

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra technologií a měření**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Provozování kotlů spalujících biomasu**

**vedoucí práce: Ing. Vladislav Sít'ař  
autor: Václav Liška**

**2012**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Václav LIŠKA**  
Osobní číslo: **E09B0150P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Provozování kotlů spalujících biomasu**  
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zpracujte přehled a porovnejte používané druhy biomasy.
2. Uveďte přehled kotlů spalujících tuhá paliva. Popište jejich principy činnosti, možnosti regulace, vliv provozu na životní prostředí, vzájemné porovnání jednotlivých parametrů, apod.
3. Analyzujte dlouhodobý provoz kotle na spalování biomasy v libovolné lokalitě.
4. Zpracujte přehled možných zdrojů dodávky biomasy pro vybranou lokalitu. Porovnejte jejich efektivnost, možnost a vhodnost využití, cenovou dostupnost.
5. Zhodnoťte provoz zvoleného zařízení a navrhnete varianty pro jeho efektivnější využití.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

1. Quaschnig, V.: Obnovitelné zdroje energií, Grada Publishing Praha 2010
2. Brož, K.- Šourek, B.: Alternativní zdroje energie, skripta ČVUT Praha 2000
3. Černý, V. a kol.: Parní kotle a spalovací zařízení, SNTL Praha 1975
4. Elektronické informační zdroje
5. Katalogy výrobců kotlů na spalování biomasy

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Vladislav Sířař  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 17. října 2011  
Termín odevzdání bakalářské práce: 3. června 2012

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

## **Anotace**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na provozování kotle spalujícího biomasu. Podává stručný přehled o biomase a její přeměně v energii, možných typech kotlů, logistice a kontrole paliva. Dále se zabývá konkrétním kotlem v Plzeňské teplárenské a.s. spalujícím biomasu, kde je popis zaměřen na provozní, nákladové a ekonomické vyhodnocení. V závěru je zpracováno porovnání mezi variantami na uhlí a biomasu.

## **Klíčová slova**

Biomasa, energetika, kotel, bioenergetika, štěpka, peletka, emise, regulace, životní prostředí

## **Abstract**

This bachelor's thesis deals with operation of boiler burning biomass. It is a report about biomass and biomass heating systems, converting biomass into energy, types of boilers, logistics and alternative fuel control (supervision).

The paper is focused on concrete boiler in Plzeňská teplárenská company (the thermal power plant of Pilsen Co.) which burns biomass. The description is aimed to assessment of cost, operational and economical evaluation. There is the comparison between two fuel options: coal and biomass, in conclusion.

## **Key words**

Biomass, power engineering, bio power engineering, boiler, chips, pellet, emission, regulation, environment

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 29.5.2012

Jméno příjmení

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Vladislavu Sít'árovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych rád poděkoval společnosti Plzeňská teplotárenská a.s. a panu Ing. Václavu Jírů, Csc. za poskytnuté informace a data o kotli na biomasu a o provozu PT. Dále pak panu Otakaru Hamtákovu za informace o kontrole a logistice s palivem v PT.

Také bych rád poděkoval svým rodičům, kteří mě podporovali po celou dobu studia.

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>SYMBOLY A ZKRATKY</b> .....	<b>11</b>
<b>1 BIOMASA</b> .....	<b>12</b>
1.1 ROZDĚLENÍ BIOMASY NA ENERGETICKÉ VYUŽITÍ.....	12
1.2 PŘEMĚNA BIOMASY NA ENERGII .....	13
1.2.1 <i>Fytomasa - biomasa rostlinného původu</i> .....	14
<b>2 KOTLE</b> .....	<b>17</b>
2.1 ROZDĚLENÍ.....	17
2.2 PRINCIP ČINNOSTI.....	18
2.3 DRUHY KOTLŮ.....	22
2.3.1 <i>Prášková ohniště</i> .....	23
2.3.2 <i>Fluidní ohniště</i> .....	24
2.3.3 <i>Roštové ohniště</i> .....	25
2.4 REGULACE PARNÍCH KOTLŮ .....	27
2.4.1 <i>Regulace výkonu</i> .....	27
2.4.2 <i>Regulace spalování uhlí a biomasy</i> .....	29
2.4.3 <i>Spalovací (pracovní) diagram</i> .....	29
2.4.4 <i>Cíle a úkoly regulace</i> .....	30
2.5 VLIV PROVOZU NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	30
2.5.1 <i>Zařízení pro čištění spalin</i> .....	31
<b>3 DLOUHODOBÝ PROVOZ KOTLE SPALUJÍCÍ BIOMASU</b> .....	<b>33</b>
3.1 PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ A.S. ....	33
3.2 KOTEL SPALUJÍCÍ BIOMASU .....	33
3.2.1 <i>Výchozí stav</i> .....	33
3.2.2 <i>Požadavky a cíle</i> .....	34
3.2.3 <i>Parametry kotle- energetické vyhodnocení</i> .....	34
3.3 TABULKA S DATY ZA ROK 2011 .....	35
3.4 INVESTIČNÍ NÁKLADY.....	36
3.5 PROBLEMATIKA PROVOZU .....	37
<b>4 LOGISTIKA</b> .....	<b>38</b>
4.1 KRITÉRIA PRO NEJPOUŽÍVANĚJŠÍ PALIVA Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ V TEPLÁRNĚ .....	38
4.1.1 <i>Peletky</i> .....	38
4.1.2 <i>Štěpka</i> .....	39
4.2 LABORATORNÍ VYHODNOCENÍ KVALITY BIOMASY .....	40
4.2.1 <i>Vzorkování biomasy</i> .....	40
4.2.2 <i>Průměrné výhřevnosti</i> .....	40
4.3 CENA BIOMASY.....	40



---

4.4	LOKALITA PRODUKCE BIOMASY PRO PT .....	41
4.5	JINÉ MOŽNOSTI ZDROJŮ PRO PT .....	42
<b>5</b>	<b>ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO ZAŘÍZENÍ A NAVRŽENÍ ZMĚN PRO VYŠŠÍ EFEKTIVITU .....</b>	<b>43</b>
5.1	POROVNÁNÍ PROJEKTU BIOMASY K UHLÍ .....	43
5.1.1	<i>Investiční náklady varianty U- Uhlí.....</i>	<i>43</i>
5.1.2	<i>Energetické vyhodnocení variant.....</i>	<i>43</i>
5.1.3	<i>Ekonomické vyhodnocení variant .....</i>	<i>44</i>
5.1.4	<i>Ekologické vyhodnocení variant.....</i>	<i>49</i>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>51</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>53</b>

## Úvod

Bakalářská práce se zabývá alternativním zdrojem energie, kterým je biomasa. Celá práce je rozdělena na pět částí, každá část se zabývá samostatnou problematikou.

První část je zaměřena na biomasu. Je zde popsán rozvoj produkce biomasy a možnosti jejího energetického využití.

Druhá část se zabývá druhy kotlů, mezi které patří v základu kotle fluidní, roštové a práškové. Dále jsou v tomto bodě popsány různé druhy cest pracovních látek a druhy regulací. Na konci tohoto bodu je část zaměřená na životní prostředí, jedná se o způsob čištění spalin, než se vypustí do volného ovzduší.

Třetí část je zaměřena na konkrétní projekt v dané lokalitě. Pro tuto lokalitu byla vybrána firma Plzeňská teplárenská a.s. (dále „PT“), která provozuje jeden z největších kotlů na biomasu v České republice. Je zde představení subjektu, výchozí stav před realizací, požadavky a cíle po realizaci, parametry realizovaného projektu, atd. Do grafu jsou zanesena data z roku 2011 se spotřebou a jinými parametry.

Čtvrtá část se zabývá logistikou a kontrolou příchozího materiálu. Jedná se o způsoby uskladnění, kontroly a následné sumarizace množství biomasy, která se do PT dostává. Její třídění po laboratorním rozboru na obsah vlhkosti a výhřevnosti, která je s vlhkostí přímo spojená. Tento bod se také zaměřuje na logistiku, jak a odkud se biomasa dováží. Lokalita je velice důležitá a projevuje se i na ceně.

Pátý bod je vyhodnocující, zaměřuje se na dvě varianty řešení nového kotle (biomasa, uhlí). U těchto variant se posuzuje jejich investiční náročnost, náklady a tržby z provozu, dotační příspěvky, ekologické vyhodnocení a doba návratnosti pomocí cash-flow.

