

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická



*Katedra elektroenergetiky*

*BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

# Úspory energie pro vytápění

*Vypracoval:* **Vitaliy Vinogradov**

*Vedoucí práce:* Doc. Dr. Ing. Jan Kyncl

Praha 2014

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne: .....

.....

Vitaliy Vinogradov

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Doc. Dr. Ing. Janu Kynclovi za odborné vedení, cenné připomínky, celkový přístup a za veškerou pomoc, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce poskytl.

### ***Abstrakt***

Tato bakalářská práce je zaměřena na porovnání způsobů vytápění objektů. Je zde popsána problematika tepelných ztrát, možností snížení tepelných ztrát a ekonomické zhodnocení navržených možností.

### ***Abstract***

This bachelor thesis is aimed to family house heat losses evaluation and checking of economical and technical possibilities to reduce these losses.

It describes problem of heat losses, further possibility of losses reduction and consequence economical appreciation of suggested solutions.

# Obsah

1. Úvod.....	1
1.1 Klimatické podmínky.....	1
1.2 Základní informace o objektů.....	2
2. Výpočet tepelných ztrát.....	4
2.1 Tepelné ztráty větráním.....	4
2.2 Tepelné ztráty prostupem tepla.....	8
2.2.1 Přirážky k základní tepelné ztrátě.....	11
2.3 Celkové tepelné ztráty.....	12
2.4 Spotřeba energie.....	12
2.4.1 Délka topné sezóny.....	12
3. Snížení tepelných ztrát.....	13
3.1 Snížení tepelných ztrát obálkou.....	14
3.2 Snížení tepelných ztrát větráním.....	15
3.2.1 Rekuperace.....	15
3.2.2 System vzduchotechniky.....	19
4. Ekonomická bilance.....	19
4.1 Investiční náklady.....	19
4.2 Cena tepla.....	20
4.3 Návratnost investice.....	21
4.3.1 Návratnost vzduchotechnické jednotky s rekuperací.....	22
4.3.2 Možností vytápění a jejich návratnost.....	22
5. Závěr.....	24
6. Seznam příloh.....	25
7. Seznam použité literatury.....	25

# 1. Úvod

Tento projekt řeší snížení nákladů na vytápění rodinného domů v obce Slapy. Souřadnice 49°48'55.184"N, 14°25'11.971"E. Jedna se o třípatrové chatě postavenou na konci dvacátého století.

Současně vytápění se provádí elektrickým kotlem. Cílem práce je porovnat a vyhodnotit různé možné způsoby vytápění.

## 1.1 Klimatické podmínky

Pro výpočet tepelných ztrát je potřeba vědět klimatické podmínky regionu, ve kterém se nachází objekt.

Klimatické podmínky závisí na přírodních podmínkách regionu. Obec Slapy leží 33 km jižně Prahy, rozkládá se v nadmořské výšce přibližně 350 m, a je vzdálený 3km od Vltavy. Chata se nachází u vody.

Tab. 1.1 Klimatické podmínky mikroregionu

Průměrná roční teplota vzduchu	6,5 až 8 °C
Průměrná teplota vzduchu v lednu	-2,5 °C
Průměrná teplota vzduchu v únoru	-0,3 °C
Průměrná teplota vzduchu v březnu	2,2 °C
Průměrná teplota vzduchu v dubnu	8,1 °C
Průměrná teplota vzduchu v květnu	12,3 °C
Průměrná teplota vzduchu v červnu	16 °C
Průměrná teplota vzduchu v červenci	16,9 °C
Průměrná teplota vzduchu v srpnu	16,2 °C
Průměrná teplota vzduchu v září	12,9 °C
Průměrná teplota vzduchu v říjnu	8,1 °C
Průměrná teplota vzduchu v listopadu	3,5 °C
Průměrná teplota vzduchu v prosince	-0,8 °C
Průměrné roční srážky	550 až 600 mm

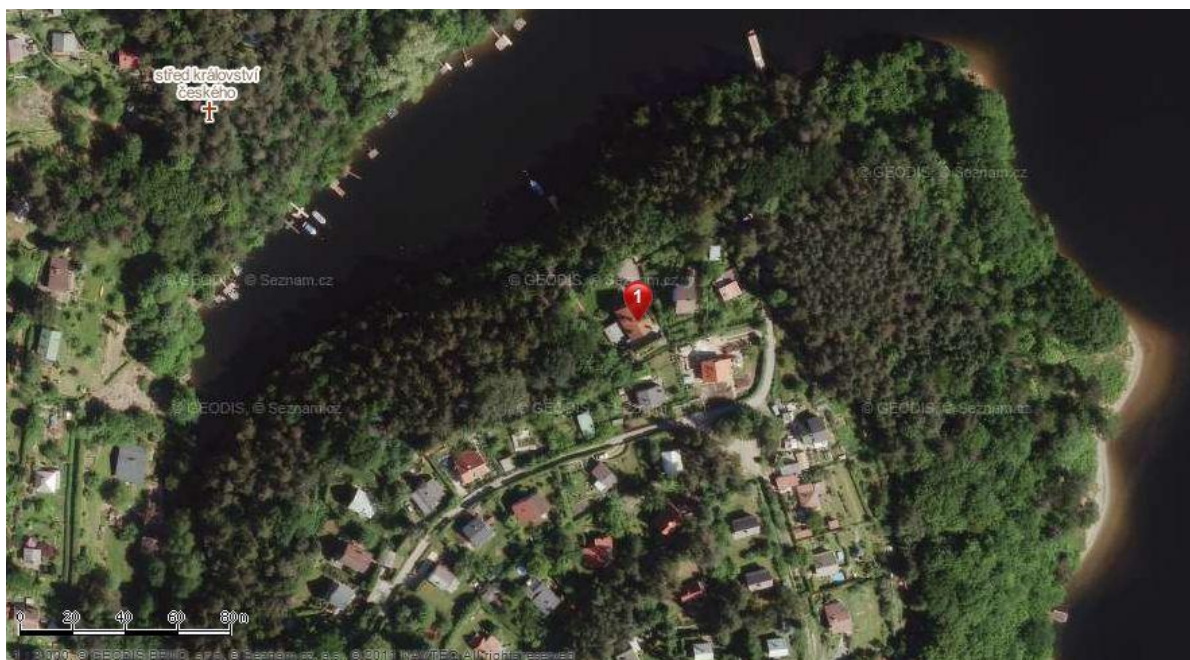
Výpočtová venkovní teplota dle ČSN 06 0210	-12 °C
Průměrná venkovní teplota v topném období	4,4 °C
Počet topných dnů (od venkovní teploty +13 °C)	229 dnů
Roční průměrná teplota vzduchu (°C)	7,7 °C

## 1.2 Základní informace o objektu

- Rok výstavby 1992
- Budova 3 patra
- Obvodové stěny:
  - 1 PP: kamenné kvadriky tloušťky 300 mm. Toto zdivo je zatepleno izolací G+H Isover v tloušťce 60 mm, přízdívka Porotherm 6,5 mm P+D
  - 2 NP: tvárnice z porobetonu Ytong 300 mm
  - 3 NP: tvárnice z porobetonu Ytong 300 mm
- Konstrukce střechy: vzhledem k využití podkroví provedeno zateplení celého krovu. Mezi plným bedněním, které ponese krytinu a tepelnou izolaci z desek G+H Isover – Isophen tloušťky 100, mezi krokve k spodnímu líci – provedena provětrávaná vzduchová mezera tloušťky 50 mm. Sádrokartonové desky tloušťky 12,5 mm ve dvou vrstvách.
- Výplně otvorů: veškerá okna, balkonové a vstupní dveře provedené z dřevěných EURO profilu zasklených dvojsklem.

