

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh kogenerační jednotky pro rodinný dům

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na určení energetické bilance rodinného domu, návrhu vhodné kogenerační jednotky a porovnání možností energetického zásobení.

Klíčová slova

Kogenerace, kogenerační jednotka, rodinný dům, energie, návrh, elektrická energie, tepelná energie, spotřeba energie, tepelné ztráty, výpočet, spotřeba, náklady, roční, výkon, bilance, zásobení, cena

Abstract

The present work is focused on determining the energy balance of the house, designing a suitable cogeneration unit and a comparison of energy supply options.

Key words

CHP, cogeneration unit, house, energy, proposal, electrical energy, thermal energy, energy consumption, heat loss, calculation, costs, annual, performance, balance, supply, price

Prohlášení

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

.....

podpis

V Plzni dne 5.6.2014

Jakub Štampach

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Emilu Dvorskému, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych rád poděkoval společnosti Tedom za rady a poskytnuté podklady.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM GRAFŮ	9
SEZNAM TABULEK	9
ÚVOD	10
1 ENERGETICKÁ BILANCE RODINNÉHO DOMU	11
1.1 POPIS OBJEKTU	12
1.2 TEPelnÉ ZTRÁTY	12
1.3 POTŘEBA TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ A OHŘEV TEPLÉ VODY	12
1.4 POTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	14
2 VLASTNÍ NÁVRH KOGENERACNÍ JEDNOTKY PRO RODINNÝ DŮM	14
2.1 VÝBĚR VHODNÉ KOGENERACNÍ JEDNOTKY	15
2.2 KOGENERACNÍ JEDNOTKA TEDOM MICRO T7	16
2.2.1 <i>Rozměry a základní technické údaje</i>	17
2.2.2 <i>Úspora energie</i>	17
2.3 ŘÍZENÍ A MONITORING KOGENERACNÍ JEDNOTKY	18
2.4 UMÍSTĚNÍ KOGENERACNÍ JEDNOTKY A NUTNÉ ÚPRAVY	18
2.5 POŘÍZENÍ KOGENERACNÍ JEDNOTKY	21
2.6 VÝPOČET ROČNÍ DOBY PROVOZU KOGENERACNÍ JEDNOTKY	21
2.7 ROČNÍ SPOTŘEBA PALIVA	22
2.7.1 <i>Roční náklady na palivo</i>	22
2.8 ROČNÍ VYROBENÁ ELEKTRICKÁ ENERGIE	23
2.9 MOŽNOSTI VYUŽITÍ VYROBENÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE	24
2.9.1 <i>Využití zeleného bonusu pro vlastní spotřebu</i>	25
2.9.2 <i>Bilance využití zeleného bonusu pro vlastní spotřebu</i>	26
2.9.3 <i>Prodávání veškeré vyrobené energie</i>	26
2.9.4 <i>Bilance prodeje veškeré vyrobené elektrické energie</i>	27
2.10 POROVNÁNÍ BILANCÍ OBOU PROVOZNÍCH VARIANT KOGENERACNÍ JEDNOTKY	28
3 POROVNÁNÍ STÁVAJÍCÍHO ENERGETICKÉHO ZÁSOBENÍ SE ZÁSOBENÍM POMOCÍ KOGENERACNÍ JEDNOTKY	28
3.1 BILANCE STÁVAJÍCÍHO ZÁSOBENÍ RODINNÉHO DOMU	28
3.2 VLASTNÍ POROVNÁNÍ STÁVAJÍCÍHO ZÁSOBENÍ SE ZÁSOBENÍM KOGENERACNÍ JEDNOTKOU	29
3.3 ZHODNOCENÍ A MOŽNOSTI ZLEPŠENÍ KOGENERACNÍ JEDNOTKY	29
3.3.1 <i>Cena kogenerační jednotky</i>	29
3.3.2 <i>Výkupní cena elektrické energie</i>	30
3.3.3 <i>Využití jiných paliv</i>	30
3.3.4 <i>Hodnocení, individuální ohodnocení</i>	30
4 ZÁVĚR	31
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	32

Seznam symbolů a zkratek

TDD	Typový denní diagram
P_{md}	Maximální příkon rodinného domu [W]
P_d	Denní odběr [W]
P_{dm}	Maximální denní odběr [W]
P_{dp}	Průměrný denní odběr [W]
d	Délka topného období [den]
V	Vytápěný objem m^3
Q_c	Tepelná ztráta [kW]
Q_r	Roční potřeba pro vytápění a ohřev teplé vody [kW]
T_m	Doba využití maxima [h]
Q_{max}	Maximální tepelný výkon kogenerační jednotky [kW]
V_p	Roční spotřeba paliva kogenerační jednotky [m^3/h]
V_m	Spotřeba paliva [m^3/h]
Q	Množství energie dodané plynem [kWh]
k	Přepočtový objemový koeficient
H_s	Množství tepla, které lze získat dokonalým spálením 1 m^3 plynu [kWh/ m^3]
P_{el}	Celková roční vyrobená energie kogenerační jednotkou [kWh]
P_m	Maximální elektrický výkon kogenerační jednotky [kW]
P_{elr}	Celková roční spotřeba elektrické energie [kW]
$\$_{zb}$	Roční zisk ze zeleného bonusu [Kč]
P_{elz}	Roční přebytek elektrické energie [kWh]
$\$_{pel}$	Roční zisk za prodanou elektrickou energii [Kč]

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1-1:ENERGETICKÁ BILANCE RODINNÉHO DOMU PŘEVZATO [1].....	11
OBRÁZEK 2-1:ZAPOJENÍ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY PŘEVZATO [2].....	16
OBRÁZEK 2-2:TEDOM MICRO T7 PŘEVZATO [4].....	17
OBRÁZEK 2-3:ÚSPORA ENERGIE PŘEVZATO [4].....	18
OBRÁZEK 2-4: ZAPOJENÍ KJ SE DVĚMA ELEKTROMĚRY.....	19
OBRÁZEK 2-5:ELEKTROMĚR AMT B1D SA4T 5-80A PŘEVZATO [8].....	19
OBRÁZEK 2-6:ZAPOJENÍ KJ S JEDNÍM ELEKTROMĚREM.....	20
OBRÁZEK 2-7:ELETROMĚR ACE SL 7000 PŘEVZATO[9].....	21

Seznam grafů

GRAF 1-1:ROČNÍ PRŮBĚH POTŘEBY TEPLA.....	12
GRAF 1-2:TDD 20. LEDEN.....	14
GRAF 2-1:PRŮBĚH SPOTŘEBY ZEMNÍHO PLYNU [6].....	23
GRAF 2-2:TDD 5. SRPEN.....	24
GRAF 2-3:ROČNÍ PRŮBĚH SPOTŘEBY EL. ENERGIE [10].....	27

Seznam tabulek

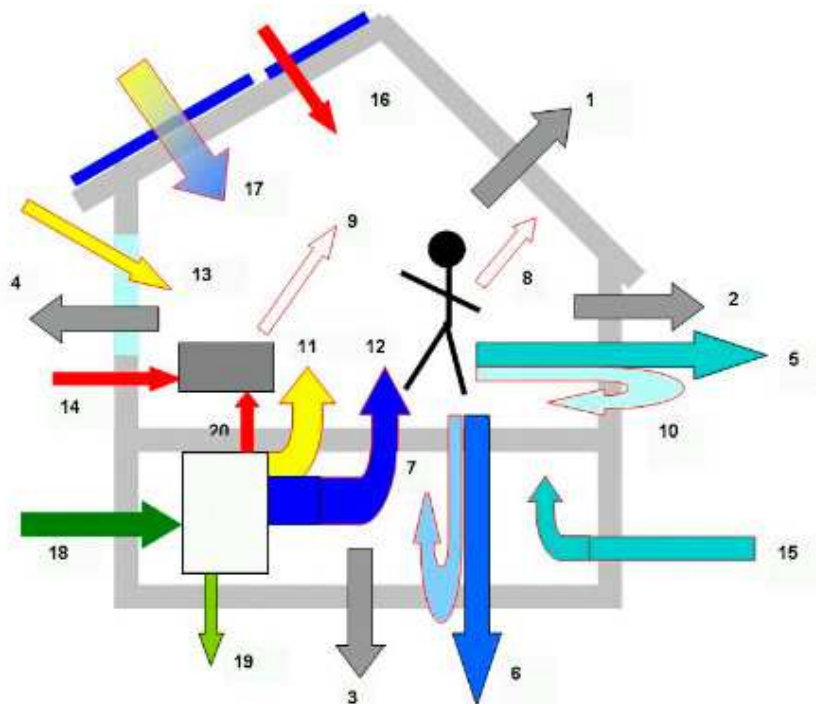
TABULKA 1-1:ŽTRÁTY A ZISKY ENERGETICKÉ BILANCE[1].....	11
TABULKA 1-2:POTŘEBA TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ A OHŘEV TEPLÉ VODY [3].....	13
TABULKA 2-1:ROZMĚRY A HMOTNOST [4].....	17
TABULKA 2-2:TEDOM MICRO T7 TECHNICKÉ ÚDAJE [4].....	17
TABULKA 2-3:CENA PLYNU [6].....	23
TABULKA 2-4:ROČNÍ NÁKLADY NA PLYN [6].....	23
TABULKA 2-5:ZÁKLADNÍ ROČNÍ SAZBA ZELENÉHO BONUSU[7].....	25
TABULKA 2-6:BILANCE VYUŽITÍ ZELENÉHO BONUSU PRO VLASTNÍ SPOTŘEBU.....	26
TABULKA 2-7:CENA ELEKTRINY ČEZ [10].....	27
TABULKA 2-8:ROČNÍ NÁKLADY NA ELEKTRINU [10].....	27
TABULKA 2-9:BILANCE PRODEJE VEŠKERÉ VYROBENÉ EL. ENERGIE.....	28
TABULKA 3-1:BILANCE ELEKTRICKÉHO KOTLE.....	29
TABULKA 3-2:POROVNÁNÍ STÁVAJÍCÍHO ZÁSOBNÍ SE ZÁSOBNÍM KOGENERAČNÍ JEDNOTKOU.....	29
TABULKA 3-3:DOPLŇKOVÁ SAZBA.....	30