## Symboly a zkratky

°C	stupeň celsia	m <sup>3</sup>	metr krychlový
a.s.	akciová společnost	m/s	metrů za sekundu
C	uhlík	MJ	megajoule
CO	oxid uhelnatý	MPa	megapascal
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý	MW	megawatt
CaCO <sub>4</sub>	síran vápenatý	MWt	megawatt tepelných
č.	číslo	MWe	megawatt elektrických
ČSN	česká státní norma	MWh	megawatthodina
ČOV	čistička odpadních vod	NO <sub>x</sub>	oxidy dusíku
DPH	daň z přidané hodnoty	ot.min <sup>-1</sup>	otáčky za minutu
ERU	energetický regulační úřad	OZE	obnovitelný zdroj energie
GJ	gigajoule	PT	Plzeňská teplárenská a.s.
H	vodík	Sb.	sborník
H <sub>2</sub> O	voda	SO <sub>2</sub>	oxid siřičitý
Hod/r	hodin za rok	ŠO4	špičkový ohřívák 4
Kg	kilogram	t	tuna
K7	kotel 7	t <sub>z</sub>	zápalná teplota
kV	kilovolt	t/h	tun za hodinu
km	kilometr	TG3	turbogenerátor 3
KVET	kombinovaná výroba elektřiny a tepla	Varianta B	Varianta Biomasa
		Varianta U	Varianta Uhlí

# 1 Biomasa

Biomasa je hmota biologického původu, vznikající z rostlinného i živočišného materiálu. Z historického hlediska se jedná se o nejstarší surovinu k získání energie. S obdobím objevování jiných zdrojů energie začalo využití biomasy klesat. V posledních letech je opět řazena do popředí a to nejen jako obnovitelný zdroj energie, ale i jako zdroj suroviny v oděvním, potravinářském a mechanickém odvětví. Důvodem pro opětovné zavádění biomasy do našeho hospodářství jsou zejména rostoucí ceny neobnovitelných zdrojů energie - například uhlí, ropy, plynu atd. A to i v době, kdy zásoby těchto surovin ještě nejsou ani z poloviny vyčerpané a lokality výskytu surovin jsou stále nacházeny. Problémem však často bývá skutečnost, že se surovina nedá vždy vytěžit. Energie získaná z biomasy je pro nás užitek nejen v podobě tepla a jiné energie, ale i formou zbavení se zbytkových látek způsobem přátelským k životnímu prostředí. Například spalováním biomasy neuniká síra do ovzduší a nezpůsobuje kyselé deště.

Jako hlavní zdroj biomasy pro energetickou výrobu se využívá materiál rostlinného původu a odpadní látky.

## 1.1 Rozdělení biomasy na energetické využití

Biomasa:

- Zemědělství
  - Pěstování rostlin pro energetické účely
  - Zbytkové a odpadní látky:
    - Živočišného původu (kejda, močůvka, hnůj)
    - Rostlinného původu (sláma, zelené rostliny, dřevnaté látky)
    - Vyčeřený kal [1]
- Lesnictví
  - Lesní dřevěné zbytky
  - Dřevo z dřevařského průmyslu [1]
- Skládky tuhého komunálního odpadu
  - Odpad z domácnosti (biologický odpad, papír, lepenka, textil, aj.) [1]
  - Komunální odpad (uliční odpad+ zeleninový odpad+ jiné objemové odpady)

## 1.2 Přeměna biomasy na energii

- **Přeměna termická (přímé hoření)**

Materiál musí být suchý, obsah vody přímo ovlivňuje výhřevnost a má nepříznivý vliv na kvalitu spalování. Dle kvality spalované biomasy je určena výhřevnost. Čím větší výhřevnost látka má, tím vyšší je i teplota.

Příklady paliva: dřevo, lesnický odpad, štěpka, pilařský odpad, nemocniční odpad (bavlněné povlečení, obvazy), energoseno, sláma. [1][2]

- **Přeměna anaerobní digescí (přeměna na bioplyn)**

Materiál musí být mokrá, aby proces kvašení, hnití a rozkladu byl správně veden. Technologie je provozována ve speciálních nádržích nebo halách a to tak, že bioplyn (metan) je odebírán v nejvyšším bodě prostoru, kde se soustřeďuje. Plyn se pak stlačuje a dále zpracovává, nejčastěji hořením. Příklady zdrojů: kejda, ČOV, skládka, bioodpad, potravinářský odpad.[1][2]

- **Přeměna fermentací (přeměna na ethanol = líh)**

Pro tento proces je nezbytný dostatečný obsah cukru v biomase. Ethanol se vyrábí ze sacharidů (cukrů). Vliv na obsah cukru má druh rostliny, oblast pěstování, doba slunečního svitu a jiné. Využití k energetice: hoření. Příklady zdrojů: cukrová třtina, řepa, brambory, pšenice, ječmen, žito, sacharidy. [1][2]

- **Přeměna mechanicko-chemická: rafinace (přeměna na bionaftu)**

Bionaftu lze vyrábět z jakéhokoli rostlinného oleje a to jak čerstvého, tak i použitého fritovacího oleje. Rostlinný olej se vyrábí lisováním semínek olejnatých rostlin, následná chemická reakce se nazývá transesterifikace a probíhá za katalýzy. Olejnaté rostliny jsou na pěstování hodně náročné a spotřebují mnoho živin, proto jejich další výsev by měl být nejdříve za 4 roky po sklizni. V energetice se olej využívá jako palivo, často se také používá místo nafty ve vznětových motorech. Zde často nastává problém se startem - motor musí být přehřátý. Příklady plodin: řepka olejka, slunečnice roční, len olejný, sezam. [1][2]

### 1.2.1 Fytomasa - biomasa rostlinného původu

- **Energetický potenciál fytomasy (rostlinné zbytky, zemědělská produkce) pro spalování**

#### **Sláma**

Tato rostlinná část je vhodná díky své výhřevnosti. Ta se pohybuje mezi 16,5-18,5 MJ/kg. Jedná se o odpadní produkt, který se do půdy ve zpětné vazbě vrací zhruba ve 20%. Zpětná vazba se provádí zaoráním. Zbytek se používá jako podestýlka a pro další zpracování v podobě výroby tepla - spalování. Z důvodu poklesu stavů skotu a tedy nižší potřebě podestýlky je zbytků více. Využití slámy pro energetické účely je ekonomické a účelné. Problém zde nastává s dopravou. Řešením může být lisování, problém pak ale nastává s hořením. Snižuje se tím efektivita využití slámy. Další možnost je výroba peletek.

Energetický potenciál obilné slámy z jednoho hektaru odpovídá asi 1200-1500 litrů topného oleje. [1]

#### **Dřevnaté odpadové látky-zemědělské**

Opadové látky z vinic a ovocných sadů představují hlavně stonky a větvičky. Množství tohoto odpadu je zhruba 10% z celkové produkce, která je cca 4 mil. tun/rok. Vlhkost tohoto odpadu činí zhruba 50%. Nabízí se tedy možnost přesušení a následná termická přeměna, což by vytvořilo energii zhruba 4,7 mil.GJ/rok. Problém je s přepravou. Nabízí se možnost štěpkování, která uspoří místo a hmota se lépe převáží. [1]

- **Pěstování rostlin pro energetické účely**

Pod pojmem pěstování rostlin pro energetické účely se rozumí využívání zemědělských ploch pro zcela výlučnou produkci energetických nosičů. Přitom je třeba rozlišovat tyto varianty:

- Pěstování rostlin obsahující škrob a cukr pro fermentaci
- Pěstování rychle rostoucích dřevin pro spalování
- Pěstování olejnatých rostlin pro spalování [1]

- **Energetický potenciál z lesního hospodářství**

Dělíme ho na dvě odvětví:

- Odsekané dřevo (větvě, kůra, zbytky z korun stromů)
- Průklestové dřevo (slabé dřevo brané při probírkách) [1]

### Tabulky s výhřevnostmi a obsahy vlhkosti

Tab. 1 Tabulka úměry vlhkosti k výhřevnosti [3]

Druh biomasy	Obsah vody [%]	Výhřevnost [MJ/kg]
Polena (měkké dřevo)	0	18,56
	10	16,4
	20	14,28
	30	12,18
	40	10,1
	50	8,1
Dřevní štěpka	10	16,4
	20	14,28
	30	12,18
	40	10,1
Sláma (obiloviny)	10	15,5
Sláma (řepka)	10	16
Tříděný komunální odpad	20 - 38	cca 10 MJ/kg
Bioplyn		cca 25 MJ/m <sup>3</sup>

Z tab. 1 je zřejmé jaký vliv na výhřevnost má obsah vody v palivu. Dá se to vypočítat hlavně u položky dřevní štěpky. Když obsah vody vzrostl z 10 na 40%, výhřevnost klesla o 6 MJ/kg.

V tab. 2 jsou zobrazeny výhřevnosti jednotlivých, nejčastěji používaných biopaliv ke spalování. Z následujících dat lze vypočítat, že nejvyšší výhřevnost má borovice, peletkovaný šťovík, vrba, atd. Naopak nejnižší topol. Výhřevnosti, s nimiž se pracuje v energetickém průmyslu, jsou zobrazeny v kapitole 4.

