ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky

Současné trendy v kombinované výrobě tepla a elektřiny v ČR

Recent trends in combined of heat and power generation in the Czech Republic

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektroenergetika

Vedoucí diplomové práce: doc. Dr. Ing. Jan Kyncl

Autor diplomové práce: Pavel May

Praha 2016

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **May** Jméno: **Pavel** Osobní číslo: **361383**

Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**

Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**

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

Studijní obor: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Současné trendy v kombinované výrobě tepla a elektřiny v ČR

Název diplomové práce anglicky:

Recent trends in combined of heat and power generation in the Czech Republic

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se z technického a legislativního hlediska s problematikou kombinované výroby tepla a elektřiny v ČR
2. Analyzujte možnosti použití akumulace tepla a/nebo elektřiny pro zvýšení ekonomické efektivity provozu systému
3. Vypracujte ekonomické vyhodnocení zvolených typických variant

Seznam doporučené literatury:

[1] P. Masny a kol.: Obnovitelne zdroje elektricke energie
[2] Lienhard IV, John H. "JH Lienhard V, A heat transfer textbook." (2003).

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Jan Kyncl, katedra elektroenergetiky FEL

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

Datum zadání diplomové práce: **26.08.2016** Termín odevzdání diplomové práce: **09.01.2017**

Platnost zadání diplomové práce: **28.02.2018**

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

© 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 9. 1. 2017 Pavel May

Poděkování:

Děkuji za pomoc a cenné připomínky při tvorbě této práce svému vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. Janu Kynclovi, Ing. Pavlu Veselému a Ing. Aleši Popelkovi. Dále bych rád poděkoval své ženě Petře Mayové za podporu v průběhu studia.

Abstrakt

Práce má za cíl nastínit přehled vývoje kogenerace v energetické výrobě České republiky. Problematikou kogenerace se zabývá mnoho studií a kogenerace si získala v současné době velký význam v teplárenství a výrobě elektrické energie. V úvodních kapitolách jsou probírány legislativní požadavky, státní podpora kogenerace a přehled technologií používaných při kombinované výrobě tepla a elektrické energie. V dalších kapitolách je popis spalovny komunálního odpadu ZEVO v Chotíkově a ekonomické a ekologické zhodnocení projektu výstavby spalovny. Tato práce má za cíl stanovit základní ohodnocení projektu pro účely investora.

Klíčová slova

Kogenerace, kogenerační jednotka, kombinovaná výroba tepla a elektrické energie, KVET, akumulace energie, spalovna komunálního odpadu, závod na energetické využití odpadu, ZEVO, ekologie, ekonomické zhodnocení, Cash Flow

Abstract

This thesis should bring a basic overview of situation in the development of combined heat and power generation in the Czech Republic. A lot of studies have already analyzed this topic and both combine heat and power generation take significant position in energy segment. In the opening chapters, the thesis deals with the legislative requirements, the state grant and subsidy program and also the overview of cogeneration units' technologies. Other chapters include description of Waste Treatment Plant in Chotikov, Czech Republic, and also the economic and environmental evaluation of such investment project. This thesis can be used for the project basic evaluation for the purpose of investor.

Key Words

Cogeneration, Cogeneration unit, combined heat and power generation, CHP, energy storage, Waste Treatment Plant, Combined heat and Power generation Plant, CHP Plant, Ecology, economic evaluation, Cash Flow

Obsah

Abstrakt 7
Obsah 8
Seznam použitých zkratek 10
1. Stav současné energetiky a kogenerační jednotky 11
1.1. Úvod 11
1.2. Legislativní požadavky pro kogeneraci 12
1.2.1. Legislativní požadavky pro výstavbu zdroje 12
1.2.2. Licence, osvědčení o původu elektřiny a registrace u operátora trhu s elektřinou 14
1.2.3. Roční zelené bonusy 14
1.3. Princip kogenerace 17
1.4. Ekologické vlivy kogenerace 18
2. Přehled technologií pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie 20
2.1 Kogenerační jednotky se spalovacím motorem 21
2.2. Kogenerační jednotky s plynovou turbínou 23
2.3. Kogenerační jednotky s Rankinovým cyklem 25
3. Možnosti akumulace tepelné a elektrické energie 26
3.1 Možnosti akumulace tepelné energie 26
3.1.1. Akumulace s využitím citelného tepla 26
3.1.2 Akumulace s využitím skupenského tepla 27
3.1.3 Akumulace s využitím sorpčního tepla 27
3.1.4. Akumulace s využitím chemických reakcí 28
3.2. Možnosti akumulace elektrické energie 28
3.2.1. Metoda CAES 29
3.2.2. Přečerpávací vodní elektrárny 29
4. Závod na energetické využití komunálního odpadu Chotíkov 31
4.1. Zpracování směsného komunálního odpadu 32
4.2. Spalování a výroba páry 32
4.3. Využití vyrobené energie 33
4.4. Provozní stavy spalovny ZEVO Chotíkov 34
5. Ekologické zhodnocení provozu kogenerační jednotky ZEVO Chotíkov 39
5.1. Stanovení účinnosti kogenerační jednotky 39
5.2. Stanovení úspory primární energie 40
5.3. Velikost emisního znečištění 42
6. Ekonomické zhodnocení provozu kogenerační jednotky ZEVO Chotíkov 43
6.1. Provozní cash flow – CF 43

6.2. Diskontovaný Cash Flow – DCF 45
6.3. Kritérium prosté doby splacení – PP 46
6.4. Kritérium diskontované doby splacení – P_P 46
6.5. Čistá současná hodnota – NPV 47
6.6. Vnitřní výnosové procento – IRR 48
7. Závěr 49
7.1. Ekologické zhodnocení kogenerační jednotky ZEVO v Chotíkově 49
7.2. Ekonomické zhodnocení projektu 49
Seznam použité literatury 50
Seznam Příloh 54
Příloha 1 55
Příloha 2 57
Příloha 3 59
Příloha 4 62

Seznam použitých zkratek

OECD – Organization for Economic Cooperation and Development

KVET – kombinovaná výroba elektřiny a tepla

KJ – kogenerační jednotka

LPG – Liquified Petroleum Gas

ERÚ – Energetický regulační úřad

OTE – Operátor trhu s elektřinou

MPO – Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky

RÚT – Registrovaný účastník trhu

ÚPE – Úspora primární energie

PEZ – Primární energetické zdroje

CZT – Centrální zásobování teplem

CAES - Compressed Air Energy Storage

PVE – Přečerpávající vodní elektrárna

ZEVO – Zařízení pro ekologické využití odpadu

SKO – Spalovna komunálního odpadu

BAT – Best Available technology

SCR – Selektivní katalytická reakce

CF – Cash Flow

DCF – Diskontovaný Cash Flow

PP – Prostá doba splácení

P_p – Diskontovaná doba splácení

NPV – Čistá současná hodnota

IRR – Vnitřní výnosové procento

1. Stav současné energetiky a kogenerační jednotky

1.1. Úvod

Elektrická energie je jednou ze strategických surovin každého státu a každý se stát se snaží být energeticky soběstačný. V roce 2015 bylo vyrobeno ve státech, které jsou členy Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), během celého roku 10 269,5 TWh [1]. Tato hodnota je o 0,3% vyšší než o rok předchozí. V České republice bylo spotřebováno v roce 2015 59,280 TWh a z dostupných hodnot můžeme určit, že spotřeba elektrické energie se v České republice od roku 1960 více než ztrojnásobila [2]. Avšak situace v energetice je v současné době nejvíce ovlivněna ekologickými nařízeními, která zasahují do každého energetického odvětví. V prosinci 2015 proběhla v Paříži celosvětová konference, kde se více jak 200 států snažilo dohodnout na snížení emisí skleníkových plynů.

Česká republika následuje celosvětový trend hledání efektivnějších a čistších zdrojů energie a postupně se upouští od tradičního centrálního řešení výroby elektřiny a tepla. Centrální zdroje jsou většinou navázány na spalování a využití fosilních paliv. Jednou z možných náhrad je takzvané decentrální řešení energetiky, kde nám ve vysoké míře odpadají nálady na transport a distribuci energie. Mezi decentrální řešení patří i kogenerace. Pojem kogenerace vyjadřuje současně výrobu více druhů energie. Díky tomu jsme při výrobě schopni dosáhnout velkých hodnot účinnosti využití energie použitého paliva. Kogenerace spadá do tzv. kombinované výroby elektřiny a tepla (KVET). Avšak může jít i o trigenraci, kdy dochází při použití absorpčního chlazení i k výrobě a dodávce chladu.

Kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla můžeme využívat jak u velkých energetických zdrojů, tak i malých zdrojů, které se pohybují v řádech do stovek kW_e, a jsou primárně určeny pro komunální nebo bytovou výstavbu. V České republice stojí za zmínku z velkých výrobců využívajících KVET například PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ, a.s. V tabulce č. 1 jsou uvedeny výrobní a ekonomické hodnoty z výroční zprávy za rok 2015 [3][4].

Výroba tepelné energie [TJ]	8 747
Výroba elektrické energie [MWh]	630 000*
Výroba chladu [MWh]	4 019
Tržby za teplo [v tis. Kč]	995 606
Tržby za elektřinu [v tis. Kč]	1 251 652
Tržby za chlad [v tis. Kč]	13 248

Tabulka 1: Přehled tržeb a vyrobené energie Plzeňská teplárenská, a.s. [3][4]

*Ve zprávě uvedeno pouze jako grafická hodnota.

Mezi dodavatele technologií kogeneračních jednotek menších výkonů v České republice můžeme zmínit společnost TEDOM a.s., výrobce kogeneračních jednotek, a společnost B:POWER, která je distributorem kogeneračních jednotek společnosti TRIOGEN NL.

Cílem této práce je poskytnout základní přehled o využití kogenerace v České republice. Jelikož se většina prací na podobné téma zaměřuje na kogenerační jednotky pro komerční nebo bytovou výstavbu, tato práce by měla hodnotit ekonomické a provozní parametry spalovny komunálního odpadu ZEVO Chotíkov, která byla dokončena a uvedena do zkušebního provozu v prosinci roku 2015.

1.2. Legislativní požadavky pro kogeneraci

V této kapitole obecně shrneme legislativní požadavky na výstavbu a připojení kogenerační jednotky.

1.2.1. Legislativní požadavky pro výstavbu zdroje

V první řadě je potřeba požádat místního distributora elektřiny o možnost připojení do distribuční soustavy. Distributorů je v České republice několik a to např. EON, ČEZ, atd. S žádostí je potřeba doložit technickou dokumentaci specifikovanou v žádosti, a to zejména situační schéma, plán umístění, jednopólové schéma, výpis z obchodního rejstříku a další [9]. Je potřeba také doložit souhlas vlastníka nemovitosti s umístěním výrobní jednotky na pozemku vlastníka nebo prokázat vlastnické právo. Pro výrobny elektřiny s instalovaným výkonem od 30 kW do 5 MW je potřeba doložit podmínky vydání územního rozhodnutí, že plánovaná výstavba je v souladu s územně plánovací dokumentací. Pro provozovny nad 5 MW připojené

do distribuční nebo přenosové soustavy je nutností doložit informace o podmínkách vydání územního rozhodnutí. U výkonu nad 500 kW je třeba doložit plán výstavby [9]. Vše potřebné pro připojení zařízení do distribuční soustavy elektrické energie definuje zákon č. 458/2000 Sb. a vyhláška Energetického regulačního úřadu č. 51/2006 Sb. Záleží však pouze na distributorovi a místních podmínkách, zda svolí na základě žádosti o připojení do distribuční soustavy a uzavření smlouvy o dodávce elektrické energie.

Výstavba výrobny elektřiny o celkovém instalovaném elektrickém výkonu 100 kW a více je možná pouze na základě udělené státní autorizace na výstavbu výrobny elektřiny [9]. Tuto autorizaci může povolit pouze české Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO) na základě písemné žádosti. Žadatel by měl v písemné žádosti uvést [9]:

- Harmonogram přípravy výstavby výrobny elektřiny obsahující předpokládané termíny vydání rozhodnutí o umístění stavby, stavebního povolení, připojení k přenosové soustavě nebo přepravní soustavě nebo distribuční soustavě elektřiny nebo distribuční soustavě plynu, případně zahájení zkušebního provozu a kolaudačního souhlasu
- Základní údaje o výrobně elektřiny včetně instalovaného výkonu, druhu výrobny a energetické účinnosti
- Předpokládané umístění výrobny elektřiny
- Údaje o palivu nebo o jiných použitých zdrojích energie
- Vyjádření provozovatele přenosové soustavy nebo provozovatele distribuční soustavy o zajištění systémových služeb a o vlivu na bezpečnost a spolehlivost provozu elektrizační soustavy včetně termínu a podmínek připojení
- Doklady prokazující finanční předpoklady k výstavbě výrobny elektřiny
- Údaje o charakteru provozu výrobny elektřiny a o předpokládaném ročním využití instalovaného výkonu
- Vyjádření operátora trhu (OTE) o vlivu výrobny elektřiny na zajištění rovnováhy mezi nabídkou a poptávkou elektřiny a plynu a na naplňování cílů Národního akčního plánu pro energii z obnovitelných zdrojů.

Mezi další požadované zhodnocení je nutné doložit dokumenty stavebního povolení podle zákona č. 183/2006 Sb., anebo řešit případy s místním stavebním úřadem. Pro malé jednotky, kde není nutnost výstavby plynové přípojky, lze řešit bez stavebního povolení. Po instalaci je nutné zažádat o kolaudaci nebo o povolení zkušebního provozu.