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na návrh kogenerační jednotky pro rodinný dům. Práce je rozdělena na tři části; v první části bude nejprve představen objekt, pro který bude kogenerační jednotka navrhována, dále se první část zabývá energetickou bilancí rodinného domu, tj. výpočtem tepelných ztrát obálkovou metodou, určení roční potřeby tepla pro vytápění a ohřev teplé vody a určení potřeby elektrické energie. Druhá část se zabývá výběrem vhodné kogenerační jednotky dle vypočtených parametrů z první části. V této části budou představeni největší výrobci kogeneračních jednotek na našem trhu, bude ukázáno, v čem spočívá výhoda kogeneračních jednotek, možnosti zapojení kogeneračních jednotek a také zde budou provedeny výpočty ekonomické bilance kogenerační jednotky a její návratnost. Ve třetí části bude porovnána ekonomická bilance kogenerační jednotky z druhé části se stávajícím energetickým zásobením, navrhnou se možná zlepšení provozu z hlediska ekonomiky. V závěru budou zhodnoceny výsledky práce.

1 Energetická bilance rodinného domu

Energetická bilance je základním nástrojem pro stanovení energetické soběstačnosti domu. Pro určení bilance je nutné sečíst veškeré ztráty viz *tabulka 1-1.*, zamyslet se zda je možné tyto ztráty snížit, popřípadě kolik by to stálo. Dále je třeba sečíst veškeré zisky viz *tabulka 1-1.* Rozdíl mezi ztrátami a zisky je pak nutné krýt zdrojem. [1]



Obrázek 1-1: Energetická bilance rodinného domu převzato [1]

ztráty		zisky	
1	ztráty prostupem střechou	7	rekuperace tepla z odpadní vody
2	ztráty prostupem stěnami	8	zisky od osob
3	ztráty prostupem podlahou	9	zisky od spotřebičů
4	ztráty okny a prosklením	10	rekuperace tepla z odpadního vzduchu
5	ztráty větráním	11	dodávka tepla pro vytápění
6	teplo pro ohřev vody	12	dodávka tepla pro ohřev vody
		13	pasivní solární zisky (okna prosklení)
		14	elektřina z vnějšího zdroje (vlastní elektrárna)
		14a	vodní elektrárna
		14b	větrná elektrárna
		15	zisk zemního výměníku tepla
		16	elektřina z fotovoltaických panelů
		17	aktivní solární zisky (kolektory)
		18	palivo
		19	ztráty ve vlastním zdroji
		20	dodávky elektřiny z kogenerace

Tabulka 1-1: Ztráty a zisky energetické bilance [1]

1.1 Popis objektu

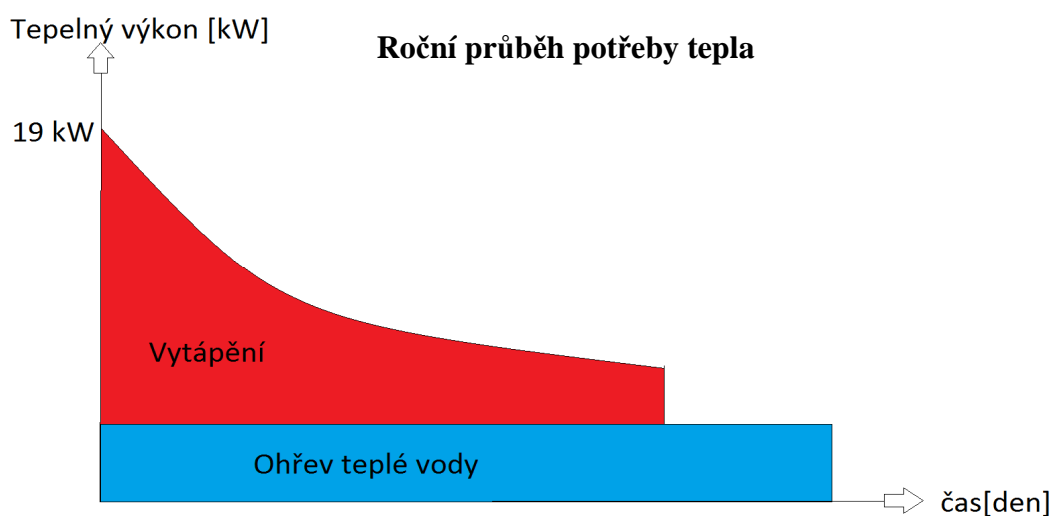
Vybraný dům se nachází v obci Měčín v Plzeňském kraji, 14 km severovýchodně od Klatov, jedná se o patrový rodinný dům rozkládající se na ploše 106,4 m². Celkový vytápění objem domu je V=553 m³. Dům se nachází v nadmořské výšce 475 m.n.m. Objekt je v zastavěné oblasti a je ze dvou stran obklopen jinými rodinnými domy, je postaven z autoklávovaného pórobetonu a byl minulý rok osazen novými plastovými okny. Dům byl do této chvíle vytápěn 10 kW elektrickým kotlem a křbovou vložkou.

1.2 Tepelné ztráty

Pro výpočet tepelných ztrát byla použita online kalkulačka na internetové stránce www.tzb-info.cz, přesný odkaz uveden v použité literatuře. Výpočet byl proveden pomocí obálkové metody, která spočívá v tom, že se vezmou obvodové zdi zvoleného rodinného domu, zvolí se venkovní teplota v našem případě -12 °C a požadovaná vnitřní teplota 20 °C. Výsledkem této metody je celková tepelná ztráta Q_c určující energii, která se musí dodat, aby uvnitř domu byla požadovaná teplota. Tepelná ztráta vybraného domu je $Q_c=19$ kW. [2]

1.3 Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody

Pro výpočet potřeby tepla pro vytápění a ohřev teplé vody byla opět použita online kalkulačka z internetové stránky www.tzb-info.cz. Výpočet byl proveden pro čtyřčlennou rodinu se spotřebou teplé vody 0.082 m³/osobu den, délka topného období byla zvolena dle průměru délky topného období v Plzeňském kraji na d=225 dnů. Výsledkem výpočtu byla celková roční spotřeba tepelné energie na vytápění a ohřev teplé vody $Q_T=49,9$ MWh/rok (179,5 GJ/rok) viz *tabulka1-2*. [3]



