ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA EKONOMIKY, MANAŽERSTVÍ A HUMANITNÍCH VĚD

Distribuovaná výroba elektřiny a tepla

Decentralized Heat and Electricity Production

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Ing. Martin Beneš, Ph.D.

Martin Chytra

Praha 2017

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Chytra** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **434709**

Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**

Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**

Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**

Studijní obor: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Distribuovaná výroba elektřiny a tepla

Název bakalářské práce anglicky:

Decentralized Heat and Electricity Production

Pokyny pro vypracování:

1. Technologie pro malou kogenerační výrobu
2. Ekonomické hodnocení projektů
3. Data pro vyhodnocení
4. Výpočet nákladů výroby elektřiny a tepla

Seznam doporučené literatury:

1. DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-730-0118-7.
2. BREALEY, Richard A a Stewart C MYERS. Teorie a praxe firemních financí. Praha: Victoria Publishing, 1992. ISBN 80-856-0524-4.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Martin Beneš Ph.D., katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **31.01.2017** Termín odevzdání bakalářské práce: _____

Platnost zadání bakalářské práce: **27.05.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce	Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání	Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Prohlášení

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

V Praze dne ……

……

Martin Chytra

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Martinu Benešovi, Ph.D. za poskytnuté rady, konzultace a metodické vedení práce.

Dále děkuji panu Ladislavu Šedému z ČEZ Energo, s.r.o. za poskytnuté materiály.

Děkuji také firmě TEDOM, a.s. za poskytnuté informace a materiály.

Rád bych také poděkoval svojí rodině za podporu po celou dobu studia.

Abstrakt

Hlavním cílem této práce je zhodnotit ekonomickou efektivitu instalace kogenerační jednotky při modernizaci kotelny WEKTO ve Zruči nad Sázavou. Nejdříve bude vysvětlena a popsána technologie výroby elektrické a teplené energie pomocí kogeneračního zařízení a stanoven provozní režim KJ. Dále bude ukázáno, podle čeho se bude ekonomická efektivita hodnotit a jak docházelo ke shromažďování dat, která budou sloužit pro další výpočty. Na závěr bude vyhodnocena efektivnost instalace KJ na základě výpočtů z naměřených dat a provedena analýza této efektivnosti.

Klíčová slova

Kogenerace, kogenerační jednotka, ekonomická efektivita, NPV, elektřina, teplo, zelený bonus

Abstract

The main aim of this thesis is to evaluate economic efficiency of installation Cogeneration Power Unit for modernization heating plant in Zruč nad Sázavou. At first will be explained and described technology of production heat and electricity by Cogeneration Power Unit and determined operation of CPU. Then will be shown identification of economic efficiency and dates collecting, which will be used for next calculations. Finally, will be evaluate economic efficiency of CPU from calculations.

Key words

Cogeneration, Cogeneration Power Unit, CPU, economic efficiency, NPV, electricity, heat, green bonus

Obsah

Prohlášení ... 3
Poděkování ... 4
Abstrakt ... 5
Klíčová slova ... 5
Abstract ... 5
Key words ... 5
Seznam obrázků ... 7
Seznam tabulek ... 7
1 Úvod ... 9
2 Technologie pro kogenerační výrobu ... 10
2.1 Hlavní části kogenerační jednotky ... 11
2.1.1 Motor ... 12
2.1.2 Palivo ... 13
2.1.3 Tepelný systém ... 14
2.1.4 Spalovací a ventilační vzduch ... 15
2.1.5 Odvod spalin a kondenzátu ... 16
2.1.6 Generátor ... 16
2.2 Princip kogenerační jednotky ... 17
2.3 Provoz kogenerační jednotky ... 18
2.3.1 Zimní provoz ... 21
2.3.2 Letní provoz ... 22
2.3.3 Pokrytí spotřeby tepla kogenerační jednotkou ... 24
3 Ekonomická hodnocení energetických projektů ... 26
3.1 Roční výrobní náklady a výnosy ... 26
3.2 Přehled metod hodnocení ekonomické efektivnosti investic ... 28
3.3 Předpoklady pro ekonomické hodnocení ... 29
4 Data pro vyhodnocení ... 31
4.1 Garanční měření ... 31
4.2 Vztahy pro výpočty z naměřených dat ... 32
4.3 Vyhodnocení garanční zkoušky ... 34
5 Výpočet nákladů výroby elektřiny a tepla ... 35
5.1 Investiční náklady ... 35
5.2 Provozní náklady ... 36
5.3 Stanovení výnosů ... 37

5.4 Výpočet NPV 39
5.5 Náklady na jednotku vyrobeného výkonu 41
6 Závěr 44
7 Literatura 45
Přílohy 46

Seznam obrázků

Obr. 1 Základní princip kogenerační výroby [3] 11
Obr. 2 Příklad úspory energie při použití kogenerační jednotky [9] 12
Obr. 3 Složení kogenerační jednotky bez kontejnerového provedení [9] 13
Obr. 4 Technologické schéma kogenerační jednotky [3] 19
Obr. 5 Provoz zařízení během kalendářního roku 20
Obr. 6 Diagram denní spotřeby elektrické energie v ČR 2007 [10] 21
Obr. 7 Spotřeba tepla v sídlišti za rok 2016 21
Obr. 8 Diagram výroby elektrické energie během dne v zimním období 22
Obr. 9 Diagram vyrobené tepelné energie během dne v zimním období 23
Obr. 10 Diagram výroby elektrické energie během dne v letním období 24
Obr. 11 Diagram vyrobené tepelné energie během dne v letním období 24
Obr. 12 Pokrytí spotřeby tepla v sídlišti pomocí KJ 25
Obr. 13 Procentuální porovnání investičních nákladů 37
Obr. 14 Vliv diskontu na velikost hodnoty NPV 41
Obr. 15 Porovnání variant KJ D770 a D600 41
Obr. 16 Vliv ceny tepla na velikost hodnoty NPV 42

Seznam tabulek

Tab. 1 Prostorové parametry KJ 12
Tab. 2 Technické parametry motoru 13
Tab. 3 Technické parametry paliva 13
Tab. 4 Technické parametry primárního okruhu 14
Tab. 5 Technické parametry sekundárního okruhu 15

Tab. 6 Technické parametry technologického okruhu ……15
Tab. 7 Technické parametry spalin a ventilačního vzduchu ……16
Tab. 8 Technické parametry odvodu spalin ……16
Tab. 9 Technické parametry generátoru …… 17
Tab. 10 Spotřeba tepla v sídlišti a pokrytí této spotřeby …… 25
Tab. 11 Výpočet diskontní sazby …… 30
Tab. 12 Výpočet z naměřených hodnot …… 34
Tab. 13 Výpočet účinnosti ……34
Tab. 14 Výpočet investičních nákladů ……35
Tab. 15 Výpočet ročních odpisů ……35
Tab. 16 Výpočet nákladů na palivo ……36
Tab. 17 Výpočet provozních nákladů ……37
Tab. 18 Výpočet celkových nákladů ……37
Tab. 19 Výpočet výnosů za elektrickou energii ……38
Tab. 20 Výpočet výnosů za zelený bonus …… 38
Tab. 21 Výpočet výnosů za tepelnou energii …… 38
Tab. 22 Výpočet výnosů za prodej energií …… 39
Tab. 23 Výpočet NPV ……39
Tab. 24 Společné náklady na výrobu obou energií ……42
Tab. 25 Přímé náklady na výrobu elektrické energie ……42
Tab. 26 Přímé náklady na výrobu tepelné energie ……42
Tab. 27 Výpočet nákladů na jednotku vyrobené elektrické energie.……43
Tab. 28 Výpočet nákladů na jednotku vyrobené tepelné energie ……43

1 Úvod

Způsob výroby elektrické a tepelné energie je velmi podstatný, neboť tyto energie jsou nejvíce využívány v běžném životě. Kogenerační jednotka je jedním z nejefektivnějších způsobů výroby obou energií současně. Tento způsob výroby je navíc podporován státem ve formě zeleného bonusu. Proto se na výrobu pomocí kogeneračního zařízení zaměřím ve své práci, abych potvrdil, že tento efektivní způsob je také ekonomicky výhodný.

Pořizovací cena kogenerační jednotky je vysoká, a tak se lze oprávněně obávat, zda dojde k dostatečnému zhodnocení této investice. Ve své práci bych se chtěl zaměřit na stanovení ekonomické výnosnosti výroby elektrické a tepelné energie pomocí kogeneračního zařízení ukázkou na konkrétním případu. Tím je instalace kogenerační jednotky do provozu kotelny ve Zruči nad Sázavou. Této instalace, která probíhala v druhé polovině roku 2016, jsem se osobně účastnil.

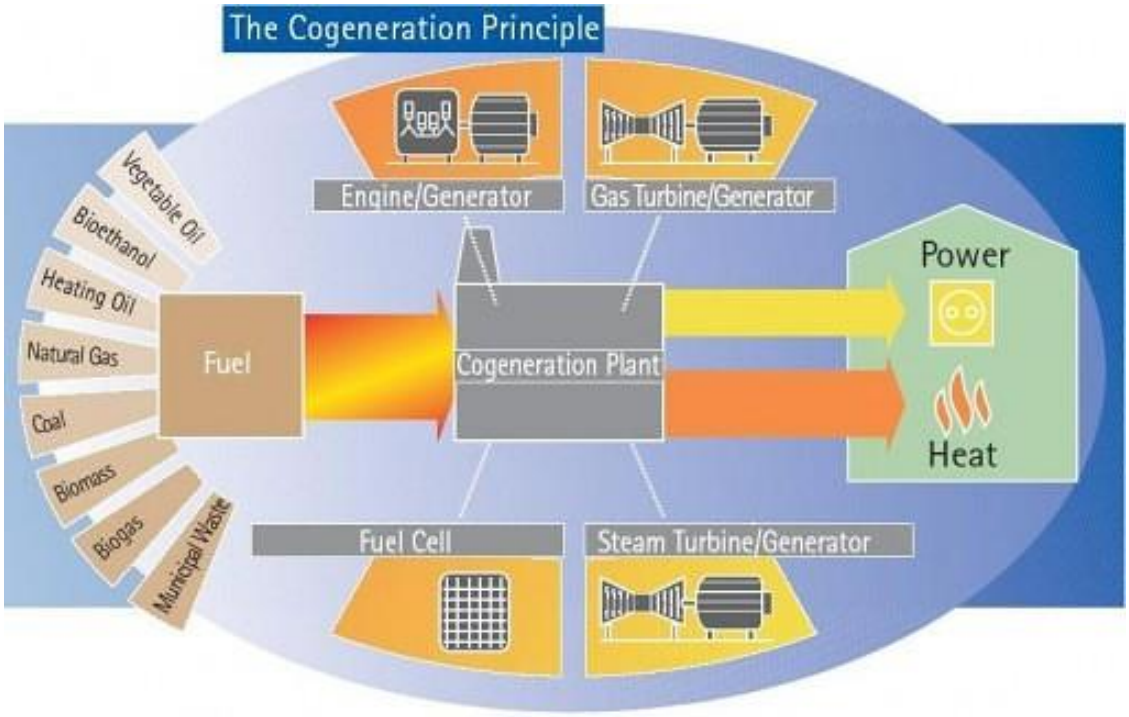
Ve své bakalářské práci budu počítat s konkrétními skutečnými hodnotami, které mi byly poskytnuty z provedených měření. Ekonomickou výnosnost budu zkoumat z hlediska výroby a prodeje elektrické a teplené energie, z hlediska investičních nákladů projektu a z hlediska provozních nákladů pro kogenerační výrobu.

Ve své bakalářské práci jsem se zaměřil na použití kogenerační jednotky jako zdroje elektřiny a tepla. Vysvětlím základní princip funkce kombinované výroby elektrické a tepelné energie, popíši technologii pro kogenerační výrobu a ukážu její výhody na konkrétním případu, kterým je instalace kogenerační jednotky do provozu kotelny ve Zruči nad Sázavou. Objasním provozování kogeneračního zařízení během kalendářního roku. Dále vypracuji ekonomickou analýzu zhodnocení této investice a připravím porovnání s jinou variantou.

Je možné předpokládat, že instalace kogenerační jednotky do provozu kotelny bude ekonomicky výhodná a dojde tak ke zhodnocení investice. Pomocí ekonomického ukazatele stanovím, k jakému zhodnocení dojde a případně, jestli je možné zhodnocení nějak zvýšit. Jelikož se jedná o dlouhodobý projekt, pokusím se také odhadnout vliv některých parametrů na vývoj cen.

2 Technologie pro kogenerační výrobu

Kogenerační výroba je sdružená výroba elektrické a tepelné energie. Jedná se o efektivní, spolehlivý a také ekologicky šetrný způsob výroby elektrické energie přeměnou energie získané z primárních energetických zdrojů, při kterém dochází současně k dodávce tepla do místa spotřeby. Právě využití tepla v podobě dodávky na krátkou vzdálenost do místa spotřeby, které by se při samostatné výrobě elektřiny muselo bez využití vypouštět do ovzduší, představuje podstatné zvýšení celkové účinnosti přeměny energie paliva. Snížení energetických ztrát vlivem transportu tepelné energie lze docílit zmenšením vzdálenosti, na kterou je teplo dodáváno. Toho lze dosáhnout decentralizací výroby neboli umístěním kogenerační jednotky co nejblíže objektu, který bude teplo využívat. [1] [2]



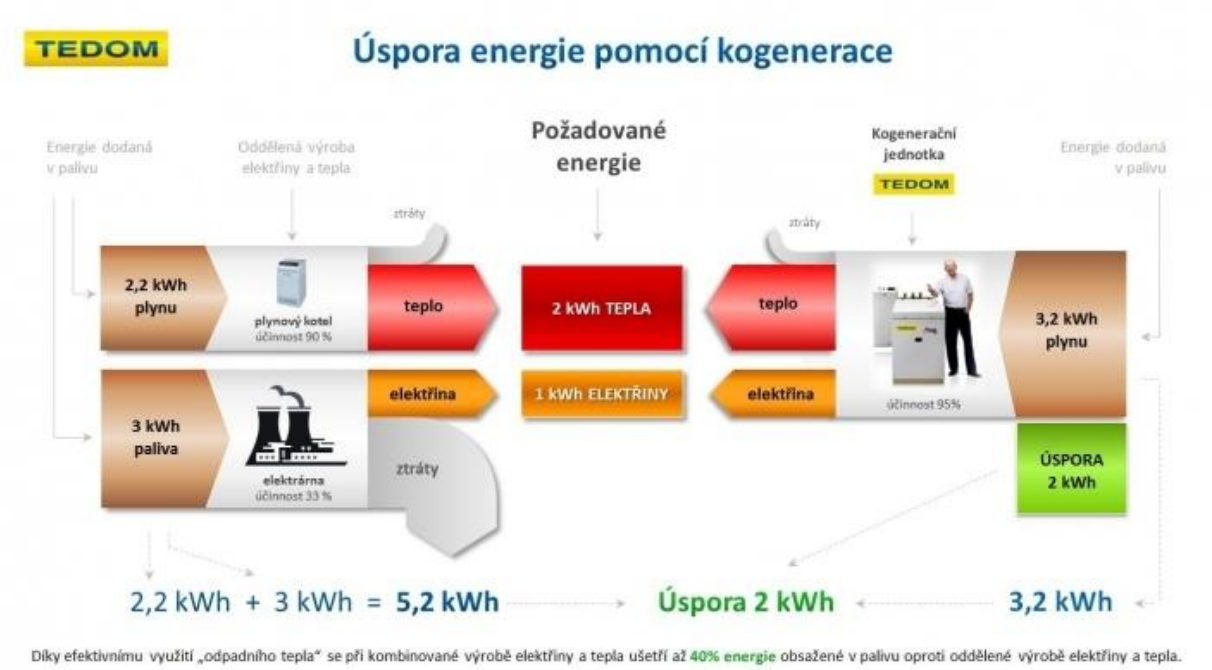
Obr. 1 Základní princip kogenerační výroby [3]

Použití kogeneračního zařízení pro výrobu elektrické a současně tepelné energie představuje ještě další výhody, než jenom efektivnější způsob využití energie paliva. [1] [5]

- Vysoká účinnost využití energie paliva má za následek snížení jeho spotřeby. Zemní plyn je vyčerpatelným zdrojem energie, a tak snížením spotřeby lze dosáhnout lepšího hospodaření s touto surovinou.
- Snížení emisí. Používáním kogenerační jednotky dochází k výraznému snížení emisí vypouštěných do okolí v porovnání s oddělenou výrobou obou energií, což představuje podstatnou úlevu pro životní prostředí.

