

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA

## FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ

Obor hospodářská a správní služba v lesním hospodářství



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Téma:** Využití biomasy a vybrané technologie pro její zpracování

**Vypracoval:** Bc. Tereza Chumlenová

**Vedoucí diplomové práce:** Ing. Martin Böhlm, Ph.D.

**Konzultant:** Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.



## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Využití biomasy a vybrané technologie pro její zpracování napsala samostatně za použití uvedené literatury a po odborných konzultacích s Ing. Přemyslem Šedivkou, Ph.D..

V Praze dne 10. 5. 2011

.....

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto panu Ing. Martinu Böhmovi za odborné vedení a rady při zpracování bakalářské práce. Zároveň děkuji panu Ing. Přemyslu Šedivkovi za ochotu při poskytování potřebných podkladů a mé rodině za podporu a trpělivost po celou dobu psaní této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá přehledem technologií a technologických zařízení jak k materiálovému, tak i k energetickému využití biomasy.

V teoretické části je nejprve uveden význam a rozdělení biomasy. Následuje přehled materiálového i energetického využití biomasy s charakteristikou a technologiemi jejich výroby.

Vlastní část práce se potom zabývá srovnáním a výběrem nejvhodnějšího druhu biomasy a neoptimálnějším způsobem jejího energetického využití pro navrženou modelovou vesnici.

Cílem práce je na základě ekonomického zhodnocení porovnat výhodnost systému vytápění, výroby elektrické energie a kombinované výroby elektřiny a tepla (kogenerace) pro navrženou modelovou vesnici, včetně posouzení návratnosti investic za zařízení k energetickému využití biomasy.

**Klíčová slova:** biomasa, využití biomasy, technologie a technologická zařízení, vytápění, kogenerace

## **Abstract**

This work deals with an overview of technologies and technological equipment both for material, as well as biomass energy.

In the theoretical part there is first given the importance and distribution of biomass. Below is an overview of material and energy utilization of biomass characteristics and technologies of their manufacture.

Own part of the work then focuses on the comparison and choose the best type of biomass and stake its energy use for the proposed model village.

The aim of this work is based on economic evaluation to compare the convenience of heating, power generation and combined heat and power (CHP) of the proposed model village, including an assessment of return on investment for the plant to use biomass energy.

**Key words:** biomass, biomass utilization, technology and technological equipment, heating, cogeneration

## Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>CÍL PRÁCE</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>LITERÁRNÍ REŠERŠE</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1</b>	<b>Materiálové využití biomasy</b> .....	<b>12</b>
3.1.1	Anaerobní digesce (anaerobní fermentace či vyhnívání) .....	13
3.1.1.1	Alkoholová fermentace.....	13
3.1.1.2	Methanizace (anaerobní digesce či vyhnívání) .....	15
3.1.2	Aerobní fermentace .....	16
3.1.3	Esterifikace.....	17
3.1.4	Hydrolýza (zcukerňování).....	18
3.1.4.1	Kyselá hydrolýza .....	18
3.1.4.2	Alkalická hydrolýza.....	19
3.1.4.3	Exploze vodní parou (autohydrolýza) .....	19
3.1.4.4	Exploze amoniaku (AFEX) .....	20
3.1.4.5	Exploze oxidem uhličitým (CO <sub>2</sub> ) .....	20
3.1.4.6	Enzymatická hydrolýza .....	20
3.1.5	Extrakce.....	21
<b>3.2</b>	<b>Energetické využití biomasy</b> .....	<b>21</b>
3.2.1	Spalování.....	22
3.2.1.1	Prosté spalování.....	23
3.2.1.2	Spalování za účelem výroby elektrické energie .....	27
3.2.1.3	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla (kogenerace).....	30
3.2.2	Zplynování .....	37
3.2.3	Zkapalňování.....	38
3.2.4	Karbonizace (suchá destilace).....	39
3.2.5	Pyrolýza.....	40
<b>4</b>	<b>MATERIÁL A METODIKA</b> .....	<b>41</b>
<b>4.1</b>	<b>Metoda čisté současné hodnoty (ČSH)</b> .....	<b>41</b>
<b>4.2</b>	<b>Metoda vnitřního výnosového procenta (VVP)</b> .....	<b>42</b>

<b>4.3</b>	<b>Doba návratnosti investic (DN)</b> .....	<b>42</b>
<b>5</b>	<b>MODELOVÁ VESNICE</b> .....	<b>43</b>
<b>5.1</b>	<b>Celková spotřeba tepla a elektřiny</b> .....	<b>44</b>
5.1.1	Výpočet celkové spotřeby tepla .....	44
5.1.2	Výpočet spotřeby elektrické energie.....	44
5.1.3	Výpočet spotřeby paliva.....	45
<b>5.2</b>	<b>Výpočet nákladů</b> .....	<b>45</b>
5.2.1	Investiční náklady na prosté spalování .....	45
5.2.1.1	Investiční náklady na zařízení k prostému spalování .....	45
5.2.1.2	Investiční náklady na zařízení pro výrobu štěpky .....	45
5.2.2	Roční provozní náklady na prosté spalování .....	45
5.2.2.1	Náklady na palivo – dřevní štěpky .....	45
5.2.2.2	Ostatní náklady .....	46
5.2.3	Celkové náklady na prosté spalování.....	46
5.2.4	Investiční náklady na výrobu elektrické energie.....	46
5.2.4.1	Investiční náklady na zařízení k výrobě elektřiny .....	46
5.2.4.2	Investiční náklady na zařízení pro výrobu paliva.....	46
5.2.4.3	Náklady na projektování.....	46
5.2.5	Roční provozní náklady na výrobu elektrické energie.....	47
5.2.5.1	Ostatní náklady .....	47
5.2.6	Celkové náklady na výrobu elektrické energie .....	47
5.2.7	Investiční náklady na kogeneraci .....	47
5.2.7.1	Investiční náklady na zařízení ke kogeneraci .....	47
5.2.7.2	Investiční náklady na zařízení pro výrobu štěpky .....	47
5.2.7.3	Náklady na projektování.....	47
5.2.8	Roční provozní náklady na kogeneraci .....	48
5.2.8.1	Ostatní náklady .....	48
5.2.9	Celkové náklady na kogeneraci .....	48
<b>5.3</b>	<b>Výpočet výnosů</b> .....	<b>48</b>
5.3.1	Výnosy za prodej tepla.....	48
5.3.2	Výnosy za prodej elektrické energie .....	48

5.3.3	Výnosy za kogeneraci .....	49
5.3.4	Porovnání výnosů z jednotlivých zařízení.....	49
<b>5.4</b>	<b>Efektivnost investic .....</b>	<b>50</b>
5.4.1	Efektivnost investic pro prosté spalování .....	50
5.4.1.1	ČSH pro prosté spalování.....	50
5.4.1.2	VVP pro prosté spalování.....	51
5.4.1.3	DN pro prosté spalování.....	51
5.4.2	Efektivnost investic pro výrobu elektrické energie.....	52
5.4.2.1	ČSH pro výrobu elektrické energie .....	52
5.4.2.2	VVP pro výrobu elektrické energie .....	53
5.4.2.3	DN pro výrobu elektrické energie .....	53
5.4.3	Efektivnost investic pro kogeneraci.....	53
5.4.3.1	ČSH pro různé sazby diskontního faktoru.....	53
5.4.3.2	VVP pro kogeneraci .....	54
5.4.3.3	DN .....	55
<b>6</b>	<b>DISKUSE.....</b>	<b>55</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>58</b>
	<b>SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A GRAFŮ .....</b>	<b>61</b>
	<b>LITERÁRNÍ PŘEHLED .....</b>	<b>63</b>
	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>67</b>



# 1 Úvod

Člověk využíval biomasu již od prvopočátku své existence. Nejprve jako zdroj obživy (plody, kořínky, apod.), později k lovu (kyje, hole a další zbraně) a s nástupem doby kamenné a objevením ohně také k energetickým účelům. Především dřevo sloužilo jako zdroj energie až do počátku 19. století, kdy bylo, zejména z důvodu nedokonalých a málo účinných spalovacích zařízení, nahrazeno výhřevnějšími fosilními palivy. V rozvojových zemích však dřevo i nadále (až do současnosti) zůstává jediným zdrojem energie.

Od 70. let minulého století se však nejen dřevo, ale i další biomasa dostává do popředí zájmu člověka. Hlavním důvodem je, že patří mezi obnovitelný zdroj energie, který je schopen v důsledku energetické krize nahradit ubývající zásoby fosilních paliv. Proto se lidstvo neustále snaží vyvíjet nové a dokonalejší technologie, lépe umožňující využít nejen energetický, ale také materiálový potenciál biomasy.

Současná technologická zařízení jsou zaměřena především na energetické využití biomasy, ačkoli materiálové využití má mít před energetickým přednost (zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech).

Tato bakalářská práce se snaží poskytnout ucelený přehled technologií a technologických zařízení materiálového i energetického využití biomasy se zaměřením zejména na její energetické využití. Vlastní část práce se potom zabývá srovnáním a výběrem nejvhodnějšího druhu biomasy a neoptimálnější způsobem jejího energetického využití pro navrženou modelovou vesnici.

## 2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je porovnat pro navrženou modelovou vesnici výhodnost systému vytápění, výroby elektrické energie a kombinované výroby tepla a elektrické energie a na základě ekonomického zhodnocení vybrat neoptimálnější variantu řešení.

### 3 Literární rešerše

Biomasa se rozumí biologicky rozložitelná část výrobků, odpadů a zbytků z provozování zemědělství a hospodaření v lesích a souvisejících průmyslových odvětví, zemědělské produkty pěstované pro energetické účely a rovněž biologicky rozložitelná část vytríděného průmyslového a komunálního odpadu (zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře využívání obnovitelných zdrojů).

Biomasa se dá třídit podle různých hledisek (Kreníková, 2008):

A) podle skupenství

- biomasa pevná
  - odpady ze zemědělství, lesnictví, dřevozpracujícího a papírenského průmyslu (stébelniny, rostlinné zbytky, odpadové dřevo), případně i hmota z plantáží cíleně pěstovaných energetických rostlin
  - spalování v kotlích a výtopnách, ale rovněž v teplárnách produkujících současně teplo a elektrickou energii či zařízeních na zplynování a pyrolýzu
- biomasa kapalná
  - chlévský hnůj (mrva – vyzrálá směs tekutých a tuhých výkalů zvířat s podestýlkou), močůvka (zkvašené tekuté výkaly zvířat, zředěné vodou), hnojůvka (vodní výluh hnoje na hnojišti) a z roštového ustájení kejda (směs pevných a tekutých výkalů zvířat zředěná vodou), a dále také fekálie a kaly z průmyslových odvětví i čistíren odpadních vod (ČOV)
  - organické hnojivo k přímé aplikaci na zemědělskou půdu nebo k tvorbě bioplynu v kádích za nepřístupu vzduchu, či po vysušení ke spalování v kogeneračních jednotkách se spalovacími motory
- biomasa plynná
  - bahenní či skládkový plyn tvořený hl. methanem, oxidy uhlíku a dusíkem
  - využití v bioplynových stanicích (BPS) nebo kogeneračních jednotkách se spalovacími motory

B) podle původu

- biomasa rostlinná
- biomasa živočišná

### C) podle účelu

- biomasa k materiálovému využití (Akční plán pro biomasu 2009 – 2011)
  - zbytková i cíleně pěstovaná biomasa pro průmyslovou výrobu, zejména papíru a buničiny, stavebních hmot (průmysl cihlářský, výroba stavebních desek apod.), průmysl chemický, farmaceutický a nová odvětví nahrazující část produkce materiálů na bázi ropy (např. „plasty“ z rostlinného škrobu)
  - v současnosti se využívá hlavně lesní a zbytková dřevní biomasa
- biomasa k energetickému využití (Nařízení vlády č. 352/2002 Sb.)
  - ze zemědělství, lesnictví, potravinářství, z výroby surové buničiny a papíru, ze zpracování korku, ale také ze zpracování dřeva s výjimkou dřevního odpadu, který obsahuje halogenované organické sloučeniny nebo těžké kovy v důsledku ošetření látkami na ochranu dřeva nebo nátěrovými hmotami, a dřevní odpad pocházející ze stavebnictví

### D) podle druhu biomasy (Akční plán pro biomasu 2009 – 2011)

- zemědělská biomasa
  - cíleně pěstovaná biomasa, biomasa obilovin, olejnin a prádlných rostlin, trvalé travní porosty, rychle rostoucí dřeviny na zemědělské půdě a zbytky ze zemědělství a údržby krajiny (vyhláška č. 482/2005 Sb.- skupina 1 a 2)
- lesní biomasa
  - palivové dřevo a těžební zbytky z lesa (vyhláška č. 482/2005 Sb.-skupina3)
- zbytková biomasa
  - vedlejší produkty zemědělského a zpracovatelského průmyslu, především papírenského, potravinářského, dřevozpracujícího a živočišného, včetně biologicky rozložitelných odpadů (BRO) a lihovarnických výpalků (vyhláška č. 482/2005 Sb. - skupina 4 a 5)
  - zahrnuje široký rozsah druhů biomasy vznikající sekundárně při zpracování primárních zdrojů rostlinné nebo živočišné biomasy
  - vhodné palivo k energetickým účelům

Podrobné rozdělení biomasy v podmínkách ČR je uvedeno v příloze č. 1.

Obrovský potenciál, který v sobě biomasa skrývá lze využít materiálově nebo energeticky.

### 3.1 Materiálové využití biomasy

Materiálové využití zahrnuje veškerou zbytkovou i cíleně pěstovanou biomasu určenou jako surovinu pro průmyslovou výrobu. Jedná se zejména o průmysl výroby papíru a buničiny, stavebních hmot (průmysl cihlářský, výroba stavebních desek apod.), průmysl chemický, farmaceutický a nová odvětví, která budou na bázi biomasy nahrazovat část produkce materiálů na bázi ropy (plasty na bázi rostlinného škrobu aj.) (Akční plán pro biomasu).

Příklady technického využití biomasy znázorňuje tabulka č. 1 (Jakubes, 2006).

složka biomasy	transformovaný produkt	výrobky a použití
zbytková dřevní hmota	piliny, hobliny, štěpka	dřevovláknité, dřevotřískové a OSB desky a další aglomerované výrobky z dřevních zbytků
rostlinná vlákna	dlouhá vlákna (len, konopí)	textilie pro svrchní a pracovní oděvy, geotextilie, lana, rybářské sítě, kordy, brzdová a spojková obložení
	krátká vlákna	vláknocementové desky, suchá maltovinová směs pro strojní omítání, izolační hmoty, obkladové desky, lisované součástky (dvevní výplně automobilů), filtrační textilie, vázací motouzy, malířská plátna (len), textilní tapety, pytle, dratve, papíry speciální (konopné, lněné)
lignocelulózy	celulóza	papír, textilní vlákna, fólie, výbušniny, lepidla, disperzní barviva, stavební hmoty, celuloid aj.
	lignin	ligninové polymery, vanilin, UV – adsorbéry, kosmetika, sorpční hmoty (ekologické havárie)
	hemicelulózy	bělící prostředky, odvápnovací prostředky, furfural, kyselina levulová
škroby	přírodní škrob	výroba obalového papíru a lepenky, výroba textilu, lepidla, sádrokarton, zubní pasty, šampony, omezovače tuhnutí betonu, příprava lících forem ve slévárenství, úprava uhelných a ropných kalů, plnivo do plastů (polyolefiny), kopolymer do termoplastů, škrobový polyakrylonitril pro obalování osiv, biodegradovatelné mulčovací folie
	plastifikovaný škrob	kelímky a nádobí na 1 použití, biodegradovatelné obaly, škrobová pěna (výroba polystyrolových chipsů)
	škrobové biopolymery	pollulan, xanthan, kyselina polyhydroxymáselná, výroba biodegradabilních kopolymerů neobvyklých fyzikálních vlastností
cukry	kyseliny citronová	prací prášky, farmaceutika
	cukerné tenzory	prací prostředky, aditiva pro vrtné soupravy, výroba membrán a tekutých krystalů, kosmetika
	cukerné polymery	výroba biologicky odbouratelných a hydrofilních plastů (polyestery, polyuretany), výroba tkanin, medicína
oleje	přímé použití	barvy, laky, fermeže, svíčky, mýdla, emulgátory, stabilizátory PVC, linoleum (lněný olej), šalovací olej, ekologická maziva (řetězové pily, motorové oleje), hydraulické oleje, kosmetika
	glycerin	plasty, farmaceutika, kosmetika, výbušniny, celofán, tabákový průmysl
	masné kyseliny a jejich methylester, masné alkoholy a aminy	katalyzátory v chemickém průmyslu, kovová mýdla, alkydové pryskyřice, barvy, kosmetika, plasty, pigmenty, přípravky v hornictví a stavebnictví, přípravky do syntetických mazadel, textilní průmysl, dezinfekce, změkčovadla, výroba biocidů
	kyselina eruková	výroba kyseliny arachinové, pelarginové a abrasylové, plasty, tenzidy, emulgátory, změkčovadla, laky, aditiva, vločkovadla, protipěňivé přísady, konzervační látky, nylon, mazadla plastů (pro polyetylen)
barviva	certhamin, indigo	ekologické barvy pro oděvnictví a bydlení, barvy pro dětské hračky

Neenergetické využívání biomasy bude nabývat na významu. Z větší části však bude závislé na tržních podmínkách, jelikož v této oblasti průmyslu nejsou obvyklé dotace či pobídky. Zatímco v současnosti se jedná zejména o lesní biomasu či zbytkovou dřevní biomasu, na významu začne nabývat i biomasa zemědělská (Akční plán pro biomasu).

Mezi hlavní způsoby materiálového využití patří aerobní a anaerobní digesce, esterifikace, hydrolýza a extrakce

### **3.1.1 Anaerobní digesce (anaerobní fermentace či vyhnívání)**

Anaerobní digesce spočívá v mikrobiologické transformaci biologicky rozložitelné složky komunálního odpadu, složek zvířecích exkrementů, organických kalů v čistírnách odpadních vod a jiné vhodné biomasy v podmínkách bez přístupu vzduchu při mírně zvýšené teplotě (35 – 45°C), za vzniku **bioplynu** a **digestátu**, který splňuje kvalitativní požadavky vyhlášky o biologických metodách zpracování biologicky rozložitelných odpadů (Jakubes a kol., 2006).

Anaerobní fermentace zahrnuje alkoholovou fermentaci a methanizaci.

#### **3.1.1.1 Alkoholová fermentace**

Při alkoholové fermentaci vzniká methanol nebo ethanol.

A) Metanolové kvašení

##### **Charakteristika**

Methanol je bahenní plyn vznikající v přírodě rozkladem organických látek působením některých mikroorganismů, zejména bakteriemi rodu *Methylococcus*. Velice brzy se však ve vzduchu působením slunečního záření oxiduje na oxid uhličitý a vodu. Rovněž v malém množství doprovází etanolové kvašení (učební texty VŠ).

##### **Technologie výroby**

Původně se vyráběl suchou destilací dřeva, především bukového, přičemž vznikala směs methanolu, kyseliny octové a acetonu. Kyselina octová se ze získané směsi odstraňovala neutralizací hydroxidem vápenatým a methanol s nepatrným množstvím acetonu se odděloval destilací. Podle této metody byl methanol dříve nazýván dřevný líh (Kreníková, 2008).

## B) Etanolové kvašení

### **Charakteristika**

Etanol může být využit jako alternativní palivo nahrazující nežádoucí tetraethylolovo jako oktanovou přísadu. U benzinových motorů lze bez dalších jeho konstrukčních úprav použít do 20 % bezvodého etanolu. Výhodou je i snížení emisí CO a uhlovodíků. U vznětových motorů je však třeba řešit horší samo-vznětlivou schopnost a možnost separace nafty a etanolu. To lze uskutečnit např. odděleným vstřikováním obou složek. Do 3 % etanolu je však směs vzájemně mísitelná. Při použití oběhového čerpadla, které promíchává obsah palivové nádrže, je možný až 15% podíl bio-etanolu (Hrázský a Král, 1999).