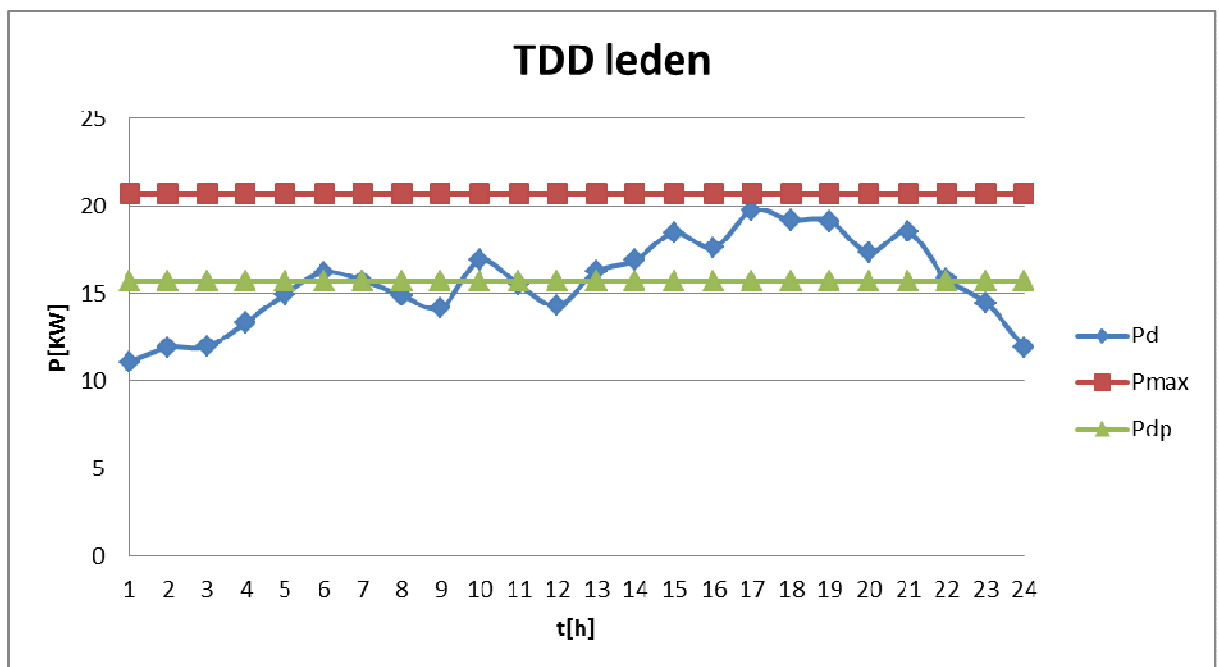
Graf 1-1:Roční průběh potřeby tepla

Lokalita		tem = 12°C	
Město	Klatovy	Délka topného období	d=230 dnů
Venkovní výp. Teplota	-15 °C	Prům. teplota během otopného období	t _{es} = 3.4 °C
Vytápění			
Tepelná ztráta objektu		Q _C = 19 kW	
Průměrná vnitřní výpočtová teplota		t _{is} = 19°C	
Vytápěcí denostupně		D = d*(t _{is} -t _{es}) = 3666 K*dny	
Opravný součinitel		ε = e _i * e _t * e _d = 0,765	
$Q_{vyt,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o * \eta_r} * \frac{24 * Q_c * D}{(t_{is} - t_{es})} * 3,6 * 10^{-3}$			
Q _{vyt,r} = < 150 GJ/rok (41,7 MWh/rok)			
Ohřev teplé užitkové vody			
t ₁ = 10°C	ρ = 1000 kg/m ³		
t ₂ = 55°C	C = 4186 J/kgK		
V _{2p} = 0,3 m ³ /den			
Koeficient energetických ztrát systému	z = 0,5		
Denní potřeba tepla pro ohřev teplé užitkové vody			
$Q_{TUV,d} = (1 + z) * \frac{\rho * c * V_{2p} * (t_2 - t_1)}{3600} = 25,7 \text{ kWh}$			
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		
$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} * d + 0,8 * Q_{TUV,d} * \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} * (N - d)$			
Q _{TUV,r} = < 29,5 GJ/rok (8,2 MWh/rok)			
Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé užitkové vody			
Q _r = Q _{vyt,r} + Q _{TUV,r} = < 179,5 GJ/rok (49,9 MWh/rok)			

Tabulka 1-2:Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody [3]

1.4 Potřeba elektrické energie

Z výpisu od stávajícího dodavatele elektrické energie vyplývá, že rodinný dům má sazbu D45d, tato sazba odpovídá typovému dennímu diagramu 7 (dále jen TDD), dále je z výpisu patrná velikost jističe 3x30A. Z velikosti jističe se určil maximální možný příkon domu $P_{\max}=20,7\text{kW}$. Z této hodnoty a normovaných hodnot z internetové stránky www.ote-cr.cz se určil normovaný TDD viz *graf 1-2*. Pro určení maximálního elektrického odběru byl zvolen TDD pro den 20. Ledna, tedy den v měsíci, který patří mezi nejstudenější měsíce v roce. Z *graf 1-2* je vidět, že maximální odběr je v 17h $P_{\text{dmax}}=19,75\text{kW}$ a průměrný denní odběr $P_{\text{dp}}=15,687\text{ kW/h}$. Z historie spotřeby elektrické spotřeby za poslední tři roky se určila průměrná roční spotřeba 11,3 MWh.



Graf 1-2: TDD 20. Leden

2 Vlastní návrh kogenerační jednotky pro rodinný dům

Vhodnou kogenerační jednotku budeme volit dle:

- Požadovaný tepelný výkon
- Cena kogenerační jednotky
- Návratnost investice
- Dostupnosti paliva
- Reference firmy

Při návrhu kogenerační jednotky se přednostně vycházelo z potřeby tepla pro vytápění a ohřev teplé vody a až potom z potřeby elektrické energie, kterou je v případě nedostatku jednodušší dokoupit od některého z dodavatelů na českém trhu. V objektu byl nadále ponechán starý elektrický kotel, který bude používán jako záloha v případě odstávky dodávky plynu, při odstávce kogenerační jednotky nebo v krajních případech v zimě při extrémních mrazech, jako dopomoc ke kogenerační jednotce.

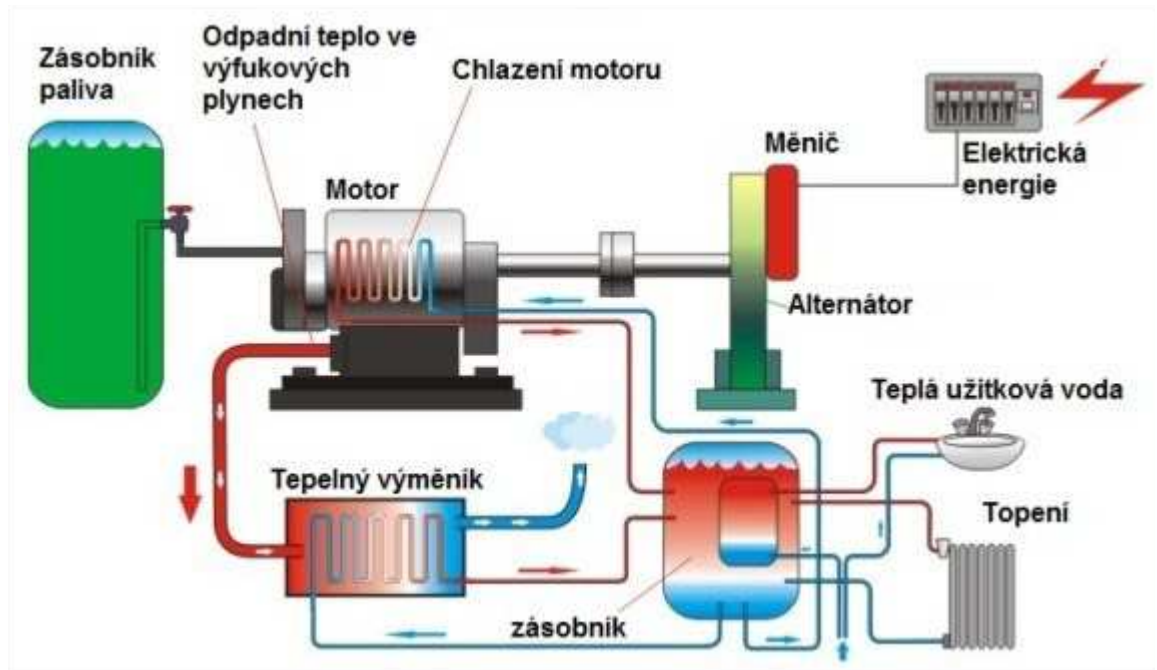
2.1 Výběr vhodné kogenerační jednotky

Vybíráno bylo ze dvou společností a to společností Tedom a Viessman. Obě společnosti patří mezi největší v oblasti poradenství, výroby a montáže kogeneračních jednotek nejen u nás, ale i ve světě. Nakonec byla vybrána kogenerační jednotka od společnosti Tedom a to nejen díky četným doporučením a referencím na internetu, ale hlavně kvůli velmi podrobným technickým specifikacím kogeneračních jednotek, které firma uvádí na svých internetových stránkách.

Pro vybraný rodinný dům se jeví, jako nejvhodnější nejmenší nabízená kogenerační jednotka typu Micro T7 od firmy Tedom. Jednotka má elektrický výkon 7kW a tepelný výkon 17,2 kW. a měla by tak pokrýt celoroční nároky na tepelnou energii. Jednotka bude použita na vytápění a ohřívání teplé vody, vyrobená elektrická energie bude použita na pokrytí vlastní potřeby a zbytek bude prodáván do elektrické sítě.

Pokud je primárním úkolem kogenerační jednotky dodávat teplo a až jako druhořadým výrobou elektrické energie, bude se kogenerační jednotka řídit podle venkovní teploty.

Při použití kogenerační jednotky jako zdroje tepelné energie, je nutné vybavit ji sekundárním okruhem, který se stará o odvod tepla z jednotky do topného systému domu viz *obrázek 2-1*. Pro ekonomický chod kogenerační jednotky je také velmi důležité, aby byl zajištěn celoroční odběr tepla, pokud tomu tak nebude, např. v letních měsících je nutné kogenerační jednotku dovybavit tepelným výměníkem a provoz jednotky by nebyl tak výhodný.



Obrázek 2-1: Zapojení kogenerační jednotky převzato [2]

2.2 Kogenerační jednotka TEDOM Micro T7

U kogenerační jednotky TEDOM Micro T7 probíhá transformace energie z paliva na mechanickou energii pomocí spalovacího motoru. Jako palivo byl zvolen zemní plyn a to hlavně kvůli své dostupnosti. Výrobu elektrické energie obstarává elektrický generátor, který je poháněn motorem.

