



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta elektrotechnická**

**Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**

**Ekonomické hodnocení výstavby a provozu kogenerační jednotky**

**Economic evaluation of installation and operation of a cogeneration unit**

**Diplomová práce**

květen 2020

Autor práce: Bc. Nickolas Němeček

Vedoucí práce: Ing. Ladislav Szetei

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Němeček** Jméno: **Nickolas** Osobní číslo: **457038**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Specializace: **Management energetiky a elektrotechniky**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Ekonomické hodnocení výstavby a provozu kogenerační jednotky**

Název diplomové práce anglicky:

**Economic evaluation of installation and operation of a cogeneration unit**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Kogenerační jednotka(KGJ) (popis, návrh velikosti dle velikosti kotleny, popis funkce a popis instalace)
- 2) Vyhodnocení provozu kotleny (plynové kotle, KGJ, i kotelna jako celek) – provozní a ekonomické
- 3) Návrh optimalizací provozu kotleny (technický návrh a jeho ekonomické vyhodnocení)

Seznam doporučené literatury:

FLIN, David. Cogeneration: a user's guide. 1st. pub. London: Institution of engineering and technology, 2010. ISBN 9781849191043;97808663417382;0863417388;1849191042;.  
KADRNOŽKA, Jaroslav a Ladislav OCHRANA. Teplárenství. Brno: CERM, 2001. ISBN 9788072042227;807204222X;.  
DVOŘSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 9788073001186;8073001187;.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Ladislav Szetei, ComAp**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **07.01.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **22.05.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2021**

Ing. Ladislav Szetei  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou prací zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultanta a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé diplomové práce nebo její části se souhlasem katedry.

Datum: 22. 5. 2020

.....  
podpis diplomanta

## **Anotace práce:**

Tato diplomová práce je zaměřena na využití kogenerační jednotky v teplárenství. Práce popisuje v první části původní stav městské plynové kotelny jen s plynovými kotli, její funkčnost a výrobu. V druhé části je popsán návrh a instalace kogenerační jednotky do této kotelny a vše, co takový návrh a instalace kogenerační jednotky do kotelny obnáší. Ve třetí části jsou vyhodnocena získaná data z provozu celé kotelny po 3 letech provozu kogenerační jednotky a je popsána také ekonomika celé kotelny před a po instalaci kogenerační jednotky. Závěr práce obsahuje navržení optimalizací provozu kogenerační jednotky a plynových kotlů za účelem zlepšení ekonomiky celé kotelny.

Zpracovávaná data jsou z městské kotelny, město a vlastník nejsou v práci záměrně uváděny, neboť k tomu nebyl dán souhlas. Práce je tedy psána o obecné kotelně využívající skutečná data z posledních let provozu (1 rok provozu jen s plynovými kotli a 3 roky provozu plynových kotlů spolu s kogenerační jednotkou).

## **Klíčová slova:**

Kogenerační jednotka, kombinovaná výroba elektřiny a tepla, kotelna, instalace kogenerační jednotky, tepelné hospodářství

## **Thesis annotation:**

This thesis is focused on the use of a cogeneration unit in the heating industry. The first part of the thesis describes the original state of the city boiler room only with gas boilers, its functionality and production. The second part describes the design and installation of the cogeneration unit in this boiler room and everything it entails to design and install a cogeneration unit in the boiler room. The third part evaluates the data obtained from the entire boiler room after 3 years of operation of the cogeneration unit and describes the economics of the entire boiler room before and after the installation of cogeneration unit. The conclusion of the thesis contains a proposal for optimizing the operation of the cogeneration unit and gas boilers in order to improve the economy of the entire boiler room.

The processed data are from the city boiler room, the city and the owner are not intentionally mentioned in the thesis, as no consent has been given. The thesis is therefore written about a general boiler room using real data from the last years of operation (1 year of operation only with gas boilers and 3 years of operation of gas boilers together with a cogeneration unit).

## **Index terms:**

Cogeneration unit, combined heat and power generation, boiler room, installation of a cogeneration unit, heat management

## **Poděkování**

Tímto bych rád vyjádřil své poděkování panu Ing. Ladislavovi Szeteiovi za účinnou metodickou a odbornou pomoc a dále za cenné rady při zpracování projektu. Mé poděkování patří firmě ComAp a.s. za dodané materiály a zkušenosti, bez kterých bych tuto práci nemohl napsat. Dále bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Jaromíru Vastlovi, CSc. za jeho rady a poskytované konzultace. Na závěr chci poděkovat své rodině za podporu při studiu a vytváření práce.

## Obsah

1. Úvod.....	7
2. Tepelné hospodářství.....	8
2.1. Popis kotelny .....	8
2.2. Teplovody.....	12
2.3. Potřeba tepla pro vytápění.....	12
2.4. Roční odběr tepla určeného pro ÚT .....	13
2.5. Ztráty tepla v ÚT .....	14
2.6. Teplá užitková voda .....	15
3. Kombinovaná výroba elektřiny a tepla.....	19
3.1. KGJ s plynovými spalovacími motory .....	19
3.1.1. Zdroje tepla KGJ .....	19
3.1.2. Popis jednotlivých částí KGJ a příslušenství.....	20
3.2. Instalace KGJ do tepelného hospodářství.....	24
3.2.1. Nutné podmínky pro instalaci .....	24
3.2.2. Návrh velikosti KGJ a příslušenství.....	26
3.2.3. Určení velikosti akumulční nádoby .....	29
3.2.4. Popis částí instalované KGJ .....	30
3.2.5. Rozpočet instalace KGJ.....	34
3.2.6. Ekonomický model KGJ při ročním provozu.....	35
3.2.7. Časová linie instalace KGJ.....	37
4. Ekonomické zhodnocení kotelny před a po instalaci KGJ .....	40
4.1. Ekonomika tepelného hospodářství.....	40
4.2. Ekonomika EE části .....	44
4.3. Celkový ekonomický přínos KGJ .....	46
5. Návrhy na optimalizaci provozu tepelného hospodářství.....	47
5.1. Optimalizace výroby tepla v PK.....	47
5.1.1. Návrh zlepšení účinnosti PK po instalaci KGJ v kotelně.....	48
5.2. Optimalizace zlepšení ekonomiky KGJ .....	48
5.3. Optimalizace ekonomiky kotelny.....	50
6. Závěr.....	52
Seznam použité literatury .....	53
Seznam grafů.....	55
Seznam obrázků .....	55
Seznam tabulek.....	55
Seznam použitých zkratk a symbolů: .....	56

# 1. Úvod

Potřeba tepla pro lidská obydlí a průmysl tady v našem geografickém pásmu vždycky byla a bude. V rámci zvyšujícího se tlaku na ekologii se hledají nové způsoby výroby tepla s nižší produkcí emisí. Při tomto úsilí o snížení dopadů na ekologii je snaha najít způsob výroby tepla, který je alternativou k výrobě tepla z fosilních paliv. Hledají se zařízení s vyšší účinností výroby tepla či alternativního zdroje energie jako je slunce, vítr, voda, biomasa atd.

Zároveň s tlakem na ekologii je ve společnosti snaha najít cestu pro levnější výrobu tepelné energie a zajistit bezpečné dodávky energií. Jednou z těchto technologií, které mají vyšší účinnosti přeměny energie, jsou zařízení pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla (KVET).

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla je moderní řešení, které umožňuje současnou výrobu elektřiny a tepla s vysokou účinností. Jedním ze zařízení KVET jsou kogenerační jednotky (KGJ). Technologie KGJ zajišťuje vysokou účinnost výroby elektřiny a tepla při snížení výrobních nákladů na tyto energie a zároveň je šetrná k životnímu prostředí. Obvykle jsou KGJ umístěny blízko koncového spotřebitele tepla, aby se minimalizovaly ztráty při dodávkách tepla ze zdroje KVET ke koncovému spotřebiteli. Pro provoz zařízení KVET je potřeba mít dostatečnou přípojku zemního plynu (ZP). Díky lokální výrobě elektřiny a tepla si uživatel zajistí spolehlivé dodávky těchto energií (za předpokladu spolehlivých dodávek ZP).

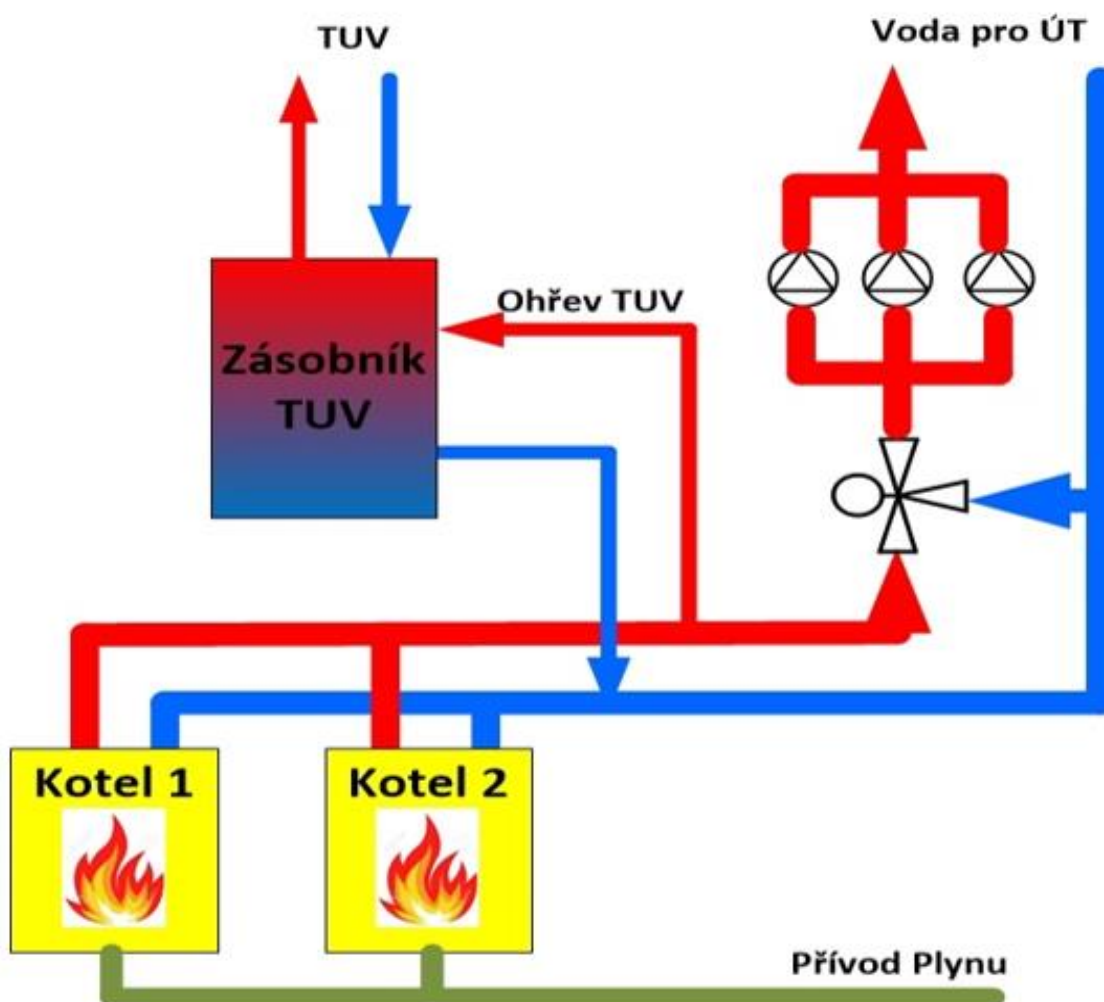
Nejčastější typ KGJ je plynový pístový spalovací motor v kombinaci s elektrickým generátorem a výměníky tepla pro odvod tepla z bloku motoru a spalin. Plynový pístový spalovací motor otáčí generátorem, kde se v důsledku otáčení vyrábí elektrická energie (EE) a zároveň při běhu motoru vzniká odpadní teplo, které je přes výměníky tepla odváděno do tepelného hospodářství.

## 2. Tepelné hospodářství

Popisovaná kotelna se nachází uprostřed menšího města a centrálně zásobuje teplem bytové domy a komunální stavby. Tepelnými zdroji kotelny jsou dva teplovodní kotle, které zajišťují výrobu tepla pro ústřední topení (ÚT) a ohřev teplé užitkové vody (TUV). Palivem pro teplovodní kotle je zemní plyn (ZP) ze středotlaké plynové přípojky. Odběr tepla v komunálně bytové sféře je během roku značně nerovnoměrný, a proto je třeba věnovat mu náležitou pozornost pro optimalizaci. Technologie instalovaná v kotelně je v majetku provozovatele (majitele kotelny).

### 2.1. Popis kotelny

Popisovaná kotelna je vybavena dvěma kondenzačními stacionárními kotli. V kotelně se kromě kotlů nachází plynové hospodářství, čerpadla, trojcestné ventily, úpravna vody a zásobník TUV. Kotelna je bezobslužná (plně automatická), tím pádem není potřeba, aby byla zodpovědná osoba neustále v areálu kotelny. Dochází jen k pravidelné kontrole.



Obrázek 1: Zjednodušené schéma popisuvané kotelny před instalací KGJ.



Měření všech důležitých teplot a hodnot v kotelně je měřeno pomocí senzorů. Hodnoty se pak zaznamenávají do systému, který umožňuje i vzdálený dohled. Funkčnost kotelny je plně automaticky regulována a v případě potřeby je možnost ji řídit pomocí SCADA systému na dálku. V případě detekce poruchy systém vyhlásí alarm a zasílá obsluze kotelny informaci.

### Instalované kotle

Minimální výkon každého kotle byl navržen tak, aby byl schopen pokrýt požadavky odběratelů tepla. V kotelně se nachází dva kotle, z nichž jeden je primární a druhý slouží jako záložní (v případě výpadku primárního kotle) nebo jako doplňovací (doplňování špiček při velmi chladných dnech).

Pořadové číslo zdroje	1	2
Název zdroje	VITOCROSSAL 300	THP 1900 IN
Výrobce	VISSMANN	TM Ratíškovice
Rok výroby	2010	1998
Rok uvedení do provozu	2010	1998
Životnost (let)	15	15
Typ spalovacího zdroje	Teplovodní	Teplovodní
Tepelný výkon (MW)	0,628	1,9
Tepelný příkon (MW)	0,654	1,979
Účinnost (%)	96	96
Druh topeniště	plynové	Plynové

*Tabulka 1: Parametry instalovaných kotlů.*

Primární kotel je od výrobce Viessmann, typové označení Vitocrossal 300. Jedná se o kotel s kondenzační technikou a je vhodný pro výrobu tepla v sítích centrálního vytápění. Do provozu byl uveden v roce 2010 a jeho životnost se odhaduje na 15 let. Jeho tepelný výkon je 628 kW a jedná se o třítahový kotel. Třítahové kotle mají předpoklad pro ekologické spalování s nízkou úrovní škodlivin. Spaliny vznikající ve spalovací komoře, proudí přes zpětnou komoru a v přední části kotle se obrací a vstupují do třetího tahu, kde plochy výměníku tepla z nerezové ušlechtilé oceli získávají ideální předpoklady pro využití kondenzačního účinku. Kotle Vitocrossal 300 mají vysoce účinný přenos tepla a jejich vysoká míra kondenzace umožňuje normované stupně využití až 96 % z Hs (106,8 % z Hi) (1).

Druhý kotel v kotelně byl uveden do provozu v roce 1998. Vede se pod názvem THP 1900 IN a jeho nominální tepelný výkon je 1 900 kW. Kotle typu THP-IN jsou třítahové s plamenem, chlazenou obrátovou komorou, dvěma tahy žárových trubek a kouřovým sběračem. Jejich vodní obsah je 1 780

litrů a mají výhřevnou plochu 45 m<sup>2</sup>. Teplota spalin dosahuje hodnot 180 až 195 °C při maximálním výkonu topného systému 90/60 °C. Účinnost zdroje je 96 % z H<sub>s</sub> (106,8 % z H<sub>i</sub>). Výkon hořáku nesmí být nižší, než je minimální výkon kotle (2).

Tento typ kotle je v provozu již 20 let, což je více než jeho provozní životnost. Starší kotel má vyšší tepelný výkon z historických požadavků, kdy kotelna dodávala teplo více objektům a žádný z nich nebyl zateplen. Z důvodu odpojení některých objektů od teplovodu a zateplení některých vytápěných budov, došlo ke snížení celkového ročního tepla v kotelně. Dosažení maximální účinnosti kotle je za předpokladu dlouhodobého provozu kotle na nominálním výkonu.

### **Příslušenství ke kotlům**

Mezi příslušenství pro kotle v kotelně patří: kotlový rozvaděč, ekonomizér, hořák, komín a směšovací okruhy. Kotlový rozvaděč je příslušenství pro nainstalované kotle v kotelně. Umožňuje ovládání všech regulačních a řídicích zařízení specifických pro kotel, jako například ovládání oběhových čerpadel, řízení průtoku vratné vody přes ekonomizér, sledování okamžitých provozních údajů. Kromě toho lze též pomocí příslušných komponentů zabezpečit plně automatický provoz kotle. Dalším příslušenství kotle je ekonomizér. Ten se nachází na spalinovém tahu a jedná se o výměník tepla, který dochlazuje spaliny před vstupem do komína a odebrané teplo předává do vychlazené topné vody vracející se z okruhu. Díky využití odpadového tepla spalin (dochlazení spalin) je zvyšována účinnost tepelného soustrojí (systému) (1).

### **Spalné teplo a výhřevnost**

Je zapotřebí se zmínit o těchto pojmech, aby bylo jasné, jakou mají roli při vyjádření účinnosti v kotelnách. Účinnost na štítku kotlů je vztažena k H<sub>s</sub>. Spalné teplo (H<sub>s</sub>) definuje při úplném spalování uvolněné množství tepla včetně odpařeného tepla, které je obsaženo ve vodní páře topných plynů. Předpokládá se, že voda uvolněná spalováním zkondenzuje a energii chemické reakce není třeba redukovat o její skupenské teplo. Tím se spalné teplo liší od výhřevnosti (H<sub>i</sub>), kde se předpokládá na konci reakce voda v plynném skupenství. Právě výhřevnost označuje teplo, které se uvolňuje při úplném spalování, pokud se voda, která při tomto procesu vzniká, odvádí formou páry. Odpařované teplo obsažené ve vodní páře výfukových plynů se nevyužívá (3) (4).

### **Tepelné ztráty spalin povrchem kotle**

U spalování ZP v kotli není možné, aby byla použitá vstupní energie odevzdána vytápěcímu systému bez ztrát. Spaliny, které se přes komín dostávají do atmosféry, obsahují relativně velké množství tepelné energie, kterou je potřeba maximálně využít. Dalším typem ztrát jsou ztráty sáláním z povrchu kotle. Oba tyto druhy ztrát tepla mohou významně snižovat hospodárnost tepelného zdroje.

Tepelné ztráty povrchem kotle jsou podíly topného výkonu, které odcházejí přes povrch kotle do okolního vzduchu, a tak se nedají využít jako teplo k vytápění. Vznikají při běhu hořáku jako ztráty

sáláním, nebo v klidového stavu hořáku jako pohotovostní ztráta během přechodných měsíců, ale i v létě, když se kotel využívá jen k ohřevu pitné vody. U starého kotle jsou tepelné ztráty povrchem zpravidla podstatně vyšší než ztráty spaliny, které lze naměřit na výstupu komína. Výše tepelných ztrát povrchem je tak rozhodujícím faktorem pro hospodárnost kotle (3) (4).

### **Další zařízení kotelny**

Veškeré uvedené zařízení se mohou nacházet ve všech kotelnách. Jsou nezbytnou součástí každé kotelny a bez nich by celá kotelná nefungovala správně. Patří mezi ně zařízení jako jsou oběhová čerpadla, trojcestný ventil a chemická úpravna napájecí/doplňovací vody. Dalšími důležitými díly jsou také plynové armatury, teploměry, tlakoměry, ventily. V dané popisované kotelně se lze setkat s těmito zařízeními.

