Semestrální Práce

Ekonomické porovnání dvou alternativ vytápění a ohřevu TUV v rodinném domku

Předmět: **X16EKE**

Vypracovali: 1) **Jan Skalický**
2) **Olga Surzhikova**
3) **Dang Ngoc Trang**

Datum: 18. 12. 2007

Zadání

Proveďte technicko - ekonomické hodnocení vytápění a ohřevu TUV v rodinném domku

a. tepelným čerpadlem (vzduch - voda)
b. zemním plynem.

Při ekonomickém hodnocení, uvažujte i ostatní spotřebu energie pro domácnost.
Rodinný domek se nachází v Karlových Varech, je situován v ulici mezi zástavbou. Okna jsou v objektu dřevěná (k=l,4 W/m^{2}K), vchodové dveře jsou také ze dřeva. V době budou bydlet 4 osoby. Obvodové zdivo je postaveno z cihelných bloků Porotherm 36,5 P+D a zatepleno polystyrenem o tloušťce 10 cm. Podlahy v přízemí jsou izolovány polystyrenem o tloušťce 8 cm. Podlahy v přízemí jsou v pokojích a v kuchyni plovouci. V ostatních místnostech je dlažba. Podlahy v 1. patře jsou izolovány minerální vlnou Orsil o tloušťce 2 cm. Podlahy v l.patře jsou v pokojích plovoucí, na chodbě a v koupelně je položena dlažba. Strop v l.patře je zateplen minerální vlnou Orsil o tloušťce 18cm. Střecha bude zateplena minerální vlnou Orsil o tloušťce 18cm. Pro zjednodušení uvažujte sedlovou střechu.

1. Pro zadaný objekt popište tepelně technické vlastnosti
2. Vypočítejte tepelné ztráty objektu
3. Stanovte potřeby tepla a množství TUV
4. Proveďte ekonomické hodnocení obou alternativ vytápění
5. Proveďte citlivostní analýzu

Obsah

1. Tepelně technické vlastnosti....4
1.1 Tepelná izolace obecně....4
1.2 Tepelně namáhané části objektu....4
1.3 Podlaha, strop a větrání....5
2. Výpočet tepelných ztrát objektu....6
2.1 Popis výpočtu....6
2.2 Výsledky a tabulka výpočtu....7
3. Potřeba tepla....9
3.1 Potřeba tepla na vytápění....9
3.2 Ohřev teplé vody....10
3.3 Potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV....11
4. Ekonomické hodnocení....13
4.1 Topná zařízení....13
4.2 Účtování plynu a elektřiny....13
4.3 Výsledky a tabulka výpočtu....14
5. Citlivostní analýza....18
5.1 Interpretace výsledků....18
6. Závěr....23
7. Zdroje....24

1 Tepelně technické vlastnosti

1.1 Tepelná izolace obecně

Cílem tepelné izolace je minimalizovat spotřebu energie na vytápění. Přirozená tendence tepla je unikat do prostředí s nižší teplotou. Tepelná izolace klade odpor prostupu tepla skrz stěny objektu a zamezuje kondenzaci vodní páry ve stavebních konstrukcích. Z ekonomického hlediska je vydání do tepelné izolace jednorázové a dlouhodobě poskytuje ušetření na množství tepla potřebného k vytápění. Tepelná izolace tedy zajišťuje kromě tepelné pohody bydlení a ochrany před vlhkem také úsporu nákladů.

Česká republika se dělí dle ČSN na 3 teplotní oblasti: do 600 m.n.m., 600 - 800 m.n.m. a od 800 m.n.m. Každá oblast má empiricky stanovený profil teplot a jejich průměrné hodnoty v závislosti na roční době. Objekt v zadání práce je situován v obci Karlovy Vary, pro níž je normou stanovena venkovní výpočtová teplota pro vytápěné období na -15° C. Tamější krajina je klasifikována do kategorie s intenzivními větry, což se ve výpočtu tepelných ztrát projeví jako přirážkový koeficient. Kladný vliv má naopak umístění domu mezi zástavbou.

Tepelně technické vlastnosti materiálu vyjadřuje tzv. součinitel tepelné vodivosti (λ), což je tepelný výkon odvedený částí stěny o ploše 1 m^2 a síle 1 m při teplotním rozdílu jejích stran 1 K (1° C). Pro běžné teploty se závislost výkonu na velikosti a rozdílu teplot aproximuje lineárním průběhem a součinitel tepelné vodivosti je pak konstanta úměrnosti mezi těmito veličinami, čemuž odpovídá i jednotka W/m.K. Víme, že materiály jako beton, kámen a jiné hutné, těžké materiály teplo izolují špatně a naopak lehké a pórovité izolují lépe a používají se tudíž jako tepelné izolanty. Reálné stavební prvky mohou mít více vrstev z různých materiálů s různým lambda a očekává se platnost výše zmíněné lineární závislosti po jednotlivých vrstvách. Materiálové konstanty (i λ) pro běžné materiály jsou zaznamenány ve stavebních tabulkách.

1.2 Tepelně namáhané části objektu

Nosná konstrukce objektu (např. zdivo) je využita k akumulaci tepla získaného vytápěním. Čím větší je měrná tepelná kapacita použitého materiálu, tím je větší jeho tepelná setrvačnost - déle udrží teplo při výpadku vytápění, avšak je požadována delší doba na zátop. Těžké zdivo nebo kámen proto nejsou z tohoto hlediska vhodné jako nosná konstrukce např. pro rekreační chaty, kde jsou v zimním období předpokládány časté zátopy. Objekt v zadání práce je rodinný dům, u kterého se předpokládá jeho trvalé obývání i vytápění v zimním období a zdivo je tak obecně vhodnou volbou pro nosou konstrukci.

Tepelně nejvíce namáhanými částmi objektu jsou, kromě vlastní izolace, spodní stavba, okna, dveře a jejich překlady. Únik tepla okny a dveřmi bývá u starších staveb 30 - 40 % celkových tepelných ztrát, a proto se dnes výrobci snaží vyrábět čím dál méně tepelně propustné skelní výplně. Nemalý vliv zde hraje i profil okna, materiál rámu a těsnící prvky. Okna a dveře musejí být dobře izolovány, aby nevznikaly tepelné mosty - cesty kladoucí malý odpor prostupu tepla, s velkým teplotním spádem, které se výraznou částí podílejí na celkových tepelných ztrátách budovy. Dále zapřičiňují také posun rosného bodu v konstrukci směrem k interiéru a vytvářejí tak nebezpečí kondenzace vodních par - výskyt vlhkosti a plísní. Uvažovaný objekt je vybaven dřevěnými dvěrmi a zdvojenými okny s tepelnou vodivostí 1,4 W/ m^2.K a součinitelem spárové průvzdušnosti 1,2 . 10^{-4}. $m^2.s^{-1}.Pa^{-0,67}$. Tyto hodnoty jsou z běžně dostupných typů oken jedny z nejlepších. Tepelná izolace oken a dveří je tedy dobrá, avšak infiltrace studeného vzduchu ve spárách je jev, který se vyskytuje u všech typů oken a ve výpočtu je uvažována.

Konstrukcemi, které zhruba z 25 - 30 % ovlivňují celkovou potřebu tepla na vytápění budov, jsou obvodové stěny. Obvodové zdivo uvažovaného objektu je postaveno z cihelných bloků Porotherm 36,5 P+D. Porotherm je jeden z nejžádanějších materiálů a tepelně vyhovujících dle normy. Aby se dále zamezilo úniku tepla z interiéru do exteriéru, jsou stěny zatepleny materiálem s dobrými tepelně izolačnimi vlasnostmi, avšak již bez nároků na jeho pevnost (není nosný). Tento materiál se umisťuje na vnější stranu konstrukce, což má za následek posun rosného bodu k vnější straně nosného materiálu zvýšením jeho průměrné teploty. Zde se jedná o pěnový polystyren o tloušťce 10 cm, s čímž bylo počítano při výpočtu. Expandovaný pěnový polystyren má dlouhodobě malou nasákavost a vynikající termoizolační vlasnosti. Dále je velice odolný proti různým chemikáliím a má nízkou objemovou hmotnost. Hustota polystyrenu však nebyla zadána a počítalo se tedy s nejběžnějším typem se součinitelem vodivostí 0,044 W/m.K.