1.2.2. Licence, osvědčení o původu elektřiny a registrace u operátora trhu s elektřinou

Energetický regulační úřad (ERÚ) v případě výroby tepla a elektrické energie musí vystavit licenci na výrobu elektrické energie a pro výrobu tepelné energie. Fyzické nebo právnické osoby jsou povinny doložit podklady pro technické a finanční předpoklady pro zajištění licencované činnosti a jsou povinni doložit vlastnické nebo užívací právo k energetickému zařízení. Licence je vydávána na časově omezenou dobu. Pro výrobny elektrické energie s instalovaným příkonem nižším než 200 kW a s instalovaným tepelným výkonem nižším než 1 MW není nutné doložit finanční předpoklady při podávání žádosti o udělení licence. K získání licence potřebujeme [9]:

- Kopii smlouvy nebo listiny o zřízení nebo založení právnické osoby, u osob zapsaných v obchodním či obdobném rejstříku postačí výpis z tohoto rejstříku
- Doklady prokazující odbornou způsobilost fyzické osoby a odpovědného zástupce; tato osoba musí splnit požadavky na kvalifikaci a praxi dle zákona č. 458/2000 Sb.
- Doklady prokazující finanční a technické předpoklady
- Doklady prokazující vlastnické nebo užívací právo k energetickému zařízení (postačí například faktura za kogenerační jednotku)
- Prohlášení odpovědného zástupce, že souhlasí s ustanovením do funkce a že není ustanoven do funkce odpovědného zástupce pro licencovanou činnost u jiného držitele licence
- Doklady o umístění provozovny.

Jedním z dokumentů vyžadovaných OTE je Osvědčení o původu elektrické energie. Toto osvědčení dokazuje, že energie pochází z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla dle požadavků zákona č. 165/2012 Sb. Osvědčení je oprávněno vydat MPO. Po přidělení licence se lze registrovat u OTE. Po registraci se stáváte registrovaným účastníkem trhu (RÚT).

1.2.3. Roční zelené bonusy

Výše celkové podpory výroby KVET je pro každý rok stanovena ERÚ v Cenovém rozhodnutí pro daný rok [2]. Výše zeleného bonusu se vztahuje na svorkovou výrobu na rozdíl od obnovitelných zdrojů [9]. Pro kogenerační jednotky s instalovaným výkonem do 5 MW je

celkový zelený bonus vypočítáván z ročních provozních hodin, pro jednotky nad 5 MW je zelený bonus vypočítaný podle úspory primární energie (ÚPE).

Pro celkové hodnocení výroby elektrické energie a tepla je velmi důležitým ukazatelem účinnost výroby. Účinnost je stanovena dle vzorce uvedena v příloze č. 4 bod a) odst. 3 vyhlášky č. 441/2012 Sb. Vyhláška o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie. Podrobnějšímu výpočtu účinnosti zařízení ZEVO Chotíkov se budeme věnovat v kapitole 5. V této kapitole bude také uveden postup pro výpočet úspory primární energie (ÚPE) dle vyhlášky č. 453/2014 Sb., Vyhláška o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů.

V tabulce č. 2 jsou uvedeny výše ročního zeleného bonusu Cenového rozhodnutí pro ERÚ pro rok 2016 pro výrobny s instalovaným výkon do 5 MW_e.

Druh podporovaného zdroje (výrobny)	Datum uvedení výrobny do provozu		Instalovaný výkon výrobny[kW]		Provozní hodiny [hod/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
	od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
Elektřina z KVET s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2015	0	200	3 000	1 580
	-	31.12.2015	0	200	4 400	1 115
	-	31.12.2015	0	200	8 400	215
	-	31.12.2015	200	1 000	3 000	1 140
	-	31.12.2015	200	1 000	4 400	740
	-	31.12.2015	200	1 000	8 400	135
	-	31.12.2015	1 000	5 000	3 000	800
	-	31.12.2015	1 000	5 000	4 400	470
	-	31.12.2015	1 000	5 000	8 400	45
Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny současně podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2015	0	5 000	8 400	45

Tabulka 2: Základní sazba ročního zeleného bonusu na elektřinu z KVET pro výrobnu [2]

Bodem 1 v cenové rozhodnutí je myšlena elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a důlního plynu z uzavřených dolů. Dle bodu 2.1 z cenového rozhodnutí jsou myšleny roční zelené bonusy na elektřinu pro výrobu elektřiny spalováním důlního plynu (z otevřených i uzavřených dolů) [7].

Pro výrobnu KVET s instalovaným výkonem nad 5 MW_e jsou uvedeny výše ročních zelených bonusů v tabulce č. 3.

Druh podporovaného zdroje (výrobny)	Datum uvedení výrobny do provozu		Instalovaný výkon výrobny [kW]		ÚPE [%]		Účinnost výroby energie [%]		Zelené bonusy [Kč/MWh]
	od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)	od	do (včetně)	od	do (včetně)	
Elektřina z KVET	-	31.12.2015	5 000	-	10	15	-	-	45
	-	31.12.2015	5 000	-	15	-	-	45	60
	-	31.12.2015	5 000	-	15	-	45	75	140
	-	31.12.2015	5 000	-	15	-	75	-	200
Elektřina z KVET vyrobená v nové nebo modernizované výrobně elektřiny	1.1:2013	31.12.2015	5 000	-	15	-	45	-	200

Tabulka 3: Základní sazba ročního zeleného bonusu na elektřinu z KVET pro výrobnu elektřiny s celkovým instalovaným výkonem kogeneračních jednotek nad 5 MWe [2]

Modernizovanou výrobnou elektřiny se rozumí stávající výrobna elektřiny, která vyrábí elektřinu z KVET a na které byla provedena a dokončena po 1. lednu 2013 (včetně) rekonstrukce nebo modernizace zařízení výrobny elektřiny s investicí do všech hlavních částí výrobny elektřiny, kterými se rozumí kotel, turbína, generátor a parní rozvody, které ovlivňují vysokoúčinnou kombinovanou výrobu elektřiny a tepla, úsporu primární energie a zvyšují technickou, provozní, bezpečnostní a ekologickou úroveň výrobny elektřiny na úroveň srovnatelnou s nově zřizovanými výrobnami elektřiny [2].

Novou výrobnou elektřiny se rozumí výrobna elektřiny, která vyrábí elektřinu z KVET a která byla uvedena do provozu po 1. lednu 2013 (včetně) postupem podle jiného právního předpisu [2].

Roční zelené bonusy na elektřinu pro výrobu elektřiny spalováním komunálního odpadu a ostatních druhotných zdrojů jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Podporovaný druh energie	Datum uvedení výrobny do provozu		Zelené bonusy [Kč/MWh]
	od (včetně)	do (včetně)	
Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu	-	31.12.2015	45
Výroba elektřiny spalováním ostatních druhotných zdrojů	-	31.12.2015	45

Tabulka 4: Roční zelené bonusy na elektřinu pro výrobu elektřiny spalováním komunálního odpadu a ostatních druhotných zdrojů [2]

Pro kompletní rozsah ročních zelených bonusů musíme ještě určit výši doplňkové sazby I., která je uvedena pro výrobny s instalovaným výkonem do 5 MW_e. Doplňková sazba I je uvedena v tabulce č. 5.

Podporovaný druh energie	Datum uvedení výrobny do provozu		Instalovaný výkon výrobny[kW]		Kategorie biomasy a proces využití	Zelené bonusy [Kč/MWh]
	od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
Výrobna elektřiny spalující čistou biomasu	1.1.2013	31.12.2013	0	5 000	O	100
	1.1.2014	31.12.2015		5 000	O	455
Výrobna elektřiny spalující (samostatně) plyn ze zplyňování pevné biomasy	1.1.2013	31.12.2013	0	2 500	O	455
	1.1.2014	31.12.2015		2 500	O	755
Výrobna elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici	1.1.2013	31.12.2013	0	2 500	AF	455
Výrobna elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici splňující podmínku bodu (3.4.2.)	1.1.2014	31.12.2015	0	2 500	AF	900
Nová výrobna elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici splňující podmínku bodu (3.4.3.)	1.1.2014	31.12.2015	0	550	AF	900
Výrobna elektřiny spalující důlní plyn	1.1.2013	31.12.2015	0	5 000	-	455
Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu nebo společným spalováním komunálního odpadu s různými zdroji energie	-	31.12.2012	0	5 000	-	155
Výrobna elektřiny spalující (samostatně) zemní plyn	-	31.12.2015	0	5 000	-	455

Tabulka 5: Doplňková sazba I k základní sazbě ročního zeleného bonusu za veškerou elektřinu z KVET [2]

Cenové rozhodnutí pro rok 2015 určuje také výši zeleného bonusu pro výrobu tepla. Hodnoty zeleného bonusu pro výrobu tepla jsou uvedeny v tabulce č. 6.

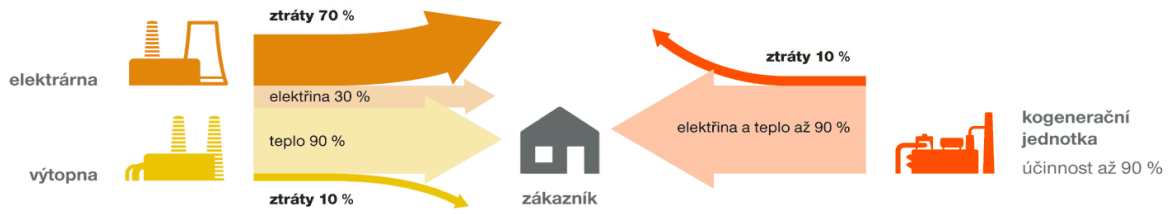
Podporovaný druh energie	Datum uvedení výrobny do provozu		Zelené bonusy [Kč/GJ]
	od (včetně)	do (včetně)	
Výrobna tepla s výjimkou výrobny tepla z bioplynu	-	31.12.2015	50

Tabulka 6: Zelený bonus na teplo [2]

1.3. Princip kogenerace

Princip kogenerace lze vysvětlit na procesu přeměny energie z paliva, kdy vysoko potenciální energie je využita na výrobu elektrické energie a nízko potenciální energii lze využít pro následnou dodávku energie tepelné. Toto vystihuje již dříve zmíněná zkratka KVET – kombinovaná výroba elektřiny a tepla neboli kogenerační výroba [7]. Hlavním cílem kogenerace je úspora primární energie nebo také často zmiňované PEZ. Úspory můžeme dosáhnout spojením výroby energií, kdy uvažujeme, že pro dodávku potřebné energie bychom potřebovali dva různé zdroje. Nejčastěji kondenzační elektrárnu využívající spalování hnědého

uhlí a plynovou kotelnu. Při kogenerační výrobě jsme schopni tyto dva zdroje nahradit zdrojem jedním. Princip je graficky znázorněn na obr. 1.



Obrázek 1: Princip kogenerace [24]

1.4. Ekologické vlivy kogenerace

Posláním kogenerace je úspora primárních energetických zdrojů (PEZ). Mezi PEZ lze považovat např. uhlí, ropa, zemní plyn nebo uran (thorium) atp. Tím, že při KVET dochází k redukci množství spotřebovaného paliva, dochází ke snížené celkové produkce CO2. Kogenerační jednotky taky díky spojené výrobě mají velmi nízké emise SO2, NOX, CO a emise prachu. Při použití kogeneračního principu lze odvodit vztah (1) pro snížení emisí dané látky. Tento vztah je obecně platný pro možné rozdíly v účinnosti kogenerační jednotky a náhradní výtopny [7]:

$$\frac{M_x}{Q_s} = \left(\frac{m_x^{výt}}{\eta_{výt}} - \frac{m_x^{kj}}{\eta_{kj}}\right) + e\left(\frac{m_x^{el}}{\eta_{el}} - \frac{m_x^{kj}}{\eta_{kj}}\right) [kg/GJ] \qquad (1)$$

kde M_x [kg] je snížení emise příslušné látky, Q_s [GJ] velikost uvolněného tepla, m [kg/kJ] je velikost emise látky vzniklé při spálení paliva, vztažená na 1 GJ uvolněného tepla a koeficienty *výt*, *kj* a *el* jsou určením, zda se příslušná veličina vztahuje k výtopně, kogenerační jednotce nebo elektrárně. Index *x* vyjadřuje druh emitující látky. Ze vzorce (1) lze vyvodit, že snížení emisí je přímo úměrné modulu teplárenské výroby (v anglické literatuře uváděn jako *power/heat ratio*) *e*. Modul teplárenské výroby je jeden z hlavních ukazatelů kogenerační jednotky a značí, poměr vyrobené elektřina a tepla (2) [7].

$$e = \frac{E}{Q}\ [-] \tag{2}$$

Kde E [GJ] je množství vyrobené elektrické energie a Q [GJ] je množství vyrobeného tepla v kogenerační jednotce.

2. Přehled technologií pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie

Kogenerační technologie můžeme rozdělit na následující skupiny [8] podle čtyř kritérií:

a) Podle použitého primárního paliva

V této skupině posuzujeme, zda kogenerační jednotky pracují s obnovitelnými zdroji elektrické energie či neobnovitelnými zdroji:

- neobnovitelné zdroje zahrnují fosilní paliva
- obnovitelné můžeme pro přiklad uvést biomasu, skládkový plyn, kalový plyn atd.

b) Maximálního dosaženého výkonu

Výkon jednotek můžeme rozdělit do následujících pěti skupin:

- mikro-kogenerace – kogenerace do výkonu 50 kW_e
- mini-kogenerace – kogenerace do výkonu 500 kW_e
- kogenerace malého výkonu do 1 MW_e
- kogenerace středního výkonu do 50 MW_e
- kogenerace velkého výkonu nad 50 MW_e

c) Účelu využití

Kogenerační jednotky lze rozdělit podle způsobu zásobování systému energií:

- základní
- špičkové
- záložní
- rezervní
- specifické

d) Účelu využití

Kogenerační jednotky lze dělit v systému využití i dle způsobu spotřeby vyrobené energie:

- centralizované zásobování teplem
- průmyslová kogenerace
- kogenerace pro komerční sféru
- kogenerace pro komunální sféru
- kogenerace pro bytovou sféru

e) Samotné technologie a efektivnosti nasazení KJ

Technologie kogeneračních jednotek srovnatelné s klasickou technologií výroby energií:

- kombinovaný cyklus s rekuperací tepla
- parní protitlaková turbína
- kondenzační turbína s odběrem páry
- plynová turbína s rekuperací tepla
- motor s vnitřním spalováním
- mikroturbíny
- Stirlingovy motory
- palivové články
- parní turbíny
- organické Rankinovy cykly

V následujících kapitolách se primárně zaměříme na nejpoužívanější technologie pro malé a velké kogenerační jednotky.