#### **A) Oběhová čerpadla teplovodu**

Dodávka otopné vody na vytápění pro koncové zákazníky se dodává pomocí teplovodu z kotelny. Aby se voda dostala k zákazníkům, tak jsou na výstupu z kotelny na teplovodu umístěna oběhová čerpadla. Ty se pokaždé instalují ve větším počtu z důvodu redundance, aby bylo zaručeno, že voda bude vždy teplovodem téct. Automatické přizpůsobení výkonu čerpadla je pro úsporu energie nesmírně důležité, protože v kotelně s plynovými kotli se jedná o jeden z největších spotřebičů elektrické energie.

#### **B) Trojcestný ventil**

Na vstupu teplovodu do kotelny je umístěn jeden trojcestný směšovací ventil, který zajišťuje míchání topné vody na požadovanou teplotu do teplovodu. V případě, že teplota média vracejícího se do kotelny má požadovanou teplotu (médium není vychlazeno odběrateli tepla), je voda nasměrována zpět do teplovodu. V případě, že vratná voda je částečně vychlazená, dochází ke smíchání s ohřátou vodou z kotlů pro dosažení požadované teploty. Pokud je voda vracející se z teplovodu zcela vychlazená na určitou teplotu, tak se veškeré médium nasměruje trojcestným ventilem do kotlů a dojde k ohřevu (5).

#### **C) Chemická úpravna napájecí vody**

Chemická úprava napájecí vody v kotelně je důležitá vzhledem k možným důsledkům a škodám, které by nastaly na výrobních zařízeních a výrobních procesech, při nezabránění vstupu mechanických nečistot do těchto celků a zařízení. Množství vody pro ohřev se v systému může považovat za konstantní, pokud nedochází ke ztrátě například prasklinou na teplovodu nebo ve výměníku. V případě úniku vody v soustavě se dopouští upravená doplňovací voda v kotelně. Doplnovací voda pro topné využití se chemicky upravuje, aby nebyla tvrdá, obsahovala malé množství minerálů a měla vyhovující vodivost. Když systém zaznamená, že dochází ke snížení tlaku v potrubí, například kvůli úniku kapaliny, začne se postupně dopouštět voda, dokud se znova nedosáhne

požadovaného tlaku. Celý systém je regulován automaticky a pomocí klapek a čerpadel se nareguluje zpátky do optimálně nastaveného stavu.

## 2.2. Teplovody

V rozvodech tepla z popisované kotelny se jako teplonosné médium používá topná voda. Tímto způsobem je teplo dopravováno jak do domácností, tak případně průmyslovým odběratelům. Pokud jde z kotelny pouze dvoutrubkový systém, tak je nutné, aby v předávacím místě (bytový dům, průmyslový objekt) byla předávací stanice, ve které si odběratel vyrobí lokálně ÚT a TUV. V případě čtyřtrubkového systému je jeden okruh určen jen pro ÚT a druhý okruh je pro TUV (6). U dané kotelny není potřeba domovní předávací stanice a vše je zajištěno z kotelny pomocí čtyřtrubkového systému.

Rozvodný systém popisované kotelny je čtyřtrubkový. Ohřátá voda v teplovodu protéká výměníky tepla u zákazníků, kde si přes výměník odebírají požadované teplo, nebo putuje přímo do radiátorů zákazníků. V případě, že zákazníci v daný moment neodebírají žádné teplo, voda se vrací v téměř stejné teplotě. Při průtoku topné vody teplovodem dochází k malým teplotním ztrátám na vedení (teplovodu). Velikost ztrát na teplovodu je dána teplovodem (délka, tepelná izolace) a teplotou média. Čím je vyšší rozdíl teplot média a okolí, tím jsou vyšší ztráty.

Tepelná ztráta potrubí kruhového průřezu je způsobena vedením tepla jednotlivými vrstvami potrubí a přestupem tepla do okolního prostředí. Její velikost ovlivňuje součinitel prostupu tepla válcovou stěnou (materiál trubky, materiál izolace, přestup tepla mezi povrchem potrubí a okolním prostředím), délka potrubí a rozdíl teploty média uvnitř potrubí a teploty v jeho okolí. Převážná část teplovodního potrubí ve městě je vedena pod zemí. Vyhláška č. 193/2007 stanovuje povinnosti opatřit rozvody pro vytápění a TUV tepelnou izolací a definuje tzv. „Určující součinitele prostupu tepla“ v závislosti na vnitřním průměru izolovaných rozvodů (7).

Moderní řešení pro centrální zásobování teplem musejí splňovat ty nejpřísnější požadavky na bezpečnost, spolehlivost, odolnost a účinnost. Dokonale předizolovaná potrubí jsou vhodným řešením pro tyto požadavky. Předizolované potrubí je izolováno voděodolnou vrstvou z polyuretanu, která je vhodná pro své optimální izolační vlastnosti.

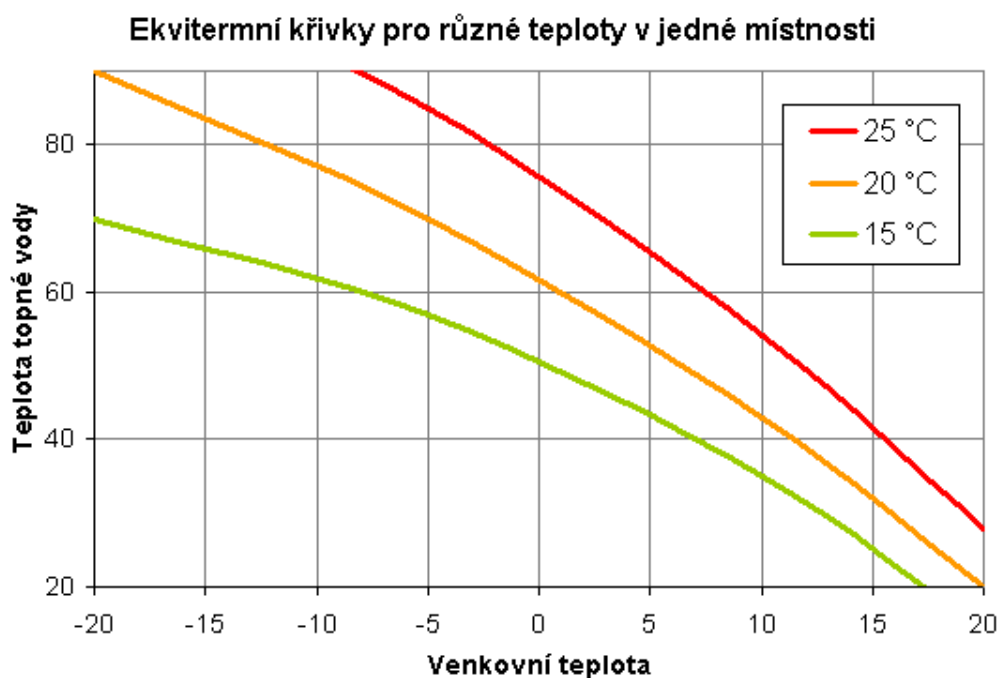
## 2.3. Potřeba tepla pro vytápění

Přesné určení potřeby tepla pro vytápění, které má nahradit tepelné ztráty vytápěných objektů do okolí, se dá provést výpočtem tepelných ztrát podle ekvitemní křivky. Podle této křivky se tepelné ztráty počítají pro nejnižší venkovní výpočtovou teplotu v dané oblasti. V České republice jsou zavedeny pro jednotlivé oblasti a klimatické podmínky venkovní výpočtové teploty (8). Zásobování teplem se může týkat velkého souboru objektů velmi rozdílného stáří, rozdílného technického stavu a různé úrovně tepelně izolačních potrubí. Topná sezóna se zahajuje v okamžiku, když je dva dny po sobě průměrná denní teplota pod 13 °C a nelze očekávat nárůst této teploty následující den. Naopak topná sezóna končí, když dva je dny po sobě venkovní teplota vyšší než 13 °C a podle vývoje počasí nelze očekávat pokles této teploty pro následující den (9).

Pro správný návrh systému na přípravu teplé vody je nevyhnutelné znát průběh jejího odběru. Při současném zlepšování tepelně technických vlastností obalových konstrukcí bytových domů se velmi snížila potřeba energie na vytápění. Optimalizace její přípravy může vést ke značným úsporám energie a snížením nákladů (10).

### Ekvitermní křivka

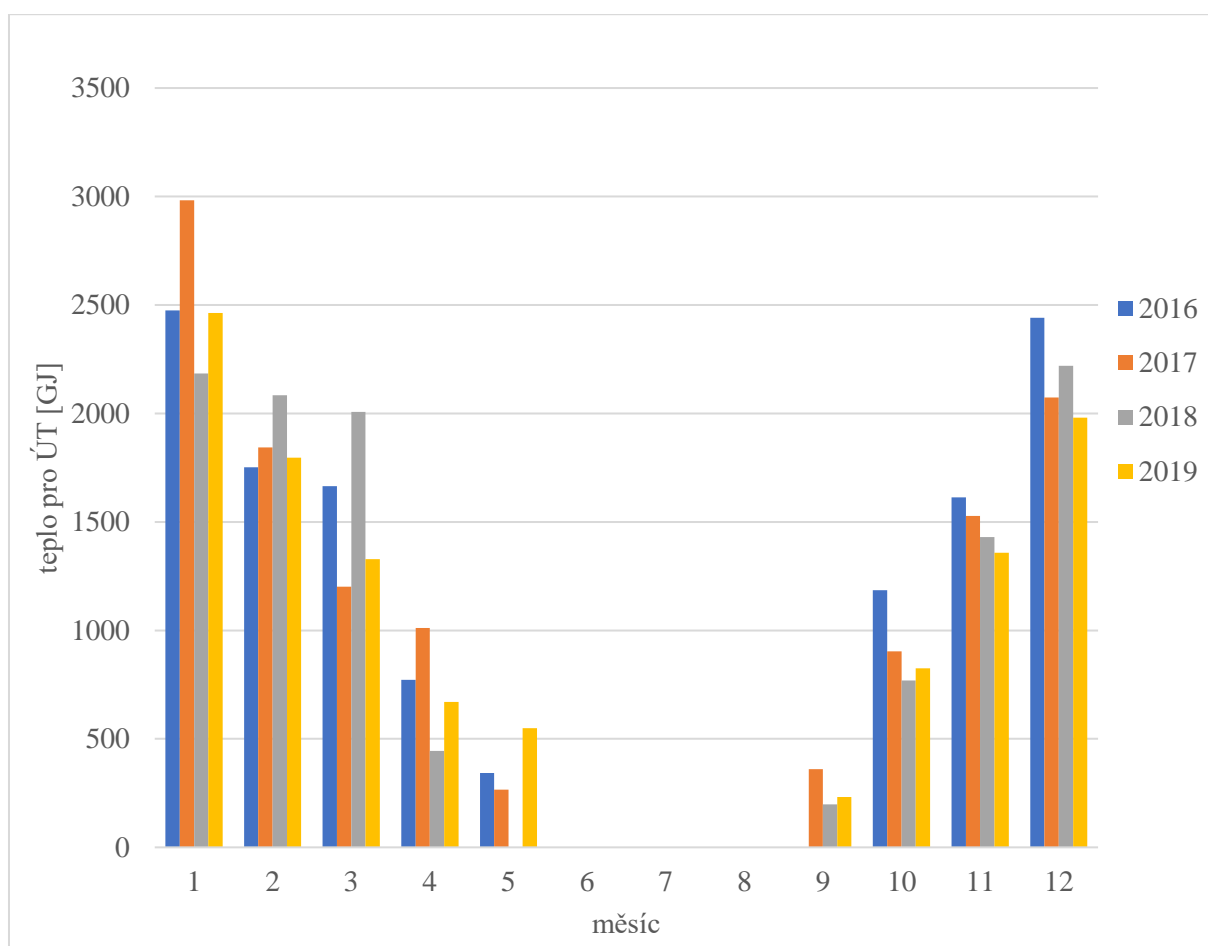
Teplota otopné vody je dána ekvitermní křivkou. V topenářské praxi někdy také nazývané jako topné křivky, popisují vzájemnou závislost topné vody, místnosti a venkovní teploty. Tato křivka je nezbytnou součástí většiny otopných soustav. Pro výpočet parametrů ekvitermní křivky je potřeba znát vstupní údaje. Mezi údaje vstupující do výpočtu patří vnitřní výpočtová teplota, minimální venkovní výpočtová teplota, maximální teplota přívodu otopné vody, maximální teplota zpátečky otopné vody, teplotní exponent soustavy, teplota kondenzačního režimu a uživatelská venkovní výpočtová teplota (11).



Graf 1: Ukázka ekvitermní křivky (12).

## 2.4. Roční odběr tepla určeného pro ÚT

Objem požadovaného tepla pro ÚT se v průběhu kalendářního roku mění na základě venkovní teploty. Teplo do teplovodu je dodáváno jen během topné sezóny, mimo topnou sezonu je teplovod odpojen od zdroje tepla. Zahájení topné sezóny jsem již popsal výše a je zřejmé, že začátek a konec topné sezóny závisí na oblasti a lokálních klimatických podmínkách. Graf č.2 ukazuje měsíční výrobu tepla pro ÚT v posledních čtyřech letech pro popisovanou kotelnu.

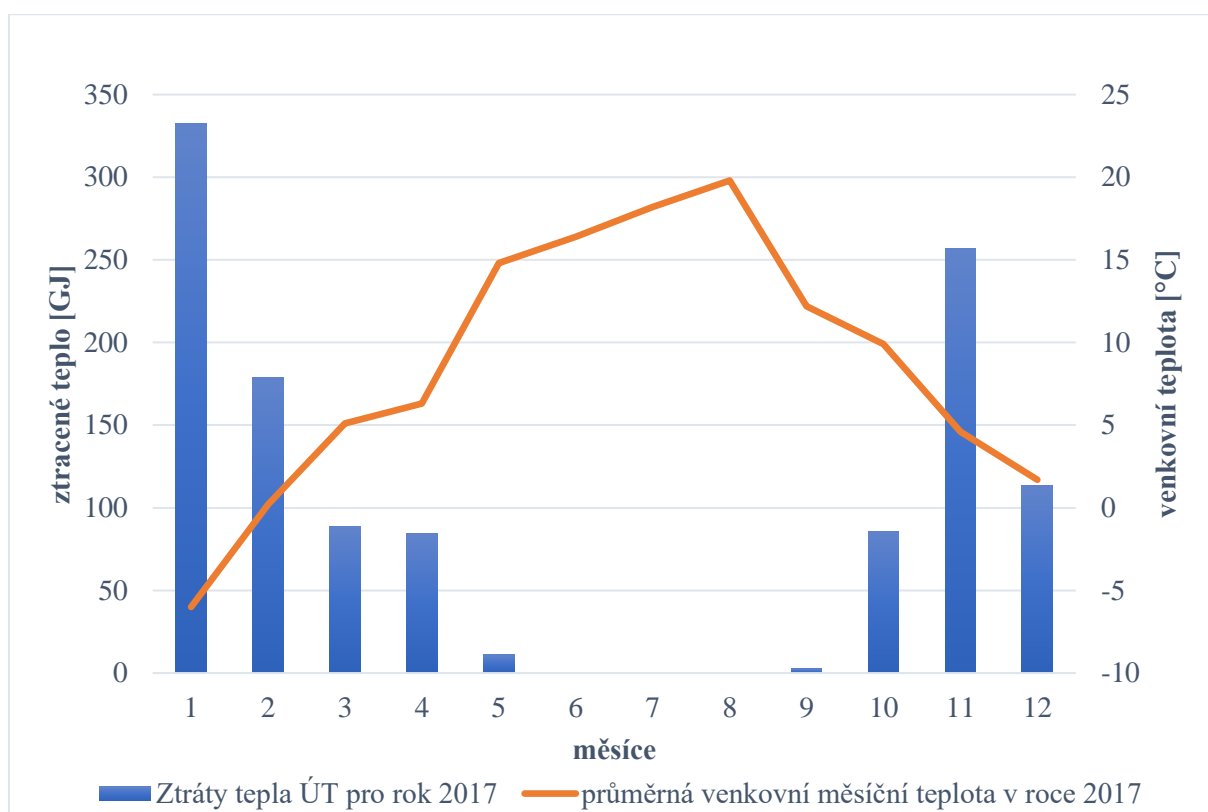


Graf 2: Roční odběr tepla pro ÚT za rok 2016, 2017, 2018 a 2019.

## 2.5. Ztráty tepla v ÚT

Tepelné ztráty v potrubí teplovodu jsou způsobeny vedením tepla jednotlivými vrstvami potrubí a přestupem tepla do okolního prostředí. Velikost ztrát tepla je ovlivněna součinitelem prostupu tepla válcovou stěnou potrubí, délkou potrubí a rozdílem teploty média uvnitř potrubí a teploty v jeho okolí. Ztráty také závisí na přeneseném objemu tepla a zda na začátku sezóny dochází k zatápění tepelné soustavy.

Z grafu č.3 je možné vidět ztráty tepla ÚT pro kotelnu v roce 2017. Největší ztráty jsou v prvním měsíci zahájení topné sezóny, kdy dochází k natápění teplovodu a v nejchladnějších měsících, kdy teplota topného média je vyšší a tím je větší rozdíl teplot média a okolí teplovodu. To má za následek vznik vyšších ztrát.



Graf 3: Ztráty tepla pro ÚT a průměrná venkovní měsíční teplota v roce 2017.

## 2.6. Teplá užitková voda

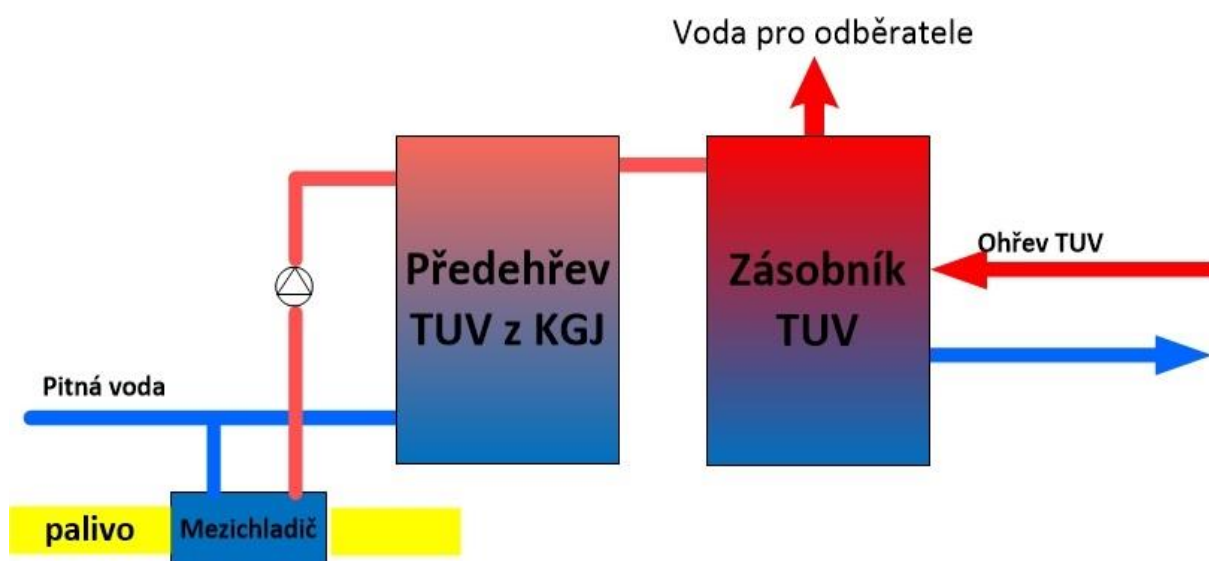
Existují dvě možnosti, jak lze připravit TUV. První z těchto metod je založena na přípravě TUV v kotelně. Pokud z kotelny k odběratelům vedou 4 teplovodní potrubí (2 ÚT a 2 pro TUV), tak je TUV připravována v kotelně. Pro tento účel jsou v kotelně velké zásobníky TUV, kde se připravuje dostačující množství TUV pro pokrytí odběrových špiček během dne. Druhá varianta (v případě 2 trubkového teplovodu) je založena na principu toho, že samotní odběratelé ohřívají lokálně TUV pomocí výměníku tepla, který je napájen teplem z teplovodu (5).

