

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

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**Vytápění a větrání rodinného domu
– varianty řešení**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

JIŘÍ ALBRECHT

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Ing. Vladimír Jelínek, CSc.

2017





ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


| | | |
|---|--------------------|-----------------------------|
| Příjmení: <u>Albrecht</u> | Jméno: <u>Jiří</u> | Osobní číslo: <u>423158</u> |
| Zadávací katedra: <u>Katedra technických zařízení budov</u> | | |
| Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u> | | |
| Studijní obor: <u>Konstrukce pozemních staveb</u> | | |

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

| | |
|--|--|
| Název bakalářské práce: <u>Vytápění a větrání rodinného domu - varianty řešení</u> | |
| Název bakalářské práce anglicky: <u>Heating and air conditioning of the house - variants</u> | |
| Pokyny pro vypracování: Varianty zdrojů a systémů vytápění a jejich ekonomické, ekologické a energetické hodnocení. Výpočet bilancí, návrh otopných ploch, systému a zdroje. Výkresy půdorysů a řezů. Schéma zapojení a půdorys zdroje. | |
| Seznam doporučené literatury: KABELE Karel. ;Technická zařízení budov: vytápění - podklady pro cvičení. 1. Petráš D.; Lukovičová O.; Bašta J.: Vytápění rodinných a bytových domů. Jelínek, Vytápění a chladicí systém budovy účinně a ekologicky | |
| Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>doc. Ing. Vladimír Jelínek, CSc.</u> | |
| Datum zadání bakalářské práce: <u>20.2.2017</u> | Termín odevzdání bakalářské práce: <u>28.5.2017</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i> |
|  Podpis vedoucího práce |  Podpis vedoucího katedry |

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

| | |
|--|--|
| <u>1.3.2017</u> Datum převzetí zadání |  Podpis studenta(ky) |
|--|--|

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

V Praze dne 28.4.2017

Poděkování:

Rád bych touto formou poděkoval vedoucímu bakalářské práce
Doc. Ing. Vladimíru Jelínkovi, CSc. za ochotnou pomoc při řešení a
vypracování bakalářské práce a své rodině za podporu ve studiu.

Obsah:

I – STUDIJNÍ ČÁST

1 ÚVOD

2 OBECNÉ STANOVENÍ VZTAHŮ PRO VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT

- 2.1 Stanovení součinitele prostupu tepla
- 2.2 Stanovení tepelné ztráty místnosti
- 2.3 Tepelné ztráty větráním
- 2.4 Celková tepelná ztráta objektu

3 NÁVRH A UMÍSTĚNÍ OTOPNÝCH TĚLES A PLOCH

- 3.1 Návrh otopných těles
- 3.2 Návrh otopných ploch
- 3.3 Otopné soustavy

4 STANOVENÍ A NÁVRH SYSTÉMU VĚTRÁNÍ

- 4.1 Stanovení požadavků větrání
- 4.2 Přirozené větrání
- 4.3 Nucené větrání
- 4.4 Hybridní větrání

5 NÁVRH KOTELNY

- 5.1 Výpočet přípravy teplé užitkové vody
- 5.2 Výpočet výkonu a počet kotlů pro přípravu TUV a vytápění
- 5.3 Větrání kotelny
- 5.4 Odvod spalin
- 5.5 Expanzní nádoba

6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

- 6.1 Pořizovací náklady
- 6.2 Denní náklady na vytápění
- 6.3 Celkové náklady na vytápění

7 ZÁVĚR

II – VÝPOČTOVÁ ČÁST

A – VARIANTA NORMOVÉHO ZATEPLENÍ S PŘIROZENÝM VĚTRÁNÍM

- Tepelné ztráty objektu
- Výpočet větrání
- Návrh otopných těles
- Návrh kotelny
- Tlakové ztráty okruhu
- Položkový rozpočet
- Technické listy

B – VARIANTA PASIVNÍHO ZATEPLENÍ S PŘIROZENÝM VĚTRÁNÍM

- Tepelné ztráty objektu
- Výpočet větrání
- Návrh otopných těles
- Návrh kotelny
- Tlakové ztráty okruhu
- Položkový rozpočet
- Technické listy

C – VARIANTA PASIVNÍHO ZATEPLENÍ S NUCENÝM VĚTRÁNÍM

- Tepelné ztráty objektu
- Tepelné zisky objektu
- Výpočet minimálního větrání
- Návrh větracích prvků
- HX diagramy pro letní a zimní návrhový stav
- Příklad návrhu podlahového vytápění
- Návrh otopných ploch
- Návrh kotelny
- Položkový rozpočet
- Technické listy

III – PROJEKTOVÁ ČÁST

TECHNICKÁ ZPRÁVA OBJEKTU

VÝKRESY

Varianta A

- Čv.1 Vytápění radiátory 1.NP (1:50)
- Čv.2 Vytápění radiátory 2.NP (1:50)
- Čv.3 Rozvinutý řez vytápění radiátory (1:50)
- Čv.4 Schéma kotelny (1:30)
- Čv.5 Větrání 1.NP (1:50)
- Čv.6 Větrání 2.NP (1:50)

Varianta B

- Čv.7 Vytápění radiátory 1.NP (1:50)
- Čv.8 Vytápění radiátory 2.NP (1:50)
- Čv.9 Rozvinutý řez vytápění radiátory (1:50)
- Čv.10 Schéma kotelny (1:30)

Varianta C

- Čv.11 Vytápění podlahové teplovodní 1.NP (1:50)
- Čv.12 Vytápění podlahové teplovodní 2.NP (1:50)
- Čv.13 Rozvinutý řez podlahovým topením (1:50)
- Čv.14 Schéma kotelny (1:30)
- Čv.15 Nucené větrání 1.NP (1:50)
- Čv.16 Nucené větrání 2.NP (1:50)

Anotace:

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem vytápění a větrání pro objekt rodinného domu, a to ve třech různých variantách. Varianta A je navržena jako normově zateplený objekt s přirozeným větráním a plynovým kotlem. Varianta B jako pasivně zateplený objekt s přirozeným větráním a elektrickým kotlem a Variantě C jako pasivně zateplený objekt s nuceným rovnotlakým větráním s rekuperací a tepelným čerpadlem. V závěrečném vyhodnocení je cenové porovnání variant z dlouhodobého pohledu užívání a zvolení cenově nejvýhodnější varianty.

Klíčová slova:

Vytápění, větrání, varianty, pasivní zateplení, normové zateplení.

Annotation:

This bachelor thesis deals with the design of heating and ventilation of a family house, in three different variants. Variant A is designed as a normal insulated natural-ventilated and gas boiler. Variant B as a passive insulation with natural ventilation and electric boiler and Variant C as a passively insulated object with forced ventilation with recuperation and a heat pump. The price comparison of variants from the long-term view of use and the selection of the most cost-effective option is discussed in the final evaluation.