1.3 Podlaha, strop a větrání

Podlahy v přizemí jsou zatepleny polystyrenem o tloušťce 8 cm. Podlahy v 1. patře nejsou vystaveny teplotnímu gradientu a tudíž jejich zateplení nemá ve zjednodušeném modelu vliv na celkové tepelné ztráty. Strop vytápěného prostoru a střecha jsou zatepleny minerální vlnou Orsil o tloušťce 18 cm, jejíž tepelná vodivost, odečtená z tabulek, je 0,22 W/m^2.K. Přesný typ vlny nebyl zadán, a proto bylo počítáno s typem N, který se používá ve střešní izolaci. Minerální vlna má obecně velmi dobré tepelné i akustické izolační vlastnosti, vysokou požární odolnost a nízký difúzní odpor (pára, dým). Je vhodná zvlášť pro izolaci krovu. Pro účely výpočtu byla geometrie střechy aproximována sedlovou střechou o sklonu s ekvivalentní plochou (cca 25°), to platí i pro střechu nad vchodovou místností.

Minimální množství větracího vzduchu na osobu stanovené na základě produkce oxidu uhličitého je 15 - 25 m^3 za hodinu. Pro dosažení tepelně vlhkostní pohody je to ješte o cca 5 m3 více. Množství větracího vzduchu je stanoveno rekuperací tepla - násobností výměny vzduchu v místnosti. V souladu s požadavky norem by se výměna vzduchu měla pohybovat v rozmezí 0,3 až 0,6 objemu místnosti za hodinu, v závislosti na využití prostor, prováděné činnosti atd. Uvažovaný dům je pro 4 osoby poměrně velký, a proto množství větracího vzduchu stanovenéna základě potřeb vztažených k počtu osob (zde 4) je menší než množství stanovené na základě požadavku na min. rekuperaci tepla. Intenzita výměny tepla byla poměrně k počtu, velikosti a typu místností a vůči normou doporučeným hodnotám pro jednotlivé typy místností stanovena na 0,4 násobek objemu za hodinu. Přepočtem na objem obdržíme minimální množství vzduchu, které je nutné v čase ohřát vytápěním na pokojovou teplotu. Na konci výpočtu se však ukázalo, že infiltrace vzduchu generuje o cca 45 % větší množství vniklého vzduchu, a proto je jako větrání uvažována tato složka (větší z nich).

2 Výpočet tepelných ztrát objektu

2.1 Popis výpočtu

Výpočet celkových tepelných ztrát byl proveden dle ČSN 06 0210. Pro vlastní výpočet byla použita webová pomůcka řešící lineární rovnice dílčích ztrát pro jednotlivé části domu. Těmi byly stěny, jejichž plocha byla snížena o okna a dveře, dále pak samotná okna a dveře, podlahy a stropy/střechy. Celá budova byla pomyslně rozdělena na 3 segmenty pro usnadnění modelování - střed domu, vchodovou místnost a dolní obytná místnost vyčnívající z půdorysu středu. Z přiložené technické dokumentace vyplývalo, že vstupní místnost nebyla postavena ze stejných bloků jako zbytek domu. Usoudili jsme tak na základě jiné šířky stěny. Jelikož nebyla tato skutečnost zmíněna v zadání, dle rozdílu šířky jsme odhadli, že použitým materiálem zde bude Porotherm 30, což bylo ve výpočtu zohledněno. K domu přilehlá garáž není dle zadání vytápěna a ve výpočtu ji zanedbáváme.

Vlastní výpočet je organizován v tabulce (*Obr. 2.1)*. V první sekci "Lokalita a vlastnosti budovy" se na základě polohy a umístění budovy stanoví venkovní výpočtová teplota vnějších stěn. Charakteristické čislo budovy B a přirážku na urychlení zátopu nebudeme potřebovat. Pro výpočet ztrát používáme obálkovou metodu s níže definovanými parametry a tudíž první část druhé sekce určuje další vlastnosti budovy, zejména vnitřní pokojovou teplotu, kterou jsme nastavili na 20° C. Venkovní teplota odpovídá 1. sekci. Orientaci nepoužijeme, neboť se jedná o celý dům a počet těsných oken dveříme bude 0, protože pro všechny chceme počítat ztráty. Kromě počítaného vytápění v objektu není žádný jiný zdroj tepla a tepelný zisk je tedy 0. Druhá část obsahuje rozměry budovy, odečtené z k zadání přiložených výkresů, které jsou použity při výpočtu měrných parametrů (např. ztráty na jednotku objemu). Vypočtená plocha obálkových konstrukcí a sečtená plocha všech obálkových konstrukcí se poněkud liší - o navýšení plochy sedlovitostí střechy a místnosti vyčnívající z půdorysu středu domu. Třetí, malá část této sekce výpočtu kvantizuje větrací vzduch. Lze počítat buď podle intenzity výměny nebo podle objemového průtoku. Byl preferován výpočet množství větracího vzduchu podle doporučené intenzity výměny, protože díky výše zmíněnému faktu vychází o něco větší než pro doporučený průtok v závislosti na počtu osob.¨

Poslední definiční částí výpočtu jsou "Parametry obálkové konstrukce". Zde vystupují všechny vnější stěny (s okny a dveřmi), podlahy a stropy/střechy budovy. Typ konstrukce je stěna venkovní (SO), okno zdvojené (OZ), dveře venkovní (DO), podlaha (PDL) nebo střecha/strop (STR). Podlahy, stropy a střechy vystupují ve stejné roli. Stěny mají celkovou plochu sníženou o plochu bezprostředně následujících položek typu okno nebo dveře. Venkovní teplota te všech ochlazovaných částí domu je stejná, měrná tepelná vodivost U a rozměry jsou vyplněny dle technické specifikace objektu. Taktéž parametry inflitrace pro okna a dveře. Ve sloupci Q0 jsou vypočteny dílčí ztráty všech obálek. Obálky jsou definovány v pořadí: obvodové stěny středu domu (zmenšené o vnitřní stěny mezi středem a zbytkem domu + všechna okna), kompenzace stěny nad vyčnívající místností (+ okna), obvodové stěny vyčnívající místnosti (+ okna), obvodové stěny vchodové místnosti (+ okna, dveře), podlahy těchto 3 segmentů v tomtéž pořadí, stropy/střechy (s plošnou kompenzací sklonu) v tomtéž pořadí.

2.2 Výsledky a tabulka výpočtu

Výsledky výpočtu vidíme v následujících rubrikách. Část "Tepelná ztráta prostupem" udává součet všech ztrát prostupem pro obálky a průměrný součinitel prostupu tepla, což je ekvivalent vztažený k ploše obálek a charakterizuje tak tepelnou izolaci budovy jako celku. První přirážka jde na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí a je určena empiricky. Další procentuální přirážky nejsou použity (přirážku na urychlení zátopu a přirážku na světovou stranu). Absolutní hodnotu celkové tepelné ztráty prostupem udává poslední řádek. Vpravo jsou uvedeny výsledky tepelné ztráty větráním/inflitrací. Zde je patrný výše zmíněný fakt o nerovnosti mezi ztrátou inflitrací a větracím vzduchem. Do celkových tepelných ztrát se tedy započítá ztráta inflitrací. Vypočtená intenzita výměny vzduchu je ekvivalentem větracího vzduchu o objemu propuštěném inflitrací. Hodnota 0,58 je ještě o 16 % nad hodnotou pohody pro obývací pokoje, ale není ani příliš vysoká, aby inflitrace způsobovala příliš velký podíl na celkových ztrátách. Zde představuje necelou třetinu celkových tepelných ztrát. V poslední části je uvedena vypočítaná celková tepelná ztráta budovy, která činí 12.6 kW. To je množství tepla za jednotku času, které bude třeba dodávat pro udržení konstantní pokojové teploty. Měrná tepelná ztráta místnoti je vztažená k vytápěnému objemu a vychází 21 W/m³. Referenční hodnota pro dvoupodlažní rodinný domek do 1000 m³ zastavěného prostoru v období od r. 2000 je 27 W/m³. Máme tedy z technického hlediska o cca 20 % tepelně úspornější dům, než je průměr.