Teplá užitková voda představuje zvláštní kategorii vod, která obsahuje problematiku vod pro energetiku a zároveň její kvalitu předepisuje vyhláška pro pitnou vodu (VMZ 252/2004 Sb.). Vyrábí se výhradně ze standardní pitné vody. Výroba TUV přináší z hlediska úpravy vody problémy s korozi materiálů a zanášení pevnými částicemi, jako jsou například vodní kámen (13).

Úprava se provádí nejčastěji kombinací různých technologických úprav vod (např.: dávkování dezinfekčních prostředků a inhibitorů koroze, změkčování vody). Vzhledem k tomu, že teplota vody je vyšší než 50 °C, se může v potrubních systémech vytvářet množství biofilmů a mikrobiálního oživení (*legionella*). Z těchto důvodů existují požadavky na TUV, aby byla při výrobě upravovaná (13).

## Zásobníky TUV

Zásobník TUV je ohříván teplou vodou z kotlů nebo z KGJ, kde tato „topná“ voda vede potrubím uvnitř zásobníku (tzv. šnek) a ohřívá vodu. Akumulační zásobníky topné vody jsou zásobníky, ve kterých se ukládá momentálně nepotřebná energie z tepelných zdrojů. Tyto zásobníky lze využít pro pokrytí denních odběrových špiček, pro optimalizaci chodu kotle a KGJ nebo pro snížení cyklování kotle a KGJ. Vnitřní povrch zásobníků TUV zásadně rozhoduje o hygieně ohřevu pitné vody. Proto se vyrábí z nerezavějící ušlechtilé oceli pro nejvyšší hygienické nároky. Níže je zobrazen obrázek schématu akumulčního zásobníku TUV a akumulčního zásobníku pro předehřev vody pro TUV (využití nízkopotencionálního tepla z mezichladiče palivové směsi KGJ).

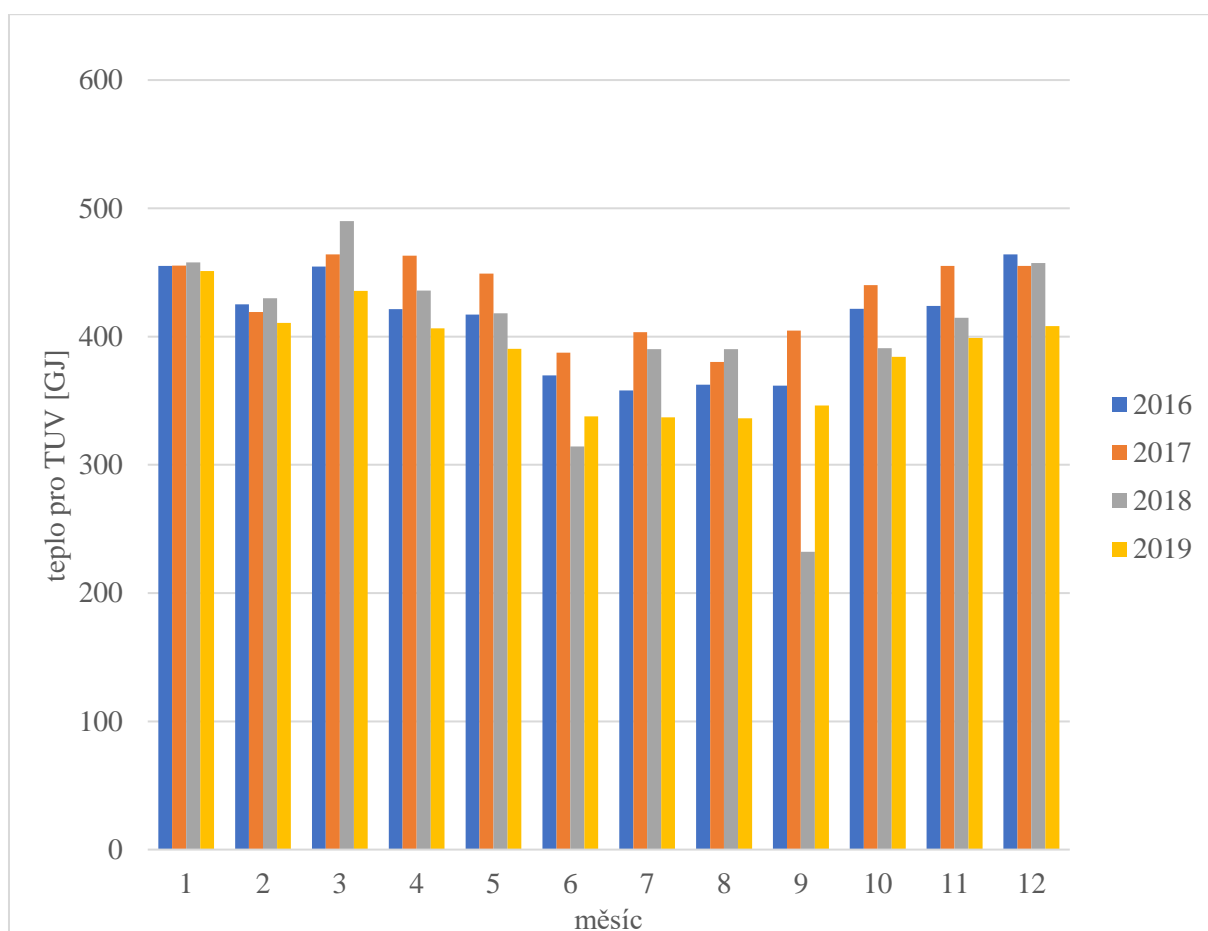


Obrázek 2: Schéma akumulčních zásobníků pro TUV.

## Roční odběr TUV

Odběr teplé užitkové vody se v průběhu roku mění jen nepatrně. Požadavek na TUV je v průběhu celého roku téměř stejný oproti tomu, jak to je pro ÚT. Během sychravých měsíců je spotřeba TUV na obyvatele mírně vyšší a letních měsících je spotřeba mírně nižší z důvodů dovolených. Graf č.4 zobrazuje objem tepla vydaný pro odběr TUV z popisované kotelny v posledních čtyřech letech.

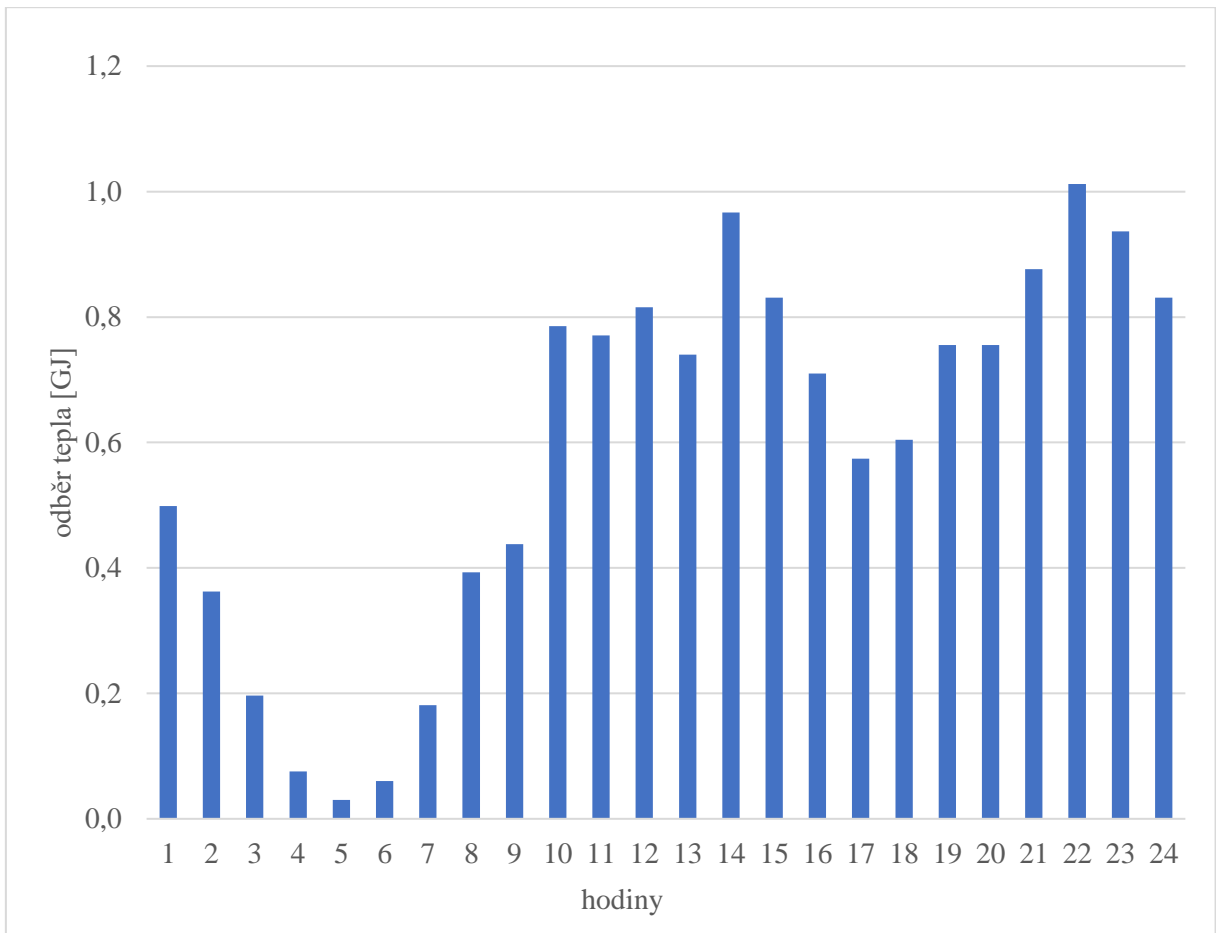




Graf 4: Roční odběr tepla pro TUV za rok 2016, 2017, 2018 a 2019.

### Denní odběr TUV

Odběr teplé vody závisí na denním cyklu odběratelů. Denní křivka odběru teplé vody by se dala rozdělit na křivku v pracovních dnech a o víkendech. Z naměřených hodnot v kotelně byl vytvořen graf, který procentuálně rozděluje objem tepla potřebného na výrobu TUV pro celý den mezi jednotlivé hodiny. Průběh grafu je typický denní průběh TUV. Měření spotřeby tepla potřebného na výrobu TUV během celého dne (24 h), bylo provedeno během listopadu roku 2017. Celková spotřeba tepla pro přípravu TUV za celý listopad činila 440 GJ. Denní průměrná spotřeba tepla pro TUV byla 14,2 GJ. Z grafu č.5 lze vidět, že největší odběr TUV je v odpoledních hodinách a večerních hodinách. V této době dodává kotelna nejvíce tepla. Nejmenší odběr je naopak po půlnoci.



*Graf 5: Denní průběh spotřeby TUV.*

### **3. Kombinovaná výroba elektřiny a tepla**

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla je společná produkce konečných forem energií přeměněných z primární formy v transformačních řetězcích a připravených k využití u spotřebitele. Nejčastějšími formami koncových energií využívaných ve spotřebě je elektrická a tepelná energie (6).

Systém zajišťující výrobu elektrické a tepelné energie v požadovaných parametrech spotřeby se nazývá kogenerační jednotka. Společná transformace primárních energií na energii elektrickou a tepelnou probíhá v KGJ. Typickým příkladem kombinované výroby EE je prostřednictvím plynového a parního oběhu s dodávkou tepla (6). Jelikož se jedná o kotelnu s přívodem plynu, bude dále jen zmínka o výrobě KVET z plynu. Existují dvě varianty KGJ, které fungují na plyn, a to plynové turbíny a plynové spalovací motory. Pro účel mé práce se zmíním jen o druhém zmiňovaném typu.

#### **3.1. KGJ s plynovými spalovacími motory**

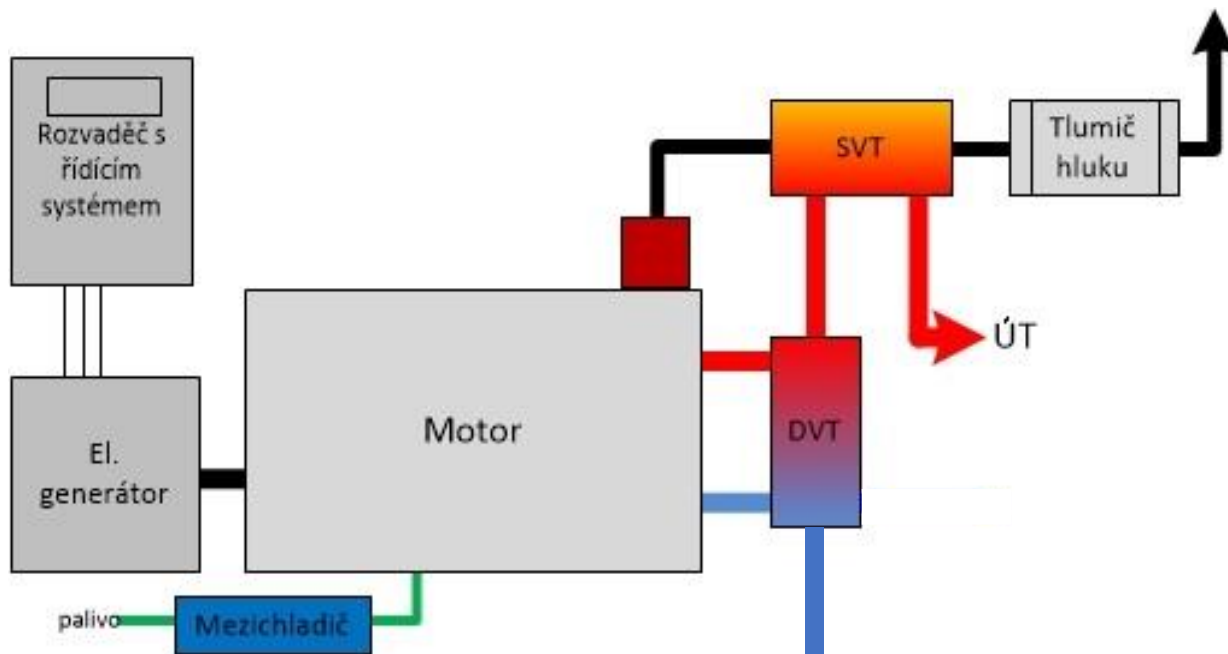
Tyto KGJ patří do skupiny kogeneračních jednotek na zemní plyn, bioplyn nebo další topné plyny. Kogenerační jednotky s plynovým motorem pracují na principu spalování paliva při vysokém tlaku ve válcích. Plynové motory se dokážou rozeběhnout do desítek sekund. Lze snadno změnit jejich požadovaný výstupní výkon. U těchto motorů lze dobře využít potenciál rekuperace tepla. Odpadní teplo může být odebíráno z výfuku motoru a chladicího systému motoru za účelem výroby horké vody nebo nízkotlaké páry.

##### **3.1.1. Zdroje tepla KGJ**

Kogenerační jednotka má 3 využitelné zdroje tepla. Mezi ně patří mezichladič palivové směsi, teplo z bloku motoru a teplo ze spalin. Teplo se přenáší přes speciálně navržené tepelné výměníky do topné vody v kotelně. Tyto tepelné výměníky využívají skutečnosti, že k přenosu tepla dochází, když je rozdíl v teplotě na primární a sekundární straně výměníku. Výměník tepla má studený proud a horký proud, které jsou odděleny tenkou pevnou stěnou a teplo proudí z horkého proudu do studeného proudu. Stěna musí být tenká a tepelně vodivá, aby umožňovala maximální přenos tepla. Stěna však musí být také dostatečně pevná, aby vydržela jakýkoliv tlak z tekutiny. Je běžné, že primární a sekundární okruh nemají stejný tlak v potrubí (5).

### 3.1.2. Popis jednotlivých částí KGJ a příslušenství

Kogenerační jednotka se skládá z několika částí. Každá část systému má svou důležitou roli a bez ní by se nevyužila plná účinnost KGJ. Typicky se dá systém rozdělit na dvě části, a to na výrobu elektřiny a výrobu tepla. Zjednodušené schéma KGJ a jejího příslušenství lze vidět na obrázku č.3, kde jsou uvedena jména jednotlivých příslušenství.



Obrázek 3: Zjednodušené schéma KGJ.

#### Motor KGJ

Nejčastějším typem motorů na plyn u KGJ jsou motory pístové. Pracují spolehlivě v širokém teplotním rozsahu a snadno se ovládají a udržují. Velké množství plynových motorů používá čtyřtaktní cyklus, skládající se ze sání, stlačení (komprese), zážehu (expanze) a výfuku. Během sacího zdvihu se píst pohybuje směrem dolů, když se sací ventil otevírá a horní část válce se plní palivem a vzduchem. Píst se vrací nahoru během stlačovacího cyklu a stlačuje směs paliva a vzduchu. Když je píst v blízkosti horní části válce, zapalovací svíčka vydá jiskru, aby zapálila směs, čímž dochází k rychlé expanzi plyné směsi, kde potom dojde k vytlačení pístu dolů a otočení klikové hřídele. Na hřídeli motoru je připojen elektrický generátor. Jakmile píst zvedne válec znovu během výfukové fáze, výfukový ventil se otevře, což vyloučí z válce výfukové plyny (5).

#### Mezichladič palivové směsi

Jedná se o výměník tepla, který se nachází za turbodmychadlem. Při stlačení palivové směsi pro motor dochází k jejímu ohřátí a vzniklé teplo je potřeba odebrat. Z tohoto důvodu je instalován mezichladič palivové směsi, který u KGJ o jmenovitém výkonu 1 000 kW má tepelný výkon zhruba

kolem 80 kW na tepelném spádu 37/42 °C. Takto nízkou teplotu lze využít jen na přehřev vody pro TUV (studená pitná voda o teplotě cca 8 °C je přes tento výměník ohřívána na teplotu až 40 °C).

V případě, že kotelna disponuje pouze dvoutrubkovým rozvodem a TUV se lokálně nepřipravuje, je tento tepelný výkon mařen do okolí přidavným chladičem a tím je bohužel snižována celková účinnost KGJ. Toto teplo představuje přibližně 6 % z celkové tepelné energie odebírané z KGJ. V současné době mají KGJ část tohoto tepelného výkonu přeměrováno do tepla bloku motoru či tepla spalin.

### **Teplo z motoru**

Spalovací motor KGJ se musí chladit. Nejčastěji je systém motoru chlazen pomocí chladicího okruhu s deskovým výměníkem tepla (DVT). V praxi je žádoucí, aby chladicí okruhy byly samostatné a aby obsahovaly přísady, které zabraňují usazování nečistot a korozi. Kvůli tomu se jako chladicí kapalina pro motor používá speciální směs, která má vhodné parametry. Okruh prochází chladicími cestami v bloku motoru. Ohřátá směs pak odevzdává teplo do otopné vody přes DVT (5). Na běžícím motoru se udržuje teplota kolem 92–94 °C (teplota je daná výrobcem pro dosažení účinnosti a předepsaných emisí) a teplotní spád DVT je nastaven na 80/92 °C. Teplo získané z DVT se pohybuje kolem 46 % tepla z celkového tepla z KGJ.

### **Využití tepla spalin**

Pomocí spalinového výměníku jsou spalinové plyny vychlazeny před vstupem do tlumiče hluku spalin. Spaliny vycházející z motoru mají přibližně 450 °C. Pomocí SVT je odebíráno teplo a spalinové plyny jsou dochlazeny až na 130 °C. Chlazené emisní plyny pak procházejí tlumičem hluku spalin, výfukovým potrubím a komínem a poté jsou vypouštěny do atmosféry. Tato forma získávání tepla ze spalin nemění složení výfukového plynu. Z pohledu ekonomiky ale platí, že je ideální vychladit spalinové plyny co nejvíce, aby se využilo, co nejvíce tepelné energie. Tyto výměníky tepla spalin bývají velkých rozměrů, protože nižší teplota výfukových plynů vyžaduje větší plochu pro přenos a odebrání tepla. Díky řízení průtoku chladicí vody na spalinovém výměníku tepla lze vodu regulovat na požadovanou výstupní teplotu (5).

