

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Přínosy sálavého vytápění rodinného domu

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal HUML**
Osobní číslo: **E11N0114P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Přínosy sálavého vytápění rodinného domu**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Uveďte teorii sdílení tepla (konvekce, kondukce, radiace)
2. Uveďte teorii odporové ohřevu z hlediska sálavých panelů
3. Vypočtete tepelné ztráty rodinného domu
4. Navrhněte vytápění RD sálavými panely - posuďte možnosti regulace, náklady na pořízení a roční provozní náklady
5. Sálavé vytápění X konvekční, technické a nákladové posouzení, vyvodte závěry pro praxi

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


1. VŠSE Rada a kol.: Elektrotepelná technika, SNTL, 1985
2. Materiály od výrobců sálavých panelů
3. Internet

Vedoucí diplomové práce: **Ing. David Rot, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá teorií a návrhem sálavého systému vytápění rodinného domu. Práce popisuje návrh sálavého systému vytápění a porovnání s dalšími možnými systémy vytápění z hlediska investičních a provozních nákladů.

Klíčová slova

teplo, tepelná pohoda, sálavé vytápění, radiace

Abstract

This master thesis deals with the theory and design of radiant heating system of a family house. The work describes the radiant heating system and the comparison with other kinds of heating systems from the point of view of investment and operating costs.

Keywords

heat, thermal comfort, radiant heating, radiation

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 2.5.2013

Michal Huml

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Davidu Rotovi Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH.....	8
SEZNAM SYMBOLŮ	10
ÚVOD.....	14
SDÍLENÍ TEPLA.....	15
1.1 PROUDĚNÍ.....	15
1.1.1 Součinitel přestupu tepla.....	15
1.2 VEDENÍ.....	15
1.2.1 Gradient teploty	16
1.2.2 Tepelný tok.....	16
1.2.3 Fourier – Kirchhofova rovnice.....	16
1.2.4 Součinitel teplotní vodivosti	16
1.2.5 Měrná tepelná vodivost	17
1.3 SÁLÁNÍ.....	17
1.3.1 Elektromagnetické vlnění	17
1.3.2 Zákon zachování energie.....	17
1.3.3 Planckův zákon.....	18
1.3.4 Stefan-Boltzmanův zákon	18
1.3.5 Wienův posunovací zákon	19
2 TEPELNÁ POHODA.....	20
2.1 TEPELNÁ ROVNOVÁHA ORGANISMU	20
2.1.1 Ochlazování těla dýcháním	21
2.1.2 Ochlazování těla vypařováním.....	22
2.1.3 Ochlazování těla konvekcí.....	22
2.1.4 Ochlazování těla sáláním	23
2.2 OKOLNÍ PROSTŘEDÍ	24
2.2.1 Teplota vzduchu a teplotní profil.....	24
2.2.2 Střední teplota okolních ploch a střední radiační teplota	26
2.2.3 Relativní vlhkost vzduchu	28
2.2.4 Rychlost proudění vzduchu.....	28
3 SÁLAVÉ PANELE	30
4 KONSTRUKCE SÁLAVÉHO PANELU	32
4.1 ÚČINNOST PANELU	32
4.2 ELEKTRICKÝ SÁLAVÝ PANEL	33
4.2.1 Topný prvek.....	33
4.2.2 Tělo panelu.....	34
4.2.3 Povrch panelu	34
5 NÁVRHOVÝ TEPELNÝ VÝKON.....	35
5.1 POPIS NOREM.....	37
5.2 VÝPOČET NÁVRHOVÝCH TEPELNÝCH ZTRÁT BUDOVY PRO NAVRHOVANÉ SÁLAVÉ VYTÁPĚNÍ.....	37
5.2.1 Výběr objektu a programu pro výpočet.....	37
5.2.2 Výpočet pomocí modulu Tepelný výpočet.....	37
5.2.3 Popis zvoleného rodinného domu a klimatických podmínek	38
5.2.4 Použitý stavební materiál	39
5.2.5 Pomocné výpočty pro Tepelný výpočet.....	42
5.2.6 Výsledky z modulu Tepelný výpočet	46
6 NÁVRH SÁLAVÉHO VYTÁPĚNÍ	48
6.1 VÝPOČET VÝKONU A POČTU PANELŮ.....	48
6.2 KONTROLA PRO VÝŠKU ZAVĚŠENÍ PANELŮ.....	55
6.3 REGULACE.....	58
6.3.1 Domovní regulace	58

6.3.2	Venkovní a průmyslová regulace	58
6.3.3	Centrální regulace.....	59
7	CENOVÉ POROVNÁNÍ	61
7.1	POŘIZOVACÍ NÁKLADY	61
7.1.1	Sálavé vytápění.....	61
7.1.2	Konvektorové vytápění.....	62
7.1.3	Radiátorové vytápění.....	63
7.2	ROČNÍ PROVOZNÍ NÁKLADY	65
7.2.1	Sálavé vytápění.....	67
7.2.2	Konvektorové vytápění.....	69
7.2.3	Radiátorové vytápění.....	70
7.3	TECHNICKÉ A NÁKLADOVÉ POROVNÁNÍ	71
7.3.1	Technické posouzení.....	71
7.3.2	Nákladové posouzení.....	71
8	ZHODNOCENÍ KRITÉRIEM 3E.....	74
8.1	EKOLOGICKÉ KRITÉRIUM.....	74
8.2	ENERGETICKÉ HLEDISKO	74
8.3	EKONOMICKÉ HLEDISKO.....	74
9	ZÁVĚRY PRO PRAXI	75
	ZÁVĚR.....	76
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	77
	PŘÍLOHY	80

Seznam symbolů

a	Součinitel teplotní vodivosti [$m^2 \cdot s^{-1}$]
A, B, C	Poměrná část [-]
A_{pe}	Vnější plocha podlahy [m^2]
A_{pi}	Vnitřní plocha podlahy [m^2]
c	Rychlost světla 299 792 458 [$m \cdot s^{-1}$]
c_v	Měrné teplo vzduchu [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]
d	Tloušťka [m]
d	Počet dnů otopného období [den]
e_d	Opravný součinitel na zkrácení doby provozu otopné soustavy při přerušovaném vytápění [-]
e_t	Opravný součinitel na snížení vnitřní teploty při přerušovaném vytápění [-]
E_{ζ}	Intenzita sálání černého tělesa [$W \cdot m^{-2}$]
E_{ξ}	Intenzita sálání šedého tělesa [$W \cdot m^{-2}$]
h	Planckova konstanta $6,626 \cdot 10^{-34}$ [$J \cdot s$]
h	Konstrukční výška [m]
h_m	Minimální výška [m]
H	výška [m]
H_U	Výhřevnost paliva [$MJ \cdot m^3$]
$i_{\lambda\zeta}$	Hustota sálavého toku [$W \cdot m^{-3}$]
I	Elektrický proud [A]
I	Intenzita osálání [$W \cdot m^{-2}$]
k	Boltzmanova konstanta $1,3803 \cdot 10^{-23}$ [$J \cdot K^{-1}$]
l	Délka [m]
M_{plyn}	Množství plynu [m^3]
M_v	Množství vdechovaného vzduchu [m^3]
n	Počet kusů [-]
n_{mp}	Měsíční poplatek [$Kč \cdot měsíc^{-1}$]
n_{nt}	Cena za 1 MWh elektrické energie [$Kč \cdot MWh^{-1}$]
n_{ro}	Cena za 1 MWh plynu [$Kč \cdot MWh^{-1}$]
n_{sk}	Skutečný počet [-]

N_{mp}	Náklady měsíčních poplatků [Kč]
N_{nt}	Náklady za odebranou elektrickou energii [Kč]
N_p	Provozní náklady [Kč · rok ⁻¹]
N_{ro}	Náklady za odebraný plyn [Kč]
p_h	Parciální tlak vodní páry nad povrchem pokožky [Pa]
p_v	Parciální tlak vodní páry v okolním vzduchu [Pa]
P	Výkon [W]
P_{inc}	Instalovaný celkový proud [W]
P_{jm}	Jmenovitý výkon [W]
P_k	Tepelná ztráta prouděním [W]
P_n	Jmenovitý výkon [W]
P_{pan}	Výkon panelu [W]
P_{zeb}	Výkon otopného žebříku [W]
q	Měrný metabolický tok
q	Hustota tepelného toku [W · m ⁻²]
Q_{cm}	Tepelná ztráta [W]
Q_d	Teplo sdílené dýcháním [W]
Q_k	Teplo sdílené konvekcí [W]
Q_m	Teplo vyprodukované v těle [W]
Q_p	Tepelná ztráta prostupem [W]
Q_s	Teplo sdílené sáláním [W]
Q_v	Teplo sdílené vypařováním [W]
$Q_{VYT,kon}$	Skutečná spotřeba na plynové vytápění [J]
$Q_{VYT,sal}$	Skutečná spotřeba tepla na sálavé vytápění [J]
$Q_{VYT,teor}$	Teoretická spotřeba tepla [J]
r	Vzdálenost [m]
r	Měrné výparné teplo [J · kg ⁻¹]
r_m	minimální vzdálenost [m]
R	Tepelný odpor [m ² · K · W ⁻¹]
R_{se}	Odpor při přestupu tepla na vnější straně [m ² · K · W ⁻¹]
R_{si}	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně [m ² · K · W ⁻¹]
s	Šířka [m]
S	Plocha [m ²]

S	Povrch těla [m^2]
S_p	Plocha panelu [m^2]
S'	Sálající plocha člověka [m^2]
t	Čas [s]
t_{es}	Průměrná venkovní teplota [$^{\circ}C$]
t_{ev}	Oblastní venkovní výpočtová teplota [$^{\circ}C$]
t_i	Teplota vzduchu [$^{\circ}C$]
t_{is}	Průměrná vnitřní teplota objektu [$^{\circ}C$]
t_k	Průměrná teplota kůže [$^{\circ}C$]
t_o	Operativní teplota [$^{\circ}C$]
t_p	Střední (průměrná) teplota [$^{\circ}C$]
t_r	Teplota povrchu těla [$^{\circ}C$]
t_u	Účinná teplota okolních ploch (střední radiační teplota) [$^{\circ}C$]
t_v	Teplota okolního vzduchu [$^{\circ}C$]
t_v	Teplota vdechovaného vzduchu [$^{\circ}C$]
t_{vyd}	Teplota vydechovaného vzduchu [$^{\circ}C$]
T_k	Teplota kůže [K]
T_p	Střední teplota panelu [K]
U	Součinitel přestupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
v	Rychlost proudění [$m \cdot s^{-1}$]
V	Objem [m^3]
x, y, z	Souřadnice [m]
x_v	Měrná vlhkost vdechovaného vzduchu [$kg \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1} \cdot v^{-1}$]
x_{vyd}	Měrná vlhkost vydechovaného vzduchu [$kg \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1} \cdot v^{-1}$]
α	Součinitel přestupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
α_k	Součinitel přestupu tepla konvekcí [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
α_s	Součinitel přestupu tepla sáláním [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
β	Součinitel difúzní propustnosti pokožky [$kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-2} \cdot Pa^{-1}$]
ε	Opravný součinitel vyjadřující vliv nesoučasnosti přírážek pro výpočet tepelných ztrát objektu [-]
ε_k	Emisivita kůže [-]

ε_p	Emisivita panelu [-]
η_k	Účinnost zdroje tepla [-]
η_o	Účinnost obsluhy (regulace) [-]
η_R	Účinnost rozvodu energie [-]
ϑ	Teplota [$^{\circ}\text{C}$]
Θ	Termodynamická teplota [K]
λ	Měrná tepelná vodivost [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
λ_{max}	Vlnová délka [μm]
ρ	Hustota [m^3]
$\sigma_{\check{c}}$	Stefan-Boltzmanova konstanta $5,67 \cdot 10^{-8}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$]

Úvod

Předkládaná práce popisuje přínosy sálavého vytápění pro rodinný dům.

Práce je rozdělena do několika částí. První část popisuje základy sdílení tepla. Druhá část pojednává o konstrukci elektrických sálavých panelů. Třetí část je zaměřena na výpočet tepelných ztrát rodinného domu pomocí výpočetního softwaru. Další část je věnována návrhu sálavého vytápění pomocí elektrických sálavých panelů pro uvažovaný objekt. V poslední části jsou řešeny různé systémy vytápění z pohledu investičních a provozních nákladů.

Sdílení tepla

Sdílení tepla může probíhat různými způsoby. Možné způsoby sdílení tepla jsou proudění, vedení a sálání. Jinými názvy také konvekce, kondukce a radiace.

Sdílení tepla v prostředí a předmětech kolem nás je většinou kombinace různých způsobů šíření tepla. Nastávají případy, kdy je možné některou složku zanedbat, ale jsou případy, kdy to možné není.

1.1 Proudění

Prvním možným způsobem sdílení tepla může být proudění. Také nazýváno jako konvekce.

Tento děj nastává v plynných a kapalných látkách. Můžeme rozeznávat přirozenou a nucenou konvekci. Při přirozené konvekci se využívá toho, že tekutina o vyšší teplotě má menší hustotu, a proto samovolně stoupá. Pro nucenou konvekci je zapotřebí vnějšího činitele. To může být například ventilátor [2].

Přenesené množství tepla lze vyjádřit Newtonovým zákonem.

$$P_k = \alpha \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2) \cdot S \quad (W) \quad (1.1.1)$$

Sdílení tepla prouděním má velmi velký význam například při návrhu konvekčního topení s klasickými teplovodními radiátory.

1.1.1 Součinitel přestupu tepla

Tento součinitel lze pro orientační zjištění spočítat z různých vzorců, které byly získány experimentálně. V praxi tento součinitel závisí na mnoha faktorech, mezi které patří rozměry, tvar, drsnost povrchu, rozdíl teplot, viskozita, umístění v prostoru, rychlost proudění prostředí [2].

$$\alpha \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

1.2 Vedení

Druhým způsobem, kterým lze sdílet teplo, je vedení, cizím slovem kondukce. K tomuto způsobu přenosu tepla dochází v tuhých látkách nebo za určitých okolností i u kapalin a plynů.

Teplota je skalární veličina, proto rozložení teplot v prostoru tedy představuje skalární teplotní pole a lze pro něj napsat základní rovnici pro rozložení teploty v tělese ve tvaru [2]:

$$\vartheta = f(x, y, z, t) \text{ (}^\circ\text{C) [2]} \quad (1.2.1)$$

Ve zvláštním případě, kdy teplota v poli je ustálená, nemění se s časem ($\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = 0$), se toto pole nazývá stacionární a platí pro něj obecný výraz.

$$\vartheta = f(x, y, z) \text{ (}^\circ\text{C) [2]} \quad (1.2.2)$$

1.2.1 Gradient teploty

Teplo se šíří všemi směry v uvažovaném materiálu. Gradient je vektor, který je kolmý k izotermě a směřuje ve směru růstu teploty. Vyjádřeno matematicky ve tvaru:

$$\text{grad } \vartheta = \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \bar{i} + \frac{\partial \vartheta}{\partial y} \bar{j} + \frac{\partial \vartheta}{\partial z} \bar{k} = \nabla \vartheta \quad \left(\frac{\text{K}}{\text{m}}\right) [2] \quad (1.2.3)$$

1.2.2 Tepelný tok

Pomocí Furierova zákona lze vyjádřit tepelný tok ve tvaru:

$$\vec{q} = -\lambda \cdot \text{grad } \vartheta \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right) \quad (1.2.4)$$

1.2.3 Fourier – Kirchhoffova rovnice

Tato rovnice nám vyjadřuje vedení tepla v tuhém tělese. V uvažovaném místě se mění teplota i tepelný tok. Tato rovnice se používá pro řešení vedení tepla v různém místě i čase.

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \cdot \left[\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial z^2} \right] = a \cdot \nabla^2 \vartheta \quad (1.2.5)$$

Pro řešení konkrétních případů by bylo nutné tuto rovnici doplnit dalšími parametry. To může být například počáteční teplota v čase nula, obecně tedy počáteční a okrajové podmínky [2].

1.2.4 Součinitel teplotní vodivosti

Tento součinitel vyjadřuje rychlost šíření tepla v tělese. Ukazuje nám, jak rychle se dané těleso ochlazuje či otepluje [2].

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)$$

1.2.5 Měrná tepelná vodivost

Tato veličina nám ukazuje množství tepla, které projde plochou, která má jednotkovou velikost plochy i tloušťky, za čas jedné sekundy a při teplotním gradientu $1 \text{ K} \cdot \text{m}^{-1}$ [2].

$$\lambda \left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right)$$

1.3 Sálání

Třetí a poslední možností sdílení tepla je sálání, neboli také radiace. Při tomto způsobu přenosu je teplo ve formě energie přenášeno za pomoci elektromagnetického vlnění o různých vlnových délkách. Jedině tento způsob není vázán na hmotné prostředí, a proto umožňuje přenos tepla i ve vakuu. Obecně každé těleso, které má teplotu vyšší než 0K, vyzařuje svým povrchem do prostoru tepelnou energii.

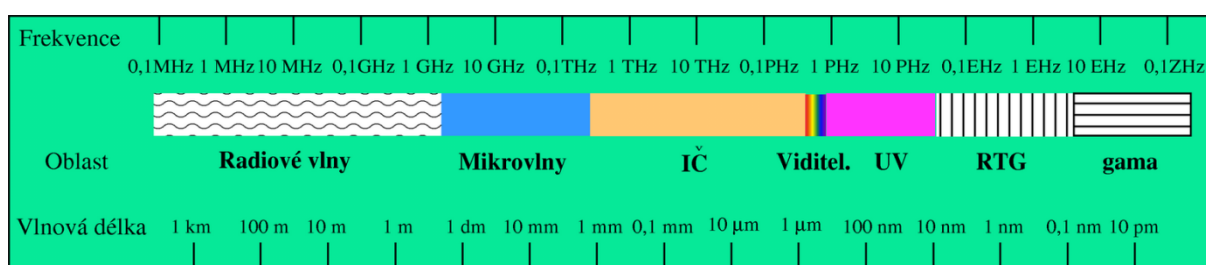
1.3.1 Elektromagnetické vlnění

Obecně elektromagnetické vlnění má různé vlnové délky. Můžeme tedy rozdělit spektrum na určité úseky podle rozsahu vlnových délek a jim příslušných frekvencí.

Oblast	Vlnová délka	Frekvence
Mikrovlny	~ 1 dm – 0,1 mm	~ 3 Gz – 3 THz
Infračervené záření	~ 0,1mm – 780 nm	~ 3 THz – 385 THz
Viditelné světlo	~ 780 nm – 380 nm	~ 385 THz – 789 THz
Ultrafialové záření	~ 380 nm – 10 nm	~ 789 THz – 30 PHz

Tab. 1.1 – Vlnové délky a jejich příslušné frekvence

S ohledem na sálavou energii nás nejvíce zajímá oblast infračerveného záření a část viditelného spektra. Nejsilnější tepelné vyzařování je v oblasti $\sim 2,5 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$.



Obr. 1.1 Rozsah vlnových délek převzato [20]

1.3.2 Zákon zachování energie

Odrazivost tělesa představuje pro záření vlastnost, která vyjadřuje míru schopnosti odrazit dopadající záření zpět do prostoru. Rozlišujeme dva možné způsoby odrazu. První možností je zrcadlový odraz. Dopadající paprsek je od tělesa odražen ve formě jednoho paprsku. Úhel odraženého paprsku je roven úhlu dopadajícího paprsku. Druhou možností je difuzní odraz. Dopadající paprsek je odražen ve formě svazku paprsků do poloprostoru. Tato

schopnost je například ovlivněna lesklostí nebo matovostí povrchu. Propustnost tělesa nám ukazuje, jakou měrou beze změny je schopno těleso propustit dopadající záření. Pohltivost tělesa představuje schopnost měnit dopadající záření na teplo. Z výše uvedených vlastností tělesa můžeme formulovat zákon zachování energie pro záření. Rovnice je zapsána v bezrozměrném tvaru [2].

$$A + B + C = 1 \quad (1.3.1)$$

V této rovnici nám A představuje část záření, které je tělesem pohlceno. Je to takzvaná poměrná pohltivost. Poměrná pohltivost je vyjádřena jako poměr pohlcené energie k celkové dopadající energii záření. Písmeno B ukazuje, jaká část záření je tělesem odrazena. Tato část je vyjádřena jako poměr odražené energie k celkové dopadající energii záření. Vyjadřuje nám tedy poměrnou odrazivost. Poslední část C značí, kolik energie je propuštěno tělesem. Ve výše zapsané rovnici to značí poměrnou propustnost. I poslední část je vyjádřena poměrem. Jedná se o poměr propuštěné části energie k celkové dopadající energii záření. Výsledný součet se rovná celkové energii vyslané směrem na uvažované těleso [2].

1.3.3 Planckův zákon

V tomto zákoně se vychází z předpokladu, že záření je tokem elementárních kvant energie, které jsou úměrné frekvenci uvažovaného záření. V zákoně je popsána spektrální intenzita sálání pro určitou vlnovou délku a teplotu θ [1], [2].

Pro spektrální zářivost je Planckův zákon funkcí teploty a vlnové délky.

$$i_{\lambda\epsilon} = f(\theta, \lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left(\exp\left(\frac{hc}{k\lambda\theta}\right) - 1 \right)} \left(\frac{W}{m^3} \right) \quad (1.3.2)$$

Ve vzorci je obsažena Planckova konstanta $h = 6,626 \cdot 10^{-34} (J \cdot s)$ a Boltzmannova konstanta $k = 1,3803 \cdot 10^{-23} (J \cdot K^{-1})$; $c = 299\,792\,458 (m \cdot s^{-1})$

1.3.4 Stefan-Boltzmanův zákon

Tento zákon říká, že zářivost absolutně černého tělesa se zvětšuje v přímém poměru se čtvrtou mocninou termodynamické teploty [2], [11].

Tento zákon vyplývá z integrace Planckovy rovnice po celém spektru vlnových délek.

$$E_{\epsilon}(\theta) = \int_0^{\infty} i_{\lambda\epsilon}(\lambda) d\lambda = \int_0^{\infty} \pi i_{\lambda\epsilon}(\lambda) d\lambda = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} \theta^4 = \sigma_{\epsilon} \cdot \theta^4 \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (1.3.3)$$

Rovnice pro sálání černého tělesa je tedy ve tvaru:

$$E_{\zeta} = \sigma_{\zeta} \cdot \Theta^4 \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (1.3.4)$$

Sálání šedého tělesa je vyjádřeno rovnicí ve tvaru:

$$E_{\xi} = \varepsilon \cdot \sigma_{\zeta} \cdot \Theta^4 \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (1.3.5)$$

ε – stupeň černosti daného tělesa [–]

Stefan-Boltzmanova konstanta představuje součinitel sálání absolutně černého tělesa.

$$\sigma_{\zeta} = 5,67 \cdot 10^{-8} \left(\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right)$$

1.3.5 Wienův posunovací zákon

Tento zákon nám říká, že maximum spektrální zářivosti se posouvá s narůstající teplotou ke kratším vlnovým délkám. S nárůstem teploty vyzařovaného tělesa se maximum spektrální zářivosti posouvá ke kratším vlnovým délkám. Pomocí tohoto zákona lze snadno zjistit teplotu Slunce [2].

$$\lambda_{max} = \frac{2898}{\Theta} \quad (\mu m; -, K) \quad (1.3.6)$$

2 Tepelná pohoda

Tepelná pohoda je psychosomatický pocit člověka v určitém prostředí a jeho reakce na něj vyvolána z pocitu tepla a chladu v prostoru, kde se nachází. Tepelná pohoda napomáhá k maximální duševní spokojenosti a možnosti zvýšení fyzické zátěže. Zjednodušeně lze říci, že tepelná pohoda člověka znamená, že člověku není zima ani teplo a cítí se příjemně.