### **Technologie výroby**

Etanolové kvašení je disimilační proces, kterého se zúčastňují monosacharidy (téměř výhradně hexózy) nacházející se ve vyluzích. Zbylé složky se etanolovým kvašením nemění, pokud se nepoužijí speciální druhy kvasinek. Tyto složky (pentózy, organické kyseliny) je možno využít v další na kultivaci jiných druhů mikroorganismů a tak vyrábět jednobuněčné organizmy s vysokým obsahem bílkovin a vitaminů vhodné jako bílkovinná krmiva (Hrázský a Král, 1999).

Výroba etanolu fermentací může obecně probíhat třemi způsoby:

- přímo s použitím přírodě dostupných cukrů (cukrová řepa a třtina)
- nepřímo s použitím některých zdrojů uhlovodíků nebo škrobu (brambory, topinambur, obiloviny)
- kyselou nebo enzymovou hydrolýzou celulóзовých látek (dřevo, sláma)

Aby kvasinky měly pro svou činnost dostatek živin obsahujících dusík, fosfor, draslík, mangan a další mikroelementy přítomné v malých množstvích, přidávají se živiny obsahující uvedené prvky. Při periodickém (anaerobním) zkvašování v jednom fermentoru je celková doba zkvašování 3-4 dny. V současnosti převládá kontinuální postup zkvašování s recirkulací odseparovaných kyselin. Etanol nacházející se ve zkvašených vyluzích s koncentrací 1-2 % se izoluje destilací a rektifikací. Vedlejším produktem kvašení je oxid uhličitý, který se využívá na výrobu tzv. suchého ledu (tuhý oxid uhličitý). Používá se pro chlazení na teploty až -78,9 °C (Hrázský a Král, 1999).

### 3.1.1.2 Methanizace (anaerobní digesce či vyhnívání)

#### Charakteristika

Methanizace je vícestupňový proces, při kterém se vstupní organická hmota působením mikroorganismů postupně rozkládá až na konečné produkty, bioplyn a fermentovaný zbytek organické hmoty. Jedná se o pochody, které za určitých podmínek probíhají v přírodě na mnoha místech v sedimentech, zamokřených půdách, rýžových polích, v lagunách, na skládkách komunálních odpadů, v zažívacích traktech přežvýkavců apod. (Gerndtová, 2006; Kocourková a Fuksa, 2006; Straka, 2006).

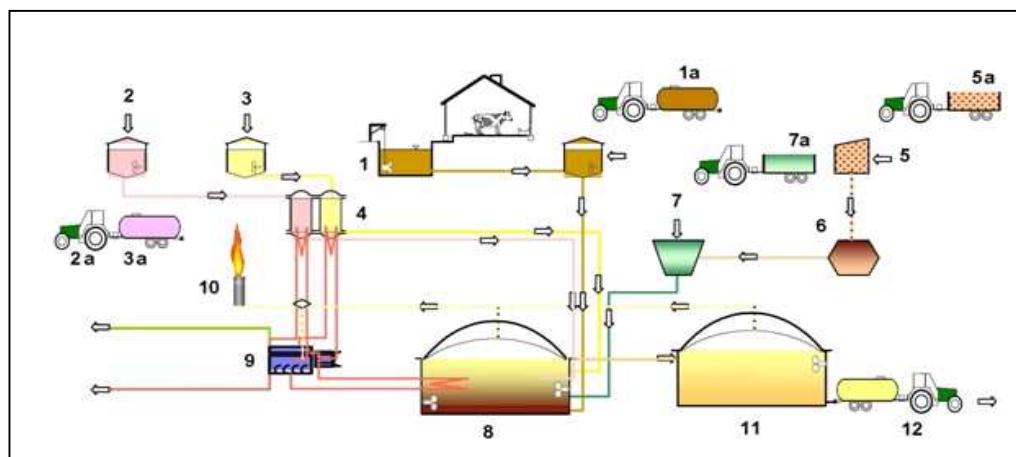
Bioplyn je směsí plynů tvořenou z 50 – 80 % hořlavým metanem, z 20 – 40 % oxidem uhličitým a 1 – 3 % připadá na další plyny jako jsou dusík, sirovodík nebo vzácné plyny. Jeho výhřevnost je závislá na obsahu metanu – a pohybuje se obvykle mezi 20- 24 MJ/m<sup>3</sup>. Zbytek hmoty po fermentaci (digestát) má vlastnosti výrazně lepší než původní biomasa a představuje výborné hnojivo. Jsou v něm zachovány hlavní živiny a humusotvorné komponenty a naopak zničeny patogenní zárodky a semena plevelů. Je bez zápachu a při použití na polích neohrožuje podzemní ani povrchové vody (Jakubes a kol., 2006).

#### Technologie výroby

Tvorba bioplynu probíhá ve čtyřech fázích (hydrolyza, acidogenezy, acetogeneze a metanogeneze) přičemž pro každou fázi jsou optimální jiné provozní podmínky z důvodu jiného druhu bakterií, které se v průběhu procesu uplatňují (Gerndtová, 2006; Kocourková a Fuksa, 2006; Straka, 2006). Uvedené fáze jsou následné, avšak v kontinuálním provozu probíhají současně (Straka, 2006). Proces probíhá při mírně zvýšené teplotě (35-45 °C), přičemž vznikne bioplyn a stabilizované hnojivo či kompost (Krbek a Polesný, 2007). Pozitivně lze proces ovlivnit dezintegrací fytohmoty, při které dochází k nárůstu produkce bioplynu o 3-24 %, přičemž účinnost tohoto zásahu klesá se stářím fytohmoty (Kocourková a Fuksa, 2006).

Proces probíhá v uzavřených reaktorech – bioplynových stanicích. Schéma bioplynové stanice je znázorněno na obrázku č. 1.

Obrázek č. 1: Schéma bioplynové stanice (Mužík a Kára, 2009)



Legenda: 1-keřda ze stáje, 1a-keřda přivážená z okolních zemědělských podniků, 2-přijem jatečných odpadů, 3-přijem kuchyňských odpadů, 4-tepelná úprava rizikových substrátů 2 a 3, 5-přijímové místo zrnin, 6-mechanická úprava zrnin (mačkání, drcení, šrotování), 7-přijem a úprava zelené biomasy, 8-fermentor se střešním plynojemem 9-kogenerační jednotka, 10-hořák zbytkového plynu, 11-zásobní jímka na digestát, 12-odvoz digestátu jako hnojiva

Použití bioplynu v kogeneračních zařizích se neobejde bez technických problémů. Bioplyn má jednak s časem proměnné složení a jednak obsahuje některé látky velmi nepříznivé pro spalovací motory, zejména chlor a jeho sloučeniny, síru a sulfan, čpavek a pevné (abrazivní) částice. Větší obsah vody v bioplynu umožňuje vznik kyselého roztoku, který způsobuje koroze zařizích (Krbek a Polesný, 2007).

V současnosti je u nás v provozu zhruba 23 bioplynových stanic a řada dalších jich je ve fázi aktuální přípravy (Bačík, 2008). V nich se zpracovávají výhradně zvířecí fekálie z velkochovů dobytka, včetně chlévské mrvy. BPS na zpracování komunálního odpadu nebo rostlinného odpadu dosud v České republice neexistují (Váňa, 2002).

### 3.1.2 Aerobní fermentace

Aerobní fermentace je metoda přeměny biologicky rozložitelných odpadů (BRO) ze zemědělských a průmyslových podniků za přístupu vzduchu a činnosti mikroorganismů na kompost. Kompost je organicko-minerální hnojivo bohaté na humus, přijatelné živiny a vápník (Ca). Po skončení biologického zrání (fermentace) nesmí mít charakter cizorodých látek. Sleduje se zejména obsah těžkých kovů (dle ČSN 46 5735 Průmyslové komposty), ale také obsah pesticidů, herbicidů, polyaromatických uhlovodíků a polychlorovaných bifenyly (Kafka, 2008).



## **Technologie výroby**

Kompostování sestává zpravidla ze 3 fází – rozmělnění (drcení), zrání a dozrávání (mineralizace). Zrání podmiňují aerobní mikroorganismy vyžadující kyslík (přehazování či přeorávání kompostu), vlhkost (kropení nejlépe močůvkou a hnojůvkou), teplotu a neutrální reakci (vliv Ca). Vysokomolekulární látky jsou rozkládány na nízkomolekulární za aerobních podmínek nejprve činností mezofilních mikroorganismů ( $t = 35^{\circ} - 45^{\circ}$ ), kdy dochází k rozkladu lehce rozložitelných látek jako jsou cukry, škroby nebo bílkoviny, a následně termofilních ( $t = 50^{\circ} - 65^{\circ}$ ), kdy se rozkládají celulóza a lignin za současného vzniku stabilních organických látek obsahujících humus. Energie, která se při tom uvolňuje zahřívá kompost tak, že ničí patogenní zárodky. Tento proces probíhá několik hodin až dní. Během dozrávání dochází ke stabilizaci organických látek. Kompost se již nezahřívá a hmota se stává homogenní a nezapáchá. Komunální odpad obsahuje až 75 % kompostovatelných složek. Výhřevnost kolísá od 2 400 – 7 200 Kj/kg podle ročního období, dá se ho využít i jako méněhodnotné palivo. Stěžejní je ovšem zemědělské využití při vpravování kompostů do zemědělsky obdělávaných půd, jako hmoty pro rekultivace skládek odpadů, pro rekultivaci půd narušených důlní činností, jako podpůrného substrátu pro biologickou sanaci půd kontaminovaných organickými cizorodými látkami. Aplikuje se na podzim i na jaře v dávce 30 – 50 m<sup>3</sup>/ha (Kafka, 2008).

### **3.1.3 Esterifikace**

#### **Charakteristika**

Esterifikace je reakce alkoholu (glycerolu) s karboxylovou kyselinou za vzniku esteru a vody. Ve fytoenergetice se používá trans-esterifikace k výrobě bio-nafty (Kreníková, 2008). Výhodou bio-nafty je její rychlá biologická odbouratelnost a samomazací schopnost. Našla uplatnění pro lepší spalování v sériových dieslových motorech oproti čisté naftě a nevyžaduje ani úpravu motoru a palivového systému vozidel (Jakubes a kol., 2006). Zředěním motorové nafty se však musí volit kratší intervaly její výměny. Navíc při poklesu teplot pod 5 °C nastávají problémy s dopravou paliva z nádrže k motoru, hlavně v palivovém filtru a při startování studeného motoru. Proto musí být bio-nafta přizpůsobena zimnímu provozu přidáním vhodných aditiv (Kreníková, 2008).

## **Technologie výroby**

Bio-nafta, neboli metyl-ester rostlinných olejů, vzniká záměnou glycerinu za metanol v molekule mastné kyseliny. Toto hořlavé palivo má podobné vlastnosti a výhřevnost jako běžná motorová nafta. Vedlejším produktem je pak glycerin. Základní surovinou pro výrobu bio-nafty je řepka olejná, ale lze ji vyrábět rovněž ze lněného či slunečnicového oleje nebo i z použitých rostlinných olejů (např. z restaurací, zařízení hromadného stravování či potravinářského průmyslu). Kromě tradiční technologie výroby je možno využít i etylesterifikaci (Jakubes a kol., 2006).

### **3.1.4 Hydrolýza (zcukernování)**

Hydrolýza spočívá v uvolňování polysacharidů (celulózy a hemicelulózy) a jejich převedení na oligomerní, ve vodě rozpustné látky, které se nechají dále využít. Nejsnáze hydrolyzuje škrob a část hemicelulóz. Ty při zahřívání v kyselém prostředí přecházejí do roztoku a dále hydrolyzují v homogenním prostředí. Naopak obtížně hydrolyzuje celulóza a krystalické hemicelulózy (Hrázský a Král, 1999).

Hydrolýzu lze provést zředěnými či koncentrovanými kyselinami, alkalickými roztoky, explozí vodní párou, amoniakem nebo oxidem uhličitým, případně enzymaticky.

#### **3.1.4.1 Kyselá hydrolýza**

##### **Charakteristika**

Při hydrolýze zředěnými kyselinami komplexně hydrolyzují amorfnní podíly celulózy, zatímco krystalické části zůstávají beze změny. Uplatňuje se jako první stupeň hydrolýzy. Výsledný hydrolyzát lze buď podrobit hydrolýze koncentrovanými kyselinami, nebo se může po neutralizaci přímo zkrmovat jako energetický zdroj místo řepné melasy. V koncentrovaných kyselinách se polysacharidy rozpouští na nízkomolekulární produkty. Vhodné jsou kyseliny chlorovodíková (37 – 42%), fluorovodíková, sírová (65 – 80%) nebo trihydrogenfosforečná (60 – 83%). Regenerace použité kyseliny je však zatím stále obtížným problémem (Hrázský a Král, 1999). Navíc koncentrované kyseliny nejsou příliš vhodné pro svou toxicitu a korozivnost (Kokrhelová a Jirout, 2008)

### **Technologická výroba**

V současnosti se využívá ředěných kyselin pro vysoce-pevné materiály (10-40 % hmotnost substrátu/hmotnost reagující směsi) při nízkých teplotách (do 160°C) a pro nízko-pevné materiály (5-15 %) při vysokých teplotách (nad 160°C). Před vlastní fermentací je však nutné neutralizovat pH (Kokrhelová a Jirout, 2008).

#### **3.1.4.2 Alkalická hydrolýza**

##### **Charakteristika**

Jedná se o zmýdelňování molekulových vazeb esterů. Alkalické zcukerňování přináší nejlepší výsledky u tvrdého dřeva (listnaté stromy), avšak u měkkého dřeva (jehličnany) s obsahem ligninu pod 26 % nebyl rozklad pozorován (Kokrhelová a Jirout, 2008).

##### **Technologie výroby**

V případě odstranění ligninu pomocí alkalických rozpouštědel se k hydrolýze užívá směs organických rozpouštědel (metanol, etanol, aceton apod.) a anorganických kyselin jako katalyzátoru. Proces probíhá při vysokých teplotách (asi 185°C) a rozpouštědla se musí po ukončení procesu odstranit, aby mohly být produkty dále zpracovány (Kokrhelová a Jirout, 2008).

#### **3.1.4.3 Exploze vodní parou (autohydrolýza)**

##### **Charakteristika**

V současnosti jde o nejpoužívanější metodu předúpravy lignocelulóзовých odpadů.

##### **Technologie výroby**

Probíhá za vysokých teplot a tlaků, kdy se biomasa a přehřátá pára přivede na teplotu 160-260°C (tomu odpovídá tlak 0,69-4,83 MPa), následuje setrvání na teplotě a poté prudké snížení tlaku až na tlak atmosférický. Může probíhat za vysokých teplot a krátké době setrvání na teplotě (270°C, 1 min), nebo, výhodněji, při nízkých teplotách a dlouhé výdrži (190°C, 10 min). Přidáním kyseliny sírové nebo oxidu uhličitého je hydrolýza účinnější. Výhodou této metody jsou nižší energetické nároky na rozdíl od mechanického rozmělnění a nezatěžování životního prostředí oproti chemickým postupům. Nicméně je vysoká cena zařízení (vysokotlaký aparát) a během procesu mohou vzniknout inhibitory, které reakci brzdí (Kokrhelová a Jirout, 2008).

#### **3.1.4.4 Exploze amoniaku (AFEX)**

##### **Charakteristika**

Metoda je založena na podobném principu jako exploze vodní parou. Používá se pro velké množství lignocelulózových materiálů, např. stébla pšenice, ječmene, rýže, kukuřice a jiných obilovin, papír, konopí, lisovanou třtinu apod., avšak není vhodná pro materiály s vysokým obsahem ligninu (Kokrhelová a Jirout, 2008).

##### **Technologie výroby**

Při této metodě je biomasa vystavena působení roztoku amoniaku (čpavku) při vysokých teplotách a tlacích po určitou dobu a poté se tlak rychle sníží. Obvykle proces probíhá při dávkování amoniaku 1-2 kg amoniaku/kg suché biomasy, teplotě 90°C a době výdrže 30 minut. Po použití se musí amoniak recyklovat, aby nedošlo ke znečištění životního prostředí a snížily se náklady (Kokrhelová a Jirout, 2008).

#### **3.1.4.5 Exploze oxidem uhličitým (CO<sub>2</sub>)**

##### **Charakteristika**

Výnosy jsou v porovnání s explozí páry nebo čpavku relativně nízké. Ovšem je levnější než exploze amoniaku a nedochází k tvorbě inhibitorů jako při explozi páry (Kokrhelová a Jirout, 2008).

#### **3.1.4.6 Enzymatická hydrolýza**

##### **Charakteristika**

Schopnost hydrolyzovat celulózu mají i mnohé mikroorganismy. Za nepřítomnosti rozpuštěných živin syntetizují postupně enzymy, které odbourávají nerozpustný substrát. Při vysoké koncentraci oligomerů se průběh hydrolýzy zpomaluje. Enzymovou hydrolýzou se dosahuje vyšší stravitelnosti dřevních surovin (Hrázský a Král, 1999).

##### **Technologie výroby**

Proces se uskutečňuje v bioreaktoru. Rozsah a rychlost enzymové hydrolýzy se dá zvýšit vhodnou předúpravou vstupního materiálu. Upravené suroviny mohou sloužit pro průmyslové zpracování anebo se využijí při výrobě krmiv. Neupravené materiály se enzymově hydrolyzují velmi pomalu a na nízký stupeň (Hrázský a Král, 1999).

### **3.1.5 Extrakce**

#### **Charakteristika**

Biomasa, zejména pak dřevo a kůra, obsahuje vonné látky různého složení, které se dají vyextrahovat specifickými organickými rozpouštědly. Mezi nejdůležitější extraktivní látky patří pryskyřice a třísloviny (Hrázský a Král, 1999).

#### **Technologie výroby**

Pryskyřice (balzám) obsahuje frakci terpenů, terpenoidů, mastných kyselin, alkoholů, uhlovodíků a dalších neutrálních sloučenin. Její větší množství se nalézá v jádrovém dřevu a v přízemní části kmene. Z něj se získává pomocí zředěných roztoků hydroxidu sodného anebo organických rozpouštědel (extrakce nezměněné kalafuny). Současně se však s pryskyřicí extrahuje i určité množství ligninu a hemicelulóz. Z extraktu se oddestiluje benzen a surový terpentýn a jako extrakční zbytek zůstává pryskyřice, která se dále rafinuje (Hrázský a Král, 1999).

Třísloviny (taniny) jsou sloučeniny vícesytných fenolů svíravé chuti. Vyčiňují kůži na useň a srážejí zředěné roztoky bílkovin a alkaloidů. Rozlišujeme hydrolyzovatelné a kondenzovatelné třísloviny. Hydrolyzovatelné třísloviny jsou tvořeny esterově či glykosidicky vázanými sacharidy a kyselinou fenolkarboxylovou. Působením kyselin, alkálií i enzymů se hydrolyzují původní složky. Kondenzovatelné třísloviny se působením minerálních kyselin nehydrolyzují, ale tvoří hnědočervené kondenzační produkty. Rozkládají se působením alkálií za vzniku fluoroglucinu, pyrokatechinu a kyseliny fenolkarboxylové (Hrázský a Král, 1999).

## **3.2 Energetické využití biomasy**

Energetickým využitím biomasy se rozumí použití biomasy a biologicky rozložitelných odpadů jako paliva za účelem získání jejich energetického obsahu nebo jiným způsobem k výrobě energie (zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech).

Mezi energetické využití biomasy patří její spalování, zplynování, karbonizace a zkapalňování.

### 3.2.1 Spalování

#### Charakteristika

Základním a nejčastějším konečným využitím biomasy je její spalování. Biomasa může být spalována přímo, po dalším zpracování a úpravách (dezintegraci, zplynění, karbonizaci apod.), nebo po jejím materiálovém využití (Jakubes a kol., 2006).

Průběh spalování biomasy je odlišný od spalování fosilních paliv. Nedochozí k hoření na roštu, ale ve vztahu mezi roštem a komínem. Před vzplanutím se nejprve musí uvolnit přebytečná vlhkost a spalitelný plyn (prchavá hořlavina). Po dosažení zápalné teploty a dostatečném přísunu vzduchu se spalitelný plyn vznítí, čímž se začne uvolňovat teplo, které snižuje vlhkost paliva a uvolňuje další spalitelný plyn. Aby nedocházelo k opožděnému dohořívání plynů až v komíně, a tím ke ztrátám účinnosti topeniště, ekologicky nežádoucímu složení kouřových plynů a k tepelné destrukci komínového tělesa, musí být doba zdržení v prostoru nad roštem min. 0,5 až 0,8 s. Z těchto důvodů je výhodnější spalovat biomasu ve speciálních topeništích (Simanov a Čížek, 2004).