### **Tlumič hluku spalin**

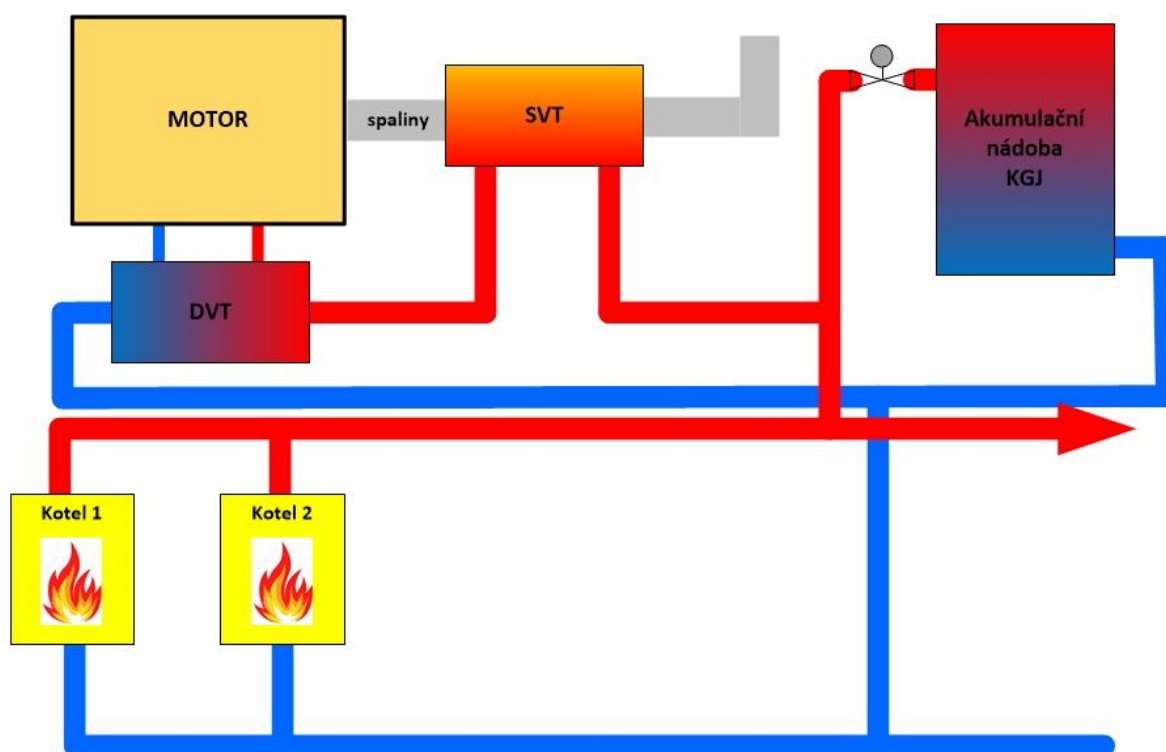
Je-li KGJ v provozu, je rovněž nutno brát v úvahu vliv hluku na okolní či sousedící prostory. Nařízením vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací jsou stanoveny přípustné hodnoty hluku v definovaných prostorech, které jsou odvozené od základní maximální přípustné hodnoty hluku 85 dB (6).

Hluk je produkován nejen samotnou KGJ, ale i rychle proudícími pracovními látkami (spalinami). U většiny plynových turbín a motorů může být nutné zabudovat do výfukového systému tlumič jednotku, aby se minimalizovala hladina hluku vyprodukovaná z místa vypouštění výfukových plynů. V některých případech poskytuje výměník tepla spalin dostatečný útlum hluku pro hlavní

výfukové plyny. V ostatních případech, kdy je hluk důležitým hlediskem, může být nutné umístit tlumič hluku spalin na výfukové potrubí.

### Akumulační nádoba topné vody

Pro provoz KGJ je potřeba z důvodu větší optimalizace provozu instalovat akumulaciční nádobu/nádoby tepla. Akumulační nádoba umožňuje oddělit výrobu tepla a jeho spotřebu časově. Slouží pro dočasné uložení nadbytečného tepla a je výhodná pro okamžitou dodávku akumulovaného tepla v době, kdy je potřeba. Tím je možné vzájemně optimalizovat výrobu tepla a efektivně využít alternativní zdroje tepelné energie s maximální možnou účinností, což zvyšuje ekonomičnost provozu.

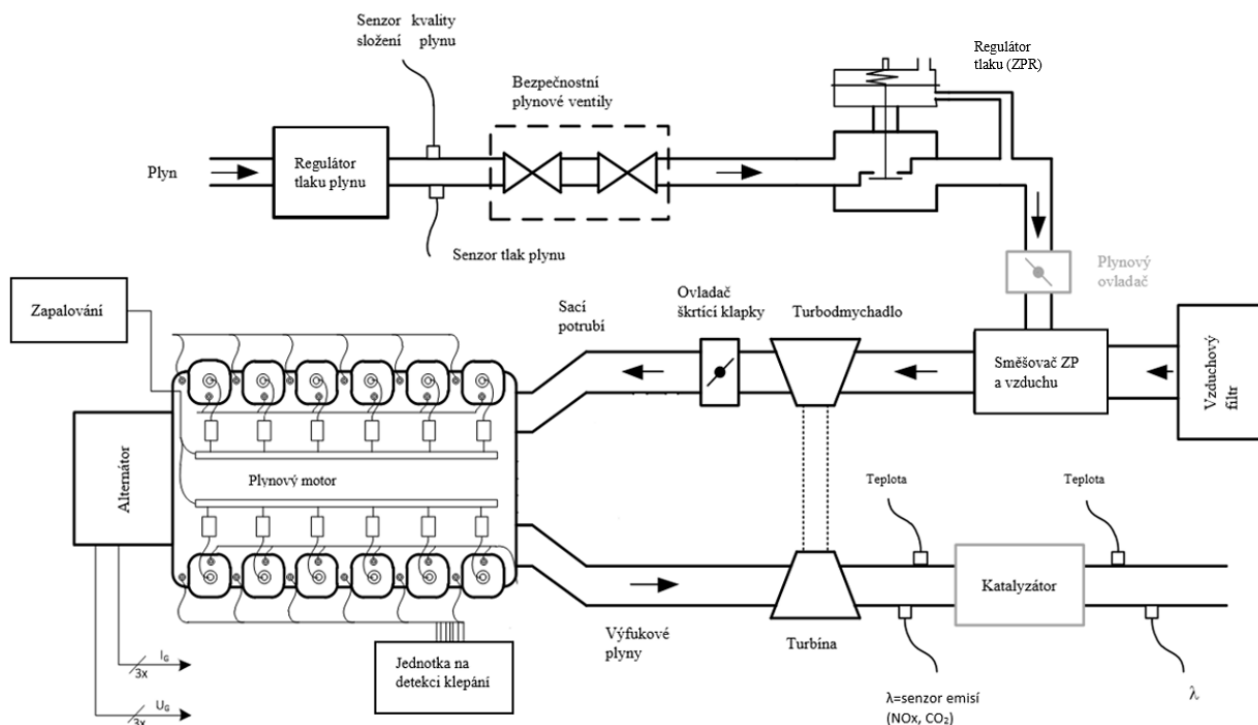


Obrázek 4: Schéma akumulaciční nádoby a KGJ.

### Přívod paliva do motoru.

Mezi plynovou přípojkou kotelnou a KGJ je zapotřebí, aby došlo k úpravě tlaku plynu a jeho namíchání se vzduchem. Na obrázku č.5 je zobrazeno schéma spalovacího motoru, na kterém lze vidět přívod paliva do motoru. Pomocí regulátoru tlaku plynu lze přívodní plyn regulovat na požadovaný tlak. Tlak je regulován na tlak podle typu instalovaného motoru. Z důvodu bezpečnosti jsou na vstupu do motoru vždy nainstalované dvojité bezpečnostní plynové ventily. Ty slouží k bezpečnému uzavření přívodu plynu v případě zastavení. Dále jde plyn přes zero pressure regulátor (ZPR), který udržuje tlak na výstupu na nule i při změně požadavků na průtok. Plynové ovladače se instalují před samotným směšovačem. Jsou to pohonné prostředky, pomocí kterých může být ventil automatizován tak, že pro cyklování ventilu není nutná žádná interakce člověka s částmi ventilu. Plynové ovladače mohou být

řízeny na dálku a mohou fungovat jako vypínací mechanismy v případě nouzové situaci. Velmi důležitým komponentem pro správnou přípravu paliva do motoru je směšovač plynu a vzduchu. Jedná se o mechanické zařízení, které funguje na principu venturiho efektu. Tím je zajištěno smíchání vzduchu-paliva ve správném poměru. Toto zařízení je tedy instalováno pro přivádění plynného paliva do nasávaného vzduchu motoru.



Obrázek 5: Schéma spalovacího motoru KGJ (15).

## Princip řízení plynového motoru

Řídit KGJ není jednoduché a je zapotřebí mít zařízení, které zajistí správný chod celého systému. Takovým zařízením je řídicí jednotka (CU). Ta je schopna ovládat, monitorovat a ochránit KGJ jak z pohledu motorové, tak elektrické části a také řídit tepelné hospodářství motoru (ventily, čerpadla atd). Dále tyto řídicí jednotky mají připojeno mnoho měřících sensorů, pomocí kterých jsou schopné měřit jednotlivé generátorové nebo síťové parametry, kterými jsou např: napětí, proud, frekvence a fázový posun. Lze je využít i pro sledování různých parametrů jako jsou emise plynu či spotřebu paliva. Řídicí jednotka tedy může řídit celou KGJ a významně pomoci při optimalizaci výroby tepla a EE a tím snížit náklady na energii, snížení dopadu na životní prostředí a splnění energetických požadavků.

## **3.2. Instalace KGJ do tepelného hospodářství**

Provedená instalace KGJ do popisovaného tepelného hospodářství kotelny bude popsána níže. Instalace KGJ je podmíněna mnoha podmínkami a samotná instalace a spuštění KGJ obnáší mnoho věcí. Každé místo, které vyžaduje zásobování teplem je potenciálně životaschopným místem pro KJET a instalaci KGJ, což platí i pro popisovanou kotelnu. Před instalací KGJ by se vždy mělo předem zvážit, zda KGJ bude nákladově efektivním řešením. Návrh KGJ musí být proveden tak, aby jeho technické a ekonomické parametry vyhovovaly požadavkům na teplo i elektrickou energii konkrétnímu místu instalace. Kogenerační jednotka v popisované kotelně sice již byla instalována před třemi lety, ale bude zde popsáno, co předcházelo její instalaci krok za krokem.

### **3.2.1. Nutné podmínky pro instalaci**

Aby mohla být KGJ nainstalována do tepelného hospodářství, musí být splněny tyto podmínky: dostatečná kapacita plynu, možnost vyvedené elektrického výkonu do distribuční soustavy, splnění emisních a hlukových limitů a dostatečné místo na instalaci KGJ a jejího příslušenství v daném místě.

Dále je nutno uvést, že instalace KGJ není jen záležitostí přivezení KGJ na místo a jejího připojení, ale obnáší také náročný legislativní proces povolování. Instalace technologie KGJ se všemi příslušnými povoleními se stává komplexním projektem, který zabere mnoho měsíců.

#### **Místo na KGJ a příslušenství**

Jedna z nejčastěji opomíjených věcí je dostatečné místo na instalaci KGJ. Hodně lidí si představí jen samotnou KGJ (jen motor s generátorem) a usoudí, že se vždy někde v kotelně vejde. Bohužel příslušenství KGJ jako jsou výměníky tepla, tlumič hluku spalin, vzduchotechnika s útlumem hluku nebo samostatná místnost pro VN transformátor, VN rozvaděče či řídicí rozvaděče, zaberou mnohem více místa než KGJ samotná. Je ještě zapotřebí myslet na místo pro akumulční zásobníky a AN tepla. V případě malého místa je potřeba „vtěsnat“ KGJ do kotelny, což značně zvyšuje investiční náklady (5).

#### **Dostatečná kapacita plynu**

Pro možnost instalace KGJ je zapotřebí vědět, jestli je v místě instalace dostatečně velký přívod paliva. Pokud současná plynová přípojka není dostatečná, je potřeba zjistit možnost jejího navýšení a následně počítat s touto investicí. Pro představu lze uvést příklad na plynovém kotli o tepelném výkonu 1 MWt. Plynový kotel o tepelném výkonu 1 MWt má příkon v palivu (plynu) přibližně 1,1MW. KGJ se stejným tepelným výkonem bude mít příkon 2,4MW v plynu. Je to způsobeno tím, že část energie z paliva jde na výrobu tepla a část jde na výrobu elektřiny. Váha rozložení paliva na teplo a elektřinu je dána tepelnými výkony KGJ (přibližně 50:50).



## **Možnost vyvedení elektrického výkonu do elektrické distribuční soustavy**

V České republice není žádná lokalita, která by byla nepřipojená k DS a fungovala by v ostrovním režimu. Je tedy potřeba mít pro všechny instalace v ČR povolení provozovatele lokální DS pro připojení KGJ. To platí i pro případy, kdy by se všechna EE spotřebovala v kotelně, neboť provozovatel DS na základě žádosti o připojení k DS provádí výpočet, kterým ověří stabilitu sítě v případě připojení či odpojení KGJ. V případě schválení připojení KGJ k DS jsou provozovatelem DS stanoveny podmínky pro připojení (požadavky na transformátor a VN řídicí a ochranné prvky).

Požadavky na propojení s veřejnými rozvodnými sítěmi závisí na mnoha faktorech. Je-li KGJ integrována do systému, je třeba brát v úvahu řadu faktorů, jako jsou řízení a monitorování, měření, ochrana, stabilita, napětí, frekvence, synchronizace a reaktivní kompenzace účinníku, bezpečnost, energetický systém nevyváženosti, nesymetrie napětí a vyšších harmonických (5).

### **Splnění emisních limitů**

Každé zařízení, které funguje na bázi fosilních paliv, produkuje emise. Požadavek je, aby tato produkce byla omezována a aby nedocházelo k velkému znečištění ovzduší. Množství každoročně vypouštěných emisí se limituje pro vypuštění emise oxidu uhelnatého, uhlovodíků, oxidů dusíku a prachových částic. Tyto limity jsou dány krajskou hygienickou stanicí a jsou kontrolovány, aby nedocházelo k nadměrné produkci. V případě, že motor KGJ nesplňuje předepsané emisní limity, je potřeba doplnit na výfukové plyny zařízení, které omezí vypuštěné množství emisí. Jedná se například o box s močovinou nebo katalyzátor. V případě, že by kotelna nesplňovala stanové emisní limity, hrozí ze strany krajského ústavu vysoké peněžní sankce.

### **Splnění hlukových limitů**

Pro hlukový limit je důležité brát v potaz vnitřní a vnější hluk. Denní limit hluku v chráněném venkovním prostoru staveb je 50 dB a pro noční limit je hodnota stanovena na 40 dB. Chráněný venkovní prostor staveb představuje prostor do vzdálenosti 2 m před částí obvodového pláště, významný z hlediska pronikání hluku zvenčí do chráněného vnitřního prostoru bytových domů, rodinných domů, staveb pro předškolní a školní výchovu a vzdělávání, staveb pro zdravotní a sociální účely, jakož i funkčně obdobných staveb (14).

Kogenerační jednotka je při plné zátěži schopna vydat vzdušný hluk 100,5 dB. Musí se dbát na to, aby se tento hluk ztlumil. Proto před vytvořením projektu na instalaci KGJ se zpravidla dělá hluková studie, ze které vyplynou požadavky na útlum jednotlivých částí instalace (tlumič hluku spalin, vzduchotechnika nebo stěny místnosti s KGJ). Při vytváření studie se pečlivě pracuje s aktuálním stavem místa (kotelny), kam má být technologie KGJ umístěna a jsou brány v úvahu typy konstrukcí budovy atd.

Nejlepším možným způsobem je správná izolace budovy a instalace tlumících materiálů/zařízení, aby se hluk neprojevoval venku a neovlivňoval zdraví občanů žijících poblíž. Měření hluku se uskutečňuje při kolaudaci KGJ na základě požadavku dotčené hygienické stanice. Jeho rozsah je stanoven po konzultaci se specialisty na základě požadavků hygienické stanice (14).

### **Podpora a dotace**

Mimo výše uvedených podmínek je pro toho, kdo chce KGJ instalovat, důležitá statní podpora. Vláda České republiky podporuje rozvoj KVET, protože je to jeden z nejúčinnějších způsobů snižování úrovní emisí a dosažení stanovených národních cílů a splnění pařížského závazku v oblasti klimatu. Podpora poskytovaná státem by měla umožňovat rozvoj vysoce účinné kogenerace, zajišťující úsporu primárních zdrojů větší než 10 % vzhledem k jiným možnostem dodávky energie.

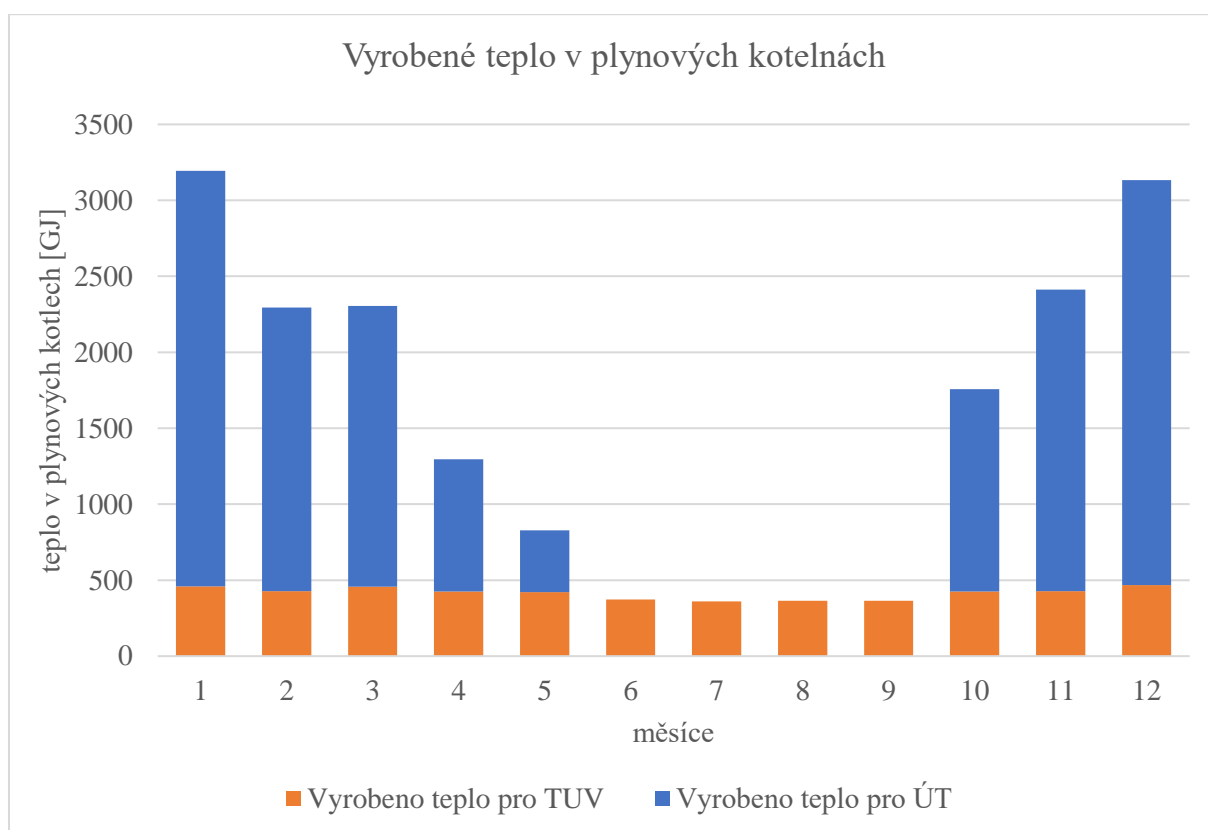
Podpora KVET je závislá na provozní době systému. Čerpání podpory je možné na základě zvoleného tarifu zeleného bonusu. Tarify zeleného bonusu 3 000/4 400 h (při nominálním zatížení) za rok jsou odlišné. Pro roční provoz 3000 h za rok je dotace za každou vyrobenou MWh vyšší než u provozu 4 400 h za rok. V případě uznání podpory KVET na instalovanou KGJ (provádí se po kolaudaci jednotky) je podpora garantována na 15 let. Výše podpory se každý rok mění dle podmínek na trhu (cena plynu, cena elektřiny) a cenové rozhodnutí je vydáváno ERÚ.