Tab. 1.2 Místnosti

č.m.	účel	objem[m3]
101	obýtná místnost	126
102	wc	14,1
201	obytvací pokoj+kk	119,8
202	koupelna	14,8
203	předsíň	22,4
301	pokoj č.1	36,7
302	pokoj č.2	51,9
303	koupelna	11,2
304	ložnice	61,6



Obr.1.1 Mapa(označen č.1), foto objektu z severní a severozápadní strany

Tab. 1.3 Okna,venkovní dveře

č	delka spár [m]	plocha[m2]
1	9,368	3,31
2	10,6	4,4
3	8,152	2,87
4	4,32	1,15
5	4,74	1,51
6	8,5	3
7	7,6	2,4
8	8,1	2,7
9	8,1	2,7
10	3,2	0,6
11	11,2	3,9



## 2. Výpočet tepelných ztrát

Tepelné ztráty slouží k zjištění potřebné energie pro vytápění. Potřeba vytápění nastává když venkovní teplota vzduchu nižší než 13°C během 6 dnů.

Postup výpočtu tepelných ztrát je v České Republice předepsán normou ČSN 060210. Podle této normy se určí celkové tepelné ztráty jednotlivých místností větráním a prostupem tepla. Celkové ztráty budovy je součet tepelných ztrát všech místností.

Tepelné ztráty místnosti se počítá jako součet ztrát větráním a prostupem tepla konstrukcemi (stropem, obvodovými stěnami a podlahou, výplněmi otvorů oken a dveří).

Celkové tepelné ztráty místnosti se určují podle vztahu:

$$Q_c = Q_v + Q_p + Q_a \quad [\text{W}] \quad (2.1)$$

kde

$Q_v$  jsou tepelné ztráty větráním [W]

$Q_p$  jsou tepelné ztráty prostupem tepla [W]

$Q_a$  jsou jiné tepelné ztráty případně zisky [W]

### 2.1 Tepelné ztráty větráním

V místnostech musí probíhat výměna vzduchu. Minimální hodnota intenzity výměny vzduchu pro obytné místnosti stanovená hygienickými předpisy je 0,5 h<sup>-1</sup>, tj vzduch v místnostech se vymění 1 krát za 2 hodiny.

Pro každou místnost v budově je potřeba vypočítat objemový tok větracího vzduchu přes spáry oken a venkovní dveře  $V_{VP}$  [m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>], a pro stejnou místnost také objemový tok větracího vzduchu podle hygienických předpisů  $V_{VH}$  [m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>], poté porovnat jich. Když objemový tok větracího vzduchu přes spáry vyjde menší než hodnota podle hygienických předpisu, pro výpočet ztrát větráním, má být použita hodnota podle hygienických předpisu.

Pro výpočet ztrát místnosti větráním  $Q_v$  se používá vztah:

$$Q_v = c_p \cdot V_v \cdot (T_{in} - T_{ext}) \quad [\text{W}] \quad (2.2)$$

kde

$c_p$  je měrná tepelná kapacita vzduchu při teplotě 0°C [J m<sup>-3</sup> K<sup>-1</sup>]

$V_v$  je objemový tok větracího vzduchu [m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>]

$T_{in}$  je výpočtová vnitřní teplota [°C]

$T_{ext}$  je výpočtová venkovní teplota [°C]

Tab. 2.1 Objemové toky větracího vzduchu podle hygienických norem a přes spáry

č.m.	účel	přes spáry [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	podle normy[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
101	obytná místnost	0,021	0,0175
102	wc	0,00215	0,002
201	obývací pokoj+kk	0,043	0,017
202	koupelna	0,021	0,002
203	předsíň	0,007	0,003
301	pokoj č.1	0,0061	0,005
302	pokoj č.2	0,0061	0,0072
303	koupelna	0,0032	0,0015
304	ložnice	0,018	0,0085

Objem větracího vzduchu podle hygienických předpisu  $V_{VH}$  se stanoví ze vztahu:

$$V_{VH} = \frac{n_H}{3600} V_m \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.3)$$

kde

$V_m$  je vnitřní objem místnosti [m<sup>3</sup>]

$n_H$  je potřebná intenzita výměny vzduchu [h<sup>-1</sup>]

Objem větracího vzduchu přes spáry oken a dveří  $V_{VP}$  se stanoví ze vztahu:

$$V_{VP} = \sum(i \cdot l) \cdot B \cdot M \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.4)$$

kde

$\sum(i \cdot l)$  je součet průvzdušností oken a venkovních dveří dané místnosti [m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> Pa<sup>-0,67</sup>]

$i$  je součinitel spárové průvzdušnosti [m<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup> Pa<sup>-0,67</sup>]

$l$  je délka spár otevíratelných částí oken a venkovních dveří [m]

$B$  je charakteristické číslo budovy [Pa<sup>-0,67</sup>]

$M$  je charakteristické číslo místnosti [-]

Hodnoty součinitelů spárové průvzdušnosti  $i$  oken a venkovních dveří jsou uvedeny v ČSN 73 0540 - 3 : 1994. V našem případě pro okna a dveře z dřevěných EURO profilu zasklených dvojsklem součinitele jsou:

- Pro všechna okna  $i = 1,2 \cdot 10^{-4}$  [m<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup> Pa<sup>-0,67</sup>]
- Pro všechny vstupní dveře  $i = 1,6 \cdot 10^{-4}$  [m<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup> Pa<sup>-0,67</sup>]

Délka spáry  $l$  se počítá z rozměrů oken a venkovních dveří.

Například okno č.3 (viz. Tab 1.3):

$$l = l_1 + 2 \cdot l_2 + l_3 + l_4 \text{ [m]} \quad (2.5)$$

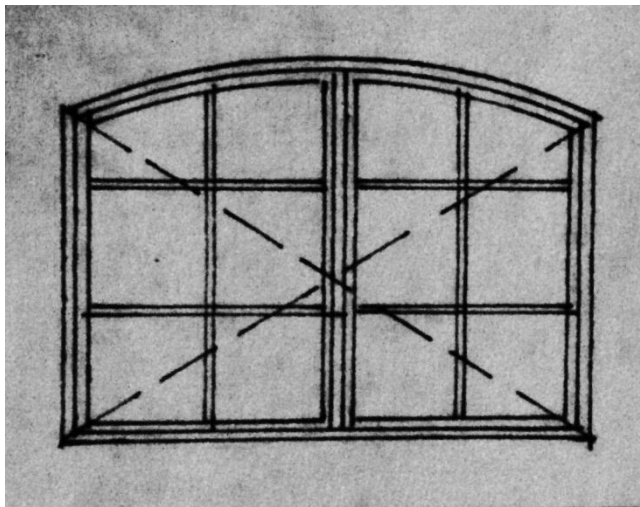
kde

$l_1$  je centrální výška okna [m]

$l_2$  je výška menšího rozměru [m]

$l_3$  je šířka okna [m]

$l_4$  je délka oblouku oválu [m]



Obr.2.1 okno č.3

Součet součinů  $\sum(i \cdot l)$  se počítá pro okna a venkovní dveří na návětrné straně budovy.

a) Charakteristické číslo místnosti

Charakteristické číslo místnosti  $M$  závisí na poměru mezi průvzdušností oken a vnitřních dveří, přičemž se rozlišují tyto případy:

- $M=0,4$  - pro místnosti, kde průvzdušnost vnitřních dveří je menší než průvzdušnost oken
- $M=0,5$  - pro místnosti, kde průvzdušnost vnitřních dveří je přibližně stejná jako průvzdušnost oken
- $M=0,7$  - pro místnosti, kde průvzdušnost vnitřních dveří je větší než průvzdušnost oken
- $M=1,0$  - pro místnosti bez vnitřních stěn, například sály, velkoprostorové kanceláře apod.