Keywords:

Heating, air conditioning, variants, passive insulation, standard insulation.

ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je ve variantách zateplení navrhnout vytápění a větrání objektu rodinného domu, podle požadovaných a doporučených normových hodnot. Objekt je umístěn ve městě Hradec Králové. Jednotlivé varianty budou posouzeny a bude vyhodnocena cenově a uživatelsky nejvhodnější varianta pro daný rodinný dům.

Studijní část obsahuje především způsoby výpočtů, včetně jejich vzorců a způsobu popisů a vysvětlení, které byli při navrhování použity. Dále zde budou vypsány i případné předpoklady zjednodušující výpočet. Na konci studijní části je i celkové zhodnocení a porovnání variant a výběr té nejvýhodnější z hlediska ceny.

Ve výpočtové části jsou tyto vzorce použity v praxi pro jednotlivé varianty a jsou zde umístěny buď celé výpočty, nebo alespoň jejich příklad na konkrétním prvku. Veškeré výsledky jsou pak zaznamenány do celkových souhrnných tabulek pro každou variantu zvlášť. Dále zde jsou připojeny i důležité technické listy použitých prvků.

V poslední projektové části nalezneme technickou zprávu objektu, jeho původní půdorysy a řez a jejich modifikaci pro jednotlivé varianty vytápění a větrání.

2 OBECNÉ STANOVENÍ VZTAHŮ PRO VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT

Prvním a zároveň asi nejdůležitějším krokem je stanovení co nejpřesněji tepelné ztráty budovy. Tato hodnota je nejvíce ovlivněna velikostí objektu a složením jeho stavebních konstrukcí. A dále potom i lokalitou umístění nebo dispozičním řešením budovy. [1]

2.1 Stanovení součinitele prostupu tepla

Jako první hodnotu si musíme stanovit součinitel prostupu tepla, který závisí na venkovní a vnitřní teplotě, tepelném odporu jednotlivých materiálů a na jejich tloušťkách. Vypočítáme ho ze vztahů.

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$$

Kde: U – Součinitel prostupu tepla [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

R_{si} – Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R – Odpor konstrukce [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R_{se} – Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

U vícevrstvé konstrukce stanovíme celkový tepelný odpor pomocí sumy jednotlivých tlouštěk konstrukcí a jejich součiniteli prostupu tepla.

$$R = \sum \frac{d_i}{\lambda_i}$$

Kde: d_i – Tloušťka i -té vrstvy konstrukce [m]

λ_i – Součinitel tepelné vodivosti i -té vrstvy konstrukce [W/mK]

2.2 Stanovení tepelné ztráty místnosti

Tepelné ztráty jsou vypočítány pomocí normy ČSN EN 12 831 – tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu. Každá místnost musí být rozdělena na jednotlivé konstrukce s různými součiniteli prostupu tepla. Zjistíme celkovou plochu konstrukce z vnitřní strany místnosti a přenásobíme ji se součinitelem prostupu tepla konstrukce. Pro jednoduchost byl uvažován ustálený tepelný tok o pro venkovní návrhovou teplotou lokality Hradec Králové, která je dle normy stanovena na hodnotu -15°C .

Činitel tepelné ztráty se stanoví ze vztahu:

$$H_t = A_i * U_i$$

Kde: A_i - Plocha dané konstrukce [m^2]

U_i – Součinitel prostupu tepla dané konstrukce [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

Tepelná ztráta místnosti:

$$\phi_{pi} = \Delta t * \sum H_{ti}$$

Kde: ϕ_{pi} – Celková tepelná ztráta konstrukce prostupem [Q]
 H_{ti} – Činitel TZ z vytápěného prostoru do exteriéru [W/K]

Stanovení teplotního rozdílu:

$$\Delta t = t_i - t_n$$

Kde: Δt – Teplotní rozdíl mezi vnitřní a vnější stranou konstrukce [K]
 t_i – Teplota na vnitřní straně konstrukce [K]
 t_n – Teplota na vnější straně konstrukce [K]

2.3 Tepelné ztráty větráním

Pro zajištění dobrého prostředí je také třeba přivádět do místností čerstvý vzduch, a naopak odvádět znečištěný, to sebou bohužel nese i úskalí ve formě tepelných ztrát pro zimní období a tepelných zisků pro letní období. V našem případě je pro větrání uvažována doporučená hodnota 0,5 intenzity výměny vzduchu podle ČSN EN 15 665/Z1 – Větrání obytných budov. Pro stanovení ztráty dále potřebujeme objem místnosti a vnitřní a venkovní teploty pro uvažované (v našem případě zimní) období.

$$\phi_{vi} = V * n * (t_i - t_e)$$

Kde: ϕ_{vi} - Celková tepelná ztráta konstrukce větráním [Q]
 V – Objem místnosti [m³]
 n – Intenzita větrání [-]
 t_i – Teplota interiéru [K]
 t_e – Teplota exteriéru [K]

2.4 Celková tepelná ztráta objektu

Jedná se o součet veškerých tepelných ztrát prostupem a větráním. V našem případě jsme prostup tepla vlivem tepelných mostů zanedbali.

$$\phi_i = \sum (\phi_{pi} + \phi_{vi})$$

3 NÁVRH A UMÍSTĚNÍ OTOPNÝCH TĚLES A PLOCH

3.1 Návrh otopných těles

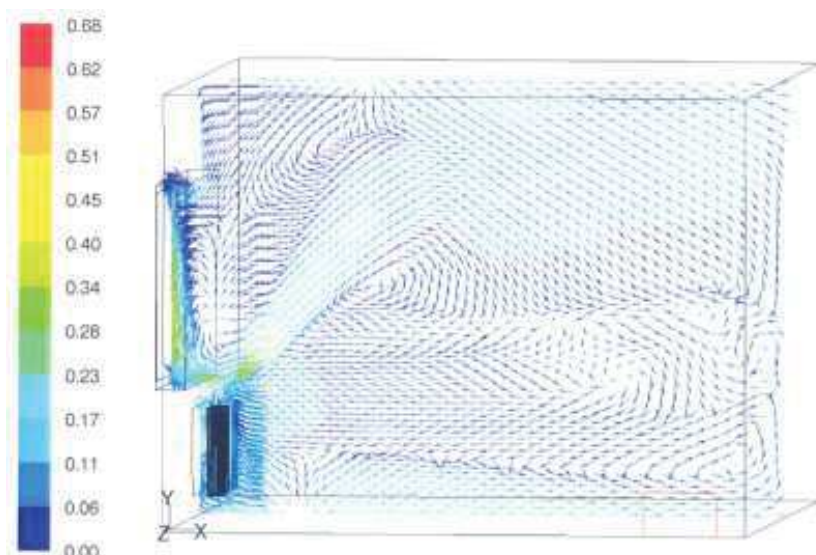
Otopná tělesa jsou koncovým prvkem vytápěcího systému. Navrhují se na vypočítanou tepelnou ztrátu jednotlivých místnosti, podle jejich výkonu, který udává výrobce podle námi zvoleného teplotního spádu. Tělesa se vždy snažíme navrhnout tak, aby byla přibližně stejná jako šířka okna, pod které ji umístíme, zabráníme tak proudění studeného vzduchu do pobytové části místnosti [obr 3.1.1].

