

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta strojní**  
**Katedra energetiky**

**Implementace kogeneračních jednotek do tepelného zdroje  
vybaveného horkovodními kotli**

**Implementation of Cogeneration Units in the Heating Plant  
Equipped with Hot-Water Boilers**

**Student:**

**Ing. Michal Špaček**

**Vedoucí diplomové práce:**

**Doc. Ing. Jiří Míka CSc.**

**Ostrava 2015**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra energetiky

## Zadání diplomové práce

Student: **Ing. Michal Špaček**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení  
Téma: **Implementace kogeneračních jednotek do tepelného zdroje vybaveného horkovodními kotli**  
**Implementation of Cogeneration Units in the Heating Plant Equipped with Hot-Water Boilers**

Zásady pro vypracování:

1. Popis stávajícího stavu kotelny
2. Rozbor současného stavu spotřeby paliva a produkce tepla vč. časového využití
3. Návrh optimálního řešení pokrytí
  - Investiční náročnost variant
  - Energetická bilance kogeneračních jednotek
4. Návrh a dispoziční řešení umístění jednotky
5. Ekonomické zhodnocení variant

Seznam doporučené odborné literatury:

Krbek, J., Polesný, B.: Malé kogenerační jednotky v komunální a průmyslové energetice, PC-DIR Real Brno 1999, ISBN 80-85895-23-4

Kysela, L., Tomčala, J.: Ekonomika v energetice. Ediční středisko. Ostrava: VŠB-TU, 2000. ISBN 80-7078-851-8

Kysela, L., Míka, J., Kyselová, S.: Teplárenství. Učební text. Katedra energetiky Ostrava, 2010  
ON 074017: Tepelný výpočet parních kotlů

Dlouhý, T.: Výpočty kotlů a spalinových výměníků, ČVUT Praha 2005, ISBN 978-80-01-03757-7


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Míka, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

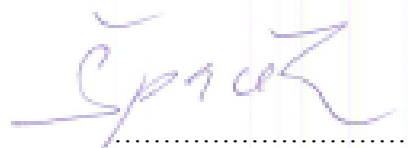
V Ostravě : ..... 11.5.2015 .....

  
.....  
Michal Špaček

## Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavře licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo –diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 11.5. 2015 .....



.....  
Michal Špaček

Jméno a příjmení autora práce: Michal Špaček

Adresa trvalého pobytu autora práce: Lesnice 160, Zábřeh, 789 01

## Poděkování

Touto formou bych chtěl poděkovat panu Doc. Ing. Jiřímu Míkovi CSc., Ing. Martinu Jaterkovi a Ing. Rostislavu Hegarovi, za cenné rady, které mi poskytli během vypracování této práce.

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

ŠPAČEK, M. Implementace kogeneračních jednotek do tepelného zdroje vybaveného horkovodními kotly: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2015, 65 s. Vedoucí práce: Míka, J.

Tato práce řeší návrh kogenerační jednotky s pístovým spalovacím motorem, která bude implementována do stávající kotelny s klasickými plynovými kotli. Okrsková kotelna je vybavena třemi konvenčními plynovými kotli o celkovém instalovaném tepelném výkonu 3 150 kW, která zásobuje topnou vodou a teplou vodou prostřednictvím tepelných sítí malé přilehlé sídliště. Tepelný zdroj je výkonově předimenzován, neboť všechny teplem zásobované objekty prošly revitalizací. Následkem revitalizace došlo i k poklesu projektovaného teplotního spádu. V současné době postačuje pro vytápění objektů topná voda o teplotním spádu 90/70°C. Požadavkem investora teplárenské společnosti je návrh optimálního tepelného výkonu kogenerační jednotky s pístovým spalovacím motorem, která by vhodným způsobem doplnila stávající kotle.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

ŠPAČEK, M. Implementation of Cogeneration Units in the heating Plant Equipped with Hot-Water Boilers: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of energetic, Department of Control Systems and Instrumentation, 2015, 65 p. Thesis head: Míka, J.

This diploma thesis deals with the design of cogeneration unit with a piston combustion engine which has to be implemented to the existing boiler house with classical gas boilers. The district boiler house is provided with three conventional gas boilers with a total installed thermal power 3150 kW, supplying heating water and hot water through heat networks of small neighboring housing estate. The heat source is a power oversized, because all with the heat supplied objects passed through revitalization. Due to the revitalization it was also a decrease in the projected of the temperature gradient. At present it is sufficient for heating buildings the heating water with temperature gradient of 90/70 ° C. Requirement of the investor's the heat company is to design an optimal thermal power of cogeneration units with piston combustion engine, which will be complement the existing boilers an appropriate way.

## Seznam zkratk a symbolů

CHÚV	[-]	chemická úprava vody
CZT	[-]	centrální zásobování teplem
hod	[-]	hodina
K	[-]	kotel
KGJ	[1]	kogenerační jednotka
l	[m]	délka
m	[kg]	hmotnost
p	[Pa]	tlak
P	[kW]	elektrický výkon
Q	[J]	tepelná kapacita
t	[s]	čas
T	[°C]	teplota
TUV	[-]	teplá užitková voda
U	[V]	elektrické napětí
ÚT	[-]	topná voda pro vytápění
W	[Wh]	elektrická práce
We	[-]	výkon elektrický
Wt	[-]	výkon tepelný
ZP	[-]	zemní plyn

Tyto symboly a zkratky jsou platné jen tehdy, není-li v příslušném textu uvedeno jinak. Jedná se především o symboly a zkratky označené stejným znakem nebo specifikované indexem.

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Kogenerace</b> .....	<b>4</b>
2.1	Technologie kogenerace.....	4
2.1.1	Teplárenský modul.....	4
2.1.2	Teplárenská účinnost.....	5
2.1.3	Transformace energií z kogeneračních jednotek.....	6
2.1.4	Výhody kogenerace.....	8
2.2	Spalovací motory.....	9
4.2.1	Parametry spalovacích motorů.....	15
<b>3</b>	<b>Popis stávajícího stavu kotelny</b> .....	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>Vlastní návrh kogenerační jednotky</b> .....	<b>19</b>
4.1	Prvotní návrh KGJ.....	19
4.2	Popis navržené kogenerační jednotky.....	27
4.2.1	Systém mazání motoru olejem.....	27
4.2.2	Systém chlazení motoru.....	27
4.2.3	Systém přenosu tepla.....	28
4.2.4	Spalinový výměník tepla.....	28
4.2.5	Výměník chladičí vody (deskový výměník).....	28
4.2.6	Systém čištění spalin a předřazený spalinový tlumič hluku.....	28
4.3	Podrobný návrh KGJ.....	30
<b>5</b>	<b>Návrh velikosti akumulární nádrže</b> .....	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>Modelace KGJ pro energetické bilance</b> .....	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>Popis nového stavu kotelny</b> .....	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>Ekonomické hodnocení</b> .....	<b>51</b>
8.1	Kritéria efektivity.....	51
8.2	Ekonomické hodnocení.....	54
8.2.1	Vstupní data a předpoklady výpočtu.....	54
8.2.2	Vlastní hodnocení a výstupní data z něho.....	55
8.2.3	Kritéria efektivity projektu.....	60
4.2.7	Závěr a doporučení.....	60
<b>9</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>61</b>
	<b>Použitá literatura:</b> .....	<b>63</b>



## 1 Úvod

V posledních letech se energetika potýká se dvěma problémy. První je spojen s úsporou všech forem energií, především fosilních paliv. K fosilním palivům se řadí i zemní plyn spalovaný ve stávajícím tepelném zdroji. Druhým je neustálý tlak na zlepšování životního prostředí. Jedním z řešení, které se vypořádává s oběma problémy je společná výroba tepla a elektrické energie tzv. "kogenerace". Doplněním stávající výtopy (okrskové kotelny) kogenerační jednotkou s pístovým spalovacím motorem se z výtopy stává teplárna.

Tato práce řeší doplnění stávajících klasických plynových kotlů s celkovým instalovaným tepelným výkonem 3 150 kW nacházejících se v kotelně o kogenerační jednotku s pístovým spalovacím motorem. Z hlediska tepelného výkonu je stávající kotelná předimenzována. Tento stav byl zapříčiněn především důsledným zateplením všech objektů zásobovaných teplem z okrskové kotelny. Vlivem zateplení objektů a výměnou oken došlo i k podstatnému snížení spotřeby tepla pro vytápění objektů. Spotřeba tepla spojená s přípravou teplé vody se změnila jen nepatrně. Důsledná revitalizace ovlivnila i snížení projektovaného teplotního spádu topné vody. Pro vytápění objektů je postačující teplotní spád topné vody 90/70°C. Obecně lze návrh kogenerační jednotky provést z pohledu potřeb elektrické energie nebo z pohledu potřeb tepla. K tomu je třeba sestavit diagram trvání elektrického výkonu případně diagram trvání tepelného výkonu za příslušný kalendářní rok. Do takto sestrojených diagramů trvání výkonů se nasazují kogenerační jednotky pro jejich optimální pokrytí. Návrh kogenerační jednotky dle potřeb elektrické energie se provádí v případě, že tepelný výkon spojený s výkonem elektrickým lze v každém provozním stavu kogenerační jednotky vyvést do tepelné soustavy bez potřeby maření tepla. Takto navržená kogenerační jednotka upřednostňující elektrickou energii se například používá ke krytí elektrických odběrových špiček v síti (polední a večerní špičky). Kogenerační jednotku v tomto případě lze regulovat od 100 % do 50 % jmenovitého elektrického výkonu.

Návrh kogeneračních jednotek dle potřeb tepla se provádí ve většině případů. Kogenerační jednotku v tomto případě lze regulovat od 100% do 63% jmenovitého tepelného výkonu. Takto navržená kogenerační jednotka upřednostňuje teplo. Vyrobenou elektrickou energií spojenou s výrobou tepla lze využít pro vlastní spotřebu

investora (v případě vysoké vlastní spotřeby elektrické energie) nebo prodávat obchodníkovi s elektrickou energií. V mé diplomové práci provádím návrh kogenerační jednotky podle potřeb tepla.

Pro vyrovnávání špiček tepelných výkonů je vhodné doplnit tepelný systém s kogenerační jednotkou o akumulční nádrž. Akumulační nádrž se projektuje i v případě, že kogenerační jednotku nelze denně provozovat celých 24 hodin. Omezujícím faktorem provozu kogenerační jednotky je především hluk, který vydává jak samotná kogenerační jednotka, tak periférie jednotky, kterými jsou spalínovod pro odvod spalin a vzduchovod pro přívod spalovacího vzduchu a odvod vzduchu vysálaného do prostoru motorem a generátorem.

## 2 Kogenerace

Pojem kogenerace se začal používat na začátku devadesátých let jako počestění mezinárodně srozumitelného termínu "co-generation". Označení kombinovaná výroba elektrické energie a tepla se používala už počátkem 19. století. Výroba elektřiny v podnikových nebo městských elektrárnách, v parních turbínách a postupné vyvedení tepelného výkonu předznamenaly vznik velkých soustav dálkového zásobování teplem CZT. Rozšíření malých jednotek na bázi spalovacích motorů začalo na našem území začátkem devadesátých let minulého století.

V odborné literatuře se můžeme setkat s různým pojmenováním kogenerace. Jedním z nich je zkratka KVET (Kombinovaná Výroba Elektrické energie a Tepla), v německé i anglické literatuře bývá označena zkratkami BHKW (Blockheizkraftwerke) a CHP (Combined Heat and Power). Původně anglický výraz "kogenerace" je značně rozšířený, i když němčina používá svůj "Kraft Wärme Kuplung".

### 2.1 Technologie kogenerace

V předchozích odstavcích bylo vysvětleno co je to kogenerace, V této kapitole bude popsán cíl a přínos této technologie v praktických aplikacích.

Hlavní myšlenkou kogenerace je zvýšení účinnosti při výrobě elektrické energie využitím odpadního tepla pro další teplotně účely. Velké výrobní elektřiny i tepla jsou teplárny. Menším kombinovaným výrobnám elektrické a tepelné energie se říká kogenerační jednotky. Při posuzování jednotlivých zdrojů z hlediska kogenerační výroby je potřeba znát některé pojmy.

#### 2.1.1 Teplárenský modul

Teplárenský modul (také modul teplotně výroby elektrické energie, součinitel závislého elektrického výkonu) je poměr výkonu vyrobené elektrické energie k tepelnému výkonu, který je dodáván do tepelné sítě z kombinovaného zdroje tepla a elektřiny. Slůvko teplotně proto, že teplárna rovněž zajišťuje v parním cyklu kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. Čím je vyšší teplotně modul ( $\eta$ ), tím méně elektřiny je třeba vyrábět s nízkou účinností v kondenzační parní elektrárně

při současné výrobě daného množství tepla. Právě proto je také úspora paliva vstupujícího do kombinované výroby vyšší.

Obecně se snažíme o co nejvyšší hodnotu teplotního modulu, a to ze dvou důvodů. První je ten, že elektrickou energii považujeme za nejkvalitnější druh energie, kterou můžeme všestranně využívat a v ideálním případě beze ztrát přeměňovat na libovolnou jinou formu energie, např. na energii mechanickou či tepelnou. A také proto, že elektřinu jsme schopni dopravit i na velké vzdálenosti s jen nízkými ztrátami. V uhelných parních elektrárnách, tvořících základ energetické soustavy České republiky, však činí průměrná účinnost této přeměny pouze cca 38 %. Tepelná energie je energií méně hodnotnou, neboť její přeměna na kvalitnější druh energie je technicky obtížná a může být uskutečněna jen částečně. Na druhé straně získávání tepla z prvotních energetických zdrojů v podobě horké či teplé vody je technicky jednoduché a poměrně levné. Vyrobené teplo se využívá v blízkém okolí výroby nebo se dopravuje pomocí tepelných sítí vzdálenějším spotřebitelům. Teplotní modul je definován vztahem:

$$e = \frac{E}{Q_d} [-] \quad (2.1)$$

Kde:

E –elektrická energie [kW] ,

Q<sub>d</sub>–využitá tepelná energie[kW].

### 2.1.2 Teplotní účinnost

Teplotní účinnost je účinnost, kterou vyhodnocujeme u teplot a kogeneračních jednotek. Jedná se o poměr vyrobené elektrické a tepelné energie ku velikosti energie dodané v palivu.

$$\eta_{top} = \frac{E + Q_d}{Q_{pal}} [-] \quad (2.2)$$

Kde:

E– elektrická energie [kW],

Q<sub>d</sub>– využitá tepelná energie [kW],

Q<sub>pal</sub>– energie přivedená v palivu [kW].

Pro oddělenou výrobu tepla ve výtopně a elektrické energie v kondenzační elektrárně platí vztah pro výpočet spotřeby tepla ve vstupujícím palivu (teplo v palivu):

$$Q_{pal} = \frac{E}{\eta_{KE}} + \frac{Q_d}{\eta_V} [kW] \quad (2.3)$$

Kde:

$\eta_{KE}$  – účinnost výroby elektrické energie v kondenzační elektrárně (38%).

$\eta_V$  – účinnost výroby tepla ve výtopně (90%).

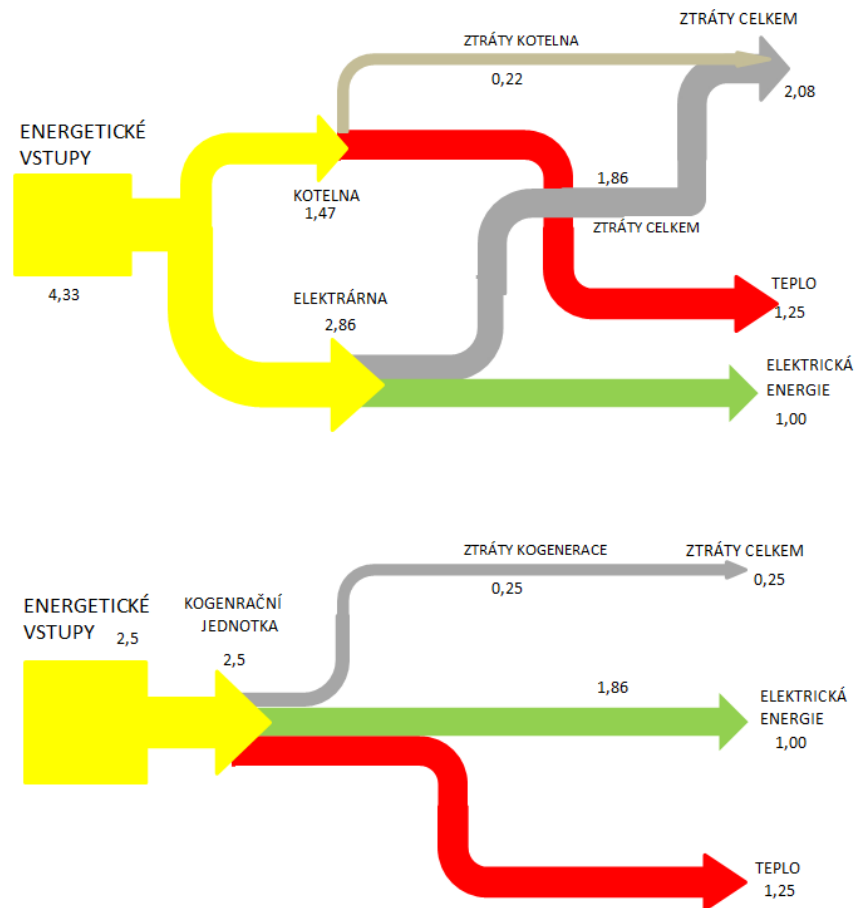
### 2.1.3 Transformace energií z kogeneračních jednotek

Vyrobíme-li elektřinu v kogenerační jednotce, dosáhneme elektrické účinnosti zase jen okolo 40 %. Odpadní teplo, které získáme, ještě efektivně využijeme k vytápění či technologickým účelům s účinností 50 % z přivedeného paliva. Zapojením zařízení v kogeneračním provozu tedy dosáhneme úspory paliva, protože získáme ušlechtilou elektrickou energii a potřebnou tepelnou energii a palivo se využije na 90 %, jak můžeme vidět na obr. 2.1. Při použití vhodně navrhnuté kogenerační jednotky s dobře pokrytým odběrem můžeme ušetřit až třetinu paliva na výrobu stejného množství elektrické energie a tepla, vyráběné odděleným způsobem v elektrárně a výtopně.

Číselný příklad ve formě diagramu energetických toků porovnává dodávku tepla a elektřiny do objektu z kogeneračního zařízení a ze dvou oddělených výroben. V obou případech zásobování je konečná spotřeba číselně stejná. Spotřeba elektřiny činí 1 kWh, spotřeba tepla 1,25 kWh. Velmi se však liší spotřeba paliva. Oddělená výroba spotřebuje 4,33 kWh, ale kogenerace pouze 2,50 kWh. Úspora vstupního paliva v kogeneraci je tedy  $(100\% - 2,50/4,33 \cdot 100) = 42\%$ . Náš příklad pro jednoduchost

neuvažuje ani energetické ztráty v rozvodech, ani rozdílné teplotní úrovně při výrobě tepla.

Důsledkem použití kogeneračních jednotek je tedy snížení spotřeby paliva při dodávce spotřebitelem požadovaného objemu tepla a elektrické energie. Se snížením spotřeby paliva pak souvisí i snižování škodlivých emisí vznikajících při jeho spalování. Ještě většího významu nabývá snížení spotřeby paliva u kogeneračních jednotek spalujících ušlechtilá paliva z dovozu (zemní plyn a topné oleje). Protože uplatňování kogenerační výroby představuje významné energetické opatření na úsporu paliv a energie je v ekonomicky vyspělých státech tento způsob kombinované výroby preferován a od určité velikosti výkonu kogenerační jednotky i povinně zaváděn.



Obr. 2.1: Porovnání množství spotřebované energie u oddělené a kombinované výroby tepla a elektřiny [2]

## 2.1.4 Výhody kogenerace

### Úspora paliva

Použití kombinované výroby tepla a elektrické energie představuje zhruba 40 % úsporu paliva. V praxi to znamená, že za stejné množství energie zaplatí výrobce pouze 60 % finančních prostředků.

### Minimalizace nákladů na rozvod energie

U decentralizovaného systému tepla i elektrická energie navíc vznikají v místě své spotřeby, čímž odpadají náklady na rozvod energie i ztráty tímto dálkovým rozvodem způsobené. Teplo vznikající v kogenerační jednotce je využito k vytápění budov, přípravě teplé užitkové vody nebo k přípravě technologického tepla. Protože se při použití kogeneračního způsobu výroby elektřiny a tepla ušetří asi 40 % paliva, zatěžuje kogenerace z ekologického hlediska přibližně o totéž procento méně životní prostředí.

### Snižování emisí

Kogenerační jednotky ve srovnání s oddílnou výrobou elektrické energie a tepla výrazně snižují celkovou velikost emisí NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> i prachu v důsledku snížení spotřeby paliva a plynofikací výroby elektřiny. Vztah pro snížení emisí při použití kogeneračního principu je následující:

$$\frac{M_X}{Q_S} = \left( \frac{m_X^{výt}}{\eta_{výt}} - \frac{m_X^{kj}}{\eta_{výt}} \right) + e \left( \frac{m_X^{el}}{\eta_{el}} - \frac{m_X^{kj}}{\eta_{kj}} \right) [-] \quad (2.4)$$

Kde:

M – zmenšení emise příslušné látky (kg),

m – velikost emise látky vzniklé při spálení paliva, vztažená na 1 GJ (kg/GJ), uvolněného tepla.