Tab. 2.2 Charakteristické čísla místnosti v objektu

č.m.	účel	Charakteristické číslo místnosti
101	obytná místnost	0,7
102	wc	0,7
201	obývací pokoj+kk	0,7
202	koupelna	0,7
203	předsíň	0,5
301	pokoj č.1	0,7
302	pokoj č.2	0,7
303	koupelna	0,7
304	ložnice	1

#### b) Charakteristické číslo budovy

Charakteristické číslo budovy B závisí na rychlosti větru volené podle polohy budovy vzhledem ke krajině a na druhu budovy (rozlišují se řadové budovy a osaměle stojící budovy). Toto číslo nabývá hodnotu od 3 do 16 Pa<sup>0,67</sup>.

Podle toho, jak je budova v krajině vystavena oproti větru se rozlišuje poloha:

- 1) chráněná
  - domy ve vnitřních částech měst, které příliš nepřevyšují okolí
  - domy ve střední části sídlišť s převážně řadovou zástavbou
  - domy ze všech stran a v celé výšce chráněné okolím, například nízké domy v zalesněné krajině
- 2) nechráněná
  - domy ve vnitřních částech měst a sídlišť, které značně převyšují okolí
  - domy na okraji sídlišť s převážně řadovou zástavbou
  - domy v sídlištích s převážně bodovou zástavbou, pokud značně převyšují okolí
  - osaměle stojící domy v údolích, v zalesněné krajině a podobně
- 3) velmi nepříznivá
  - domy v sídlištích s převážně bodovou zástavbou, pokud značně převyšují okolí
  - osaměle stojící domy na březích řek, na rozsáhlých rovinách a podobně

Z hlediska větru se rozlišuje krajina normální a krajina s intenzivními větry.

Tab. 2.3 Charakteristické číslo budovy

Krajinná oblast se zřetelem k intenzitě větru	Poloha budovy v krajině	Rychlost větru $w$ [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	Charakteristické číslo budovy $B$ [ $\text{Pa}^{0,67}$ ]	
			Řadové budovy	Osaměle stojící budovy
Normální krajina	chráněná	4	3	4
	nechráněná	6	6	8
	velmi nepříznivá	8	9	12
Krajina s intenzivními větry	chráněná	6	6	8
	nechráněná	8	9	12
	velmi nepříznivá	10	12	16

Protože budova je osaměle stojící na kopci, a v okolí jsou lesa, pro výpočty jsem použil  $B=8$  [ $\text{Pa}^{0,67}$ ].

## 2.2 Tepelné ztráty prostupem tepla

Tepelná ztráta místnosti prostupem tepla je součin základní tepelné ztráty a součtu přírážek:

$$Q_p = Q_o \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) \quad [\text{W}] \quad (2.6)$$

kde

$Q_o$  je základní tepelná ztráta prostupem tepla [W]

$p_1$  přírážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí [-]

$p_2$  přírážka na urychlení zátoku [-]

$p_3$  přírážka na světovou stranu [-]

Základní tepelná ztráta prostupem tepla  $Q_o$  se rovná součtu tepelných toků prostupem tepla jednotlivými konstrukcemi a rozdílu výpočtové teploty venkovní a vnitřní:

$$Q_o = \sum_{j=1}^n U_j \cdot S_j (T_{in} - T_{ext}) \quad [\text{W}] \quad (2.7)$$

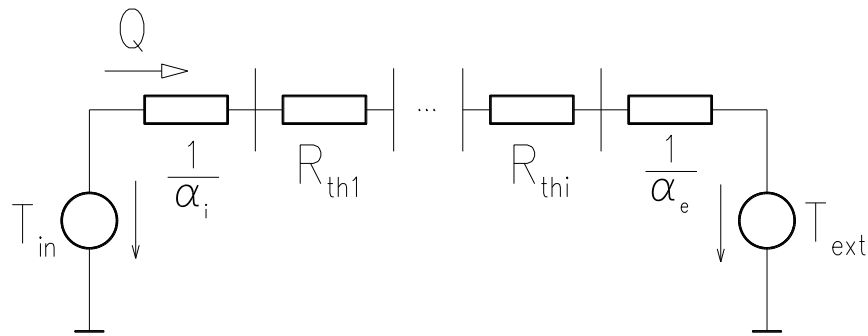
kde

$S_j$  je ochlazovaná j-tá část stavební konstrukce (stěna, podlaha, okno, strop) [ $\text{m}^2$ ]

$U_j$  je součinitel prostupu tepla konstrukce [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$T_{in}$  je vnitřní výpočtová teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_{ext}$  je výpočtová venkovní teplota nebo teplota v sousední místnosti [ $^{\circ}\text{C}$ ]



Obr. 2.2 Náhradní schéma prostupu tepla složenou tepelnou konstrukcí

$Q$  tok tepla [ $\text{W}$ ]

$R_{thj}$  tepelný odpor konstrukce [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]

$\alpha_i$  součinitel prostupu tepla vnitřní [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$\alpha_e$  součinitel prostupu tepla vnější [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$T_{in}$  vnitřní výpočtová teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]

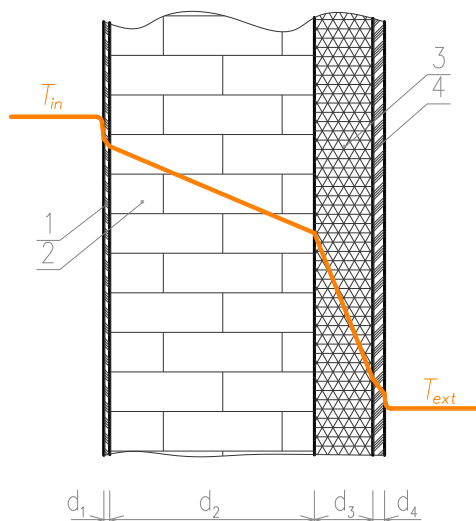
$T_{ext}$  výpočtová venkovní teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Součinitel prostupu tepla složenou konstrukcí se počítá podle vztahu:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (2.8)$$

Tepelný odpor stěny  $R_{th}$  nezávisí na ochlazovacích podmínkách

$$R_{th} = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (2.9)$$



1 ...omítka ( $\lambda_1$ )

2 ...zeď ( $\lambda_2$ )

3 ...tepelné izolace ( $\lambda_3$ )

4 ...krycí vrstva ( $\lambda_4$ )

$d_i$  ...tloušťka vrstvy konstrukce [m]

$\lambda_i$  ...tepelná vodivost vrstvy [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]

$\alpha_i, \alpha_e$  ...součinitel prostupu tepla [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]

$T_{in}, T_{ext}$  ...teplota vnitřní, vnější [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Obr. 2.3 Schéma ustáleného prostupu tepla složenou konstrukcí

Existují případy, když teplota na vnější straně vyšší než teplota v místnosti, tepelný tok v takovém případě má zápornou hodnotu, jde tedy o tepelný zisk.

