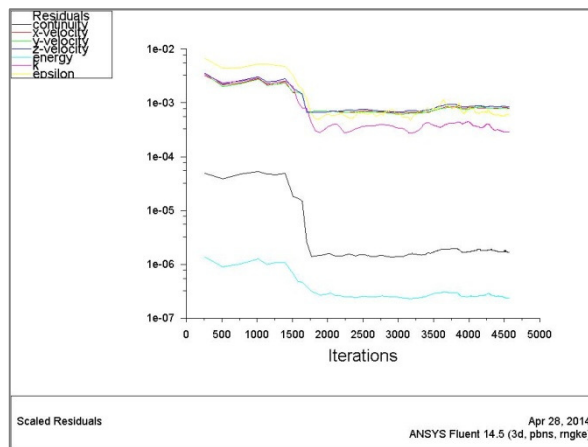
Obrázek 71. Léto – průběh průměrné teploty během výpočtu – Varianta č. 2.



Obrázek 70. Zima – průměrné teploty během výpočtu – Varianta č. 2.



Obrázek 73. Léto – průběh reziduálů během výpočtu řešení – Varianta č. 2.

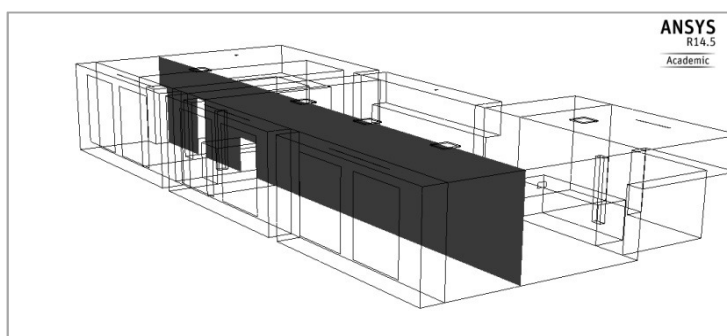


Obrázek 72. Zima – průběh reziduálů během výpočtu řešení – Varianta č. 2.

13 Vizualizace výsledků

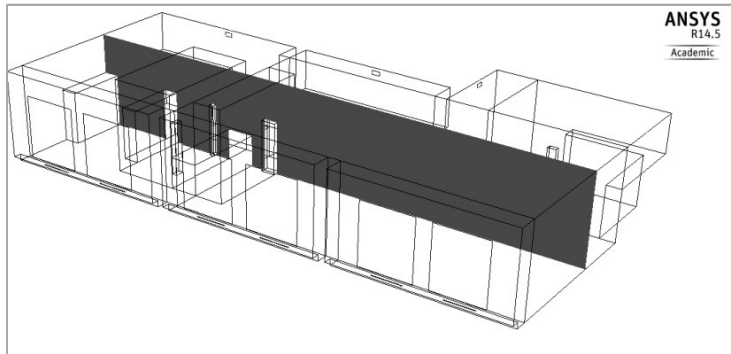
Za účelem zobrazení výsledků simulací (teploty, průvan, rychlost proudění vzduchu atd.) bylo vytvořeno několik typických řezů místnosti, na kterých byly poté vypočtené proměnné zobrazeny jako kontury či vektory rychlosti proudění.

Pro zobrazení rychlostí proudění pod jednotkami FAN-COIL ve Variantě č. 1 byl vytvořen řez místností rovnoběžný s osou x a procházející pod jednotkami (Obrázek 74)



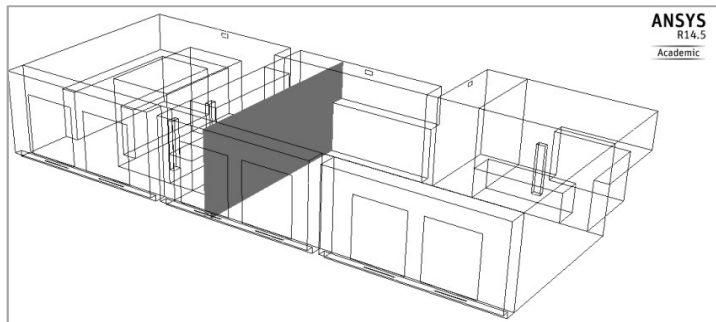
Obrázek 74. Řez místností „X – FCU“.

Další řez rovnoběžný s osou x byl vytvořen tak ,že prochází osobami.



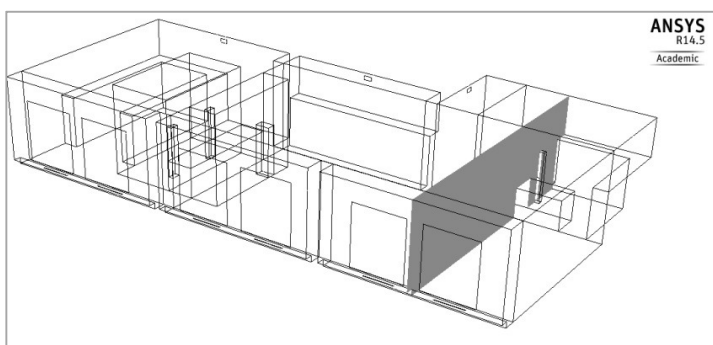
Obrázek 75. Řez místností „X“.

Další dva řezy byly vytvořeny ve směru rovnoběžném s osou y. První prochází středem okna a radiátorem/podlahovou vyústkou.



Obrázek 76. Řez místností „Y 1“.

Další řez prochází zadní částí místnosti, kde je umístěn druhý prodejní regál a jeden zaměstnanec.

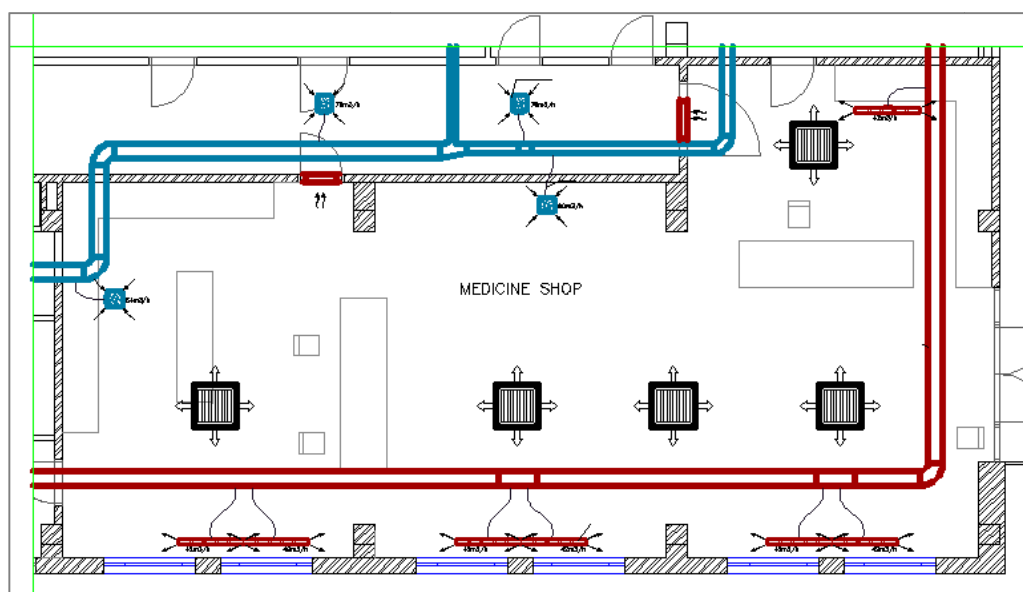


Obrázek 77. Řez místností „Y 2“.

Také dva horizontální řezy byly vytvořeny za účelem zobrazení teplot v celé místnosti v úrovni hlavy – 1,7 m nad podlahou a v úrovni kotníků – 0,1 nad podlahou

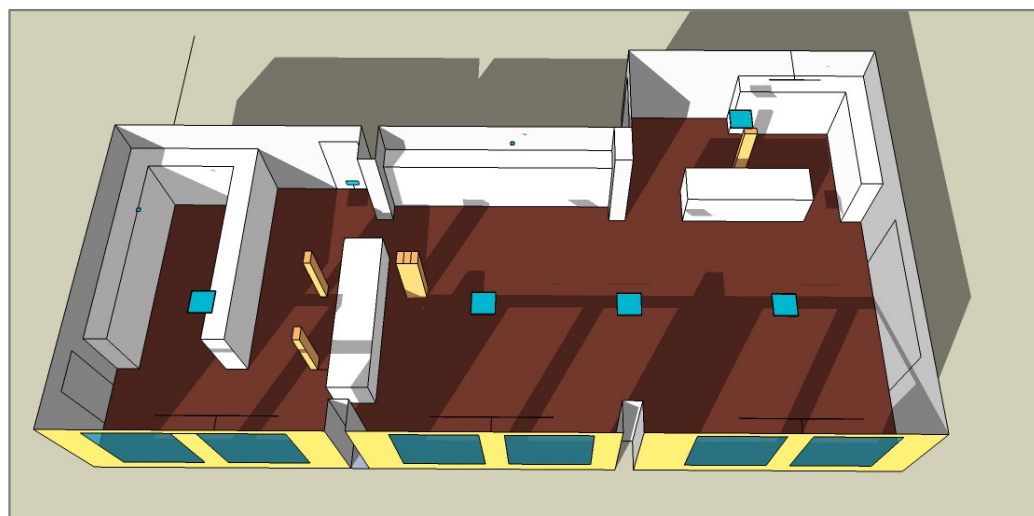
13.1 Varianta č. 1

V této variantě je vzduch přiváděn do místnosti pomocí 3 štěrbinových vyústek umístěných v podhledu u oken a jedna další vyústka je umístěná v zadní části místnosti. V podhledu jsou umístěny dvě odvodní vyústky a ve spodní části dveří vedoucí do chodby jsou umístěny dveřní mřížky, kterými vzduch proudí z výdejny do chodby. Vytápění je zajištěno 6 radiátory umístěnými pod okny. K chlazení slouží oběhové jednotky FAN-COIL umístěné v podhledu – 3 jsou v části u oken a 1 v zadní části místnosti. Výška místnosti od podlahy k podhledu je 2,6 m. Půdorys místnosti je vidět na Obrázku 78.



Obrázek 78. Půdorys výdejny léčiv – Varianta č. 1.

3D model místnosti vytvořený v programu SktechUP je vidět na Obrázku 79. Přesně stejná geometrie byla vytvořena v programu ANSYS Workbench pro provedení simulací.



Obrázek 79. 3D model výdejny léčiv – Varianta č. 1.

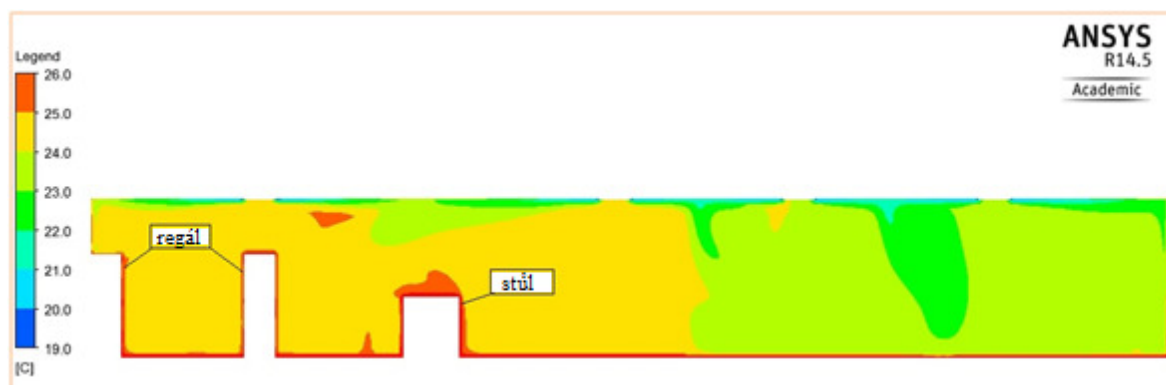
13.1.1 Varianta č. 1 – Léto

Popis systému:

- Přívod čerstvého vzduchu – 4 vyústky v podhledu, $t_p = 21,2 \text{ °C}$, $V_{\text{tot}} = 294 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.
- Chlazení – 5 cirkulačních jednotek FAN-COIL, $t_p = 19,4 \text{ °C}$, $V_{\text{tot}} = 3100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Teplota vzduchu:

Teplota vzduchu je lehce vyšší v levé části místnosti (Obrázek 80). To může být způsobeno větší koncentrací vnitřních zdrojů tepla v této části (lidé, stůl s PC). Významné rozdíly po výšce místnosti nebyly nalezeny. Vyšší teplota je na podlaze místnosti kvůli sluneční radiaci. Teplý vzduch na povrchu stolu je způsoben rozptřením zisků z PC na jeho povrchu. Ačkoliv je teplota na regálech vyšší než teplota okolního vzduchu, je nižší než teplota na podlaze (Obrázek 81), to je způsobeno pravděpodobně přenosem tepla radiací z podlahy na regály.



Obrázek 80. Teplota vzduchu na rovině řezu „X-FCU“

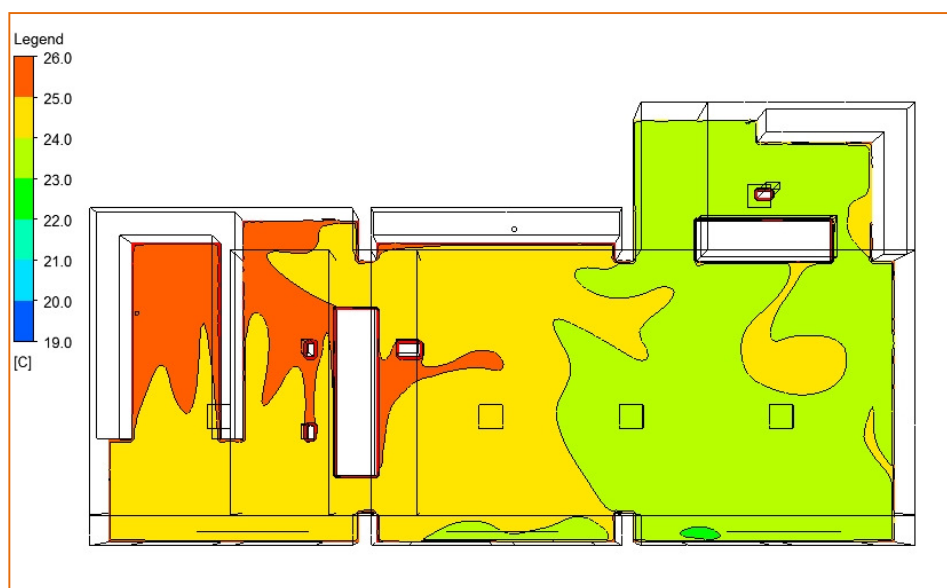


Obrázek 81. Teplota vzduchu rovině řezu „X-FCU“ – detail.

Na Obrázku 82 je vidět teplota vzduchu na horizontální rovině ve výšce 1,7 m nad podlahou. Vyšší teplota v levé části místnosti, kde je vyšší koncentrace lidí, je vidět také na Obrázku 83, který je ve výšce 0,1 m nad podlahou.



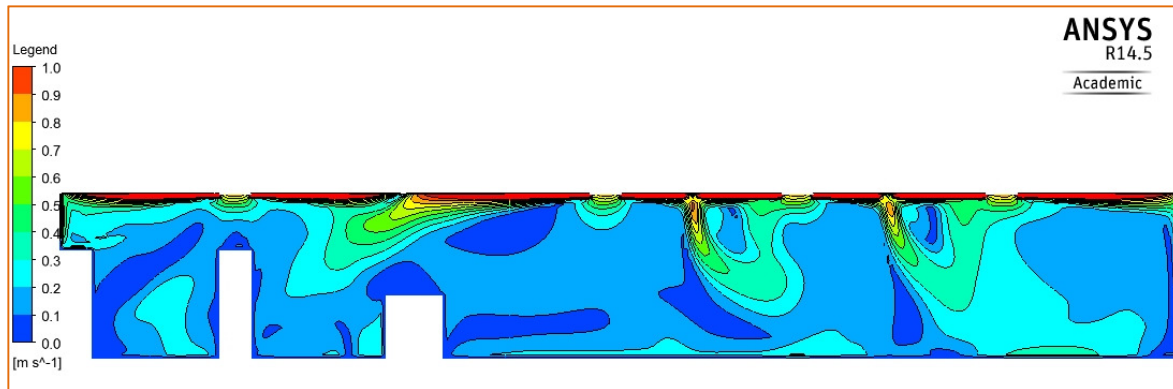
Obrázek 82. Teplota vzduchu – 1,7 m nad podlahou.



Obrázek 83. Teplota vzduchu – 0,1 m nad podlahou.