#### Technologie procesu

Spalování probíhá ve 4 na sebe navazujících fázích. Zpočátku se biomasa v topeništi ohřívá a vysušuje. Po překročení teploty 150°C nastává zplynování a postupný rozklad hmoty od termicky nejlabilnějších složek přes celulózu, hemicelulózy a lignin. Mezi 200-270°C vzniká hlavní produkt pyrolýzy – levoglukozan (z celulózy), a další prchavé meziprodukty, které se zapalují při 225 °C až 250 °C a hoří v plynné fázi za přívodu sekundárního vzduchu. Po uvolnění složek prchavé hořlaviny hoří od 600 °C pevný podíl (Hrázský a Král, 1999).

Konstrukce a provedení spalovacích zařízení vyplývá z povahy biomasy jako paliva. Zejména jsou důležité obsah vody v palivu, jeho chemické složení, obsah prchavé hořlaviny, obsah popela, spalné teplo a výhřevnost (Hrázský a Král, 1999). Obecně platí, že výkon topeniště je tím vyšší, čím je vstupní materiál sušší, čím větší povrch materiálu hoří a čím více materiálu hoří současně (Simanov a Čížek, 2004).

Podle konstrukce a vlastností spalované biomasy lze rozlišit topeniště pro spalování suchého materiálu s obsahem vody do  $w = 30 \%$  a na topeniště pro spalování vlhké biomasy s obsahem vody  $w = 30 - 60 \%$  (Hrázský a Král, 1999).

A) Topeniště pro spalování suchého materiálu

- Spalovací komory pro spalování brusného prachu a pilin – horizontální  
– cyklonové
- Kombinovaná topeniště pro spalování dezintegrované dřevní hmoty
- Roštová topeniště pro kusové dřevo – s pevným šikmým roštem  
– s posuvným šikmým roštem

B) Topeniště pro spalování vlhkého materiálu

- Topeniště se spodním přívodem paliva
- Fluidní topeniště
- Topeniště s horním, diskontinuálním, přívodem paliva

Můžeme rozlišit spalování za účelem získání pouze tepla (prosté spalování), za účelem výroby elektrické energie (výroba elektrické energie) nebo za účelem současné výroby tepla a elektrické energie (kombinovaná výroba elektřiny a tepla).

### 3.2.1.1 Prosté spalování

#### Charakteristika

Prosté spalování je spalování za účelem získání pouze tepla. Z energetického hlediska není příliš dokonalé, je však investičně nejméně náročné a všechna současná potřebná technologická zařízení jsou k dispozici na dostatečně vysoké technické úrovni odpovídající požadavkům ochrany životního prostředí, příslušným normám i emisním limitům (Simanov a Čížek, 2004).

#### Technologie výroby

Zařízení pro přímé spalování biomasy se výkonově mohou pohybovat od několika kW do desítek MW. Tato zařízení představují u nás nejméně problémový a perspektivní tepelný zdroj využívající spalitelnou biomasu. Podle výkonu a technického řešení je lze rozdělit na následující skupiny (Jakubes, 2006):

- A) Lokální topeniště
- B) Malé kotle na biomasu
- C) Střední kotle
- D) Velké zdroje

#### A) Lokální topeniště

Obvykle dosahují výkonu několika kW. Dále se rozdělují na klasická kamna, krby, krbová kamna nebo kachlová kamna a cihlové pece (Jakubes, 2006).

- klasická kamna

Mohou být plechová či litinová. Vyžadují častou obsluhu. Díky nízké účinnosti a vysokým emisím jsou již technicky překonaným řešením.

- klasické krby

Jsou spíše módním doplňkem interiéru, než energeticky efektivním řešením lokálního vytápění na biomasu

- krbová kamna

Dosahují vyšší účinnosti i sálavé složka tepla (30% tepelného výkonu). Často mají vzduchové kanálky pro ohřev okolního vzduchu. Pokud mají vestavěnou topnou vložku, pracují i jako kotle ústředního vytápění

- cihlové pece a kachlová kamna

Dříve byly běžné a v posledních letech se opět stávají módní záležitostí. Dosahují vysoké účinnosti i akumulární schopnosti

#### B) Malé kotle na biomasu

Rozsah výkonu je cca 20 – 100 kW. Jsou vhodné k vytápění rodinných domků či menších budov. Rozdělují se dále na zplyňovací a automatické kotle (Jakubes, 2006)

- zplyňovací kotle na kusové dřevo

Nejprve zplyňují palivo a pak spalují plyn (velmi dobrá regulace výkonu). Jsou vhodné pro polena i dřevěné brikety. Vyžadují však manuální obsluhu.

- automatické kotle na pelety – s podavačem paliv a upraveným hořákem

#### C) Střední kotle

Dosahují výkonu nad cca 100 kW. Slouží pro větší zdroje ústředního vytápění, malé průmyslové aplikace nebo menší systémy centrálního zásobování teplem (CZT). Kotle mají obvykle posuvný, pásový či řetězový rošt a standardně jsou vybaveny automatickým příkládáním paliva. Jsou schopny spalovat i méně kvalitní a vlhkou biomasu (dřevěné štěpky, slámu, pelety i brikety). Zdroje obvykle pracují jako výtopny, kogenerace je spíše výjimkou.



#### D) Velké zdroje

Dosahují tepelných výkonů v řádu MW. Slouží pro průmyslové aplikace nebo systémy CZT či teplárny (Jakubes, 2006). Kotle mohou být práškové, bubnové, průtočné nebo fluidní (Matoušek, 2003).

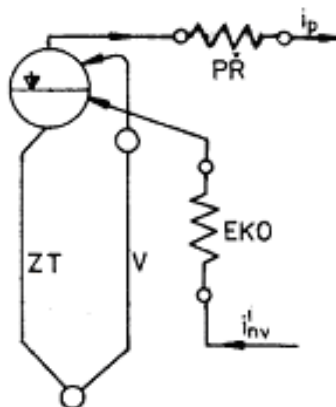
- práškové kotle

Slouží ke spalování pevných paliv. Rozdělují se na granulační, které přeměňují měkké nespálené zbytky strusky ve spodní části komory na granule při 1 000 – 1 500 °C, a výtavné, v nichž se struska taví při 1 500 – 1 700 °C a odtéká po dně kotle.

- bubnové kotle

Buben slouží jako odlučovač páry a vody v odpařovacím systému kotle (uzavřený cyklus přirozeně cirkulující vody). Voda se po ohřátí v ohříváku (ekonomizéru) přivádí do bubnu a z něj zavodňovacími trubkami do zavodňovací komory, kde se rozděluje do jednotlivých varnic. Se vzrůstajícím tlakem klesá rozdíl mezi hustotou vody a páry i oběhová rychlost (při tlacích blízkých tlaku kritickému a vyšších již nelze použít přirozeného, ale nuceného (průtočného) oběhu vody), viz obrázek č. 2

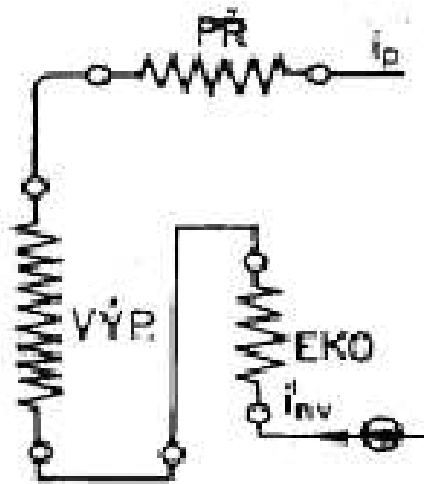
Obrázek č. 2: Schéma oběhu vody v bubnovém kotli (Matoušek, 2003)



- průtočné kotle

Pracují s nuceným oběhem nebo průtokem vody v podkritické i nadkritické oblasti vysokých tlaků páry činností napájecího čerpadla, které umožňuje měnit rychlost směsi vody a páry ve varnicích dle potřeby, viz obrázek č. 3. Začátek ani konec odpařování nemá pevnou polohu, ale mění se s výkonem kotle či změnou teploty napájecí vody. Napájecí voda musí být úplně demineralizovaná, aby nedocházelo k usazování solí v kotli. Tyto kotle se budují jen pro velké energetické zdroje (220-500 MW).

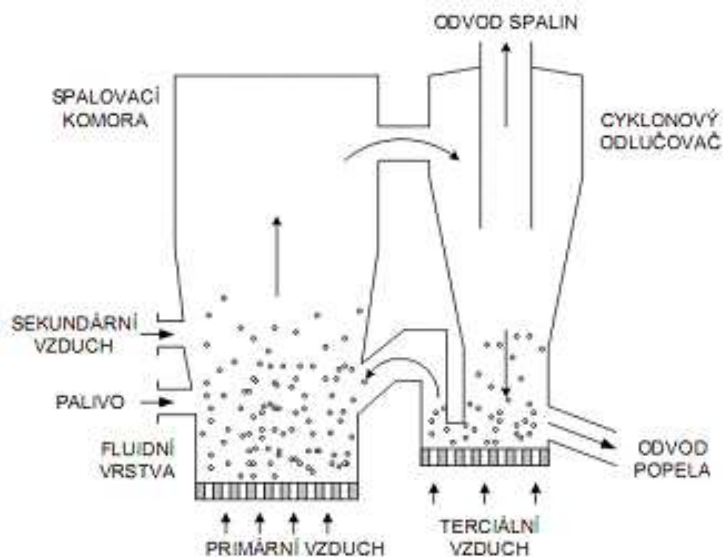
Obr. č. 3: Schéma oběhu vody v průtočném kotli (Matoušek, 2003)



- fluidní kotle

Spalují palivo o určité měrné hmotnosti ve vznosu nad roštem. Zespodu do roštu je přiváděn primární vzduch, který slouží jednak k nadlehčování směsi a jednak jako zdroj kyslíku pro spalování. Pro lepší spálení prchavých složek je do spalovací komory přiváděn ještě sekundární vzduch. Spalovací komora se směrem vzhůru rozšiřuje, čímž rychlost vzduchu směrem nahoru postupně klesá (rozvrstvení částic paliva dle velikosti). Kotle jsou konstruovány buď jako atmosférické, viz obrázek č. 4, nebo jako tlakové.

Obrázek č. 4: Fluidní kotel atmosférický (Matoušek, 2003)



### 3.2.1.2 Spalování za účelem výroby elektrické energie

#### Charakteristika

Při energetickém využití lze biomasu spalovat samostatně nebo v klasických elektrárnách ve spojení s uhlím, ať už v roštových nebo fluidních kotlích. Samotná výroba elektrické energie z biomasy není příliš efektivní, protože její účinnost je odhadována na 25 – 35 %. Větší část energie (65 – 75 %) obsažená v palivu se bez dalšího využití odvádí do atmosféry. Z toho vyplývá, že je výhodnější vyrábět tepelnou energii společně s elektrickou energií, a to za využití odpadního tepla pomocí kombinované výroby elektřiny a tepla (Kreníková, 2008)

#### Technologie výroby

Pro výrobu elektrické energie je potřeba kotle, turbíny a generátoru. Typickou turbínou pro výrobu elektrické energie je parní kondenzační turbína, ale lze využít rovněž plynových a dalších turbín (Matoušek, 2003).

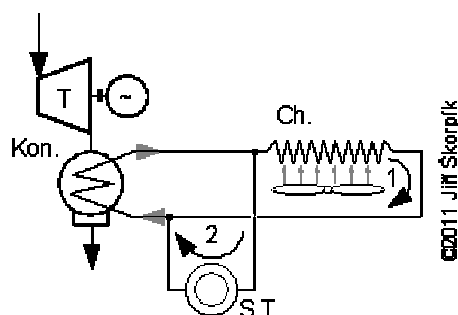
##### A) Parní turbíny

Tepelná energie obsažená v páře se mění nejprve na energii pohybovou a ta vyvozuje točivý moment na hřídeli. Pára protéká turbínou převážně v axiálním směru. Rozlišují se kondenzační, protitlakové a odběrové parní turbíny (Matoušek, 2003).

- Kondenzační turbíny

Slouží pouze pro přeměnu tepelné energie páry v energii mechanickou bez současné dodávky tepla jiným spotřebitelům. Mají neregulovaný odběr páry pro regenerační ohřev napájecí vody (tlak v odběrech kolísá se zatížením). Na výstupu pracují s hlubokým vakuem (3 – 8 kPa), čemuž odpovídá teplota sytosti páry 23-42 °C. Po expanzi se musí nevyužitá pára nechat zkondenzovat v kondenzátoru. Zvětšením tepelného spádu se zvýší tepelná účinnost oběhu i výkon turbíny. Schéma zapojení je znázorněno na obrázku č. 5.

Obrázek č. 5: Schéma zapojení kondenzační turbíny (Škorpík, 2010)



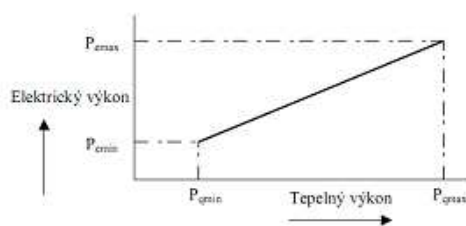
©2011 Jiří Škorpík

- Legenda*
- 1 chladicí smyčka kondenzátoru pro udržování co nejnižšího tlaku kondenzace
  - 2 chladicí smyčka kondenzátoru pro využití kondenzačního tepla
  - T turbína
  - Ch chladič zařízení
  - S.T. spotřebič tepla
  - Kon. kondenzátor

- Protitlakové turbíny

Jsou určeny k dodávce tepla (Matoušek, 2003). Vysokotlaká pára (3,5 – 6,3 MPa) z kotlů procházející turbínou postupně expanduje a její tlaková energie roztáčí lopatky turbíny pohánějící generátor k výrobě elektrické energie (Krbek a Polesný, 2007). Teplota vystupující páry nesmí klesnout pod 100°C, aby turbína mohla být označována jako protitlaková. Pára je využita k ohřevu horké vody ve výměníku pára/voda, nebo přímo ve formě páry k vytápění. Čím je vyšší protitlak (vyšší emisní parametry páry), tím je menší podíl vyráběné elektřiny vůči dodávkám tepla (Karafiát a kol., 2006). Na výstupu není kondenzátor, ale parovod (Škorpík, 2011). Turbíny mohou mít kromě neregulovaných odběrů i odběr regulovaný (Matoušek, 2003). Jsou dimenzovány pro min. požadavek na dodávku tepla korespondujícího s min. průtočným množstvím páry turbínou (navrhována podle letních potřeb tepla a s předpokladem celoročního provozu, nebo podle min. potřeb tepla na začátku a konci topného období pouze pro sezónní provoz). Typická je přímá závislost elektrického výkonu na dodávaném tepelném výkonu, tj. na průtočném množství páry turbínou. Nejvyšší elektrický výkon je při max. dodávkách tepla s konstrukčním omezením přípustného průtočného množství páry, viz graf č. 1 (Karafiát a kol., 2006).

Graf č. 1: Závislost elektrického a tepelného výkonu protitlakové parní turbíny

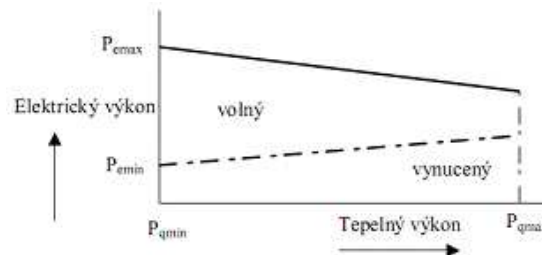


- Odběrové turbíny

Jde o kondenzační turbíny s regulovaným odběrem páry. Zbytková energie po odběru páry pro teplárenské účely se využije k výrobě elektřiny a nevyužitelná pára jde do kondenzátoru (Matoušek, 2003). Max. elektrický výkon je dosahován při min. dodávkách tepla a je omezen konstrukčně přípustným průtočným množstvím páry turbínou a podmínkami kondenzace. Celková účinnost zdroje závisí na množství odebíraného (využívaného) tepla a osciluje tak mezi účinnostmi při čistě kondenzačním provozu a účinnostmi při maximálním odběru tepla. V důsledku kondenzačních ztrát bývá řazena jen za parní kotle spalující levná paliva. Je dimenzována s ohledem na průběh potřeb elektrické energie, nebo na disponibilní zdroj vysokotlaké páry (výkon kotlů).

Část elektrického výkonu je vázána na dodávky tepla (vynucený výkon daný průtokem páry, odběrem a minimem do kondenzace) a část je na dodávkách tepla nezávislá (volný výkon daný průtokem páry turbínou nad rámeček průtokem odběrové páry a minima do kondenzace), viz graf č. 2 (Karafiát a kol., 2006).

Graf č. 2: Závislost elektrického a tepelného výkonu odběrové parní turbíny



### B) plynové turbíny

Turbíny mění tepelnou energii plynů (spalin) v mechanickou práci. Podle výkonu se rozlišují turbodmychadla a plynové turbíny s rekuperací tepla (Karafiát a kol., 2006).

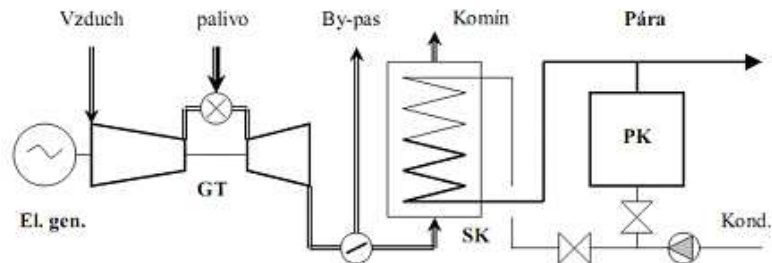
- Turbodmychadlo

Slouží pouze pro malé výkony, zejména u pístových spalovacích motorů využívajících energii jeho výfukových plynů (krátké tlakové impulsy dle otevírání ventilů jednotlivých válců). Proto se využívá pro motory sportovních automobilů (Karafiát a kol., 2006).

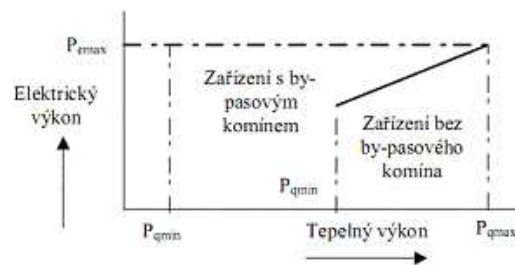
- Plynová turbína s rekuperací tepla

Turbína sestává z axiálního kompresoru s řadou lopatek pro nasávání venkovního vzduchu, spalovací komory pro ohřev vzduchu až na 900 – 1 300 °C a expanzní části turbíny opět složené z axiálního rotoru s řadami lopatek, kde se mění energetický potenciál stlačeného vzduchu o vysoké teplotě na mechanickou práci zčásti pro pohon kompresoru a generátoru. Spaliny vystupující z expanzní části turbíny mají zpravidla ještě dostatečnou teplotu (450 – 570 °C) využitelnou pro teplotní účely. Elektrický výkon a následně i elektrická účinnost turbíny značně závisí na teplotě a tlaku (měrné hustotě) nasávaného vzduchu (čím je teplota nižší a tlak vyšší, tím vyšší je elektrický výkon a naopak). Celková účinnost výroby elektrické energie a tepla je limitována technologickými prvky turbíny (max. přípustnou teplotou spalin v expanzní části turbíny), konstrukčním uspořádáním (počtem lopatkových řad s/bez převodovky, s rekuperací, s nástřikem páry do spalovací komory apod.) a úrovní chlazení spalin. Schéma zapojení turbíny znázorňuje obrázek č. 6 a závislost elektrického a tepelného výkonu graf č. 3

Obrázek č. 6: Schéma zapojení turbíny s rekuperací tepla (Karafiát a kol, 2006)



Graf č. 3: Závislost elektrického a tepelného výkonu turbíny s rekuperací tepla (Karafiát a kol, 2006)



### 3.2.1.3 Kombinovaná výroba elektřiny a tepla (kogenerace)

#### Charakteristika

Kombinovanou výrobou elektřiny a tepla (kogenerací) se rozumí přeměna primární energie na energii elektrickou a užitečné teplo ve společném zařízení (Karafiát a kol., 2006). Proces přeměny energie z paliva probíhá tak, že se nejprve vysokopotenciální tepelná energie využije k vykonání práce a až následně se pracovní látka o nižší teplotě využije pro pokrytí potřeb tepla (Krbek a Polesný, 2007).