- Kogenerační jednotka může být použita jako záložní zdroj energie. Je schopna rychlého uvedení do plného provozu v řádu jednotek minut. Může tak částečně vyrovnávat neočekávaný nedostatek elektrické nebo tepelné energie. [5]

Pro svoje výhody byla kogenerační jednotka použita při modernizaci kotelny WEKTO ve Zruči nad Sázavou. Dodavatelskou firmou se stala firma TEDOM, a.s., která garantuje pro tento projekt celkovou účinnost minimálně 88%. Tato účinnost je vyšší než při oddělené výrobě. Pro porovnání slouží příklad, který uvádí firma TEDOM, a.s. na svých webových stránkách (Obr. 2).



Obr. 2 Příklad úspory energie při použití kogenerační jednotky [9]

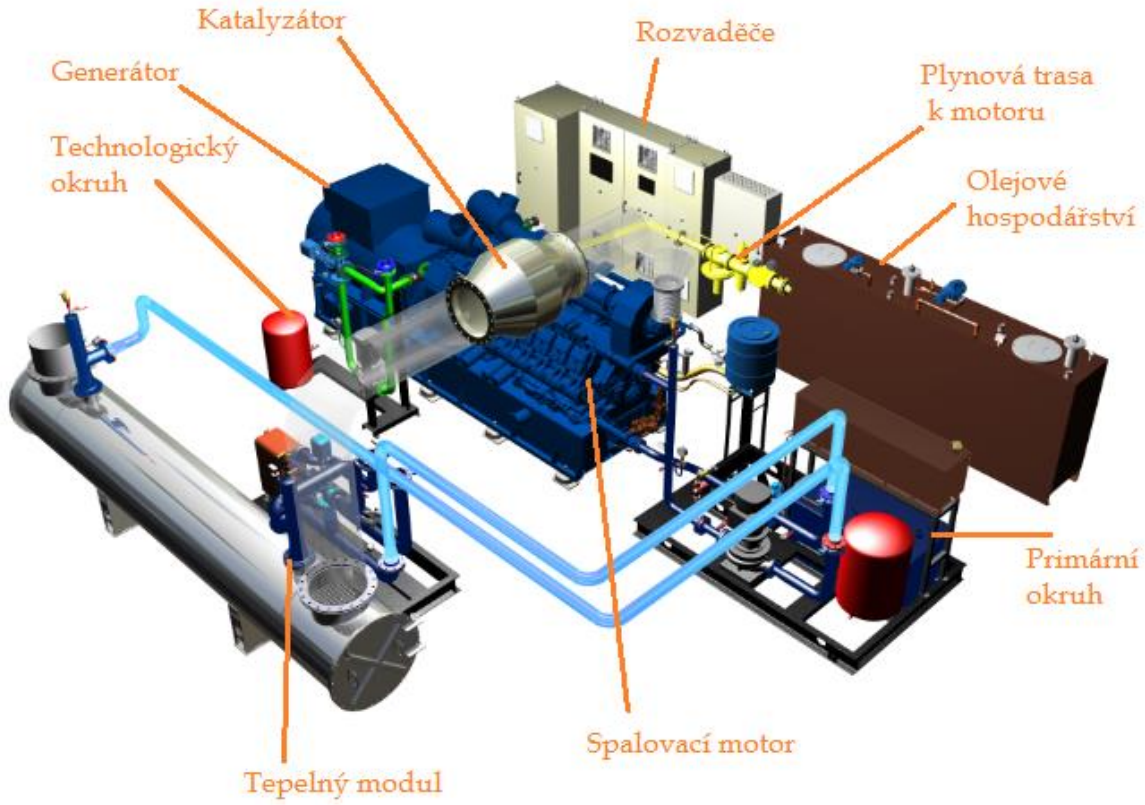
2.1 Hlavní části kogenerační jednotky

Pro modernizaci kotelny WEKTO Zruč nad Sázavou byla použita kogenerační jednotka **TEDOM Quanto D770**. Výrobcem a dodavatelem je firma TEDOM, a.s. Nově instalovaná kogenerační jednotka je určena k instalaci do vnitřního prostoru kotelny. Skládá se z modulu motorgenerátoru, který obsahuje spalovací motor na zemní plyn a synchronní generátor, který je na společné hřídeli s motorem oddělený spojkou. Generátor je určený pro paralelní provoz se sítí (kogenerační jednotka dodává do nadřazené distribuční soustavy) nízkého napětí 400 V a frekvencí 50 Hz. Soustrojí je umístěné na základovém rámu a opatřené protihlukovým krytem. Další částí je technologický modul s dvojicí sériově zapojených spalinových výměníků tepla, které slouží k předávání tepelné energie pomocí proudícího média. Nedílnou součástí kogenerační jednotky jsou tlumiče výfuku, tlumiče vzduchotechniky, ovládací elektrické rozváděče a plynová trasa přivádějící palivo do spalovacího

motoru. Předpokládaný činný elektrický výkon zařízení je 800 kW_e. Rozměry a hmotnost dané kogenerační jednotky jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 1).

Tab. 1 Prostorové parametry KJ

	Modul motorgenerátoru	Technologický modul
Délka [mm]	5 900	5 080
Šířka [mm]	2 500	1 300
Výška [mm]	2 700	2 600
Hmotnost [kg]	11 775	4 550



Obr. 3 Složení kogenerační jednotky bez kontejnerového provedení [9]

2.1.1 Motor

Poháněcím zařízením kogenerační jednotky je spalovací motor. Ten přeměňuje energii získanou z paliva na mechanickou energii. Přeměna probíhá pouze s určitou účinností, proto je část energie paliva přeměněná ve ztrátovou energii. Ztrátová energie je reprezentována teplem hromadícím se v motoru. Tím dochází ke zvyšování teploty motoru. Pro správný chod motoru je nezbytné toto teplo odvádět.

Bez dalšího využití by se jednalo o ztracené teplo. Toto teplo však odevzdává svoji energii pomocí teplonosného média v tepelném výměníku. Tím zároveň dochází k chlazení motoru.

Mechanická energie je dále přenášena na rotor synchronního generátoru. Motor pracuje rychlostí 1500 otáček za minutu. Proto se rotor generátoru také otáčí rychlostí 1500 otáček za minutu. Palivem pro motor je zemní plyn, který je přiváděn přes plynové potrubí. Do potrubí je namontován plynoměr pro ověření spotřeby a prokázání garantovaných parametrů. Základní parametry jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 2).

Tab. 2 Technické parametry motoru

Počet válců	16
Uspořádání válců	do V
Zdvihový objem	35 dm^3
Kompresní poměr	12 : 1
Otáčky motoru	1500 min^{-1}
Spotřeba oleje	0,20 g/kWh
Maximální výkon motoru	826 kW

2.1.2 Palivo

Palivem kogenerační jednotky je zemní plyn. Kvalita zemního plynu musí odpovídat určitým požadavkům a splňovat některé vlastnosti. Plynová trasa jednotky obsahuje ruční uzavírací armaturu, čistič plynu, sestavu dvou nezávislých rychlouzavíracích elektromagnetických ventilů s odvzdušněním mezikusu pro uzavření přívodu plynu při vypnutí jednotky. Výhřevnost plynu, pro kterou je kogenerační jednotka přesně navržena, je 34,2 MJ/m^3. Minimální metanové číslo zemního plynu je 80. Tlak plynu v přiváděcím potrubí se pohybuje v rozmezí 8 až 15 kPa. Potrubí tomu musí být přizpůsobeno. Výrobce garantuje maximální změny tlaku při změně spotřeby plynu do 10 %. Základní parametry jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 3).

Tab. 3 Technické parametry paliva

Výhřevnost plynu	34,2 MJ/m^3
Minimální metanové číslo plynu	80
Rozmezí pracovního tlaku plynu	8 – 15 kPa
Maximální změna tlaku při změnách spotřeby	10 %
Maximální teplota	35 °C

2.1.3 Tepelný systém

Tepelný systém kogenerační jednotky slouží k odvedení tepelného výkonu z kogenerační jednotky. Systém je tvořen dvěma nezávislými okruhy, primárním a sekundárním. Navíc obsahuje také technologický okruh, který chladí plnící směs.

2.1.3.1 Primární okruh

Primární okruh představuje vnitřní uzavřený tlakový okruh, který odebírá teplo z vodního pláště motoru a předává ho do sekundárního okruhu. Teplonosným médiem tohoto okruhu je směs vody a etylenglykolu. Koncentrace etylenglykolu je 35 % a musí být přesně dodržována. Maximální pracovní tlak okruhu je 300 kPa. Základní parametry jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 4).

Tab. 4 Technické parametry primárního okruhu

Teplonosné médium okruhu	voda + etylenglykol
Koncentrace etylenglykolu	35 %
Tepelný výkon okruhu	407 kW_t
Maximální pracovní tlak	300 kPa
Objem vody v primárním okruhu motoru	150 dm^3

2.1.3.2 Sekundární okruh

Sekundární okruh zajišťuje vyvedení hlavního tepelného výkonu jednotky (získané částečným předchlazením plnící směsi, chlazením vodního pláště motoru a spalin). Okruh standardně pracuje s teplotami vratné vody od 40 do 70 °C. Dodržení nejvyšší teploty 70 °C je nutné pro bezporuchový chod jednotky. Okruh není vybaven oběhovým čerpadlem. Okruh je osazen trojcestným ventilem se servopohonem pro dosažení teplotní stabilizace vody vracející se do sekundárního okruhu. Teplonosným médiem je v tomto okruhu voda. Kvalita oběhové vody sekundárního okruhu je rozhodujícím činitelem ovlivňujícím spolehlivost provozu kogenerační jednotky z pohledu odvodu tepelného výkonu. Nedodržení závazných hodnot pro kvalitu topné vody často vede k zanášení tepelných výměníků kogenerační jednotky a ostatních částí sekundárního okruhu, což může omezit provozuschopnost jednotky, případně způsobit vážné poškození tepelných výměníků jednotky. Základní parametry jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 5).

Tab. 5 Technické parametry sekundárního okruhu

Teplonosné médium sekundárního okruhu	voda
Maximální tepelný výkon okruhu	896 kW_t
Požadovaná teplota vody vstup / výstup	70/93 °C
Teplota vratné vody minimální / maximální	40/70 °C
Velikost průtoku vody	10,7 kg/s
Maximální pracovní tlak okruhu	600 kPa
Hydraulický objem KJ	1300 dm^3
Tlaková rezerva při jmenovitém průtoku	50 kPa
Rozdíl teplotního spádu	23 °C

2.1.3.3 Technologický okruh

Technologický okruh představuje okruh chlazení plnící směsi. Úroveň využití tepelného výkonu z tohoto okruhu a jeho vychlazení bezprostředně ovlivňuje dosažení základních technických údajů. Teplonosným médiem tohoto okruhu je směs vody a etylenglykolu. Základní parametry jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 6).

Tab. 6 Technické parametry technologického okruhu

Teplonosné médium okruhu	voda+ etylenglykol
Koncentrace etylenglykolu	35 %
Tepelný výkon okruhu	56 kW
Teplota chladicí kapaliny (výstup z KJ)	46,0 °C
Teplota chladicí kapaliny (vstup do KJ)	40,0 °C
Velikost průtoku média	2,9 kg/s
Tlaková rezerva při jmenovitém průtoku	45 kPa
Maximální pracovní tlak soustavy v KJ	300 kPa
Minimální pracovní tlak soustavy v KJ	50 kPa

2.1.4 Spalovací a ventilační vzduch

Nevyužitelné teplo (vysálané z horkých částí) je z jednotky odváděno ventilačním vzduchem, který do jednotky vstupuje a vystupuje vzduchotechnickými otvory s tlumiči hluku na střeše protihlukového krytu. Proudění ventilačního vzduchu zajišťují ventilátory na stropě protihlukového krytu. Spalovací vzduch slouží jako důležitá složka pro palivovou směs. Množství spalovací vzduchu je vyjádřeno v jednotce „normativní kubický metr za hodinu“ (Nm^3/h). Základní parametry jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 7).

Tab. 7 Technické parametry spalin a ventilačního vzduchu

Nevyužitelné teplo odvedené ventilačním vzduchem	62 kW
Množství spalovacího vzduchu	3 255 Nm³/h
Minimální množství ventilačního vzduchu	16 659 Nm³/h
Rozmezí teplot vzduchu na sání	10 – 35 °C
Doporučená teplota vzduchu na sání	25 °C
Maximální teplota vzduchu na výstupu	50 °C
Maximální tlak ventilačního vzduchu na výstupu	120 Pa

2.1.5 Odvod spalin a kondenzátu

Vyvedení spalin z vlastního modulu motorgenerátoru je zajištěno přes potrubní soustavu s technologickým modulem. Ve spalinovém potrubí je instalován katalyzátor, který snižuje množství škodlivých výfukových plynů. Technologický modul je tvořen dvěma spalinovými výměníky, hlavním a přídavným spalinovým výměníkem, a trojcestným ventilem sekundárního okruhu. Odváděné spaliny z modulu motorgenerátoru prochází přes spalinové výměníky, které jsou dále napojeny na komínové těleso. Při startu jednotky nebo při nízké teplotě vstupní vody do kogenerační jednotky vzniká ve spalinovodech (za spalinovými výměníky) kondenzát. Ten je nutno ze spalinovodu odvádět, aby nedošlo k ucpání tlumiče výfuku. Kondenzát je odváděn přes neutralizační box do kanalizace kotelny. Množství spalin je vyjádřeno v jednotce „normativní kubický metr za hodinu“ (Nm^3/h). Základní parametry jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 8).