$\eta_{výt}$  – účinnost výtopny (kg),

$\eta_{kj}$  – kogenerační jednotky (%),

$\eta_{el}$  – účinnost kondenzační elektrárny (%).

Vzorec je obecný a počítá i s možnými rozdíly v účinnostech kogenerační jednotky kondenzační elektrárny i náhradní výtopny. Ze vzorce je patrné, že poměrné snížení emisí libovolné škodlivé látky je přímo úměrné modulu teplárenské výroby elektrické energie.

### **Energie pro případ nouze**

Kogenerační jednotky slouží také často jako nouzové zdroje elektrické energie v místech její nepřetržité potřeby nebo jako jediný zdroj elektrické energie. To se nazývá ostrovní provoz, kdy jednotka pracuje autonomně bez připojení na rozvodnou síť. Po povelu na start jednotky probíhá automatický proces připojování generátoru k rozvodně, do které je vyveden jeho výkon. Po splnění stanovených podmínek dojde k připojení generátoru k rozvodně. Generátor potom dodává do ostrovní zátěže výkon, jehož velikost je dána okamžitou potřebou zátěže. Po stisknutí tlačítka stop dojde k odpojení generátoru od rozvodny, dále následuje krátký čas, kdy se soustrojí zůstane točit na jmenovitých otáčkách, a teprve potom motor zastaví.

### **Výroba chladu**

Pomocí absorpčního chladiče je možno kogenerační jednotkou vyrobené teplo (nejčastěji o parametrech 90/70°C nebo 100/80°C) využít i k výrobě chladu pro technologické účely nebo potřeby klimatizace. V takovém případě se hovoří o tzv. trigeneraci (kombinované výrobě elektrické energie, tepla a chladu). V absorpční chladičí jednotce, která je podobně jako kompresorové chlazení vybavena výparníkem a kondenzátorem pracuje místo kompresoru s elektrickým pohonem tzv. „termokompresor“. Výrobou chladu pomocí termokompresoru (absorbéru, vypuzovače, čerpadla) se dosáhne úspora elektrické energie kompresorového chlazení a také prodloužení provozu kogenerační jednotky v letním období (se spotřebou tepla jen pro přípravu TV) a tím i zvýšení podílu výroby elektrické energie.

## **2.2 Spalovací motory**

Spalovací motory v kogeneračních jednotkách vycházejí z klasických pístových motorů používaných k dopravě (vozidla, lokomotivy, lodě). Vzhledem k tomu, že v dopravě jsou to nejčastěji používané motory, v jejich konstrukci došlo k velkému pokroku a tak mají tyto motory dostatečné ekologické a hlavně ekonomické parametry.

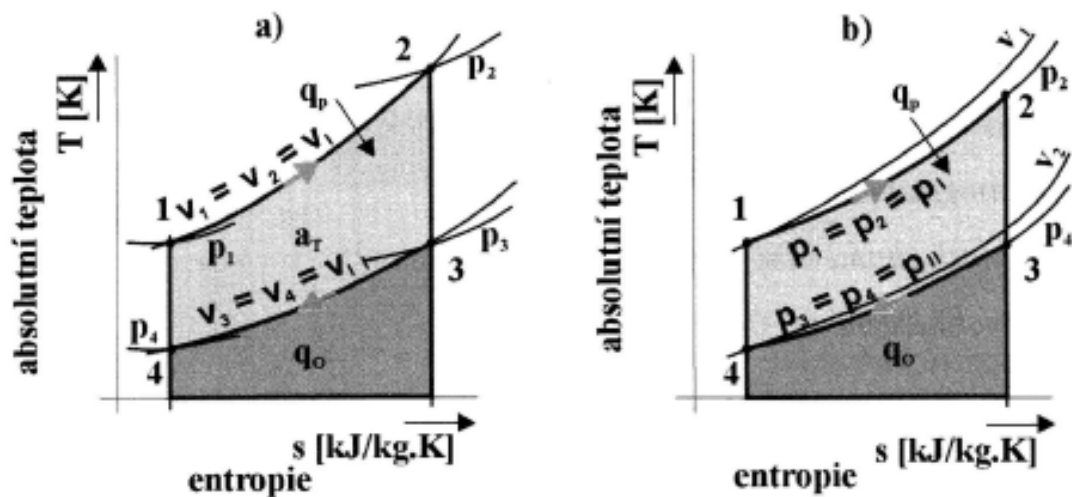


Jejich sériová výroba maximálně snížila jejich pořizovací náklady a tedy i tržní cenu. Za posledních deset let se zvýšily environmentální nároky na čistotu zplodin a trh s pístovými spalovacími motory se jim musel přizpůsobit. Použitím výpočetní techniky se podařilo sledovat, navrhovat a zefektivnit jejich provoz. Z toho vychází i využití spalovacích motorů v energetice. Spalovací motory dělíme podle:

- Způsobu zapalování paliva,
- typy použitého paliva,
- počtu rovnoměrných pohybů použitých pro tepelný oběh,
- počtu a způsobu řazení válců,
- způsobu úpravy spalovacího vzduchu,
- rychlosti otáčení hřídele.

Rozhodující dělení je podle způsobu zapálení palivové směsi ve válci. Dělí se do dvou skupin:

- Zážehové motory a
- vznětové motory.



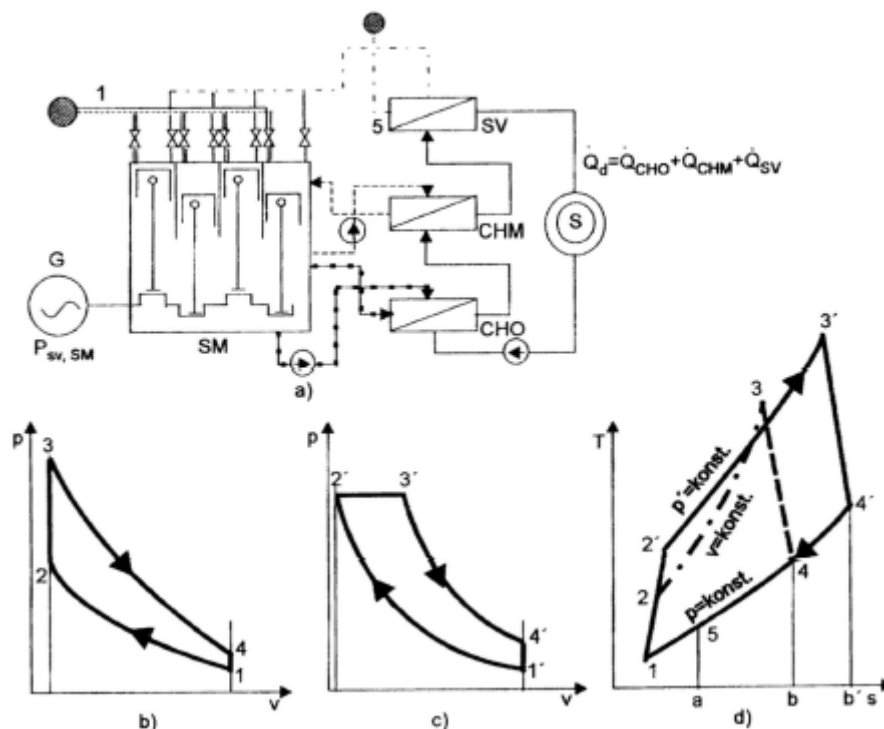
Obr. 2.2: Tepelný oběh se spalovacími motory (a)Ottův cyklus, b) Dieselův cyklus)[1]

**Zážehové motory** zapalují směs paliva a vzduchu elektrickou jiskrou. Pracují na principu Ottova cyklu, kdy teoreticky dochází k přívodu tepla za konstantního objemu. Zapálení směsi může probíhat:

- V otevřené spalovací komoře – zapálení probíhá přímo ve spalovací komoře. Tento typ zažehnutí je vhodný pro motory, které pracují se stechiometrickým poměrem vzduchu ku palivu. Tzn., že ve spalinách není žádné nevyužitě palivo ani vzduch.

- S předzápalnou komorou – k zapálení dojde v malé komoře v hlavě válce, kde se vznítí bohatá spalovací směs (v komoře je přebytek paliva). Tím vznikne dostatečná energie k zapálení chudé směsi (v komoře je přebytek vzduchu) v hlavní spalovací komoře.

U **vznětových motorů** (někdy označovaných jako naftové motory), dochází k zapálení vstříkovaného paliva do stlačeného horkého vzduchu samovolně při dosažení zápalných hodnot. Tento tepelný oběh se nazývá Dieselův (k přívodu tepla dochází při konstantním tlaku). Moderní vznětové motory jsou také už šetrnější k životnímu prostředí, protože snižují emise oxidů dusíku využíváním zpožděného zapalování a hoření.



Obr. 2.3: Kogenerační jednotka se spalovacím motorem [1]

- a) Schéma kogenerační jednotky s pístovým spalovacím (SM) a odvádění tepla z chlazení oleje ve výměníku (CHO), odvádění tepla z chlazení motoru ve výměníku (CHM), a odvádění tepla ve spalinovém výměníku (SV), (SM-spalovací motor, G-elektrický generátor, S-spotřebičtepla)
- b) Oběh SM s přiváděním tepla při konstantním objemu  $v=\text{konst}$  v diagramu p-v (zážehový motor)
- c) Oběh SM s přiváděním tepla při konstantním tlaku  $p=\text{konst}$  v diagramu p-v (vznětový motor)
- d) oběh SM v T-s diagramu s přiváděním tepla při  $v=\text{konst}$  a  $p=\text{konst}$

## **Palivo**

Spalovací motory využívají kapalných nebo plyných paliv. Existují i motory, které využívají kombinaci obou druhů paliv, tzv. duální spalovací motory. Tyto motory pracují s plynem jako hlavním palivem, kapalně palivo používají ke vznícení směsi. Tepelný oběh je pak kombinace Dieselova a Ottova cyklu, přičemž se blíží spíše oběhu Dieselovu. Většina motorů může také pracovat pouze s tímto cyklem.

Jestliže ale chceme využívat motory pro kogeneraci, je nezbytné je technicky upravit na spalování zemního plynu. Tuto úpravu lze běžně provést u obou typů spalovacích motorů. Dále musíme myslet na to, že při provozu spalovacích motorů vznikají nevyvážené síly, tudíž vibrace, potažmo hluk. Motory je tedy potřeba vybavit dostatečnými absorbátory vibrací a odhlučňovací izolací.

## **Počet pohybů**

Dále lze dělit spalovací motory podle pohybů:

- Dvoudobé,
- čtyřdobé.

Pro konstrukci kogeneračních jednotek se využívá čtyřtaktních motorů, protože mají lepší spalování a nevzniká tolik emisí jako u dvoutaktních. Více válců v motoru a jejich uspořádání zajišťuje rovnoměrnější průběh krouticího momentu na hřídeli. Podle rychlosti otáčení hřídele za minutu se spalovací motory rozdělují na motory:

- Pomaloběžné (55-275 [ot.min<sup>-1</sup>]).
- Se středními otáčky (276-1000 [ot.min<sup>-1</sup>]).
- Rychloběžné (1001-3600 [ot.min<sup>-1</sup>]).

Úpravou spalovacího vzduchu (stavových hodnot vzduchu) můžeme dosáhnout lepších účinností. Úprava znamená stlačení vzduchu před vstupem do spalovacího prostoru. S větší hustotou vzduchu lze dosáhnout vyšší hustoty energie ve spalovacím prostoru pístu.

### **Tepelná energie z kogeneračních jednotek**

Teplo u kogeneračních jednotek se spalovacími motory můžeme principiálně odebrat ze čtyř míst:

- Výfukových spalin,
- chladící vody motoru,
- mazacího oleje,
- chlazení kompresoru spalovacího vzduchu.

Teploty spalin na výstupu z motoru se pohybují v rozmezí 450 – 650 °C. Teploty chladící vody závisí na konkrétním typu motoru, obecně však platí, že polovina tepelného výkonu pochází z chlazení motoru. Z celkového množství odpadního tepla umíme využít 70 - 80 %. Teplo se předává vodě od nejnižších teplot po ty nejvyšší, z důvodů dosažení maximální efektivity.

### **Účinnost**

Jak bylo uvedeno výše, spalovací motory pracují na principu Ottova a Dieselova cyklu. Tepelnou účinnost těchto cyklů můžeme spočítat dosazením do základního vztahu pro účinnost tepelných motorů.

Pro Ottův cyklus platí:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{x-1}} [-] \quad (2.5)$$

Účinnost je závislá na kompresním poměru  $\varepsilon$  a je zvláště u motorů malých výkonů menší než u Dieselových motorů, které pracují s větším kompresním poměrem. Elektrická účinnost spalovacích motorů se v závislosti na výkonu pohybuje v rozmezí 28 - 42 %. Podle rovnice (2.6) roste účinnost s rostoucí Poissonovou konstantou  $\chi$ , tj. s klesajícím počtem atomů v molekule pracovní látky tepelného oběhu.“[1]

Pro vznětové motory platí:

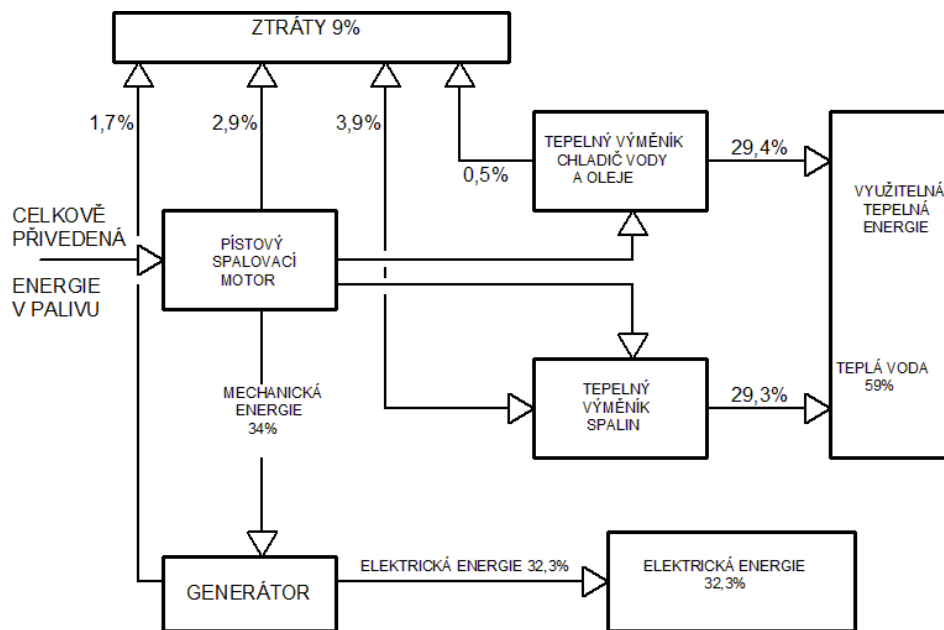
$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{x-1}} \frac{\varphi^{x-1}}{x(\varphi - 1)} [-] \quad (2.6)$$

Plnění motoru:

$$\varphi = \frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

(2.7)

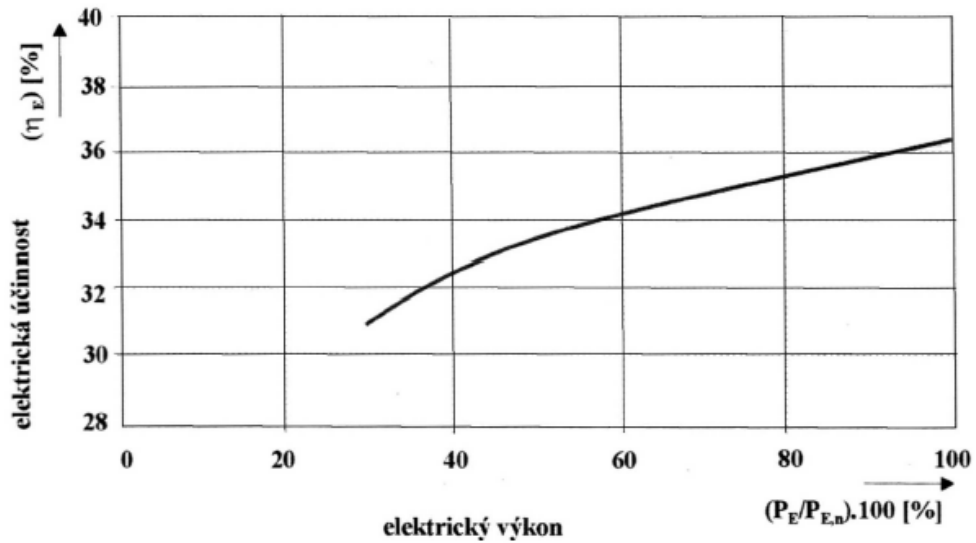
Celková účinnost závisí na schopnosti provozovatele využít i teplo s nižšími teplotami.



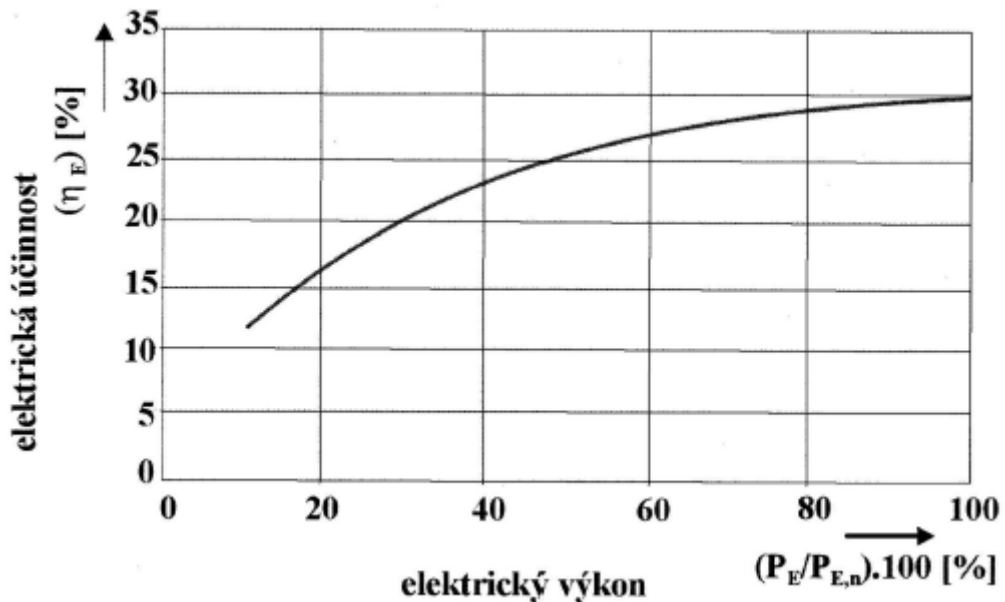
Obr. 2.4: Schéma a energetická bilance menší KJ se spalovacím motorem [1]

### Provozní charakteristiky spalovacích motorů

Regulace spalovacích motorů se provádí změnou množství přiváděného paliva, tedy snížením spalovací teploty. Při částečném zatížení klesá i elektrická účinnost. Pokles účinnosti zážehových motorů při polovičním výkonu je asi 8 - 10 %. U vznětových motorů průběh vlivu změny zatížení lze vidět v následujících diagramech (obrázek 2.5, 2.6).



Obr. 2.5: Vliv změny zatížení na elektrickou účinnost vznětového motoru [1]



Obr. 2.6: Vliv změny zatížení na elektrickou účinnost zážehového motoru [1]

#### 4.2.1 Parametry spalovacích motorů

##### Použitá paliva

Spalovací motory pracují s palivy plynými, kapalnými, nebo s jejich kombinací. Kogenerační jednotky se zážehovými motory pracují s plynem. Většinou se setkáváme se zemním plynem, ale mohou být přizpůsobeny na spalování bioplynu, propan-butanu, skládkových plynů atd. Jednotky se vznětovým motorem pracují

s kapalnými palivy jako nafta a těžké oleje, nebo jsou duální a používají se jako hlavní palivo plyn.

### **Údržba kogeneračních jednotek**

Kogenerační jednotky se spalovacími motory potřebují, stejně jako ostatní druhy jednotek, pravidelný servis a údržbu. Nejkontrolovanějším parametrem bývá stav a množství oleje v motoru jednotky. Většina kogeneračních jednotek je však vybavena kvalitními řídicími a snímacími systémy, které zobrazují a hlídají všechny potřebné procesy. S použitím výpočetní techniky lze celkem snadno a efektivně jednotku ovládat a kontrolovat. Například jednotky firmy TEDOM umožňují i dálkové ovládání z počítače nebo mobilu přes internet.

K výměnám oleje, filtrů a chladicí kapaliny dochází po 500 – 2000 hod. provozu. Střední opravy, jako jsou například výměny hlav válců, turbokompresorů apod. se provádí po 8000 – 30 000 hodinách. Při generální opravě, která se provádí po 30 000 – 70 000 hod. se provádí výměny pístů. Náklady na údržbu se pohybují okolo 0,01 - 0,02 Euro/kWh.[1]

### 3 Popis stávajícího stavu kotelny

Ve stávající okrskové kotelně jsou umístěny 3 ks vodních kotlů o celkovém instalovaném tepelném výkonu 3 150 kW. Dosažitelný tepelný výkon těchto kotlů je 2 540 kW. Kotle jsou napojeny na společný rozvod tepla tvořený předizolovaným potrubím, prostřednictvím něhož zásobují teplem určeným pro vytápění (ÚT) a přípravu teplé vody (TUV) okolní obytné domy. Kotelna je vlivem uskutečněné revitalizace všech přilehlých objektů značně předimenzována, což dokazuje mnou provedený výpočet v části návrh kogenerační jednotky. Současná špičková výkonová potřeba je cca 800 kWt. Roční ztráty v tepelných sítích dosahují velikosti cca 5,7 % z tepla na kotlích vyrobeného. Průměrná roční provozní účinnost kotlů se pohybuje na úrovni cca 87,3 %. Technické parametry všech tří instalovaných kotlů jsou zachyceny v tabulce 3.1.