V našem případě jsou konstrukce (konstrukční prvky) charakterizovány součinitelem prostupu tepla  $U$ , které jsou shrnuty v Tab. 2.4 (postup výpočtu viz **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Tab. 2.4 Součinitele prostupu tepla  $U$  stavebních konstrukcí

Název	$U$ [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]
Stěna, přízemí	0,47
Stěna, 1 patro	0,42
Stěna, 2 patro	0,42
Střecha	0,34
Okna, dveře	2,7

## 2.2.1 Přírážky k základní tepelné ztrátě

### a) Přírážka na vyrovnání vlivu chladných stavebních konstrukcí

Přírážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí  $p_1$  závisí na průměrném součiniteli prostupu tepla dané místnosti  $k_c$ , který se stanoví ze základní tepelné ztráty a vypočte se ze všech obklopujících stěn v místnosti, nikoli jen ze stěn ochlazovaných:

$$k_c = \frac{Q_o}{\sum_{n=1}^j S \cdot (T_{in} - T_{ext})} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (2.10)$$

kde

$\Sigma S$  je celková plocha všech konstrukcí ohraničujících vytápěnou místnost [ $m^2$ ]

$T_{in}$  je výpočtová vnitřní teplota [ $^{\circ}C$ ]

$T_{ext}$  je výpočtová venkovní teplota [ $^{\circ}C$ ]

Přírážka  $p_1$  dána zjednodušeným vztahem:

$$p_1 = 0,15 \cdot k_c \quad [-] \quad (2.11)$$

Hodnota přírážky  $p_1$  podle tabulek z ČSN vychází od 0,03 do 0,12.

### b) Přírážka na urychlení zátoku

Přírážka na urychlení zátoku  $p_2$  se počítá pouze v případech, kde ani při nejnižších venkovních teplotách nelze zajistit nepřerušovaný provoz vytápění, v těchto případech se tedy uvažuje přerušovaný provoz vytápění.

Přírážka  $p_2$  závisí na délce vytápění:

$p_2 = 0,10$  při denní době vytápění delší než 16 hodin

$p_2 = 0,20$  při denní době vytápění kratší než 16 hodin

### c) Přírážka na světovou stranu

O výši přírážky na světovou stranu  $p_3$  rozhoduje poloha nejvíce ochlazované konstrukce místnosti. Při více ochlazovaných konstrukcích rozhoduje poloha jejich společného rohu. U místnosti se třemi nebo čtyřmi ochlazovanými konstrukcemi se počítá s přírážkou největší. Hodnoty přírážek  $p_3$  jsou uvedeny v tabulce Tab. 2..

Tab. 2.5 Přírážka  $p_3$  na světovou stranu

Světová strana	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV
Přírážka $p_3$ [-]	-0,05	0	0	0,05	0,1	0,05	0,05	0



## 2.3 Celkové tepelné ztráty

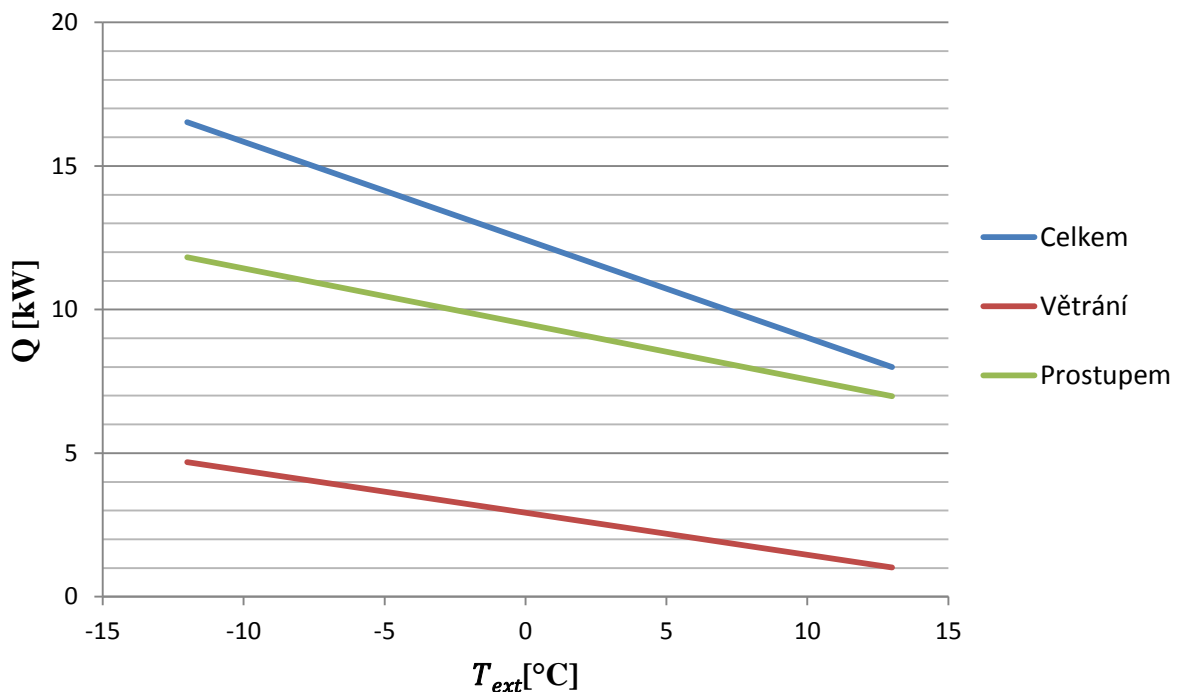
Celkové tepelné ztráty jsem určil ze vztahu (2.1).

Pro minimální oblastní venkovní teplotu  $T_{ext} -12^{\circ}\text{C}$  celkové tepelné ztráty  $Q_c=16524$  [W].

Pro zvolenou teplotu  $0^{\circ}\text{C}$  celkové tepelné ztráty  $Q_c=12429$  [W].

Závislost celkových ztrát, ztrát větráním a prostupem tepla na teplotě lze určit ze vztahu:

$$Q_c(T) = 12487.2 - 343.1 T \quad [\text{W}]$$



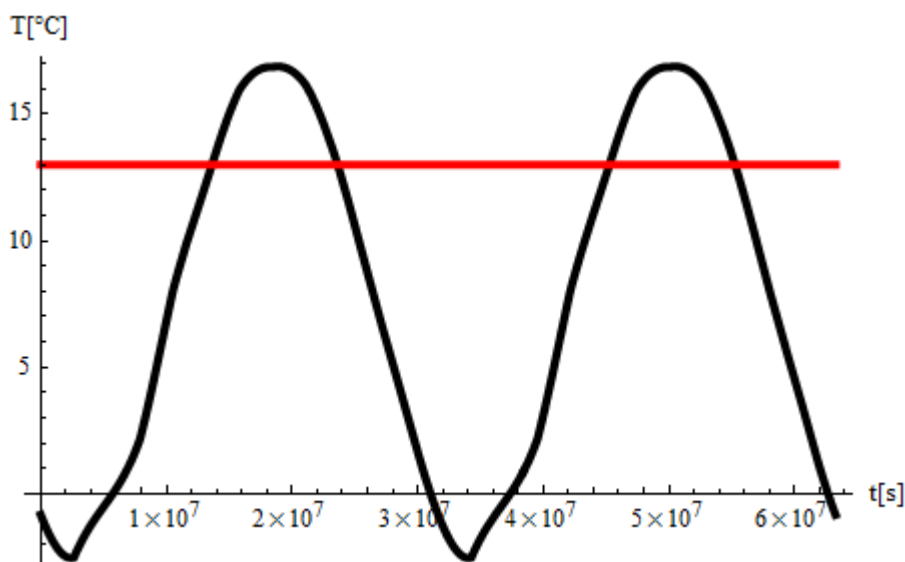
Obr. 2.4 Závislost tepelných ztrát na venkovní teplotě

## 2.4 Spotřeba energie

Potřebné množství energie pro vytápění objektu se určí z celkových tepelných ztrát a délky otopné sezony. Dále lze určit náklady na vytápění, které závisí především jakým způsobem se provádí vytápění, na účinnosti zdroje, regulace.