Tab. 8 Technické parametry odvodu spalin

Množství spalin	3 365 Nm³/h
Teplota spalin mezi soustrojím a spalinovými výměníky provozní / maximální	457 / 550 °C
Teplota spalin za přídavným spalinovým výměníkem provozní / maximální	90 / 120 °C
Rychlost výfuku spalin na výstupu	12,9 m/s

2.1.6 Generátor

Zdrojem elektrické energie je čtyřpólový synchronní generátor s hladkým rotorem. Činný výkon generátoru je $P = 832\ kW_e$ za jednu hodinu provozu při plném zatížení a účiníku $\cos \varphi = 0{,}8$. Při výrobě

energie je nutné uvažovat maximální účinnost v pracovním bodě, která činí 96,8 %. Proto je maximální činný výkon generátoru $P = 805\ kW_e$. Generátor pracuje paralelně se sítí nízkého napětí. Velikost indukovaného napětí je 400 V a frekvence 50 Hz. Rotor generátoru je mechanicky poháněn spalovacím motorem a pracuje na stejných otáčkách jako spalovací motor, tj. 1500 otáček za minutu. Soustrojí motor-generátor je spojeno hřídelem, který tvoří jeden celek spojený přes kluznou spojku.

Výrobce KJ firma TEDOM, a.s. používá ve svých KJ generátory značky MARELLI. Základní parametry jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 9).

Tab. 9 Technické parametry generátoru

Maximální výkon generátoru	805 kW_e
Účiník	0,8
Maximální účinnost v pracovním bodě	96,8 %
Elektrické napětí	400 V
Frekvence indukovaného napětí	50 Hz

2.2 Princip kogenerační jednotky

Kogenerace představuje současnou výrobu elektrické a tepelné energie o požadovaném množství a kvalitě těchto energií. Hlavním rozdílem mezi konvenčními zdroji elektřiny a zdroji fungujícími na principu kogenerace je efektivnější využití tepla, které je při klasické výrobě elektřiny bez využití vypouštěno do okolí. [3].

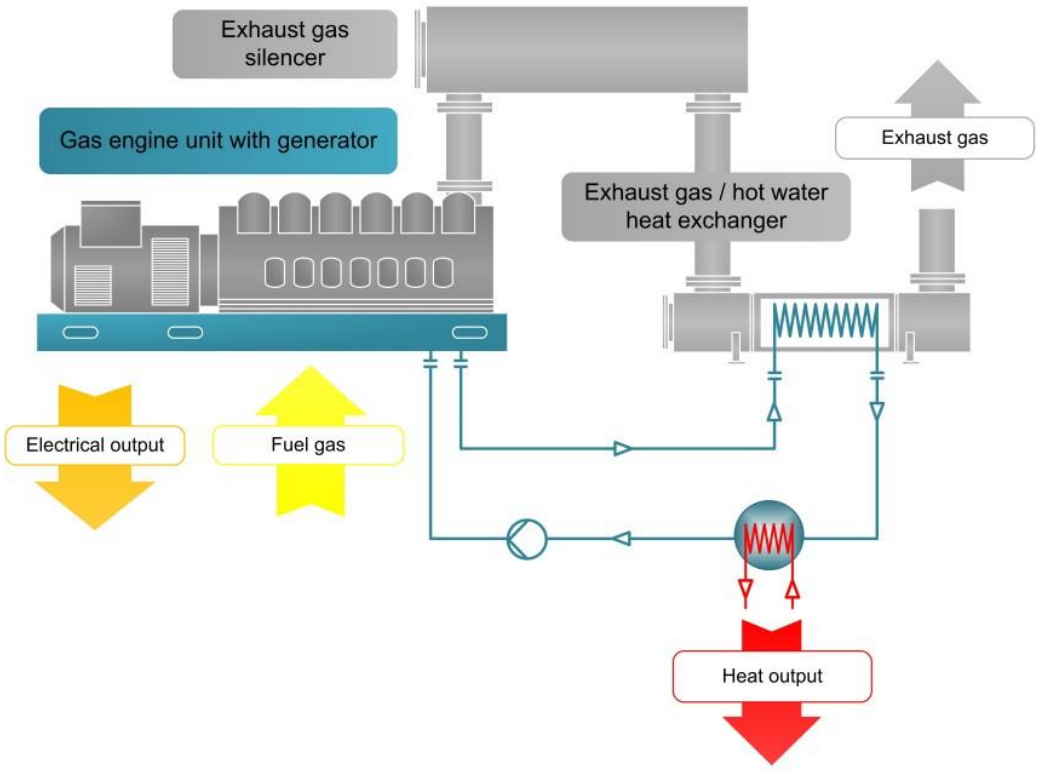
Princip kogenerační jednotky je založen na roztočení synchronního generátoru pomocí spalovacího motoru. Poháněcím ústrojím je tedy spalovací motor na zemní plyn. Motor vykonává mechanický pohyb, který je přes hřídel přenášen na rotor generátoru. Dodáním mechanické energie dochází k roztočení rotoru. Rotor se otáčí rychlostí 1500 otáček za minutu. Pomocí budiče rotorové vinutí je vytvořeno točivé magnetické pole a do statorového vinutí se indukují střídavá napětí, která jsou vyvedena na svorky generátoru. Odtud je střídavé napětí o velikosti 400 V a frekvenci 50 Hz vyvedeno pomocí silového kabelu do rozvaděče. Z rozvaděče jsou dále vyvedeny dvě cesty toku elektrické energie. První vede na transformátor, který zvyšuje napětí ze 400 V na 22 kV pro distribuční síť. Druhá cesta je napojena na systém vlastní spotřeby (třífázová síť o velikosti napětí 400 V).

Pří výrobě mechanické energie pomocí motoru vzniká ztrátové teplo spalováním zemního plynu. V hlavě válce vzniká velké teplo, které je nutné odvádět, aby nedošlo k přehřátí motoru. Proto je nezbytné zajistit chlazení motoru. To se provádí pomocí primárního cirkulačního systému, jehož chladícím médiem je směs vody a etylenglykolu. Médium primárního okruhu odvádí teplo z motoru do

deskového výměníku a zde odevzdává svoje teplo médiu sekundárního okruhu. Ochlazená směs primárního okruhu se vrací cirkulační smyčkou zpět do chlazení motoru.

Parametry topného systému, ve kterém se jednotka používá, jsou počítány s tepelným spádem 90/70 °C. Dodržení teplotního spádu je velice důležité pro požadovanou účinnost a celkovou funkčnost zařízení. Z KJ vystupuje voda o teplotě 90 °C. Optimální návratová teplota je 70 °C. Voda ohřátá teplem, které vzniklo v kogenerační jednotce jako ztrátové, je využita v sekundárním systému pro vytápění objektů a pro přípravu teplé užitkové vody blízkého sídliště. Poté, co voda sekundárního okruhu odevzdá svoje teplo, klesne její teplota a na zpáteční cestě ochlazuje primární cirkulační okruh.

Pro názornou ukázku poslouží technologické schéma kogenerační jednotky na obrázku (Obr. 4).

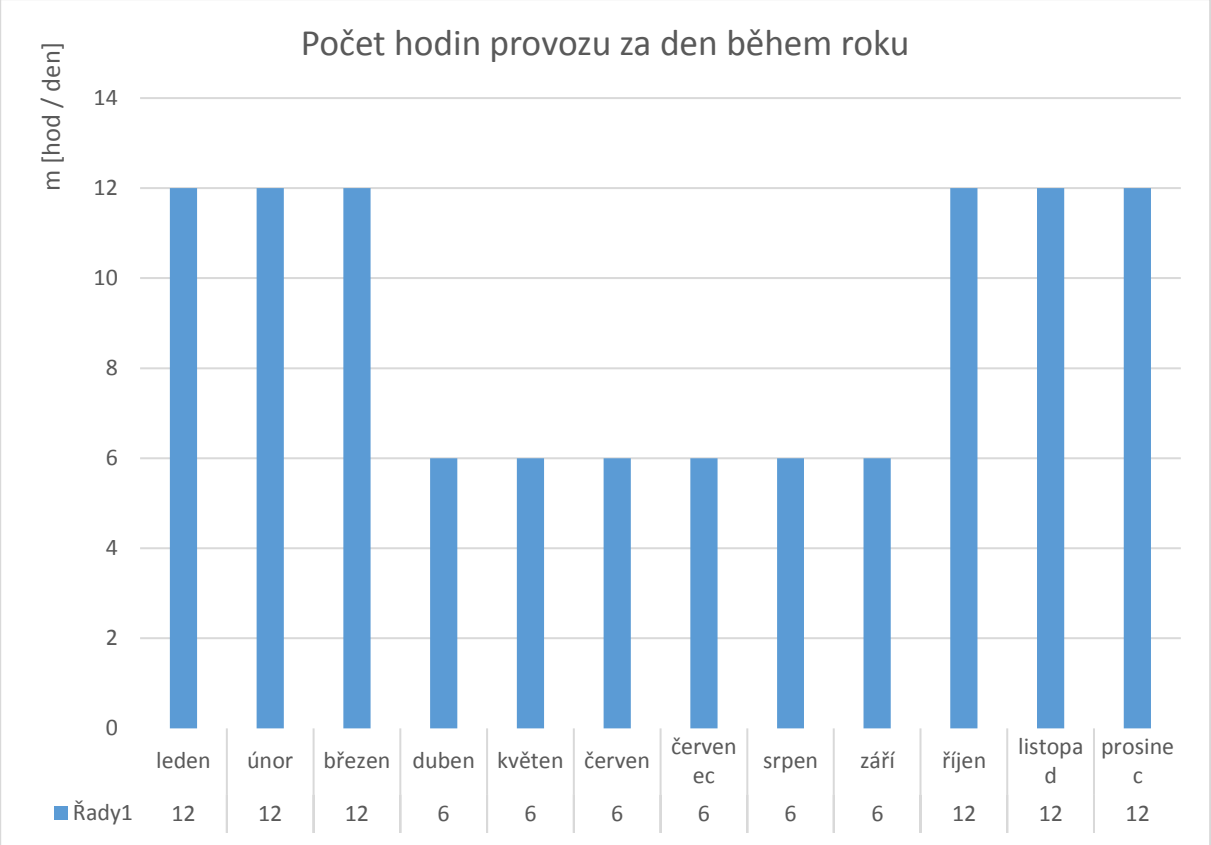


Obr. 4 Technologické schéma kogenerační jednotky [3]

2.3 Provoz kogenerační jednotky

Spotřeba elektrické a tepelné energie se mění během dne, a také během roku. To je dáno změnou teplot vlivem ročního období a denním diagramem spotřeby elektrické energie. Důležité je správné stanovení provozu kogenerační jednotky. Stanovením nejvýhodnějšího ekonomického provozu lze docílit provozovateli maximální zisk.

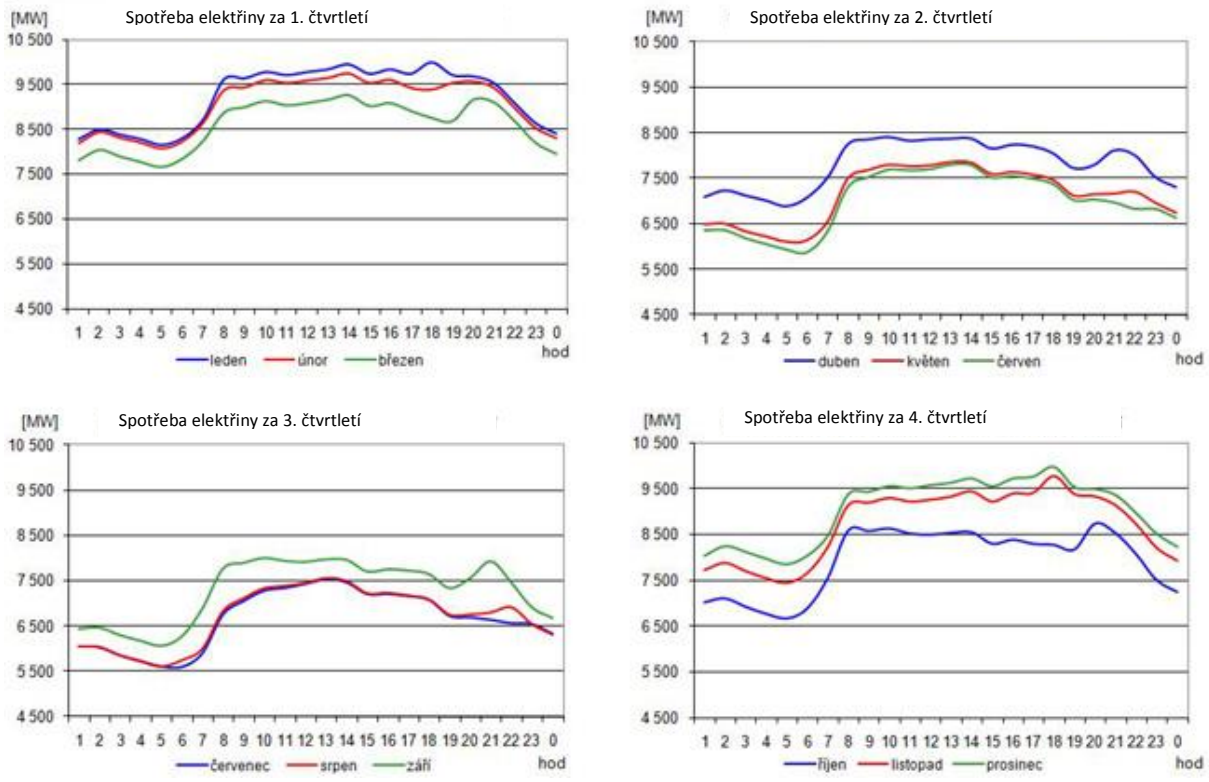
Kogenerační jednotka je v provozu každý den. Na základě podmínek dohodnutých ve smlouvě s odběratelem elektrické energie byl stanoven roční provoz kogenerační jednotky na 3300 hodin. Tomu je přizpůsoben provoz kogeneračního zařízení během kalendářního roku, kdy v zimním období (říjen – březen) je kogenerační jednotka v provozu 12 hodin denně, v letním období (duben – září) pouze 6 hodin denně. Počty provozních hodin jsou znázorněny na obrázku (Obr. 5).