Dodávku tepelné energie z kogenerační jednotky zajišťuje teplo z výfukových plynů motoru, teplo z chlazení motoru a chlazení oleje. [4]

Kogenerační jednotku je možné zakoupit ve třech provedení:

1. Bez protihlukového krytu- Koncepce je určena především pro vnitřní instalaci do odhlučňovacích strojoven
2. S protihlukovým krytem- Určeno pro instalaci do budov, výhoda této koncepce je rychlost instalace a nízká hlučnost.
3. V kontejneru- Určeno pro venkovní provedení

2.2.1 Rozměry a základní technické údaje



Obrázek 2-2: Tedom Micro T7 převzato [4]

Rozměry a hmotnost				
A[mm]	B[mm]	C[mm]	D[mm]	hmotnost [kg]
1300	700	1380	1120	645

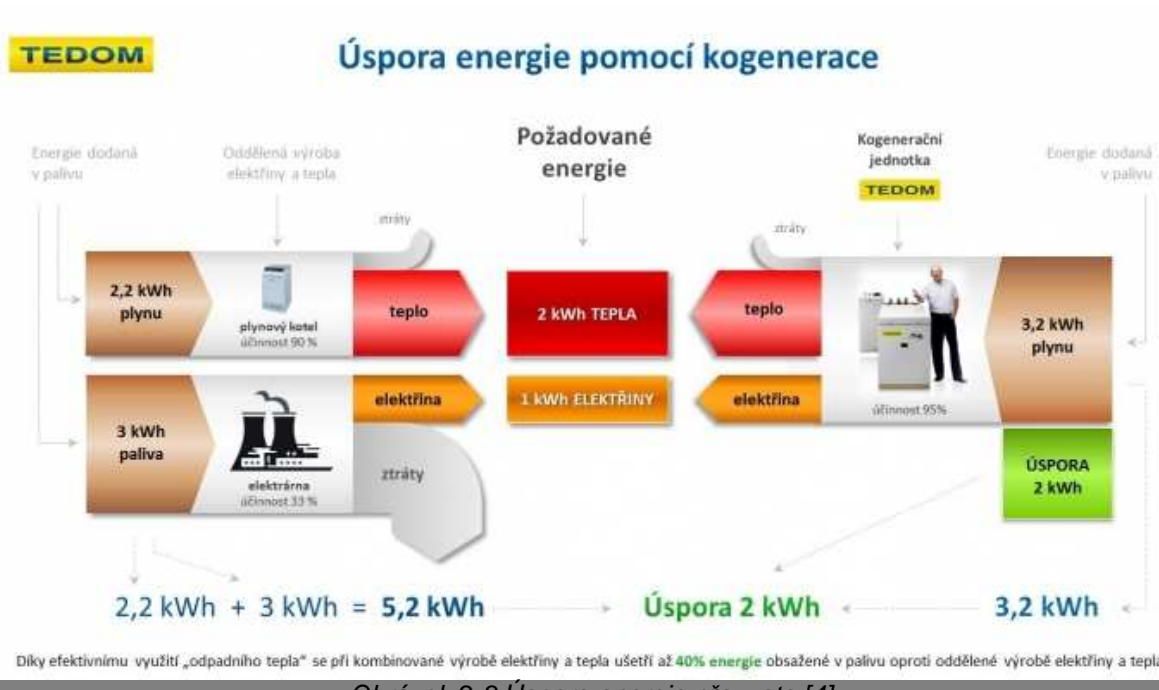
Tabulka 2-1: Rozměry a hmotnost [4]

TEDOM MICRO T7	
Elektrický výkon [kW]	7
Tepelný výkon [kW]	17,2
Elektrická účinnost [%]	27
Tepelná účinnost [%]	66,3
Celková účinnost [%]	93,3
Spotřeba plynu [m ³ /h]	2,7

Tabulka 2-2: Tedom micro T7 technické údaje [4]

2.2.2 Úspora energie

Jak je vidět z obrázek2-3 úspora energie pomocí kogenerace je značná, ale jen za předpokladu, že dokážeme odebírat teplo po celý rok, pokud tomu tak není, kogenerace už přestává být výhodná a její účinnost značně klesá až na úroveň účinnosti klasické tepelné elektrárny.



Obrázek 2-3: Úspora energie převzata [4]

2.3 Řízení a monitoring kogenerační jednotky

K ovládání kogenerační jednotky se využívá několik druhů řídicích systémů v závislosti na výkonu dané kogenerační jednotky a požadavcích zákazníka. Všechny druhy řídicích systémů zabezpečují plně automatizovaný provoz.

Kogenerační jednotku je možné ovládat dvěma způsoby místně nebo dálkově. Pro místní ovládání se jako u většiny podobných zařízení využívá klávesnice a display řídicího systému. Ovládání na dálku je možné využívat pomocí počítačů připojených k internetu nebo pomocí aplikací v chytrých mobilních telefonech.

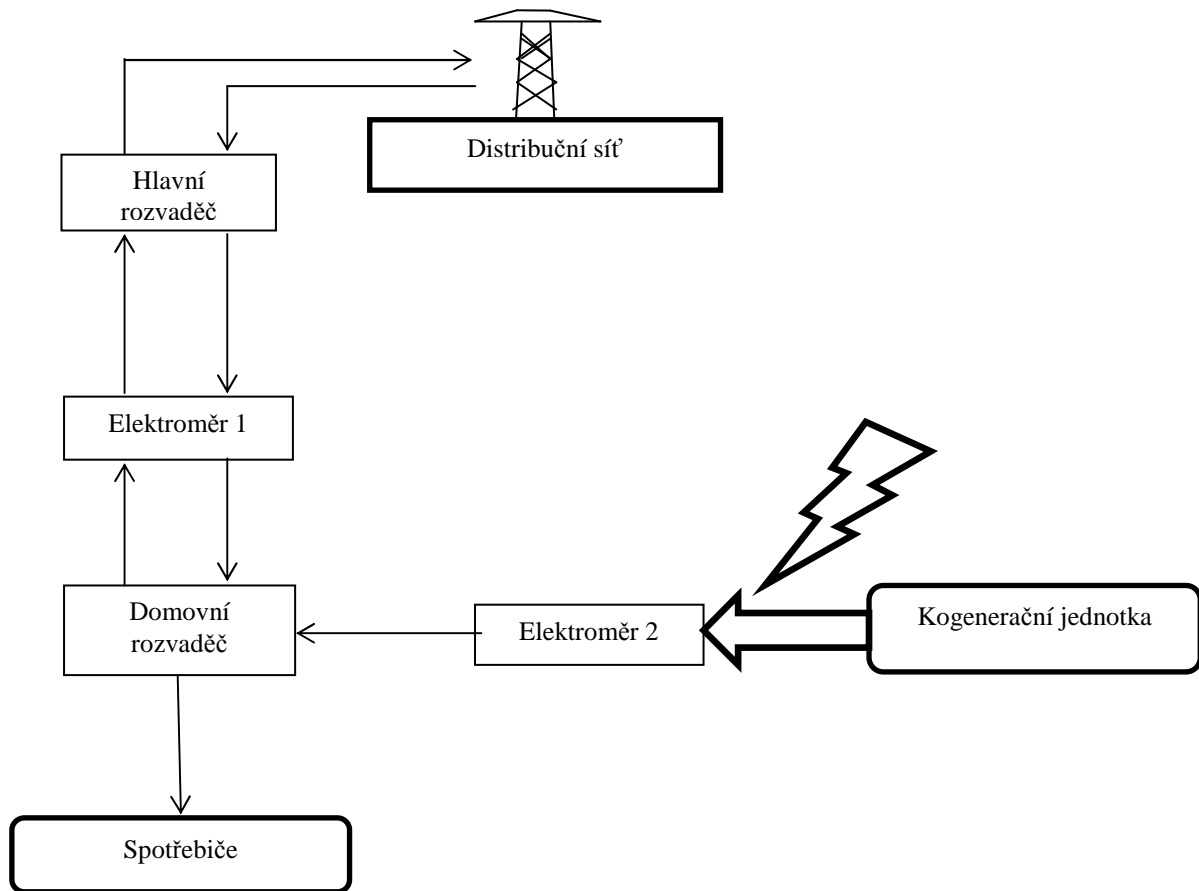
Pomocí dálkového internetového připojení může také dodavatel kogenerační jednotky dálkově sledovat chod jednotky a její technický stav, což výrazně zvyšuje spolehlivost a předchází poruchám kogenerační jednotky. [4]

2.4 Umístění kogenerační jednotky a nutné úpravy

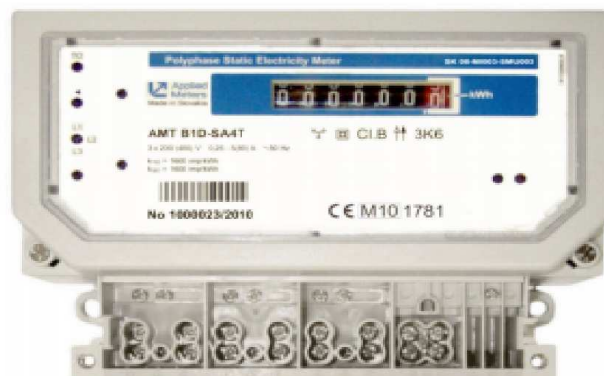
Kogenerační jednotka bude umístěna ve sklepních prostorách hned vedle stávajícího elektrického kotle, aby byly náklady na nutné úpravy co nejmenší.