Ve skutečnosti je tepelná pohoda ovlivňována ještě dalšími faktory prostředí. Je to rychlost proudění vzduchu, střední radiální teplota okolních stěn, rovnoměrnost rozložení teploty a mnohé další.

Všechny tyto faktory nám ovlivňují prostředí, ve kterém chce člověk cítit tepelnou pohodu a pro její zajištění musíme tyto faktory respektovat, a vytápění, případně větrání navrhnout tak, aby byly zajištěny potřebné podmínky všech faktorů prostředí.

2.1 Tepelná rovnováha organismu

Sdílení tepla mezi člověkem a okolním prostředím lze určit pomocí fyzikálních zákonů, které platí pro jakákoliv jiná tělesa. Lidské tělo díky svým látkovým výměnám probíhajícím v těle produkuje množství tepla, které je nutné odvést do okolí, aby bylo dosaženo optimální teploty organismu, která činí 37°C u zdravého člověka. Tepelnou rovnováhu tedy můžeme obecně definovat jako stav, kdy všechno vyprodukované tělesné teplo je odváděno do okolí a tělo udrží svoji tělesnou teplotu. Teplo z těla je sdíleno do okolí pomocí konvekce, kondukce, radiace, ale také nesmíme zapomenout, že teplo je možné z těla odvádět pocením a dýcháním.

Při zanedbání sdílení tepla pomocí vedení, které je zanedbatelné můžeme napsat obecnou rovnici pro tepelnou rovnováhu člověka ve tvaru [5].

$$Q_m = Q_v + Q_d + Q_s + Q_k \quad (W) \quad (2.1.1)$$

Jednotlivé části představují tyto složky:

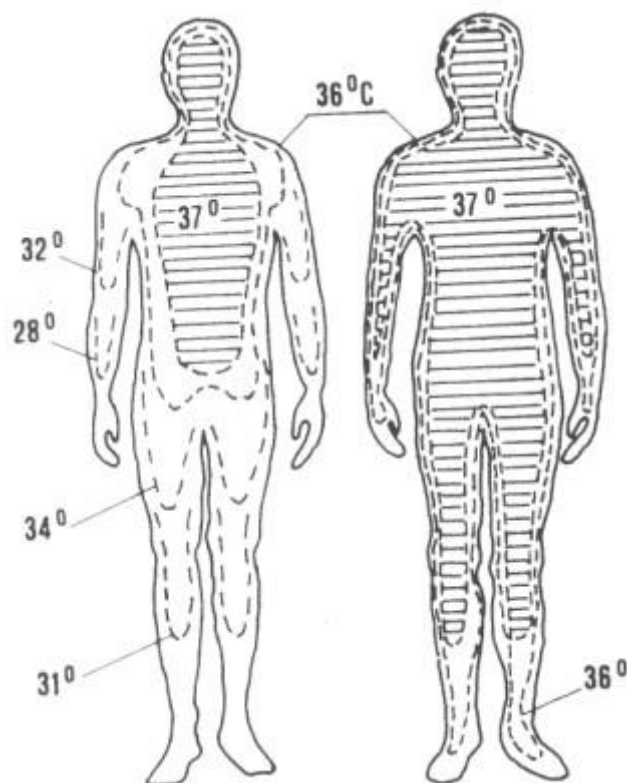
Q_m – teplo vyprodukované v těle (W)

Q_v – teplo sdílené vypařováním (W)

Q_d – teplo sdílené dýcháním (W)

Q_s – teplo sdílené sáláním (W)

Q_k – teplo sdílené konvekcí (W)



Obr. 2.1 Izotermie člověka převzato [27]

2.1.1 Ochlazování těla dýcháním

Tento druh sdílení tepla je závislý na druhu fyzické zátěže, což logicky vede k tomu, že lidský organismus produkuje více tepla, které je nutné předat do okolí. Vdechovaný vzduch, který se dostává do plic, je zahříván přibližně na teplotu kolem 35°C a současně nasycen vodní párou. Rovnici pro sdílení tepla tedy zapíšeme ve stavu [2]:

$$Q_d = c_v \cdot M_v \cdot (t_{vyd} - t_v) + r \cdot M_v \cdot (x_{vyd} - x_v) \quad (W) \quad (2.1.2)$$

c_v – měrné teplo vzduchu ($1,1 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

M_v – množství vdechovaného vzduchu ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)

t_{vyd} – teplota vydechaného vzduchu (35°C)

t_v – teplota vdechovaného vzduchu

r – měrné výparné teplo ($2,4 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$)

x_{vyd} – měrná vlhkost vydechaného vzduchu ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{v}^{-1}$)

x_v – měrná vlhkost vdechovaného vzduchu ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{v}^{-1}$)

2.1.2 Ochlazování těla vypařováním

Při tomto druhu sdílení tepla, které vyprodukuje lidské tělo, mohou nastat dva případy. Prvním případem může být difúzní vypařování a druhým případem mokré vypařování [2].

Pro difúzní vypařování můžeme napsat obecnou rovnici ve tvaru:

$$Q'_v = \beta \cdot S \cdot (p_h - p_v) \cdot r \quad (W) \quad (2.1.3)$$

β – součinitel difúzní propustnosti pokožky ($kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-2} \cdot Pa^{-1}$)

S – plocha povrchu těla (m^2)

r – měrné výparné teplo vody ($J \cdot kg^{-1}$)

p_h – parciální tlak vodní páry nad povrchem pokožky (Pa)

p_v – parciální tlak vodní páry v okolním vzduchu (Pa)

Pro vyjádření rovnice pro mokré vypařování je nutné vzít v úvahu součinitel difúzní propustnosti pokožky $\beta = 1,28 \cdot 10^{-9} kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-2} \cdot Pa^{-1}$, měrné výparné teplo vody při teplotě $35^\circ C$, které je tedy $r = 2,4 \cdot 10^6 J \cdot kg^{-1}$ a parciální tlak vodní páry nad povrchem těla v závislosti na teplotě pokožky $p_h = (2,56t_h - 33,8) \cdot 10^2 Pa$ [2].

2.1.3 Ochlazování těla konvekcí

Pro tepelný tok, který je sdílený z povrchu oděvu do okolního vzduchu lze obecně zapsat ve tvaru [2]:

$$Q_k = \alpha_k \cdot S \cdot (t_r - t_v) \quad (W) \quad (2.1.4)$$

α_k – součinitel přestupu tepla konvekcí ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)

t_r – teplota povrchu oděvu ($^\circ C$)

t_v – teplota okolního vzduchu ($^\circ C$)

S – povrch (m^2)

2.1.4 Ochlazování těla sáláním

Lidské tělo sdílí teplo do prostoru jako ostatní předměty, které mají vyšší teplotu než 0K. Proto lze pro tepelný tok sáláním těla použít Stefan-Boltzmannovu rovnici pro sálání [2].

$$Q_s = \sigma_{\xi} \cdot e \cdot S' [(273 + t_r)^4 - (273 + t_u)^4] \quad (W) \quad (2.1.5)$$

σ_{ξ} – Stefan – Boltzmannova konstanta – $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}\text{)}$

S' – sálající povrch těla (m^2)

t_r – teplota povrchu oděvu ($^{\circ}\text{C}$)

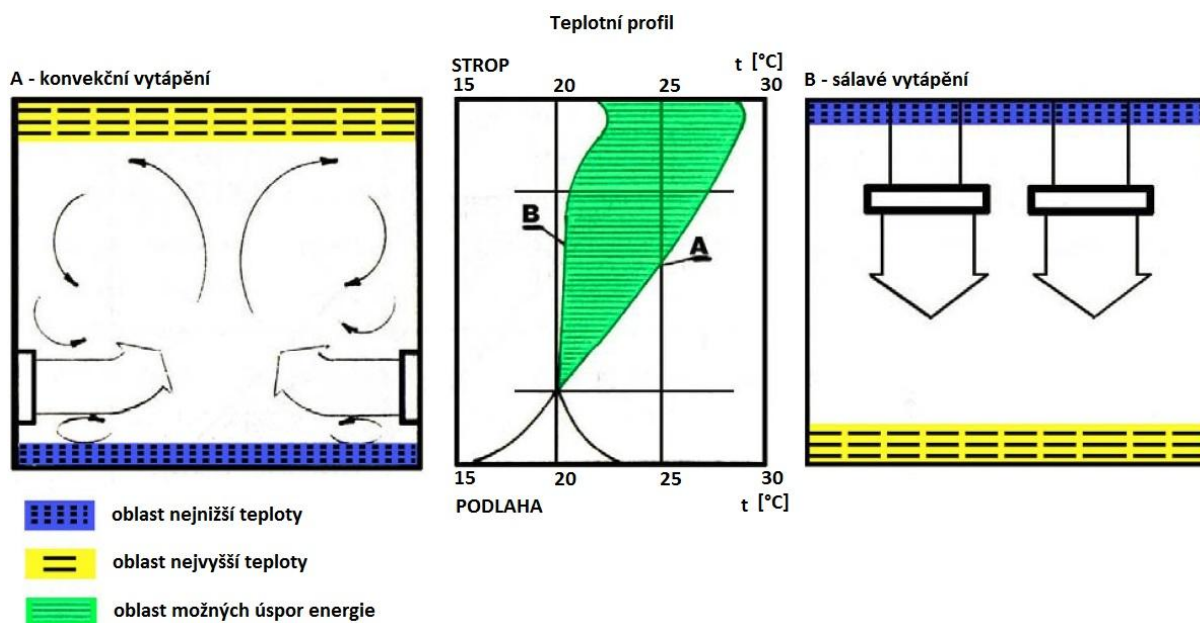
t_u – účinná teplota okolních ploch [$^{\circ}\text{C}$]

2.2 Okolní prostředí

Do této kapitoly patří faktory, které ovlivňují tepelnou rovnováhu člověka z pohledu vnějšího prostředí, tedy teploty okolních stěn, teplotní profil v místnosti, rychlost proudění vzduchu a relativní vlhkost vzduchu.

2.2.1 Teplota vzduchu a teplotní profil

Pod pojmem teplotní profil je zařazeno rozložení teplot v místnosti ve svislém i vodorovném směru. Ideální rozložení teploty v místnosti z hygienického hlediska je takové, aby byla splněna základní podmínka, že teplota v okolí hlavy by měla být nižší o 1 až 2 °C než je kolem zbytku těla [7], [8].

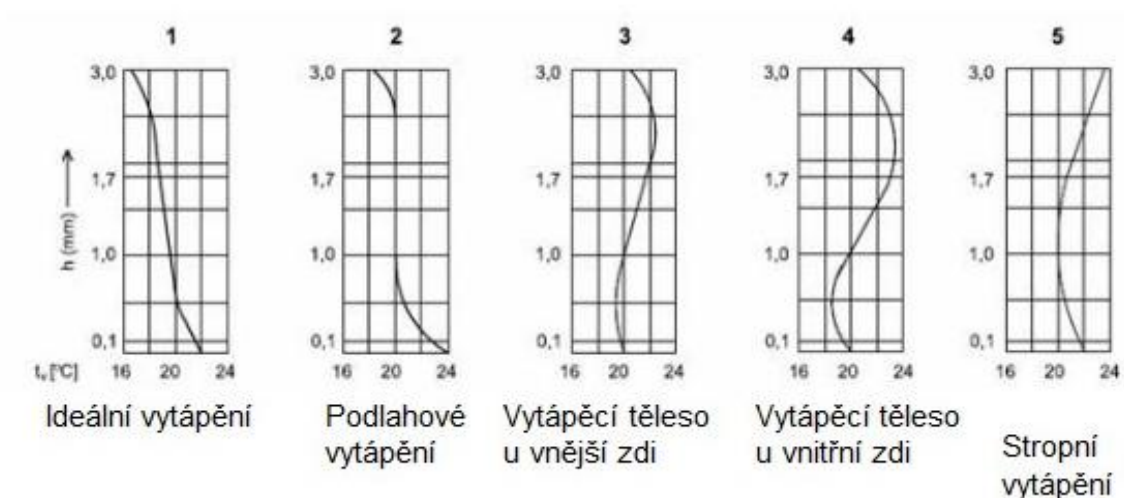


Obr. 2.2 Porovnání sálavého a konvektorového vytápění převzato [22]

Z přiloženého obrázku *Obr. 2.2* je patrný rozdíl v teplotních profilech dvou možných druhů vytápění. V prvním případě je použito konvekční topení a profil teploty ukazuje nejvyšší teplotu pod stropem, která je způsobena přirozenou cirkulací ohřátého vzduchu. Dále je patrné, že při takto zvoleném způsobu vytápění je znatelný rozdíl mezi teplotou stropu a podlahy. Ve druhém případě je zvoleno sálavé vytápění zavěšené pod stropem. Při tomto druhu vytápění nedochází k tak značnému teplotnímu rozdílu mezi stropem a podlahou a teplotní profil je vyrovnanější.

Při uvažování rozložení teploty je důležité zohlednit i rozložení teploty ve vodorovném směru. Velké změny teplot při pohybu v místnosti působí nepříjemně a tím opět snižují tepelnou pohodu. Nerovnoměrné rozložení teploty v tomto směru je obecně způsobeno špatným umístěním otopné soustavy nebo znemožněním její správné funkce. Špatnou funkci si lze představit tak, že radiátor bude zakryt parapetem bez průduchů a nebude docházet ke správné cirkulaci vzduchu.

Znázornění teplotních profilů při různém druhu vytápění



Obr. 2.3 Vertikální teplotní profil převzato a upraveno [21]



Obr. 2.4 Horizontální teplotní profil převzato a upraveno [21]

Ve smyslu tepelné pohody nemůžeme jednoznačně určit, že například zvolená teplota 22°C je vhodná a ideální pro tepelnou pohodu člověka. Samotnou teplotu vzduchu v místnosti můžeme vzít v potaz jako základní údaj pro další počítání nebo orientační měření tepelné pohody, ale pro celkové zajištění tepelné pohody musíme brát v potaz i další faktory prostředí. Pro různé druhy místností jsou vhodné různé teploty s ohledem na jejich účel využívání [7], [8].

2.2.2 Střední teplota okolních ploch a střední radiační teplota

Teplota okolních stěn přispívá k celkové tepelné pohodě člověka značnou měrou. Při pobytu v místnosti dochází k tepelnému toku mezi člověkem a stěnou.

Pro určení teploty okolních ploch můžeme využít střední teplotu nebo účinnou teplotu. Nejvíce ale vypovídá o prostředí operativní teplota [7], [8].

Střední (průměrná) teplota

Teplota je určena plochami a jejich teplotami, které ohraničují uvažovanou místnost [7], [8].

$$t_p = \frac{\sum(S_n \cdot t_n)}{\sum S_n} \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.2.1)$$

S_n – plocha stěny, t_n – teplota stěny,

Pro zimní období se v obytných budovách a občanských zástavbách požaduje, aby součet teploty vzduchu v místnosti a průměrné teploty byl menší nebo roven 38°C .

$$t_i + t_p \leq 38^\circ\text{C} \quad (2.2.2)$$

Podmínka z rovnice (2.2.2) nemůže nabývat libovolného poměru teplot. Se zvyšováním teploty vzduchu tělo přestává sdílet teplo do okolí sáláním a konvekcí. Tělo se začíná zahřívat a jeho přirozenou reakcí je, že termoregulační systém těla uvede do činnosti potní žlázy a člověk se začne mokře potit. Tato situace nastává při teplotě vzduchu vyšší než 26°C [7], [8].

Pro letní období je považována jako vyhovující teplota nepřesahující 51°C .

$$t_i + t_p \leq 51^\circ\text{C} \quad (2.2.3)$$

Zde mokré pocení nastává při teplotě 26°C až 27°C .

Účinná (střední radiační) teplota

Tato teplota je dosti zásadní činitel pro tepelnou pohodu. Hodnota této teploty má značný vliv na ochlazování lidského těla. Účinná teplota je teplota, která je společná pro všechny okolní plochy, při které by byl tok sáláním stejný jako ve skutečnosti [7], [8].

$$t_u = \left(\sum \varphi_i \cdot T_i^4 \right)^{0,25} - 273,15 \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.2.4)$$

T – povrchová teplota jednotlivých stěn

φ – poměr osálání (část toku, který vyzáří tělo a dopadne na stěnu)

Vyjádření této veličiny je velmi zdlouhavé a v praxi se od toho upouští a lze tedy říct a používat tedy střední teplotu ($t_u \approx t_p$). Exaktně ale byl zjištěn vzorec, který je naznačen rovnicí (2.2.4).

Operativní teplota

Operativní teplota v sobě spojuje střední radiační teplotu a teplotu vnitřního vzduchu. Operativní teplotu lze tedy definovat jako jednotnou teplotu ohraničeného prostoru. V této uvažované místnosti by tělo sdílelo sáláním a konvekcí stejné množství tepla jako v reálném nehomogenním prostředí [7], [8].

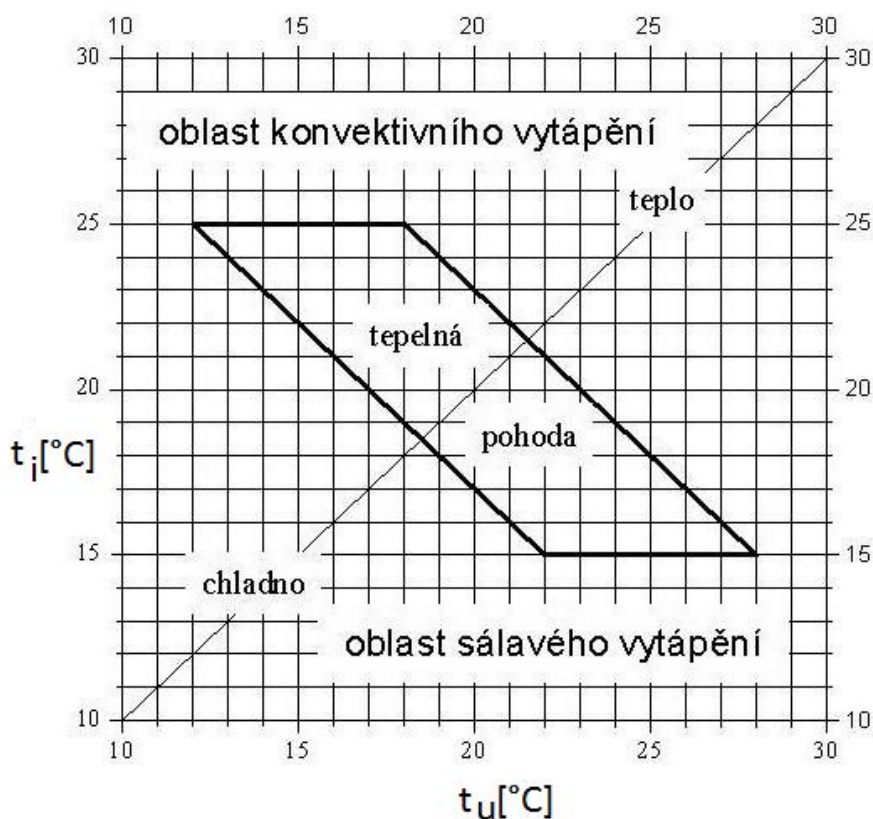
Operativní teplotu tedy vyjádříme:

$$t_o = \frac{\alpha_k \cdot t_i + \alpha_s \cdot t_u}{\alpha_k + \alpha_s} \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (2.2.5)$$

Při uvažování klidného vzduchu jsou hodnoty součinitelů $\alpha_k \approx \alpha_s$. Proto operativní teplotu je možné případně určit za pomoci vnitřní produkce tepla a z daného tepelného odporu (propustnosti) oděvu. Za těchto podmínek lze pro vyjádření operativní teploty prostředí použít zjednodušený vzorec [7], [8].

$$t_o = 0,5 \cdot (t_i + t_u) \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (2.2.6)$$

Vymezení oblasti tepelné pohody

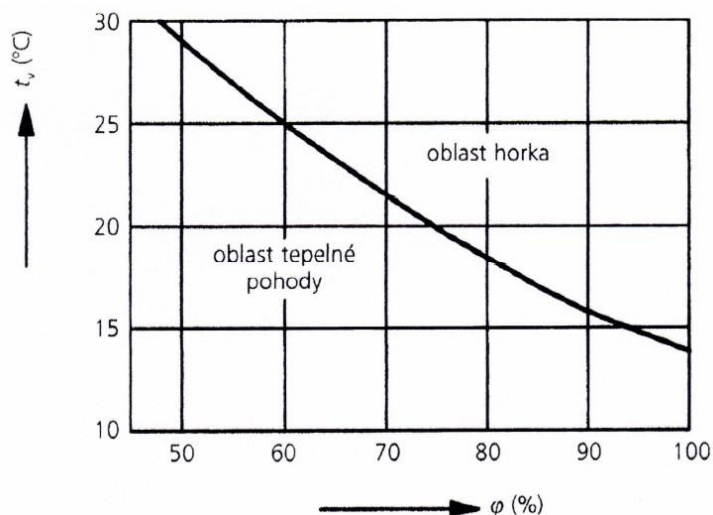


Obr. 2.5 Tepelná pohoda při různé teplotě stěn a okolního vzduchu převzato a upraveno [30]

2.2.3 Relativní vlhkost vzduchu

Tento parametr okolního prostředí je důležitý jak z pohledu tepelné pohody, tak hygienické. Z hygienického pohledu, jestliže relativní vlhkost klesne pod hladinu 30%, dochází ke zhoršení životních podmínek, což v tomto případě představuje zvýšenou tvorbu prachu v místnosti a následně tedy suchý vzduch vysušuje sliznici dýchacích cest. Tento případ se nejčastěji vyskytuje v zimním topném období.

Teplota v místnosti je spjata s relativní vlhkostí vzduchu. Jestliže je relativní vlhkost vzduchu v letním období pod hranicí 60%, můžeme ji zanedbat. Tepelnou pohodu člověka může narušit relativní vlhkost, která je vyšší než zmíněných 60%. Parciální tlak vodní páry obsažené ve vzduchu totiž zabraňuje ideálnímu vypařování potu a tím způsobuje i narušení tepelné pohody. Závislost relativní vlhkosti a teploty nám ukazuje níže uvedený graf [8].



Obr. 2.6 Oblast tepelné pohody a oblast pocitu horka převzato [25]

2.2.4 Rychlost proudění vzduchu

Rychlost proudění vzduchu je další důležitý parametr pro výslednou tepelnou pohodu. Rychlost proudění vzduchu je spjata s teplotou vzduchu. Přirozenou reakcí organismu na příliš vysokou rychlost proudění je pocit chladu, a proto by bylo nutné zvýšení teploty v obytné místnosti. Pro lehkou činnost v zimním období s rozmezím teplot 19 až 24°C ve vytápěné místnosti se uvádí, že rychlost vzduchu by měla být do maximální hodnoty $0,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. V letním období pro lehkou činnost v rozmezí teplot 23 až 26°C by neměla rychlost proudícího vzduchu přesáhnout hodnotu $0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Obecně lze ale také napsat pro jednoduchou orientaci tabulku s orientačními teplotami a povolenou rychlostí proudění.

t_i [°C]	19 ~ 24	< 26
v [m · s ⁻¹]	0,15	0,4

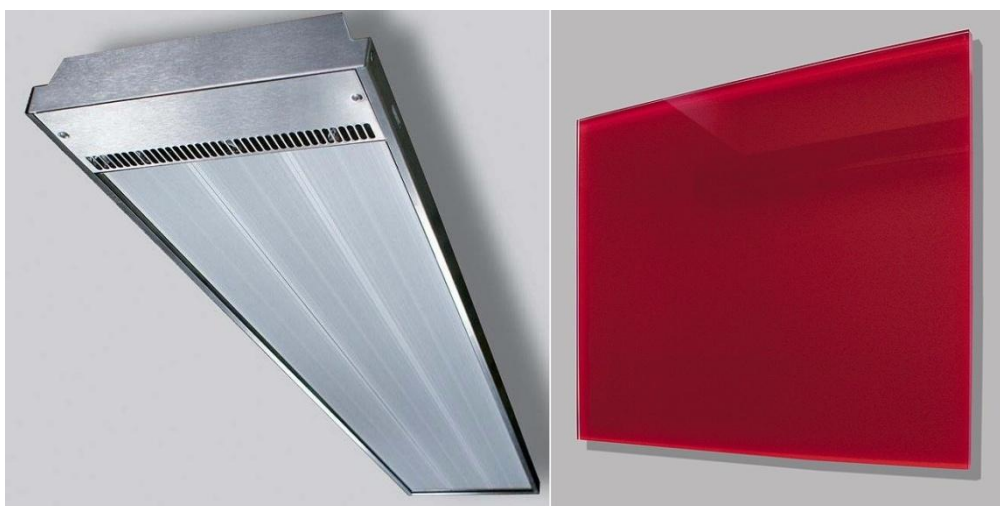
Tab. 2.1 Teploty a rychlost vzduchu

Příliš velká rychlost proudění vzduchu i při zvýšené teplotě může způsobit průvan, což vede k silnému pocitu narušení teploty, a to je nežádoucí. V tomto případě dochází k nadměrnému ochlazování těla v důsledku velkého teplotního rozdílu nebo silnou nucenou konvekcí [7], [8].