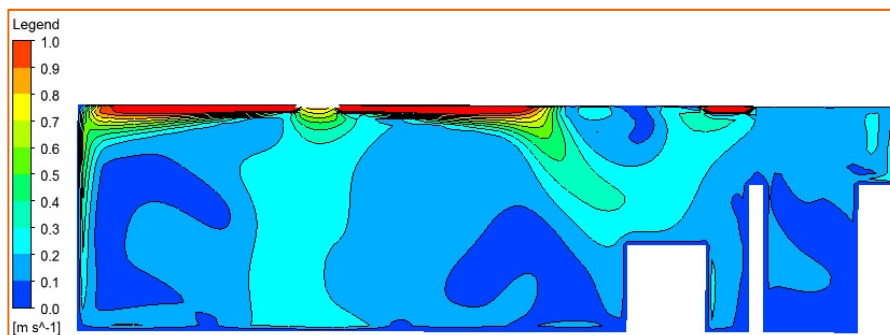
Rychlost proudění vzduchu:

Na Obrázku 84 je vidět, že rychlost proudění vzduchu v obytné zóně dosahuje rychlosti až $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v některých částech obytné zóny místnosti. A to hlavně v místě, kde se setkávají proudy vzduchu z jednotek FAN-COIL



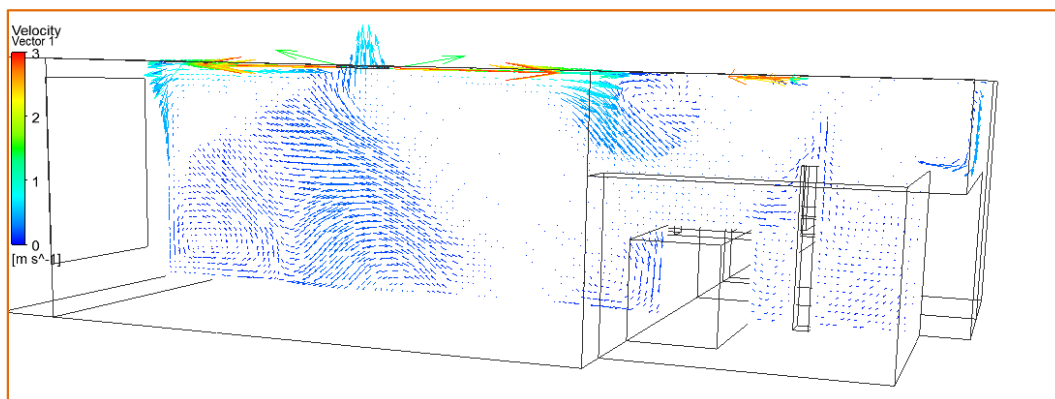
Obrázek 84. Rychlost proudění vzduchu na řezu „X-FCU“.

Vyšší rychlosti jsou také vidět nad výdejním pultem v zadní části místnosti (Obrázek 85).



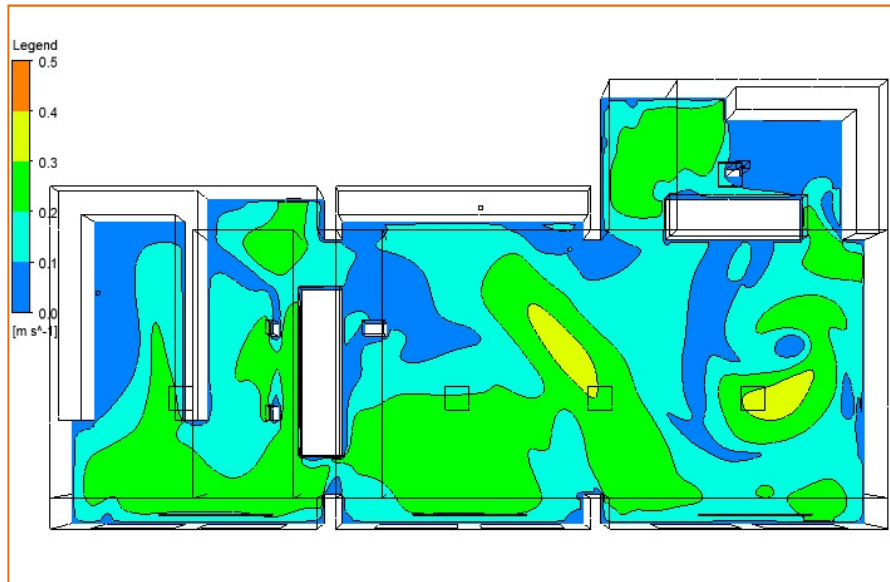
Obrázek 85. Rychlost proudění vzduchu na řezu „Y 2“.

Na stejném řezu jsou vidět vektory proudění vzduchu:



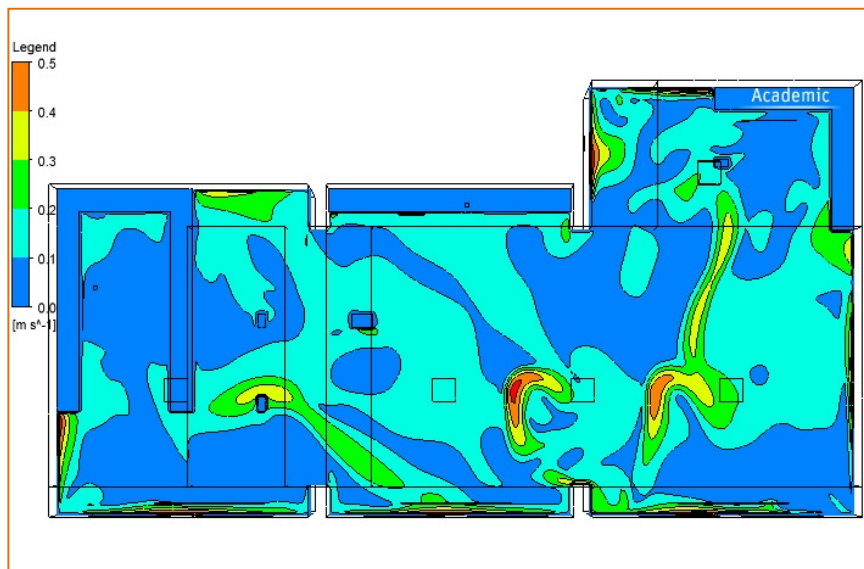
Obrázek 86. Vektory rychlosti proudění vzduchu na řezu „Y 2“.

Rychlost proudění vzduchu na horizontálním řezu místností ve výšce 0,1 m nad podlahou je vidět na Obrázku 87. V malých oblastech místnosti dosahuje rychlost vzduchu $0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (žlutá barva).



Obrázek 87. Rychlost proudění vzduchu 0,1 m nad podlahou.

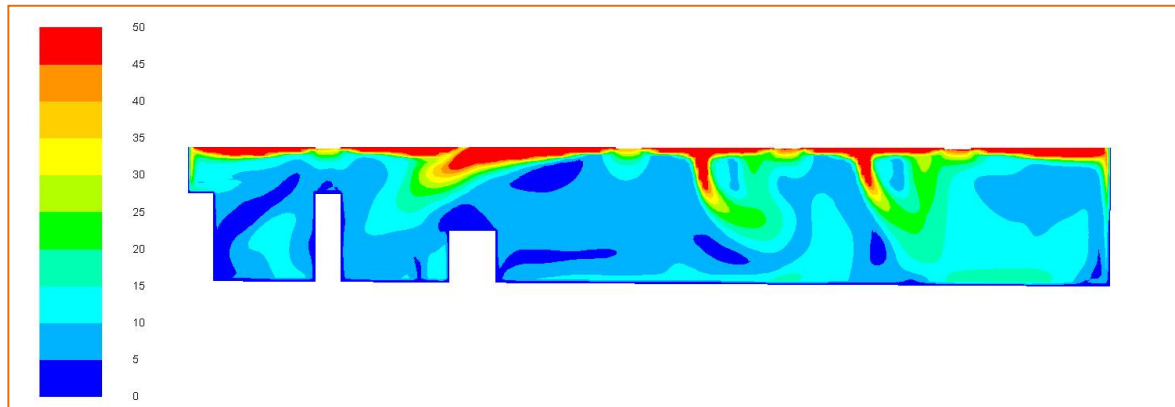
Ve výšce rovné úrovni hlavy (1,7 m nad podlahou) přesahuje rychlost proudění vzduchu v místnosti $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Obrázek 88), ale pouze v malých oblastech. Je však vidět, že v levé části místnosti dosahuje rychlost vzduchu až $0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v místě pobytu zaměstnanců (za prodejním pultem).



Obrázek 88. Rychlost proudění vzduchu 1,7 m nad podlahou.

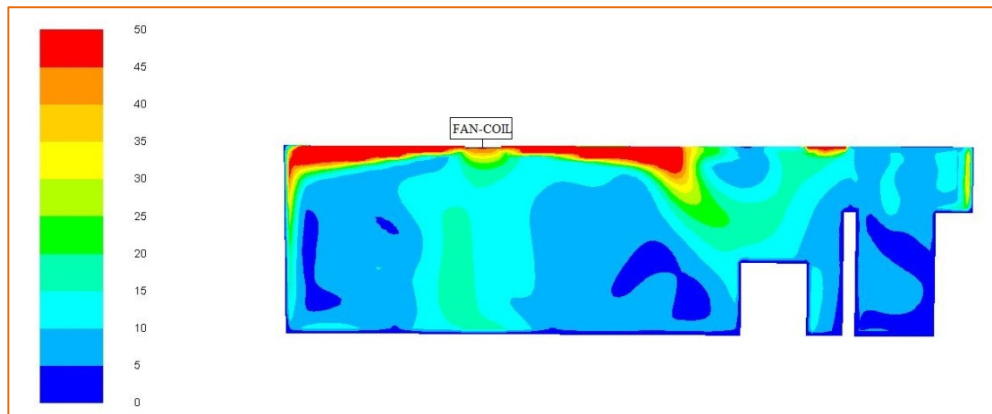
Stupeň obtěžování průvanem DR:

Jak bylo očekáváno, vysoká hodnota **DR** se objevuje v místech s vysokou rychlostí proudění vzduchu. Nejvyšší hodnoty dosahují **DR** = 50 % v obytné oblasti. V místě, lze předpokládat delší pobyt osob – v levé části za prodejním pultem dosahují hodnoty **DR** = 20 % (Obrázek 89).



Obrázek 89. Hodnoty **DR** na rovině řezu „X – FCU“

V řezu napříč místností je vidět, že vyšší hodnoty **DR** u vrchní části oken a také nad prodejním pultem v zadní části místnosti, což může způsobit diskomfort zákazníkům.



Obrázek 90. Hodnoty **DR** na rovině řezu „Y 2“.

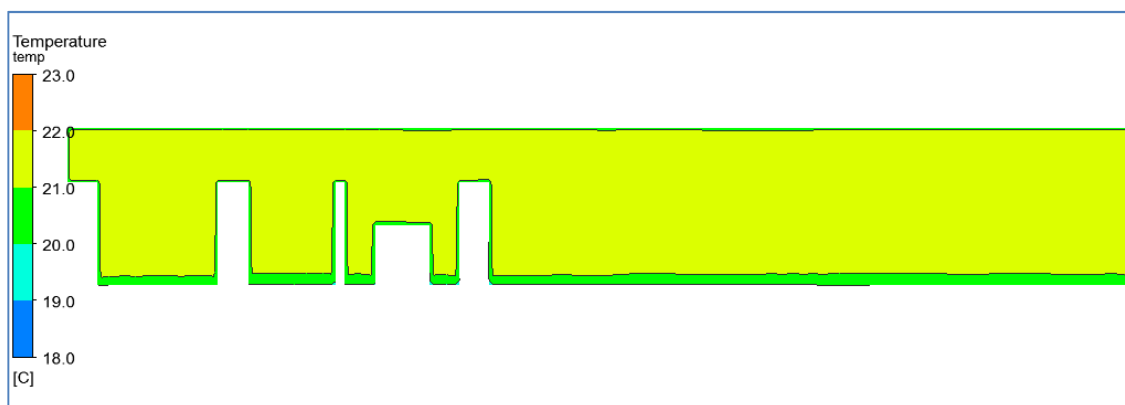
13.1.2 Varianta č. 1 – Zima

Popis systému:

- Přívod čerstvého vzduchu – 4 vyústky v podhledu, $t_p = 20\text{ °C}$, $V_{\text{tot}} = 294\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.
- Vytápění – 6 radiátorů.
- Průměrná teplota $21,52\text{ °C}$.

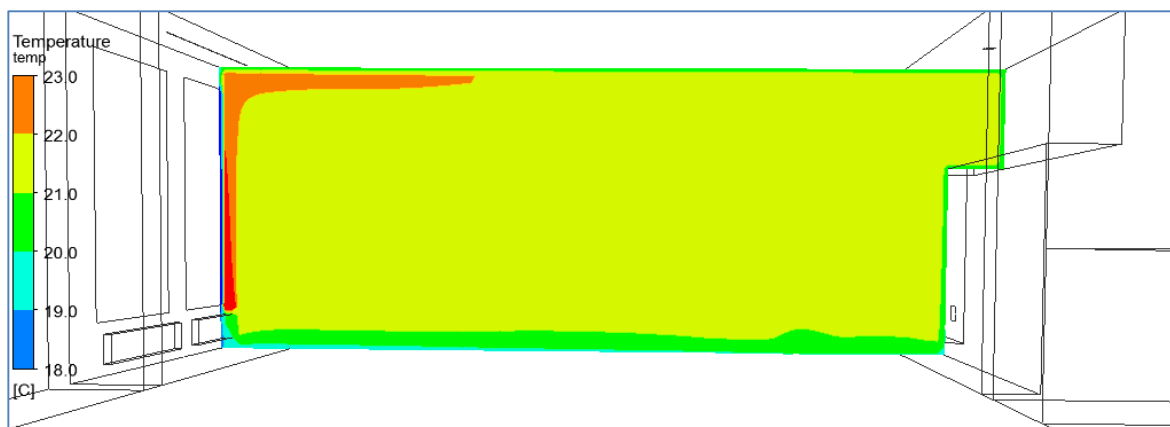
Teplota vzduchu:

Na Obrázku 91 je vidět, že chladnější vzduch se akumuluje u podlahy a teplejší vzduch stropu, ačkoliv je teplota stropu chladnější než teplota vrstvy vzduchu pod ním. To je dáno pravděpodobně přenosem tepla radiací mezi chladnou podlahou a stropem (pod podlahou je chladný suterén – 15 °C).



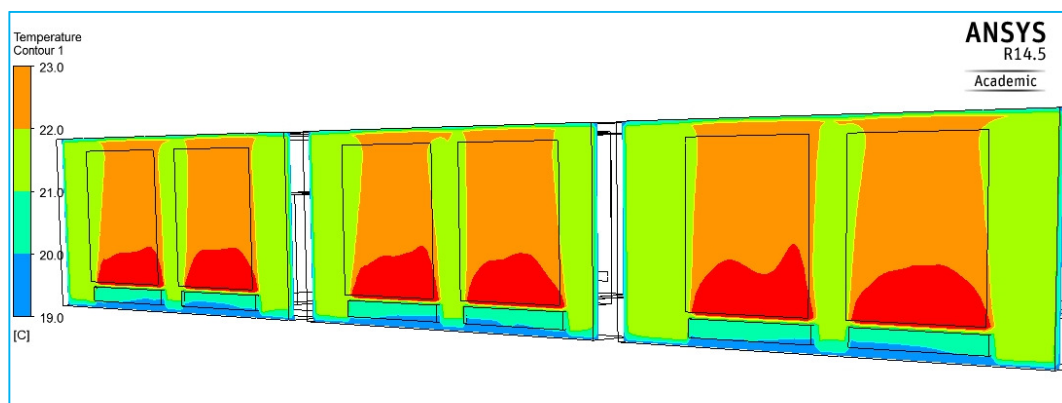
Obrázek 91. Teplota vzduchu na řezu „X“.

Stoupání teplého vzduchu od radiátoru a jeho akumulaci u stropu je vidět na obrázku 92.



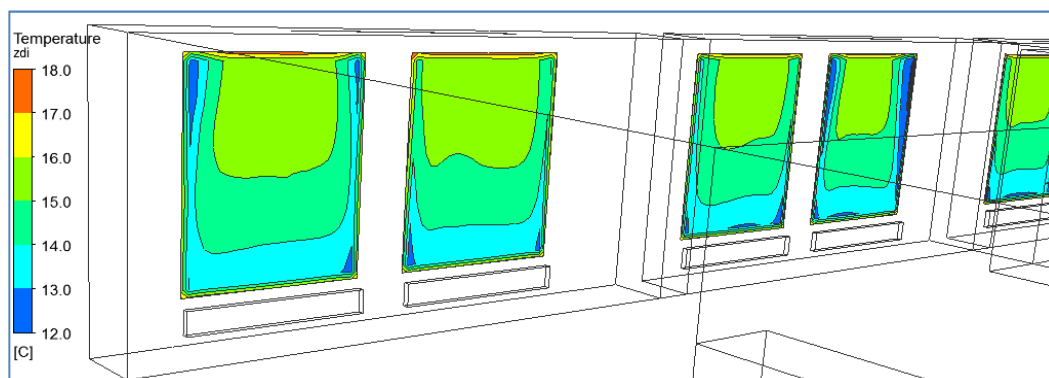
Obrázek 92. Teplota vzduchu na řezu „Y 1“.