Pro provoz kogenerační jednotky jsou možné 2 způsoby zapojení elektroměrů. První a levnější varianta je s použitím dvou elektroměrů AMT B1D SA4T 5-80A viz obrázek2-5, tato varianta je levnější, protože jsou v ní použity dva obyčejné třífázové elektroměry

AMT B1D SA4T 5-80A. Blokové schéma viz obrázek 2-4.



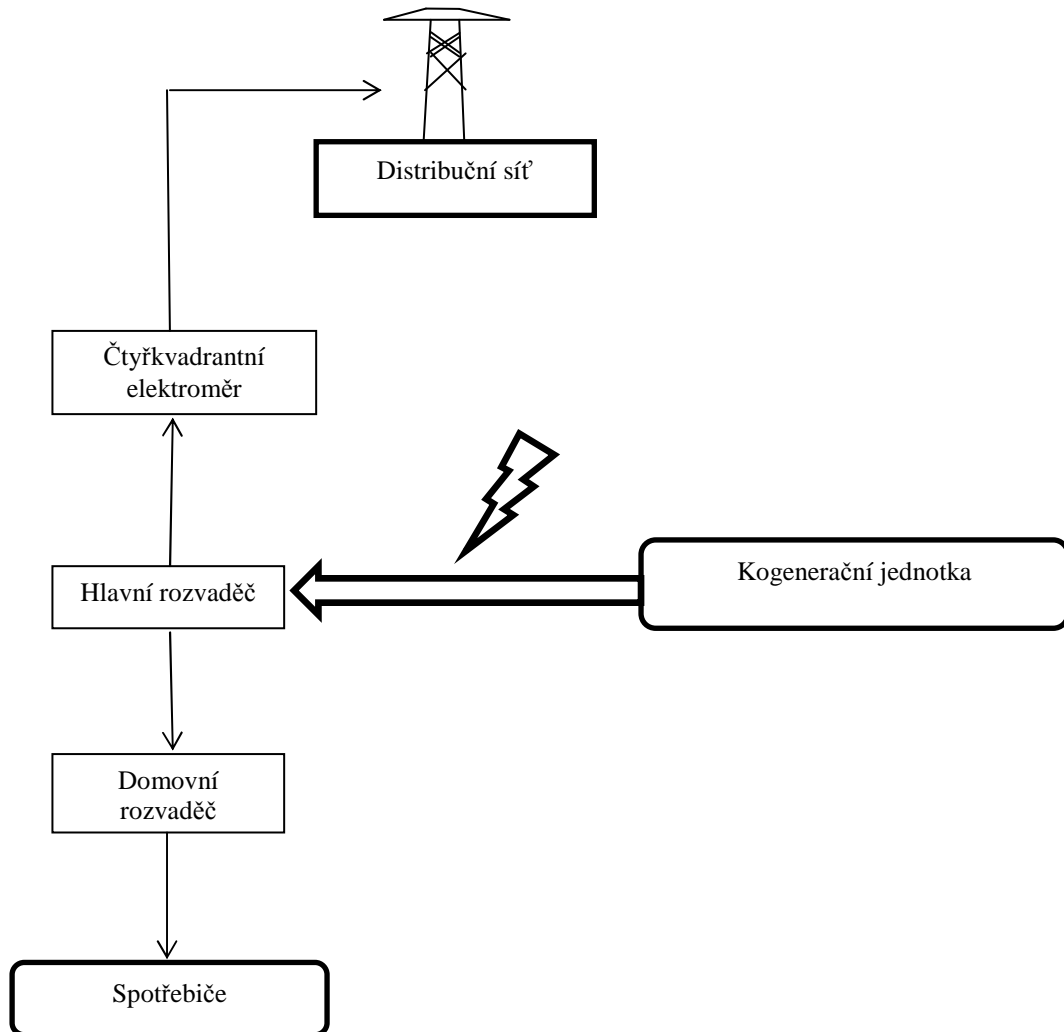
Obrázek 2-4: Zapojení KJ se dvěma elektroměry



Obrázek 2-5: Elektroměr AMT B1D Sa4T 5-80A převzato [8]

- Třída přesnosti 1
- Proudový rozsah 0,5-80 A
- Nízká vnitřní spotřeba
- Elektromechanický číselník
- Cena 1742 Kč vč. DPH

Druhá varianta zapojení kogenerační jednotky je pouze s jedním elektroměrem. Pro zapojení s jedním elektroměrem musí být zvolen čtyřkvadrantní elektroměr, pro tyto potřeby byl zvolen elektroměr ACE SL7000 viz *obrázek 2-7*. Výhoda tohoto zapojení je, že na jednom elektroměru vidíme, jak elektrickou energii prodanou do sítě, tak i koupenou elektrickou energii. Nevýhoda je vysoká cena elektroměru, která je oproti zapojení se dvěma elektroměry zhruba dva krát větší. Blokové schéma zapojení viz *obrázek 2-6*.



Obrázek 2-6:Zapojení KJ s jedním elektroměrem



Obrázek 2-7: Eletroměr
ACE SL 7000 převzato[9]

- Třída přesnosti 1
- Elektrické napětí 3x240/415V
- Elektrický proud $I_{\max}=120$ A
- Cena 12 826 Kč vč. DPH

2.5 Pořízení kogenerační jednotky

Asi hlavním problémem je pro většinu zájemců při pořízení kogenerační jednotky cena, která je vysoká a u modelu Micro T7 je 500 000 Kč bez DPH, to může mnoho zájemců od pořízení kogenerační jednotky odradit, dále je třeba počítat s úpravami rodinného domu, které se pohybují okolo 30% ceny kogenerační jednotky. Životnost deklaruje firma tedom na 15 let při běžném prohozu v rodinném domě.

Největší překážkou pro uplatnění kogenerace v rodinném domě je však nutnost stát se podnikatelem, vyřídít spoustu povolení a vést obsáhlou agendu okolo provozu kogenerace, na www.kogenerace.tedom.com nabízí firma tedom dokument: Rukověť zájemce o kogenerační jednotku, kde se nachází veškeré informace, potřebné k pořízení kogenerační jednotky. [4]

2.6 Výpočet roční doby provozu kogenerační jednotky

Jak již bylo řečeno, kogenerační jednotka bude primárně využita na dodávku tepelné energie. Z rovnice 2.1 se určí roční dobu provozu, po kterou musí motor běžet, aby se vyrobila tepelná energie potřebná na roční pokrytí rodinného domu.

$$T_m = \frac{Q_r}{Q_{\max}} = \frac{49,9 \times 10^3}{17,2} = 2901h \quad (2.1)$$

T_m [h] - Doba využití maxima kogenerační jednotky. (Doba, po kterou běží kogenerační jednotka na plný výkon)

Q_r [kW] - Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé užitkové vody.

Viz tabulka 1-2.

Q_{\max} [kW] - Maximální tepelný výkon kogenerační jednotky. Viz tabulka4

2.7 Roční spotřeba paliva

Z rovnice 2.2 se určí roční spotřebu plynu kogenerační jednotky.

$$V_p = T_m \times V_m = 2901 \times 2,7 = 7833 \text{ m}^3/\text{h} \quad (2.2)$$

V_p [m³/h] - Roční spotřeba plynu

t_m [h] - Doba využití maxima

V_m [m³/h] - Spotřeba paliva

Roční spotřeba plynu se přepočítala z m³/h rovnice 2.2 na kWh viz rovnice 2.3.

$$Q = V_p \times k \times H_s = 7833 \times 1 \times 10,5 = 82248 \text{ kWh} \quad (2.3)$$

Q [kWh] – Množství energie dodané plynem

V_p [m³/h] - Roční spotřeba plynu

k - Přepočtový objemový koeficient. Za normálních podmínek je jeho hodnota $k=1$

H_s [kWh/m³] – Množství tepla, které lze získat dokonalým spálením 1 m³ se vzduchem při teplotě 15 °C a tlaku 101,3 kPa [5]

2.7.1 Roční náklady na palivo

Dodavatel zemního plynu, byl vybrán dle:

- Cena plynu
- Dostupnost
- Délka smlouvy

Výběr dodavatele byl proveden online kalkulátorem na www.kalkulator.tzb-info.cz, přesný odkaz uveden v seznamu použitých zdrojů. Jako dodavatel byla vybrána společnost Blue – Gas / Blue Dream, která sice nebyla nejlevnější, ale jako jedna z mála nabízela smlouvu na dobu neurčitou, to je dle mého názoru lepší než být vázáni u nějaké společnosti