Otopná tělesa rozdělujeme na:

- Desková

- Článeková
- Trubková
- Konvertory

V našem případě jsme pro variantu A a variantu B navrhovali desková a trubková topná tělesa od firmy KORÁDO na teplotní spád 70/55 °C. Navrhovaná tělesa jsou v mírném přesahu s výslednou celkovou ztrátou budovy, aby šla budova vytopit i při extrémně nízkých venkovních teplotách, a aby se pokryli i místnosti, do kterých nebylo topení navrženo z důvodu malých tepelných ztrát. [2]



[obr 3.1.1 – proudění vzduchu při OT umístěném pod oknem]

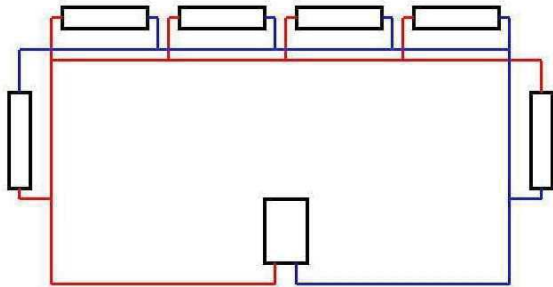
3.2 Návrh otopných ploch

Otopnými plochami se v našem případě rozumí teplovodní podlahové topení, které bylo řešeno ve variantě C. Podlahové topení na rozdíl od otopných těles, pracuje s velkou otopnou plochou, a může si tedy dovolit menší teplotní spády při zachování jejich otopném výkonu. Topný výkon ovlivňuje, mimo jiné i rozteč trubek, která společně s plochou místnosti má vliv i na délku uloženého potrubí, to se musí pro místnost pokládat jako jeden celek, nebo je možné místnost rozdělit na dva samostatné okruhy připojené na rozdělovač a sběrač. Podlahové topení se zalívá betonovou směsí do roznášecí vrstvy podlahy každé místnosti zvlášť a je ovládáno na patře pomocí rozdělovače a sběrače, kterými lze regulovat jednotlivé okruhy nebo je i úplně uzavřít. Výpočet podlahového vytápění byl proveden pomocí návodu na serveru vytapeni.tzb-info.cz a jeho ukázkou pro jednu otopnou plochu nalezneme ve výpočtové části varianty C.

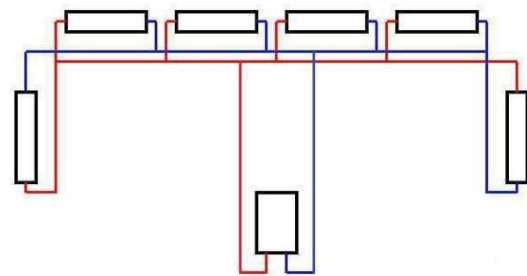
3.3 Otopné soustavy

Na zvolení vhodného typu otopné soustavy má vliv několik faktorů. Například účel objektu (obytná budova, občanská vybavenost, průmysl, sportovní stavby) a způsob jeho provozu (přerušovaný, nepřetržitý), Konstrukce budovy z hlediska tepelně technických vlastností, konstrukce budovy z hlediska uložení potrubí (připravené plochy v předstěnách, podhledech nebo šachtách) a v neposlední řadě i typ a rozmístění otopných těles a ploch. Po zohlednění všech faktorů jsem se rozhodl pro

nucený oběh zajištěný vodím čerpadlem umístěným v kotelně s dvoutrubkovou soustavou a horizontálním připojením k tělesům. Původně jsem pracoval s možností protiproudého zapojení, jednoduchý princip, kdy vede ke každému otopnému tělesu přívod i odvod teplé vody z hlavní větve [obr. 3.3.1]. Po hrubých výpočtech jsem ale část domu předělal na souproudé, takzvané Tichelmannovo zapojení [obr. 3.3.2]. Jeho obrovskou výhodou jsou téměř stejné tlakové ztráty což velice zjednodušuje výpočty.



[obr. 3.3.1 – souproudé zapojení]



[obr.3.3.2 – Tichelmannovo zapojení]

4 STANOVENÍ A NÁVRH SYSTÉMU VĚTRÁNÍ

4.1 Stanovení požadavků na větrání

Požadavkům na větrání obytných budov se v naší zemi věnuje ČSN EN 15 665/Z1 – Větrání budov. Podle jejích požadavků se obytné prostory požaduje minimální intenzita větrání $0,3 \text{ h}^{-1}$, pro místnosti jako jsou obývací pokoje, ložnice nebo pokoje. Pro vyšší kvalitu vnitřního prostředí ale norma doporučuje hodnotu $0,5-0,7 \text{ h}^{-1}$. Pro objekty, které nejsou trvale užívány (chaty) může být tato intenzita v době neužívání objektu snížena až na $0,1 \text{ h}^{-1}$.

Intenzitou větrání se rozumí procentuální hodnota, kolikrát se za jednu hodinu vymění veškerý vzduch obsažen v objemu místnosti. Získáme ji výpočtem ze vzorce:

$$I = \frac{V_e}{O}$$

V_e – Objemový průtok venkovního vzduchu [m^3/h]

O – Objem vnitřního větraného prostoru [m^3]

Často se intenzita větrání zaměňuje s intenzitou výměny vzduchu. Ta ale na rozdíl od větrání čerstvým vzduchem počítá i se vzduchem cirkulačním, který do přiváděného vzduchu přimícháváme, abychom trochu zvýšili teplotu přiváděného vzduchu.

Stejně jako přivádět čerstvý vzduch je nutné z místnosti odvádět i vzduch znehodnocený. Příčinou znehodnocení bývá prach, vlhkost, spotřeba kyslíku nebo i škodlivé látky uvolňující se do objektu. Samotný odvod vzduchu se doporučuje umísťovat do hygienických zázemí, jakými jsou kuchyně, koupelny a záchody. Norma dále stanovuje i jednotlivé minimální a doporučené průtoky vzduchu uvedené v tabulce 4.1.1 [4]

[tab. 4.1.1 – požadavky na odvod vzduchu]

| Požadavek | Průtok odsávaného vzduchu | | |
|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| | Kuchyně [m ³ /h] | Koupelny [m ³ /h] | WC [m ³ /h] |
| Minimální hodnota | 100 | 50 | 25 |
| Doporučená hodnota | 150 | 90 | 50 |

4.2 Přirozené větrání

V dnešních dobách, kdy se do domu instalují těsná okna a vstupní dveře již nemůžeme počítat s přirozenou výměnou vzduchu pomocí okenních spár. Z toho důvodu jsou doporučené systémy výměny vzduchu, který jsou:

- větrací štěrby integrované do okenních rámců
- specifické prostupy v obvodových stěnách
- větrací jednotka

V našem případě jsme pro varianty A a B zvolili prostupy v obvodových stěnách umístěné vždy za otopným tělesem. Aby byl vstupující čerstvý vzduch ihned ohříván a nerušil tak tepelnou pohodu v místnosti.