Obr. 5 Provoz zařízení během kalendářního roku

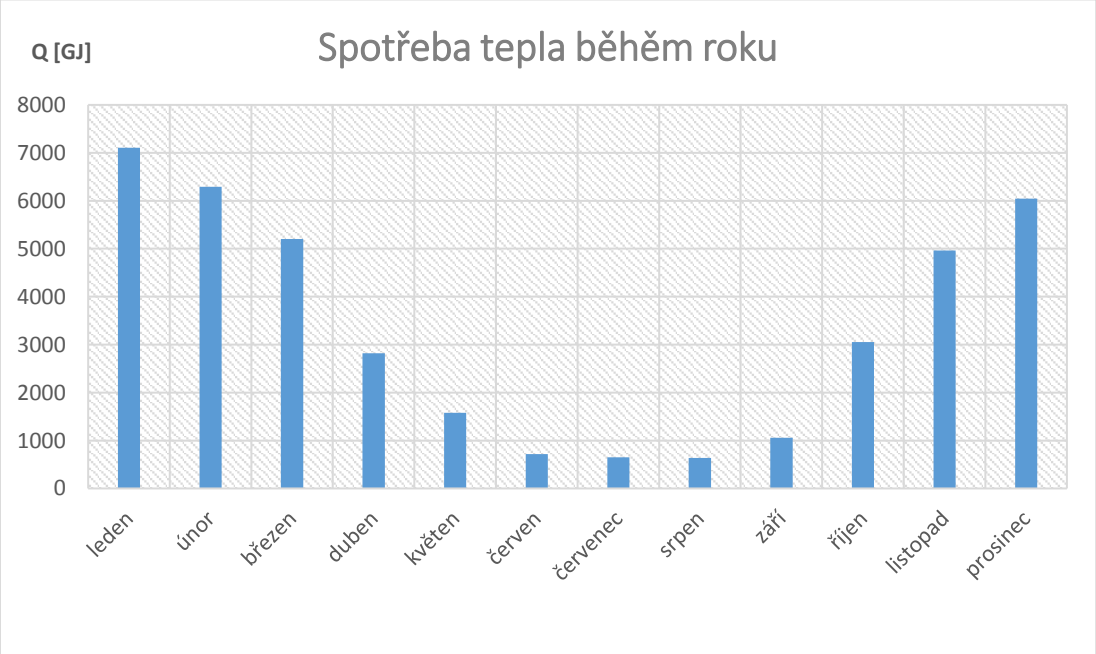
Kogenerační jednotka vždy pracuje při 100 % svého jmenovitého výkonu, jelikož zařízení tak pracuje s maximální účinností přeměny paliva. Množství vyrobené elektrické a tepelné energie bude v čase konstantní. Část vyrobené elektrické energie je použita pro vlastní spotřebu kogenerační jednotky a všech zařízení, které se nacházejí v prostoru kotelny (např. čerpadla, ventilátory). Tím dojde ke snížení provozních nákladů.

Elektrickou energii je nejvýhodnější vyrábět v čase jejího největšího odběru (polo špičkový a špičkový odběr), jelikož cena vykupované energie je v tomto čase největší, a tudíž provoz je ekonomicky nejvýhodnější. Ten lze určit z diagramu denního zatížení elektrické soustavy v ČR, který je zachycen na obrázku (Obr. 6). Pro případ kotelny ve Zruči nad Sázavou tomu odpovídá denní režim od 8:00 do 20:00 hodin v zimním období a od 8:00 do 14:00 v letním období. [1]



Obr. 6 Diagram denní spotřeby elektrické energie v ČR 2007 [10]

Podmínkou pro vyvedení tepelného výkonu je zajištění jeho řádného odběru. Pro tento případ bude veškeré teplo z motoru odváděno přes primární okruh a sekundárním okruhem v podobě horké vody o teplotě 90 °C dodáváno pomocí stávajícího potrubí do přilehlého sídliště. Na obrázku (Obr. 7) je zachycena spotřeba tepelné energie daného sídliště za rok 2016.

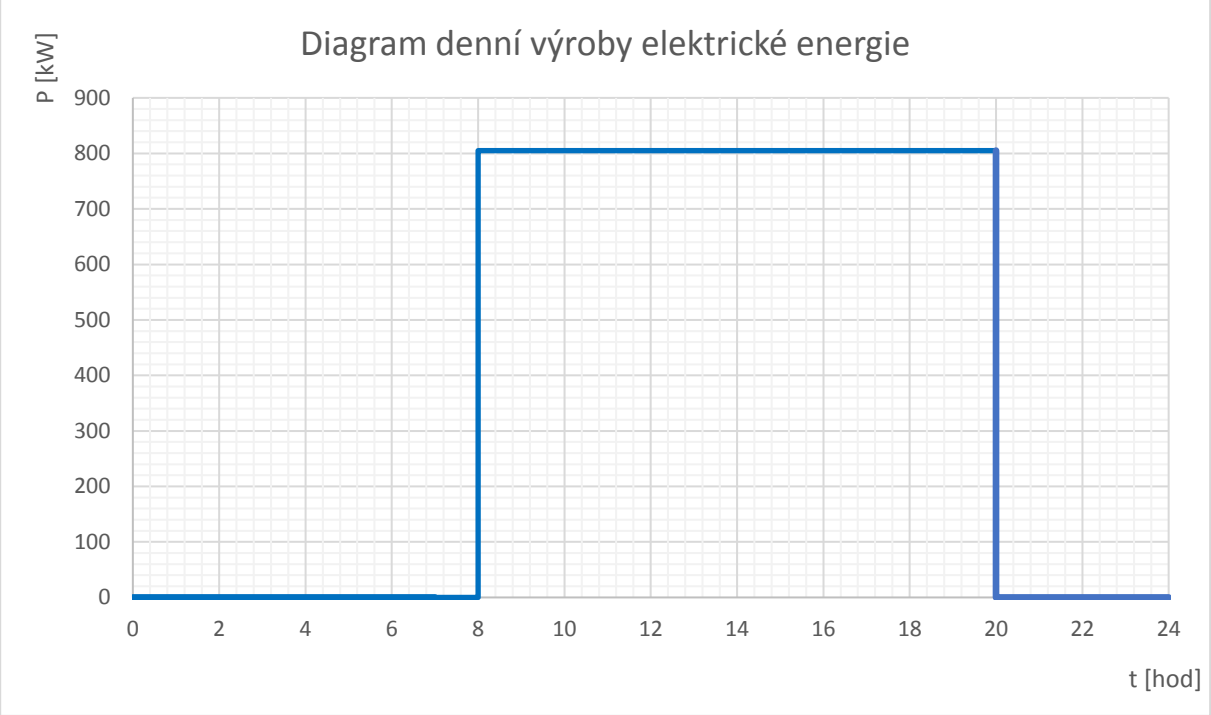


Obr. 7 Spotřeba tepla v sídlišti za rok 2016

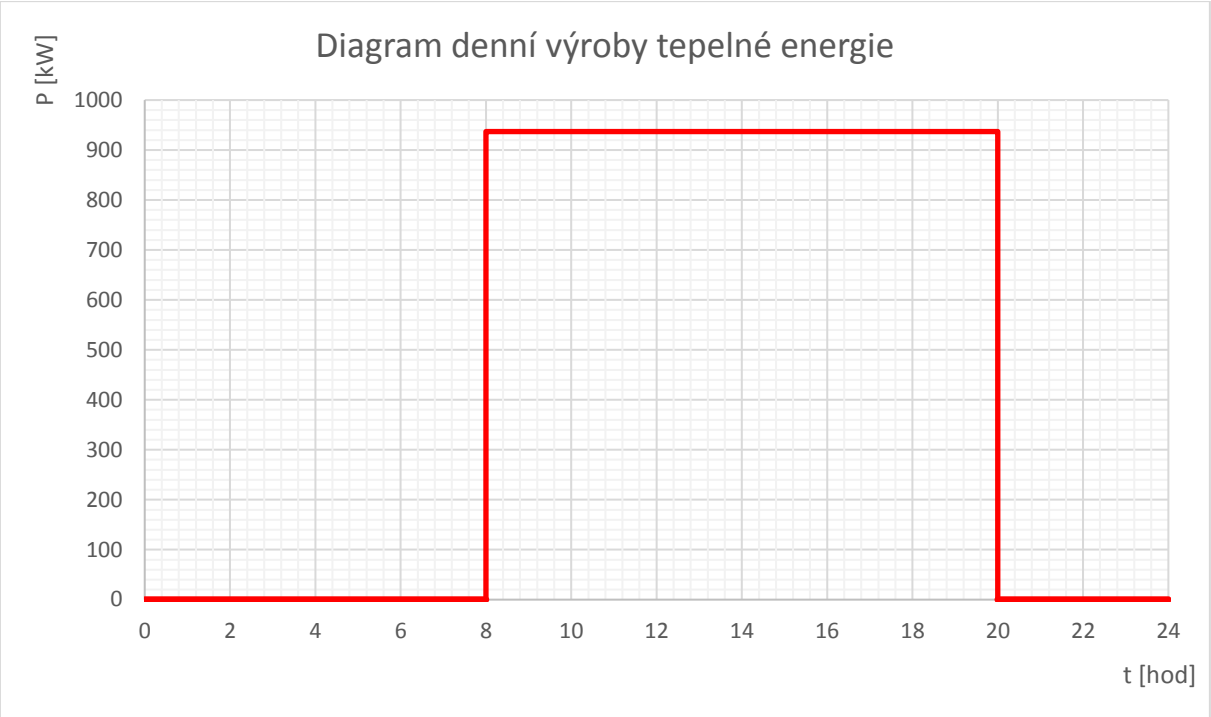
Z hlediska celoročního provozu kogenerační jednotky rozlišujeme dvě období: zimní provoz (říjen – březen) a letní provoz (duben – září). Jednotlivé provozy se od sebe liší především spotřebou tepelné energie a tedy požadavkem na dodávku tepla.

2.3.1 Zimní provoz

Během zimního provozu jednotka pokrývá 100 % požadavku na odběr teplé vody primárního okruhu a její ochlazení na požadovaných 70 °C pro optimální provoz jednotky. Veškeré teplo je využito v topném systému a na ohřev užitkové vody, což je výhodné pro celkový chod systému. Během zimního provozu je spotřeba tepelné energie od koncových uživatelů velká, a proto je využito veškeré odváděné teplo. Spotřeba tepla v zimním období je dokonce tak velká, že KJ nedokáže pokrýt veškerou spotřebu, a tak je v provozu také plynový kotel o výkonu 2,5 MW, který dodává tepelnou energii podle aktuální potřeby uživatelů. Jeho výkon a dodávku tepla lze libovolně měnit. Tato regulace je snadnější a také levnější než regulace KJ. Proto se primárně zužitkuje teplo odváděné z kogenerační jednotky a až následně teplo z kotle. V zimním provozu pracuje KJ 12 hodin denně, včetně víkendů. Průběh denní výroby je zachycen na obrázcích (Obr. 8) a (Obr. 9).



Obr. 8 Diagram výroby elektrické energie během dne v zimním období



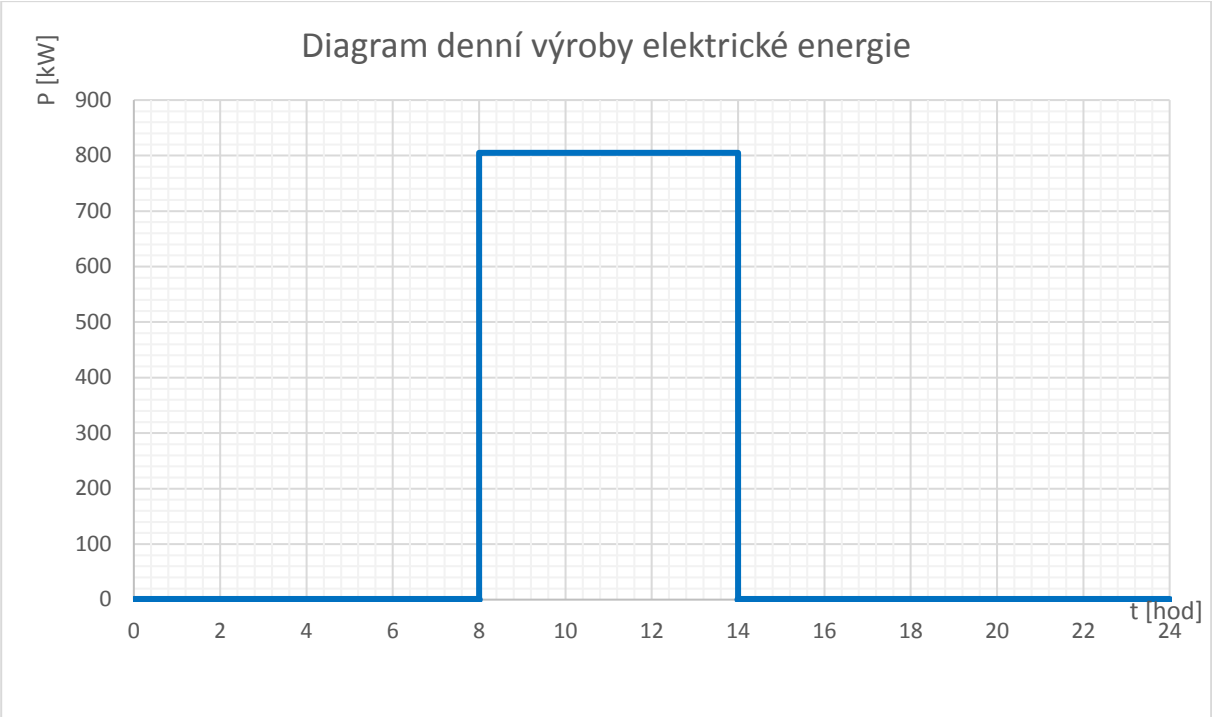
Obr. 9 Diagram vyrobené tepelné energie během dne v zimním období