2.1 Kogenerační jednotky se spalovacím motorem

Základní rozdělení kogeneračních jednotek se spalovacím motorem je rozdělení podle typu použitého spalovacího motoru, a to:

- kogenerační jednotky s vznětovým motorem
- kogenerační jednotky se zážehovým motorem

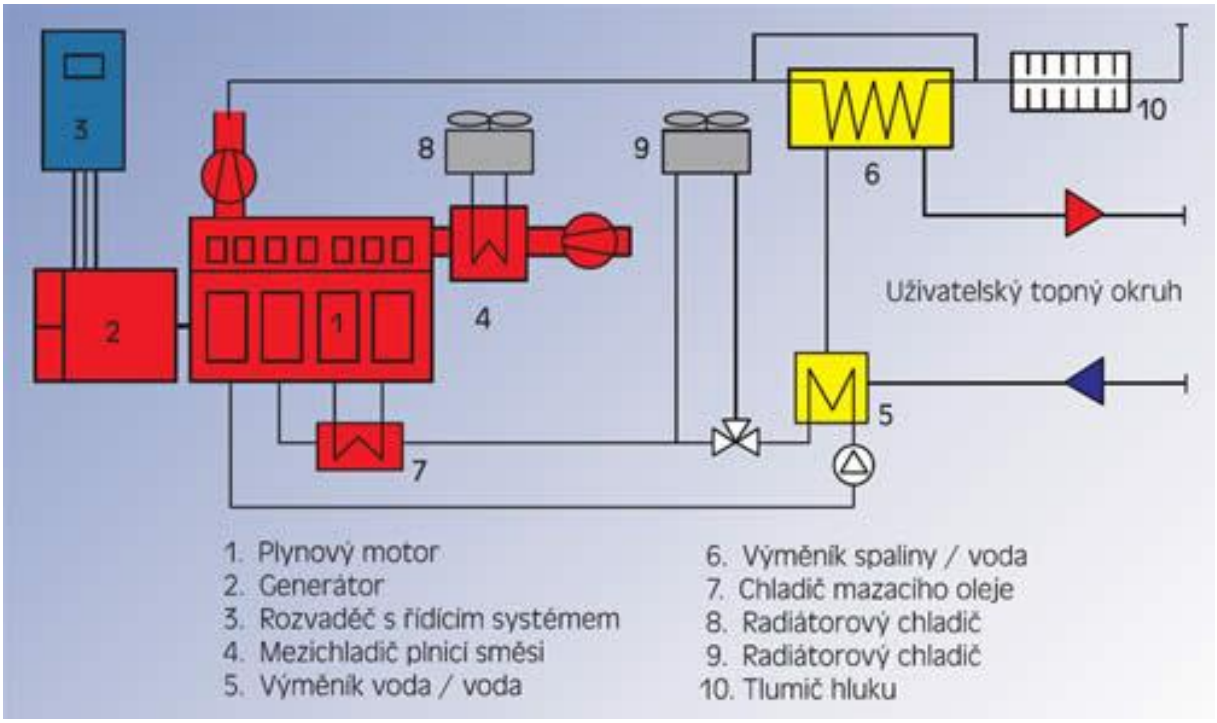
Kogenerační jednotky se spalovacím motorem (obr. 1) řadíme podle předchozího dělení do jednotek možných pracovat s fosilními i obnovitelnými druhy paliv. Nejčastěji se jedná o zemní plyn nebo bioplyn, méně pak o LPG. Pístové kogenerační jednotky jsou vyráběny v rozmezí

výkonu 6,5 kW_e až do výkonu 25 000 kW_e [7]. Z tohoto pohledu můžeme tyto jednotky zahrnout do kategorie od mikro-kogenerace až po kogeneraci středního výkonu.

Obrázek 2: Kogenerační jednotka se spalovacím motorem [6]

Schéma kogenerační jednotky se spalovacím motorem je uvedeno na obr. 2. Pro pohon generátoru (2) je provozován pístový spalovací motor (1). Pro odvod tepla z motoru jsou zde do série zapojeny dva výměníky. Výměník (5), který odebírá teplo z motoru a z oleje pracuje na úrovni 80 °C - 110 °C, výměník (6), který slouží pro odvod tepla z výfukových spalin s teplotou v rozmezí 400 °C – 540 °C dodává teplou vodu na úrovni vyšší. Tyto jednotky se nejčastěji používají pro dodávku sekundární otopné vody s teplotami topné a vratné vody v systému CZT 70/90 °C [7].

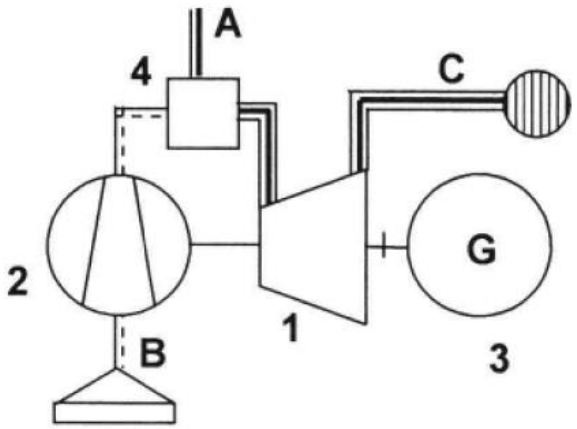
V praxi jsou tyto jednotky používány hlavně pro svoji schopnost rychlého náběhu ze studeného stavu. Nevýhodou těchto jednotek je ovšem skoro nulová možnost regulace. Jednotka pracuje ve stavu vypnuto nebo zapnuto, a jelikož její účinnost se pohybuje v rozmezí 75 – 92%, s regulací, kde účinnost velice rychle klesá, se nám regulovaný provoz nevyplatí.



Obrázek 3: Schéma kogenerační jednotky se spalovacím motorem [5]

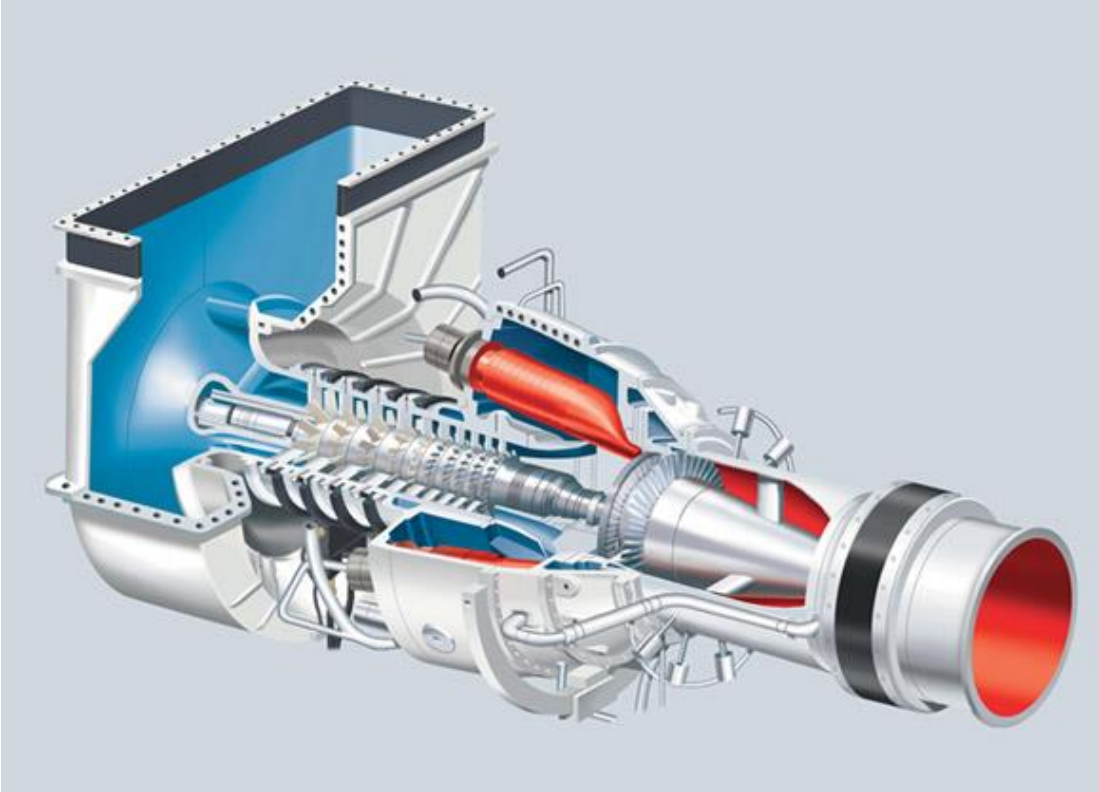
2.2. Kogenerační jednotky s plynovou turbínou

Základní schéma plynové turbíny je uvedeno na obr. 3. Celý cyklus začíná v přívodu vzduchu (B), kde vzduch je přiváděn do kompresoru (2) a stlačován na požadovaný tlak. Dále je stlačený vzduch vháněn do spalovací komory (4). Do spalovací komory je také přiváděno použité palivo přívodem paliva (A). Ve spalovací komoře vznikají spaliny o vysoké teplotě a tlaku a jsou přivedeny to plynové turbíny (1), kde expandují. Při kogeneraci se k vývodu odpadních spalin (C) zapojí výměník tepla, který využívá odpadní teplo.



Obrázek 4: Schéma spalovací turbíny [7]

Použité spalovací turbíny můžeme rozdělit na dva druhy, a to na spalovací turbíny průmyslové a spalovací turbíny na základě leteckých proudových motorů. Trend ve výrobě je sbližování obou typů turbín. Průmyslová turbína je zobrazena na obr. 5.



Obrázek 5: Průmyslová plynová turbína Siemens SGT-100 [11]

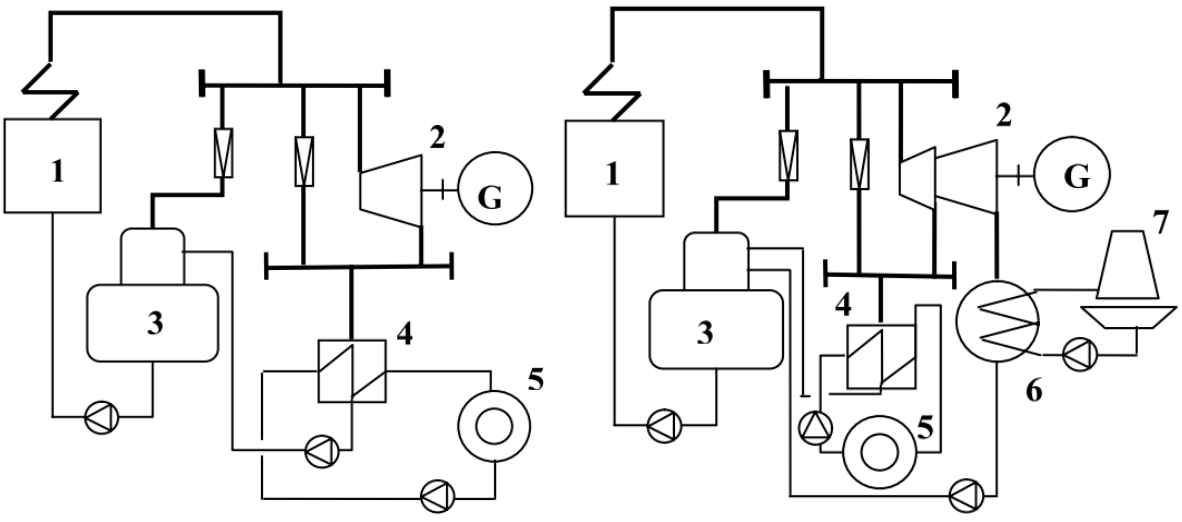
Účinnost elektrické výroby spalovací turbíny se pohybuje mezi 20 až 48 %. Hodnota účinnosti je přímo úměrná teplotě výstupních spalin ze spalovací komory. Jelikož se teplota spalin pohybuje v rozmezí 950 °C – 1 250 °C (u leteckých turbín až 1 400 °C), je u výroby turbíny kladen veliký důraz na použité materiály a samotnou konstrukci. Výkonový rozsah vyráběných plynových turbín je v současné době od 250 kW až po 300 MW (pro mikroturbíny se uvádí výkon od 25 kW).

Spaliny na výstupu z plynové turbíny jsou stále o vysoké teplotě 450 °C – 550 °C. S použitím přídavného spalování až 1 000 °C, a to také určuje následné využití. Do kogeneračního cyklu zapojit výměník a následně i parní turbínu. Pomocí výměníku lze dodávat teplou nebo horkou vodu pro připojení do centrálního zásobování teplem (CZT) nebo pro technologické účely, lze vyrábět středotlakou nebo nízkotlakou páru pro potřeby připojení do CZT nebo technologické účely anebo vysokotlakou páru pro pohon parní turbíny.

2.3. Kogenerační jednotky s Rankinovým cyklem

Mezi velkou výhodu jednotek využívající Rankinův cyklus patří použití různého vstupního paliva. Pro spalování v kotli lze použít palivo v jakémkoliv skupenství. Může se jednat o paliva jako mazut, plyn, komunální odpad atp. Kotle mohou být uzpůsobeny pro spalování i více druhů paliva najednou. Jako motor kogenerační jednotky se používá parní turbína. A to buď protitlaková, anebo kondenzační s odběrem páry pro dodávku tepla. Kondenzační turbína se používá u starších typů kogeneračních jednotek. Turbína je následně spojena s alternátorem pro výrobu elektrické energie.

Ze schématu (obr. 5) je patrné, že celý cyklus začíná spalováním paliva v parním kotli (1). Pára je pak přivedena do turbíny (2). Na výstupu z trubíny má pára již nízkopotenciální energii odpovídající požadavkům na odběr tepla. U kondenzační turbíny dochází k odběru páry z turbíny ve vhodném bodu, abychom dodrželi požadavky na kvalitu dodávaného tepla. Pára pro dodávku pak následně vstupuje do výměníku (4) a horkovodem nebo parovodem dodáme teplo do místa spotřby (5). Kondenzát se pak následně shromažďuje v napájecí nádrži (3). U kondenzačních turbín jde pára po průchodu turbínou do kondenzátoru (6) a odpadní teplo je odváděno chladící věží (7). Toto odpadní teplo se nedá použít pro dodávky tepla.