<b>Kotel</b>	<b>K 1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>
<b>Typ</b>	KDVE 40	PGVE 100	PGVE 100
<b>Výrobce</b>	TST Vlček	ČKD Dukla	ČKD Dukla
<b>Rok výroby</b>	1998	1986	1986
<b>Výstupní médium</b>	teplá voda	teplá voda	teplá voda
<b>Konstrukční přetlak vody</b>	600 kPa	700 kPa	700 kPa
<b>Jmenovitý tepelný výkon</b>	400 KW	1070 KW	1070 KW
<b>Jmenovitý tepelný příkon</b>	450 KW	1188 KW	1188 KW
<b>Hořák – typ</b>	PHD 50 PZ	PHD 120 PZ	KHD 18 A
<b>Výrobce</b>	TST Vlček	TST Vlček	TST Vlček
<b>Rok výroby</b>	1998	1998	1998
<b>Regulace výkonu</b>	AUTOFLAME	AUTOFLAME	AUTOFLAME
<b>Tepelný výkon</b>	550 KW	1300 KW	1300 KW
<b>Palivo</b>	zemní plyn	zemní plyn	zemní plyn
<b>Tlak plynu</b>	15 kPa	15 kPa	15 kPa
<b>Režim provozu</b>	celoroční	celoroční	celoroční
<b>Procento využití příkonu</b>	50	29,4	20,6

Tab. 3.1: Parametry kotlů

Z důvodu stávající vysoké výkonové rezervy i z důvodu prostorového dojde k demontáži plynového kotle ČKD DUKLA označeného K3 včetně přilehlého kouřovodu, komínu a vodního potrubí. Na uvolněné ploše bude umístěna mnou navržená kogenerační jednotka s příslušnými periferiemi. Stávající větrání kotelny



je přirozené. V obvodovém plášti a vstupních vratech jsou umístěny nasávací otvory. Prostor kotelny je v zimě temperován instalovanou teplovzdušnou jednotkou umístěnou pod stropem v prostoru stávajících kotlů.

Kotelna je vybavena vlastní chemickou úpravnou vody (dále jen CHÚV). CHÚV upravuje vodu z vodovodního řádu tak, aby byla co nejvíce potlačena koroze potrubí a všech prvků, které přijdou do styku s topnou vodou topného okruhu. Stávající CHÚV je napojeno přímo na expanzní soustavu a její provoz je řízen automatickým systémem včetně doplňování studené vody z vodovodního řádu. Tento systém zůstane beze změny i po implementaci KGJ.

## **4 Vlastní návrh kogenerační jednotky**

### **4.1 Prvotní návrh KGJ**

Prvotní návrh velikosti kogenerační jednotky jsem provedl na základě měsíčních spotřeb zemního plynu v kalendářním roce 2012 a průměrné roční provozní účinnosti kotlů, které jsem obdržel od investora. Jiné údaje jsem k dispozici neměl. Aby bylo možno kogenerační jednotku na základě těchto dat korektně navrhnout, bylo nutno sestavit diagram trvání tepelných výkonů (potřeb tepla) za hodnocený rok 2012. Při vytápění bytových objektů závisí odběr tepla na klimatických podmínkách a tepelných vlastnostech objektů. Příprava teplé vody s klimatickými podmínkami a stavebními konstrukcemi budov spojená není. Proto bylo nutno v prvním kroku při zohlednění průměrné účinnosti kotlů (zjednodušení problému, neboť v zimě je účinnost kotlů vyšší, než v létě) stanovit vyrobené teplo v jednotlivých měsících roku 2012 a to dále rozdělit na teplo připadající na vytápění objektů (ÚT) a teplo na přípravu teplé vody (TUV). Jelikož se v letních měsících objekty nevytápí, připadá celý odběr tepla v tomto období na přípravu teplé vody. Za letní období jsem volil měsíce červen až srpen. Odběry tepla v těchto měsících jsem zprůměroval a tuto průměrnou hodnotu jsem ztotožnil s odběry tepla v ostatních měsících kalendářního roku 2012. Nakonec jsem v jednotlivých měsících vyčíslil procentní podíl vyrobeného tepla v příslušném měsíci k ročnímu vyrobenému teple a průměrný denní hodinový tepelný výkon. Výsledky výše popsaného postupu jsou zachyceny v níže uvedené tabulce 4.1.

Vybraný rok hodnocení:

2012

Průměrná výhřevnost ZP (MJ/m<sup>3</sup>)

34,0

Průměrná provozní účinnost kotlů

87,4%

Měsíc v roce	Spotřeba ZP (m <sup>3</sup> )	Teplo v palivu (GJ)	Teplo vyrobené (GJ)	Podíl (%)	Teplo pro ÚT (GJ)	Teplo pro TUV (GJ)	Prům.hod.výkon (kW)
LEDEN	33 937	1 154	1 009	17,3%	919	90	377
ÚNOR	38 458	1 308	1 143	19,6%	1 054	90	473
BŘEZEN	22 936	780	682	11,7%	592	90	255
DUBEN	15 612	531	464	8,0%	374	90	179
KVĚTEN	4 700	160	140	2,4%	50	90	52
ČERVEN	3 267	111	97	1,7%	0	97	37
ČERVENEC	2 710	92	81	1,4%	0	81	30
SRPEN	3 079	105	92	1,6%	0	92	34
ZÁŘÍ	4 781	163	142	2,4%	52	90	55
ŘÍJEN	15 720	534	467	8,0%	378	90	174
LISTOPAD	21 012	714	625	10,7%	535	90	241
PROSINEC	30 137	1 025	896	15,3%	806	90	335
<b>SUMA</b>	<b>196 349</b>	<b>6 676</b>	<b>5 838</b>	<b>100,0%</b>	<b>4 761</b>	<b>1 077</b>	
<b>PRŮMĚR</b>						<b>90</b>	<b>187</b>

Tab. 4.1 : Výroba tepla pro vytápění a přípravu teplé vody v roce 2012

Pro teplo v palivu byl využit vzorec:

$$T_{V,GJ} = V_{ZP} * \frac{H_{ZP}}{1000} \left[ GJ, m^3, \frac{MJ}{m^3} \right] \quad (4.1)$$

Kde:

$T_{V,GJ}$  – teplo v palivu k výhřevnosti [GJ],

$V_{ZP}$  – spotřeba zemního plynu [m<sup>3</sup>],

$H_{ZP}$  – průměrná výhřevnost zemního plynu [MJ/m<sup>3</sup>].

Pro teplo vyrobené, byl použit vzorec:

$$Q_{VYR} = T_{V,GJ} * \eta_K [GJ, \% , GJ] \quad (4.2)$$

Kde:

$Q_{VYR}$  – teplo vyrobené [GJ],

$T_{V,GJ}$  – teplo v palivu [GJ],

$\eta_K$  – průměrná provozní účinnost kotlů [%],

Průměrný hodinový výkon:

$$P_t = \frac{Q_{VYR}}{\text{dny měsíce} * 24} * 1000/3,6 [kW, GJ] \quad (4.3)$$

Kde:

$P_t$  – průměrný hodinový tepelný výkon [kW],

$Q_{VYR}$  – teplo v palivu [GJ],

Z tabulky lze vyčíst, že spotřeba vyrobeného tepla připadající na vytápění (ÚT) činila v hodnoceném období 4 761 GJ a spotřeba vyrobeného tepla připadající na přípravu teplé vody 1 077 GJ.

Protože roční průběh potřeby tepla přibližně odpovídá ročnímu průběhu venkovních teplot, bylo nutno ve druhém kroku sestrojít křivku ročního trvání teplot venkovního vzduchu pro danou klimatickou oblast. V mém případě jsou to data pro město Opava, ostatní lokality jsou v Příloze A. Způsob jejího sestrojení je naznačen v následující tabulce 4.2. Vlastní sestrojená křivka je pak zobrazena na grafu 4.1.

Výpočtová venkovní teplota	-15,0	228	1,000	0,000	13,0
Teplota začátku a konce vytápění	13,0	205	0,900	0,065	11,2
Celková délka topného období	228	182	0,800	0,129	9,4
Průměrná teplota v otopném období (°C)	3,9	160	0,700	0,189	7,7
Počet dnů topného období	100	137	0,600	0,247	6,1
poměr dnů d/do	0,4386	114	0,500	0,306	4,4
Exponent 1	1,1083	91	0,400	0,366	2,7
Exponent 2	-0,626	68	0,300	0,432	0,9
Poměr teplot	0,3424	46	0,200	0,508	-1,2
Venkovní teplota	3,41	23	0,100	0,610	-4,1
		0	0,000	1,000	-15,0

Tab. 4.2 : Způsob sestrojení křivky trvání teplot

Při sestrování křivky trvání tepelných výkonů jsem použil koeficienty uváděné v tabulce 4.3.

Průměrná vnitřní výpočtová teplota	$t_{is}$	19	°C
Průměrná venkovní teplota	$t_{es}$	3,9	°C
Výpočtová venkovní teplota	$t_e$	-15	°C
Nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací	$f_1$	0,85	(0,8-0,9)
Snížení teploty během dne respektive noci	$e_t$	0,9	-
Opravný součinitel na zkrácení doby vytápění	$e_d$	1	-
Účinnost obsluhy	$E_{TA0}$	95	%
Doba provozu soustavy ÚT	$t_p$	24	hod
Celková délka topného období	$d$	239	dny

Tab. 4.3 : Koeficienty

Vytápěcí denostupně:

$$D = d * (t_{is} - t_{es}) [dny, °C, dny, °C, °C, ] \quad (4.4)$$

Opravný součinitel:

$$f_v = f_1 * e_t * e_d [-, -, -, -] \quad (4.5)$$

Spotřeba energie na vytápění:

$$E_d = \frac{f_v}{E_{TA0}} * \frac{t_p * Q_c * D}{t_{is} - t_e} * \frac{3,6}{1000} \left[ \frac{GJ}{rok}, -, \%, -, kW, dny, °C, °C, °C \right] \quad (4.6)$$

Kde:

D – vytápěcí denostupně [-],

d – celková délka topného období [dny],

$t_{is}$  – průměrná vnitřní výpočtová teplota [°C],

$t_{es}$  – průměrná venkovní výpočtová teplota [°C],

$f_v$  – opravný součinitel [-],

$f_1$  – nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací [-],

$e_t$  – snížení teploty během dne respektive noci [-],

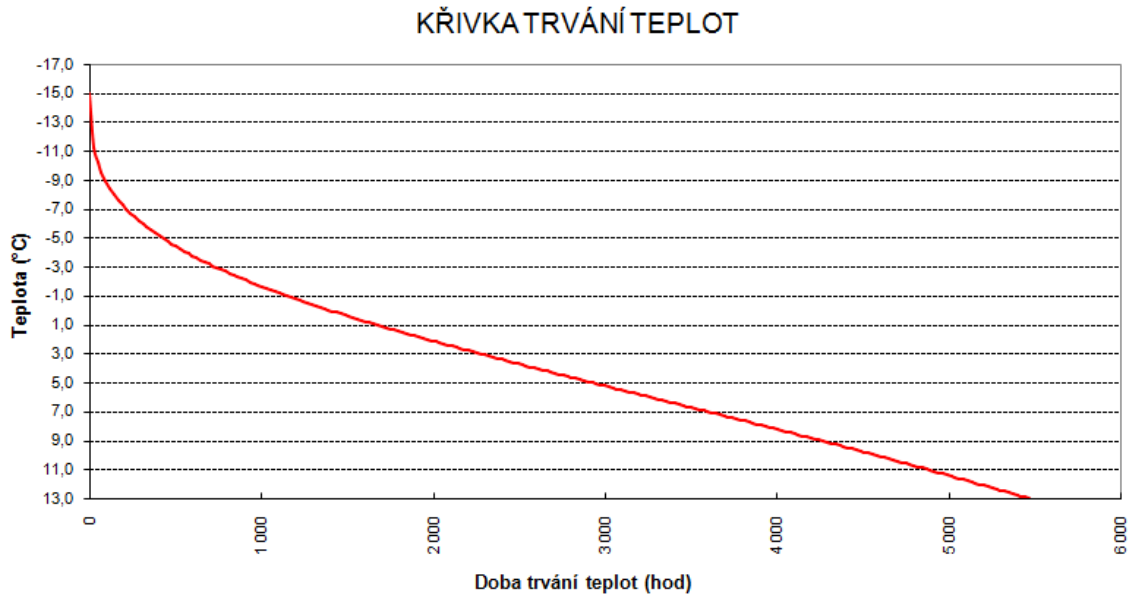
$e_d$  – opravný součinitel na zkrácení doby vytápění [-],

$E_d$  – spotřeba energie na vytápění [GJ/rok],

$t_p$  – doba provozu soustavy ÚT [h],

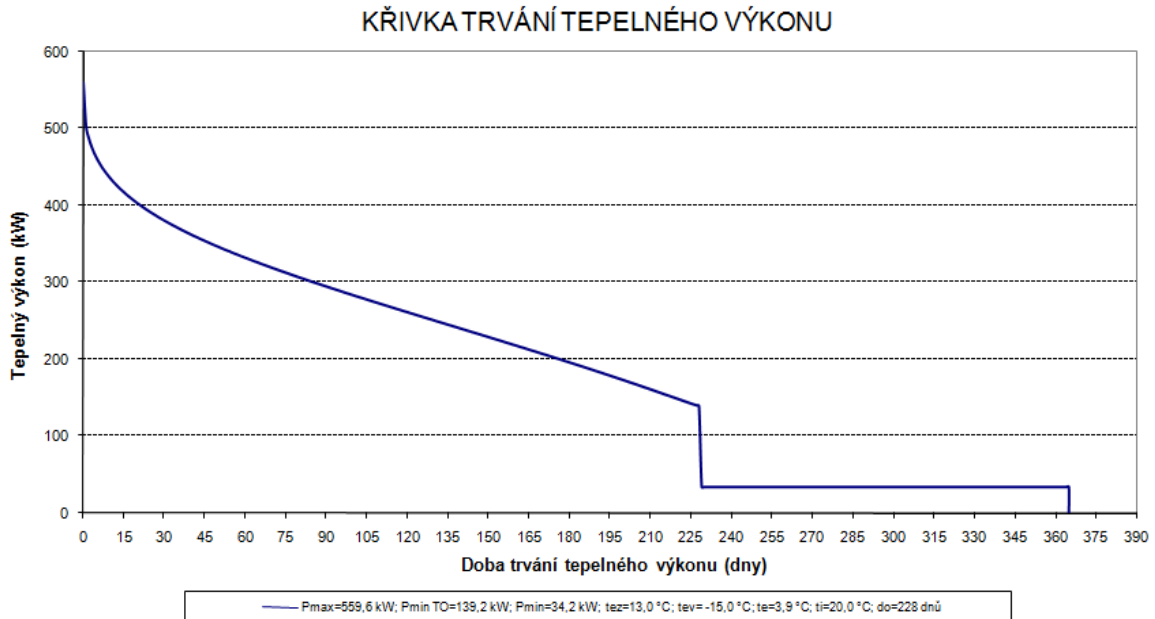
$Q_c$  – tepelná ztráta OBT [kW],

$E_{TA0}$  – účinnost obsluhy [%].



*Graf: 4.1 : Křivka trvání teplot*

Ve třetím kroku pak bylo možno sestrojít přibližnou křivku trvání celkové spotřeby tepla (křivku trvání tepelných výkonů) za kalendářní rok 2012 jako součtovou čáru dvou spotřeb vyrobeného tepla připadající na (ÚT + TUV). Plocha pod touto křivkou (plocha vymezená křivkou a dvěma osami) určuje skutečně spotřebované teplo v (GJ) v kalendářním roce 2012. Na ose „y“ lze vyčíst potřebný tepelný výkon v (kW) nutný pro odběr vyrobeného tepla, na ose „x“ pak čas v (hod) po který tento výkon trvá. Mnou sestrojená křivka pro posuzovanou okrskovou kotelnu v kalendářním roce 2012 je zachycena na následujícím grafu 4.2.

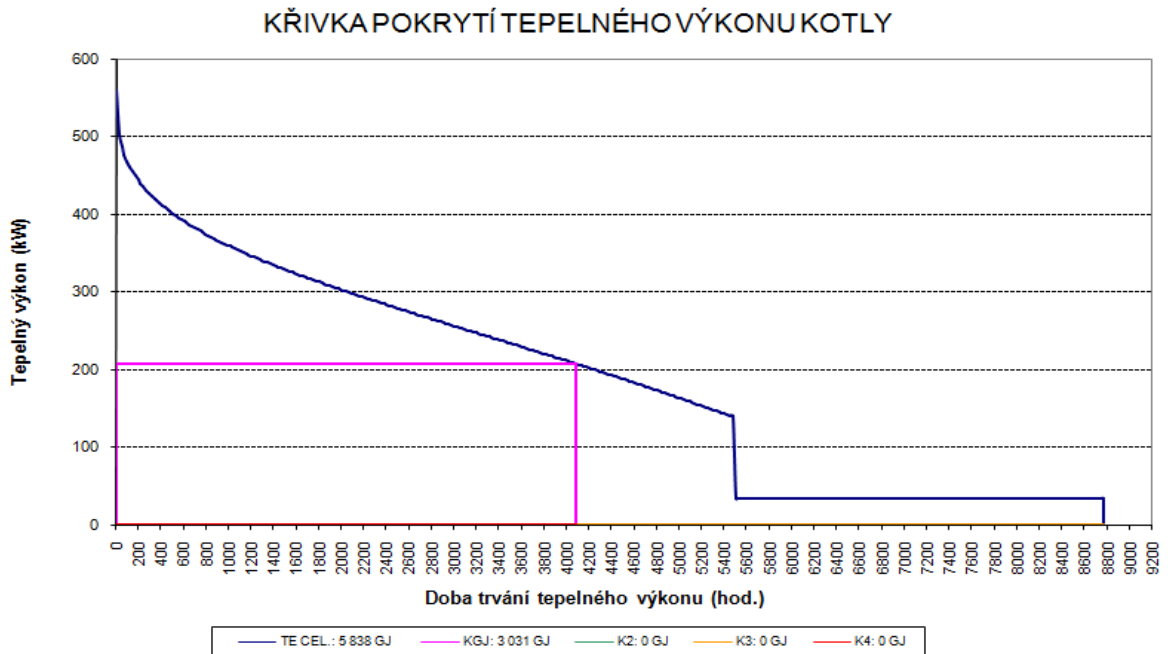


*Graf: 4.2 : Křivka trvání tepelného výkonu*

Křivka potvrzuje, že současný dosažitelný výkon kotlů v kotelně ve výši 2 540 kW je značně předimenzován. V roce 2012 byl potřebný maximální tepelný výkon ( $P_{\max}$ ) cca 560 kW, což činilo cca 22 % z celkově dosažitelného výkonu kotlů. Z legendy grafu lze vyčíst i další data vztahující se ke křivce trvání tepelného výkonu. Tak například průměrný tepelný výkon potřebný pro začátek vytápění tj. při venkovní teplotě 13 °C ( $P_{\min TO}$ ), který činí cca 139 kW nebo průměrný hodinový tepelný výkon připadající na přípravu teplé vody ( $P_{\min} = 34,2$  kW).

V posledním, čtvrtém kroku, již šlo do sestavené křivky trvání tepelného výkonu (spotřeb tepla) nasazovat podle výše tepelných výkonů kogenerační jednotky s pístovým spalovacím motorem příslušného výrobce tak, aby svou výrobou tepla pokryly co největší plochu vymezenou pod křivkou trvání výkonu. Jelikož investor upřednostňoval firmu Viessmann, provedl jsem popsany postup pro KGJ této firmy. Seznam výrobců kogeneračních jednotek a jejich produktů vyskytující se nejčastěji na našem trhu jsou v Příloze B. Nejlépe mi vyšla KGJ typu Vitobloc 200 EM 140kWe/207kWt. Tato jednotka využívá atmosférický motor bez přehřívání. Výhodou jednotky je v tom, že nevyžaduje mezichladič spalinové směsi jako je tomu u motorů vybavených turbodmychadlem. Zvolenou KGJ jsem nasadil ve 2 pracovních režimech. První představuje jen provoz jednotky při jmenovitém tepelném výkonu - viz graf 4.3.

