

Diplomová práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla v ČR

Bc. Vlastimil Černý

Září 2016

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Jan Kyncl

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Vlastimil Černý**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Kombinovaná výroba elektřiny a tepla v ČR**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se se současným stavem kombinované výroby elektřiny a tepla v ČR.
2. Vytvořte metodiku dimenzování kogenerační jednotky při známém odběrovém diagramu tepla.
3. Z ekonomického hlediska pro konkrétní odběrový diagram porovnejte nasazení kogenerace s jinými zdroji tepla.

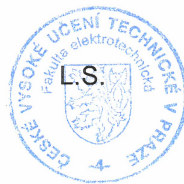
Seznam odborné literatury:

- [1] KYSELA, L. a kol.: Teplárenství. Skripta VŠB - TU Ostrava, 2011
- [2] Brož K.: Vytápění. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002
- [3] Technické materiály výrobců kogeneračních jednotek

Vedoucí: doc. Jan Kyncl Dr. Ing.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2017/2018

doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 18. 4. 2016

Poděkování / Prohlášení

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. Janu Kynclovi za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce. Mé poděkování patří též firmě OnSite Power Holding a.s. za dodané materiály a zkušenosti, bez kterých bych tuto práci nemohl napsat.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 8.9.2016

Abstrakt / Abstract

V této práci se věnuji kogeneračním jednotkám a jejich možnému využití pro reálné nasazení. Primárně se zaměřím na pístové kogenerační jednotky. Jedná se o malé zdroje o výkonech desítek až stovek kilowatt. V teoretickém úvodu popisují, jaké druhy kogenerace existují, a podrobněji popíšu pístové kogenerační jednotky. Dále se věnuji podmínkám instalace kogenerační jednotky a potřebným teoretickým výpočtům na zohlednění provozu KGJ. Nakonec ve své práci porovnám ekonomiku provozu kogeneračních jednotek a dalších zdrojů tepla.

Klíčová slova: kogenerační jednotka, kogenerace, ekonomika, princip fungování, podmínky instalace, podmínky provozu, pístové kogenerační jednotky, mikrokogenerace, model výroby, model spotřeb, ekonomické porovnání, provoz kogeneračních jednotek, instalace kogeneračních jednotek

In this thesis I focus on cogeneration units and their possible usage for a real term application. Primarily I concentrate on piston cogeneration units. These are minor sources of energy with a wattage within tens - hundreds kW. In a theoretical introduction I describe existing sorts of cogeneration and also I describe piston cogeneration units in more details. Furthermore I deal with conditions of a cogeneration unit installation as well as calculations necessary for taking the CHP unit into account. Finally I compare the economy of operation of cogeneration units with other heat sources in my thesis.

Key words: cogeneration, combined heat and power, economics, principle of operation, installation conditions, operation conditions, gas engine cogeneration, micro cogeneration, production model, model of consumption, economic comparison, operation cogeneration, installation cogeneration

Obsah /

1 Úvod	1
2 Současné možnosti kombinované výroby elektřiny a tepla	2
2.1 Co je to kogenerace	2
2.2 Výhody KGJ	2
2.3 Nevýhody KGJ	3
2.4 Druhy kogeneračních jednotek ..	3
2.4.1 KGJ s parní turbínou	3
2.4.2 KGJ s parním strojem	4
2.4.3 KGJ s organickým Rankinovým cyklem - ORC	5
2.4.4 KGJ s plynovou turbínou ..	5
2.4.5 KGJ se Stirlingovým motorem	6
2.4.6 KGJ s palivovými články ..	7
2.4.7 KGJ s pístovými spalovacími motory	8
2.5 Srovnání jednotlivých druhů KGJ	8
3 KGJ s plynovým motorem	10
3.1 Princip jednotky	10
3.2 Typické vlastnosti	10
3.3 Konstrukční uspořádání	11
3.3.1 Plyn	11
3.3.2 Motor	12
3.3.3 Olej	12
3.3.4 Generátor	12
3.3.5 Tepelný výstup	13
3.3.6 Spaliny	14
3.3.7 Ventilace	14
3.3.8 Emise	14
3.3.9 Provoz v rámci výroby elektřiny	14
3.3.10 Servisní intervaly	15
3.3.11 Porovnání různých typů KGJ	16
4 Metodika dimenzování KGJ na základě vlastností objektu ...	17
4.1 Porovnání odběrových diagramů	17
4.1.1 Současný zdroj tepla	17
4.1.2 Typ provozu	18
4.1.3 Výpočet spotřeby tepla v daném měsíci	19
4.1.4 Spotřeba elektrické energie v rámci měsíce ...	20
4.1.5 Výpočet teoretických provozních motohodin ...	20
4.2 Podmínky úspěšné instalace ...	20
4.2.1 Typ konstrukce vytápěného objektu	20
4.2.2 Typ vytápění objektu ...	21
4.2.3 Druh regulace teploty topné vody v objektu	21
4.2.4 Prostor pro KGJ a příslušenství	21
4.2.5 Napojení na současnou technologii	22
4.2.6 Akumulační nádrže	22
4.2.7 Vyrovnaní tlaku v systému	24
4.2.8 Tlak vody v systému ...	24
4.2.9 Čistota vody v otopném systému	25
4.2.10 Elektrické připojení	25
4.2.11 Plynová přípojka	25
4.2.12 Ventilace	26
4.2.13 Spalinovod	26
4.2.14 Hluk	26
4.3 Určení kogenerační jednotky ..	28
4.3.1 Odhad typu jednotky ...	28
4.3.2 Kontrola odhadu jednotky	29
5 Porovnání nasazení KGJ a jiných zdrojů tepla	31
5.1 Jiné zdroje tepla	31
5.1.1 Kondenzační kotle	31
5.1.2 Tepelná čerpadla	32
5.1.3 Fototermitické panely ...	32
5.1.4 Elektrokotel	33
5.2 Ekonomické parametry	34
5.2.1 Všeobecné výpočty	34
5.2.2 Ceny elektřiny	35
5.2.3 Ceny plynu	35
5.2.4 Cena tepla	35
5.2.5 Ceny KGJ	35
5.2.6 Ceny servisu KGJ	36
5.2.7 Ceny dalších zdrojů	36
5.2.8 Ceny servisu dalších zdrojů	36

5.2.9 Podpora KVET	36	6.10 Celková ekonomika z dlou-	
5.2.10 Cena stavby KGJ	37	hodobého hlediska	51
5.2.11 cena stavby ostatní		6.11 Shrnutí výsledků pro lokali-	
zdroje.....	38	tu 1	53
5.3 Technické parametry.....	38	7 Závěr	54
5.3.1 Výpočet denní kapaci-		Literatura	55
ty plynu	38	A Slovník pojmů	59
5.3.2 Určení rezervované ka-		B PVGIS	60
pacity a rezervovaného		C Tabulky výpočtů spotřeb	61
výkonu elektrické sítě	38	D Tabulka ekonomických para-	
5.3.3 Automatizace KGJ	40	metrů	65
5.3.4 Umístění lokalit	40	E Tabulka CASH FLOW v prů-	
6 Lokalita 1	41	běhu 15 let	67
6.1 Informace o lokalitě.....	41		
6.2 Vstupní data	41		
6.3 Vypočtená data	41		
6.4 Ekonomika současného pro-			
vozu	42		
6.5 KGJ pro lokalitu 1.....	43		
6.5.1 Dimenze KGJ	43		
6.5.2 Ostatní náklady spoje-			
né s instalací KGJ	43		
6.5.3 Ekonomika provozu			
KGJ	44		
6.6 Kondenzační kotel na lokali-			
tě č. 1	46		
6.6.1 Dimenze a náklady			
kondenzačního kotle	46		
6.6.2 Ekonomika kondenzač-			
ního kotle.....	46		
6.7 Tepelné čerpadlo na lokalitě			
č. 1.....	46		
6.7.1 Dimenze a náklady te-			
pelného čerpadla	47		
6.7.2 Ekonomika tepelného			
čerpadla	47		
6.8 Elektrokotel na lokalitě č. 1 ...	49		
6.8.1 Dimenze a náklady			
elektrokotle.....	49		
6.8.2 Ekonomika elektrokotle..	49		
6.9 Solární panely na lokalitě č. 1 .	49		
6.9.1 Dimenze a náklady so-			
lárního systému	49		
6.9.2 Ekonomika solárního			
ohřevu	51		

Kapitola 1

Úvod

Náklady na vytápění objektu patří v každém provozu mezi nezanedbatelné položky. Trendem posledních dvaceti let je strmý nárůst cen energií o stovky procent. I když v posledních pěti letech zaznamenaly mírný, ovšem trvalý pokles, jsou stále velmi vysoké. Vedení firem se proto snaží o optimalizaci nákladů na energie.

Existuje řada moderních způsobů pro optimalizaci nákladů, např. kondenzační kotle, které mají vysokou účinnost, ale potřebují nízké vstupní teploty, tepelná čerpadla, která dokáží získat teplo z okolí, ale jejich náklady jsou vysoké, elektrokotle, které jsou levné, ale mají dražší provoz, fototermické panely, které vyrábějí teplo téměř zdarma, ale jejich tepelný výkon v zimě klesá.

Poměrně novým a v České republice zatím nepříliš používaným zdrojem jsou kogenerační jednotky, které vyrábí elektřinu a teplo zároveň, ale mají vyšší pořizovací cenu. V současné době jsou vyvinuty malé kogenerační jednotky o výkonech desítek až stovky kilowatt, které lze instalovat do malých provozů. Dle mého názoru mají kogenerační jednotky velkou budoucnost v dalším rozvoji decentralizované energetiky České republiky.

V této práci porovnávám ekonomiku instalace a provozu kogeneračních jednotek a dalších zdrojů tepla.

Kapitola 2

Současné možnosti kombinované výroby elektřiny a tepla

Teoretický úvod jsem primárně čerpal z práce Kotelny a kogenerační jednotky [1], bakalářské práce Kogenerace [2], Příručky pro regionální využití kogeneračních zdrojů [3], Sborníku technických řešení zdrojů s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla [4], skript Teplárenství [5]. Další informace jsem čerpal ze stránek <http://www.tzb-info.cz> [6–17].

2.1 Co je to kogenerace

Kogenerace je princip výroby tepla a elektřiny v jednom zařízení. U velkých provozů je jeho ekvivalentem teplárna. Teplárny jsou velká zařízení s parní nebo plynovou turbínou s výkony v řádech 10 – 100 MW. KGJ mají výkon řádově nižší 10 - 1000 kW a většinou pracují na principu spalovacích motorů.

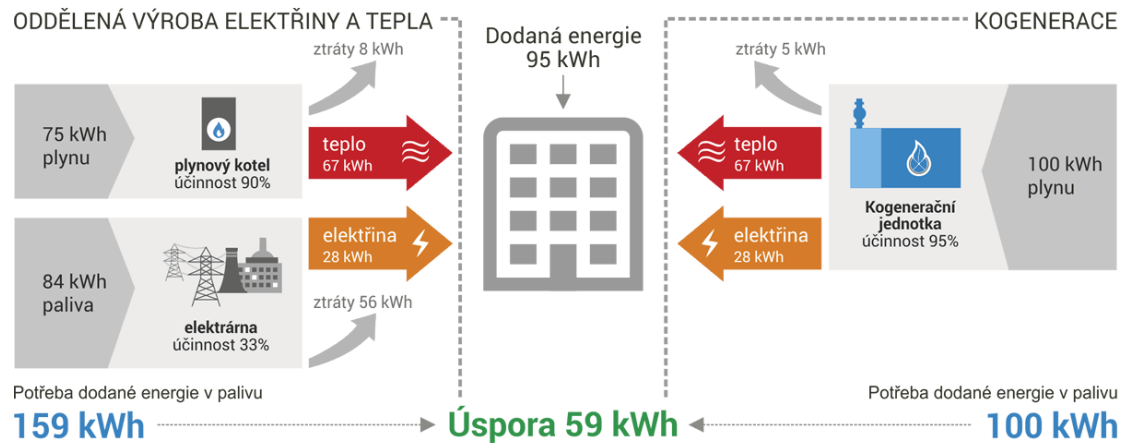
2.2 Výhody KGJ

KGJ je zdroj s nejvyšší účinností provozu s výrobou elektrické energie. Účinnost společné výroby elektřiny a tepla se v současné době blíží k hranici využití energie z paliva. Další výhodou je snížení ztrát při dálkovém přenosu energií, a to z důvodu potřeby instalace této technologie poblíž odběratelů tepla a elektrické energie. Tyto výhody je možné porovnávat pouze s oddělenou výrobou elektřiny a tepla při porovnání s výrobou elektřiny v kondenzační elektrárně a tepla ve výtopně.

Hlavním ukazatel výhod KGJ je úspora primární energie, neboli ÚPE. ÚPE se vypočítá dle přílohy č. 2 k vyhlášce č. 37/2016 Sb. [18] následujícím způsobem dle vzorce č. (1), kde UPE je výsledná hodnota ÚPE v %, η_q^T je účinnost dodávky tepla z kombinované výroby elektřiny a tepla, η_e^T je elektrická účinnost kombinované výroby elektřiny a tepla, η_r^V je výsledná harmonizovaná referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu tepla a η_r^E je výsledná harmonizovaná referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny. Referenční hodnoty jsou pro zemní plyn a novou KGJ následující η_r^E je 52,5% a η_r^V je 90%.

$$UPE = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_q^T}{\eta_r^V} + \frac{\eta_e^T}{\eta_r^E}} \right) * 100 \text{ [%]} \quad (1)$$

Výsledná hodnota ÚPE ukazuje, o kolik procent je účinnější výroba energií v KGJ oproti oddělené výrobě elektřiny a tepla. Jedná se nejen o úsporu paliva a tím nákladů na provoz KGJ, ale také o snížení možného celkové vyprodukovaného množství emisí při spálení tohoto paliva. Ukázka úspory primárního paliva je na obr. č. 2.1.



Obrázek 2.1. Ukázka principu energetických úspor převzato z webu OnSite Power Holding a.s. ¹⁾

2.3 Nevýhody KGJ

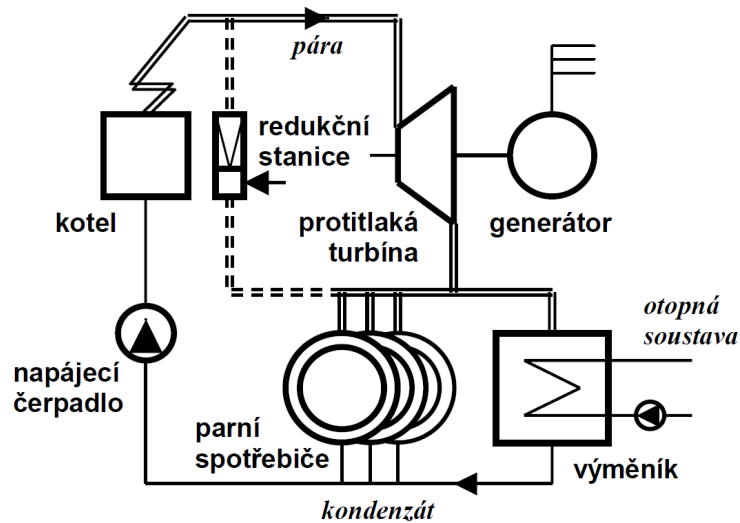
Hlavní nevýhodou kogenerační jednotky je vysoká vstupní investice a složitost zařízení. Tuto problematiku budu dále rozvíjet v dalších kapitolách věnovaných instalaci, ekonomice a provozu KGJ.

2.4 Druhy kogeneračních jednotek

2.4.1 KGJ s parní turbínou

Jedná se o nejčastější teplotní řešení pro velké výkony. Tato jednotka se skládá z parního kotle, parní turbíny (protitlaké nebo odběrové), generátoru a spotřebičů. Jednoduché schéma je na obrázku č. 2.2. Dodávka tepla v páře je vhodná pro určité technologické procesy, bohužel pro vytápění objektů je již vhodná méně. Hlavní nevýhoda páry spočívá v kratší možné vzdálenosti dodávky tepla. Proto se pára ve většině případů pouští do výměníku (kondenzátoru), který je napojen na vhodnější horkovodnou rozvodnou síť. Mezi výrobce KGJ s parní turbínou patří např. PBS Velká Bíteš, nabízející jednotky o výkonech od 100 kW do 30 MW.

¹⁾ <http://www.onsite.cz/co-vam-nabizime/>



Obrázek 2.2. Schéma parní protitlaké turbíny převzato z Projekt II [1]

2.4.2 KGJ s parním strojem

Parní stroje transformují tepelnou energii na energii mechanickou. Parní stroje byly v dnešní době nahrazeny modernějšími technologiemi. Mohou však najít uplatnění ve speciálních případech, kdy jeden zdroj páry vyrábí páru pro několik tlakově a teplotně rozdílných soustav, např. parní kotel vyrábějící technologickou páru a zároveň páru otopnou.

Parní stroj pracuje s parou nižších tlaků než turbína. Výhodou je, že nemá vysoké požadavky na kvalitu páry a její znečištění. Nevýhodou je vysoká hmotnost a nízká účinnost. Ukázka moderního parního stroje je na obr. 2.3



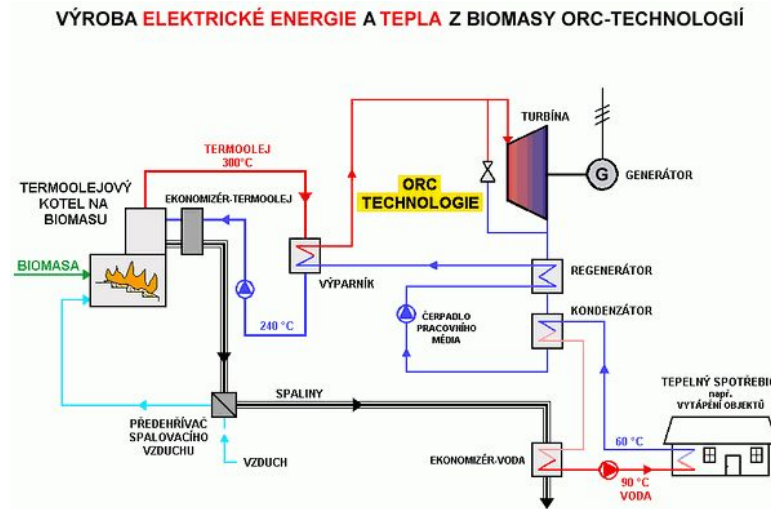
Obrázek 2.3. Pístový parní motor POLYCOMP PM-VS ¹⁾

¹⁾ <http://www.transformacni-technologie.cz/pistovy-parni-motor-parni-stroj.html>

2.4.3 KGJ s organickým Rankinovým cyklem - ORC

Technologie ORC se hodí pro spalování biomasy a jiných paliv s nižšími teplotami. Princip tohoto cyklu je podobný jako u parní turbíny, avšak místo vody se používají různá organická média, např. olej.

Výhod ORC je více - možnost práce i při relativně nízkých teplotách, turbína má vysokou účinnost, nízké otáčky (možnost přímého napojení na generátor), nehrozí u ní eroze lopatek a regulace výkonu soustrojí je možná v celém rozsahu. Výkony běžných jednotek jsou stovky kW. Princip zapojení je na obrázku č. 2.4.



Obrázek 2.4. Ukázka ORC převzato z www.tzb-info.cz [16]

2.4.4 KGJ s plynovou turbínou

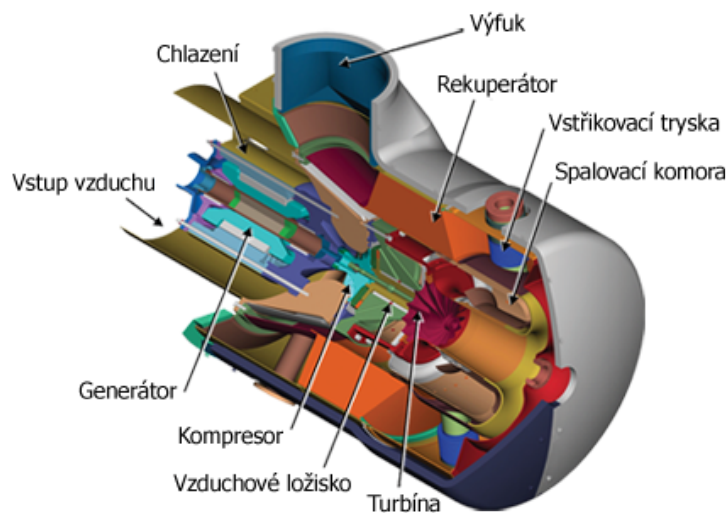
KGJ s plynovou turbínou pracuje na principu spalování paliva při vysokém tlaku ve spalovací komoře. Horké spaliny, které tímto procesem vzniknou, proudí do plynové turbíny, kde se jejich tlaková energie změní na mechanickou. Na hřídeli s turbínou je připojen elektrický generátor a turbokompresor, který stlačí vzduch na potřebný tlak. Spaliny vycházející z turbíny mají velmi vysokou teplotu přes 500 °C. Toto odpadní teplo lze využít přes výměník pro ohřev vody či vytvoření páry. Ukázku vnitřního uspořádání plynové turbíny lze vidět na obr. č. 2.5

Páru vyrobenou ve výměníku lze použít k pohonu druhé parní turbíny. Tomuto zapojení se říká paroplynová kogenerační jednotka. V této kombinaci dochází k největší účinnosti výroby elektrické energie.

Výhodami plynových a paroplynových kogeneračních jednotek jsou rychlé starty, snadná obsluha a možnost automatických startů. Nevýhodou je dražší provoz a vysoké otáčky.

Plynové turbíny za posledních několik let prošly poměrně velkou modernizací a mají velmi rozsáhlé možnosti výkonů, a to od desítek kilowattů až po stovky megawattů.

Malé turbíny s výkony desítek kilowattů vyrábí např. firma Capstone.



Obrázek 2.5. Princip plynové turbíny převzato z webových materiálů firmy Capstone ¹⁾

■ 2.4.5 KGJ se Stirlingovým motorem

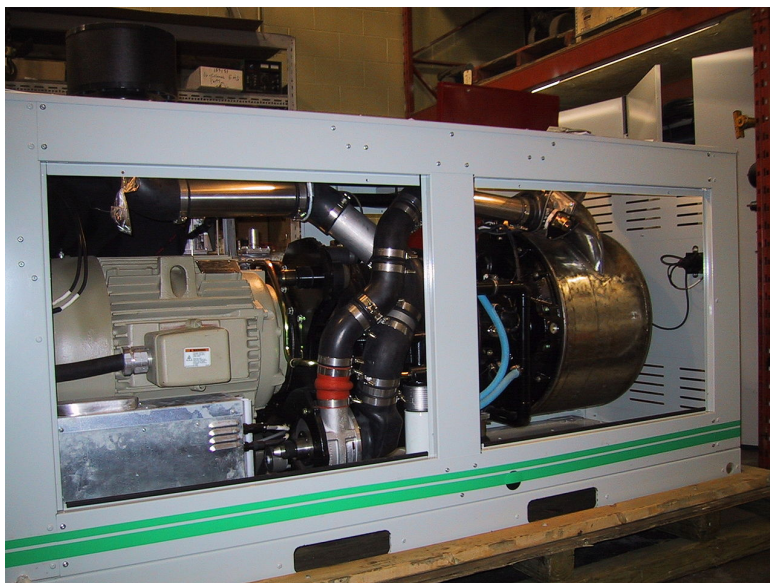
KGJ se Stirlingovým motorem nemá příliš rozšířené použití. Jedná se o pístové motory s vnějším spalováním. Hlavní rozdíl od klasických pístových motorů je ten, že Stirlingův motor má dva trvale vzájemně propojené zdvihové prostory s rozdílnou teplotou, které pracují s uzavřeným oběhem pracovní látky. Většinou jde o inertní plyn, který je ohříván a ochlazován.

Tento motor má snadné a spolehlivé spouštění. Nové generace motorů jsou schopny dosáhnout až 4000 otáček za minutu s účinností 38 - 42%. Další výhodou této technologie je možnost užití téměř jakéhokoliv paliva, včetně odpadního tepla z různých technologických procesů. Údržba je poměrně snadná a nenáročná.

Hlavními nevýhodami oproti spalovacím motorům jsou vysoká pořizovací cena, použití speciálních materiálů a použití technologií nevhodných pro sériovou výrobu.