Základní podmínkou pro uplatnění kogenerace je existence dostatečného odbytu (potřeb) tepla v ekonomické vzdálenosti od místa lokalizace zdroje. Velikost a charakter odbytu tepla jsou jedním z hlavních určujících faktorů pro volbu typu a výkonu technologie kogenerace. Dalšími faktory jsou dostupnost paliv v místě zdroje a požadované parametry dodávky tepla (Karafiát a kol., 2006).

Podpora rozvoji kogenerace je deklarována ve Státní energetické koncepci, ve Státní politice životního prostředí a je zakotvena v energetickém zákoně č. 458/2000 Sb. Oporu našla i v evropské legislativě, a to ve směrnici 2004/8/ES o podpoře kombinované výroby elektřiny a tepla (Karafiát a kol., 2006).

## **Technologie výroby**

Každý kogenerační zdroj sestává z těchto základních částí – motoru (pohonné jednotky), elektrického alternátoru s připojením na veřejnou síť, kotle nebo výměníku tepla s propojením na tepelné rozvodné sítě a kontrolního systému. V současné době se jako pohon v kogeneračních jednotkách nejčastěji používají parní turbíny, spalovací turbíny, spalovací motory a paroplynová zařízení. S intenzivním vývojem přicházejí na trh nové druhy pohonných jednotek – Stirlingův motor, mikroturbíny, zařízení využívající organický Rankinův cyklus (ORC), systém Talbott či parní motory. Zcela novým principem kogeneračního zařízení se stávají palivové články a objevují se rovněž zařízení dovolující využívání obnovitelných paliv pro kogenerační pohony, zejména zplynovací zařízení, zařízení pro rychlou pyrolýzu a bioplynové stanice (Krbek a Polesný, 2007).

Přehled nejčastěji používaných kogeneračních jednotek:

- A) Parní turbíny
- B) Spalovací turbíny
- C) Spalovací motory
- D) Paroplynová zařízení
- E) Stirlingův motor
- F) Mikroturbíny
- G) Organický Rankinův cyklus (ORC)
- H) Systém Talbott
- I) Parní motory
- J) Palivové články

### A) Parní turbíny

Rozdělení a charakteristika parních turbín byla uvedena výše, u výroby elektrické energie.

### B) Spalovací turbíny

Pracovní látka (směs spalin a vzduchu) nemění v tepelném oběhu své skupenství. Tepelný oběh je tvořen kompresorem pro stlačování pracovní látky (zpravidla vzduchu), spalovací komorou a spalovací turbínou pro přeměnu tepelné energie na mechanickou, případně regeneračním ohřívačem pracovní látky, hnacím strojem (alternátor apod.) a

startovacím motorem. Palivo (plynné či kapalné, pevné z důvodu zanášení zařízení jen výjimečně) se přivádí do spalovací komory pod tlakem (Matoušek, 2003). Tepelná účinnost je tím vyšší, čím větší je teplota spalin na výstupu ze spalovací komory a elektrická účinnost se pohybuje mezi 20 – 48 %, dle typu spalovací turbíny a teplotě spalin za spalovací komorou (Krbek a Polesný, 2007). U nás se elektrárny s těmito turbínami stavěly jen jako špičkové a rezervní zdroje, jejichž celkový instalovaný výkon nepřesáhl 100 MW. Rozlišujeme spalovací turbíny s otevřeným a uzavřeným okruhem, viz obrázek č. 7 (Matoušek, 2003)

- s otevřeným okruhem

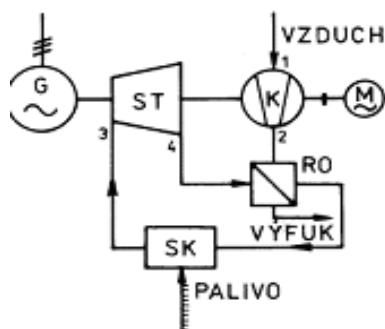
Kompresor nasává přes filtr vzduch z okolí a vhání ho do spalovací komory, kam je přiváděno pod tlakem palivo. Pracovní látka expanduje v turbíně a vystupuje přes výměník tepla (regenerační ohřívák). Teplota pracovní látky (směs paliva a vzduchu) je 800 – 1 200°C.

- s uzavřeným okruhem

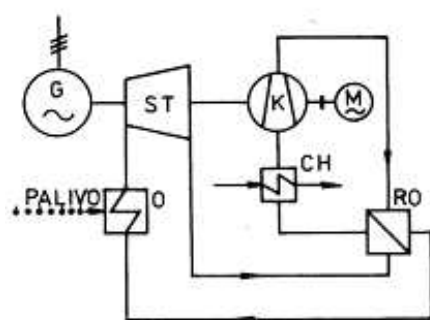
Pracovní látka se ohřívá v ohříváči odděleně od spalin, přichází do turbíny, kde expanduje a odchází přes ohřívák a chladič do kompresoru.

Obrázek č. 7: Schéma elektrárny se spalovacími turbínami (Matoušek, 2003)

A) s otevřeným okruhem



B) s uzavřeným okruhem



Legenda: *G* – generátor, *ST* – spalovací turbína, *K* – kondenzátor, *M* – motor, *RO* – regenerační ohřívák, *O* – ohřívák, *CH* – chladič

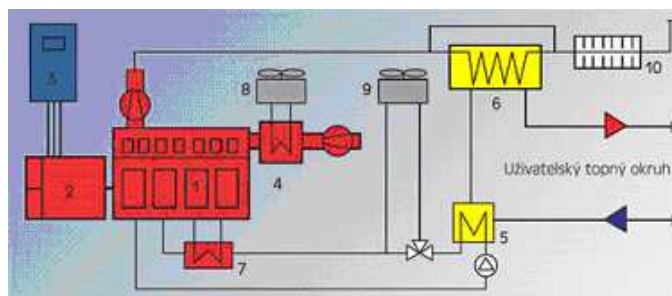
Z obrázku je patrné, že na společné hřídeli je generátor, turbína, kompresor i motor. Motor slouží k rozběhu celého zařízení a po najetí se odpojí. Výkon turbíny je potom roven součtu příkonu kompresoru a výkonu generátoru (Matoušek, 2003).



### C) Spalovací motory

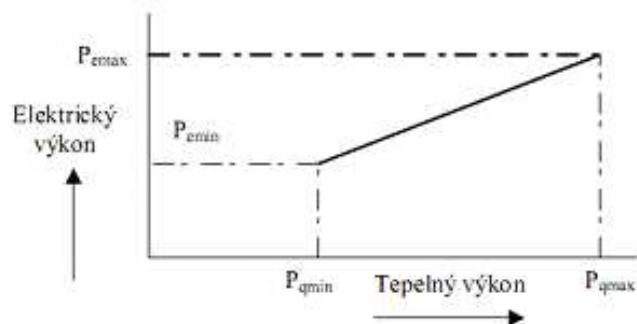
Pracují v opakovaném plynovém cyklu, kdy nasátý vzduch je stlačen, po vstříku a vznícení paliva ohřát za zvýšení objemu a tlaku a při následné expanzi je jeho tlaková energie transformována v mechanickou práci. V prvních stupních ohřevu bývají řazeny výměníky (chladiče) oleje a bloku motoru, ve druhém stupni je topná voda dohřívána výměníkem (chladičem) výfukových plynů. Pro dosažení max. účinnosti bývají voleny výstupní teploty vody do 100°C. Páru lze produkovat jen v omezené míře. Nejčastěji bývají dimenzovány s ohledem na průběh vlastní spotřeby elektřiny ve zdroji na letní úroveň spotřeby tepla (doplňkové zařízení pro relativně malé jednotky bez přebytků elektřiny do sítě), nebo s ohledem na potřeby tepla vyšší než v letních měsících pro dodávky elektrické energie do vnější rozvodné sítě (přerušovaný provoz relativně větších jednotek s programově řízenými dodávkami elektřiny do sítě pro krytí špičkových potřeb tepla) (Karafiát a kol., 2006). Schéma zapojení znázorňuje obrázek č. 8 a závislost elektrického a tepelného výkonu graf. č. 4.

Schéma zapojení spalovacího pístového motoru znázorňuje obrázek č. 8 (Zdroj: EkoWATT, 2007)



- Legenda*
1. plynový motor
  2. generátor
  3. rozvaděč s řídicím systémem
  4. mezichladič plnicí směsi
  5. výměník voda/voda
  6. výměník spaliny/voda

Graf č. 4: Závislost elektrického a tepelného výkonu pístového spalovacího motoru (Karafiát a kol., 2006)



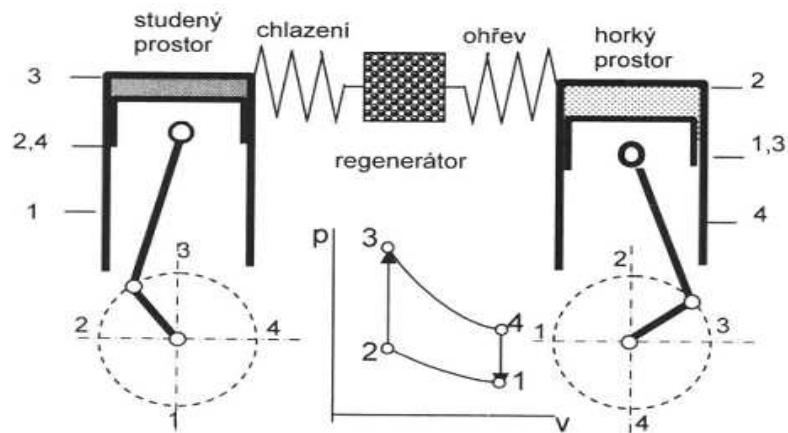
#### D) Paroplynová zařízení

Jde o kombinaci parního a plynového cyklu sestávajícího ze tří technologických celků – plynové turbíny (pohon generátoru a vypouštění spaliny do kotle na výrobu vysokotlaké páry), parní turbíny (výroba páry pro dodávky užitého tepla) a generátoru (výroba elektrického proudu). Elektrický výkon plynové turbíny bude záviset zejména na teplotě a tlaku nasávaného vzduchu, parní turbíny pak na množství a parametrech odebíraného tepla. Z hlediska provozního výkonového rozsahu bude limitujícím prvkem spíše plynová turbína, u které při poklesu výkonu pod určitou mez prudce klesá účinnost, z hlediska četnosti a rychlosti najíždění a odstávek bude naopak limitující spíše parní turbína. Výroba elektrické energie bude bez by-pasového komína nebo přitápění ve spalínovém kotli přímo úměrná dodávkám tepla, tj. závislost elektrického a tepelného výkonu budou obdobné jako v případě samostatné parní protitlakové turbíny a samostatné plynové turbíny (čím vyšší potřeba tepla, tím vyšší výroba elektřiny) (Karafiát a kol., 2006). Celková tepelná účinnost parního kotle závisí na nízké teplotě spalin dosažené instalací vícetlakového kotle na odpadní teplo nebo zařazením spalínového ohříváku vody (Krbek a Polesný, 2007).

#### E) Stirlingův motor

Tento teplotovzdušný motor s vnějším spalováním a dvěma vzájemně propojenými zdvihovými prostory s rozdílnou teplotou pracuje s uzavřeným oběhem pracovní látky. Pracovní látkou je obvykle inertní plyn, který je střídavě ohříván a ochlazován (Karafiát a kol., 2006) a během práce motoru se pouze přemisťuje z jednoho válce do druhého. Oba hřídele se otáčejí synchronně. Zařízení pracuje v rozmezí tlaků 15 – 20 MPa a maximálních teplot plynu 630 – 730 °C (Krbek a Polesný, 2007). Cyklus začíná izotermickou kompresí, při níž je práce potřebná na stlačení pracovní látky ekvivalentní teple odváděnému do okolí (vnitřní energie pracovní látky se proto nemění), následuje izochorický děj, při kterém teplo dodané regenerátorem pracovní látce zvýší její teplotu i tlak, při izotermické expanzi se teplo od vnějšího zdroje předá pracovní látce a ta vykoná ekvivalentní práci a cyklus se uzavírá izochorickým dějem, při kterém pracovní látka odevzdává teplo regenerátoru, a tím se sníží její teplota a tlak, jak znázorňuje obrázek č. 10 (Karafiát a kol., 2006).

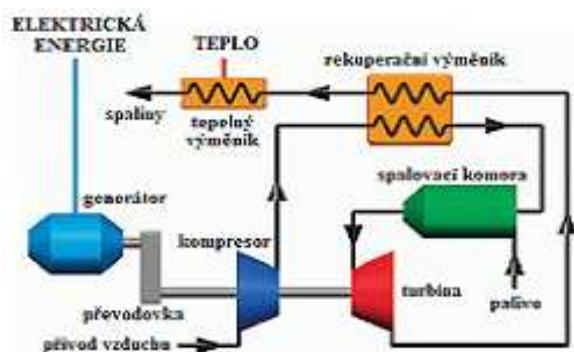
Obrázek č. 10: Princip práce Stirlingova motoru (Krbek a Polesný, 2007)



#### F) Mikroturbíny

Jsou to vysokootáčkové plynové turbíny o elektrickém výkonu 10 – 100 kW s jednodušným radiálním kompresorem, jednodušnou radiální turbínou a generátorem elektrického proudu na společném hřídeli. Výfukové spaliny jsou využívány pro předehřev vzduchu vstupujícího do spalovací komory (v rekuperátoru) a pro ohřev vody pro topné účely. Potřebný tlak je 0,4 – 0,8 MPa. Před spalovací komorou musí být zařazeny palivové filtry pro čištění plynu. Vysokorychlostní generátor vyrábí elektrický proud indukci ve vinutí statoru otáčením elektromagnetu (rotoru). Vyráběná elektrická energie je pomocí tzv. elektronické převodovky usměrňována a střídačem měněna na standardní sinusový 50 Hz průběh běžný v elektrické síti. Teplo je využíváno prostřednictvím vychlazování spalin ve výměníku, čímž dochází k ohřevu teplotnosného média. Elektrická účinnost je 25 – 30 %, celková energetická účinnost 70 – 80 % a využitelný tepelný výkon bývá zpravidla dvojnásobný než dosahovaný výkon elektrický (Karafiát a kol., 2006)

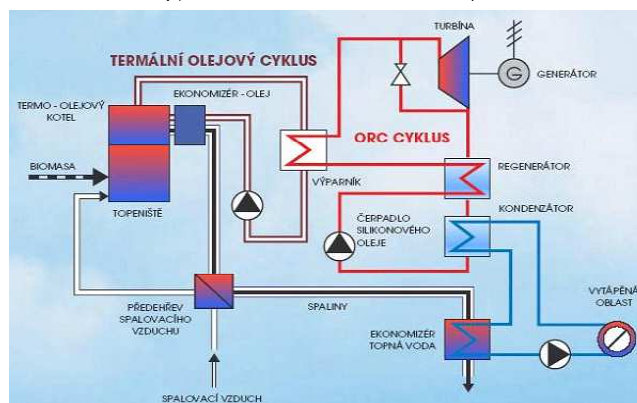
Na obrázku č. 9 je kogenerační jednotka s mikroturbínou (Jakubes, 2006)



### G) Organický Rankinův cyklus (ORC)

Pracovní látkou v klasickém cyklu je voda (vodní pára), ale pro zařízení pracující při nižší teplotě ve výparníku je výhodnější používat organické pracovní látky (do 200°C alkany, freony, či jiná chladicí média a do 400°C potom aromatické uhlovodíky nebo jejich směsi). V kotli se ohřívá olej postupující do výparníku, kde se vyvíjí plyn z organického média, který je veden do pomaloběžné axiální turbíny a z ní do regenerátoru a kondenzátoru, kde je ochlazen a zkapalněn. Teplo pro odběratele se získává z ekonomizéru za kotlem. Pracují kontinuálně jakožto základní zdroj dodávek tepla do sítí centrálně zásobovaných teplem (Karafiát a kol., 2006). Schéma ORC je na obrázku č. 12 (Jakubes, 2006; zdroj TTS Třebíč)

Obrázek č. 12: Schéma organického Rankinova cyklu



### H) Systém Talbott

Využívá vzduchovou turbínu jako modifikaci klasického oběhu spalovací turbíny pro menší elektrické i tepelné výkony. Zařízení sestává z kotle s teplosměnnými plochami (ohřev stlačeného vzduchu i topné vody) a vzduchové turbíny s kompresorem. Nasávaný vzduch je kompresorem stlačen a veden do kotle, kde se ohřívá na teplotu kolem 800 °C a expanduje ve vzduchové turbíně pohánějící kompresor a elektrický generátor. Vzduch vystupující z turbíny je spalovacím médiem pro kotel spalující biomasu o vlhkosti nejlépe do 40 % (Krbek a Polesný, 2007).

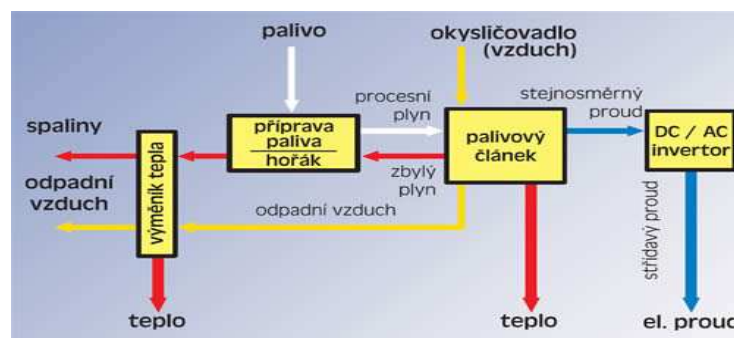
### I) Parní motory

Jsou to historicky nejstarší stroje transformující teplo v energii mechanickou. V současnosti bývají nahrazeny turbínami. Mohou pracovat do protitlaku (kogenerační zařízení), nebo do kondenzace (výroba elektrické energie). Jejich výkon je dán zpracovatelným tlakovým spádem, počtem otáček (dle typu generátoru) a vstupními parametry páry, určujícími současně její potřebu (Karafiát a kol., 2006).

## J) Palivové články

Produkují elektrickou energii přímou konverzí chemické energie paliva na energii elektrickou. Jsou to statické kogenerátory elektrické a tepelné energie s účinností 80 – 85 % pro malé rodinné domy (el. výkon 5 – 10 kW) i velká zařízení (el. výkon 200 – 1 000 kW), pohon vodní i pozemní dopravy, ale i veškerých přenosných elektronických zařízeních napájených akumulátory a bateriemi (Karafiát a kol., 2006). Schéma zapojení je uvedeno na obrázku č. 11.

Obrázek č. 11: Schéma zapojení kogenerace s palivovým článkem (Zdroj: EkoWATT, 2007)



- Palivové články s kyselinou fosforečnou – tepelná účinnost vyšší než 80 % a elektrická 40 – 45 %
- Karbonátové palivové články – pracují s taveninou (alkalické uhličitany) nasáknutou v keramické membráně a při vyšších teplotách (kolem 650 °C)
- Články s pevným elektrolytem - keramický pevný elektrolyt oxid zirkoničitý – pracují při asi 1 000°C s elektrickou účinností 62 – 72 % (dle konstrukce)

### 3.2.2 Zplynování

#### Charakteristika

Podstatně větší možnost využití biopaliva než pouhým spálením může přinést transformace hořlavých látek do podoby plynu a jeho následné využití v nejmodernějších kogeneračních technologiích. Vhodnými technologiemi jsou spalovací motory a spalovací turbíny, které jsou, až na menší konstrukční úpravy, stejné jako při spalování zemního plynu (Krbek a Polesný, 2007).

Podstatou přípravy plyných paliv z dřevního odpadu termickými postupy je rychlá oxidace za omezeného přístupu kyslíku. Vzniklé dřevěné uhlí ve spodní části generátoru reaguje se vzduchem za vzniku oxidu uhličitého, který se postupně redukuje na generátorový plyn (Hrázský a Král, 1999).