3 Sálavé panely

Sálavý panel můžeme přirovnat ke Slunci. Panel i Slunce vyzařují elektromagnetické vlnění, které se šíří prostředím a dopadá na povrchy těles, které se poté ohřejí a dále sálají.

Sálavých panelů je v dnešní době nepřeberné množství. Rozdělení může být dle mnoha kritérií i vlastností. Základní rozdělení může být na vysokoteplotní a nízkoteplotní. Vysokoteplotní dosahují na povrchu panelů teplot 350°C až 500°C, což je předurčuje pro instalaci v průmyslových podmínkách, tedy ve vyšších výškách hal, protože panel má vysokou hustotu sálavého toku. Naproti tomu u nízkoteplotních panelů se povrchová teplota pohybuje okolo 110°C. To je určuje pro použití v bytových i nebytových prostorech s výškou zavěšení v rozmezí 2,5 až 3m [17], [18].



Obr. 3.1 Vysokoteplotní a nízkoteplotní panel převzato a upraveno [19]

Panely můžeme rozdělit také na světlé a tmavé zářiče. Toto označení je použito z důvodu jejich povrchové teploty. Výrazem tmavé zářiče jsou označovány infračervené panely, které mají svoji povrchovou teplotu takovou, že jejich vyzařované spektrum neobsahuje viditelnou složku. Obvykle se teplota povrchu pohybuje přibližně do 600°C. Do této kategorie lze tedy zařadit horkovodní systémy nebo elektricky vytápěné. U světlých zářičů může teplota dosáhnout až 900°C. Tato teplota se vyskytuje u keramických zářičů, kde se využívá bezplamenné katalické spalování plynovzdušné směsi nebo elektrické s topnými články [17], [18].



Obr. 3.2 Světlý a tmavý zářič fy Kotrbatý převzato a upraveno [31],[32]

Rozdělení panelů lze provést podle toho, jaký zdroj energie chceme přeměnit v teplo. Jestli chceme využít elektrické energie nebo vody jako teplotního média nebo spalovat zemní plyn.

Použití sálavých panelů může být také podle doby jejich využití při topení. To můžeme chápat tak, že panely pracují v nepřetržitém režimu nebo jsou využívány v přerušovaném režimu vytápění. Nepřetržitý režim s regulací teploty se může vyskytovat v místech, kde je nutné udržovat stálý vysoký teplotní komfort. Tedy budova s velmi vysokými nároky na tepelnou pohodu. Většinou tyto objekty jsou velmi dobře tepelně zaizolovány a dochází tedy k úspoře nákladů na vytápění. Můžeme sem zařadit zdravotnická zařízení, výrobní haly s nepřetržitým výrobním procesem nebo skladovací prostory. Přerušovaný otopný režim je převážně využíván v objektech, které postrádají větší tepelnou izolaci nebo pracovní režim je omezen časovým úsekem. Případně to jsou prostory, které se využívají jen sporadicky. Může to být například lokální vytápění domácí dílny. Nebo u větších objektů to může být vytápění kostela nebo objektu pro koncerty. Při tomto použití sálavých panelů se využívá jejich vlastností, že je lze snadno regulovat a po jejich uvedení do provozu začínají téměř okamžitě sdílet teplo do prostoru [17], [18].

4 Konstrukce sálavého panelu

Sálavý panel se obecně sestává z několika základních dílů. Je to zdroj tepelné energie pro panel, topný prvek. Tento prvek může být prezentován jako elektrický odporový element, teplovodní had nebo panely vytápěné zemním plynem. Panely vytápěné zemním plynem, využívají plyn pro spalování a mají odlišnou konstrukci, než panely s teplovodním nebo elektrickým zdrojem. Nazývají se infračervené zářiče. Zdroj vyhřívá další díl panelu, který tvoří hlavní část panelu. Nazývané také jako jádro panelu, nebo tělo panelu. Tělo panelu může být vytvořeno jako samonosný prvek, nebo vloženo do rámu. Tělo panelu může být vyrobeno z nepřeberného množství materiálů. Od ocelových, hliníkových profilů, které se používají většinou pro teplovodní sálavé panely, přes dnes moderně vypadající skleněné panely až po frézované přírodní či umělé kameny, které se spíše používají v kombinaci s elektrickým zdrojem tepla. Ale není to dáno jako pravidlo. Například použití přírodního mramoru pro panely v dnešní době nebývá výjimkou. Díky moderním technologickým postupům a možnosti moderních přístrojů pro návrh a výrobu lze vyrobit panely různých velikostí a výkonů. Povrch panelu je ošetřen různými způsoby, kde každý výrobce preferuje svůj přístup. Většinou se jedná o povrchy, které odolávají čistícím prostředkům, nebo takové materiály, které jsou odolné proti poškrábání, ale zároveň slouží jako funkční povrch panelu. Při použití v obytných prostorech tvoří panel součást prostoru, a proto se výrobci zaměřují i na estetickou stránku panelu, která dále nebude rušit celkový vzhled v místnosti. Při použití panelu ve svislé poloze, tedy na stěnu například jako obraz, tak většina výrobců umožňuje sálavý panel nechat vyrobit v podobě obrazu s vlastním motivem nebo lze vybrat z nepřeberných možností barevné kombinace z katalogu. Tělo panelu je obecně buď samonosné nebo vloženo do rámu. Ve většině případů, kdy je požadována instalace ve svislé ose, je možné panel orientovat na výšku i šířku. Dle druhu panelu je na jeho těle umístěno přípojně místo v podobě přípojně šňůry pro přívod elektrické energie, nebo u teplovodního panelu přívody pro teplou vodu. Pro panel, který spaluje plyn, je připraven přívod k připojení plynu. Také zde může být přívod pro externí vzduch nebo přívod pro napájení ventilátoru pro přívod vzduchu pro kvalitní spalování [17].

4.1 Účinnost panelu

Sálavý panel přemění elektrickou energii přibližně s 98% účinností a vyšší na energii tepelnou. Tepelná energie je ale rozdělena mezi dva druhy sdílení tepla. Tím se rozumí, že sálavý panel nepředává teplo do okolí jen sáláním, ale také konvekcí. Tento poměr mezi radiační a sálavou složkou závisí na několika faktorech. Sem můžeme zahrnout kvalitu návrhu

a zpracování panelu. Tím je myšlena kvalita izolace zadní strany panelu. Patří sem i umístění panelu, které může být ve vodorovné nebo svislé poloze a samozřejmě také umístění pod určitým úhlem. Obecně lze říci, že u nízkoteplotních panelů se sálavá složka pohybuje v rozmezí 55% až 70%. U vysokoteplotních panelů je tato hodnota vyšší, přibližně kolem 75%. Při uvažování sálavého vytápění bereme sdílení tepla konvekcí jako tepelné ztráty. Tyto ztráty nelze dokonale eliminovat, jen je snížit na co nejmenší hodnotu. Ztráty konvekcí lze rozdělit na ztráty zadní stranou panelu, bočními stěnami panelů a přední stranou panelu.

4.2 Elektrický sálavý panel

Sálavý elektrický panel se obecně sestává z topného prvku, těla panelu, rámu panelu vývodu pro přívod elektrické energie a povrchu těla. Konstrukce a části panelů se liší dle konkrétního výrobce. Není pravidlem, že prvek musí obsahovat všechny tyto části. U skleněných panelů odpadá proces dalšího opracování a nanášení povrchu na tělo panelu [17].

4.2.1 Topný prvek

Topný prvek je zde reprezentován elektrickým odporovým prvkem, který může být vložen nebo napařen různým způsobem. Lze ho nazvat srdcem panelu. V dříve vyráběných panelech byl elektrický topný článek vložen do vyfrézované drážky po celém těle panelu nebo se používalo mřížové elektrické topné folie pro ještě větší rovnoměrnost rozložení teploty v panelu. Je třeba uvažovat, že odporový prvek je značně namáhán jak elektricky vysokou proudovou hustotou, tak po celou dobu svého života i teplotně. Uhlíkový topný článek splňuje požadavky na vysokou stabilitu po celou dobu životnosti panelu. Na zadní části panelu je vyveden elektrický přívod pro panel. Většina panelů neobsahuje žádnou elektroniku z jednoho prostého důvodu, který byl již zmíněn. Termostat nebo spínací elektronika by byla zbytečně tepelně namáhána, proto panely mají vývod, který je dimenzován na požadovanou proudovou hustotu s ohledem na výkon panelu pro přívod proudu. Panely obsahují také tepelnou pojistku proti přehřátí panelu. V dnešní době ale nalezneme i panely, které mají uvnitř bezdrátový přijímač s regulací a je k němu dodáván bezdrátový prostorový termostat. Při této variantě není nutná montáž odbornou firmou. Kabel může být osazen koncovkou přímo do zásuvky, což panel předurčuje pro manuální obsluhu bez možnosti automatické regulace nebo ho použít s dnes již hojně využívanými automatickými spínači obsahujícími hodiny nebo termostaty jako vložený meziprvěk mezi klasickou zásuvku a přívodní kabel panelu [17].

4.2.2 Tělo panelu

Tělo panelu nám určuje jeho základní vlastnosti. Pro výrobu těla se v dnešní době používají rozmanité materiály. Můžeme sem zařadit hliníkové pláty, nerezové pláty, sklo, přírodní kámen, umělý kámen nebo i mramor.

Když použijeme pro panel kámen, na zadní straně se vyfrézují drážky pro vložení topného tělesa. Po vložení topného tělesa je zadní strana tepelně zaizolována, aby nedocházelo k tepelným ztrátám a tím ke snížení celkové sálavé účinnosti panelu. Při použití skla je možné opět vyfrézovat drážky pro topný element nebo ho díky moderním technologiím ho napařit na polotovar panelu a poté ho překrýt zbytkem těla panelu. Na výběr je i možnost sendvičového panelu, kdy tělo je složeno z různých vrstev, které přispívají k jeho správné funkci. Tělo je tedy složeno z několika vrstev a mezi vrstvy je vložen topný prvek. U těla panelu je důležité zamezit nadměrné ztrátě výkonu způsobené sdílením tepla konvekcí zadní stranou panelu. Na zadní straně panelu je tedy použita kvalitní tepelná izolace, aby nedocházelo ke ztrátám konvekcí a tím ke snížení celkové sálavé účinnosti panelu [17].

4.2.3 Povrch panelu

Povrch panelu nemusí být dále opracováván, jestliže povrchová vrstva je již součástí těla panelu jako finální povrch. Většinou to bývá u skleněných, mramorových nebo kamenných panelů. U složených panelů nebo speciálních složení panelů může být povrchová vrstva smaltovaná nebo je na povrchu nahrubo nanesen křemičitý písek. Tím je dosaženo toho, že povrch panelu je několikanásobně zvětšen a pro vyzařování energie je využívána větší plocha. Pro některé panely používané v obytných prostorech se pro finální úpravu povrchu vyžívají materiály s malou tepelnou vodivostí povrchu, aby nedošlo při náhodném kontaktu s pokožkou k jejímu popálení.

Například pro použití v koupelnách lze panel vyrobit jako zrcadlo, takže splňuje dvě funkce v jednom prvku. Tedy klasické zrcadlo a topení. Ovšem, zde si musíme dát pozor, protože při svislém umístění zrcadla nám vznikají ztráty v podobě konvekce na přední straně panelu. Zadní strana musí být izolována a celkově panel uzpůsoben pro umístění do těchto prostor. To znamená splnění podmínek krytí IP 65 [17].

5 Návrhový tepelný výkon

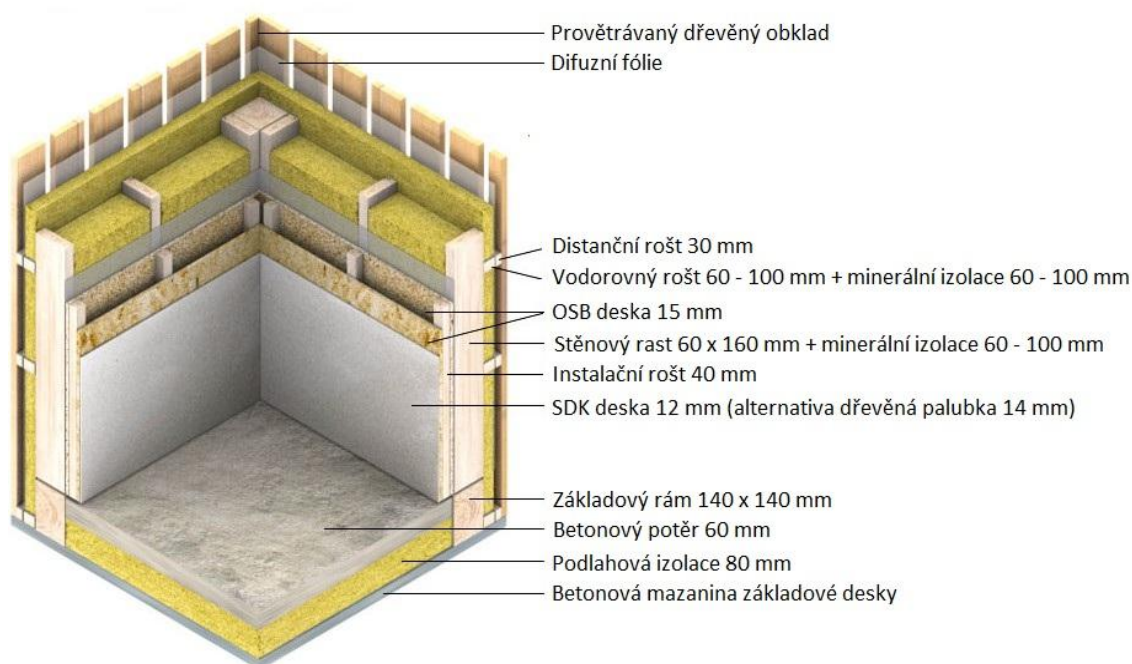
Pro správný návrh výkonu otopné soustavy je důležité znát návrhové tepelné ztráty vytápěného prostoru a návrhové tepelné ztráty větráním. Obecně lze říci, že tepelné ztráty objektu záleží na použitých materiálech, které byly zvoleny pro stavbu. V dnešní době je nepřehledné množství stavebních materiálů a stavebních konstrukcí, které se vyznačují výbornými tepelně izolačními vlastnostmi.

Na klasické zděné domy se hojně využívá cihlové zdivo nebo pórobetonové tvárnice. Nynější technologie výroby a složení finálního výrobku v dnešní době představují stavební materiály s velmi dobrými tepelně izolačními vlastnostmi. Je možné použít i přídavnou izolaci, která nalézá uplatnění na vnějších i vnitřních konstrukcích objektu pro zlepšení tepelně izolačních vlastností a snížení nežádoucích ztrát tepla.

S velmi moderním řešením bydlení se dostávají do popředí rodinné domy, které jsou celodřevěné konstrukce, takzvané dřevostavby. U těchto objektů se využívá nosné dřevěné konstrukce, která je vyplněna izolací a opláštěná dřevěnými deskami. Finální venkovní úpravou lze docílit efektu, kdy není poznat, že se jedná o dřevostavbu. Proto i tyto domy z hlediska estetického lze vystavět tam, kde to není zcela obvyklé, a narušovaly by celkový urbanistický ráz města. Díky této sendvičové konstrukci tyto domy dosahují výborných tepelně izolačních vlastností a díky tomu mají menší tepelné nároky na vytvoření tepelné pohody člověka.

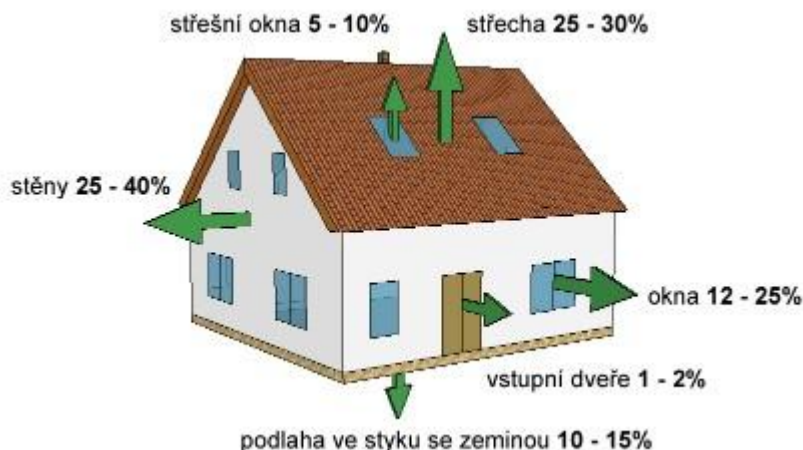
Řez obvodovou stěnou

- varianta vnější povrch dřevěný obklad



Obr. 5.1 Obvodová stěna dřevostavby převzato a upraveno [23]

Tepelné ztráty domu prostupem jsou závislé na použitých materiálech a kvalitě provedených stavebních prací. Prostup tepla je možný mezi objektem a venkovním prostředím obvodovým pláštěm budovy, ale také mezi místnostmi, které jsou uvnitř uvažovaného objektu. V objektu se totiž mohou vyskytnout místnosti s jinou návrhovou vnitřní teplotou, které spolu sousedí, nebo místnosti, které se nevytápějí. Sem lze zařadit například nevytápěnou garáž, šatnu a technickou místnost. Také mohou vznikat tepelné toky i mezi místnostmi uvnitř uvažovaného objektu.



Obr. 5.2 Znázornění tepelných ztrát objektu převzato [24]

Nesmíme zapomenout na to, že při výpočtu tepelných ztrát se v objektu vyskytují stavební otvory, které jsou vyplněny odlišným konstrukčním prvkem, a tudíž mají jiné vlastnosti. Toto je nutné si uvědomit a do výpočtu také zahrnout. Na vloženém obrázku Obr. 5.2 je vidět, kolika procenty se podílí různé stavební části domu na celkových tepelných ztrátách uvažovaného objektu.

Nesmíme opomenout započítat tepelné mosty, které nejsou na první pohled v konstrukci domu vidět. Tepelný most lze nejlépe odhalit termokamerou, která nám zobrazí rozložení teplot na stavebních konstrukcích. Některé tepelné mosty je možné eliminovat vhodnou stavební konstrukcí a precizností provedení stavebních prací. Jiné případy tepelného mostu lze jen zmenšit, ale nelze úplně odstranit. Tepelný most, který nelze odstranit, je železobetonový věnec. Zde lze jen omezit tepelný most použitím izolace. Železobetonový věnec nelze vynechat ze stavby domu, protože spojuje ostatní stavební části objektu.

Častým tepelným mostem je balkon, tedy jeho podlahová část. Konstrukce může být železobetonového typu, a to nám představuje materiál s poměrně vysokou tepelnou vodivostí. Balkon je tedy spojen s konstrukcí domu a tím je vytvořen tepelný most pro sdílení tepla.

5.1 Popis norem

Pro výpočet návrhových tepelných ztrát prostupem a návrhových ztrát větráním se používá norma ČSN EN 12831. Tato norma dále cituje nebo obsahuje odkazy i na další normy, které souvisejí s návrhovým výpočtem tepelného výkonu, nebo se nějakým způsobem dotýká staveb či stavebních materiálů.

Tato norma se používá pro standardní případy při návrhových podmínkách pro výpočet návrhového tepelného výkonu. Mezi standardní případy jsou zařazeny budovy s omezenou výškou místnosti, která nepřesahuje 5m, a realizovaným vytápěním do ustáleného stavu. Klasickým příkladem budov jsou obytné budovy, kancelářské objekty, administrativní budovy, školy, knihovny a nemocnice.

Pro použití nestandardních návrhových podmínek je do výpočtu nutné zahrnout korekční činitele.

Norma je rozdělena do několika kapitol. Obecně sem patří termíny a definice, zásady pro výpočtovou metodu, obecné předpoklady, potřebné údaje, celková návrhová tepelná ztráta vytápěného prostoru – základní případy, návrhový tepelný výkon, zjednodušená výpočtová metoda [12].

5.2 Výpočet návrhových tepelných ztrát budovy pro navrhované sálavé vytápění

5.2.1 Výběr objektu a programu pro výpočet

Pro výpočet tepelného výkonu a následný návrh sálavého vytápění jsem si vybral rodinný dům. Jedná se o stavbu jedné bytové jednotky, která je funkčně vypracovaná pro 4 osoby.

Následný výpočet návrhových tepelných ztrát rodinného domu jsem provedl za pomoci programu od firmy Protech. Tento software se sestává z dílčích modulů. Na můj výpočet jsem použil modul *Tepelný výpočet - norma ČSN EN 12831*.

5.2.2 Výpočet pomocí modulu Tepelný výpočet

Program využívá pro zadávání stavební konstrukce rozměry vnější. Jiná možnost je v programu zablokována, aby nedocházelo ke špatným výpočtům a ke komplikacím při zadávání.

V modulu je možné využívat pro vytváření stavebních konstrukcí předpřipravený katalog materiálů, který je aktualizovaný a obsahuje jak aktuálně používané stavební

materiály, tak materiály, které se používaly dřívě. Popřípadě, když není stavební materiál v katalogu, je možné ho vytvořit či podobný materiál editovat a následně zadat všechny parametry pro následné použití do výpočtu.

Místnosti je možné zadávat přímo ve vnějších rozměrech, jestliže jsou tvořeny kvádrem, krychlí nebo místností do L. Je možné zadávat i místnosti zkosené. Ale kombinace místností tvořených například tvarem do L a zkoseným stropu už vyžaduje jiný postup. Je možnost výběru ze dvou směrů. V prvním případě je možné místnost rozdělit na elementární části a označit je jako jednu místnost. Ve druhém případě je možné zadat všechny konstrukce, které ohraničují místnost, a ručně dopočítat parametry, které jsou nutné pro další výpočet, protože tyto hodnoty program v tomto druhém případě sám nedoplní. Mezi parametry, které modul nedopočítává, patří A_{pe} , A_{pi} a V .

5.2.3 Popis zvoleného rodinného domu a klimatických podmínek

Rodinný dům je navrhnutá stavba jedné bytové jednotky, která je funkčně určená pro 4 osoby. Stavba je v souladu s obecními požadavky na výstavbu. Je doplněna požadavky vlastníků na bydlení v rodinném domě. Prostory jsou tedy funkčně řešeny pro odpočinek, hygienu, společné stolování, vaření, společný prostor a technické zázemí.