Výpočet tepelné ztráty objektu dle ČSN 06 0210

Tato zjednodušená výpočtová pomůcka je určena pro výpočet tepelné ztráty místnosti nebo pro výpočet tepelné ztráty budovy obálkovou metodou.
V takovém případě části popisující vlastnosti místnosti uvažujte jako vlastnosti popisující počítanou budovu (rozměry budovy jsou rozměry venkovní).

Lokalita a vlastnosti budovy

Karlovy Vary	(Tabulka)		Poloha budovy	Chráněná ???
Venkovní výpočtová teplota t_e	-15 °C Nastavit teplotu u stěn		Druh budovy	Řadová ???
Krajina	S intenzivními větry		Charakteristické číslo budovy B	6 $Pa^{0.67}$???
			Přirážka p_2 na urychlení zátopu	0 ???

Místnost (u obálkové metody to jsou další vlastnosti budovy)

Číslo a název místnosti	Rodinný domek	
Zvětšení char. čísla budovy ΔB	0 $Pa^{0.67}$???	
Venkovní výpočtová teplota t_e	-15 °C ???	Nastavit teplotu u stěn
Vnitřní výpočtová teplota t_i	20 °C (Tabulka)	
Orientace místnosti	vnitřní místnost => přirážka p_3 = 0 ???	
Počet těsných dveří	0 ???	
Počet netěsných dveří	0 ???	
Charakteristické číslo místnosti M	1 ???	
Tepelný zisk Q_z	W ???	

Rozměry

Půdorysný rozměr a	9.3 m	Půdorysný rozměr b	10.5 m	Půdorysná plocha místnosti P	97.6 m^2 ???
Konstrukční výška VK	6.15 m ???	Světlá výška VS	5.6 m ???	Vypočtená plocha obálkových konstrukcí ΣS_1	438.6 m^2 ???
Vytápěný objem V	600.5 m^3	Objem místnosti V_m	546.6 m^3	Sečtená plocha všech obálkových konstrukcí ΣS_2	511.6 m^2 ???

Teplota větracího vzduchu t_{vv}	-15 °C ???
◉ Intenzita výměny vzduchu n	0.40 h^{-1} ???
○ Objemový průtok	120 m^3/h ???

Parametry obálkové konstrukce (místnosti / budovy)

		Typ ??? konstr.	Počet	$t_{e,i}$??? [°C]	U ??? [W/m²K]	Plocha konstrukce d ??? [m]	v ??? [m]	S ??? [m²]	S_d ??? [m²]	S_v ??? [m²]	$S-S_d-S_v$ [m²] ???	Q_o [W]	Infiltrace i_L (Tabulka) [m³/m.s.Pa^0.67]	L ??? [m]
1.	vložit smazat	SO	1	-15	0.41	30.0	6.15	84.5	0	23.8	160.	2305.2	x 10^{-4}	
2.	vložit smazat	OZ	2	-15	1.4	1.75	1.8	3.15	0	0	6.3	308.7	✓ 1.2 x 10^{-4}	10.6
3.	vložit smazat	OZ	3	-15	1.4	1.15	1.8	2.07	0	0	6.20	304.3	✓ 1.2 x 10^{-4}	8.2
4.	vložit smazat	OZ	3	-15	1.4	1	0.6	0.6	0	0	1.79	88.2	✓ 1.2 x 10^{-4}	4
5.	vložit smazat	OZ	3	-15	1.4	1.5	1.5	2.25	0	0	6.75	330.8	✓ 1.2 x 10^{-4}	7.5
6.	vložit smazat	OZ	1	-15	1.4	1.75	1.6	2.8	0	0	2.8	137.2	✓ 1.2 x 10^{-4}	8.6
7.	vložit smazat	SO	1	-15	0.41	9.1	3.1	28.2	0	1.2	27.0	387.6	x 10^{-4}	
8.	vložit smazat	OZ	2	-15	1.4	0.6	1	0.6	0	0	1.2	58.8	✓ 1.2 x 10^{-4}	4
9.	vložit smazat	SO	1	-15	0.41	8.9	3	26.7	0	0.73	25.9	372.7	x 10^{-4}	
10.	vložit smazat	OZ	1	-15	1.4	0.86	0.85	0.73	0	0	0.73	35.8	✓ 1.2 x 10^{-4}	3.4
11.	vložit smazat	SO	1	-15	0.77	9.5	3	28.5	0	6.11	22.3	603.4	x 10^{-4}	
12.	vložit smazat	OZ	1	-15	1.4	1.15	1.8	2.07	0	0	2.07	101.4	✓ 1.2 x 10^{-4}	8.2
13.	vložit smazat	OZ	2	-15	1.4	0.53	0.5	0.27	0	0	0.54	26.5	✓ 1.2 x 10^{-4}	2.1
14.	vložit smazat	DO	1	-15	1.4	1.4	2.5	3.5	0	0	3.5	171.5	✓ 1.2 x 10^{-4}	10.3
15.	vložit smazat	PDL	1	-15	0.44	9.3	10.5	97.6	0	0	97.6	1503.8	1.2 x 10^{-4}	10.3
16.	vložit smazat	PDL	1	-15	0.44	3.7	2.59	9.58	0	0	9.58	147.5	1.2 x 10^{-4}	10.3
17.	vložit smazat	PDL	1	-15	0.44	5.45	2	10.9	0	0	10.9	167.9	1.2 x 10^{-4}	10.3
18.	vložit smazat	STR	1	-15	0.22	9.3	10.5	✓ 104	0	0	104	800.8	1.2 x 10^{-4}	10.3
19.	vložit smazat	STR	1	-15	0.22	3.7	2.59	✓ 10.2	0	0	10.2	78.5	1.2 x 10^{-4}	10.3
20.	vložit smazat	STR	1	-15	0.22	5.45	2	✓ 11.6	0	0	11.6	89.3	1.2 x 10^{-4}	10.3

Tepelná ztráta prostupem

ΣQ_o	8020 W	???
Průměrný součinitel prostupu tepla k_c	0.448 W/m²K	???
Přirážka p_1	0.07	???
Přirážka p_2	0	???
Přirážka p_3	0	???
Q_p	8558 W	???

Tepelná ztráta větráním / infiltrací

Tepelná ztráta infiltrací Q_{inf} =	4029 W	???
Tepelná ztráta větracím vzduchem $Q_{v,v}$ =	2765 W	???
Tepelná ztráta větráním Q_v =	4029 W	???
Vypočtená intenzita výměny vzduchu $n_{vypočtená}$ =	0.58	???