4.3 Nucené větrání

V případě, že vzduch vháníme nebo naopak odvádíme z objektu násilím (nějakým ventilátorem) a nečiníme tak jen nárazově, ale stále, hovoříme o nuceném větrání. Tento typ větrání rozdělujeme do tří skupin.

Přetlakové – přivádíme čerstvý vzduch a odpadní necháváme unikat samovolně

Podtlakové – odvádíme nuceně odpadní vzduch a čerstvý necháme vnikat samovolně

Rovnotlaké – přivádíme stejné množství vzduchu jaké i odvádíme

Výhodou nuceného větrání oproti přirozenému je ovladatelnost množství odváděného a přiváděného vzduchu a možnost zpětného získávání tepla pomocí rekuperační jednotky, které využívá odpadní vzduch k predehřátí přiváděného vzduchu bez jejich promísení.

Nevýhodou však jsou vyšší pořizovací náklady a nutná údržba systému, jako je třeba výměna filtrů nebo ventilátoru na konci jejich životnosti. Právě díky filtrům můžeme přiváděný vzduch považovat za kvalitnější oproti přirozenému větrání ovšem při jejich nedostatečné údržbě se tento bonus může stát lehce nevýhodou, protože neudržovaný filtr může vzduch naopak znehodnocovat. [5]

Pro náš případ jsme do varianty C navrhli nucené větrání rovnotlaké s rekuperací, jejíž účinnost výrobce stanovoval na 85 %. Do výpočtu jsem se přiklonil na stranu

bezpečnosti a uvažoval rekuperaci pouze 60 %, což bude mít za následek lehké předimenzování otopných ploch, které jsou v této variantě navrženy.

4.4 Hybridní větrání

Speciální způsob větrání, který kombinuje výhody jak nuceného, tak přirozeného větrání. Jedná se o inteligentní systém, který upřednostňuje přirozené větrání, jsou-li pro něj vhodné podmínky a díky tomu je schopen minimalizovat náklady na spotřebu energie a zároveň nijak neovlivnit jinou složku vnitřního prostředí (například tepelnou pohodu). Nezbytnou součástí systému je řídicí systém, který na základě aktuálních požadavků (koncentrace CO₂) nastavuje provozní režim budovy. Požadavky na návrh větracího zařízení z hlediska průtoku vzduchu jsou shodné, jako u nuceného podtlakového větrání. [5]

5 NÁVRH KOTELNY

5.1 Výpočet přípravy teplé užitkové vody

Pro stanovení potřebného množství teplé užitkové vody jsme uvažovali 40 litrů pro osobu na den, což odpovídá při provozu našeho rodinného domu užívaného čtyřmi členy na 0,16 m³/den.

Máme-li množství teplé užitkové vody můžeme dopočítat množství tepla nutné k jejímu ohřevu, a to ze vztahu:

$$E_{2t} = V_{2p} * \rho * c * (t_2 - t_1)$$

Kde: E_{2t} – Teoretické teplo pro ohřátí množství V_{2p} [Wh/den]

V_{2p} – Potřeba teplé užitkové vody za den [l/osden]

ρ – Hustota vody (1000 kg/m³)

c – Měrná tepelná kapacita vody (4182 J/kgK = Wh/kgK)

t_2 – Teplota teplé vody (55 °C)

t_1 – Teplota studené vody (10 °C)

Do ohřevu musíme započítat i teplo ztracené při ohřevu a dopravě teplé užitkové vody pro zjednodušení jsme tuto ztrátu připočítali pomocí vzorce:

$$E_{2z} = E_{2t} * z$$

Kde: E_{2z} – Teplo ztracené při ohřevu a dopravě teplé užitkové vody [Wh/den]

z – ztráta tepla při ohřevu (0,5)

Celkovou spotřebu tepla na ohřátí teplé užitkové vody získáme součtem obou veličin.

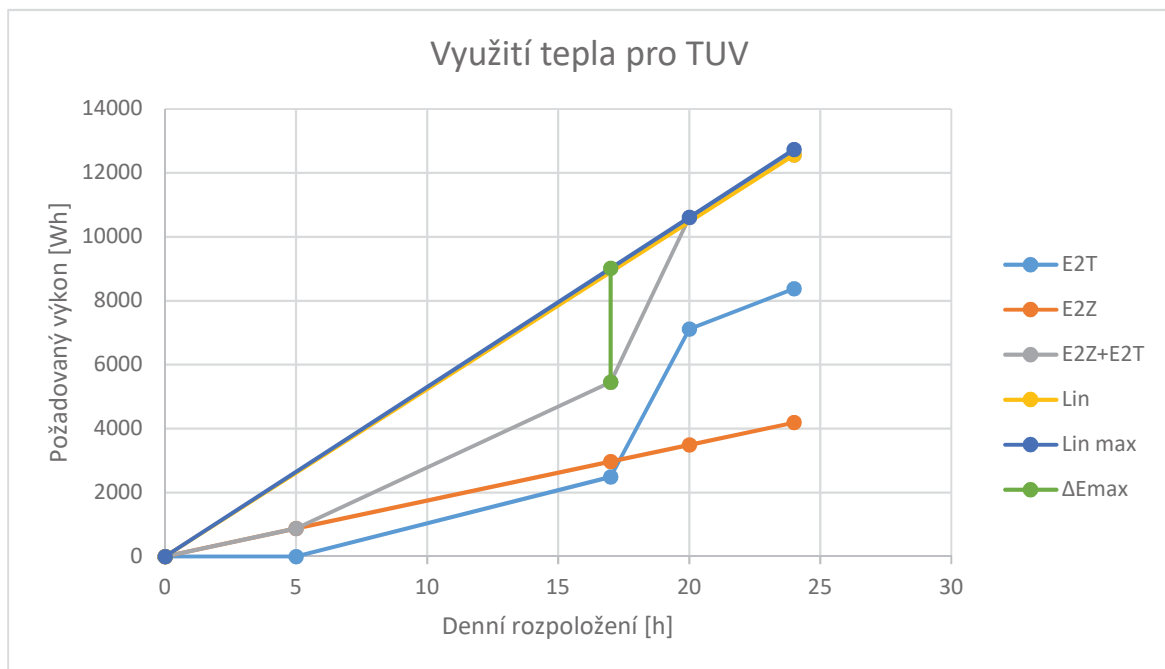
$$E_{2p} = E_{2t} + E_{2z}$$

Výsledné teplo jsem rozdělil do grafu (5.1.1) podle předpokládaného denního cyklu spotřeby teplé užitkové vody a na největší rozdíl energie mezi spotřebou a odběrem (E_{max}) jsem použil do vzorce pro stanovení velikosti zásobníku na teplou užitkovou vodu [2]:

$$V_z = \frac{E_{max}}{\rho * c * (t_2 - t_1)}$$

Kde: V_z - Velikost zásobníku [m³]