Celková zastavěná plocha je 72m^2 , celková bytová plocha je $59,75\text{ m}^2$ a celková nebytová plocha je $48,13\text{m}^2$. Celkový obestavěný prostor má hodnotu 550 m^3 .

Zvolený objekt je dvoupodlažní se sedlovým krovem, který má sklon 35° a je pokryt betonovou střešní krytinou. Krokevní izolace z kamenné minerální vlny je zvolena od firmy Rockwool. Výplně otvorů budou dřevěné dveře a dřevěná euro okna s izolačním trojsklem. Stavba bude provedena ze zdiva Porotherm pro nosné zdivo o tloušťce 44 cm, vnitřní nosné 30 cm a vnitřní nenosné 11,5 cm. Obvodové zateplení bude provedeno fasádním polystyrenem o tloušťce 60 mm.

Dům se nachází v katastrálním území Cerhovice, proto dle normy ČSN EN 12 831 jsem našel venkovní výpočtovou teplotu pro $t_{ev} = -12^\circ\text{C}$, nadmořskou výšku 229 m, délku otopného období $d=236$ dní.

Při zadávání teploty pro chodbu v 1.NP jsem provedl korekci vnitřní výpočtové teploty. Dle mého soudu teplota doporučená normou, která je stanovena pro chodbu 15°C , není vhodná v tomto případě. Z výkresové dokumentace si lze všimnout umístění koupelny spolu s toaletou, kde návrhová teplota je stanovena na 24°C . Podle charakteru činností vykonávaných v koupelně je teplota 24°C zcela vyhovující. Ale při přechodu z místnosti s návrhovou teplotou obývacího pokoje nebo kuchyně 20°C do chodby s nízkou teplotou

15°C a následně poté do koupelny je rozdíl teplot nevhodný, je příliš vysoký. Nepůsobil by příjemně. Proto jsem zvolil vnitřní teplotu chodby 1.NP na 18°C.

Pro výpočet tepelných ztrát a vytápění jsem zvolil pro přehlednost zjednodušení, kdy jsem uvažoval obývací pokoj, jídelnu a jednu polovinu schodiště v 1.NP jako jednu místnost dále označenou jako Obývací pokoj. A dále ve druhém nadzemním podlaží uvažuji druhou polovinu schodiště a chodbu jako ohraničenou místnost značenou názvem Chodba 2.NP.

Po zadání všech zbylých potřebných údajů, které lze vyčíst z normy nebo projektové dokumentace, proběhl samotný výpočet, kde výsledkem jsou návrhové tepelné ztráty, které jsem dále použil pro návrh vytápění.

5.2.4 Použitý stavební materiál

Základní použité stavební materiály pro stavbu RD.

Hodnoty jsou převzaty z tabulky modulu – *Tepelný výpočet*

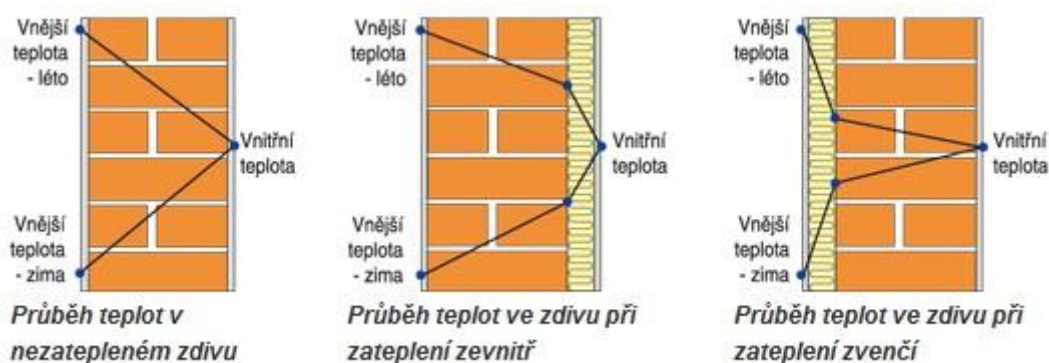
Konstrukční materiál	Vlastnosti materiálu zadány	$\lambda [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
Porotherm 44 P+D	z katalogu Protech – fa. Wieneberger	0,174
Porotherm 30 P+D	z katalogu Protech – fa. Wieneberger	0,25
Porotherm 11,5 P+D	z katalogu Protech – fa. Wieneberger	0,44
Polystyren XPS	editováno v katalogu Protech	0,03
Polystyren fasádní	z katalogu Protech	0,037
Sádrokarton	z katalogu Protech	0,22
Beton hutný	z katalogu Protech	1,1
Železobeton	z katalogu Protech	1,22
Izolace Rockmin	z katalogu Protech	0,22
Okna	přímé zadání U dle výrobce [42]	0,7
Dveře - interiérové	z katalogu Protech	1,7
Dveře - vstupní	přímé zadání U dle výrobce [42]	0,6
Vnitřní omítka	z katalogu Protech	0,917
Vnější omítka	Z katalogu Protech	0,189
Miako strop	z katalogu Protech – fa. Wieneberger	0,821

Tab. 5.1 Použité konstrukční materiály

5.2.4.1 Výpočet teplotního součinitele

Na obrázku *Obr. 5.3* je možné názorně vidět průběh teplot v neizolované obvodové stěně, dále s použitou izolací na vnitřní či naopak vnější straně stěny.

Obrázek *Obr. 5.3* obsahuje dva průběhy. Jeden je pro letní období, kdy vnější teplota je větší než vnitřní a tedy nadbytečné teplo nevstupuje do objektu, a druhý průběh je pro zimní období, kdy nám izolace zabraňuje úniku tepla do vnějšího prostředí.



Obr. 5.3 Průběh teplot ve zdi převzato [26]

Pro výpočet tepelného odporu a součinitele prostupu tepla u zvoleného materiálu se použijí následující vzorce [10].

$$R = \frac{d}{\lambda} \left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right) \quad (5.2.1)$$

$$U = \frac{1}{R} \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right) \quad (5.2.2)$$

Pro vrstvený materiál se používá níže uvedený vzorec (5.2.3). Tento vzorec se používá například pro výpočet vnější stěny, na kterou je přidána fasádní polystyrenová izolace. Díky výslednému tepelnému odporu nebo součiniteli prostupu tepla zjistit, jakou měrou se nám změnila vlastnosti stěny.

$$U = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{R_{si} + \left(\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \right) + R_{se}} \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right) \quad (5.2.3)$$

R – tepelný odpor ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)

U – součinitel prostupu tepla ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)

d – tloušťka materiálu (m)

λ – součinitel tepelné vodivosti ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)

R_{si} – odpor při přestupu tepla na vnitřní straně ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)

R_{se} – odpor při přestupu tepla na vnější straně ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)

Ve dvou tabulkách jsem vypočetl tepelný odpor a součinitele prostupu tepla pro venkovní stěnu bez izolace a s izolací. Z tabulek je možné pozorovat jasné zlepšení tepelných vlastností materiálu a tím i možnost snížení provozních nákladů na vytápění.

$$R_{omítka} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,015}{0,917} = 0,016 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad (5.2.4)$$

$$R_{zdivo} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,44}{0,174} = 2,530 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad (5.2.5)$$

$$R_{omítka \text{ per}} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,015}{0,189} = 0,079 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad (5.2.6)$$

$$R_{poly} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,06}{0,037} = 1,622 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad (5.2.7)$$

Součinitel prostupu tepla – varianta I

$$U_I = \frac{1}{R_{si} + R_{omítka} + R_{zdivo} + R_{omítka \text{ per}} + R_{SE}} \quad (5.2.8)$$

$$U_I = \frac{1}{0,130 + 0,016 + 2,530 + 0,079 + 0,040} \quad (5.2.9)$$

$$U_I = 0,358 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (5.2.10)$$

Součinitel prostupu tepla – varianta II

$$U_{II} = \frac{1}{R_{si} + R_{omítka} + R_{zdivo} + R_{poly} + R_{omítka \text{ per}} + R_{SE}} \quad (5.2.11)$$

$$U_{II} = \frac{1}{0,130 + 0,016 + 2,530 + 1,622 + 0,079 + 0,040} \quad (5.2.12)$$

$$U_{II} = 0,226 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (5.2.13)$$

Varianta I - vnější stěna – bez izolace

Materiál	d [m]	λ [W · m ⁻¹ · K ⁻¹]	R [m ² · K · W ⁻¹]	U [W · m ⁻² · K ⁻¹]
R_{si}	-	-	0,130	-
Omítka	0,015	0,917	0,016	-
Zdivo 44	0,44	0,174	2,530	-
Omítka perlitová	0,015	0,189	0,079	-
R_{se}	-	-	0,040	-
Σ	470	-	2,796	0,358

Tab. 5.2 výpočet součinitele prostupu tepla varianta I

Varianta II - vnější stěna – s izolací

Materiál	d [m]	λ [W · m ⁻¹ · K ⁻¹]	R [m ² · K · W ⁻¹]	U [W · m ⁻² · K ⁻¹]
R_{si}	-	-	0,130	-
Omítka	0,015	0,917	0,016	-
Zdivo 44	0,44	0,174	2,530	-
Polystyren	0,06	0,037	1,622	-
Omítka perlitová	0,015	0,189	0,079	-
R_{se}	-	-	0,040	-
Σ	530	-	4,417	0,226

Tab. 5.3 Výpočet součinitele prostupu tepla varianta II

5.2.5 Pomocné výpočty pro Tepelný výpočet

Výpočet ploch a objemů pro zadání do programu Protech.

Tyto údaje jsou nutné pro vložení do programu, kde je místnost zadána pomocí veličin A_{pe} , A_{pi} a V . Jedná se o ty místnosti, které jsou tvarově složité. To znamená, že místnost nemá tvar krychle nebo kvádrů. Druhé nadzemní podlaží má v některých místnostech zkosený strop a k tomu plochu podlahy do tvaru L. V programu by bylo možné jednu místnost rozdělit na elementární místnosti ve tvaru krychle, kvádrů a nebo lichoběžníku, které by celkově tvořily celou místnost, ale působilo by to nepřehledně.

Délky, šířky, výšky místností a rozměry použitého stavebního materiálu jsou převzaty z výkresové dokumentace rodinného domu (přílohy půdorys 1.NP a 2.NP, řez $A - A'$).

Šatna – 2.NP

$$A_{pi} = s \cdot l \quad (5.2.14)$$

$$A_{pi} = 0,885 \cdot 2,845 \quad (5.2.15)$$

$$A_{pi} = 2,512 \text{ m}^2 \quad (5.2.16)$$

$$A_{pe} = s \cdot l \quad (5.2.17)$$

$$A_{pe} = (0,44 + 2,845 + 0,0575) \cdot (0,150 + 0,885 + 0,0575) \quad (5.2.18)$$

$$A_{pe} = 3,652 \text{ m}^2 \quad (5.2.19)$$

$$V = (V_1) + (V_2) + (V_3) \quad (5.2.20)$$

$$V = \left(\frac{1,314 \cdot 0,92}{2} \cdot 0,885 \right) + (1,314 \cdot 1,38 \cdot 0,885) + (1,531 \cdot 2,3 \cdot 0,885) \quad (5.2.21)$$

$$V = 5,192 \text{ m}^3 \quad (5.2.22)$$

Ložnice – 2.NP

$$A_{pi} = (s_1 \cdot l_1) + (s_2 \cdot l_2) \quad (5.2.23)$$

$$A_{pi} = (2,845 \cdot 3,5) + (0,395 \cdot 2,385) \quad (5.2.24)$$

$$A_{pi} = 10,8995 \text{ m}^2 \quad (5.2.25)$$

$$A_{pe} = (s_1 \cdot l_1) + (s_2 \cdot l_2) \quad (5.2.26)$$

$$A_{pe} = [(0,44 + 3,320 + 0,0575) \cdot (0,44 + 2,385 + 0,0575)] \quad (5.2.27)$$

$$+ [(0,44 + 2,845 + 0,0575) \cdot (0,0575 + 1 + 0,0575)]$$

$$A_{pe} = 14,72 \text{ m}^2 \quad (5.2.28)$$

$$V = (V_1) + (V_2) + (V_3) + (V_4) \quad (5.2.29)$$

$$V = \left(\frac{1,314 \cdot 0,92}{2} \cdot 3,5 \right) + (1,314 \cdot 1,38 \cdot 3,5) + (1,531 \cdot 2,3 \cdot 3,5) \quad (5.2.30)$$

$$+ (0,395 \cdot 2,385 \cdot 2,3)$$

$$V = 22,953 \text{ m}^3 \quad (5.2.31)$$

Dětský pokoj 1 – 2.NP

$$A_{pi} = (s_1 \cdot l_1) + (s_2 \cdot l_2) \quad (5.2.32)$$

$$A_{pi} = (2,845 \cdot 3,32) + (0,5575 \cdot 1,845) \quad (5.2.33)$$

$$A_{pi} = 10,47 \text{ m}^2 \quad (5.2.34)$$

$$A_{pe} = (s_1 \cdot l_1) + (s_2 \cdot l_2) \quad (5.2.35)$$

$$A_{pe} = [(0,44 + 3,5025 + 0,0575) \cdot (0,44 + 1,845 + 0,0575)] \quad (5.2.36)$$

$$+ [(0,0575 + 2,845 + 0,44) \cdot (0,0575 + 1 + 0,36 + 0,15)]$$

$$A_{pe} = 14,6 \text{ m}^2 \quad (5.2.37)$$

$$V = (V_1) + (V_2) + (V_3) + (V_4) \quad (5.2.38)$$

$$V = \left(\frac{1,314 \cdot 0,92}{2} \cdot 3,32 \right) + (1,314 \cdot 3,32 \cdot 1,38) + (1,531 \cdot 3,32 \cdot 2,3) \quad (5.2.39)$$

$$+ (0,5575 \cdot 1,845 \cdot 2,3)$$

$$V = 21,28 \text{ m}^3 \quad (5.2.40)$$

Dětský pokoj 2 – 2.NP

$$A_{pi} = (s_1 \cdot l_1) + (s_2 \cdot l_2) \quad (5.2.41)$$

$$A_{pi} = (2,945 \cdot 3,32) + (0,5575 \cdot 1,845) \quad (5.2.42)$$

$$A_{pi} = 10,8 \text{ m}^2 \quad (5.2.43)$$

$$A_{pe} = (s_1 \cdot l_1) + (s_2 \cdot l_2) \quad (5.2.44)$$

$$A_{pe} = [(0,44 + 3,5025 + 0,0575) \cdot (0,44 + 1,845 + 0,0575)] \quad (5.2.45)$$

$$+ [(0,0575 + 2,945 + 0,44) \cdot (0,0575 + 1 + 0,36 + 0,15)]$$

$$A_{pe} = 14,766 \text{ m}^2 \quad (5.2.46)$$

$$V = (V_1) + (V_2) + (V_3) + (V_4) \quad (5.2.47)$$

$$V = \left(\frac{1,314 \cdot 0,92}{2} \cdot 3,32 \right) + (1,314 \cdot 3,32 \cdot 1,38) + (1,631 \cdot 3,32 \cdot 2,3) \quad (5.2.48)$$

$$+ (0,5575 \cdot 1,845 \cdot 2,3)$$

$$V = 22,049 \text{ m}^3 \quad (5.2.49)$$

Koupelna – 2.NP

$$A_{pi} = s \cdot l \quad (5.2.50)$$

$$A_{pi} = 2,75 \cdot 2,385 \quad (5.2.51)$$

$$A_{pi} = 6,558 \text{ m}^2 \quad (5.2.52)$$

$$A_{pe} = s \cdot l \quad (5.2.53)$$

$$A_{pe} = (0,0575 + 2,75 + 0,44) \cdot (0,44 + 2,385 + 0,0575) \quad (5.2.54)$$

$$A_{pe} = 9,36 \text{ m}^2 \quad (5.2.55)$$

$$V = [V_1] + [V_2] + [V_3] \quad (5.2.56)$$

$$V = \left[\frac{1,314 \cdot 0,92}{2} \cdot 2,385 \right] + [1,38 \cdot 1,314 \cdot 2,385] + [1,436 \cdot 2,3 \cdot 2,385] \quad (5.2.57)$$

$$V = 13,46 \text{ m}^3 \quad (5.2.58)$$

Chodba - 2.NP

$$A_{pi} = (s_1 \cdot l_1) + (s_2 \cdot l_2) \quad (5.2.59)$$

$$A_{pi} = [(2,945 + 0,115 + 1,1) \cdot 2] + [1,1 \cdot (1 + 0,36 + 0,3)] \quad (5.2.60)$$

$$A_{pi} = 10,146 \text{ m}^2 \quad (5.2.61)$$

$$A_{pe} = (s_1 \cdot l_1) + (s_2 \cdot l_2) \quad (5.2.62)$$

$$A_{pe} = [(2,945 + 0,44 + 0,115 + 1,1 + 0,0575) \cdot (2 + 0,15 + 0,0575)] \quad (5.2.63)$$

$$+ [(1,1 + 0,0575 + 0,0575) \cdot (0,0575 + 1 + 0,36 + 0,15)]$$

$$A_{pe} = 12,185 \text{ m}^2 \quad (5.2.64)$$

$$V = [V_1] + [V_2] + [V_3] + [V_4] \quad (5.2.65)$$

$$V = [1,1 \cdot 2,3 \cdot (1 + 0,36 + 0,3)] + [(2,945 + 0,115 + 1,1 + 1,1) \cdot 2 \cdot 2,3] \quad (5.2.66)$$

$$+ [1,38 \cdot 1,314 \cdot 2] + \left[\frac{0,92 \cdot 1,314}{2} \cdot 2 \right]$$

$$V = 28,171 \text{ m}^3 \quad (5.2.67)$$

Spíž - 1.NP

$$A_{pi} = (s_1 \cdot l_1) - (s_2 \cdot l_2) \quad (5.2.68)$$

$$A_{pi} = (1,2 \cdot 1,2) - \left(\frac{0,45 \cdot 0,45}{2} \right) \quad (5.2.69)$$

$$A_{pi} = 1,33 \text{ m}^2 \quad (5.2.70)$$

$$A_{pe} = (s_1 \cdot l_1) - (s_2 \cdot l_2) \quad (5.2.71)$$

$$A_{pe} = (1,675 \cdot 1,4075) - \left(\frac{0,45 \cdot 0,45}{2} \right) \quad (5.2.72)$$

$$A_{pe} = 2,25 \text{ m}^2 \quad (5.2.73)$$

$$V = A_{pi} \cdot v \quad (5.2.74)$$

$$V = \left[(1,2 \cdot 1,2) - \left(\frac{0,45 \cdot 0,45}{2} \right) \right] \cdot 2,6 \quad (5.2.75)$$

$$V = 3,458 \text{ m}^3 \quad (5.2.76)$$

5.2.6 Výsledky z modulu Tepelný výpočet

Výsledky návrhového tepelného výkonu jsem určil z modulu *Tepelný výpočet - norma ČSN EN 12831* programu firmy Protech.

V programu jsem využil možnosti funkce dvou variant zadání obvodové vnější stěny. Obvodová zeď ve variantě jedna byla zadána bez fasádní polystyrenové izolace a ve variantě dvě byla na stěnu přidána polystyrenová izolace o tloušťce 60 mm a měrnou tepelnou vodivostí, která odpovídá praktickým hodnotám izolace. Z výsledků je možné ihned zjistit, o kolik by se zvýšily ztráty bez použití fasádního polystyrenu. Pro návrh vytápění použiji hodnoty pro variantu II.

Varianta I – bez vnější izolace

podl.	č.m.	účel	úsek	t_i °C	V_{mi} m ³	A_p m ²	Φ_{Vm} W	Φ_{Tm} W	Φ_{HLm} W	Q_{cm} W	q_{cm} W.m ⁻²
ÚSEK 0											
0	2	Technická m. - 1.NP	N	15	11,1	4,3	53	-40	13	13	2,9
0	4	Spiz - 1.NP	N	17	3,5	1,3	18	-8	10	10	7,3
0	8	Satna - 2.NP	N	16	5,2	2,5	26	-6	20	20	7,8
Σ úsek N					19,8	8,1	96	-55	42	42	
ÚSEK 1											
0	1	Koupelna - 1.NP	1	24	8,2	3,1	150	459	610	610	193,7
0	3	Obyvací pokoj - 1.NP	1	20	83,3	32,0	453	1 091	1 544	1 544	48,2
0	5	Kuchyn - 1.NP	1	20	22,9	8,8	373	416	789	789	89,7
0	6	Chodba - 1.NP	1	18	13,8	5,3	71	19	90	90	16,9
0	7	Dětský p. 1 - 2.NP	1	20	21,3	10,5	116	332	448	448	42,7
0	9	Ložnice - 2.NP	1	20	23,0	10,9	125	374	500	500	45,8
0	10	Zachod - 2.NP	1	18	4,9	2,1	76	-61	14	14	6,7
0	11	Koupelna - 2.NP	1	24	13,4	6,6	246	438	684	684	104,3
0	12	Chodba - 2.NP	1	20	28,2	10,2	153	61	215	215	21,2
0	13	Dětský p. 2 - 2.NP	1	20	22,0	10,1	120	314	434	434	43,1
Σ úsek 1					241,0	99,6	1 883	3 444	5 327	5 327	
Σ budovy					260,8	107,7	1 979	3 389	5 368		

Tab. 5.4 Výsledek z modulu Tepelný výpočet varianta I

Varianta II – s vnější izolací

podl.	č.m.	účel	úsek	t_i °C	V_{mi} m ³	A_p m ²	Φ_{Vm} W	Φ_{Tm} W	Φ_{HLm} W	Q_{cm} W	q_{cm} W.m ⁻²
ÚSEK 0											
0	2	Technická m. - 1.NP	N	15	11,1	4,3	53	-42	11	11	2,5
0	4	Spiz - 1.NP	N	18	3,5	1,3	18	10	28	28	21,3
0	8	Satna - 2.NP	N	16	5,2	2,5	26	-12	14	14	5,5
Σ úsek N					19,8	8,1	97	-44	53	53	
ÚSEK 1											
0	1	Koupelna - 1.NP	1	24	8,2	3,1	150	403	553	553	175,8
0	3	Obyvací pokoj - 1.NP	1	20	83,3	32,0	453	958	1 412	1 412	44,1
0	5	Kuchyn - 1.NP	1	20	22,9	8,8	373	344	717	717	81,5
0	6	Chodba - 1.NP	1	18	13,8	5,3	71	2	73	73	13,7
0	7	Dětský p. 1 - 2.NP	1	20	21,3	10,5	116	288	403	403	38,5
0	9	Ložnice - 2.NP	1	20	23,0	10,9	125	332	457	457	41,9
0	10	Zachod - 2.NP	1	18	4,9	2,1	76	-72	3	3	1,6
0	11	Koupelna - 2.NP	1	24	13,4	6,6	246	399	645	645	98,3
0	12	Chodba - 2.NP	1	20	28,2	10,2	153	47	200	200	19,7
0	13	Dětský p. 2 - 2.NP	1	20	22,0	10,1	120	264	384	384	38,2
Σ úsek 1					241,0	99,6	1 883	2 965	4 848	4 848	
Σ budovy					260,8	107,7	1 980	2 921	4 901		

Tab. 5.5 Výsledek z modulu Tepelný výpočet varianta II

Rozdíl ztrát mezi variantou I a II

$$Q_{cm} = Q_{cm1} - Q_{cm2} \quad (5.2.77)$$

$$Q_{cm} = 5\,368 - 4\,901 \quad (5.2.78)$$

$$Q_{cm} = 467 \text{ W} \quad (5.2.79)$$

6 Návrh sálavého vytápění

Pro návrh sálavého vytápění použiji výsledky z předešlých kapitol (5.2.5), (5.2.6). Jedná se o výpočty vnitřních ploch a tepelných ztrát každé místnosti.