Tab. 2 Tabulka výhřevnosti tuhé biomasy [3]

<b>Druh paliva</b>	<b>Obsah vody [%]</b>	<b>Výhřevnost [MJ/kg]</b>
<b>Listnaté dřevo</b>	15	14,605
<b>Jehličnaté dřevo</b>	15	15,584
<b>Borovice</b>	20	18,4
<b>Vrba</b>	20	16,9
<b>Olše</b>	20	16,7
<b>Habr</b>	20	16,7
<b>Akát</b>	20	16,3
<b>Dub</b>	20	15,9
<b>Jedle</b>	20	15,9
<b>Jasan</b>	20	15,7
<b>Buk</b>	20	15,5
<b>Smrk</b>	20	15,3
<b>Bříza</b>	20	15
<b>Modřín</b>	20	15
<b>Topol</b>	20	12,9
<b>Dřevní štěpka</b>	30	12,18
<b>Sláma obilovin</b>	10	15,49
<b>Sláma kukuřice</b>	10	14,4
<b>Lněné stonky</b>	10	16,9
<b>Sláma řepky</b>	10	16
<b>Štovík (peletka)</b>	2	17,5
<b>Štovík (řezanka)</b>	30	11,5
<b>Miskantus</b>	10	16,5



## 2 Kotle

V kotli probíhá hoření látky, hoření lze také nazvat oxidačním exotermickým dějem. Vyvíjí se jím teplo a světlo. Teplo je využíváno jako energie samotná nebo k přeměně na jinou energii. K hoření je třeba přítomnost hořlaviny. Píše-li se o tuhých palivech, tak za základní prvek hoření se dá pokládat dřevo. Další nutnost k hoření je trvalý přísun kyslíku (vzduchu). Tento vzduch, kterým lze i částečně regulovat hladina teploty v kotli, je vháněn do kotle vícekrát. Základní cesty rozdělujeme na primární a sekundární. Primární větev slouží hlavně k podpoře hoření na roštu nebo je vzduch vháněn přímo s palivem. Sekundární větev vede vzduch nad rošt na podporu dokonalého spalování zplodin a tím i zlepšení kvality vypouštěných spalin.[4]

### 2.1 Rozdělení

#### Horkovodní vs. parní

Rozdíl mezi nimi je v teplotě, kterou ohřívají vodu pomocí výměníků uvnitř kotle. Další rozdíly najdeme i ve velikosti. Jelikož horkovodní kotel je méně výkonný než parní, nepotřebuje na svůj výkon takové parametry. Jako příklad takového horkovodního kotle by se mohl uvést kotel roštový. Mezi parní pak patří kotle fluidní či granulační. Horkovodní kotle nalézají uplatnění hlavně v ohřevu vody topných okruhů ve městě. Ovšem tyto kotle se využívají spíše jen jako špičkové. To znamená při velkých mrazech či při výpadcích fluidních nebo granulačních kotlů, ze kterých se bere základní energie na ohřev tepelného okruhu. Parní kotle slouží hlavně k přeměně páry v mechanickou energii. Děje se tak v turbínách, které se rozdělují podle tlaku a teploty páry. Tyto turbíny pak mají pevně spojenou hřídel s generátorem. Většinou to bývá turboalternátor s otáčkami  $3000 \text{ ot.min}^{-1}$ . V případě menší turbíny se používá menší turboalternátor s otáčkami  $1500 \text{ ot.min}^{-1}$ . Parní kotel je definován jako zařízení pro výrobu tlakové páry. Používají se kotle teplárenské, elektrárenské, kotle průmyslové, kotle na dopravní účely (lodě). Velké kotle pro energii mají produkci páry až několik tisíc tun páry za hodinu. Tato pára u velkých kotlů dosahuje teploty od  $200$  do  $600^\circ\text{C}$  a tlak činní od  $1\text{MPa}$  do  $35\text{MPa}$ . [5]

#### Kotel sám o sobě se dělí na dvě hlavní části

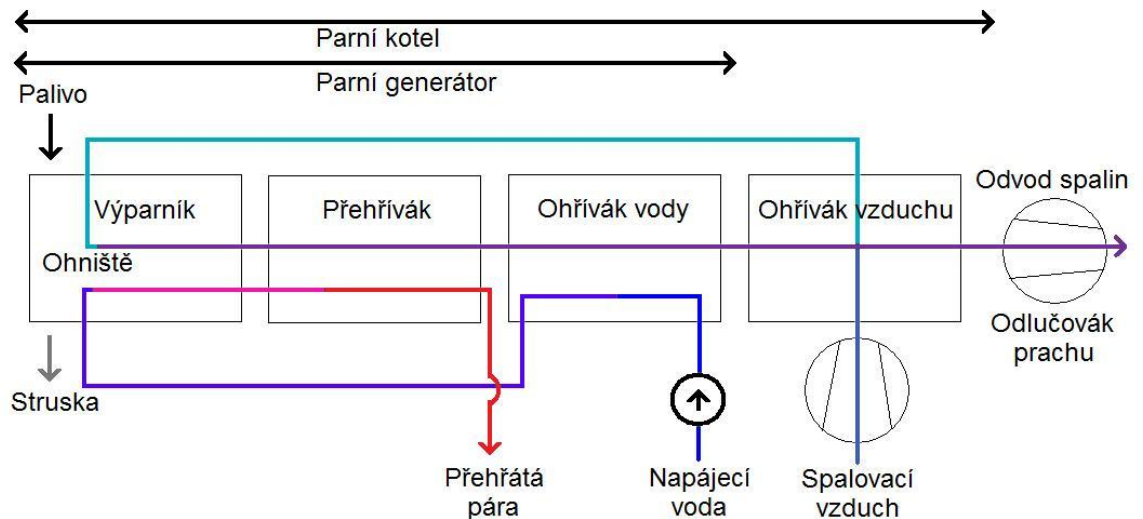
- Spalovací zařízení
- Parní generátor

## Spalovací zařízení

Jedná se o místo, kde se nachází ohniště\*. Skládá se s dopravníků na přísun paliva, ohříváky primárního vzduchu a sušení paliva, ventilátory, zařízení k odstranění tuhých produktů spalování (popel, struska) [6]

## Parní generátor

Prostor, kde se voda mění v páru. Skládá se z ohříváku vody, výparníku a přehříváku páry. Ohřívák vzduchu slouží k tomu, aby vzduch jdoucí do kotle neměl takový tepelný potenciál. Další důvod je i předeřtátí paliva a jeho lepší vysušení. Teplo se odebírá z kotle (vlastní spotřeba kotle). **Biomasa se nesmí předeřtát.** Vznítla by se ještě před ústím do kotle. [6]



Obr. 1 Uspořádání hlavních částí kotle podle umístění v proudu spalin[6]

## 2.2 Princip činnosti

Princip činnosti parního kotle, a to jakéhokoliv, je popsán formou cest látek a činitelů. V níže popsaných cestách je popis hlavně uhlí, ale samozřejmě se jedná i o biomasu.

\*Ohniště- prostor, kde se mění chemickým procesem palivo v tepelnou energii.

**a) Cesta paliva – vstup do kotle**

Dopravu paliva do kotlů zajišťujeme pomocí zauhlovacího zařízení a to buď ze skládky (místo, kde se uskládá palivo) nebo z hlubinných zásobníků. Doprava paliva do těchto prostor je zajištěna především vagonovou dopravou a následně i kamionovou. Zásoba těchto skládek je minimálně na 2-3 týdny. Na skládkách se palivo třídí. Hlavní posuzování při třídění má výhřevnost. Palivo se pak nadále odebírá z hromad a transferuje se na pásový dopravník, který palivo pomocí různých výhybek dopraví k danému kotli. Dopravníky jsou vyvedené podél stěny do betonových či kovových zásobníků, opatřených spodním regulovaným uzávěrem. Tato zásoba je určena na několik hodin. Z nich pak palivo padá samotíhou do podavače a následně do mlýna. Ještě předtím, než se tam palivo sesune, proženou se skrz něj oddělené spaliny, které vysuší větší část vlhkosti a tím zlepšují výhřevnost. V mlýně se palivo nadrtí na prášek. Nejčastěji se používá ventilátorový mlýn. Spojení práškového paliva se vzduchem se nazývá primární směs. Tato směs proudí k práškovým hořákům společně se sekundárním vzduchem, který tam proudí vzduchovým potrubím. [6]

**b) Cesta spalovacího vzduchu**

Spalovací vzduch se vhná samostatným přívodem nebo z prostor kotelny vzduchovým ventilátorem. Ten vzduch protlačí ohřívákem vzduchu a systémem vzduchového potrubí až do hořáku. Vzduch ohříváme v tepelném výměníku pomocí zplodin nebo do něj namícháváme přímo horký vzduch z kotle. Ohřívák vzduchu je složen z více dílů. Jeho efektivnost je založena na potřebné teplotě přiváděného vzduchu, aby potenciál nebyl příliš vysoký a neochlazovali tak výparníky či nezhoršovali bilanci kotle. [6]