2.3.2 Letní provoz

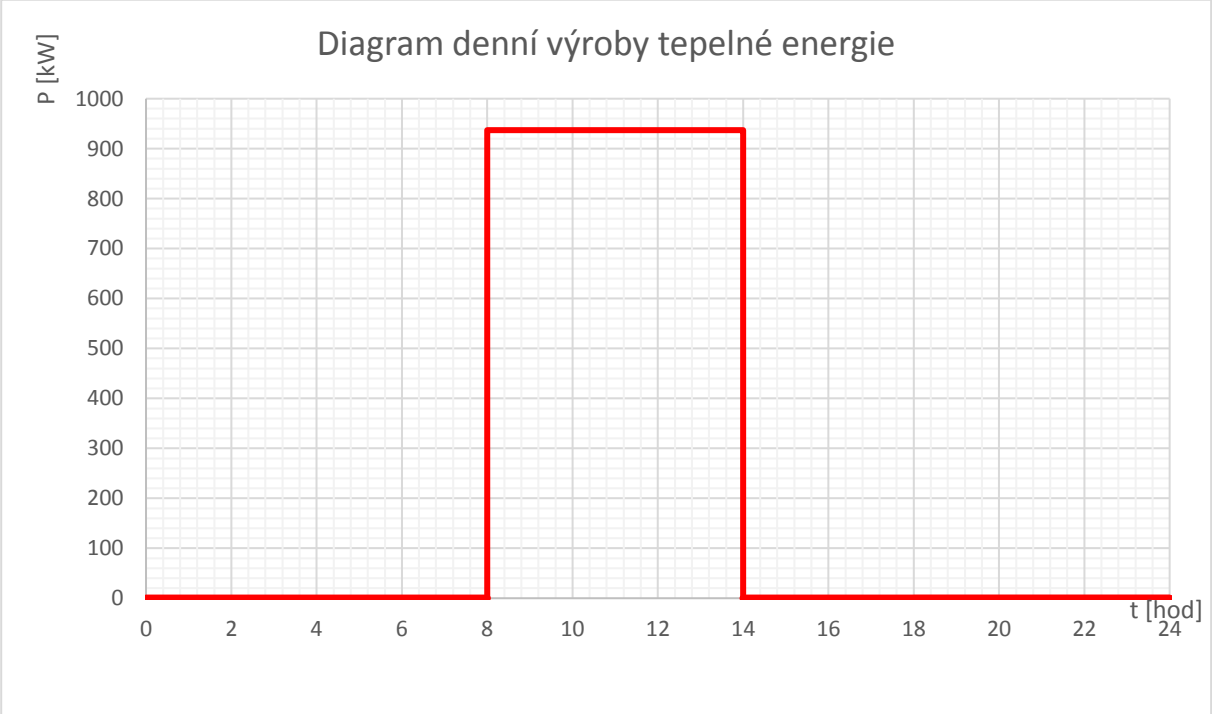
Během letního provozu výrazně klesá spotřeba tepelné energie v blízkém sídlišti, jak potvrzuje obrázek (Obr. 7). Na rozdíl od zimního provozu, kdy je zužitkováno veškeré teplo v topném systému a do jednotky se vrací optimálně vychlazená voda, je nutné zajistit odběr stejného množství tepla i pro letní provoz. Zajištění požadovaného odběru tepla je nezbytné pro dodržení teplotního spádu, na který je zařízení navrženo. Teplotní spád má zásadní vliv na celkovou funkčnost a účinnost zařízení.

Za tímto účelem je v systému instalována akumulační nádrž o objemu 100 m^3. Tato nádrž slouží k akumulaci vyrobeného tepla, které se v letním provozu nedá ihned využít, a jeho následného využití v době, kdy je kogenerační jednotka vypnutá.

Na obrázcích (Obr. 10) a (Obr. 11) lze vidět průběh výroby elektřiny a tepla, který odpovídá provozu KJ pro letní období.



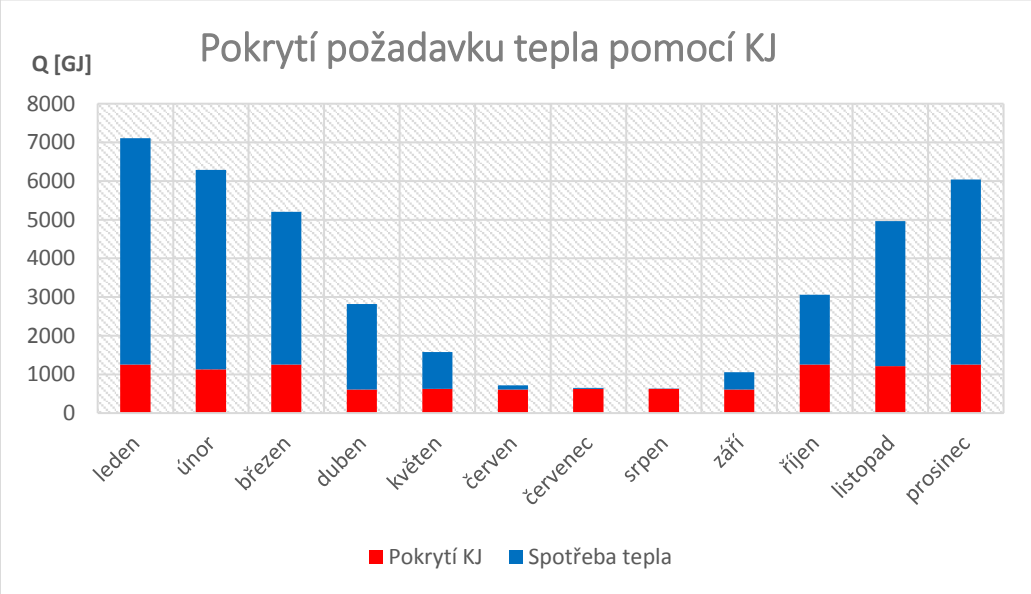
Obr. 10 Diagram výroby elektrické energie během dne v letním období



Obr. 11 Diagram vyrobené tepelné energie během dne v letním období

2.3.3 Pokrytí spotřeby tepla kogenerační jednotkou

Ze získaných hodnot vyplývá, že během celého roku je pro nastavený provoz zajištěna spotřeba veškerého tepla, které je vyprodukováno kogenerační jednotkou. V létě však nastává situace, kdy není možné spotřebovat veškeré vyrobené teplo v době jeho výroby. Je tedy nutné toto teplo částečně akumulovat v akumulační nádrži pro pozdější využití. Díky akumulační nádrži, kde je část tepelné energie uchována, lze vyrobené teplo spotřebovat až v požadovanou dobu. Na obrázku (Obr. 12) je zachyceno pokrytí spotřeby tepla pomocí KJ.



Obr. 12 Pokrytí spotřeba tepla v sídlišti pomocí KJ

Celkové teplo odvedené z kogenerační jednotky by na ohřev užitkové vody a vytápění celého sídliště nestačilo, proto jsou v kotelně pro tuto situaci umístěny dva klasické plynové kotle. Požadavkem zůstává zužitkovat veškeré teplo odváděné z kogenerační jednotky a až následovně vyrábět teplo pomocí plynového kotle o tepelném výkonu 2,5 MW podle potřeby koncových zákazníků. Tento kotel je tedy používán pro dorovnání aktuální potřeby tepelné energie uživatelů. V kotelně je navíc umístěn také větší kotel o výkonu 4 MW, který slouží jako záloha pro výrobu tepla pomocí biomasy v další provozované kotelně. Rovněž má jistící funkci v případě nepředpokládaného výpadku kogenerační jednotky z provozu.

Následující tabulka (Tab. 10) uvádí spotřebu tepelné energie v sídlišti a pokrytí spotřeby pomocí KJ a plynového kotle 2,5 MW.

Tab. 10 Spotřeba tepla v sídlišti a pokrytí této spotřeby

	Spotřeba tepla 2016 [GJ]	Výroba tepla KJ [GJ]	Výroba tepla kotel 2,5 MW [GJ]
Leden	7 107	1 255	5 852
Únor	6 289	1 133	5 156
Březen	5 205	1 255	3 950
Duben	2 820	607	2 213
Květen	1 580	627	953
Červen	716	607	109
Červenec	649	627	22
Srpen	635	627	8
Září	1 054	607	447
Říjen	3 057	1 255	1 802
Listopad	4 966	1 214	3 752
Prosinec	6 043	1 255	4 788

3 Ekonomická hodnocení energetických projektů

Hodnocení ekonomické efektivnosti investičních projektů v energetických oborech vychází z několika předpokladů. Prvotním předpokladem je splnit požadavky odběratelů na dodávku tepla a elektrické energie. Toho lze dosáhnout různými variantami, které mezi sebou lze porovnat a vybrat tu nejlepší. Při hodnocení variant lze porovnávat: [1]

- způsob technického provedení
- rizika a nejistoty v daném řešení
- očekávané přínosy a náklady [2]

3.1 Roční výrobní náklady a výnosy

Pro ekonomické posouzení projektu jsou základem hodnoty ročních výrobních nákladů a výnosů. Pro správné stanovení celkových výrobních nákladů a výnosů je nutné podrobně rozepsat, co tvoří jednotlivé položky výrobních nákladů a jak dochází k získání výnosů. [1]

Roční výrobní náklady jsou tvořeny dvěma kategoriemi investic: počátečními investicemi a provozními náklady. Počáteční investice se dostávají do nákladů až ve formě odpisů. Pro správné stanovení velikosti nákladů je nezbytné podrobně rozebrat obě položky.

Počáteční investiční náklady tvoří:

- Cena kogenerační jednotky
- Palivové hospodářství
- Připojení na elektrickou síť
- Mechanická propojení a elektrický servis
- Nové budovy či jejich úpravy pro provoz kogenerační jednotky
- Náklady na uvedení do provozu
- Prostředky zabezpečující ochranu [1]

Velikost investičních nákladů závisí především na typu kogenerační jednotky a na podmínkách její instalace. Samotná kogenerační jednotka obvykle představuje největší investiční položku a tvoří 40 až 60 % celkové investice. Pro instalaci kogenerační jednotky ve Zruči nad Sázavou to bylo dokonce 70 % z celkových investičních nákladů. Další značná položka investice je tvořena připojením na energetický systém, tím se rozumí vyvedení elektrického a tepelného výkonu. Další položky jsou významně menší, přesto musí být zahrnuty do celkové výše investice.

Důležitá je také doba životnosti zařízení, která má vliv na amortizaci a odpisování. Velikost odpisů je stanovena právě na základě doby životnosti. Problematice určení doby životnosti je věnována kapitola 3.3, kde je doba životnosti stanovena. [8]

Provozní náklady tvoří:

- Náklady na palivo pro pohonnou jednotku (v našem případě zemní plyn pro spalovací motor)
- Mzdové náklady
- Náklady na běžnou údržbu
- Náklady na plánované prohlídky a opravy
- Náklady na montážní a údržbový materiál
- Náklady na oleje, technické plyny a chemické prostředky na úpravu chladící vody [1]

Největší položku tvoří náklady na palivo. Velikost nákladů na palivo ovlivňuje celková požadovaná tepelná účinnost, kvalita používaného paliva a jeho měrná cena.

Výnosy:

Výnosy jsou dány především vyrobenou elektrickou energií a zužitkováním odváděné tepelné energie. Realizace probíhá buď prodejem těchto energií, nebo úsporou při jejich nákupu od externích dodavatelů. Velmi často se obě dvě formy kombinují dohromady. Dochází tak ke kompletnímu krytí vlastní spotřeby zařízení i vlastní spotřeby objektu, ve kterém je KJ umístěna. Část, která není určena pro vlastní spotřebu, je prodávána do distribuční sítě. Pro výrobu elektrické energie pomocí KJ je navíc možno čerpat zelený bonus. Výše zeleného bonusu je stanovena ERÚ.

Ve Zruči nad Sázavou je část vyrobené elektrické energie využita pro vlastní spotřebu a zbytek je dodáván do sítě ve špičkovém režimu. Elektrická energie použitá pro vlastní spotřebu se dále dělí na energie pro vlastní spotřebu KJ, vlastní spotřebu objektu stálou (např.: čerpadla, elektronické systémy) a vlastní spotřebu objektu proměnnou (např.: světla, ventilátory) činí 49 kW_e za hodinu. Do sítě tak kogenerační jednotka dodává 756 kW_e za hodinu. Smluvní dohoda mezi provozovatelem a odběratelem stanovuje částku výkupu elektrické energie na 1,60 Kč za 1 kW_e.

$$V_e = (E_e - VS) * C_e$$

kde V_e je výnos za prodanou elektrickou energii, E_e je celková vyrobená elektrická energie, V_s je vlastní spotřeba objektu a C_e je cena za prodanou jednotku energie.

Velmi důležitým příjmem je také státní podpora v podobě zelených bonusů. Ty jsou ERÚ stanoveny pro výrobu elektrické energie pomocí KJ spalující zemní plyn na 455 Kč/MWh. Do zeleného bonusu je tak účtován veškerý vyrobený elektrický výkon, včetně vlastní spotřeby. [7]

Výnosy za tepelnou energii jsou dány prodejem této energie. V nastaveném provozním režimu lze vždy prodat veškeré vyrobené teplo. Tepelné ztráty jsou minimální, neboť teplo přenášíme na velmi krátkou vzdálenost. Pro případ vytápění sídliště ve Zruči nad Sázavou je stanovena cena prodeje tepla na 416,19 Kč za 1 GJ tepla.

$$V_t = E_t * C_t$$

kde V_t je výnos za prodanou tepelnou energii, E_t je celková vyrobená tepelná energie a C_t je cena za prodanou jednotku energie.

3.2 Přehled metod hodnocení ekonomické efektivnosti investic

Pro hodnocení ekonomické efektivnosti investičních projektů je nutné znát kritéria, podle kterých bude investice posuzována. Přestože se jednotlivá kritéria liší, mají zpravidla stejný cíl. Cílem provozovatele kogenerační jednotky je maximalizace zisku. Proto lze brát v úvahu tato kritéria: [1]

- Snížení nákladů na výrobu jednotky výkonu
- Zvýšení zisku nebo výnosů za prodej energie
- Zefektivnění výroby [1]

Pokud jsou již kritéria známa, podle kterých lze ekonomickou efektivnost investičního projektu hodnotit, je možné použít některou z ekonomických metod pro posouzení výhodnosti investice. Vybírat lze z několika metod. Pro hodnocení tohoto projektu jsem zvolil metodu čisté současné hodnoty (NPV), která vrací hodnotu v absolutním čísle a uvažuje časovou změnu peněz. [4] [6]

- **Čistá současná hodnota** (anglická zkratka NPV – Net Present Value)

  Jedná se o ekonomický ukazatel, který počítá s budoucími hotovostními toky. Výsledkem je rozdíl mezi diskontovanou současnou hodnotou peněžní investice a hodnotou kapitálových příjmů. V této metodě je zahrnuta doba životnosti projektu, možnost investice do jiného projektu a časová hodnota peněz. Metoda jednoznačně určuje, kolik peněz za dobu životnosti zařízení projekt přinese či sebere. Počítá pouze s peněžními toky v jednotlivých letech. Pro tento projekt je zcela postačující, jednoznačně vybere lepší variantu. To je také jeho výhoda oproti dalším ekonomickým ukazatelům (např. IRR – vnitřní výnosové procento). [4] [6]

  Základem pro výpočet NPV jsou co nejpřesnější odhady budoucích peněžních toků v souvislosti s projektem. Je tedy nutné přesně stanovit příjmy a výdaje. Důležité je rovněž správně zvolit dobu životnosti, které výrazně ovlivňuje hodnotu NPV. Problematice době životnosti byla věnována kapitola 3.3, kde byla jednoznačně stanovena.