Obrázek 6: Schéma zapojení protitlakové a kondenzační parní turbíny [7]

V České republice došlo v minulosti k rekonstrukci některých kondenzačních elektráren na kogenerační zařízení. U těchto zařízení je dodávka tepla nejčastěji realizována horkovody do místa spotřeby. Odběr páry probíhá neregulovanými odběry v turbíně a následuje do výměníku pára – voda. Mezi nevýhody patří velmi pomalá regulace těchto zdrojů a s tím souvisí i pomalé najíždění a odstávky zdroje.

3. Možnosti akumulace tepelné a elektrické energie

Všechny zmíněné technologie kogeneračních jednotek lze, dle kapitoly 2 odstavce c, rozdělit do skupin podle způsobu zásobovaní energie do systému. Základní rozdělení je na zdroje základní, špičkové, záložní, rezervní a specifické. U základních zdrojů uvažujeme kontinuální provoz, u zdrojů záložních a špičkových uvažujeme provoz dle potřeby dodávky energie do systému. V tuto chvíli se začíná projevovat ekonomický aspekt najíždění a odstavování zdrojů. Pro zlepšení efektivity použitého zdroje, můžeme zdroj provozovat v delším časovém horizontu a vyrobenou energii vhodně skladovat a v případě potřeby do systému dodávat, i pokud je zdroj vypnutý. U kogeneračních jednotek se jedná hlavně o akumulaci elektrické a teplené.

3.1 Možnosti akumulace tepelné energie

Akumulaci tepelné energie lze rozdělit podle druhu využívaného tepla [14]. Jedná se o čtyři skupina, a to:

- Akumulace s využitím citelného tepla
- Akumulace s využitím skupenského tepla
- Akumulace s využitím sorpčního tepla
- Akumulace s využitím chemických reakcí

U prvních dvou zmíněných způsobů se jedná o komerčně dostupné způsoby, které jsou ale charakteristické svými tepelnými ztrátami. U druhých dvou způsobů se jedná o metody ve vývoji a skladování tepla je bezeztrátové.

3.1.1. Akumulace s využitím citelného tepla

U akumulace s využitím citelného tepla se jedná o přímý ohřev pracovní látky. Jedná se o nejjednodušší způsob ukládání tepelné energie a je založen na principu tepelné kapacity látky a rozdílu teploty. Nejlepším dostupným médiem pro použití ukládání citelného tepla je voda, která je v pracovního i ekonomického hlediska nepřívětivější. Tepelná kapacita vody je c = 4,2 $Jkg^{-1}K^{-1}$. Voda je však omezena pracovní teplotou a to bodem tuhnutí 0 °C a bodem varu 100

°C. Proto se používají, ač ve výrazně menší míře, pevné látky, například škvára nebo kamení nebo kombinace vody a pevné látky. Avšak s výrazně nižší měrnou tepelnou kapacitou v rozsahu c = 0,8 – 1,0 $Jkg^{-1}K^{-1}$ [14]. Všeobecně známý příkladem akumulace citelného tepla je bojler.

3.1.2 Akumulace s využitím skupenského tepla

Při akumulaci s využitím skupenského tepla je využito entalpie fázové změny pracovní látky. Jsou možné tři druhy fázových změn, a to:

- Tání/tuhnutí
- Výpar/kondenzace
- Sublimace/desublimace

Pro skladování plynného skupenství látky by byla zapotřebí nádoba, která by měla relativně velké rozměry a musela by odolat velkým tlakům. Proto pro použití tohoto způsobu skladování tepla lze využít pouze přechod mezi pevnou látkou a kapalinou. Jako pracovní látky se pro tuto metodu používají chemicky čisté látky nebo sloučeniny. Toto zvyšuje pořizovací náklady a také nároky na údržbu. Látka se snadno znečistí, což ovlivňuje teplotu fázové změny. Jako příklad lze uvést síran sodný $Na_2SO_4 \times 10H_2O$ a parafín. Síran sodný má entalpii tání ΔH_t = 243 kJ/kg při teplotě 30 °C. Optimální látky pro ukládán tepelné energie by měly být stabilní v cyklech tání a tuhnutí, nehořlavé a měly by mít nízké objemové rozdíly mezi skupenstvími. Pro ohřev teplé užitkové vody by se měla teplota tání a tuhnutí pohybovat v rozmezí od 55 do 60 °C.

3.1.3 Akumulace s využitím sorpčního tepla

Princip využití sorpčního tepla lze rozdělit na akumulaci vodní páry v tuhé látce a na akumulaci vodní páry v kapalné látce [14]. Pro akumulaci v tuhé látce se využívá vlastnosti adsorpce a pro akumulaci v kapalné látce se využívá vlastnosti absorpce. Zásobníky pracující s akumulací páry využívají uvolňování tepla způsobené adsorpcí vodní páry v pórech nebo na povrchu materiálu. Proces adsorpce se projevuje exotermickou reakcí, při které se látka hromadí na povrchu adsorbentu. Pokud do materiálu přivedeme teplo, dochází k opačnému procesu, desorpci, a látka se opět z povrchu adsorbentu uvolňuje. Výhodou adsorbentů je velká hustota akumulace v rozmezí 500 – 1000 MJ/m3 [16]. Celý systém pracuje na principu, že vlhký

vzduch uvnitř budovy je přiváděn do výměníku na bázi zeolitu, kde dochází k adsorpci molekul páry do pórů zeolitu. Při tom se uvolňuje adsorpční teplo, které dokáže ohřát procházející vzduch o 15 až 25 °C [16]. Při dosažení plného nasycení, je třeba sorpční materiál vysušit suchým vzduchem.

3.1.4. Akumulace s využitím chemických reakcí

Ideální termochemická reakce pro akumulaci tepla je reakce endotermická, při které se akumuluje teplo v reagujících látkách. K reagujícím látkám přivádíme pouze tzv. reakční teplo. Opak endotermické reakce je reakce exotermická, kdy reagované látky uvolňují akumulovanou energii. Tento cyklus endotermické a exotermické reakce určuje velké omezení pro použité látky. Reagující látky by neměly dále podléhat dalším reakcím, a musí být snadno od sebe oddělitelné. Hustota akumulace se pohybuje mezi 1000-3000 MJ/m3 [16].

3.2. Možnosti akumulace elektrické energie

Pro každý den v roce a pro specifikovanou oblast lze dohledat denní diagram zatížení, např. dostupný na internetových stránkách společnosti ČEZ Distribuce, a. s. http://diagramonline.cezdistribuce.cz/Viewer/. Spotřeba elektrické energie je primárně pokrývána z konvenčních zdrojů elektrické energie, a to hlavně z jaderných, tepelných a vodních elektráren. Akumulace elektrické energie začala být podstatným faktorem s nástupem rozvoje obnovitelných zdrojů, ze kterých nejsou všechny schopny dodávat do sítě elektrickou energii nepřetržitě.

Ze současných technologických trendů můžeme vyzvednout nejpoužívanější technologie. Mezi ty stále patří použití akumulátorů. Mezi stále používané akumulátory patří olověné akumulátory, u kterých je však problém s životností a cenou. Namísto toho se stále více používají alkalické akumulátory, do kterých můžeme zahrnout nikl-kadmiové akumulátory, nikl-metal hydridové akumulátory a například lithium-iontové akumulátory. Pro svoji velikost se zatím používají u kogeneračních jednotek malých výkonů a současné technologie nedovolují ukládat větší množství energie. V této kapitole se proto budeme věnovat technologiím, které dovolují ukládat větší množství energie z vyrobených kogeneračních jednotek větších výkonů.

3.2.1. Metoda CAES

Metoda CAES (Compressed Air Energy Storage) je založena na principu uložení a následného využití energie do a ze stlačeného vzduchu. V malém měřítku se tento princip dlouhodobě využívá pro pohon důlních lokomotiv, s využitím pro ukládání větších energetických zásob je spojeno s velkými tepelnými ztrátami při stlačování vzduchu, a to způsobuje, že účinnost využití metody je kolem 50% [17]. Při kompresi vzduchu dochází k jeho ohřátí a při expanzi je potřeba teplo naopak dodávat. V současné době se metoda CAES zlepšuje tím, že je odpadní teplo při kompresi ukládáno a následně při expanzi do systému opět dodáváno, nazýváno metodou AA-CAES. Toto vede ke zvýšení účinnosti okolo 70% [18]. Metoda CAES se nejčastěji využívá ve spojení s větrnými elektrárnami.

Jako příklad můžeme uvést projekt Huntorf v Německu. Základní údaje jsou uvedeny v tabulce č. 7.

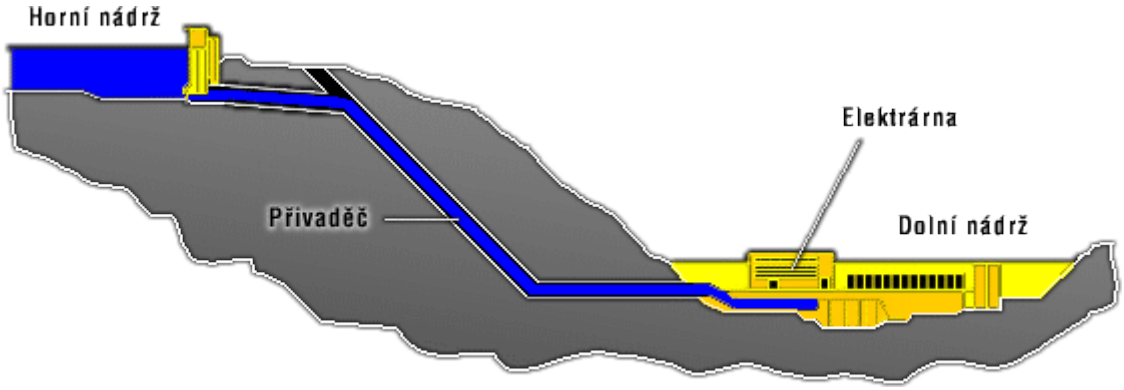
Místo	Huntorf, Německo
Rok uvedení do provozu	1978
Způsob uložení	2 x cylindrická solná komora 150,000 m3 v hloubce 600 – 800 m
Dodávaný výkon [MW]	290 po dobu 2 hodin
Rozmezí výkonu	50 – 70 bar

Tabulka 7: Huntorf, Německo [18]

3.2.2. Přečerpávací vodní elektrárny

Přečerpávací vodní elektrárny (PVE) zastupují největší podíl v současné možnosti akumulace elektrické energie. Velkou výhodou PVE je schopnost uložit relativně velké množství energie. Pro konvenční zdroje není výhodná regulace nebo odstavování zdroje v případě nedostatečného odběru energie v síti. Proto se v České republice od třicátých let 20. století začalo právě VPE využívat. Princip PVE je znázorněn na obr. 6. Pokud je v síti energie nadbytek, elektrárna čerpá vodu do horní nádrže. Tento proces probíhá většinou v noci. Pro pokrytí špičkových dodávek elektrické energie e proces obrátí, a voda z horní nádrže protéká

potrubím do nádrže spodní. Výroba elektrické energie je zajištěna průchodem vody přes turbínu.



Obrázek 7: Princip VPE [19]

Účinnost VPE lze určit pro tzv. malý nebo velký cyklus. Při malém cyklu jsou zanedbány ztráty pro přenos elektrické energie k čerpadlu, při velkém cyklu tyto ztráty započítáváme. Pro starší VPE byla uváděna účinnost mezi 50 – 65 %, pro nově postavené VPE je účinnost vyšší, a to až 75%. Účinnost se uvádí pro malý cyklus [20].

V České republice jsou v provozu celkem tři velké přečerpávající elektrárny, PVE Dlouhé Stráně I, PVE Dalešice a PVE Štěchovice II. Celkový instalovaný výkon těchto tří zařízení je 1145 MW [21].

4. Závod na energetické využití komunálního odpadu Chotíkov

Primárním cílem provozu spalovny komunálního odpadu je zabránění ukládání odpadu do země. Při jeho využití jsme schopni generovat energii pro další zpracování. Proto u nás i ve světě začínají fungovat tzv. závody na energetické využití odpadu. Stavba Závodu na energetické využití odpadu v Chotíkově (obr. 8) je situována na území komunální skládky nedaleko Plzně (GPS 49.80196,13.296309). Základní odhadované parametry ZEVO Chotíkov pro další výpočty jsou uvedeny tabulce č. 8.

Parametry výroby	**Hodnoty použité ve výpočtu**
Tepelný výkon v SKO	289 996,8 MWh/rok
Dodávka tepla do CZT	110 213,6 MWh/rok
Elektrická energie vyrobená	54 198 MWh/rok

Tabulka 8: Základní údaje jednotky SKO

Spalovna je navržena na celoroční nepřetržitý provoz, a to přibližně 7 680 hodin ročně. Při tomto provozu je spalovna schopna zpracovat 95 000 t skládkového komunálního odpadu za rok. U tohoto projektu se neuvažuje o akumulaci elektrické ani tepelné energie, protože výroba tepelné energie reaguje na přesný požadavek dispečinku a elektrická energie je v celém množství odkoupena smluvním partnerem.

Obrázek 8: ZEVO Chotíkov [26]

Pro provoz ZEVO Chotíkov jsou rozhodující legislativní předpisy o emisních limitech daných nařízením vlády č. 354/2002 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Použitá technologie snížení emisí dosahuje výsledků v rozsahu 23% – 96% požadavků daných tímto nařízením [25].

4.1. Zpracování směsného komunálního odpadu

Směsný komunální odpad je přivážen do spalovny z průmyslových i nevýrobních sfér. Před zavezením do bunkru je odpad podroben skenováním na zdroje ionizujícího záření. Skladování odpadu probíhá v bunkru, který je uzavřen a odvětráván. Objem bunkru je přibližně 4 300 m3 a při plném využití lze provozovat spalovnu 4 dny pouze ze skladových zásob. V bunkru je odpad promícháván a štosován. Následně je pomocí jeřábu dopraven do plnící násypky roštového topeniště. Základní parametry směsného komunálního odpadu jsou uvedeny v tab. 9. a jeho předpokládané složení v příloze 1.