**c) Cesta spalin**

Stěny kotle jsou stavěny teplovodně a jsou neodděleně spojeny s parním generátorem. V rozehrátém kotli na provozní teplotu pak částice vlétne do kotle a prudce se zahřeje. Tato rychlost je řádově  $10^4$ °C/s. Vznítí se a shoří, to trvá přibližně 0,5s. Produktem je pak výsledné teplo a struskový nebo popelový prach. Tohoto prachu je proti uhelnému prachu před spalováním velice málo. Menší částice putují se spalinami do filtrů, kde jsou odebírány. Větší, které tvoří hrudky nebo slepeniny, pak propadají k hořákům, kde buď dohoří nebo se dopraví na shromaždiště. [6]

Teplo vytvořené chemickou přeměnou se pak z ½ pomocí sálání předá do teplosměnných ploch. Na konci ohniště pak mají spaliny teplotu 950-1100°C. Na ohniště navazuje konvenční průtah, kde jsou umístěny výměníky tepla s převažujícím

přenosem tepla konvencí. Dále spaliny putují přes přehříváky páry, vysokoteplotovým dílem ohříváku vzduchu, ohřívákem vody a nízkoteplotovým dílem ohříváku vzduchu. [6]

Popílek nesoucí se spalinami padá dle váhy a teploty na výsypku. Sběrače jsou umístěny za každou částí kotle. Zbytkový popílek je pak zachycen v odlučováku prachu. Odtud je pak mechanicky odebírán a transportován na úložiště. Spaliny opouští kotlový trakt s teplotou 120 až 150°C a lze je uzavřít spalinovými klapkami. Na to je připojeno spalinové potrubí, které spaliny vede do odlučováku popílku, kde se většinová část zachytí. Spaliny s malým zbytkem prachu putují do sacího ventilátoru a odchází ven komínem do ovzduší. [6]

#### d) Cesta pracovní látky

Napájecí voda je držena v napáječe, poté je hnána skrze vysokotlaké regenerativní ohříváky a následně teče do kotle. Voda je regulována vstupním ventilem a zpětnou klapkou. Regulace je velice důležitá pro teplotu vycházející z kotle. Může se jednat o horkou vodu nebo páru. Je to určitý způsob regulace tlaku i ochrana před přehřátím. U vysokotlakých kotlů bývá vstupní teplota od 220 do 250°C. Průtočný ventil je řízen automaticky, porovnává poměr vstupní a výstupní složky. Po vstupu do kotle voda probíhá nejprve ohřívákem na teplotu bodu varu a následně je hnána do bubnu kotle. Tento buben má parametry dle velikosti a výkonu kotle. U velkých výkonů je průměr válce 1,5 až 1,8 metru a jeho délka je po celé šířce kotle, může tedy dosahovat až 20 metrů. [6]

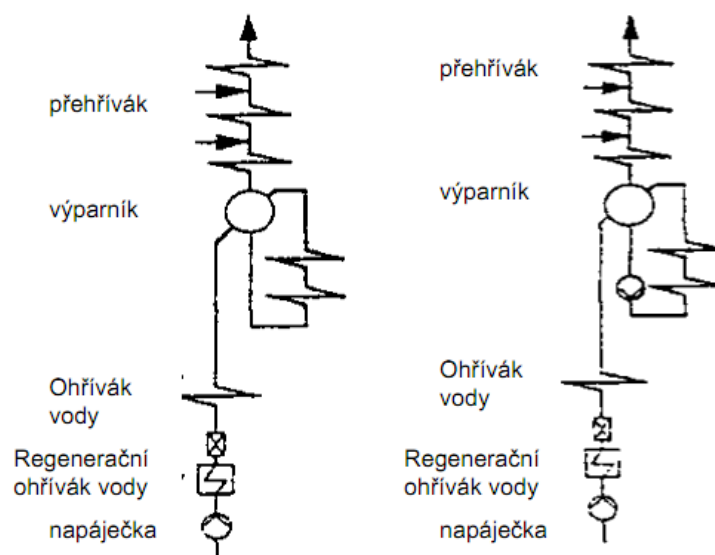
*„Výparník tvoří stěny ohniště, přičemž každá stěna je samostatným celkem jak po stránce funkční, tak i konstrukční. Jsou to trubkové stěny tvořené paralelním rozložením trubek. Ty nazýváme varnice. Jejich průměr bývá 60-76 mm a směřují od dolní patní komory do horního bubnu. Z vnější strany jsou stěny izolované ze žáruvzdorného materiálu, aby ztráty do okolí byly co nejmenší. Celý kotel drží na nosné konstrukci“.* [6]

Do výparníku se přivádí voda pomocí spádovek (spádové trubky), ty směřují od bubnu k patní komoře a stejně tak jako buben nejsou otápěny z důvodu dobré cirkulace vody. Jsou umístěny na vnější straně kotle. Když voda dorazí do patní komory, začne proudit varnicemi nahoru a působí na ní intenzivně teplo přijaté z plamene. Voda se začne odpařovat a vzniká směs páry a vody (pára je obsažena méně jak 20%). Voda se vrací zpět do bubnu a tím je okruh přirozeného oběhu vody dokončen. Přirozený oběh vody je založen na tom, že měrná hmotnost chladné vody je

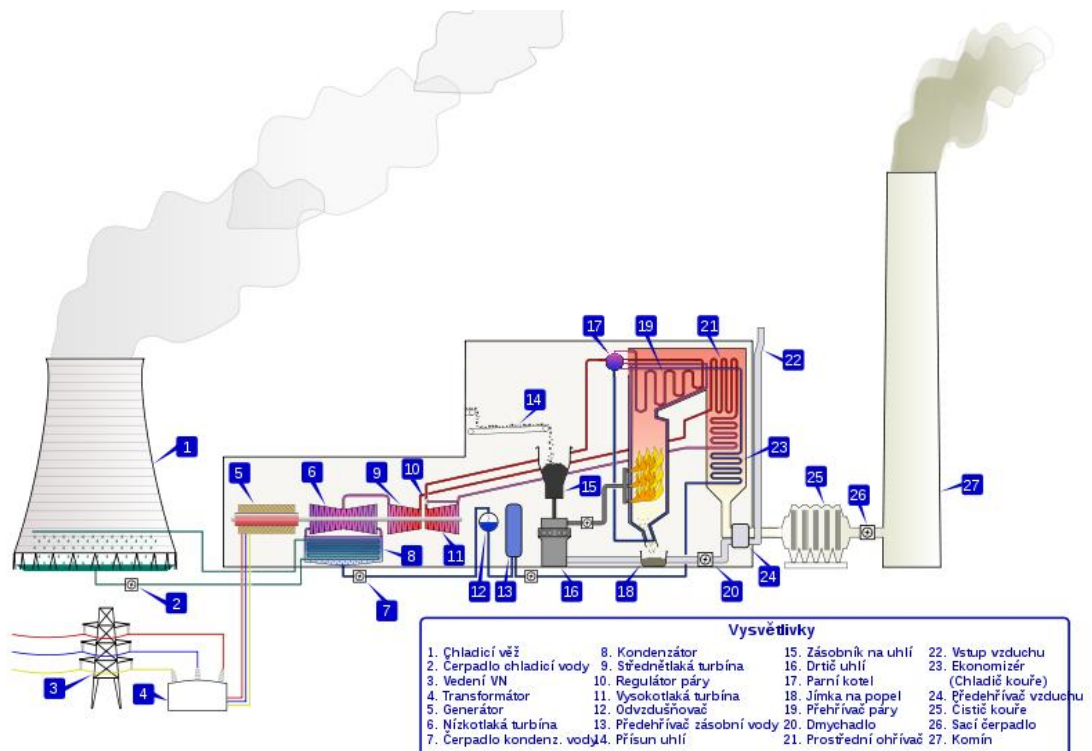
větší, než u vody ve varnicích, kde voda ještě obsahuje páru, a proto studená voda vytlačuje teplou vzhůru. [6]

„Ze směsi vody a páry vystupující z varnic se v bubnu pára oddělí a zavede do přehříváku, zatímco voda se v bubnu opět vrací do kotlového oběhu. U vysokotlakých kotlů jsou zabudovány vestavby pro lepší odloučení páry od vody a také pročištění páry od solí“. [6]

V přehříváku se pára ohřívá na konečnou teplotu. Její průtok se řídí rozdílem tlaků v bubnu a za přehřívákem. Přehřívák páry se skládá z trubek o průměru 28 až 45mm. Trubky jsou vinuty ve svazku hadovitě. Z přehříváku směřuje pára do parovodu, konečná teplota páry u vysokotlakých kotlů je 540 až 570 °C. Teplota páry se reguluje automaticky, například vstřikovacími chladiči zařazenými mezi stupni, nejlépe však za poslední stupeň přehříváku. [6]



Obr. 2 Kotel s přirozeným (levý) a s nuceným oběhem vody (pravý), (převzato z [7])