V budoucnosti by mohlo dojít k nahrazení současných KGJ s pístovými motory KGJ s motory Stirlingovými, a to zvláště v případech spalování jiných zdrojů než je zemní plyn. Příklad domácí jednotky se Stirlingovým motorem o elektrickém výkonu 300 W je Viessmann vitotwin-300W. Ukázka motor-generátorového soustrojí se Stirlingovým motorem je na obr. č. 2.6

¹⁾ <http://ggcenergy.cz/produkty#c65>



Obrázek 2.6. Ukázka motor-generátorového ústrojí se Stirlingovým motorem o výkonu 55 kW zdroj wikipedia ¹⁾

■ 2.4.6 KGJ s palivovými články

Palivové články vytvářejí elektrickou energii přímou konverzí chemické energie na elektrickou energii. Jedná se o zdroj s předpokládanou dobrou budoucností. Existuje několik druhů palivových článků, ale princip je stále stejný. Z jedné strany článku se na anodu dodává palivo (nejčastěji vodík) a z druhé strany se na katodu dodává okysličovadlo (zpravidla kyslík). Mezi jednotlivými katodami je katalyzátor. Výsledkem je výroba elektrické energie a tepla.

Výkon mají v rozmezí od stovek wattů až po stovky kilowattů. Velmi lákavý pro domácnosti je elektrický výkon v rozmezí 300 - 500 W. Tento výkon pokrývá stabilní odběr domácnosti, který tvoří až polovinu celkové spotřeby. Dále je schopen ohřívat TV pro domácnost. Bohužel ceny těchto článků jsou zatím příliš vysoké a jejich návratnost je většinou za hranicí ušetřených peněz. Výrobci těchto článků jsou např. Elcore, Ceramic Fuel cells, Convion, Solid Power, Junkers a Buderus.

¹⁾ https://en.wikipedia.org/wiki/Stirling_engine



Obrázek 2.7. Ukázka palivového článku DFC@1500 EU firmy FuelCell Energy Solutions¹⁾

■ 2.4.7 KGJ s pístovými spalovacími motory

Jedná se o soustrojí klasického spalovacího motoru a generátoru. V České republice se začala objevovat už v 90. letech. Jedním z největších průkopníků v České republice je firma Tedom a.s. V současné době je tento typ KGJ nejpoužívanější a jeho obliba stále narůstá. Jednotky mají širokou škálu výkonů v rozmezí jednotek kW až jednotek MW, proto je lze velmi úspěšně instalovat do velkého množství různých provozů.



Obrázek 2.8. Ukázka jednotky Tedom Micro T30 s 30 kW elektrického výkonu. Foto Vlastimil Černý

■ 2.5 Srovnání jednotlivých druhů KGJ

Jednotlivé typy KGJ jsem popsal již v předchozích pododdílech. V tabulce č. 2.1 najdete srovnání jednotlivých typů KGJ dle základních parametrů.

¹⁾ <http://www.fces.de/produkte-dienstleistungen/produkte/>

Kogenerace	Výkon od	Výkon do	η_e [%]	η_t [%]	η [%]
s nízkými parametry páry	100 kW	-	8 - 12	62 - 76	74 - 84
s vysokými parametry páry	10 MW	-	30 - 40	50 - 55	85 - 90
s parním strojem	1 kW	100 kW	5 - 10	60 - 75	65 - 85
se Stirlingovým motorem	1 kW	100 kW	20 - 30	50 - 65	80 - 90
s ORC	100 kW	5 MW	8 - 12	65 - 75	75 - 85
s plynovou turbínou	10 kW	1000 MW	25 - 41	40 - 50	75 - 90
s paroplynovou jednotkou	20 MW	-	42 - 50	40 - 45	87 - 90
se spalovacím motorem	5 kW	10 MW	24 - 42	35 - 57	72 - 95
s palivovým článkem	100 W	1 MW	40 - 65	25 - 40	65 - 95

Tabulka 2.1. Srovnání druhů kogeneračních jednotek

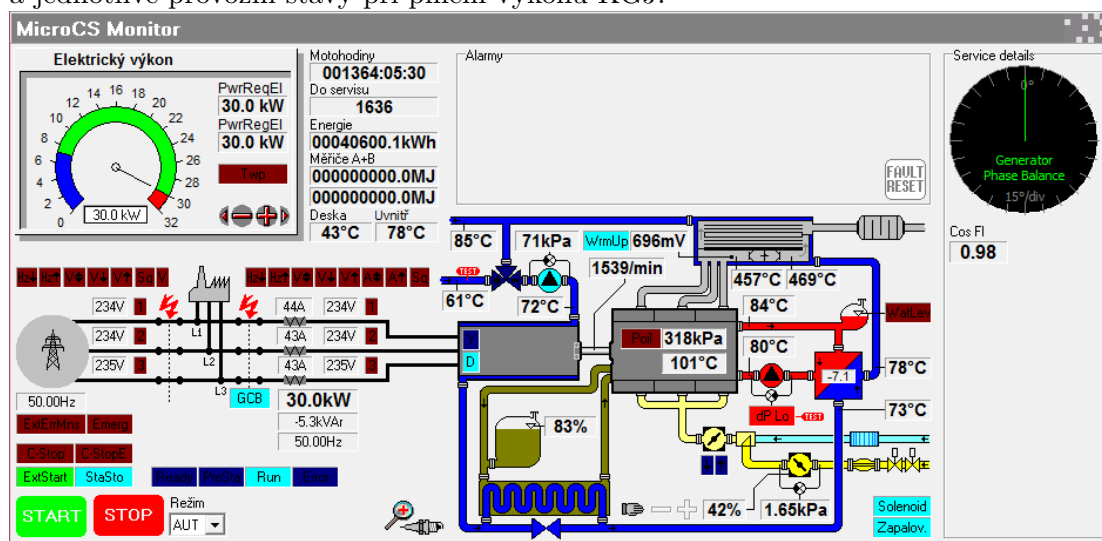
Kapitola 3

KGJ s plynovým motorem

3.1 Princip jednotky

Jedná se o spojení pístového motoru a elektrického generátoru na stejné hřídeli. Teplo se získává z více částí KGJ. Jedná se o chladicí okruh motoru, chlazení oleje, výstup spalin, u některých modelů je možné chladit i generátor. Pokud má jednotka turbodmychadlo, je možnost využít teplo z mezichladiče plyní směsi. Tento tepelný okruh je nazýván v terminologii firmy Tedom a.s. jako technologický okruh - TO.

Na obrázku č. 3.1 je vidět principiální schéma zapojení KGJ. Jedná se o výstup z řídicího systému KGJ Tedom T30. Na tomto schématu je dobře vidět vnitřní zapojení a jednotlivé provozní stavy při plném výkonu KGJ.



Obrázek 3.1. Ukázka řídicího systému jednotky Tedom T30. Foto Vlastimil Černý

3.2 Typické vlastnosti

KGJ se spalovacími motory pracují standardně s provozními teplotami 90/70°C, nevadí jim provoz i při nižších teplotách 80/60°C. Provoz při nižších teplotách vstupu do KGJ není problém. Ve většině případů je na vstupu KGJ trojcestný ventil, který udržuje stabilní teplotu, aby motor mohl běžet v optimálních podmínkách. KGJ firmy Tedom je možné provozovat i na vyšší teploty 100/80°C, v tomto případě jde o speciálně upravené jednotky s dvěma výměníky, aby nemohlo dojít k přehřátí motorové části. Teplo z chlazení motoru je přibližně 55% z celkové dodávky tepla. Další 35% připadá na chlazení spalin a technologický okruh se vzdušným chlazením je přibližně 10%.

Při provozu jednotky i v dobách, kdy není odběr tepla, je možné nainstalovat nouzový chladič. Provozovat KGJ pouze na výrobu elektrické energie je většinou neekonomické. Existuje výjimka při provozu KGJ jako nouzového zdroje elektřiny při výpadku DS.

Provozní otáčky jednotek jsou nízké, zpravidla 1500 ot.min^{-1} , u velkých jednotek mohou být ještě nižší. Tyto nízké otáčky jsou mnohem lepší pro životnost motoru a snížení vibrací.

3.3 Konstrukční uspořádání

Princip konstrukce KGJ je u různých výrobců téměř stejný. Jedná se o zapojení stejných typů zařízení dohromady. Jednotliví výrobci se předhánají v možnostech provozu jednotlivých zařízení a jejich tabulkových hodnotách (např. systémy řízení, účinnost, emise, komunikace, dálkový dohled, atd.).

V dnešní době se dodávají KGJ ve dvou variantách uspořádání:

- 1) Stavebnicové uspořádání - Zákazník si vybere jednotlivé součásti jednotky a sestaví si je dle potřeb a možností do vhodného prostoru. Toto uspořádání se většinou používá u značně velkých jednotek, kde je problém s transportem jednotného celku. Další výhodou je, že komponenty jsou sestavené na míru dle tepelných a elektrických potřeb objektu. Prostorové rozložení jednotlivých dílů teoreticky umožňuje lepší přístup při servisu.
- 2) Modulové uspořádání - Celá KGJ je v jedné funkční sestavě s definovanými přípojnými body. Tato sestava je vždy odzkoušená před prodejem. Ve většině případů má již daný protihlukový kryt se změřenými parametry a zabírá méně prostoru, je celkem kompaktnější, což zhoršuje přístup při opravách a údržbě.



Obrázek 3.2. Ukázka stavebnicové KGJ vlevo a modulové KGJ bez krytu vpravo, autor Tedom a.s.¹⁾

3.3.1 Plyn

KGJ jsou většinou uzpůsobeny pro provoz se zemním plynem. Hojně jsou využívány na provoz s bioplynem. Ve speciálních případech jsou provozovány s LPG nebo i kapalnými palivy. Motory jsou vhodné pro provoz s nízkotlakou přípojkou. Vstupní tlak se obvykle pohybuje v pásmu 2 - 10 kPa, u velkých jednotek dosahuje až 50 kPa.

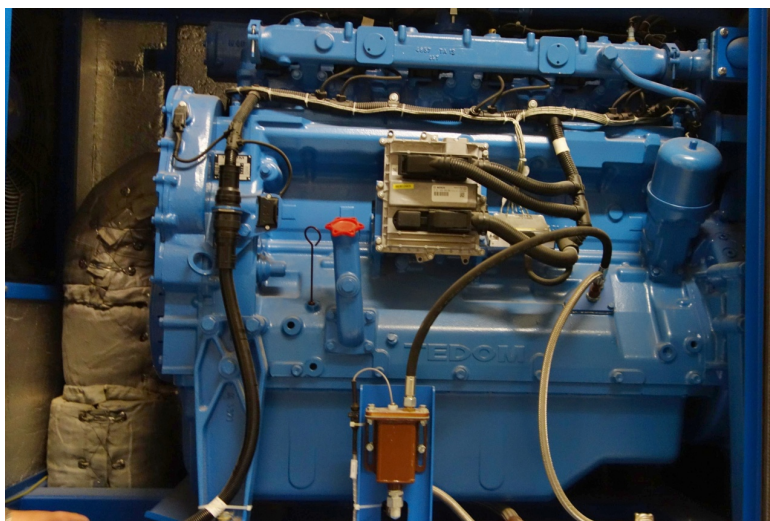
Plynová sestava je většinou složena z filtru pevných částic. Za filtrem bývá dvojice vstupních ventilů a jeden inverzní ventil, za kterým se v nulovém regulátoru vyrovnává tlak na hodnotu blízkou atmosférickému tlaku. Takto snížený tlak je vhodný pro směšování plynu a vzduchu. Před směšovačem je instalován regulátor bohatosti směsi, který je obvykle regulován elektronicky řídicí jednotkou KGJ.

¹⁾ <http://kogenerace.tedom.com/kogeneracni-jednotky-provedeni.html>

3.3.2 Motor

Motor je pohonná jednotka KGJ. U motorů jsou vysoké požadavky na kvalitu zpracování. Kvalitnější motory dosahují vyšší účinnosti spalování paliva, nižších emisí, nízké poruchovosti a delší životnosti. Motory lze rozdělit do tří kategorií:

- 1) Upravené naftové pohonné jednotky - Motory pochází z lodní nebo automobilové dopravy. Mají upravenou hlavu motoru, která má vyšší zdvih a jsou do ní přidány svíčky. Většinou se zvětšuje olejová vana. Výhodou je poměrně nízká cena těchto motorů. Mezi nevýhody patří vyvinutí speciálních úprav tohoto motoru. Např. firma Tedom a.s. koupila firmu LIAZ a tyto pohonné jednotky se speciálními úpravami využívá pro KGJ Cento o výkonech 80 - 200 kW. Fotografie tohoto motoru je na obr. č. 3.3
- 2) Upravené naftové agregátové jednotky - Jedná se o speciálně upravené motory pro provoz na nízkých otáčkách. Tyto motory je potřeba upravit pro provoz na jiné palivo. Např. firma Tedom a.s. používá motory KUBOTA pro generátory u jednotek Micro o výkonech 7 - 33 kW.
- 3) Speciálně vyvinuté plynové motory vycházející z benzínových jednotek - Setkal jsem se s několika výrobci nabízejícími KGJ se speciálně vyvinutými motory, pocházejícími původně z benzínových jednotek. Jejich hlavní výhodou je, že splňují emisní normu EURO 6 a tím měly přibližně 30x nižší emise, než jsou současné emisní požadavky [19]. Např. italský výrobce Asjagen a jejich KGJ řady TOTEM o výkonech 10 – 25 kW s použitím motorů vyvinutých ve firmě FIAT.



Obrázek 3.3. Ukázka motoru TEDOM TG 210 o max. výkonu 212,7 kW. Autor Vlastimil Černý

3.3.3 Olej

Kvalita oleje v motoru velmi ovlivňuje jeho provozní vlastnosti a životnost. Výrobce má vždy doporučené a schválené oleje pro provoz daného typu jednotek. V tabulce č. 3.1 je vidět ukázka intervalů výměny oleje a jejich doporučení u jednotlivých typů jednotek výrobce Tedom. Intervaly výměny oleje ovlivňují různé faktory, např. druh a kvalita plynu, druh použitého oleje, způsob provozování KGJ, typ motoru a okolní podmínky.

3.3.4 Generátor

U KGJ se obvykle používají asynchronní nebo synchronní třífázové generátory.

řada	motor	olej	interval [Mh]
Micro	TEDOM TGE 1,2	Mobil Pegasus 1	2500
Micro	TEDOM TGE 1,6	Mobil Pegasus 705	1000
Micro	TEDOM TGE 1,6	Mobil Pegasus 1	2500
Micro	TEDOM V3800, DF 972	Mobil Pegasus 1	3000
Cento	TEDOM TG XX GV	Mobil Pegasus 705	dle provozu běžně 500-750
Quanto	CAT G 34XX	Mobil Pegasus 705	800
Quanto	CAT G 35XX	Mobil Pegasus 705	1000
Quanto	MWM TCG	Mobil Pegasus 705	dle analýzy

Tabulka 3.1. Intervaly výměny oleje a doporučené oleje

Asynchronní generátory jsou použité zejména u jednotek o výkonech do 100 kW. Nad tento výkon by byly startovací proudy již příliš vysoké. Hlavní výhodou asynchronních generátorů je technologická jednoduchost a tím i nízká cena. Nevýhodou je potřeba pevné distribuční sítě, a proto ji nelze provozovat v nouzovém či ostrovním režimu. Další nevýhodou je potřeba kompenzace účinníku.

Synchronní generátory nemají výše uvedené nevýhody. Jejich nevýhodou je však cena. V dnešní době mají plně automatické fázování v rámci regulačního systému celé jednotky. To platí i pro regulaci účinníku na zadanou hodnotu. Kvalita generátorů se liší mezi jednotlivými výrobci, lze ji považovat za dobrou.

V dnešní době se začínají tyto generátory instalovat i do menších jednotek, protože u objektů s nízkým připojovacím elektrickým výkonem jsou požadavky na nízké startovací proudy.

■ 3.3.5 Tepelný výstup

KGJ má celkem 6 možností výstupu tepla:

- 1) Primární okruh motoru - Každý motor v provozu je potřeba chladit. Odběr tepla z motoru je tedy nezbytnou součástí KGJ. Vzhledem k požadavkům na nízké korozivní vlastnosti chladicí kapaliny proudí v motoru většinou směs ethylenglykolu místo klasické vody. Na výstupu tohoto okruhu je vhodné mít výměník, nejčastěji se používá pájený, jehož hlavní výhodou je kompaktnost výměníku i při vysokých výkonech. Teplota vody v motoru se udržuje okolo 85°C.
- 2) Olej motoru - Pro zachování dobrých vlastností oleje je nutné udržovat jej ve správném teplotním rozmezí. Tím lze prodloužit jeho životnost a snížit náklady na provoz jednotky. Teplota oleje se pohybuje okolo 85°C. Chladič oleje je nejčastěji zapojen do chladicího okruhu motoru před motor.
- 3) Spaliny - Výstupní teplota spalin z motoru se pohybuje okolo 550°C, což je zajímavé množství energie. Pomocí výměníku je možné tyto spaliny dále ochladit. Nejčastěji se s nimi dohřívá voda v primárním okruhu. Při tomto zapojení je výstupní teplota spalin okolo 130°C a vodu jsou schopné dohřát až na 100°C. Zbytkové teplo ze spalin lze ještě využít doplňkovým kondenzačním výměníkem, který je vhodný pro ohřev vody s nízkým tepelným potenciálem.
- 4) Technologický okruh - Primárně se jedná o chlazení stlačené směsi z turbodmychadla, pokud ho KGJ má, na správnou teplotu. Teploty v tomto okruhu se pohybují do 50°C. Toto teplo lze využít například na předehřev TV nebo předehřev bazénu. Pokud není teplo využito, je třeba ho mařit ve venkovních výměnících voda/vzduch.

- 5) Chladicí vzduch - Pokud je technologie KGJ částečně chlazená vzduchem, je možné jej využít v rekuperačních výměnících pro daný objekt. Teploty tohoto vzduchu jsou okolo 40°C.
- 6) Generátor - Generátory chlazené vzduchem spadají do předchozí kategorie. Generátory chlazené vodou se připojují na začátek primárního okruhu a chladí se na teploty okolo 70°C.

■ 3.3.6 Spaliny

Spaliny vznikají spálením směsi paliva a vzduchu v motoru. Výstupní spaliny z motoru jsou později ochlazené spalínovým výměníkem. Za KGJ je ve většině případů instalován tlumič hluku. Spaliny jsou vedeny v přetlakových spalínovodech. Pro správný chod KGJ musí být dodržena maximální tlaková ztráta, která je obvykle 10 – 20 mbar. Tlaková ztráta je závislá na rychlosti proudění spalin, dimenzi, členitosti a délce spalínovodu.

■ 3.3.7 Ventilace

Pro dosažení vyšší tepelné účinnosti nemají malé KGJ do 50 kW elektrického výkonu obvykle chlazenou kapotu. Větší jednotky mají většinou integrovaný samostatný ventilátor v kapotě, která má příruby pro vyvedení teplého vzduchu mimo strojovnu. Vzduch v kapotě se ohřívá o 15 – 20°C. Nasávaný vzduch by se měl pohybovat v rozmezí 10 – 35°C. Studenější vzduch může negativně ovlivnit start motoru a teplejší vzduch zase zhoršuje jeho provozní vlastnosti.

KGJ by neměla pracovat v prostředí s podtlakem, snižuje se tím tlak vstupu paliva a vzduchu do motoru. Proto je třeba zajistit dostatečný přísun čerstvého vzduchu do strojovny. Oproti plynovým kotelnám mohou být nároky na ventilaci vyšší.

■ 3.3.8 Emise

Povolené hodnoty jsou uvedeny v zákoně 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší v příloze č. 10 [19]. KGJ spalující zemní plyn musí splňovat následující emisní limity NO_x 500 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ a CO 650 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Tyto limity samozřejmě splňují veškeré prodávané KGJ. Pro zdroje s jmenovitým tepelným příkonem nižším než 300 kW, instalovanými od 1.1.2018, budou platit následující emisní limity NO_x 65 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ a CO 80 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Tyto limity nespĺňuje mnoho výrobců.

V porovnání s plynovými kotli mají KGJ emisní limity několikanásobně vyšší, a proto lze o jejich ekologičnosti pochybovat. KGJ mají oproti elektrárnám a teplárnám většinou nižší komíny. Při zřízení kotelny s KGJ je do okolního ovzduší vypouštěno větší množství škodlivých látek. Z globálního hlediska má KGJ pozitivní vliv, protože vede k úspoře primárních energetických zdrojů a ke globálnímu snížení emisí.

■ 3.3.9 Provoz v rámci výroby elektřiny

KGJ jsou schopny několika druhů provozů s výrobou elektřiny:

- 1) Paralelní provoz - KGJ potřebuje pro provoz elektrickou DS. Při potřebě výroby startér nastartuje motor. Pokud jsou splněny veškeré podmínky pro fázování, sepne se stykač generátoru, jednotka začne dodávat elektrický výkon do lokální sítě a přebytky putují do DS. Jednotka je připojena do hlavního rozvaděče či do podružných rozvaděčů. Pro jednotky s asynchronními motory se jedná o jediný možný provoz. Asynchronní generátory roztácejí motor přímo sepnutím generátorového stykače.
- 2) Ostrovní provoz - V ostrovním provozu pracuje jednotka bez ohledu na venkovní síť a má svůj vlastní okruh elektrických spotřebičů. Nefunguje však automaticky, musí

ji spustit povel obsluhy. Po povelu start jednotka nastartuje motor a svůj provoz nastaví tak, aby měl generátor optimální parametry. Poté spustí generátorový stykač a dodává energii do nejbližší rozvodny. Spotřebiče se musí přidávat postupně, aby nedošlo k rázovému přetížení motor-generátorového soustrojí.

- 3) Nouzový provoz - V případě výpadku elektrické DS plní jednotka funkci záložního zdroje s automatickým startem. Jednotka nebo nadřazený řídicí systém musí ovládat připojení do DS a nouzových obvodů. Pro provoz jednotky platí stejné podmínky jako u ostrovního provozu. Při obnovení sítě musí být jednotka nejdříve odstavena a až poté může být připojen objekt do DS.
- 4) Kombinace provozů - Většinou se kombinuje paralelní provoz s ostatními.

3.3.10 Servisní intervaly

Servisní intervaly KGJ jsou velmi rozdílné. Pro informaci jsou v tabulce č. 3.2 servisní intervaly pro dva typy kogeneračních jednotek firmy Tedom a.s.

Jednotka	Micro T33	Cento T200
První kontrola TO-Z [Mh]	-	100
Údržba 1 TO-1 [Mh]	2 500	1 500
Údržba 2 TO-2 [Mh]	7 500	7 500
Střední oprava SO [Mh]	22 500	18 000
Střední oprava 2 SO2 [Mh]	-	33 000
Generální oprava GO [Mh]	45 000	50 000

Tabulka 3.2. Servisní intervaly kogeneračních jednotek Tedom pro provoz na zemní plyn

Opravy pro jednotku Micro T33 jsou následující:

- 1) TO-1 - Kontrola čistoty a těsnosti celé jednotky, výměna olejového filtru, oleje, zapalovacích svíček, kabeláže pro svíčky, čištění jednotky, seřízení a kontrola provozních vlastností.
- 2) TO-2 - Provádí se nejméně jednou za 12 měsíců - kontrola nemrznoucí kapaliny, elektrozapojení, elektrických ochranných konstrukcí.
- 3) SO - Výměna hlav válců a vizuální kontrola vnitřku motoru, výměna výměníku Ethylenglykol/voda, spalinového výměníku, snímačů, spínačů a elektroinstalace.
- 4) GO - Je to SO a výměna nebo repasování motoru, generátoru, plynové trasy, tepelné izolace, elektroinstalace.

Opravy pro jednotku Cento T200 jsou následující:

- 1) TO-Z - výměna oleje a vyčištění filtrů, kontrola provozu jednotky, navýšení elektrického výkonu ze zkušební 100 kW na provozní 200 kW.
- 2) TO-1 - Stejná jako u Micro T33.
- 3) TO-2 - Provádí se minimálně jednou za 12 měsíců - Požadavky jako Micro T33, navíc čištění spalinového výměníku a výměna chladicí kapaliny primárního okruhu.
- 4) SO - Výměna turbodmychadla, hlav válců, kontrola uložení motoru.
- 5) SO2 - Vyčištění tlakové části a mazání turbodmychadla, výměna startéru, kontrola válců a pístních kroužků, kontrola ojnic a klikové hřídele, vyčištění olejové vany.
- 6) GO - Celková rekonstrukce KGJ dle potřeb.

Výměny zařízení záleží vždy na opotřebenosti daných dílů během kontroly.