Proudění teplého vzduchu z radiátorů je vidět na Obrázku 93.



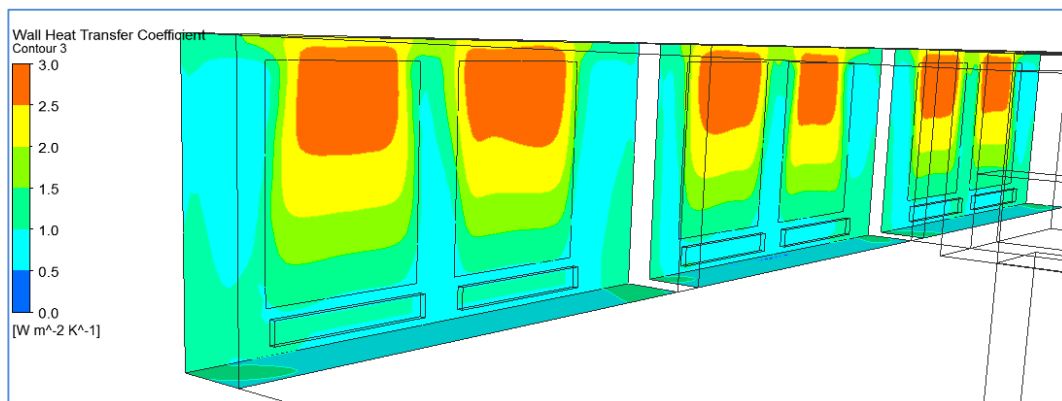
Obrázek 93. Řez radiátory – pohled z exteriéru.

Na dalším obrázku je vidět vnitřní povrchová teplota oken, vyšší teplota je ve vrchní části oken.



Obrázek 94. Teplota vnitřního povrchu oken.

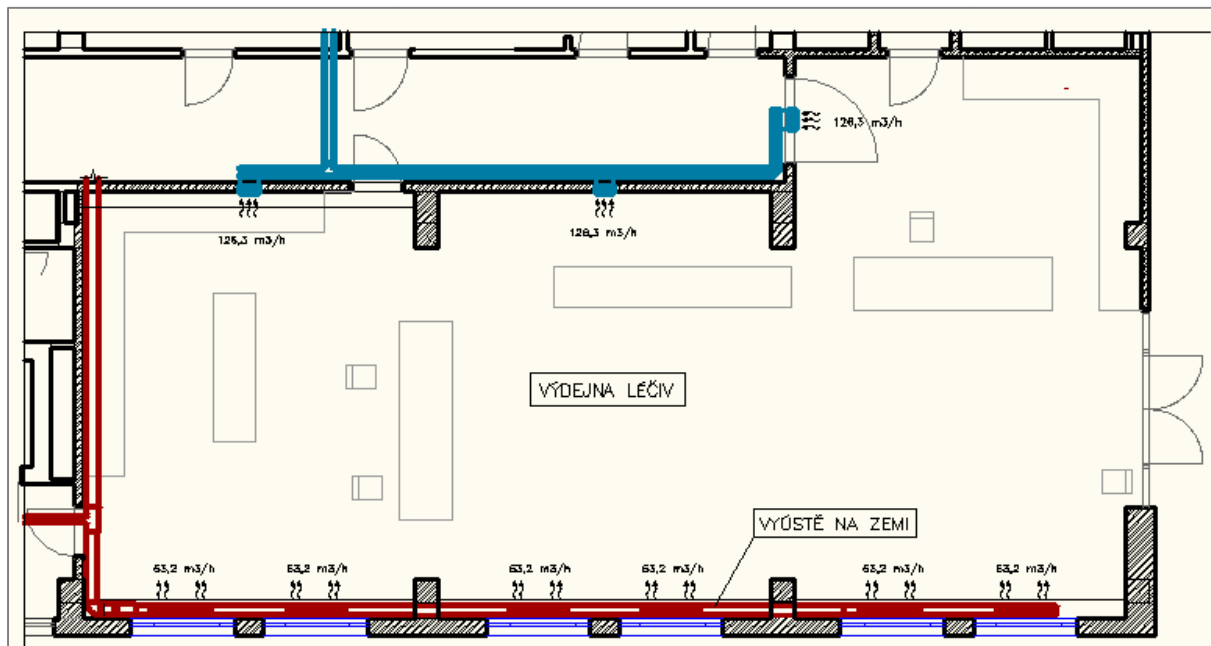
Součinitel přestupu tepla na vnitřním povrchu oken, venkovní zdi a části podlahy je vidět na obrázku níže



Obrázek 95. Součinitel přestupu tepla na vnitřním povrchu zdi, oknech a části podlahy.

13.2 Varianta č. 2

V této variantě je čerstvý vzduch přiváděn do místnosti šesti podlahovými vyústěmi, které jsou umístěny ve výšce 0,2 m nad podlahou. Odvodní vyústě jsou umístěné na zdi protější k oknům. Světlá výška místnosti je 3,0 m, což je více než ve Variantě č. 1. (2,6 m). K vytápění a chlazení slouží kapilární rohože umístěné na stropě v omítce. Půdorys místnosti je vidět na Obrázku 96.



Obrázek 96. Půdorys místnosti výdeje léčiv – Varianta č. 2.

Na obrázku 97 je vidět 3D model výdeje léčiv vytvořený v programu SketchUp, pod okny je možné vidět přívodní vyústky.



Obrázek 97. 3D model místnosti výdeje léčiv – Varianta č. 2.

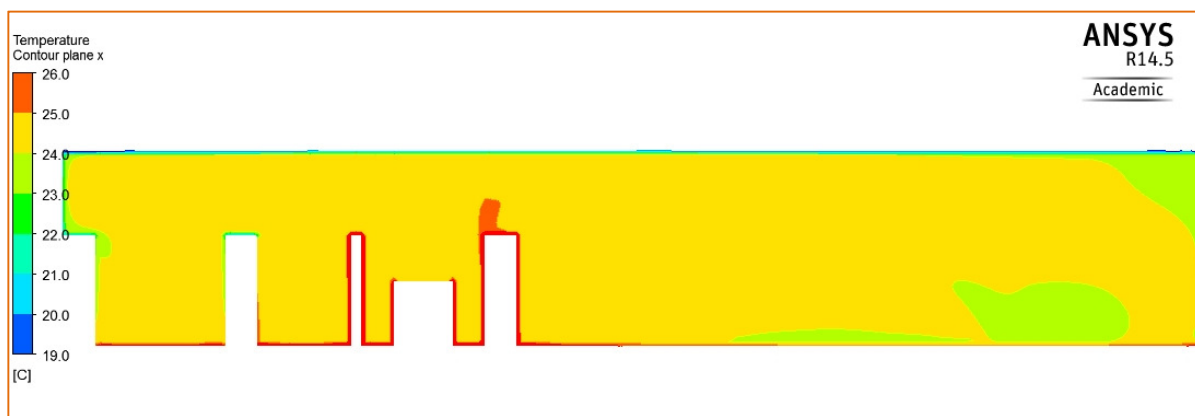
13.2.1 Varianta č. 2 - Léto

Popis systému:

- Přívod čerstvého vzduchu – 6 vyústí na podlaze, $t_p = 21.2 \text{ °C}$; $V_{tot} = 379 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Chlazení – chladicí strop, výkon: $33.3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

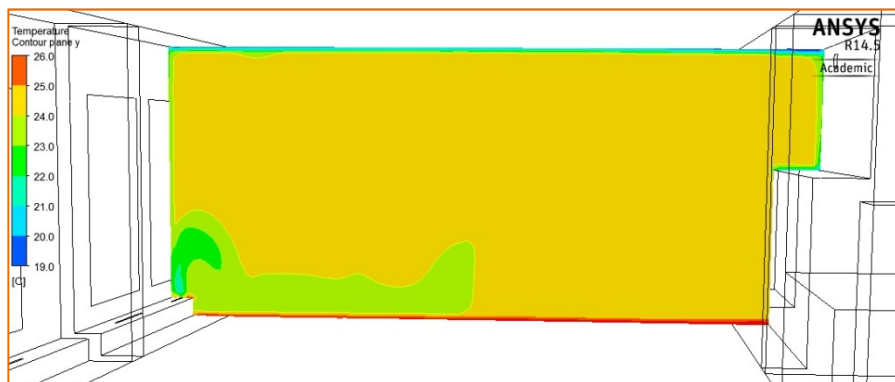
Teplota:

Na Obrázku 98 je vidět, že teplota vzduchu v místnosti je 24 °C až 25 °C přes celou výšku místnosti. Nižší teplota je na stropě – asi 20 °C , to je důsledek okrajové podmínky – tepelný plošný zdroj o záporné hodnotě, který reprezentuje chlazení kapilárními rohožemi. Je možné vidět také nižší teplotu na vrchní části regálu v levé části místnosti a to je způsobeno přenosem tepla radiací od stropu.



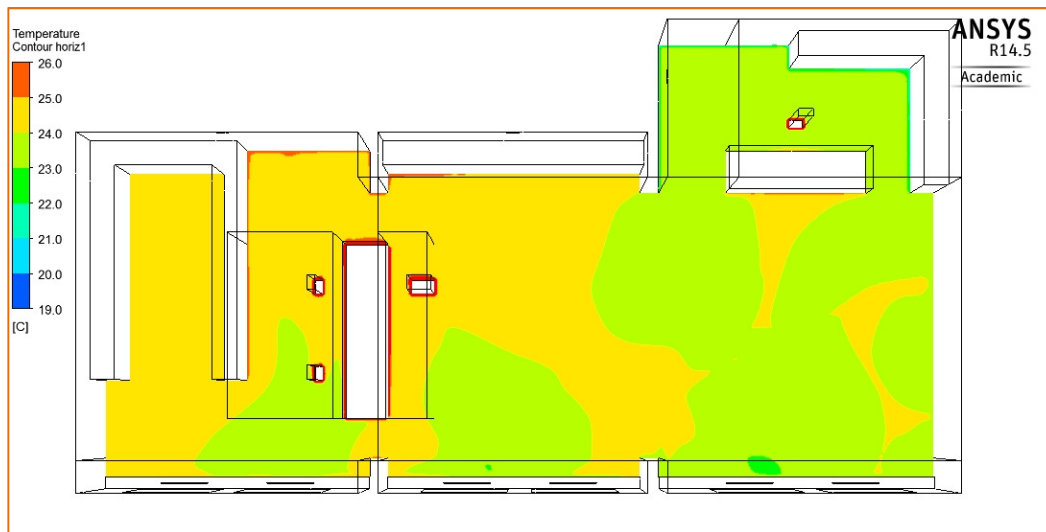
Obrázek 98. Teplota vzduchu v řezu místností „X“.

Teplota přívodní vzduchu do místnosti je $21,2 \text{ °C}$. Tato teplota je nižší než průměrná teplota místnosti. Na Obrázku 99 je vidět jak chladnější přívodní vzduchu klesá dolů k podlaze. Chladnější vzduchu je pak u podlahy v blízkosti přívodních elementů.



Obrázek 99. Teplota vzduchu v řezu místností „Y 1“.

Teplota vzduchu ve výšce 0,1 m nad podlahou je vidět na Obrázku 100.



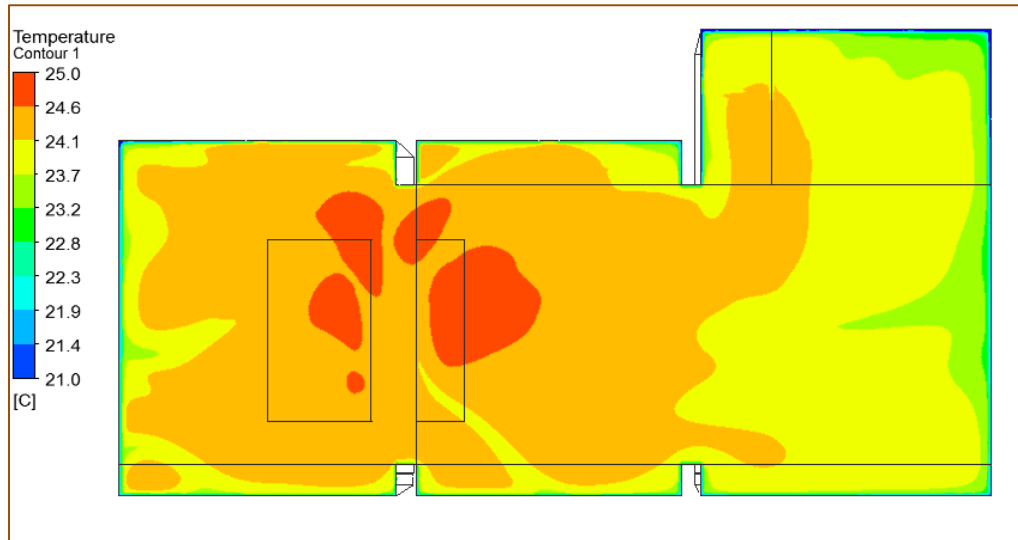
Obrázek 100. Teplota vzduchu ve výšce 0,1 m nad podlahou.

Na Obrázku 101 je vidět teplota ve výšce 1,7 m nad podlahou. Je vidět nižší teplota na vrchní straně radiátorů a vyšší teplota nad osobami (červená barva).



Obrázek 101. Teplota vzduchu ve výšce 1,7 m nad podlahou.

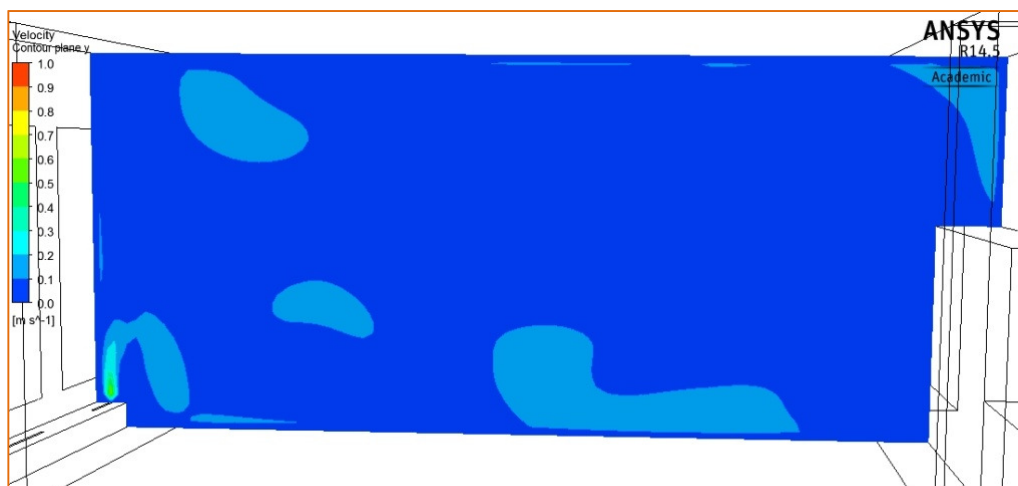
Na Obrázku 102 je vidět teplota vzduchu 10 cm pod stropem. Jsou zde vidět nižší teploty vzduchu v rozích místností a také ve styku sloupů a zdí. Do těchto chladnějších míst je vhodné umístit čidla pro regulaci kapilárních rohoží proti orosování povrchu stropu.



Obrázek 102. Teploty vzduchu ve výšce 0,1 m pod stropem.

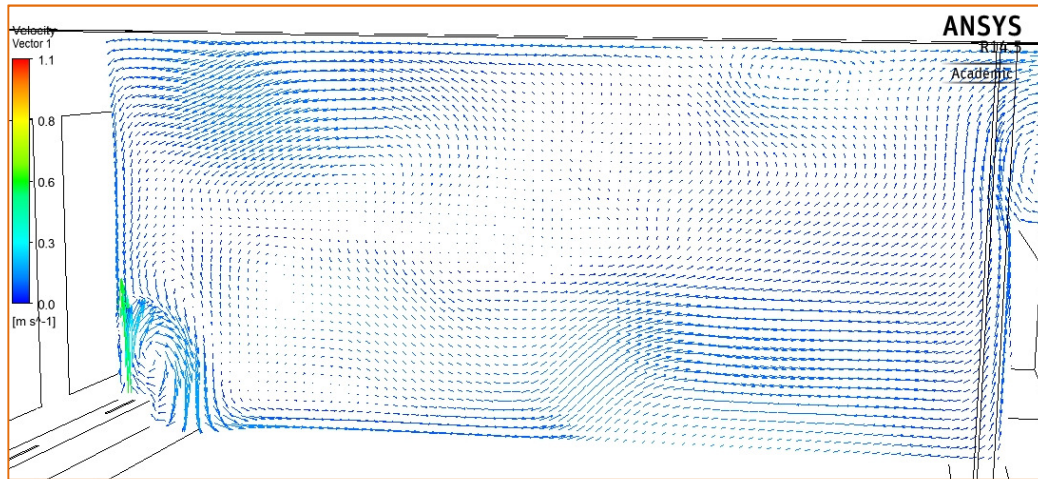
Rychlost proudění vzduchu:

Rychlosti vzduchu v této variantě nedosahují hodnot Varianty č. 1. Vyšší rychlosti jsou pouze nad přívodními elementy (Obrázek 103).