E_{max} – Maximální rozdíl mezi dodávkou a spotřebou tepla grafu (5.1.1 denní spotřeby TUV [Wh]



(5.1.1 -Graf vyžití tepla pro přípravu teplé užitkové vody)

5.2 Výpočet výkonu a počet kotlů pro ohřev TUV a vytápění

Nejdříve stanovíme výkon potřebný pro vytápění, který se bude rovnat tepelné ztrátě budovy:

$$Q_{VYT,h} = Q_c$$

Kde: $Q_{VYT,h}$ - Hodinová spotřeba tepla na vytápění [Wh/h]

Q_c – Tepelná ztráta objektu [W]

Pro výpočet výkonu pro přípravu teplé užitkové vody využijeme denní potřebu tepla (E_{2p}) a převedeme ji na hodinovou spotřebu (uvažujeme kontinuální ohřev):

$$Q_{TV,h} = \frac{E_{2p}}{24}$$

Kde: $Q_{TV,h}$ - Hodinová spotřeba tepla na ohřev teplé užitkové vody [Wh/h]

E_{2p} - Potřeba tepla odebraného z ohříváče [Wh]

Jako poslední část výkonu kotle se uvažuje spotřeba tepla na úpravu vzduchu ve vzduchotechnické jednotce. V našem případě však žádnou variantou vzduch neohříváme jinak, než zpětným získáváním tepla a proto se tato hodnota v našich výpočtech rovná nule.

Celkovou potřebu tepla [W] pak stanovíme větší hodnotou ze vzorců:

$$Q_{PRIP,1} = 0,7 * Q_{VYT,h} + 0,7 * Q_{VET,h} + Q_{TV,h}$$

$$Q_{PRIP,2} = Q_{VYT,h} + Q_{VET,h}$$

Na tuto hodnotu pak navrhujeme množství a výkon kotlů tak, aby součet výkonu kotlů byl větší než celková potřeba tepla. [2]

5.3 Větrání kotelny

Po stanovení kotlů je nutné zajistit dostatečný přívod čerstvého vzduchu pro správnou funkčnost kotlů (toto není nutné při návrhu elektrických kotlů nebo tepelných čerpadel) a pro možnost zajištění dostatečného vzduchu pro pohyb osob. [2]

Přívod vzduchu pro spalování stanovíme jednoduše ze vzorce:

$$V_s = B_H * V_{Sl}$$

Kde: V_s – Přívod vzduchu pro spalování [m^3/h]

B_H – Hodinová spotřeba paliva [m^3/h]

V_{Sl} – Skutečné množství vzduchu pro spalování [m^3/m^3]

Minimální množství vzduchu V_i na odvod škodlivin:

$$V_i = i * O$$

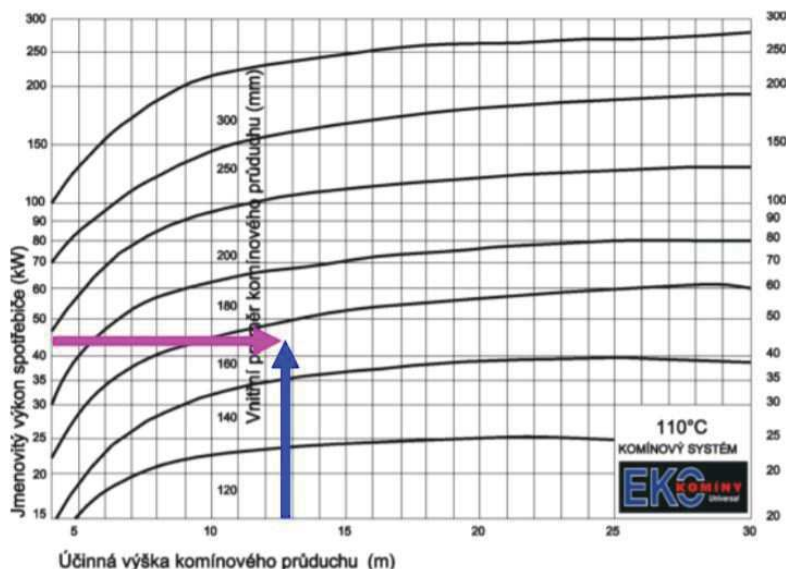
Kde: V_i – Množství vzduchu pro odvod škodlivin [m^3/h]

i – Doporučená intenzita větrání kotelny (0,5 1/h)

O – Vnitřní objem větracího prostoru kotelny [m^3]

5.4 Odvod spalin

Odvod spalin je nutný u kotlů na pevná, kapalná a plynná paliva. Průměr komínu se navrhuje pomocí grafu (5.4.1) podle předpokládané teploty spalin, která je uvedena v technických listech kotle, jmenovitěho výkonu spotřebiče a předpokládané výšky komína.

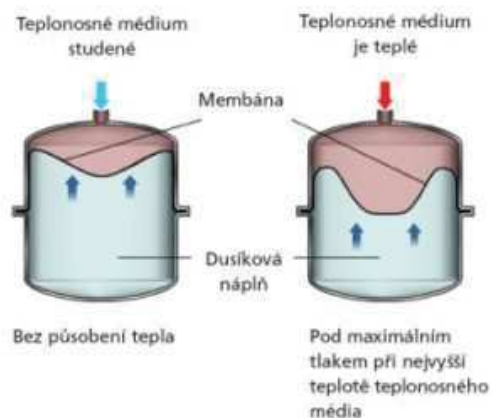


(5.4.1 -příklad grafu pro stanovení průměru komínového průduchu)

5.5 Expanzní nádoba

Voda, kterou používáme jako médium pro přenos tepla, má jako velkou negativní vlastnost změnu objemu v závislosti na teplotě. Při změně objemu vody v soustavě dochází i ke změně tlaků. Aby k těmto změnám tlaků nedocházelo, navrhuje se do objektu expanzní nádoby, které můžeme dělit na:

- Otevřené
K vyrovnávání tlaku slouží nádoba spojená s atmosférou a voda se může rozpínat do prostoru nádoby, ta se umísťuje nad celou otopnou soustavu pod střechu a musí se chránit proti zamrznání. Z této nádoby se však může volně odpařovat voda, takže se musí pravidelně do systému dopouštět. Také se do systému může dostat rozpuštěný kyslík a způsobovat korozi potrubí. Zároveň jsme pak omezeni maximální teplotou vody na 95 °C, aby nám nevznikala pára, která by mohla volně uniknout.
- Uzavřené (obr 5.5.1)
Vyrovnávání tlaků zajišťuje stlačitelný plyn v uzavřené nádobě, na který přes neprodyšnou blánu působí tlakem voda ze soustavy. Změnou stlačením plynu se zvětší prostor pro vodu a poklesne tlak v otopném systému.