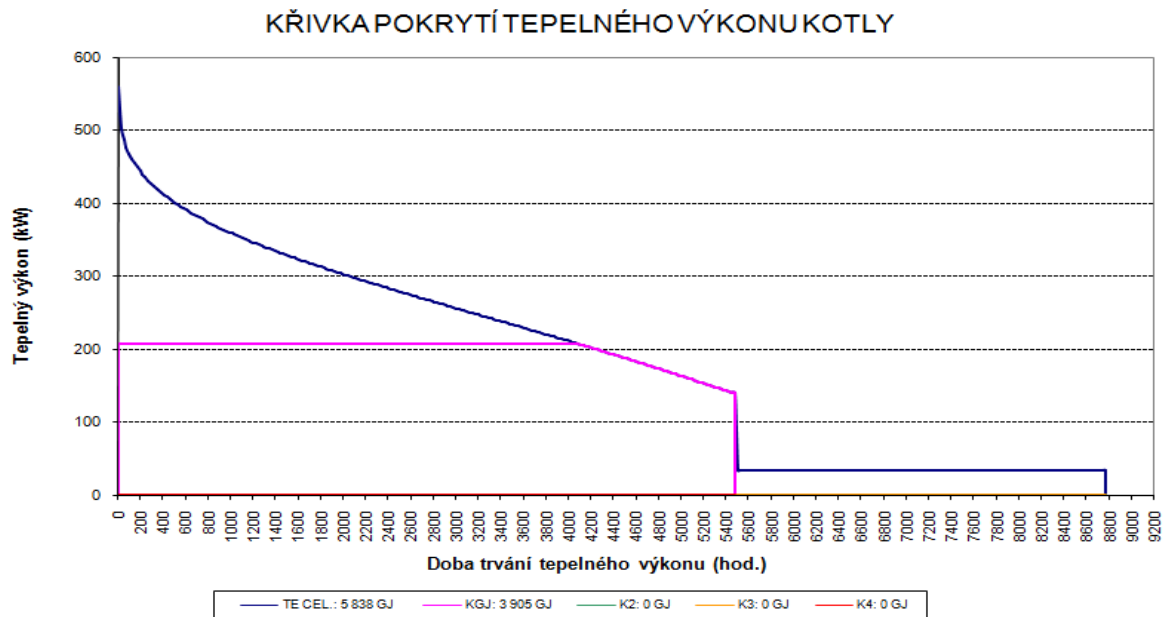
Druhý pak při tepelném výkonu regulovaném v rozmezí od jmenovitého výkonu do hodnoty 63% jeho velikosti – viz graf 4.4.



*Graf: 4.3 : KGJ pracující jen se jmenovitým tepelným výkonem*

Z grafu lze vyčíst, že při provozu KGJ při svém jmenovitém tepelném výkonu ve výši 207 kW by mohla být jednotka teoreticky provozována po celkovou dobu cca 4 100 hodin. Za tuto dobu by mohla z celkové spotřeby vyrobeného tepla roku 2012 ve výši 5 838 GJ pokrýt celých 3 031 GJ, což činí cca 52 %.





Graf: 4.4 : KGJ pracující s regulovaným tepelným výkonem v rozmezí od 100% do 63%

Z grafu vyplývá, že regulací kopírující křivku spotřeb tepla lze prodloužit dobu provozu KGJ z původních 4 100 hodin na cca 5 200 hodin. Pokrytí roční spotřeby tepla provozem KGJ se navýší z 3 031 GJ na 3 905 GJ, což je nárůst z 52 % na cca 67 %. S ohledem na výši zelených bonusů platných pro rok 2015 uvedených v tabulce 4.4, byl navržen roční provoz kogenerační jednotky po dobu 3 000 hodin při denním provozu 24 hodin.

<b>Sazby zelených bonusů podporovaných zdrojů EE - ZP</b>			
Instalovaný výkon		Provozních hodin (hod)	Sazba ZB (Kč/MWh)
od (kW)	do (kW)		
0	200	3 000	2 095
0	200	4 400	1 635
0	200	8 400	705
200	1 000	3 000	1 635
200	1 000	4 400	1 235
200	1 000	8 400	625
1 000	5 000	3 000	1 285
1 000	5 000	4 400	955
1 000	5 000	8 400	530
	200	3 000	2 095

Tab. 4.4 : Výše zelených bonusů pro rok 2015 v závislosti na instalovaném elektrickém výkonu kogenerační jednotky

## **4.2 Popis navržené kogenerační jednotky**

Při návrhu kogenerační jednotky byla zvolena od firmy VIESSMANN typu Vitobloc 200 EM-140/207 o jmenovitém elektrickém výkonu 140 kWe a jmenovitém tepelném výkonu 207 kWt. Typový list kogenerační jednotky VIESSMANN Vitobloc 200 EM-140/207 je v Příloze C.

Plynový Ottův motor je provozován jako spalovací (sací) motor bez turbodmychadla s přebytkem spalovacího vzduchu  $\Lambda \approx 1$ . Tento typ motoru se používá i u jednotky vyšší řady Vitobloc 200 EM-199/263 a EM-199/293. Pouze je tento motor doplněn o turbodmychadlo a dvoustupňový chladič směsi, který pracuje s poměrem vzduchu  $\Lambda \approx 1,6$ .

Chlazení dna pístů je zajištěno paprskem stlačeného oleje. Spaliny jsou vedeny vodou chlazeným sběrným spalinovým potrubím. Uzávěr klikové skříně je proveden formou řady válců se 6 válci.

### **4.2.1 Systém mazání motoru olejem**

Motor je mazán tlakovým cirkulačním mazacím systémem. Z olejové nádrže je čerpán olej olejovým čerpadlem, hnaným ozubeným soukolím, nejprve do olejového chladiče, provedeného formou deskového chladiče olej/voda. Čištění mazacího oleje probíhá olejovou filtrační kartuší s papírovou vložkou, umístěnou v hlavním proudu. Odtud je filtrovaný olej veden různými rozvodnými olejovými kanálky.

Olej maže uložení klikové hřídele, uložení ojnice a čep pístu, uložení vačkové hřídele a páku. Mazání ozubených kol v převodové skříně je provedeno rozstříkovaným olejem klikové skříně. Odvzdušnění klikového prostoru je provedeno s odlučovačem oleje a je napojeno na nasávání spalovacího vzduchu.

### **4.2.2 Systém chlazení motoru**

Motor je chlazen uzavřeným vodním okruhem. Čerpadlo žene chladicí kapalinu nejprve olejovým chladičem do klikové skříně. Prostřednictvím integrovaných kanálů pro rozvod chladicí kapaliny v rámci klikové skříně je zajištěno chlazení vložek válců a hlav válců. Po průtoku vodou chlazeným sběrným spalinovým potrubím se dostává chladicí voda opět z motoru ven.

### **4.2.3 Systém přenosu tepla**

Systém přenosu tepla sestává z tepelného výměníku spalin a tepelného výměníku chladicí kapaliny. Tyto výměníky tepla využívají (prostřednictvím přenosu tepla) odpadní teplo z motoru a spalin.

### **4.2.4 Spalinový výměník tepla**

Spalinový výměník tepla přenáší odpadní teplo ze spalin plynového Ottova motoru do vodního okruhu. Spalinový výměník je zapojen do chladicího okruhu motoru („vnitřní chladicí okruh“). Je tak chráněn před tepelným napětím v důsledku nedostatku kvality topné vody.

### **4.2.5 Výměník chladicí vody (deskový výměník)**

Pájený deskový výměník přenáší odpadní teplo z plynového Ottova motoru a odpadního plynu do vodního okruhu.

### **4.2.6 Systém čištění spalin a předřazený spalinový tlumič hluku**

Po vyčištění jsou spaliny vedeny spalinovým výměníkem tepla a předřazeným spalinovým tlumičem z ušlechtilé oceli, uloženém v rámu. Regulovaný třícestný katalyzátor (redukce NO<sub>x</sub> a oxidace CO a C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) redukuje emise škodlivin ve spalinách. Aktivní katalytický povrchová úprava je nanесena na ocel odolnou proti působení tepla. Katalyzátor má snadnou údržbu a je integrován do odvodu spalin z motoru, sonda Lambda pro provoz Lambda = 1 je umístěna bezprostředně za výstup motoru v systému odvodu spalin modulu BTE.

U nového zařízení jsou hodnoty No<sub>x</sub> < 125 mg/m<sup>3</sup> a CO < 150 mg/m<sup>3</sup> (odpovídá „poloviční— směrnici TA-Luft) výrazně nižší. K tomu, aby nedošlo k předčasnému stárnutí, je provozní teplota katalyzátoru omezena na hodnotu nižší než 700 °C.



**Celková legenda:**

- 1 Modul BTE (rozsah dodávky)
- 2 Služby na stavbě
- 10 Deflagrační pojistka (bioplyn)
- 11 pojistný ventil (topná voda)
- 12 Čerpadlo topné vody
- 13 Regulace teploty zpětného toku
- 14 Zpětný tok topné vody (HR)
- 15 Přítok topné vody (HV)
- 16 Silnoproud 400 V, 50 Hz
- 17 Přítok chladicí směsi
- 18 Vratný tok chladicí směsi
- 19 Čerpadlo směsi chladicí vody
- 21 Pojistný ventil (chladicí kapalina motoru)
- 22 Olejový chladič
- 23 Čerpadlo chladicí kapaliny
- 24 Membránová expanzní nádoba
- 25 Tepelný výměník chladicí kapaliny
- 26 Lapač nečistot
- 27 uzavírací ventil
- 31 Výměník tepla spalín
- 32 Tlumič hluku
- 33 Výstup kondenzované vody (KO)
- 34 Výstup spalín (AGA)
- 35 Katalyzátor
- 41 Regulační ventil Lambda
- 42 Magnetický ventil
- 43 Regulátor nulového tlaku

- 44 Plynová přípojka (GAS)
- 45 Plynový filtr, volná instalace
- 46 Plynový kulový kohout s tepelným pojistným ventilem
- 47 Kontrola těsnosti
- 51 Přídavná nádrž na mazací olej (čerstvý olej)
- 52 Automatické doplňování s ukazatelem hladiny mazacího oleje
- 61 Vratný tok mazacího oleje (z olejového odlučovače)
- 62 Ventilace prostoru klikové hřídele
- 63 Odlučovač oleje
- 64 Spalovací vzduch
- 65 Vzduchový filtr.
- 66 Směšovač plynu a vzduchu
- 67 Generátor
- 68 Sběrné spalínové potrubí
- 69 Motor
- 70 Regulátor otáček a škrticí klapka
- 71 Turbodmychadlo
- 72 Chladič směsi (Intercooler) (1. stupeň)
- 73 Chladič směsi (Intercooler) (2. stupeň)
- 74 Vypouštěcí ventil - okruh nízké teploty
- 80 Ventilátor odpadního vzduchu
- 81 Odpadní vzduch
- 82 Přiváděný vzduch
- 83 Zvukově izolační víko

**Měřená místa:**

- EIA Kontrola indikace generátoru
- ES Ovládání výkonu generátoru
- LS Ovládání úrovně hladiny
- LZA Kontrola minimálního stavu naplnění
- P Tlak
- PC Regulace tlaku
- PI Ukazatel tlaku
- PO Optický ukazatel tlaku
- PZA- Vypnutí při minimálním tlaku
- PZA+ Vypnutí při maximálním tlaku
- SC Regulátor otáček
- STB Bezpečnostní omezovač teploty
- SZA- Příliš nízké otáčky
- T teplota
- TA Teplota odpadního vzduchu před ventilátorem
- TC Regulace teploty
- TI Ukazatel teploty
- TZA+ Kontrola teploty vnitřní generátoru
- XC Sonda lambda

Obr.4.3: Legenda k obrázku 4.2 [4]

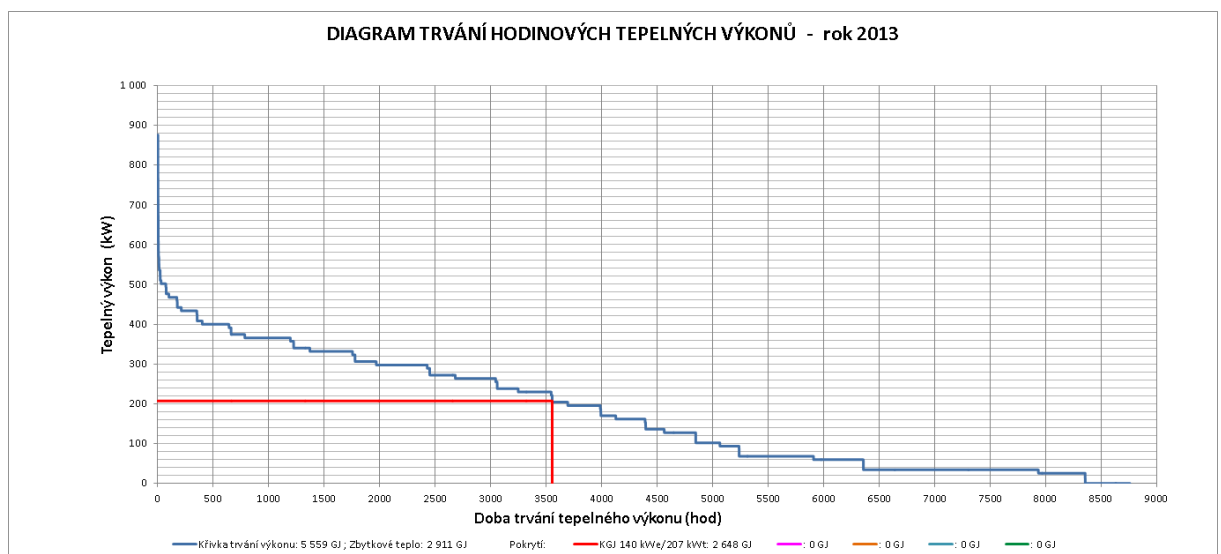
### 4.3 Podrobný návrh KGJ

Po provedeném prvotním návrhu však zpracovaná hluková studie prokázala, že z důvodu dodržení limitů hluku v chráněných bytových domech nelze KGJ provozovat v době nočního klidu, tj. od 22<sup>o</sup> do 6<sup>o</sup> hodin, a že k zajištění ročního provozu ve výši 3 000 hodin bude potřeba kogenerační jednotku doplnit o akumulární nádrž. Pro ověření této domněnky a pro korektní stanovení objemu akumulární nádrže bylo třeba podrobnějších dat (hodinových spotřeb tepla za celý kalendářní rok). Investorem mi byla poskytnutá data hodinových výrob tepla na kotlích okrskového zdroje za celý kalendářní rok 2013. Vyrobené teplo v jednotlivých hodinách kalendářního roku v (GJ) 8 760 hodnot bylo nutno převést na hodinové výkony v (kW) a ty pak seřadit od největšího po nejmenší. Seřazením tepelných výkonů vznikne křivka trvání hodinových tepelných výkonů za kalendářní rok 2013. Do takto sestaveného grafu trvání spotřeb tepla (tepelného výkonu) jsem opět nasadil KGJ firmy Viessmann o jmenovitých výkonech 207 kWt/140 kWe. Nasazení KGJ jsem zase provedl pro 2 provozní režimy. První představuje jen provoz jednotky při jmenovitém tepelném výkonu - viz graf 4.5 a tabulka 4.6 s číselnými hodnotami ke grafu. Druhý při tepelném výkonu regulovaném v rozmezí od jmenovitého výkonu do hodnoty 63 % jeho velikosti – viz graf 4.6 a tabulka 4.7 s číselnými hodnotami ke grafu.

Způsob výpočtu potřebných dat vyplývá z tabulky 4.5. Poskytnutá data společně s časovými údaji vytvářejí databázi, ze které je možno vytáhnout a stanovit řadu dalších údajů. Data v níže zobrazené tabulce představují jen nepatrný výřez vytvořené databáze a obsahují pouze data jednoho dne kalendářního roku, konkrétně (1.1.2013). Z tabulky lze dále vyčíst, že celkový počet provozních hodin soustavy CZT činil 8 358 hodin a špičkový výkon vyrobeného tepla dosáhl výše 875,5 kW.

Hodinové průběhy tepelných výkonů				8 357 h				
LÉTO ZIMA	Den týdne	Hodina dne	Den v roce	Qvyr (GJ) 5 559	Pt (kWh) 1 544 246	P.č. hodin	Setříděné výkony (kW)	Setříděné výkony (GJ/h)
Z	2	1:00	1.1.2013	0,98	272,0	1	875,5	3,15
Z	2	2:00	1.1.2013	0,83	229,5	2	739,5	2,66
Z	2	3:00	1.1.2013	0,83	229,5	3	697,0	2,51
Z	2	4:00	1.1.2013	0,98	272,0	4	663,0	2,39
Z	2	5:00	1.1.2013	0,95	263,5	5	595,0	2,14
Z	2	6:00	1.1.2013	0,95	263,5	6	578,0	2,08
Z	2	7:00	1.1.2013	0,95	263,5	7	569,5	2,05
Z	2	8:00	1.1.2013	1,04	289,0	8	569,5	2,05
Z	2	9:00	1.1.2013	0,95	263,5	9	569,5	2,05
Z	2	10:00	1.1.2013	1,07	297,5	10	561,0	2,02
Z	2	11:00	1.1.2013	0,95	263,5	11	544,0	1,96
Z	2	12:00	1.1.2013	0,83	229,5	12	544,0	1,96
Z	2	13:00	1.1.2013	0,83	229,5	13	535,5	1,93
Z	2	14:00	1.1.2013	0,95	263,5	14	535,5	1,93
Z	2	15:00	1.1.2013	1,07	297,5	15	535,5	1,93
Z	2	16:00	1.1.2013	1,07	297,5	16	535,5	1,93
Z	2	17:00	1.1.2013	1,04	289,0	17	535,5	1,93
Z	2	18:00	1.1.2013	1,07	297,5	18	535,5	1,93
Z	2	19:00	1.1.2013	1,29	357,0	19	535,5	1,93
Z	2	20:00	1.1.2013	1,32	365,5	20	535,5	1,93
Z	2	21:00	1.1.2013	1,16	323,0	21	535,5	1,93
Z	2	22:00	1.1.2013	1,19	331,5	22	510,0	1,84
Z	2	23:00	1.1.2013	0,95	263,5	23	510,0	1,84
Z	2	24:00:00	1.1.2013	1,07	297,5	24	510,0	1,84

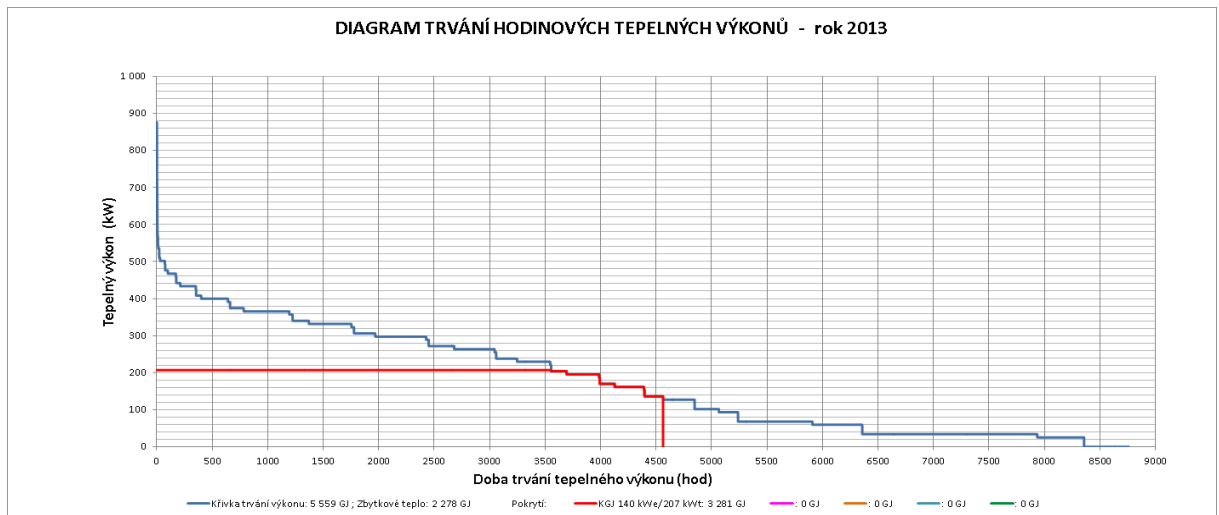
Tab. 4.5 : Databáze pro sestavení křivky trvání tepelného výkonu



Graf. 4.5: KGJ pracující jen se jmenovitým tepelným výkonem

KGJ 140 kWe/207 kWt	100,0%	TEPLO		EE		
Výkon KGJ 1:	207,0 kWt	Výroba tepla	Výroba tepla	Pel	140,0 kWe	Výroba EE
		736,7 MWh	47,6%			497,6 MWh
Hodiny	3 554 h	2 648,4 GJ				1 791,2 GJ
Ptj omezený	207,0 kWt	Výroba tepla				Výroba EE
Hodiny	3 554 h	0,0 MWh	0,0%			
Hodiny rozdíl	0 h	0,0 GJ				0,0 GJ
Pt průměr	0,0 kWt	0,0%		Pel průměr		0,0 MWh
						0,0%
<b>CELKEM 1</b>		<b>2 648,4 GJ</b>	<b>47,6%</b>			<b>497,6 MWh</b>
						<b>100,0%</b>

Tab. 4.6: Číselné hodnoty výše zobrazeného grafu



Graf: 4.6: KGJ pracující s regulovaným tepelným výkonem v rozmezí od 100% do 63%

KGJ 140 kWe/207 kWt	63,0%	TEPLO		EE		
Výkon KGJ 1:	207,0 kWt	Výroba tepla	Výroba tepla	Pel	140,0 kWe	Výroba EE
		736,7 MWh	47,6%			497,6 MWh
Hodiny	3 554 h	2 648,4 GJ				1 791,2 GJ
Ptj omezený	130,4 kWt	Výroba tepla				Výroba EE
Hodiny	4 563 h	175,8 MWh	11,4%			
Hodiny rozdíl	1 009 h	633,0 GJ				392,8 GJ
Pt průměr	174,3 kWt	84,2%		Pel průměr	108,1 kWe	109,1 MWh
						18,0%
<b>CELKEM 1</b>		<b>3 281,5 GJ</b>	<b>59,0%</b>			<b>606,7 MWh</b>
						<b>100,0%</b>

Tab.4.7: Číselné hodnoty výše zobrazeného grafu

Z přiložené tabulky ke grafu lze vyčíst, že v regulovaném režimu může být KGJ teoreticky provozována po dobu 1 009 hodin (3 554 hodin pak při svém jmenovitém výkonu). Za tuto dobu je schopna jednotka vyrobit dalších 633 GJ tepla a 109,1 MWh elektrické energie. Celková doba provozování KGJ pak činila 4 563 hodin. Jednotka by v celkovém čase regulovaného režimu pracovala s průměrným tepelným výkonem 174,3 kW a průměrným elektrickým výkonem 108,1 kW. Celkově by kogenerační jednotka pokryla 59 % spotřebovaného tepla.