Výrobce	Tedom	Asjagen	Asjagen	Bosh	EC Power	EC Power	Energie- werkstatt	INDOP	RBM energie	Viessmann
Typ	Micro T33	TOTEM 10	TANDEM 10	CHP CE 20 N	XRGI 9	XRGI 20	ASV 21/46	9TO	NeoTower 20	EM-20/39 EM-20/39
Výkon el. [kW]	33	10	10	19	9	20	21	9	20	20
Výkon tep. [kW]	63,7-74,2	22,6	22	31	20	40	41-46	20	40	39
Účinnost el. [%]	32,5	30,3	35,1	29,5	32	33	29	-	-	-
Účinnost celk.	95,3-105,6	97	94,2	93	96	105	93,5	96	106,56	-
Spotřeba paliva [m ³ /h]	10,8	3,5	3,5	5,4	31 kW	62,5 kW	8	31,3 kW	-	-
Hluk [dB]	62	50	65	35	49	49	55	-	52	-
Typ generátoru [A/S]	A	S	A	A	-	-	A	A	A	S
Max. vstup vody [°C]	70	70	74	60	75	65	70	75	-	-
Vlastní spotřeba [W]	700	-	-	500	-	-	-	-	-	-
Servis [motohodin]	2 500	-	-	-	10 000	6 000	6 000	-	-	-
Váha [kg]	1 100	800	950	970	440	750	575	600	750	900
ÚPE [%]	24,1-30,1	24,0	24,1	24,5	21,1	24,3	30	21,2	-	-

Tabulka 3.3. Srovnání druhů KGJ do 35 kWe

Výrobce	Tedom	Bosh	Energiewerkstatt	INDOOP	MTU onsite energy	Sokra Therm	Viessmann
Typ	Cento T200	CHO CE 240 N	ASV 40/100	68 M	119	GG 98	EM-140/207
Výkon el. [kW]	200	240	40	63	119	100	140
Výkon tep. [kW]	253	374	91-100	94	198	162	207
Účinnost el. [%]	39,2	35,9	30	38,5	34,4	35,2	-
Účinnost celk.	88,7	91,8	104	92,7	91,8	92,2	100,3
Spotřeba paliva [m ³ /h]	54	66,9	-	177 kW	345 kW	284 kW	-
Hluk [dB]	65-80	63	55	-	-	68	-
Typ generátoru [A/S]	S	S	A	-	-	-	S
Maximální vstup vody [°C]	70	70	65	70	70	-	-
Maximální výstup vody [°C]	90	90	90	88	90	-	-
Vlastní spotřeba [W]	3 000	3 900	-	-	-	-	-
Servis [motohodin]	1 500	-	-	-	-	1 500	-
Váha [kg]	4 910	4400	800	1 220	-	3 050	-
ÚPE [%]	22,9	23,4	28,2	25,1	22,7	23,3	-

Tabulka 3.4. Srovnání druhů KGJ nad 35 kWe

3.3.11 Porovnání různých typů KGJ

Pro porovnání různých výrobců a typů KGJ jsem vytvořil dvě tabulky. V první tabulce č.3.3 jsou k nalezení KGJ o elektrickém výkonu nižším než 35 kW. V druhé tabulce č. 3.4 jsou KGJ o elektrickém výkonu vyšším než 35 kW.

Kapitola 4

Metodika dimenzování KGJ na základě vlastností objektu

V této části dokumentu představuji svůj vzor pro posouzení vhodnosti instalace KGJ do objektu s danými diagramy spotřeb. Jedná se o poměrně složitý problém, který jsem rozdělil do dvou částí. V první části existuje teoretická možnost instalace KGJ dle odběrových diagramů. Do druhé části jsem uvedl podmínky, které musí objekt splnit, aby mohla být KGJ nainstalována. V rámci této metodiky budu uvažovat pouze o plynových spalovacích KGJ firmy Tedom a.s.

4.1 Porovnání odběrových diagramů

Při porovnání odběrových diagramů záleží na správci objektu, zda dodá dostatečně přesný odběrový diagram. V běžné praxi se setkávám s tím, že subjekty s malým odběrem si vystačí pouze s ročními odečty. Naopak u objektů s velkými odběry je měření většinou prováděno pomocí čtvrt hodinových maxim a jejich historie je ukládána po několik let. Tato data mohou pomoci při celkovém vyhodnocení lokality. Pro posouzení vhodnosti KGJ je dobré zjistit spotřeby elektrické energie objektu, které jsou později zapotřebí pro posouzení ekonomické návratnosti.

4.1.1 Současný zdroj tepla

Zdroje lze rozdělit do několika následujících skupin:

- 1) CZT - U centrálního zásobování teplem je potřebné teplo pro vytápění objektu obvykle měřeno kalorimetrem v GJ. Proto není třeba jakýchkoliv přepočtů či dalších úprav těchto dat. Pouze se dle vzorce č. (1) přepočítají GJ na kWh do dalších výpočtů.

$$1 \text{ GJ} = 1 \cdot 10^9 \text{ J} = 1 \cdot 10^9 \text{ Ws} = \frac{1000000}{3600} \text{ kWh} \simeq 277,7 \text{ kWh} \quad (1)$$

- 2) Plyn - Objekt je vytápěn plynovou kotelnou. Pro výpočet užitečného tepla Q_s z plynu používám vzorec č. (2), kde V_p je objem spotřebovaného zemního plynu v m^3 , k_o je objemový koeficient stlačeného plynu při dané teplotě (viz faktura od dodavatele), H_i je výhřevnost plynu (pro výpočet používám $10,55 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$), k_s je koeficient spalného tepla (pro zemní plyn uvažuji 1,11) a η je účinnost kotle na předání tepla ze spáleného plynu vodě (je to přibližně 60 – 90 %, určuje se odhadem, nebo měřením). Pro určení spotřeby plynu kotlem je potřeba vzít v úvahu následující možnosti měření plynových spotřebičů v objektu.

- a) Kotel má samostatný plynoměr, nebo se jedná o jediný plynový spotřebič. Tato možnost nám dává přímé hodnoty odběru kotle.
- b) Plynoměr je umístěn před ostatními spotřebiči. Je nutné odečíst spotřebu ostatních spotřebičů od celkové spotřeby kotelny.

- c) V budově jsou další spotřebiče plynu a nejsou měřené. Tato možnost je nejhorší a je třeba odhadnout spotřebu dalších plynových spotřebičů a odečíst ji od celkové spotřeby objektu.

$$Q_s = \frac{V_p \cdot k_o \cdot H_i \cdot \eta}{k_s} \quad (2)$$

- 3) Elektrokotel - U větších objektů se jedná o neobvyklou volbu. U elektrického kotle budu pro zjednodušení počítat se 100 % účinností. Pokud kotel nemá vlastní elektroměr, je třeba odhadnout jeho vlastní spotřebu.
- 4) Tepelné čerpadlo - V případě, že má objekt již nainstalované tepelné čerpadlo, tak se ve většině případů nevyplatí přejít na KGJ. V případě že ano, je důležité, aby mělo tepelné čerpadlo kalorimetr. Bez kalorimetru se velmi těžko určuje opravdová tepelná potřeba objektu, protože COP tepelného čerpadla se velmi mění.
- 5) Kotle na tuhá paliva - Tato technologie vytápění je obvykle natolik levná, že se jí nedá konkurovat. K tomuto druhu paliva se většinou uchyluje v případě, když není dostupný plyn, což se neslučuje s KGJ.
- 6) Plynové kotle na LPG či topný olej - K tomuto druhu paliva se většinou uchyluje v případě, když není dostupný plyn, což se neslučuje s provozem KGJ. KGJ sice může být provozována na LPG, ale její provoz je nákladnější a ve většině případů se nevyplatí.
- 7) Kombinace několika druhů vytápění
 - a) Plyn a CZT - Výsledná hodnota tepla se počítá jako součet případů plynu a CZT.
 - b) Solární panely a další druhy vytápění - Počítají se jako hlavní zdroj tepla, a proto může KGJ nahradit teplo pouze z dalších zdrojů.
- 8) Další možnosti - Je třeba nutné individuální posouzení jednotlivých případů.

■ 4.1.2 Typ provozu

Pro správné ekonomické určení běhu KGJ existují mezi různými typy objektů velké rozdíly v denní spotřebě tepla. Rozdělil jsem objekty do několika podskupin dle jejich vlastností a možnosti využití KGJ v průběhu dne.

- 1) Hotely od 4* - Hotely většinou topí celou zimní sezonu na vyšší teploty a nemají silné noční útlumové období. TV je většinou ohřívána na vyšší teploty okolo 55 – 60 °C. Většina těchto hotelů ohřívá ještě vířivku nebo menší bazén. Lze uvažovat přes zimu téměř rovnoměrný odběr tepla s maximy mezi 7.-10. hodinou ranní a 17.-20. hodinou večerní. Tato maxima dělá spotřeba TV na sprchování hostů.
- 2) Hotely 3* a bytové domy - V tomto případě je většinou silnější noční útlumové období a není zde tepelná akumulace v podobě bazénu či vířivky. Pokud vychází běh KGJ přes den na celodenní, musí se zvažovat, zda ho v předpokladech nesnížit. Speciální útlumy mají v podstatě stejně jako 4* Hotely.
- 3) Bazény - Bazény jsou specifické tím, že mají stabilní celoroční odběr tepla, velký odběr TV a nízkou teplotu bazénové vody. Lze u nich využít kondenzační výměníky pro vylepšení účinnosti. Většinou také udržují stabilní teplotu bazénové vody po celý den. KGJ se dá dimenzovat téměř na plnohodnotný celoroční provoz.
- 4) Objekty spojené s výrobou využívající teplo přímo pro technologii - Do této kategorie patří spotřeba technologického tepla souvisejícího s výrobou, např. vysoušení, omývání teplou vodou atd. V tomto případě je nutno zjistit, kolik hodin denně je

daná technologie v provozu a kolik tepla spotřebuje celkově. Částečně lze potřebný počet motohodin jednotky vyvážit dostatečně velkou akumulací nádobou.

- 5) Předehřev kondenzátu na parní výrobu - Jedná se o případ hodně podobný předchozímu s tím rozdílem, že je třeba spočítat, kolik tepla dodat kondenzátu při předehřevu. Většinou je známo, kolik vody musí ohřát nebo kolik tun páry je třeba pro danou technologii. Existuje jednoduchý vzorec č. (3), kde Q_{kond} je výsledné teplo potřebné na předehřev kondenzátu, m_{kond} je váha vody či páry, c_{Wh} je měrná tepelná kapacita vody či páry, t_2 je výstupní teplota po předehřevu a t_1 je teplota kondenzátu na vstupu.

$$Q_{kond} = m_{kond} \cdot c_{Wh} \cdot (t_2 - t_1) \quad (3)$$

- 6) Výrobní objekty pouze vytápěné - Je nutné vědět, kolik hodin denně je v provozu kotel. Často jsem se setkal s tím, že po odchodu posledního člověka z firmy se objekt přestane vytápět a následující ráno se výrobní hala vyhřeje během 2 hodin ještě předtím, než nastoupí zaměstnanci do práce. Vedení firmy tuto skutečnost většinou nevidí jako velký problém díky předimenzovaným současným zdrojům tepla. Tato skutečnost má zásadní vliv na množství motohodin denně, které může KGJ reálně fungovat.
- 7) Speciální případy nebo kombinace provozu - Jsou posuzovány již individuálně dle problematiky daného objektu.

Další možnost posouzení je dle druhu provozních dnů, ve kterých je nastaven útlum vytápění. Útlumová období rozdělují do následujících kategorií:

- 1) Víkendový provoz - Celá řada výrobních firem má zavřeno přes víkend. Některé provozy dokonce temperují budovu na nezámrzné teploty.
- 2) Celopodnikové dovolené a technologické odstávky - U některých podniků jsem se setkal i s několika měsíci v roce, kdy se odběr tepla snížil téměř na nulu.
- 3) Provoz o státních svátcích - Podobná situace jako v předchozích případech.

4.1.3 Výpočet spotřeby tepla v daném měsíci

Pokud známe spotřebu objektu v měsíčních intervalech, není potřeba mnoho výpočtů. Vše si zaznamenáme do tabulky, popřípadě odečteme ostatní nevyužitelnou spotřebu.

Technologická spotřeba má jednoduchý výpočet dle vzorce č.(4), kde Q_{mes} je celková měsíční spotřeba tepla, Q_{hod} je hodinová spotřeba tepla, t_{hden} je počet hodin a t_{dmes} je počet dní v měsíci, kdy je technologie v provozu.

$$Q_{mes} = Q_{hod} \cdot t_{hden} \cdot t_{dmes} \quad (4)$$

V případě, že spotřeby uvedené po měsících nejsou k dispozici, používám následující rozdělení z firemní praxe. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 4.1. V tabulce je uvedeno % celkové roční spotřeby. Druhý a třetí řádek ukazují rozdělení při spotřebě tepla na topení TV 10% a 20% z celkové spotřeby tepla.

měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
bez TV	20,5	16,0	12,0	6,0	2,5	0,0	0,0	0,0	2,0	8,0	13,0	20,0
s TV 10%	19,3	15,2	11,6	6,3	3,1	0,8	0,8	0,8	2,6	8,1	12,2	18,9
s TV 20%	18,0	14,4	11,4	6,5	3,6	1,7	1,7	1,7	3,2	8,1	12,1	17,6

Tabulka 4.1. Procentuální rozdělení spotřeby objektu v jednotlivých měsících.

■ 4.1.4 Spotřeba elektrické energie v rámci měsíce

Spotřeba elektrické energie v rámci měsíce je ve většině případů uvedena přímo na fakturách za elektřinu. Pokud je spotřeba pouze na roční bázi, většinou ji dělím rovnoměrně. Na tuto křivku mohou mít vliv v různých obdobích roku hlavně vytápění či chlazení objektu. Další důležité informace z faktury jsou rezervovaná kapacita nebo proudová hodnota hlavního jističe. Těmito hodnotami se budu zabývat ve své práci později.

■ 4.1.5 Výpočet teoretických provozních motohodin

Výpočet teoretických provozních motohodin provádím na základě předchozích podmínek, které jsem vypsál. Jedná se o odhad motohodin jednotky pro daný objekt. Výpočet je určen vzorcem č. (5), kde t_{hmes} je odhad motohodin kogenerační jednotky, t_{dprac} je počet pracovních dní v měsíci, t_{hprac} je počet hodin v plném provozu (buď topném nebo pracovním), k_{neprac} je předpokládaný procentuální útlum otopného systému mimo pracovní dobu, $t_{dvikend}$ je počet víkendových dní v měsíci, t_{dvolno} je počet dní v měsíci s útlumovým obdobím, $k_{dvikend}$ je předpokládaný procentuální útlum otopného systému v mimopracovních dnech. Počet pracovních dnů v měsíci t_{dprac} stanovuji dle jednoduchého vzorce č. (6), kde t_{dmes} je počet dní v daném měsíci.

V případě, že se u kogenerační jednotky předpokládá trvalý provoz bez přerušení, počítám v daném měsíci provoz o jeden den méně. Jedná se o pravidelné či neočekávané opravy, poruchy v DS, kdy není jednotka schopna provozu.

$$t_{hmes} = (t_{dprac} \cdot t_{hprac}) + [t_{dprac} \cdot (24 - t_{hprac}) \cdot k_{neprac}] + [(t_{dvikend} + t_{dvolno}) \cdot k_{dvikend}] \cdot 24 \quad (5)$$

$$t_{dprac} = t_{dmes} - t_{dvikend} - t_{dvolno} \quad (6)$$

■ 4.2 Podmínky úspěšné instalace

Podmínkou úspěšné instalace KGJ je zjištění mnoha dalších informací o lokalitě. Především je nutné zjistit, zda KGJ je možno do objektu instalovat a zda bude schopna tento objekt vytápět. KGJ má určité limity provozu, na které je třeba dát pozor při určení vhodnosti objektu.

■ 4.2.1 Typ konstrukce vytápěného objektu

Typ konstrukce vytápěného objektu je především informativní záležitostí. U některých typů objektů je potřeba počítat se zvýšenými náklady.

- Železobetonová konstrukce nebo panelový dům - V budovách této konstrukce se šíří hluk poměrně dobře a ve většině provozů je kladen důraz na odhlučnění.
- Pevná cihlová konstrukce - Budovy tohoto typu mají v některých případech problém s nedostatečným manipulačním prostorem, tím vznikají vícenásobné náklady na instalaci KGJ.
- Venkovní prostory - Při instalaci KGJ ve venkovních prostorech je nutné řešit hluk. KGJ v kontejneru mají velké požární pásmo (v případě KGJ Cento T200 je to skoro 15 m od kontejneru). U jednotek s vyššími výkony je zákonem daná rozptylová studie, udávající potřebnou výšku komínu.
- Železné výrobní haly - Vždy záleží na požadavcích majitele objektu.

4.2.2 Typ vytápění objektu

Existuje několik základních druhů vytápění objektů:

- Radiátorové topení - Záleží na provozních teplotách. Velmi problematické jsou trubkové radiátory, ve kterých je nízký rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou z radiátoru.
- Podlahové topení - Je ve své nízké provozní teplotě výhodné pro KGJ, bohužel tato technologie není ve velkých objektech příliš využívána.
- Teplovzdušné výměníky - Problematická je vysoká teplota zpátečky.
- Ohřev TV - Setkal jsem se s objekty, které měly při ohřevu TV zpátečku přes 70 °C. Tato teplota je příliš vysoká pro řádný provoz KGJ.

4.2.3 Druh regulace teploty topné vody v objektu

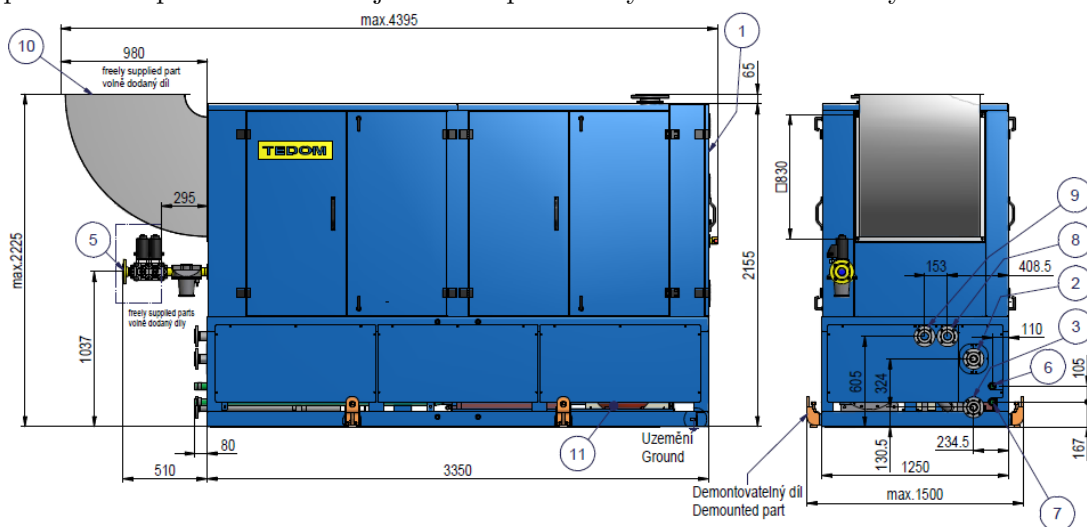
Regulace a teplota topné vody v objektu jsou důležitými faktory. KGJ není vhodná pro nahrazení horkovodu. Není vhodné ji instalovat v lokalitách, kde je nízký rozdíl topné vody od zpátečky nebo kde je potřeba teploty topné vody nad 100 °C. Kogenerační jednotka má ve většině případů požadovaný teplotní spád minimálně 15 °C. Lze ji však speciálně upravit i na nižší.

Naopak velmi vhodným způsobem regulace je ekvitermní řízení pomocí trojcestných ventilů. Díky tomuto způsobu řízení je teplota zpátečky poměrně nízká po celý rok.

Hlavní požadavky KGJ jsou na maximální teplotu zpátečky ze systému. Ta by měla být do 70 °C. Jednotku lze přestavět i na mírně vyšší teploty, je třeba počítat s vícenáklady. Na druhou stranu nemá KGJ problém s kondenzací, a tak jí nevádí ani velmi nízká teplota vody na vstupu.

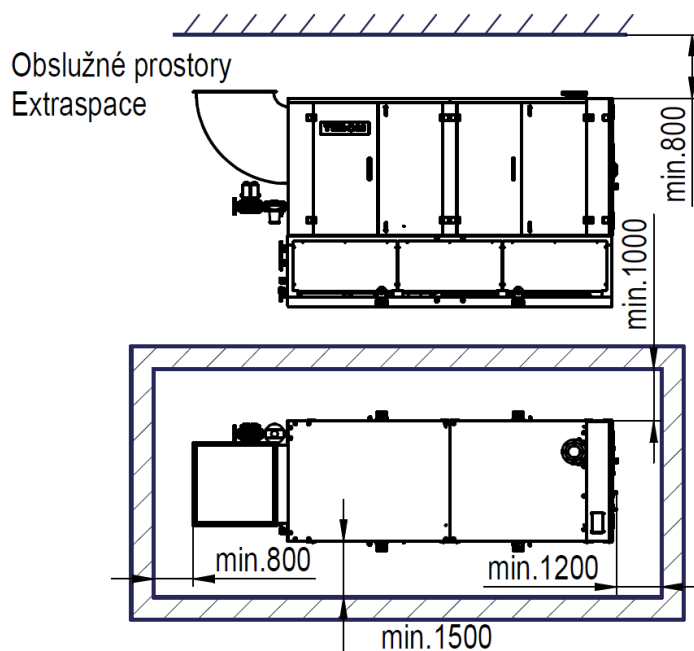
4.2.4 Prostor pro KGJ a příslušenství

Většina objektů řeší problémy s prostorem již před instalací KGJ, která je technologicky poměrně náročná. KGJ je velikostí přibližně 2-3x větší než plynový kotel stejného tepelného výkonu, navíc má mnohem větší obslužné prostory než kotel. Nakonec je třeba najít místo pro akumulční nádrže a další obslužnou technologii (vzduchotechnika, silové rozvaděče, složitější MaR atd.). KGJ má i jistá zjednodušení. Technologický odvod spalin má například mnohem jednodušší požadavky než klasické komíny.



Obrázek 4.1. Ukázka rozměrů KGJ Tedom Cento T200 zdroj Tedom a.s.¹⁾

¹⁾ <http://kogenerace.tedom.com/>



Obrázek 4.2. Ukázka obslužných prostor KGJ Tedom Cento T200 zdroj Tedom a.s.¹⁾

4.2.5 Napojení na současné technologie

Místo napojení vyžaduje vždy individuální řešení na základě topného systému a dalších parametrů. Zjednodušeně lze napojení shrnout do několika možných řešení. Výstup z KGJ je v tomto případě brán jako zapojení výstupu z akumulčních nádrží. Nepočítám s přímým napojením KGJ do otopného systému, neboť toto řešení vytváří příliš mnoho startů jednotky a její neekonomický provoz.

- 1) Paralelní napojení - KGJ se napojí paralelně ke kotlům, většinou přímo do rozdělovače a sběrače. Je třeba ovládat hydrauliku systému, aby voda neproudila skrze oba hydraulické okruhy.
- 2) Předtápění kotlové vody - Jedná se o sériové zapojení KGJ na zpátečku kotle. KGJ předehřívá vodu, která se v kotli v případě potřeby ještě dohřeje.
- 3) Předehřev zpátečky systému před THR - Napojení je hodně podobné předchozímu, ale má několik specifik. Při paralelním napojení do THR je rozdíl teplot topné a zpátečky minimální. Navíc do něj lze jednoduše přidat trojcestný ventil pro nastavení přesné výstupní teploty.
- 4) Zapojení KGJ jako jediného zdroje - Pokud je větší množství KGJ, existuje možnost připojit je jako jediný zdroj přímo na rozdělovač. Tento případ nedoporučuji použít bez náhradního zdroje v případě dvou navzájem spojených kotlen v objektu, skrz které je dodáváno přebytečné teplo z KGJ. Při výpadku KGJ je toto spojení použito jako nouzový zdroj tepla.
- 5) Speciality - V praxi jsem se setkal s několika speciálními zapojeními KGJ, například se zapojením pouze na ohřev TV, předehřev napájecí vody pro parní kotle atd.