  V budoucích peněžních tocích lze také zohlednit jejich změnu hodnoty v čase (vlivem inflace a úročení). Proto je nutné budoucí toky diskontovat pomocí diskontní sazby. Stanovení správné výše diskontu je obtížné. Jedna z možností výpočtu diskontu je pomocí váženého průměru na kapitál (WACC), která je rozebrána v kapitole 3.3. Dalším řešením je citlivostní analýza diskontu, kde lze sledovat vliv diskontu na změnu hodnoty NPV. [6]

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_ž} \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

kde CF_t jsou peněžní toky v jednotlivých letech, $T_ž$ je doba životnosti projektu, r je diskontní úroková míra. CF v roce 0 představuje investici projektu a má záporné znamínko.

Proto je možné použít i tento vzorec:

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_ž} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - Investice$$

Pro výpočty v Excellu lze použít funkci ČISTÁ.SOUČHODNOTA, kde je nutno zadat výši diskontu v procentech, jednotlivé hotovostní toky a odečíst výši investice.

3.3 Předpoklady pro ekonomické hodnocení

Doba životnosti

Prvním parametrem, který se objevuje u většiny ekonomických ukazatelů, je doba životnosti. Správné stanovení doby životnosti jakéhokoliv projektu je obtížné, neboť zde hraje roli více faktorů současně. Lze ji stanovit například na základě předešlé zkušenosti s provozem stejného typu zařízení.

Stanovení této doby má značný vliv nejen na ekonomické ukazatele, které se změnou doby životnosti výrazně mění, ale také na výši odpisů a porovnání s jinými projekty. Doba životnosti se především odvíjí od množství hodin, ve kterých bude zařízení v provozu. Na základě uzavřené smlouvy investora s odběratelem elektrické energie bude nově instalovaná KJ v kotelně ve Zruči nad Sázavou v provozu 3300 hodin ročně. Vliv na životnost KJ mají také pravidelné předepsané servisní prohlídky. Při dodržení servisních prohlídek, které jsou zajišťovány dodavatelskou firmou, lze dosáhnout vyšší doby životnosti.

Maximální uvažovaná živostnost kogenerační jednotky z předchozích projektů je mezi 50 000 – 80 000 provozních hodin. Poté zpravidla následuje generální oprava, která dokáže dobu provozuschopnosti zařízení ještě prodloužit. Také dodavatelská firma doporučuje dobu životnosti zařízení stanovit právě na 15 let. Za tímto účelem byla také uzavřena servisní smlouva, která stanovuje pravidelné roční servisní prohlídky ve výši 200 000 Kč.

Na základě informací o době provozu zařízení za rok, dodržování pravidelných servisních prohlídek a předešlých zkušeností s provozem podobného typu zařízení byla stanovena doba životnosti Kogenerační jednotky TEDOM Quanto D770 na 15 let.

Diskontní sazba

Dalším parametrem, který se vyskytuje téměř u všech ekonomických ukazatelů, je diskontní sazba. Jelikož ve své bakalářské práci hodnotím podle ukazatele NPV, je správné stanovení diskontní sazby nezbytně nutné, neboť ukazatel NPV je velmi citlivý na diskontní sazbu. Malá změna diskontní sazby znamená zpravidla velkou změnu hodnoty NPV.

Na diskontní sazbu můžeme rovněž nahlížet jako na míru očekávané výnosnosti projektu. S větším rizikem, které daná investice přináší, lze očekávat vyšší výnos.

Diskontní sazba navíc zajišťuje vliv času na hodnotu peněz. Lze tak diskontovat jednotlivé peněžní toky v časovém období životnosti projektu. [8]

Diskontní sazba tedy uvažuje míru rizika investice i časovou hodnotu peněz. Diskont lze spočítat jako vážený průměr nákladů na kapitál (WACC). [4]

,

$$WACC = (r + \beta * TRP)\frac{E}{E+D} + (r + DP) * (1 - T)\frac{D}{E+D}$$

kde WACC je vážený průměr nákladů na kapitál, r je bezriziková úroková míra, β je koeficient beta, TRP je tržní úroková přirážka, E je vlastní kapitál, D je cizí kapitál, DP je dluhová prémie, T efektivní daňová sazba. [4]

Jelikož investor bude investovat pouze z vlastních prostředků, nelze využít celý vzorec. Lze však využít pouze část tohoto vzorce pro vlastní kapitál. Tato část se také nazývá jako model CAPM. [4]

$$diskontní\ sazba = r + \beta * TRP$$

kde r je bezriziková úroková míra, β je koeficient beta a TRP je tržní úroková přirážka.

Na stránkách Energetického regulačního úřadu lze najít tyto hodnoty pro podobné elektroenergetické projekty. Z jednotlivých parametrů je možné spočítat přesnou diskontní sazbu pro energetický projekt, který je znázorněn v tabulce (Tab. 6).

Tab. 11 Výpočet diskontní sazby

Parametr vzorce	**Hodnota parametru**
r	3,82%
β	0,901
TRP	5,00%
diskontní sazba	**8,33%**

4 Data pro vyhodnocení

Data pro vyhodnocení byla naměřena při kontrolním dni. Součástí kontrolního dne bylo provedení garanční zkoušky KJ a zaznamenání naměřených hodnot v časovém rozmezí. Přehledně jsou zpracována v tabulce (Tab. 12).

4.1 Garanční měření

Pro stanovení přesných hodnot, které jsou skutečně pomocí zařízení vyrobeny, používáme garanční měření. Základem pro garanční měření je garanční zkouška. Cílem garanční zkoušky je prokázání garantovaných parametrů příslušné kogenerační jednotky, které jsou deklarovány pro provoz dané kogenerační jednotky. Tím se rozumí ověření požadované účinnosti, jak elektrické tak tepelné. Je stanovena také skutečná spotřeba KJ. Garanční měření je vyhodnoceno na základě odečtení hodnot z provozních měřidel, která jsou součástí kogenerační jednotky nebo technologického systému.

Měření musí splňovat řadu podmínek, které jsou důležité pro následné správné vyhodnocení. Z těchto podmínek bych především vyzdvihl tyto podmínky[1]:

- Garanční zkouška musí být provedena ve stanoveném termínu, a to nejpozději do 120 dní od spuštění zařízení.
- O prokázání garantovaných parametrů musí být sepsán protokol, který musí dodržet přesnou strukturu a jednoznačně určit, zda zařízení podmínky splnilo.
- Je-li k dispozici pro měření konkrétního parametru více měřidel, je použito pouze jedno měřidlo, které má vyšší třídu přesnosti. Není-li měřidlo v technologii vůbec obsazeno, je nutné použít jiné vhodné měřidlo s odpovídající třídou přesnosti.

Průběh měření[1]

Při garanční zkoušce je nutné změřit a ověřit parametry zařízení pro dva stavy:

- Krátkodobý provoz kogenerační jednotky
- Dlouhodobý provoz kogenerační jednotky

Při krátkodobém provozu kogenerační jednotky probíhá měření ve třech výkonových stavech:

- Při 100% jmenovitého výkonu
- Při 75% jmenovitého výkonu
- Při 50% jmenovitého výkonu (kde se zároveň jedná o prokázání minimálního požadovaného výkonu)

[1] Zdroj: konzultace s Ladislavem Šedivým z ČEZ Energo, s.r.o. dne 16. 11. 2016

Doba konání každé zkoušky je 1 hodina. Doba na ustálení po nastavení nového výkonu je 15 minut.

Při dlouhodobém provozu kogenerační jednotky probíhá měření po celou dobu při 100 % jmenovitého výkonu. Doba trvání zkoušky je 8 hodin po startu KJ. Přesněji až po přifázování generátoru na elektrickou síť a dosažení jmenovitého výkonu KJ. Doba zkoušky se nesmí přerušit. Při výpadku KJ z provozu či jiném přerušení celistvosti zkoušky se musí měření opakovat od začátku. Nejsou povoleny žádné zásahy na zařízení během zkoušky. Nutnou podmínkou zkoušky je zajištění odvodu veškerého tepla.

Během garanční zkoušky jsou měřeny a sledovány tyto parametry:

- Příkon v palivu (měření spotřeby zemního plynu)
- Elektrický výkon
- Tepelný výkon
- Emise a množství spalin (tím se ve své práci nebudu dále zabývat)

Měření všech veličin při garanční zkoušce je prováděno současně. Pro měření je nutné zajistit optimální podmínky, které odpovídají podmínkám, pro které jsou stanoveny základní technické údaje. Tyto podmínky jsou rovněž zaznamenány do protokolu a použity pro další hodnocení. Z těchto podmínek jsou zaznamenávány:

- Teplotu prostředí
- Barometrický tlak
- Relativní vlhkost vzduchu

Pro měření tepelného výkonu je nutné zajistit stabilní odvod veškeré tepelné energie z KJ, aby nedošlo k překročení provozní teploty technologického okruhu. Tlak a teplota plynu, který je přiváděn palivovou armaturou do KJ, musí být po celou dobou měření konstantní.

4.2 Vztahy pro výpočty z naměřených dat

Měření příkonu v palivu

Množství spotřebovaného zemního plynu je odečítáno v m^3. Dále je odečítána teplota a tlak plynu. Příkon paliva je určen ze spotřebovaného množství za dobu měření a výhřevnosti paliva. Z těchto údajů lze vypočítat spotřebovanou energii. Určení tepelného příkonu plynu se provádí podle vztahu:

$$P_{pal} = \frac{(x_{pl2} - x_{pl1})}{\tau} * Q_{ZP}$$

kde P_{pal} je příkon paliva v kW, x_{pl1} a x_{pl2} je počáteční a koncový stav plynoměru v m^3, τ je doba měření a Q_{zp} je výhřevnost plynu při provozních podmínkách.

Měření činného elektrického výkonu

Množství vyrobené elektrické energie je odečítáno v kW_e. Jmenovitý elektrický výkon je definován jako výkon na svorkách generátoru, a proto je měření prováděno přímo na svorkách generátoru. Určení činného elektrického výkonu se provádí podle vztahu:

$$P_e = \frac{(x_{el2} - x_{el1})}{\tau}$$

kde P_e je vyrobený činný elektrický výkon v kW_e, x_{el1} a x_{el2} je počáteční a koncový stav elektroměru v kWh a τ je doba měření.

Měření tepelného výkonu

Množství vyrobené tepelné energie je odečítáno v GJ. Pro výkon v kW_t je nutno přepočítat podle vztahu převodu mezi GJ a kW_t. Během měření musí být zajištěn stabilní odběr veškerého tepelného výkonu. Určení tepelného výkonu se provádí podle vztahu:

$$P_t = \frac{(x_{tm2} - x_{tm1}) * 1000}{3{,}6 * \tau}$$

kde P_t je vyrobený tepelný výkon v kW_t, x_{tm1} a x_{tm2} je počáteční a koncový stav tepelného měřidla v GJ a τ je doba měření.

Stanovení účinnosti

Účinnost výroby elektrické energie v %

$$\eta_e = \frac{P_e}{P_{pal}} * 100$$

Účinnost výroby tepelné energie v %

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_{pal}} * 100$$

Celková účinnost KJ v %

$$\eta_c = \frac{P_e + P_t}{P_{pal}} * 100$$

4.3 Vyhodnocení garanční zkoušky

Naměřené a vypočtené hodnoty jsou zaznamenány v následující tabulce (Tab. 12).

Tab. 12 Výpočet z naměřených hodnot

Položka	**Množství**	**Jednotka**
Spotřeba zemního plynu	202,48	m^3
Příkon paliva	1948,76	kW
Činný elektrický výkon	805,15	kW_e
Tepelný výkon sekundárního okruhu	937,25	kW_t
Tepelný výkon sekundárního okruhu	3,37	GJ

Vyhodnocením garanční zkoušky je stanovení účinnosti měřené kogenerační jednotky a rozhodnutí, zda kogenerační zařízení splňuje stanovenou požadovanou účinnost. To je zaznamenáno v následující tabulce (Tab. 13).

Tab. 13 Výpočet účinnosti

Položka	**Množství**	**Jednotka**
Účinnost výroby elektrické energie	41,35	%
Účinnost výroby tepelné energie	48,11	%
Celková účinnost KJ	89,45	%

Měřidla instalovaná na KJ zaznamenávají aktuální průběh provozu KJ. Lze tak v každém okamžiku kontrolovat stav vyrobené energie, množství dodávky a stav, ve kterém se KJ nachází. Zařízení je možno dálkově regulovat a upravovat podle aktuální potřeby. To má na starosti operátor, který může řídit provoz dálkově pomocí počítače. Pro budoucí provoz přichází v úvahu také řízení v operativním režimu, ve kterém je KJ spouštěna a vypínána podle špičkové spotřeby elektřiny.

5 Výpočet nákladů výroby elektřiny a tepla

Protože se výsledná suma položek pohybuje v řádech milionů, jsou tyto výsledné položky zaokrouhlovány na desetitisíce. Toto zaokrouhlení má pouze nepatrný vliv na změnu hodnot výpočtů, a proto lze výpočty nadále považovat za průkazné.

5.1 Investiční náklady

Investiční náklady tvoří veškeré položky, které jsou nutné pro provoz KJ. V kapitole 3.1 jsou tyto položky vyjmenovány. Suma cen jednotlivých položek je rovna celkové výši investice. Výpočet je znázorněn v následující tabulce (Tab. 14).