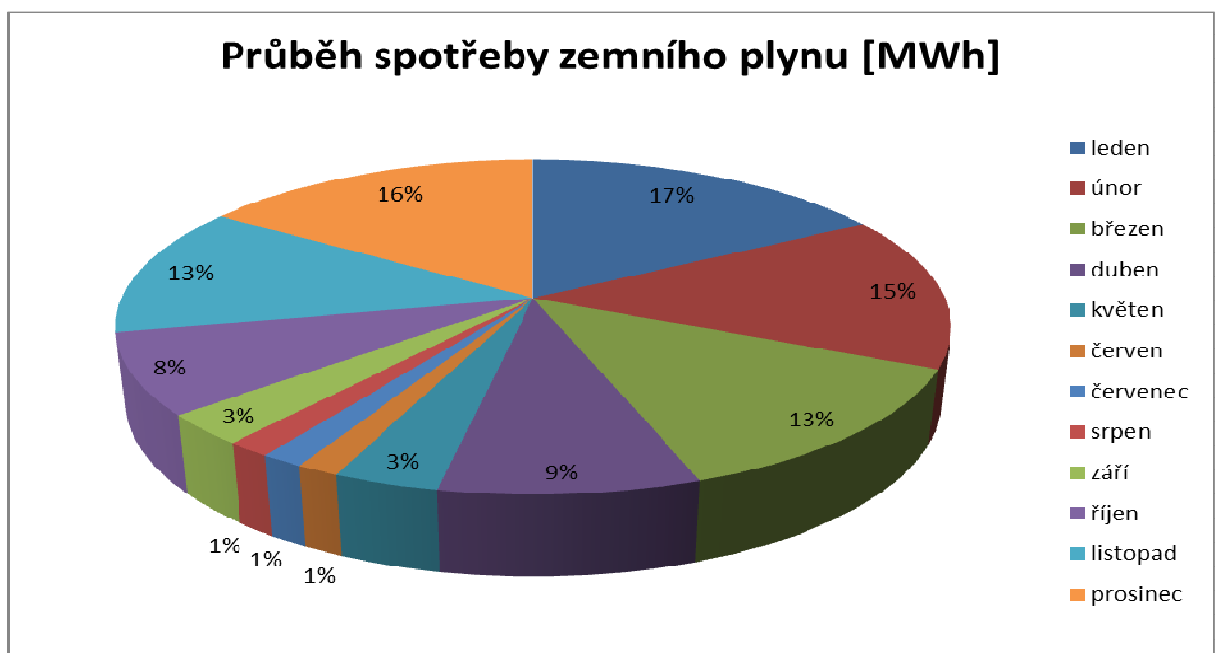
rok nebo dva, jako je tomu zvykem u jiných společností.

Blue - Gas / Blue Dream	
Cena za kWh vč. DPH	1,20 Kč
Cena za m ³ vč. DPH	12,62 Kč

Tabulka 2-3: Cena plynu [6]

Dodávka plynu	Základ DPH	DPH	Celkem
Cena za distribuci plynu	15658,9	3288,37	18947,27
Obchod s plynem	66671,08	13790,93	79462
Daň z plynu	0	0	0
Celkem	81329,98	17079,29	98409,27

Tabulka 2-4: Roční náklady na plyn [6]



Graf 2-1: Průběh spotřeby zemního plynu [6]

2.8 Roční vyrobená elektrická energie

Z rovnice 2.4 je určena celková roční vyrobená elektrická energie.

$$P_{el} = T_m \times P_m = 2901 \times 7 = 20307 \text{ kWh} \quad (2.4)$$

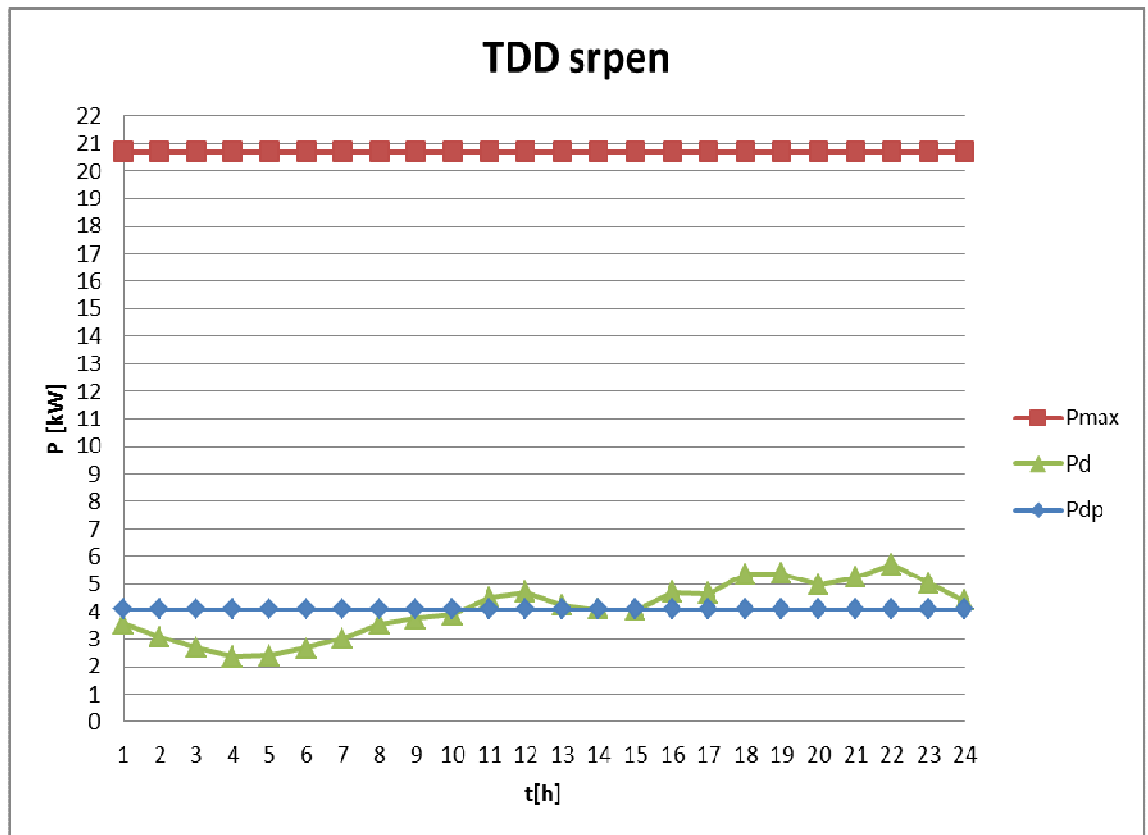
P_{el} [kWh] – Celková roční vyrobená elektrická energie.

T_m [h] – Doba využití maxima.

P_m [kW] – Maximální elektrický výkon kogenerační jednotky.

Při roční spotřebě elektrické energie se bude vycházet z TDD z měsíce srpna viz graf2-2, protože v tomto měsíci nebyl používán elektrický kotel, jako tomu je v měsíci lednu viz graf1-2 a spotřeba elektrické energie bude tedy odpovídat nové skutečnosti provozu

kogenerační jednotky bez elektrického kotle.



Graf 2-2: TDD 5. Srpen

Z graf2-2 je vidět, že průměrný denní odběr $P_{dp}=4,08$ a oproti lednu je 3,75 krát menší než průměrný odběr v lednu. Celkový roční odběr rodinného domu tedy bez používání elektrického kotle klesne z 11,3 MWh na 3,2 MWh. Pro další výpočty bude brána celková roční spotřeba 4 MWh.

2.9 Možnosti využití vyrobené elektrické energie

Od letošního roku není pro kogenerační jednotku na rozdíl od předchozích let stanovena výkupní cena vyrobené elektrické energie. A pokud tedy chce vlastník kogenerační jednotky prodávat vyrobenou elektrickou energii, musí si výkupní cenu vyjednat s některým z distributorů např. ČEZ, EON.

V mém případě jsem se obrátil na společnost ČEZ, která mi nabídla výkupní cenu 1000 Kč/MWh, k této ceně se samozřejmě přičítá i zelený bonus. To znamená, že konečná výkupní cena v mém případě bude 2610 Kč/MWh.

Možnosti využití vyrobené elektrické energie jsou pouze dvě:

1. Vyrobenou elektrickou energii spotřebovat za využití zeleného bonusu a přebytek energie prodat do sítě.
2. Veškerou vyrobenou elektrickou energii prodat do sítě a potřebnou energii koupit od některého z dodavatelů na českém trhu.