4.2.6 Akumulační nádrže

Akumulační nádrže jsou nedílnou součástí KGJ, díky nimž je jednotka schopna fungovat co nejefektivněji. Vzhledem k principu fungování trvá určitou dobu, než se celé motor-generátorové ústrojí zahřeje na provozní teplotu. Tato doba je dána velikostí jednotky

¹⁾ <http://kogenerace.tedom.com/>

a pohybuje se v délce přibližně 5 – 20 minut od jejího startu. Pro minimalizaci ztráty je vhodné, aby KGJ měla co nejdelší plynulý běh a snížil se počet startů. Při správném nastavení automatizace dochází v nádrži ke stratifikaci, k teplotnímu rozvrstvení vody v nádrži. V horní části nádrže se uchovává voda o vysoké teplotě. Ve spodní části nádrže je naopak voda o nízké teplotě. Mezi těmito částmi je úzká vrstva promíchané vody.

Z toho vyplývá, že čím větší objem má akumulční nádrž, tím lepší bude provoz KGJ. Toto tvrzení má však své limity. Velké akumulční nádrže mají větší tepelné ztráty, potřebují více místa, mají větší zátěž nosných ploch a cena velkých nádrží je vysoká. V praxi jsem vyzkoušel několik desítek možností kombinací akumulčních nádrží a KGJ. Na základě těchto zkušeností usuzuji, že minimum je 1 m³ na 15 kW výkonu, optimální velikost je 1 m³ na 10 kW výkonu a maximální velikost nádrže je 1 m³ na 5,5 kW výkonu. Tyto velikosti odpovídají době nabíjení nádrže při teplotním spádu 20 °C minimum 1,5 hod, optimum 2,25 hod a maximum 4 hod. Překročit velikost akumulční nádrže je možné pouze v případě, kdy bude KGJ provozována jako primární zdroj elektrické energie a akumulční nádrže se budou využívat pro akumulaci tepla v absolutně jiných hodinách, než je provoz jednotky.

Z předchozího odstavce vyplývá, že akumulční nádrže pro velké KGJ dosahují značně velkých rozměrů při porovnání se současnou topnou technologií. Například velikost akumulční nádrže KGJ Cento T200 se dle mého doporučení pohybuje v rozmezí 17 – 46 m³. Při zjednodušení nádrže na tvar válce by měla nádrž o objemu 46 m³ výšku 7 m a průměr 2,9 m. To jsou úctyhodné rozměry. Celkové rozměry akumulční nádrže by byly ještě větší, protože je třeba počítat s podstavcem, betonovým základem, izolací a výstupy vody. Zatížení takovéto akumulční nádrže na podlahu je při vytvoření základu 10 m² přibližně 4 800 kg/m². Tuto zátěž není schopna unést velká část běžných podlah. Druhým problémem je výška akumulční nádrže. Aby bylo dosaženo přirozené stratifikace, musí být určitý poměr mezi výškou a šířkou akumulční nádrže. Není běžné, aby byly stropy objektu vysoké 7 metrů. Stratifikační vlastnosti dodržují již výrobci akumulčních nádrží, kteří zajišťují řádný poměr. Existuje možnost nestandardních akumulčních nádrží se stratifikačními vestavbami či úpravami. Ukázka velikosti akumulční nádoby o objemu 15 m³ je na obr. č. 4.3



Obrázek 4.3. Porovnání velikosti akumulční nádrže o objemu 15 m³ a osobního automobilu Škoda Rapid. Autor Vlastimil Černý

Pro běžné použití s menšími jednotkami stačí typové nádrže, např. firma Secespol, která vyrábí typové nádrže o objemu 300 – 30 000 l. Z těchto nádrží se dá poskládat

výstup z akumulčních nádrží a vstup do topného systému výměník, který je schopen pracovat s vodou o vyšším tlaku. Pro optimální nastavení výstupní teploty a minimální promíchání akumulčních nádrží je vhodné vložit před výměník trojcestný ventil. Ten bude optimalizovat průtok vůči tepelným nárokům topné soustavy. Díky tomuto řešení dosáhneme nižší teploty zpátečky do akumulční nádrže.

■ 4.2.9 Čistota vody v otopném systému

Vzhledem k tomu, že se teplo z KGJ předává skrze výměníky, je třeba dodržet určitou kvalitu vody. Dle výrobce Tedom a.s. musí otopný systém splňovat požadavky na kvalitu vody dle ČSN 07 74 01, tab. č. 1. [20]. Pokud nejsou tyto požadavky splněny, může docházet k zanášení výměníku a snížení jeho tepelné účinnosti.

Této čistoty lze dosáhnout vhodnou úpravou vstupní vody do kotlového okruhu. Úpravna se vždy navrhuje dle vzorků kotlové vody a vody určené k dopouštění do systému. Většinou je potřeba změnit tvrdost vody, filtrovat ji a upravit její PH. Pokud se dopouští vodou ze studny, v některých případech je potřeba snížit její obsah železitých iontů.

■ 4.2.10 Elektrické připojení

KGJ není pouze zdroj tepla, ale i elektrické energie. Její elektrický výkon je poměrně velký, a proto se musí počítat s dostatečně dimenzovaným připojením na současné rozvody. Specifikaci jednotek rozdělují do několika bodů:

- 1) Velikost hlavního jističe - V objektu může být téměř nulový odběr elektrické energie, a proto je třeba zajistit možnost přetoků do DS. Některé menší kogenerační jednotky startují přímo pomocí asynchronního generátoru, proto startovací proudy nesmí vybavit hlavní či podružné jističe, na které je KGJ připojena.
- 2) Dimenze připojovacího místa - Připojovací místo musí být dostatečně dimenzováno, aby mohla KGJ převést veškerý výkon. Při nedostatečné dimenzi přívodu může docházet k příliš vysokému poklesu napětí při startu asynchronních jednotek, nebo naopak k přílišnému zvýšení napětí při běhu na plný výkon. Tato situace může způsobit sepnutí síťových ochranných a odstavení KGJ.
- 3) Napětí v rozvodech - Požadavky na udržení napětí PDS, např. u ČEZ viz [21] jsou pevně stanovené. Ostatní PDS je určují individuálně dle daného přípojného místa. U některých přípojných míst jsem se setkal s napětím blízkým požadovanému minimu či maximu. Při hodnotách pod 220 V nechtějí KGJ s asynchronními motory startovat. Při vyšších napětích než 240 V může při plném výkonu docházet k navýšení napětí nad rámec pravidel a síťová ochrana musí jednotku odstavit.
- 4) Rozvody VN po areálu - Pokud se jednotka připojuje na NN straně jednoho z transformátorů, je nutné zkontrolovat, zda je transformátor stavěný na obousměrný přenos elektrické energie. Pokud tato podmínka není splněna, je třeba počítat s nákupem nového transformátoru splňujícího tyto požadavky.

■ 4.2.11 Plynová přípojka

Vzhledem k tomu, že KGJ pracuje na zemní plyn, je plynová přípojka jednou z podmínek jejího provozu. Buď je plyn do objektu zaveden, nebo je podmínkou, aby se v jeho přímém okolí nacházel plynovod. Dimenze plynové přípojky je také důležitá. Pokud se při rekonstrukci kotelny nahrazuje předchozí plynový kotel KGJ, je spotřeba plynu při stejném tepelném výkonu o 20 – 50% vyšší. Tato spotřeba je určena na výrobu elektrické energie, z tohoto důvodu nemusí být stávající plynová přípojka či regulační

řada dostatečně dimenzovaná. Instalace KGJ závisí také na vstupním tlaku do plynové přípojky. Setkal jsem se se situací, že v centrech měst byl pouze NTL plynovod a nebylo možné připojit větší odběr. Vždy je třeba zjistit předem, zda PDS povolí navýšení kapacity plynové přípojky.

■ 4.2.12 Ventilace

KGJ by měla pracovat v místnosti s mírným přetlakem nebo s vyrovnaným tlakem. Proto je třeba počítat s dostatečným přísunem čerstvého vzduchu. Běžně se počítá s trojnásobnou výměnou objemu vzduchu kotelny za hodinu a vzduchem potřebným pro provoz KGJ. U větších jednotek se jedná o značný objem vzduchu a je nutné dostatečně dimenzovat přívodní potrubí. KGJ Tedom od typu Cento T80 mají vlastní chlazení motorové části s odvodem teplého vzduchu. Např. jednotky Tedom T200 mají přívodní potrubí o rozměrech 80x80 cm.

■ 4.2.13 Spalinovod

V rámci kontroly lokality je třeba počítat s odvodem spalin. Při rekonstrukci kotelny a výměně kotle za KGJ lze většinou využít stávající komín, do kterého se umístí vhodná přetlaková komínová vložka. Při instalaci KGJ do jiného umístění je nutné odvést spalinu, a to většinou nad střechu objektu. Při instalaci KGJ do volného prostoru je třeba dodržet platnou legislativu. Výhodou přetlakových komínů je, že při dodržení tlakových ztrát je možné vést komín téměř jakýmkoliv směrem, dokonce i směru dolů. Tento příklad máme v jedné instalaci, aby byl snadný přístup k vyčištění dodatečného kondenzačního výměníku viz obr. č.4.4 vpravo.



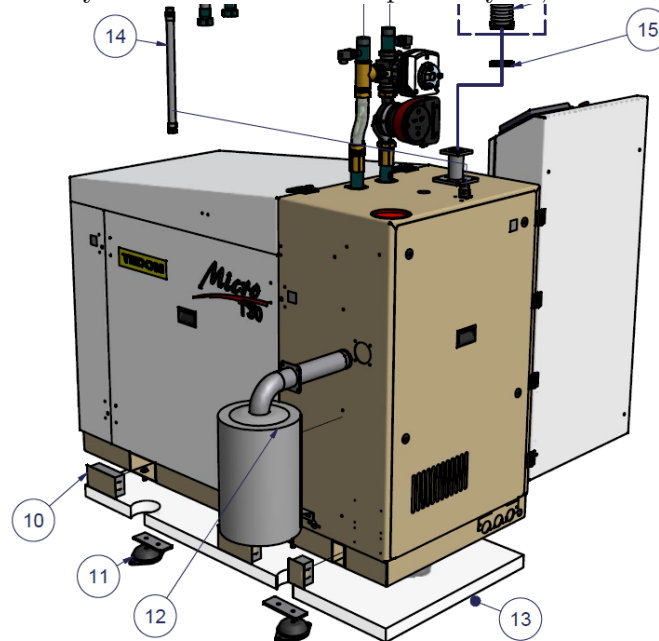
Obrázek 4.4. Ukázka možnosti vést spalinovod v libovolném směru. Autor Vlastimil Černý

■ 4.2.14 Hluk

Hlavní nevýhodou KGJ oproti ostatním zdrojům tepla je hlučnost. Z principu fungování spalovacího motoru a další technologie vzniká hluk, který se přenáší několika způsoby:

- 1) Vibrace KGJ - Jednotka se umísťuje na podstavec, přes který se přenáší vibrace dále do objektu. Jako protiopatření bývá používána technologie dvojité základní desky s

antivibrační vrstvou ¹⁾. Další možností je použití dodatečných útlumových metod nabízených přímo výrobcem viz obr. č. 4.5 pod čísly 10, 11 a 13.



Obrázek 4.5. Ukázka části příplatkových dílů ke KGJ Micro T30, převzato z materiálů ke KGJ Tedom

- 2) Vibrace přenášené přes přípojná potrubí - Dalším zdrojem vibrací přenášených do konstrukce objektu jsou přípojná potrubí. Přenos těchto vibrací je možné snížit pomocí pružných spojení veškerého přípojného potrubí a následného ukotvení přes silentbloky nebo jiné pružné ukotvení. Ukázka možných silentbloků je na obrázku č. 4.6.



Obrázek 4.6. Ukázka silentbloků, převzato z webu K&F Technická guma²⁾

- 3) Akustický hluk KGJ - Výrobce většinou nabízí několik verzí odhlučnění kapoty KGJ nebo i přímé odhlučnění kontejneru. Pokud jsou hodnoty odhlučnění výrobcem stále nedostatečné, lze dodatečně odhlučnit strop či stěny místnosti. V případě venkovního provedení pomáhá instalace protihlukových zábran.

¹⁾ <http://www.setna.cz/index.php/regupolantivibracni-materialy/materialy-pro-tlumeni-vibraci-razu/>

²⁾ <http://www.guma.cz/silentbloky.htm>

- 4) Akustický hluk vedení spalin - Tento hluk je specifický tím, že spalinovody procházejí v některých případech přímo skrz budovu. Tento hluk se snižuje použitím tlumičů hluku dle požadovaných výstupních parametrů. Pomocí může i použití vícevrstvé spalinové cesty, kde tepelná izolace částečně tlumí hluk spalin.
- 5) Hluk způsobený vzduchotechnikou - V předchozím pododdílu o vzduchotechnice č. 4.2.12 jsem uvedl, že KGJ potřebuje vzduchotechniku velkých dimenzí, která vytváří hluk způsobený ventilátorem a může šířit akustický hluk z kotelny. Jako protiopatření může být použit tlumič hluku v potrubí vzduchotechniky nebo vyložení vnitřní části potrubí tlumicí látkou. Existují další způsoby usměrnění proudu vzduchu a snížení jeho hlučnosti.
- 6) Venkovní chladiče voda/vzduch - Tepelné výměníky voda/vzduch při svém provozu vytvářejí akustický hluk, který se šíří do okolí. Možnost snížení jejich hluku je v předdimenzování těchto výměníků pro použití s nízkootáčkovými ventilátory či pro úplně pasivní použití.

4.3 Určení kogenerační jednotky

4.3.1 Odhad typu jednotky

KGJ nedoporučuji plánovat jako jediný zdroj tepla, který zajistí 100% potřeby objektu, ale jako hlavní zdroj tepla zajišťující přibližně 70 – 80% odběru tepla. Dle současných dotačních zákonů je optimální provoz KGJ okolo 3000 nebo 4400 motohodin ročně, více se budu dotacím věnovat v pododdílu 5.2.9. KGJ je možné instalovat jako zdroje tepla ve dvojicích, trojicích i větších počtech. Parametry KGJ čerpám z přehledu KGJ tedom [22] a dalších firemních materiálů, v tabulce č. 4.2 uvádím výběr KGJ a jejich základní parametry seřazené podle celkového tepelného výkonu. Výběr KGJ firmy Tedom a.s. je mnohem větší a tyto jednotky mají dobrý poměr cena/výkon a při použití více jednotek pro jednu lokalitu nabízí dostatečnou nabídku pro potřeby tepla i elektrické energie.

Typ jednotky	P_e [kW]	P_t [kW]	η_e [%]	η_t [%]	η_{celk} [%]
Micro T33	33	63,7	32,5	62,8	95,3
2x Micro T33	66	127,4	32,5	62,8	95,3
Cento T100	104	142,0	36,9	50,5	87,4
3x Micro T33	99	191,1	32,5	62,8	95,3
Cento T200	200	253,0	39,2	49,5	88,7
2x Cento T100 upravené	200	273,7	36,9	50,5	87,4
2x Cento T100	208	284,0	36,9	50,5	87,4
Cento L330	331	392,0	42,0	49,7	91,7
3x Cento T100	312	426,0	36,9	50,5	87,4
2x Cento T200	400	506,0	39,2	49,5	88,7
2x Cento L330	662	784,0	42,0	49,7	91,7

Tabulka 4.2. Tabulka parametrů vybraných KGJ a jejich kombinací.

Navrhuji dva způsoby, jak odhadnout přesný typ použité KGJ dle dostupných dat. U obou způsobů se musí provést zpětná kontrola a přesný dopočet provozu KGJ.

- 1) Hrubý odhad - Je vhodný v jednoduchých lokalitách s rovnoměrně rozloženým topením bez větších zásahů do provozních hodin jednotky viz kapitoly výše. Dle níže

uvedené tabulky č. 4.3 je možné porovnat celkovou roční spotřebu a nejvyšší spotřebu lokality s teoretickou maximální výrobou daného modelu. Tabulka je vypočtena na základě přehledu KGJ tedom [22]. Na výpočet celkové výroby tepla za daný počet motohodin jsem použil vzorec (7), kde Q_{moto} je celkové teplo vyrobené KGJ za daný počet motohodin, P_{tep} je tepelný výkon KGJ a t_{hod} je počet hodin, kdy KGJ pracuje. Teplo vyrobené KGJ za měsíc počítám dle vzorce číslo (8), kde Q_{mes} je měsíční výroba tepla, P_{tep} je tepelný výkon KGJ, t_{dny} je počet dní v měsíci. V daném měsíci jsem vynechal jeden den určený pro odstávku KGJ v případě poruchy, pravidelnou údržbu a poruchy DS.

Typ jednotky	P_t [kW]	Měsíc [kWh]	3300 [kWh]	4400 [kWh]
Micro T33	63,7	45 864	210 210	280 280
Cento T100	142,0	102 240	468600	624 800
Cento T200	253,0	182 160	834 900	1 113 200
Cento L330	392,0	282 240	1 293 600	1 724 800

Tabulka 4.3. Tabulka odhadu výroby kogenerační jednotky

$$Q_{moto} = P_{tep} \cdot t_{hod} \quad (7)$$

$$Q_{mes} = P_{tep} \cdot (t_{dny} - 1) \cdot 24 \quad (8)$$

- 2) Odhad dle výpočtu motohodin - Při použití výpočtu motohodin z předchozího pododdílu č. 4.1.5 jsem schopen určit potřebný tepelný výkon KGJ v měsíci s největší spotřebou, viz vzorec č. (9), kde P_{tepp} je potřebný tepelný výkon na splnění tepelných potřeb objektu, Q_{mes} je měsíční spotřeba tepla a t_{moto} je množství vypočtených motohodin KGJ. Výsledky stačí porovnat s parametry jednotlivých typů jednotek, např. s tabulkou č. 4.2.

$$P_{tepp} = \frac{Q_{mes}}{t_{moto}} \quad (9)$$

4.3.2 Kontrola odhadu jednotky

V předchozím pododdíle 4.3.1 jsem určil předpokládanou KGJ a je třeba zkontrolovat, jakým způsobem odpovídá spotřebám objektu. Pro tyto účely mohu provést kontrolu vhodnosti na základě následujících parametrů.

- 1) Reálný běh motohodin - Pomocí vzorce č. (10) spočítáme reálný běh KGJ v měsíci, kde t_{hmes} je počet motohodin běhu KGJ v měsíci, Q_{mes} je měsíční spotřeba tepla objektu a P_t je tepelný výkon KGJ. Tyto výsledky je třeba porovnat s reálnými maximálními hodnotami možného běhu, spočítanými dle pododdílu č. 4.1.5. Pokud jsou motohodiny vyšší, převezmu teoretické hodnoty jako provozní maximum. V případě, že jsou motohodiny nižší, ponechám si nižší hodnoty. Následně je vhodný výpočet průměrného denního běhu KGJ za použití vzorce č. (11), kde t_{hden} je průměrný běh kogenerační jednotky za den a t_{dmes} je počet dní v měsíci.
- 2) Výroba tepla KGJ - Se znalostí běhu jednotky lze pomocí jednoduchého vzorce č. (12) zjistit měsíční výrobu tepla $Q_{tKGJmes}$.
- 3) Výroba elektrické energie KGJ - Podobným způsobem lze za pomoci vzorce č. (13) spočítat vyrobenou elektrickou energii v daném měsíci $W_{eKGJmes}$.

- 4) Spotřeba plynu pro KGJ - Další hodnotou vhodnou pro výpočet je měsíční spotřeba plynu $Q_{pKGJmes}$, vypočtená dle vzorce č. (14)
- 5) Porovnání potřeb tepla - Je možné porovnat teplo vyrobené KGJ a teplo potřebné pro vytápění objektu. KGJ by neměla vyrábět více tepla, než je požadováno. Dále by mělo být z porovnání patrné, kdy je použit přídatný zdroj tepla a kolik tepla vyrobí dle předpokladu.
- 6) Porovnání potřeb elektrické energie - Srovnání je identické jako u tepelné spotřeby.

$$t_{hmes} = \frac{Q_{mes}}{P_t} \quad (10)$$

$$t_{hden} = \frac{t_{hmes}}{t_{dmes}} \quad (11)$$

$$Q_{tKGJmes} = t_{hmes} \cdot P_t \quad (12)$$

$$W_{eKGJmes} = t_{hmes} \cdot P_e \quad (13)$$

$$Q_{pKGJmes} = t_{hmes} \cdot P_p \quad (14)$$

Kapitola 5

Porovnání nasazení KGJ a jiných zdrojů tepla

5.1 Jiné zdroje tepla

V tomto oddílu uvedu zjednodušený princip jednotlivých zdrojů tepla a jejich základní vlastnosti, potřebné pro porovnání s KGJ. Dále uvedu potřebné hodnoty pro vytvoření modelu jejich fungování.

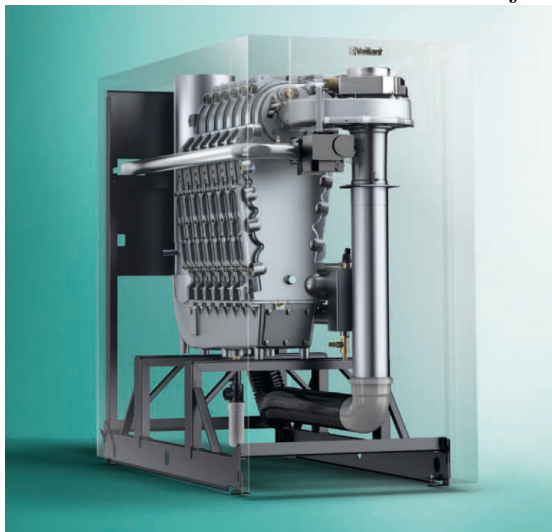
5.1.1 Kondenzační kotle

Informace čerpám z článku internetového časopisu TZB-info [8]. Voda obsažená ve spalinách je složená z chemické reakce při spalování zemního plynu a vzdušné vlhkosti. Teplo potřebné pro ohřátí této vody je obvykle nevyužito. V případě ochlazení spalin pod teplotu rosného bodu dojde ke kondenzaci vodní páry a předání tohoto tepla do topného systému. Teoreticky je možné dosáhnout plného využití spalného tepla. Protože se účinnost zpracování energie z plynu počítá z výhřevnosti, existuje možnost dosáhnout teoretické účinnosti vyšší než je 100%.

Pro plné využití kondenzačního tepla je třeba mít vstupní teplotu vody do kotle nižší než teplotu kondenzace spalin. V případě zemního plynu je to u ideálního kotle 57 °C, reálné teploty jsou mezi 50 – 55 °C. S touto teplotou bohužel není schopna pracovat většina současných otopných soustav, které jsou velmi zastaralé, proto účinnost kondenzačního kotle mírně klesá.

Kondenzát kotle je slabě kyselý, jeho pH je přibližně 5. Při spálení 1 m³ zemního plynu vznikne zhruba 1,36 kg kondenzátu. Vzhledem k tomu, že kondenzát je mírná kyselina sírová, je ve většině případů potřeba ho neutralizovat a odvézt do odpadu.

V rámci této práce budu počítat s kondenzačními kotly firmy Vaillant typu ecoCRAFT exclusive VKK, především s modelem 2806/3-E o proměnném výkonu 52 – 280 kW a teoretické účinnosti až 110%. Ukázka tohoto kotle je na obrázku č. 5.1



Obrázek 5.1. Ukázka kotle Vaillant ecoCRAFT převzato z prospektu [23]

5.1.2 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla fungují na principu odebírání tepla vstupního média a jeho předávání do otopného systému. Fyzikálně se jedná o obrácený Carnotův cyklus. Hlavním faktorem určujícím vlastnosti tepelného čerpadla je COP. Tento koeficient určuje, kolikrát je větší dodané teplo než elektrická energie a počítá se zjednodušeně dle vzorce č. (1), kde ε_{top} je COP, Q_t je teplo dodané tepelným čerpadlem a W_e je elektrická energie dodaná tepelnému čerpadlu. Tento koeficient je silně závislý na dvou parametrech. Prvním je teplota vstupního média a druhým je výstupní teplota na topné straně. Pro výpočet COP v rámci roku budu vycházet z tabulky č. 5.1. V této tabulce jsou dlouhodobé měsíční průměrné teploty z let 1961-1990 pro Českou republiku dle ČHMÚ.

V této práci budu počítat s tepelnými čerpadly vzduch/voda firmy ROTEX typu HSPU, což je tepelné čerpadlo s dvěma kompresory pro dosažení vysokých výstupních teplot. Jedná se o kombinaci vnější a vnitřní jednotky. Konkrétní typ, který budu ve své práci používat, je RRRQ016AAY1 a RKHBRD016AAY1. Jedná se o tepelné čerpadlo s výstupním výkonem až 16 kW při COP 2,88 a elektrickým příkonem 5,57 kW. Ze stránek výrobce se mi podařilo získat i tabulku vlivu venkovní teploty na COP tepelného čerpadla. Jejich ukázka je na obrázku č. 5.2

$$\varepsilon_{top} = \frac{|Q_t|}{W_e} \quad (1)$$

měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Øt [°C]	-2,8	-1,1	2,5	7,3	12,3	15,5	16,9	16,4	12,8	8,0	2,7	-1,0

Tabulka 5.1. Průměrné teploty v měsících v letech 1961 - 1990 dle ČHMÚ¹⁾.