Množství zpracovaného odpadu	**95 000 t/rok**
Množství zpracovaného odpadu	12,37 t/hod
Průměrná výhřevnost	10,985 MJ/kg
Výhřevnost na vstupu do ZEVO	7 – 14 MJ/kg

Tabulka 9: Parametry směsného odpadu [23]

4.2. Spalování a výroba páry

Pro spalování odpadu je použito roštové topeniště. Odpad z plnící násypky postupuje do zavážecí šachty, kde je následně hydraulicky dopravován do ohniště. Na roštu je odpad hydraulicky obracen, prohříván, sušen, zplyňován, zapalován a následně při odhořívání pokračuje do k výstupu z ohniště. Minimální provozní teplota ohniště je 850 °C. Při najíždění a stabilizaci teploty v ohništi se používají najížděcí a stabilizační hořáky, které používají jako palivo topný olej.

V první části výparníku jsou spaliny ochlazovány z 900 °C na teplotu přibližně 650 °C. Následně jsou vedeny do konvekční části kotle. Použitý je bubnový, vodotrubný kotel s přirozenou cirkulací. V konvekční části kotel je umístěn třístupňový přehřívák, druhá část výparníku a ekonomizér. Spaliny jsou vedeny protiproudně oproti vstupům do kotle. Nejdříve je přehřáta vyrobená pára ve výparníku, následně dochází k předehřátí vstupní vody

v ekonomizéru. Na výstupu z kotle mají spaliny teplotu přibližně 200 °C. Kotel vyrábí páru o parametrech vysokotlaké přehřáté páry o tlaku 51 bar abs. a teplotě 425 °C. Vyrobená pára následně pokračuje procesem využití energie.

V dohořívací komoře je snímána teplota a tlak a na výstupu spalin z kotle snímána teplota, tlak, obsah kyslíku a kysličníku uhelnatého. Tyto hodnoty jsou následně použity pro regulaci spalování. Spaliny jsou na výstupu kotle vedeny do procesu čištění spalin.

Hodnoty ročních úletů emisí jsou uvedeny v příloze 2. Čištění spalin probíhá technologiemi podle principu BAT – Best Available technology. Pro redukci emisních látek ve spalinách se používá kombinovaná metoda, která se skládá z rozprašovacího sušícího reaktoru, tkaninových filtrů, třístupňové pračky spalin a následně metody SCR - katalytický reaktor DeNOx a DeDiox.

4.3. Využití vyrobené energie

Kotel vyrábí přehřátou páru o parametrech 5,1 MPa a 425 °C. Výkon parního kotel je 42,38 t páry/hod. pro zpracování energie pára vstupuje do parní turbíny. V technologii spalovny je použita parní turbína společnosti SIEMENS, s.r.o., odštěpný závod Industrial Turbomachinery. Parametry parní turbíny SST-300 jsou uvedeny v tab. 10. Elektrická energie je dodávána do distribuční soustavy 22 kV. Pro dodávku tepelné energie se používá jeden neregulovaný a jeden regulovaný odběr páry. Pára z odběrů turbíny je vedena do výměníkových stanic a energie se dodává do horkovodu CZT 135/70 °C. Provozní předpis pro turbínu se základními informacemi je v příloze 3.

Parní turbína SST-300		
Výkon	jmenovitý (na svorkách generátoru)	9,73 MW
	maximální (na svorkách generátoru)	10,5 MW
	minimální výkon (ostrovní provoz)	2,2 MW
Smysl otáčení	ve směru hodinových ručiček (CW – pravotočivý)	
Vstupní parametry páry	tlak (jemnovitý)	4,82 MPa(g)
	teplota (jmenovitá)	423 °C
Neregulovaný odběr	tlak páry	370 kPa(g)
	průtok páry (jmenovitý)	12,1 t/h
Regulovaný odběr	tlak páry	76 kPa(g)
	průtok páry (jmenovitý)	7,49 t/h
Výstupní pára	tlak páry	-92 kPa(g)
	průtok páry (jmenovitý)	22,61 t/h

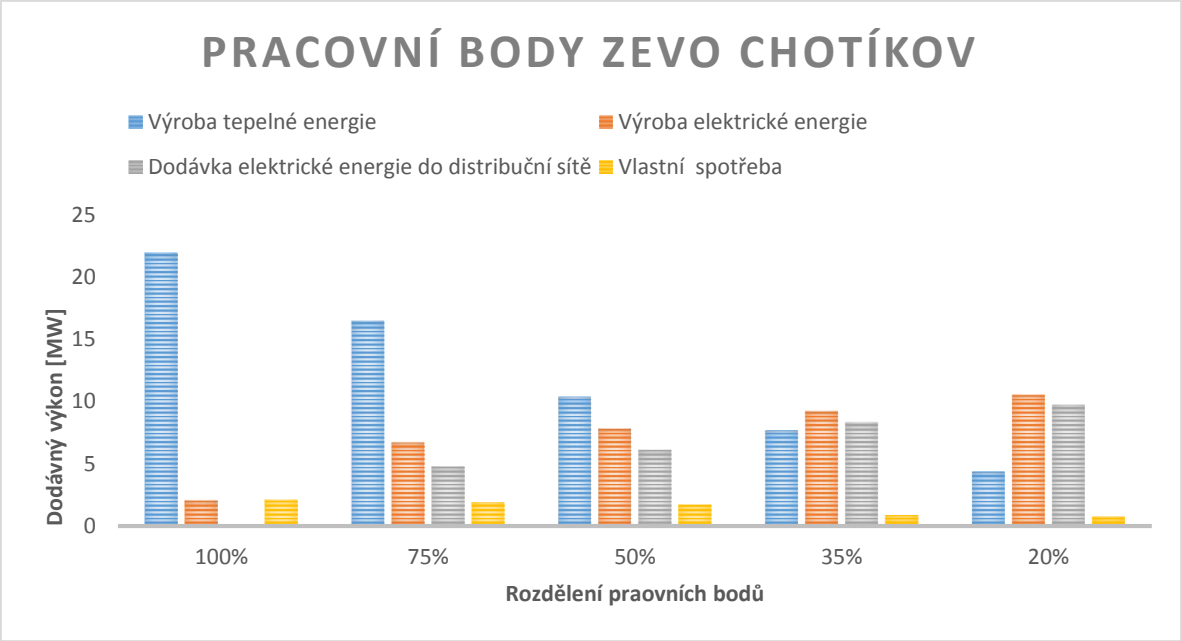
Tabulka 10: Základní parametry turbíny [26]

4.4. Provozní stavy spalovny ZEVO Chotíkov

Spalovna při svém provozu primárně reaguje na požadavky dodávky tepla ze soustavy zdrojů Plzeňské teplárenské, a.s. Požadavky na dodávku tepla přibližně kopírují dodávaný výkon soustavy zdrojů. Pro teoretický návrh výroby tepla a energie bylo určeno pět základních pracovních bodů zdroje v ZEVO Chotíkov. Tyto pracovní body jsou znázorněny na grafu č. 1. a hodnoty uvedeny v tabulce č. 11.

Pracovní body	**Výroba tepelné energie** [MW]	**Výroba elektrické energie** [MW]	**Dodávka elektrické energie do distribuční sítě** [MW]	**Vlastní spotřeba** [MW]
100%	22	2,1	0	2,1
75%	16,5	6,7	4,8	1,9
50%	10,4	7,8	6,1	1,7
35%	7,7	9,2	8,3	0,9
20%	4,4	10,5	9,72	0,78

Tabulka 11: :Rozdělení pracovních bodů



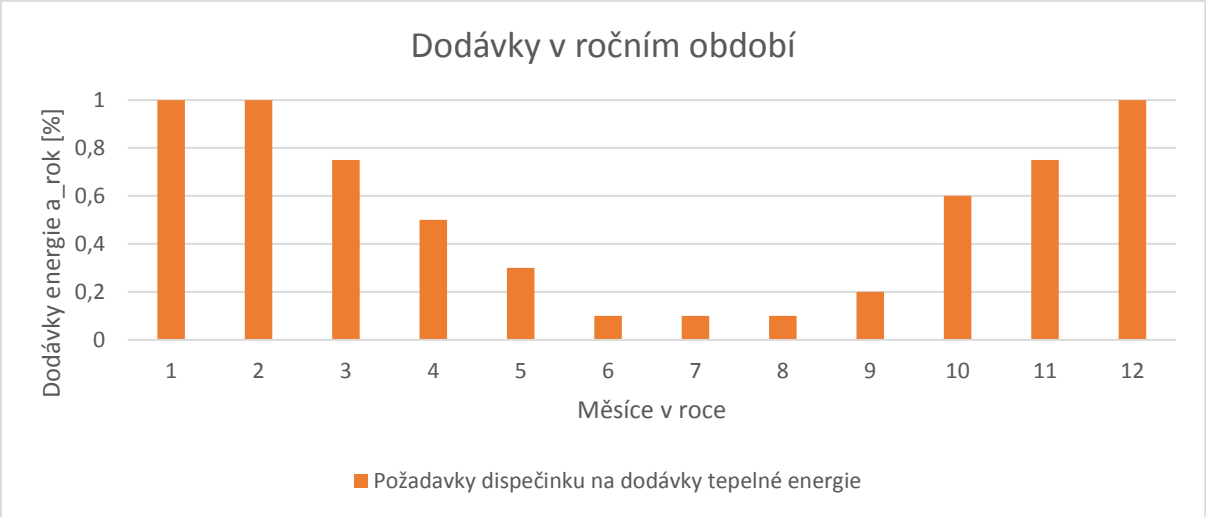
Graf 1: Rozdělení pracovních bodů

Body jsou rozděleny na stupně 100%, 75%, 50%, 35% a 20%.

Požadavky dispečinku na dodávky tepelné energie byly určeny z dodávek pro rok 2015 [4]. Poměrové hodnoty a_{rok} dodávky tepelné energie v měsících jsou uvedeny v grafu č. 2. Jelikož energetický zdroj spalovny nahrazuje stejný výkon v soustavě zdrojů v plzeňské teplárně, hodnoty požadavku v chladném měsíci $Q_{pož_ch}$ byly určeny poměrem dle vzorce (3) a hodnoty požadavku v teplém měsíci $Q_{pož_t}$ byly určeny dle vzorce (4)

$$Q_{pož_ch} = Q_{max} \times a_{rok} \times a_{chlad_d}\ [MW], \tag{3}$$

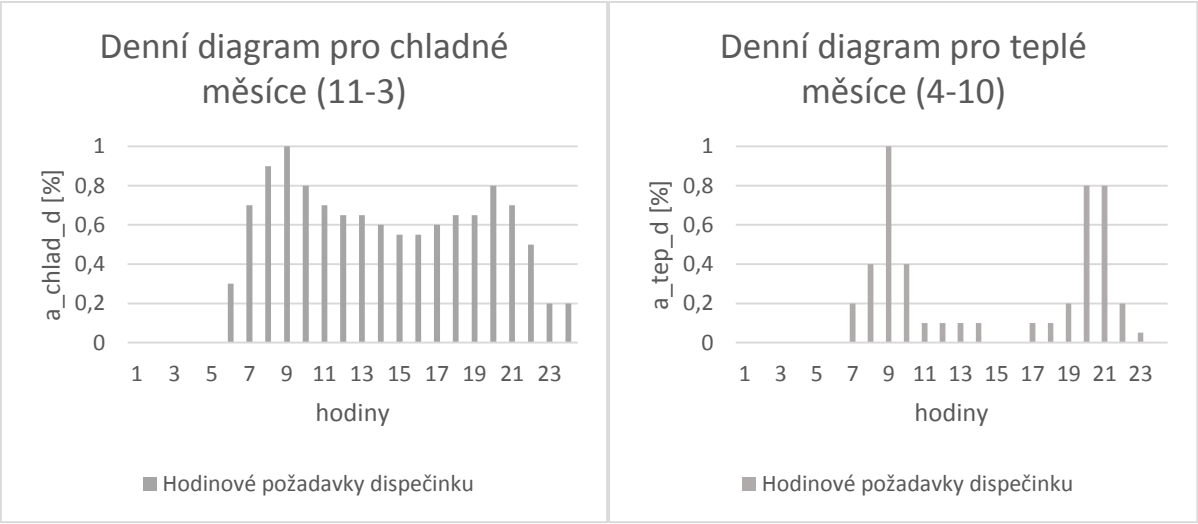
$$Q_{pož_t} = Q_{max} \times a_{rok} \times a_{tep_d}\ [MW], \tag{4}$$



Graf 2:Hodnoty parametru a_rok

kde Q_{max} je maximální možný dodávaný tepelný výkon zdroje.

Požadavky na dodávku tepelné energie v hodinovém rozdělní během dne určíme dle [27]. Hodnoty a_{chlad_d} a a_{tep_d} jsou uvedeny pro dny v teplých měsících (duben, květen, červen, červenec, srpen, září, říjen) a pro dny ve studených měsících (listopad, prosinec, leden, únor, březen). Poměrové hodnoty jsou uvedeny v grafu č. 3.