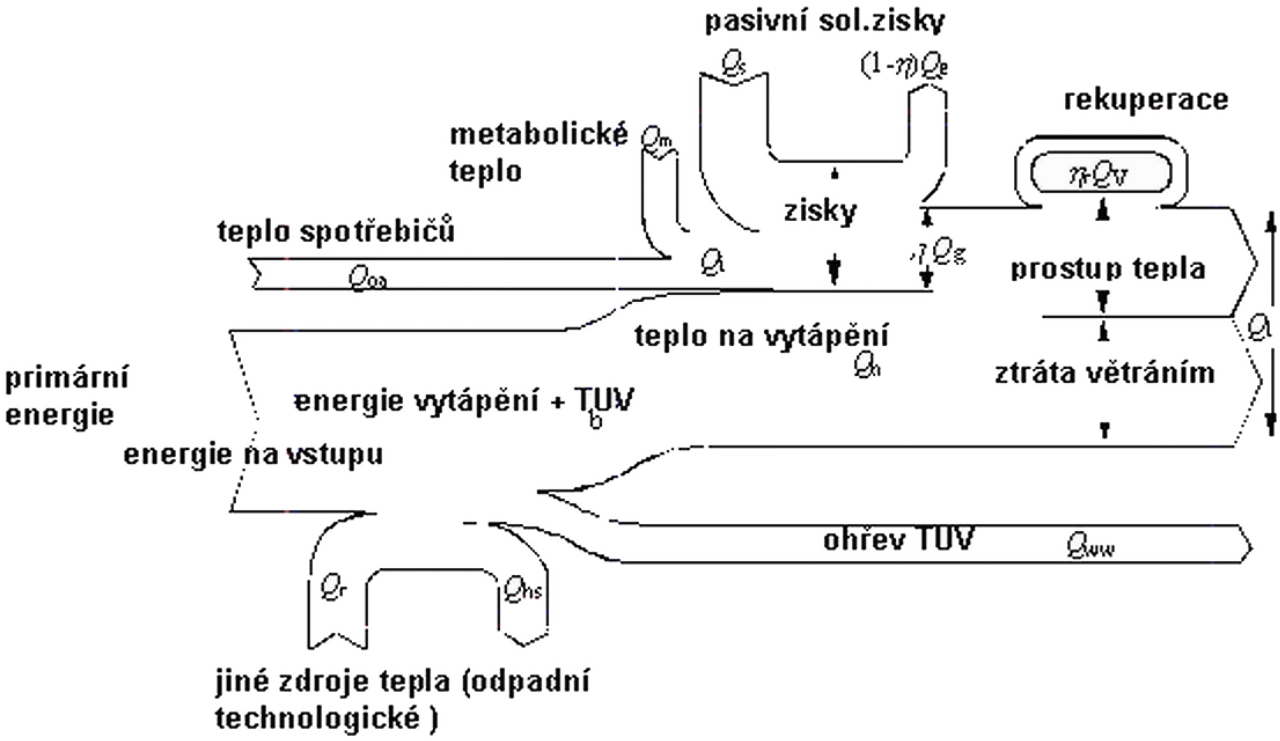
Celková tepelná ztráta místnosti

Tepelná ztráta místnosti Q_c =	12588 W	???
Měrná tepelná ztráta místnoti q_c =	21 W/m³	???

Obr. 2.1 Tepelná ztráta místnosti

3 Potřeba tepla

Z energetického hlediska je každý vytápěný objekt (např. rodinný dům) charakterizován svými energetickými nároky (potřebami energie) a svou energetickou náročností (spotřebami energie). Energetické nároky jsou dány množstvím energie, které objekt potřebuje pro svou funkci vzhledem k jeho objektivním parametrům. Energetická náročnost je pak faktické množství nakupované energie, které spotřebují pro svou činnost systémy kryjící tyto nároky. O vztazích mezi potřebou a spotřebou vypovídá následující schéma tepelně energetické bilance budovy.



Obr. 3.1 - Energetická bilance podle ČSN EN 832

3.1 Potřeba tepla na vytápění

a) Roční potřeba tepla pro vytápění:

Roční potřebu tepla na krytí tepelných ztrát dostaneme integrací (sečtením) okamžitých tepelných ztrát přes celý čas topné sezóny. Závislost tepelné ztráty na teplotě je však lineární, a proto je možné se vyhnout integraci a použít jednodušší vzorec:

$$Q_{VYT,r} = \frac{24.Q_C.\varepsilon.D}{t_{is} - t_e} \quad \text{[Wh/rok]}$$

$Q_{VYT,r}$	roční potřeba tepla [Wh/rok]
Q_C	tepelná ztráta objektu [W]
ε	opravný součinitel na snížení teploty, zkrácení doby vytápění, nesoučastnost tepelné ztráty infiltrací [-]
D	počet denostupňu [d.K]
t_{is}	průměrná výpočtová vnitřní teplota [°C]
t_e	výpočtová venkovní teplota [°C]

b) Opravný součinitel ε:

$$\varepsilon = \frac{e_i.e_t.e_d}{\eta_o.\eta_r} \quad [\ -\ ]$$

e_i	nesoučastnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem
e_t	snížení teploty v místnosti během dne resp. noci
e_d	zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu
η_o	účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy
η_r	účinnost rozvodu vytápění

c) Počet denostupňů

Počet denostupňů D je vlastně součin počtu dní, kdy je třeba vytápět a rozdílu vnitřní a průměrné venkovní teploty ve vytápěcím období. Hodnota se určí vztahem:

$$D = (t_{is} - t_{es}).d \quad \text{[K.den]}$$

t_{is}	průměrná výpočtová vnitřní teplota v budově [°C]
t_{es}	průměrná venkovní teplota v otopném období [°C]
d	počet dnů otopného období v roce

3.2 Ohřev teplé vody

Výpočet potřeby tepla pro ohřev TUV se provádí podle normy ČSN 06 0320.

a) Roční potřeba tepla pro ohřev teplé vody

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d}.d + 0{,}8.Q_{TUV,d}\frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}}.(N - d) \quad \text{[kWh]}$$

$Q_{TUV,d}$	denní potřeba tepla pro ohřev TUV [kWh]
t_{svl}	teplota studené vody v létě
t_{svz}	teplota studené vody v zimě
N	počet pracovních dní soustavy v roce
d	počet dnů otopného období v roce

b) Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody

Skutečná spotřeba teplé vody je značně závislá na zvyklostech lidí a jejich životním stylu. Pro orientační určení množství tepla na její ohřev použeme nasledující tabulku: ([3])

Potřeba TUV pro 1 osobu a den v bytovém objektu						**Tab. č 4**
Parametr	Značka	Jednotka	baterie			
			umyvadlo	dřez	sprcha	Vana
Počet dávek	n_d	-	3	0,8	1	0,3
Objem dávek	V_d	m^3	0,03	0,002	0,025	0,025
Součet objemu dávek	V_{2p}	m^3	0,082			

Tabulka 3.1 Orientační určení množství tepla na ohřev TUV

V uvažovaném objektu máme 4 osoby, takže celková denní potřeba TUV V_{2p} je cca 0.328 m^3. Výpočet denní potřeby tepla pro ohřev teplé vody provedele dle vztahu:

$$Q_{TUV,d} = (1+z).\frac{\rho.C.V_{2p}(t_2 - t_1)}{3600} \quad [kJ]$$

ρ	měrná hmotnost vody [1000 kg/m^3]
C	měrná tepelná kapacita vody [4,182 kJ/kgK]
V_{2p}	celková potřeba teplé vody v periodě [m^3/per]
t_2	teplota ohřáté vody [55 °C]
t_1	teplota studené vody [10 °C]
z	je poměrná ztráta tepla při ohřevu a dopravě TUV (závisí na konstrukci zařízení, tepelné izolaci a velikosti zásobníku. Pro nový dům volíme hodnotu 0.5)

3.3 Potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV

$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r}$

Celkovou potřebu tepla na vytápění a ohrěv TUV pro uvažovaný objekt vyočítáme užitím následující tabulky:

Lokalita (Tabulka) — t_{em} = 12 °C | t_{em} = 13 °C | t_{em} = 15 °C ???

Město: Karlovy Vary — Délka topného období d = 254 [dny]

Venkovní výpočtová teplota t_e = -15 °C — Prům. teplota během otopného období t_{es} = 3.8 °C

Vytápění

Tepelná ztráta objektu Q_c = 12.6 kW

Průměrná vnitřní výpočtová teplota t_{is} = 20 °C ???

Vytápěcí denostupně

$D = d \cdot (t_{is} - t_{es})$ = 4115 K.dny

Opravné součinitele a účinnosti systému

e_i = 0.85 ??? η_o = 0.95 ???

e_t = 0.90 ??? η_r = 0.95 ???

e_d = 1.00 ???

Opravný součinitel ε ???

$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d$ = 0.765

ε = 0.765

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_C \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3{,}6 \cdot 10^{-3}$$

$Q_{VYT,r}$ = ⟨ 108.5 GJ/rok; **30.1** MWh/rok ⟩ Náklady

Ohřev teplé vody

t_1 = 10 °C ??? ρ = 1000 kg/m³ ???

t_2 = 55 °C ??? c = 4186 J/kgK ???

V_{2p} = 0.328 m³/den ???

Koeficient energetických ztrát systému z = 0.5 ???

Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody

$$Q_{TUV,d} = (1+z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 25.7 \text{ kWh}$$

Teplota studené vody v létě t_{svl} = 15 °C

Teplota studené vody v zimě t_{svz} = 5 °C

Počet pracovních dní soustavy v roce N = 365 [dny]

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0{,}8 \cdot Q_{TUV,d} \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$$

$Q_{TUV,r}$ = ⟨ 30.1 GJ/rok; 8.4 MWh/rok ⟩ Náklady

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody

$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r}$ = ⟨ **138.6 GJ/rok**; **38.5 MWh/rok** ⟩ Náklady

Výsledná potřeba tepla pro vytápění a ohřev TUV tedy činí 138,6 GJ/rok, což je v relaci s výsledky pro objekty podobného rozsahu a potřeb.

4 Ekonomické hodnocení

4.1 Topná zařízení

Ekonomické hodnocení obou alternativ vytápění spočívá v analýze a kalkulaci pořizovacích a ročních nákladů pro vytápění kotlem na zemní plyn a tepelným čerpadlem. Z předchozích analýz vyplývá, že potřebujeme získat 138,6 GJ tepla ročně, což je hlavní vstup pro naši rozvahu. Pro získání konkrétních hodnot ostatních parametrů jsme zvolili konkrétní kotel na zemní plyn a konkrétní tepelné čerpadlo. Typické nasazení obou vybraných produktů odpovídá zadání práce a stanovené potřebě tepla. Plynový kotel Thermona Therm 17 KDZ je kondenzační kotel s vestavěným zásobníkem pro ohřev teplé vody. Tepelné čerpadlo AirMaster2 3045 AKU je typu vzduch-voda s akumulační nádobou o objemu 180l pro předehřev TUV a s vestavěným elektrokotlem. Jeho výrobce udává v technické specifikaci typické hodnoty topného faktoru v závislosti na průměrné venkovní teplotě. Pro naši teplotu, která se od udávaných lišila, jsme spočítali vlastní hodnotu lineární interpolací. Maximální topný výkon obou zařízení se pohybuje okolo 17kW, což odpovídá vypočteným tepelným ztrátám objektu v součtu s cca 2kW na akumulační ohřev vody a 15 % - 20 % rezervě (mrazivé dny, urychlení zátopu, rozšíření domu). Obě alternativy vytápění počítají se stejným cirkulačním čerpadlem pro oběh vody. Rozdíl nákladů jeho provozu se projeví kvůli různé ceně elektřiny pro obě alternativy.

4.2 Účtování plynu a elektřiny

Cena odebraného plynu se v současné době již nestanovuje podle objemu odběru, ale v přepočtu na energii. V tomto kontextu se počítá s měrným spalným teplem. Podle dlouhodobých průměrných hodnot spalného tepla tranzitního plynu nabývá tato veličina přibližné hodnoty 10,5 kWh/m^3 (což je cca o 11 % více než hodnota výhřevnosti). Pro dosažení přesnějších výsledků provádíme kompenzaci podle účinnosti kotle, kterou udává výrobce. Jedná se o údaj vztažený k výhřevnosti plynu a část převyšující hodnotu 100 % je tudíž energie získaná ochlazením produktů spalování (zejm. kondenzací vodní páry). Pro náš kotel se jedná o potřebu necelého 5% navýšení odebraného plynu oproti výpočtu s typickou hodnotou měrného tepla (vzhledem k ceně plynu se jedná o rozdíl necelých 2 000 Kč ročně).

Tarif pro účtování ceny za elektřinu se u obou alternativ liší. Toto vychází z představy, že pro tepelné čerpadlo se ukazuje výhodnější volba dvoupásmového tarifu s vyšším měsíčním paušálem, avšak nižšími variabilními náklady, obzvlášť v té části dne, kdy není špičková poptávka elektřiny. Tato část trvá 22 hodin denně a tehdy bude tepelné čerpadlo, jakožto náš majoritní spotřebič, odebírat energii ze sítě. Pro alternativu s kotlem byl zvolen běžný tarif s odpovídající hodnotou paušálního a pohyblivého poplatku. Výhodou levnějšího pohyblivého poplatku je, kromě ceny za energii spotřebovanou vlastním tepelným čerpadlem, i levnější provoz ostatní spotřeby v domácnosti (včetně cirkulačního čerpadla), což ve výpočtu zohledňujeme. Jako typickou hodnotu roční spotřeby elektřiny na osobu volíme 1000 kWh.

4.3 Výsledky a tabulka výpočtu

Všechny jednotlivé komponenty výpočtu ukazuje tabulka. Sekce "Porovnání" provádí časovou analýzu na základě pořizovacích a ročních nákladů pro obě alternativy. Doba životnosti projektu je totožná s dobou životnosti topného zařízení. Vzhledem k faktu, že se nejedná o podnikatelský záměr a cílem je úspora peněz, byla diskontní sazba (ztráta ceny peněz v čase) zvolena na konzervativnější hodnotu 7 % a konstantní v čase. Volba byla ovlivněna aktuální mírou inflace a úroky běžných bankovních účtů. V rámci citlivostní analýzy však zkoumáme citlivost výsledku i vzhledem k tomuto číslu. Projekty mají různou dobu životnosti, a proto nelze jejich celkovou bilanci porovnávat absolutně. Tento fakt řešíme výpočtem poměrné anuity pro obě živostnosti a následnému výpočtu anuitního ročního cashflow. Pro výchozí hodnoty všech parametrů, kterými se dále zabýváme v citlivostí analýze, vychází roční cashflow pro obě alternativy vytápění velmi podobně, a tak se zdá, že jsme se nedopustili ve výpočtu žádné hrubé chyby. Číselně vychází o cca 5 000 Kč současné hodnoty ročně výhodnější alternativa topení tepelným čerpadlem. Hodnoty jsou však velice blízké a bude tedy zajímavé provést citlivostní analýzu.

KOTEL NA ZEMNÍ PLYN	Hodnota	Jednotka	**Typ** / poznámka
Teplo – potřeba			
Celkové roční teplo	138,6	GJ	Včetně ohřevu TUV
Celkové roční teplo	38500	kWh	Včetně ohřevu TUV
Kotel			**Thermona Therm 17 KDZ 5**
Pořizovací cena	47 803,00	Kč	Včetně DPH 19%
Cena montáže	8 600,00	Kč	
Cena servisu	500,00	Kč na rok	Revize plynových zařízení
Účinnost	1,06		Vůči výhřevnosti
Doba životnosti	20	Let	
Zemní plyn (ZČP, a.s.)			
Cena plynu – komodita	0,98	Kč na kWh	Odběr 35 – 40 MWh
Cena plynu – kapacita	260,15	Kč na měsíc	Odběr 35 – 40 MWh
Spalné teplo účtované	10,50	kWh na m^3	Průměr pro tranzitní plyn
Ekvivalentní vyhřevnost	34,05	MJ na m^3	Přepočtový koeficient 1,11
Plyn – množství			
Objem roční dle účtovaného tepla	3666,67	m^3	
Objem roční dle účinnosti kotle	3839,62	m^3	
Přepočtový objemový koeficient	1,05		
Plyn – cena			Včetně DPH
Cena roční – komodita, účtované teplo	37 720,38	Kč	
Cena roční – komodita, kompenzovaná	39 499,64	Kč	
Cena roční – kapacita	3 121,80	Kč	
Cena roční – celková	42 621,44	Kč	
Cirkulační čerpadlo			**25-SVA-124-10-1°-LM-90-9**
Pořizovací cena	5 294,00	Kč	Včetně motoru
Příkon průměrný	0,05	kW	
Odběr roční	402,96	kWh	
Elektřina (ČEZ, a.s.)			**Tarif D02d 3x40A**
Paušál za jistič	183,26	Kč na měsíc	
Cena elektřiny	3,79	Kč na kWh	
Elektřina – množství			
Spotřeba ostatní roční	4000	kWh	Domácnost, 4 osoby
Spotřeba celková roční	4403	kWh	
Elektřina – cena			Včetně DPH
Cena roční – komodita	16 707,43	Kč	
Cena roční – kapacita	2 199,12	Kč	
Cena roční – celková	18 906,55	Kč	
Celkové náklady			Včetně DPH
Celkové pořizovací náklady	61 697,00	Kč	
Celkové roční náklady	62 027,99	Kč	