Obrázek 5.2. Ukázka venkovní a vnitřní jednotky tepelného čerpadla ROTEX²⁾

5.1.3 Fototermické panely

Hlavní nevýhoda solárních systémů je v přesně obrácené křivce výroby, než je potřeba pro vytápění objektu. V zimním období mají až 5x nižší tepelný výkon než v letním období, jak je uvedeno v tabulce č. 5.2. Výsledné hodnoty slunečního záření jsem převzal

²⁾ unitherm.cz

z evropského projektu PVGIS¹). Solárními panelům se také snižuje účinnost při topení na vyšší teploty, stejně jako u většiny moderních zdrojů.

V rámci této práce budu počítat se solárními panely firmy Regulus, typ KTU 9R2. Jedná se o vakuový panel o ploše 2,15 m², maximálním výkonu 1522 W při osvětlení 1000 /m², schopným vyvinout i vyšší výstupní teploty, aby mohl v modelu dotápět i starší objekty.

měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$H_{den}[Wh/m^2/den]$	1070	1900	3490	4970	5160	5390	5250	4910	3860	2570	1290	930
$H_{mes}[kWh/m^2/měs]$	33,17	53,20	108,19	149,10	159,96	161,7	162,75	152,21	115,8	79,67	38,70	28,83

Tabulka 5.2. Průměrná intenzita slunečního záření dle PVGIS²).



Obrázek 5.3. Ukázka solárního panelu Regulus KTU 9R2 převzato z Technického listu [24]

■ 5.1.4 Elektrokotel

Elektrokotel je při současných cenách elektřiny velmi zajímavou volbou. Princip je velmi jednoduchý, jedná se o topnou spirálu umístěnou v potrubí nebo okolo potrubí. Elektrokotle mají mnoho výhod, účinnost se blíží 100%, jsou malé, nepotřebují vzduchotechniku ani odvod spalin, jejich údržba je levná, účinnost je nezávislá na vstupní teplotě vody a dají se velmi dobře výkonově řídit. Nevýhodou je potřeba velké elektrické rezervované kapacity DS.

Velmi zajímavá je kombinace elektrokotle jako bivalentního zdroje tepla ke KGJ, protože zproštuje elektřinu přímo spotřebovanou v lokalitě některých distribučních poplatků. V zimních měsících není potřeba zvyšovat rezervovanou kapacitu, touto variantou se však nebudu zabývat.

V této práci budu počítat s elektrokotli Kopřiva³), konkrétně s kompaktními kotlovými jednotkami o výkonu 180 kW.

¹) <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

³) <http://www.kopriva.cz/cenik-elektrokotlu>



Obrázek 5.4. Kotelna s elektrokotli Kopřiva 3 jednotky o výkonu 180 kW, zdroj Kopřiva Praha s.r.o.¹⁾

5.2 Ekonomické parametry

Veškeré ceny a kalkulace provádím v cenách bez DPH, neboť předpokládám, že každý subjekt s tak vysokou tepelnou spotřebou je plátcem DPH. Veškeré ceny, se kterými pracuji, jsou odhady nebo ceníkové ceny. Individuální ceny jsou velmi závislé na přesné domluvě s daným konkrétním dodavatelem.

5.2.1 Všeobecné výpočty

V rámci této práce budu používat několik ekonomických termínů:

- 1) Měrné náklady - Výpočet se provádí dle vzorce č. (2), kde n_v jsou měrné náklady, N_{st} je stálá složka nákladů, W je roční výroba energie a n_{pr} je proměnná složka nákladů.

$$n_v = \frac{N_{st}}{W} + n_{pr} \quad (2)$$

- 2) EBITDA - Jedná se o roční zisk před odečtením úroků, daní, odpisů a amortizace. Vypočítá se prostým odečtením nákladů od výnosů. Záměrně jsem ponechal samostatně roční údržbové náklady pro přibližnou ukázkou náročnosti údržby. Tento ekonomický termín označuji jako úsporu. Jedná se o uspořenou částku oproti stávajícímu systému vytápění budov.
- 3) Prostá doba návratnosti - Určuje délku splacení investice. Ukázkou výpočtu je ve vzorci č. (3), kde T_s je prostá doba návratnosti, IN jsou investiční náklady a N_{rok} jsou roční náklady na údržbu.

$$T_s = \frac{IN}{(EBITDA - N_{rok})} \quad (3)$$

- 4) Cash Flow - Peněžní tok, spočítá se součtem výnosů a nákladů za dané období.
- 5) IRR - Vnitřní výnosové procento je ukazatelem pro relativní výnos (rentabilitu), který projekt během svého životního cyklu poskytuje. Lze jej využít dvěma způsoby. První

¹⁾ <http://www.kopriva.cz/galerie-multikotle>

je nastavení diskontní míry, kterou požaduje investor ve výpočtu kumulovaného cash flow, a druhý je výpočet míry výnosnosti investice za danou dobu, která se počítá dle vzorce č. (4), kde t je číslo období, n je doba životnosti projektu a CF_t je cash flow v daném období.

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} \quad (4)$$

- 6) Kumulovaný cash flow - Je součet výnosů, nákladů a investic za určité období. Ukazuje, kolik vydělá v hrubém případě daná investice za určité období.
- 7) Kumulovaný diskontovaný cash flow - Jedná se o upravený kumulovaný cash flow o diskontní sazbu. Ukazuje přesněji zisk z investice.

■ 5.2.2 Ceny elektřiny

U objektů připojených na straně VN počítám s cenou 1 100 Kč/MWh. Distribuční sazbu počítám dle cenového rozhodnutí ERÚ č. 7/2015 [25]. Lokality připojené na straně NN počítám dle platného ceníku ČEZ pro podnikatele typ COMFORT [26].

Zajímavou možností využití KGJ je snížení měsíční kapacity v zimních měsících, kdy se předpokládá trvalý chod jednotky. V případě poruchy jednotky je dle cenového rozhodnutí ERÚ č. 7/2015 [25] rezervovaná kapacita chráněna až 48 výrobních hodin v měsíci.

Elektrická energie vyrobená KGJ je oproštěna od dalších distribučních poplatků, což dává ceně vyrobené elektrické energie velkou výhodu. Přetoky elektrické energie do DS počítám za obchodní cenu 650 Kč/MWh.

■ 5.2.3 Ceny plynu

Cenu plynu počítám následujícím způsobem. Cena komodity 700 Kč/MWh. Cenu distribuce počítám dle platného cenového rozhodnutí ERÚ č. 6/2015 [27].

■ 5.2.4 Cena tepla

Cenu tepla z kotle nebo KGJ určím následujícím vzorcem č. (2) z pododdílu č. 5.2.1. U plynového kotle se počítá vyrobené teplo dle vzorce č. (2) z pododdílu č. 4.1.1.

■ 5.2.5 Ceny KGJ

Ceny KGJ přebírám z ceníku výrobce bez jakýchkoliv slev. V tabulce č. 5.3 jsou uvedeny ceny KGJ a základního příslušenství. KGJ firmy Tedom a.s. jsem vybral z několika důvodů. Cena je přijatelně nízká, spolehlivost je dobrá a firma má skvělou servisní síť se 17 servisními středisky po celé ČR.

Typ KGJ	Cena jednotky [Kč]	Odhlučnění [Kč]	Příslušenství [Kč]	Celkem [Kč]
Micro T33 AP	1 100 000	30 700	4 500	1 135 200
Cento T100 SE	2 390 000	76 050	27 300	2 493 350
Cento T200 SE	3 393 600	76 050	27 300	3 496 950
Cento L330 SE	4 847 200	120 000	27 300	4 994 500

Tabulka 5.3. Ukázka cen kogeneračních jednotek dle ceníku.

Provedení AP je jednotka s asynchronním generátorem, provedení SE je jednotka se synchronním generátorem. Obě provedení jsou s protihlukovou kapotou. Mezi přídatné odhlučnění jednotek Micro počítám následující prvky: tlumič sání, tlumič výfuku a přídatné silentbloky. U jednotek Cento je uvedena cena za provedení silent a tlumič spalin 60dB(A). V příslušenství počítám s těmito prvky: komunikační moduly pro správu přes počítačovou síť, kompenzátory připojení spalinovodu, držáky na příslušenství a další.

5.2.6 Ceny servisu KGJ

Možností servisu KGJ je více způsobů. V mé práci uvažuji paušální servis výrobcem placený za hodinu provozu. Pro výsledné ceny vyrobené energie částku rozpočítávám na vyrobenou kWh jakékoliv energie. Ceny servisu k uvažovaným jednotkám jsou uvedeny v tabulce č. 5.4. Dále budu počítat 10 000 – 100 000 Kč ročně na drobnou údržbu celého systému dle jeho velikosti.

Typ KGJ	Servis hodinový [Kč/h]	Servis výrobní [Kč/kWh]
Micro T33 AP	13,54	0,24
Cento T100 SE	34,44	0,14
Cento T200 SE	54,36	0,12
Cento L330 SE	86,76	0,12

Tabulka 5.4. Ukázka cen servisu kogeneračních jednotek.

5.2.7 Ceny dalších zdrojů

V této práci počítám s ceníkovými cenami jednotlivých zdrojů dle jejich online ceníků. Ceny zdrojů, se kterými počítám, jsou v níže uvedené tabulce č. 5.5

Typ zdroje	označení výrobce	Ceníková cena [Kč]
Kondenzační kotel	VKK 2806/3-E 52-280 kW	342 600
Tepelné čerpadlo	16kW ROTEX HSPU	291 296
Elektrokotel	Kopřiva 180 kW	108 502
Solární panel	KTU 9R2	19 990

Tabulka 5.5. Ukázka cen jednotlivých zdrojů tepla.

5.2.8 Ceny servisu dalších zdrojů

Ceny servisu a údržby dalších zdrojů jsem odhadl dle složitosti zařízení, jejich počtu a potřeby jeho údržby. Odhad cen ročních servisů a údržby pro jednotlivé druhy zdrojů je v následující tabulce č. 5.6.

Typ zdroje	označení výrobce	Servis na jednotku [Kč/rok]
Kondenzační kotel	VKK 2806/3-E 52-280 kW	10 000
Tepelné čerpadlo	16kW ROTEX HSPU	7 500
Elektrokotel	Kopřiva 180 kW	5 000
Solární panel	KTU 9R2	350

Tabulka 5.6. Ukázka cen servisu a údržby ostatních zdrojů tepla.

5.2.9 Podpora KVET

Několik posledních let patří KGJ mezi podporované zdroje elektřiny. Tato podpora se bohužel každý rok mění a není stálá. V současné době se řeší potvrzení této podpory

od evropské komise. Předložím proto vždy tři výpočty chodu KGJ, první s podporou, druhý bez podpory a třetí s podporou trvajícím pouze 5 let.

V tabulce č. 5.7 je uvedena zjednodušená ukázka ceny podpory. Cena podpory se skládá ze dvou složek, a to základní a doplňkové sazby, které se navzájem sečtou. Podporu dostává KGJ vždy jen na daný počet motohodin v roce. Pokud daný počet motohodin překročí, přestává podporu pobírat.

KGJ musí dále splnit podmínky pro získání podpory. Jedná se o provozní účinnost minimálně 75% a ÚPE musí být vyšší než 0. Podmínky jsou dané vyhláškou č. 37/2016 Sb.[18]

sazba	Instalovaný výkon [kW]	Provozní hodiny [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
základní sazba	0-200	3 000	1 580
základní sazba	0-200	4 400	1 115
základní sazba	200-1 000	3 000	1 140
základní sazba	200-1 000	4 400	740
doplňková sazba	0-5 000	-	455

Tabulka 5.7. Ukázka cen podpory KVET dle cenového rozhodnutí ERÚ č. 9/2015 [28].

5.2.10 Cena stavby KGJ

Stavba KGJ je komplikovaná, a proto ji rozdělujeme do následujících kategorií:

- 1) Projektová dokumentace - Cena realizační projektové dokumentace je u jednotek Micro T33 100 000 Kč, Cento T100 150 000 Kč, Cento T200 200 000 Kč, Cento L330 250 000 Kč. V případě, že je v jedné lokalitě instalováno více jednotek, počítám 50 000 Kč navíc za každou KGJ. V rámci této ceny je zahrnuta úplná PD pro provedení stavby, včetně potřebných posudků, např. hluková studie, PBR a další.
- 2) Hrubá stavba - Stavební práce mají cenu velmi závislou na nutnosti odstranit předchozí technologie. Záleží také na velikosti akumulární nádrže a potřeby jejího podstavce. Uvažujeme cenu stavebních prací v rozmezí 100 000 Kč až 300 000 Kč.
- 3) Akumulační a vyrovnávací nádrže - U akumulárních nádrží uvažujeme cenu 12 500 Kč/m³. Pro vyrovnávací nádrže přidám k této hodnotě 3 500 Kč/m³, což určí celkovou cenu 16 000 Kč/m³.
- 4) Elektroinstalace - Do ceny elektroinstalace zahrnujeme silový rozvaděč, kabeláž, hrubou automatizaci a přívodní silové vedení. Tato cena je závislá na celkovém výkonu, který je přes vedení přenášen. Hrubá automatizace vyjde odhadem na 30 000 Kč, rozvaděč a přívodní kabeláž běžné délky asi 45 000 Kč na 100 kW elektrického výkonu. Práce elektrikářů na celkovém zapojení stojí přibližně stejně. Ve většině případů je nutno vyměnit MTP z důvodu potřeby vyšší přesnosti, cenu výměny odhadujeme na 30 000 Kč.
- 5) Sváření - Počítám s přibližně 400 000 Kč na 100 kW elektrického výkonu, jedná se o veškerý materiál včetně práce.
- 6) Vzduchotechnika - U jednotek Micro T33 odhadujeme 15 000 Kč, u jednotek Cento T100 a T200 je cena při jednoduché instalaci 100 000 Kč, u jednotek Cento L330 200 000 Kč. Ceny jsou počítány na jednu jednotku.
- 7) Komín - U komínu velmi záleží na požadovaných požárních vlastnostech a jeho výšce. Při uvažování výšky 20 m jsou ceny následující: Micro T33 100 000 Kč, Cento T100 200 000 Kč, Cento T200 250 000 Kč, Cento L330 320 000 Kč.
- 8) Automatizace - Cena řídicího systému je 250 000 Kč. Měřicí přístroje stojí pro jednotky typu Micro 50 000 Kč, u jednotek typu Cento 200 000 Kč.

- 9) Administrativa a povolení - Poplatky za stavební povolení, za licenci na výrobu elektřiny, schválení s kontrolou TIČR a další stojí 100 000 Kč v případě ohlášky a 200 000 Kč v případě stavebního povolení.
- 10) Podíl na oprávněných nákladech - Připojovací poplatek má pevně danou cenu dle vyhlášky č. 51/2006 Sb. [29]. Pro připojení na straně VN a potřebnou rekonstrukci přípojky je poplatek 640 000 Kč/MW, bez rekonstrukce přípojky 150 000 Kč/MW. Pro připojení na straně NN je cena 500 Kč/A.
- 11) Další výdaje - Na další nepředpokládané výdaje dávám rezervu 100 000 Kč na 100 kW elektrického výkonu.

5.2.11 cena stavby ostatní zdroje

Ceny stavby z ostatních zdrojů jsem odhadl a reálné ceny se mohou lišit. Pro představu o funkčnosti mého modelu jsou odhady dostačující. V tabulce č. 5.8 jsou uvedeny ceny v Kč na jeden zdroj tepla. Rezervu oproti KGJ nepočítám, jelikož se jedná o velmi hrubý odhad.

Typ	Kondenzační kotel	Tepelné čerpadlo	Elektrokotel	Solární panel
Označení výrobce	VKK 52-280 kW	16kW ROTEX HSPU	Kopřiva 180 kW	KTU 9R2
Hrubá stavba	50 000	35 000	50 000	2 000
Akumulační nádrže	0	50 000	0	5 000
Elektroinstalace	50 000	30 000	300 000	500
Svařování	40 000	30 000	50 000	2 000
Vzduchotechnika	10 000	0	10 000	0
Komín	150 000	0	0	0
Automatizace	50 000	12 500	50 000	1 500
Povolení	10 000	5 000	20 000	300
PD	50 000	12 500	50 000	1 000
Náklady DS pro VN	0	1 200	36 000	0
Další	0	0	0	2 000
Celkem	410 000	187 500	566 000	12 300

Tabulka 5.8. Ukázka cen stavby ostatních zdrojů tepla.

5.3 Technické parametry

5.3.1 Výpočet denní kapacity plynu

Denní kapacita plynové přípojky V_{den} se vypočítá dle jednoduchého vzorce č. (5), kde κ je konstanta nerovnoměrného rozložení denní kapacity, $Q_{mescelk}$ je celková měsíční spotřeba výhřevného tepla plynu a t_{dny} je počet dní v měsíci. Běžně uvažují 20% bezpečnostní navýšení kapacity oproti výpočtu, tzn. $\kappa=1,2$.

$$V_{den} = \kappa \cdot \frac{Q_{mescelk}}{t_{dny}} \quad (5)$$

5.3.2 Určení rezervované kapacity a rezervovaného výkonu elektrické sítě

Uvádím několik důležitých termínů:

- 1) Čtvrthodinové maximum - Maximální hodnota průměrného čtvrthodinového elektrického příkonu.
- 2) Roční rezervovaná kapacita - Nahlášená hodnota měsíční kapacity na celý rok. Nahlašuje se před začátkem roku.
- 3) Měsíční rezervovaná kapacita - Nahlášená hodnota měsíční kapacity na daný měsíc. Nahlašuje se před začátkem měsíce.
- 4) Součet rezervovaných kapacit - Součet roční a měsíční kapacity, udává nejvyšší hodnotu čtvrthodinového maxima, které může objekt mít bez penalizace. Nesmí být vyšší než je rezervovaný příkon.
- 5) Podíl na oprávněných nákladech - Jednorázový poplatek, jedná se o podíl investice na zvýšení kapacity sítě dle přílohy č. 6 k vyhlášce č. 51/2006 Sb. [29].
- 6) Rezervovaný příkon - Smluvní pevná hodnota maximálního přivedeného příkonu z DS, při změně je nutné zaplatit podíl na oprávněných nákladech.
- 7) Rezervovaný výkon - Smluvní pevná hodnota maximálního odvedeného výkonu do DS. Je nutné jej vždy smluvně dohodnout s PDS a zaplatit podíl na oprávněných nákladech.

Určení kapacity rozdělují na dvě části dle hladiny připojovacího napětí:

- 1) NN - Kapacita sítě se určuje velikostí hlavního jističe objektu. Při použití asynchronní jednotky, která má vysoké startovací proudy, např. jednotka micro T33 má startovací proud přes 150 A, počítám s minimálním hlavním jističem 80 A s vypínací charakteristikou B a minimálním navýšením hlavního jističe 25 A nad současnou potřebu při jističích do 160 A.

U KGJ se synchronními motory je nutné splnit požadavek dostatečné dimenze hlavního jističe s ohledem na výkon KGJ a platných předpisů pro sériové řazení jističích prvků.

V případě elektrokotlů, tepelného čerpadla či dalších technologií je nutné hlavní jistič navýšit o jejich příkon.

- 2) VN - Kapacitu sítě určuje součet rezervovaných kapacit.

Asynchronní jednotky svými starty téměř nezasahují do měření čtvrthodinového maxima. Např. u jednotky Micro T33 je startovací proud $I_{start}=150$ A a tento proud bude odebírána po dobu $t_{start}=10$ s. Hodnota navýšení čtvrthodinového maxima $E_{\Delta start}$ je ovlivněna dle vzorce č. (6) o 0,00166 kWh, což je zanedbatelná hodnota. Synchronní jednotky potřebují mít pouze potřebné jištění.

$$E_{\Delta start} = I_{start} \cdot t_{start} \cdot 4 = 150 \cdot 10 \cdot 4 \text{ Ws} = 6000 \text{ Ws} = \\ = \frac{6000}{1000 \cdot 3600} \text{ kWh} = 0,00166 \text{ kWh} \quad (6)$$

U dalších zdrojů tepla je třeba navýšit rezervovanou kapacitu na požadovanou úroveň. V případě dostatečné akumulace tepla je možné zefektivnit provoz zdrojů tepla tak, že se odpínají v případě, kdy se odběr objektu blíží jeho maximu.

KGJ fungují jako elektrický zdroj, proto je za určitých podmínek možnost snížení rezervované kapacity v době jejich chodu. O této problematice jsem se již zmínil v pododdílu č. 5.2.2 o cenách elektřiny. Této vlastnosti lze využít ve dvou případech:

- 1) V zimních měsících, kdy se předpokládá trvalý chod jednotky, lze teoreticky snížit rezervovanou kapacitu objektu o elektrický výkon KGJ.
- 2) V případě optimalizace chodu s dostatečně velkou možností akumulace tepla lze omezit špičkové odběry tím, že KGJ bude spuštěna v těchto obdobích a přebytečné teplo bude akumulováno do akumulčních nádrží.

■ 5.3.3 Automatizace KGJ

Automatizaci rozdělují do dvou částí:

- 1) Hrubá automatizace - Jedná se o automatizaci pro nouzové vypnutí KGJ, řízení ventilačního vzduchu, napájení podpůrných systémů, hlídání kritických stavů v kotelně (teplota, únik plynu, požár, zaplavení kotelny a další), síťová ochrana a další.
- 2) Jemná automatizace - Do této části řadím teplotní čidla vodních okruhů, řízení čerpadel, ovládání KGJ, dálkový odečet měřicích přístrojů, logování dat, dálkový dohled nad stavem kotelny a samozřejmě spínání KGJ.

■ 5.3.4 Umístění lokalit

V rámci zachování anonymity umísťuji lokality vždy do Prahy a neuvádím konkrétní názvy ani umístění. Všechny objekty jsou skutečné a jejich spotřeby jsou opravdové. Uvedené detaily jsou reálné.

Kapitola 6

Lokalita 1

6.1 Informace o lokalitě

Jedná se o větší 3* hotel s kapacitou několik stovek osob. V hotelu je umístěn malý bazén, který je vytápěn z centrální kotelny. Hotel je železobetonové konstrukce.

V kotelně jsou umístěny dva plynové kotle o výkonu 1 000 kW a jeden kotel na lehký topný olej o výkonu 700 kW. Rok výroby kotlů a většiny technologií je 1983. Teplota topné vody se pohybuje v rozmezí 70 – 80°C. Teplou vodu ohřívají dva bojlerů o celkovém objemu 10 m³, ohřívání vnitřním výměníkem pomocí čerpadla. V hotelu je ústřední topení s deskovými radiátory. Řízení teploty otopné vody je realizováno pomocí soustavy s dvoucestným ventilem. Další odběry tepla mají samostatný rozdělovač. Doplnění vody je ruční a bez úpravy. O regulaci tlaku se stará expanzní automat s tlakovou nádobou o objemu 4 m³. Plyn je přiveden STL přípojkou o dimenzi DN 125 s přepočítávačem objemu. Na plynovou přípojku hotelu je připojena hotelová kuchyně s vlastním plynoměrem. Hotel má vlastní trafostanici s transformátorem o zdánlivém výkonu 630 kVA, hlavní jistič hotelu má proudovou hodnotu 1250 A. V objektu je instalována kompenzace účiníku.

V kotelně bude po vyjmutí kotle na lehký topný olej dostatek místa pro umístění technologie. Nad částí kotelny jsou umístěné pokoje, proto se v případě KGJ budou muset učinit protihluková opatření. Ventilační potrubí má také dostatek místa a bude dlouhé cca do 10 m. Odvod spalin bude v současném světlíku s ostatními spalinovody. Výška spalinovodu je cca 35 m. Omezení topného systému nijak nezasahuje do omezení provozních hodin jednotky.

Technické specifikace ostatních technologií nejsou tématem této diplomové práce, proto počítám, že vše jde nainstalovat a provozovat bez větších problémů.

Pro instalaci KGJ byli podmínky provozovatele elektrické DS následující:

- 1) Stávající měření bude osazeno novými MTP poměru 400/5 A, třídě přesnosti 0,5S a zátěži 10 VA.
- 2) Skříň dispečerského řízení pro regulaci výkonu KGJ bude připravena.
- 3) Bude zapojeno řízení výkonu KGJ pomocí HDO.
- 4) Další pravidla jsou v PPDS příloze č. 4 [21].