### 2.4.1 Délka topné sezóny

Průměrné denní teploty v průběhu roku je vidět z Obr.2.5, závislost teploty na čase  $T = f(t)$ .



Obr. 2.5 Průběh teplot během roku

Z těchto hodnot můžeme určit celkové množství tepla, potřebného na vytápění, z obsahu plochy omezené křivkou pod hodnotou počáteční teploty otopné sezóny (2.2).

$$W = \int_{t_1}^{t_2} Q_c(T_{ext}) dt \quad [\text{kWh}] \quad (2.2)$$

Pro objekt celková spotřeba energie na otopnou sezonu vyšla 131,346 GJ, což je 36,485 MWh.

### 3. Snížení tepelných ztrát

Ze vztahu (2.1) je vidět, že ke snížení celkových tepelných ztrát můžeme dojít při snížení ztrát prostupem tepla, nebo ztrát tepla větráním.

Pro snížení ztrát prostupem tepla obálkou jsou takové možnosti:

- Výměna oken a dveří
- Izolace obvodových stěn

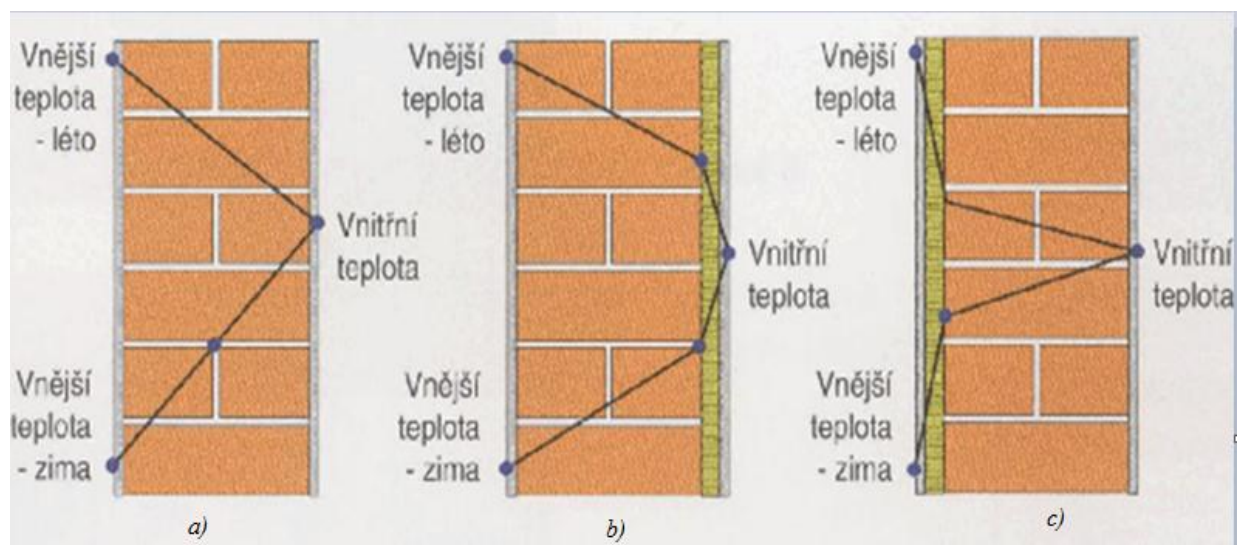
V našem případě jsou všechna okna a dveře mají docela dobrou schopnost udržet teplo, proto výměna na nové, s větším tepelným odporem, nemá smysl.

Ke snížení ztrát tepla větráním můžeme využít rekuperační jednotku.

### 3.1 Snížení tepelných ztrát obálkou

Ke snížení ztrát obálkou (tj. přestupem konstrukcí) dochází při snížení tepelného odporu konstrukce  $R_{th}$  (2.9) zařazením vhodné tepelné izolace.

Cílem instalace tepelné izolace (zateplení) je snížení tepelných ztrát daného objektu. Při vhodně navrženém zateplení lze také dosáhnout ochrany obvodových konstrukcí a příznivého mikroklimatu v letním období.



Obr. 3.1 Prostup tepla konstrukcí v zimním a letním období  
a) bez izolace, b) vnitřní izolace, c) vnější izolace [1]

V závislosti podle způsobu instalace rozlišujeme izolaci (viz **Ошибка! Источник ссылки не найден.**) vnitřní a vnější.

Při použití vnitřní izolace je hlavní výhodou je rychlý náběh teploty v místnosti po spuštění dodávky tepla.

Hlavní nevýhodou je riziko kondenzace v izolaci a vnějších stěnách, které v topném období mají teplotu na úrovni venkovního vzduchu. Může dojít k promrzání stěn.

Vnější izolace se používá u objektů s trvalým užíváním, protože dochází k akumulaci energie stěnami. Nevýhodou je dlouhý ohřev místností na potřebnou vnitřní teplotu.

U objektu ve všech místnostech jako izolace se používají desky G+H Isover 60 mm, stěny jsou z izolačních porobetonových tvárníc. Tyto materiály mají velmi vysoký tepelný odpor  $R_{th}$ .

## 3.2 Snížení ztrát větráním

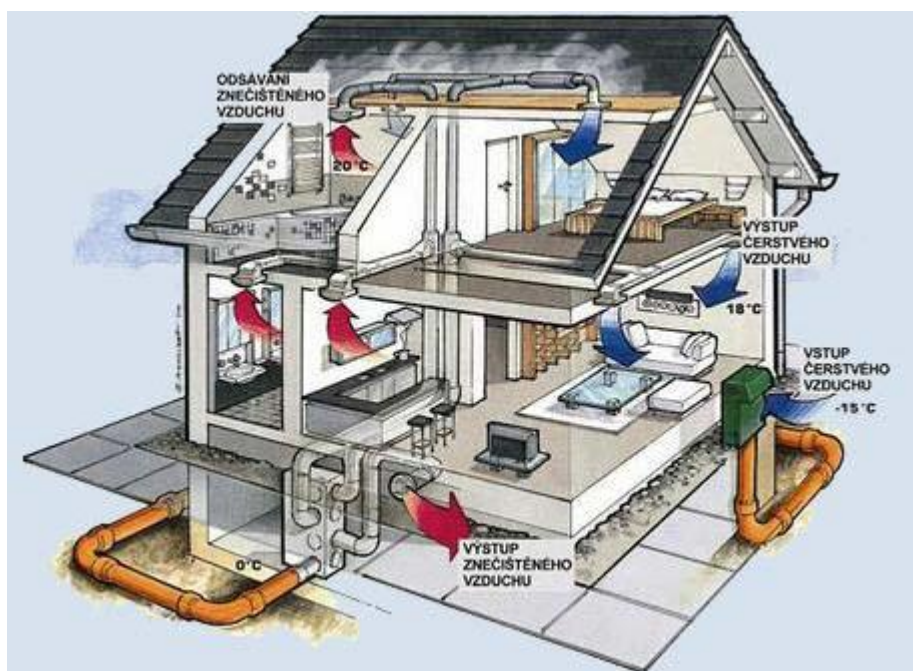
Při výměně vzduchu (přirozené větrání, infiltrací) dochází ke ztrátě energie vzduchu. Čerstvý vzduch, který přichází je nutno ohřát na požadovanou vnitřní teplotu.