6.1 Výpočet výkonu a počtu panelů

Kuchyň 1.NP

$$Q_{cm} = 717 \text{ W}, S = 8,8 \text{ m}^2$$

Pro dobrou dynamiku systému je vhodné zvolit výkon panelů o 20% vyšší, než jsou ztráty místnosti

$$P = 1,2 \cdot Q_{cm} = 1,2 \cdot 717 = 860,4 \text{ W} \quad (6.1.1)$$

- kontrola podmínky výkonu na plochu

$$\frac{P}{S} < 150 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (6.1.2)$$

$$\frac{P}{S} = \frac{860,4}{8,8} \doteq 97,772 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (6.1.3)$$

Výpočet pro stanovení počtu panelů s ohledem na vytápěnou plochu a předpokládanou výšku instalace panelů.

$$n > \frac{S}{H^2} \quad (6.1.4)$$

$$n = \frac{S}{H^2} = \frac{8,8}{2,6^2} \doteq 1,301 \quad (6.1.5)$$

- počet kusů zvoleno na $n = 2$

Výpočet výkonu jednotlivých panelů

$$P_n = \frac{P}{n} = \frac{860,4}{2} = 430,2 \text{ W} \quad (6.1.6)$$

Pro výsledek P_n jsem našel ve výkonové řadě výrobce vhodný $P_{jm} = 290 \text{ W}$

Zvolil jsem panel o nižším výkonu 290 W s ohledem na případnou výšku zavěšení a pro rovnoměrné rozložení sálavého tepla na plochu kuchyně a maximální přípustné hodnoty pro osálení hlavy.

Kontrola pro zvolený počet kusů pro zvolený P_{jm} .

$$n_{sk} = \frac{P}{P_{jm}} = \frac{860,4}{290} = 2,97 \quad (6.1.7)$$

Pro kuchyň volím tři kusy infranelu ITZ/D 300.

Popsaný postup pro výpočet výkonu a počtu sálavých panelů pro kuchyni jsem analogicky provedl i pro ostatní místnosti, které jsou v rodinném domě určené k vytápění [16].

Chodba 1.NP

$$Q_{cm} = 73 \text{ W}, S = 5,32 \text{ m}^2$$

- zvýšení výkonu o 20%

$$P = 1,2 \cdot Q_{cm} = 1,2 \cdot 73 = 87,6 \text{ W} \quad (6.1.8)$$

- podmínka

$$\frac{P}{S} < 150 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (6.1.9)$$

$$\frac{P}{S} = \frac{87,6}{5,32} \doteq 16,64 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (6.1.10)$$

- počet panelů

$$n > \frac{S}{H^2} \quad (6.1.11)$$

$$n = \frac{S}{H^2} = \frac{87,6}{2,6^2} \doteq 0,78 \quad (6.1.12)$$

- počet kusů zvoleno na $n = 1$
- výkon panelu

$$P_n = \frac{P}{n} = \frac{87,6}{1} = 87,6 \text{ W} \quad (6.1.13)$$

Pro výsledek P_n jsem našel ve výkonové řadě výrobce nejvhodnější $P_{jm} = 190 \text{ W}$

- kontrola pro zvolený počet

$$n_{sk} = \frac{P}{P_{jm}} = \frac{87,6}{190} = 0,46 \quad (6.1.14)$$

Pro chodbu 1.NP volím jeden kus infrapanelu ITZ/D 200.

Obývací pokoj

$$Q_{cm} = 1412 \text{ W}, S = 32,1 \text{ m}^2$$

- zvýšení výkonu o 20%

$$P = 1,2 \cdot Q_{cm} = 1,2 \cdot 1412 = 1694,4 \text{ W} \quad (6.1.15)$$

- podmínka

$$\frac{P}{S} < 150 \frac{W}{m^2} \quad (6.1.16)$$

$$\frac{P}{S} = \frac{1694,4}{32,1} \doteq 52,78 \frac{W}{m^2} \quad (6.1.17)$$

- počet panelů

$$n > \frac{S}{H^2} \quad (6.1.18)$$

$$n = \frac{S}{H^2} = \frac{32,1}{2,6^2} \doteq 4,749 \quad (6.1.19)$$

- počet kusů zvoleno na $n = 5$

- výkon jednotlivých panelů

$$P_n = \frac{P}{n} = \frac{1694,4}{5} = 338,88W \quad (6.1.20)$$

Pro výsledek P_n jsem našel ve výkonové řadě výrobce nejvhodnější $P_{jm} = 290W$

- kontrola pro zvolený počet

$$n_{sk} = \frac{P}{P_{jm}} = \frac{1694,4}{290} = 5,84 \quad (6.1.21)$$

Pro obývací pokoj v 1.NP volím šest kusů infrapanelů ITZ/D 300.

Koupelna 1.NP

$$Q_{cm} = 553 W, S = 3,1 m^2$$

- zvýšení výkonu o 20%

$$P = 1,2 \cdot Q_{cm} = 1,2 \cdot 553 = 663,6W \quad (6.1.22)$$

- podmínka

$$\frac{P}{S} < 150 \frac{W}{m^2} \quad (6.1.23)$$

$$\frac{P}{S} = \frac{663,6}{3,1} \doteq 214,0645 \frac{W}{m^2} \quad (6.1.24)$$

Není splněna podmínka z rovnice (6.1.23). Proto vzhledem k tomu, že se jedná o koupelnu, zvolil jsem kombinaci otopného žebříku na stěnu, který je vytápěn čistě elektricky, spolu s kombinací sálavého panelu na strop. Otopný žebřík bude sloužit k temperování místnosti a sálavý panel může být v provozu až v daném čase, kdy koupelna bude využívána, pro ušetření elektřiny pro vytápění.

Otopný žebřík zvolen $P_{\text{žeb}} = 400W$.

Výkon pro panel tedy vychází

$$P_{\text{pan}} = P - P_{\text{žeb}} = 663,6 - 400 = 263,6W \quad (6.1.25)$$

- podmínka

$$\frac{P}{S} < 150 \frac{W}{m^2} \quad (6.1.26)$$

$$\frac{P}{S} = \frac{263,6}{3,1} \doteq 85,032 \frac{W}{m^2} \quad (6.1.27)$$

- počet panelů

$$n = \frac{S}{H^2} = \frac{3,1}{2,6^2} \doteq 0,458 \quad (6.1.28)$$

- počet kusů zvoleno na $n = 1$

- výkon panelu

$$P_n = \frac{P}{n} = \frac{263,6}{1} = 263,6W \quad (6.1.29)$$

Pro výsledek P_n jsem našel ve výkonové řadě výrobce nejvhodnější $P_{jm} = 290W$

- kontrola pro zvolený počet

$$n_{sk} = \frac{P}{P_{jm}} = \frac{263,6}{290} = 0,909 \quad (6.1.30)$$

Volím tedy jeden kus infrapanelů ITZ/D 300.

Ložnice

$Q_{cm} = 457 W$, $S = 10,89 m^2$

- zvýšení výkonu o 20%

$$P = 1,2 \cdot Q_{cm} = 1,2 \cdot 457 = 548,4W \quad (6.1.31)$$

- podmínka

$$\frac{P}{S} < 150 \frac{W}{m^2} \quad (6.1.32)$$

$$\frac{P}{S} = \frac{548,4}{10,89} \doteq 50,358 \frac{W}{m^2} \quad (6.1.33)$$

- počet panelů

$$n > \frac{S}{H^2} \quad (6.1.34)$$

$$n = \frac{S}{H^2} = \frac{10,89}{2,3^2} \doteq 2,058 \quad (6.1.35)$$

- počet kusů zvoleno na $n=3$.

- výkon jednotlivých panelů

$$P_n = \frac{P}{n} = \frac{548,4}{3} = 182,8W \quad (6.1.36)$$

Pro výsledek P_n jsem našel ve výkonové řadě výrobce nejbližší $P_{jm} = 190W$

- kontrola pro zvolený počet

$$n_{sk} = \frac{P}{P_{jm}} = \frac{548,4}{190} = 2,89 \quad (6.1.37)$$

Pro ložnici volím tři kusy infrapanelů ITZ/D 200.

Dětský pokoj II 2.NP

$$Q_{cm} = 403 W, S = 10,47 m^2$$

- zvýšení výkonu o 20%

$$P = 1,2 \cdot Q_{cm} = 1,2 \cdot 403 = 483,6W \quad (6.1.38)$$

- podmínka

$$\frac{P}{S} < 150 \frac{W}{m^2} \quad (6.1.39)$$

$$\frac{P}{S} = \frac{483,6}{10,47} \doteq 46,189 \frac{W}{m^2} \quad (6.1.40)$$

- počet panelů

$$n > \frac{S}{H^2} \quad (6.1.41)$$

$$n = \frac{S}{H^2} = \frac{10,47}{2,3^2} \doteq 1,97 \quad (6.1.42)$$

- počet kusů zvoleno na $n = 3$

- výkon jednotlivých panelů

$$P_n = \frac{P}{n} = \frac{483,6}{3} = 161W \quad (6.1.43)$$

Pro výsledek P_n jsem našel ve výkonové řadě výrobce nejvhodnější $P_{jm} = 190W$

- kontrola pro zvolený počet

$$n_{sk} = \frac{P}{P_{jm}} = \frac{483,6}{190} = 2,55 \quad (6.1.44)$$

Pro dětský pokoj volím tři kusy infrapanelů ITZ/D 200.

Dětský pokoj I 2.NP

$$Q_{cm} = 384 \text{ W}, S = 10,8 \text{ m}^2$$

- zvýšení výkonu o 20%

$$P = 1,2 \cdot Q_{cm} = 1,2 \cdot 403 = 460,8 \text{ W} \quad (6.1.45)$$

- podmínka

$$\frac{P}{S} < 150 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (6.1.46)$$

$$\frac{P}{S} = \frac{460,8}{10,8} \doteq 42,66 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (6.1.47)$$

- počet panelů

$$n > \frac{S}{H^2} \quad (6.1.48)$$

$$n = \frac{S}{H^2} = \frac{10,47}{2,3^2} \doteq 2,04 \quad (6.1.49)$$

- počet kusů zvoleno na $n=3$.
- výkon jednotlivých panelů

$$P_n = \frac{P}{n} = \frac{460,8}{3} = 153,6 \text{ W} \quad (6.1.50)$$

Pro výsledek P_n jsem našel ve výkonové řadě výrobce nejbližší $P_{jm} = 190 \text{ W}$

- kontrola pro zvolený počet

$$n_{sk} = \frac{P}{P_{jm}} = \frac{460,8}{190} = 2,43 \quad (6.1.51)$$

Pro dětský pokoj volím tři kusy infrapanelů ITZ/D 200.

Koupelna 2.NP

$$Q_{cm} = 645 \text{ W}, S = 6,558 \text{ m}^2$$

- zvýšení výkonu o 20%

$$P = 1,2 \cdot Q_{cm} = 1,2 \cdot 645 = 774 \text{ W} \quad (6.1.52)$$

- podmínka

$$\frac{P}{S} < 150 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (6.1.53)$$

$$\frac{P}{S} = \frac{774}{6,558} \doteq 115,486 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (6.1.54)$$

Vzhledem k tomu, že se jedná o koupelnu, zvolil jsem kombinaci otopného žebříku na stěnu, který je vytápěn čistě elektricky spolu s kombinací sálavého panelu na strop. Otopný žebřík bude sloužit k temperování místnosti a sálavý panel může být v provozu až v daném čase, kdy koupelna bude využívána, pro ušetření elektřiny pro vytápění.

Otopný žebřík zvolen s $P_{zeb} = 400W$.

Výkon pro panel tedy vychází

$$P_{pan} = P - P_{zeb} = 774 - 400 = 374W \quad (6.1.55)$$

- podmínka

$$\frac{P}{S} = \frac{374}{6,558} \doteq 57,029 \frac{W}{m^2} \quad (6.1.56)$$

- počet panelů

$$n > \frac{S}{H^2} \quad (6.1.57)$$

$$n = \frac{S}{H^2} = \frac{6,558}{2,3^2} \doteq 1,23 \quad (6.1.58)$$

- volím počet kusů $n = 2$

- výkon jednotlivých panelů

$$P_n = \frac{P}{n} = \frac{374}{2} = 187W \quad (6.1.59)$$

$$n_{sk} = \frac{P}{P_{jm}} = \frac{263,6}{190} = 1,39 \quad (6.1.60)$$

Pro koupelnu v 2.NP volím tedy dva infrapanely ITZ/D 200.

Přeměna elektrické energie v sálavém panelu na energii tepelnou dosahuje účinnosti 98%. Tepelná energie sdílená sálavým panelem do jeho okolí je ale rozdělena v určitém poměru na složku konvekční a radiační. Poměr těchto složek je závislý na umístění panelu a kvalitě zpracování panelu. Při umístění panelu ve vodorovné poloze dosahuje konvekční složka sdílení tepla z panelu přibližně 20 až 25% z celkové energie. Při umístění panelu ve svislé poloze, je tato složka v řádu 30 až 35%. Při návrhu sálavého vytápění je tedy přidáných 20% výkonu pro zvýšení dynamiky systému a snížení časové konstanty pro náběh vytápění a kompenzování ztráty tepelné energie pro sdílení tepla ve formě konvekce. Obecně nízkoteplotní sálavý panel má sálavou účinnost přibližně kolem 70% v umístění ve vodorovné poloze.

6.2 Kontrola pro výšku zavěšení panelů

Po návrhu sálavých panelů jsem provedl kontrolu na intenzitu osálení hlavy. Maximální přípustné osálení hlavy je nařízeno vyhláškou 178/2001 Sb.§4., kde přípustné osálení hlavy je $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Vzorec pro osálení hlavy vychází ze Stefan-Boltzmanovy rovnice (1.3.4). Jedná se o sdílení tepla sáláním mezi dvěma plochami, které jsou na sebe rovnoběžné.

$$I = \varepsilon_p \cdot \varepsilon_k \cdot \sigma_{\zeta} \cdot S_p \cdot \left[\left(\frac{T_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_k}{100} \right)^4 \right] \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{r^2} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) \quad [15] \quad (6.2.1)$$

I – intenzita osálení ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

ε_p – emisivita panelu (–)

ε_k – emisivita kůže (–)

σ_{ζ} – Stefan – Boltzmanova konstanta

S_p – sálající plocha panelu (m^2)

T_p – střední teplota panelu (K)

T_k – teplota kůže (K)]

r – vzdálenost ploch (m)

Minimální výška zavěšení panelu je dána součtem výšky postavy člověka a hodnoty ze vzorce pro sálání. Hodnotu r_m jsem vyjádřil z rovnice (6.2.1). Lze napsat, že minimální výška zavěšení je tedy $h_m = r_m + 1,8 \text{ (m)}$

Vzorec pro výpočet r_m :

$$r_m = \sqrt{\frac{\varepsilon_p \cdot \varepsilon_k \cdot \sigma_{\zeta} \cdot S_p \cdot \left[\left(\frac{T_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_k}{100} \right)^4 \right]}{\pi \cdot I}} \quad (\text{m}) \quad (6.2.2)$$

Panel ITZ/D 300

$$S_p = 0,608 \cdot 0,608 = 0,3696 m^2 \quad (6.2.3)$$

$$r_m = \sqrt{\frac{\varepsilon_p \cdot \varepsilon_k \cdot \sigma_{\zeta} \cdot S_p \cdot \left[\left(\frac{T_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_k}{100} \right)^4 \right]}{\pi \cdot I}} \quad (6.2.4)$$

$$r_m = \sqrt{\frac{0,95 \cdot 0,95 \cdot 5,67 \cdot 0,3696 \cdot \left[\left(\frac{100 + 273,15}{100} \right)^4 - \left(\frac{36,5 + 273,15}{100} \right)^4 \right]}{\pi \cdot 200}} \quad (6.2.5)$$

$$r_m = 0,6314 m \quad (6.2.6)$$

$$h_m = r_m + 1,8 = 0,554 + 1,8 = 2,354 m \quad (6.2.7)$$

Podmínka pro výšku zavěšení je splněna.

Panel ITZ/D 200

$$S_p = 0,508 \cdot 0,508 = 0,258 m^2 \quad (6.2.8)$$

$$r_m = \sqrt{\frac{\varepsilon_p \cdot \varepsilon_k \cdot \sigma_{\zeta} \cdot S_p \cdot \left[\left(\frac{T_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_k}{100} \right)^4 \right]}{\pi \cdot I}} \quad (6.2.9)$$

$$r_m = \sqrt{\frac{0,95 \cdot 0,95 \cdot 5,67 \cdot 0,258 \cdot \left[\left(\frac{100 + 273,15}{100} \right)^4 - \left(\frac{36,5 + 273,15}{100} \right)^4 \right]}{\pi \cdot 200}} \quad (6.2.10)$$

$$r_m = 0,4629 m \quad (6.2.11)$$

$$h_m = r_m + 1,8 = 0,4629 + 1,8 = 2,2629 m \quad (6.2.12)$$

Podmínka pro výšku zavěšení je splněna.

Při kontrole návrhu výšky zavěšení sálavých panelů jsou splněny podmínky pro maximální osálení hlavy. Někteří lidé jsou ale citlivější než ostatní k maximálnímu přípustnému osálení jak z hlediska fyziologického, tak z hlediska tepelné pohody. Poté by bylo nutné změnit systém sálavých panelů za vytápění na stejném sálavém principu, ale s nižšími tepelnými provozními hodnotami. V tomto případě by se jednalo o stropní, stěnové nebo podlahové vytápění elektrickými fóliemi nebo teplovodním vytápěním. U stěnového a podlahového vytápění se ale vytrácí přednosti sálavého vytápění, protože podíl sálavé složky u těchto dvou typů vytápění je menší než u stropního. Zvyšuje se podíl konvekční složky sdílení tepla.

Další možností snížení osálení by bylo navrhnutí a umístění panelů ve svislé poloze na stěnu. Zde není nutná kontrola na osálení hlavy, ale to neznamená libovolné umístění panelu. Dle zkušenosti z praxe se používá umístění panelu na místo klasického radiátoru pod okno nebo umístění na stěnu tak, aby panel mohl osálat co největší prostor, tedy povrch místnosti. Umístění panelu je jedno z důležitých hledisek pro správnou funkci tohoto vytápění. Umístění panelu se většinou řeší s technikem, který zvažuje teoretické výpočty i zkušenosti z praxe přímo na místě instalace vytápění. Nevhodné je umístění za nábytek či jiné předměty, které by zamezovaly šíření infračerveného záření. Při svislém umístění ale také vzniká nebezpečí kontaktu pokožky s panelem. Panel je sice uzpůsoben povrchovou úpravou proti popálení při krátkodobém kontaktu s pokožkou, ale riziko stále je. Navíc se opět vyskytne větší podíl konvekční složky sdíleného tepla. Celková účinnost panelu se nezmění, ale poměr mezi sálavou a konvekční složkou se změní v neprospěch sálavé.

6.3 Regulace

Regulace z pohledu elektrického vytápění je nesmírně důležitá součást celého otopného systému jako celku. Návrh velikosti otopných těles bez kvalitní regulace nám nezajistí optimální tepelnou pohodu ani hospodárnost následného provozu vytápění v rámci následujících let. V dnešní době je možné si vybrat z nepřeberného množství výrobků pro regulaci. Regulaci lze rozdělit do několika kategorií. Regulace bývá domovní, venkovní a průmyslová, centrální.

Regulační okruh se sestává z regulovaného členu, což je sálavý panel, termostatu a akčního členu, v případě vytápění to je spínací člen. Jednotlivé komponenty lze koupit samostatně a přímo při instalaci sestavit regulační okruh nebo použít výrobek, který obsahuje všechny komponenty a je připraven k okamžitému použití [13].

6.3.1 Domovní regulace

Tato regulace je především určena pro rodinné domy, byty, kanceláře, obchody. Jedná se o základní, jednoduchou regulaci. Regulátor může být analogový nebo digitální. Klasické analogové regulátory zjišťují teplotu pomocí bimetalového pásku. Speciálním případem regulátoru může být zásuvkový termostat, na který je panel připojen pomocí vidlice. Spojuje v sobě funkci spínacího prvku a regulátoru. Digitální domovní regulace lze využívat ve větším rozsahu díky možnosti ukládání nastavených programů. Digitální rozhraní využívá k řízení otopné soustavy pulzně šířkovou modulaci a elektronické spínací prvky, u kterých nedochází k opotřebení kontaktů. Oproti tomu analogová regulace využívá jednoduché regulace v režimu zapnuto/vypnuto. V tomto režimu dochází k přetopení místností, protože regulovaná otopná soustava má určitou setrvačnost, kterou tento regulátor nerespektuje. Při použití digitálního regulátoru je možné zvolit, jestli je snímána prostorová teplota nebo čidlo je umístěno v podlaze v případě, kdy je použito podlahové sálavé vytápění [13].

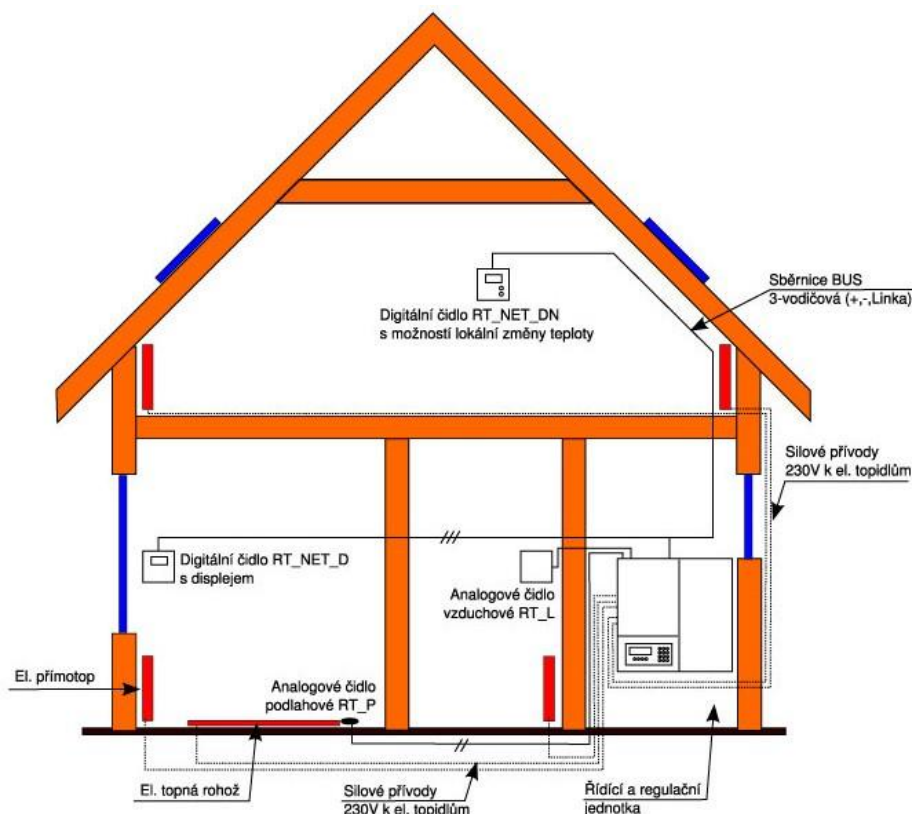
6.3.2 Venkovní a průmyslová regulace

Jak už název napovídá, jedná se o regulaci, která je určena pro venkovní použití, například pro vyhřívání chodníků, příjezdových cest. Průmyslové regulátory jsou určeny pro snímání více veličin, které ovlivňují tepelnou pohodu. Průmyslová regulace je také navrhována do extrémnějších podmínek, které představují zvýšenou prašnost prostředí, vlhkost nebo větší teplotní rozsah čidel pro snímání teploty [13].