6.2 Vstupní data

Hotel má měsíční hodnoty dané tabulkou č. 6.1. Tyto hodnoty jsou získané z faktur hotelu za elektřinu a plyn. Další parametry objektu jsou dány tabulkou č. 6.2.

6.3 Vypočtená data

Spotřeba tepla hotelu je vyjádřena tabulkou č. 6.3, teplo bylo spočteno dle vzorce č. (2) z pododdílu č. 4.1.1, s úvahou účinnosti kotle 65 %. Účinnost byla odhadnuta stářím

měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	celkem
$Q_{plyn}[MWh]$	442,7	410,7	411,9	176,3	89,7	64,4	88,0	87,1	176,0	234,0	234,0	528,0	2 942,7
$W_e[MWh]$	110,5	105,9	96,7	59,8	58,7	65,3	92,4	103,8	67,5	76,1	76,1	83,0	995,6
$P_{emkap}[kWh]$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	--
$P_{erkap}[kWh]$	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	--

Tabulka 6.1. Tabulka spotřeb hotelu

Parametr	Hodnota
Hladina připojení el.	VN
Roč. rez. kapacita el. [kW]	175
Měs. rez. kapacita el. [kW]	0
Denní rez. kapacita plyn [m^3]	1700
Účinnost kotle [%]	65

Tabulka 6.2. Tabulka dalších parametrů hotelu

kotle, dimenzí kotle vůči spotřebě a jeho spínáním pomocí automatizace. Kotel se v topném období spínal na několik desítek sekund cca po 3-5 minutových intervalech. Kotle nemají žádné řízení výkonu, takže pracují vždy na maximální výkon.

měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q_{tep}[MWh]$	1070	1900	3490	4970	5160	5390	5250	4910	3860	2570	1290	930

Tabulka 6.3. Spotřeby tepla hotelu

6.4 Ekonomika současného provozu

Hlavními náklady na provoz objektu jsou náklady za dodané energie.

- 1) Plyn - V tabulce 6.4 jsou vidět celkové náklady a vypočtené jednotkové ceny pro výrobu tepla kotlem. Hotel utratí za plyn 2 132 099 Kč a výrobní náklady jedné kilowatthodiny tepla jsou 1,557 Kč.

Typ	Cena
Komodita	2 059 918 Kč
Distribuce	416 692 Kč
Rez. kapacita	206 143 Kč
Celkem	2 682 753 Kč
Plyn	0,912 Kč/kWh
Teplo z kotle	1,557 Kč/kWh

Tabulka 6.4. Výpočet nákladů na vytápění lokality 1

- 2) Elektřina - Náklady na elektrickou energii jsou v následující tabulce 6.5. Hotel utratí za elektrickou energii 1 493 107 Kč a rozpočítaná jednotková cena s distribučními poplatky je 1,851 Kč/kWh.
- 3) Údržba kotleny - Hotel utratí cca 20 000 Kč na pravidelné kontroly a údržbu kotlů. U ostatních systémů bude tato částka stejná nebo vyšší, takže ji nezahrnuji do výpočtu úspor.

Typ	Cena
Silová elektřina	1 095 142 Kč
Další služby	171 405 Kč
Rez. kapacita + POZE	576 010 Kč
Celkem	1 842 557 Kč
Cena za spotřebovanou jednotku	1,851 Kč/kWh

Tabulka 6.5. Výpočet nákladů spotřeby elektrické lokality 1

6.5 KGJ pro lokalitu 1

6.5.1 Dimenze KGJ

Vzhledem k časovému rozložení spotřeb hotelu a předpokládaným odběrům tepla a elektřiny je možnost dimenzovat KGJ na maximální možné provozní hodiny v měsíci. Pouze se přidržím poučky v pododdíle č. 4.1.5 a odeberu jeden den z možného provozu v měsících, kdy je plné vytížení jednotky. Tyto motohodiny jsou shrnuté v tabulce č. 6.6. Dále počítám teoretický optimální výkon při plném provozu v daném měsíci tak, aby KGJ běžela trvale.

Z výpočtů vyplývají tři varianty KGJ, 2 ks T100, 1 ks T200 nebo 1 ks L330. Nejvhodnější je dle mého názoru použití dvou KGJ Cento T100, upravených na snížený elektrický výkon 100 kW. Díky této softwarové úpravě splní jednotky podmínky pro získání vyšší dotace KVET. Několik procent výkonu se na celkové ekonomice projevuje minimálně, jedná se řádově o tisíce ročně. Rozdíl v příspěvku KVET je dle současného ceníku, který jsem popsal v pododdílu č. 5.2.9, 330 000 Kč.

Dvě jednotky jsem zvolil z důvodu možnosti snížení rezervované kapacity elektrické DS. Pro automatizaci je jednodušší splnit požadavek 24hodinového běhu po více měsících než v případě velké jednotky. V tabulce č.6.6 jsou vidět vypočtené provozní hodiny na jednu jednotku, její celková roční výroba elektřiny a tepla a teplo dodané kotlem na dotopení hotelu, kde $t_{mes}[hod]$ je maximální počet motohodin KGJ v měsíci, P_{teor} je teoretický potřebný vypočtený výkon KGJ, t_{KGJ} je počet motohodin určené KGJ v měsíci, W_{KGJ} je vyrobená elektrická energie KGJ, Q_{KGJ} je vyrobené teplo KGJ a Q_{kotel} je teplo vyrobené v současném kotli.

měsíc	celkem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
t_{mes} [hod]	8472	720	648	720	696	720	696	720	720	696	720	696	720
P_{teor} [kW]	--	360	371	335	148	73	54	72	71	148	190	197	429
t_{KGJ} [hod]	5267	720	648	720	377	192	138	188	186	377	501	501	720
W_{KGJ} [MWh]	1 053,5	144,0	129,6	144,0	75,5	38,4	27,6	37,7	37,3	75,3	100,1	100,1	144,0
Q_{KGJ} [MWh]	1 441,7	197,0	177,4	197,0	103,3	52,5	37,7	51,5	51,0	103,0	137,0	137,0	197,0
Q_{kotel} [MWh]	281,5	62,1	63,1	44,1	0	0	0	0	0	0	0	0	112,1

Tabulka 6.6. Odhad kogenerační jednotky a výsledná výroba.

6.5.2 Ostatní náklady spojené s instalací KGJ

Pro praxi je důležitý odhad velikosti akumulární nádrže pro KGJ. Pro neoptimálnější provoz na začátku a konci topné sezony bych preferoval nádrže o objemu 40 m³. V rámci této studie ji budu uvažovat za možnou pro instalaci. Bohužel ve skutečnosti není v kotelně hotelu dostatek prostoru a je tam nainstalováno 20 m³.

Typ	Cena na jeden ks [Kč]	cena celkem [Kč]
KGJ	2 493 350	4 986 700
Hrubá stavba	100 000	200 000
Akumulační nádrže	320 000	640 000
Elektroinstalace	200 000	400 000
Svařování	400 000	800 000
Vzduchotechnika	100 000	200 000
Komín	200 000	400 000
Automatizace jemná	225 000	450 000
Projektová dokumentace	100 000	200 000
Povolení a další dokumenty	100 000	200 000
Podíl na nákladech DS	15 000	30 000
Drobné výdaje	100 000	200 000
Cena celkem	4 353 350	8 706 700

Tabulka 6.7. Výpočet nákladů na instalaci kogenerační jednotky

Ostatní náklady jsem shrnul v následující tabulce 6.7. Celková investice do nasazení KGJ je tedy 8 706 700 Kč.

6.5.3 Ekonomika provozu KGJ

Při provozování KGJ je třeba počítat se změnou parametrů pro výpočet cen. Veškeré ceny a další výpočty jsou z podkapitoly 5.2.

- 1) Plyn - Zvyšuje se rezervovaná kapacita plynu z 1700 m³/den na vypočtených 2134 m³/den. Zvýšila se i celková spotřeba plynu. Náklady na plyn jsou shrnuty v tabulce 6.8 a celkem činí 3 066 073 Kč, což je o 383 320 Kč více. Cena plynu je rozložena do cen výroby KGJ, proto se nebude v celkových součtech zobrazovat.

Typ	Cena
Komodita	2 334 935 Kč
Distribuce	472 324 Kč
Rez. kapacita	258 814 Kč
Celkem	3 066 073 Kč
Plyn	0,919 Kč/kWh
Teplo z kotle	1,570 Kč/kWh
Teplo z KGJ	1,052 Kč/kWh

Tabulka 6.8. Výpočet nákladů na plyn pro lokalitu č. 1 s KGJ

- 2) Teplo - Výpočet tepla slouží pro přesnější orientaci v úsporách. Do těchto výpočtů jsem zahrnul podíl nákladů na servis KGJ. Ceny jsou dány v tabulce č. 6.9. Celkové náklady na vytápění objektu pomocí KGJ a stávajících kotlů jsou 2 159 979 Kč, což je úspora o 522 774 Kč.
- 3) Elektřina - V hotelu se změnil poměr využití rezervované kapacity elektřiny. Roční rezervovaná kapacita byla snížena na 75 kW. Od dubna do října byl zajištěn dokup měsíční kapacity o velikosti 100 kW, tzn. kapacita byla po dobu pěti měsíců snížena o tuto hodnotu. Spotřeba elektrické energie z DS byla celkově snížena a část výroby šla do DS v rámci přetoků 30% z výroby a možné spotřeby. Do cen elektřiny je

Typ	Cena
Teplo z kotle	441 852 Kč
Teplo z KGJ	1 516 283 Kč
Servis	201 843 Kč
Teplo celkem	2 159 979 Kč
Úspora na teple	522 774 Kč

Tabulka 6.9. Výpočet nákladů na vytápění lokality č. 1

Typ	Cena
El. KGJ spotřebovaná	742 993 Kč
El. KGJ do DS náklady	364 945 Kč
El. KGJ do DS výnosy	- 225 552 Kč
Servis KGJ	147 485 Kč
El. z DS dokup	318 032 Kč
Další služby	49 816 Kč
Rez. kapacita + POZE	451 550 Kč
Celkem elektřina	1 849 269 Kč
Úspora el.	- 6 712 Kč
Cena výroby el. KGJ	1,052 Kč/kWh

Tabulka 6.10. Výpočet nákladů na elektřinu u lokality č. 1 s KGJ

započítán podíl nákladů na servis KGJ. Ceny za elektřinu jsou v tabulce č. 6.10. Dle výpočtů je celková cena za spotřebu elektřiny v objektu 1 849 269 Kč, což dělá ztrátu 6 712 Kč.

- 4) Úspora bez KVET - Celková úspora je součtem úspory za teplo a elektřinu. Výsledná hodnota je dána v tabulce č. 6.11

Typ	Cena
Úspora teplo	522 774 Kč
Úspora elektřina	- 6 712 Kč
Úspora celkem	516 062 Kč

Tabulka 6.11. Výpočet úspory KGJ bez podpory KVET

- 5) KVET - Při nasazení KVET 4400 dělá celkový roční státní příspěvek 1 381 600 Kč. Po rozpočítání na jednotlivé energie jsem tento příspěvek rozdělil jako 798 293 Kč na teplo a 583 307 Kč na elektrickou energii. Toto je vidět v tabulce č. 6.12.
- 6) Úspora s KVET - Výpočet celkové úspory s KVET je dán následující tabulkou č. 6.12. Celková úspora s podporou KVET činí 1 897 662 Kč, což je téměř čtvrtina investičních nákladů.

6.6 Kondenzační kotel na lokalitě č. 1

6.6.1 Dimenze a náklady kondenzačního kotle

Dle spotřeb hotelu jsem spočítal, že průměrný potřebný tepelný výkon nového zdroje tepla je 416 kW. Tuto hodnotu jsem z bezpečnostních důvodů navýšil o 20% na 499 kW.

Typ	Cena
Úspora Teplo	522 774 Kč
Teplo KVET	798 293 Kč
Úspora elektřina	- 6 712 Kč
El. KVET	583 307 Kč
Úspora celkem	1 897 662 Kč

Tabulka 6.12. Výpočet úspory KGJ s podporou KVET

Jako nejvhodnější je dle mého názoru použití dvojice kondenzačních kotlů typu VKK 2806/3-E. Každý kotel má hořák o modulovatelném výkonu 52-280 kW a sečený maximální výkon 560 kW, který v případě velkých mrazů zajišťuje ještě trochu rezervy. Průměrnou provozní účinnost kotlů budu pro výpočty považovat 95%. V rámci instalace nových kotlů dojde ke změně rezervované denní kapacity plynu na 1 326 m³.

V rámci instalace bude pouze potřeba vyměnit kotle a použít novou řídicí automatizaci pro kotelnu. Náklady jsou odhadnuty v tabulce č. 6.13. Celkové náklady na výměnu kotlů za nové jsou 1 505 200 Kč.

Typ	Cena na jeden ks [Kč]	cena celkem [Kč]
Kotel	342 600	685 000
Hrubá stavba	50 000	100 000
Akumulační nádrže	0	0
Elektroinstalace	50 000	100 000
Svařování	40 000	80 000
Vzduchotechnika	10 000	20 000
Komín	150 000	300 000
Automatizace jemná	50 000	100 000
Projektová dokumentace	50 000	100 000
Podíl na nákladech DS	0	0
Povolení a další dokumenty	10 000	20 000
Cena celkem	752 600	1 505 200

Tabulka 6.13. Výpočet nákladů na instalaci kondenzačního kotle

6.6.2 Ekonomika kondenzačního kotle

Při instalaci kondenzačních kotlů se díky jejich vyšší účinnosti sníží spotřeba plynu. V tabulce č. 6.14 jsou uvedeny náklady na plyn pro provoz kondenzačního kotle. Celková roční úspora při výměně kotlů činí 827 495 Kč ročně. To je více než polovina investičních nákladů.

6.7 Tepelné čerpadlo na lokalitě č. 1

6.7.1 Dimenze a náklady tepelného čerpadla

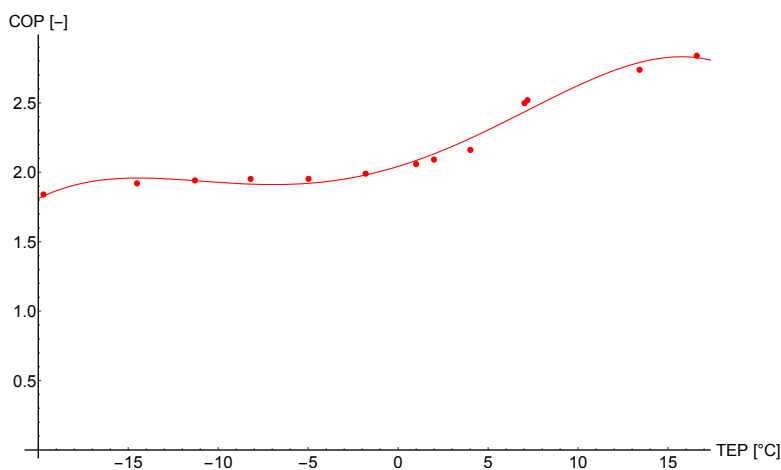
U tepelného čerpadla jsem vytvořil model výpočtu COP na základě datových listů výrobce a průměrné denní teploty. Data jsem nechal proložit matematickým výpočetním softwarem Wolfram Mathematica jako rovnicí č. (1), kde X je venkovní teplota a Y je COP. Toto proložení se velmi blížilo reálnému běhu funkce viz obr. č. 6.1. Průměrnou

Typ	Cena
Komodita	1 409 418 Kč
Distribuce	285 105 Kč
Rez. kapacita	160 735 Kč
Celkem	1 855 258 Kč
Úspora	827 495 Kč/kWh
Cena plynu	0,921 Kč/kWh
Teplo z kotle	0,970 Kč/kWh

Tabulka 6.14. Výpočet nákladů na plyn pro lokalitu č. 1 s kondenzačními kotli

denní teplotu jsem převzal z průměrných měsíčních teplot CHMÚ¹⁾). Hodnotu COP jsem dále neupravoval, tím mírně zvyšuji účinnost čerpadla, protože s nižší teplotou se jeho účinnost snižuje.

$$Y = a + b \cdot X + c \cdot X^2 + d \cdot X^3 + e \cdot X^4 \quad (1)$$



Obrázek 6.1. Graf proložení bodů pomocí matematického softwaru Wolfram Mathematica

Vypočítal jsem potřebný příkon tepelného čerpadla na 207 kW. Při výrobci 5,57 kW, který je daný výrobcem, jsem dospěl k ideálnímu počtu 16 tepelných čerpadel. Toto číslo bylo vybráno zkoušením různých počtů tepelných čerpadel a výslednou úsporou. Tepelná čerpadla dodají přibližně 2/3 celkového odběru tepla a zbytek dodají stávající kotle objektu.

Tepelná čerpadla potřebují velkou akumulaci nádobu, v jejich případě jsem počítal s celkem 53 m³. S většími nádobami než u kogenerační jednotky jsem počítal z důvodu lepší možnosti provozu tepelného čerpadla. Celkové náklady na instalaci jsem shrnul v tabulce č. 6.15

6.7.2 Ekonomika tepelného čerpadla

Úsporu tepelných čerpadel bych rozdělil do dvou částí:

- 1) Plyn - Díky tomu, že je teplo dodávané z velké části tepelnými čerpadly, je jediným zdrojem úspor menší spotřeba plynu. Tepelná čerpadla nejsou v zimním období jistým zdrojem tepla, proto počítám s kompletní zálohou ve stávající kotelně a rezervovanou denní kapacitu jsem téměř ponechal. Výsledná vypočtená hodnota je

¹⁾ <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>

Typ	Cena na jeden ks [Kč]	cena celkem [Kč]
Tepelné čerpadlo	291 296	4 660 736
Hrubá stavba	35 000	560 000
Akumulační nádrže	50 000	800 000
Elektroinstalace	30 000	480 000
Svařování	30 000	480 000
Vzduchotechnika	0	0
Komín	0	0
Automatizace jemná	12 500	200 000
Projektová dokumentace	12 500	200 000
Podíl na nákladech DS	1 200	19 200
Povolení a další dokumenty	5 000	80 000
Cena celkem	467 494	7 479 936

Tabulka 6.15. Výpočet nákladů na instalaci tepelného čerpadla v lokalitě č.1

Typ	Cena
Komodita	626 849 Kč
Distribuce	126 803 Kč
Rez. kapacita	178 507 Kč
Celkem	932 158 Kč
Úspora plyn	1 750 594 Kč
Cena plynu	0,1,041 Kč/kWh
Teplo z kotle	1,195 Kč/kWh

Tabulka 6.16. Výpočet nákladů na plyn pro lokalitu č. 1 s kondenzačními kotli

1 472 m³. Výpočet úspory na plynu je shrnut v následující tabulce č. 6.16. Celková úspora na plynu je 1 750 594 Kč.

- 2) Elektřina - Příkon 16 tepelných čerpadel je přibližně 89 kW. Tato hodnota se musí promítnout ve změně rezervované měsíční kapacity. Zkoušel jsem několik možností a nezáleží na tom, zda změním měsíční rezervovanou kapacitu, nebo ponechám zvýšení roční rezervované kapacity o 89 kW na výslednou hodnotu 264 kW. Výsledné zvýšení nákladů na elektrickou energii je v tabulce č. 6.17. Náklady na dodanou elektrickou energii se navýší o 961 044 Kč. Cena kWh tepla z tepelného čerpadla je 0,807 Kč/kWh

Typ	Cena
El. z DS dokup	1 672 490 Kč
Další služby	261 764 Kč
Rez. kapacita + POZE	869 347 Kč
Celkem elektřina	2 803 601 Kč
Úspora el.	- 961 044 Kč
Cena tepla z tep. čerpadla	0,807 Kč/kWh

Tabulka 6.17. Výpočet nákladů na elektřinu u lokality č. 1 s tepelným čerpadlem

- 3) Úspora - Uspořené peníze za rok jsou shrnuty v tabulce č. 6.18. Celková úspora při použití této technologie je 789 550 Kč ročně. To je přibližně 15% z investice.

Typ	Cena
Úspora teplo	1 750 594 Kč
Úspora elektřina	- 961 044 Kč
Úspora celkem	789 550 Kč

Tabulka 6.18. Výpočet úspory tepelných čerpadel

6.8 Elektrokotel na lokalitě č. 1

6.8.1 Dimenze a náklady elektrokotle

Pro elektrokotel jsem uvažoval navýšení potřebného průměrného výkonu o 30%, což znamená potřebný výkon elektrokotle 540 kW. Této hodnoty jsem schopný docílit použitím 3 ks soustav kotlů Kopřiva o výkonu soustavy 180 kW. Z potřebného měsíčního průměrného výkonu jsem vypočítal požadovanou rezervovanou kapacitu elektřiny. Pro optimalizaci jsem přesunul nejnižší provozní výkon 70 kW do roční kapacity a zbytek výkonu do měsíčního dokoupení.

Elektrokotel nemá kromě silových rozvodů složitou instalaci. Náklady na výstavbu jsem shrnul do následující tabulky č. 6.19

Typ	Cena na jeden ks [Kč]	cena celkem [Kč]
Tepelné čerpadlo	108 502	325 506
Hrubá stavba	50 000	150 000
Akumulační nádrže	0	0
Elektroinstalace	300 000	900 000
Svařování	50 000	150 000
Vzduchotechnika	10 000	30 000
Komín	0	0
Automatizace jemná	50 000	150 000
Projektová dokumentace	50 000	150 000
Podíl na nákladech DS	36 000	108 000
Povolení a další dokumenty	20 000	60 000
Cena celkem	674 502	2 023 506

Tabulka 6.19. Výpočet nákladů na instalaci elektrokotle v lokalitě č.1

6.8.2 Ekonomika elektrokotle

Instalace elektrokotle šetří veškeré náklady na spotřebu plynu, protože jsou počítány jako plnohodnotná náhrada. Nevýhodou je výrazným způsobem zvýšení rezervované kapacity a celková spotřeba elektřiny objektu. Výpočet nákladů na provoz a celkové úspory jsou uvedeny v tabulce č. 6.20. Je zřejmé, že náklady na provoz elektrokotle jsou vyšší než náklady na provoz současné kotelny. Elektrokotel je proto v tomto případě nevhodná náhrada současných kotlů. Investice je sice poměrně nízká, ale stále je vyšší než u kondenzačních kotlů.

6.9 Solární panely na lokalitě č. 1

Typ	Cena
El. z DS dokup	2 990 691 Kč
Další služby	294 969 Kč
Rez. kapacita + POZE	1 461 451 Kč
Celkem elektřina	4 747 111 Kč
Úspora el.	- 2 904 554 Kč
Úspora plyn	2 682 753 Kč
Úspora celkem	- 221 801
Cena el. energ	1,746 Kč/kWh
Cena tepla z elektrokotle	1,746 Kč/kWh

Tabulka 6.20. Výpočet nákladů na elektřinu u lokality č. 1 s elektrokotlem

6.9.1 Dimenze a náklady solárního systému

Pro výpočet dimenze solárních panelů jsem použil hodnoty ze stránek evropského modelu PVGIS¹⁾ pro Prahu, viz Příloha C. Na těchto stránkách je uvedena průměrná denní energie dopadající na m² teoretického panelu v daném měsíci. Tuto energii jsem vynásobil počtem dnů a tím jsem získal celkovou energii v daném měsíci. Pro určení výkonu panelu jsem potřeboval zjistit průměrný osvit panelu, který jsem získal vydělením měsíční hodnoty dopadající energie, průměrnou dobou osvitů, zjištěnou z projektu Ministerstva životního prostředí VaV pro odhad změny klimatu¹⁾. Pomocí průměrné venkovní teploty získané ze stránek ČHMI, stejně jako je uvedeno u tepelného čerpadla, jsem vypočetl hodnoty rozdílu venkovní teploty vůči teplotě otopné vody. Na základě tohoto rozdílu jsem našel v grafu technického listu panelu [30] odpovídající výkon při osvitě 1000 W/m². Tuto hodnotu jsem vynásobil poměrem skutečného osvitů a osvitů v tabulce.

Bohužel jsem nenašel žádnou ekonomicky přijatelnou variantu, která by měla odpovídající dobu návratnosti investice. Z tohoto důvodu jsem nakonec ponechal v modelu variantu s 200 ks panelů o ploše 2,15 m². Dle mého odhadu se jedná o velkou panelovou farmu, která dodává přibližně 18% potřebného tepla. Investiční náklady na instalaci jsem zhodnotil v následující tabulce č. 6.21. Celková investice do solárních panelů daného rozsahu je 6 585 000 Kč.