Pro snížení těchto ztrát velice často se používá rekuperační jednotka.

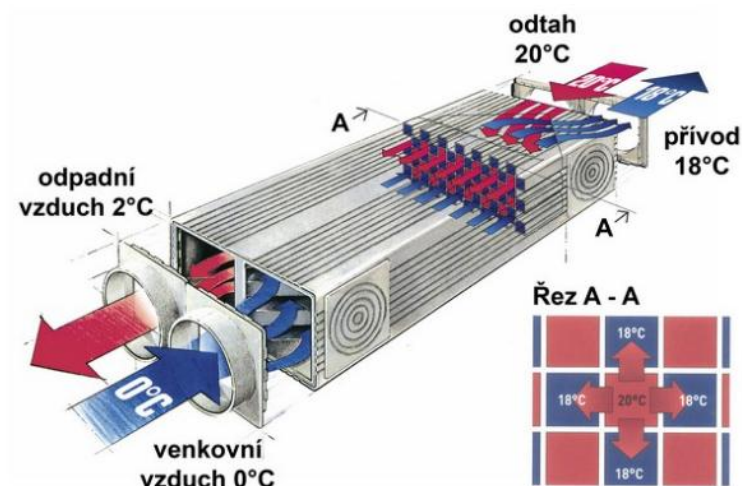
### 3.2.1 Rekuperace

Přiváděný venkovní čerstvý vzduch prochází přes rekuperační výměník uvnitř vzduchotechnické jednotky, do kterého z druhé strany vstupuje teplý odpadní vzduch z objektu. Obě vzdušniny jsou od sebe dokonale odděleny soustavou kanálků. Přes stěny kanálů teplo z odpadního vzduch přechází do přívodního, který je tak předehříván. Rekuperační výměníky dosahují vysokých účinností předání tepla, běžně kolem 90 %.

Rekuperaci je možno využít prakticky ve všech typech objektů při hygienicky nutném větrání – a to od bytů a rodinných domů, přes občanské stavby, bazény až po průmyslové stavby. Rekuperační výměníky lze využít i v klimatizovaných objektech – zde dochází v letních měsících k "rekuperaci chladu" – přiváděný teplý vzduch je ochlazován odváděným, klimatizací vychlazeným vzduchem.



Obr. 3.2 Princip rekuperace vzduchu rodinného domu [2]



Obr. 3.3 Princip práce tepelného výměníku [3]

Nutným požadavkem pro rekuperaci je instalace nucené ventilace. Rekuperační výměníky tepla se nejčastěji osazují přímo do větracích jednotek.

Proces rekuperace je popsán rovnicí vyjadřující zákon zachování energie (3.1), průběh teplot a schematické znázornění výměny energie je patrný z

Obr. 3.3.

$$\dot{m}_1 \cdot c_p \cdot T_{ext} + \dot{m}_2 \cdot c_p \cdot T_{in} = \dot{m}_1 \cdot c_p \cdot T_2 + \dot{m}_2 \cdot c_p \cdot T_4 \quad (3.1)$$

kde

$m_1$  je hmotnostní průtok přiváděného vzduchu ( $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ )

$m_2$  je hmotnostní průtok odváděného vzduchu ( $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ )

$c_p$  měrná tepelná kapacita vzduchu při stálém tlaku ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$T_{ext}$  teplota venkovního (čerstvého) vzduchu ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_2$  teplota přiváděného vzduchu ( $^{\circ}\text{C}$ )

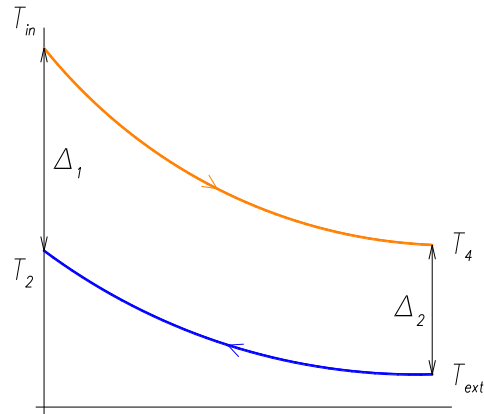
$T_{in}$  teplota odváděného (vnitřního) vzduchu ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_4$  teplota odpadního vzduchu ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta_1$  rozdíl vnitřních teplot, odváděného a přiváděného vzduchu ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta_2$  rozdíl venkovních teplot, odpadního a čerstvého vzduchu ( $^{\circ}\text{C}$ )

$k_s$  konstanta shrnující vlastnosti výměníku



Obr. 3.3 Průběh teplot ve výměníku

Převedením rovnice (3.1) do tvaru, kde na levé straně budou členy s hmotnostním průtokem přiváděného vzduchu a na pravé straně s hmotnostním průtokem vzduchu odváděného, se získá tvar:

$$\dot{m}_1 \cdot c_p \cdot (T_2 - T_{ext}) = \dot{m}_2 \cdot c_p \cdot (T_{in} - T_4) \quad (3.2)$$

To odpovídá teplu, které je předáno ve výměníku, hodnoty  $T_{in}$ ,  $T_{ext}$ ,  $m_1$ ,  $m_2$  a  $c_p$  jsou pro nás známé, potom lze napsat dvě rovnice se dvěma neznámými ( $T_2$  a  $T_4$ ):

$$Q_{rek} = \dot{m}_1 \cdot c_p \cdot (T_2 - T_{ext}) \quad [\text{W}] \quad (3.3)$$

$$Q_{rek} = \dot{m}_2 \cdot c_p \cdot (T_{in} - T_4) \quad [\text{W}] \quad (3.4)$$

Velikost  $Q_{rek}$  je závislá na vlastnostech výměníku, které jsou shrnuty v konstantě výměníku  $k_S$  a na rozdílu teplot vzduchů, což popisuje rovnice (3.5), tento vztah lze s dostatečnou přesností interpretovat jako (3.6).

$$Q_{rek} = k_S \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{\log\left(\frac{\Delta_1}{\Delta_2}\right)} \quad [\text{W}] \quad (3.5)$$

$$Q_{rek} = k_S \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \quad [\text{W}] \quad (3.6)$$

Teplu odvedené při větrání (teplo potřebné k větrání) je (3.7), kde hmotnostní tok  $m_1$  je dán vztahem (3.8).

$$Q_{potř} = \dot{m}_1 \cdot c_p \cdot (T_{in} - T_{ext}) \quad [\text{W}] \quad (3.7)$$

$$\dot{m} = \frac{\rho_{vz} \cdot V_m}{3600} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3.8)$$

Množství vráceného tepla rekuperační jednotkou je dáno vyřešením rovnic (3.3), (3.4), (3.6).