Z vytvořené databáze jsem dále s využitím funkcí tabulkového procesoru MICROSOFT EXCEL vyčíslil počet provozních hodin soustavy CZT v jednotlivých měsících roku 2013, jím příslušné spotřeby tepla celkem a spotřeby tepla připadající na ÚT a TUV, procentní podíly vyrobeného tepla v příslušném měsíci k celkovému ročnímu vyrobenému teple, a nakonec průměrné hodinové tepelné výkony v jednotlivých měsících kalendářního roku. Výsledky popsané práce zachycuje tabulka 4.8.

Hodin provozu KGJ (volený) :		24					
Měsíční spotřeby TEPLA v hodnoceném roce							
Měsíc v roce	Hodin provozu v měsíci	Spotřeba měsíční (kWh)	%ní podíl	Spotřeba měsíční (GJ)	Spotřeba měsíční ÚT (GJ)	Spotřeba měsíční TV (GJ)	Průměrný hodinový výkon (kW)
1	743	285 218	18,5%	1 027	927	99	383,9
2	672	233 291	15,1%	840	740	99	347,2
3	744	234 821	15,2%	845	746	99	315,6
4	702	119 459	7,7%	430	331	99	170,2
5	697	43 784	2,8%	158	58	99	62,8
6	657	33 550	2,2%	121	0	121	51,1
7	640	25 908	1,7%	93	0	93	40,5
8	624	23 401	1,5%	84	0	84	37,5
9	675	62 509	4,0%	225	126	99	92,6
10	741	106 964	6,9%	385	286	99	144,4
11	719	170 170	11,0%	613	513	99	236,7
12	743	205 173	13,3%	739	639	99	276,1
<b>12</b>							
<b>Celkem</b>	<b>8 357</b>	<b>1 544 246 kWh</b>	<b>100,0%</b>	<b>5 559 GJ</b>	<b>4 366 GJ</b>	<b>1 193 GJ</b>	
<b>Průměr</b>	<b>696</b>	<b>128 687 kWh</b>		<b>463 GJ</b>			<b>184,8 kW</b>

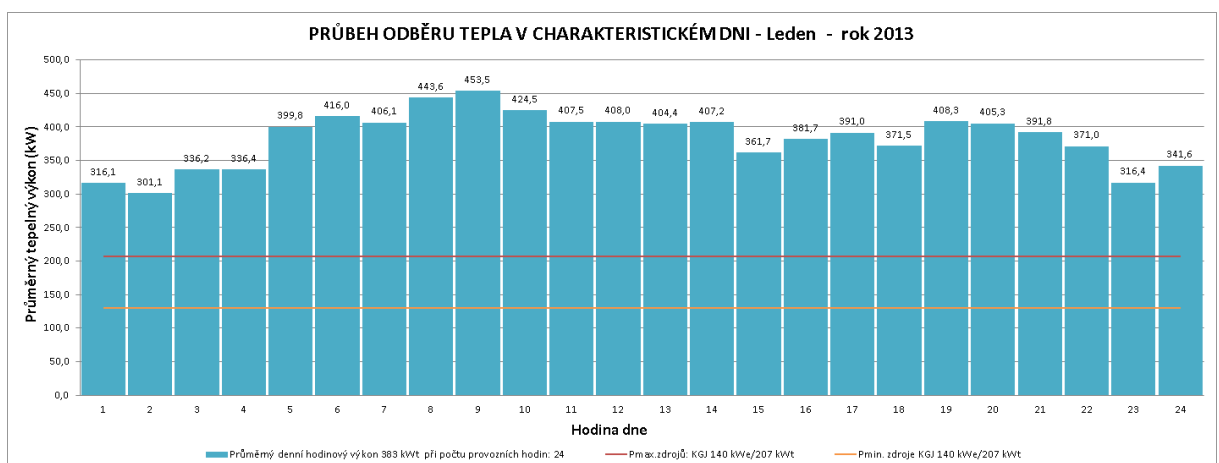
Tab. 4.8: Výsledná hodnota z poskytnutých dat (hodinových spotřeb tepla)

Výsledky z provedené podrobné analýzy investorem poskytnutých dat potvrdily správnost mého prvotního návrhu při stanovení výkonu kogenerační jednotky.



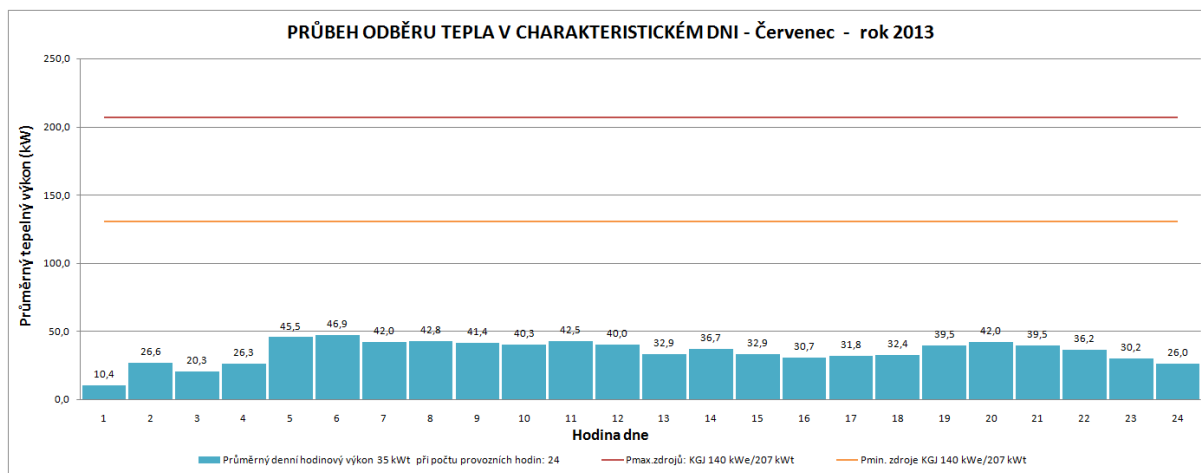
## 5 Návrh velikosti akumulční nádrže

Pro návrh akumulční nádrže bylo třeba sestavit denní diagramy trvání tepelných výkonů (spotřeb tepla). Právě proto bylo nutno pro každý ze dvanácti měsíců kalendářního roku 2013 definovat tzv. charakteristický den. Odběry tepla (doby trvání tepelných výkonů) v jednotlivých hodinách dne pak byly stanoveny jako průměrné hodnoty za celý příslušný měsíc. K zobrazení charakteristického dne jsem využil sloupcový graf vytvořený v tabulkovém procesoru MICROSOFT EXCEL. Ten jsem doplnil o tepelný výkon navržené KGJ – vodorovné čáry ve sloupcovém grafu. Červená čára představuje jmenovitou hodnotu 207 kWt. Žlutá pak minimálně regulovatelnou hodnotu 140,4 kWt. Pro názornost ve své práci uvádím tři charakteristické dny měsíců leden, červenec a říjen, které jsou představiteli zimy, léta a přechodného období. Odběry tepla v měsíci lednu zachycuje graf 5.1, v měsíci červenci graf 5.2 a v měsíci říjnu graf 5.3.



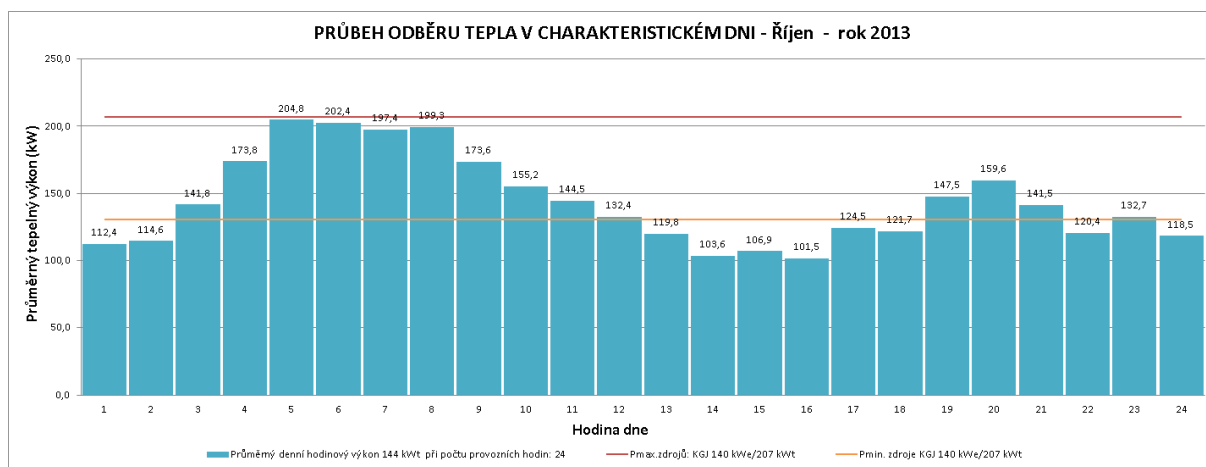
*Graf: 5.1: Hodinové výkony v charakteristickém dni – lednu 2013*

Z výše zobrazeného grafu vyplývá, že mnou navržená KGJ by byla schopna v časovém úseku od 6<sup>00</sup> do 22<sup>00</sup> hodin měsíce ledna být provozována celých 16 hodin při svém jmenovitém výkonu. Odběry tepla v tomtéž časovém úseku nad červenou čarou a odběry tepla v čase od 22<sup>00</sup> do 6<sup>00</sup> hodin by musely být zabezpečeny instalovanými kotli.



Graf: 5.2: Hodinové výkony v charakteristickém dni – červnu 2013

Z výše zobrazeného grafu vyplývá, že mnou navržená KGJ by nebyla schopna v měsíci červenci zajistit žádný odběr tepla, neboť průměrné hodinové tepelné výkony leží mimo rozsah regulace tepelného výkonu KGJ. Veškeré odběry tepla by musely být zajištěny stávajícími kotli.



Graf: 5.3: Hodinové výkony v charakteristickém dni – říjnu 2013

Z výše zobrazeného grafu 5.3 vyplývá, že mnou navržená KGJ by v časovém úseku od 6<sup>00</sup> do 22<sup>00</sup> hodin měsíce října nebyla schopna provozu při svém jmenovitém tepelném výkonu. V regulovaném režimu do 63 % svého jmenovitého výkonu by KGJ v obdobném časovém úseku mohla být provozována pouhých 9 hodin. Obdobnou analýzu jsem provedl i zbývajících měsíců kalendářního roku 2013. Výsledky analýzy jsou zobrazeny v následující tabulce 5.1.

**Provozní hodiny při P<sub>j</sub> v průměrných dnech měsíců roku 2 013  
bez akumulční nádrže**

(Maximální teoretická denní délka provozu 16 hodin - od 6<sup>00</sup> do 22<sup>00</sup> )

Měsíce roku	Dny v měsíci	Hodin ve dne	Hodin v měsíci	Vel.AKU (m3)
Leden	31	16	496	
Únor	28	16	448	
Březen	31	16	496	
Duben	30	2	60	
Květen	31	0	0	
Červen	30	0	0	
Červenec	31	0	0	
Srpen	31	0	0	
Září	30	0	0	
Říjen	31	0	0	
Listopad	30	16	480	
Prosinec	31	16	496	
<b>CELKEM</b>	<b>365</b>		<b>2 476</b>	

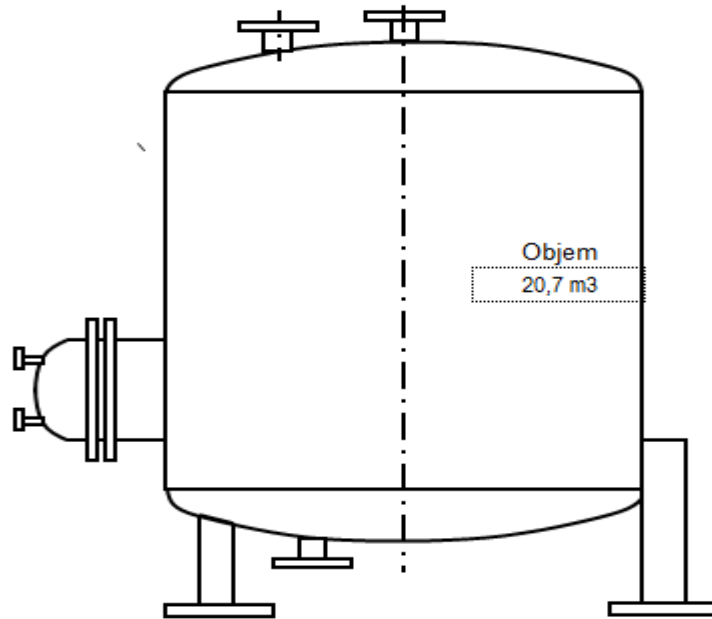
Tab. 5.1: Počet provozních hodin KGJ při jmenovitém tepelném výkonu bez AKU

Z provedené analýzy vyplývá, že v časovém úseku od 6<sup>00</sup> do 22<sup>00</sup> hodin by mnou navržena KGJ mohla být denně provozována plných 16 hodin v měsících lednu, únoru, březnu, listopadu a prosinci roku 2013. V měsíci dubnu však jen 2 hodiny denně. V měsíci říjnu by již KGJ nebyla schopna provozu při jmenovitém výkonu. Celkový počet provozních hodin KGJ při jmenovitém výkonu by dosáhl výše 2 476 hodin. Aby bylo možno počet provozních hodin při jmenovitém chodu KGJ zvýšit a dosáhnout minimálního počtu 3 000 hodin za rok, je nutno doplnit KGJ o akumulční nádrž. Objem akumulční nádrže bylo nutno optimalizovat tak, aby požadovaný počet provozních hodin zajistila. Jelikož velikost akumulční nádrže vychází větší pro odběry tepla v charakteristickém dni měsíce října než dubna, byl návrh akumulční nádoby proveden pro tento charakteristický den. Nabíjecí výkon se určuje z rozdílu jmenovitého výkonu KGJ a velikosti odběru ve stejném časovém okamžiku. Způsob stanovení velikosti akumulční nádrže je patrný z níže uvedené tabulky 5.2.

Hodiny charakteristického dne	MAX	MIN	Odběr tepla	Nabíjení skutečné	Vybíjení skutečné	Nabíjení, vybíjení rozdíl	Nabíjení začátek (hod)	Kumul.hodnoty Maximum	Výkon zajišťovaný kotly
	Výkon k dispozici (kWt)	Výkon k dispozici zdroj		1 062,5 kWh	-1 062,5 kWh	0,0	7		
1	207,0 kWt	130,4 kWt	112,4 kWt	0,0 kWt	-112,4 kWt	-112,4 kWt		698,9 kWt	0,0 kWt
2	207,0 kWt	130,4 kWt	114,6 kWt	0,0 kWt	-114,6 kWt	-114,6 kWt		584,3 kWt	0,0 kWt
3	207,0 kWt	130,4 kWt	141,8 kWt	0,0 kWt	-141,8 kWt	-141,8 kWt		442,6 kWt	0,0 kWt
4	207,0 kWt	130,4 kWt	173,8 kWt	0,0 kWt	-173,8 kWt	-173,8 kWt		268,7 kWt	0,0 kWt
5	207,0 kWt	130,4 kWt	204,8 kWt	0,0 kWt	-204,8 kWt	-204,8 kWt		63,9 kWt	0,0 kWt
6	207,0 kWt	130,4 kWt	202,4 kWt	0,0 kWt	-63,9 kWt	-63,9 kWt		0,0 kWt	138,5 kWt
7	207,0 kWt	130,4 kWt	197,4 kWt	9,6 kWt	0,0 kWt	9,6 kWt	9,6 kWt	9,6 kWt	0,0 kWt
8	207,0 kWt	130,4 kWt	199,3 kWt	7,7 kWt	0,0 kWt	7,7 kWt		17,2 kWt	0,0 kWt
9	207,0 kWt	130,4 kWt	173,6 kWt	33,4 kWt	0,0 kWt	33,4 kWt		50,7 kWt	0,0 kWt
10	207,0 kWt	130,4 kWt	155,2 kWt	51,8 kWt	0,0 kWt	51,8 kWt		102,5 kWt	0,0 kWt
11	207,0 kWt	130,4 kWt	144,5 kWt	62,5 kWt	0,0 kWt	62,5 kWt		165,0 kWt	0,0 kWt
12	207,0 kWt	130,4 kWt	132,4 kWt	74,6 kWt	0,0 kWt	74,6 kWt		239,5 kWt	0,0 kWt
13	207,0 kWt	130,4 kWt	119,8 kWt	87,2 kWt	0,0 kWt	87,2 kWt		326,7 kWt	0,0 kWt
14	207,0 kWt	130,4 kWt	103,6 kWt	103,4 kWt	0,0 kWt	103,4 kWt		430,1 kWt	0,0 kWt
15	207,0 kWt	130,4 kWt	106,9 kWt	100,1 kWt	0,0 kWt	100,1 kWt		530,1 kWt	0,0 kWt
16	207,0 kWt	130,4 kWt	101,5 kWt	105,5 kWt	0,0 kWt	105,5 kWt		635,7 kWt	0,0 kWt
17	207,0 kWt	130,4 kWt	124,5 kWt	82,5 kWt	0,0 kWt	82,5 kWt		718,2 kWt	0,0 kWt
18	207,0 kWt	130,4 kWt	121,7 kWt	85,3 kWt	0,0 kWt	85,3 kWt		803,5 kWt	0,0 kWt
19	207,0 kWt	130,4 kWt	147,5 kWt	59,5 kWt	0,0 kWt	59,5 kWt		863,0 kWt	0,0 kWt
20	207,0 kWt	130,4 kWt	159,6 kWt	47,4 kWt	0,0 kWt	47,4 kWt		910,4 kWt	0,0 kWt
21	207,0 kWt	130,4 kWt	141,5 kWt	65,5 kWt	0,0 kWt	65,5 kWt		975,9 kWt	0,0 kWt
22	207,0 kWt	130,4 kWt	120,4 kWt	86,6 kWt	0,0 kWt	86,6 kWt		1 062,5 kWt	0,0 kWt
23	207,0 kWt	130,4 kWt	132,7 kWt	0,0 kWt	-132,7 kWt	-132,7 kWt		929,8 kWt	0,0 kWt
24	207,0 kWt	130,4 kWt	118,5 kWt	0,0 kWt	-118,5 kWt	-118,5 kWt		811,4 kWt	0,0 kWt

Tab. 5.2: Způsob stanovení velikosti akumulční nádrže

Velikost nabíjecích hodinových tepelných výkonů lze vyčíst ze sloupce tabulky pod názvem „Nabíjení skutečné“. Tak například pro začátek nabíjení (sedmá hodina) je nabíjecí výkon: 207 kW – 197,4 kW = 9,6 kW. Z dat sloupce také plyne, že nabíjení akumulční nádrže by denně probíhalo po dobu šestnácti hodin tj. v celém časovém úseku od 6<sup>o</sup> do 22<sup>o</sup> hodin. Velikosti vybíjecích výkonů lze vyčíst ze sloupce „Vybíjení skutečné“. Vybíjení je označeno záporným znaménkem. Z tabulky také plyne, že KGJ je schopná pokrýt takřka celý odběr tepla. Pouze v šesté hodině by s potřebným výkonem ve výši 138,5 kWt pomoci instalovaný kotol. Maximálně naakumulovaný tepelný výkon ve dvaadvacáté hodině by činil 1 062,5 kW. Na tento výkon byla navržena akumulční nádrž. Protože teplota zpátečky teplovodního systému dosahuje po celý rok výše 45 °C, byl objem akumulční nádrže navržen na teplotní spád 90°C/45°C. Způsob výpočtu velikosti akumulční nádrže je zobrazen na níže uvedeném obrázku 5.1.