#### **3.2.2. Návrh velikosti KGJ a příslušenství**

Velikost KGJ se určuje podle ročního objemu vyrobeného tepla v kotelně a zohledňuje se dle pravidel podpory KVET, která je v současné době vypsána pro více kategorií dle výkonu KGJ (0-200 kWe, 200-1 000 kWe a 1 000-5 000 kWe). Pro stanovení velikosti KGJ je potřeba:

- Mít data výroby tepla pro celý kalendářní rok – alespoň po měsících.
- Stanovit si, zda dle KVET bude provoz KGJ 3 000 h nebo 4 400 h plného výkonu za rok.
- Dle dat z již běžících KGJ je známo, že KGJ by měla vyrobit cca 50-60 % ročního objemu tepla, zbytek tepla by byl pokryt z plynových kotlů. Pokud by KGJ vyrobila větší podíl ročního tepla, tak by PK byly využity jen na špičkování (pokrývání odběrových špiček tepla, kdy KGJ nestačí dodávat teplo). To by mělo za následek velmi nevhodný provoz PK a jejich malou sezónní účinnost.
- Je potřeba vědět, zda se bude KGJ kolaudovat i pro noční provoz (zde je lepší uvažovat nad horší variantou a s nočním provozem nepočítat, neboť se může stát, že utlumení KGJ pro noční provoz nebude možné či bude znamenat nepřiměřené náklady)

Velikost KGJ se navrhovala z výroby tepla v roce 2016 (nebo z průměrů za roky 2014-2016). V roce 2016 byla roční výroba tepla v kotelně 18 684 GJ. Graf č.6 zobrazuje, kolik bylo vyrobeno tepla pro TUV a pro ÚT v jednotlivých měsících. Výroba tepla v plynových kotlech byla pro výrobu TUV po celý rok zhruba stejná.



Graf 6: Měsíční výroby tepla pro rok 2016.

Při stanovení velikosti KGJ se bere v úvahu, kolik se ročně vyrobilo tepla v kotelně. Podle toho by se měl roční objem tepla z KGJ pohybovat mezi 50-60 % celkového ročního vyrobeného tepla, ale vždy záleží na konkrétním případě (městská kotelna a průmyslový podnik mohou mít stejný roční objem výroby tepla, ale měsíční výroby mohou být velmi rozdílné a mohou vést na zcela jinou velikost KGJ).

Je možné, aby KGJ vyrobila i více tepla, ale je důležitý pohled na ekonomiku celé kotelny, neboť nadměrná výroba tepla v KGJ může vést k neekonomickému provozu PK a tím snížení jejich účinnosti výroby tepla, což může mít významný ekonomický dopad, který může vzít celý ekonomický přínos KGJ. To znamená, že u obou typů tepelných zdrojů je optimální dlouhodobý provoz na zatížení blízkému jejich nominálnímu výkonu. Pokud se bude chtít maximalizovat výroby tepla v KGJ i za cenu zapínání na krátké časové úseky, tak to bude znamenat mnoho startů KGJ, snížení účinnosti výroby tepla najížděním KGJ na plný výkon nebo provoz KGJ o nižším výkonu, než je nominální.

Nyní již ke stanovení velikosti KGJ. Z pohledu kotelny je důležitý tepelný výkon a z pohledu KVET je potřeba se koukat na elektrický výkon. Pro stanovení velikosti tepelného výkonu KGJ se vychází z roční výroby tepla v kotelně. Roční výroba tepla v roce 2016 byla 18 850 GJ. Dle předpokladu očekávám, že KGJ vyrobí ročně polovinu potřebného tepla (50 % z 18 850 GJ = 9 425 GJ) a provoz KGJ bude 3000 h ročně. Je potřeba převést 9 425 GJ na MWh ( $9\,425 : 3,6 = 2\,618$  MWh). Tento

roční objem tepla se vydělí ročním provozem 3000 h plného provozu dle KVET a vyjde tepelný výkon KGJ 872 kWt.

Vychází, že KGJ by měla mít tepelný výkon přibližně 872 kWt. Nyní se provede kontrolní výpočet provozních hodin KGJ, zda zvolená velikost KGJ je vhodná z pohledu měsíčních výrob v konkrétní kotelně. Každá kotelná má jinou měsíční výrobu a pokud kotelná dodávala teplo jen například 4 měsíce v roce, tak při stejném objemu tepla by bylo nemožné najet s KGJ 3000 hodin. Tabulka č.2 ukazuje ověřovací výpočet, kterým se provede výpočet maximálního možného ročního provozu při tepelném výkonu 872 kW.

KGJ s tepelným výkonem 872 kW						
Měsíc	Měsíční výroba [MWh]	Počet dní v měsíci	Průměrná denní výroba [MWh]	Možný denní provoz dle denní výroby KGJ [h]	Denní provoz KGJ [h]	Najetých hodin za měsíc [h]
Leden	892,8	31	28,8	33,0	16,0	496
Únor	644	28	23	26,4	16,0	448
Březen	644,8	31	20,8	23,9	16,0	496
Duben	369	30	12,3	14,1	14,1	423
Kveten	223,2	31	7,2	8,3	8,3	257
Červen	111	30	3,7	4,2	4,2	127
Červenec	96,1	31	3,1	3,6	3,6	110
Srpen	99,2	31	3,2	3,7	3,7	114
Září	93	30	3,1	3,6	3,6	107
Říjen	496	31	16	18,3	16,0	496
Listopad	663	30	22,1	25,3	16,0	480
Prosinec	883,5	31	28,5	32,7	16,0	496
					Celkem:	<b>4 050</b>

Tabulka 2: Data potřebná k výpočtu hodin projezdu KGJ o tepelném výkonu 872 kW.

Vezme se měsíční výroba tepla, pro každý měsíc se spočítá denní průměrná výroba tepla v měsíci a reálně se uvažuje jen o denním provozu (bez provozu v nočních hodinách mezi 22 až 6 h). Následně se podělí denní výroba tepla tepelným výkonem KGJ (872kWt) a vyjde denní provoz KGJ. Ten se následně v dalším sloupci limituje 16 hodinami, kde je denní doba od 6 až do 22 h. Poté se za každý měsíc spočítá možný provoz při takto velké KGJ. Vychází, že takto velká KGJ by v roce 2016 mohla běžet **4 050 hodin**.

Tím, že se chce provoz 3000 h plného provozu z pohledu KVET, tak je vidět, že při této velikosti je ještě rezerva a tepelný výkon KGJ by mohl být větší. Při odhadu je dobré stanovit velikost KGJ tak, aby vyšel možný provoz přibližně 3500 hodin za rok. To je z toho důvodu, aby byla k dispozici rezerva

pro případ teplejšího roku či výskytu poruchy KGJ, která by znemožnila například v zimním období běžet 2 týdny, což je zhruba 224 hodin.

Jelikož vyšlo, že při tepelném výkonu 872 kWt je možný roční provoz 4 050 h. Tento tepelný výkon zapadá i do velikostí KGJ pro KVET, kde jsou podporované KGJ s nominálním elektrickým výkonem maximálně 200–1000 kWe. Dle aktuální nabídky na trhu, bylo rozhodnuto provést další výpočet pro KGJ s elektrickým výkonem 999 kWe, která má tepelný výkon 1050 kWt. Tabulka č.3 ukazuje výpočet pro KGJ s tepelným výkonem 1050 kWt.

KGJ s tepelným výkonem 1050 kWt						
Měsíc	Měsíční výroba [MWh]	Počet dní v měsíci	Průměrná denní výroba [MWh]	Možný denní provoz dle denní výroby KGJ [h]	Denní provoz KGJ [h]	Najetých hodin za měsíc [h]
Leden	892,8	31	28,8	27,4	16,0	496
Únor	644	28	23	21,9	16,0	448
Březen	644,8	31	20,8	19,8	16,0	496
Duben	369	30	12,3	11,7	11,7	351
Kveten	223,2	31	7,2	6,9	6,9	212
Červen	111	30	3,7	3,5	3,5	107
Červenec	96,1	31	3,1	3,0	3,0	92
Srpen	99,2	31	3,2	3,0	3,0	94
Září	93	30	3,1	3,0	3,0	89
Říjen	496	31	16	15,2	15,2	471
Listopad	663	30	22,1	21,0	16,0	480
Prosinec	883,5	31	28,5	27,1	16,0	496
Celkem:						<b>3 832</b>

Tabulka 3: Data potřebná k výpočtu hodin projezdu KGJ o tepelném výkonu 1050 kWt.

KGJ s tepelným výkonem 1050 kWt je možné provozovat v kotelně **3 832 h ročně**, což je i s rezervou v pořádku. Při této velikosti by KGJ vyrobila ročně zhruba 60 % z dosavadního ročního objemu tepla v kotelně, při ročním provozu 3000 h dle KVET. Velikost této KGJ s tepelným výkonem 1 050 kWt je tedy v pořádku.

### 3.2.3. Určení velikosti akumulční nádoby

Dle výrobce KGJ a servisní smlouvy je stanoveno, že KGJ se musí zapínat vždy na nejméně 2 hodiny provozu a na minimálně 50 % nominálního elektrického výkonu. Pro optimalizaci provozu KGJ a těchto pravidel je vhodné mít u KGJ akumulční nádobu (AN), která dokáže akumulovat teplo z KGJ při běhu KGJ na nominálním výkonu po dobu 2 hodin. Je to i pro případ, kdy je potřeba vyrábět

EE a není žádný aktuální požadavek na teplo. Akumulační nádoba se tedy dimenzuje na základě tepelného výkonu KGJ, průměrné roční teploty vratné vody a teploty na kterou se bude voda ohřívat do AN.

Vstupy pro výpočet:

$c$ ...měrná tepelná kapacita vody ( $4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )

$Q$ ...tepelná energie KGJ vyrobená za 2 hodiny ( $2 * 514 + 2 * 520 = 2068 \text{ kW} = 7,445 \text{ GJ}$ )

$t_2$ ...teplota na výstupu do akumulace (90 °C)

$t_1$ ...teplota na vstupu do výměníku akumulace (65 °C)

$\rho$ ...hustota vody (pro teplotu vody 80 °C je hustota vody  $971,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )

$V_{AN}$ ...objem akumulace KGJ

$$V_{AN} = \frac{Q}{c * (t_2 - t_1) * \rho}$$

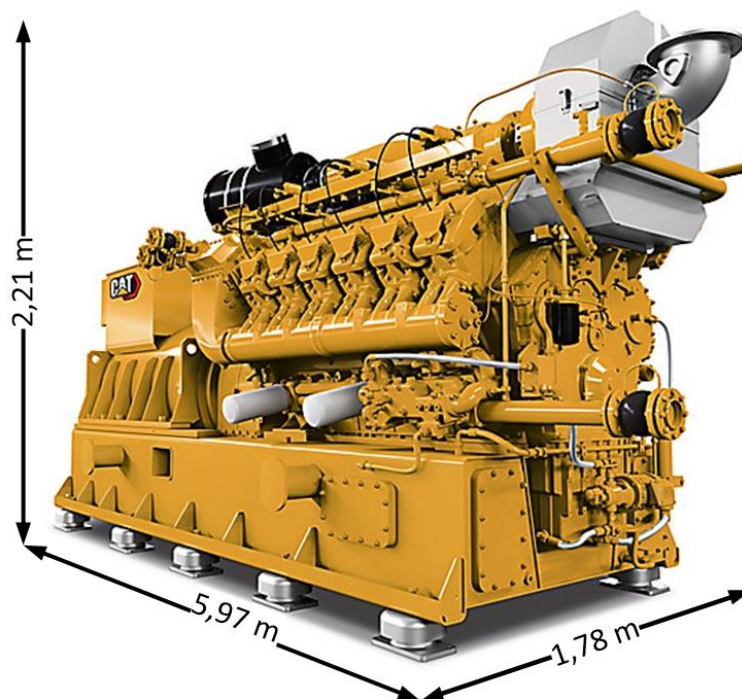
Takový výpočet se může považovat za vhodný k základní orientaci. Nerespektuje však měnící se podmínky v otopné soustavě, aktuální přebytek výkonu KGJ nebo časové souvislosti. Z výpočtu vychází, že požadovaný objem by měl být  $73,3 \text{ m}^3$ .

### **3.2.4. Popis částí instalované KGJ**

Jakmile se získá představa o tom, jaký typ KGJ bude nainstalovaný, je poté možné na bázi toho vybírat další podstatná zařízení, která jsou nezbytná pro správnou funkci a zároveň dodržování požadovaných parametrů nastavených normami či vyhláškami. Níže bude ukázka všeho, co by se mělo brát v potaz při stanovení rozpočtu. Také budou popsány některé vybrané technologie a jejich parametry.

#### **Zvolená KGJ**

Zvolená KGJ pro instalaci v roce 2017 je od společnosti CAT Zeppelin. Jedná se o typ BOOMEL NAT GAS 999, který má nominální elektrický výkon 999 kWe. Motor má 12 válců. Celá váha motoru s generátorem bez paliva činí kolem 13 tun a velikosti KGJ je  $23,5 \text{ m}^3$ . Při plné zátěži je vyrobené teplo z chladicí vody motoru 520 kW a teplo získané z mezichladiče činí zhruba 82 kW. Teplota spalin může dosahovat až 455 °C, kde získané teplo spalin při teplotě zpětného chlazení vychází na 514 kW. Podle technického listu je příkon v palivu motoru přesně 2 334 kW. Celková elektrická a tepelná účinnost vychází na 87,1 %.



Obrázek 6: KGJ od společnosti CAT nainstalovaná v kotelně (16).

### **Akumulační nádoby**

Akumulační nádoba slouží hlavně jako tepelný zásobník, který lze využít buď na odběrové špičky nebo pro letní období, kdy KGJ během 2 hodin provozu připraví tepelnou energii na ohřev TUV na celý den. Požadovaný objem akumulčních nádob by se měl pohybovat nad 73,3 m<sup>3</sup>. Do kotelny se nainstalovaly tři 26 m<sup>3</sup> akumulční nádoby, které jsou schopné dohromady akumulovat vyrobené teplo z KGJ. Akumulované teplo je například využíváno při vykřívání denních špiček, které lze vidět v grafu č.5. (Denní průběh TUV).

### **Stavební úpravy**

Pokud je v kotelně dostatek místa, tak se z pravidla umísťuje KGJ s veškerým příslušenstvím do kotelny. KGJ bývá umístěna v samostatné místnosti z důvodu nadměrného hluku. Pod KGJ je potřeba mít kvalitní betonový základ, který tlumí vibrace. Základová deska (kvádr) je přibližně velký jako KGJ a má cca 1 m do hloubky. KGJ je buď instalována v kapotovém provedení, to znamená s hlukovou izolací, nebo se dělá hluková izolace celé místnosti, kde se udělá jakási vnitřní stěna a mezi tuto novou a původní stěnu se vloží izolace. Samozřejmostí jsou instalace protihlukových dveří.

Následně je potřeba umístit do vnitřních prostor spalínový výměník tepla, což je válec o průměru kolem 80 cm a délky cca 5 metrů a potrubí vzduchotechniky, které má většinou čtvercový průřez o velikost přibližně 1 x 1 metr. Vzduchotechnické potrubí slouží k přívodu vzduchu z a do místnosti s KGJ a tento vzduch KGJ nasává a spaluje. Vzduchotechnické potrubí má v sobě vlnolamy na útlum hluku a jeho délka je dána hlukovou studií. Pro tyto součásti KGJ je potřeba udělat

prostupy ve zdech či příčkách a najít vhodné umístění. Dále je potřeba počítat s novým komínem, základem pod komín a s případným odvodem kondenzátu ze spalinového potrubí (při dochlazení na 100 °C již ve spalinovém potrubí kondenzují vodní páry a ze spalinového potrubí vytéká kondenzovaná voda s obsahem síry, kterou je třeba neutralizovat.). V neposlední řadě je potřeba najít místo na akumulační nádrž(e). Z pohledu snížení ztrát ochlazením je lepší instalovat akumulační nádrže uvnitř kotelny. Vzhledem k objemu a váze nádrží musí být vybudován pod nádržemi dobrý betonový základ. Mimo KGJ a jejího příslušenství se musí počítat i s instalací potrubí na propojení KGJ se stávající technologií PK, což může znamenat další vytváření prostupů v příčkách či stropích.

### **Odvod spalin**

Odvod spalin z KGJ se provádí pomocí kouřovodů a komínů. Ty musí být navrženy a provedeny tak, aby za všech provozních podmínek připojených spotřebičů byl zajištěn bezpečný odvod a rozptyl spalin do volného ovzduší. V místnostech s KGJ a kouřovody se umísťují čidla která kontrolují, zda nedochází k úniku spalin. Pro novou KGJ je vždy zapotřebí sestrojít nový odvod spalin. Je za tím mnoho důvodů. Mezi nimi je i to, že spaliny KGJ mají větší tlak než u plynového kotle, takže by mohlo dojít k roztrhnutí současného komínu pro plynový kotel. Nejspíš by došlo i k poničení plynového kotle. Poté, co je systém instalovaný, se provádí měření emisí při kolaudaci, kde se zjišťuje, zda nejsou překročeny emisní limity stanovenými právními předpisy (17).

### **Systém měření a regulace**

Dosavadní systém měření a regulace (MaR) v kotelně se musí rozšířit s instalací KGJ. S novým technologickým celkem přichází i nový měřicí a regulační systém. Ten by měl řídit celý systém a zaručit požadovaný průběh po dobu životnosti celku. Firma instalující tento systém musí zaručit, že vše bude fungovat v pořádku a poskytovat údržbu celého systému po celou jeho životnost. Je také potřeba nechat zaučit zaměstnance, kteří budou udržovat průchod systému a aby se dozvěděli, jak pracovat s novým systémem.

### **Připojení k distribuční soustavě**

Je možné do NN soustavy vyvést maximální elektrický výkon 200 kWe. Pokud je potřeba připojit k DS KGJ s vyšším elektrickým výkonem, připojuje se vždy již na napětové hladině 22 kV. To obnáší instalaci VN transformátoru. Pokud provozovatel schválí žádost o připojení KGJ do DS, tak definuje požadované parametry transformátoru a VN rozvaděčů. Mimo VN rozvaděčů je u KGJ i NN rozvaděč pro připojování KGJ do DS.

Pro transformátor může být složité najít vhodné umístění splňující normu. Ta předepisuje, že transformátor musí být pokaždé ve samostatné místnosti. To platí i pro VN rozvaděče, které by měly být v jedné místnosti, kde je jedna část přístupná provozovateli KGJ a druhá část (přehrazená plotivem) je přístupná jen provozovateli DS. Provozovatel DS také požaduje vlastní dveře do této části a ještě ideálně tak, aby se tam kdykoliv dostal sám (ideální jsou dveře v obvodovém plášti budovy).



Náklad spojený s připojeným distribuční soustavou lze rozdělit dvěma způsoby. Prvním je ten, že provozovatel DS přivede připojení až k požadovanému připojenému místu (VN rozvaděč), kde se pak následně zaplatí poplatek daný ERÚ za připojení ve výši zhruba 640 000 Kč za instalované zařízení o velikosti 1 MWe. Cena se mění na bázi cenového výměru, který vydává každý rok ERÚ.