Obrázek 103. Rychlost proudění vzduchu v řezu místností „Y 1“.

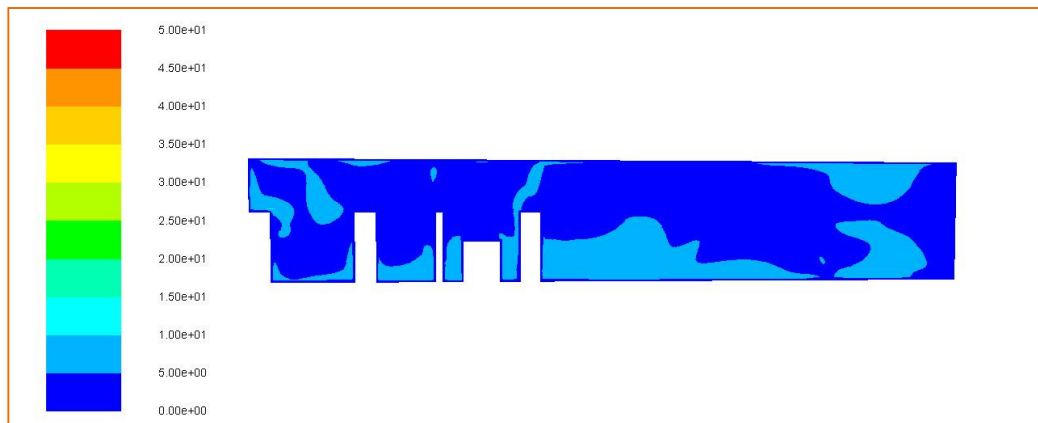
Na Obrázku 104 je vidět, jak proud vzduchu z přívodních elementů mění směr směrem k podlaze po velmi krátké vzdálenosti, to je dáno nízkou rychlostí přívodního vzduchu do místnosti.



Obrázek 104. Vektory rychlostí proudění vzduchu na řezu místností „Y 1“.

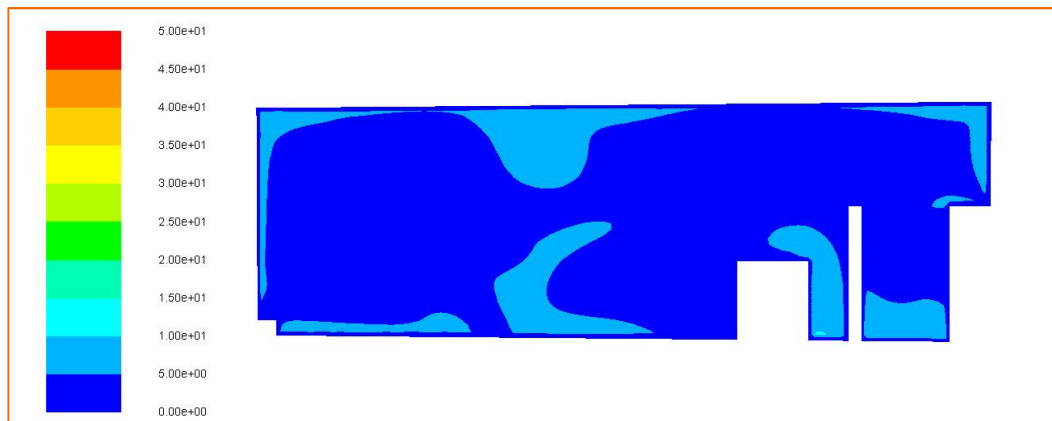
Stupeň obtěžování průvanem DR :

Hodnoty DR na podélném řezu místností jsou vidět na Obrázku 105. Nejvyšší hodnoty dosahují hodnot $DR = 15\%$.



Obrázek 105. Hodnoty DR na řezu místností „X“.

Stejné maximální hodnoty DR jsou vidět na příčném řezu místností (Obrázek 106).



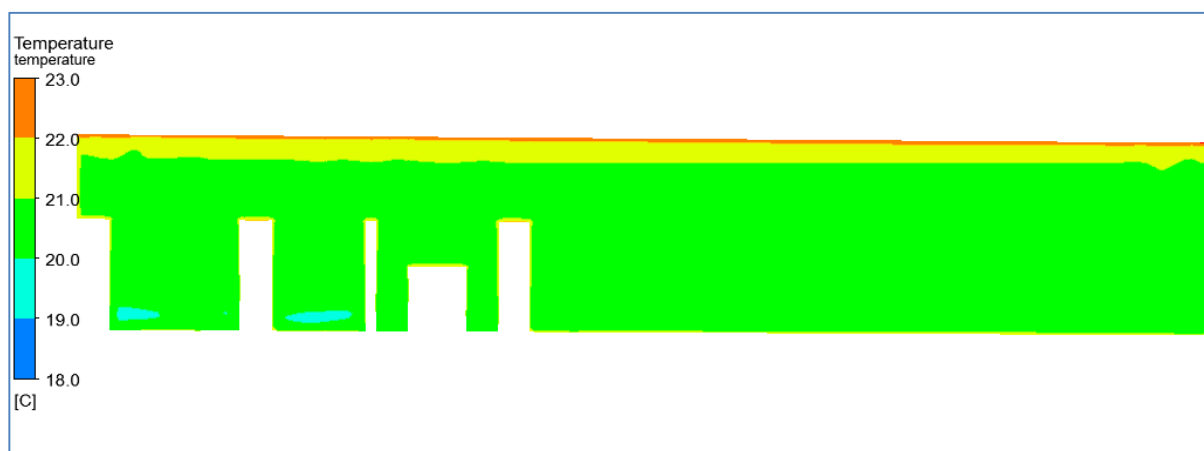
Obrázek 106. Hodnoty DR na řezu místností „Y 1“.

13.2.2 Varianta č. 2 - Zima

Popis systému:

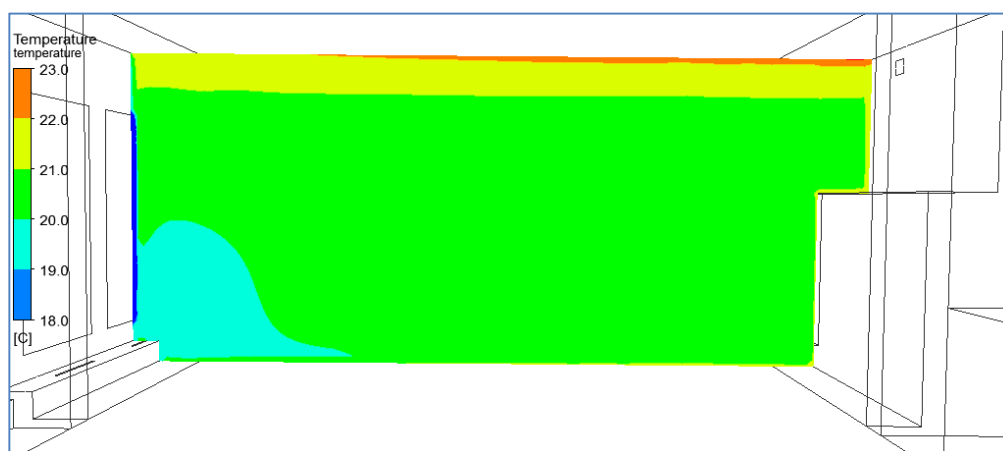
- Přívod vzduchu – 6 vyústí na podlaze, $t_p = 20,0 \text{ °C}$; $V_{\text{tot}} = 379 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Vytápění – kapilární rohože na stropě v omítce.
- Průměrná teplota 20.53 °C .

Na Obrázku 107 je vidět, že rozložení teploty ve středu místnosti je poměrně rovnoměrné, lehce vyšší teplota je u stropu, kde jsou umístěny kapilární rohože. Je vidět také vyšší teplota na podlaze díky radiačnímu přenosu tepla ze stropu.



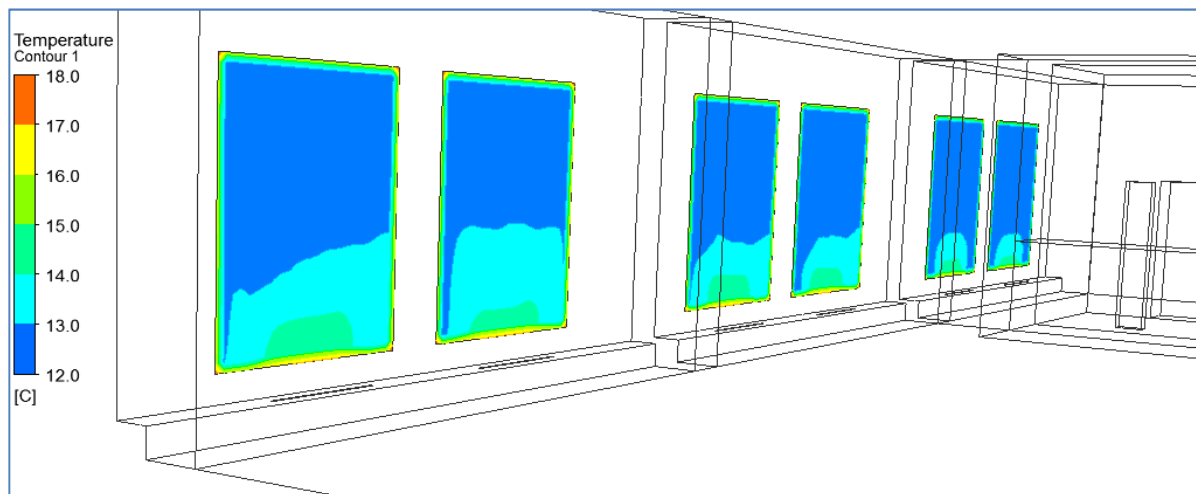
Obrázek 107. Teplota vzduchu na řezu místností „X“.

Na obrázku 108 je vidět, jak se chladný vzduch šíří od okna směrem k podlaze. Ačkoliv je pod oknem umístěn přívod vzduchu, teplota vzduchu je příliš nízká a rychlost vzduchu není dostatečná, aby vytvořila vzduchovou clonu po výšce místnosti.



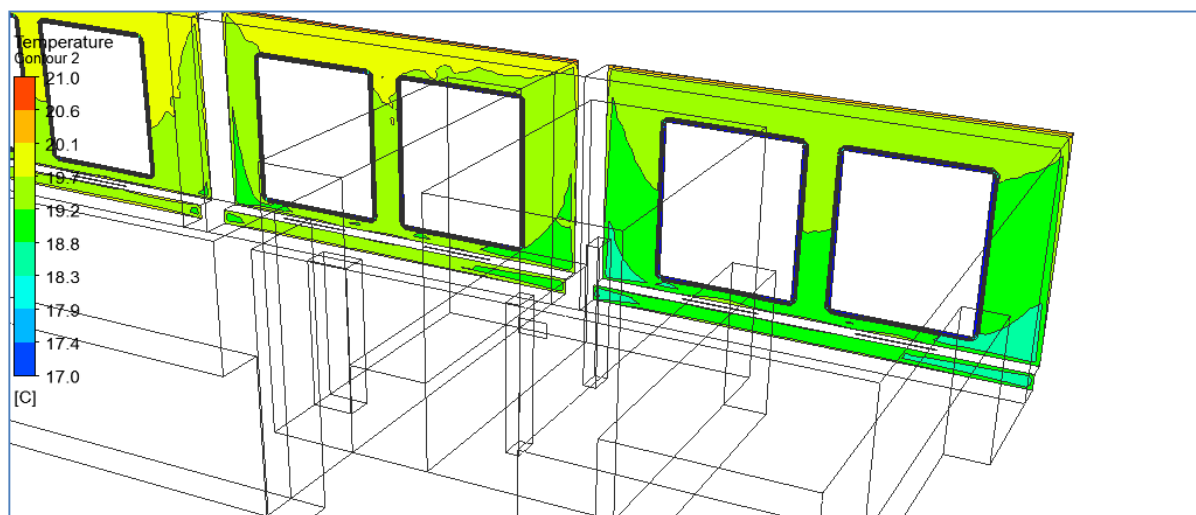
Obrázek 108. Teplota vzduchu na řezu místností „Y 1“.

Teplota na vnitřním povrchu oken je vidět na následujícím obrázku, je vidět že spodní část oken je teplejší v důsledku proudění vzduchu od přívodních elementů podél oken umístěných pod okny.



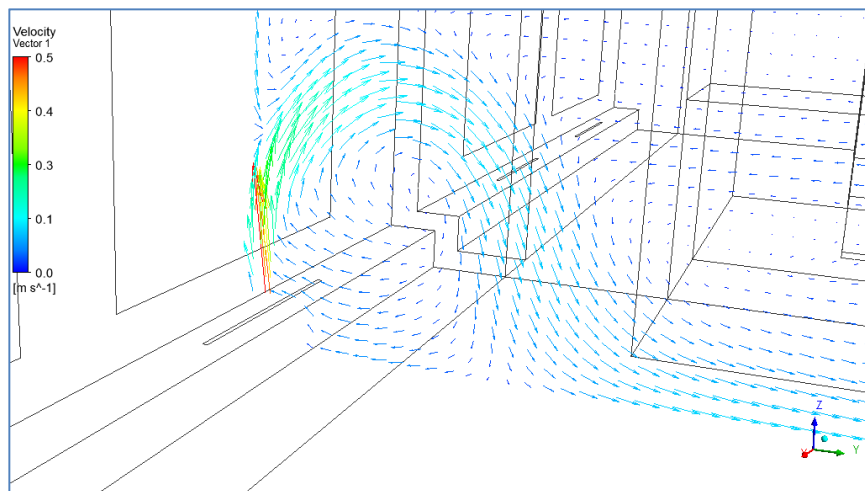
Obrázek 109. Teploty na vnitřním povrchu oken.

Na obrázku níže je vidět povrchová teplota na vnitřní straně venkovní zdi. Je vidět, že v dolních rozích je teplota poměrně nízká, to je dáno pravděpodobně stíněním sálavého toku stropu způsobeného sloupem v každém rohu.



Obrázek 110. Teplota na vnitřním povrchu venkovní zdi.

Na obrázku 111 je vidět detail u přívodního elementu a zobrazené vektory rychlosti proudění vzduchu. Je vidět jak, chladný vzduch klesá podél okna, dokud nenarazí na proud vzduchu proudícího z výústky a ten pak stáčí k podlaze a vytváří vír.



Obrázek 111. Vektory proudění vzduchu u přívodního elementu.

14 Vyhodnocení výsledků simulací

14.1 Předpověď ukazatelů PMV a PPD

Pro přibližný výpočet střední radiační teploty t_r , operativní teploty t_o a ukazatelů PMV a PPD byl použit program Tepelný komfort 2.1, který počítá tyto ukazatele dle ČSN EN 7730. Povrchové teploty zdi byly odečteny z výsledků simulací provedených v programu ANSYS FLUENT. Program Tepelný komfort 2.1 počítá operační teplotu t_o dle následujícího vztahu: [26]

$$t_o = A \cdot t_a + (1 - A) \cdot t_r \quad (41)$$

kde:

- t_a je teplota vzduchu [°C]
- A je součinitel závislý na rychlosti proudění vzduchu v prostoru [-]

V následující tabulce je možné vidět vstupní hodnoty pro výpočet ukazatelů PMV a PPD:

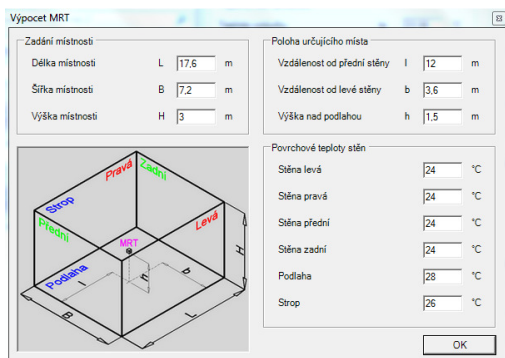
Tabulka 14. Vstupní a vypočtené hodnoty v programu Tepelný komfort.