(5.5.1 – princip uzavřené expanzní nádoby [6])

6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

6.1 Pořizovací náklady

Pořizovací náklady byly ohodnoceny pomocí rozpočtového programu KROS. Byl do nich zahrnutý veškerý materiál, montáže, přesuny a pracovníci potřební pro skutečné provedení prací. Nejedná se o celý rozpočet nákladů, ale pouze o náklady lišící se pro jednotlivé varianty z důvodu jejich porovnávání. Rozpočet byl pro přehlednost rozdělen do tří částí.

Část stavební, kde byla započítána tepelná izolace fasády střechy a podlahy. Ve variantě C se zde zahrnuje i navýšení objektu o výšku dvou podhledů o celkovém rozměru 300 milimetrů a s nimi přidružené práce jako jsou například lešení nebo omítky. Také zde byly zahrnuty výplně otvorů fasády.

Druhá část se věnovala vytápění a byly zde ohodnoceny dodávky a montáže rozvodu potrubí. Dle varianty zadaný kotel, popřípadě komín. Navržené otopné plochy nebo otopná tělesa i jejich armatury. Zařízení kotelný, kromě komínu a kotle uvažováno nebylo, jelikož bylo obdobné u všech variant.

Ve třetí části byly zařazeny vzduchotechnické rozvody, jednotky a ventilátory. Pro finální cenové zhodnocení se však tato varianta neuvažovala, z důvodu přílišných rozdílných vlastností vzduchotechniky z pohledu regulace a ovládání systému.

Výsledné sečtené ceny jsou uvedeny v rekapitulacích i se sazbou DPH, která pro výstavbu rodinných domů činí 15 %.

6.2 Denní náklady na vytápění

Pomocí spotřeby paliva a průměrné ceny za palivo nebo zdroj energie jsem si vypočítal průměrnou cenu za 1 kW energie dodané na den, která mi vyšla:

- Cena za 1 kW energie z plynového kotle na den + 24,5 Kč/den
- Cena za 1 kW energie z elektrického kotle na den + 34,8 Kč/den

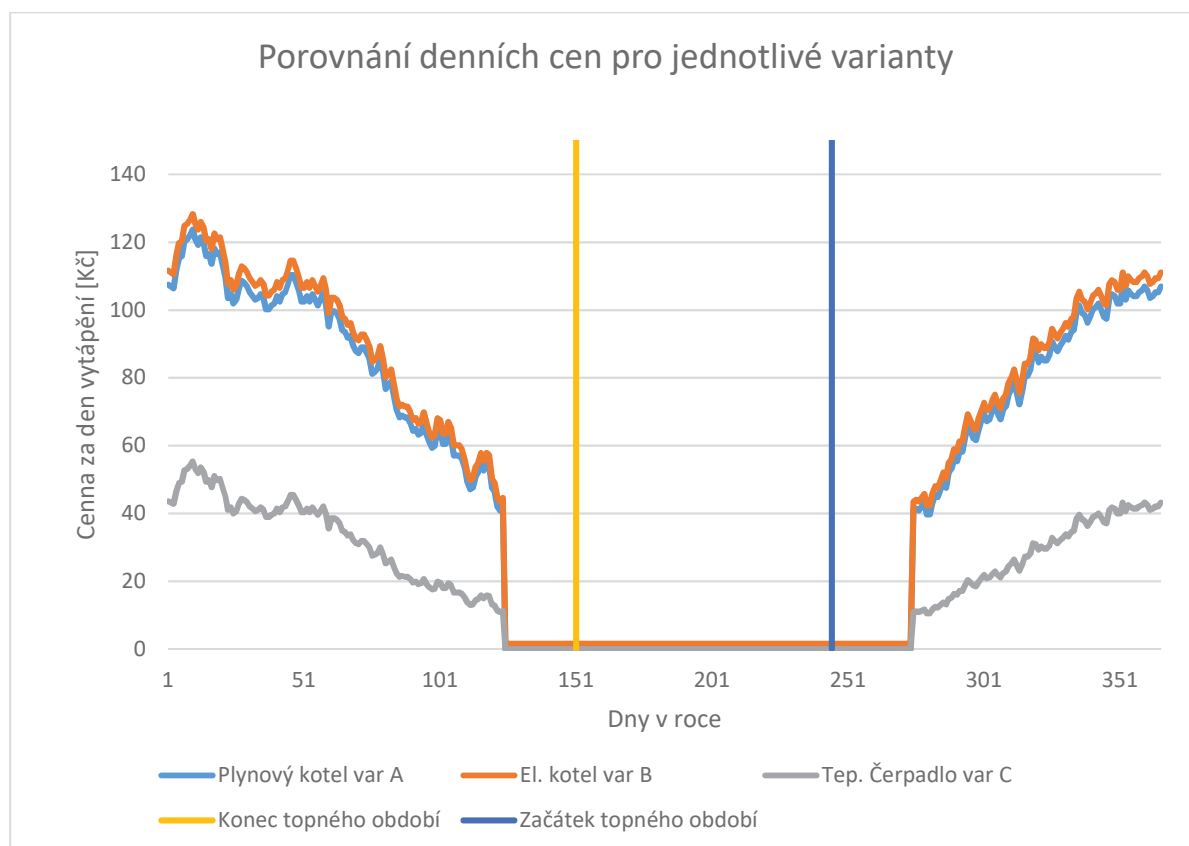
Pro tepelné čerpadlo jsem toto udělat nemohl z důvodu, že účinnost čerpadla se s teplotou mění. Kvůli tomu jsem pro každý den podle průměrné teploty interpoloval

mezi účinnostmi známou z technického listu výrobce (uvedena v tab. 6.2.1) a dopočítával pro ni spotřebu energie a její cenové ohodnocení pro cenu elektrické energie 2,81kWh, tato cena je pouze orientační, záleží na dodavateli a místě odběru.

| Tep. Čerpadlo doplňované plynovým kotlem | | | |
|--|-----------|------|-----------|
| Exter. Teplota [°C] | Tep. spád | COP | Max výkon |
| 7 | 7/35 | 4,88 | 5 |
| 2 | 2/35 | 4,02 | 4 |
| -7 | -7/35 | 2,89 | 2,2 |

(tab. 6.2.1 – účinnost tepelného čerpadla při různých teplotách)

Ke konkrétním hodnotám uvedeným v grafu 6.2.2 sem dospěl pokrytím tepelných ztrát pro každý den topného období. Pro jednoduchost sem uvažoval vytápění pouze ve dny, při kterých průměrná teplota [7] klesla pod 13 °C ve dvou dnech po sobě jdoucích. A naopak jsem ukončil vytápění po dvou dnech po sobě jdoucích, při kterých byla průměrná teplota větší než 13°C.