TEPELNÉ ČERPADLO	Hodnota	Jednotka	Typ / poznámka
Teplo – potřeba			
Celkové roční teplo	138,6	GJ	Včetně ohřevu TUV
Celkové roční teplo	38500	kWh	Včetně ohřevu TUV
Čerpadlo			**AirMaster2 - typ 3045 AKU**
Pořizovací cena	291 550,00	Kč	Včetně DPH 19%
Cena montáže	0,00	Kč	Montáž na klíč
Cena servisu	100,00	Kč na rok	Kontrola výparníku a náplně
Topný faktor	4,08		
Doba životnosti	15	Let	
Cirkulační čerpadlo			**25-SVA-124-10-1°-LM-90-9**
Pořizovací cena	5 294,00	Kč	Včetně motoru
Příkon průměrný	0,05	kW	
Odběr roční	402,96	kWh	
Elektřina (ČEZ, a.s.)			**Tarif D56d 3x40A**
Paušál za jistič	420,07	Kč na měsíc	
Cena elektřiny – vysoký tarif	2,02	Kč na kWh	2 hodiny ze dne
Cena elektřiny – nízký tarif	1,81	Kč na kWh	22 hodin ze dne
Elektřina – množství			
Spotřeba čerpadla roční	9436	kWh	
Spotřeba ostatní roční	4000	kWh	Domácnost, 4 osoby
Spotřeba celková roční – vysoký tarif	367	kWh	
Spotřeba celková roční – nízký tarif	13472	kWh	
Elektřina – cena			Včetně DPH
Cena roční – komodita – vysoký tarif	741,91	Kč	2 / 24 ze spotřeby kromě TČ
Cena roční – komodita – nízký tarif	24 327,91	Kč	22 / 24 ze spotřeby + TČ
Cena roční – komodita	25 069,83	Kč	
Cena roční – kapacita	5 040,84	Kč	
Cena roční – celková	30 110,67	Kč	
Celkové náklady			Včetně DPH
Celkové pořizovací náklady	296 844,00	Kč	
Celkové roční náklady	30 210,67	Kč	

POROVNÁNÍ	Kotel	Čerpadlo
Pořizovací náklady	61 697	296 844
Roční náklady	62 028	30 211
Doba životnosti	20	15

Rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Diskontní sazba	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%
Kotel											
CF	-61 697	-62 028	-62 028	-62 028	-62 028	-62 028	-62 028	-62 028	-62 028	-62 028	-62 028
KCF	-61 697	-123 725	-185 753	-247 781	-309 809	-371 837	-433 865	-495 893	-557 921	-619 949	-681 977
DCF	-61 697	-57 970	-54 178	-50 633	-47 321	-44 225	-41 332	-38 628	-36 101	-33 739	-31 532
KDCF	-61 697	-119 667	-173 845	-224 478	-271 799	-316 024	-357 356	-395 984	-432 085	-465 824	-497 356
Čerpadlo											
CF	-296 844	-30 211	-30 211	-30 211	-30 211	-30 211	-30 211	-30 211	-30 211	-30 211	-30 211
KCF	-296 844	-327 055	-357 265	-387 476	-417 687	-447 897	-478 108	-508 319	-538 529	-568 740	-598 951
DCF	-296 844	-28 234	-26 387	-24 661	-23 048	-21 540	-20 131	-18 814	-17 583	-16 433	-15 358
KDCF	-296 844	-325 078	-351 465	-376 126	-399 174	-420 714	-440 844	-459 658	-477 241	-493 674	-509 031

Rok	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Diskontní sazba	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%
Kotel										
CF	-62 028	-62 028	-62 028	-62 028	-62 028	-62 028	-62 028	-62 028	-62 028	-62 028
KCF	-744 005	-806 033	-868 061	-930 089	-992 117	-1 054 145	-1 116 173	-1 178 201	-1 240 229	-1 302 257
DCF	-29 469	-27 541	-25 739	-24 056	-22 482	-21 011	-19 636	-18 352	-17 151	-16 029
KDCF	-526 825	-554 366	-580 105	-604 161	-626 643	-647 654	-667 290	-685 642	-702 793	-718 822
Čerpadlo										
CF	-30 211	-30 211	-30 211	-30 211	-30 211					
KCF	-629 161	-659 372	-689 583	-719 793	-750 004					
DCF	-14 353	-13 414	-12 536	-11 716	-10 950					
KDCF	-523 384	-536 798	-549 334	-561 050	-572 000					

ZHODNOCENÍ	Kotel	Čerpadlo
NPV	-718 822	-572 000
Poměrná anuita	0,0944	0,1098
Anuitní roční CF	**-67 852 Kč**	**-62 803 Kč**

5 Citlivostní analýza

Cílem citlivostní analýzy je získání představy o hodnotách a tendencích parciálních derivací výsledku (zde anuitní roční cashflow projektů) podle některých parametrů, které figurovaly jako vstupy pro ekonomické hodnocení. Volili jsme následující parametry: Celkové roční teplo, Topný faktor, Účinnost kotle, Cena plynu, Cena elektřiny a Diskontní sazba. Definiční obor parametrů byl volen s ekvidistantním krokem, a tak, aby pokryl bod rovnováhy i situaci s výchozí hodnotou parametru. Citlivosti výsledků na zvolených parametrech je zaznamenána v tabulce a grafech.

5.1 Interpretace výsledků

Znaménka všech hodnot byla zachována v původním významu (mínus značí ztrátu). Z toho vyplývá, že pokud se bere rozdíl projektů (kotel - čerpadlo), značí kladný výsledek výhodnost kotle na plyn a naopak.

Na prvním grafu citlivostní analýzy je vliv potřeby tepla. Z obrázku je patrné, že tepelné čerpadlo vykazuje plastičtější závislost, což je logické vzhledem k jeho vyšším pořizovacím a nižším provozním nákladům. Rovnováha (rozdíl CF = 0) nastává mezi 105 - 110 GJ, pro nižší potřeby tepla je výhodnější použití kotle na zemní plyn.

2. a 3. graf ukazuje závislost na účinnostech topných zařízení. Topný faktor generuje nelineární závislost s rovnováhou okolo 3,3. Naše čerpadlo má vyšší topný faktor, a proto je o něco výhodnější. Se stoupající účinností kotle na plyn se zmenšuje rozdíl cashflow mezi projekty, avšak rovnováhy nedosáhneme ani pro účinnost 1,12 (a vyšší učinnosti než cca 1,12 nemůžeme vůči výhřevnosti dosahovat z principiálních důvodů).

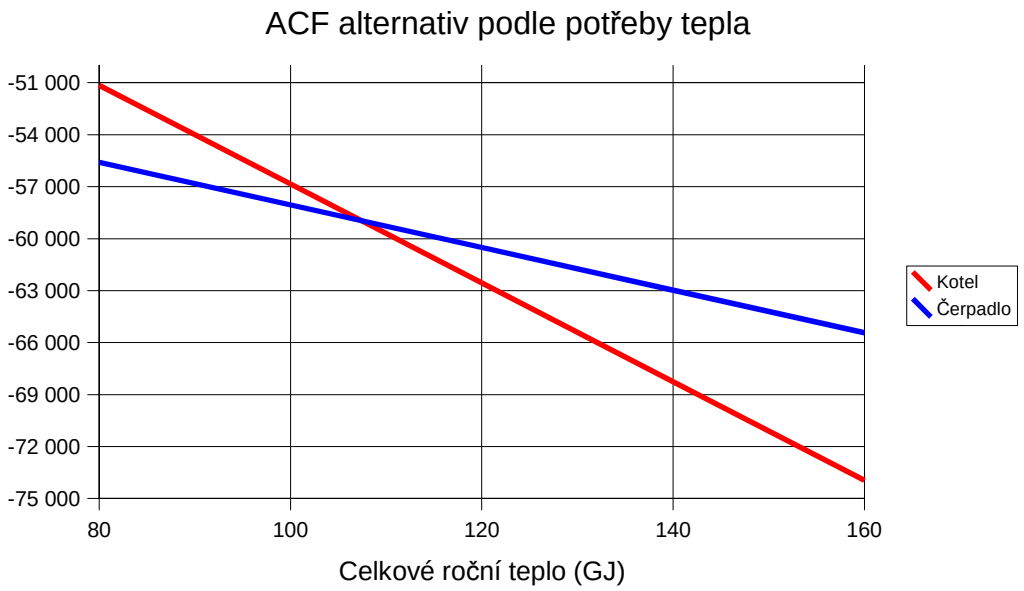
Cena plynu a elektřiny má lineární vliv, což ukazují grafy na další stránce. Komoditní cena plynu pro dosažení rovnováhy by se musela pohybovat okolo 0,85 Kč za kWh, což je cena, za kterou se dá plyn od některých distributorů nakoupit pouze, pokud bychom odebírali znatelně větší objem. Naše cena je zhruba vprostřed grafu. Význam grafů odpovídajících na vliv ceny elektřiny je zřejmý.