Tab. 14 Výpočet investičních nákladů

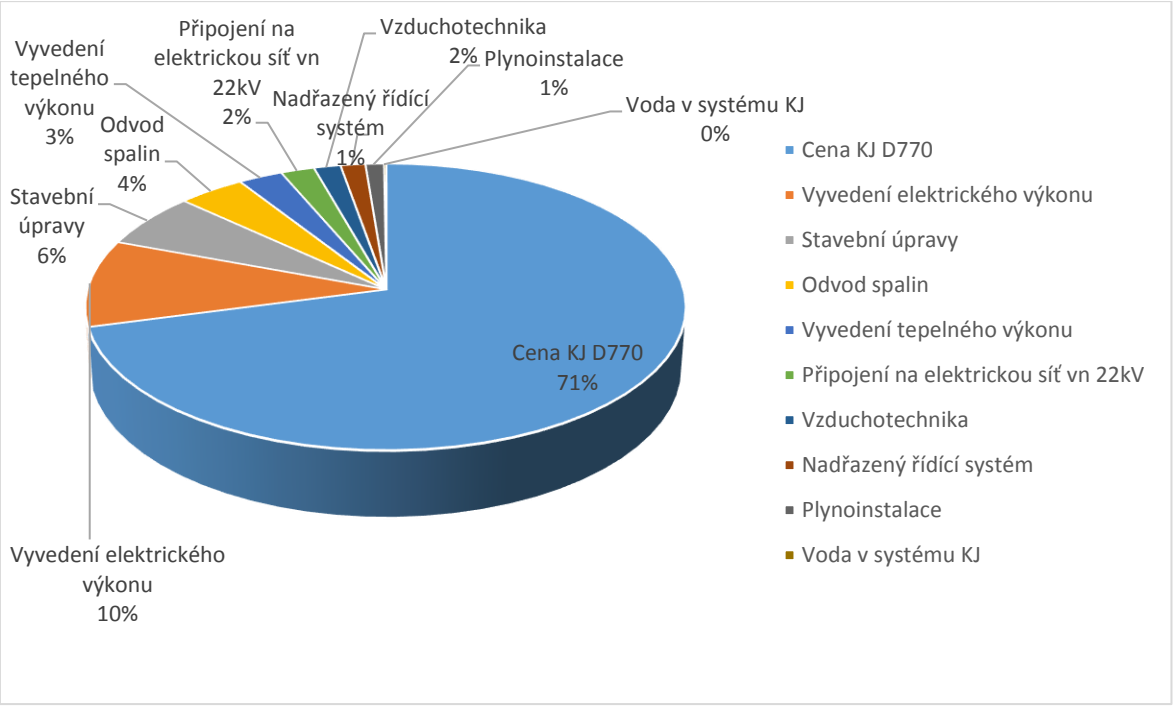
Položka	**Cena**	**Jednotka**
Cena KJ D770	10 000 000	Kč
Vyvedení elektrického výkonu	1 389 000	Kč
Stavební úpravy	876 000	Kč
Odvod spalin	570 000	Kč
Vyvedení tepelného výkonu	378 000	Kč
Připojení na elektrickou síť vn 22kV	286 000	Kč
Vzduchotechnika	227 000	Kč
Nadřazený řídicí systém	211 000	Kč
Plynoinstalace	158 000	Kč
Voda v systému KJ	20 000	Kč
Celkové investiční náklady	**14 115 000 Kč**	**Kč**

Největší položku investice tvoří samotná kogenerační jednotka. Obvykle představuje 60 % celkové investice. Pro případ instalace KJ ve Zruči nad Sázavou je to dokonce 70 %, jak lze pozorovat na obrázku (Obr. 13).

Investice vstupuje do nákladů formou odpisů. Zařízení bude odepisováno 15 let. Proto celkovou výši investice je nutné podělit dobou životnosti. Výsledkem je hodnota ročních odpisů (Tab. 15).

Tab. 15 Výpočet ročních odpisů

Položka	**Množství**	**Jednotka**
Celkové investiční náklady	14 115 000	Kč
Doba životnosti	15	rok
Odpisy	**940 000**	**Kč**



Obr. 13 Procentuální porovnání investičních nákladů.

5.2 Provozní náklady

Provozní náklady jsou tvořeny položkami, které přímo souvisí s provozem KJ. Provozní náklady lze dále dělit na stálé (nezávislé na velikosti výroby) a proměnné (závislé na velikosti výroby). Náklady závislé na velikosti výroby jsou tvořeny náklady na spotřebu paliva – zemního plynu a tvoří více než 97 % provozních nákladů. Jsou dány součinem spotřebovaného zemního plynu v m^3/hod, cenou zemního plynu za m^3 a počtu provozních hodin za rok. Výpočet proměnných nákladů je zaznamenán v následující tabulce (Tab. 16).

Tab. 16 Výpočet nákladů na palivo

Položka	**Množství**	**Jednotka**
Spotřeba plynu	202,48	m^3/hod
Cena plynu	9,83	Kč/m^3
Provoz	3300	hod
Náklady na palivo	**6 570 000**	**Kč**

Stálé náklady, které jsou nezávislé na provozu KJ, tvoří náklady na údržbu a mzdové náklady pro dispečerskou obsluhu. Náklady na údržbu jsou smluvně stanoveny na 200 000 Kč za každý rok. V těchto nákladech jsou započteny náklady na běžnou údržbu, pravidelné servisní prohlídky, náhradu mazacích olejů a směsí, drobné opravy a doplnění vody do systému KJ. Dispečerské náklady nelze přesně odhadnout. Dispečer za svoji pracovní dobu kontroluje více zařízení. Proto je dána jeho mzda do

poměru s množstvím kontrolovaných zařízení. Celkové provozní náklady jsou vypočteny v tabulce (Tab. 17).

Tab. 17 Výpočet provozních nákladů

Položka	**Cena**	**Jednotka**
Náklady na palivo	6 570 000	Kč
Náklady na údržbu	200 000	Kč
Náklady na mzdy	40 000	Kč
Celkové provozní náklady	**6 810 000**	**Kč**

Celkové náklady jsou tvořeny ročními odpisy a provozními náklady. Výpočet znázorněn v tabulce (Tab. 18).

Tab. 18 Výpočet celkových nákladů

Položka	**Cena**	**Jednotka**
Náklady na palivo	6 570 000	Kč
Odpisy	940 000	Kč
Ostatní náklady	240 000	Kč
Celkové náklady	**7 750 000**	**Kč**

5.3 Stanovení výnosů

Výnosy jsou získávány prodejem elektrické a tepelné energie a z čerpání zeleného bonusu na výrobu elektrické energie pomocí KJ spalující zemní plyn. Výše zeleného bonusu je stanovena ERÚ. Část vyrobené elektrické energie je použita pro pokrytí vlastní spotřeby KJ a vlastní spotřeby objektu kotelny (čerpadla, ventilátory, elektronické systémy). Tím dochází ke snížení provozních nákladů, neboť tato energie nemusí být kupována od cizího dodavatele. Zbývající část elektrické energie je však pomocí transformátoru vyvedena do sítě vysokého napětí 22 kV. Tuto energie je vykupována provozovatelem distribuční energetické soustavy. Cena výkupu elektrické energie závisí na aktuálním tarifu stanoveného kupující stranou. Pro maximalizaci zisku je výhodné dodávat elektrickou energii ve špičkovém a vysokém tarifu. K tomu byl přizpůsoben denní provoz KJ. Pro výpočet bylo nutné stanovit cenu za jednotku vykupované energie. Ta byla smluvně stanovena na 1,60 Kč/kW$_e$h. Výpočet výnosu za prodej elektrické energie lze vidět v tabulce (Tab. 19).

Tab. 19 Výpočet výnosů za elektrickou energii

Položka	Množství	Jednotka
Vyrobená elektrická energie	805	kW_eh
Vlastní spotřeba elektrické energie	49	kW_eh
Prodaná elektrická energie	756	kW_eh
Cena výkupu elektrické energie	1,60	$Kč/kW_eh$
Provoz	3300	hod
Výnos za prodej elektrické energie	**3 990 000**	**Kč**

Výrobou elektrické energie pomocí KJ spalující zemní plyn má provozovatel nárok za zelený bonus, který je stanoven ERÚ. Zelený bonus se vztahuje na veškerou vyrobenou elektrickou energii pomocí KJ, tedy i na výkon, který je použit pro vlastní spotřebu. Dotace v podobě zeleného bonusu tvoří podstatnou část výnosů pro provozovatele. Výpočet je znázorněn v tabulce (Tab. 20).

Tab. 20 Výpočet výnosů za zelený bonus

Položka	Množství	Jednotka
Vyrobená elektrická energie	805	kW_eh
Cena zeleného bonusu	455	$Kč/MW_eh$
Provoz	3300	hod
Výnos za zelený bonus	**1 210 000**	**Kč**

Výnosy z prodeje tepelné energie jsou tvořeny prodejem veškerého vyrobeného tepelného výkonu. Ten je dodáván do nedalekého sídliště. Tepelná energie je přenášena na velmi krátkou vzdálenost, a tak vznikají pouze minimální ztráty během přenosu. Ve výpočtech jsou tyto ztráty úplně zanedbány. Výnos za prodej tepelné energie je přímo úměrný ceně, za kterou je tato energie prodávána. Cena za prodej tepla je stanovena ve smlouvě. Výpočet se nachází v tabulce (Tab. 21).

Tab. 21 Výpočet výnosů za tepelnou energii

Položka	Množství	Jednotka
Vyrobená tepelná energie	937	kW_th
Vyrobená tepelná energie	3,3732	GJ
Cena výkupu tepelné energie	416,19	Kč/GJ
Provoz	3300	hod
Výnos za prodej tepelné energie	**4 630 000**	**Kč**

Celkové výnosy jsou dány součtem výnosů za prodej elektrické a tepelné energie a za čerpání zeleného bonusu. Výpočet je znázorněn v tabulce (Tab. 22).

Tab. 22 Výpočet výnosů za prodej energií

Položka	Cena	Jednotka
Elektrická energie	3 990 000	Kč
Tepelná energie	4 630 000	Kč
Zelený bonus	1 210 000	Kč
Celkový výnos	**9 830 000**	**Kč**

5.4 Výpočet NPV

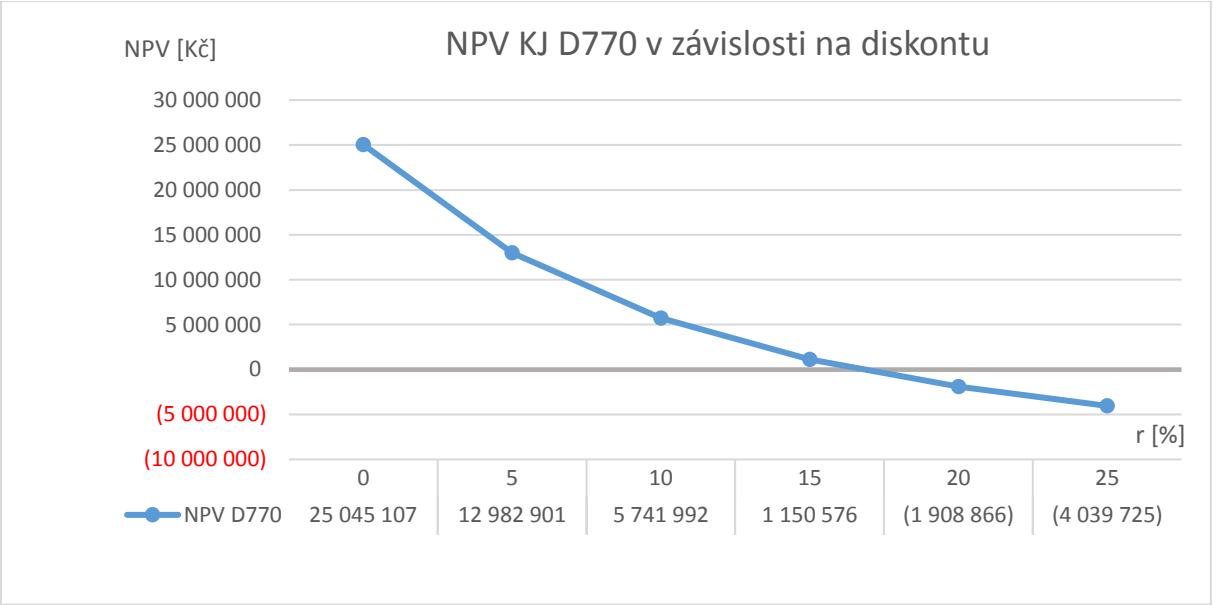
Pro výpočet čisté současné hodnoty je nutné znát hotovostní toky (CF) v budoucích letech. Ty lze stanovit nepřímou metodou jako výpočet zisku před zdaněním, ze kterého je vypočtena daň. Velikost daně právnických osob činí od roku 2010 19 %. Proto i zde je počítáno s daní ve výši 19 %. Odečtem výše daně od EBT je stanoven zisk po zdanění (EAT). K EAT jsou následně připočteny pouze odpisy, jelikož zde nejsou žádné jiné položky, které se zahrnují do CF. Takto je dosaženo hodnoty hotovostního toku. Výpočet ukazatele NPV je zachycen v tabulce (Tab. 23). Zde jsou všechny parametry, které do tohoto ukazatele vstupují.

Tab. 23 Výpočet NPV

Položka	Cena	Jednotka
Výnosy	9 830 000	Kč
Náklady	7 750 000	Kč
EBT	2 080 000	Kč
Daň	395 000	Kč
EAT	1 685 000	Kč
Hotovostní tok	2 625 000	Kč
Diskontní sazba	8,33	%
Doba životnosti	15	rok
Investice	14 115 000	Kč
NPV	**7 910 000**	**Kč**

Citlivostní analýza diskontu

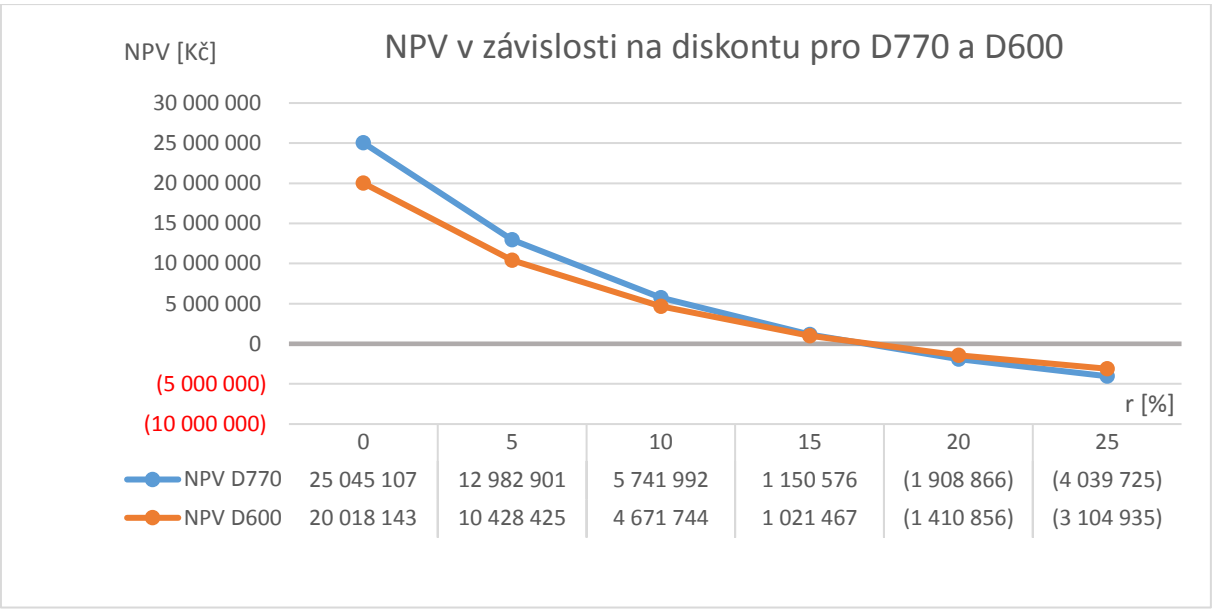
Citlivostní analýza diskontní sazby ukazuje vliv diskontu na hodnotu NPV. V závislosti na změně očekávaného výnosu, který je reprezentován diskontní sazbou, lze pozorovat změny ukazatele NPV. Ty jsou zachyceny na obrázku (Obr. 14). Lze tak stanovit maximální výši diskontní míry, pro kterou je ekonomicky výhodné investici realizovat. Ta nastává pro NPV = 0. V tomto případě se jedná o diskontní sazbu 16,66 %, jak plyne z obrázku (Obr. 14).