Tlak vody	0,6 MPa	0,6 MPa
Teploty vody (vstup,výstup)	90,0 °C	45,0 °C
entalpie :	377,2 kJ/kg	188,5 kJ/kg
hustota :	964,6 kgm <sup>3</sup>	990,7 kgm <sup>3</sup>
měrný objem :	0,0010 m <sup>3</sup> /kg	0,0010 m <sup>3</sup> /kg
Nabíjecí výkon	1 062,5 kW	
Hodinové mn.vody	20,3 t/h	20,7 m <sup>3</sup> /h
Doba nabíjení	1,0 h	
Objem nádrže	1	20,7 m <sup>3</sup>

Obr. 5.1. : Výpočet akumulční nádrže

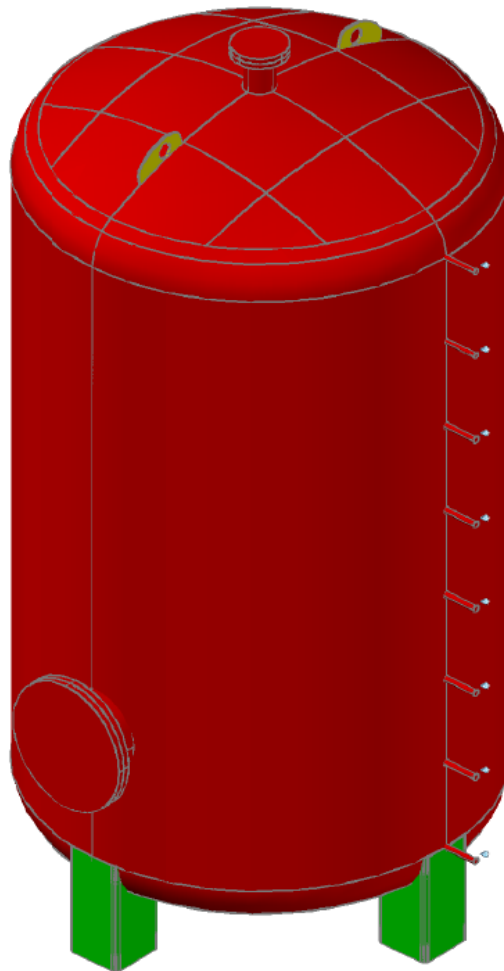
Na základě provedeného výpočtu navrhuji KGJ doplnit o akumulční nádrž velikosti 20 m<sup>3</sup>. Instalaci nádrže se zajistí požadovaný provoz KGJ ve výši 3 000 hodin za rok, což dokazuje níže zobrazená tabulka 5.3. Z důvodu výroby a usazení akumulční nádrže na místě volíme dvě akumulční nádrže, každá o objemu 10 m<sup>3</sup>. 3D model akumulční nádrže je na obrázku 5.2. Podrobný náčrt akumulční nádrže je v Příloze D.

**Provozní hodiny při Pj v průměrných dnech měsíců roku 2 013 s akumulační nádrží**

(Maximální teoretická denní délka provozu 16 hodin - od 6° do 22°)

Měsíce roku	Dny v měsíci	Hodin ve dne	Hodin v měsíci	Vel.AKU (m3)
Leden	31	16	496	
Únor	28	16	448	
Březen	31	16	496	
Duben	30	16	480	
Květen	31	0	0	
Červen	30	0	0	
Červenec	31	0	0	
Srpen	31	0	0	
Září	30	0	0	
Ríjen	31	16	496	20,7
Listopad	30	16	480	
Prosinec	31	16	496	
<b>CELKEM</b>	<b>365</b>		<b>3 392</b>	

Tab. 5.3: Počet provozních hodin KGJ při jmenovitém tepelném výkonu s AKU



Obr.5.2: Akumulační nádrž 10 m<sup>3</sup>

## **6 Modelace KGJ pro energetické bilance**

Jelikož lze kogenerační jednotku provozovat v rozsahu tepelného výkonu od 100 % do 63 % jmenovité hodnoty, je vhodné každou kogenerační jednotku namodelovat tak, aby bylo možné energeticky zbilancovat každý provozní stav v tomto rozmezí. Modelování kogenerační jednotky je také vhodné z pohledu nadmořské výšky, která v závislosti na teplotě vzduchu ovlivňuje výkon motoru a tím i elektrický a tepelný výkon kogenerační jednotky. Většina výrobců kogeneračních jednotek Viessmann nevyjímaje dodává ke svým kogeneračním jednotkám i diagramy korekčních křivek výkonu motorů v závislosti na nadmořské výšce a teplotě ovzduší. Pro potřeby své diplomové práce jsem tyto křivky převedl do tabulkové formy. Výsledkem je tabulka 6.1 , která zachycuje popsané závislosti pro motory bez turba a motory s turbem. Tabulku jsem sestrojil v tabulkovém procesoru MICROSOFT EXCEL a doplnil o interpolaci hodnot koeficientů snížení výkonu motoru. Postup výpočtu je patrný taktéž z tabulky 6.1.

VLIV NADMOŘSKÉ VÝŠKY NA VÝKON MOTORU		
NÁZEV OBCE PRO UMÍSTĚNÍ KGJ		Opavsko
NADMOŘSKÁ VÝŠKA PRO UMÍSTĚNÍ KGJ		241 m
TEPLOTA NASÁVANÉHO VZDUCHU (°C)		25,0 °C
TURBODMYCHADLO (a/n)		n
TLAK VZDUCHU V NADMOŘSKÉ VÝŠCE		98 463 Pa
Korekční koeficient změny výkonu motoru	97,6%	0,976

... od 0 m do 1 500 m  
... od 25 °C do 45 °C

Vliv nadmořské výšky na výkon motoru							
<b>PRACOVNÍ TABULKA 1 - KGJ bez turbu</b>				<b>PRACOVNÍ TABULKA 2 - KGJ s turbem</b>			
<i>Koeficient snížení výkonu motoru při t VZD</i>				<i>Koeficient snížení výkonu motoru při t VZD</i>			
NV	25,0 °C	35,0 °C	45,0 °C	NV	25,0 °C	35,0 °C	45,0 °C
0 m	1,000	0,950	0,900	0 m	1,000	0,950	0,900
100 m	0,990	0,940	0,890	100 m	0,992	0,942	0,892
200 m	0,980	0,930	0,880	200 m	0,984	0,934	0,884
300 m	0,970	0,920	0,870	300 m	0,976	0,926	0,876
400 m	0,960	0,910	0,860	400 m	0,968	0,918	0,868
500 m	0,950	0,900	0,850	500 m	0,960	0,910	0,860
600 m	0,940	0,890	0,840	600 m	0,952	0,902	0,852
700 m	0,930	0,880	0,830	700 m	0,944	0,894	0,844
800 m	0,920	0,870	0,820	800 m	0,936	0,886	0,836
900 m	0,910	0,860	0,810	900 m	0,928	0,878	0,828
1 000 m	0,900	0,850	0,800	1 000 m	0,920	0,870	0,820
1 100 m	0,890	0,840	0,790	1 100 m	0,912	0,862	0,812
1 200 m	0,880	0,830	0,780	1 200 m	0,904	0,854	0,804
1 300 m	0,870	0,820	0,770	1 300 m	0,896	0,846	0,796
1 400 m	0,860	0,810	0,760	1 400 m	0,888	0,838	0,788
1 500 m	0,850	0,800	0,750	1 500 m	0,880	0,830	0,780
Turbodmychadlo (a/n)	n			Teplota vzduchu	25,0 °C		
Teplota vzduchu	25,0 °C			Nadmořská výška	241 m		
Nadmořská výška	241 m			Korekční faktor výkonu motoru	0,976		
Korekční faktor výkonu motoru	0,976						
Interpolace:	Menší	Větší		Interpolace:	Menší	Větší	
		25,0 °C	25,0 °C			25,0 °C	25,0 °C
Menší	200 m	0,980	0,980	Menší	200 m	0,984	0,984
Větší	300 m	0,970	0,970	Větší	300 m	0,976	0,976
	100 m	-0,010	-0,010		100 m	-0,008	-0,008
	41 m	-0,004	-0,004		41 m	-0,003	-0,003
	241 m	0,976	0,976		241 m	0,981	0,981
	0,0 °C	0,000			0,0 °C	0,000	
	0,0 °C	0,000			0,0 °C	0,000	
Korekční faktor výkonu motoru	0,976			Korekční faktor výkonu motoru	0,981		

Tab. 6.1 : Korekční koeficient změny výkonu motoru v závislosti na nadmořské výšce instalace KGJ

S růstem nadmořské výšky, neboli jinak řečeno s poklesem atmosférického tlaku se snižuje točivý moment a výkon spalovacího motoru. Je to z toho důvodu, že energetický zisk z jednoho pracovního zdvihu pístu odpovídá energii získané shořením náplně válce. Energie náplně válce je limitována množstvím kyslíku, který se do válce při sacím zdvihu dostane. Pro stanovení tlaku vzduchu v závislosti na nadmořské výšce jsem použil vztah .



$$p_h = 101\,325 * (1 - 2,25577 * 10^{-5} * h)^{5,25588} \quad (6.1)$$

Kde:

$p_h$  – Tlak v nadmořské výšce [Pa],

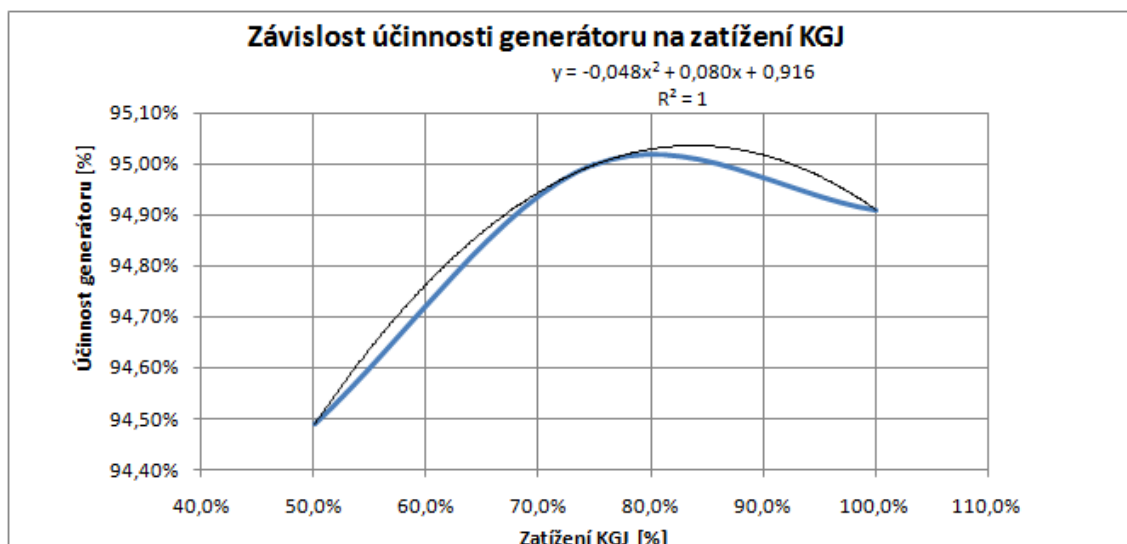
$h$  – nadmořská výška [m].

Pro namodelování libovolné kogenerační jednotky jsou důležité tyto parametry:

- Výkon motoru (kW) při 100 %, 75 %, 50 % zatížení,
- účinnost generátoru (%) při 100 %, 75 %, 50 % zatížení,
- poměr výkonů (-) tepelného ku elektrickému při 100 %, 75 %, 50 % zatížení,
- spotřeba paliva  $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  nebo  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  při obchodních podmínkách (101 325 Pa, 15°C),
- elektrický výkon (kW) při 100 %, 75 %, 50 % zatížení,
- tepelný výkon (kW) při 100 %, 75 %, 50 % zatížení,
- elektrická účinnost (%) při 100 %, 75 %, 50 % zatížení,
- tepelná účinnost (%) při 100 %, 75 %, 50 % zatížení.

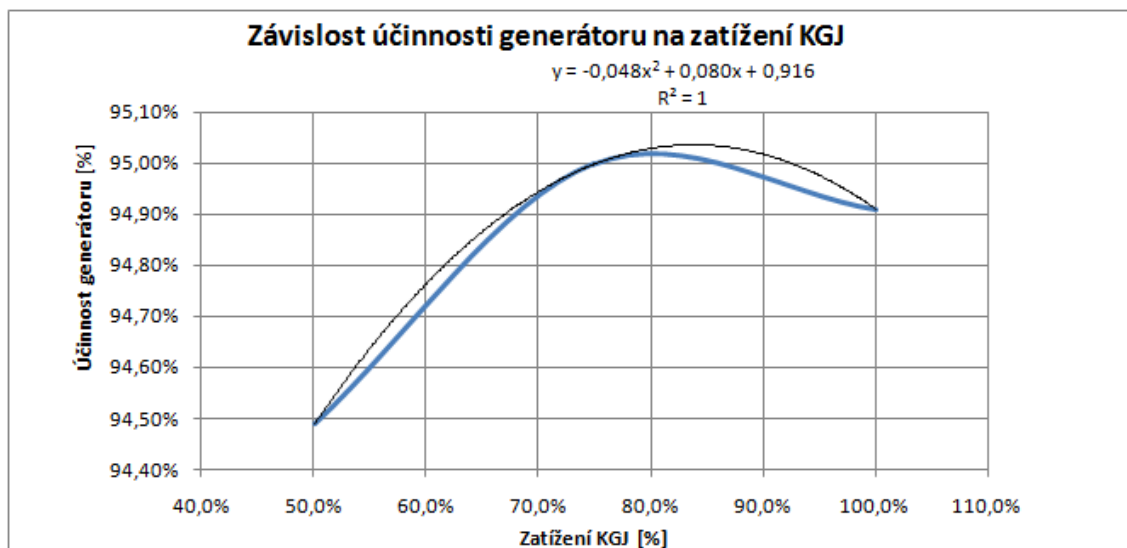
Výše uvedená data by měla být součástí typových listů kogeneračních jednotek příslušných výrobců. Pomocí polynomických rovnic druhého stupně lze pak sestavit rovnice pro vyčíslení provozních parametrů kogeneračních jednotek v rozsahu zatížení motoru od 100 % do 50 %.

Z funkční závislosti účinnosti generátoru na zatížení v procentech ( $\eta_g = f_{ce}(\text{zatížení KGJ} [\%])$ ) vytvoříme polynomickou rovnici pro výpočet účinnosti generátoru pro rozsah zatížení 100 % až 50 %. Pro kogenerační jednotku ViessmannVitobloc 200 140kWe/207kWt má rovnice tvar uváděný v grafu 6.1.



Graf 6.1: Závislost účinnosti generátoru na zatížení KGJ a polynomická rovnice

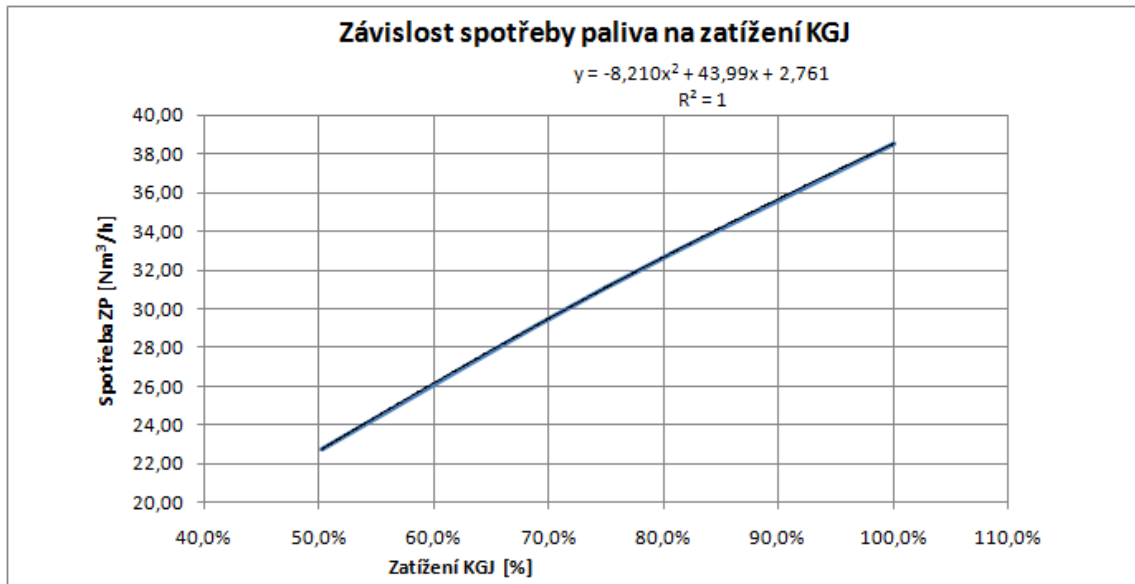
Z funkční závislosti poměrů výkonů tepelného a elektrického vytvoříme funkční závislost ( $P_t/P_e = f_{ce}(\text{zatížení KGJ} [\%])$ ). Výsledkem je polynomická rovnice 2. stupně. Z takto stanovené hodnoty v rozsahu zatížení 100 % až 50 % můžeme stanovit tepelný výkon KGJ při známém výkonu elektrickém a naopak. Pro konkrétní kogenerační jednotku Viessmann Vitobloc 200 140kWe/207kWt má rovnice tvar uváděný na grafu 6.2.



Graf 6.2: Závislost poměru výkonu PT/PE na zatížení KGJ a polynomická rovnice

Z funkční závislosti spotřeby paliva (spotřeba zemního plynu – SPZP) vytvoříme polynomickou rovnici ( $SPZP = f_{ce}(\text{zatížení KGJ} [\%])$ ). Spotřeba paliva se

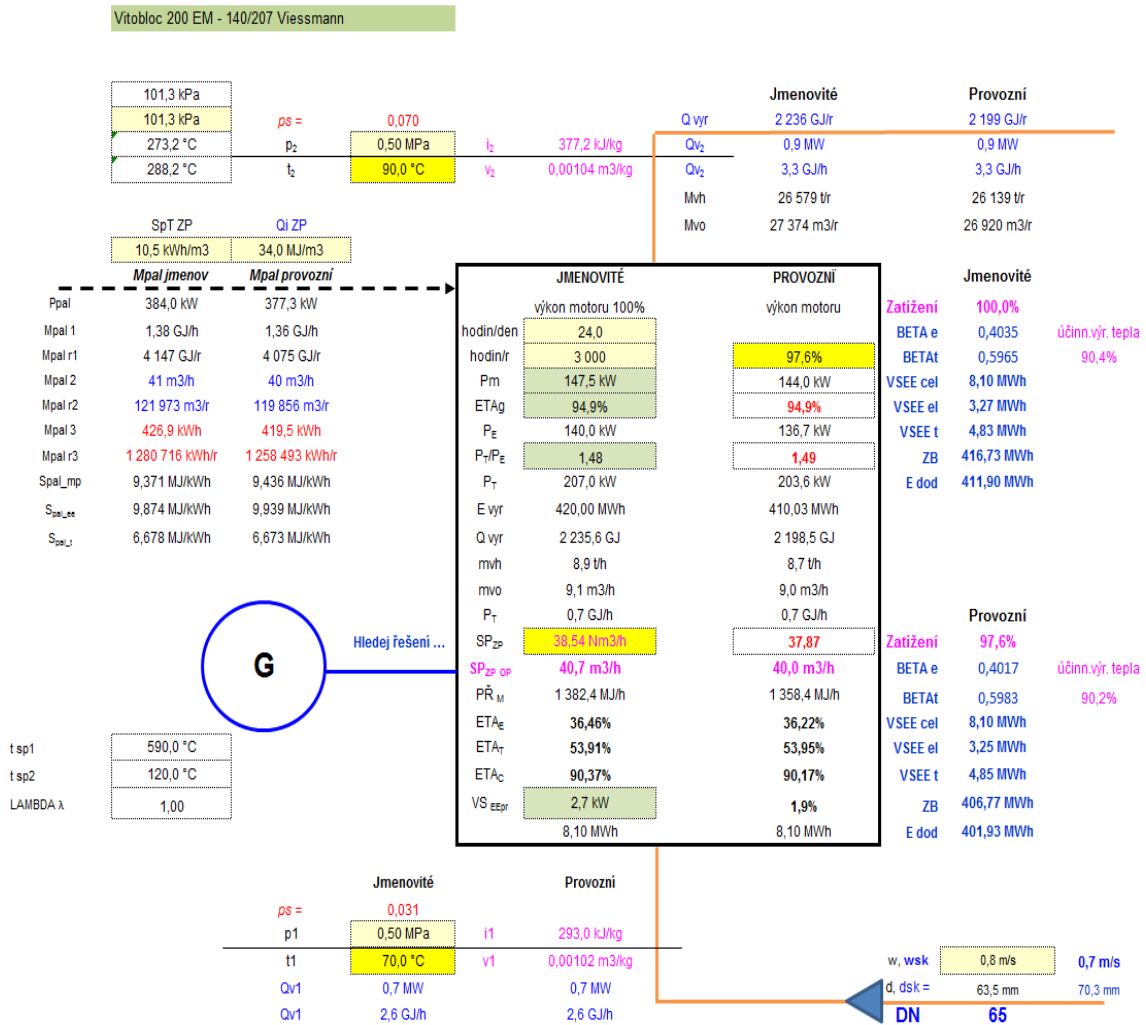
uvažuje při normálních podmínkách, tj. při teplotě 0 °C a tlaku 101 325 Pa nebo při obchodních podmínkách, to je při teplotě 15 °C a tlaku 101 325 Pa vše v rozsahu zatížení KGJ od 100 % do 50 %. Takto stanovená spotřeba zemního plynu v [Nm<sup>3</sup>/h, nebo m<sup>3</sup>/h] pro libovolné provozní zatížení KGJ Viessmann Vitobloc 200 140kWe/207kWt má rovnice tvar uváděný na grafu 6.3.



*Graf 6.3: Závislost spotřeby paliva na zatížení KGJ a polynomičká rovnice*

Na základě jmenovitých a předpokládaných provozních hodnot výkonů a účinností a předpokládaného počtu provozních hodin kogenerační jednotky za den (v tomto případě je uvažováno 24 hodin) a rok stanovíme hmotové a energetické bilance KGJ.

Bilance KGJ pro jmenovité i předpokládané provozní parametry je pro názornost zachycena na obrázku 6.4.