2.9.1 Využití zeleného bonusu pro vlastní spotřebu

Zelený bonus je příplatek za vyrobenou elektrickou energii. Jeho výši stanovuje každý rok Energetický regulační úřad ERU ve vyhlášce 453/2012, kterou se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie. Ve vyhlášce jsou uvedeny jak zelené bonusy pro jednotlivé podporované zdroje, tak i jejich výkupní ceny. [11]

Kombinovaná výroba elektriny a tepla	Instalovaný výkon [kW]		Provozní hodiny [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
	od	do		1610
	0	200	3000	

Tabulka 2-5: Základní roční sazba zeleného bonusu [7]

Jak již bylo řečeno celková roční spotřeba $P_{elr}=4\text{MWh}$, za tuto spotřebu bude čerpán zelený bonus viz *rovnice 2.5*. Přebytek vyrobené energie viz *rovnice 2.6* bude prodáván do sítě za vyjednanou výkupní cenu 1000 Kč/MWh i za tuto prodanou energii bude čerpán zelený bonus viz *rovnice 2.7*.

$$S_{zb} = P_{elr} \times 1610 = 4 \times 1610 = 6440 \text{ Kč} \quad (2.5)$$

S_{zb} [Kč] – Roční zisk ze zeleného bonusu

P_{elr} [MWh] – Roční spotřeba elektrické energie rodinného domu

$$P_{elz} = P_{el} - P_{elr} = 20307 - 4000 = 16307 \text{ kWh} \quad (2.6)$$

P_{elz} [kWh] – Roční přebytek elektrické energie

P_{el} [kWh] – Celková roční vyrobená energie

P_{elr} [kWh] – Roční spotřeba elektrické energie rodinného domu

$$S_{pel} = P_{elz} \times (1000 + 1610) = 16,307 \times 2610 = 42561 \text{ Kč} \quad (2.7)$$

S_{pel} [Kč] – Roční zisk za prodanou elektrickou energii

P_{elz} [kWh] – Roční přebytek elektrické energie

2.9.2 Bilance využití zeleného bonusu pro vlastní spotřebu

V bilanci bude počítáno s garantovanou dobou životnosti 15 let. Cena kogenerační jednotky a potřebných úprav na domě 600 000 Kč vč. DPH bude rozpočítána do doby životnosti. Z toho vyplývají, roční náklady na kogenerační jednotku. Dále bude předpokládáno, že cena plynu zůstane po dobu 15 let stejná. Výsledná bilance využití zeleného bonusu pro vlastní spotřebu viz *tabulka 2-6*.

Roční bilance při životnosti 15 let		
Náklady	Náklady na palivo	-98 409,27 Kč
	Náklady na kogenerační jednotku	-40 000,00 Kč
Zisk	Zelený bonus	32 200,00 Kč
	Prodej přebytku elektrické energie	42 561,00 Kč
Roční bilance		-63 648,27 Kč
Konečná bilance za 15 let provozu		
-954 724,05 Kč		

Tabulka 2-6: Bilance využití zeleného bonusu pro vlastní spotřebu

Z *tabulka 2-6* je patrné, že varianta využití zeleného bonusu pro vlastní spotřebu provozu kogenerační jednotky není výhodný. Ročně bychom museli za provoz jednotky platit 63 648,27 Kč a ani po 15 letech garantované životnosti bychom se nedostali na celkové provozní náklady kogenerační jednotky a provoz bychom končili s velkou ztrátou 954 724,05 Kč.

2.9.3 Prodávání veškeré vyrobené energie

U této varianty se bude veškerá vyrobená energie $P_{el}=20307$ kWh prodávat do sítě a elektřina potřebná na chod rodinného domu $P_{elr}=4$ MWh se bude kupovat od některého z dodavatelů.

Výběr dodavatele a výpočet ročních nákladů na elektřinu byl opět proveden pomocí online kalkulatoru na www.kalkulator.tzb-info.cz, přesný odkaz uveden v seznamu použitých zdrojů. Vybrána byla společnost ČEZ.

$$S_{pel} = P_{el} \times (1000 + 1610) = 20,307 \times 2610 = 53001,27 \quad (2.8)$$

S_{pel} [Kč] - Roční zisk za prodanou elektrickou energii

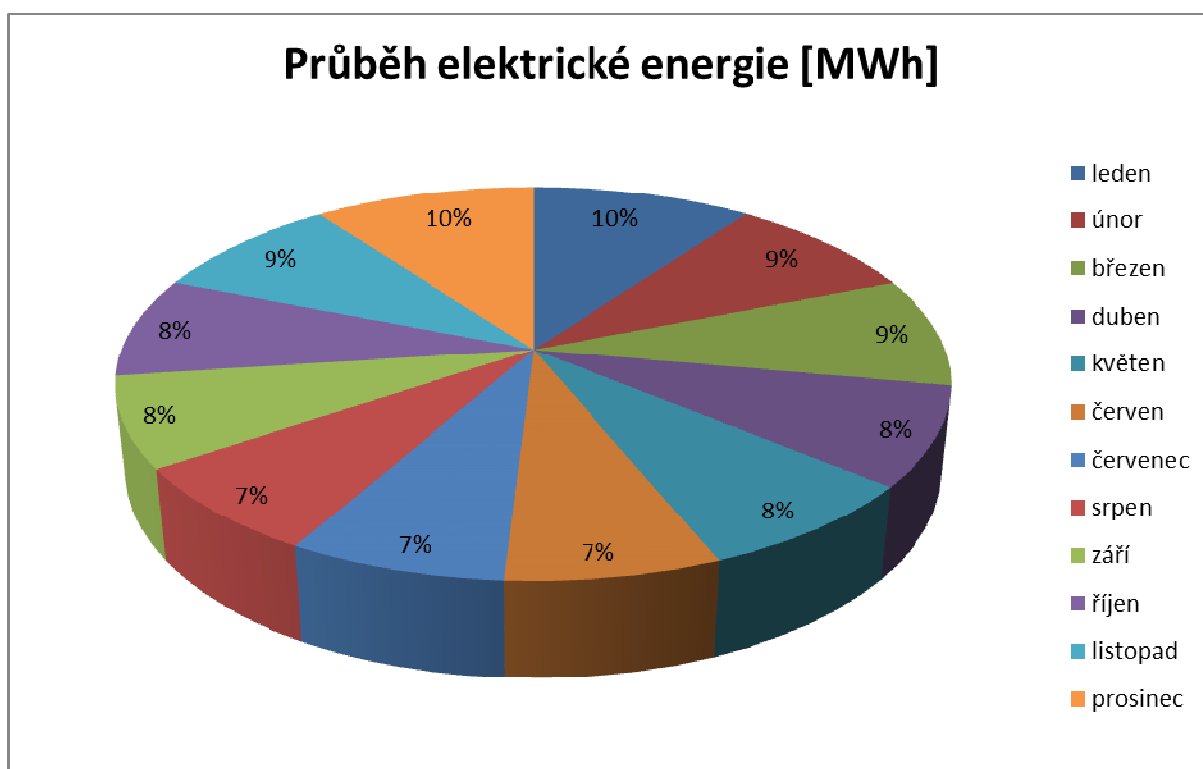
P_{el} [kWh] – Celková roční vyrobená energie

ČEZ	
Průměrná cena za kWh vč. DPH	4,42 Kč
Pravidelné platby obchodníkovi vč. DPH	871 Kč

Tabulka 2-7:Cena elektřiny ČEZ [10]

Dodávky elektřiny	Základ DPH	DPH	Celkem
Obchod s elektřinou	4666,28	979,92	5646,2
Regulované služby	9946,68	2088,8	12035,48
Celkem	14612,96	3068,72	17681,68

Tabulka 2-8:Roční náklady na elektřinu [10]



Graf 2-3:Roční průběh spotřeby el. Energie [10]

2.9.4 Bilance prodeje veškeré vyrobené elektrické energie

Náklady na kogenerační jednotku budou opět rozpočítány do doby životnosti 15 let a opět budeme počítat s neměnou cenou plynu, jako u předchozí bilance. Jak je vidět z *tabulka2-10* varianta prodeje veškeré vyrobené energie je ještě nevýhodnější než varianta využití zeleného bonusu pro vlastní spotřebu, to je způsobeno hlavně nízkou výkupní cenou elektrické energie, jak je vidět z *tabulka9* elektrickou energii nakupujeme za 4,42 Kč/kWh, ale prodáváme pouze za 2,61 Kč/kWh a to včetně zeleného bonusu.

Roční bilance při životnosti 15 let		
Náklady	Náklady na palivo	-98 409,27 Kč
	Náklady na kogenerační jednotku	-40 000,00 Kč
	Nákup elektrické energie	-17 681,68 Kč
Zisk	Prodej elektrické energie	53 001,27 Kč
Roční bilance		-103 089,68 Kč
Konečná bilance za 15 let provozu		
-1 546 345,20 Kč		

Tabulka 2-9: Bilance prodeje veškeré vyrobené el. energie

2.10 Porovnání bilancí obou provozních variant kogenerační jednotky

Jak je vidět z tabulka 2-6 a tabulka 2-10 obě varianty provozu kogenerační jednotky jsou pro vybraný rodinný dům nevýhodné. Lépe ale vychází varianta s využitím zeleného bonusu pro vlastní spotřebu a prodejem přebytečné elektrické energie. Kde oproti variantě prodeje veškeré vyrobené elektrické energie a nákupu elektrické energie pro vlastní spotřebu ročně ušetříme 39 441,41 Kč a za 15 let provozu dokonce 591 621,15 Kč.

3 Porovnání stávajícího energetického zásobení se zásobením pomocí kogenerační jednotky

Při porovnání stávajícího energetického zásobení se zásobením pomocí kogenerační jednotky budeme vycházet ze stejných podmínek ekonomických podmínek, jako při bilancích jednotlivých variant zásobení pomocí kogenerační jednotky.

To je s dobou životnosti 15 let a ne měnou cenou elektrické energie, jako tomu bylo v případě kogenerační jednotky s cenou plynu. Podmínky musí být stejné, proto aby výsledné porovnání možností zásobení rodinného domu mělo patřičnou výpovědišchopnost.