Druhý způsob je založen na principu, kde DS určí místo (nejbližší rozvodné stanice), kde dojde k připojení a napojení kabelu z kotelny k místu připojení nové KGJ je v režii provozovatele KGJ. V tomto případě se neplatí stanovená částka, ale musí se provést na vlastní náklady instalace kabelového připojení mezi kotelnou a rozvodnou stanicí. Tato varianta vychází vesměs draž a je komplikovaná. Musí se vyřídit všechna povolení na výkopy spojené s položením kabelu, zřízení věcných břemen za uložení kabelu a práci za instalaci. Zda bude připojení provedeno první nebo druhým způsobem si rozhodne provozovatel DS na základě žádosti o připojení k DS.

### **Potrubí, čerpadla, klapky atd.**

Jakmile je KGJ usazená na svém místě, je potřeba provést propojení všech jejích částí, propojit KGJ se současnou plynovou kotelnou a realizovat všechny teplovodní okruhy. Patří sem také například položky jako potrubí, varná kolena, mezipřírubové klapky, zpětné klapky, ventily, filtry, měřiče tepla, přírubové spoje, tepelné izolace a veškerý podružný instalační materiál. Určitým požadavkem je také nové oběhové čerpadlo a k němu vhodný frekvenční měnič. Čerpadlo je nákladnou položkou a je potřeba vybrat vhodný typ. Veškeré zmiňované položky je potřeba nainstalovat dle předem připraveného projektu. Když je celý systém nainstalovaný, provádí se tlakové, těsnostní a topné zkoušky, aby se odzkoušela funkčnost. Platí pravidlo, že čím složitější a více položkový systém je, tím bude systém nákladnější.

### **Vzduchotechnika**

Nezbytnou součástí pro KGJ je instalace nového vzduchotechnického systému. Pomocí tohoto systému se přivádí ke KGJ vzduch pro spalovací proces a zároveň vzduch cirkuluje místností, aby se místnost nepřehřívala nebo aby šlo při úniku kouře či plynu rychle vyvětrat. Požadovaná výměna vzduchu v prostorách kotelny se uskutečňuje pomocí neuzavíratelných potrubních rozvodů. Ty mohou být až 12 m dlouhé a mají průměr 1x1 m. Délka vzduchotechnického potrubí (sání i odvod z místnosti s KGJ) je stanovena hlukovou studií na základě požadovaného útlumu hluku z KGJ do okolí kotelny.

### **Potrubí plynovodu**

Budova kotelny má v aktuálním stavu dostatečný přívod zemního plynu. Vzniká ale požadavek k instalaci nového potrubí plynovodu přímo do KGJ. Mezi položky pro tuto investici patří plynoměr s přepočítávacím systémem, uzávěry, potrubí a akumulátory plynu. Po montáži a zajištění vedení plynu do prostoru KGJ je zapotřebí provést revizi a uskutečnit tlakovou zkoušku a zkoušku funkčnosti.

## Inženýring a projektové práce

Další investiční položkou je inženýring a zřízení projektu. Sbírat informace a získat finální podobu není jednoduchá záležitost. Musí se brát důraz na vysokou kvalitu návrhu hned při projektování. Lidé, kteří dělají inženýring, jednají s úřady a zajišťují veškerá potřebná povolení a stanoviska pro uskutečnění projektu. Proto je zapotřebí zvolit vhodnou a vysoce kvalifikovanou osobu nebo společnost. Při projektování vzniká více variant a závisí pak na investorech, pro kterou variantu se rozhodnou. V rozpočtu by se měly zohlednit veškeré vzniklé investiční náklady a není špatné mít v záloze ještě investiční rezervu.

## Revize a měření po instalaci

Po dokončení instalace se žádá stavební úřad o povolení zkušební provozu. Stavební úřad po kontrole většinou povolí zkušební provoz na 6 měsíců. Během testovacího provozu se testuje správnost instalace, návrhu a nastavení KGJ. Po doladění funkčnosti a nastavení emisí se podává žádost o kolaudační souhlas. Při kolaudaci se předkládají všechny revize a protokol o měření emisí a hluku. Veškerý systém musí být v takovém stavu, aby nedošlo k žádným chybám a vše by mělo fungovat dle předpokladů. Pokud je vše v pořádku a dle stanovených norem, je instalace KGJ zkolaudována. Po zkolaudování lze podat žádost o KVET.

### 3.2.5. Rozpočet instalace KGJ

Tabulka č.4 ukazuje rozpočet pro instalaci KGJ do kotelny. Každá z těchto částek byla naceněna podle reálných hodnot.

Rozpočet instalace KGJ	Cena (Kč)
Kogenerační jednotka	14 385 000
Akumulační zásobník tepla	2 016 750
Stavební úpravy, základové fundamenty	1 353 000
Odvod spalin KGJ	722 400
Měření a regulace	910 000
Trafostanice VN, VN rozvodna, Vyvedení výkonu KGJ	2 583 000
Technologie pro celý systém	897 900
Vzduchotechnika	811 800
Plynoinstalace	209 100
Zařízení silnoproudu	270 600
Projekt, inženýring	637 000
Připojení do DS	640 000
Měření, revize, zařízení staveniště	369 000
Celková cena	25 805 550

Tabulka 4: Rozpočet instalace KGJ.

Celková investice instalace nového systému s KGJ do kotelny vyšla zhruba na 25,8 milionů Kč. Je potřeba mít na mysli, že při instalaci stejné technologie do jiné kotelny, mohou být rozdílné investiční náklady, neboť velkým faktorem je vždy místo instalace. Největší nákladovou položkou je samotná KGJ, která má v tomto rozpočtu 56 % podíl na investici.

### 3.2.6. Ekonomický model KGJ při ročním provozu

Pro získání představy, jak moc je instalace KGJ vhodná, se vždy před instalací také vypracovává roční ekonomický model provozu KGJ. Provedl jsem výpočet EBIT z parametrů instalované KGJ. Při výpočtu jsem využíval cenu za instalaci, která byla 25,8 mil. Kč a cenu za prodané teplo (cena tepla z KGJ – byla stanovena stejná jako cena tepla z PK). V tabulce č.5 je ukázka toho, s jakými parametry počítám pro získání EBIT.

Ekonomika provozované KGJ		
Tepelný výkon	1 034	kWt
Elektrický výkon	999	kWe
Příkon v palivu	2,334	MWh
Roční vyrobené teplo	11 167	GJ
Roční vyrobená EE	2 997	MWh
Roční prodaná EE do DS	2 907	MWh
Roční provoz	3 000	h
Cena za prodané teplo	403	Kč/GJ
Výkupní cena EE	1 100	Kč/MWh
Cena zemního plynu	957	Kč/MWh
Výše podpory KVET	1 560	Kč/MWh
Variabilní náklady (plynu)	7 105 124	Kč
Variabilní náklady (servis)	609 900	Kč
Fixní náklady	400 000	Kč
Celkové náklady	8 115 024	Kč
Výnosy z prodaného tepla	4 362 275	Kč
Výnosy z prodané EE	3 197 799	Kč
Výnosy podpora KVET	4 675 320	Kč
Celkové výnosy	12 235 394	Kč
EBITDA	4 120 370	Kč
Odpisy	1 720 370	Kč
EBIT	2 400 000	Kč

Tabulka 5: Ekonomika provozované KGJ.

**Tepelný výkon** – Teplo z chladicí vody a ze spalin KGJ.

**Elektrický výkon** – Svorkový výkon instalovaného generátoru v KGJ.

**Příkon v palivu** – Množství spotřeby paliva při nominálním výkonu dle katalogového listu.

**Roční vyrobené teplo** – Vypočteno z katalogových hodnot vynásobené 3 000 h plného provozu.

**Roční vyrobená EE** – EE vyrobená z generátoru KGJ během provozu.

**Roční prodaná EE do DS** – Množství energie prodané obchodníkovi (výroba EE ponížena o vlastní spotřebu a ztráty v transformátoru).

**Roční provoz** – Provoz KGJ za rok (omezen dle KVET – 3 000 h plného výkonu).

**Cena za prodané teplo** – cena shodná jako výrobní cena tepla v PK.

**Výkupní cena EE** – Průměrná cena prodané EE obchodníkovi za rok 2016.

**Cena zemního plynu** – Průměrná cena plynu za rok 2016 (Cena zemního plynu je složena z několika položek. Mezi ně platba za rezervovanou kapacitu, cena za službu zprostředkovatele, poplatky pro ERÚ a OTE).

**Výše podpory KVET** – Cena nastavena dle ERÚ podle parametrů KGJ a zvoleného provozu pro 2016.

**Variabilní náklady (plynu)** – Vypočten spotřebovaný objem plynu pro provoz 3 000 h plného provozu KGJ navýšen o 7 % z důvodů nižší efektivity při najíždění a sjíždění s výkonem (start a stop KGJ).

**Variabilní náklady (servis)** – Počítán servisní poplatek za motohodinu vynásobený 3 200 h, neboť když je potřeba dle KVET najet 3 000 h plného provozu a vezme se v potaz, že KGJ po startu najíždí na plný výkon cca 10-15 minut, tak ročně KGJ najede cca 3 200 motohodin.

**Fixní náklady** – Náklady navíc přidáné k již fixním nákladům stávající kotelny (navýšení položky na mzdy, zvýšení spotřeby EE za technologie atd).

**Celkové náklady** – Skládají se z variabilních nákladů a fixních nákladů.

**Výnosy z prodaného tepla** – Množství vyrobeného tepla se ztrátami (v AN) prodané za cenu prodané teplo.

**Výnosy z EE** – Prodaná EE za výkupní cenu EE obchodníkovi.

**Výnosy podpory KVET** – Podpora získaná za roční provoz.

**Odpisy** – Lineární odepisování počítané investice po dobu 15 let.

K výpočtu EBIT je nutné získat přehled o všech nákladech, který přichází při provozu KGJ. Největší položkou jsou variabilní náklady za spotřebu zemního plynu. Jeho velikost je závislá na příkonu v palivu, ceně zemního plynu, ročním provozu KGJ při plném výkonu a provozu při startu a zastavování. Další variabilní nákladovou položkou je cena servisu. K servisním záležitostem většinou dochází na základě počtu provozních hodin. Dle servisní smlouvy se platí paušál za každou motohodinu, aby servisní náklady byly konstantní, dané dle najetých motohodin. Servisní náklady pro KGJ jsou nastaveny na 200 Kč/mth provozu. Co vše je součástí servisu a co servis nezahrnuje je dáno servisní smlouvou. V rámci servisních nákladů patří pravidelná výměna oleje, garantovaný časový dojezd v případě poruchy nebo výměna některých dílů.

Existují tři hlavní výnosy provozu KGJ. Mezi ně patří výnos z prodaného tepla, prodané EE a podpora KVET. Využíval jsem předpokladu, že prodané teplo je zhruba o 3 % nižší než objem vyrobeného tepla (ztráty tepla v AN). Výnosy z prodané elektřiny jsou získané z výkupní ceny EE od obchodníka a množství prodaného EE do DS. Právě obchodník stanovuje cenu, za kterou bude vykoupena elektřina. Velkou výnosovou položkou je získávaná podpora z KVET. Částka na podporu je získána z množství provozních hodin KGJ a ceny podpory. Odpisy využiji při kalkulaci EBIT. Z investice za KGJ, kterou jsem stanovil při výpočtu na 25 805 550 Kč, využívám lineární odpisování po dobu 15 let. Při výpočtu vychází, že zisk před zdaněním za rok provozu KGJ je 2 400 000 Kč. Během výpočtu jsem využíval reálná data a možné scénáře. Na bázi získání takového EBIT může být vhodné nechat instalovat KGJ do tepelného hospodářství.

### **Cena tepla z plynového kotle**

Před instalací KGJ byly plynové kotle hlavním zdrojem výroby tepla pro ÚT a TUV. Pro stanovení ceny tepla z KGJ jsem vypočítal náklady na výrobu tepla v PK a stejnou cenu využil pro teplo z KGJ. Tím se nezlevní teplo pro koncové uživatele, ale vypočítám EBIT v případě instalace KGJ. Je jen na provozovateli kotelny, jak si stanoví cenu tepla z KGJ a zda část EBIT z KGJ přesune do snížení ceny tepla.

Cena tepla plynových kotlů v roce 2016 byla 403 Kč/GJ. Tato měrná cena se získala při výpočtu všech nákladů vztahených k výrobě tepla (variabilní i fixní náklady). K ceně za teplo byl přičten i koeficient pro stanovení zisku kotelny. Cena byla zapotřebí, aby se s ní dalo pracovat v modelu ekonomiky KGJ. Cena tepla pro KGJ se nastaví na stejnou nebo přibližnou cenu jako je právě cena z plynových kotlů.

### **3.2.7. Časová linie instalace KGJ**

Instalace KGJ do kotelny není krátkodobý projekt. Pro instalaci je potřeba vyřídit mnoho různých povolení a vypracovat podrobný projekt, na který naváže poptávkové řízení jednotlivých celků KGJ i KGJ samotné a následně se konečně provádí realizace a instalace. Je zapotřebí dělat věci dle správného pořadí, aby v případě nepovolení instalace KGJ (z důvodů níže uvedených) byla finanční ztráta co nejmenší. V tabulce č.6 je vidět možný časový plán instalace KGJ, který je rozložen do dvou let. Doba celkové instalace nemusí být vždy stejná. Může dojít ke zkrácení či prodloužení doby instalace KGJ. Vše záleží na projektovém managementu investora, ale také na práci zainteresovaných státních úřadů.

Časový plán	20xx												20xx+1											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Žádost o připojení k DS																								
Projektování (pro stav. povolení a realizaci)																								
Žádost o stanoviska dotčených orgánů																								
Stavební řízení																								
Objednání KGJ a potřebných zařízení																								
Výběr dodavatelů																								
Realizace-Stavební příprava																								
Realizace-Stavební část																								
Realizace-Technologická část																								
Dokumentace spouštění (PPP, ZP, ERÚ, ...)																								
Uvádění do provozu, povolení zkušebního provozu																								

Tabulka 6: Ukázka časového plánu instalace KGJ.

Mezi prvními kroky projektu je žádost o připojení ke KGJ a k DS. Je potřeba již znát elektrický výkon KGJ (alespoň přibližně) a počkat na vyjádření provozovatele DS. Pokud je žádost zamítnuta, nemá důvod v projektu pokračovat. Někdy se stane, že KGJ není povolena z důvodu již zatíženého el. vedení v oblasti, ale v případě, že se páteřní linka v této oblasti v budoucnu posílí, bude možné KGJ povolit. V případě schválení žádosti provozovatelem o připojení k DS, je možné začít s projektováním celé instalace. Nejprve se vypracuje dokumentace do stavu dostačujícího pro stavební povolení (SP) a následně se tato dokumentace odešle všem dotčených orgánů, které musí dát kladné stanovisko. Tato kladná stanoviska jsou nezbytná pro zahájení řízení o SP. Ve stanoviskách dotčených orgánů jsou většinou uvedeny další požadavky na zapracování do projektu. Současně se tedy zahajuje stavební řízení o SP a paralelně s tím se projekt dovypracovává do stavu projektu pro realizaci, který již zapracuje požadavky dotčených orgánů. Stavební úřad je potřeba urgovat, aby SP bylo co nejdříve. Často se stává, že je stavební úřad zavalen prací a přes zákonnou lhůtu 3 měsíce ani nezahájí stavební řízení. Může se také stát, že stavební úřad několikrát vrací dokumentaci k doplnění nezbytných částí. Tyto věci nesmírně prodlužují celý projekt.

Pokud je vypracovaná dokumentace pro realizaci, začíná se s poptávkou jednotlivých technologických celků. Pokud se chce neplýtvat investicemi, tak je potřeba vysoutěžit jednotlivé technologické části co nejlépe. Samozřejmostí je následné uzavření propracovaných smluv o dílo. Stejně tak se musí vybrat firma na realizaci stavebních částí či sestavení celé technologie nebo MaR.

Závazné objednání KGJ se složením zálohy se provádí až po obdržení SP (s nabytím plné moci). I když bývá dodací lhůta KGJ někdy i kolem 4 měsíců, nevádí to, neboť než se stavebně připraví místo instalace, zabere to vždy dost času. Po realizaci stavebních úprav se nastěhují jednotlivé části technologie a následně se vše propojuje, zapojuje a spouští.

Po dokončení instalace se žádá o schválení testovacího provozu (například na 6 měsíců). Pokud stavební úřad během kontroly neshledá důvody pro neudělení povolení, je povolení dáno a může se začít se spouštěním KGJ. U provozovatele DS se žádá o první paralelní připojení, při kterém provozovatel DS připojí VN rozvaděče a VN trafo k DS a od tohoto okamžiku je možné KGJ přifázovat k síti. Následně se odhaduje běh KGJ, ladí se jak elektrická, tak tepelná část a ladí se systém MaR. Po vyladění běhu KGJ, kdy pracuje podle požadavků, se žádá o kolaudační souhlas a provádí se měření hluku a emisí. Pokud jsou veškerá měření v pořádku, stavební úřad uděluje SP. Po obdržení SP se žádá o přidělení dotace KVET. Od udělení dotace se již za každou vyrobenou MWh vyplácí dotace KVET.

## 4. Ekonomické zhodnocení kotelny před a po instalaci KGJ

Ekonomické zhodnocení kotelny jsem rozdělil do 2 částí. První část bude vyhodnocení ekonomiky tepelného hospodářství za poslední 4 roky provozu kotelny, tedy vše, co zahrnuje výrobu tepla v kotelně. Druhá část se týká jen výroby EE za stejnou dobu, která se pojme samostatně. Důvodem tohoto rozdělení je regulace ceny tepla a zisku ze strany ERÚ, kde by zisk neměl být více než stanovuje ERÚ. U výroby EE není regulace od ERÚ a zisk může být vyšší.

### 4.1. Ekonomika tepelného hospodářství

Pro vyhodnocení ekonomiky tepelného hospodářství se budu zaměřovat na provoz kotelny v posledních 4 letech. Veškerá data lze vidět v tabulce č.7. Vyrobené teplo soustavy zahrnuje jak teplo pro ÚT, tak i pro TUV.

Rok	2016	2017	2018	2019
Vyrobené teplo v PK [GJ]	18 684	10 867	6 495	5 790
Vyrobené teplo v KGJ [GJ]	0	7 682	11 301	11 159
Celkem vyrobené teplo [GJ]	18 684	18 549	17 796	16 949
Objem tepla z KGJ [%]	0%	41%	64%	66%
Spotřeba ZP v KGJ [MWh]	0	2 748	4 055	3 983
Spotřeba ZP v PK [MWh]	6 168	3 604	2 319	2 310
Sezonní účinnost PK [%]	84,15%	83,75%	77,80%	69,64%
Provozní hodiny KGJ [h]	0	2000	3 031	3 006
Prodejní cena tepla [Kč/GJ]	403	357	364	495
Cena plynu [Kč/MWh]	957	806	818	1 053
Poměr cena plynu a ceny tepla [ - ]	1,514	1,593	1,601	1,694
Variabilní náklady [Kč]	5 825 767	5 243 707	5 144 848	6 753 292
Fixní náklady [Kč]	1 657 000	1 923 000	1 923 000	1 923 000
Náklady tepelného hospodářství [Kč]	7 166 158	7 166 707	7 067 848	8 676 292
Výnosy z prodeje tepla [Kč]	7 524 466	6 618 844	6 474 912	8 397 809
Výnosy za pronájem části kotelny [Kč]	0	150 000	150 000	150 000
Výnosy za KVET pro výrobu tepla [Kč]	0	1 585 031	2 188 579	1 874 126
Výnosy tepelného hospodářství [Kč]	7 524 466	8 353 875	8 813 491	10 421 935
EBITDA [Kč]	358 308	1 187 168	1 745 643	1 745 643
Odpisy [Kč]	0	592 667	911 796	911 796
EBIT [Kč]	358 308	594 501	833 847	833 847

Tabulka 7: Ekonomická data pro tepelné hospodářství KGJ.