6.9.2 Ekonomika solárního ohřevu

Solární panely dodávají teplo do otopného systému a tím spoří část nákladů na vytápění objektu plynem. Elektrickou energii pro provoz panelů jsem zanedbal. Spotřebu elektrické energie jsem poté zahrnul v roční údržbě.

Výpočet výsledných úspor a nákladů při provozu solárního ohřevu vody jsou zachyceny v tabulce č. 6.22. Díky předchozím předpokladům považuji cenu tepla vyrobeného solárními panely za nulovou. Výsledná úspora je 452 661 Kč. Cena tepla z kotle se mění na 1,572 Kč/kWh.

¹⁾ <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

¹⁾ <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zmena-klimatu/projekt-vav-2007-2011#>

Typ	Cena na jeden ks [Kč]	cena celkem [Kč]
Solární panel KTU 9R2	19 990	3 998 000
Hrubá stavba	2 000	400 000
Akumulační nádrže	5 000	1 000 000
Elektroinstalace	500	100 000
Svařování	2 000	400 000
Vzduchotechnika	0	0
Komín	0	0
Automatizace jemná	1 500	300 000
Projektová dokumentace	1 000	200 000
Podíl na nákladech DS	0	0
Povolání a další dokumenty	300	60 000
Další	2 000	400 000
Cena celkem	674 502	6 858 000

Tabulka 6.21. Výpočet nákladů na instalaci solárních panelů v lokalitě č.1

Typ	Cena
Komodita	1 695 540 Kč
Distribuce	342 983 Kč
Rez. kapacita	191 586 Kč
Celkem	2 230 092 Kč
Úspora plyn	452 661 Kč/kWh
Cena plynu	0,921 Kč/kWh
Teplo z kotle	1,572 Kč/kWh
Teplo z panelu	0 Kč/kWh

Tabulka 6.22. Výpočet nákladů na plyn pro lokalitu č. 1 se solárními panely

6.10 Celková ekonomika z dlouhodobého hlediska

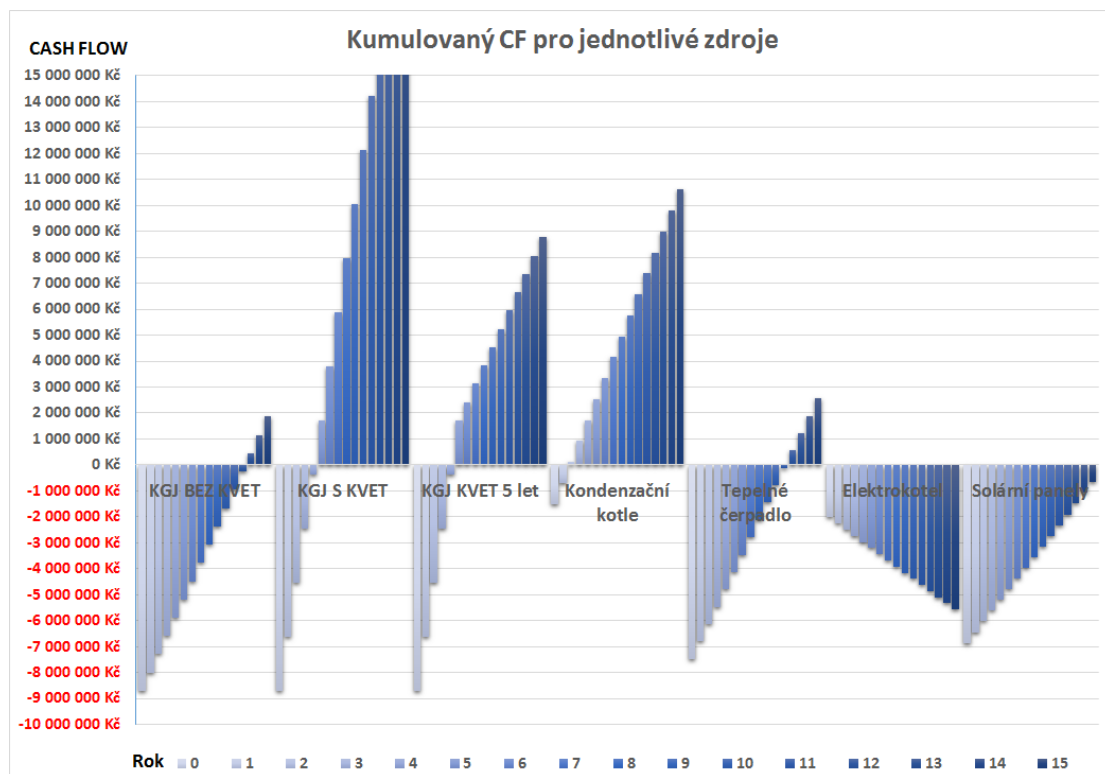
Z dlouhodobého hlediska je nutné určit poslední parametr. Tím jsou roční náklady na provoz daného systému. Vzhledem k nestálosti české legislativy státní podpory KVET jsem vypočítal ekonomiku KGJ pro tři stavy.

- 1) BEZ KVET - Provoz kompletně bez státní podpory.
- 2) S KVET - S podporou KVET po celou dobu životnosti KGJ.
- 3) KVET 5 let - Státní podpora je vyplácena pouze prvních pět let provozu KGJ.

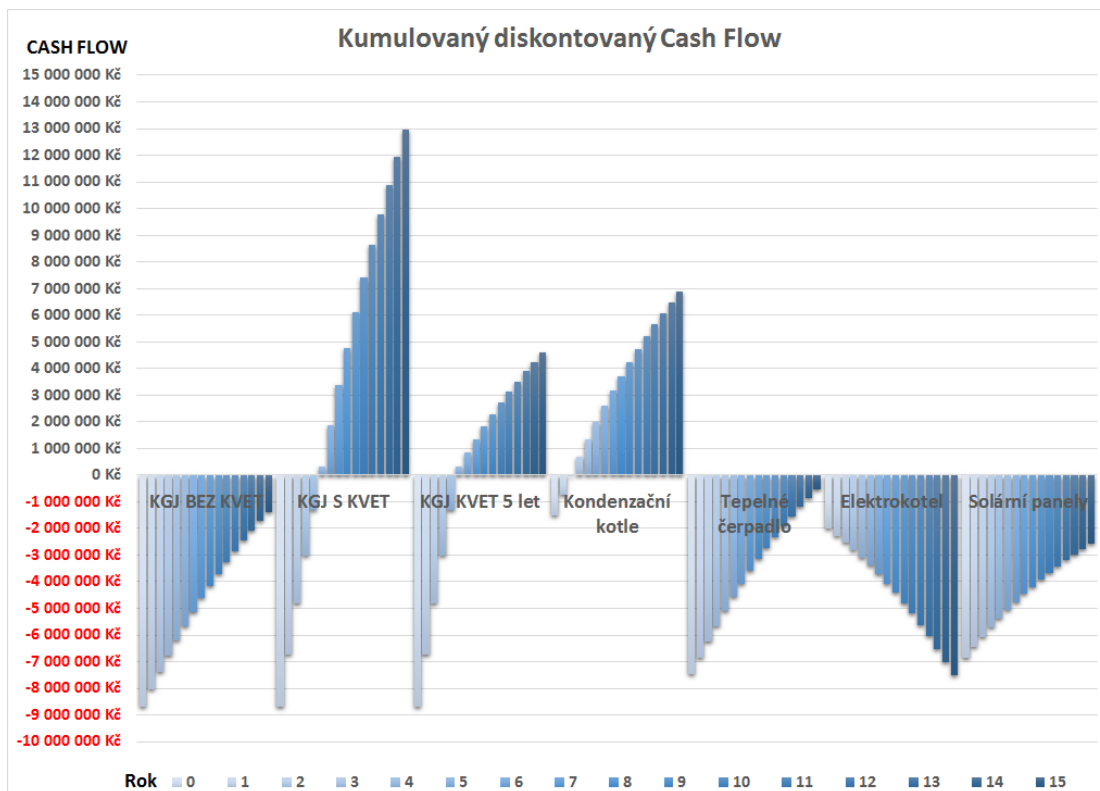
V následující tabulce č. 6.23 jsem shrnul roční hrubý zisk - EBITDA, prostou dobu návratnosti - T_s , míru výnosnosti IRR pro 10leté a 15leté období, kumulovaný CF pro 10- a 15leté období a kumulovaný diskontovaný CF pro 10- a 15leté období při IRR 5%.

	KGJ bez	KGJ s	KGJ s 5	Kon. kotel	Tep. čerp.	El. kotel	Solár
Celková investice [tis. Kč]	8 707	8 707	8 707	1 505	7 480	2 023	6 858
Roční náklady [tis. Kč]	50	50	50	20	120	15	40
EBITDA průměr [tis. č]	516	1 898	977	827	790	-222	453
T _s [rok]	18,7	4,7	9,4	1,9	11,2	—	16,6
IRR 10 let [%]	-2,6	19,8	10,2	53,6	3,9	—	-1,3
IRR 15 let [%]	-10,0	16,7	7,8	52,9	-2	—	-8,3
Kum. CF 10 let [tis. Kč]	-4 046	9 770	2 862	7 377	-784	-4 392	-2 731
Kum. CF 15 let [tis. Kč]	-1 716	19 008	5 192	10 607	2 563	-5 576	- 668
Kum. dis. CF 10 let [tis. Kč]	-5 108	5 560	874	5 202	-2 310	-5 198	-3 672
Kum. dis. CF 15 let [tis. Kč]	-3 869	10 471	2 112	6 876	-530	-7 510	-2 575

Tabulka 6.23. Výsledná ekonomika jednotlivých řešení pro lokalitu č. 1



Obrázek 6.2. Kumulovaný Cash Flow jednotlivých zdrojů



Obrázek 6.3. Kumulovaný diskontovaný Cash Flow jednotlivých zdrojů IRR=5%

6.11 Shrnutí výsledků pro lokalitu 1

Z tabulky č. 6.23 je zřejmé, že jediné zdroje, které lze v tomto případě provozovat bez ztráty počáteční investice, jsou kondenzační kotel a KGJ v případě, že se podaří získat státní podporu. Při udržení státní podpory po dobu 10 let jsou výsledky diskontovaných příjmů z kogenerační jednotky srovnatelné s úsporou z kondenzačního kotle. Investice do tepelného čerpadla se zaplatí za 15 let provozu pouze v případě snížení diskontní sazby na 3,9%.

Z celkových výsledků vychází, že KGJ je velmi zajímavá investice do budoucnosti s teoretickým výdělkem kumulovaného diskontovaného cash flow 10 471 000 Kč za 15 let provozování a s počáteční investicí 8 706 700 Kč. Pokud by majitel hotelu neměl zájem tolik riskovat či nechtěl mít tak vysokou počáteční investici, je jasnou volbou instalace nového kondenzačního kotle s investicí 1 505 200 Kč a teoretickým kumulovaným diskontovaným cash flow za 15 let 6 876 000 Kč.

Kapitola 7

Závěr

V teoretické části práce jsou vysvětleny základní principy fungování jednotlivých druhů kogeneračních jednotek, které se v dnešní době používají. Ukázal jsem výhody a nevýhody jejich použití a udělal jsem jejich vzájemné porovnání. Podrobněji jsem se věnoval kogeneračním jednotkám s pístovými spalovacími motory, kde jsem se věnoval jednotlivým částem konstrukce, možnostmi provozu, jejich vlastnostmi a údržbou. Ukázal jsem i porovnání různých kogeneračních jednotek s pístovými spalovacími motory mezi jednotlivými výrobci.

Další část své práce jsem věnoval tomu, jakým způsobem dimenzovat kogenerační jednotku pro danou lokalitu. Správné určení možností provozu odběrů energií jsou hlavní podmínkou pro vytvoření modelu teoretického možného provozu a díky němu je možné správně vybrat konkrétní typ kogenerační jednotky. Kogenerační jednotka je složitý stroj se spoustou požadavků na instalaci, proto jsem se věnoval podrobněji jednotlivým kritériím pro určení možnosti instalace. Jedná se hlavně o zapojení kogenerační jednotky, prostorové požadavky, typ a zapojení otopného systému, vyvedení elektrického výkonu, přívod plynu, odvod spalin a hluk vznikající provozem.

Jako zdroje tepla vhodné pro porovnání s kogenerační jednotkou jsem zvolil kondenzační kotle, tepelná čerpadla, fototermitické panely a elektrokotle. Jedná se o moderní zdroje tepla s vysokou účinností nebo využívající obnovitelnou energii. Následně jsem se věnoval investičním a provozním nákladům pro případ instalace daného tepelného zdroje. Také je zde předložena teorie možných výpočtů plateb za energie při provozu těchto zdrojů tepla.

Všechny předem získané informace jsem převedl do ukázky na jedné lokalitě. Jedná se o velký hotel s velmi zastaralou kotelnou. Hotel jsem popsal a dodal jeho spotřeby energií. Na základě těchto dat jsem vytvořil model spotřeb elektřiny a tepla tohoto hotelu, ten jsem dále porovnal s jednotlivými modely teoretické výroby jednotlivých zdrojů, abych vybral ten správný. Pro každý zdroj jsem určil investiční náklady na novou technologii. Výsledné spotřeby jsem převedl do celkových plateb za energie a spočítal úsporu každé použité technologie vytápění. Vypočítal jsem potřebné ekonomické parametry pro určení, zda se investice z dlouhodobého hlediska vyplatí. Nakonec jsem shrnul výsledky, které ukázaly, že v daném případě jsou dobrou investicí kogenerační jednotka nebo kondenzační kotle.

Tato práce je ukázkou toho, že kogenerační jednotky mohou být do budoucna provozovány v mnohem větším měřítku. Jejich investice je sice vyšší než u ostatních zdrojů tepla, ale návratnost je dobrá. Hlavním nebezpečím pro rozvoj kogeneračních jednotek v České republice je nestálost podpůrné legislativy a velmi složité podmínky pro instalaci a provozování těchto zdrojů. V porovnání s Německem či dalšími státy Evropské unie je tato technologie stále velmi málo využívána. V současné době se vyvíjí stále menší jednotky, které bude možné instalovat i do rodinných domů.

Literatura

- [1] DLOUHÝ, Tomáš. *Kotelny a kogenerační jednotky* [online]. ČVUT Praha FSI. [vid. 2016-08-20]. Dostupné z:
<http://fsinet.fsid.cvut.cz/cz/U207/U2072/projektII.pdf>.
- [2] PAWLITKO, David. *Kogenerace* [online]. [vid. 2016-08-20]. Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=63790.
- [3] RAEN SPOL. S R.O., CITYPLAN SPOL. S R.O. *Příručka pro regionální využití kogeneračních zdrojů* [online]. [vid. 2016-08-20]. Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16592.
- [4] KARAFIÁT, Josef. *Sborník technických řešení zdrojů s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla* [online]. [vid. 2016-08-20]. Dostupné z:
<http://www.mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf>.
- [5] KYSELA, Ladislav, Jiří MÍKA a Sylva KYSELOVÁ. *Teplárenství*. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2010.
- [6] BECHNÍK, Bronislav. Příprava teplé vody - fotovoltaika nebo solární tepelné kolektory?. [online]. 2013. [vid. 2016-08-20]. ISSN 1801-4399. Dostupné z:
<http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/10453-priprava-teple-vody-fotovoltaika-nebo-solarni-tepelne-kolektory>.
- [7] HOŘEJŠÍ, Miroslav. Tepelná čerpadla pro každého (I-IV). [online]. 2002. [vid. 2016-08-20]. ISSN 1801-4399. Dostupné z:
<http://www.tzb-info.cz/953-tepelna-cerpadla-pro-kazdeho-i>.
- [8] FUČÍK, Zdeněk. Stručná teorie kondenzace u kondenzačních plynových kotlů. [online]. 2004. [vid. 2016-08-20]. ISSN 1801-4399. Dostupné z:
<http://www.tzb-info.cz/1912-strucna-teorie-kondenzace-u-kondenzacnich-plynovych-kotlu>.
- [9] TOPINFO S.R.O. Ohřev vody - výpočet doby ohřevu vody v zásobníku. [online]. [vid. 2016-08-20]. ISSN 1801-4399. Dostupné z:
<http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/97-ohrev-vody>.
- [10] VIDIM, Jan. Řízení čtvrt hodinového maxima. [online]. 2015. [vid. 2016-08-20]. ISSN 1801-4399. Dostupné z:
<http://elektro.tzb-info.cz/inteligentni-budovy/13513-rizeni-ctvrthodinoveho-maxima>.
- [11] MATUŠKA, Tomáš. Zásobníky tepla s řízeným teplotním vrstvením (stratifikací). [online]. [vid. 2016-08-20]. ISSN 1801-4399. Dostupné z:
<http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/156-zasobniky-tepla-s-rizenym-teplotnim-vrstvenim-stratifikaci>.
- [12] MATUŠKA, Tomáš. Prvky solárních soustav (IV) - Zásobníky tepla. [online]. 2006. [vid. 2016-08-20]. ISSN 1801-4399. Dostupné z:
<http://www.tzb-info.cz/3626-prvky-solarnich-soustav-iv>.

- [13] MATUŠKA, Tomáš. Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP. [online]. 2015. [vid. 2016-08-20]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivita-tepelných-cerpadel-cop-a-scop>.
- [14] ŠOUREK, Bořivoj. Hydraulická zapojení. [online]. 2015. [vid. 2016-08-20]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/153-hydraulicka-zapojeni>.
- [15] CHADIM, Tomáš. Výpočtová pomůcka ekonomická efektivnost investic (I-III). [online]. 2005. [vid. 2016-08-20]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2770-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-i>.
- [16] JR TECHNIK. Nová technologie pro výrobu elektrické energie a tepla z biomasy. [online]. 2002. [vid. 2016-08-20]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1247-nova-technologie-pro-vyrobu-elektricke-energie-a-tepla-z-biomasy>.
- [17] JR TECHNIK. ORC technologie v realizaci (I-II). [online]. 2005. [vid. 2016-08-20]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2537-orc-technologie-v-realizaci-i-lienz-trebic>.
- [18] VYHLÁŠKA. Příloha č. 1 k vyhlášce č. 37/2016 Sb. o elektrárně z vysokoučinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektrárně z druhotných zdrojů [online]. [vid. 2016-08-20]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/474307/Priloha_6_51.pdf/85539fb3-7b8d-42c7-9aee-43b8ea9ba178.
- [19] ZÁKON. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší.
- [20] ČSN 07 7401. Voda a pára pro tepelná energetická zařízení s pracovním tlakem páry do 8 MPa.
- [21] PROVOZOVATELÉ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV. Pravidla provozování distribučních soustav - Příloha 4 pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy [online]. [vid. 2016-08-20]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2014/ppds-2014-priloha-4.pdf>.
- [22] TEDOM A.S. Kogenerační jednotky Tedom [online]. [vid. 2016-08-20]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/download/759.pdf>.
- [23] VAILLANT. Gas-Brennwertkessel [online]. [vid. 2016-08-20]. Dostupné z: <http://www.vaillant.de/downloads-1/prospekte-2/prospekt-ecocraft-258492.pdf>.
- [24] R.O., REGULUS spol. s. Technický list solárního kolektoru KTU 9R2 [online]. [vid. 2016-08-20]. Dostupné z: http://www.regulus.cz/?download=tech-listy/cz/tl_cz_technicky-list_ktu9r2.pdf.
- [25] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2015 ze dne 26. listopadu 2015, kterým se stanovují ceny za související službu v elektroenergetice a další regulované ceny [online]. [vid. 2016-08-20]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/1174016/ERV_8_2015.pdf/afe1400e-2277-4835-8228-15c27aaa8d9a.
- [26] ČEZ. Ceník elektřiny ČEZ produkt comfort včetně regulovaných cen za dopravu [online]. [vid. 2016-08-20]. Dostupné z:

https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2016/cez_cz_ele_cenikmop_2016-01-01_comfort.pdf.

- [27] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 6/2015 ze dne 25. listopadu 2015, o regulovaných cenách souvisejících s dodávkou plynu* [online]. [vid. 2016-08-20]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/1174016/ERV_7_2015.pdf/0cd5f39a-7b58-4eeb-ad62-789699e50120.
- [28] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 9/2015 ze dne 29. prosince 2015, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie* [online]. [vid. 2016-08-20]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/462898/151229_CR_POZE_9_2015.pdf/e8c97a46-2870-47c6-9f11-8f4a97145ab1.
- [29] VYHLÁŠKA. *Příloha č. 6 k vyhlášce č. 51/2006 Sb. Měrný podíl žadatele o připojení na oprávněných náklafech spojených s připojením a zajištěním požadovaného příkonu a výkonu* [online]. [vid. 2016-08-20]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/474307/Priloha_6_51.pdf/85539fb3-7b8d-42c7-9aee-43b8ea9ba178.
- [30] REGULUS SPOL. S R.O. *Katalogový list solárního kolektoru KTU 9R2* [online]. [vid. 2016-08-20]. Dostupné z: http://www.regulus.cz/?download=katalogove-listy/cz/kt_cz_ktu9r2.pdf.
- [31] POTOČNÍK, Petr. *Tepelná čerpadla s možností chlazení* [online]. [vid. 2016-08-20]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=63790.
- [32] KYSELA, Ladislav. *Ekonomika v energetice*. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012.

Příloha A

Slovník pojmů

CF	■ Cash Flow - peněžní tok rozdíl mezi příjmy a náklady
COP	■ Coefficient of performance - koeficient účinnosti tepelného čerpadla (topná faktor)
CZT	■ Centrální zásobování tepla, centrální zdroj tepla
ČHMÚ	■ Český hydrometeorologický ústav
ČVUT	■ České vysoké učení technické v Praze
DPH	■ Daň z přidané hodnoty
DS	■ Distribuční soustava
EBITDA	■ Earnings before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization - Zisk před odečtením úroků, daní, odpisů a amortizace
FEL	■ Fakulta elektrotechnická ČVUT
IRR	■ Internal Rate of Return - Vnitřní míra výnosu
KGJ	■ Kogenerační jednotka
kogenerace	■ Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
KVET	■ Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
LPG	■ Liquefied Petroleum Gas
MaR	■ Měření a regulace
motohodina	■ Jedna hodina provozu kogenerační jednotky
MTP	■ Měřicí transformátory proudu
NN	■ Nízké napětí
NT	■ Nízký tarif
NTL	■ Nízkotlaký
ORC	■ Organický Rankinův cyklus
PDS	■ Provozovatel distribuční soustavy
PPDS	■ Pravidla provozování DS
PVGIS	■ Photovoltaic Geographical Information System web: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/
STL	■ Středotlaký
THR	■ Termohydraulický rozdělovač
TIČR	■ Technická inspekce české republiky
TV	■ Teplá voda - dříve teplá užitková voda
VN	■ Vysoké napětí
VT	■ Vysoký tarif

Příloha B

PVGIS



Photovoltaic Geographical Information System

European Commission
Joint Research Centre
Ispra, Italy

Incident global irradiation for the chosen location

Location: 50°4'16" North, 14°26'49" East, Elevation: 238 m a.s.l.,

Optimal inclination angle is: 34 degrees

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.1 %

Month	Hh	Hopt	H(90)	lopt	T24h	NDD
Jan	723	1070	1060	61	-0,6	558
Feb	1370	1900	1750	56	0,7	454
Mar	2750	3490	2820	47	4,3	380
Apr	4360	4970	3300	34	9,6	179
May	5050	5160	2870	20	14,3	72
Jun	5500	5390	2750	14	17,5	29
Jul	5260	5250	2790	16	19,3	3
Aug	4500	4910	3020	29	19,1	34
Sep	3180	3860	2900	42	14,3	160
Oct	1880	2570	2270	53	9,6	328
Nov	878	1290	1250	60	4,6	497
Dec	595	930	961	64	0,0	597
Year	3010	3410	2310	34	9,4	3291

Hh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m2/day)

Hopt: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m2/day)

H(90): Irradiation on plane at angle: 90deg. (Wh/m2/day)

lopt: Optimal inclination (deg.)

T24h: 24 hour average of temperature (°C)

NDD: Number of heating degree-days (-)

PVGIS (c) European Communities, 2001-2012

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.