Biomasa vhodnou ke zplynění je dřevo, kůra, sláma a jiné části rostlin o vlhkosti do 20 %. Suchá hmota je značně reaktivní a obsahuje méně než 5 % popelovin. Výhřevnost suché hmoty se pohybuje mezi 14 – 20 MJ/kg (Hrázský a Král, 1999; Krbek a Polesný, 2007).

### **Technologie výroby**

V současné době jsou ke zplyňování biomasy používány dva základní způsoby (Jakubes a kol., 2006; Krbek a Polesný, 2007):

#### **A) generátory s pevným ložem**

- jednodušší a méně investičně náročné
- pouze pro malé tepelné výkony (do 500°C), ale vysokou vrstvu biomasy
- popelové zbytky odváděny ze spodní části reaktoru
- problematická tvorba dehtových látek a fenolů (špatně odstranitelné)

#### **B) fluidní generátory**

- spíše pro menší výkony, ale vyšší teploty (850 – 950°C)
- za atmosférického tlaku nebo v tlakových generátorech při 1,5 až 2,5 MPa
- fluidní lože spoluvytvářeno pomocí inertního materiálu (písku či vápence)
- předsušený a předem rozdrcený/rozřezaný dřevní odpad o velikosti 4-6 mm
- výhřevnost plynu 4-6 MJ/m<sup>3</sup>

## **3.2.3 Zkapalňování**

### **Charakteristika**

Principem výroby kapalných paliv jsou pyrolytické a hydrogenační (redukční) reakce primárních produktů. Kondenzací ve vzduchem chlazeném kondenzátoru lze získat ze směsi borové kůry a pilin topný olej. Ačkoliv je jeho výhřevnost menší (cca 21 MJ/kg) než výhřevnosti běžných topných olejů (42 – 44 MJ/kg) vlivem vyššího obsahu kyslíku, obsahuje velmi malé množství síry. Proto lze míchat i s topnými oleji s vysokým obsahem síry za účelem snížení jejího množství v kombinovaném palivu (Hrázský a Král, 1999).

### **Technologie procesu**

Dezintegrovaný odpad se přivádí do reaktoru ve formě suspenze. V průběhu reakce se získá olejovitá kapalina o výhřevnosti 30 – 35 kJ/kg. Olej obsahuje velké množství organických sloučenin – cyklopentanon, cyklohexanon, fenoly, kresoly, alkylfurany a další látky. Postupy hydrogenačního zkapalňování jsou však příliš nákladné pro běžně produkované oleje (Hrázský a Král, 1999).

### **3.2.4 Karbonizace (suchá destilace)**

#### **Charakteristika**

Karbonizace je nejdéle používaná termická přeměna tuhé biomasy bez přístupu vzduchu, při níž dochází k eliminaci těkavých složek dřeva (proto také „suchá destilace“). Tím je snížen obsah kyslíku a vodíku ve dřevě a zvýšena koncentrace uhlíku ve výsledném produktu – dřevěném uhlí. Jeho měrná hmotnost je kolem 0,2 kg/m<sup>3</sup>, bod vznícení mezi 300 – 400 °C a výhřevnost kolem 27 MJ/kg. Čím vyšší je karbonizační teplota, tím je tvrdší uhlí a větší obsah uhlíku (min. však 80 %) (Jakubes a kol., 2006). Uplatňuje se v metalurgii jako cementační prášek současně s uhličitanem barnatým a jinými látkami pro zvýšení tvrdosti ocele. Též se používá pro zvýšení tvrdosti ferositin a karbidů. Značné množství dřevěného uhlí slouží i při výrobě sirouhlíku, i když bývá hojně nahrazován koksem. V rozvojových zemích se používá na vytápění. V současnosti se však zvyšuje poptávka po dřevěném uhlí jako prostředku na grilování jídel, protože nevytváří kouř. Po aktivaci plyny nebo parami za teploty 850 – 900°C je vhodným absorbentem spalných plynů při suchém čištění spalin nebo katalyzátorem při čištění odpadních vod (Hrázský a Král, 1999).

#### **Technologie výroby**

Reakce probíhá v karbonizačních pecích nebo retortách. Karbonizační pece využívají části vsázky pro produkci tepla, kdežto do retort je teplo dodáváno zvenčí (Jakubes a kol., 2006).

### 3.2.5 Pyrolýza

#### Charakteristika

Podstatou pyrolýzy je ohřev materiálu za nepřístupu medií obsahujících kyslík nad mez termické stability přítomných organických sloučenin, což vede k jejich štěpení až na stálé nízkomolekulární produkty a tuhý zbytek (Hrázský a Král, 1999; Jakubes a kol., 2006;). Zároveň však probíhá i proces opačný, kondenzace a polymerace jednoduchých látek na látky velmi složité (Hrázský a Král, 1999). Pro lepší rozklad již za nižší teploty se přidává jako katalyzátor chlorid zinečnatý nebo uhličitán sodný (Kokrhelová a Jirout, 2008).

#### Technologie výroby

V první fázi pyrolýzy, do teploty 200 °C, dochází k sušení materiálu a tvorbě vodní páry fyzikálním odštěpením vody za dodání tepla. Tyto procesy jsou silně endotermické. Chemické přeměny jsou zanedbatelné. Do 275 °C se rozkládají labilní látky, uvolňují se oxidy uhlíku a palivo tmavne. V další fázi, suché destilaci, do 500 °C nastává bouřlivý exotermický rozklad a odštěpení bočních řetězců z vysokomolekulárních organických látek za vzniku kapalných i plynných produktů a pevného uhlíku. Za dalšího dodání tepla (až 1 200 °C) se palivo zbavuje prchavých produktů a zvyšuje se podíl uhlíku (Hrázský a Král, 1999).

Většina pyrolýzních systémů je založena na termickém rozkladu odpadu v rotační peci vytápěné zevně spaliny, které vznikají z následného spalování pyrolýzních plynů v tzv. termoreaktoru. Zbytek energie ze spálení plynů, která se nespoteřebuje na ohřev vsázky se využívá v kotlích na odpadní teplo k výrobě páry nebo teplé užitkové vody. Pyrolýzní plyn může být využit jako chemická surovina nebo jako palivo pro motory či plynové turbíny kogeneračních jednotek (Jakubes a kol., 2006).

Tzv. **rychlá pyrolýza** je jedním z velmi perspektivních procesů měnících biomasu ve formě dřeva a jiných odpadních materiálů na produkty vyšší energetické úrovně. Průběh je dán rychlým přívodem tepla do suroviny, udržováním potřebné teploty v pyrolýzním reaktoru (cca 450°C až 600°C) a krátkou dobou pobytu suroviny v reakční zóně (max. do 2 sekund). Produktem jsou zejména páry a aerosoly, v menší míře pak plyn a tuhé částice, které se musí ihned rychle ochladit (zkondenzovat) za vzniku tmavohnědé kapaliny, bio-oleje, o výhřevností 16 až 20 MJ/kg (Jakubes a kol., 2006).



## 4 Materiál a metodika

Vlastnímu sepsání práce předcházely sběr dat z odborné literatury a učebních textů vysokých škol. Na základě dostupné literatury jsou v příloze č. 3 uvedeny průměrné spotřeby energií a v příloze č. 4 náklady na výrobu tepla, případně elektrické energie z výroby biomasy, které byly dále použity ve výpočtech pro provoz navržené modelové vesnice.

Výsledky modelové vesnice jsou zpracovány formou tabulek. Porovnání výhodnosti prostého spalování, výroby elektrické energie a kombinované výroby elektrické energie a tepla jsou provedeny na základě kritérií pro hodnocení ekonomické efektivity. Jedná se o veličiny, pomocí kterých se posuzuje ekonomická efektivnost variantního investičního záměru v průběhu jeho životnosti (nebo stanovené doby sledování). Základem pro výpočet ekonomické efektivity je tabulka toků hotovostí, sestavená pro celou dobu hodnocení. Tato tabulka obsahuje všechny příjmy a výdaje navrhovaného zařízení v jednotlivých provozních letech. Je zde nutné zahrnout veškeré investiční a provozní náklady – na mzdy, pojištění, běžné opravy a údržbu, servis, generální opravy, poplatky za znečištění životního prostředí, daně, náklady na financování (splácení úvěrů) a další položky.

V praxi se nejčastěji používají kritéria čisté současné hodnoty, vnitřního výnosového procenta a kritérium doby návratnosti investic (Krbek a Polesný, 2007).

### 4.1 Metoda čisté současné hodnoty (ČSH)

ČSH se počítá podle vzorce 
$$ČSH = \sum_{t=0}^n \frac{Příjem_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{Výdaj_t}{(1+i)^t}$$

Čistá současná hodnota projektu je rozdíl mezi současnou hodnotou výnosů a současnou hodnotou nákladů projektu (učební texty VŠ).

Projekt je realizovatelný v případě, jestliže ČSH je rovna nule nebo větší, s ČSH menší než nula není přijatelný. Proto současná hodnota výnosů musí být větší nebo stejná jako současná hodnota nákladů, za podmínky, že obě položky jsou diskontovány stejnou a z hlediska investora přijatelnou diskontní sazbou (učební texty VŠ).

## 4.2 Metoda vnitřního výnosového procenta (VVP)

Vnitřní výnosové procento je taková diskontní sazba, při které platí, že současná hodnota výnosů bez současné hodnoty nákladů je rovna nule, neboli  $CSH = 0$ . Je mírou výnosovosti prostředků, vložených do realizace projektu. Projekt je přijatelný k realizaci, pokud je VVP rovno či větší než individuální diskontní sazba, přijatelná pro investora. V opačném případě je realizace projektu nepřijatelná.

VVP se počítá podle vzorce

$$VVP = i_n + \frac{\check{C}SH_n}{\check{C}SH_n - \check{C}SH_v} * (i_v - i_n)$$

kde  $i_n$  – nižší úroková míra,  $i_v$  – vyšší úroková míra

VVP vyjadřuje průměrnou výnosnost investice po celou dobu její životnosti. Při hledání VVP postupujeme iterací, kdy postupným dosazováním měněné diskontní míry dojdeme k nulové ČSH. Postup lze urychlit použitím lineární interpolace.

## 4.3 Doba návratnosti investic (DN)

Doba návratnosti investice vyjadřuje, za jak dlouho se počáteční investiční výdaje na investici vyrovnají příjmům z investice (jejich kumulativnímu součtu). Pokud investice vynáší každý rok stejný zisk (konstantní profit), stanovíme dobu návratnosti jako podíl investovaného kapitálu a daného konstantního zisku. Pokud jsou zisky za jednotlivé roky životnosti rozdílné, potom dobu návratnosti stanovíme jako rok, v němž při kumulativním součtu zisků došlo k překonání výše investičního kapitálu.

DN se počítá podle vzorce

$$DN = \frac{\text{Investiční výdaj}}{\phi \text{ roční CF}}$$

Doba návratnosti musí být nižší než doba životnosti.

## 5 Modelová vesnice

Pro sepsání vlastní práce jsem si vytvořila modelovou vesnici. V této vesnici se nachází 200 domů, z nichž je 75 domů rodinných (50 starých a 25 nových) a 125 domů řadových (100 starých domů a 25 domů nových). V obci žije 500 obyvatel. Staré rodinné domy jsou jednopatrové o rozloze  $5 \times 20 \text{ m}^2$ , zatímco nové rodinné domy mají dvě patra se základnou o ploše  $8 \times 10 \text{ m}^2$ . Celková plocha nových rodinných domů je potom  $150 \text{ m}^2$ . Staré řadové domy, kterých je v obci nejvíce, jsou rovněž jednopodlažní, a jejich výměra je  $60 \text{ m}^2$ . V posledních letech vznikají v obci především nové dvoupodlažní řadové domky se základnou o rozloze  $50 \text{ m}^2$ . V obci se dále nachází první stupeň základní školy s 5 třídami o celkové výměře  $600 \text{ m}^2$  a pilařský závod se sušárnou dříví. Pila ročně vyrobí kolem 10 000 t dřevního odpadu. Zhruba 2 – 3/4 množství vyprodukovaného odpadu se využije pro vlastní vytápění modelové vesnice a zbytek se prodává za tržní cenu daného dřevního odpadu. K pile náleží také 4komorová sušárna dříví a sklad paliva s kapacitou 6 000  $\text{m}^3$  dřeva (předpoklad zásoby dřeva na 3 měsíce).

Tento návrh modelové vesnice má ukázat, jak lze postupovat při skutečném výpočtu pro vybudování spalovacího zařízení k prostému spalování, výrobě elektrické energie nebo kombinované výrobě elektrické energie a tepla.

## 5.1 Celková spotřeba tepla a elektřiny

### 5.1.1 Výpočet celkové spotřeby tepla

Tabulka č. 2: Výpočet celkové spotřeby tepelné energie (z max. hodnot) pro modelovou vesnici (vlastní zdroj)

typ zástavby	stáří	počet domů	plocha (m <sup>2</sup> )	max. spotřeba tepla (kWh/m <sup>2</sup> /rok)	max. Q <sub>Ha</sub> (kWh/rok)	max. b <sub>VH</sub> (h/rok)	max. b <sub>VH</sub> celkem (h/rok)	max. Q <sub>N</sub> (kW)	max. spotřeba tepla celkem (kW)
rodinný dům	starý	50	100	230	1 150 000	1 600	80 000	14,38	719,00
	nový	25	150	120	450 000	1 600	40 000	11,25	281,25
řadový dům	starý	100	60	310	1 860 000	1 600	160 000	11,63	1 163,00
	nový	25	100	130	325 000	1 600	40 000	8,13	203,25
škola		1	600	125	125 000	1 500	1 500	83,33	83,33
pila		1	100	150 000	1500000	3 000	3 000	5000,00	5 000,00
<b>celkem</b>		<b>200+ 2</b>	-	-	<b>18 910 000</b>	-	-	-	<b>7 449,83</b>

Q<sub>N</sub>: Připojovací výkon/jmenovitý výkon odběratele (kW)

Q<sub>Ha</sub>: Roční spotřeba tepla všech odběratelů (kWh/rok)

b<sub>VH</sub>: Roční počet hodin plného odběru (h/rok)

### 5.1.2 Výpočet spotřeby elektrické energie

Tabulka č. 3: Spotřeba elektrické energie pro modelovou vesnici

typ zástavby	stáří	počet domů	průměrná spotřeba el. energie (kWh/den)	denní spotřeba pro všechny domy
rodinný dům	starý	50	9	450
	nový	25	5	125
řadový dům	starý	100	4	400
	nový	25	4	100
škola		1	60	60
pila + sušárna		1	500	500
<b>celkem</b>		<b>200 + 2</b>	-	<b>1 635</b>

Do celkové spotřeby musím ještě připočítat spotřebu elektrické energie na veřejné osvětlení, která v průměru činí při denním svícení v délce 8 hod. a při množství 300 lamp průměrně 100 kWh/den. Celková průměrná spotřeba elektrické energie činí 1 735 kWh/den, tj. 633 275 kWh/rok (odhad).

### 5.1.3 Výpočet spotřeby paliva

Tabulka č. 4: Porovnání nákladů na vytápění (palivo) pro vypočítanou spotřebu tepla modelové vesnice (18 910 MWh, resp. 68 076 GJ) (Novák, 2010)

palivo	výhřevnost (MJ/kg)	spalovací zařízení	cena za kg	cena Kč/kWh	spotřeba paliva(kg/rok)	náklady na palivo (Kč/rok)
štěpka	12,5	kotel na štěpky (80 %)	2,00	0,72	6 807 600	13 615 200
		kotel na pelety (85 %)		0,68	6 407 153	12 814 306
		kotel na zplynování dřeva (75 %)		0,77	7 261 440	14 522 880
brikety	17,5	kotel na zplynování dřeva (75 %)	4,80	1,32	5 186 743	24 896 366
		kotel na štěpky (80 %)		1,23	4 862 571	23 340 343
		kotel na pelety (85 %)		1,16	4 576 538	21 967 382
pelety dřevní	18,5	kotel na pelety (85 %)	4,70	1,08	4 329 157	20 347 040
		automatický kotel na pelety(95 %)		0,96	3 873 457	18 205 246
		kotel na štěpky (80 %)		1,14	4 599 730	21 618 730
pelety rostlinné	16,0	kotel na rostlinné pelety (90 %)	3,65	0,91	4 727 500	17 255 375
obilí	18,0	automatický kotel (85 %)	3,20	0,75	4 449 412	14 238 118

## 5.2 Výpočet nákladů

### 5.2.1 Investiční náklady na prosté spalování

#### 5.2.1.1 Investiční náklady na zařízení k prostému spalování

Tabulka č. 5: Investiční náklady na prosté spalování (vlastní zdroj)

typ zařízení	náklady na jednotku	skutečné náklady
výtopna (biomasa, kotel 3 MW pro vytápění ve špičce, budova, projektové náklady)	10 000 Kč/kW	30 000 000 Kč
teplovodní sítě (délka 3,5 km)	2 000 Kč/m	7 000 000 Kč
<b>celkem</b>	-	<b>37 000 000 Kč</b>

#### 5.2.1.2 Investiční náklady na zařízení pro výrobu štěpky

Investiční náklady na drtič dřevního odpadu .....120 000 Kč

### 5.2.2 Roční provozní náklady na prosté spalování

#### 5.2.2.1 Náklady na palivo – dřevní štěpky

Náklady na vytápění ..... 13 615 000 Kč/rok

Náklady na detonaci popela (150 t/rok)..... 300 000 Kč/rok

Vzhledem k tomu, že modelová vesnice má vlastní zdroj paliva (pilařský závod), nejsou tyto náklady na vytápění (palivo) do ročních provozních nákladů započítávány.