		Varianta 1		Varianta 2	
Vstupní hodnoty:		Léto	Zima	Léto	Zima
Teplota vzduchu	t_a [°C]	23,98	21,52	24,21	20,53
Střední radiační teplota	t_r [°C]	26,17	19,26	21,92	21,04
Rychlost proudění	u [m.s-1]	0,25	0,1	0,1	0,1
Relativní vlhkost vzduchu	RH [%]	65	45	45	45
Intenzita turbulence	T_u [%]	10	10	10	10
Tepelný odpor oděvu	I_{cl} [clo]	0,5	0,9	0,5	0,9
Energetický výdej	M [met]	1,6	1,6	1,6	1,6
Vypočtené hodnoty:					
Operativní teplota	t_o [°C]	25,01	20,39	23,07	20,78
Předpokládaný tepelný pocit	PMV [-]	0,45	0,25	0,33	0,29
Procento nespokojených	PPD [%]	9,2	6,3	7,3	6,8

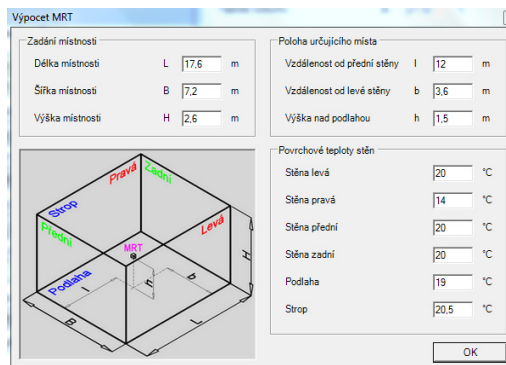
Je vidět, že v hodnotách PMV resp. PPD jsou malé rozdíly mezi oběma variantami. Přestože je průměrná teplota vzduchu v létě vyšší ve Variantě 2., hodnota PMV je nižší, to je dáno nižší radiační teplotou danou chladným stropem. Také vyšší hodnota PMV v zimním období u

Varianta č. 2 je dána chladným povrchem stropu a sálavým přenosem tepla. Je vidět že průměrná teplota v doméně je nižší u Varianty č. 2 ale hodnota PMV lehce vyšší.

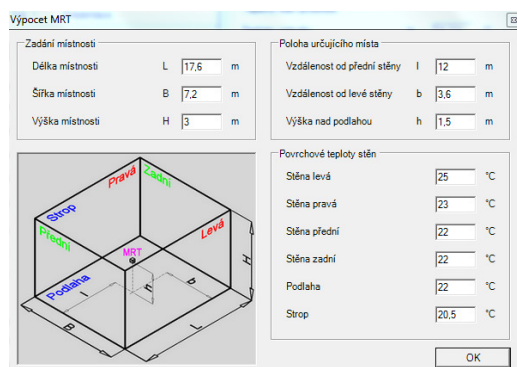
Vstupní hodnoty v programu Teplný komfort pro výpočet střední radiační teploty jsou vidět na následujících obrázcích (112 až 115).



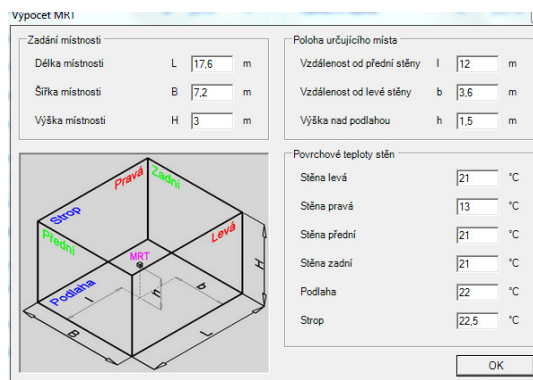
Obrázek 113. Varianta 1 – léto.



Obrázek 112. Varianta 1 – zima.

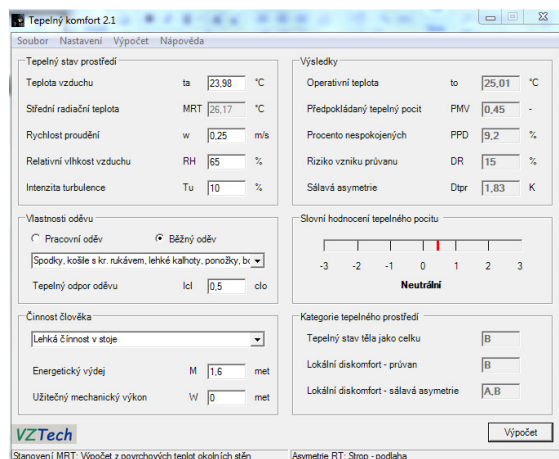


Obrázek 115. Varianta 2 – léto.

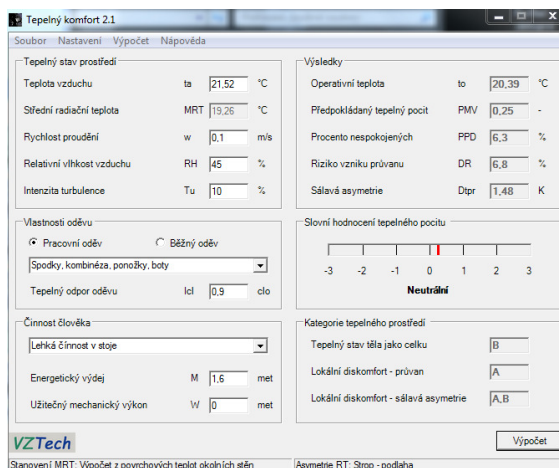


Obrázek 114. Varianta 2 – zima.

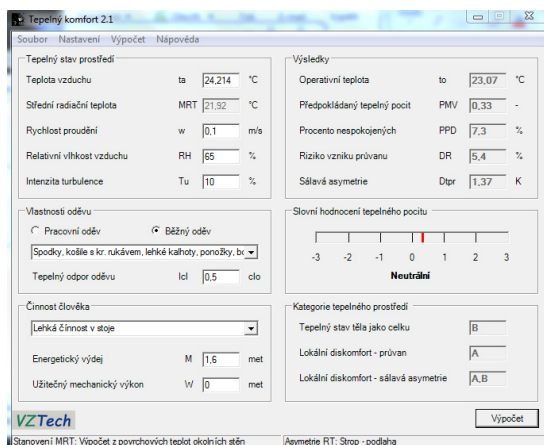
Zadané hodnoty PMV a PPD pro každou variantu spolu s určenou kategorií tepleného prostředí jsou vidět níže:



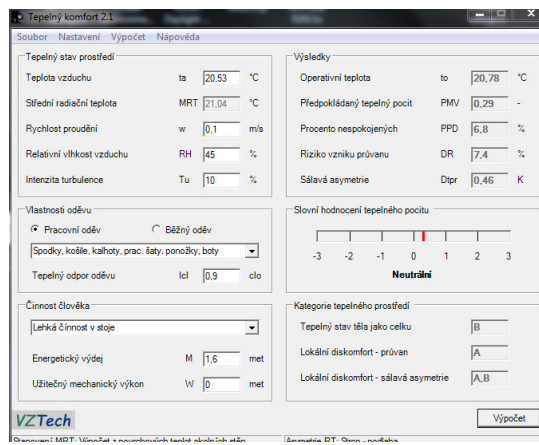
Obrázek 117. Varianta 1 – léto.



Obrázek 116. Varianta 1 – zima.



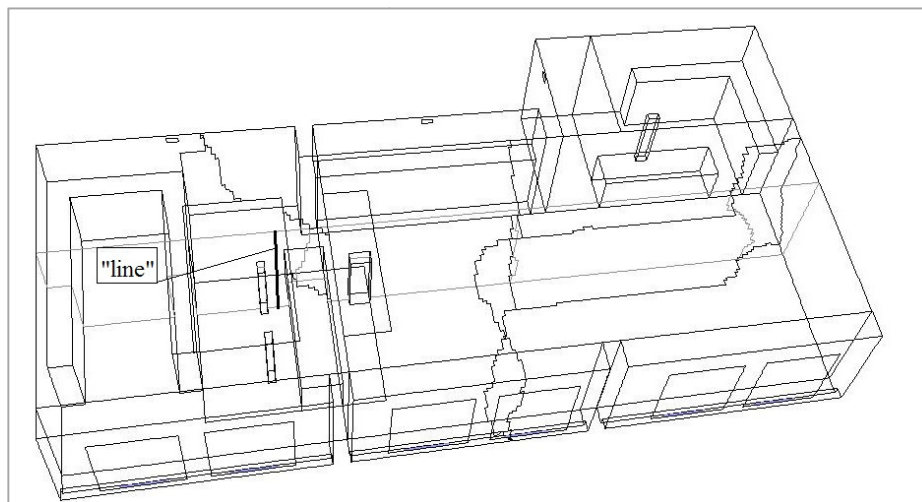
Obrázek 119. Varianta 2 – léto.



Obrázek 118. Varianta – zima.

14.2 Vertikální rozdíl teploty vzduchu

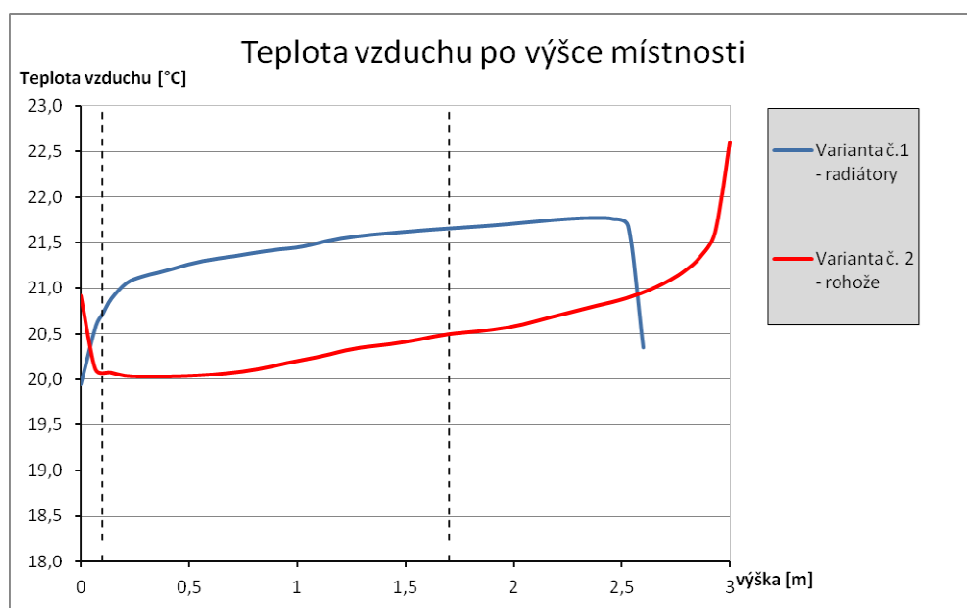
Vysoký rozdíl teplot vzduchu mezi hlavou a kotníky může způsobit diskomfort. Předpovědět procento nespokojených lze pomocí Rovnice 2, která byla odvozena pomocí regresní analýzy. Jak je vidět průběh teplot vzduchu na řezech místnosti, rozdílné teploty po výšce vzduchu jsou zejména v zimním období (kap. 13 Vizualizace výsledků), proto byly vyhodnoceny. Za účelem zobrazení teplot po výšce místnosti byl vytvořen Iso-surface – „line“ ve Flunetu a teploty byly zobrazeny na reprezentativním místě místnosti, kde se předpokládá nevyšší čas strávený zaměstnanci.



Obrázek 120. „Line“ pro zobrazení teplot po výšce místnosti.

K porovnání jednotlivých variant byl vytvořen Graf 1. Čárkované čáry reprezentují výšku nad podlahou odpovídající výšce kotníkůk respektive úrovni hlavy – 0,1 a 1,7 m. Na základě rozdílů teplot vzduchu mezi těmito dvěma úrovněmi byla vypočtena předpověď procenta nespokojených osob – Tabulka 15. Jak je vidět na Grafu 1, teplota stropu je vyšší u místnosti s vytápěným stropem a díky teplému povrchu stropu je i teplota na povrchu podlahy vyšší než u místnosti vytápěné radiátory. Naproti tomu je teplota na povrchu podlahy nízká u Varianty 1, jednak kvůli akumulaci chladného vzduchu a také kvůli přenosu tepla ze suterénu, kde je předpokládané teplota 15 °C a tím je ochlazován i vnitřní povrch stropu.

Graf 1. Průběh teplot vzduchu po výšce místnosti.



Kategorie prostředí pro místní diskomfort kvůli vertikálnímu rozdílu teplot je pro obě varianty **A** ($PD < 3\%$).

Tabulka 15. Vertikální rozdíl teplot vzduchu a hodnota PD v zimním období.

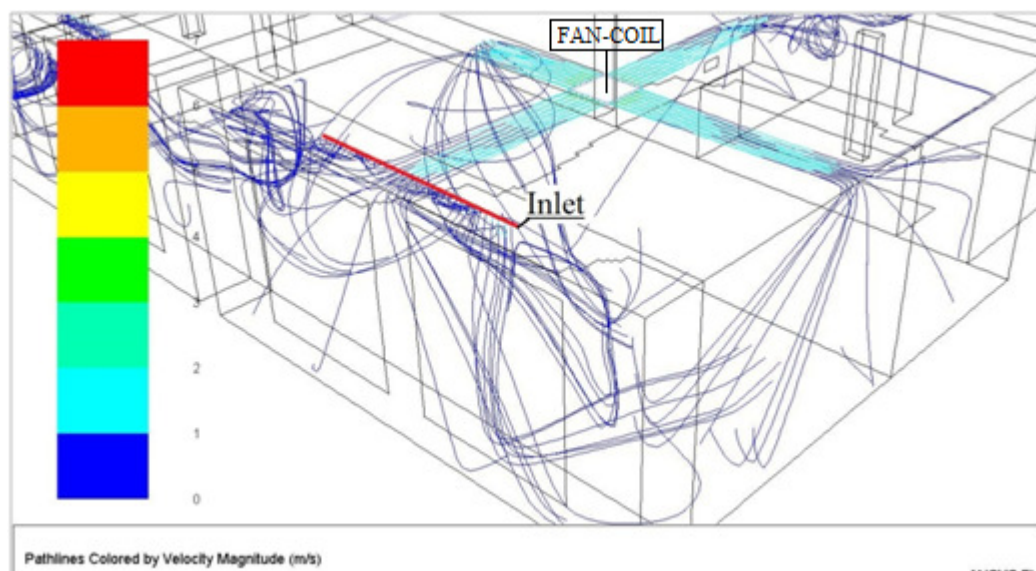
		Varinat 1	Varinat 2
teplota ve výšce 0,1 m	[°C]	20,71	20,08
teplota ve výšce 1,7 m	[°C]	21,66	20,50
rozdíl teplot	$\Delta t_{a,v}$ [°C]	0,95	0,42
procento nespokojených	PD [%]	0,70	0,45

15 Diskuze

15.1 Letní období

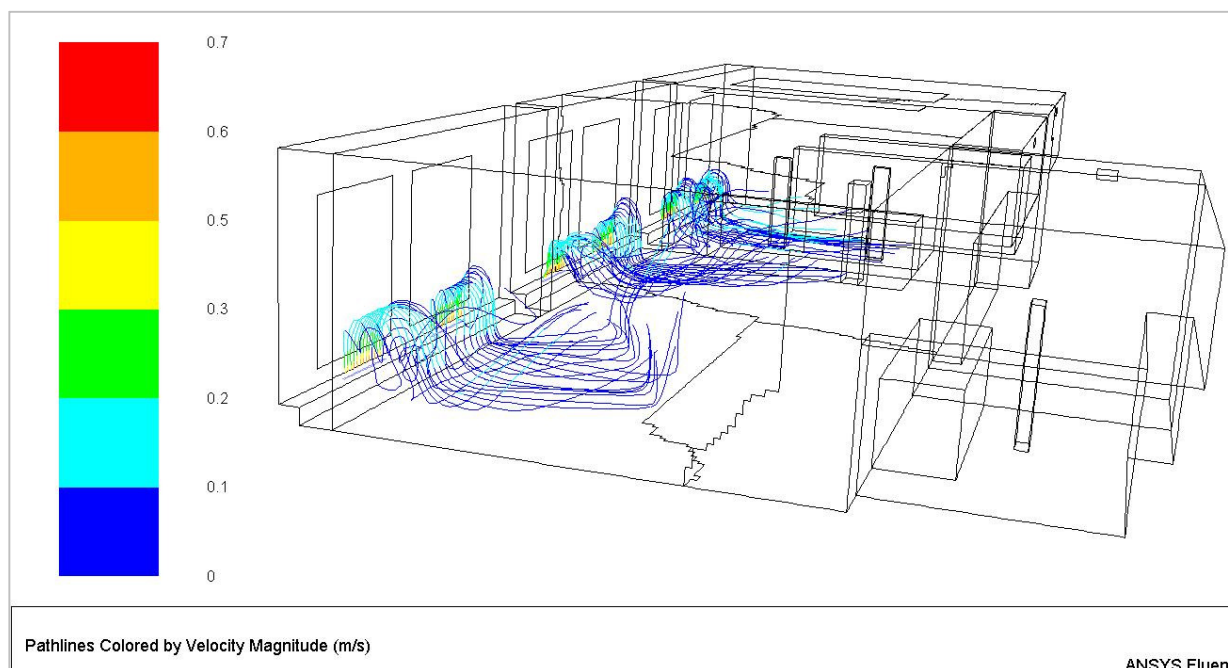
Vzhledem ke stupni obtěžování průvanem DR v letním období je Varianta č. 1 výrazně horší. U této varianty dosahují hodnoty DR až k 50 % v některých oblastech obytné zóny. Nejvyšší hodnoty DR ve Variantě č. 2 jsou kolem 20 % a to v oblasti blízko okna, kde jsou umístěny přívodní elementy. Vysoké hodnoty DR jsou způsobeny oběhovými jednotkami FAN-COIL umístěnými na stropě. Na základě provedených simulací lze tedy říci, že tyto jednotky mohou způsobit vysoký stupeň lidí obtěžovaných průvanem. Je však důležité říci, že zjednodušení geometrie jednotek FAN-COIL použité v simulacích jistě ovlivnila výsledky, ačkoliv výsledky vypadají realisticky, bylo by zajímavé je porovnat s naměřenými reálnými hodnotami. Geometrický model reprezentující jednotku FA-COIL je vidět na Obrázku 59.