6.3.3 Centrální regulace

Pomocí centrální regulace maximálně využijeme všech výhod elektrické otopné soustavy. Zde můžeme naplno využít možnosti regulace každé místnosti samostatně, vyšší přesnost regulace a jednoduché ovládání a nastavení regulace z jednoho místa.

Centrální regulace je instalačně náročná, ale svými vlastnostmi to vynahradí ve smyslu a prospěchu uživatelského komfortu a ušetření nákladů za vytápění. Na obrázku *Obr. 6.1* lze vidět nepřehrné možnosti konfigurace použití centrální regulace [13].



Obr. 6.1 Možnosti centrální regulace převzato [28]

6.3.3.1 Regulátor

Regulátor představuje silovou část systému, která zajišťuje spínání jednotlivých otopných těles, která jsou umístěna v každé místnosti. Spínání je prováděno pomocí silových bezkontaktních spínačů. Tím je zaručena dlouhodobá životnost s ohledem na počet spínacích cyklů i k proudovému zatížení [13].

6.3.3.2 Řídící jednotka

Řídící jednotka je mozkiem celé instalace. Vyhodnocuje vstupní signály z čidel, která jsou umístěna v místnostech, které chceme vytápět, a poté předává signály pro spínání do regulátoru [13].

6.3.3.3 Čidla

Čidlo je nezbytnou součástí systému, protože bez znalosti velikosti regulované veličiny ji nemůžeme dále regulovat. Čidla mohou být digitální nebo analogová bez dalších funkcí. Nebo lze použít čidla s displejem, který zobrazuje teplotu v místnosti pro informovanost. Díky umístěné klávesnici na čidle lze navolit krátkodobou změnu teploty uvnitř dané místnosti bez nutnosti změny celého programu pomocí řídicí jednotky [13].



Obr. 6.2 Teplotní čidlo převzato [28]

Nejvýhodnější je centrální regulace s decentralizovaným způsobem regulace. To znamená každou místnost řídit samostatně, ale s využitím jen jedné řídicí jednotky. Tím je docíleno, že je vytopena na požadované parametry, protože libovolná místnost má jiné vlastnosti k vytápění. Jiná je setrvačnost náběhu i doběhu topení nebo obytný režim místnosti. Například není nutné vytápět koupelnu na 24°C po celý den, ale jen v hodinách, kdy se používá. Celý dům se může jen temperovat na nižší teplotu a poté vytopit na požadovanou teplotu jen pro stanovený čas [13].

7 Cenové porovnání

Po návrhu sálavého vytápění spolu s potřebnou regulací jsem provedl cenové porovnání nákladů na pořízení mezi sálavým vytápěním, vodním konvekčním vytápěním a použitím klasických radiátorů. Dále jsem provedl také výpočet ročních provozních nákladů pro zvolené druhy vytápění.

7.1 Pořizovací náklady

7.1.1 Sálavé vytápění

U tohoto druhu vytápění jsou do pořizovacích nákladů zahrnuty sálavé panely, řídicí jednotka, regulátor, digitální teplotní čidla a instalační materiál v podobě silové a datové kabeláže. Pro můj návrh sálavých panelů jsem použil do kalkulace centrální regulaci z důvodu zajištění maximální tepelné pohody a uživatelského komfortu.

Sálavé panely jsem vybral od firmy Proficomfort, která nabízí velmi širokou škálu panelů pro vytápění z různých materiálů, povrchových úprav a rámečků pro panely pro vhodné umístění.

Seznam sálavých panelů

Místnost	příkon tělesa	počet kusů	kód/popis	cena/ks [Kč/ks] bez DPH	cena [Kč] s 21% DPH
Koupelna 1.NP	400	1	K-E 600 x 960	2780	3519
	290	1	ITZ/D 300	5850	7020
Obývací pokoj 1.NP	290	6	ITZ/D 300	5850	42120
Kuchyň 1.NP	290	3	ITZ/D 300	5850	21060
Chodba 1.NP	190	1	ITZ/D 200	4500	5400
Dětský pokoj I 2.NP	190	3	ITZ/D 200	4500	16200
Ložnice 2.NP	190	3	ITZ/D 200	4500	16200
Záchod 2.NP	190	1	ITZ/D 200	4500	5400
Koupelna 2.NP	400	1	K-E 600 x 960	2780	3519
	190	2	ITZ/D 200	4500	10800
Chodba 2.NP	190	1	ITZ/D 200	4500	5400
Dětský pokoj II 2.NP	190	3	ITZ/D 200	4500	16200

Tab. 7.1 Seznam otopných těles sálavého vytápění [33],[35]

Regulaci jsem použil od firmy BMR s.r.o Rychnov nad Kněžnou. Jedná se o centrální regulaci a její příslušné komponenty. Dále jsem také použil odlehčovač proudové zátěže.

Seznam regulačních prvků

Prvek	počet kusů	kód/popis	cena/ks [Kč/ks] bez DPH	cena [Kč] s 21% DPH
Centrální regulátor	1	BMR RT 10	15720	19021
Řídící jednotka	1	BMR HC 64	5990	7248
Instalační rám	1	RTR 16	2270	2747
Digitální čidlo teploty	10	BMR HTS 64	779	9430
Silové kabely	1	Instalace	3950	5000
Datové kabely	1	Instalace	1000	1000
Termostat	2	TH 810	490	1186
Odlehčovač proudové zát.	1	BMR HJ 306	3780	4574

Tab. 7.2 Seznam regulačních prvků sálavého vytápění [34], [36]

7.1.2 Konvektorové vytápění

Instalace teplovodního konvektorového vytápění sestává z kotle pro výrobu teplé vody pro celou instalaci, ovládacího centrálního termostatu, otopných těles a jejich termoregulačních hlavic.

Výkony otopných těles konvektorového vytápění jsou navrženy s výkonovou rezervou přibližně 20% v souladu s doporučením pro výběr těchto topných těles a respektováním výrobní výkonové řady otopných těles.

Tělesa jsou výrobkem České firmy Licon. Tělesa jsou vyráběna za pomoci nejmodernějších technologií. Firma splňuje také systém řízení jakosti podle ISO 9001:2008.

Seznam komponentů pro teplovodní konvektorové vytápění

místnost	výkon tělesa	počet kusů	kód/popis	cena/ks [Kč/ks] bez DPH	cena [Kč] s 21% DPH
Koupelna 1.NP	411	1	KLM09000600-XY	1570	1900
	291	1	OKNB-40/60/06	3695	4471
Obývací pokoj 1.NP	799	2	OKN-120/45/06	4323	10461
Kuchyň 1.NP	799	1	OKN-120/45/06	4323	5231
Chodba 1.NP	266	1	OKN-40/45/06	2180	2638
Dětský pokoj II 2.NP	436	1	OKN-60/60/06	3044	3683
Ložnice 2.NP	533	1	OKN-80/45/06	3304	3683
Záchod 2.NP	266	1	OKN-40/45/06	2180	2638
Koupelna 2.NP	411	1	KLM09000600-XY	1570	1900
	436	1	OKNB-40/60/06	4566	5525
Chodba 2.NP	266	1	OKN-40/45/06	2180	2638
Dětský pokoj II 2.NP	436	1	OKN-60/60/06	3044	3683

Tab. 7.3 Seznam otopných těles konvektorového vytápění [37], [39]

Použité komponenty jsem vybral s ohledem na kvalitu výrobce s dlouholetou zkušeností a výborným poměrem cena/výkon.

Zdroj pro vytápění a regulace

prvek	počet kusů	kód/popis	cena/ks [Kč/ks] bez DPH	cena [Kč] s 21% DPH
Kotel	1	Protherm Panter Condens 12	34000	41140
Ekvitermní regulace	1	Set Thermolink P/2	2710	3279
Termohlavice	12	RTN51G	164	2491
Instalační mat.	1	Rozvody	19750	25000

Tab. 7.4 Seznam zdroje a regulace pro konvektorové vytápění [36], [38]

7.1.3 Radiátorové vytápění

Radiátorové vytápění má stejné komponenty jako konvektorové vytápění kromě otopných těles, která jsou jiné konstrukce.

Pro radiátorové vytápění jsem zvolil výrobky firmy Korado, která se zabývá dlouholetou výrobou těchto otopných ploch.

Výrobce doporučuje 20 až 30% navýšení výkonu pro otopnou plochu. Výběr byl proveden s ohledem na toto doporučení a vyráběné výkonové řadě těles.

Seznam komponentů pro radiátorové vytápění

místnost	výkon tělesa	počet kusů	kód/popis	cena/ks [Kč/ks] bez DPH	cena [Kč] s 21% DPH
Koupelna 1.NP	411	1	KLM09000600-XY	1570	1900
	298	1	21-030040-50-10	1471	1780
Obývací pokoj 1.NP	840	2	22-060050-50-10	2294	5551
Kuchyň 1.NP	840	1	22-060050-50-10	2294	2776
Chodba 1.NP	298	1	21-030040-50-10	1471	1780
Dětský pokoj I 2.NP	483	1	22-030050-50-10	1763	2133
Ložnice 2.NP	608	1	22-040050-50-10	1947	2356
Záchod 2.NP	298	1	21-030040-50-10	1471	1780
Koupelna 2.NP	411	1	KLM09000600-XY	1570	1900
	373	1	21-030050-50-10	1600	1936
Chodba 2.NP	298	1	21-030040-50-10	1471	1780
Dětský pokoj II 2.NP	483	1	22-030050-50-10	1763	2133

Tab. 7.5 Seznam otopných těles radiátorového vytápění [39]

Komponenty pro vytápění a regulaci při radiátorovém otopném systému jsou stejné jako při konvektorovém vytápění.

Zdroj pro vytápění a regulace

prvek	počet kusů	kód/popis	cena/ks [Kč/ks] bez DPH	cena [Kč] s 21% DPH
Kotel	1	Protherm Panter Condens 12	34000	41140
Ekvitermní regulace	1	Set Thermolink P/2	2710	3279
Termohlavice	12	RTN51G	164	2491
Instalační mat.	1	Rozvody	19750	25000

Tab. 7.6 Seznam zdroje a regulace radiátorového vytápění [36], [38]

Ceny převzaty z platných katalogů firem, a internetových obchodů ke dni 1. 3. 2013.

7.2 Roční provozní náklady

Pro výpočet ročních provozních nákladů jsem nejdříve vypočetl spotřebu tepla na vytápění pomocí denostupňové metody.

Nejdříve se vypočte teoretická spotřeba tepla z vypočtených tepelných ztrát objektu z kapitoly (5.2.6) a z normy jsem použil hodnoty pro délku otopného období a příslušné teploty pro dané otopné období jsem dohledal v tabulkách, které jsou přílohou normy. Pro zjištění skutečné spotřeby tepla je nutné respektovat účinnost komponentů použitých pro vytápění [14].

Spotřeba tepla je skutečné množství energie, které je nutné k vyvolání pocitu tepelné pohody. Za odebranou energii a přeměněnou na teplo zaplatíme roční provozní náklady.

Kategorie	Potřeba energie na vytápění [kWh · m ⁻² · rok ⁻¹]
Nulové domy	<5
Pasivní domy	<15
Nízkoenergetické domy	<50
Obvyklá novostavba	80-140
Starší výstavba	až dvojnásobek hodnot obvyklých novostaveb a více

Tab. 7.7 Kategorie náročnosti spotřeby tepla převzato a upraveno [43]

Vzorec pro výpočet teoretické potřeby tepla na vytápění [14].

$$Q_{VYT,teor} = 24 \cdot 3600 \cdot Q_{cm} \cdot \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{(t_{is} - t_{ev})} \cdot \varepsilon \cdot e_t \cdot e_d \quad (J) \quad (7.2.1)$$

$Q_{VYT,teor}$ – teoretická potřeba tepla na vytápění (J)

Q_{cm} – celková tepelná ztráta objektu (W)

d – počet dnů otopného období (dny)

t_{is} – průměrná vnitřní teplota objektu (°C)

t_{es} – průměrná venkovní teplota za otopné období (°C)

t_{ev} – oblastní venkovní výpočtová teplota (°C)

ε – opravný součinitel vyjadřující vliv nesoučasnosti přirážek pro výpočet tepelných ztrát objektu (–)

e_t – opravný součinitel na snížení vnitřní teploty při přerušení vytápění (–) ;

e_d – opravný součinitel na zkrácení doby provozu otopné soustavy při přerušovaném vytápění (–)

Pro výpočet skutečné spotřeby tepla je použit vzorec, kde je respektována účinnost rozvodu tepelné energie, účinnost obsluhy, respektive regulace a účinnost zdroje tepla [14].

$$Q_{VYT} = \frac{Q_{VYT,teor}}{\eta_R \cdot \eta_o \cdot \eta_k} \quad (J) \quad (7.2.2)$$

η_R – účinnost rozvodu energie (–)

η_o – účinnost obsluhy(regulace)(–)

η_k – účinnost zdroje tepla (–)

Výpočet průměrné vnitřní teploty v objektu [14].

Objemy spočtené v předchozí kapitole (5.2.5) jsem doplnil zbylými objemy, které byly dopočteny automaticky v modulu softwaru *Tepelný výpočet ČSN EN 12831*. Teploty pro jednotlivé místnosti jsou převzaty z výsledků modulu v kapitole (5.2.6).

$$t_{is} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (^\circ C) \quad (7.2.3)$$

$$t_{is} = \frac{(8,2 \cdot 24) + (11,1 \cdot 15) + (83,3 \cdot 20) + (3,5 \cdot 17) + (22,9 \cdot 20) + (13,8 \cdot 18) + (21,3 \cdot 20) + (5,2 \cdot 16) + (23 \cdot 20) + (4,9 \cdot 18) + (13,4 \cdot 24) + (28,2 \cdot 20) + (22 \cdot 20)}{8,2 + 11,1 + 83,3 + 22,9 + 3,5 + 22,9 + 13,8 + 21,3 + 5,2 + 23 + 4,9 + 13,4 + 28,2 + 22} \quad (7.2.4)$$

$$t_{is} = 19,85^\circ C \quad (7.2.5)$$

Opravný součinitel vyjadřující vliv nesoučasnosti přírážek pro výpočet tepelných ztrát objektu [14].

$$\varepsilon = \frac{Q_P}{Q_{cm}} = \frac{2921}{4901} = 0,596 \doteq 0,6 \quad (7.2.6)$$

Q_P – tepelná ztráta prostupem (W); Q_{cm} – celkové tepelné ztráty (W)

Roční průměrná venkovní teplota t_{es} a příslušný počet dní otopného období d pro příslušnou teplotu, která určuje délku otopného období jsou převzaty z normy ČSN EN 12 831.

Hodnoty pro dosažení pro výpočet reálné spotřeby tepla

Q_{cm}	d	t_{is}	t_{es}	t_{ev}	ε	e_t	e_d
4,901 kW	236	19,85 °C	4,1 °C	-12 °C	0,6	0,95	1

Tab. 7.8 Hodnoty pro reálnou spotřebu tepla

7.2.1 Sálavé vytápění

Pro sálavé vytápění jsem zvolil sazbu D45d. Jedná se o dvoutarifovou sazbu s operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu 20 hodin. Tento tarif je uživateli přiznán při splnění podmínek sazby.

Výpočet teoretické spotřeby energie na vytápění

$$Q_{VYT,teor} = 24 \cdot 3600 \cdot Q_{cm} \cdot \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{(t_{is} - t_{ev})} \cdot \varepsilon \cdot e_t \cdot e_d \quad (7.2.7)$$

$$Q_{VYT,teor} = 24 \cdot 3600 \cdot 4901 \cdot \frac{236 \cdot (19,85 - 4,1)}{(19,85 - (-12))} \cdot 0,6 \cdot 0,95 \cdot 1 \quad (7.2.8)$$

$$Q_{VYT,teor} = 28,168 \text{ GJ} = 28 \text{ 168 MJ} \quad (7.2.9)$$

Zvolené účinnosti pro výpočet reálné spotřeby tepla pro uvažovaný objekt pro vytápění při zvoleném sálavém vytápění:

η_R	η_o	η_k
0,99	0,99	0,98

Tab. 7.9 Účinnosti

Výpočet reálné spotřeby energie pro vytápění rodinného objektu sálavým vytápěním.

$$Q_{VYT,sal} = \frac{Q_{VYT,teor}}{\eta_R \cdot \eta_o \cdot \eta_k} = \frac{28 \text{ 168} \cdot 10^6}{0,99 \cdot 0,99 \cdot 0,98} = 29 \text{ 326 MJ} \quad (7.2.10)$$

Převod MJ na MWh pro konečný výpočet provozních nákladů.

$$Q_{VYT,sal} = \frac{29 \text{ 326} \cdot 10^6 \text{ MJ}}{3600} = 8,146 \text{ MWh} \quad (7.2.11)$$

Pro určení jističe jsem nejdříve spočetl celkový instalovaný výkon pro elektrické vytápění a následně maximální možný odebíraný proud.

$$P_{inc} = \sum_{i=1}^n P_i (W) \quad (7.2.12)$$

$$P_{inc} = 400 + 290 + 6 \cdot 290 + 3 \cdot 290 + 190 + 3 \cdot 190 + 3 \cdot 190 + 190 + 400 + 2 \cdot 190 + 190 + 3 \cdot 190 \quad (7.2.13)$$

$$P_{inc} = 6360 \text{ W} \quad (7.2.14)$$

Maximální možný odebíraný proud pro vytápění

$$I = \frac{P_{inc}}{U} = \frac{6360}{230} = 27,65 \text{ A} \quad (7.2.15)$$

Tento proud je maximální teoretický možný odebíraný pro vytápění. Tento proud se dá uvažovat v případě, že ve všech místnostech by bylo třeba vytápět na požadovanou teplotu. Při instalaci otopného systému by tento odebíraný proud měl být co nejsousměrněji rozdělen na všechny tři fáze. To je z důvodu, aby mimo topnou sezónu nedocházelo k nesousměrnému zatížení ostatních fází jinými spotřebiči, které jsou instalované v domě.

Volba hlavního jističe pro rodinný dům je obvykle v hodnotě 3x.25A. Při úvaze, že celý dům bude využívat elektrickou energii pro vytápění a přípravu TUV a vzhledem k poznatkům z praxe je vhodné zvolit hlavní jistič v hodnotě 3x32A. Dále jsem také navrhl instalaci odpojovače proudové zátěže. Toto zařízení slouží jako pomocný systém, který by v případě velkého proudového odběru zajistil odpojení méně důležitých zařízení v domě, kdy výpadek elektrické energie nezpůsobí poškození zařízení ani se neovlivní jeho činnost.

Ceny elektřiny jsem převzal z portálu [40], kde jsou přehledně uvedeny ceny za 1MWh v nízkém i vysokém tarifu a měsíční poplatky pro zvolený tarif.

		E.ON	PRE	ČEZ
Cena 1MWh v Kč	VT	3496,91	3073,32	3273,12
	NT	2686,36	2628,77	2748,41
Jistič		Měsíční plat v Kč		
Jistič nad 3x25 A do 3x32 A včetně		442	479,16	525,14

Tab. 7.10 Ceny elektřiny převzato a upraveno [40]

Výpočet ročních provozních nákladů při vytápění pomocí elektrické energie.

Pro výpočet provozních nákladů budeme uvažovat jen odběr elektřiny za cenu v nízkém tarifu.

$$N_{Psal} = N_{nt} + N_{mp} \quad (7.2.16)$$

$$N_{Psal} = Q_{VYT,sal} \cdot n_{nt} + 12 \cdot n_{mp} \quad (7.2.17)$$

$$N_{Psal} = 8,146 \cdot 2748,41 + 12 \cdot 525,14 \quad (7.2.18)$$

$$N_{Psal} = 28\,690,23 \frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \quad (7.2.19)$$

7.2.2 Konvektorové vytápění

$$Q_{VYT,teor} = 24 \cdot 3600 \cdot Q_{cm} \cdot \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{(t_{is} - t_{ev})} \cdot \varepsilon \cdot e_t \cdot e_d \quad (7.2.20)$$

$$Q_{VYT,teor} = 24 \cdot 3600 \cdot 4901 \cdot \frac{236 \cdot (19,85 - 4,1)}{(19,85 - (-12))} \cdot 0,6 \cdot 0,95 \cdot 1 \quad (7.2.21)$$

$$Q_{VYT,teor} = 28,168 \text{ GJ} = 28 \text{ 168 MJ} \quad (7.2.22)$$

Zvolené účinnosti pro výpočet reálné spotřeby tepla pro uvažovaný objekt pro vytápění při zvoleném sálavém vytápění:

η_R	η_o	η_k
0,98	0,99	0,96

Tab. 7.11 Účinnosti

Výpočet reálné spotřeby energie pro vytápění rodinného objektu konvektorovým vytápěním.

$$Q_{VYT,kon} = \frac{Q_{VYT,teor}}{\eta_R \cdot \eta_o \cdot \eta_k} = \frac{28 \text{ 168} \cdot 10^6}{0,98 \cdot 0,99 \cdot 0,96} = 30 \text{ 024 MJ} \quad (7.2.23)$$

Přepočítání potřebného tepla na spotřebu plynu v metrech krychlových.

$$M_{plyn} = \frac{Q_{VYT}}{H_U} = \frac{30 \text{ 024} \cdot 10^6}{35,87 \cdot 10^6} = 837 \text{ m}^3 \quad (7.2.24)$$

H_U – výhřevnost paliva ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$)

Výpočet rozmezí spotřeby plynu pro určení ceny za odebranou jednu megawatthodinu.

$$\text{Předpoklad} \Rightarrow 1 \text{ m}^3 = 10,5 \text{ kWh}$$

Převod m^3 na kWh .

$$Q_{VYT,kon} = M_{plyn} \cdot 10,5 = 837 \cdot 10,5 = 8 \text{ 788,5 kWh} = 8,7885 \text{ MWh} \quad (7.2.25)$$

Ceny plynu jsem převzal z portálu [41], kde jsou přehledně uvedeny ceny za 1MWh. Z vypočtené spotřeby jsem určil pásmo odběru ročního odběru, a poté jsem mohl odečíst stálé měsíční poplatky a cenu za odebraný plyn.

	Roční odběr v pásmu nad-do MWh/rok	Dvousložková cena [Kč s DPH]	
		Cena odebraný plyn	Stálý měsíční
		Od 1.1.2013	Od 1.1.2013
E.ON	nad 7,56 do 15	1279,50	302,5
Pražská plynárenská	nad 7,56 do 15	1297,88	236,59
RWE energie	nad 7,56 do 15	1575,14	260,02

Tab. 7.12 Ceny plynu převzato a upraveno [41]

Výpočet ročních nákladů na vytápění plynem

$$N_{Pkon} = N_{ro} + N_{mp} \quad (7.2.26)$$

$$N_{Pkon} = Q_{VYT,kon} \cdot n_{ro} + 12 \cdot n_{mp} \quad (7.2.27)$$

$$N_{Pkon} = 8,7885 \cdot 1575,14 + 12 \cdot 260,02 \quad (7.2.28)$$

$$N_{Pkon} = 16963,36 \frac{Kč}{rok} \quad (7.2.29)$$

7.2.3 Radiátorové vytápění

Při vytápění pomocí radiátorů je možné vzít v úvahu stejné provozní náklady jako při konvektorovém vytápění. Systém se liší v použití odlišných otopných těles, ale nároky na spotřebu tepla jsou stejné.

$$N_{Prad} = N_{Pkon} \quad (7.2.30)$$

$$N_{Prad} = 16963,36 \frac{Kč}{rok} \quad (7.2.31)$$

7.3 Technické a nákladové porovnání

Náklady lze porovnat z hlediska počáteční investice a také z hlediska ročních provozních nákladů. V technickém porovnání je nutné uvažovat všechny stavební úpravy pro instalaci různých druhů otopného systému.