Obr. 3 Schéma tepelné elektrárny se všemi cestami (převzato z [8])

## 2.3 Druhy kotlů

### Základní rozdělení ohniště

**Roštové**, rošt je:

- Pevný - rovinný, stupňový
- Mechanický – pásový- s výsypkou, s pohazováním
- Přesuvný
- Vratisuvný

**Práškové** se spalováním ve vznosu:

- Granulační- čelní hořáky, rohové hořáky, stropní hořáky
- Výtavné- jednoprostorové, dvouprostorové, cyklonové

**Fluidní**

- Se stacionární vrstvou
- S cirkulující vrstvou

## Kritéria pro volbu typu ohniště

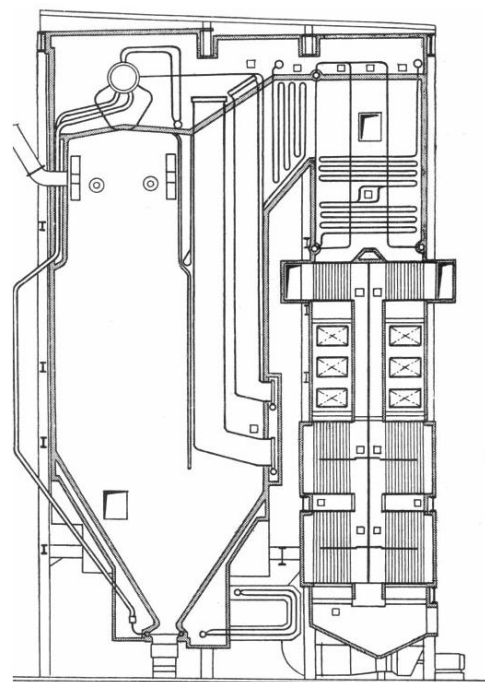
Vlastnosti paliva-složení, fyzikální a chemické vlastnosti, vlastnosti popelovin

### Výkon kotle

- Mechanické roštové ohniště: od 0,25MWt po 150MWt
- Práškové ohniště: od 40MWt po nejvyšší výkony
- Fluidní ohniště
  - stacionární vrstva: do 40MWt, objevují se i do 200MWt
  - cirkulující fluidní vrstva: od 40MWt do 750MWt [6]

### 2.3.1 Prášková ohniště

Jeho přednost je, že spaluje i méně kvalitní uhlí. Jeho výkon a velikosti mohou být v maximálních možných velikostech. Palivo spaluje tak, že ho v mlýnech nadrťí na prášek, a ten je pak dopravován pneumaticky do hořáků a spalovacího prostoru, kde je unášen spalovacím vzduchem za stálého hoření. Rozdělení dle granulačních nebo tavných typů, rozdíl je hlavně v teplotách. Granulační mají nižší teploty a tak struska vychází v tuhém stavu. Práškové kotle jsou nejpoužívanějším typem zařízení pro velkou energetiku. [6]



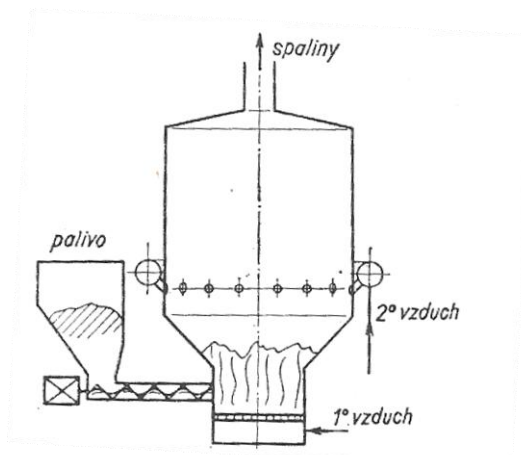
Obr. 4 Práškový kotel (převzato z [7])

### Prášková ohniště spalování tuhé biomasy

Výroba prášku je omezená, problematická, a ani ohniště nepotřebují takové zvýšení výkonu. Práškové kotle nejsou většinou dělané na samostatnou biomasu. V práškových kotlích se spalují převážně peletky. Peletky jsou vyráběné lisováním z rozemletých dřevin nebo podobných materiálů. Jejich největší výhodou je vysoká výhřevnost 15MJ/kg, dále pak snadná manipulace a malý obsah vody cca 12%. Biomasa je do ohniště přidávána samostatným otvorem umístěným výše, než otvor pro práškové uhlí. Peletky se při malých rozměrech cca 1-2cm nedrtí. V kotli jsou pak v určitém poměru s uhlím. Jedná se o jednu z nejlepších příměsí do práškových kotlů. [5]

### 2.3.2 Fluidní ohniště

Princip fluidního kotle je založen na principu fluidní vrstvy neboli kypící vrstvy. V této vrstvě se spaluje drcené palivo a to tak, že částice paliva a popílku jsou nadnášeny proudem vzduchu a spalin, které stále drží tyto části v určité vrstvě dle jejich velikosti a hmotnosti. Tím jak částice hoří, mění svou velikost a stoupají vzhůru. Tento proces je založen na rovnováze tíhy a aerodynamického odporu. Tím, že tvar ohniště je nálevkovitý, snižuje se postupně rychlost spalin zvětšováním průřezu ohniště. Palivo je přiváděno do spodní části ohniště šnekovým podavačem. Palivo je pak následně rozvrstveno podle velikosti částic do různých výšek. Větší částice se spalují v zúžené části spalovacího prostoru, kde je vyšší rychlost primárního vzduchu. Částice v různých vrstvách vždy víří kolem rovnovážné polohy a to i v rozšířené části kotle. Vzduch je přiváděn podobně jako u ohniště roštového, tedy z otvorů ve dnu. Nad spodní částí trychtýřovitého dna je prostor s konstantním průřezem, kde se dopalují nejmenší částice. Tuhé zbytky po vyhoření putují dále se spalinami z ohniště. [6]



Obr. 5 Fluidní ohniště (převzato z [6])

Spalováním ve vznosu vzniká velký hmotný a tepelný přenos uvnitř vrstvy, tedy mezi částicemi paliva a vzduchu. Výhoda tohoto typu ohniště je, že se palivo spaluje relativně dlouho a kotel opouští jen ty částice, které už nemají žádnou energii. Využívají toho, že jejich aerodynamický odpor je větší, než jejich tíha. Souhrn všech vrstev nazýváme fluidní mrak. [6]

Začátky fluidních kotlů nebyly jednoduché, bylo těžké udržet kypící vrstvu a palivo se spékalo, protože teplota spalování byla při teplotách 1000 až 1200°C. Toto se časem vylepšilo tím, že se spalovací teplota snížila umístěním části výhřevné plochy přímo do fluidní vrstvy. Z fluidního prostoru se tak odvádí 40 až 60% uvolněného tepla, spalování probíhá při teplotách 700 až 900 °C a tak nedochází ke spékání popela. Výkon uhelných kotlů je 5 až 150MW, u kotlů spalujících biomasu 5 až 60MW. [6]



## Fluidní ohniště na biomasu

Princip zůstává obdobný jako u spalování uhlí. Biomasa se s uhlím smíchává a vzniká smíšené spalování nebo je biomasa primární palivo bez jiných příměsí. Nejčastější palivo je štěpka, její částičky nesmí překročit více jak 2cm. Je to z důvodu tvoření fluidních vrstev. Větší kusy by padaly níže a způsobovaly tak problémy ve fluidním mraku. Hlavní rozdíl je ve výkonu, výkon fluidního kotle na biomasu je zhruba do 60MWt. Teplota spalování je do 500 °C a parní výkon je do 50 t/h. [5][1]

### 2.3.3 Roštové ohniště

Roštové spalování je nejstarší způsob spalování vůbec. Spaluje se ve vrstvě filtračním způsobem. Dle výkonu se určuje velikost vrstvy a její prodyšnost pro primární vzduch. Kotel se skládá ze spalovacího prostoru, který je omezen stěnami a přední a zadní klenbou, roštu s palivovou násypkou a palivovým hradítkem, škvárového jízku, škvárové výsypky a zařízení pro přívod a regulaci vzduchu. Mechanismus je založen na roštu, který je tvořen nosnou konstrukcí s roštnicemi. U některých typů je zde i pohon pro lepší manipulaci s palivem a následným popelem. Tvar konstrukce závisí na mnoha faktorech, příkladem je druh spalovaného paliva dle výhřevnosti, zrnitosti, spékavosti, obsahu vody, na přívodu vzduchu a odvodu škváry. [6]

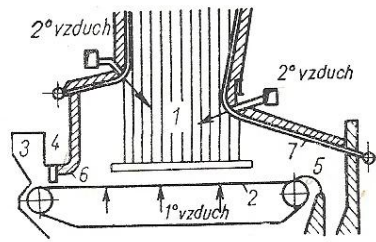
Při spalování plní rošt tyto funkce:

- Zajištění přívodu vzduchu po celé délce roštu tak, aby vznikalo co nejdokonalejší spalování.
- Nést spalované palivo o dané tloušťce a prodyšnosti.
- Vysušování paliva v první části roštu a předeřtátí na zápalnou teplotu.
- Odvod dopálených zbytků (škváry).
- Možnost regulace výkonu, dle potřeby. [6]

Palivo prochází na roštu několika fázemi. K sušení, odplyňování a zapálení je přisun tepla, další fáze jako je hoření a dohořování naopak teplo uvolňují. Aby tyto fáze fungovaly, musí se část vyrobené energie vrátit na začátek a podílet se na reakci. Tato energie se vyjadřuje tzv. poměrovým vzněcovacím teplem. [6]

Když končí fáze sušení paliva, začne jeho teplota stoupat až k dosažení zápalné hodnoty  $t_z$ , v tomto okamžiku začne hořet prchavý podíl nad vrstvou a pak i tuhá část paliva ve vrstvě. Jakmile tento stav nastává, teplota stoupá k hodnotám 1400 až 1600°C. Hodnota

teplot je daná druhem paliva a množstvím spalovacího vzduchu. Dále pak jednotlivá zrna vyhořívají a teplota klesá až na teplotu škváry, ta pak směřuje do výsypky. [6]



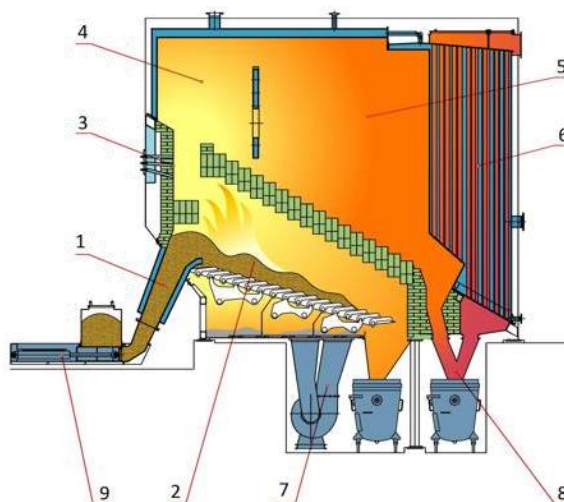
Obr. 6 Hlavní části roštového ohniště 1) vlastní ohniště, 2) rošt, 3) násypka, 4) hradítko, 5) škvárový jizek, 6), 7) přední a zadní klenba (převzato z [6])

### Problém sazí

Saze vznikají tak, že uhlovodíky prchavé látky v podobě mohutného plamene přijdou do styku s chladnou výhřevnou plochou, která je chladnější než 450°C. Tento teplotní náraz jej ochladí a hořlaviny se začnou rozkládat na  $H_2$  a C. Vzniklý amorfni uhlík má vyšší zápalnou teplotu, nevyhoří a ukládá se na výhřevných plochách v podobě sazí. [6]

### Roštové ohniště na biomasu

Jedny z nejpoužívanějších. Spaluje se v nich i ta biomasa, která by ve fluidních kotlích nehořela, například s vyšší vlhkostí nebo se směsí nehořlavých prvků. Používá se pro menší výkony, spíše pro výrobu tepelné energie nežli pro výrobu energie elektrické. Na Obr. 7 je zobrazen roštový kotel Vesko-B od firmy TTS Boilers.



Hlavní části kotle

1. Vyhříváný vstup paliva
2. Roštová komora
3. Trysky sekundárního vzduchu
4. Vírová komora
5. Dohořivací komora
6. Trubkový výměník
7. Vzduchové ventilátory
8. Odvod popele
9. Zavážecí lis paliva

Obr. 7 Roštový kotel na biomasu (převzato z [9])

## 2.4 Regulace parních kotlů

Regulace parních kotlů je v dnešní době nezbytná, jak po stránce hospodárnosti, tak i po stránce bezpečnosti a spolehlivosti. Regulátory dříve měly sloužit k zabránění haváriím, které měly ve velkoprostorových kotlích s otápeným bubnem vážné následky. Dnešní provoz v kotlích domácích a průmyslových je bez regulace nemyslitelný. Zavedení regulace kotle je důležité zejména i pro hospodárnost provozu. Zavedením automatické regulace u parního kotle lze snížit spotřebu paliva o 0,5 až 3 %, zvýšit produktivitu práce až o 100%, náklady na generální opravy mohou klesnout až o 25%. [6]

Přitom náklady na regulaci jsou proti výnosu skoro zanedbatelné. Investiční náklady na měřicí a automatizační zařízení činní zhruba 2,5% z celkových investičních nákladů. Z toho vlastní automatizační členy zabírají jen 0,4% investičních nákladů. Z údajů je patrné, že náklady na toto dodatkové zlepšení efektivity se v provozu několikrát vrátí. [6]

Požadavky na přesnost regulace se také nadále zvyšují. Například při regulaci teploty přehřáté páry se požaduje maximální poměrová odchylka teploty menší než 1%. Některé automatizační členy musí být odpojené nebo nastavené na jiné hodnoty při najíždění nebo odstavování kotle. V této době se v kotli mění parametry rychlým spádem, proto akční prvky musí být nastaveny tak, aby chod nebrzdily, případně nezastavily úplně. U výkonných kotlů je samostatná regulace i na najíždění a odstavování kotle. Provoz je dnes řízen většinou počítačem, jako poměrová částice se používá ideální stav. Pro automatické řízení se používají PLC logické automaty (Simatic, Logo!, ABB). [6]

### 2.4.1 Regulace výkonu

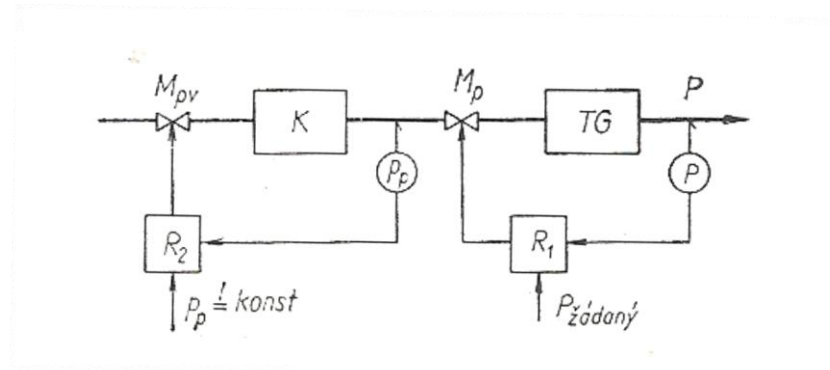
Regulací výkonu se rozumí regulace celého kotle a zařízení na odběr páry. Hlavní úlohou regulačního obvodu spalovacího zařízení je přizpůsobit výkon okamžitým požadavkům spotřebitele. Mezi nejvíce hlídané regulace patří kotle pro energetické účely, tedy parní elektrárenské kotle. [6]

Energie v takovém množství se nedá nijak zadržet nebo akumulovat. Regulace tedy musí být velice přesná s odchylkou maximálně  $\pm 0,5\%$ . Vyšší hodnota by mohla mít za následek vážné poruchy, ale i ublížení na zdraví. Pouze změnou toku tepelné energie lze měnit výkon kotle, má-li být zachována jeho energetická rovnováha. Jako akční veličina se proto udává průtok paliva a to ve všech alternativách regulačních obvodů. [6]

Nejčastěji se používá způsobu regulace výkonu, který bývá nazýván regulací s konstantním tlakem páry. Tlak páry je citlivým a velice důležitým ukazatelem rovnováhy přítoku a odtoku tepelné energie v parním kotli. [6]

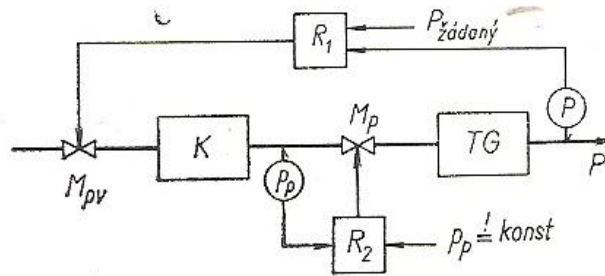
Schéma regulace činného výkonu elektrárenského bloku s konstantním tlakem páry je znázorněn na Obr. 8.