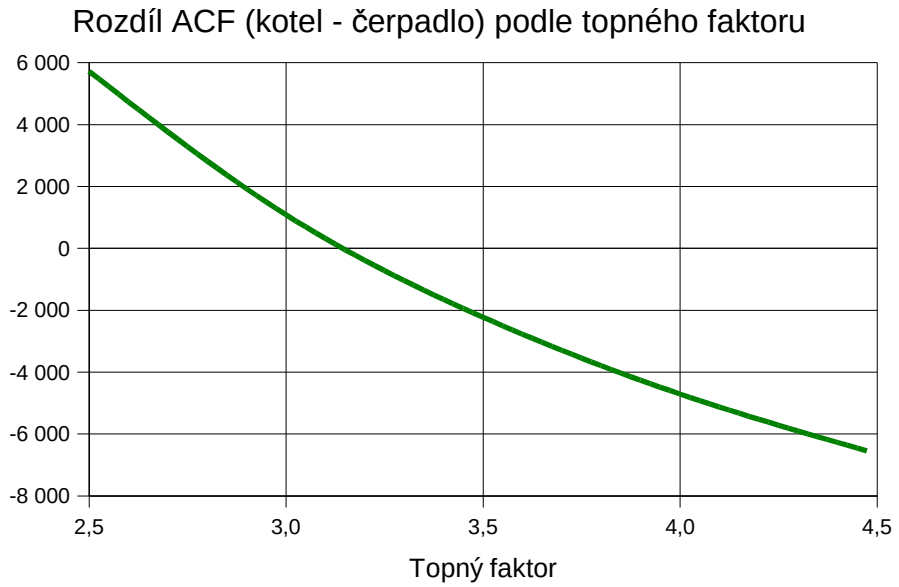
Na posledním grafu je závislost rozdílu alternativ na zvoleném diskontu - ceně peněz. Tato závislost vykazuje poměrně vysokou elasticitu - je zřejmé, že oba projekty jsou finančně podobné, avšak na změnu diskontu v řádu procent reagují značně rozdílně. To je způsobeno tím, že tepelné čerpadlo požaduje řádově vyšší výdaje na pořízení a poté 2x nižší na provoz. Plynový kotel je tedy vzhledem k opačné vlastnosti lépe přizpůsoben ztrátě ceny peněz v čase, protože rozpouští výdaje rovnoměrněji. Už při diskontu okolo 10 % by byly náklady srovnatelné a při volbě vyšší sazby by tepelné čerpadlo začalo být nevýhodné.

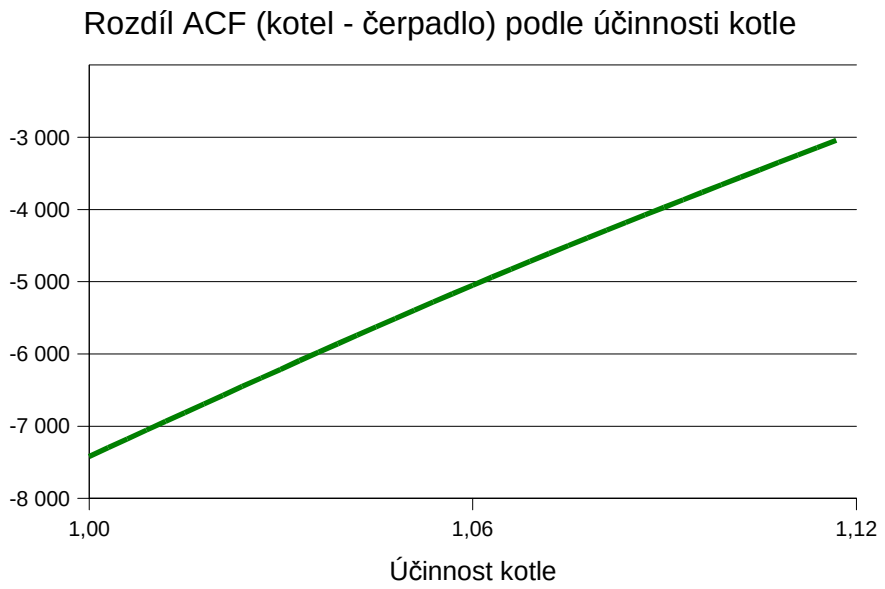
CITLIVOSTNÍ ANALÝZA		Kotel	Čerpadlo	Rozdíl
Parametr	hodnota	ACF*	ACF*	(Kč)
Celkové roční teplo (GJ)				
	80	-51 151	-55 598	4 447
	100	-56 851	-58 057	1 206
	120	-62 551	-60 516	-2 035
	140	-68 251	-62 975	-5 276
	160	-73 951	-65 433	-8 518
Topný faktor				
	2,5	-67 852	-73 572	5 720
	3,0	-67 852	-68 937	1 085
	3,5	-67 852	-65 626	-2 226
	4,0	-67 852	-63 143	-4 709
	4,5	-67 852	-61 212	-6 640
Účinnost kotle				
	1,00	-70 222	-62 803	-7 419
	1,06	-67 852	-62 803	-5 049
	1,12	-65 736	-62 803	-2 933
Cena plynu – komodita (Kč)				
	0,85	-62 621	-62 803	182
	1,00	-68 668	-62 803	-5 865
	1,15	-74 716	-62 803	-11 913
Cena elektřiny – kotel (Kč)				
	2,00	-59 950	-62 803	2 853
	2,50	-62 152	-62 803	651
	3,00	-64 353	-62 803	-1 550
	3,50	-66 555	-62 803	-3 752
	4,00	-68 756	-62 803	-5 953
Cena elektřiny – nízký tarif (Kč)				
	1,60	-67 852	-60 030	-7 822
	1,80	-67 852	-62 725	-5 127
	2,00	-67 852	-65 419	-2 433
	2,20	-67 852	-68 114	262
	2,40	-67 852	-70 808	2 956
Diskontní sazba				
	5%	-66 979	-58 809	-8 170
	7%	-67 852	-62 803	-5 049
	9%	-68 787	-67 037	-1 750
	11%	-69 776	-71 491	1 715
	13%	-70 811	-76 145	5 334