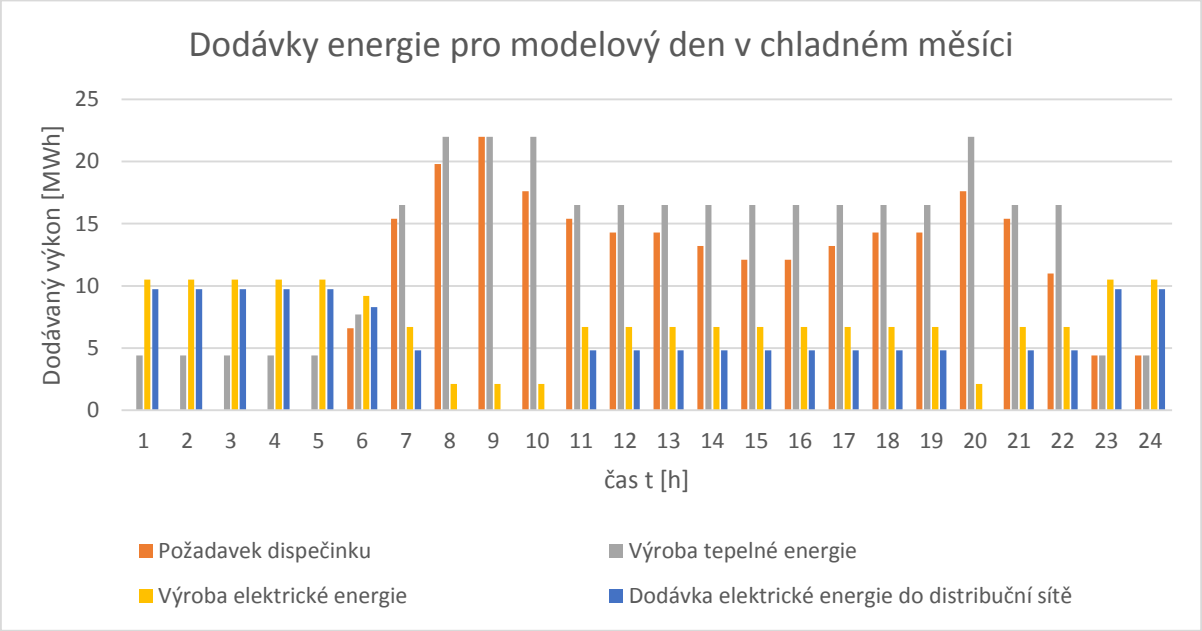
Graf 3: Denní diagram pro studené a teplé měsíce [27]

Označme si provozní stavy odpovídající pracovním bodům dle tab. 11. $T_{100\%} = 100\%, T_{75\%} = 75\%, T_{50\%} = 50\%, T_{35\%} = 35\%, T_{20\%} = 20\%$ možného dodávaného tepelného výkonu Q_{max}. Dodávaný výkon je regulován nespojitě, a to pro $Q_{pož_ch}$ a $Q_{pož_t}$ platí rozhodovací kritérium uvedené v tabulce č. 12.

Požadovaný tepelný výkon	Pracovní stav
$0 < Q_{pož} \leq 4{,}4\ MW$	$T_{100\%}$
$0 < Q_{pož} \leq 7{,}7\ MW$	$T_{75\%}$
$0 < Q_{pož} \leq 10{,}4\ MW$	$T_{50\%}$
$0 < Q_{pož} \leq 16{,}5\ MW$	$T_{35\%}$
$0 < Q_{pož} \leq 22\ MW$	$T_{20\%}$

Tabulka 12: Regulační kritérium pro provozní stavy

Kde $Q_{pož} = \{Q_{pož_ch}, Q_{pož_t}\}$. Na grafu č. 4 a grafu lze vidět modelový den v chladném měsíci.



Graf 4: Dodávky energie pro modelový den v chladném měsíci

Celkovou vyrobenou energii za rok můžeme tedy spočítat dle (5)

$$Q_{vyr} = \sum_{i=1}^{k} d_i \times \sum_{j=1}^{24} Q_{Tj} + \sum_{i=1}^{l} d_i \times \sum_{j=1}^{24} Q_{Tj}\ [MWh], \tag{5}$$

kde index k, l je počet chladných a teplých měsíců v roce, d_i je počet dní v i-tém měsíci v roce a Q_{Tj} je odpovídající vyrobená energie pro provozní stav v j-té hodině ve dne. Analogicky bychom mohli všechny vzorce určit pro dodanou tepelnou energii v teplých měsících, vyrobenou elektrickou energii a dodanou elektrickou energii do distribuční soustavy v chladných a teplých měsících. Přehled hodnot je uveden v tab. 13.

Vyrobená energie	Dodávka za rok [MWh]
Dodávka tepelné energie	70 755,2
Vyrobená elektrická energie	80 451,5
Elektrická energie dodaná do distribuční soustavy	70672,1

Tabulka 13: Přehled výroby a dodávky energie

5. Ekologické zhodnocení provozu kogenerační jednotky ZEVO Chotíkov

Zařízení pro ekologické využití odpadu (ZEVO) je moderní zařízení pro využití energie skládkového odpadu. ZEVO v západočeském Chotíkově je nejnovější spalovnou svého druhu v české republice. Zařízení je provozováno pro efektivní výrobu KVET, a to pro dodávku horké vody to systému CZT 135°C/70°C a dodávku elektrické energie do distribuční sítě 22 kV.

Pro základní zhodnocení efektivity výroby KVET nám slouží určení účinnosti kogenerační jednotky a úspory primární energie (UPE). Tyto hodnoty slouží také k určení celkové výše z Cenového rozhodnutí pro rok 2016 ERÚ.

5.1. Stanovení účinnosti kogenerační jednotky

Účinnost kogenerační výroby energie provedeme dle vzorce (6), který je uveden v příloze č. 4 bod a) odst. 3 vyhlášky č. 441/2012 Sb., O stanovení účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie.

$$\eta_{et} = \frac{E_{sv} + E_m + Q_{tep}}{Q_{pal}} \times 100\ [\%], \tag{6}$$

kde η_{et} je celková účinnost jednotky [%], E_{sv} je výroba elektrické energie měřená na svorkách generátoru [MWh], Q_{tep} je výroba tepelné energie dodávané z výroby [MWh] a Q_{pal} je energie paliva spotřebovaného pro výrobu elektrické a tepelné energie [MWh]. Pro kogenerační jednotky využívající turbínu pro výrobu elektrické energie, je pro výpočet dle vzorce (6) hodnota ve jmenovateli navýšena o mechanickou energii získanou transformací energie v parní turbíně E_m [MWh], kde

$$E_m = \frac{M_p\left(h_{vst} - h_{vys}\right)}{3{,}6}\ [MWh], \tag{7}$$

kde M_p je množství páry prošlé za dobu t, h_{vst} je vstupní entalpie páry [MJ/kg] a h_{vys} je výstupní entalpie páry [MJ/kg]. Po dosazení hodnot do vzorce (6) dostáváme hodnotu celkové účinnosti kogenerační jednotky

$$\eta_{et} = \frac{E_{sv} + E_m + Q_{tep}}{Q_{pal}} \times 100 = 77{,}62\%. \tag{8}$$

5.2. Stanovení úspory primární energie

Pro stanovení úspory primární energie použijeme vzorec (9), který je uveden v příloze č.2 vyhlášky č. 453/2012 Sb., O elektřině z vysokoúčinné kombinované výrobě elektřiny, tepla a elektřiny z druhotných zdrojů.

$$UPE = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_q^T}{\eta_r^V} + \frac{\eta_e^T}{\eta_r^E}} \right) \times 100\ [\%], \tag{9}$$

kde η_q^T je účinnost výroby tepla, η_e^T je účinnost výroby elektrické energie, η_r^V je výsledná harmonizovaná referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu tepla a η_r^E je výsledná harmonizovaná referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny. Hodnoty η_r^V a η_r^E se určí dle tabulky uvedené v příloze 4 [22]. Jednotlivé účinnosti výroby tepla a elektrické energie se určí dle vzorce (10) a (11)

$$\eta_q^T = \frac{Q_{už}}{Q_{pal\ kvet}}\ [-], \tag{10}$$

$$\eta_e^T = \frac{E_{kvet}}{Q_{pal\ kvet}}\ [-], \tag{11}$$

kde $Q_{už}$ [MWh] je množství užitého tepla, E_{kvet} [MWh] je množství z kombinované výroby elektřiny a tepla a $Q_{pal\ kvet}$ [MWh] je spotřeba energie v palivu při výrobě KVET. Jelikož SKO

uvažujeme použití pouze jednoho druhu paliva, hodnoty koeficientů η_r^V a η_r^E určíme dle následujících vzorců [22]

$$\eta_{rpal}^E = \eta_{ripal}^E \, [\%] \tag{12}$$

Hodnota harmonizované referenční hodnoty pro oddělenou výrobu elektřiny je navýšena o korekční faktor klimatických podmínek $\Delta\eta_{rtep}^E$. Pro Českou republiku je korekční faktor $\Delta\eta_{rtep}^E = 0{,}7\%$ [22]. Dále je potřeba hodnotu η_r^E rozšířit o korekční faktor napěťové úrovně připojení k_{nap}. SKO ZEVO Chotíkov dodává pouze do jedné hladiny napětí distribuční sítě, a proto je hodnota $k_{nap} = 0{,}945$ [22]. Výsledná harmonizovaná referenční hodnota oddělené výroby elektřiny je pak

$$\eta_r^E = \frac{\left(\eta_{rpal}^E + \eta_{rtep}^E\right) \times k_{nap}}{100} \, [-], \tag{13}$$

kde pro spalovnu platí

$$\eta_r^E = \frac{\left(\eta_{rpal}^E + \eta_{rtep}^E\right) \times k_{nap}}{100} = \frac{(25{,}0 + 0{,}7) \times 0.945}{100} = 0{,}24287 \tag{14}$$

A pro hodnotu η_r^V platí

$$\eta_r^V = \frac{\eta_{ripal}^V}{100} \, [-], \tag{15}$$

kde dle [22]

$$\eta_r^V = 0{,}80. \tag{16}$$

Pro ZEVO v Chotíkově vychází pro UPE (9) a hodnoty (10), (11) a (14), (16) následující

$$UPE = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_q^T}{\eta_r^V} + \frac{\eta_e^T}{\eta_r^E}} \right) \times 100 = 19{,}65\%. \quad (17)$$

5.3. Velikost emisního znečištění

Pro následující výpočty budeme uvažovat dva energetické zdroje, a to náhradní zdroj elektrické energie s účinností $\eta_{el} = 33\%$ a zdroj tepelné energie s účinností $\eta_{výt} = \eta_{et}$. Při použití kogeneračního principu a využití vzorce (1) lze určit emisní hodnoty látek vztažených na 1 GJ tepla. Pro spalovnu platí dle (2)

$$e = \frac{E}{Q} = \frac{E_{sv}}{Q_{tep}} = 0{,}4918. \quad (18)$$

Při použití vzorce (1) budeme uvažovat náhradní hodnoty dle tabulky č. 9 [7].

Emitující látka	Hnědé energetické uhlí (elektrárna)	Zemní plyn (výtopna, kogenerace)
CO	0,05 kg/GJ	0,03 kg/GJ
Tuhé částice	0,23 kg/GJ	-
SO2	0,41 kg/GJ	-
NOX	0,60 kg/GJ	0,07 kg/GJ

Tabulka 14: Emisní koeficienty m_x [22]

Pro kogenerační jednotku ZEVO Chotíkov platí hodnoty dle tabulky 10 [23].

Emitující látka	ZEVO Chotíkov	Roční úbytky emitující látky
CO	0,035 kg/GJ	17,05 t/rok
Tuhé částice	0,0032 kg/GJ	133,56 t/rok
SO2	0,036 kg/GJ	214, 98 t/rok
NOX	0,098 kg/GJ	313,12 t/rok

Tabulka 15: Emitující látky ZEVO Chotíkov [23]

6. Ekonomické zhodnocení provozu kogenerační jednotky ZEVO Chotíkov

Výstavba spalovny komunálního odpadu ZEVO Chotíkov byla realizována jako projektové dílo. Proto v této práci nebudeme uvažovat aspekt financování projektu výstavby.

6.1. Provozní cash flow – CF

Provozní cash flow nebo také tok peněz je vyjádření rozdílu mezi příjmy a výdaji peněžních prostředků za určité období. Na to peněz má zásadní vliv náklady spojené s provozem podniku. Dle vzorce (19) můžeme určit provozní cash flow (CF) pro jeden rok

$$CF_t = V_{TEP_t} + V_{E_t} + V_{SKO} - N_{P_t}\ [K\check{c}] \tag{19}$$

kde V_{TEP_t} jsou roční výnosy z dodávky tepla v t-tém roce [Kč], V_{E_t} jsou roční výnosy z dodávky elektrické energie v roce *t*, V_{SKO} jsou výnosy za odkup směsného komunálního odpadu v roce *t* a N_{P_t} jsou proměnné náklady v roce *t*.

- **Výnosy z dodávky tepla**

$$V_{TEP_t} = C_{TEP_t} \times Q_{vyr} + b_T \times Q_{vyr}\ [K\check{c}] \tag{20}$$

kde C_{TEP_t} je prodejní cena tepla roce *t* [Kč/GJ]] a b_T zelený bonus za na vyrobený 1 GJ tepelné energie [2].

- **Výnosy z dodávky elektrické energie**

$$V_{E_t} = C_{E_t} \times E_{dod} + b_E \times E_{vyr}\ [K\check{c}] \tag{21}$$

kde C_{E_t} je prodejní cena pro rok *t* vyrobené elektrické energie [Kč/MWh], E_{dod} je dodaná elektrická energie do distribuční soustavy v roce *t* [MWh], b_E je roční zelený bonus za

vyrobenou 1 MWh elektrické energie určený dle [Kč/MWh] [2] a E_{vyr} je roční vyrobená elektrická energie v roce *t* [MWh].

- **Výnosy z likvidace komunálního odpadu**

Celkový výnos z likvidace směsného komunálního odpadu je dán kapacitou spalovacího zařízení. Pro ZEVO Chotíkov je stanoveno $m_{SKO} = 95\,000\ t/rok$ a celkový výnos vypočteme dle vzorce (22)

$$V_{SKO} = C_{SKO} \times m_{SKO}\ [K\check{c}], \tag{22}$$

kde C_{SKO} je cena za odkup 1 tuny směsného komunálního odpadu [Kč/t], m_{SKO} je roční množství dodaného odpadu do spalovny komunálního odpadu [t].

- **Proměnné náklady na provoz zařízení**

Pro provoz spalovny ZEVO v Chotíkově není možné určit celkové proměnné roční náklady na provoz kogeneračního zařízení. Spalovna se nyní nachází v testovacím provozu a tyto náklady budou vyčísleny až po minimálně ročním provozu. Do výpočtu budeme tedy uvažovat náklady dle odhadu (23)

$$N_{P_t} = (V_{TEP_t} + V_{E_t} + V_{SKO}) \times 0{,}4\ [K\check{c}], \tag{23}$$

kde pro každý další rok budeme uvažovat s 1,0% nárůstem nákladů při stárnutí zařízení. V desátém roce provozu zařízení končí životnost měničů frekvence, ve dvanáctém roce je požadována celková repase turbíny a generátoru a v patnáctém roce je vyžadována celková repase čerpadel použitých v provozu ZEVO v Chotíkově.