(graf 6.2.2 – denní porovnání cen za provoz různých variant v průměrných ročních teplotách)

Z grafu je patrné, že nejhůře vychází vytápění elektrinou. Naproti tomu tepelné čerpadlo je 2x až 4x levnější než elektrina, podle topného faktoru čerpadla v závislosti na venkovních teplotách. Nemalou částí k tomu přispívá i rekuperační jednotka, které je ve variantě čerpadla zahrnuta. Plynový kotel je těsně pod elektrickým kotlem, ale

musíme si uvědomit, že kvůli nízkému zateplení varianty A musí plynový kotel pokrývat mnohem větší ztráty než zbylé dvě varianty.

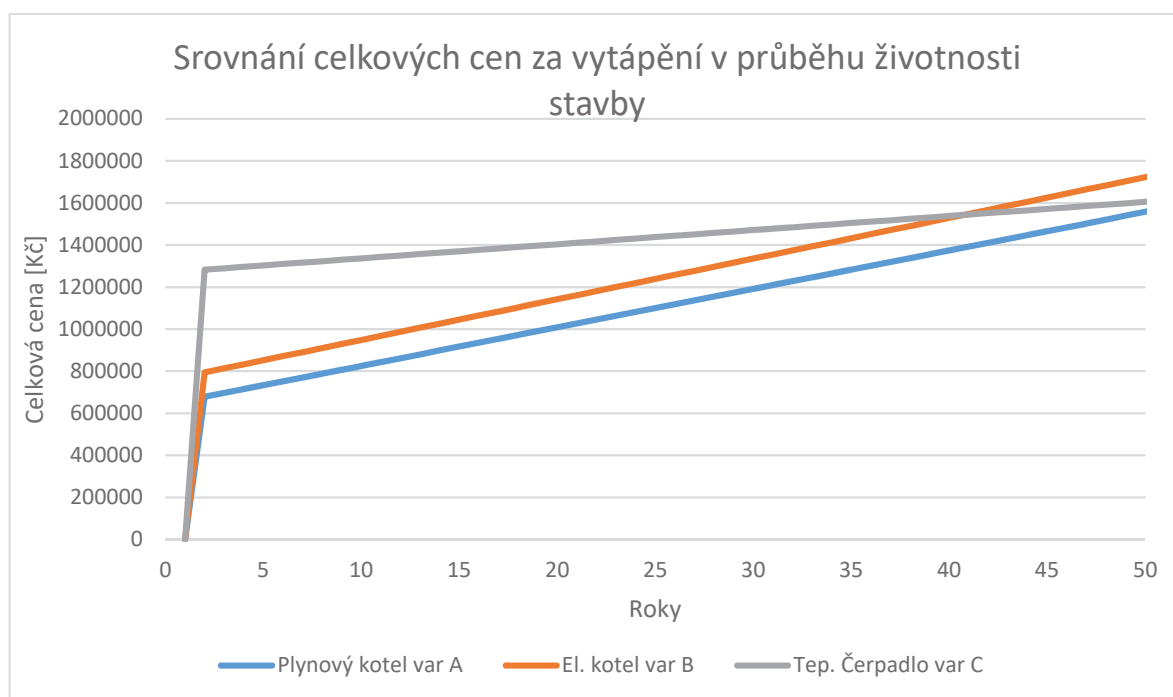
Celkové ceny a průměrné roční tepelné ztráty nalezneme v tabulce 6.2.3.

| Varianta | Popis varianty | Množství dodaného tepla za rok [kW/rok] | Cena za vytápění za rok [Kč/rok] |
|------------|---|---|----------------------------------|
| Varianta A | Normové zateplení s plynovým kotlem | 834 | 18309 |
| Varianta B | Pasivní zateplení s elektrokotlem | 600 | 19338 |
| Varianta C | Pasivní zateplení s rekuperací a tepel. čerpadlem | 474 | 6720 |

(tabulka 6.2.3 – cenové porovnání za roční dodané teplo)

6.3 Celkové náklady na vytápění

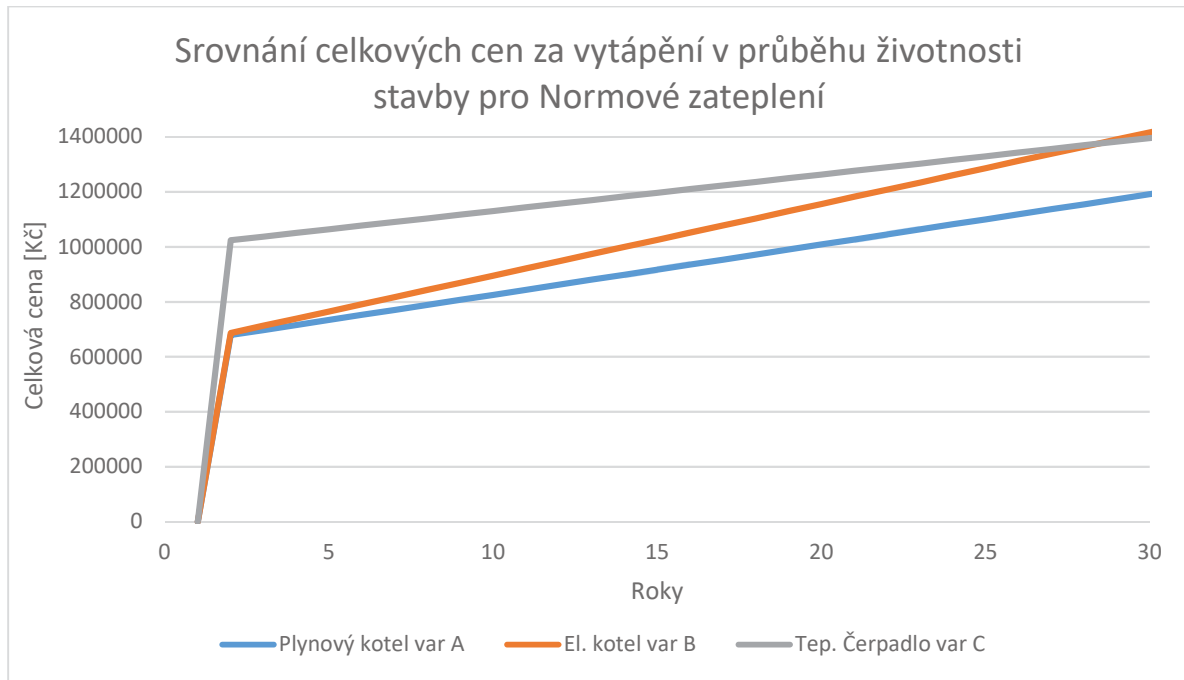
Výsledné porovnání sem udělal sečtením pořizovacích nákladů za zateplení a vytápění. A připočítání ročních nákladů na vytápění. Výsledky nalezneme v grafu 6.3.1.