7.3.1 Technické posouzení

Pro instalaci sálavých panelů a jejich správnou funkci vytápění je důležitý návrh umístění a velikost sálavých panelů. Sálavých panelů je nepřeborné množství, proto při novostavbě rodinného domu je nutné uvážit, jestli se panely zavěsí pod strop nebo budou umístěny uvnitř kazetového stropu nebo v sádkartonovém podhledu. Při výběru centrální regulace je potřeba zvolit umístění v technické místnosti. Pro správnou regulaci je nutné si uvědomit, že každá místnost musí obsahovat čidlo na teplotu. Vhodné umístění čidla nám zajistí správnou funkčnost systému. Po rozmístění sálavých panelů je nutné k nim přivést kabel pro napájení. Regulaci obstará centrální jednotka.

Instalace konvektorového vytápění spočívá v umístění otopných těles, kotle a položení rozvodů otopné vody. Nesmíme zapomenout ani na nutnosti přívodu plynu pro spalování ke kotli. Konvektory se opatří termostatickými hlavicemi, kde jejich umístění je pevně dané, takže není možné ho nevhodně umístit. Po nastavení ekvitermní regulace je systém schopen zajistit vytápění.

7.3.2 Nákladové posouzení

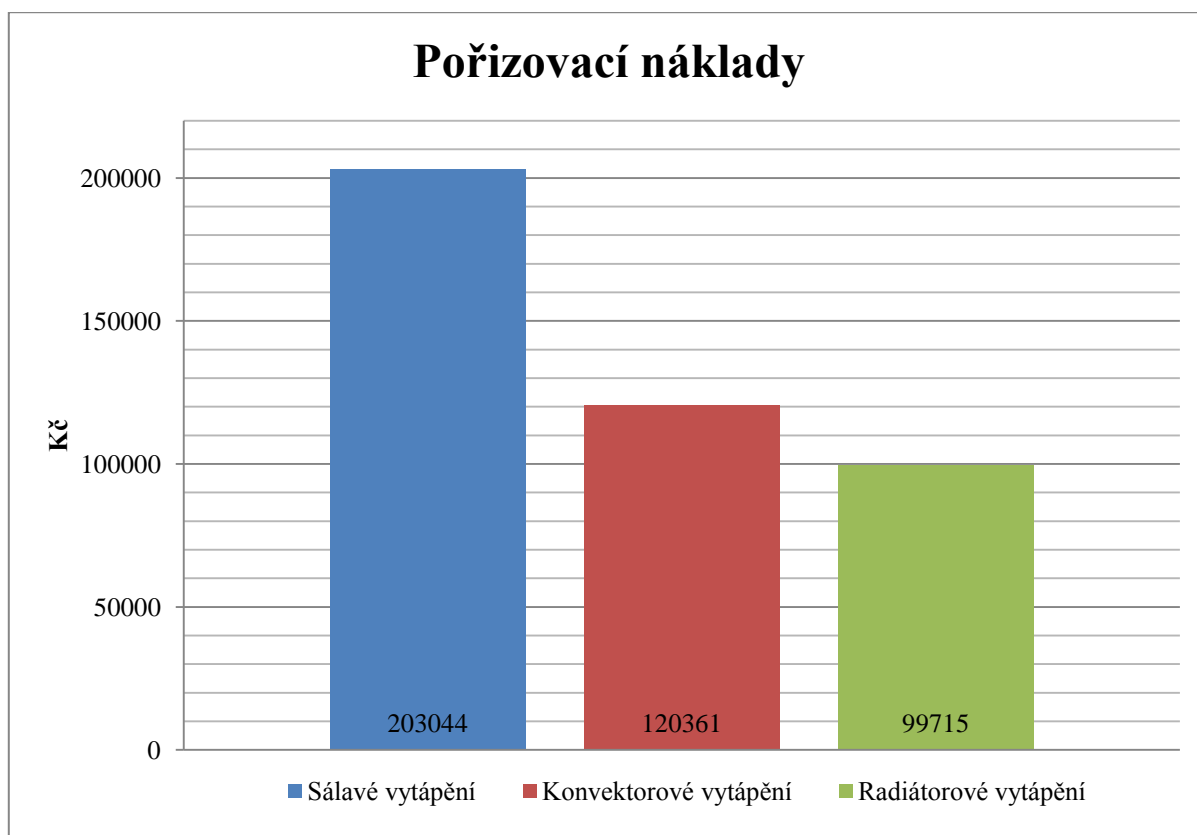
Výsledky v tabulce *Tab. 7.13* jsou celkové pořizovací náklady z kapitol 7.1.1, 7.1.2, 7.1.3. a roční provozní náklady z kapitol 7.2.1, 7.2.2, 7.2.3.

Tabulka pro porovnání se souhrnem pořizovacích a provozních nákladů

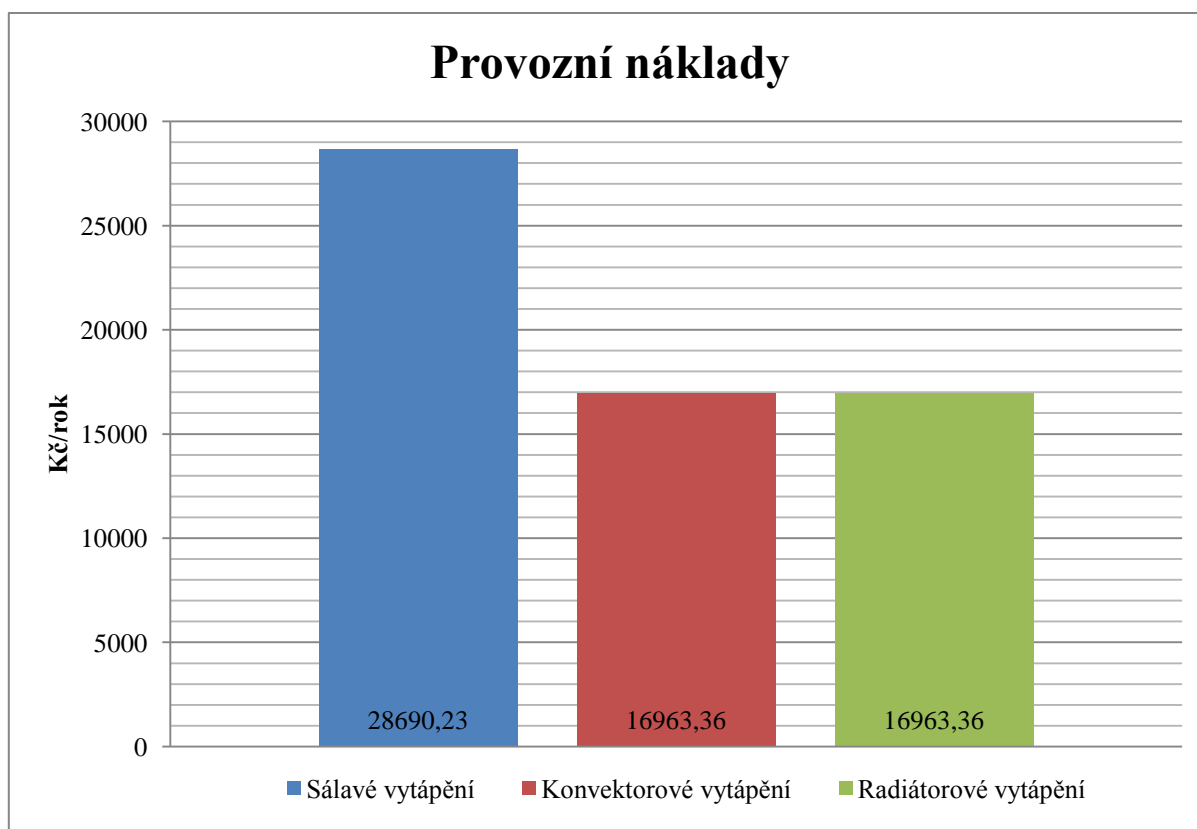
	Pořizovací náklady [Kč]	Provozní náklady [Kč/rok]
Sálavé vytápění	203 044	28 690,23
Konvektorové vytápění	120 361	16 963,36
Radiátorové vytápění	99 715	16 963,36

Tab. 7.13 Porovnání nákladů

Z vypočtených hodnot je možné zjistit, že pro uvažovaný dům jsou pořizovací náklady pro sálavé vytápění mnohonásobně větší, než pro konvektorové vytápění nebo radiátorové. Provozní náklady pro sálavé vytápění vycházejí přibližně o polovinu více než ostatní uvažovaná vytápění.



Graf 1 Pořizovací náklady



Graf 2 Provozní náklady

Výpočet ročních provozních nákladů ukázal, že vytápění sálavými panely je zhruba o polovinu nákladnější, než vytápění teplovodní konvektorové.

Tepelná pohoda je psychosomatický pocit člověka v prostředí a reakce na něj vyvolána z pocitu chladu a tepla, jak bylo zmíněno v kapitole (2). Dle obrázku *Obr. 2.5* je možné vidět oblast tepelné pohody pro různé kombinace teploty stěn (t_u) a teploty vnitřního vzduchu (t_i). Při konvekčním vytápění je teplota $t_i > t_u$. Při sálavém vytápění je teplota $t_u > t_i$. V praxi je tento rozdíl teplot přibližně 2°C . To znamená, že při využití sálavého vytápění je možné dosáhnout tepelné pohody při nižší teplotě vnitřního vzduchu t_i . Dále bylo z praxe zjištěno, že rozdíl teplot vnitřního vzduchu o 1°C se rovná přibližně 6% nákladů na vytápění. Roční provozní náklady se tedy v praxi mohou ve značné míře lišit od vypočtených v kapitole (7.2).

8 Zhodnocení kritériem 3E

8.1 Ekologické kritérium

Sálavé vytápění z hlediska ekologie je čistý zdroj tepla z pohledu přeměny elektrické energie na tepelnou. Při přeměně elektrické energie se nezatěžuje okolí skleníkovými plyny jako při spalování tekutých a plynných fosilních paliv. Při výrobě nejsou použity žádné těžké kovy a nebezpečné látky, které by mohly negativně ovlivnit zdraví osob, které užívají dlouhodobě objekt.

8.2 Energetické hledisko

Elektrické vytápění je z energetického hlediska velmi účinné. Účinnost přeměny elektrické energie na teplo je velmi vysoká, dosahuje více jak 98%. U uvažovaných sálavých panelů je použit přímý odporový ohřev. Teplo zde vzniká z Jouleových ztrát. Z toho plyne další velká výhoda, kterou je možnost velmi kvalitní regulace tohoto druhu vytápění. Elektrickou energii lze velmi dobře regulovat. Použitím kvalitního regulátoru se snižuje energetická náročnost a je možné také dosáhnout značných úspor při tomto druhu vytápění.

8.3 Ekonomické hledisko

Elektrina z hlediska ceny je velmi drahá komodita. Je to způsobeno mnohými aspekty, mezi které můžeme zařadit vysokou cenu vstupních materiálů do klasických uhelných elektráren nebo velmi vysoké investiční náklady do výstavby jaderných elektráren. Výkup elektřiny z obnovitelných zdrojů byl špatně nastaven a nyní se projevuje vyšší cena nákupu silové elektřiny od vlastníků obnovitelných zdrojů do ceny konečných spotřebitelů.

Do budoucna je příslib změny díky novým technologiím pro jaderné elektrárny, kdy se sníží investiční náklady a poté cena jedné vyrobené kWh. S klesajícími zásobami fosilních paliv bude nutné přejít na vytápění pomocí elektrické energie nebo obecně použití biopaliv. Nesprávně nastavenou energetickou politikou nyní nejvíce trpí koncoví maloobchodní uživatelé, tedy domácnosti.

Pro domácnosti a podnikatele, kteří se rozhodnou využít přímotopného vytápění, tedy sálavých panelů, je možnost uznání tarifů odběrů s vysokým počtem hodin pro odběr nízkého tarifu. Jedná se o speciální tarify, které jsou zvýhodněny oproti ostatním tarifům.

Návrh a realizace sálavého vytápění je poměrně náročná záležitost, kterou by měla provádět odborná firma s určitou dávkou zkušeností. Ale po správné instalaci a nastavení je odměna v podobě příjemné tepelné pohody a uživatelského komfortu.

9 Závěry pro praxi

Po návrhu sálavého vytápění pro uvažovaný rodinný dům lze konstatovat, že počáteční investice do otopného systému sálavými panely je velmi vysoká oproti ostatním řešením. Konvektorové nebo klasické radiátorové topení vychází z pohledu počáteční nákladové investice o polovinu méně, což není zanedbatelná částka. Navrhované sálavé vytápění vyniká velmi vysokou kvalitou regulace, což umožňuje nepřeberné množství volby vytápěcích programů a různých úprav za účelem zlepšení a zdokonalení vytápění se záměrem úspory ročních nákladů. Roční náklady pro sálavé vytápění jsou přibližně o polovinu vyšší, než u vytápění plynovým kondenzačním kotlem. Nevýhodu výpočtu ročních provozních nákladů spatřuji v tom, že neuvažují změny cen elektřiny a plynu, což do budoucna může velmi výrazně ovlivnit konečné roční náklady. Ale pro předběžnou představu provedený výpočet je plně dostačující. Z pohledu umístění a použití sálavého vytápění pro zvolený objekt není dobrou volbou s ohledem jak na pořizovací náklady, tak i provozní náklady. Tento druh vytápění se tedy spíše hodí pro výstavbu, která má minimalizované tepelné ztráty a roční náklady na vytápění sálavými panely by dosáhly hodnoty deset tisíc korun českých. Poté by bylo možné mluvit o výhodnosti vytápění sálavými panely, protože investice do tohoto druhu vytápění by vycházela výhodněji než u vytápění fosilními palivy.

Každý návrh sálavého vytápění je nutné konzultovat a poté si nechat zpracovat návrh zkušeným technikem. U tohoto vytápění jsou velmi důležité zkušenosti z provozu. Teorie v některých případech neodpovídá návrhu a použití v praxi.

Závěr

Cílem mé diplomové práce bylo zhodnotit přínosy sálavého vytápění pro rodinný dům. Nejprve jsem spočetl tepelné ztráty uvažovaného rodinného domu, kde jsem vycházel ze stavební dokumentace. Tepelné ztráty jsem vypočetl pro každou místnost zvlášť, aby bylo možné v následujících kapitolách navrhnout sálavé vytápění pomocí panelů zavěšených pod strop. Následně jsem provedl kontrolu na dovolené osálení hlavy z hlediska maximální přípustné hygienické hranice dané zákonem, která má hodnotu $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Kontrola dopadla v pořádku, zavěšení panelů je možné. Ale s ohledem na poměrně vysokou intenzitu bych spíše doporučil pro druhé nadzemní podlaží jinou technologii vytápění, ovšem na stejném sálavém vytápění, ale s nižší pracovní teplotou. Pro porovnání pořizovacích nákladů jsem práci doplnil o zjednodušený návrh vytápění pomocí teplovodních konvektorů a také teplovodních radiátorů. V tomto směru vychází pořizovací náklady několikanásobně větší oproti zbylým uvažovaným otopným soustavám. Provozní náklady jsem spočetl také pro všechny tři otopné systémy a porovnal náklady na jeden rok. Sálavé vytápění opět vychází jako nejnáročnější, co se týče ohledu na roční provozní náklady. Částka se pohybuje přibližně výše o jednu polovinu vše než zbylé dva návrhy. Ceny komponentů a ceny energie jsem vzal aktuální k datu 1.3.2013. Z výpočtu tepelných ztrát, návrhu otopné sálavé soustavy a následného cenového porovnání s ostatními možnostmi vytápění je vidět, že pro zvolený objekt je tento druh vytápění nevhodný. Je nevhodný z hlediska pořizovacích nákladů i ročních provozních nákladů. Tyto výpočty jsou teoretické a v praxi se mohou lišit, protože sálavé vytápění je velmi specifické a vyžaduje zkušenosti pro návrh a následnou možnost regulace. Ovšem z hlediska zdravotního je velmi vhodné. Zejména pro nevysušování vzduchu a nevíření prachu v uvažovaném objektu.

Dle mého názoru je tento druh vytápění vhodný do moderních nízkoenergetických domů, kde díky svým vlastnostem, jako je rychlost náběhu a možnost velmi kvalitní regulace, dokáže udržet požadovanou tepelnou pohodu za podstatně nižší pořizovací a provozní náklady oproti zbylým uvažovaným vytápěním.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MACHÁČKOVÁ, Adéla; KOCICH, Radim. *Sdílení tepla a proudění*. 1. vydání. VŠB Technická univerzita Ostrava, 2012. 187 s. ISBN 978-80-248-2576-2
- [2] LANGER, Emil. *Elektrotepelná technika, část I+II*. 2.vydání. VŠSE v Plzni, 1974. 140 s. ISBN 55-076-73-17/54
- [3] PAVELEK, Milan; JANOTKOVÁ, Eva; ŠTĚTINA, Josef. *Vizualizační a optické měřicí metody* [online]. 2. vydání. Brno, 2007. dostupné z: <<http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/optika/>>
- [4] BAŠTA, Jiří. *Otopné plochy*. 1. vydání. Ediční středisko ČVUT, Praha. 2001. 328 s. ISBN 80-01-02365-6
- [5] CIHELKA, Jaromír. *Větrání I*. 2. přepracované vydání. ČVUT, Praha. 1979. 117 s. ISBN-57-679-79
- [6] PŘÍHODA, Miroslav; RÉDR Miroslav. *Sdílení tepla a proudění*. 1. vydání. Ediční středisko VŠB Ostrava, 1998. 180 s. ISBN 80-7078-549-7
- [7] HALAHYJA, Martin; CHMÚRNÝ, Ivan; STERNOVÁ, Zuzana. *Stavebná tepelná technika-Tepelná ochrana budov*. 1. vydání. Bratislava: Jaga Group, 1998. 253 s. ISBN-80-88905-04-4
- [8] SZÉKOVÁ, Marta; FERSTL, Karol; NOVÝ, Richard. *Větrání a klimatizace*. 1. české vydání. Bratislava: Jaga, 2006. 359 s. ISBN-80-8076-037-3
- [9] BROŽ, Karel. *Vytápění*. 1. vydání. ČVUT, Praha. 1995. 205 s. ISBN-80-01-01313-8
- [10] VUT Brno. *Podklady pro studenty* [online]. [cit. 1.3.2013] dostupné z: <http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.l/ST51/2_priklad_tz_presnou_metodou.pdf>
- [11] ZMRHAL, Vladimír. *Sálavé chladicí systémy*. 1. vydání. ČVUT, Praha. 2009. 271 s. ISBN-978-80-01-04318-9
- [12] ČSN EN 12 831. *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [13] *Fenixgroup* [online]. [cit. 8.3.2013]. dostupné z: <<http://www.fenixgroup.cz/pages/cs/produkty/regulace-pro-elektricke-vytapeni>>
- [14] VAVŘIČKA, Roman. *Vytápění - cvičení č.2* [online]. 2011. [cit. 8.3.2013]. dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni/VYT_cv_2_2011.pdf>
- [15] ČERNÝ, Michal, 2010. *Podmínky pro zajištění tepelné pohody elektrickými sálavými panely*. Plzeň. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická
- [16] *Fenixgroup* [online]. [cit. 8.3.2013]. dostupné z: <http://www.fenixgroup.cz/pages/files/pdf/teorie_salaveho_vytapeni.pdf>
- [17] Wellina [online]. [cit. 8.3.2013] dostupné z: <<http://www.wellina.cz>>
- [18] *Kotrbatý* [online]. [cit. 8.3.2013] dostupné z: <<http://kotrbaty.cz/?page=product-3&lang=cz>>
- [19] *Prímotopy* [online]. [cit. 1.2.2013]. dostupné z: <<http://www.primotopy.eu/0,60,Infracervene-topne-panely.html>>
- [20] *Es-systems* [online]. [cit. 1.2.2013]. dostupné z: <http://www.es-systems.eu/infratopeni/>

- [21] *Večeřa* [online]. [cit. 4.2.2013].
dostupné z: http://www.vecera.cz/univenta_profily.html
- [22] KOZENY, Jiří; ROT, David. *Podklady ke cvičení – ZETP*.
- [23] *Veduta.cz* [online]. [cit. 4.2.2013].
dostupné z: <http://www.veduta.cz/konstrukcni_systemy.html>
- [24] *Hestia* [online]. [cit. 4.2.2013].
dostupné z: <http://hestia.energetika.cz/encyklopedie//12.htm#12_1>
- [25] *Redwave* [online]. [cit. 1.3.2013]
Dostupné z: <<http://www.redwave.cz/princip-cinnosti-infratopeni.htm>>
- [26] *Rockwool* [online]. [cit 4.2.2013].
dostupné z: <<http://pruvodce.rockwool.cz/konstrukce/fasady/konstrukcni-skladby.aspx?page=1880>>
- [27] *Tzb-info* [online]. [cit. 4.2.2013].
dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/2650-vnitri-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka>>
- [28] *Fenixgroup* [online]. [cit. 4.2.2013].
dostupné z: <<http://www.fenixgroup.cz/pages/cs/produkty/regulace-pro-elektricke-vytapeni/prehled-vyrobku-jejich-pouziti/centralni-regulace>>
- [29] SZÉKOVÁ, Marta; FERSTL, Karol; NOVÝ, Richard. *Větrání a klimatizace*. 1. české vydání. Bratislava: Jaga, 2006. 359 s. ISBN-80-8076-037-3
- [30] *Infratopeni-infrapanely* [online]. [cit. 4.2.2012]. Dostupné z:<http://www.infratopeni-infrapanely.cz/odborna_literatura_infratopeni.php>
- [31] *Kotrbatý* [online]. [cit. 8.2.2013].
dostupné z: <<http://kotrbaty.cz/?page=product-2&lang=cz>>
- [32] *Kotrbatý* [online]. [cit. 8.2.2013].
dostupné z: <<http://kotrbaty.cz/?page=product-3&lang=cz>>
- [33] *Proficomfort* [online]. [cit. 1.3.2013].
dostupné z: < <http://www.proficomfort.cz/ke-stazeni.html> >
- [34] *Finixgroup* [online]. [cit. 1.3.2013].
dostupné z: < <http://shop.fenixgroup.cz/k25-internetovy-obchod-regulace> >
- [35] *Přímotopy* [online]. [cit. 1.3.2013].
dostupné z: < <http://www.primotopy.eu/Elektricky-topny-zebrik-rovny-K-E-600x960-400W-600-x-960-mm-5441404,123.html>>
- [36] *Akoupelnyatopeni* [online]. [cit. 1.3.2013].
dostupné z: <<http://www.akoupelnyatopeni.cz/topeni/radiatorove-ventily/siemens/termostaticka-hlavice-siemens-rtn-51g-leskle-provedeni>>
- [37] *Licon* [online]. [cit. 1.3.2013]
dostupné z: http://www.licon.cz/files/dokumenty_ke_stazeni/licon-cenik-2012.pdf
- [38] *Protherm* [online]. [cit. 1.3.2013].
dostupné z: <http://www.protherm.cz/stepone/data/downloads_sd/09/00/00/cenik_protherm_20-02-2013.pdf>
- [39] *Korado* [online]. [cit. 1.3.2013].
dostupné z: < http://www.korado.cz/file/cms/cs/obchod/korado-cenik_002_koralux-2011_03.pdf >
- [40] *TZB-info* [online]. [cit. 1.3.2013]
dostupné z: < <http://www.tzb-info.cz/prehled-cen-elektricke-energie>>
- [41] *TZB-info* [online]. [cit. 1.3.2013]
dostupné z: < <http://www.tzb-info.cz/prehled-cen-zemniho-plynu>>