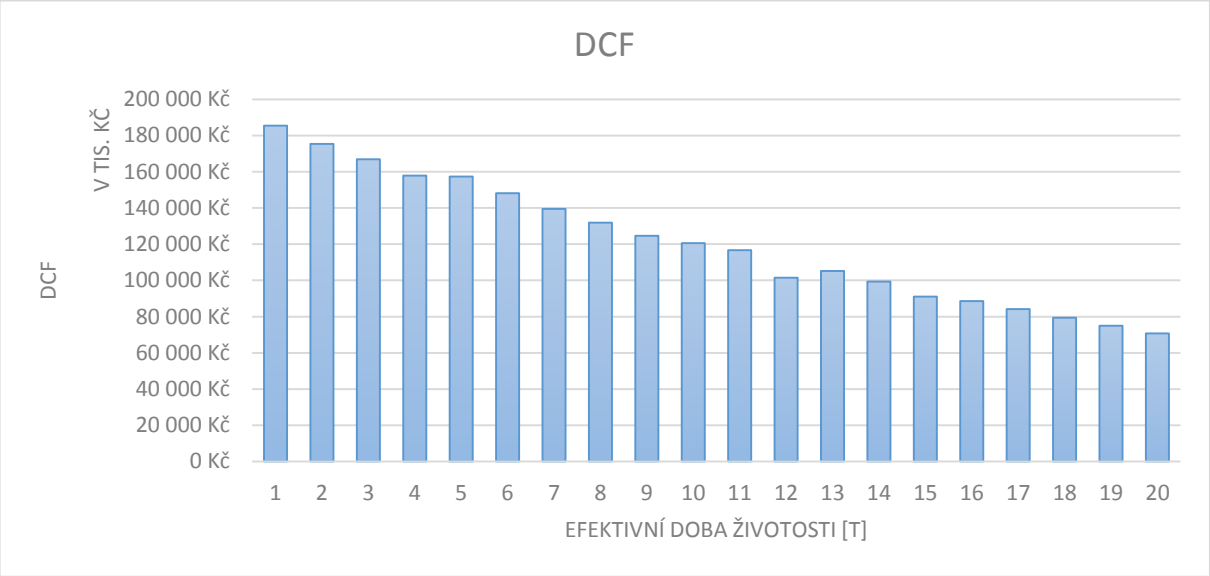
6.2. Diskontovaný Cash Flow – DCF

Diskontovaný Cash Flow zohledňuje časovou hodnotu peněz. Diskontní míra, která vstupuje do výpočtu, také udává časovou hodnotu peněz. Diskontovaný Cash Flow vypočteme dle vzorce (24)

$$DCF_t = \frac{CF_t}{(1+r)^t}\ [Kč], \tag{24}$$

kde CF_t je Cash Flow pro rok t [Kč], r je diskontní míra (časová hodnota peněz) [-], diskontní míra byla určena dle vydání České národní banky pro rok 2016, to $r = 0{,}05$.

Diskontovaný Cash Flow budeme uvažovat jako jeden z hlavních ukazatelů ekonomické výkonosti investičního projektu. Na grafu č. 5 jsou zobrazeny hodnoty v efektivní životnosti. Doba životnosti je zvolena $T_{ž} = 20$ let.



Graf 5: Diskontovaný Cash Flow

Údaj DCF je velmi závislý na N_{P_t}, na výši zeleného bonusu pro vyrobenou energii a ceny výkupu směsného komunálního odpadu C_{SKO}. Ve výpočtu uvažován malý růst výkupních cen elektrické a tepelné energie a postupné zvyšování ceny C_{SKO}.

6.3. Kritérium prosté doby splacení – PP

Prostá doba splácení vyjadřuje hodnotu co nejkratší doby návratnosti investice bez ohledu na diskontní míru hodnoty peněz. Prostou dobu splacení lze určit ze vzorce (25)

$$\sum_{t=1}^{PP} CF_t - IN = 0, \tag{25}$$

kde IN je celková hodnota investice [Kč]. Celková hodnota investice ZEVO v Chotíkově je stanovena na $IN = 1\,953\,495\,000\ K$č.

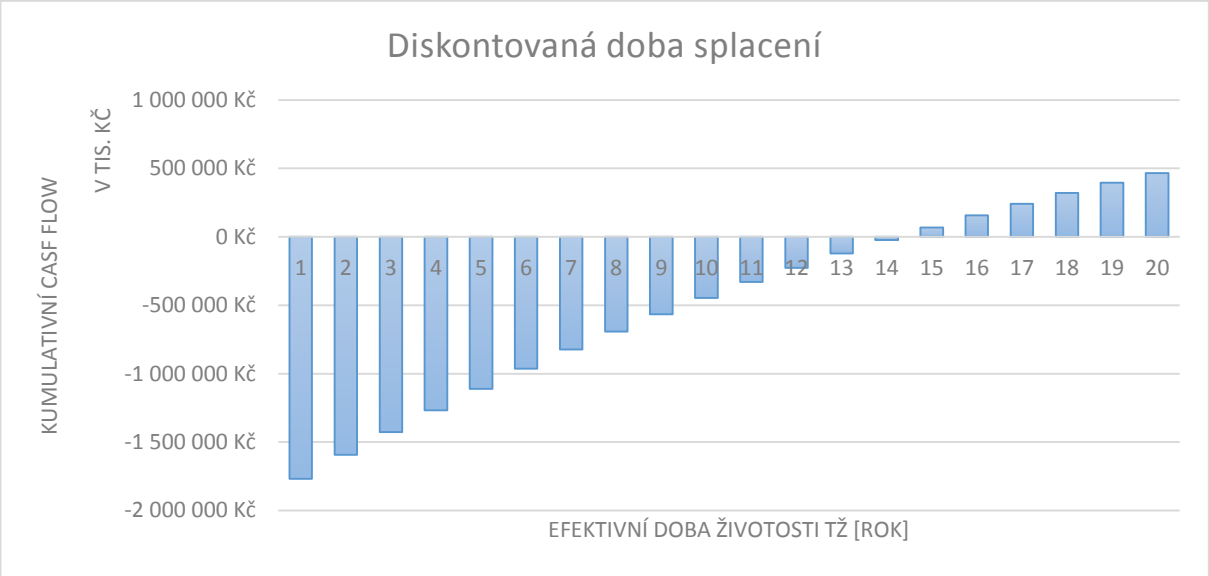
6.4. Kritérium diskontované doby splacení – P_P

Diskontovaná doba splacení vyjadřuje hodnotu co nejkratší doby splacení s ohledem na časovou hodnotu peněz. Diskontovanou dobu splacení lze určit ze vzorce

$$\sum_{t=1}^{P_P} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN = 0 \tag{26}$$

kde IN je celková hodnota investice [Kč].

Hodnotu P_P budeme považovat za další hlavní ukazatel ekonomické výkonosti investičního projektu. Hodnoty jsou zobrazeny na grafu č. 6. Z hodnot lze určit, že hodnota P_P je pro projekt ZEVO Chotíkov rovna P_P = 14,24 let.



Graf 6: Diskontovaná doba splacení

6.5. Čistá současná hodnota – NPV

Čistá současná hodnota nám vyjadřuje diskontovanou hodnotu všech finančních toků v investičním projektu. Hodnota NPV vyjadřuje výnosnost investičních projektů v době životnosti hodnoceného zařízení. NPV vypočítáme podle vztahu

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_{\check{z}}} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN, \tag{27}$$

kde $T_{\check{z}}$ je doba životnosti provozovaného zařízení. Pro ZEVO v Chotíkově je doba efektivní životnosti zvolena $T_{\check{z}} = 20$ let. Hodnotu NPV se snažíme v investičních projektech maximalizovat. Pro hodnocený projekt je NPV rovna

$$NPV = \sum_{t=1}^{20} \frac{CF_t}{(1+0{,}05)^t} - 1\,953\,495\,000 = 465\,818\,720\ Kč. \tag{28}$$

6.6. Vnitřní výnosové procento – IRR

Vnitřní výnosové procento určuje zhodnocení investice v posuzovaném projektu. IRR přihlíží i k časové hodnotě peněz. Hodnotu vnitřního výnosového procenta chápeme jako hodnotu diskontu, pro které platí, že NPV=0. Vnitřní výnosové procento určíme dle vzorce (28)

$$\sum_{t=1}^{T_{\check{z}}} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - IN = 0. \tag{29}$$

Pro hodnocený projekt je vnitřní výnosové procento rovno

$$IRR = 0{,}0768. \tag{30}$$

7. Závěr

Výsledky této práce jsou teoretickým odhadem vývoje investičního projektu výstavby spalovny směsného komunálního odpadu ZEVO v Chotíkově. Tento projekt měl během svého vývoje nelehkou úlohu legislativním prostředí České republiky, i když se jedná o jedno z nejmodernějších zařízení svého druhu. Zařízení je také zajímavé z pohledu kogenerace, kdy vyrobená tepelná energie v budoucnu umožní odstavení tepelného zdroje v areálu Plzeňské teplárenské, a.s., využívající černé uhlí jako palivo.

7.1. Ekologické zhodnocení kogenerační jednotky ZEVO v Chotíkově

Kogenerace je všeobecně vnímána za ekologickou výrobu energie. Dle výsledků z kapitoly 5 má kogenerační jednotka značně vysokou účinnost. Obecně pro spalovny komunálního odpadu platí velmi přísné emisní limity. Tyto limity určuje přednostně nařízením vlády č. 354/2002 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Proto je důležité při určení technologie snižování emisí použít nejmodernější dostupné technologie a technologické procesy. Jak lze vidět z výsledků (tab. 15), v porovnání dvou energetických zdrojů, výtopny a klasické elektrárny využívající hnědé uhlí, a kogenerační jednotky v technologii ZEVO Chotíkov, je zde velká úspora v ročním množství úletu emisních látek. Pokud bychom měli zhodnotit emise CO_2, které v hodnocení nejsou, dle [25] je produkce skleníkových plynů u spalovny dokonce menší, než při skladování odpadu v zemi.

7.2. Ekonomické zhodnocení projektu

Ekonomické ukazatele projektu jsou modelovou situací, kterou jsme definovali v kapitole 4 a kapitole 6. Jelikož projekt prochází prvním rokem provozu, všechny hodnoty o vyrobené energii jsou stanoveny především empiricky. Z výsledků v kapitole 6 je patrné, že diskontovaná doba splácení P_P = 14,24 let, což je o šest let dříve, než je předpokládaná doba efektivní životnosti. Do ekonomických ukazatelů nejvíce zasahuje výše státní podpory - zelených bonusů a položka v proměnných provozních nákladech – generální opravy nebo výměny klíčových technologií.

Seznam použité literatury

[1] ČEZ, a.s.: Energetika ve světě, [online], Copyright 2016 [cit. 2016-12-28], dostupné: https://www.cez.cz/cs/pro-media/cisla-a-statistiky/energetika-ve-svete.html

[2] Energetický regulační úřad: Roční zpráva o provozu ES ČR [online], Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ, Praha 2016, Copyright 2016 [cit. 2016-12-28] dostupné: http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2015.pdf/3769f65b-3789-4e93-be00-f84416e1ca03

[3] PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ, a.s.: Zpráva o činnosti [online], Copyright 2006 [cit. 2016-12-28] dostupné: http://www.pltep.cz/upload/File/VZ_2015/PT_VZ-2015-Zprava%20o%20cinnosti.pdf

[4] PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ, a.s.: Výsledky hospodaření [online], Copyright 2006 [cit. 2016-12-28] dostupné: http://www.pltep.cz/upload/File/VZ_2015/PT_VZ-2015-Vysledky%20hospodareni.pdf

[5] EkoWATT Praha: KOGENERACE, Kombinovaná výroba tepla a elektrické energie [online], Copyright 2008 [cit. 2016-12-28], dostupné: http://ekowatt.cz/uspory/kogenerace.shtml

[6] Bosch Termotechnika s.r.o., obchodní divize Buderus, Ing. Jan Eisner, Základní součásti kogeneračních jednotek Buderus [online], Copyright 2016 [cit. 2016-12-28], dostupné: http://www.buderus.cz/files/201207190930250.Kogenerace.pdf

[7] DOC. ING. JAROSLAV KRBEK, CSC., DOC. ING. BOHUMIL POLESNÝ, CSC. Kogenerační jednotky - Zřizování a provoz, © GAS s.r.o., Praha 2007, 1. vydání, 201 str. ISBN 978-80-7328-151-9

[8] Ústav elektroenergetiky VUT v Brně, ING. PETR MASTNÝ, PH.D.: Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie, Kogenerace [online], © Petr Mastný 2006 [cit. 2016-12-28], dostupné: http://www.ueen.feec.vutbr.cz/~mastny/vyuka/mmze/prednasky/07_08_pr.pdf

[9] COGEN Czech: RUKOVĚŤ ZÁJEMCE O KOGENERAČNÍ JEDNOTKU TEDOM A.S.[online]. [cit. 2016-12-28]. Dostupné: http://kogenerace.tedom.com/data/downld/914.pdf

[10] Česká republika. O stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a telené energie. In: Sbírka zákonů. 2012, roč. 2012, č. 441, 162. Dostupné z: http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-441-2012-sb-o-stanoveni-minimalni-ucinnosti-uziti-energie-pri-vyrobe-elektriny-a-tepelne-energie

[11] Siemens AG: Gas Turbine SGT-100, Power Generation: ISO 5.1 MW(e) or Mechanical Drive: 5.7 MW [online], © Siemens AG 2002-2016 [cit. 2016-12-28] dostupné: http://www.energy.siemens.com/hq/en/fossil-power-generation/gas-turbines/sgt-100.htm#content=Features%20and%20fields%20of%20application

[12] RAEN spol. s r.o., CityPlan spol. s r.o. PŘÍRUČKA PRO REGIONÁLNÍ VYUŽITÍ KOGENERAČNÍCH ZDROJŮ [online], Česká energetická agentura 1999, © MPO 2008 [cit. 2016-12-28, dostupné: http://mpo-efekt.cz/dokument/99_8070.pdf

[13] ING. JAN MAREŠ, PROF. ING. MARTIN LIBRA, CSC., ING. VLADISLAV POULEK, CSC. Akumulace elektrické energie [online], 2/2011 Praha, str. 6-10, © 2014 - 2016 - FCC Public s. r. o. [cit. 2016-12-28], dostupné: http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/akumulace-elektricke-energie--9696