**Vyrobené teplo v PK** – Data výroby tepla v PK. V roce 2016 bylo vyráběno teplo jen z PK. V dalších letech dochází ke snížení množství vyrobeného tepla pro ÚT a TUV o 42 %, neboť byla uvedena KGJ do provozu. Menší využití PK vede i vlivem způsobu využívání ke snížení sezónní účinnosti.

**Vyrobené teplo v KGJ** – Množství vyrobeného tepla v KGJ bylo omezeno podle nastaveného provozu zařízení dle KVET. V roce 2018 byl roční provoz KGJ 3 031 h a za tu danou dobu vyrobila 11 301 GJ. Více než 3000 h plného provozu se téměř nevyužívá, neboť bez dotace KVET je výroba EE a tepla neekonomická (KGJ se zapíná nad rámec KVET jen v případě požadavku obchodníka s EE, který kompenzuje provoz bez dotace KVET).

**Celkem vyrobené teplo** – Teplo vyrobené v PK a KGJ za daný rok. Množství vyrobeného tepla kleslo z důsledku mnohých faktorů jako například teplejší zimy.

**Objem tepla z KGJ** – Množství vyrobeného tepla v KGJ vůči teplu vyrobenému celkově. Po uvedení KGJ do provozu se tento podíl zvětšoval. Tato hodnota se znázorňuje, aby se ukázalo, jak postupně docházelo ke zvyšování objemu tepla z KGJ.

**Spotřeba ZP v KGJ** – Tím, že je znázorněna jen ekonomika tepelného hospodářství, se do nákladů na plyn v KGJ promítla jen část spotřebovaného plynu. Celkové množství spotřebovaného ZP v KGJ jsem rozdělil v poměru tepelného a elektrického výkonu.

**Spotřeba ZP v PK** – Množství spotřebovaného zemního plynu v PK. Ze spotřebovaného objemu ZP a celkové výroby tepla v PK se dopočítala sezónní účinnost PK.

**Sezónní účinnost PK** – Tento ukazatel znázorňuje poměr vyrobeného tepla a spotřeby zemního plynu v PK. Výše účinnosti spalného tepla znázorňuje, že na účinnost má vliv roční objem vyrobeného tepla i způsob využívání PK.

**Provozní hodiny KGJ** – Uveden počet hodin plného provozu KGJ.

**Prodejní cena tepla** – Cena tepla vychází ze všech provozních (fixních i variabilních) nákladů dělených ročním objemem prodaného tepla, kde navíc byl připočítán zisk.

**Cena plynu** – Průměrná roční cena plynu v kotelně za dané období od distributora plynu.

**Poměr cena plynu a ceny tepla** – Vytvořil jsem si koeficient pro porovnání ceny tepla v jednotlivých letech. Koeficient počítám jako poměr ceny tepla pro zákazníka (MWh) ku celkové ceně plynu (MWh). V roce 2016 nebyly žádné investice a provozní náklady kotelny byly malé. To je ideální pro zákazníka, ale z pohledu kotelny by se mělo pravidelně investovat, aby technologie nebyla zastaralá a nevypověděla službu současně. To by mohlo způsobit v jednom roce obrovské investice, které by znamenaly rapidní nárůst ceny tepla. Po instalaci KGJ se tento koeficient zvedl jen nepatrně. To ukazuje, že i když se investovalo velkou částkou do KGJ, tak investice do modernizace kotelny dává smysl a nezatěžuje značně odběratele tepla. A zároveň je co odepisovat a tím si dle pravidel ERÚ zvýšíme zisk.

**Variabilní náklady** – Mezi tyto náklady patří palivo pro PK a KGJ, servis za KGJ a spotřeba EE v kotelně. Velikost se odvíjela od ceny za ZP, nastavených cen za servis a EE.

**Fixní náklady** – Složky fixních nákladů jako jsou výrobní a správní režie, mzdy a zákonné pojištění, nájem, údržba, revize atd. Po instalaci KGJ došlo ke zvýšení těchto nákladů spojených s provozem KGJ.

**Náklady tepelného hospodářství** – Skládaly se z variabilních nákladů a fixních nákladů tepelného hospodářství.

**Výnosy z prodaného tepla** – Výše výnosů byla na základě prodaného tepla odběratelům za stanovenou cenu tepla v daném roce. V roce 2019 byl právě největší výnos v důsledku vysoké prodávané ceny tepla.

**Výnosy za pronájem části kotelny** – Tím, že jsem rozdělil KGJ na tepelné hospodářství a elektrické hospodářství, tak z ekonomiky elektřiny dávám do ekonomiky teplárenské části roční nájemné ve výši 150 000 Kč. Kotelnu beru jako vlastnictví tepelného hospodářství.

**Výnosy podpory KVET** – Podpora získaná za roční provoz KGJ – zde je poměrová část z příjmu podpory KVET (dáno poměrem tepelného a elektrického výkonu KGJ).

**Výnosy tepelného hospodářství** – Složeny z veškerých výnosů z prodaného tepla, což byly výnosy z prodaného tepla, za pronájem části kotelny a z podpory KVET.

**Odpisy** – Odpis investice teplárenského hospodářství po dobu 15 let lineárně. Zde kalkuluji investici do KGJ, opět rozdělenou mezi tepelnou a elektrickou část dle výkonů KGJ.

Při provozu KGJ se množství spotřebovaného zemního plynu zvýšilo, protože KGJ má větší příkon v palivu než plynové kotle. Pro KGJ se spotřebované palivo rozděluje na dvě části, a to na palivo pro výrobu tepla a palivo pro výrobu elektřiny. Obě tyto části mají rozdílné množství a jejich poměr je získaný pomocí technického listu KGJ. Většinou je spotřeba paliva větší pro výrobu tepla než pro výrobu EE. Palivo pro výrobu EE z KGJ se využívá během ekonomiky EE.

Sezonní účinnost plynových kotlů je vypočtena z poměru vyrobeného tepla a spotřeby zemního plynu v plynových kotlích. Tato účinnost se snižuje každý rok právě kvůli již snižujícímu se využívání plynových kotlů. Je to tím, že se upřednostňuje provoz KGJ z důvodu dosažení plné podpory KVET každý rok.

Prodejní cena tepla je v každém roce odlišná a mění se tak, aby prodej z tepla pokryl veškeré náklady. Zisk je zpravidla omezen podle ERÚ, aby nedocházelo k prodeji tepla za vysokou cenu odběratelům. Poměr ceny plynu a ceny tepla je nástroj na porovnávání výše nákladů na výrobu tepla tak, aby byl nezávislý od ceny plynu. V roce 2016 nebyly žádné investice ani odpisy a fixní náklady byly rozpočítané ve výrobě tepla za daný rok. Pro roky 2017 a 2018 došlo k malému navýšení výrobních nákladů ceny tepla, a to bylo zapříčiněno právě novou investicí do kotelny. V roce 2019 byla cena tepla kvůli nejnižší roční výrobě vyšší, neboť se výrobní náklady rozpočítaly mezi menší objem vyrobeného tepla a tím se koeficient zvýšil. V případě investice jen do nového plynového kotle by cena za teplo nebyla nižší než po instalaci KGJ.

Pod položku variabilní náklady pro rok 2016 patří hlavně spotřeba zemního plynu a pak dále náklad za EE a doplňovací vodu. Pro roky 2017, 2018 a 2019 je tato položka ještě přidaná o hodnotu palivových nákladů pro KGJ jen za vyrobené teplo. Právě složka spotřeby plynu je rozdělena na tu, která se využívá pro teplo a tu, která se využívá pro EE. Variabilní náklady se nejvíce mění v závislosti na ceně plynu na trhu. Právě v roce 2019 byla cena zemního plynu nejvyšší a tím pádem byly i palivové náklady vysoké. Po instalaci KGJ došlo k výraznému zvýšení ceny fixních nákladů, které přišly právě s novou instalací.

Výnosy kotelny se skládají z prodaného tepla, pronájmu části kotelny a výnosu za KVET pro výrobu tepla. Pro toto porovnání se nevykazuje plná podpora za KVET, ale podíl spotřeby paliva pro teplo a EE. Zbytek podpory se využívá pro ukázkou ekonomiky výroby EE. Kdyby se nevyužila část výnosů z podpory pro teplo, tak by EBIT byl v záporných číslech a tím by kotelna ztrácela zisk na straně výroby tepla. Jelikož se ale tato podpora využívá, tak se EBIT v roce 2017 zvýšil a po roce 2018 byl EBIT ustálen na stejné hodnotě, která je nejvíce umožněna regulačním orgánem.

Instalovaná KGJ a její zařízení jsou umístěna na pozemku kotelny. Systém jako takový zapadá do celkového systému kotelny a za její pronájem je získán výnos. V ekonomické části pro EE je pak tato položka využita jako náklad z poskytnutého pronájmu. Celková investice celé kotelny byla 25 805 550 Kč a tato částka se posléze lineárně odepisovala po dobu 15 let. Pro ukázkou jsem udělal rozdělení odpisů podle poměru spotřeby zemního plynu. I když došlo k rozdělení odpisů, tak se tím jen mění ukázkou kolik který systém má EBIT.

#### **Pozitivní a negativní vlivy KGJ na ekonomiku teplárenské části jsou tyto:**

- Celková cena ZP se skládá z ceny komodity a dalších položek. Jednou z položek je „cena za denní rezervovanou kapacitu“. Tato položka bude vlivem provozování KGJ navýšena, neboť KGJ má vyšší příkon v palivu oproti PK se stejným tepelným výkonem.
- Z pohledu elektrické spotřeby kotelny má KGJ pozitivní dopad. Tím, že KGJ exportuje do DS více jak 80 % své vyrobené EE, jedná se o „výrobní kategorii 1“ a ta je dle pravidel ERÚ osvobozena o platbu za rezervovanou kapacitu. To má značný dopad na cenu elektřiny a tím se náklady na elektřinu v teplárenské části snížily.

## 4.2. Ekonomika EE části

V tomto odstavci bych rád poukázal na EBIT z prodeje EE do DS a podpory KVET. Před rokem 2017 kotelna odebírala EE jenom ze sítě. Po uvedení KGJ do provozu se začala vyrábět EE, kterou bylo možné prodat do DS. Množství vyrobené elektřiny se odvíjí podle počtu provozních hodin KGJ. Vzhledem k dobré ekonomice elektrické části KGJ a nutnosti splácet investici se každý rok upřednostňuje KGJ pro výrobu tepla, aby se dosáhlo 3 000 h za rok plného provozu.

Rok	2016	2017	2018	2019
Provozní hodiny KGJ dle KVET [h]	0	2000	3 031	3 006
Vyrobená EE [MWh]	0	1 988	3 014	2 997
Prodaná EE [MWh]	0	1 939	2 939	2 922
Výkupní cena EE [Kč/MWh]	1 100	1 150	1 465	1 580
Cena zemního plynu [Kč/MWh]	957	806	818	1 053
Podpora KVET [Kč/MWh]	1 560	1 595	1 370	1 180
Variabilní náklady [Kč]	0	2 100 911	3 223 494	4 135 900
Fixní náklady [Kč]	0	150 000	150 000	150 000
Náklady energetické hospodářství [Kč]	0	2 250 911	3 373 494	4 285 900
Výnos EE [Kč]	0	2 229 295	4 305 347	4 616 392
Výnos KVET [Kč]	0	1 405 594	1 940 816	1 661 961
Výnosy energetické hospodářství [Kč]	0	3 634 889	6 246 162	6 278 353
EBITDA [Kč]	0	1 383 978	2 872 668	1 992 452
Odpisy [Kč]	0	525 573	808 574	808 574
EBIT [Kč]	0	858 405	2 064 094	1 183 878

Tabulka 8: Ekonomická data pro energetické hospodářství KGJ.

**Provozní hodiny KGJ** – Kotelna provozuje KGJ takovým způsobem, aby KGJ najela dle podpory KVET 3 000 h plného provozu.

**Vyrobená EE** – Množství vyrobené EE z KGJ (svorková výroba).

**Prodaná EE** – Množství prodané elektřiny obchodníkovi za rok (množství dodané do DS). Je menší než vyrobená svorková elektřina, protože dochází ke vlastní spotřebě při provozu KGJ (čerpadla, ventilátory atd) a ztrátám ve VN trafu.

**Výkupní cena EE** – Nasmlouvaná cena EE s obchodníkem pro celý rok a provoz 3 000 h.

**Cena plynu** – Průměrná cena plynu v kotelně za dané období od distributora plynu.

**Variabilní náklady** – Mezi tyto náklady patří všechny náklady spojené s výrobou EE (poměrová část plynu do KGJ, poměrová část platby za servis KGJ).

**Fixní náklady** – Složka fixních nákladů složena z nájmu KGJ v areálu kotelny a příspěvku za obsluhu KGJ pro kotelníky.

**Náklady energetického hospodářství** – Skládají se z variabilních nákladů a fixních nákladů.

**Výnosy z prodané EE** – Množství vyrobeného tepla se ztrátami vynásobené cenou prodaného tepla pro PK tak i pro KGJ.

**Výnos z podpory KVET** – Podpora získaná za roční provoz KGJ v energetické části kotelny. Její velikost je odvíjena od podpory pro KVET a provozu KGJ pro tepelné hospodářství.

**Výnosy energetického hospodářství** – Složen z veškerých výnosů z prodané EE a z podpory KVET pro EE.

**Odpisy** – Lineární odpis investice energetické části kotelny po dobu 15 let. První rok je nižší kvůli tomu, že KGJ začala být v provozu až v průběhu roku.

Dle smlouvy s obchodníkem s EE je veškerá EE prodána a exportována do DS (mimo aktuální vlastní spotřeby KGJ a ztrát na VN trafu). Výkupní cena EE je vždy nasmlouvána na celý rok s obchodníkem s elektřinou. Pro rok 2016 byla cena za prodej jedné MWh nastavena na 1 100 Kč. S dalšími roky se tato cena zvyšuje dle poskytnuté flexibility pro spínání KGJ a ceny EE na trhu. Pokud se povede s obchodníkem vyjednat vysokou cenu za EE, má to velký dopad na ekonomiku tohoto celku. Příkladem je rok 2018, kdy byla ekonomika lepší oproti roku 2019 o přibližně 800 tisíc Kč.

Mezi náklady pro výrobu EE využívám palivové náklady pro KGJ v energetickém podílu a dále pak náklady za pronájem KGJ soustavy a příspěvek na obsluhu kotelníků. Ostatní náklady, které by mohly mít podíl na provozu, jsou již v tepelné části, protože mají větší vliv na výrobu tepla než pro oblast elektřiny. Palivové náklady se každoročně zvyšují ne kvůli tomu, že se vyrábí více, ale protože cena za zemní plyn se zvýšila. Rostoucí cenu plynu lze vidět i na menším zisku, kde při vysoké ceně plynu a snižující podpoře vzniká menší EBIT.

Velikost podpory KVET je každoročně stanovena ERÚ. Výše podpory KVET reflektuje cenu komodit plynu a EE v první polovině předchozího roku (alespoň tak to prezentovalo ERÚ v posledních letech). Aby byl udržen konstantní EBIT, tak se musí vyjednat vyšší cena EE u obchodníka, která bude kompenzovat změnu ceny plynu a výši podpory KVET.

### 4.3. Celkový ekonomický přínos KGJ

Pro znázornění celkového přínosu KGJ do výše popsaných ekonomik jsem vytvořil tabulku č.9.

Roky	2016	2017	2018	2 019
EBIT-tepelné hospodářství [Kč]	358 308	594 501	833 847	833 847
EBIT-energetické hospodářství [Kč]	0	858 405	2 064 094	1 183 878
<b>Celkem EBIT [Kč]</b>	<b>358 308</b>	<b>1 452 905</b>	<b>2 897 941</b>	<b>2 017 725</b>

*Tabulka 9: Celkový EBIT při provozu tepelného hospodářství.*

Z tabulky je vidět značný výnos na provozu KGJ. Je na každém provozovateli KGJ, zda si výnos dá do svého zisku nebo zda se jeho část promítne do snížení ceny tepla uživatelům.

## 5. Návrhy na optimalizaci provozu tepelného hospodářství

Své návrhy na optimalizaci jsem rozdělil dle technologie, které se týkají.

### 5.1. Optimalizace výroby tepla v PK

Z výše uvedených dat z provozu kotelny je vidět, že došlo k významnému zhoršení sezónní účinnosti plynových kotlů.

Rok	2016	2017	2018	2019
Sezónní účinnost PK	<b>84,15 %</b>	<b>83,75 %</b>	<b>77,80 %</b>	<b>69,64 %</b>
Vyrobené teplo v PK [GJ]	18 684,38	10 867,06	6 494,79	5 790,12
Podíl tepla z KGJ [%]	0,0 %	41,4 %	63,5 %	65,8 %

Tabulka 10: Sezónní účinnost plynových kotlů.

Z původní sezónní účinnosti 84,15 % v roce 2016 se snížila účinnost na 69,64 %. Snížení sezónní účinnosti bylo způsobeno snížením objemu tepla ve vybrané KGJ, mírnou zimou (a tím sníženým ročním objemem tepla v PK) a způsobem využívání plynových kotlů. Pro výrobu tepla byla upřednostňována KGJ a PK byly použity primárně jen na vykrývání požadavků na teplo, kdy neběžela KGJ. Pro výrobu tepla byla upřednostněna KGJ za účelem flexibility pro obchodníka s EE a tím byly kotle provozovány převážně na nízkých výkonech nebo na krátkodobé intervaly.

Pro rok 2016 a 2017 byla účinnost přibližně podobná, protože na počátku roku 2017 byly v provozu jen plynové kotle po dobu topné sezóny. Po uvedení KGJ do provozu (v dubnu) se jejich využití změnilo, ale nemělo to velký dopad na sezónní účinnost. V dalších letech se účinnost PK zhoršila, protože byly využívány jako doplňkové zdroje ke KGJ.

Pro znázornění ekonomického dopadu snížení účinnosti PK jsem provedl výpočet, který lze vidět v tabulce č.11:

Rok	2016	2019	<b>2019*</b>
Sezónní tepelná účinnost PK [%]	84,15 %	69,6 %	<b>84,15 %</b>
Vyrobené teplo v PK [GJ]	18 684	5 790	5 790
Vyrobené teplo v KGJ [GJ]	0,00	11 159	11 159
Podíl tepla z KGJ [%]	0,0%	65,8%	65,8%
Spotřeba ZP v PK [MWh]	6 167,76	2 309,64	1 911,33
Cena za spotřebovaný ZP v PK [Kč]	5 904 341	2 432 010	2 012 596
Navýšení ceny plynu způsobené sníženou účinností PK [Kč]			<b>419 000</b>

\*Dopočítané hodnoty pro případ stejné sezónní tepelné účinnosti PK, jako v roce 2016

Tabulka 11: Ekonomické vyhodnocení snížení účinnosti PK v roce 2016.

V případě udržení stejné účinnosti PK by spotřeba ZP v PK byla jen 1 911 MWh plynu. Snížením účinnosti došlo ke navýšení spotřeby ZP o 398 MWh a při ceně ZP v roce 2019 to znamená navýšení nákladů na výrobu tepla v PK o 419 000 Kč.

### **5.1.1. Návrh zlepšení účinnosti PK po instalaci KGJ v kotelně**

Existují způsoby, jak zvýšit sezónní účinnost plynových kotlů tak, aby se co nejvíce přiblížila k sezónní účinnosti v roce 2016. To, že se účinnost sníží je nevyhnutelné, vzhledem ke snížení ročního objemu tepla způsobeným výrobou tepla v KGJ a také tím, že ke sníženému objemu tepla z PK budou nyní PK naddimenzované. Způsobů, jak zaručit, aby se udržovala vyšší účinnost i po instalaci KGJ je několik. Jedním z nich je změna provozování KGJ. Ten ale popíšu v další kapitole a zde se budu věnovat optimalizacím zaměřeným na PK.