Na obrázku 121 jsou vidět proudnice vzduchu zbarvené dle rychlosti z jednotky FAN-COIL a z přívodního elementu – Inlet. Jednotky FAN-COIL mají velký dopad na obraz proudění vzduchu v místnosti pokud jsou v provozu, ačkoliv jejich doba provozu může být jen několik týdnů v roce.



Obrázek 121. Proudnice vzduchu z jednotky FAN – COIL a přívodního elementu – Inlet, Varianta 1, léto.

Proudnice vzduchu vycházející z přívodních elementů ve Variantě č. 2 jsou vidět na obrázku 122. Je vidět že i v případě malé rozdílu teplot přívodního vzduchu a vzduchu místnosti se proud vzduchu z přívodních vyústek stáčí vlivem teplejšího vzduchu v místnosti dolů k podlaze. Teplota přiváděného vzduchu je 21,2 °C a průměrná teplota v místnosti je 24,2 °C.



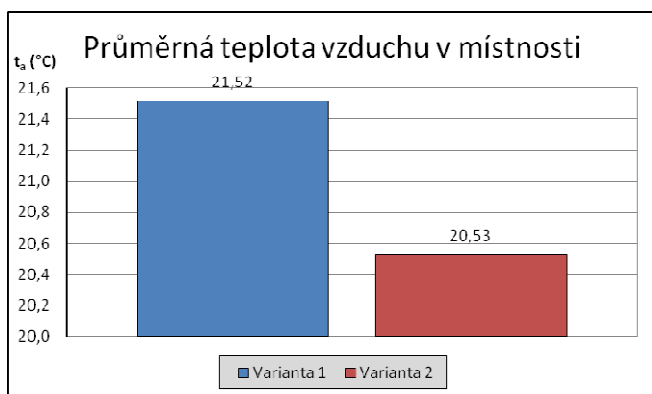
Obrázek 122. Proudnice vzduchu z přívodních elementů – Varianta 2, léto.

Je vidět, že přívodní elementy neleží přímo na podlaze, ale jsou umístěny na stupínku, ve kterém je vedeno VZT potrubí. Toto řešení by mělo omezit padání nečistot z podlahy do přívodu vzduchu a jejich víření v místnosti.

15.2 Zimní období

Výsledky simulací ukazují, že v zimním období je každé variantě jiná průměrná teplota vzduchu v místnosti (Graf 2), ačkoliv byl tepelný výkon vytápění zadán tak, aby byla teplota uvnitř stejná v obou variantách. Tento rozdíl může být částečně dán zaokrouhlováním vstupních hodnoty okrajových podmínek, které ovlivňují teplotu vzduchu v místnosti. Hlavní důvod je však pravděpodobně způsob vytápění, kdy u radiátorů proudí teplý vzduch kolem studených oken.

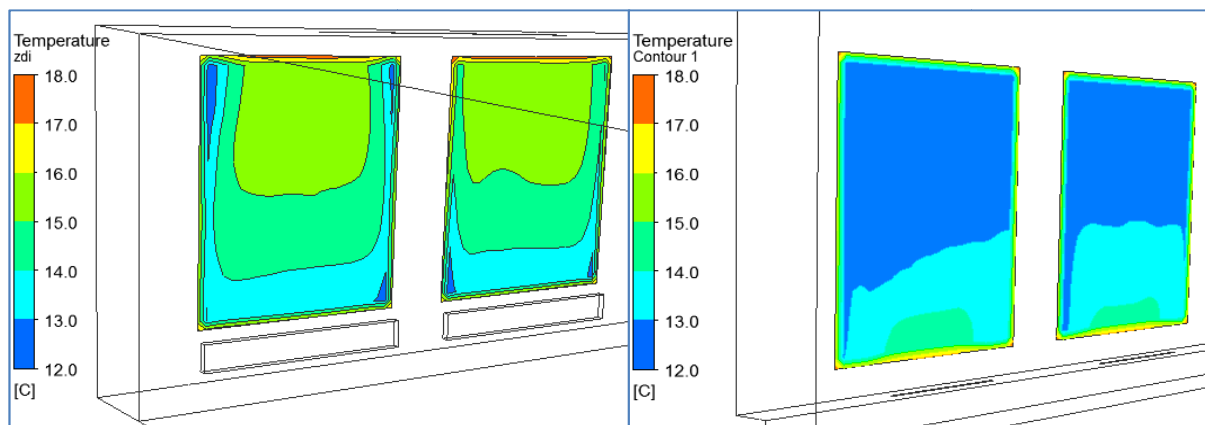
Graf 2. Průměrná teplota vzduchu v místnosti.



Na Obrázku je vidět porovnání teploty na vnitřním povrchu oken v zimním období obou variant. Na levé straně je Varianta 1 a Varianta 2 je napravo. Díky teplému vzduchu proudícímu z radiátorů je povrchová teplota vyšší u Varianty 1. Jak je vidět na Obrázku 111, u Varianty 2 proudí vzduch pouze kolem spodní části oken a poté se stáčí směrem k podlaze. Bylo by vhodné zvýšit teplotu přívodní vzduchu na teplotu vyšší, než je průměrná teplota v místnosti tak, aby vzduch proudil z přívodních elementů pod okny podél celé výšky až k vrchní části oken.

Varianta 1:

Varianta 2:



Obrázek 123. Teploty na vnitřním povrchu oken v zimě (Varianta 1 vlevo, Varianta 2 vpravo).

16 Závěr

Řešení všech provedených simulací v programu ANSYS FLUENT lze považovat za konvergentní. Ačkoli všechny zobrazené výsledky rozložení teplot a proudění vzduchu se zdají být realistické, je nutné brát v potaz množství zjednodušení matematicko-fyzikálního modelu a výsledky brát jako orientační ukazatele pro vyhodnocení vnitřního prostředí.

Předpověděný stupeň obtěžování průvanem DR je u Varianty 1 až k 50 % v některých částech místnosti, to znamená, že 50 % lidí by bylo obtěžováno průvanem. Proto se zdá být lepším řešením chlazení místnosti Varianta 2, kde se neobjevují tak vysoké hodnoty DR . Další výhodou Varianty 2 je nižší radiační teplota v létě a tudíž nižší procento nespokojených kvůli teplené pohodě. Nevýhodou chlazení rohožemi pak může být problém s kondenzací vody na povrchy konstrukce stropu, při tomto provedení je tedy nutné zajistit dostatečnou regulaci a měření teploty a relativní vlhkosti v místnosti.

Vytápění pomocí radiátorů umístěnými pod okny je vhodné z hlediska teplejšího povrchu oken a tudíž nižší riziko kondenzace na jejich vnitřním povrchu. Nevýhodou pak může být větší akumulace teplého vzduchu u stropu a chladnější povrchová teplota podlahy, která je u vytápění rohožemi umístěnými na stropě vyšší, v důsledku sálání stropu.

Na základě výsledků simulací provedených v programu ANSYS FLUENT a následných výpočtu předpovědi počtu nespokojených osob, lze Variantu 2 s chlazením/vytápěním pomocí kapilárních rohoží umístěných v omítce na stropě určit jako vhodnější z hlediska vnitřního prostředí. V zimním období by však bylo vhodné zvýšit teplotu přiváděného vzduchu nad teplotu vzduchu v místnosti tak, aby proud vzduchu z přívodních elementů umístěných pod okny dosáhl až k horní části oken a nad ně.

Seznam použitých zdrojů

- [1] ČSN EN ISO 7730. *Ergonomie tepelného prostředí -: Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu*. 2006. vyd.
- [2] Nařízení vlády 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci
- [3] JIANHUA, Fan. An Introduction to CFD Analysis. [přednáška]. Lyngby. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark. 2013.
- [4] PETER V. NIELSEN (ED.), Peter V. Nielsen (ed. *Computational fluid dynamics in ventilation design*. Brussels: Federation of European Heating and Air Conditioning Associations, 2007. ISBN 29-600-4689-7.
- [5] FLOPS. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-10-05]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/FLOPS>
- [6] KOZUBKOVÁ, Milada. VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. *Modelování proudění tekutin, FLUENT, CFX* [pdf]. 1. vyd. Ostrava, 2008 [cit. 2014-10-11].
- [7] VERSTEEG, H a W MALALASEKERA. *An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method*. Longman Scientific: Wiley, 1995, x, 257 p. ISBN 04-702-3515-2.
- [8] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-10-19]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Lamin%C3%A1rn%C3%AD_proud%C4%9Bn%C3%AD
- [9] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-10-19]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Turbulentn%C3%AD_proud%C4%9Bn%C3%AD
- [10] JIANHUA, Fan. Turbulence modeling. [přednáška]. Lyngby. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark. 30.10.2013.
- [11] ANSYS help
- [12] JÍCHA, Miroslav. *Přenos tepla a látky*. 2. vyd. Praha: Vysoké učení technické v Brně,
- [13] JIANHUA, Fan. Heat transfer modeling modeling. [přednáška]. Lyngby. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark. 29.10.2013.
-

- [14] ING. MAREK POKORNÝ. *Sálání tepla* [online]. 2006 [cit. 2014-10-27]. Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/1/1-4_Salani_tepla.pdf
- [15] JIANHUA, Boundary Conditions and Cell Zone Conditions. [přednáška]. Lyngby. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark. 07.10.2013.
- [16] JIANHUA, Model for indoor air flow simulation. [přednáška]. Lyngby. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark. 2013.
- [17] JIANHUA, Mesh method. [přednáška]. Lyngby. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark. 11.09. 2013.
- [18] POLD, Casper, Jan PŘIKRYL a Kevin TRAN. Assignment - phase 1: 11124 Computational Fluid Dynamics on Buildings E13. 2013. Semestrální práce. DTU. Vedoucí práce JIANHUA FAN.
- [19] JIANHUA, Solver Settings. [přednáška]. Lyngby. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark. 07.10. 2013.)
- [20] PŘIKRYL, Jan. *Vzduchotenika lékárenských prostor*. Brno, 2012. Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Pavel Uher Ph.D.
- [21] [online]. [cit. 2014-11-16]. Dostupné z: <http://www.gealvz.cz/GEA-Cassette-Geko.397.0.html?&L=16&MP=361-7127>
- [22] G-TERM. *Kapilární rohože: systém vytápění-chlazení* [PDF]. 63 s.
- [23] [online]. [cit. 2014-11-16]. Dostupné z: http://www.baulinks.de/webplugin/2012/i/scaled/400_x_1263-geoclimadesign4.jpg
- [24] HIRŠ, Jiří. *Vzduchotechnika v příkladech*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 230 s. ISBN 80-720-4486-9.
- [25] HENNLICH S.R.O. *G-TERM: kapilární rohože* [online]. [cit. 2014-12-26]. Dostupné z: <http://g-term.hennlich.cz/produkty/kapilarni-rohoze-173.html>
- [26] *Tepelný komfort 2.1* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Programy/TK_help.pdf
- [27] [online]. [cit. 2014-10-05]. Dostupné z: <http://encyklopedie.vseved.cz/diskretizace>
- [28] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-10-05]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hybnost>
-

[29] Navierova-Stokesova rovnice. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-10-11]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Navierova-Stokesova rovnice](http://cs.wikipedia.org/wiki/Navierova-Stokesova_rovnice)

[30] [online]. [cit. 2014-10-18]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/mechanika/skalarni-a-vektorove-fyzikalni-veliciny>

Seznam použitých značek a symbolů

a	<i>teplotní vodivost</i>	V	<i>průtok vzduchu</i>
a	<i>zrychlení</i>		
C_v	<i>molární tepelná kapacita</i>	β	<i>koeficient teplotní roztažnosti</i>
c_p	<i>měrné teplo</i>	ε	<i>míra disipace turbulentní kinetické energie k</i>
g	<i>gravitační zrychlení</i>	λ	<i>tepelná vodivost</i>
h	<i>součinitel přestupu tepla</i>	μ	<i>dynamická viskozita</i>
i	<i>vnitřní energie</i>	ν	<i>kinematická viskozita</i>
k	<i>turbulentní kinetická energie</i>	ρ	<i>objemová hmotnost</i>
k	<i>tepelná vodivost</i>	τ	<i>tečné napětí</i>
m	<i>hmotnost</i>	φ	<i>relativní vlhkost vzduchu</i>
Q	<i>tepelný tok</i>	ω	<i>specifická míra disipace turbulentní kinetické energie k</i>
Q	<i>zdrojový člen v rovnici entalpie</i>		
Q_M	<i>zdrojový člen v rovnici</i>	Re	<i>Reynoldosovo kritérium</i>
RH	<i>relativní vlhkost vzduchu</i>	Gr	<i>Grashofovo kritérium</i>
t	<i>teplota</i>	Ra	<i>Rayleighovo kritérium</i>
t_a	<i>teplota vzduchu</i>		
t_o	<i>operativní teplota</i>		
t_r	<i>střední radiační teplota</i>		
T	<i>termodynamická teplota</i>		
T_u	<i>intenzita turbulence</i>		
u	<i>rychlost proudění vzduchu</i>		

Slovník pojmů

Diskretizace

Náhrada spojitého prostředí (kontinua) systémem diskrétních bodů, v nichž se soustředí fyzikální parametry popisující stav či vlastnost příslušného daného místa kontinua. V případě popisu fyzikálních jevů se tím zpravidla přenáší řešení parciálních diferenciálních rovnic na obyčejné dif. rovnice, případně na algebraické rovnice. [27]

Hybnost

Fyzikální veličina, která je mírou posuvného pohybu tělesa a je součinem jeho hmotnosti a rychlosti. [28]

Kinetická energie turbulence

Kinetická energie vytvořená uvnitř proudu tekutiny všemi víry vlivem turbulence. [4]

Míra disipace

Představuje míru destrukce kinetické energie ve formě vnitřní energie tekutiny. Ta je způsobena prací malých víru proti viskóznímu odporu. [4]

Navier Stokesova rovnice

Je rovnice popisující proudění nestlačitelné Newtonovské tekutiny. Rovnici odvodil Francouz Claude Louis Marie Henri Navier a Ir George Gabriel Stokes v letech 1827 a 1845 nezávisle na sobě. [29]

Newtonovská tekutina

Je model viskózní látky, která se řídí Newtonovým zákonem viskozity, který stanovuje vztah mezi napětím a rychlostí deformace jako přímou úměru.