- [42] *Šírer* [online]. [cit. 1.3.2013.].
dostupné z: <http://www.oblibene.cz/userdata/shopping/oknasirer/file/Certifikaty%202012/IV88_certifikat.pdf>
- [43] *Elektrické topení* [online]. [cit. 10.3.2013]
dostupné z: <http://www.elektricke-topeni.cz/5,0,Navrh-topneho-vykonu,-potreba-a-spotreba-tepla,-PENB.html#Merna_potreba_a_spotreba_energie_na_vytapeni>

Přílohy

Půdorys 1.NP – volně vložen v deskách

Půdorys 2.NP – volně vložen v deskách

Řez A-Á – volně vložen v deskách

Výpis hodnot modulu - *Tepelný výpočet ČSN EN 12 831*

Místnosti a konstrukce - varianta 2

Firma:

Stavba: Rodinný Dum

Místo: Cerhovice

Investor:

Zakázka: DP_TV

Archiv:

Projektant:

Datum: 13.2.2013

E-mail:

Telefon:

$t_e = -12 \text{ } ^\circ\text{C}$ $t_{ib} = 19,9 \text{ } ^\circ\text{C}$ $n_{50} = 5,0$ systém rozměrů: E - vnější

ČM	UČM	OK	SS	Var	x m	y m	$U_{eq, \Psi}$	b	PO	Δt K	A m ²	AO m ²	AR m ²	H W/K	
1	1	SO1		V2	2,34	2,95	0,336	0,52	1	36	6,9	0,9	6,0	1,5	
		OT2		V1	0,75	1,25	0,700	1,00	1	36	0,9	0,9	0,9	0,8	
		SO1		V2	2,25	2,95	0,336	0,52	0	36	6,6	0,0	6,6	1,7	
		SN2		V1	2,34	2,95	1,872	0,22	0	8	6,9	0,0	6,9	2,9	
		SN2		V1	2,25	2,95	1,872	0,25	1	9	6,6	1,4	5,3	2,5	
		DN2		V1	0,70	1,97	1,700	0,25	1	9	1,4	1,4	1,4	0,6	
		PDL1		V1	2,25	2,34	0,347	0,53	0	19	5,3	0,0	5,3	1,0	
		STR1		V1	2,25	2,34	0,394	0,11	0	4	5,3	0,0	5,3	0,2	
		C4		V1	2,95		-0,212	1,00		36					-0,6
		N1		V1	4,59		0,021	1,00		36					0,1
		W1		V1	0,75		0,613	1,00		36					0,5
		W2		V1	0,75		0,032	1,00		36					0,0
		W3		V1	1,50		0,032	1,00		36					0,0
Z1		V1	4,59		0,030	1,00		36					0,1		
$\Phi_{HLm} = 553 \text{ W}$ $\Phi_{RHm} = 0 \text{ W}$															
2	2	SN2		V1	2,35	2,95	1,872	-0,29	0	-8	6,9	0,0	6,9	-3,7	
		SO1		V2	1,71	2,95	0,336	0,38	1	28	5,0	0,9	4,1	0,8	
		OT2		V1	0,75	1,25	0,700	1,00	1	28	0,9	0,9	0,9	0,8	
		SN1		V1	3,34	2,95	0,678	-0,14	0	-4	9,9	0,0	9,9	-1,0	
		SN2		V1	1,71	2,95	1,872	0,04	0	1	5,0	0,0	5,0	0,3	
		SN2		V1	1,00	2,95	1,872	0,04	1	1	3,0	1,4	1,6	0,1	
		DN2		V1	0,70	1,97	1,700	0,04	1	1	1,4	1,4	1,4	0,1	
		PDL1		V1	1,71	3,34	0,347	0,39	0	11	5,7	0,0	5,7	0,8	
		STR1		V1	1,71	3,34	0,394	-0,14	0	-4	5,7	0,0	5,7	-0,3	
		N1		V1	1,71		0,021	1,00		28					0,0
		W1		V1	0,75		0,613	1,00		28					0,5
		W2		V1	0,75		0,032	1,00		28					0,0
		W3		V1	2,50		0,032	1,00		28					0,1
Z1		V1	1,71		0,030	1,00		28					0,1		
$\Phi_{HLm} = 11 \text{ W}$ $\Phi_{RHm} = 0 \text{ W}$															
3	3	SO1		V2	5,09	2,95	0,336	0,46	2	32	15,0	2,5	12,5	2,8	
		OT1		V1	1,00	1,25	0,700	1,00	2	32	2,5	2,5	2,5	2,0	
		SO1		V2	8,00	2,95	0,336	0,46	1	32	23,6	4,2	19,4	4,3	
		DB1		V1	2,00	2,10	0,600	1,00	1	32	4,2	4,2	4,2	2,5	

ČM	UČM	OK	SS	Var	x m	y m	$U_{eq, \Psi}$	b	PO	Δt K	A m ²	AO m ²	AR m ²	H W/K
		SO1		V2	5,09	2,95	0,336	0,46	1	32	15,0	1,3	13,8	3,1
		OT1		V1	1,00	1,25	0,700	1,00	1	32	1,3	1,3	1,3	1,0
		SN1		V1	3,44	2,95	0,678	0,63	0	20	10,2	0,0	10,2	4,3
		SN2		V1	1,12	2,95	1,872	0,16	1	5	3,3	1,8	1,5	0,4
		DN6		V1	0,90	2,00	1,700	0,16	1	5	1,8	1,8	1,8	0,5
		SN1		V1	3,34	2,95	0,678	0,00	0	0	9,9	0,0	9,9	0,0
		PDL1		V1	5,09	8,00	0,347	0,47	0	15	40,7	0,0	40,7	6,6
		STR1		V1	5,09	8,00	0,394	0,00	0	0	40,7	0,0	40,7	0,0
		C4		V1	5,90		-0,212	1,00		32				-1,3
		N1		V1	17,00		0,021	1,00		32				0,4
		W1		V1	4,00		0,613	1,00		32				2,5
		W2		V1	4,00		0,032	1,00		32				0,1
		W3		V1	4,60		0,032	1,00		32				0,1
		Z1		V1	17,00		0,030	1,00		32				0,5
$\Phi_{HLm} = 1412 \text{ W } \Phi_{RHm} = 0 \text{ W}$														
4	4	SN1		V1	1,68	2,95	0,678	-0,03	0	-1	4,9	0,0	4,9	-0,1
		SO1		V2	1,41	2,95	0,336	0,44	0	31	4,2	0,0	4,2	0,9
		SN2		V1	2,19	2,95	1,872	-0,03	0	-1	6,5	0,0	6,5	-0,4
		SN2		V1	0,80	2,95	1,872	-0,03	1	-1	2,4	1,2	1,2	-0,1
		DN1		V1	0,60	1,97	1,700	-0,03	1	-1	1,2	1,2	1,2	-0,1
		SN2		V1	1,90	2,95	1,872	-0,03	0	-1	5,6	0,0	5,6	-0,3
		PDL1		V1	2,25	1,00	0,347	0,45	0	14	2,3	0,0	2,3	0,4
		STR1		V1	2,25	1,00	0,394	-0,03	0	-1	2,3	0,0	2,3	0,0
		N1		V1	1,41		0,021	1,00		31				0,0
		Z1		V1	1,41		0,030	1,00		31				0,0
$\Phi_{HLm} = 28 \text{ W } \Phi_{RHm} = 0 \text{ W}$														
5	5	SO1		V2	3,44	2,95	0,336	0,46	1	32	10,2	1,3	8,9	2,0
		OT1		V1	1,00	1,25	0,700	1,00	1	32	1,3	1,3	1,3	1,0
		SN2		V1	3,91	2,95	1,872	0,16	1	5	11,5	1,6	10,0	2,9
		DN3		V1	0,80	1,97	1,700	0,16	1	5	1,6	1,6	1,6	0,4
		SN1		V1	1,75	2,95	0,678	0,00	0	0	5,1	0,0	5,1	0,0
		SN2		V1	0,90	2,95	1,872	0,03	0	1	2,7	0,0	2,7	0,2
		SN2		V1	0,80	2,95	1,872	0,03	1	1	2,4	1,2	1,2	0,1
		DN4		V1	0,60	2,00	1,700	0,03	1	1	1,2	1,2	1,2	0,1
		SN2		V1	1,19	2,95	1,872	0,03	0	1	3,5	0,0	3,5	0,2
		SO1		V2	2,60	2,95	0,336	0,46	0	32	7,7	0,0	7,7	1,7
		PDL1		V1	11,05	1,00	0,347	0,47	0	15	11,1	0,0	11,1	1,8
		STR1		V1	11,05	1,00	0,394	0,00	0	0	11,1	0,0	11,1	0,0
		C4		V1	2,95		-0,212	1,00		32				-0,6
		N1		V1	6,04		0,021	1,00		32				0,1
		W1		V1	1,00		0,613	1,00		32				0,6
		W2		V1	1,00		0,032	1,00		32				0,0
		W3		V1	2,50		0,032	1,00		32				0,1
		Z1		V1	6,04		0,030	1,00		32				0,2
$\Phi_{HLm} = 717 \text{ W } \Phi_{RHm} = 0 \text{ W}$														
6	6	SO1		V2	2,21	2,95	0,336	0,42	1	30	6,5	2,1	4,4	0,9
		DO1		V1	1,00	2,10	0,600	1,00	1	30	2,1	2,1	2,1	1,3
		SN2		V1	2,20	2,95	1,872	-0,20	1	-6	6,5	1,4	5,1	-1,9
		DN2		V1	0,70	1,97	1,700	-0,20	1	-6	1,4	1,4	1,4	-0,5
		SN2		V1	1,00	2,95	1,872	0,07	1	2	3,0	1,4	1,6	0,2
		DN2		V1	0,70	1,97	1,700	0,07	1	2	1,4	1,4	1,4	0,2
		SN2		V1	1,71	2,95	1,872	0,07	0	2	5,0	0,0	5,0	0,6
		SN1		V1	1,12	2,95	0,678	-0,07	1	-2	3,3	1,8	1,5	-0,1
		DN6		V1	0,90	2,00	1,700	-0,07	1	-2	1,8	1,8	1,8	-0,2

ČM	UČM	OK	SS	Var	x m	y m	$U_{eq, \Psi}$	b	PO	Δt K	A m ²	AO m ²	AR m ²	H W/K
		SN2		V1	3,91	2,95	1,872	-0,07	1	-2	11,5	1,6	10,0	-1,2
		DN3		V1	0,80	1,97	1,700	-0,07	1	-2	1,6	1,6	1,6	-0,2
		PDL1		V1	6,91	1,00	0,347	0,43	0	13	6,9	0,0	6,9	1,0
		STR1		V1	6,91	1,00	0,394	-0,07	0	-2	6,9	0,0	6,9	-0,2
		N1		V1	2,21		0,021	1,00		30				0,0
		P2		V1	1,00		0,033	1,00		30				0,0
		Z1		V1	2,21		0,030	1,00		30				0,1
$\Phi_{HLm} = 73 \text{ W } \Phi_{RHm} = 0 \text{ W}$														
7	7	SO1		V2	3,91	1,50	0,336	0,46	0	32	5,9	0,0	5,9	1,3
		SCH1		V1	3,91	1,75	0,208	1,00	0	32	6,8	0,0	6,8	1,4
		SN1		V1	1,43	1,50	0,678	0,09	0	3	2,1	0,0	2,1	0,1
		SN1		V1	1,43	0,50	0,678	0,09	0	3	0,7	0,0	0,7	0,0
		SN1		V1	1,96	2,50	0,678	0,09	0	3	4,9	0,0	4,9	0,3
		SN2		V1	1,57	2,50	1,872	0,06	1	2	3,9	1,6	2,3	0,3
		DN3		V1	0,80	1,97	1,700	0,06	1	2	1,6	1,6	1,6	0,2
		SN2		V1	0,90	2,50	1,872	0,06	0	2	2,3	0,0	2,3	0,3
		SN2		V1	2,34	2,50	1,872	0,00	0	0	5,9	0,0	5,9	0,0
		SO1		V2	1,43	1,50	0,336	0,46	0	32	2,1	0,0	2,1	0,5
		SO1		V2	1,43	0,50	0,336	0,46	0	32	0,7	0,0	0,7	0,2
		SO1		V2	2,57	2,50	0,336	0,46	1	32	6,4	1,3	5,2	1,2
		OT1		V1	1,00	1,25	0,700	1,00	1	32	1,3	1,3	1,3	1,0
		PDL2		V1	14,60	1,00	0,373	0,00	0	0	14,6	0,0	14,6	0,0
		STR2		V1	0,90	2,34	0,205	0,63	0	20	2,1	0,0	2,1	0,3
		STR2		V1	1,96	3,91	0,205	1,00	0	32	7,7	0,0	7,7	1,6
		C4		V1	1,50		-0,212	1,00		32				-0,3
		W1		V1	1,00		0,613	1,00		32				0,6
		W2		V1	1,00		0,032	1,00		32				0,0
		W3		V1	2,50		0,032	1,00		32				0,1
$\Phi_{HLm} = 403 \text{ W } \Phi_{RHm} = 0 \text{ W}$														
8	8	SN1		V1	1,43	1,50	0,678	-0,10	0	-3	2,1	0,0	2,1	-0,2
		SN1		V1	1,43	0,50	0,678	-0,10	0	-3	0,7	0,0	0,7	-0,1
		SN1		V1	1,96	2,50	0,678	-0,10	1	-3	4,9	1,5	3,4	-0,2
		DN5		V1	0,75	2,00	1,700	-0,10	1	-3	1,5	1,5	1,5	-0,3
		SN2		V1	1,09	2,50	1,872	-0,03	0	-1	2,7	0,0	2,7	-0,2
		SN1		V1	1,43	1,50	0,678	-0,10	0	-3	2,1	0,0	2,1	-0,2
		SN1		V1	1,43	0,50	0,678	-0,10	0	-3	0,7	0,0	0,7	-0,1
		SN1		V1	1,96	2,50	0,678	-0,10	0	-3	4,9	0,0	4,9	-0,3
		SO1		V2	1,09	1,50	0,336	0,40	0	29	1,6	0,0	1,6	0,3
		SCH1		V1	1,09	1,75	0,208	1,00	0	29	1,9	0,0	1,9	0,4
		PDL2		V1	3,65	1,00	0,373	-0,10	0	-3	3,6	0,0	3,6	-0,1
		STR2		V1	1,96	1,09	0,205	1,00	0	29	2,1	0,0	2,1	0,4
$\Phi_{HLm} = 14 \text{ W } \Phi_{RHm} = 0 \text{ W}$														
9	9	SO1		V2	1,43	1,50	0,336	0,46	0	32	2,1	0,0	2,1	0,5
		SO1		V2	1,43	0,50	0,336	0,46	0	32	0,7	0,0	0,7	0,2
		SO1		V2	2,38	2,50	0,336	0,46	1	32	6,0	1,3	4,7	1,1
		OT1		V1	1,00	1,25	0,700	1,00	1	32	1,3	1,3	1,3	1,0
		SN2		V1	2,88	2,50	1,872	0,06	0	2	7,2	0,0	7,2	0,8
		SN2		V1	0,40	2,50	1,872	0,06	0	2	1,0	0,0	1,0	0,1
		SN2		V1	1,12	2,50	1,872	0,06	1	2	2,8	1,6	1,2	0,1
		DN3		V1	0,80	1,97	1,700	0,06	1	2	1,6	1,6	1,6	0,2
		SN2		V1	1,96	2,50	1,872	0,09	1	3	4,9	1,5	3,4	0,6
		DN5		V1	0,75	2,00	1,700	0,09	1	3	1,5	1,5	1,5	0,2
		SN2		V1	1,43	1,50	1,872	0,09	0	3	2,1	0,0	2,1	0,4
		SN2		V1	1,43	0,50	1,872	0,09	0	3	0,7	0,0	0,7	0,1

ČM	UČM	OK	SS	Var	x m	y m	$U_{eq, \Psi}$	b	PO	Δt K	A m ²	AO m ²	AR m ²	H W/K
		SO1		V2	4,00	1,50	0,336	0,46	0	32	6,0	0,0	6,0	1,3
		SCH1		V1	4,00	1,75	0,208	1,00	0	32	7,0	0,0	7,0	1,5
		PDL2		V1	14,72	1,00	0,373	0,00	0	0	14,7	0,0	14,7	0,0
		STR2		V1	2,38	2,88	0,205	1,00	0	32	6,9	0,0	6,9	1,4
		STR2		V1	1,96	1,12	0,205	1,00	0	32	2,2	0,0	2,2	0,4
		C4		V1	1,50		-0,212	1,00		32				-0,3
		W1		V1	1,00		0,613	1,00		32				0,6
		W2		V1	1,00		0,032	1,00		32				0,0
		W3		V1	2,50		0,032	1,00		32				0,1
$\Phi_{HLm} = 457 \text{ W } \Phi_{RHm} = 0 \text{ W}$														
10	10	SO1		V2	1,15	2,50	0,336	0,42	0	30	2,9	0,0	2,9	0,6
		SN2		V1	2,88	2,50	1,872	-0,20	0	-6	7,2	0,0	7,2	-2,7
		SN2		V1	1,15	2,50	1,872	0,00	1	0	2,9	1,2	1,7	0,0
		DN1		V1	0,60	1,97	1,700	0,00	1	0	1,2	1,2	1,2	0,0
		SN2		V1	2,88	2,50	1,872	-0,07	0	-2	7,2	0,0	7,2	-0,9
		PDL2		V1	2,88	1,15	0,373	-0,07	0	-2	3,3	0,0	3,3	-0,1
		STR2		V1	2,88	1,15	0,205	1,00	0	30	3,3	0,0	3,3	0,7
$\Phi_{HLm} = 3 \text{ W } \Phi_{RHm} = 0 \text{ W}$														
11	11	SO1		V2	1,81	2,50	0,336	0,52	1	36	4,5	1,3	3,3	0,8
		OT1		V1	1,00	1,25	0,700	1,00	1	36	1,3	1,3	1,3	1,0
		SO1		V2	1,43	1,50	0,336	0,52	0	36	2,1	0,0	2,1	0,5
		SO1		V2	1,43	0,50	0,336	0,52	0	36	0,7	0,0	0,7	0,2
		SO1		V2	2,88	1,50	0,336	0,52	0	36	4,3	0,0	4,3	1,1
		SCH1		V1	2,88	1,75	0,208	1,00	0	36	5,0	0,0	5,0	1,0
		SN2		V1	1,81	2,50	1,872	0,17	1	6	4,5	1,6	3,0	0,9
		DN3		V1	0,80	1,97	1,700	0,17	1	6	1,6	1,6	1,6	0,4
		SN2		V1	1,43	1,50	1,872	0,17	0	6	2,1	0,0	2,1	0,7
		SN2		V1	1,43	0,50	1,872	0,17	0	6	0,7	0,0	0,7	0,2
		SN2		V1	2,88	2,50	1,872	0,17	0	6	7,2	0,0	7,2	2,2
		PDL2		V1	9,36	1,00	0,373	0,11	0	4	9,4	0,0	9,4	0,4
		STR2		V1	1,81	2,88	0,205	1,00	0	36	5,2	0,0	5,2	1,1
		C4		V1	1,50		-0,212	1,00		36				-0,3
		W1		V1	1,00		0,613	1,00		36				0,6
		W2		V1	1,00		0,032	1,00		36				0,0
		W3		V1	2,50		0,032	1,00		36				0,1
$\Phi_{HLm} = 645 \text{ W } \Phi_{RHm} = 0 \text{ W}$														
12	12	SN2		V1	0,40	2,50	1,872	0,00	0	0	1,0	0,0	1,0	0,0
		SN2		V1	1,05	2,50	1,872	0,06	0	2	2,6	0,0	2,6	0,3
		SN2		V1	1,79	2,50	1,872	-0,13	1	-4	4,5	1,6	2,9	-0,7
		DN3		V1	0,80	1,97	1,700	-0,13	1	-4	1,6	1,6	1,6	-0,3
		SN2		V1	1,43	1,50	1,872	-0,13	0	-4	2,1	0,0	2,1	-0,5
		SN2		V1	1,43	0,50	1,872	-0,13	0	-4	0,7	0,0	0,7	-0,2
		SO1		V2	2,21	1,50	0,336	0,46	0	32	3,3	0,0	3,3	0,7
		SCH1		V1	2,21	1,75	0,208	1,00	0	32	3,9	0,0	3,9	0,8
		SN1		V1	1,43	1,50	0,678	0,00	0	0	2,1	0,0	2,1	0,0
		SN1		V1	1,43	0,50	0,678	0,00	0	0	0,7	0,0	0,7	0,0
		SN1		V1	2,00	2,50	0,678	0,00	0	0	5,0	0,0	5,0	0,0
		SN2		V1	1,27	2,50	1,872	0,00	1	0	3,2	1,6	1,6	0,0
		DN3		V1	0,80	1,97	1,700	0,00	1	0	1,6	1,6	1,6	0,0
		SN2		V1	1,28	2,50	1,872	0,00	0	0	3,2	0,0	3,2	0,0
		SN2		V1	1,57	2,50	1,872	0,00	1	0	3,9	1,6	2,3	0,0
		DN3		V1	0,80	1,97	1,700	0,00	1	0	1,6	1,6	1,6	0,0
		SN2		V1	1,09	2,50	1,872	0,09	0	3	2,7	0,0	2,7	0,5
		SN2		V1	1,12	2,50	1,872	0,00	1	0	2,8	1,6	1,2	0,0

ČM	UČM	OK	SS	Var	x m	y m	$U_{eq, \Psi}$	b	PO	Δt K	A m ²	AO m ²	AR m ²	H W/K
		DN3		V1	0,80	1,97	1,700	0,00	1	0	1,6	1,6	1,6	0,0
		PDL2		V1	12,19	1,00	0,373	0,00	0	0	12,2	0,0	12,2	0,0
		STR2		V1	1,79	2,21	0,205	1,00	0	32	3,9	0,0	3,9	0,8
$\Phi_{HLm} = 200 \text{ W } \Phi_{RHm} = 0 \text{ W}$														
13	13	SO1		V2	3,91	1,50	0,336	0,46	0	32	5,9	0,0	5,9	1,3
		SCH1		V1	3,91	1,75	0,208	1,00	0	32	6,8	0,0	6,8	1,4
		SN1		V1	1,43	1,50	0,678	0,06	0	2	2,1	0,0	2,1	0,1
		SN1		V1	1,43	0,50	0,678	0,06	0	2	0,7	0,0	0,7	0,0
		SN1		V1	1,96	2,50	0,678	0,06	0	2	4,9	0,0	4,9	0,2
		SN2		V1	1,57	2,50	1,872	0,06	1	2	3,9	1,6	2,3	0,3
		DN3		V1	0,80	1,97	1,700	0,06	1	2	1,6	1,6	1,6	0,2
		SN2		V1	0,90	2,50	1,872	0,06	0	2	2,3	0,0	2,3	0,3
		SN2		V1	2,34	2,50	1,872	0,00	0	0	5,9	0,0	5,9	0,0
		SO1		V2	1,43	1,50	0,336	0,46	0	32	2,1	0,0	2,1	0,5
		SO1		V2	1,43	0,50	0,336	0,46	0	32	0,7	0,0	0,7	0,2
		SO1		V2	2,57	2,50	0,336	0,46	0	32	6,4	0,0	6,4	1,4
		PDL2		V1	1,00	1,00	0,373	0,00	0	0	1,0	0,0	1,0	0,0
		STR2		V1	0,90	2,34	0,205	1,00	0	32	2,1	0,0	2,1	0,4
		STR2		V1	1,96	3,91	0,205	1,00	0	32	7,7	0,0	7,7	1,6
		C4		V1	1,50		-0,212	1,00		32				-0,3
		W1		V1	1,00		0,613	1,00		32				0,6
		W2		V1	1,00		0,032	1,00		32				0,0
		W3		V1	2,50		0,032	1,00		32				0,1
$\Phi_{HLm} = 384 \text{ W } \Phi_{RHm} = 0 \text{ W}$														