Příloha C
Tabulky výpočtů spotřeb

Maximum motohodin v měsíci			744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
Počet dní v měsíci			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Měsíc		Celkem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Údaje o lokalitě

Odebraný plyn	kWh	2 942 740	442 650	410 684	411 870	176 341	89 695	64 421	88 001	87 078	176 000	234 000	234 000	528 000
Odebraná elektrina	kWh	995 584	110 584	105 555	96 697	59 803	58 738	65 270	92 365	103 806	67 474	76 124	76 124	83 044
Měsíční rezervovaná kapacita	kW		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Roční rezervovaná kapacita	kW		175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175

Vypočtené teplo	kWh	1 723 226	259 209	240 491	241 185	103 263	52 524	37 724	51 532	50 992	103 063	137 027	137 027	309 189
-----------------	-----	-----------	---------	---------	---------	---------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	---------

Teoretické motohodiny max.	hod	8 472	720	648	720	696	720	696	720	720	696	720	696	720
Teoretický max. optimální tep. výkon	kW	429	360	371	335	148	73	54	72	71	148	190	197	429

Odhadnutá jednotka

2xT100 KVET 200

Motohodiny jednotky	hod/měs	5 267	720	648	720	377	192	138	188	186	377	501	501	720
Motohodiny za den	hod/den		23,2	23,1	23,2	12,6	6,2	4,6	6,1	6,0	12,6	16,1	16,7	23,2
Vyrobene teplo	kWh	1 441 737	197 073	177 366	197 073	103 263	52 524	37 724	51 532	50 992	103 063	137 027	137 027	197 073

Vyrobená elektrická energie	kWh	1 053 467	144 000	129 600	144 000	75 453	38 379	27 565	37 654	37 259	75 307	100 125	100 125	144 000
Elektrina spotřebovaná v hotelu	kWh	706 464	99 526	95 000	87 027	53 823	26 865	19 295	26 358	26 081	60 727	68 512	68 512	74 740
Elektrina přetok do DS	kWh	347 003	44 474	34 601	56 973	21 631	11 514	8 269	11 296	11 178	14 581	31 613	31 613	69 260
Elektrina dokup z DS	kWh	289 120	11 058	10 556	9 670	5 980	31 873	45 975	66 007	77 725	6 747	7 612	7 612	8 304
Nová rez kapacita měsíční	kW		0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0
Nová rez kapacita roční	kW		75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75

Plyn KGJ spotřeba	m3	270 609	36 990	33 291	36 990	19 382	9 859	7 081	9 672	9 571	19 345	25 719	25 719	36 990
Plyn KGJ spotřeba	kWh	2 572 004	351 571	316 414	351 571	184 217	93 701	67 298	91 931	90 967	183 861	244 451	244 451	351 571
Plyn KGJ spotřeba na teplo	kWh	1 486 112	203 139	182 825	203 139	106 441	54 141	38 885	53 118	52 561	106 235	141 245	141 245	203 139
Plyn KGJ spotřeba na elektrinu	kWh	1 085 892	148 432	133 589	148 432	77 776	39 560	28 413	38 813	38 406	77 625	103 206	103 206	148 432

Teplo kotle s KGJ	kWh	281 489	62 136	63 125	44 112	0	0	0	0	0	0	0	0	112 116
Plyn pro kotle s KGJ	kWh	480 697	106 110	107 798	75 330	0	0	0	0	0	0	0	0	191 460
Plyn pro kotle s KGJ	m3	45 564	10 058	10 218	7 140	0	0	0	0	0	0	0	0	18 148
Celková spotřeba plynu s KGJ	kWh	3 052 701	457 681	424 212	426 901	184 217	93 701	67 298	91 931	90 967	183 861	244 451	244 451	543 031

Plyn denní kapacita	m3/den	2 134	1 821	1 865	1 708	775	382	283	374	370	774	996	1 029	2 134
---------------------	--------	-------	-------	-------	-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------	-------

Ceny Elektrina původní

Cena za silovou elektrinu	Kč	1 095 142	121 642	116 111	106 367	65 783	64 612	71 797	101 602	114 187	74 221	83 736	83 736	91 348
Cena za dodatečné služby	Kč	171 405	19 038	18 172	16 647	10 297	10 113	11 238	15 902	17 871	11 617	13 106	13 106	14 297
Cena za rez kapacitu + POZE	Kč	576 010	48 001	48 001	48 001	48 001	48 001	48 001	48 001	48 001	48 001	48 001	48 001	48 001
Cena celkem	Kč	1 842 557	188 681	182 283	171 015	124 081	122 726	131 036	165 504	180 058	133 839	144 843	144 843	153 647

Cena celkem za jednotku	Kč/kWh	1,851 Kč
-------------------------	--------	----------

Ceny plynu původní

Cena za komoditu	kč	2 059 918	309 855	287 479	288 309	123 439	62 787	45 095	61 601	60 955	123 200	163 800	163 800	369 600
Cena distribuce	Kč	416 692	62 679	58 153	58 321	24 970	12 701	9 122	12 461	12 330	24 922	33 134	33 134	74 765
Cena za rez. Kapacitu	Kč	206 143	17 179	17 179	17 179	17 179	17 179	17 179	17 179	17 179	17 179	17 179	17 179	17 179
Cena celkem	Kč	2 682 753	389 713	362 810	363 808	165 587	92 666	71 395	91 240	90 463	165 300	214 113	214 113	461 543

Cena celkem za jednotku	Kč/kWh	0,912
-------------------------	--------	-------

Cena tepla z kotle	Kč/kWh	1,557
--------------------	--------	-------

Cena Plyn s KGJ

cena za komoditu	Kč/kWh	2 136 891	320 377	296 948	298 831	128 952	65 591	47 109	64 352	63 677	128 702	171 116	171 116	380 122
Cena distribuce		432 262	64 808	60 068	60 449	26 085	13 268	9 529	13 017	12 881	26 035	34 614	34 614	76 893
Cena za rez. Kapacitu	Kč	258 814	21 568	21 568	21 568	21 568	21 568	21 568	21 568	21 568	21 568	21 568	21 568	21 568
Cena celkem	Kč	2 827 968	406 752	378 584	380 848	176 605	100 427	78 206	98 937	98 126	176 305	227 298	227 298	478 583

Cena za plyn s KGJ	Kč/kWh	0,926
--------------------	--------	-------

Cena tepla z kotle	Kč/kWh	1,582
--------------------	--------	-------

Cena tepla z KGJ bez KVET	Kč/kWh	0,955
---------------------------	--------	-------

Cena výroba elektriny z KGJ bez KVET	Kč/kWh	0,955
--------------------------------------	--------	-------

Výpočet cen tepla celkem za rok bez KVET

Teplo z kotle	Kč	445 309	98 298	99 862	69 784	0	0	0	0	0	0	0	0	177 365
Teplo z KGJ	Kč	1 376 708	188 184	169 366	188 184	98 605	50 155	36 022	49 208	48 692	98 414	130 846	130 846	188 184
Sevis jednotky	Kč	201 843	27 590	24 831	27 590	14 457	7 353	5 281	7 214	7 139	14 429	19 184	19 184	27 590
Teplo celkem	Kč	2 023 860	314 073	294 059	285 559	113 062	57 508	41 304	56 422	55 830	112 843	150 030	150 030	393 139
Úspora na teple	Kč	658 893	75 640	68 751	78 250	52 525	35 158	30 091	34 818	34 633	52 457	64 083	64 083	68 404

Výpočet cen elektriny KGJ

Elektrina z KGJ spotřebovaná	Kč	674 600	95 037	90 715	83 102	51 395	25 654	18 425	25 169	24 905	57 988	65 421	65 421	71 368
Elektrina přetok do sítě náklady	Kč	331 351	42 468	33 040	54 403	20 655	10 994	7 896	10 787	10 674	13 923	30 187	30 187	66 136
Elektrina přetok do sítě výnosy	Kč	-225 552	-28 908	-22 490	-37 032	-14 060	-7 484	-5 375	-7 343	-7 266	-9 478	-20 549	-20 549	-45 019
Sevis jednotky	Kč	147 485	20 160	18 144	20 160	10 563	5 373	3 859	5 272	5 216	10 543	14 017	14 017	20 160
Elektrina dokup silová	Kč	318 032	12 164	11 611	10 637	6 578	35 060	50 572	72 608	85 497	7 422	8 374	8 374	9 135
Cena za dodatečné služby	Kč	49 816	1 908	1 821	1 669	1 034	5 490	7 918	11 366	13 383	1 166	1 315	1 315	1 434
Cena za rez. kapacitu + POZE	Kč	451 550	20 572	20 572	20 572	49 813	49 813	49 813	49 813	49 813	49 813	49 813	49 813	20 572
Elektrina celkem	Kč	1 747 282	163 400	153 412	153 510	125 978	124 900	133 108	167 672	182 222	131 377	148 579	119 337	143 786
Úspora na elektrině	Kč	95 275	25 281	28 871	17 505	-1 898	-2 174	-2 073	-2 167	-2 164	2 463	-3 735	25 506	9 861

Maximum motohodin v měsíci			744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
Počet dní v měsíci			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Měsíc		Celkem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Úspora celkem bez KVET	Kč	754 168	100 921	97 623	95 755	50 628	32 983	28 019	32 650	32 469	54 919	60 347	89 589	78 265
------------------------	----	---------	---------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

KVET

Cena tepla z KGJ	Kč/kWh	0,95
Cena výroba elektřiny z KGJ	Kč/kWh	0,95
Příspěvek KVET vzhledem k motohodinám	Kč/kWh	1,31

KVET motohodin	hod	4 400	720	648	720	377	192	138	188	186	377	501	353	0
KVET celkem	Kč	1 381 600	226 080	203 472	226 080	118 462	60 255	43 277	59 117	58 497	118 233	157 196	110 932	0

Výpočet cen tepla celkem za rok s KVET

Tepl z kotle	Kč	445 309	98 298	99 862	69 784	0	0	0	0	0	0	0	0	177 365
Tepl z KGJ	Kč	1 376 708	188 184	169 366	188 184	98 605	50 155	36 022	49 208	48 692	98 414	130 846	130 846	188 184
Sevis jednotky	Kč	201 843	27 590	24 831	27 590	14 457	7 353	5 281	7 214	7 139	14 429	19 184	19 184	27 590
KVET tepl	Kč	-798 293	-130 630	-117 567	-130 630	-68 448	-34 816	-25 005	-34 158	-33 800	-68 315	-90 828	-64 097	0
Tepl celkem	Kč	1 225 567	183 443	176 492	154 929	44 614	22 693	16 299	22 264	22 031	44 528	59 202	85 933	393 139
Úspora na teplu	Kč	1 457 186	206 270	186 318	208 880	120 973	69 973	55 097	68 976	68 433	120 772	154 911	128 180	68 404

Výpočet cen elektřiny KGJ s KVET

Elektřina z KGJ spotřebovaná	Kč	674 600	95 037	90 715	83 102	51 395	25 654	18 425	25 169	24 905	57 988	65 421	65 421	71 368
Elektřina přetok do sítě náklady	Kč	331 351	42 468	33 040	54 403	20 655	10 994	7 896	10 787	10 674	13 923	30 187	30 187	66 136
Elektřina přetok do sítě výnosy	Kč	-225 552	-28 908	-22 490	-37 032	-14 060	-7 484	-5 375	-7 343	-7 266	-9 478	-20 549	-20 549	-45 019
Servis jednotky	Kč	147 885	20 160	18 144	20 160	10 563	5 373	3 859	5 272	5 216	10 543	14 017	14 017	20 160
KVET elektřina	Kč	-583 307	-95 450	-85 905	-95 450	-50 014	-25 439	-18 271	-24 959	-24 697	-49 917	-66 368	-46 835	0
Elektřina dokup silová	Kč	318 032	12 164	11 611	10 637	6 578	35 060	50 572	72 608	85 497	7 422	8 374	8 374	9 135
Cena za dodatečné služby	Kč	49 816	1 908	1 821	1 669	1 034	5 490	7 918	11 366	13 383	1 166	1 315	1 315	1 434
Cena za rez kapacitu + POZE	Kč	451 550	20 572	20 572	20 572	49 813	49 813	49 813	49 813	49 813	49 813	49 813	20 572	20 572
Elektřina celkem	Kč	1 163 975	67 950	67 507	58 060	75 964	99 461	114 837	142 713	157 525	81 459	82 211	72 502	143 786
Úspora na elektřině	Kč	678 582	120 731	114 777	112 955	48 117	23 265	16 199	22 792	22 533	52 380	62 632	72 341	9 861

Úspora celkem s KVET	Kč	2 135 768	327 001	301 095	321 835	169 090	93 238	71 295	91 767	90 966	173 152	217 543	200 521	78 265
Příspěvek KVET	Kč	1 381 600												

Kondenzační kotel

Spotřeba tepla	kWh	1 723 226	259 209	240 491	241 185	103 263	52 524	37 724	51 532	50 992	103 063	137 027	137 027	309 189
minimální tepelný výkon +20%	kW	499	348	358	324	143	71	52	69	69	143	184	190	416
Spotřeba plynu nový kotel	kWh	2 013 454	302 866	280 994	281 806	120 654	61 370	44 078	60 211	59 580	120 421	160 105	160 105	361 263
Denní kapacita plynu +20%	m3	1 326	1 111	1 141	1 034	457	225	167	221	219	457	587	607	1 326

Cena plyn

Cena za komoditu	Kč	1 409 418	212 006	196 696	197 264	84 458	42 959	30 854	42 148	41 706	84 295	112 074	112 074	252 884
Cena distribuce	Kč	285 105	42 886	39 789	39 904	17 085	8 690	6 241	8 526	8 436	17 052	22 671	22 671	51 155
Cena za rez. Kapacitu	Kč	160 735	13 395	13 395	13 395	13 395	13 395	13 395	13 395	13 395	13 395	13 395	13 395	13 395
Cena celkem	Kč	1 855 258	268 286	249 879	250 562	114 937	65 044	50 490	64 068	63 537	114 741	148 139	148 139	317 434

Úspora kondenzačního kotle	Kč	827 495	121 426	112 931	113 246	50 650	27 622	20 905	27 172	26 927	50 559	65 974	65 974	144 110
Cena plynu	Kč/kWh	0,921												
Cena tepla z kondenzačního kotle	Kč/kWh	0,970												

Tepelné čerpadlo

Spotřeba tepla	kWh	1 723 226	259 209	240 491	241 185	103 263	52 524	37 724	51 532	50 992	103 063	137 027	137 027	309 189
Průměrná teplota	°C		-2,8	-1,1	2,5	7,3	12,3	15,5	16,9	16,4	12,8	8,0	2,7	-1,0
COP			1,96	2,00	2,16	2,45	2,75	2,83	2,82	2,83	2,77	2,50	2,17	2,01
Teoretický potřebný výkon čerpadla	kW		178	179	150	58	26	19	25	24	52	74	88	207

Teoretický tep výkon čerpadla při daném COP			174	178	192	219	245	252	251	252	247	223	193	179
Provoz čerpadla	hod	5 889	744	672	744	472	215	150	205	202	418	615	709	744

Teplu dodané čerpadlem	kWh	1 198 835	129 644	119 915	143 141	103 263	52 524	37 724	51 532	50 992	103 063	137 027	137 027	132 983
Teplu dodané kotle	kWh	524 391	129 566	120 576	98 044	0	0	0	0	0	0	0	0	176 206
Elektrická energie pro TČ	kWh	524 861	66 305	59 889	66 305	42 089	19 120	13 324	18 277	18 031	37 231	54 826	63 159	66 305
Elektrická energie celkem	kWh	1 520 445	176 889	165 444	163 002	101 892	77 858	78 594	110 642	121 837	104 705	130 950	139 283	149 349
Spotřeba plynu	kWh	895 498	221 258	205 906	167 428	0	0	0	0	0	0	0	0	300 905
Denní rez. Kapacita +60%	m3	1 472	1 082	1 115	819	0	0	0	0	0	0	0	0	1 472

Výpočet plyn

Cena za komoditu	Kč	626 849	154 881	144 134	117 200	0	0	0	0	0	0	0	0	210 634
Cena distribuce	Kč	126 803	31 330	29 156	23 708	0	0	0	0	0	0	0	0	42 608
Cena za rez. Kapacitu	Kč	178 507	14 876	14 876	14 876	14 876	14 876	14 876	14 876	14 876	14 876	14 876	14 876	14 876
Cena celkem	Kč	932 158	201 087	188 166	155 783	14 876	14 876	14 876	14 876	14 876	14 876	14 876	14 876	268 117
Úspora Plyn	Kč	1 750 594	188 626	174 644	208 025	150 712	77 790	56 520	76 365	75 588	150 425	199 237	199 237	193 426
Cena plynu	Kč/kWh	1,041												
Cena tepla z kotle	Kč/kWh	1,195												

Výpočet elektřina

Rez kapacita měsíční	kW		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rez kapacita roční	kW		264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264
Elektřina dokup silová	Kč	1 672 490	194 578	181 988	179 303	112 081	85 643	86 453	121 706	134 021	115 175	144 045	153 211	164 284



Příloha D
Tabulka ekonomických parametrů

Investiční náklady		KGJ bez KVET	KGJ s KVET	KGJ s KVET 5let	Kondenzační kotel	Tep. Čerpadlo	Elektrokotel	Solární panely
Další info		2xT100 KVET	2xT100 KVE	2xT100 KVE	499	89,12	550	200
Typ		2XT100	2XT100	2XT100	VKK 2806/3	16kW Daiki	180 kW	KTU 9R2
Množství	ks	2	2	2	2	16	3	200
Cena za KS	Kč	2 493 350	2 493 350	2 493 350	342 600	291 296	108 502	19 990
Cena za zdroj tepla	Kč	4 986 700	4 986 700	4 986 700	685 200	4 660 736	325 506	3 998 000
Hrubá stavba	Kč	100 000	100 000	100 000	50 000	35 000	50 000	2 000
Akumulace	Kč	320 000	320 000	320 000	0	50 000	0	5 000
Elektro	Kč	200 000	200 000	200 000	50 000	30 000	300 000	500
Svařování	Kč	400 000	400 000	400 000	40 000	30 000	50 000	2 000
Vzduchotechnika	Kč	100 000	100 000	100 000	10 000	0	10 000	0
Automatizace	Kč	225 000	225 000	225 000	50 000	12 500	50 000	1 500
Povolení a další dokumenty	Kč	100 000	100 000	100 000	10 000	5 000	20 000	300
komín	Kč	200 000	200 000	200 000	150 000	0	0	0
Projektová dokumentace	Kč	100 000	100 000	100 000	50 000	12 500	50 000	1 000
Podíl na oprávněných nákladech	Kč	15 000	15 000	15 000	0	1 200	36 000	0
další	Kč	100 000	100 000	100 000	0	0	0	2 000
Celkem příslušenství	Kč	3 720 000	3 720 000	3 720 000	820 000	2 819 200	1 698 000	2 860 000
Investice celkem		8 706 700	8 706 700	8 706 700	1 505 200	7 479 936	2 023 506	6 858 000

Životnost	rok	15	15	15				
Počet let KVET	rok	0	15	5				
Roční náklady	Kč	50000	50000	50000	20000	120000	15000	40000
Roční úspora EBITDA průměr	Kč	754 168	2 135 768	1 214 702	827 495	789 550	-221 801	452 661

Vnitřní výnosové procento IRR	%	5
-------------------------------	---	---

Prostá doba návratnosti	rok	12,4	4,2	7,5	1,9	11,2	-8,5	16,6
-------------------------	-----	------	-----	-----	-----	------	------	------

Míra výnosnosti FRR 10 let	%	2,5%	22,9%	15,1%	53,6%	3,9%	---	-1,3%
Míra výnosnosti FRR 15 let	%	-3,7%	20,1%	12,9%	52,9%	-2,0%	---	-8,3%

Kumulovaný CF 10 let	tis. Kč	-1 665	12 151	5 243	7 377	-784	-4 392	-2 731
Kumulovaný CF 15 let	tis. Kč	1 856	22 580	8 764	10 607	2 563	-5 576	-668

Kumulovaný diskontovaný CF 10 let	tis. Kč	-3 269	7 399	2 712	5 202	-2 310	-5 198	-3 672
Kumulovaný diskontovaný CF 15 let	tis. Kč	-1 398	12 943	4 584	6 876	-530	-7 510	-2 575



Příloha E

Tabulka CASH FLOW v průběhu 15 let

KGJ bez KVET

Rok		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CF roční	tis. Kč	-8707	704	704	704	704	704	704	704	704	704	704	704	704	704	704	704
Kumulovaný CF	tis. Kč	-8707	-8003	-7298	-6594	-5890	-5186	-4482	-3778	-3073	-2369	-1665	-961	-257	447	1152	1856
Diskontovaný CF	tis. Kč	-8707	671	639	608	579	552	525	500	477	454	432	412	392	373	356	339
Kumulovaný Diskontovaný CF	tis. Kč	-8707	-8036	-7397	-6789	-6210	-5658	-5133	-4632	-4156	-3702	-3269	-2858	-2465	-2092	-1736	-1398

KGJ s KVET

Rok		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CF roční	tis. Kč	-8707	2086	2086	2086	2086	2086	2086	2086	2086	2086	2086	2086	2086	2086	2086	2086
Kumulovaný CF	tis. Kč	-8707	-6621	-4535	-2449	-364	1722	3808	5894	7979	10065	12151	14237	16323	18408	20494	22580
Diskontovaný CF	tis. Kč	-8707	1986	1892	1802	1716	1634	1556	1482	1412	1345	1280	1220	1161	1106	1053	1003
Kumulovaný Diskontovaný CF	tis. Kč	-8707	-6720	-4828	-3027	-1311	324	1880	3362	4774	6119	7399	8619	9780	10886	11940	12943

KGJ s KVET x let

5

Rok		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CF roční	tis. Kč	-8707	2086	2086	2086	2086	2086	704	704	704	704	704	704	704	704	704	704
Kumulovaný CF	tis. Kč	-8707	-6621	-4535	-2449	-364	1722	2426	3130	3835	4539	5243	5947	6651	7355	8060	8764
Diskontovaný CF	tis. Kč	-8707	1986	1892	1802	1716	1634	525	500	477	454	432	412	392	373	356	339
Kumulovaný Diskontovaný CF	tis. Kč	-8707	-6720	-4828	-3027	-1311	324	849	1349	1826	2280	2712	3124	3516	3890	4245	4584

Kondenzační kotel

Rok		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CF roční	tis. Kč	-1505	807	807	807	807	807	807	807	807	807	807	807	807	807	807	807
Kumulovaný CF	tis. Kč	-1505	-698	110	917	1725	2532	3340	4147	4955	5762	6570	7377	8185	8992	9800	10607
Diskontovaný CF	tis. Kč	-1505	769	732	698	664	633	603	574	547	521	496	472	450	428	408	388
Kumulovaný Diskontovaný CF	tis. Kč	-1505	-736	-4	694	1358	1991	2593	3167	3714	4234	4730	5202	5652	6080	6488	6876

Tepelné čerpadlo

Rok		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CF roční	tis. Kč	-7480	670	670	670	670	670	670	670	670	670	670	670	670	670	670	670
Kumulovaný CF	tis. Kč	-7480	-6810	-6141	-5471	-4802	-4132	-3463	-2793	-2124	-1454	-784	-115	555	1224	1894	2563
Diskontovaný CF	tis. Kč	-7480	638	607	578	551	525	500	476	453	432	411	391	373	355	338	322
Kumulovaný Diskontovaný CF	tis. Kč	-7480	-6842	-6235	-5657	-5106	-4581	-4082	-3606	-3152	-2721	-2310	-1918	-1546	-1190	-852	-530

Elektrokotel

Rok		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CF roční	tis. Kč	-2024	-237	-237	-237	-237	-237	-237	-237	-237	-237	-237	-237	-237	-237	-237	-237
Kumulovaný CF	tis. Kč	-2024	-2260	-2497	-2734	-2971	-3208	-3444	-3681	-3918	-4155	-4392	-4628	-4865	-5102	-5339	-5576
Diskontovaný CF	tis. Kč	-2024	-249	-262	-276	-291	-306	-322	-339	-357	-376	-396	-416	-438	-461	-486	-511
Kumulovaný Diskontovaný CF	tis. Kč	-2024	-2273	-2535	-2811	-3102	-3408	-3730	-4069	-4426	-4802	-5198	-5614	-6052	-6513	-6999	-7510

Solární panely

Rok		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CF roční	tis. Kč	-6858	413	413	413	413	413	413	413	413	413	413	413	413	413	413	413
Kumulovaný CF	tis. Kč	-6858	-6445	-6033	-5620	-5207	-4795	-4382	-3969	-3557	-3144	-2731	-2319	-1906	-1493	-1081	-668
Diskontovaný CF	tis. Kč	-6858	393	374	356	339	323	308	293	279	266	253	241	230	219	208	198
Kumulovaný Diskontovaný CF	tis. Kč	-6858	-6465	-6091	-5734	-5395	-5071	-4763	-4470	-4191	-3925	-3672	-3430	-3200	-2982	-2773	-2575