### 5.2.2.2 Ostatní náklady

Náklady pro vlastní spotřebu (1,5 % výkonu kotle) ...315 360 Kč/rok  
 Technická údržba a opravy (1, 5 % z investic) ..... 556 800 Kč/rok  
 Mzdy a pojištění (1 % z investic) ..... 371 200 Kč/rok  
 Odpisy .....1 000 000 Kč/rok

### 5.2.3 Celkové náklady na prosté spalování

Celkové investiční náklady .....37 120 000 Kč  
 Roční provozní náklady ..... 2 243 360 Kč

### 5.2.4 Investiční náklady na výrobu elektrické energie

#### 5.2.4.1 Investiční náklady na zařízení k výrobě elektřiny

Tabulka č. 6: Náklady na zařízení k výrobě elektrické energie (vlastní zdroj)

typ zařízení	náklady na jednotku	skutečné náklady
plynová turbína 1 MW bez budovy	2 500 Kč/kW	2 500 000 Kč
budova	10 000 000 Kč	10 000 000 Kč
kotel na biomasu 3 MW	8 000 Kč/kW	24 000 000 Kč
trafostanice (betonová buňka)	1 234 000 Kč	1 234 000 Kč
rozvody (3,5 km)	2 000 Kč/bm	7 000 000 Kč
<b>celkem</b>	-	<b>44 734 000 Kč</b>

#### 5.2.4.2 Investiční náklady na zařízení pro výrobu paliva

Investiční náklady na drtič dřevního odpadu .....120 000 Kč

#### 5.2.4.3 Náklady na projektování

Náklady na projektování (10 % z investic) ..... 4 485 400 Kč

## 5.2.5 Roční provozní náklady na výrobu elektrické energie

### 5.2.5.1 Ostatní náklady

Náklady pro vlastní spotřebu (1,5 % výkonu kotle) ...	315 360 Kč/rok
Technická údržba a opravy (1, 5 % z investic) .....	740 091 Kč/rok
Mzdy a pojištění (1 % z investic) .....	493 394 Kč/rok
Odpisy .....	1 000 000 Kč/rok

## 5.2.6 Celkové náklady na výrobu elektrické energie

Celkové investiční náklady .....	49 339 400 Kč
Roční provozní náklady .....	2 548 845 Kč

## 5.2.7 Investiční náklady na kogeneraci

### 5.2.7.1 Investiční náklady na zařízení ke kogeneraci

Tabulka č. 7: Náklady na kombinovanou výrobu tepla a energie (vlastní zdroj)

typ zařízení	náklady na jednotku	skutečné náklady
plynová turbína 1 MW bez budovy (kogenerace)	2 500 Kč/kW	2 500 000 Kč
kotel na biomasu (3 MW)	8 000 Kč/kW	24 000 000 Kč
budova	10 000 000 Kč	10 000 000 Kč
teplovodní sítě (3,5 km)	2 000 Kč/m	7 000 000 Kč
trafostanice (betonová buňka)	1 234 000 Kč	1 234 000 Kč
rozvody (3,5 km)	2 000 Kč/m	7 000 000 Kč
<b>celkem</b>	<b>-</b>	<b>51 734 000 Kč</b>

### 5.2.7.2 Investiční náklady na zařízení pro výrobu štěpky

Investiční náklady na drtič dřevního odpadu .....120 000 Kč

### 5.2.7.3 Náklady na projektování

Náklady na projektování (10 % z investic) ..... 5 185 400 Kč

## 5.2.8 Roční provozní náklady na kogeneraci

### 5.2.8.1 Ostatní náklady

Náklady pro vlastní spotřebu (1,5 % výkonu kotle) ...	315 360 Kč/rok
Technická údržba a opravy (1, 5 % z investic) .....	855 591 Kč/rok
Mzdy a pojištění (1 % z investic) .....	570 394 Kč/rok
Odpisy .....	1 000 000 Kč/rok

## 5.2.9 Celkové náklady na kogeneraci

Celkové investiční náklady .....	57 039 400 Kč
Roční provozní náklady .....	2 741 345 Kč

## 5.3 Výpočet výnosů

### 5.3.1 Výnosy za prodej tepla

3 MW kotel s účinností 80 % vyrobí ročně při 24h provozu max. 21 024 MWh/rok.

Tabulka č. 8: Výpočet výnosů za prodej tepla (vlastní zdroj)

účel výnosů	výše výnosů na jednotku	počet kWh/rok	skutečná výše výnosů (Kč)
cena za užitkové teplo vyrobené z biomasy pro místní spotřebitele (Ø)	0,72 Kč/kWh	18 910 000	13 615 200
cena za užitkové teplo vyrobené z biomasy do sítě (výkupní cena)	0,72 Kč/kWh	2 114 000	1 522 080
<b>celkem</b>	-	<b>21 024 000</b>	<b>15 137 280</b>

### 5.3.2 Výnosy za prodej elektrické energie

1 MW turbína s účinností 30 % vyrobí ročně při 24h provozu max. 2628 MWh/rok.

Tabulka č. 9: Výpočet výnosů za prodej elektrické energie (vlastní zdroj)

účel výnosů	výše výnosů na jednotku	počet kWh/rok	skutečná výše výnosů (Kč)
cena za el. energii vyrobenou z biomasy pro místní spotřebitele (Ø)	4, 54 Kč/kWh (prodejní cena)	633 275	2 875 069
výkupní cena elektřiny	3, 58 Kč/kWh	1 994 725	7 141 115
<b>celkem</b>	-	<b>2 628 000</b>	<b>10 016 184</b>



### 5.3.3 Výnosy za kogeneraci

3 MW kotel s účinností 80 % poskytuje 1,25 MW na pohon turbíny a ze zbytku, tj. 1,75 MW se vyrobí při 24h provozu max. 12 264 MWh/rok tepla. Turbína s el. účinností 30 % vyrobí ročně při 24h provozu max. 2 628 MWh/rok el. energie a zároveň s tepelnou účinností 55 % vyrobí ročně při 24h provozu max. 4 818 MWh/rok tepla. Celková výroba tepla je tedy 17 082 MWh/rok. Na úkor vyšší spotřeby tepla lze optimálně snížit výrobu elektrické energie. Výnosy za prodej do sítě by pak byly pouze za přebytek elektrické energie. Výkon turbíny však nemá poklesnout pod 50 % účinnosti. Nejvyšší účinnosti je pak dosahováno při výkonu turbíny 0,56 MW (kotel poskytuje 0,7 MW na výrobu elektrické energie a tepla pro turbínu).

Tabulka č. 10: Výpočet výnosů za kogeneraci (vlastní zdroj)

účel výnosů	výše výnosů na jednotku	počet kWh/rok	skutečná výše výnosů (Kč)
cena za užitkové teplo vyrobené z biomasy pro místní spotřebitele (Ø)	0,72 Kč/kWh	18 910 000	13 615 200
cena za užitkové teplo vyrobené z biomasy do sítě (výkupní cena)	0,72 Kč/kWh	0	0
<b>celkem za vyrobené teplo</b>	<b>0</b>	<b>18 910 000</b>	<b>13 615 200</b>
cena za el. energii vyrobenou z biomasy pro místní spotřebitele (Ø)	4,54 Kč/kWh (prodejní cena)	633 275	2 875 069
výkupní cena elektřiny	3,58 Kč/kWh	963 300	555 437
<b>celkem za vyrobenou elektřinu</b>	<b>0</b>	<b>1 596 575</b>	<b>3 430 506</b>
<b>celkové výnosy za kogeneraci</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>17 045 706</b>

### 5.3.4 Porovnání výnosů z jednotlivých zařízení

Tabulka č. 11: Čistý zisk z provozovaného zařízení (vlastní zdroj)

ukazatel	prosté spalování	výroba elektřiny	kogenerace
<b>náklady na provozované zařízení</b>			
investiční náklady	37 120 000	44 854 000	51 854 000
náklad na projektování	0	4 485 400	5 185 400
<b>celkové investiční náklady</b>	<b>37 120 000</b>	<b>49 339 400</b>	<b>57 039 400</b>
roční provozní náklady	2 243 360	2 548 845	2 741 345
<b>celkové roční provozní náklady</b>	<b>2 243 360</b>	<b>2 548 845</b>	<b>2 741 345</b>
<b>výnosy z provozovaného zařízení</b>			
zisk za vlastní výrobu tepla	13 615 200	0	13 615 200
prodej tepla do sítě	1 522 080	0	0
zisk za vlastní výrobu elektřiny	0	2 875 069	2 875 069
prodej elektřiny do sítě	0	7 141 115	555 437
<b>celkové roční výnosy z provozu</b>	<b>15 137 280</b>	<b>10 016 184</b>	<b>17 045 706</b>

čistý zisk z provozovaného zařízení			
celkový zisk	12 893 920	7 467 339	14 304 361

Tabulka č. 12: Přepočítaný zisk pro odběr tepla a zároveň elektřiny (vlastní zdroj)

ukazatel	prosté spalování	výroba elektřiny	kogenerace
<b>roční provozní náklady</b>			
<b>celkové roční provozní náklady</b>	<b>-2 243 360</b>	<b>-2 548 845</b>	<b>-2 741 345</b>
<b>dosažitelné výnosy</b>			
zisk za vlastní výrobu tepla	+13 615 200	0	+13 615 200
prodej/nákup tepla do/ze sítě	+1 522 080	-5 673 000	0
zisk za vlastní výrobu elektřiny	0	+2 875 069	+2 875 069
prodej/nákup elektřiny do/ze sítě	-2 875 069	+7 141 115	+555 437
<b>celkové roční výnosy z provozu</b>	<b>+12 262 211</b>	<b>+4 343 184</b>	<b>+17 045 706</b>
<b>čistý zisk</b>			
<b>celkový zisk</b>	<b>+10 018 851</b>	<b>+1 794 333</b>	<b>+14 304 361</b>

## 5.4 Efektivnost investic

### 5.4.1 Efektivnost investic pro prosté spalování

Celkové investiční náklady .....37 120 000 Kč

Roční provozní náklady (bez nákladů na palivo) ..... 2 243 360 Kč

Celkové výnosy (jen výnosy za výrobu tepla) ..... 15 137 280 Kč

#### 5.4.1.1 ČSH pro prosté spalování

$$\text{ČSH} = \sum_{t=0}^n \frac{\text{Příjem}_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{\text{Výdaj}_t}{(1+i)^t}$$

Tabulka č. 13: ČSH pro různé sazby úrokové míry u spalování (vlastní zdroj)

prosté spalování						
rok	náklady	kumulativní náklady	výnosy	kumulativní výnosy	ČSH	i
0	-37120000	-37120000	0	0	-37120000	25%
1	-1794688	-38914688	12109824	12109824	-26804864	
5	-735104	-43153023	4960184	40708384	-2444639	
6	-588083	-43741107	3968147	44676531	935424	
0	-37120000	-37120000	0	0	-37120000	20%
1	-1869467	-38989467	12614400	12614400	-26375067	
2	-1557889	-40547356	10512000	23126400	-17420956	
3	-1298241	-41845597	8760000	31886400	-9959197	
4	-1081867	-42927464	7300000	39186400	-3741064	
5	-901556	-43829020	6083333	45269733	1440713	

0	-37120000	-37120000	0	0	-37120000	15%
1	-1950748	-39070748	13162852	13162852	-25907896	
2	-1696302	-40767050	11445958	24608810	-16158240	
3	-1475046	-42242096	9953007	34561817	-7680279	
4	-1282648	-43524744	8654789	43216606	-308138	
5	-1115346	-44640090	7525903	50742509	6102419	
0	-37120000	-37120000	0	0	-37120000	10%
1	-2039418	-39159418	13761164	13761164	-25398254	
2	-1854017	-41013435	12510149	26271313	-14742122	
3	-1685470	-42698905	11372863	37644176	-5054729	
4	-1532245	-44231150	10338966	47983142	3751992	
0	-37120000	-37120000	0	0	-37120000	8%
1	-2077185	-39197185	14016000	14016000	-25181185	
2	-1923320	-41120505	12977778	26993778	-14126727	
3	-1780851	-42901356	12016461	39010239	-3891117	
4	-1648937	-44550293	11126353	50136591	5586298	

#### 5.4.1.2 VVP pro prosté spalování

$$\sum_{t=0}^n \frac{V_t}{(1+VVP)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{N_t}{(1+VVP)^t}$$

Tabulka č. 14: Vnitřní výnosové procento pro prosté spalování (vlastní zdroj)

roky	náklady	kumulativní náklady	výnosy	kumulativní výnosy	cash flow	i
0	-37120000	-37120000	0	0	-37120000	35%
1	-1661748	-38781748	11212800	11212800	-27568948	
17	-50392	-43571889	340024	43534721	-37168	
18	-40313	-43612203	272019	43806740	194537	
19	-32251	-43644453	217615	44024355	379902	

#### 5.4.1.3 DN pro prosté spalování

Tabulka č. 15: Doba návratnosti investice pro prosté spalování (vlastní zdroj)

rok	náklady	kumulativní náklady	výnosy	kumulativní výnosy	cash flow
1	37120000	37 120 000	-	-	-37 120 000
2	2243360	39 363 360	15137280	15 137 280	-24 226 080
3	2243360	41 606 720	15137280	30 274 560	-11 332 160
4	2243360	43 850 080	15137280	45 411 840	+ 1 561 760

## 5.4.2 Efektivnost investic pro výrobu elektrické energie

Celkové investiční náklady ..... 49 339 400 Kč

Celkové roční provozní náklady (bez paliva) ..... 2 233 485 Kč

Celkové výnosy (jen z výroby elektřiny).....10 016 274 Kč

### 5.4.2.1 ČSH pro výrobu elektrické energie

$$\text{ČSH} = \sum_{t=0}^n \frac{\text{Příjem}_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{\text{Výdaj}_t}{(1+i)^t}$$

Tabulka č. 16: ČSH pro různé sazby úrokové míry u výroby elektřiny(vlastní zdroj)

výroba elektrické energie						
rok	náklady	kumulativní náklady	výnosy	kumulativní výnosy	ČSH	i
0	-49339400	-49339400	0	0	-49339400	25%
1	-1786788	-51126188	8013019	8013019	-43113169	
20	-25750	-58170339	115480	39603177	-18567162	
30	-2765	-58262280	12400	40015498	-18246782	
0	-49339400	-49339400	0	0	-49339400	20%
1	-1861238	-51200638	8346895	8346895	-42853743	
5	-897588	-56018887	4025316	29954791	-26064096	
10	-360720	-58703224	1617684	41992949	-16710275	
20	-58258	-60215533	261265	48775045	-11440488	
30	-9409	-60459780	42196	49870391	-10589389	
0	-49339400	-49339400	0	0	-49339400	15%
1	-1942161	-51281561	8709803	8709803	-42571758	
5	-1110437	-56826388	4979858	33576104	-23250284	
10	-552083	-60548744	2475870	50269362	-10279382	
20	-136467	-63319523	611997	62695179	-624344	
21	-118667	-63438190	532171	63227351	-210839	
22	-103188	-63541378	462758	63690108	148730	
0	-49339400	-49339400	0	0	-49339400	10%
1	-2030441	-51369841	9105704	9105704	-42264137	
5	-1386818	-57806065	6219318	37969559	-19836506	
10	-861105	-63063198	3861707	61545668	-1517530	
15	-534679	-66327464	2397816	76184576	9857112	
0	-49339400	-49339400	0	0	-49339400	8%
1	-2068042	-51407442	9274328	9274328	-42133114	
5	-1520072	-58257058	6816908	39992078	-18264980	
9	-1117299	-63291730	5010631	62570541	-721189	
10	-1034536	-64386266	4639473	67210014	2823748	

#### 5.4.2.2 VVP pro výrobu elektrické energie

$$\sum_{t=0}^n \frac{V_t}{(1 + VVP)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{N_t}{(1 + VVP)^t}$$

Tabulka č. 17: Vnitřní výnosové procento pro výrobu elektřiny (vlastní zdroj)

rok	náklady	kumulativní náklady	výnosy	kumulativní výnosy	cash flow	i
0	-49339400	-49339400	0	0	-49339400	15%
1	-1942161	-51281561	8709803	8709803	-42571758	
5	-1110437	-56826388	4979858	33576104	-23250284	
10	-552083	-60548744	2475870	50269362	-10279382	
20	-136467	-63319523	611997	62695179	-624344	
21	-118667	-63438190	532171	63227351	-210839	
22	-103188	-63541378	462758	63690108	148730	

#### 5.4.2.3 DN pro výrobu elektrické energie

Tabulka č. 18: Doba návratnosti investice pro výrobu elektřiny (vlastní zdroj)

rok	náklady	kumulativní náklady	výnosy	kumulativní výnosy	cash flow
1	49 339 400	49 339 400	-	-	-49339400
2	2 233 485	51 572 885	10016274	10 016 274	-41556611
3	2 233 485	53 806 370	10016274	20 032 548	-33773822
4	2 233 485	56 039 855	10016274	30 048 822	-25991033
5	2 233 485	58 273 340	10016274	40 065 096	-18208244
6	2 233 485	60 506 825	10016274	50 081 370	-10425455
7	2 233 485	62 740 310	10016274	60 097 644	-2642666
8	2 233 485	64 973 795	10016274	70 113 918	+5140123

### 5.4.3 Efektivnost investic pro kogeneraci

Celkové investiční náklady .....57 039 400 Kč

Roční provozní náklady ..... 2 741 345 Kč

Celkové výnosy .....17 045 706 Kč

#### 5.4.3.1 ČSH pro různé sazby diskontního faktoru

$$\check{C}SH = \sum_{t=0}^n \frac{Příjem_t}{(1 + i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{Výdaj_t}{(1 + i)^t}$$

Tabulka č. 19: ČSH pro různé sazby úrokové míry u kogenerace (vlastní zdroj)

kogenerace						
rok	náklady	kumulativní náklady	výnosy	kumulativní výnosy	ČSH	i
0	-57039400	-57039400	0	0	-57039400	25%
1	-2193076	-59232476	13636565	13636565	-45595911	
5	-898284	-64411644	5585537	45840676	-18570968	
10	-294350	-66827381	1830269	60861749	-5965632	
20	-31606	-67878358	196524	67396730	-481628	
25	-10357	-67963354	64397	67925237	-38117	
26	-8285	-67971639	51517	67976754	5115	
0	-57039400	-57039400	0	0	-57039400	20%
1	-2284454	-59323854	14204755	14204755	-45119099	
5	-1101685	-65237700	6850287	50977095	-14260605	
8	-637549	-67558379	3964286	65407098	-2151281	
9	-531291	-68089670	3303572	68710670	621000	
0	-57039400	-57039400	0	0	-57039400	15%
1	-2383778	-59423178	14822353	14822353	-44600825	
5	-1362933	-66228814	8474728	57139850	-9088964	
6	-1185159	-67413973	7369329	64509179	-2904794	
7	-1030573	-68444546	6408112	70917292	2472746	
0	-57039400	-57039400	0	0	-57039400	10%
1	-2492132	-59531532	15496096	15496096	-44035436	
5	-1702160	-67431254	10584042	64616637	-2814617	
6	-1547418	-68978672	9621857	74238493	5259821	
0	-57039400	-57039400	0	0	-57039400	8%
1	-2538282	-59577682	15783061	15783061	-43794621	
2	-2350261	-61927943	14613945	30397006	-31530937	
3	-2176168	-64104111	13531431	43928437	-20175674	
4	-2014970	-66119081	12529103	56457540	-9661541	
5	-1865713	-67984796	11601021	68058561	73765	

#### 5.4.3.2 VVP pro kogeneraci

$$\sum_{t=0}^n \frac{V_t}{(1+VVP)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{N_t}{(1+VVP)^t}$$

Tabulka č. 20: Vnitřní výnosové procento pro kogeneraci (vlastní zdroj)

rok	náklady	kumulativní náklady	výnosy	kumulativní výnosy	ČSH	i
0	-57039400	-57039400	0	0	-57039400	25%
1	-2193076	-59232476	13636565	13636565	-45595911	
5	-898284	-64411644	5585537	45840676	-18570968	
10	-294350	-66827381	1830269	60861749	-5965632	
20	-31606	-67878358	196524	67396730	-481628	
25	-10357	-67963354	64397	67925237	-38117	
26	-8285	-67971639	51517	67976754	5115	

### 5.4.3.3 DN

Tab. č. 21: Doba návratnosti investice pro kogeneraci (vlastní zdroj)

roky	náklady	kumulativní náklady	výnosy	kumulativní výnosy	cash flow
1	57039400	57 039 400	-	-	-57039400
2	2741345	59 780 745	17045706	17 045 706	-42735039
3	2741345	62 522 090	17045706	34 091 412	-28430678
4	2741345	65 263 435	17045706	51 137 118	-14126317
5	2741345	68 004 780	17045706	68 182 824	+ 178044

## 6 Diskuse

Biomasa v sobě skrývá obrovský potenciál – jak materiálový, tak i energetický. Podle zákona o odpadech č. 185/2001 Sb., by mělo materiálové využití předcházet jinému (energetickému) využití. Jelikož však technologie materiálového využití nemusí existovat nebo nejsou na dostatečné úrovni, a zároveň vlivem vzrůstajících nároků na spotřebu energií, bývá energetické využití biomasy upřednostňováno. Z tohoto důvodu se tato bakalářská práce zabývá především energetickým využitím biomasy. Pro modelovou vesnici se snaží navrhnout systém samozásobení kombinovanou výrobou tepla a elektrické energie z biomasy v porovnání s prostým spalováním spojeným s odběrem energie ze sítě a výrobou elektrické energie spojené s odběrem tepla ze sítě. Pro snazší porovnání bylo zvoleno pro všechny způsoby energetického využití biomasy stejné zařízení – kotel na spalování biomasy o výkonu 3 MW (pro výrobu páry k vytápění nebo pohonu turbíny) a plynová turbína ke kogeneraci o výkonu 1 MW (pro výrobu elektrické energie i kogeneraci), ačkoli by např. pro výrobu elektrické energie byla výhodnější parní kondenzační turbína.

V mnou navržené modelové vesnici žije 500 obyvatel. Nachází se zde 200 domů, z nichž 75 tvoří rodinné domy (50 domů staré a 25 domů nové zástavby) a 125 řadové domy (100 domů staré a 25 domů nové zástavby), dále škola pro první stupeň základního vzdělání a pilařský závod se 4komorovou sušárnou dříví a skladem na palivo. Z dostupných informací o průměrné spotřebě tepla, energií a paliva vyráběného z biomasy pro daná zařízení, které jsou uvedeny v příloze č. 2 v tabulkách č. 22 – 25, byly vypočítány údajné roční spotřeby tepla i elektrické energie pro modelovou vesnici a na základě investičních nákladů zvoleny technologická zařízení o daných výkonech pro výrobu tepla i elektrické energie.