### **Zakoupení nového PK o malém tepelném výkonu**

Jak jsem výše uvedl, malá sezónní účinnost je dána zapínáním PK na nízké výkony. Tedy jednou z cest zlepšení sezónní účinnosti je instalace nového PK s menším tepelným výkonem, než má současné instalované PK. Při instalaci nového PK o tepelném výkonu cca 200 kWt, by bylo možné zapínat tento PK téměř paralelně s KGJ. Tím by tento malý PK mohl pracovat dlouhodobě na nominálním výkonu a v případě potřeby nižšího výkonu by se nepotřebný aktuální výkon přeměrovat z KGJ do AN. Při takto malém výkonu PK by provoz KGJ neměl být problém.

Tato varianta zlepšení sezónní účinnosti bohužel přináší investici do nového kondenzačního PK, vybudování betonového základu pod PK a napojení do komína. Tuto investici jsem odhadnul na 400 tis. Kč. Při využívání tohoto nového PK s výkonem 200 kWt očekávám lehce vyšší celkovou sezónní účinnost kotlů, než v předchozím případě kolem 78-79 %. To by přineslo zlepšení ekonomiky o zhruba 250 tis. Kč, což by znamenalo návratnost investice do 2 let.

## **5.2. Optimalizace zlepšení ekonomiky KGJ**

Po instalaci KGJ do kotelny si hodně lidí představí, že už je vše hotové a není potřeba se skoro vůbec starat a optimalizovat nově instalované zařízení. Pravdou je opak. Pokud chce provozovatel obdržet větší zisk z prodeje tepla a elektřiny a dosáhnout plné podpory, je zapotřebí se řídit pravidly a snažit se dosáhnout menších nákladů a větších výnosů. Níže budou rozvahově popsány dvě scénáře, kde lze docílit k optimalizaci KGJ.

### **Pravidla pro provoz KGJ z pohledu výrobce**

Pravidla výrobce a jejich výrobních smlouvy jsou nastaveny tak, aby se splnily požadavky životnosti KGJ. Servisní smlouvy jsou dány těmito pravidly:

- minimální provozovaný výkon 50 % nominálního výkonu
- roční počet startů je maximálně 1 000



- minimálně 2 h provozu KGJ po každém startu
- servisní poplatek dle servisní smlouvy se platí za každou motohodinu

Z pohledu nastavených pravidel a servisních poplatků se dosáhne vyšší účinnosti a nižších servisních nákladů při zapínání KGJ na dlouhé časové úseky na nominální výkon tak, aby se dosáhlo 3 000 h s co nejnižším počtem startů. Tímto provozováním se lehce sníží spotřeba ZP (při každém najíždění a vypínání je vyšší spotřeba paliva a menší tepelná účinnost).

### **Používání KGJ z pohledu obchodníka s EE**

Během provozu KGJ je vyrobená EE obchodovaná dle smlouvy s obchodníkem na trhu s EE. Obchodník získává EE od více subjektů, mezi nimiž jsou například solární či větrné elektrárny. Tyto typy elektráren bývají často nepredikovatelné a v případě možného velkého požadavku na EE se na ně nemůže vždy spoléhat. Proto je v takovém případě KGJ skvělým flexibilním zařízením, protože je schopné za celkem krátkou dobu začít vyrábět velké množství elektřiny do sítě.

Tímto vznikají požadavky od obchodníka na větší flexibilitu provozu KGJ kvůli tomu, aby mohly pokrýt potřebu svých spotřebitelů. S větší flexibilitou zapínání/vypínání KGJ je nabídnuta vyšší cena za EE, a to znamená větší výnos z prodeje EE jak obchodníkovi, tak i provozovateli kotelny. To také znamená, že obchodník by mohl zapínat a vypínat KGJ na menší časové úseky s větší pravidelností. Z pohledu obchodníka je zajímavá flexibilita a dle míry této flexibility je nabízena cena za prodanou EE.

### **Nastavení optimalizace provozu KGJ**

Servisní smlouvou jsou dány jen základní pravidla pro používání KGJ. Dle těchto pravidel lze provozovat KGJ za dosažení nejvyšší účinnosti jak KGJ, tak i PK, ale na úkor toho, že provoz KGJ a PK bude řízen dle počasí provozovatelem kotelny. Druhý pohled je poskytnou obchodníkovi s EE, co největší flexibilitu na úkor snížení účinnosti (KGJ i PK). Existují dva krajní extrémy při provozu KGJ:

#### **A) Maximalizace účinnosti KGJ (i PK)**

V tomto typu provozování je snaha zapínat KGJ na co nejdélejší časové úseky s nominálním zatížením a tím mít co nejmenší počet startů a nejmenší čas, kdy KGJ najíždí nebo sjíždí na výkon (během roku celkem). Tím se dosáhne nižší spotřeby ZP a vyšší účinnosti. Spínání KGJ řídí kotelník dle počasí a požadavků v soustavě. Obchodník s EE má dle smlouvy nasmlouvaný roční objem elektřiny, ale nedokáže ovlivnit, kdy elektřinu dostane. Z tohoto důvodu je stanovena výkupní cena EE na velmi nízkou hodnotu (například polovinu hodnoty, než při flexibilním provozu). Při tomto způsobu provozování KGJ je nižší mechanické namáhání dílů KGJ, což se pozitivně projeví na životnosti.

## **B) Maximalizace flexibility zapínání KGJ pro obchodníka s EE**

V tomto typu provozování KGJ obchodník s EE řídí, kdy bude KGJ vypnuta a zapnuta. Tím je KGJ pro obchodníka plně flexibilní zdroj, který může na základě svých požadavků zapnout a vypnout a díky tomu nabídne za nasmlouvanou EE mnohem vyšší cenu. Pokud by obchodník využil maximální počet možných startů a používal KGJ na vykrývání EE svého portfolia, tak by to znamenalo, že by KGJ jela cca 1000 tříhodinových cyklů. To by způsobilo značné navýšení spotřeby plynu na vyrobenou 1 MWh EE, vyšší mechanické namáhání a zároveň snížení účinnosti KGJ a PK. V případě, že by obchodník provozoval KGJ na 50 % zatížení, tak by to znamenalo zdvojnásobení servisních nákladů.

V případě optimalizace provozu KGJ za účelem nejlepší celkové ekonomiky kotelny je potřeba najít balanc mezi oběma výše popsanými extrémy provozování. Bude potřeba odhadnout finanční dopady snížené tepelné účinnosti při provozování na velkou flexibilitu. A následně navrhnout obchodníkovi s EE několik módů provozování s různými podmínkami a dle nabídnutých cen v jednotlivých módech provozování vybrat tu ekonomicky nejvýhodnější. Ve finální smlouvě s obchodníkem EE je důležité specifikovat podmínky provozování KGJ. Pro případ nedodržení podmínek stanovit sankce. Smlouva se uzavírá vždy na kalendářní rok. Podmínky provozování KGJ:

- Maximální počet startů za rok
- Provoz KGJ jen v případě požadavků na teplo
- Roční provoz KGJ na 3 000 h
- Provozování KGJ jen na nominálním výkonu
- Minimálně 2 - hodinový provoz KGJ

### **5.3.Optimalizace ekonomiky kotelny**

Provozovatel kotelny si sám stanoví denní rezervovanou kapacita plynu dle předpokládaného běhu PK a KGJ. Výše denní kapacity plynu má dopad na celkovou cenu plynu odběrného místa (čím větší denní kapacita plynu, tím větší je poplatek za tuto položku v celkové ceně plynu). Pokud bychom chtěli docílit snížení ceny této položky, je nutné snížit maximální denní provoz KGJ. Výpočtem tedy lze najít optimální maximální provoz KGJ, při kterém bezpečně KGJ najede 3 000 h. Pro výpočet optimálního maximálního provozu KGJ jsem vytvořil tabulku č.11 s výpočty:

Tepelný výkon			1,034	MWt	Max denní projezd		Max denní projezd	
Vyrobené teplo za rok			16 949	GJ	16 h		14 h	
Měsíc	Měsíční výroba tepla [MWh]	Počet dní v měsíci	Průměrná denní výroba [MWh]	Možný denní projezd [h]	Denní projezd KGJ [h]	Najetých hodin za měsíc [h]	Denní projezd KGJ [h]	Najetých hodin za měsíc [h]
Leden	806	31	26,0	25,2	18,0	496	14,0	434
Únor	582	28	20,8	20,1	18,0	448	14,0	392
Březen	582	31	18,8	18,2	18,0	496	14,0	434
Duben	333	30	11,1	10,7	10,7	322	10,7	322
Květen	202	31	6,5	6,3	6,3	195	6,3	195
Červen	100	30	3,3	3,2	3,2	97	3,2	97
Červenec	87	31	2,8	2,7	2,7	84	2,7	84
Srpen	90	31	2,9	2,8	2,8	87	2,8	87
Září	84	30	2,8	2,7	2,7	81	2,7	81
Říjen	448	31	14,4	14,0	14,0	433	14,0	433
Listopad	599	30	20,0	19,3	18,0	480	14,0	420
Prosinec	798	31	25,7	24,9	18,0	496	14,0	434
Celkem:					<b>3715</b>		Celkem	<b>3413</b>

Tabulka 12: Porovnání ročního provozu KGJ v případě odlišných maximálních denních projezdů.

Za poslední 4 roky jsem vybral rok s nejnižší výrobou tepla a udělal výpočet při aktuálním uvažovaném maximálním denním provozu KGJ (16 h). Následně jsem hledal počet hodin denního provozu KGJ, při kterém bezpečně najedu 3000 h. Za mě bych navrhoval stanovit maximální denní provoz na 14 h a dle toho adekvátně snížit nasmlouvanou denní kapacitu plynu.

Toto snížení denní rezervované kapacity plynu bude znamenat zlevnění této položky v ceně plynu zhruba o 10 Kč/MWh. Nejnižší výroba tepla za poslední 4 roky byla v roce 2019, kdy se vyrobilo 16 949 GJ a celková spotřeba zemního plynu v kotelně byla 10 200 MWh. V případě, že bych takto snížil denní rezervovanou kapacitu pro rok 2019, tak by se ušetřilo na zemním plynu **102 000 Kč**.

Pokud je takto optimalizována denní kapacita plynu, je potřeba hlídat, aby nedošlo k jejímu překročení v případě extrémně chladných dnů. Zde doporučuji v MaR kotelně zajistit algoritmus na počítání denní spotřeby plynu a varování obsluhy. Předpokládám, že dle praxe může následně obsluha odhalit, že například při denní průměrné teplotě pod -15 °C, je potřeba omezit provoz KGJ na 8 hodin provozu.

## 6. Závěr

Ve své práci jsem popsal současnou středně velkou kotelnu s roční výrobou tepla 20 000 GJ, kde se v roce 2017 instalovala KGJ. Práce popisuje kotelnu, její provozní stavy a roční průběh výroby tepla. Cílem práce bylo srozumitelně popsat, jak se postupuje v případě návrhu a instalace KGJ do tepelného hospodářství, co jsou nutné podmínky pro instalaci a co obnáší instalace a provoz KGJ.

Hlavní část mé práce bylo ekonomické vyhodnocení provozu KGJ za první 3 roky provozu a doporučení na optimalizaci ekonomiky celého hospodářství. Díky mé práci by měl být každý provozovatel tepelného hospodářství jen s PK schopný odhadnout dle popsaného postupu vhodnou velikost KGJ pro své tepelné hospodářství a tím i hrubě odhadnout ekonomický přínos.

Instalace a provozování KGJ přináší více starostí s provozováním než jen kotelna s PK, neboť je KGJ mnohem složitější zařízení. Je nutné pečlivě plánovat provoz KGJ a PK, hlídat udržení vysoké účinnosti PK a každý rok zajistit co nejlepší cenu na výkup EE z KGJ. Tyto práce jsou navíc velmi dobře vyváženy ekonomickým přínosem do ekonomiky tepelného a energetického hospodářství. Dokud bude státem garantována podpora KVET, tak dle mého názoru se instalace KGJ do tepelného hospodářství vyplatí.

## Seznam použité literatury

1. **Viessman, spol. s.r.o.** Vitocrossal 300. *Viessmann*. [Online] 30 October 2019. <https://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/plynove-kotle/plynove-kondenzacni-kotle/vitocrossal-300-cu3a.html>.
2. **PBS Power equipment.** Automatické Teplovodní kotle THP-IN. *PBSPE*. [Online] 14 Listopad 2019. <https://docplayer.cz/30035525-Thp-in-automaticke-teplovodni-kotle.html>.
3. **Viessman, spol.s.r.o.** Lexikon tepelné techniky. *Viessmann*. [Online] Viessman, spol.s.r.o. [Cited: 13 Listopad 2019.] <https://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/plynove-kotle/plynove-kondenzacni-kotle/vitocrossal-300-cu3a.html>.
4. **Ochrana, Ladislav and Kadrnožka, Jaroslav.** *Teplárenství*. BRNO : Akademické Nakladatelství CERM, s.r.o, 2001. ISBN 80-7204-222-X.
5. **Flin, David.** *Cogeneration a user's guide*. London : The institution of engineering and technology, 2010. ISBN 978-0-86341-738-2.
6. **Dvorský, Emil and Hejtmánková, Pavla.** *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. Praha : Technická literatura BEN, 2005. ISBN 80-7300-118-7.
7. **ČR, Ministerstvo průmyslu a obchodu.** <https://www.mpo.cz/dokument38872.html>. [Online] 1 10 2008. [Cited: 20 1 2020.] <https://www.mpo.cz/dokument38872.html>.
8. **Ing Václav Matz, Ph.D.** Ekvitermní regulace- princip a využití v systémech regulace vytápění. *tzbinfo*. [Online] tzbinfo, 3 8 2010. [Cited: 22 12 2019.] <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermni-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapani>.
9. **ČESKO.** § 2 odst. 2 vyhlášky č. 194/2007 Sb., vyhláška, kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody,. *Zákony pro lidi*. [Online] 17. 5 2019. [Citate: 14. 12 2020.] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-194#p2-2>.
10. **Krippelová, Ing.Zuzana and Peráčková, Ph.D, doc. Ing. Jana.** Průběh spotřeby teplé vody v bytových domech. *ASB-portal*. [Online] Katedra TZB Stavební fakulty STU Bratislava, 10 Listopad 2014. [Cited: 10 Listopad 2019.] <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/vytapani/prubeh-spotreby-teple-vody-v-bytovych-domech>.
11. **Hodobod', Ing. Josef.** Výpočet a gra ekvitermní křivky. *tzbinfo*. [Online] Topinfo s.r.o, 8 Březen 2017. [Cited: 10 Listopad 2019.] <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/15462-vypocet-a-graf-ekvitermni-krivky>. ISSN 1801-4399.
12. **Kotek, Ph.D., Ing. Petr.** Optimalizace nastavení ekvitermní (topné) křivky. *Katalog Úsporných opatření*. [Online] Asociace energetických specialistů, z.s, 26 Červenec 2018. [Cited: 10 Listopad 2019.] <http://www.kataloguspor.cz/Optimalizace-nastaveni-ekvitermni-topne-krivky.html>.
13. **Ministerstvo zdravotnictví České republiky.** Vyhláška č. 252/2004. *Zákony pro lidi*. [Online] AION CS, s.r.o, 27 Duben 2018. [Cited: 13 Listopad 2019.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252/zneni-20180427>.
14. **Pešta, Ing. Jan and Zwiener, Ph.D., Ing. Viktor.** Hlukové limity a měření hluk-stav po 1. lednu 2019. *atelier dek*. [Online] Dek, a.s., 2019. [Cited: 20 duben 2020.] <https://atelier-dek.cz/hlukov%C3%A9-limity-m%C4%9B%C5%99en%C3%AD-hluk-%E2%80%93-stav-po-1-lednu-2019-894>.
15. **Mrkvička, Lukáš.** *ECON-4*. Praha : ComAp, 2019. ECON-4 ComAp Speed governor. Prezentace pracovníka ComAp a.s..

16. **Caterpillar.** CG170-12 . *CAT*. [Online] Caterpillar, 2020. [Cited: 16 2 2020.] [https://www.cat.com/en\\_ZA/products/new/power-systems/electric-power/gas-generator-sets/18487630.html](https://www.cat.com/en_ZA/products/new/power-systems/electric-power/gas-generator-sets/18487630.html).

17. **Burišin, Ing. Miroslav.** Změna Z2 ČSN 73 4201 Komíny a kouřovody. *tzbinfo*. [Online] Topinfo s.r.o, 19 10 2015. [Cited: 20 3 2020.] <https://vytapani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vytapani/13336-zmena-z2-csn-73-4201-kominy-a-kourovody>.

## Seznam grafů

Graf 1: Ukázka ekvitemní křivky (12). .....	13
Graf 2: Roční odběr tepla pro ÚT za rok 2016, 2017, 2018 a 2019. ....	14
Graf 3: Ztráty tepla pro ÚT a průměrná venkovní měsíční teplota v roce 2017. ....	15
Graf 4: Roční odběr tepla pro TUV za rok 2016, 2017, 2018 a 2019. ....	17
Graf 5: Denní průběh spotřeby TUV.....	18
Graf 6: Měsíční výroby tepla pro rok 2016. ....	27

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Zjednodušené schéma popisované kotelny před instalací KGJ. ....	8
Obrázek 2: Schéma akumulčních zásobníků pro TUV.....	16
Obrázek 3: Zjednodušené schéma KGJ. ....	20
Obrázek 4: Schéma akumulční nádoby a KGJ. ....	22
Obrázek 5: Schéma spalovacího motoru KGJ (15). ....	23
Obrázek 6: KGJ od společnosti CAT nainstalovaná v kotelně (16). ....	31

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry instalovaných kotlů. ....	9
Tabulka 2: Data potřebná k výpočtu hodin projezdu KGJ o tepelném výkonu 872 kW. ....	28
Tabulka 3: Data potřebná k výpočtu hodin projezdu KGJ o tepelném výkonu 1050 kWt. ....	29
Tabulka 4: Rozpočet instalace KGJ. ....	34
Tabulka 5: Ekonomika provozované KGJ. ....	35
Tabulka 6: Ukázka časového plánu instalace KGJ. ....	38
Tabulka 7: Ekonomická data pro tepelné hospodářství KGJ. ....	40
Tabulka 8: Ekonomická data pro energetické hospodářství KGJ. ....	44
Tabulka 9: Celkový EBIT při provozu tepelného hospodářství. ....	46
Tabulka 10: Sezónní účinnost plynových kotlů. ....	47
Tabulka 11: Ekonomické vyhodnocení snížení účinnosti PK v roce 2016. ....	47
Tabulka 12: Porovnání ročního provozu KGJ v případě odlišných maximálních denních projezdů. ...	51

## Seznam použitých zkratk a symbolů:

Hs – spalné teplo	SCADA – supervisory control and data acquisition (počítačový systém pro sběr a analýzu dat v reálném čase)
Hi – výhřevnost	kW (MW) – jednotka výkonu
ÚT – ústřední topení	kWe (MWe) – jednotka elektrického výkonu
TUV – teplá užitková voda	kWt (MWt) – jednotka tepelného výkonu
ČSN – česká technická norma	h – hodiny
KGJ – kogenerační jednotka	SP – stavební povolení
KVET – kombinovaná výroba elektřiny a tepla	ZPR – zero pressure regulator (regulátor nulového tlaku)
DVT – deskový výměník tepla	PK – plynový kotel
SVT – spalínový výměník tepla	EBIT – zisk před úroky a daněmi
DS – distribuční soustava	EBITDA – zisk před úroky, daněmi, odpisy a amortizací
ES – elektrizační soustava	ZP – zemní plyn
CU – controller unit (řídící jednotka)	V – volt, jednotka napětí
NN – nízké napětí	Hz – hertz, jednotka frekvence
AN – akumulární nádoba	VN – vysoké napětí
MaR – systém měření a regulace	
ERÚ – Energetický regulační úřad	
OTE – Operátor trhu s elektřinou a plynem	
NN – nízké napětí	
mth – motohodina	
MWh – megawatthodina, jednotka tepla	
GJ – gigajoule, jednotka tepla	