*Anuitní roční cashflow

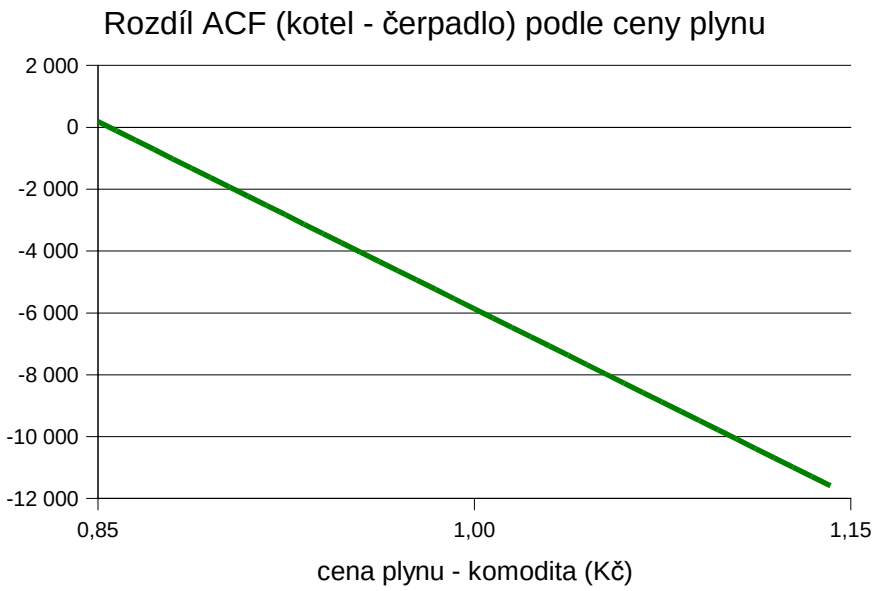
CITLIVOSTNÍ ANALÝZA – GRAFY I

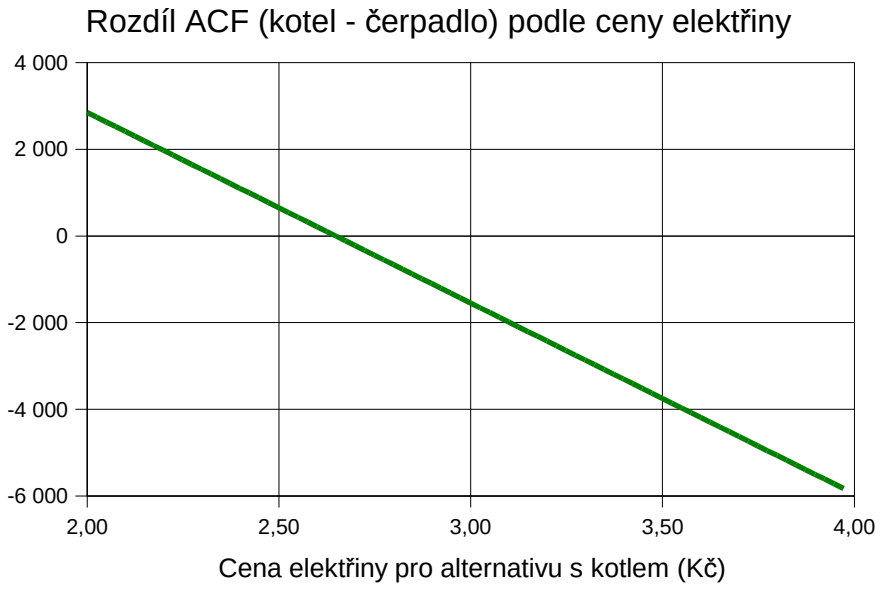


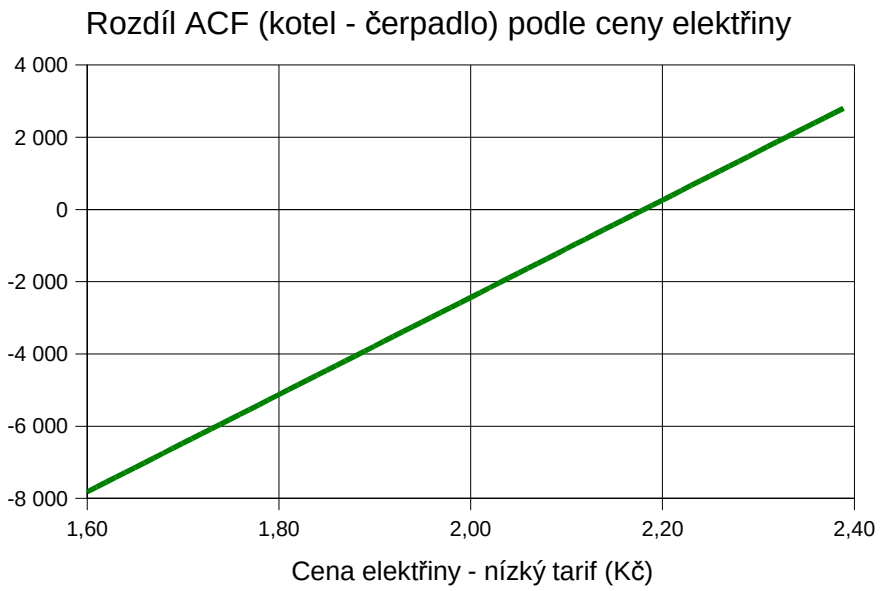




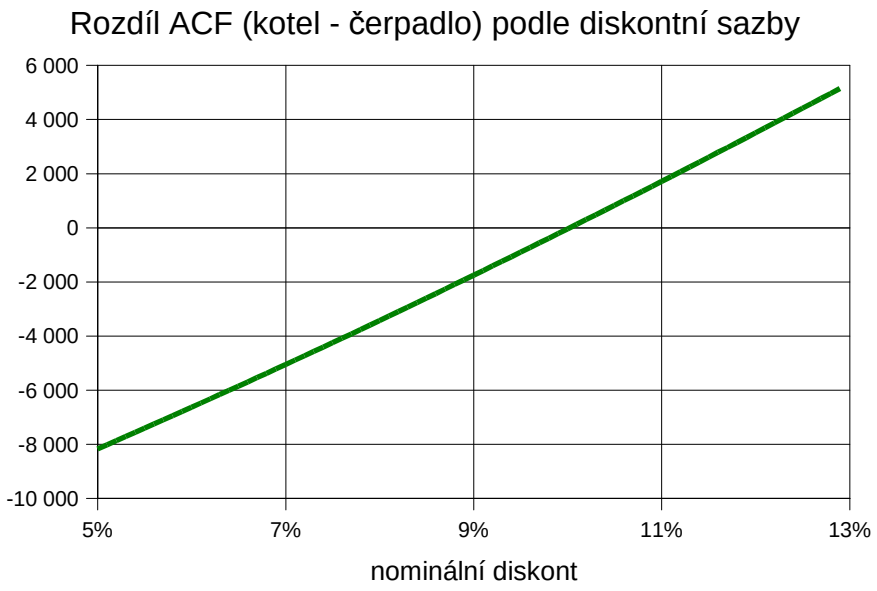
CITLIVOSTNÍ ANALÝZA – GRAFY II







CITLIVOSTNÍ ANALÝZA – GRAFY III



6 Závěr

Provedli jsme ekonomické porovnání dvou alternativ vytápění a ohřevu TUV v rodinném domku. Pro naše konkrétní zadání, od technických parametrů po volbu topných zařízení a kalkulaci nákladů na jejich pořízení a provoz, se jeví výhodnější volba tepelného čerpadla jako zdroje tepla pro zadaný obejkt. Rozdíl úspory mezi ním a plynovým kotlem je však malý a interpretace výsledků citlivostní analýzy nám ukázala, za jakých hodnot vstupů se může bilance změnit ve prospěch plynového kotle.

7 Zdroje

[1] http://www.tzb-info.cz - Tabulky a výpočty

- Výpočet tepelné ztráty objektu dle ČSN 06 0210
- Součinitel prostupu tepla a součinitel spárové průvzdušnosti dle ČSN 73 0540
- Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci
- Měrné tepelné ztráty objektů
- Přepočet veličin při prostupu tepla (U, R)
- Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiál
- Normové hodnoty spotřeby energie na vytápění
- Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva
- Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody
- Přepočet spotřeby zemního plynu na kWh
- Ceny zemního plynu platné od 1.1.2008
- Ceny elektrické energie platné od 1.1.2007
- Optimální volby zdroje - porovnání nákladů na vytápění

[2] http://www.energ.cz - Popis a vlastnosti tepelných čerpadel

[3] http://tzb.fsv.cvut.cz - Tepelná bilance

- Roční potřeba tepla
- Ohřívání užitkové vody

[4] http://www.ikotle.cz - Plynové kotle Thermona
[5] http://www.mastertherm.cz - Tepelná čerpadla AirMaster