Skalární veličina

Jedná se o fyzikální veličiny, které jsou zcela určeny jen číselnou hodnotou a měřicí jednotkou (např. hmotnost, délka, objem, teplota...). Na rozdíl od vektorových veličin, k jejichž úplnému určení je třeba znát navíc i směr (např. síla, rychlost, zrychlení). [30]

Seznam obrázků

Obrázek 1. Půdorys místnosti výdejny léčiv.	4
Obrázek 2. Místnost výdeje léčiv rozdělená na zóny.	4
Obrázek 3. Síť, distribuce a kontrolní objem kolem bodu sítě. [4].	7
Obrázek 4. Vývoj výkonnosti počítačů (FLOP: Floating-point OPERations per Second [4]). [5]	8
Obrázek 5. Jednotka FAN-COIL. [21].	12
Obrázek 6. Jednotka FAN-COIL v pohledu. [22].	13
Obrázek 7. Schéma umístění kapilární rohože v omítce. [22]	13
Obrázek 9. Komponenty systému sekundárního okruhu kapilárních rohoží. [23].	14
Obrázek 8. Schéma umístění kapilární rohože na sádkartonový pohled. [23].	14
Obrázek 10. Kapilární rohože instalované v pohledu. [23].	15
Obrázek 11. Souřadný systém.	18
Obrázek 12. Laminární a turbulentní proudění v trubce. [10]	20
Obrázek 13. Kontrolní objem s působícími silami tlaku p a tečného napětí τ . [4]	23
Obrázek 14. Průměrná a okamžitá rychlost (Velocity) v bodě v závislosti na čase (Time). ...	24
Obrázek 15. Příklady turbulentního proudění s velkými a malými strukturami turbulentních vírů. [10].	25
Obrázek 16. Kontrolní objem a síly způsobené tlakem, tečným napětím a turbulentními smykovými napětí. [7].	26
Obrázek 17. Mezní vrstva proudění u zdi. [10].	29
Obrázek 18. Nastavení modelu proudění v programu FLUENT.	30
Obrázek 19. Typy konečných objemů (buněk). [6]	41
Obrázek 20. Rozdílný typ a velikost buněk v modelu rozděleném na bloky, pro použití šestistěnných buněk. [17]	41
Obrázek 21. Optimální a skutečná plocha buňky. [6]	42
Obrázek 23. Výpočetní síť s vyznačenými buňkami s nejvyšší mírou deformace. [18].	43
Obrázek 22. Vyhodnocení kvality buněk. [17]	43
Obrázek 24. Algoritmus řešení programem ANSYS FLUENT. [6]	44
Obrázek 25. Závislost reziduálu sledovaných veličin na počtu iterací. [18].	46
Obrázek 26. Závislost průměrné teploty na řezu místnosti na počtu iterací. [18].	47
Obrázek 27. Půdorys 1. NP.	49
Obrázek 28. Půdorys 1. PP.	50

Obrázek 29. Legenda šraf k půdorysům rozdělení podlaží na VZT celky (obrázky 30 a 31). [20]	55
Obrázek 30. 1. NP – rozdělení dle VZT celků na jednotlivá zařízení. [20].....	56
Obrázek 31. 1. PP – rozdělení dle VZT celků na jednotlivá zařízení. [20].....	57
Obrázek 32. Pohled na jednotku č. 1 – vytvořeno v program AeroCAD.	59
Obrázek 33. Blokové schéma jednotky č. 1 – vytvořeno v programu AeroCAD.....	59
Obrázek 34. Schéma zařízení č. 1 – zimní provoz. [20]	60
Obrázek 35. Schéma zařízení č. 1 – letní provoz. [20]	60
Obrázek 36. Úpravy vzduchu v centrální VZT jednotce č. 1 – vytvořeno v programu AeroCAD.	61
Obrázek 37. Pohled na VZT jednotku č. 2 – vytvořeno v programu AeroCAD.....	62
Obrázek 38. Blokové schéma jednotky č. 2 – vytvořeno v programu AeroCAD.....	62
Obrázek 39. Schéma zařízení č. 2 – zimní provoz. [20]	63
Obrázek 40. Schéma zařízení č. 2 – letní provoz [20]	63
Obrázek 41. Úpravy vzduchu v centrální VZT jednotce – vytvořeno v programu AeroCAD. 64	
Obrázek 42. Řez strojovnou VZT a řešení sání a výfuku vzduchu ve Variantě č. 1. [20].....	65
Obrázek 43. Diagonální ventilátor TD silent. [20].....	65
Obrázek 44. Legenda šraf k půdorysům rozdělení podlaží na VZT celky (obrázky 44 a 45). 77	
Obrázek 45. 1NP – rozdělení VZT celků.....	78
Obrázek 46. 1. PP – rozdělení dle VZT celků.....	79
Obrázek 47. Axonometrický pohled na centrální VZT jednotku – vytvořeno v programu AeroCAD.	82
Obrázek 48. Jednotlivé bloky jednotky – vytvořeno v programu AeroCAD.....	82
Obrázek 49. Schéma VZT jednotky – letní provoz.....	83
Obrázek 50. Schémá jednotky – zimní provoz.	83
Obrázek 51. Úpravy vzduchu v centrální VZT jednotce – vytvořeno v programu AeroCAD. 84	
Obrázek 53. Koncepce strojovny umístěné na střeše budovy – půdorys.	85
Obrázek 52. Koncepce strojovny umístěné na střeše budovy – půdorys.	85
Obrázek 54. Koncepce strojovny umístěné na střeše budovy – řez.	86
Obrázek 55. Stanovení měrného výkonu rohoží. [24]	88
Obrázek 56. Přípustný topný výkon rohoží v omítnutém stropě. [25].....	88
Obrázek 57. Kladečský plán rohoží výdeje léčiv-vytvořeno firmou G-TERM.	89
Obrázek 58. Práce v programu Ansys Workbench.	102
Obrázek 59. 3D model reálné jednotky (vlevo) a zjednodušený použitý model (vpravo)....	103

Obrázek 61. Geometrie místnosti - 3D model vytvořený v programu SketchUp.....	104
Obrázek 60. Geometrický model radiátoru.....	104
Obrázek 62. Geometrie v Ansys Workbench.....	105
Obrázek 63. Výpočetní síť na řezu místnosti a šikmost sítě rozdělená podle počtu prvků o dané šikmosti.....	105
Obrázek 64. Zvýrazněné elementy sítě o nižší kvalitě (šikmosti 0,173).....	106
Obrázek 65. Nastavení modelu turbulence.....	107
Obrázek 66. Léto - průběh průměrné teplotě během výpočtu řešení – Varianta č. 1.....	110
Obrázek 67. Zima - průběh průměrné teplotě během výpočtu řešení – Varianta č. 1.....	110
Obrázek 69. Zima – průběh reziduálů během výpočtu řešení – Varianta č. 1.....	111
Obrázek 68. Léto – průběh reziduálů během výpočtu řešení – Varianta č. 1.....	111
Obrázek 70. Zima – průměrné teploty během výpočtu – Varianta č. 2.....	111
Obrázek 71. Léto – průběh průměrné teploty během výpočtu – Varianta č. 2.....	111
Obrázek 72. Zima – průběh reziduálů během výpočtu řešení.....	112
Obrázek 73. Léto – průběh reziduálů během výpočtu řešení.....	112
Obrázek 74. Řez místností „X – FCU“.....	112
Obrázek 77. Řez místností „Y 2“.....	113
Obrázek 75. Řez místností „X“.....	113
Obrázek 76. Řez místností „Y 1“.....	113
Obrázek 78. Půdorys výdejny léčiv – Varianta č. 1.....	114
Obrázek 79. 3D model výdejny léčiv – Varianta č. 1.....	114
Obrázek 80. Teplota vzduchu na rovině řezu „X-FCU“.....	115
Obrázek 81. Teplota vzduchu rovině řezu „X-FCU“ – detail.....	115
Obrázek 82. Teplota vzduchu – 1,7 m nad podlahou.....	116
Obrázek 83. Teplota vzduchu – 0,1 m nad podlahou.....	116
Obrázek 84. Rychlost proudění vzduchu na řezu „X-FCU“.....	117
Obrázek 85. Rychlost proudění vzduchu na řezu „Y 2“.....	117
Obrázek 86. Vektory rychlosti proudění vzduchu na řezu „Y 2“.....	117
Obrázek 87. Rychlost proudění vzduchu 0,1 m nad podlahou.....	118
Obrázek 88. Rychlost proudění vzduchu 1,7 m nad podlahou.....	118
Obrázek 89. Hodnoty DR na rovině řezu „X – FCU“.....	119
Obrázek 90. Hodnoty DR na rovině řezu „Y 2“.....	119
Obrázek 91. Teplota vzduchu na řezu „X“.....	120
Obrázek 92. Teplota vzduchu na řezu „Y 1“.....	120

Obrázek 93. Řez radiátory – pohled z exteriéru.....	121
Obrázek 94. Teplota vnitřního povrchu oken.....	121
Obrázek 95. Součinitel přestupu tepla na vnitřním povrchu zdi, oknech a části podlahy. ...	121
Obrázek 96. Půdorys místnosti výdeje léčiv – Varianta č. 2.....	122
Obrázek 97. 3D model místnosti výdeje léčiv – Varianta č. 2.....	122
Obrázek 98. Teplota vzduchu v řezu místností „X“.....	123
Obrázek 99. Teplota vzduchu v řezu místností „Y 1“.....	123
Obrázek 100. Teplota vzduchu ve výšce 0,1 m nad podlahou.....	124
Obrázek 101. Teplota vzduchu ve výšce 1,7 m nad podlahou.....	124
Obrázek 102. Teploty vzduchu ve výšce 0,1 m pod stropem.....	125
Obrázek 103. Rychlost proudění vzduchu v řezu místností „Y 1“.....	125
Obrázek 104. Vektory rychlostí proudění vzduchu na řezu místností „Y 1“.....	126
Obrázek 105. Hodnoty DR na řezu místností „X“.....	126
Obrázek 106. Hodnoty DR na řezu místností „Y 1“.....	127
Obrázek 107. Teplota vzduchu na řezu místností „X“.....	128
Obrázek 108. Teplota vzduchu na řezu místností „Y 1“.....	128
Obrázek 109. Teploty na vnitřním povrchu oken.....	129
Obrázek 110. Teplota na vnitřním povrchu venkovní zdi.....	129
Obrázek 111. Vektory proudění vzduchu u přívodního elementu.....	130
Obrázek 112. Varianta 1 – zima.....	132
Obrázek 113. Varianta 1 – léto.....	132
Obrázek 114. Varianta 2 – zima.....	132
Obrázek 115. Varianta 2 – léto.....	132
Obrázek 116. Varianta 1 – zima.....	132
Obrázek 117. Varianta 1 – léto.....	132
Obrázek 120. „Line“ pro zobrazení teplot po výšce místnosti.....	133
Obrázek 118. Varianta – zima.....	133
Obrázek 119. Varianta 2 – léto.....	133
Obrázek 121. Proudnice vzduchu z jednotky FAN – COIL a přívodního elementu – Inlet, Varianta 1, léto.....	135
Obrázek 122. Proudnice vzduchu z přívodních elementů – Varianta 2, léto.....	136
Obrázek 123. Teploty na vnitřním povrchu oken v zimě (Varianta 1 vlevo, Varianta 2 vpravo).	137

Seznam tabulek

Tabulka 1. Třídy práce podle celkového energetického výdeje (Část A, Tabulka č.1). [2]... 9	
Tabulka 2. Příпустné hodnoty nastavení mikroklimatických podmínek pro klimatizované pracoviště (Část A, Tabulka č.3). [2]	10
Tabulka 3. Závislé proměnné, efektivní difúzní koeficienty a zdroje v rovnici 3. [4].....	19
Tabulka 4. Přehled modelů turbulence. [10]	28
Tabulka 5. Návrhové parametry vnitřního prostředí. [20]	51
Tabulka 6. Celková tepelná zátěž a vodní zisky.	52
Tabulka 7. Návrhové ztráty prostupem.	53
Tabulka 8. Potřeba čerstvého vzduchu a tlakové poměry pro jednotlivé místnosti (místnost výdeje léčiv 101 – červená barva). [20]	58
Tabulka 9. Tlakové VZT ztráty potrubí.	67
Tabulka 10. Potřeba čerstvého vzduchu a tlakové poměry pro jednotlivé místnosti (místnost výdeje léčiv 101 – červená barva).	80
Tabulka 11. Tlakové ztráty VZT potrubí.	91
Tabulka 12. Teplotní bilance – Varianta č. 1.	110
Tabulka 13. Teplotní bilance – Varianta č. 2.	111
Tabulka 14. Vstupní a vypočtené hodnoty v programu Tepelný komfort.	131
Tabulka 15. Vertikální rozdíl teplot vzduchu a hodnota PD v zimním období.	134

Seznam grafů

Graf 1. Průběh teplot vzduchu po výšce místnosti.....	134
Graf 2. Průměrná teplota vzduchu v místnosti.....	137

Přílohy

Seznam Příloh

Příloha č. 1	Dimenzování potrubí – Varianta 2, str. 150
Příloha č. 2	Okrajové podmínky – Varianta 1, str. 154
Příloha č. 3	Okrajové podmínky – Varianta 2, str. 156
Příloha č. 4	Výkres č. 1 – Varianta 1, 1. NP, M 1:100
Příloha č. 5	Výkres č. 2 – Varianta 1, 1. PP, M 1:100
Příloha č. 6	Výkres. č. 3 – Varianta 2, 1. NP, M 1:100
Příloha č. 7	Výkres č. 4 – Varianta 2, 1. PP, M 1:100

Příloho č. 1: Dimenzování potrubí – Varianta 2:

1. NP – přívodní potrubí:

m. č. 101 - vertikální potrubí						větev:	101					
Potrubí			přívodní			$\rho=$	1,2 [kg·m ⁻³]					
úsek	V_i	V	L	A (výška)	B (šířka)	d	v	R	ξ	Z=	Z+R*L	
[-]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m·s ⁻¹]	[Pa·m ⁻¹]	[-]	[Pa]	[Pa]	
1	63,2	63,2	2,25	0,160	0,160	0,181	0,69	0,06	0,02	0,00	0,15	
2	63,2	126,4	3,70	0,200	0,160	0,202	1,10	0,13	0,00	0,00	0,48	
3	63,2	189,6	2,25	0,200	0,160	0,202	1,65	0,28	0,00	0,00	0,63	
4	63,2	252,8	3,70	0,200	0,160	0,202	2,19	0,43	0,00	0,00	1,61	
5	63,2	316,0	2,25	0,200	0,160	0,202	2,74	0,65	0,01	0,07	1,54	
6	63,2	379,2	2,20	0,200	0,180	0,214	2,93	0,67	1,39	7,16	8,64	
7	60,0	439,2	6,50	0,200	0,200	0,226	3,05	0,68	0,43	2,38	6,80	
8	170,0	609,2	5,94	0,225	0,250	0,268	3,01	0,61	0,51	2,76	6,36	
9	60,0	669,2	2,10	0,225	0,250	0,268	3,30	0,53	0,20	1,31	2,43	
10	520,0	1189,2	2,00	0,250	0,315	0,317	4,19	0,64	2,22	23,40	24,68	

m.č. 102 - 101						větev:	102					
Potrubí			přívodní			$\rho=$	1,2 [kg·m ⁻³]					
u	V_i	V	L	A (výška)	B (šířka)	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L	
[-]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m·s ⁻¹]	[Pa·m ⁻¹]	[-]	[Pa]	[Pa]	
1	60,00	60,00	3,30	0,100	0,100	0,113	1,67			0,00	0,00	

m.č. 104 - 108						větev:	104					
Potrubí			přívodní			$\rho=$	1,2 [kg·m ⁻³]					
u	V_i	V	L	A (výška)	B (šířka)	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L	
[-]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m·s ⁻¹]	[Pa·m ⁻¹]	[-]	[Pa]	[Pa]	
1	60,00	60,00	2,00	0,160	0,100	0,143	1,04			0,00	0,00	
2	110,00	170,00	1,10	0,160	0,160	0,181	1,84			0,00	0,00	

m.č. 116 - 111						větev:	116					
Potrubí			přívodní			$\rho=$	1,2 [kg·m ⁻³]					
u	V_i	V	L	A (výška)	B (šířka)	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L	
[-]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m·s ⁻¹]	[Pa·m ⁻¹]	[-]	[Pa]	[Pa]	
1	70,00	70,00	2,00	0,160	0,100	0,143	1,22			0,00	0,00	
2	94,00	164,00	1,10	0,160	0,160	0,181	1,78			0,00	0,00	
3	124,00	288,00	3,30	0,160	0,160	0,181	3,13			0,00	0,00	
4	116,00	404,00	3,30	0,180	0,180	0,203	3,46			0,00	0,00	
5	116,00	520,00	3,30	0,200	0,180	0,214	4,01			0,00	0,00	

VZT jednotka - sání vzduchu						větev:	strojovna						
Potrubí		přívodní					$\rho=$	1,2 [kg·m ⁻³]					
u	Vi	V	L	A (výška)	B (šířka)	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L		
[-]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m·s ⁻¹]	[Pa·m ⁻¹]	[-]	[Pa]	[Pa]		
1	1189,00	1189,00	2,40	0,315	0,315	0,356	3,33	0,96	1,90	0,00	2,30		