Účinnost rekuperační jednotky se počítá jako podíl tepla dodaného rekuperační jednotkou a tepla potřebného na větrání.

$$\eta = \frac{Q_{rek}}{Q_{potř}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.9)$$

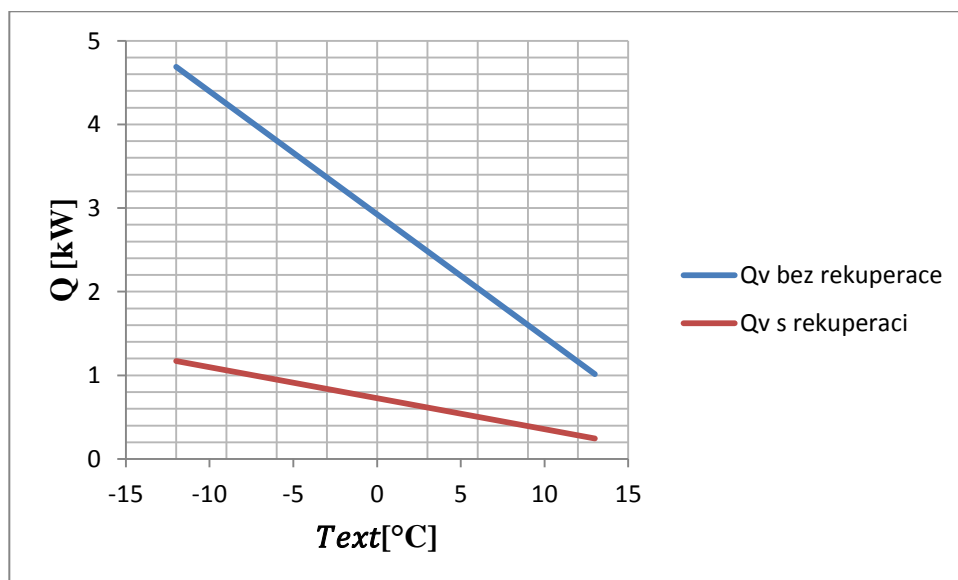
Pro výběr rekuperační jednotky je nejdůležitějším parametrem množství potřebného vzduchu k výměně  $V$  ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ), cena jednotky závisí na její účinnosti. Reálná účinnost rekuperace se pohybuje u běžně dostupných vzduchotechnických zařízení od 30 do 90 %, přičemž účinnost nad 60 % se považuje za dobrou, nad 80 % za špičkovou.

Kromě tepelného výměníku musíme počítat s dalšími náklady: odhlučnění rozvody čerstvého a odpadního vzduchu, odvod kondenzátu z jednotky, pravidelné prohlídky (čištění) a stavební úpravy. Provoz jednotky je celkem nenáročný, jsou dva ventilátory pracující v cyklickém režimu (v případě potřeby v trvalém chodu), spotřeba pro běžný rodinný dům ( $V \leq 300 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) je kolem 0,5 kWh/denně.

Teoretický při zvolení rekuperační jednotky s účinností 75 % ztráty větráním klesnou:

- Při  $T_{\text{ext}} = -12 \text{ }^\circ\text{C}$  na 3517 [W], vyjde 1172[W]
- Při  $T_{\text{ext}} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$  na 2193 [W], vyjde 731 [W]

Spotřeba energie klesne s 131,346 GJ do 108,083 GJ (s 36,485 MWh do 30,023 MWh)



Obr. 3.5 Závislost tepelných ztrát větráním na venkovní teplotě, s použitím rekuperační jednotky s  $\eta=75\%$

### 3.2.2 Systém vzduchotechniky

Vzduchotechnická jednotka s rekuperací se používá pro distribuce vzduchu v rodinných domech. Některé místnosti mají byt s přívodem vzduchu, některé s odvodem vzduchu.

S přívodem vzduchu: obývací pokoje, ložnice.

S odvodem vzduchu: kuchyně, koupelny, WC.

Vzduchotechnická jednotka se volí podle:

- velikostí domu
- počtu obyvatelů
- způsobu řízení (s automatickým řízením nebo bez),
- spotřeby elektřiny
- hlučnosti
- účinností

## 4. Ekonomická bilance

Při posuzování vycházíme z parametrů:

- investiční náklady [tis. Kč]
- současná cena energie [Kč/GJ]
- návratnost projektu [rok]
- doba životnosti projektu [rok]
- koeficient nárůstu cen energií [%]
- míra inflace [%]

### 4.1 Investiční náklady

Investiční náklady jsou součtem nákladu:

- na montáž
- na materiál
- na dopravu a t.d.



$$N_I = \sum_{j=1}^n N_j \quad [\text{tis. Kč}] \quad (4.1)$$

kde

$N_I$  jsou celkové investiční náklady [tis. Kč]

$N_j$  jednotlivé položky nákladů (materiál, montáž, ...) [tis. Kč]

Velmi důležitá je návratnost projektu, která vychází z celkových nákladů.

## 4.2 Cena tepla

Ceny energií jsou dány trhem a jsou regulovány Energetickým regulačním úřadem České republiky. Jsou udávány v Kč/GJ při známé náročnosti k vytvoření 1GJ tepelné energie (výhřevnost paliva, účinnost kotle, účinnost topné soustavy). Přehled přibližných hodnot pro různé zdroje je shrnut v Tab. 4.1.

Ceny energií se každým rokem zvyšují o procentní přírůstek koeficientu nárůstu cen energie, potom pro určení ceny energie v j-tém roce získáme vztah:

$$C_{Ej} = C_{ES} \cdot \left(1 + \frac{k_E}{100}\right)^j \quad [\text{Kč/GJ}] \quad (4.2)$$

kde

$C_{Ej}$  je cena energie v j-tém roce [Kč/GJ]

$C_{ES}$  je současná cena energie [Kč/GJ]

$k_E$  je koeficient nárůstu cen energie [%]

Tab. 4.1 Náklady na vytápění při výpočtové spotřebě 131,35 GJ

Palivo	Výhřevnost	Cena Kč/GJ	Spotřeba	Poznámka
Hnědé uhlí	18 MJ/kg	192	13268 kg	běžný kotel $\eta=55\%$
Černé uhlí	23,1 MJ/kg	307	10338 kg	běžný kotel $\eta=55\%$
Koks	27,5 MJ/kg	381	7704 kg	kotel na koks $\eta=62\%$
Dřevo	14,6 MJ/kg	174	11995 kg	kotel na zplyňování dřeva $\eta=75\%$
Dřevěné pelety	18,5 MJ/kg	273	8353 kg	kotel na dřevěné pelety $\eta=85\%$
Rostlinné pelety	16 MJ/kg	194	9122 kg	kotel na rostlinné pelety $\eta=90\%$
Zemní plyn	37,8 MJ/m <sup>3</sup>	366	3904 m <sup>3</sup>	běžný plynový kotel $\eta=89\%$
Propan	46,4 MJ/kg	509	3181 kg	běžný plynový kotel $\eta=89\%$
Tepelné čerpadlo	-	239	12161 kWh	sazba D56d
Centrální zdroj tepla	-	357	134 GJ	dle dodavatele $\eta=98\%$
Elektřina		659	37231 kWh	Sazba D45d, kotel $\eta=98\%$

$$C_{EjS} = C_{Ej} \cdot \left(1 + \frac{k_i}{100}\right)^{-j} \quad [\text{Kč/GJ}] \quad (4.3)$$

kde

$C_{EjS}$  je současná cena energie v j-tém roce [Kč/GJ]

$k_i$  je koeficient míry inflace [%]

Pokud místo procentních koeficientů ( $k_I$ ,  $k_E$ ) použijeme absolutní hodnoty inflace a nárůstu cen ( $i$ ,  $z > 1$ ), můžeme zjednodušeně psát:

$$C_{EjS} = C_{ES} \cdot z^j \cdot i^{-j} \quad [\text{Kč/GJ}] \quad (4.4)$$

kde

$C_{ES}$  je současná cena energie [Kč/GJ]

$i$  je míra inflace [-]

$z$  je míra nárůstu cen energie [-]

Výpočet celkových nákladů na vytápění  $N_E$  po posuzovanou dobu je součet všech současných cen (4.4) v posuzovaném období.

$$N_E = \sum_{j=1}^n C_{EjS} = C_{ES} \cdot \sum_{j=1}^n z^j \cdot i^{-j} \quad (4.5)$$

kde

$C_{ES}$  je současná cena energie [Kč/GJ]

$z$  je předpokládaný roční nárůst ceny tepla [-]

$i$  je předpokládaná míra inflace [-]

$n$  je počet posuzovaných let [roky]

### 4.3 Návratnost investice

Návratnost investice vyjadřuje čistý zisk nebo čistou ztrátu, která se počítá vůči počáteční investici, roční uspoře, míře inflace.