3.1 Bilance stávajícího zásobení rodinného domu

Stávající elektrický kotel má výkon 10 kW a jeho cena na dnešním trhu se v průměru pohybuje okolo 15 000 Kč vč. DPH. Cena elektrického kotle bude opět rozpočítána to 15 let provozu, jako tomu bylo v případě bilance kogenerační jednotky.

Z faktur elektrické energie za poslední 3 roky byla určena průměrná roční cena elektřiny 33 000 vč. DPH.

Roční bilance při době provozu 15 let	
Roční náklady na provoz el. Kotle	-1 000,00 Kč
Roční náklady na elektřinu	-33 000,00 Kč
Roční bilance	-34 000,00 Kč
Konečná bilance za 15 let provozu	
	-510 000,00 Kč

Tabulka 3-1: Bilance elektrického kotle

Z tabulky 3-1 je vidět, že za 15 let energetického zásobení pomocí elektrického kotle v rodinném domě zaplatíme ročně 34 000 Kč a celkově 510 000 Kč.

3.2 Vlastní porovnání stávajícího zásobení se zásobením kogenerační jednotkou

Roční bilance při životnosti 15 let				
		KJ-zelený bonus vlastní spotřebu	KJ-prodej veškeré el. Energie	Elektrický kotel
Náklady	Náklady na palivo	-98 409,27 Kč	-98 409,27 Kč	
	Náklady na provoz	-40 000,00 Kč	-40 000,00 Kč	-1 000,00 Kč
	Nákup el. Energie		-17 681,68 Kč	-33 000,00 Kč
Zisk	Zelený bonus	32 200,00 Kč		
	Prodej přebytku el. Energie	42 561,00 Kč		
	Prodej veškeré el. Energie		53 001,27 Kč	
Roční bilance		-63 648,27 Kč	-103 089,68 Kč	-34 000,00 Kč
Konečná bilance za 15 let provozu				
		-954 724,05 Kč	-1 546 345,20 Kč	-510 000,00 Kč

Tabulka 3-2: Porovnní stávajícího zásobení se zásobením kogenerační jednotkou

Z tabulky 3-2 je vidět, že pro zvolený rodinný dům vychází, jako nejvýhodnější způsob energetického zásobení stávající elektrický kotel, který vyjde o 444 427,05 Kč lépe než výhodnější varianta s kogenerační jednotkou a to varianta využití zeleného bonusu pro vlastní spotřebu. Pokud pak porovnáme elektrický kotel s variantou KJ prodeje veškeré vyrobené el. energie dostaneme se na rozdíl 1 036 345,2 Kč.

3.3 Zhodnocení a možnosti zlepšení kogenerační jednotky

3.3.1 Cena kogenerační jednotky

Hlavním důvodem výsledku viz tabulka 3-2 je velká pořizovací cena kogenerační jednotky. Pokud bychom u varianty využití zeleného bonusu pro vlastní spotřebu odečetli cenu kogenerační jednotky ve výši 600 000 Kč vč. DPH, dostali bychom se s celkovými náklady za 15 let provozu na částku 354 724, 05 Kč, což by byli čisté náklady na provoz

kogenerační jednotky. Pokud bychom to samé udělali v případě elektrického kotle, dostaneme se na 495 000 Kč, z toho jasně vyplývá, že pokud by stát přispíval na nákup kogenerační jednotky, jako tomu bylo v předchozích letech s fotovoltaickými elektrárnami bylo by použití kogenerační jednotky i pro menší rodinné domy, jako tomu je v našem případě výhodné.

3.3.2 Výkupní cena elektrické energie

Dalším důvodem špatných výsledků při použití kogenerační jednotky je nízká výkupní cena elektrické energie. V letošním roce bychom prodali vyrobenou elektrickou energii za 2610 Kč/MWh, což je proti nákupu za 4420 Kč/MWh velmi nízká částka. Pokud by i v letošním roce byla stanovena větší podpora pro společnou výrobu elektrické a tepelné energie, jako tomu bylo v předchozích letech, byl by provoz i takto malých kogeneračních jednotek velmi výhodných a za dobu provozu bychom se dostali i do kladných čísel a kogenerační jednotku splatit.

3.3.3 Využití jiných paliv

Jedna z možností, jak zlepšit ekonomiku provozu kogenerační jednotky je použití paliv, která jsou státem více podporovaná než zemní plyn. Jedná se o spalování čisté biomasy, bioplynu, dřívího nebo degazačního plynu atd. V těchto případech je pak *tabulka 2-5* se sazbou zeleného bonusu doplněna ještě o *tabulka 3-3* s doplňkovou sazbou k základní sazbě.

Druh podporovaného zdroje	Instalovaný výkon[kW]		Zelený bonus [Kč]
	od	do	
Spalování čisté biomasy	0	5000	455
Spalování ze zplyňování pevné biomasy	0	5000	755
Spalování bioplynu	0	2500	455
Spalování dřívího nebo degazačního plynu	0	5000	455
Spalování komunálního odpadu	0	5000	155

Tabulka 3-3:Doplňková sazba

3.3.4 Hodnocení, individuální ohodnocení

Moje finanční hodnocení bylo provedeno pouze na základě finanční návratnosti, v našem případě spíše nenávratnosti, nebral jsem v potaz to, že nebudu závislí na dodávce elektrické energie a tím se mě nebudou týkat výpadky elektrické energie při odstávkách, údržbách a poruchách, to může být pro někoho natolik podstatné, že ho neodradí ani velké počáteční investice, na druhou stranu budeme závislí na dodávce plynu a při dnešním dění na Ukrajině a v Rusku nevíme, jestli budeme mít plyn dost, popřípadě jaká bude jeho cena. Závislost na plynu by se částečně dala omezit zásobníkem, ale to jsou další nemalé peníze navíc a výslednou finanční bilanci by to dostalo ještě více do červených čísel.

4 Závěr

V našem případě není použití kogenerační jednotky moc ekonomicky výhodné a dle mého názoru by bylo lepší zůstat u stávajícího zásobení elektrickým kotlem.

Špatný výsledek se dal předpokládat již od začátku, jak již bylo řečeno, pokud chceme, aby byla kogenerační jednotka ekonomicky výhodná, musíme zajistit trvalý odběr tepelné energie, to bylo v našem případě nemožné, protože v letních měsících se teplo používalo jen zřídka kdy na ohřev teplé vody. Pokud by dům měl například bazén, dala by se vyrobená tepelná energie použít na jeho vytápění a ekonomie provozu by hned byla o poznání výhodnější. Další možnost zefektivnění provozu kogenerační jednotky v menším rodinném domě by bylo použití tzv. trigenerační jednotky, kdy se kogenerační jednotka doplní absorpční jednotkou, která nám vyrábí chlad, kterým spotřebujeme tepelnou energii i v letních měsících, pokud by náš dům obsahoval zmiňovaný bazén a kogenerační jednotka byla doplněna absorpční jednotkou jsem si jistý, že bychom se dostali k mnohem příznivějším výsledkům.

Obecně si ale stále myslím, že společná výroba elektrické a tepelné energie pomocí kogenerační jednotky je velmi výhodná pro užití nejen ve velkých teplárnách, ale i v menších objektech jako jsou školy, hotely, domovy s pečovatelskou službou, panelové domy a kryté bazény a aquaparky a tom svědčí i stovky podobných instalací po celé ČR provedené společností TEDOM.

Seznam použitých zdrojů

Internetové prameny:

- [1] Energetická bilance domu [online]. [cit.10.3.2014]
Dostupné z: <http://ekowatt.cz/uspory/energeticka-bilance-domu.shtml>
- [2] Tepelné ztráty domu [online]. [cit.10.3.2014]
Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/107-vypocet-tepelne-ztraty-objektu-dle-csn-06-0210>
- [3] Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody [online]. [cit.12.3.2014]
Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [4] Tedom Micro T7 [online]. [cit.12.3.2014]
Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/tedom-kogeneracni-jednotky-zemni-plyn.html>
- [5] Současná cena m³ na kWh zemního plynu [online]. [cit.14.3.2014]
Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/soucasna-cena-kubiku-m3-a-kwh-zemniho-plynu/>
- [6] Dodávka zemního plynu – porovnání nabídek [online]. [cit.14.3.2014]
Dostupné z: <http://kalkulator.tzb-info.cz/cz/dodavka-zemniho-plynu-porovnani-nabidek>
- [7] Cenové rozhodnutí [online]. [cit.16.3.2014]
Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/-/cenove-rozhodnuti-c-6-2013>
- [8] Elektroměr AMT B1D SA4T 5-80A [online]. [cit.23.5.2014]
Dostupné z: <http://www.elektromery.com/index.php?action=tovar&id=191>
- [9] Elektroměr ACE SL7000 [online]. [cit.23.5.2014]
Dostupné z: <http://www.elektromery.com/index.php?action=tovar&id=193>
- [10] Dodávka elektrické energie – porovnání nabídek [online]. [cit.14.3.2014]
Dostupné z: <http://kalkulator.tzb-info.cz/cz/dodavka-elektricke-energie-porovnani-nabidek>
- [11] Zelený bonus [online]. [cit.23.5.2014]
Dostupné z: <http://www.usporavpraxi.cz/zeleny-bonus>