1. NP – odvodní potrubí:

m. č. 101 - VZT jednotka						větev:	101 hlavní						
Potrubí		odvodní					$\rho=$	1,2 [kg·m ⁻³]					
u	Vi	V	L	A (výška)	B (šířka)	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L		
[-]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m]	[m]	[Pa·m ⁻¹]	[-]	[Pa]	[Pa]	-	Pa	Pa		
1	126,33	126,33	3,75	0,200	0,125	0,178	1,40	0,24	1,04	1,23	2,14		
2	126,33	252,67	4,70	0,200	0,125	0,178	2,81	0,83	7,00	33,10	36,99		
3	126,33	379,00	2,85	0,200	0,160	0,202	3,29	0,91	1,00	6,49	9,08		
4	520,00	899,00	6,76	0,25	0,25	0,28	4,00	0,85	8,13	77,91	83,67		
5	290,00	1189,00	0,70	0,250	0,315	0,317	4,19	1,15	1,50	15,83	16,64		
6	640,00	1829,00	8,00	0,315	0,355	0,377	4,54	0,72	5,11	63,29	69,02		
										tlumič hluku	20,00		
										koncový element	20,00		
										Σ	257,54		

m. č. 117 - 109						větev:	117						
Potrubí		odvodní					$\rho=$	1,2 [kg·m ⁻³]					
u	Vi	V	L	A (výška)	B (šířka)	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L		
[-]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m·s ⁻¹]	[Pa·m ⁻¹]	[-]	[Pa]	[Pa]		
1	50,00	50,00	1,90	0,100	0,125	0,126	1,11	0,24	0,00	0,00	0,46		
2	114,00	164,00	2,51	0,100	0,160	0,143	2,85	1,16	0,04	0,18	3,09		
3	124,00	288,00	5,00	0,160	0,160	0,181	3,13	0,72	0,03	0,17	3,75		
4	232,00	520,00	2,34	0,200	0,200	0,226	3,61	0,93	1,50	11,74	13,91		

m. č. 107 - 111						větev:	107						
Potrubí		odvodní					$\rho=$	1,2 [kg·m ⁻³]					
u	Vi	V	L	A (výška)	B (šířka)	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L		
[-]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m·s ⁻¹]	[Pa·m ⁻¹]	[-]	[Pa]	[Pa]		
1	110,00	110,00	2,70	0,160	0,125	0,160	1,53	0,60	0,00	0,00	1,62		
2	60,00	170,00	5,90	0,200	0,125	0,178	1,89	1,25	1,04	2,23	9,60		
3	60,00	230,00	6,33	0,160	0,200	0,202	2,00	0,50	1,22	2,92	6,08		
4	60,00	290,00	10,78	0,200	0,200	0,226	2,01	1,08	5,90	14,36	26,00		

VZT jednotka - výfuk vzduchu						větev:	strojovna						
Potrubí		odvodní					$\rho=$	1,2 [kg·m ⁻³]					
u	Vi	V	L	A (výška)	B (šířka)	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L		
[-]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m·s ⁻¹]	[Pa·m ⁻¹]	[-]	[Pa]	[Pa]		
1	1829,00	1829,00	9,70	0,355	0,355	0,401	4,03	0,53	1,90	18,49	23,64		

1. PP – přívodní:

m. č. 01.01-VZT jednotka						větev:	1,01					
Potrubí		přívodní				$\rho=$	1,2 [kg·m ⁻³]					
u	Vi	V	L	A (výška)	B (šířka)	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L	
[-]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m·s ⁻¹]	[Pa·m ⁻¹]	[-]	[Pa]	[Pa]	
1	60,00	60,00	3,40	0,180	0,100	0,151	0,93	0,51	1,22	0,63	2,34	
2	50,00	110,00	7,00	0,180	0,125	0,169	1,36	0,96	1,26	1,39	8,14	
3	90,00	200,00	4,60	0,200	0,160	0,202	1,74	0,33	3,01	5,45	6,95	
4	50,00	250,00	6,30	0,200	0,180	0,214	1,93	0,37	0,20	0,45	2,77	
5	100,00	350,00	10,40	0,200	0,225	0,239	2,16	0,63	4,19	11,73	18,23	
6	290,00	640,00	7,40	0,200	0,315	0,283	2,82	0,59	2,41	11,51	15,85	
7	1189,00	1829,00	9,50	0,315	0,355	0,377	4,54	0,74	5,63	0,20	7,27	
										tlumič hluku	20,00	
										koncový element	30	
										Σ	111,55	

m. č. 01.12-01.14						větev:	1,12					
Potrubí		přívodní				$\rho=$	1,2 [kg·m ⁻³]					
u	Vi	V	L	A (výška)	B (šířka)	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L	
[-]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m·s ⁻¹]	[Pa·m ⁻¹]	[-]	[Pa]	[Pa]	
1	120,00	120,00	17,50	0,100	0,160	0,1428	2,08			0,00	0,00	
2	120,00	240,00	8,95	0,160	0,160	0,1806	2,60			0,00	0,00	
3	50,00	290,00	8,95	0,160	0,160	0,1806	3,15			0,00	0,00	
										tlumič hluku	7,00	
										koncový element	19,2	
										Σ	26,20	

1. PP – odvodní:

m. č. 01.05 - hlavní větev						větev:	1,05					
Potrubí		odvodní				$\rho=$	1,2 [kg·m ⁻³]					
u	Vi	V	L	A (výška)	B (šířka)	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L	
[-]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m·s ⁻¹]	[Pa·m ⁻¹]	[-]	[Pa]	[Pa]	
1	60,00	60,00	3,00	0,125	0,180	0,169	0,74	0,51	1,30	0,43	1,97	
2	90,00	150,00	0,50	0,180	0,180	0,203	1,29	0,16	0,00	0,00	0,08	
3	50,00	200,00	3,10	0,180	0,225	0,227	1,37	0,17	0,00	0,00	0,53	
4	50,00	250,00	1,50	0,180	0,225	0,227	1,71	0,24	1,00	1,76	2,12	
5	150,00	350,00	2,80	0,200	0,225	0,239	2,16	0,38	1,02	2,85	3,91	
6	290,00	640,00	9,20	0,200	0,315	0,283	2,82	0,84	1,31	6,26	14,01	

m. č. 01.12 - 01.14						větev:	1,12					
Potrubí		odvodní					$\rho=$	1,2 [kg·m ⁻³]				
u	Vi	V	L	A (výška)	B (šířka)	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L	
[-]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m·s ⁻¹]	[Pa·m ⁻¹]	[-]	[Pa]	[Pa]	
1	120,00	120,00	5,30	0,225	0,125	0,189	1,19			0,00	0,00	
2	120,00	240,00	9,00	0,225	0,125	0,189	2,37			0,00	0,00	
30	50,00	290,00	9,00	0,225	0,125	0,189	2,86			0,00	0,00	

m. č. 01.10 - 01.14						větev:	1,14					
Potrubí		odvodní					$\rho=$	1,2 [kg·m ⁻³]				
u	Vi	V	L	A (výška)	B (šířka)	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L	
[-]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m ³ ·h ⁻¹]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m·s ⁻¹]	[Pa·m ⁻¹]	[-]	[Pa]	[Pa]	
1	150,00	150,00	1,20	0,200	0,125	0,178	1,67	0,93	0,33	0,55	1,66	

Příloha č. 2: Okrajové podmínky – Varianta 1:

Léto:

Tepelné zisky od osob:

OSOBY						
	jméno povrchu ve FLUENT	W/osobu	osob	W	povrch ve FLUENT (m2)	heat flux (W/m2)
1	wall_occupant1	80	1	80	1,612	49,62779156
2	wall_occupant2	80	1	80	1,612	49,62779156
3	wall_occupant3 (2zones)	80	3	240	2,796	85,83690987
4	wall_occupant	80	1	80	1,612	49,62779156
			Sum	480		

Tepelné zisky od elektroniky:

POČÍTAČE						
	jméno povrchu ve FLUENT	W/computer1	computers	W	povrch ve FLUENT (m2)	heat flux (W/m2)
1	wall_table1 (3zones)	100	2	200	12,54956	15,93681372
2	wall_table2(3zones(	100	1	100	10,51955	9,506110052
			Sum	300		

Teplené zisky od umělého osvětlení:

UMĚLÉ OSVĚTLENÍ						
	jméno povrchu ve FLUENT	W/m2	plocha (m2)	W	objem ve fluent (m3)	energy (W/m3)
1	8 zones "fluid"	20	70	1400	334,4759	4,185652838

Tepelné zisky solární radiací:

SOLÁRNÍ ZISKY						
	jméno povrchu ve FLUENT	W			povrch ve FLUENT (m2)	heat flux (W/m2)
1	wall_floor fluid_1 wall_floor-fluid_2 wall_floor-fluid_4 wall_floor_withoccupant1 wall_floor_withoccupant2!!! wall_floor_withwindows	2888			108,07	26,72342001

Součinitel prostupu tepla z venkovního prostředí k vnitřnímu povrchu venkovní zdi:

Venkovní zeď									Léto	
YTONG			Izolace			R-value - konstrukce	Rse - Zima	Rse-Léto	teplené mosty	Souč. přestupu tepla*
d(m)	α (W/m ² ·K)	R (m ⁻¹ ·K/W)	d(m)	α (W/m ² ·K)	R (m ⁻¹ ·K/W)	(m ² ·K/W)	(m ² ·K/W)	(m ² ·K/W)		(W/m ² ·K)
0,2	0,15	1,333333333	0,1	0,042	2,380952381	3,714285714	0,04	0,07	0,05	0,314250661

Vstup vzduchu do domény:

přívodní výtčky									
		délka	šířka	plocha	V	V	u	hydraulický průměr	teplota vzduchu
		(m)	(m)	(m ²)	(m ³ /h)	(m ³ /s)	(m/s)	(m)	(K)
1	inlet_1	2,4	0,006	0,0144	84	0,023333	1,6204	0,0120	21,2
2	Inlet_2	2,4	0,006	0,0144	84	0,023333	1,6204	0,0120	21,2
3	Inlet_3	2,4	0,006	0,0144	84	0,023333	1,6204	0,0120	21,2
4	Inlet_4	1,2	0,006	0,0072	42	0,011667	1,6205	0,0119	21,2

Vstup vzduchu do domény - jednotky FAN-COIL:

FAN-COIL									
	délka	šířka	plocha	V	V	u	hydraulický průměr	teplota vzduchu	
	(m)	(m)	(m ²)	(m ³ /h)	(m ³ /s)	(m/s)		(K)	
inlet_FCU	0,5	0,025	0,0125	155	0,043056		3,4444	0,0476	19,38269569

Zima:

Součinitel prostupu tepla z venkovního prostředí k vnitřnímu povrchu venkovní zdi:

Venkovní zeď										Winter
YTONG			izolace			R-value of construction	Rse - zima	Rse-léto	tepelné mosty	Souč. přestupu
d(m)	α (W/m ⁻¹ ·K)	R(m ⁻¹ ·K/W)	d(m)	α (W/m ⁻¹ ·K)	R(m ⁻¹ ·K/W)	(m ² *K/W)	(m ² *K/W)	(m ² *K/W)		(W/m ² *K)
0,2	0,15	1,333333333	0,1	0,042	2,380952381	3,714285714	0,04	0,07	0,05	0,316362253

Součinitel prostupu tepla ze suterénu k vnitřnímu povrchu podlahy:

podlaha										zima
beton			izolace			R - konstrukce	Rse - zima	Souč. přestupu tepla		
d(m)	α (W/m ⁻¹ ·K)	R(m ⁻¹ ·K/W)	d(m)	α (W/m ⁻¹ ·K)	R(m ⁻¹ ·K/W)	(m ² *K/W)	(m ² *K/W)	(m ² *K/W)	(W/m ² *K)	
0,25	0,174	1,436781609	0,1	0,042	2,380952381	3,81773399	0,04	0,259219532		

Vstup vzduchu do domény:

přívodní vyústky									
	délka	šířka	plocha	V	V	u	hydraulický průměr	teplota vzduchu	
	(m)	(m)	(m ²)	(m ³ /h)	(m ³ /s)	(m/s)		(K)	
1	inlet_1	0,15	0,006	0,0144	84	0,023333	1,6204	0,0115	20
2	Inlet_2	2,4	0,006	0,0144	84	0,023333	1,6204	0,0120	20
3	Inlet_3	2,4	0,006	0,0144	84	0,023333	1,6204	0,0120	20
4	Inlet_4	1,2	0,006	0,0072	42	0,011667	1,6205	0,0119	20

Příloha č. 3: Okrajové podmínky – Varianta 2:

Léto:

Tepelné zisky od osob:

OSOBY						
	jméno povrchu ve FLUENT	W/osobu	osob	W	povrch ve FLUENT (m2)	heat flux (W/m2)
1	wall_occupant1	80	1	80	1,612	49,62779156
2	wall_occupant2	80	1	80	1,612	49,62779156
3	wall_occupant3 (2zones)	80	3	240	2,796	85,83690987
4	wall_occupant	80	1	80	1,612	49,62779156
			Sum	480		

Tepelné zisky od elektroniky:

POČÍTAČE						
	jméno povrchu ve FLUENT	W/computer1	computers	W	povrch ve FLUENT (m2)	heat flux (W/m2)
1	wall_table1 (3zones)	100	2	200	12,54956	15,93681372
2	wall_table2(3zones(	100	1	100	10,51955	9,506110052
			Sum	300		

Tepelné zisky od umělého osvětlení:

UMĚLÉ OSVĚTLENÍ						
	jméno zóny buněk	W/m2	area (m2)	W	volume in fluent (m3)	energy (W/m3)
1	8 zones "fluid"	20	70	1400	389,12415	3,5978

Tepelné zisky solární radiací:

SOLÁRNÍ ZISKY						
	jméno povrchu ve FLUENT	W			povrch ve FLUENT (m2)	heat flux (W/m2)
1	wall_floor fluid_1 wall_floor-fluid_2 wall_floor-fluid_4 wall_floor_withoccupant1 wall_floor_withoccupant2!!! wall_floor_withwindows	2888			108,07	26,72342001

Součinitel prostupu tepla z venkovního prostředí k vnitřnímu povrchu venkovní zdi:

Venkovní zeď						Léto				
YTONG			Izolace			R-value - konstrukce	Rse - Zima	Rse-Léto	teplené mosty	Souč. přestupu tepla*
d(m)	α (W/m ² ·K)	R (m ² ·K/W)	d(m)	α (W/m ² ·K)	R (m ² ·K/W)	(m ² ·K/W)	(m ² ·K/W)	(m ² ·K/W)		(W/m ² ·K)
0,2	0,15	1,333333333	0,1	0,042	2,380952381	3,714285714	0,04	0,07	0,05	0,314250661

Vstup vzduchu do místnosti:

přívodní výústky										
		délka	šířka	plocha	V	V	u	hydraulický průměr	teplota vzduchu	
		(m)	(m)	(m ²)	(m ³ /h)	(m ³ /s)	(m/s)		(K)	
1	inlet_1	1	0,021	0,0210	63,15	0,017542		0,8353	0,0411	21,2
2	Inlet_2	1	0,021	0,0210	63,15	0,017542		0,8353	0,0411	21,2
3	Inlet_3	1	0,021	0,0210	63,15	0,017542		0,8353	0,0411	21,2
4	Inlet_4	1	0,021	0,0210	63,15	0,017542		0,8353	0,0411	21,2
5	Inlet_5	1	0,021	0,0210	63,15	0,017542		0,8353	0,0411	21,2
6	Inlet_6	1	0,021	0,0210	63,15	0,017542		0,8353	0,0411	21,2
					378,9					

Zima:

Součinitel prostupu tepla z venkovního prostředí k vnitřnímu povrchu venkovní zdi:

Venkovní zeď						R-value of construction	Rse - zima	Rse-léto	tepelné mosty	Winter Souč. přestupu
YTONG			izolace			(m ² *K/W)	(m ² *K/W)	(m ² *K/W)		(W/m ² *K)
d(m)	α(W/m ⁻¹ .K)	R(m ⁻¹ .K/W)	d(m)	α(W/m ⁻¹ .K)	R(m ⁻¹ .K/W)					
0,2	0,15	1,333333333	0,1	0,042	2,380952381	3,714285714	0,04	0,07	0,05	0,316362253

Součinitel prostupu tepla ze suterénu k vnitřnímu povrchu podlahy:

podlaha						R - konstrukce	Rse - zima	zima Souč. přestupu tepla
beton			izolace			(m ² *K/W)	(m ² *K/W)	(W/m ² *K)
d(m)	α(W/m ⁻¹ .K)	R(m ⁻¹ .K/W)	d(m)	α(W/m ⁻¹ .K)	R(m ⁻¹ .K/W)			
0,25	0,174	1,436781609	0,1	0,042	2,380952381	3,81773399	0,04	0,259219532

Vstup vzduchu do místnosti:

přívodní výústky										
		délka	šířka	plocha	V	V	u	hydraulický průměr	teplota vzduchu	
		(m)	(m)	(m ²)	(m ³ /h)	(m ³ /s)	(m/s)		(K)	
1	inlet_1	1	0,021	0,0210	63,15	0,017542		0,8353	0,0411	20
2	Inlet_2	1	0,021	0,0210	63,15	0,017542		0,8353	0,0411	20
3	Inlet_3	1	0,021	0,0210	63,15	0,017542		0,8353	0,0411	20
4	Inlet_4	1	0,021	0,0210	63,15	0,017542		0,8353	0,0411	20
5	Inlet_5	1	0,021	0,0210	63,15	0,017542		0,8353	0,0411	20
6	Inlet_6	1	0,021	0,0210	63,15	0,017542		0,8353	0,0411	20
					378,9					