Spotřeba tepla pro modelovou vesnici, vypočítaná podle tabulek č. 22 a 23 na str. 68 přílohy č. 2, činí 18 910 000 kWh/rok a spotřeba elektrické energie z tab. č. 24 na str. 69 přílohy č. 2 je 1 635 kWh/den, což odpovídá po přičtení 100 kWh/den na veřejné osvětlení, 633 275 kWh/rok.

Nejoptimálnějším biopalivem na základě ceny na výrobu jednotkového množství paliva a nízké pořizovací ceny za zařízení ke spalování s poměrně vysokou účinností (až 80 %) jsou dřevní štěpky, jak plyne z tab. č. 25 na str. 69 přílohy č. 2. Výroba dřevní štěpky je mnohem levnější (2 Kč/kg) oproti briketám (4,80 Kč/kg) a peletám (3,50 – 4,70 Kč/kg), ačkoli je její spotřeba 1,5krát vyšší. Navíc pro výrobu dřevní štěpky je potřeba pouze drtič a kotel na spalování, zatímco k výrobě briket či pelet musí být pořízeny celé linky. V tabulce jsou dále uvedeny výhřevnosti jednotlivých druhů biomasy a náklady na vytápění těmito biopalivy pro danou spotřebu modelové vesnice.

Výnosy pro modelovou vesnici plynou zejména z prodeje přebytečného množství tepla, viz tabulka č. 8 na str. 48, a elektrické energie, viz tabulka č. 9 na str. 48, do sítě. Podkladem k jejich výpočtu sloužily ceny za výkup a prodej tepla a elektrické energie z ERÚ pro rok 2011. Z porovnání výnosů zařízení na základě tabulky č. 11 na str. 49 a tabulky č. 12 na str. 50 plyne, že modelová vesnice by měla největší zisky při vybudování zařízení na kombinovanou výrobu tepla a energie. Zisky při vybudování zařízení na výrobu pouze elektrické energie nebo na prosté spalování jsou nižší ve srovnání s kogenerací, protože spotřebitelé stejně musí za teplo nebo elektrickou energii odebranou ze sítě zaplatit. V případě prostého spalování by modelová vesnice byla soběstačná ve výrobě tepla, ale elektrickou energii by museli spotřebitelé odebírat ze sítě. Podobně při výrobě elektrické energie by vesnice byla soběstačná



v samozásobení elektřinou, ale spotřebitelé by museli platit za odběr tepla ze sítě, nebo si zajišťovat vlastní výrobu tepla lokálními topeništi. Investiční náklady na zařízení by rovněž mohly být sníženy, protože k zásobení turbíny o výkonu 1 MW by stačil kotel o výkonu 2 MW. Navíc by parní turbína mohla být nahrazena levnější kondenzační turbínou, která je vhodná pouze pro výrobu elektrické energie. Systém kombinované výroby elektrické energie a tepla by měl zajišťovat kompletní soběstačnost dané modelové vesnice, jak v dodávkách elektrické energie, tak i tepla. Z důvodu, aby nedocházelo k nedostatečnému zásobení modelové vesnice teplem a elektrickou energií, bylo ve výpočtech počítáno s maximální spotřebou tepla i energií a za tímto účelem byl rovněž zvolen výkon daných zařízení. V případě odstávky kotle nebo turbíny je však třeba počítat s náhradními zdroji nebo připojením k centrální síti zásobování teplem a energií.

Pořízení biotechnologií na prosté spalování, výrobu elektrické energie, ale zejména kogeneraci je poměrně nákladné a vyžaduje značné vstupní investice. Ty mohou pocházet z vlastního nebo cizího kapitálu. Porovnání investičních nákladů s výnosy, které investice přinese za období životnosti zařízení k energetickému využití biomasy se posuzuje na základě ekonomické efektivity investic. Výsledkem hodnocení je rozhodnutí, zda investici vůbec uskutečnit, popřípadě výběr nejvýhodnější varianty technologického řešení. V praxi se používají zejména metody čisté současné hodnoty (ČSH), vnitřního výnosového procenta (VVP) a doby návratnosti investice (DN).

Čistá současná hodnota vypovídá o tom, za jakou dobu při měnící se úrokové míře dosáhne investor zisku při plném zainvestování daného zařízení z úvěru. Pro porovnání prostého spalování, výroby elektrické energie a kogenerace byly voleny diskontní sazby 25 %, 20 %, 15 %, 10 % a 8 %. Při 25 % byla návratnost investice u prostého spalování za 6 let, u výroby elektrické energie ji nebylo možné stanovit a u kogenerace byla za 26 let. Hlavním důvodem, proč ČSH pro diskontní faktor 25 % nešla stanovit bylo to, že výnosy nebyly dostatečné ani k tomu, aby pokryly investiční náklady k vybudování daného zařízení. Při 20 % byla návratnost investice u prostého spalování již 5 let, u výroby elektrické energie opět ještě nešla stanovit a u kogenerace poklesla dokonce až na 9 let. Tento vysoký pokles z 26 let při 25 % na 9 let při 20 % u kogenerační jednotky byl způsoben vysokými zisky za kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Při 15 % diskontní míře byla návratnost investice u prostého spalování rovněž 5 let, u výroby

elektrické energie 22 let a u kogenerace 7 let. Při 10 % pak byla návratnost investice u prostého spalování 4 roky, u výroby elektrické energie 15 let a u kogenerace 6 let. Nejkratší doba návratnosti investice byla u nejnižší zvolené diskontní míry, tj. 8 %, a to u prostého spalování 4 roky, u výroby elektrické energie 10 let a u kogenerace 5 let. Z toho je patrné, že nejvýhodnějším způsobem energetického využití vzhledem k nejkratší době návratnosti investice, ale také k nejlevnějším pořizovacím investicím a poměrně vysokému zisku za prodej tepla, je prosté spalování. Nejvíce je to patrné při 25% diskontní míře, kdy doba návratnosti je oproti 26 rokům u kogenerace jen 6 let, zatímco při nejnižší úrokové míře 8 % dochází téměř k vyrovnání doby návratnosti investice s kogenerací.

Obdobou čisté současné hodnoty je metoda vnitřního výnosového procenta (VVP). Je to taková úroková míra, při které se ještě investorovi vyplatí investovat do daného zařízení. Veškeré úroky vyšší než tato diskontní míra jsou již pro investora nevýhodné, jelikož výnosy již nestačí pokrýt náklady na realizaci projektu. Naopak pod touto hranicí je projekt realizovatelný s menším nebo nulovým ziskem (ČSH se blíží k 0). Pro prosté spalování je VVP při vypočítaných nákladech a výnosech 35 %, pro výrobu elektrické energie 15 % a pro kogeneraci 25 %.

Doba návratnosti investice (DN) vypovídá pouze o tom, za jak dlouho by při stálých nákladech a výnosech byla splacena vložená investice, aniž by byl čerpán úvěr na tuto investici. Není všeobecnou mírou pro posuzování investic, poskytuje pouze informace o riziku investice (čím kratší, tím méně rizika), jelikož není diskontována. U prostého spalování činí DN 4 roky, u výroby elektřiny 8 let a u kogenerace 5 let.

## 7 Závěr

Důvodem pro napsání této práce byla otázka, zda a za jakých podmínek by mohla být modelová vesnice soběstačná v dodávkách elektrické energie i tepla, jelikož náklady na odběry elektřiny a tepla ze sítí jsou poměrně veliké. Pro snazšího porovnání byla zvolena stejná zařízení pro prosté spalování, výrobu elektrické energie i kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Rovněž při výpočtech výnosů byla zvolena stejná výše cen podle platných tarifů ERÚ pro rok 2011 jako je prodejní cena z centrálních sítí.

Spotřeba tepla pro danou modelovou vesnici je 18 910 000 kWh/rok. Aby byly pokryty veškeré náklady na vytápění, byl zvolen kotel na biomasu o výkonu 3 MW. Výkon kotle by měl být postačující i k pohonu plynové turbíny o výkonu 1 MW k zásobení vesnice elektrickou energií při spotřebě 633 275 kWh/rok elektrické energie. Pokud dané zařízení vyrobí požadované množství tepla nebo elektřiny, může přebytek prodávat za výkupní cenu do sítě. V případě prostého spalování pochází zisk zejména z prodeje tepla do sítě, ale tento zisk je snížen o nákup elektrické energie ze sítě pro spotřebitele. U výroby elektrické energie je poměrně velký zisk z prodeje přebytku elektřiny do sítě, vzhledem k vysokému výkonu turbíny. Ten je však potřeba zejména k pokrytí provozu ve špičce. Zásobování teplem může být řešeno odběrem z centrální sítě nebo výhodněji lokálními topeništi. Naopak kogenerační jednotka využívá téměř veškerou výrobu tepla i elektrické energie k zásobení vesnice a přebytky k prodeji do sítě jsou jen minimální.

Z celkového porovnání zařízení k energetickému využití biomasy na základě tabulky č. 11 na str. 49 a tabulky č. 12 na str. 50 plyne, že nejvyšší zisky pocházejí z kombinované výroby elektřiny a tepla. V tabulce však není zahrnuta vstupní investice, která je naopak u kogenerace nejvyšší. Na základě ekonomického srovnání a návratnosti investice je nejvýhodnější prosté spalování. Při úrokové míře 8 % a nižší však dochází k vyrovnání návratnosti investice a kogenerace se tak stává velice atraktivní.

Samozásobení modelové vesnice kogeneračním zařízením je možné pouze v tom případě, pokud má vesnice dostatečné zásoby suroviny, případně odpadu na bázi biomasy k energetickému využití. Může se jednat o odpad z lesnictví nebo zemědělské výroby. Porovnání více druhů biomasy by jistě bylo velice zajímavé, ale z důvodu širokého rozsahu této bakalářské práce již nebylo možné jej zahrnout. Jako optimální palivo pro danou modelovou vesnici byly zvoleny dřevní štěpky, jelikož náklady na jejich výrobu jsou nejlevnější, jak ukazuje tabulka č. 4 na str. 45. V případě, že by vesnice neměla zásoby vlastního paliva a musela by palivo nakupovat, i když jen za minimální cenu, byly by roční provozní náklady mnohem vyšší a výnosy z přebytečného množství vyprodukovaného tepla a elektrické energie z kogenerace by nemusely pokrýt jejich výši. Tím by zařízení nebylo schopno splácet ani investiční náklady a projekt by tak nebyl realizovatelný. Rovněž vlastní kapitál a nízká úroková míra umožňují přednostně využití kogeneračních zařízení před prostým spalováním.

Problémem pro navrženou modelovou vesnici by mohlo být nedostatečné zásobování elektrickou energií. V době špičky by mohlo dojít k přetížení místní rozvodné sítě a turbíny, což by se muselo řešit buď náhradním záložním zdrojem na výrobu elektrické energie, nebo napojením na centrální rozvodnou síť. To platí i v případě odstávky turbíny.

V případě výroby tepla hrozí naopak nedostatek jeho odebírání, zejména přes letní období. Aby mohlo být vyráběno dostatečné množství elektrické energie, musí být odebíráno co největší množství tepla. Částečným řešením je právě sušárna dříví, která by přes kritické období mohla dostatečný odběr tepla zajistit. Kotel a tudíž i turbínu lze rovněž na určité období odstavit, ale to už by vesnice nebyla zejména v dodávkách elektrické energie soběstačná a musela by být napojena na centrální rozvodnou síť.

Vzhledem k vyššímu navrhovanému výkonu kotle i turbíny by však zásobení modelové vesnice mělo být dostatečné a napojení na centrální síť by mělo sloužit zejména k dodávání přebytečného množství tepla nebo elektrické energie do sítě, než naopak. Vyšší zisky z prodeje tepla nebo elektřiny by pak mohly sloužit k rychlejšímu návratu investic. U kogenerační jednotky bych však byla opatrnější a volila záložní kotel. Přesto však kogenerační zařízení považuji jako nejlepší variantu pro danou modelovou vesnici. Je to dobrý způsob, jak využít okolní biomasu a učinit tak vesnici soběstačnou v dodávkách tepla i elektrického proudu.

## Seznam tabulek, obrázků a grafů

### Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Příklady technického využití biomasy

Tabulka č. 2: Výpočet celkové spotřeby tepelné energie (z max. hodnot)  
pro modelovou vesnici

Tabulka č. 3: Spotřeba elektrické energie pro modelovou vesnici

Tabulka č. 4: Porovnání nákladů na vytápění (palivo) pro vypočítanou spotřebu  
tepla modelové vesnice

Tabulka č. 5: Investiční náklady na prosté spalování

Tabulka č. 6: Náklady na zařízení k výrobě elektrické energie

Tabulka č. 7: Náklady na kombinovanou výrobu tepla a energie

Tabulka č. 8: Výpočet výnosů za prodej tepla

Tabulka č. 9: Výpočet výnosů za prodej elektrické energie

Tabulka č. 10: Výpočet výnosů za kogeneraci

Tabulka č. 11: Čistý zisk z provozovaného zařízení

Tabulka č. 12: Přepočítaný zisk pro odběr tepla a zároveň elektřiny

Tabulka č. 13: ČSH pro různé sazby úrokové míry u spalování

Tabulka č. 14: Vnitřní výnosové procento pro prosté spalování

Tabulka č. 15: Doba návratnosti investice pro prosté spalování

Tabulka č. 16: ČSH pro různé sazby úrokové míry u výroby elektřiny

Tabulka č. 17: Vnitřní výnosové procento pro výrobu elektřiny

Tabulka č. 18: Doba návratnosti investice pro výrobu elektřiny

Tabulka č. 19: ČSH pro různé sazby úrokové míry u kogenerace

Tabulka č. 20: Vnitřní výnosové procento pro kogeneraci

Tabulka č. 21: Doba návratnosti investice pro kogeneraci

## **Seznam obrázků**

Obrázek č. 1: Schéma bioplynové stanice

Obrázek č. 2: Schéma oběhu vody v bubnovém kotli

Obrázek č. 3: Schéma oběhu vody v průtočném kotli

Obrázek č. 4: Fluidní kotel

Obrázek č. 5: Schéma zapojení kondenzační turbíny

Obrázek č. 6: Schéma zapojení turbíny s rekuperací tepla

Obrázek č. 7: Schéma elektrárny se spalovacími turbínami

A) s otevřeným okruhem

B) s uzavřeným okruhem

Obrázek č. 8: Schéma zapojení spalovacího pístového motoru

Obrázek č. 9: Schéma kogenerační jednotky s mikroturbínou

Obrázek č. 10: Princip práce Stirlingova motoru

Obrázek č. 11: Schéma zapojení kogenerace s palivovým článkem

Obrázek č. 12: Schéma organického Rankinova cyklu

## **Seznam grafů**

Graf č. 1: Závislost elektrického a tepelného výkonu protitlakové parní turbíny

Graf č. 2: Závislost elektrického a tepelného výkonu odběrové parní turbíny

Graf č. 3: Závislost elektrického a tepelného výkonu turbíny s rekuperací tepla

Graf č. 4: Závislost elektrického a tepelného výkonu pístového spalovacího motoru

## Literární přehled

ABRHAM, Z., MUŽÍK, O., 2006: *Využití a ekonomika bioplynových stanic v zemědělském podniku*. Vyzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. Praha, 2006. Dostupné z URL: <[www.vuzt.cz/doc/ekonomika/BP\\_kejda\\_PDF.pdf?menuid=482](http://www.vuzt.cz/doc/ekonomika/BP_kejda_PDF.pdf?menuid=482)>

BAČÍK, O., 2008: *Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu*. Biom.cz [online]. 2008-01-14 [cit. 2010-02-14]. Dostupné z URL: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovy-stanice-technologie-celonarodniho-vyznamu>>. ISSN: 1801-2655.

BERANOVSKÝ, J., KAŠPAROVÁ, M. a kol., 2007: *Kombinovaná výroba elektřiny a tepla*. Státní program na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2007 – část A – PROGRAM EFEKT. EkoWATT. Dostupné z URL: <<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/uspory-energie/kombinovana-vyroba-elekriny-a-tepla>>

FUKSA, P., HAKL, J., 2009: *Využití pícních plodin pro výrobu bioplynu*. Biom.cz [online]. 2009-11-25 [cit. 2010-02-14]. Dostupné z URL: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-picnich-plodin-pro-vyrobu-bioplynu>>. ISSN: 1801-2655.

GERNDTOVÁ, I., 2006: *Využití biomasy trav k energetickým účelům se zaměřením na produkci bioplynu*. Bakalářská práce, FAPPZ ČZU v Praze, 60 s.

HOLZ, T., 2007: *Topíme dřevěnými peletami*. Grada, Praha. 133 s. ISBN 978-80-247-1634-3.

HRÁZSKÝ, J., KRÁL, P., 1999: *Využití dřevních a jiných lignocelulózových odpadů*. Brno. ISBN 80-7157-403-1.

JAKUBES, J. a kol., 2006: *Moderní využití biomasy, technologické a logistické možnosti*. Praha, 2006 [cit. 2010-11-20]. Dostupné z URL: <[www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf)>

KAFKA, Z., 2008: *Základy ochrany životního prostředí – část odpady*. Skripta, Ústav chemie ochrany prostředí, VŠCHT, Praha.

KARAFIÁT, J. a kol., 2006: *Sborník technických řešení zdrojů s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla*. ORTEP, s.r.o., Praha. Dostupné z URL: <[www.mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf)>

KOCOURKOVÁ, D., FUKSA P., 2006: *Využití travní fytomasy pro výrobu bioplynu*. In: *Nové poznatky v píceinářství a trávníkářství*. Sborník příspěvků z odborného semináře „Univerzitní píceinářské dny“, ČZU Praha, 12. – 13. 10. 2006.

KOKRHELOVÁ, K., JIROUT, T., 2008: *Enzymatická hydrolýza lignocelulózových plodin a odpadů pro výrobu biopaliv*. Dostupné z URL: <[http://stc.fs.cvut.cz/History/2008/Sbornik/S2/Kokrhelova\\_Kvetoslava\\_12118.pdf](http://stc.fs.cvut.cz/History/2008/Sbornik/S2/Kokrhelova_Kvetoslava_12118.pdf)>

KRBEK, J., POLESNÝ, B., 2007: *Kogenerační jednotky – zřízení a provoz*. GAS s.r.o., Praha, ISBN 978-80-7328-151-9.

KRENÍKOVÁ, V., 2008: *Odpady a druhotné suroviny z těžby, zpracování a využití ropy, potravinářského průmyslu, zemědělství a lesnictví, zdravotnictví a veterinární péče, sklářského a keramického průmyslu a vzorkování odpadů*. Skripta, FŽP, UJEP, Ústí nad Labem. 177 s.

MATOUŠEK, A., 2003: *Výroba elektrické energie*. VUT Brno. 165 s.

NOVÁK J., 2010: *Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva*. Dostupné z URL: <<http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/269-porovnani-nakladu-na-vytapeni-podle-druhu-paliva>>

SIMANOV, V., ČÍŽEK, V., 2004: *Pěstování dřevin pro energetické využití a energetické využití dřeva*. Učební text pro kurz celoživotního vzdělávání v programu SAPARD, MZLU Brno. 79 s.



SLADKÝ, V., 2001: *Dřevní peletky - standardní fytopalivo budoucnosti*. Biom.cz [online]. 2001-12-11 [cit. 2010-09-15]. Dostupné z URL: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-peletky-standardni-fytopalivo-budoucnosti>>. ISSN: 1801-2655.

SOUČEK, J., 2008: *Drtiče, štěpkovače a řezačky pro úpravu rostlinné biomasy*. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. Praha. ISBN: 978-80-86884-31-8.

STRAKA, F., 2006: *Bioplyn*. GAS s.r.o., Praha. 706 s. ISBN :80-7328-090-6

STUPAVSKÝ, V., 2010: *Pelety z biomasy - dřevěné, rostlinné, kůrové pelety*. Biom.cz [online]. 2010-01-01 [cit. 2010-09-15]. Dostupné z URL: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pelety-z-biomasy-drevene-rostlinne-kurove-pelety>>. ISSN: 1801-2655.

ŠEDIVKA, P., 2010: *Kapitola 8, Příklad projektu zařízení s využitím biogenního paliva*. FLD, ČZU, Praha. 9s.

ŠKORPÍK, J., 2010: *Tepelná turbína a turbokompresor*. publikováno na stránkách Transformační technologie, ISSN 1804-8293, dostupné z URL: <<http://oei.fme.vutbr.cz/jskorpik/tepelna-turbina-a-turbokompresor.html>>.