„Tento způsob regulace výkonu je charakterizován tím, že kotel i turbína mají vlastní regulátory výkonu. Turbogenerátor je soustava s velmi malou akumulací energie. Regulační obvod výkonu turbíny ( $R_1$ ) pracuje proto velmi rychle, takže vliv požadovaného výkonu na výkon dodávaný do sítě je téměř proporcionální. Změny výkonu turbíny mají za následek kolísání odběru páry z kotle. Regulační obvod ( $R_2$ ) má udržovat tento tlak na konstantní výši změnou toku paliva. Kotel je však soustava s velkou akumulací energie, takže kolísání tlaku páry nemůže být regulátorem ( $R_2$ ) odstraněno úplně. Tím se zhoršuje účinnost bloku.“ [6]



Obr. 8 Regulace činného výkonu elektrárenského bloku s konstantním tlakem páry.  $K$  - kotel,  $TG$  - turbogenerátor,  $M_{pv}$  - průtok paliva,  $M_p$  - průtok páry,  $P$  - výkon bloku,  $P_p$  - tlak přehřáté páry (převzato z [6])

„Pracuje-li elektrárenský blok s konstantním zatížením, je výhodnější tzv. přetlaková regulace výkonu Obr. 9. Výkon kotle je přímo řízen dle požadovaného výkonu bloku ( $R_1$ ). Tlak páry je udržován regulací ( $R_2$ ), která ovlivňuje regulační ventily turbíny. Tento regulační obvod je velmi rychlý a tak jeho odchylky jsou velmi malé. Při provozu bloku s konstantním zatížením nevadí velká setrvačnost regulované soustavy. Poruchy způsobené změnami jakosti paliva jsou však zjišťovány s velkým zpožděním teprve z odchylek dodávaného výkonu do sítě a nemohou být zcela odstraněny.“ [6]



Obr. 9 Přetlaková regulace výkonu bloku. Význam symbolů stejný jako na Obr.7 [6]

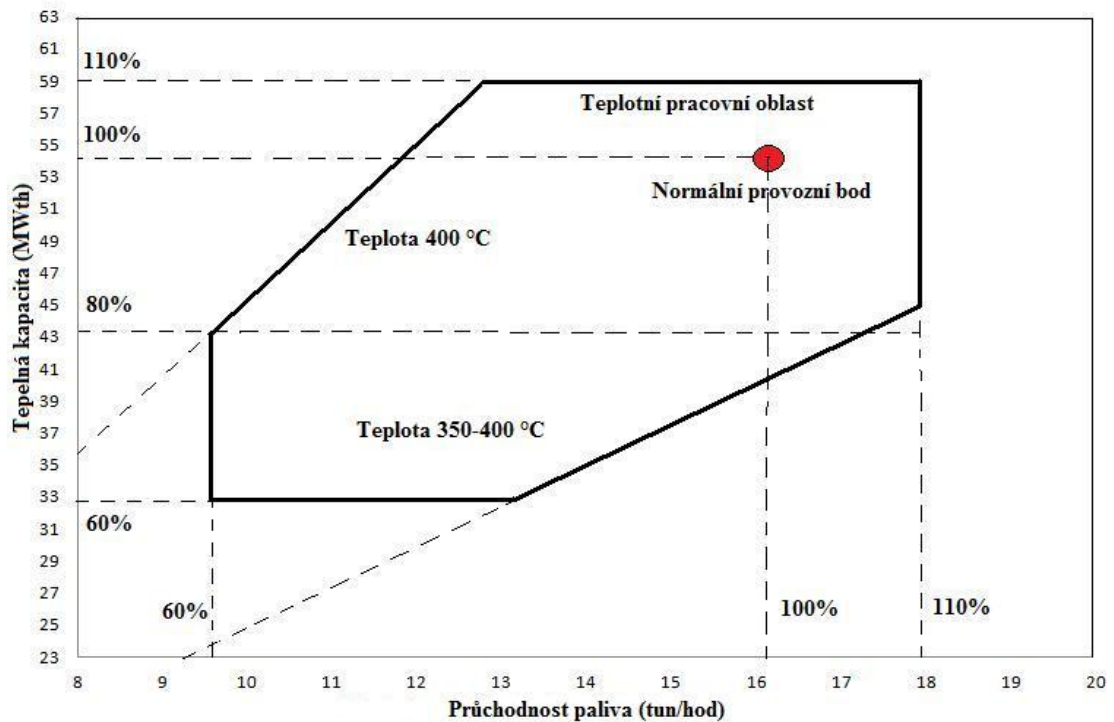
### 2.4.2 Regulace spalování uhlí a biomasy

Spalovací proces je zdroj veškeré energie. Regulace spalování je primární, ostatní zásahy jsou pomocné, zajišťují funkci sekundárních zařízení. Kdyby se zanedbala regulace spalování, nikde by se už nedala dorovnat. Na základě výstupního signálu spalovacího zařízení se poměřují požadavky na odběr. Následně je pak prováděna regulace jednotlivých dalších prvků: výměníků, odlučovačů, ventilátorů, čerpadel, pásů atd. Už z psaných jednotlivých částí vyplývá, že signálů pro zhodnocení je opravdu mnoho. Regulační proces musí přistupovat k regulaci na výkon, ale i na regulaci kvality výstupu, jedná se hlavně o zplodiny. Kotel by měl být nasimulováno velké množství případů na příchozí signály, aby situaci vyhodnotil co nejlépe. Rozdíly mezi regulací uhlí nebo biomasy nejsou skoro žádné. Rozdíly můžeme hledat jen v rychlosti hoření a tak v rychlejší změně teplot. Tyto rozdíly jsou při velkém přísunu paliva v energetických provozech zanedbatelné.

### 2.4.3 Spalovací (pracovní) diagram

Tento diagram slouží pro regulaci na požadovaný výkon jako výstup závislý na příkonu, který je dán jakostí a vlastnostmi paliva. Vlastnosti paliva jsou dané hlavně výhřevností. Na základě požadavků na výkon kotle se vypracuje pracovní diagram, který počítá s určitou výhřevností. Dle toho se pak určuje pracovní bod a pracovní oblast kotle. Tento diagram je na Obr.10. Na vodorovné ose je množství paliva, na svislé ose je tepelný výkon, šikmé čáry jsou výhřevnosti paliva. Normální pracovní bod je nominální pracovní bod, který udává nominální výkon při zadané výhřevnosti, a k tomu příslušný nominální příkon daný množstvím paliva za jednotku času. Je zde udána pracovní oblast s vyznačením nadvýkonu a oblasti, kde zařízení může pracovat s omezením. Vyznačená pracovní oblast má garantovanou účinnost i výstupní parametry. Tento diagram se zpracovává dle paliva, typu ohniště, roštu a podle požadavků na výstup. [10]

### Typický spalovací diagram



Obr. 10 Typický spalovací diagram (zde biomasu) [10]

#### 2.4.4 Cíle a úkoly regulace

Hlavními cíli regulace je ustálení provozu na konstantní hodnotu, která je předem přednastavená; předem se vyvarovat možným případům havárií, přetlakům či podtlakům v oběhové části pracovní látky; řídit výkon kotle pomocí řízení přísunů paliva či primárního vzduchu; řízení jakosti spalování a s tím i spojená kontrola kvality exhalace emisí do ovzduší.

#### 2.5 Vliv provozu na životní prostředí.

Životní prostředí je dnes žhavým tématem, jeho kvalita v budoucnosti určitě není nikomu lhostejná. Otázkou ovšem zůstává, kolik se pro životní prostředí dělá, aby bylo lepší. Denně se do ovzduší vypouští tisíce tun nebezpečných látek, které poškozují nejen přírodu, ale především naše zdraví.

Tepelné elektrárny a celkově spalování má na kvalitu životního prostředí velký vliv. Při spalování vznikají spaliny, které obsahují nebezpečné látky. Na obsahu spalin se podílí nejen materiál, který je spalován, ale i kvalita spalování. Tyto spaliny jsou pak vypouštěny do ovzduší přes různé filtry a odsiřovací zařízení. Ale i tak se do ovzduší dostává mnoho tun nebezpečných škodlivin. Důsledkem toho je ve větších městech nebo místech s výrobou

kvalita ovzduší horší. Problém nastává zejména tam, kde je obtížně větratelný terén a spaliny se tak hromadí. I v dnešní době, kdy probíhají kontroly na všech subjektech, které vypouští do ovzduší škodliviny, se objeví nedostatky zejména při spalování nekvalitního sirnatého hnědého uhlí a nedostatečné funkci odlučovačů prachu.

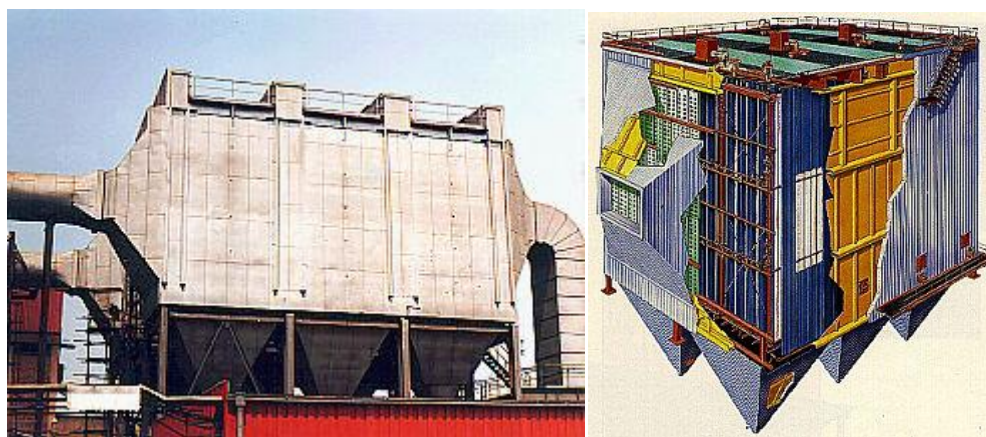
Zplodiny se měří ve vzorkovacích potrubích pomocí speciálních přístrojů, které měří jejich rychlost, teplotu a hustotu. Dále se odebírají vzorky pro okamžitý rozbor obsahu spalin a měří se procentuální obsazení škodlivých látek. Každý, kdo vypouští do ovzduší exhalace a překračuje emisní stropy, si musí koupit emisní povolenky.