Obr. 6.1: Bilanční model KGJ

Legenda ke schématu na obrázku 5.5:

$P_m$  – výkon motoru na hřídeli [kW],

ETAg – účinnost generátoru[%],

$P_E$  – elektrický výkon KGJ[kW],

$P_T/P_E$  – poměr tepelného a elektrické výkonu KGJ[-],

$P_T$  – tepelný výkon KGJ[kW],

$P_C$  – celkový výkon KGJ[kW],

E vyr – elektrická energie vyrobená za rok[MWh],

Q vyr – teplo vyrobené za rok[GJ],

$Q_{V1}$  – tepelný výkon ve vodě zákaznického okruhu na vstupu do KGJ [GJ/h, MW],

$Q_{V2}$  – tepelný výkon ve vodě zákaznického okruhu na vstupu z KGJ [GJ/h, MW],

$Q_i$  – výhřevnost ZP [MJ/m<sup>3</sup>],

$SP_T$  – spalné teplo ZP [kWh/m<sup>3</sup>],

$SP_{ZP}$  – spotřeba ZP při normálních podmínkách tj. při 0°C, 101 325 Pa [Nm<sup>3</sup>/h],

$SP_{ZP OP}$  – Spotřeba ZP, obchodní podmínky tj. při 15°C, 101 325 Pa [m<sup>3</sup>/h],

$VS_{EEpr}$  – vlastní spotřeba elektrické energie KGJ (provozní příkon), procentní podíl z vyrobené elektrické energie [kW, %],

$P_{pal}$  – příkon v palivu [kW],

$P\check{R}_M$  – příkon KGJ (motoru) [MJ/h],

$M_{pal1}$  – hodinová spotřeba paliva [GJ/h],

$M_{pal2}$  – hodinová spotřeba paliva při obchodních podmínkách [m<sup>3</sup>/h],

$M_{pal3}$  – hodinová spotřeba paliva vztažená k výhřevnosti [kWh],

$M_{palr1}$  – roční spotřeba paliva [GJ/h],

$M_{palr2}$  – roční spotřeba paliva při obchodních podmínkách [m<sup>3</sup>/h],

$M_{palr3}$  – roční spotřeba paliva vztažená k výhřevnosti [kWh],

$S_{pal\_mp}$  – měrná spotřeba tepla v palivu na výrobu 1 kWh mechanické práce [MJ/kWh],

$S_{pal\_ee}$  – měrná spotřeba tepla v palivu na výrobu 1 kWh elektrické energie [MJ/kWh],

$S_{pal\_t}$  – měrná spotřeba tepla v palivu na výrobu 1 kWh tepla [MJ/kWh],

$ETA_E$  – elektrická účinnost KGJ [%],

$ETA_T$  – tepelná účinnost KGJ [%],

$ETA_C$  – celková účinnost KGJ [%].

### **Základní vztahy pro bilancování KGJ jsou následující.**

Výkony:

$$P_m = \frac{P_E}{\eta_g}, [kW, kW, \%] \quad (6.2)$$

$$P_E = P_m * \eta_g [kW, kW, \%] \quad (6.3)$$

$$P_T = P_E * \frac{P_T}{P_E}, [kW, kW, kW, kW] \quad (6.4)$$

Výroby:

$$E_{VYR} = P_E * \text{počet provozních hodin}, [kWh, kW, h] \quad (6.5)$$

$$Q_{VYR} = \frac{P_T}{1000} * 3,6 * \text{počet provozních hodin}, [GJ, kW, -, -, h] \quad (6.6)$$

Příkony:

$$P\check{R}M = SPZP OP * Q_i, \left[ \frac{MJ}{h}, m^3, \frac{MJ}{m^3} \right] \quad (6.7)$$

Měrná spotřeba paliva:

$$Spal_{mp} = \frac{P\check{R}_M}{P_C}, \left[ \frac{MJ}{kWh}, \frac{MJ}{h}, kW \right] \quad (6.8)$$

$$Spal_{ee} = \frac{P\check{R}_M}{P_E}, \left[ \frac{MJ}{kWh}, \frac{MJ}{h}, kW \right] \quad (6.9)$$

$$Spal_t = \frac{P\check{R}_M}{P_T}, \left[ \frac{MJ}{kWh}, \frac{MJ}{h}, kW \right] \quad (6.10)$$

Účinnost:

$$ETA_E = 3,6 * \frac{\eta_g}{Spal_{mp}} * 100, \left[ \%, -, \%, \frac{MJ}{kWh}, - \right] \quad (6.11)$$

$$ETA_T = 3,6 * \eta_g * \frac{P_T}{P_E * Spal_{mp}} * 100, \left[ \%, -, \%, kW, kW, \frac{MJ}{kWh}, - \right]$$

(6.12)

$$ETA_C = 3,6 * \eta_g * \frac{\frac{P_T}{P_E} + 1}{Spal_{mp}} * 100, \left[ \%, -, \%, kW, kW, \frac{MJ}{kWh}, - \right]$$

(6.13)

## 7 Popis nového stavu kotelny

Novým, cílovým stavem je instalace kogenerační jednotky firmy Viessmann do stávající plynové okružkové kotelny, kde výkonově doplní již stávající kotle označené K1 a K2. Níže jsou uvedeny výkonové, provozní a environmentální parametry instalované kogenerační jednotky.

Elektrický výkon KGJ:	140 kWe
Tepelný výkon KGJ:	207 kWt
Účinnost elektrická:	36,5%
Účinnost tepelná:	53,9%
Celková účinnost:	90,4%
Vlastní spotřeba technologie:	2,7kWe
KGJ	3000 mth/rok, 6-22 h/den, otopné období
Jmenovitá roční výroba tepla:	2 235,6 GJ
Jmenovitá roční výroba EE:	420 MWh
Jmenovitá roční spotřeba ZP:	115 620 m <sup>3</sup>
Garantované emise:	NO <sub>x</sub> <125 mg/Nm <sup>3</sup> (měřeno jako NO <sub>2</sub> ) CO < 150 mg/Nm <sup>3</sup>

Kogenerační jednotka představuje plynový čtyřtákní pístový motor s generátorem napojeným přes spojku. Modul KGJ obsahuje rovněž výměníky tepla (spalinový a deskový), expanzní nádoby, řídicí a fázovací rozváděč, čerpadla, startovací baterie, startér nebo ventilátor odpadního vzduchu. Ventilátor bude odvádět tepelnou zátěž vznikající v motoru generátoru vzduchotechnickým potrubím vyústěným na fasádu objektu kotelny. Tepelná zátěž dosahuje dle výrobce výše 17 kWt. Ke KGJ bude přivedeno potrubí zemního plynu, přívodní a vratné potrubí vyvedení tepelného výkonu. Vyvedení tepelného výkonu bude napojeno na stávající rozvody v prostoru kotelny. KGJ bude také napojena na vyvedení spalin (kouřovod a komín) a kanalizaci (odvod kondenzátu).



KGJ bude provozována jako základní zdroj tepla v přechodném (březen, duben, říjen) a zimním období (prosinec, leden, únor) v režimu kontinuálního provozu (tj. bez modulování výkonu). Dva stávající plynové kotle (K1, K2) budou v letním období zajišťovat teplo pro přípravu teplé vody. V přechodném a zimním období pak budou sloužit jako pološpičkové a špičkové zdroje (budou spínat v období, kdy potřeba tepla bude větší než teplo vyrobené a dodané z KGJ). Celý provoz tepelného hospodářství bude řízen nadřazeným systémem MaR.

Z důvodu dodržení hlukových limitů v okolí místa instalace bude KGJ provozována pouze v denní dobu mezi 6 - 22 hod. Kogenerační jednotka bude doplněna o akumulační nádrž o celkovém objemu 20 m<sup>3</sup> pracující s teplotní diferencí 45 °C (90 °C topná voda, 45 °C voda vratná). Akumulace zajistí prodloužení roční provozní doby KGJ z původní výše necelých 2 500 hodin na požadovaných 3 000 hodin. Zajistí i vyšší procentuální poměr pokrytí spotřeby tepla z kogenerační výroby. Instalací akumulační nádrže dojde i k vyvážení aktuální výroby tepla z KGJ s aktuální spotřebou tepla v otopné soustavě a k celkovému zefektivnění kogenerační výroby. Akumulační nádrž může sloužit i jako špičkový zdroj využívající naakumulovanou tepelnou energii.

Nový zdroj tepla a elektrické energie bude mít zajištěn samostatný odvod spalin svým třívrstevným tepelně izolovaným nerezovým přetlakovým komínem. Přetlak na výstupu z modulu KGJ je 1 500 Pa. Tlaková ztráta sekundárního tlumiče hluku je < 400 Pa a kouřového potrubí včetně všech kolen je cca 200 Pa. Přebytek disponibilního tahu je tedy cca 900 Pa. Do svislé části spalinovodu bude umístěn tlumič hluku pro zajištění všech legislativních hlukových limitů v chráněných objektech. Samotná KGJ i akumulační nádrž budou osazeny na nově vybudovaný sokl (KGJ) a základ (AKU). Kogenerační jednotka bude vybavena vlastní expanzní nádobou o objemu 35 l pro zajištění tlakové rovnováhy systému při startech a odstavení KGJ. Stávající systém chemické úpravy vody zůstane beze změny. Dispoziční uspořádání kotelny je v Příloze E.

## 8 Ekonomické hodnocení

Před realizací jakéhokoliv projektu je nutno provést ekonomické hodnocení. Výsledkem ekonomického hodnocení je zjištění, zda se investice vložené do projektu navrátí, či nikoliv.

Během provozu kogenerační jednotky je nutné sledovat provozní náklady. Ty se dělí na proměnné (závislé na objemu produkce) a na fixní (nezávislé na objemu produkce).

V rámci proměnných nákladů se zpravidla sledují tyto položky nákladů:

- Náklady na palivo,
- náklady na vodu, chemikálie a jiné provozní hmoty (olej),
- náklady na servis a údržbu KGJ (závislé na počtu provozních motohodin).

V rámci fixních nákladů obvykle sledujeme tyto položky:

- Odpisy majetku (účetní),
- nájemné za pronajatý majetek
- režijní náklady,
- personální náklady,
- finanční náklady (úroky z poskytnutých úvěrů).

### 8.1 Kritéria efektivnosti

Kritéria efektivnosti projektu respektující časovou hodnotu peněz.

#### 8.1.1 Čistá současná hodnota

$$NPV = -IN + \sum_i^n CFW_i * r \tag{8.1}$$

$$r = \frac{1}{(1+d)^i} \tag{8.2}$$

$$CFW = \text{příjmy} - \text{výdaje} = \text{čistý zisk} + \text{odpisy} \quad (8.3)$$

Kde:

NPV - čistá současná hodnota,

IN - aktualizované investiční náklady,

r – odúročitel,

CFW - roční salda cash- flow,

i - roky provozování investice,

n - doba porovnání nebo ekonomické životnosti,

d - diskontní sazba v desetinném vyjádření.

Čistá současná hodnota představuje sumu diskontovaných ročních cash flow z provozní činnosti navrhované investice za celou dobu hodnocení projektu po odpočtu vložených jednorázově vložených investičních prostředků. Projekty s kladnou hodnotou NPV se doporučují k realizaci, se zápornou hodnotou se odmítají.

### 8.1.2 Vnitřní úroková míra

$$NPV = -IN + \frac{CFW_1}{(1 + IRR)^1} + \frac{CFW_2}{(1 + IRR)^2} + \dots + \frac{CFW_n}{(1 + IRR)^n} = 0 \quad (8.4)$$

Kde:

CFW - peněžní toky v jednotlivých letech hodnocení (provozování) investice,

IRR - vnitřní úroková míra v desetinném vyjádření,

n - celková doba hodnocení projektu.

Vnitřní úroková míra vyjadřuje úroveň rentability projektu. V podstatě je to ta výše diskontní sazby, při které se čistá současná hodnota rovná nule. Pro stanovení vnitřní úrokové míry existují v prostředí MICROSOFT EXCEL příslušní vzorce. Na diskontní sazbu, lze pohlížet dvěma způsoby a to buď jako na vážený průměr kapitálu, nebo míru rizika projektu. Je-li vypočtená vnitřní úroková míra větší než diskontní sazba, projekt se doporučuje k realizaci. V opačném případě se odmítá.

### 8.1.3 Ekvivalentní anuita

$$RENTA = NPV * \frac{r^n * d}{r^n - 1} \quad (8.5)$$

$$r = 1 + d \quad (8.6)$$

Kde:

NPV – čistá současná hodnota,

r – úročitel,

d – diskontní sazba v desetinném vyjádření,

n – roky provozování investice.

Ekvivalentní anuita představuje průměrný roční zisk projektu. Je to vlastně čistá současná hodnota projektu přepočtená pomocí složeného úročení na konstantní roční průměr - anuitu. Projekty s kladnou anuitou se přijímají k realizaci, se zápornou odmítají.

### 8.1.4 Diskontovaná doba návratnosti

$$\sum_{t=1}^{T_n} CFW_t / (1 + d)^n = 0 \quad (8.7)$$

Kde:

CFW – roční peněžní tok,

d – diskontní sazba v desetinném vyjádření,

Tn = DDN – hledaná diskontovaná doba návratnosti,

n – roky provozování investice.

Diskontovaná doba návratnosti projektu představuje bod zvratu čisté současné hodnoty (čistá současná hodnota přechází ze záporné hodnoty do kladné, je nulová)

v závislosti na délce provozování investice. V místě kde protne časovou osu doby provozování investice je naše diskontovaná doba návratnosti.

## 8.2 Ekonomické hodnocení

### 8.2.1 Vstupní data a předpoklady výpočtu

- Celkové investiční náklady	6 000 000 Kč
- Doba provozování KGJ	3 000 hodin/rok
- Teplo dodané	2 236 GJ/rok
- Ztráty v tepelných sítích	5,7 % z tepla vyrobeného
- Užitečná (fakturovaná dodávka tepla	2 107 GJ/rok
- Elektřina vyrobená	420 MWh/rok
- Elektřina dodaná do sítě	411,9 MWh/rok
- Elektřina spadající pod Zelený bonus	416,73 MWh/rok
- Vlastní spotřeba elektřiny (EE) celkem	8,1 MWh/rok
- Vlastní spotřeba EE na výrobu EE	3,27 MWh/rok
- Vlastní spotřeba EE na výrobu TEPLA	4,83 MWh/rok
- Sazba Zeleného bonusu	2 095 Kč/MWh
- Cena zemního plynu	718 Kč/MWh (ke spalnému teple)
	221,74 Kč /GJ (k výhřevnosti)
- Údržba a servis	79,97 Kč/mth
- Prodejní cena tepla	528,31 Kč/GJ
- Prodejní cena elektřiny	1 000 Kč/MWh
- Odpisová sazba pro účetní odpisy	20 %
- Diskontní sazba	5 %

Při výpočtu zanedbávám vliv nadmořské výšky ovlivňující výkon spalovacího motoru a počítám se jmenovitými parametry KGJ uvedené v levém sloupci vytvořeného bilančního modelu KGJ.

### 8.2.2 Vlastní hodnocení a výstupní data z něho

Na základě výše uvedených vstupních dat a předpokladů byl proveden ekonomický výpočet prosté doby návratnosti a výpočet kritérií efektivnosti plánovaného záměru zohledňující časovou hodnotu peněz. Ekonomický výpočet je uveden v tabulce 8.1 a tabulce 8.2. Výpočet kritérií efektivnosti pak v tabulce 8.3. Při výpočtu ekonomických kritérií byly použity následující vzorce.

#### Provozní náklady:

$$PN = RPN + FIXN = (\text{Proměnné náklady} + \text{Fixní náklady}) \quad (8.8)$$

#### Zisk před odpisy, úroky a dani z příjmů:

$$EBITDA = TRT + TRE - FIXN = (\text{Tržby teplo} + \text{Tržby elektřina} - \text{Provozní náklady}) \quad (8.9)$$

#### Zisk před úroky a dani z příjmů:

$$EBIT = EBITDA + ODP = (\text{Zisk před odpisy, úroky a dani z příjmů} - \text{Odpisy majetku}) \quad (8.10)$$

#### Zisk před dani z příjmů:

$$EBT = EBIT - ÚR = (\text{Zisk před úroky a dani z příjmů} - \text{Úroky z úvěrů}) \quad (8.11)$$

*Pro  $EBT > 0$ , zaokrouhluje se na 1000 Kč dolů, současná sazba daně činí 19%*

#### Daň z příjmů:

$$DAŇ = ZZD * SD = (\text{Zaokrouhlený základ daně} * \text{Sazba daně}) \quad (8.12)$$

**Čistý zisk (Hospodářský výsledek):**

$$\check{C}Z = EBT - DA\check{N} = (Zisk\ p\check{r}ed\ dan\acute{\i}\ z\ p\check{r}\acute{\i}jm\acute{u} - Da\check{n}) \quad (8.13)$$

**Provozní Cash flow:**

$$CFW_n = (P\check{r}\acute{\i}jmy - V\acute{y}daje) = \check{C}Z + ODP = (\check{C}ist\acute{y}\ zisk + Odpisy) \quad (8.14)$$

<b>EKONOMICKÉ HODNOCENÍ EFEKTIVNOSTI PROJEKTU:</b>		
<b>INVESTIČNÍ NÁKLADY</b>		<b>6,000 mil.Kč</b>
Investiční náklady bez dotace celkem (Kč)		6,000 mil.Kč
Výše dotace (%), (mil.Kč)	0,0%	0,000 mil.Kč
Hodnota odepisovaného majetku (Kč)		6,000 mil.Kč
Odpisová sazba		20,0%
Doba odepisování pro účetní odpisy (roky)		5,0
<b>VÝNOSY</b>		<b>2,40385 mil.Kč</b>
<b>TEPLO</b>		
Ptj (kW)		207,0 kW
Provozních hodin při Ptj (h)		3 000
Ptzbytek průměr (kW)		203,6 kW
Provozních hodin při Ptzbytek (h)		0
Výroba tepla při Ptj (GJ)		2 236 GJ
Výroba tepla při Ptzbytek (GJ)		0 GJ
<b>Výroba tepla ze zdroje celkem (GJ)</b>		<b>2 236 GJ</b>
<b>Průměrná prodejní cena TEPLA (Kč/GJ)</b>		<b>528,31 Kč/GJ</b>
Ztráty v tepelných sítích (% z Qvyr), (GJ)	5,7%	128 GJ
Užitečná (fakturovaná) dodávka tepla (GJ)		2 107 GJ
<b>Výnosy za TEPLO (mil.Kč)</b>		<b>1,11330 mil.Kč</b>
<b>CHLAD</b>		
Užitečná (fakturovaná) dodávka chladu (GJ)		0 GJ
<b>Průměrná prodejní cena CHLADU (Kč/GJ)</b>		<b>0,00 Kč/GJ</b>
<b>Výnosy za CHLAD (mil.Kč)</b>		<b>0,00000 mil.Kč</b>
<b>EE - VÝROBA EE</b>		
Pej (kW)		140,0 kW
Provozních hodin při Pej (h)		3 000
Pezbytek průměr (kW)		136,7 kW
Provozních hodin při Pezbytek (h)		0
Výroba EE při Pej (MWh)		420,0 MWh
Výroba EE při Pezbytek (MWh)		0,0 MWh
<b>Výroba EE ze zdroje celkem (MWh)</b>		<b>420,0 MWh</b>
<b>EE - VS EE</b>		
BETAe		0,4035
BETAq		0,5965
VS EE (MWh)		8,1 MWh
VS EE el (MWh)		3,3 MWh
VS EE t (MWh)		4,8 MWh
<b>Dodávka EE (MWh)</b>		<b>411,9 MWh</b>
<b>EE - ZELENÉ BONUSY</b>		
Množství EE spadající pod zelené bonusy (MWh)		416,7 MWh
<b>Sazba zeleného bonusu (Kč/MWh)</b>		<b>2 095,00 Kč/MWh</b>
<b>Výnosy za ZELENÉ BONUSY (mil.Kč)</b>		<b>0,873 mil.Kč</b>
<b>EE - VÝNOSY ZA PRODEJ OBCHODNÍK</b>		
Množství prodané EE obchodník (MWh)		411,9 MWh
z něho: - ve vysokém tarifu (VT) (MWh)		411,9 MWh
- v nízkém tarifu (NT) (MWh)		0,0 MWh
<b>Průměrná cena prodávané EE obchodník</b>		<b>1 000,00 Kč/MWh</b>
- ve vysokém tarifu (VT) (Kč)		1 000,00 Kč/MWh
- v nízkém tarifu (NT) (Kč)		0,00 Kč/MWh
<b>Výnosy z prodeje obchodníkovi (mil.Kč)</b>		<b>0,41190 mil.Kč</b>
- ve vysokém tarifu (VT) (mil.Kč)		0,41190 mil.Kč
- v nízkém tarifu (NT) (mil.Kč)		0,00000 mil.Kč
<b>EE - BONUS ZA DECENTRÁLNÍ VÝROBU</b>		
Množství EE spadající pod bonus (MWh)		411,9 MWh
<b>Výše bonusu za decentralní výrobu (Kč/MWh)</b>		<b>12,84 Kč/MWh</b>
<b>Výnosy za ZELENÉ BONUSY CELKEM (mil.Kč)</b>		<b>0,00529 mil.Kč</b>
<b>EE - VÝNOSY ZA PRODEJ EE AREÁL</b>		
Množství prodané EE Areál, VS Areál (MWh)		0,0 MWh
z něho: - ve vysokém tarifu (VT) (MWh)		0,0 MWh
- v nízkém tarifu (NT) (MWh)		0,0 MWh
<b>Průměrná cena prodávané EE areál</b>		<b>0,00 Kč/MWh</b>
- ve vysokém tarifu (VT) (Kč)		0,00 Kč/MWh
- v nízkém tarifu (NT) (Kč)		0,00 Kč/MWh
<b>Výnosy z prodeje areál (mil.Kč)</b>		<b>0,000 mil.Kč</b>
- ve vysokém tarifu (VT) (mil.Kč)		0,000 mil.Kč
- v nízkém tarifu (NT) (mil.Kč)		0,000 mil.Kč
<b>EE - VÝNOSY ZA SYSTÉMOVÉ SLUŽBY</b>		
Konečná spotřeba výrobce (MWh)		4,8 MWh
<b>Cena za systémové služby (Kč/MWh)</b>		<b>65,67 Kč/MWh</b>
<b>Výnosy za systémové služby (mil.Kč)</b>		<b>0,00032 mil.Kč</b>