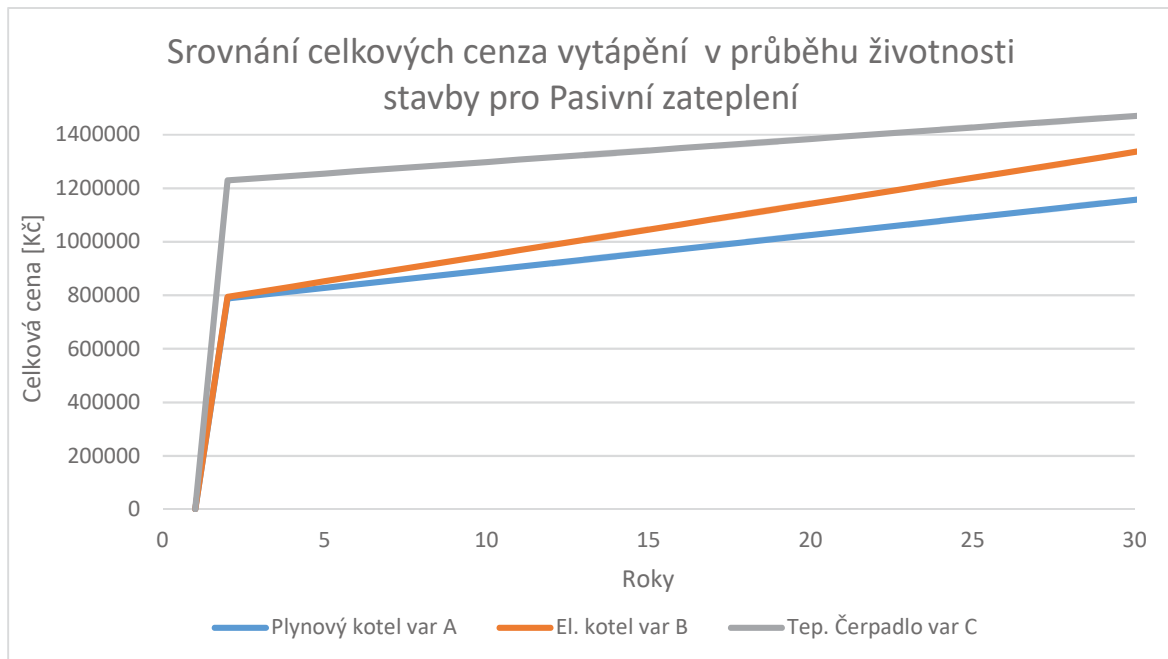
(6.3.1 – srovnání celkových cen za vytápění v průběhu životnosti stavby)

Po srovnání všech tří variant je patrné, že nejvýhodnější z variant je plynový kotel bez zateplení, a to díky svým nízkým pořizovacím nákladům. Překvapivě tepelné čerpadlo i přes své velice nízké náklady na provoz se z důvodu vysokých pořizovacích nákladů oproti variantě B vyplatí až 39. rok funkčnosti a oproti variantě A je to až 53. rok.

Z vypočítaných dat jsem zkoušel porovnávat jednotlivé varianty zateplení s variantami vytápění za účelem získat nejvýhodnější kombinaci. Ceny za vytápění jsem lehce upravil o cenu kotlů, případně o nutnost komínu. Otopná tělesa jsem pro variantu s elektrickými a plynovými radiátory nechal navržené podle tepelných ztrát. Pro variantu podlahového topení s tepelným čerpadlem v normovém zateplení jsem cenu neměl stanovenou, použil jsem proto stejnou, jako u pasivního zateplení (skutečná cena bude oproti uvažované o něco vyšší). Výsledkem jsou grafy č.6.3.2 a 6.3.3.



(graf 6.3.2 – cenové porovnání různých kotlu pro normové zateplení objektu)



(graf 6.3.3 – cenové porovnání různých kotlu pro pasivní zateplení objektu)

Z výsledného srovnání obou grafů vidíme, že nejvýhodnější je zase plynový kotel, ale tentokrát pro pasivní zateplení, který vychází levněji, než plynový kotel při normovém zateplení od 23. roku provozu. Zajímavé také je, že v grafu 6.3.2 tepelné čerpadlo stoupá strměji vzhůru oproti elektrice nebo plynu, než ve grafu 6.3.3 příčinou je nedostatečný výkon čerpadla při nižších a musí se zapínat záložní zdroj, kterým je v našem případě plynový kotel a ten, jak víme z grafu 6.2.2 má cenu za provoz mnohonásobně vyšší.

7 ZÁVĚR

Cílem práce bylo vypracování variant řešení vytápění a větrání rodinného domu umístěného poblíž Hradce Králové. Po jejich cenovém ohodnocení a porovnání vychází jako nejefektivnější varianta A normově zateplený dům s otopnými tělesy a plynovým kotlem.

Ze získaných dat se dala předpovědět ještě o něco úspornější varianta, a to pasivně zateplený dům s otopnými tělesy a s plynovým kotlem. Cenový rozdíl této varianty a posuzované varianty A, však není příliš vysoký a předpokládaná doba zvratu, kdy pořizovací náklady zaizolované varianty jsou vyrovnány nízkou provozní cenou vychází až na dvacátý třetí rok užívání stavby.

[1] ČUPROVÁ, Danuše. Tepelná technika budov: Modul 02: Ustálený teplotní stav. Brno: Vysoké učení technické v Brně: Fakulta stavební, 2006, 71 s.

[2] Prof. Ing. Kabele, CSc. a kolektiv, TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV Vytápění – podklady pro cvičení

[3] Bašta, J.: Otopné plochy. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2001. - 328 s. ISBN 80-01-02365-6.

[4] ČSN EN 15665 Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov. Úřad pro normalizaci, měření a státní zkušebnictví. Praha 2009.

[5] <http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/8239-pozadavky-na-vetrani-obytnych-budov-dle-csn-en-15-665-z1>

[6] <http://medenerozvody.cz/kombinace-medi-oceli-v-instalacich-topeni>

[7] <http://www.treking.cz/sluzby/predpoved-pocasi-prumerne-teploty.htm>