[14] TOMÁŠ MATUŠKA, Ústav techniky prostředí. Fakulta strojní, ČVUT v Praze, Trendy v akumulaci tepla pro obnovitelné zdroje energie [online], Copyright 2010 – 2016 [cit. 2016-12-28], dostupné: www.solarnispolecnost.cz/?download=_/58/matuska_akumulace.pdf

[15] BRONISLAV BECHNÍK. Akumulace tepelné energie - fyzikální principy [online], © Copyright Topinfo s.r.o. 2001-2016 [cit. 2016-12-28], dostupné: http://www.tzb-info.cz/1482-akumulace-tepelne-energie-fyzikalni-principy

[16] MOKRIŠ, L. Akumulace tepla v solárních tepelných soustavách. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 39 s.
Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Charvát, Ph.D. Dostupné:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41947

[17] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Compressed air energy storage [online]. Copyright 2016 [cit. 2016-12-30]. Dostupné:
<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=P%C5%99e%C4%8Derp%C3%A1vac%C3%AD_vodn%C3%AD_elektr%C3%A1rna&oldid=13938210>

[18] DR. FRANZ MEYER. Compressed Air Energy Storage power plants [online]. FIZ, 5/2007 [cit. 2016-12-30], Karlsruhe 2007. Dostupné:
http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Englische_Infos/projekt_0507_engl_internetx.pdf

[19] Energyweb. Vodní přečerpávací elektrárny [online]. [cit. 2016-12-30], dostupné:
http://www.energyweb.cz/web/EE/images/precerp_vah.gif

[20] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Přečerpávací vodní elektrárna [online]. Copyright 2016 [cit. 2016-12-30]. Dostupné:
<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=P%C5%99e%C4%8Derp%C3%A1vac%C3%AD_vodn%C3%AD_elektr%C3%A1rna&oldid=13938210>

[21] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Seznam vodních elektráren v Česku [online]. Copyright 2016 [cit. 2016-12-30]. Dostupné:
<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Seznam_vodn%C3%ADch_elektr%C3%A1ren_v_%C4%8Cesku&oldid=14145674>

[22] Česká republika. Vyhláška o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů. In: Sbírka zákonů. Česká republika, 2012, roč. 2012, č. 453, 169.

[23] ING. ZBYNĚK KRAYZEL. Provozní řád k zajištění provozu zdroje znečišťování ovzduší. Závod na energetické využití odpadu Chotíkov, ZEVO CHOTÍKOV. 1. 4. 2012, přepracováno k 6. 3. 2015, doplnění 8. 6. 2015, 101 str.

[24] ČEZ Energo. O kogeneraci [online], Copyright 2016 ČEZ, a. s. [cit. 2016-12-30], dostupné: http://www.cezenergo.cz/cs/o-kogeneraci.html

[25] PROF. ING. VLADIMÍR LAPČÍK, CSC. ZÁVOD NA ENERGETICKÉ VYUŽITÍ KOMUNÁLNÍHO ODPADU CHOTÍKOV (ZEVO CHOTÍKOV) [online]. Prosinec 2011, Ostrava [cit. 2016-12-30], dostupné: portal.cenia.cz/eiasea/download/.../PLK1595_posudek.pdf

[26] LADISLAV MAREČEK. PROVOZNÍ PŘEDPISY TURBÍNY, Část: PS 03.01 Využití energie – TG včetně příslušenství. Stavba: ZEVO Chotíkov

[27] Enrico Saverio Barbieri, Francesco Melino, Mirko Morini, Influence of the thermal nergy storage on the profitability of micro-CHP systems for residential building applications [online], Applied Energy, Volume 97, September 2012, Pages 714-722, ISSN 0306-2619, dostupné: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261912000050

Seznam Příloh

Očekávané složení SKO……55
Emise ze spalin……..57
Technická data turbíny SST-300……...59
Harmonizované referenční hodnoty pro oddělenou výrobu tepla a elektrické energie……62

Příloha 1

4.3. Spalované či spoluspalované odpady

Vstupní suroviny

Pol	PS	Suroviny	Množství			Obal, skladované množství a způsob skladování
			t/h	t/den	t/rok	
1	01.1	Tuhý komunální odpad	11,07	266	85 000	4 300 m^3
2	01.1	Velkorozměrný odpad	1,30	31	10 000	
3		SKO celkem	12,37	297	95 000	

Pozn. velkorozměrný odpad bude drcen na potřebnou velikost

Průměrné očekávané složení SKO:

(stanovené na základě statistických údajů pro Plzeňský region)

Položka	Složení	
	% hm.	kt/rok
Bioodpad	35,0	33,25
Papír a lepenka	19,0	18,05
Plasty	12,0	11,4
Sklo	7,0	6,65
Kovy	5,0	4,75
Textil, dřevo	6,0	5,7
Minerální odpad	12,0	11,4
Ostatní	4,0	3,8
CELKEM	**100**	**95**
Z toho		
Inert	26	
Vlhkost	30	
Ostatní	44	
Obsah rozhodujících škodlivin	**Průměrný %**	**Rozsah %**
S	0,2	max. 0,33
Cl	0,5	max. 1,1
F	0,01	
Výhřevnost na vstupu do spalovacího procesu (MJ/kg)	10,985	7 - 14

Příloha 2

Emise ze spalin

Pol.	Parametr/Druh emise	Jednotka	Půlhodinové limity – garantované hodnoty	Denní průměr- garantované hodnoty	Roční úlet dle EIA a IP t/r
1	Tuhé znečišťující látky (TZL)	mg/Nm^3	≤ 10	≤ 2,3	1,3
2	Organický uhlík (TOC)	mg/Nm^3	≤ 10	≤ 8	5,6
3	Chlorovodík (HCl)	mg/Nm^3	≤ 10	≤ 5	3,0
4	Fluorovodík (HF)	mg/Nm^3	≤ 2	≤ 0,8	0,6
5	Oxid siřičitý (SO_2)	mg/Nm^3	≤ 45	≤ 25	14,2
6	Oxid uhelnatý (CO)	mg/Nm^3	≤ 100	≤ 25	14,0
7	Oxidy dusíku (NOx jako NO_2)	mg/Nm^3	≤ 175	≤ 70	39,1
8	Kadmium, Thalium (Cd + Tl)	mg/Nm^3	-	≤ 0,02	0,011
9	Rtuť a její sloučeniny (Hg)	mg/Nm^3	-	≤ 0,015	0,008
10	Ostatní těžké kovy celkem (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	mg/Nm^3	-	≤ 0,25	0,14
11	PCDD/PCDF	ng/Nm^3 TEQ	-	≤ 0,05	0,03 g/r

hodnoty platí pro suchý plyn, tlak 101,32 kPa, teplota 273,15 K; 11% O_2

Emise ze skladování a stáčení TOEL

Emise VOC ze stáčení a skladování TOEL v nádrži budou stanovovány na základě emisního faktoru pro skladování nafty v nádrži s pevnou střechou (EF = 0,200 kg VOC/t prosazení). Výduch (odvětrání) nádrže na TOEL je umístěný na střeše skladovací nádrže na TOEL.

Příloha 3

2.1 TURBÍNA

TYP TURBÍNY:	SST-300	
VÝKON		
jmenovitý (na svorkách generátoru)	9,73	MW
maximální (na svorkách generátoru)	10,50	MW
minimální výkon	2,2	MW
ostrovní provoz	*2,2*	*MW*
OTÁČKY		
- jmenovité (turbína)	7552	min^{-1}
- jmenovité (generátor)	1500	min^{-1}
- vypínací (turbína)	8307	min^{-1}
- Vlastní frekvence ohybová: turbína 1.	3059	min^{-1}
turbína 2.	>7855	min^{-1}
- Torzní frekvence (celá soustava):		
1.	17,9	Hz
2.	60,3	Hz
3.	111,6	Hz
SMYSL OTÁČENÍ (pohledu ve směru toku páry)	ve směru hodinových ručiček (CW – pravotočivý)	
VSTUPNÍ PÁRA:		
Parametry dle diagramu přípustných stavů, oblast „A“		
- tlak: jmenovitý	4,82	MPa(g)
- teplota: jmenovitá	423	°C
- teplotní změna		
max. přípustný teplotní skok	±20	°C
následná změna	±2	°C/min
- max. přípustná změna bez předchozího teplotního skoku	±5	°C/min
- průtok: jmenovitý	42,2	t/h
maximální	45,815	t/h
ostrovní provoz	*12,6*	*t/h*
KVALITA PÁRY	viz. oddíl 6	
NEREGULOVANÝ ODBĚR		
- tlak páry jmenovitý	370	kPa(g)
- taková hladina odběrové páry	290 ÷ 420	kPa(g)
- průtok páry maximální	12,1	t/h
- *ostrovní provoz*	-	*t/h*

REGULOVANÝ ODBĚR		
- tlak páry jmenovitý	76	kPa(g)
- maximální	106	kPa(g)
- minimální	46	kPa(g)
- průtok maximální	7,49	t/h
- *ostrovní provoz*	-	*t/h*
VÝSTUPNÍ PÁRA :		
- tlak:		
jmenovitý	-92	kPa(g)
maximální	-88	kPa(g)
minimální	-95	kPa(g)
- průtok:		
maximální možný odběr	22,61	t/h
minimální odběr	33,9	t/h
Teplota chladící vody na vstupu jmenovitá	25	°C
RYCHLOZÁVĚRNÝ VENTIL		
- celkový čas pro zavření	0,3 - 0,6	sec.
- celkový čas pro otevření (při plných parametrech páry)	cca 1 - 2	sec

Příloha 4

Tabulka č. 1 - **Harmonizované referenční hodnoty účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny v procentech**

Palivo		Kogenerační jednotka uvedená do provozu do konce roku						
		2001 a dříve	2002	2003	2004	2005	2006-2011	2012-2015
		η_{ripal}^{E}	η_{ripal}^{E}	η_{ripal}^{E}	η_{ripal}^{E}	η_{ripal}^{E}	η_{ripal}^{E}	η_{ripal}^{E}
Pevné	Černé uhlí/koks	42,7	43,1	43,5	43,8	44,0	44,2	44,2
	Hnědé uhlí, lignitové brikety	40,3	40,7	41,1	41,4	41,6	41,8	41,8
	Rašelina, rašelinové brikety	38,1	38,4	38,6	38,8	38,9	39,0	39,0
	Dřevěná paliva[1)]	30,4	31,1	31,7	32,2	32,6	33,0	33,0
	Zemědělská biomasa	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0	25,0
	Biologicky nerozložitelná i rozložitelná složka komunálního a průmyslového odpadu	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0	25,0
	Ostatní biomasa jinde neuvedená	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0	25,0
Kapalné	Topné oleje, LPG	42,7	43,1	43,5	43,8	44,0	44,2	44,2
	Biopaliva	42,7	43,1	43,5	43,8	44,0	44,2	44,2
	Biologicky rozložitelný odpad	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0	25,0
	Neobnovitelný odpad	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0	25,0
Plynné	Zemní plyn	51,7	51,9	52,1	52,3	52,4	52,5	52,5
	Plyn z rafinace/vodík	42,7	43,1	43,5	43,8	44,0	44,2	44,2
	Koksárenský, vysokopecní a jiné odpadní plyny, získané odpadní teplo	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0
	Bioplyn	40,1	40,6	41,0	41,4	41,7	42,0	42,0

Poznámka k tabulce č. 1:

[1)] Dřevní hmota s relativní vlhkostí do 30 % a ušlechtilá paliva s převažujícím podílem dřevní hmoty.

7. Pro výpočet úspory primární energie se použije harmonizovaná referenční hodnota účinnosti uvedená v tabulce č. 1 v této příloze vztažená k roku uvedení do provozu kogenerační jednotky. Tato harmonizovaná referenční hodnota účinnosti se použije v období deseti let od roku uvedení do provozu kogenerační jednotky. Rokem uvedení do provozu kogenerační jednotky se rozumí kalendářní rok, ve kterém byla zahájena výroba elektřiny.

8. Od jedenáctého roku od uvedení do provozu kogenerační jednotky se použije harmonizovaná referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny, která se podle bodu 7 použije pro kogenerační jednotku, která je stará 10 let. Tato harmonizovaná referenční hodnota účinnosti se použije po dobu jednoho roku.

Tabulka č. 3 -**Harmonizované referenční hodnoty účinnosti pro oddělenou výrobu tepla v procentech**

Palivo		Druh média	
		Pára/horká voda	Přímé výfukové plyny
		η_{ripal}^{V}	η_{ripal}^{V}
Pevné	Černé uhlí	88	80
	Hnědé uhlí, lignit	86	78
	Dřevěná paliva[1)]	86	78
	Zemědělská biomasa	80	72
	Biologicky nerozložitelná i rozložitelná složka komunálního a průmyslového odpadu	80	72
	Ostatní biomasa jinde neuvedená	80	72
Kapalné	Topné oleje	89	81
	Biopaliva	89	81
	Biologicky rozložitelný odpad	80	72
	Neobnovitelný odpad	80	72
Plynné	Zemní plyn	90	82
	Plyn z rafinace/vodík	89	81
	Koksárenský, vysokopecní a jiné odpadní plyny, odpadní teplo	80	72
	Bioplyn	70	62

Poznámka k tabulce č. 3:

[1)] Dřevní hmota s relativní vlhkostí do 30 % a ušlechtilá paliva s převažujícím podílem dřevní hmoty.

17. Výsledná harmonizovaná referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu tepla se stanoví podle vzorce:

$$\eta_r^V = \Sigma_{i=1}^{n} (Q_{pal,i} * \eta_{ripal}^V) / (\Sigma_{i=1}^{n} Q_{pal,i} * 100) \quad [-],$$

kde:

$Q_{pal,i}$ jsou podíly energie v palivu jednotlivých druhů paliva spotřebovaného pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla [MWh]

η_{ripal}^V jsou harmonizované referenční hodnoty účinnosti pro oddělenou výrobu tepla uvedené v tabulce č. 3 v této příloze pro jednotlivé druhy paliva [%].