Tab. 8.1 : Výpočet prosté doby návratnosti



<b>PROVOZNÍ NÁKLADY - PROMĚNNÉ</b>		<b>1,178 mil.Kč</b>
<b>EE - NÁKLADY ZA SYSTÉMOVÉ SLUŽBY</b>		
Konečná spotřeba výrobce (MWh)		4,8 MWh
Cena za systémové služby (Kč/MWh)		105,27 Kč/MWh
Náklady za systémové služby (mil.Kč)		0,001 mil.Kč
<b>EE - ÚSPORA NÁKLADŮ ZA DISTRIBUCI</b>		
Množství prodané EE Areál, VS Areál (MWh)		0,0 MWh
Cena za použití sítě provozovatele DS nad 1 kV (Kč/MWh)		50,20 Kč/MWh
Úspora nákladů za použití sítě (mil.Kč)		0,000 mil.Kč
<b>EE - ÚSPORA NÁKLADŮ ZA NÁKUP EE</b>		
Množství uspořené nakupované EE (MWh)		0,0 MWh
Průměrná nákupní cena silové EE (Kč/MWh)		0,00 Kč/MWh
Úspora nákladů na nákup EE (mil.Kč)		0,000 mil.Kč
<b>TEPLO - ÚSPORA NÁKLADŮ ZA NÁKUP TEPLA</b>		
Množství uspořeného nakupovaného tepla (GJ)		0,0 GJ
Průměrná cena nakupovaného tepla (Kč/GJ)		0,00 Kč/GJ
Úspora nákladů na nákup TEPLA (mil.Kč)		0,000 mil.Kč
<b>PALIVO - ZEMNÍ PLYN</b>		
Tepelná účinnost při Ptj		53,9%
Tepelná účinnost při Ptpřůměr		54,0%
Mpal při Ptj (GJ)		4 147 GJ
Mpal při Ptzbytek (GJ)		0 GJ
<b>Mpal celkem (GJ)</b>		<b>4 147 GJ</b>
Výhřevnost paliva (MJ/m3)		34,00
Mpal při Ptj (m3)		121 973 m3
Mpal při Ptzbytek (m3)		0 m3
<b>Mpal celkem (m3)</b>		<b>121 973 m3</b>
Cena paliva (Kč/GJ)		221,74 Kč/GJ
Náklady na palivo (mil.Kč)		0,920 mil.Kč
<b>NÁKLADY NA SERVIS A ÚDRŽBU</b>		
Počet provozních hodin celkem (h)		3 000
Cena servisu 1 provozní hodiny KGJ + PERIFERIE (Kč/mth)		79,97 Kč/mth
Náklady na servis celkem (mil.Kč)		0,240 mil.Kč
<b>OSTATNÍ PROMĚNNÉ NÁKLADY</b> zdražení plynu		
Ostatní proměnné náklady (% z pal.nákladů), (mil.Kč)	2,0%	0,018 mil.Kč
<b>PROVOZNÍ NÁKLADY - FIXNÍ</b>		<b>1,200 mil.Kč</b>
Energetický Management (Kč), (mil.Kč)	0	0,000 mil.Kč
Nájemné za pronajatý majetek (Kč), (mil.Kč)	0	0,000 mil.Kč
Režijní náklady (Kč), (mil.Kč)	0	0,000 mil.Kč
Personální náklady (Kč), (mil.Kč)	0	0,000 mil.Kč
Účetní roční odpisy (Kč) (Kč), (mil.Kč)	1 200 000	1,200 mil.Kč
Daňové roční odpisy (Kč) (Kč), (mil.Kč)	1 200 000	1,200 mil.Kč
Finanční náklady celkem (Kč) (Kč), (mil.Kč)	0	0,000 mil.Kč
<b>NÁKLADY VÝROBY CELKEM</b>		<b>2,378 mil.Kč</b>
<b>VÝNOSY, NÁKLADY, REKAPITULACE</b>		
Výnosy za TEPLO (mil.Kč)		1,113 mil.Kč
Výnosy za EE (mil.Kč)		1,291 mil.Kč
Výnosy za CHLAD (mil.Kč)		0,000 mil.Kč
<b>Výnosy CELKEM (mil.Kč)</b>		<b>2,404 mil.Kč</b>
<b>Náklady celkem (mil.Kč)</b>		<b>2,378 mil.Kč</b>
z nich:		
PROMĚNNÉ (mil.Kč)		1,178 mil.Kč
FIXNÍ (mil.Kč)		1,200 mil.Kč
<b>ZISKY , CASHFLOW</b>		
EBIT DA		1,226 mil.Kč
EBIT		0,026 mil.Kč
EBT		0,026 mil.Kč
Základ daně (Kč)		0,026 mil.Kč
Zaokrouhlený základ daně (Kč)		0,025 mil.Kč
Daň ze zisku (Kč)	19,0%	0,005 mil.Kč
Hospodářský výsledek (Kč)		0,021 mil.Kč
Splátka úvěru		0,000 mil.Kč
Roční Cash Flow (Kč)		1,221 mil.Kč
Prostá doba návratnosti (roky) - zjednodušený výpočet		4,9

Tab. 8.2 : Výpočet prosté doby návratnosti

PODNIKATELSKÝ PLÁN Implementace KJ140 kWer207 kWt do okružkové kotelny		KRITÉRIA EFEKTIVNOSTI PROJEKTU															
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Diskontní sazba		5,0%															
Rok pro vyhodnocování		15															
INVESTIČNÍ VÝDAJE:		6.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Investice do HMI		6.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Investiční výdaje ostatní (nepodlehající odpisování)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Investiční výdaje celkem		6.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SLOŽKY VÝNOSŮ A NÁKLADŮ (mil.Kč)																	
Výnosy za TEPLŮ (prodej + ZB)		0.000	1.113	1.113	1.113	1.113	1.113	1.113	1.113	1.113	1.113	1.113	1.113	1.113	1.113	1.113	1.113
Výnosy za EE (prodej EE + ZB)		0.000	1.291	1.291	1.291	1.291	1.291	1.291	1.291	1.291	1.291	1.291	1.291	1.291	1.291	1.291	1.291
Výnosy za CHLAD		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Výnosy celkem		0.000	2.404	2.404	2.404	2.404	2.404	2.404	2.404	2.404	2.404	2.404	2.404	2.404	2.404	2.404	2.404
PROVOZNÍ VÝDAJE:																	
Náklady na palivo		0.000	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920
Náklady na nákup EE a TEPLA		0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Náklady na servis a údržbu KJ		0.000	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240
Náklady na vodu		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ostatní proměnné náklady		0.000	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018
Proměnné náklady celkem		0.000	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178
Náklady na údržbu, opravy a revize, SO, GO		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Personální náklady		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Režijní náklady		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Nájemné za pronájem majetku		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Náklady za služby		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Skládkové výdaje celkem		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Celkové provozní výdaje		0.000	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178
Účetní odpisy		0.000	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Daňové odpisy		0.000	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Finanční náklady		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Náklady výroby celkem		0.000	2.378	2.378	2.378	2.378	2.378	2.378	2.378	2.378	2.378	2.378	2.378	2.378	2.378	2.378	2.378
ZISKY, ZTRÁTY																	
ERBITDA - zisk před odpisy a finančními náklady		0.000	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226
EBIT - provozní zisk před finančními náklady		0.000	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
EBT - zisk před zdaněním		0.000	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
Základ daně ziskových		0.000	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
DAN		0.000	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
ZISK po zdanění - Hospodářský výsledek		0.000	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021
PENĚŽNÍ TOKY																	
CASH-FLOW		-6.000	1.221	1.221	1.221	1.221	1.221	1.221	1.221	1.221	1.221	1.221	1.221	1.221	1.221	1.221	1.221
CASH-FLOW kumulovaný		-6.000	-4.779	-3.558	-2.338	-1.117	0.104	1.097	2.089	3.082	4.075	5.068	6.060	7.053	8.046	9.039	10.031
CASH FLOW diskontovaný		-6.000	1.163	1.107	1.055	1.004	0.956	0.741	0.706	0.672	0.640	0.609	0.580	0.553	0.526	0.501	0.478
KRITÉRIA EFEKTIVNOSTI PROJEKTU																	
Čistá současná hodnota - NPV		-6.000	-4.837	-3.730	-2.676	-1.671	-0.715	0.026	0.732	1.403	2.043	2.653	3.233	3.786	4.313	4.814	5.292
Vnitřní úroková míra - IRR		%	-100.0%	-79.7%	-43.6%	-21.1%	-7.8%	5.1%	8.4%	10.6%	12.5%	13.8%	14.8%	15.6%	16.2%	16.7%	17.1%
Ekvivalenční annuita - RENTA		mil.Kč	-6.000	-5.079	-2.006	-0.983	-0.471	0.005	0.126	0.217	0.287	0.344	0.389	0.427	0.459	0.486	0.510
Prostá doba návratnosti - PDN		roky	4.9														
Diskontovaná doba návratnosti - DDN		roky	6.0														

Tab. 8.3 : Výpočet kritérií efektivity projektu

### 8.2.3 Kritéria efektivity projektu

Kritéria efektivity hodnoceného projektu tvoří čistá současná hodnota za dobu provozování 15-ti let – NPV (15), ekvivalentní annuita a vnitřní úroková míra za stejnou dobu provozu investice – RENTA(15), IRR(15) a také diskontovaná doba návratnosti do investice vložených prostředků – DDN. Zkratka PDN značí prostou dobu návratnosti.

- NPV (15)	5,292 mil.Kč
- IRR (15)	17,1%
- RENTA (15)	0,510 mil.Kč
- DDN	6,0 let
- PDN	4,9 let

### 4.2.7 Závěr a doporučení

Hodnocený podnikatelský záměr se jeví z pohledu kritérií efektivity životaschopný a perspektivní pro vlastní realizaci. Po patnácti letech provozu zamýšlené investice se zvýší tržní hodnota energetické firmy realizující danou investici o 5,292 mil. Kč. Průměrný roční zisk za stejnou dobu provozu investice dosáhne hodnoty 0,510 mil. Kč. Rentabilita projektu bude 17,1 % při diskontované návratnosti do investic vložených prostředků 6 let.

## 9 Závěr

Získaná data byla analyzována a vyhodnocena. Výsledkem návrhu je kogenerační jednotka od firmy VIESSMANN typu Vitobloc 200 EM-140/207 o jmenovitém elektrickém výkonu 140 kWe a jmenovitém tepelném výkonu 207 kWt. Jednotka využívá atmosférický motor bez přepřňování. Jeho výhodou je v tom, že nevyžaduje mezichladič spalinové směsi jako je tomu u motorů vybavených turbodmychadlem. Z důvodu volby KGJ jsem je nasadil ve dvou pracovních režimech. První představuje provoz jednotky při jmenovitém tepelném výkonu. Druhý pak při tepelném výkonu regulovaném v rozmezí od jmenovitého výkonu do hodnoty 63 % jeho velikosti.

Při provozu KGJ při svém jmenovitém tepelném výkonu ve výši 207 kW by mohla být jednotka provozována po celkovou dobu cca 4 100 hodin. Za tuto dobu by mohla z celkové spotřeby vyrobeného tepla za rok 2012 ve výši 5 838 GJ pokrýt celých 3 031 GJ, což činí cca 52 %.

Za použití regulace lze prodloužit dobu provozu KGJ z původních 4 100 hodin na cca 5 200 hodin. Pokrytí roční spotřeby tepla provozem KGJ se navýšil z 3 031 GJ na 3 905 GJ, což je nárůst z 52 % na cca 67 %. S ohledem na výši zelených bonusů platných pro rok 2015 uvedených v tabulce 4.4, byl navržen roční provoz kogenerační jednotky po dobu 3 000 hodin.

Po provedeném prvotním návrhu však zpracovaná hluková studie prokázala, že z důvodu dodržení limitů hluku v chráněných bytových domech, není možno provozovat kogenerační jednotku v době nočního klidu tj. od 22<sup>o</sup> do 6<sup>o</sup> hodin, a že k zajištění ročního provozu ve výši 3 000 hodin bude potřeba kogenerační jednotku doplnit o akumulaciční nádrž.

Pro stanovení objemu akumulaciční nádrže byly získány podrobnější data. Investorem mi byla poskytnutá data hodinových výrob tepla na kotlích okrskového zdroje za celý kalendářní rok 2013. Výsledky z provedené podrobné analýzy investorem poskytnutých dat potvrdily správnost mého prvotního návrhu při stanovení výkonu kogenerační jednotky.

Pro návrh akumulaciční nádrže bylo třeba sestavit denní diagramy trvání tepelných výkonů (spotřeb tepla). Proto bylo nutno pro každý ze dvanácti měsíců kalendářního roku 2013 definovat tzv. charakteristický den.

Z důvodu dodržení hlukových limitů v okolí místa instalace bude KGJ provozována pouze v denní dobu mezi 6<sup>00</sup> - 22<sup>00</sup> hod. Na základě provedeného výpočtu jsem navrhnul KGJ doplnit o akumulární nádrž velikosti 20 m<sup>3</sup>. Instalací nádrže se zajistí požadovaný provoz KGJ ve výši 3 000 hodin za rok. Z důvodu výroby a usazení akumulární nádrže na místě volíme dvě akumulární nádrže, každá o objemu 10 m<sup>3</sup>.

Kogenerační jednotka lze provozovat v rozsahu tepelného výkonu od 100 % do 63 % jmenovité hodnoty, a proto bylo nutno kogenerační jednotku namodelovat tak, aby se dal energeticky zbilancovat každý provozní stav v tomto rozmezí.

KGJ bude provozována jako základní zdroj tepla v přechodném (březen, duben, říjen) a zimním období (prosinec, leden, únor) v režimu kontinuálního provozu (tj. bez modulování výkonu). Dva stávající plynové kotle (K1, K2) budou v letním období zajišťovat teplo pro přípravu teplé vody. V přechodném a zimním období pak budou sloužit jako pološpičkové a špičkové zdroje (budou spínat v období, kdy potřeba tepla bude větší než teplo vyrobené a dodané z KGJ).

Na základě vstupních dat a předpokladů byl proveden ekonomický výpočet prosté doby návratnosti a výpočet kritérií efektivnosti plánovaného záměru zohledňující časovou hodnotu peněz. Výstavba kogenerační jednotky místo původního plynového kotle jeví z pohledu kritérií efektivnosti životaschopný a perspektivní pro vlastní realizaci. Po patnácti letech provozu zamýšlené investice se zvýší tržní hodnota energetické firmy realizující danou investici o 5,292 mil. Kč. Průměrný roční zisk za stejnou dobu provozu investice dosáhne hodnoty 0,510 mil. Kč. Rentabilita projektu bude 17,1 % při návratnosti do investic vložených prostředků 6 let.

## **Použitá literatura**

- [1] ŠAROUN, J., Výroba elektrické energie v kogeneračních jednotkách, Fakulta strojního inženýrství, Bakalářská práce, 2009.
- [2] Kogenerace. Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla. [online, cit. 5. 5. 2015]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/2912-kogenerace-kombinovana-vyroba-elektricke-energie-a-tepla-i>>.
- [3] Viessmann. Vitobloc. [online, cit. 5. 5. 2015]. Dostupné z WWW: <<http://www.bhkw-prinz.de/viessmann-vitobloc-200-em-20-39-und-em-50-81-mini-bhkw/1609>>.
- [4] Technický popis BTE Vitobloc 200 EM 140/207. 2014
- [5] KRBEK, J., POLESNÝ, B., Malé kogenerační jednotky v komunální a průmyslové energetice, PC-DIR Real Brno 1999, ISBN 80-85895-23-4
- [6] KYSELA, L., TOMČALA, J.: Ekonomika v energetice. Ediční středisko. Ostrava: VŠB-TU, 2000. ISBN 80-7078-851-8
- [7] KYSELA, L., MÍKA, J., KYSELOVÁ, S., Teplárenství. Učební text. Katedra energetiky Ostrava, 2010 ON 074017: Tepelný výpočet parních kotlů
- [8] DLOUHÝ, T., Výpočet kotlů a spalinových výměníků, ČVUT Praha 2005, ISBN 978-80-01-03757-7
- [9] VALACH, J. Investiční rozhodování a dlouhodobé financování. 2. vyd. Praha: Ekopress, 2006. 465 s. ISBN 80-86929-01-9.
- [10] FOTR, J.; SOUČEK I. Podnikatelský záměr a investiční rozhodování. 1. vyd. Praha: Grada, 2005. 356 s. ISBN 80-247-0939-2.
- [11] HOJER, O., KOTRBATÝ, M., KOVÁŘOVÁ, Z., Hospodaření teplem v průmyslu, Praha, 2009. 270 s.
- [12] KRBEK, J., POLESNÝ, B., Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích. Skripta VUT Brno, 1997.
- [13] DLOUHÝ, T., Výpočty kotlů a spalinových výměníků. Skripta ČVUT Praha, 1999. ISBN 80-010235-5.
- [14] IBLER, Z. a kol., Technický průvodce energetika. Praha: BEN- technická literatura, 2002.
- [15] VORÁČEK., V a kol., Energetické stroje. Skripta VŠB-TU Ostrava, 1990.

## Seznam grafů

Graf. 4.1 : Křivka trvání teplot.....	23
Graf. 4.2 : Křivka trvání tepelného výkonu .....	24
Graf. 4.3 : KGJ pracující jen se jmenovitým tepelným výkonem.....	25
Graf. 4.4 : KGJ pracující s regulovaným tepelným výkonem v rozmezí od 100% do 63% .....	26
Graf. 4.5: KGJ pracující jen se jmenovitým tepelným výkonem.....	31
Graf. 4.6: KGJ pracující s regulovaným tepelným výkonem v rozmezí od 100% do 63% .....	32
Graf. 5.1: Hodinové výkony v charakteristickém dni – lednu 2013 .....	34
Graf. 5.2: Hodinové výkony v charakteristickém dni – červnu 2013 .....	35
Graf. 5.3: Hodinové výkony v charakteristickém dni – říjnu 2013.....	35
Graf 6.1: Závislost účinnosti generátoru na zatížení KGJ a polynomická rovnice .....	43
Graf 6.2: Závislost poměru výkonu PT/PE na zatížení KGJ a polynomická rovnice .....	43
Graf 6.3: Závislost spotřeby paliva na zatížení KGJ a polynomická rovnice .....	44

## Seznam tabulek

Tab. 3.1: Parametry kotlů.....	17
Tab. 4.2 : Způsob sestrojení křivky trvání teplot .....	21
Tab. 4.4 : Výše zelených bonusů pro rok 2015 v závislosti na instalovaném elektrickém výkonu kogenerační jednotky .....	26
Tab. 4.5 : Databáze pro sestrojení křivky trvání tepelného výkonu.....	31
Tab. 4.6 : Číselné hodnoty výše zobrazeného grafu .....	32
Tab.4.7: Číselné hodnoty výše zobrazeného graf .....	32
Tab. 4.8: Výsledná hodnoty z poskytnutých dat (hodinových spotřeb tepla) .....	33

## Seznam obrázků

Obr. 2.1: Porovnání množství spotřebované energie u oddělené a kombinované výroby tepla a elektřiny [2].....	7
Obr. 2.2: Tepelný oběh se spalovacími motory ( a)Ottův cyklus, b) Dieselův cyklus)[1].....	10
Obr. 2.3: Kogenerační jednotka se spalovacím motorem [1].....	11
Obr. 2.4: Schéma a energetická bilance menší KJ se spalovacím motorem [1].....	14
Obr. 2.5: Vliv změny zatížení na elektrickou účinnost vznětového motoru [1].....	15
Obr. 2.6: Vliv změny zatížení na elektrickou účinnost zážehového motoru [1] .....	15
Tab. 4.3 : Koeficienty .....	22
Tab. 4.4 : Výše zelených bonusů pro rok 2015 v závislosti na instalovaném elektrickém výkonu kogenerační jednotky .....	26
Obr.4.1: VIESSMANN Vitobloc 200 EM-140/207 [3] .....	29
Obr.4.2: PID schéma kogenerační jednotky VIESSMANN Vitobloc 200 EM-140/207 a její kontrolní zařízení [4].....	29
Obr.4.3: Legenda k obrázku 4.2 [4] .....	30
Obr. 5.1. : Výpočet akumulační nádrže.....	38
Obr.5.2: Akumulační nádrž 10 m <sup>3</sup> .....	39
Obr. 6.1: Bilanční model KGJ.....	45

## **Seznam příloh**

Příloha A - Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokality

Příloha B - Výrobci kogeneračních jednotek

Příloha C - Typový list kogenerační jednotky VIESSMANN Vitobloc 200 EM-140/207

Příloha D – Výkres: FE AKU 20 000 I PN

Příloha E – Výkres: Instalace kogenerační jednotky do kotelny