Rovnice pro výpočet investice:

$$Investice = \sum_{i=0}^n r \cdot úspora \cdot (1 + d)^{-i} \quad [\text{Kč}] \quad (4.6)$$

kde

$d$  je inflace [%]

$n$  je návratnost [let]

### 4.3.1 Návratnost vzduchotechnické jednotky s rekuperací

Při použití VZT jednotky s rekuperací s účinností  $\eta=75\%$ , roční úspory jsou 23,24 [GJ], což je 6,462 [MWh].

Celková investice na VZT jednotku je přibližně 155 [tis. Kč].

Návratnost investice je 12 let, při míře inflace 2,5[%], pokud stále bude se používat elektrický kotel.

Tab. 4.2 Roční náklady na vytápění při výpočtové spotřebě 131,35 GJ s použitím VZT jednotky

Palivo	Výhřevnost	Cena[Kč/GJ]	Roční náklady na vytápění [Kč]	Roční náklady při použití VZT jednotky[Kč]
Hnědé uhlí	18 MJ/kg	192	25219,2	20757,12
Černé uhlí	23,1 MJ/kg	307	40324,45	33189,77
Koks	27,5 MJ/kg	381	50044,35	41189,91
Dřevo	14,6 MJ/kg	174	22854,9	18811,14
Dřevěné pelety	18,5 MJ/kg	273	35858,55	29514,03
Rostlinné pelety	16 MJ/kg	194	25481,9	20973,34
Zemní plyn	37,8 MJ/m <sup>3</sup>	366	48074,1	39568,26
Propan	46,4 MJ/kg	509	66857,15	55027,99
Tepelné čerpadlo	-	239	31392,65	25838,29
Centrální zdroj tepla	-	357	46891,95	38595,27
Elektřina		659	86559,65	71244,49

### 4.3.2 Možností vytápění a jejich návratnost

Vzhledem k tomu, že pro vytápění se používá elektrický kotel, pro všechna jiná paliva, kromě propanu, náklady zahrnují jenom instalace, kotel a příslušenství k němu. Pro propan investice zahrnují v sobě navíc cenu nadře na plyn, komunikace.

Kvůli tomu, že objekt se nachází v chatové zóně, v blízkost nejsou kotelny, proto vytápění z centrálního zdroje tepla pro nás odpadá. Také pro vytápění nemůžeme využít zemní plyn.

Tab. 4.3 Roční úspory při různých způsobech vytápění

Palivo	Výhřevnost	Cena[Kč/GJ]	Roční náklady na vytápění [Kč]	Roční úspory oproti kotle na elektřině
Hnědé uhlí	18 MJ/kg	192	25219,2	61340,45
Černé uhlí	23,1 MJ/kg	307	40324,45	46235,2
Koks	27,5 MJ/kg	381	50044,35	36515,3
Dřevo	14,6 MJ/kg	174	22854,9	63704,75
Dřevěné pelety	18,5 MJ/kg	273	35858,55	50701,1
Rostlinné pelety	16 MJ/kg	194	25481,9	61077
Zemní plyn	37,8 MJ/m <sup>3</sup>	366	48074,1	38485,55
Propan	46,4 MJ/kg	509	66857,15	19702,5
Tepelné čerpadlo	-	239	31392,65	55167
Centrální zdroj tepla	-	357	46891,95	39667,7
Elektřina	-	659	86559,65	0

Tab. 4.4 Investice pro různé druhy paliva a návratnost

Palivo	Investice[tis Kč]	Roční úspory oprotí kotlu na elektřině	Návratnost
Hnědé uhlí	52	61340,45	1
Černé uhlí	52	46235,2	2
Koks	43	36515,3	2
Dřevo	45	63704,75	1
Dřevěné pelety	54	50701,1	2
Rostlinné pelety	54	61077	1
Zemní plyn	-	-	-
Propan	144	19702,5	8
Tepelné čerpadlo	62	55167	2
Centrální zdroj tepla	-	-	-
Elektřina	-	-	-

Z Tab. 4.3 je vidět, že současně se používá nejdražší ze způsobu vytápění. Každý z jiných způsobu má velmi krátkou dobu návratností. Pro propan doba návratnosti 8 let, protože, oproti jiným palivům, je potřeba investovat více peněz. Ale jsou výhody oproti kotle na tvrdých palivách: nadře. Stáčí jen jednou v roce objednat dovoz plynů. Pro tvrdý paliva je potřeba cca jednou denně dodávat paliva do zásobníku.

## 5. Závěr

Snížení ztrát má nejen ekonomický smysl, ale také ekologický. Zdroje tepla, založené na principu spalování uhlí, kvůli vyčerpávání budou se zdražovat. Spalování uhlí, kvůli emise obsahujícím škodliviny značně škody okolnosti.

Pomocí instalace vzduchotechnické jednotky se da snížit tepelné ztráty na 21%, díky čemu se zmenší náklady na vytápění.

Celkovou spotřebu energie je možně snížit pomocí instalací vzduchotechnické jednotky s rekuperací, zesílením obvodové izolace, změnou způsobu vytápění, změnou technologii vytápění.

## 6. Seznam příloh

1) Stavebně technické řešení	Tech.řes.pdf
2) Výpočet tepelných ztrát, spotřeby energie	Ztraty_V.nb
3) Výpočet návratností	Navratnost.nb
4) Závislost větrání na teplotě	Vetrani(t).xls
5) Větrání s rekuperací	Rekup.xls

## 7. Seznam použité literatury

### Zdroje z internetu:

- [ 1 ] Budova a její vlastnosti ( <http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/3.htm> )
- [ 2 ] Zastoupení firmy Cortizo ( <http://www.alumit.cz/rekuperace/> )
- [ 3 ] Centrum pasivního domu ( <http://www.pasivnidomy.cz/vetrani-a-vytapeni/> )
- [ 4 ] Technická zařízení budov ( <http://www.tzb-info.cz/vytapeni> )
- [ 5 ] Nejvíce informací o stavebnictví v ČR ( <http://www.stavebnictvi3000.cz/> )
- [ 6 ] Slapy. Informace ( <http://www.slapy.cz/informace.html> )
- [ 7 ] Tepelný odpor ( <http://sp-teplo.ru/article/42> )
- [ 8 ] Firemní webové stránky ( [www.regulus.cz](http://www.regulus.cz), <http://viadrus.cz/>, <http://www.evo.cz/>... )

### Literatura:

- [ 9 ] Brož, K., 2002: *Vytápění*, skripta, Vydavatelství ČVUT, druhé vydání, Praha
- [ 10 ] Hradílek, Lázničková, Král, 2011: *Elektrotepelná technika*, Vydavatelství ČVUT, Praha.