Obr. 14 Vliv diskontu na velikost hodnoty NPV

Porovnání s jinou variantou

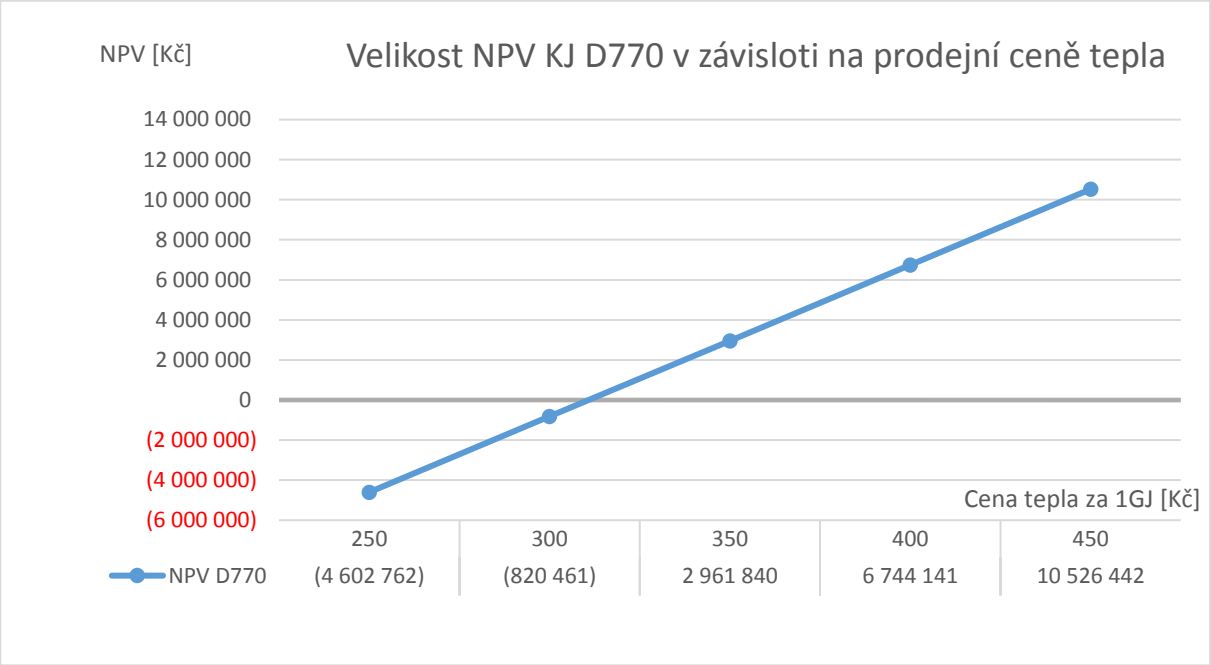
V této části je zachyceno porovnání varianty instalace KJ D770 s variantou instalace KJ D600 (výpočet ukazatele NPV pro KJ D600 v příloze 1) . KJ D600 je sice investičně levnější, ale z hlediska ukazatele NPV je instalace KJ D770 výhodnější při diskontní sazbě nižší než 15,89 %. Zachyceno na obrázku (Obr. 15).



Obr. 15 Porovnání variant KJ D770 a D600

Vliv prodejní ceny tepla na NPV

Pomocí závislosti vlivu prodejní ceny na NPV lze stanovit minimální cenu, za kterou může být teplo prodáváno. Tato situace nastává pří NPV = 0. To platí při ceně tepla 310,85 Kč. Situace je zachycena na obrázku (Obr. 16).



Obr. 16 Vliv ceny tepla na velikost hodnoty NPV

5.5 Náklady na jednotku vyrobeného výkonu

Celkové náklady na výrobu elektřiny a tepla lze rozpočítat na jednotku vyrobeného výkonu. Jelikož jsou vyráběny dva druhy energií, je nutné rozdělil náklady na společné a přímé pro každý druh vyráběné energie.

Společné náklady

Společné náklady jsou vyčísleny v následující tabulce (Tab. 24). Do společných nákladů patří celková cena KJ, ze které je ale nutné odečíst náklady na spalinové výměníky, jelikož se jedná o přímé náklady pro výrobu tepla. Společné náklady jsou pak rozpočítány rovným dílem mezi vyrobenou elektrickou a tepelnou energii.

Tab. 24 Společné náklady na výrobu obou energií

Položka	Cena	Jednotka
Cena KJ D770	9 600 000	Kč
Stavební úpravy	876 000	Kč
Odvod spalin	570 000	Kč
Vzduchotechnika	227 000	Kč
Nadřazený řídicí systém	211 000	Kč
Plynoinstalace	158 000	Kč
Voda v systému KJ	20 000	Kč
Celkové společné náklady	**11 660 000**	**Kč**

Přímé náklady na výrobu elektřiny

Jedná se o náklady, které souvisí pouze s výrobou elektrické energie. Tyto náklady jsou zachyceny v následující tabulce (Tab. 25).

Tab. 25 Přímé náklady na výrobu elektrické energie

Položka	Cena	Jednotka
Vyvedení elektrického výkonu	1 389 000	Kč
Připojení na elektrickou síť vn 22kV	286 000	Kč
Celkové přímé náklady	**1 675 000**	**Kč**

Přímé náklady na výrobu tepla

Jedná se o náklady, které souvisí pouze s výrobou tepelné energie. Tyto náklady jsou zachyceny v následující tabulce (Tab. 26).

Tab. 26 Přímé náklady na výrobu tepelné energie

Položka	Cena	Jednotka
Vyvedení tepelného výkonu	378 000	Kč
Spalinové výměníky	400 000	Kč
Celkové přímé náklady	**778 000**	**Kč**

Výpočet nákladů na jednotku vyrobené energie

Společné náklady jsou rovnoměrně rozděleny mezi oba druhy energií a poděleny dobou životnosti zařízení. Přímé náklady na jednotlivý druh energie jsou poděleny dobou životnosti. Dále jsou

připočteny roční provozní náklady vztažené podle využití energie paliva na výrobu příslušné energie. Výpočty jsou zachyceny v tabulkách (Tab. 27) a (Tab. 28).

Tab. 27 Výpočet nákladů na jednotku vyrobené elektrické energie

Položka	**Cena**	**Jednotka**
Společné náklady	389 000	Kč
Přímé náklady na výrobu elektřiny	111 000	Kč
Provozní náklady	3 035 000	Kč
Náklady celkem	**3 535 000**	**Kč**
Počet vyrobených jednotek výkonu	2 656 500	kW_eh
Náklad na jednotku	**1,33**	**Kč/kW_eh**

Tab. 28 Výpočet nákladů na jednotku vyrobené tepelné energie

Položka	**Cena**	**Jednotka**
Společné náklady	389 000	Kč
Přímé náklady na výrobu tepla	51 000	Kč
Provozní náklady	3 535 000	Kč
Náklady celkem	**3 975 000**	**Kč**
Počet vyrobených jednotek	11 132	GJ
Náklad na jednotku	**357**	**Kč/GJ**

6 Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zaměřil na technologii výroby elektrické a tepelné energie pomocí kogenerační jednotky. Základem pro moji práci byla účast na instalaci kogenerační jednotky **TEDOM Quanto D770** do kotelny WEKTO Zruč nad Sázavou. Kogenerační zařízení je využíváno k výrobě elektrické energie, která je následně prodávána do energetické sítě. Při výrobě elektřiny vzniká ve spalovacím motoru velké množství tepelné energie, kterou je nutné odvádět a bez jejího dalšího využití by se jednalo o ztrátovou energii. Tato energie je ovšem pomocí tepelných výměníků využívána pro ohřev vody, která slouží pro vytápění blízkého sídliště. Ochlazená voda slouží jako chlazení motoru.

V první části jsem podrobně popsal složení kogenerační jednotky a vysvětlil, na jakém principu zařízení pracuje. Také jsem objasnil optimální provozní režim, ve kterém bude zařízení používáno. Ten má zásadní vliv na ekonomiku provozu. Provozní režim se během roku mění vzhledem k ročnímu období a je potřeba na to brát ohled.

Ve druhé části jsem popsal kritéria pro ekonomické hodnocení a parametry, podle kterých je možné projekt hodnotit. Dále jsem vysvětlil, co tvoří náklady a výnosy daného projektu. Je nutné věnovat pozornost i parametrům, které vstupují do ekonomických ukazatelů. To se týká doby životnosti projektu a diskontní sazby. Jejich správné stanovení je nezbytné pro kvalifikované výsledky.

Ve třetí části jsem představil způsob získání dat pro zpracování. Vysvětlil jsem, co bude sloužit jako data pro zpracování, jak budou získána a jak budou dále zpracována. Základem pro zisk dat jsou prováděná měření. Data jsou následně použita pro výpočty vyrobených výkonů a stanovení účinnosti zařízení. Výsledkem garanční zkoušky je prokázáno, že daná KJ splňuje požadovanou účinnost.

V poslední části jsem vypočítal náklady a výnosy z provozu KJ. Jsou zde stanoveny investiční a provozní náklady, výnosy z prodeje energií a čerpání zeleného bonusu. Z těchto údajů je následně spočítal ekonomický ukazatel NPV pro stanovené parametry. Pro tento ukazatel jsem vytvořil citlivostní analýzu jeho diskontní sazby, ukázal vliv prodejní ceny tepla na velikost NPV a porovnal stávající variantu s instalací jiného typu KJ. Z ukazatele NPV jasně vyplývá, že investice do instalace KJ D770 do provozu kotelny ve Zruči nad Sázavou je ekonomicky výhodná. Ukazatel NPV podává informaci, o jakou hodnotu se zvýší hodnota investující firmy, pokud bude realizována daná investice pro stanovenou diskontní sazbu. Z výpočtu plyne, že hodnota firmy se zvýší o 7 910 000 Kč.

Součástí poslední kapitoly je výpočet nákladů na výrobu jednotky energie pro elektrickou a tepelnou energii. Do tohoto výpočtu vstupují jak společné, tak přímé investiční náklady. Rovněž je nutné podle využití energie paliva pro daný druh energie přepočítat provozní náklady. Tak lze relativně přesně stanovit náklad na jednotku vyrobené energie pro každou energii zvlášť.

7 Literatura

[1] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Kogenerační jednotky - Zřizování a provoz*, 1. vydání, Praha: GAS, 2007. ISBN 987-80-7328-151-9.

[2] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*, 1. vydání, Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-730-0118-7.

[3] BUDÍN, Jan. *Kogenerace – princip, technologie a výhody* [online]. Oenergetice.cz, 2015 [cit. 2016-11-18]. Dostupné z: http://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody/

[4] BREALEY, Richard A., Stewart C. MYERS a Franklin ALLEN. *Teorie a praxe firemních financí*. 2., aktualiz. vyd. Přeložil Vladimír GOLIK, přeložil Zdeněk MUŽÍK, přeložila Liběna STIEBITZOVÁ. Brno: BizBooks, 2014. ISBN 978-80-265-0028-5.

[5] ČEZ ENERGO: *O kogeneraci – princip a výhody* [online]. Cezenergo.cz, 2015 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: http://www.cezenergo.cz/cs/o-kogeneraci/princip-a-vyhody.html

[6] ZIKMUND, Martin. *Řízení a optimalizace* [online]. Businessvize.cz, 2010 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: http://www.businessvize.cz/rizeni-a-optimalizace/hodnoceni-investic-cista-soucasna-hodnota-npv-strucne-a-jasne

[7] E.ON Energie: *Budoucnost patří kogeneračním jednotkám, zaznělo na konferenci EUREM* [online]. Energetika.tzb-info.cz, 2015 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: http://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/13067-budoucnost-patri-kogeneracnim-jednotkam-zaznelo-na-konferenci-eurem

[8] SCHOLLEOVÁ, Hana. *Ekonomické a finanční řízení pro neekonomy*. 1. vyd. [s.l.]. Praha: Grada Publishing, 2008. ISBN 978-80-247-2424-9.

[9] TEDOM: Kogenerace [online]. Kogenerace.tedom.cz, 2014 [cit. 2016-11-19]. Dostupné z: http://kogenerace.tedom.com/

[10] LUKÁŠ, Jaroslav. Měsíční zpráva o provozu ES ČR [online]. Eru.cz, 2007[cit. 2016-11-20]. Dostupné z: http://www.eru.cz/cs/-/mes_zpravy_provoz_es_cr_2007

Přílohy

Příloha 1 Výpočet NPV pro variantu KJ D600

Položka	**Množství**	**Jednotka**
Vyrobená elektrická energie	606	kW_eh
Vlastní spotřeba elektrické energie	44	kW_eh
Prodaná elektrická energie	562	kW_eh
Cena výkupu elektrické energie	1,60	$Kč/kW_eh$
Provoz	3300	hod
Výnos za prodej elektrické energie	*2 965 000*	Kč
Vyrobená elektrická energie	606	kW_eh
Cena zeleného bonusu	0,455	$Kč/kW_eh$
Provoz	3300	hod
Výnos za zelený bonus	*910 000*	Kč
Vyrobená tepelná energie	721	kW_th
Vyrobená tepelná energie	2,5956	GJ
Cena výkupu tepelné energie	416,19	Kč/GJ
Provoz	3300	hod
Výnos za prodej tepelné energie	*3 565 000*	Kč
Celkový výnos	**7 440 000**	**Kč**
Náklady na palivo	4 815 000	Kč
Odpisy	740 000	Kč
Ostatní náklady	240 000	Kč
Celkové náklady	**5 795 000**	**Kč**
EBT	1 645 000	Kč
Daň	310 000	Kč
EAT	1 335 000	Kč
Hotovostní tok	2 075 000	Kč
Diskontní sazba	8,33	%
Doba životnosti	15	rok
Investice	11 115 000	Kč
NPV	**6 295 000**	**Kč**