VÁŇA, J., 2002: *Kompostování odpadů*. Biom.cz [online]. 2002-01-14 [cit. 2011-03-23]. Dostupné z URL: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-odpadu>>. ISSN: 1801-2655.

VERNER, V., 2007: *Jak zvolit vhodné palivo pro vaše vytápění*. Biom.cz [online]. 2007-12-17 [cit. 2011-03-23]. Dostupné z URL: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/jak-zvolit-vhodne-palivo-pro-vase-vytapeni>>. ISSN: 1801-2655.

## **DALŠÍ ZDROJE**

Akční plán pro biomasu 2009 – 2011

Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.2/2010 z 29.11.2010. Dostupné z URL: <<http://www.tzb-info.cz/prehled-cen-zemniho-plynu>>

Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.3/2010 z 30.11.2010. Dostupné z URL: <<http://www.tzb-info.cz/prehled-cen-elektricke-energie>>

Nařízení vlády č. 352/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší, ve znění pozdějších předpisů.

Vyhláška č. 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy, ve znění pozdějších předpisů.

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, ve znění pozdějších předpisů.

## **Přílohy**

### **Seznam příloh**

Příloha č. 1: Rozdělení biomasy v podmínkách České republiky

Příloha č. 2: Stanovení vlastního potenciálu spotřeb

- 1) Výpočet spotřeby tepla
- 2) Výpočet spotřeby proudu
- 3) Výpočet spotřeby paliva a výhřevnosti

Příloha č. 3: Výpočet nákladů

- 1) Investiční náklady
- 2) Roční provozní náklady
  - A) Náklady na palivo
  - B) Náklady na vlastní spotřebu elektřiny
  - C) Ostatní náklady

**Příloha č. 1: Rozdělení biomasy v podmínkách ČR (vyhláška č. 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy)**

biomasa odpadní	rostlinné odpady	zemědělská prvovýroba	sláma – řepková, kukuřičná, obilná seno
		úprava krajiny	zbytky po likvidaci dřevin
			náletové dřeviny
			údržba zeleně a travních ploch
	sady a vinice	údržba porostů	
	lesní odpady (dendromasa)	těžba dříví	pařezy a kořeny
			kůra
			vrcholové části stromů
			větve
	probírky a prořezávky	šišky	
	průmyslová výroba	dřevozpracující průmysl	celé stromky
			manipulační odřezky
			piliny
			hoblíny
		kůra	
		cukrovary	řízky, melasa, odpadní vody
		jatky	tuky, kosti a kůže, rohovina, kaly
		mlékárny	syrovátka, tuky, odpadní vody
		lihovary	lihovarnické výpalky, mláto, kaly
		pivovary	mláto, kvasnice, kaly, odpadní vody
	konzervárny	výlisky, slupky, odpadní vody	
	papírenský průmysl	sulfátové výluhy	
	živočišná výroba	zemědělství	hnůj a hnojívka
kejda			
zbytky krmiv			
přidružená výroba	kůže, tuky, rohovina, kosti		
komunální odpady	kaly	ČOV	
	tuhý komunální odpad	kompostovatelné zbytky, BRO, odpady ze skládek, dřevo z demolic	
energetické rostliny	lignocelulóзовé rostliny	dřeviny	topoly, vrby, olše, akáty
		obiloviny	celé rostliny
		travní porosty	sloní tráva, chrastice TTP
		ostatní	konopí, čirok, šťovík, křídlatka, sléz topolovka
	olejnaté rostliny	řepka olejka	
		slunečnice	
		len	
		dýně (semeno)	
	škrobnaté a cukernaté rostliny	brambory, topinambur	
		cukrová řepa a třtina	
kukuřice			

## Příloha č. 2: Stanovení vlastního potenciálu spotřeb

### 1) Výpočet spotřeby tepla

Připojovací výkon pro každého odběratele:

$$Q_H = \frac{Q_{Ha}}{b_{vH}}$$

Celková spotřeba tepelné energie (pro připojovací výkon):  $Q_N = \sum Q_{Hh}$

$Q_N$ : Připojovací výkon/jmenovitý výkon odběratele

$Q_{Ha}$ : Roční spotřeba tepla odběratele

$b_{vH}$ : Roční počet hodin plného odběru

Tabulka č. 22: Spotřeba tepla u daných odběratelů na m<sup>2</sup> plochy (Šedivka, 2010)

Odběratel	Spotřeba tepla [kWh/m <sup>2</sup> /rok]	
	min.	max.
Více rodinný dům, stará výstavba	120	230
Více rodinný dům, novo-výstavba	80	120
Jedno rodinný dům, řadový dům, stará-výstavba	120	310
Jedno rodinný dům, řadový dům, novo-výstavba	120	130
Hotely	90	125
Průmyslové podniky (strojírenské, další)	80	110
Nemocnice	105	300
Školy	40	125
Plavecké haly	300	500

Tabulka č. 23: Roční počet hodin plného odběru u daných odběratelů (Šedivka, 2010)

Odběratel	Počet hodin plného odběru [h/rok]	
	min.	max.
Více rodinný dům, stará výstavba	1200	1600
Více rodinný dům, novo-výstavba	1200	1600
Jedno rodinný dům, řadový dům, stará-výstavba	1200	1600
Jedno rodinný dům, řadový dům, novo-výstavba	1200	1600
Hotely	1800	2200
Průmyslové podniky (strojírenské, další)	1500	3000
Nemocnice	1500	3000
Školy	1100	1500
Plavecké haly	3000	4500

## 2) Výpočet spotřeby proudu

Tabulka č. 24: Roční spotřeba proudu u daných odběratelů (Šedivka, 2010)

Odběratel	Spotřeba proudu [kWh/m <sup>2</sup> *rok]	
	min.	max.
Více rodinný dům	30	50
Jedno rodinný dům, řadový dům	25	50
Hotely	70	85
Průmyslové podniky (strojírenské, další)	závisí na typu výroby	
Nemocnice	50	70
Školy	45	65

## 3) Výpočet spotřeby paliva a výhřevnosti

- Spotřeba paliva

Výpočet výhřevnosti

$$m_{\text{paliva}} = \frac{\sum Q_{Ha}}{\eta_V \cdot \eta_a \cdot H_U}$$

Výpočet spodní hranice výhřevnosti biomasy ( $H_U$  v kJ/kg) přirozeně vysušené

$H_U = (18,7 - 21,1 \cdot w) \cdot 10^3$  odpad na bázi dřevní biomasy (štěpky, piliny, kůra)

$H_U = (17,4 - 19,8 \cdot w) \cdot 10^3$  odpad na bázi rostlinné biomasy (sláma, seno)

Tabulka č. 25: Výhřevnosti jednotlivých druhů biomasy (zdroj: Sladký, 2011)

Druh paliva	Obsah vody	Výhřevnost	Měrné hmotnosti		
	[%]		[MJ/kg]	[kg/m <sup>3</sup> ] = [kg/plm]	[kg/prm]
Dřevo obecně	20	14,23			
Listnaté dřevo	15	14,61	678	475	278
Jehličnaté dřevo	15	15,58	486	340	199
Polena (měkké dřevo)	20	14,28		400	
Dřevní štěpka	30	12,18			210
Sláma obilovin	10	15,49		120	(balíky)
Sláma kukuřice	10	14,40		100	(balíky)
Lněné stonky	10	16,90		140	(balíky)
Sláma řepky	10	16,00		100	(balíky)

### **Příloha č. 3: Výpočet nákladů**

Výrobní náklady jsou základem jakéhokoliv ekonomického hodnocení. Z praktického hlediska se dělí na investiční část a na roční provozní náklady (Krbek a Polesný, 2007).

#### **1) Investiční náklady**

Investiční náklady (Kč) jsou finanční prostředky pro výstavbu a provoz zdroje. V dané lokalitě zahrnují cenu zařízení, palivové hospodářství (zásobní nádrže a ovládací zařízení), připojení na místní nebo veřejnou elektrickou síť, všechna mechanická propojení a elektrický servis (včetně propojení a vyzkoušení), vyškolení operátorů, projekty, dozory a náklady na uvedení zdroje do provozu a environmentální výbavu, hasičské prostředky a vnější profesionální služby požadované k jejich ovládnutí (Krbek a Polesný, 2007).

Zdroje vybavené spalovacími turbínami nebo velkými spalovacími motory pohánějími alternátory včetně jejich připojení a pomocných zařízení (plynový kompresor, palivové nádrže apod.) obvykle reprezentují 40 – 60 % z celkové investiční položky zdroje. Připojené zařízení pro využití odpadního tepla (kotel, výměník) a přídatné zařízení (vodní nádrže, čerpadla, odplynovač apod.) činí obvykle 15 – 30 % z celkových investičních nákladů. Řídící velín tvoří 5 – 15 % z celkových investic zdroje (Krbek a Polesný, 2007).

Malé zdroje vybavené spalovacími motory jsou na trhu nabízeny v kompletním uspořádání na společném rámu zahrnujícím generátor, výměníky tepla a kontrolní systémy. Takovýto komplex představuje 60 – 70 % ceny celkových investic zdroje.

Zdroje s parními turbínami a vysokotlakovým parním kotlem, jsou, při srovnatelném výkonu, dražší, než výše uvedená zařízení. Struktura nákladů je velmi variabilní (Krbek a Polesný, 2007).

V neposlední řadě nesmíme opomenout ještě náklady na projektování. Jejich výše se pohybuje od 10 do 20 % z výše investičních nákladů (u nízkokapacitních zařízení i do výše 50 % z ceny zařízení).

Tabulka č. 26: Celkové investiční náklady na vybudování zařízení pro výrobu tepelné energie v [Kč/kW], (Šedivka, 2010)

Technické vybavení, bez budov	$W_{l,min.}$ v [Kč/kW]	$W_{l,max}$ v [Kč/kW]
Zař. pro výrobu teplé vody, mazut/zem.plyn 30 kW	2 000	2 600
Zař. pro výrobu teplé vody, mazut/zem.plyn 500 kW	2 160	4 480
Zař. pro výrobu teplé vody, mazut/zem.plyn 1 000 kW	1 300	1 900
Zař. pro výrobu teplé vody, mazut/zem.plyn 2 000 kW	560	720
Zař. pro výrobu teplé vody, mazut/zem.plyn 5 000 kW	440	600
Zař. pro výrobu teplé vody, mazut/zem.plyn 10 000 kW	360	480
Zař. pro výrobu teplé vody, biomasou 500 kW	4 500	10 200
Zař. pro výrobu teplé vody, biomasou 5 000 kW	4 080	8 160
Zařízení pro vyvíjení páry, mazut/zem.plyn 10 000 kW		1 980
Kompletní vybavení (včetně budov, projektových nákladů) bez teplovodní sítě.	$W_{l,min.}$ v [Kč/kW]	$W_{l,max}$ v [Kč/kW]
Výtopna (zař. pro výrobu teplé vody, mazut/zem.plyn), 1 MW	2 040	3 060
Výtopna (zař. pro výrobu teplé vody, mazut/zem.plyn), 5 MW	2 240	3 060
Výtopna (biomasa+kotel pro vyt. ve špičce), 500 kW	10 800	19 240
Výtopna (biomasa+kotel pro vyt. ve špičce), 1 MW	5 100	15 300
Výtopna (biomasa+kotel pro vyt. ve špičce), 10 MW	5 100	14 280
Výtopna (biomasa+kotel pro vyt. ve špičce), 5 MW	4 500	14 420
Výtopna (vyvíječ páry, mazut/zem. plyn), 10 MW	3 060	4 080
Výtopna (vyvíječ páry, biomasa), 10 MW	11 220	14 280

Tabulka č. 27: Celkové investiční náklady na vybudování zařízení pro výrobu elektrické energie v [Kč/kW<sub>el.</sub>], (Šedivka, 2010)

Technické vybavení, bez budov	Výkon $\eta_{el.}$ [%]	Celkové investiční náklady v [Kč/kW <sub>el.</sub> ]
Parní turbína (zemní plyn) 8 MW – 100 MW	20 – 30	1 100 – 1 400
Elektrárna na biomasu 5 MW – 20 MW	30 – 35	2 250 – 3 000
Mikroturbína 30 kW – 250 MW	26 – 30	(800) – 3 500
Stirlingův motor 9 kW – 40 kW	24	(1 500) – 2 200
Plynový motor do 30 kW	27 – 32	1 800 – 3 500
30 kW – 100 kW	27 – 35	1 000 – 1 800
100 kW – 600 kW	30 – 38	500 – 1 000
600 kW – 2 000 kW	33 – 42	300 – 500
Plynová turbína 500 kW – 10 MW	20 – 30	750 – 1 500
Plynová turbína 1 MW – 10 MW	20 – 30	1 600 – 2 800
Spalovací komora 200 kW	40	5 000



Tabulka č. 28: Celkové investiční náklady na vybudování teplovodní sítě (roury z tvrzeného plastu Ø 25 – 250 mm) v Kč na metr vedení (Šedivka, 2010)

Varianty technického řešení	$S_{l,min.}$ v [Kč/kW <sub>el.</sub> ]	$S_{l,max.}$ v [Kč/kW <sub>el.</sub> ]
Jednoduché položení na povrch země	3 500	8 000
Problematické položení, mezi zástavbou budov	6 000	10 000
Vysoce problematické položení, mezi hustou zástavbou budov, ve skalním podloží		do 24 000
Položení do podzemí		
Ocelové trubky	1 000	3 000
Rozvodná stanice 20 – 50 kW		90 – 220
Rozvodná stanice 100 – 500 kW		15 – 50

Tabulka č. 29: Celkové investiční náklady na budovu (Šedivka, 2010)

Varianty technického řešení	
Budova na umístění kotle 10 – 20 MW	7 000 000 – 15 000 000 Kč
Budova na umístění kotle 2 – 5 MW	3 000 000 – 10 000 000 Kč
Sklad paliva	14 000 Kč/m <sup>2</sup>

## 2) Roční provozní náklady

Celkové roční provozní náklady sestávají z nákladů na palivo pro pohonné jednotky, mzdových nákladů, nákladů na běžnou údržbu, nákladů na plánované prohlídky a opravy, nákladů na montážní a údržbový materiál, nákladů na provozní oleje, technické plyny a chemické prostředky na úpravu napájecí a chladící vody, ale také režijních nákladů. Podstatnou část ročních provozních nákladů tvoří náklady na palivo, jejichž velikost je výrazně ovlivněna celkovou tepelnou účinností zdroje, kvalitou používaného paliva a jeho měrnou cenou. Ostatní položky ročních provozních nákladů se nejčastěji stanovují odhadem (procentní díl investičních nákladů) nebo se zanedbávají (Krbek a Polesný, 2007).

### A. Náklady na palivo

Náklady na palivo zahrnují jednak náklady na předúpravu paliva, ale také náklady na odstranění (detonaci) zbytků po jeho energetickém využití.

Palivem na bázi biomasy jsou nejčastěji štěpky, pelety, brikety, sláma a bioplyn.

## I. Náklady na výrobu paliva

- Náklady na výrobu štěpky

Dezintegrovat štěpku lze ve štěpkovačích nebo drtičích. Štěpkovače dosahují výkonů 0,29 – 3,45 t/h a jejich ceny jsou v rozmezí 360 000 – 500 000 Kč. Drtiče mají rozsah výkonů od 58,99 kg/h do 3,2 t/h a cena se pohybuje mezi 80 000 – 120 000 Kč (Souček, 2008). Náklady na výrobu štěpky jsou od 700 do 1 200 Kč/t (Šedivka, 2010).

- Náklady na výrobu pelet

Pelety se nejčastěji vyrábí ze slámy nebo odpadního dřeva. Patří k nejdražším palivům vzhledem k vysokým investičním nákladům na peletizační linku. Cena nového zařízení se pohybuje kolem 14 000 000 Kč pro výkon 1 t/hod., tj. kolem 5 000 t/rok. Pelety však lze vyrábět rovněž ve starých linkách na výrobu krmiv. Investice je tak možné snížit až na polovinu (Sladký, 2001). Největší podíl výrobních nákladů tvoří náklad na nakupovanou surovinu a její sušení. Proto lze pelety vyrábět pouze v místech s dostatkem vlastního suchého odpadu s malými nároky na přepravu (Sladký, 2001).

Jako náhrada dřevních pelet by mohly sloužit alternativní pelety, které se vyrábí ze surovin bez jiného dalšího využití (Verner, 2007). Jsou perspektivním bio-palivem s vysokou výhřevností (18 MJ/kg), nízkým obsahem popelovin (0,5 – 1 %), malým obsahem vody (kolem 10 %) a min. nároky na skladovací prostory. Jejich největší výhodou však je automatizace provozu. Stejně jako brikety se vzhledem k náročnosti zpracování hodí lépe pro malá a rozptýlená topeniště s nižšími výkony (Sladký, 2001).

- Náklady na výrobu briket

Na výrobu briket není kromě briketovacího lisu a nákladů spojených s jeho údržbou zapotřebí žádných jiných nákladů. Briketovací linka stojí v rozmezí 600 – 1 200 Kč/t. Náklady spojené s odpisy, údržbou zařízení, mzdou a pojištěním se pohybují kolem 3 až 3 500 000 Kč/rok (Verner, 2007).

- Náklady na sklizeň a zpracování slámy

Cena sklizňové linky sklízějící v průměru 60 – 80 ha/den, což odpovídá přibližně 3 t/ha (tj. 600 balíků slámy o hmotnosti 350 kg), se pohybuje kolem 11 000 000 Kč. Vzniklé balíky slámy o rozměru 120 x 90 x 220 cm se buď nechají přímo spalovat ve vhodném technologickém zařízení, nebo se šrotují a dále zpracovávají do pelet či briket. Cena takovýchto peletovacích nebo směsných linek se pohybuje podle výkonu v rozmezí od 4 000 000 do 20 000 000 Kč (Verner, 2007).

Vytápění slámou je z důvodů dodržení emisních limitů, uvolňovanému kouři a imisnímu spadu výhodnější jednak v kombinaci s pilinami nebo štěpkou, ale také v zařízeních o vyšších výkonech. Nedoporučuje se spalovat slámu v topeništích s výkonem do 500 kW (Verner, 2007).

- Náklady na výrobu bioplynu

Účinnost přeměny bioplynu na elektrickou (30 %) a tepelnou (60 %) energii v kogeneračních jednotkách dosahuje 80 – 90 %. Na výrobu 1 kWh elektrické energie a 1, 27 kWh tepla je potřeba spálit 5 – 7 kg odpadní biomasy, 5 – 15 kg komunálních odpadů nebo 4 – 7 m<sup>3</sup> tekutých komunálních odpadů (Abrham a Mužík, 2006).

Investiční náklady se v závislosti na velikosti BPS pohybují kolem 13 000 – 37 000 Kč/VDJ a roční provozní náklady mezi 12 – 20 % celkových investic. Výnosy jsou tvořeny zejména příjmy z prodeje elektrické energie (podle ERÚ 3 550 Kč/MWh), méně pak z prodeje odpadního tepla, popřípadě poplatků za likvidaci bio-odpadů při kofermentaci. Obecně platí, že doba návratnosti investice do 5 let je velmi dobrá a do 10 let přijatelná. Po 15 letech provozu dosáhne většina zařízení BPS své životnosti a je potřeba počítat s vyššími náklady na opravy a údržbu (Abrham a Mužík, 2006).

## II. Náklady na odstranění zbytků po energetickém využití

Náklady na detonaci, popel: 1 000 – 4 000 Kč/tunu

Podíl popela:	Štěpky s kůrou	1,0 – 2,5 %
	Štěpky bez kůry	0,8 – 1,4 %
	Kůra	5,0 – 8 %
	Staré dřevo	6,0 – 12 %
	Palivo na bázi stébel (sláma, seno)	5,0 – 12 %

### B. Náklady na vlastní spotřebu elektřiny

Vlastní spotřeba proudu pro výrobu tepla (čerpadla, řídicí systém, čidla apod.).

Kotel na biomasu	1,5 %
Kotel na plyn	1,0 %
Čerpadla v teplovodní síti	1,0 %

### C. Ostatní náklady

Pojištění	0,15 – 1,00 % z investic
Technická údržba	1,00 – 1,50 % z investic