### 2.5.1 Zařízení pro čištění spalin

#### Odlučovače prachu

Spaliny obsahují velké množství prachu, jsou to vlastně tuhé zbytky po spalování. Jejich koncentrace je tak velká, že vypouštět je volně do ovzduší by bylo zdraví škodlivé. K filtraci tohoto poletavého prachu používáme odlučovače. Toto zařízení se vkládá mezi kotel a komín, obvykle před sací ventilátor. Tím, že spaliny projdou skrze odlučovač, se vyfiltruje zhruba 99% prachu, 1% míří do ovzduší. Tímto procesem získáme prach v koncentrované formě a putuje na shromaždiště. Odtud se buď odváží na skládky či na zpracování nebo je opět prohnán kotlem a vypálí se z něj nedopálené zbytky. Pracovní teplota odlučovače je do 200 °C a je dána teplotou spalin. Nejčastěji používané odlučovače v kotelní technice jsou mechanické a elektrické, ojediněle mokré. Nejčastěji jsou používány elektrické odlučovače.

[11]



Obr. 11 Elektrostatický odlučovač [převzato z 11]

## Odlučovače-druhy

- **Odstředivé (cyklóny, buňkové)**

Princip je založen na rozdílu hustot prachu a spalin, čisté spaliny vystupují vrchem, popílek klesá.

- **Elektrické odlučovače (nejpoužívanější)**

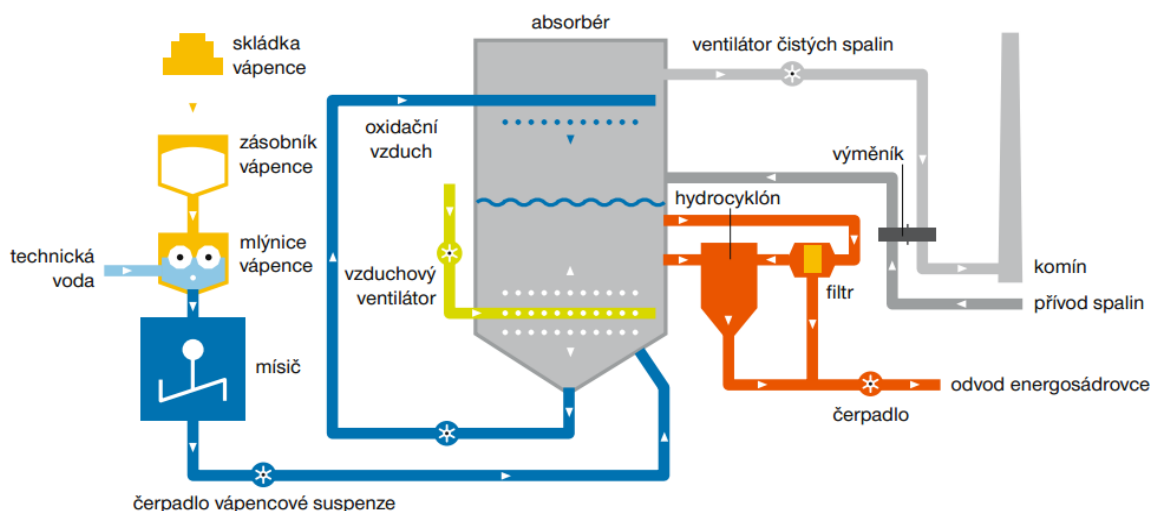
Princip je založený na elektrostatickém poli, které působí na částičky popílku a vytváří na nich záporný náboj. Když částice popílku míjejí kladné deskové elektrody, tak jsou přitáhnuty a usadí se na nich. Pro uvolnění částic se deskami občas setřásá a tím spadají shluky popílku do výsypky.

Základní parametry: účinnost více než 99%, napětí na elektrodách 40 až 70kV, rychlost spalin 1 až 2m/s. [11]

## Odsíření

Odsíření je jeden z nejdůležitější čistících postupů u spalování převážně uhlí. Obsah síry je značný. Jelikož smíchání s vodou a vzduchem vytváří kyseliny, musíme je do značné míry odchyťovat. Je to dáno i zákonem o emisních povolenkách vydaný v roce 1998. Od roku 2014 mají být vydány nové, přísnější limity.

Nejrozšířenější metoda je mokrá vápencová vypírka spalin. Jako reakční činidlo se používá vodní suspenze jemně mletého vápence. Na výstupu procesu odsíření je hydrát síranu vápenatého ( $\text{CaCO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ), tento produkt také nazýváme energosádrovec. Účinnost je až 96%. Produkt energosádrovec se využívá ve stavebnictví místo sádrovce. [11]



Obr. 12 Schéma odsíření mokrou vápencovou cestou (převzato z [12])



## 3 Dlouhodobý provoz kotle spalující biomasu.

### 3.1 Plzeňská teplárenská a.s.

Společnost Plzeňská teplárenská a.s. vznikla v roce 1994 a patří svými klíčovými produkty mezi společensky prospěšné energetické společnosti, které působí především na území města Plzně. Zajišťuje dodávku tepelné energie pro potřeby vytápění a přípravu teplé vody, elektrické energie a energie chladu pro více jak dvě třetiny poptávky plzeňských odběratelů těchto životu potřebných energií. Hlavním předmětem podnikání společnosti je výroba tepelné energie, výroba elektřiny a obchod s elektřinou. [13] Od roku 2003 začala PT spoluspalovat biomasu s uhlím a v roce 2010 byl postaven samostatný blok pro výrobu elektřiny jen z biomasy.

### 3.2 Kotel spalující biomasu

#### 3.2.1 Výchozí stav

Před postavením nového bloku se vedly diskuze, zda postavit kotel spalující tuhá fosilní paliva nebo kotel spalující biomasu. Rozhodovalo mnoho faktorů, ty nejvíce rozhodující jsou:

- **Nedostatek uhlí a zvyšování jeho ceny**

Nejedná se o nedostatek surovin, ale spíše o problematiku s těžbou, kdy na mnoha nalezištích jsou situovány vesnice a města. Vedou se debaty o prolomení tzv. těžebních limitů spojených s vykoupením až vyvlastněním pozemků, na nichž se naleziště nachází. Je to ovšem cesta zdlouhavá s nejistým výsledkem. Tato situace má za následek zvyšování cen uhlí.

- **Limity zplodin**

- **Zastaralost kotlů a zařízení kolem něj**

Průměrná životnost kotle je zhruba 25-30 let. Kotel se následně může modernizovat nebo zcela vyměnit. Zde pak nastává otázka, zda využívat jako palivo hnědé uhlí a počítat s problémy v předcházejících bodech nebo zvolit kotel na jiné palivo.

- **Dotace na biomasu**

Tyto dotace se odvíjí od doby splatnosti projektu. Energetický úřad plánuje dobu

splatnosti cca 15 let. Pokud se zvýší cena biomasy, pak se zvednou i ceny zelených bonusů pro výkup této biomasy a je tak zaručená splatnost stále na 15 let. Příklad nákladů a tržeb se zelenými bonusy je v kapitole 5.

### 3.2.2 Požadavky a cíle

Kvalitní spalování s co největším ziskem, tedy nejvyšší výhřevností a s co nejmenšími dopady na životní prostředí. Spotřeba paliva je do 14t biomasy za hodinu, stejné množství musí být sušeno v sušičce biomasy, než se dostane do kotle z důvodu vyšší účinnosti. Palivo musí být čistá biomasa (štěpka, trikitale, řepková či obilná sláma, atd.). Snížení spotřeby uhlí v celé elektrárně díky tomuto kotli kleslo z 73% na 55%.

### 3.2.3 Parametry kotle- energetické vyhodnocení

TG3 a kotel K7 je novým centrálním zdrojem energie v Plzeňské teplárenské a.s. Výkony a bilance jsou uvedeny v následující tabulce. Tyto hodnoty jsou z roku 2010, a proto se liší od hodnot z roku 2011 popsaných níže.

Parametry:

Tab. 3 Roční bilance výroby energie[14]

Roční bilance výroby tepla a elektrické energie- návrh		
Ukazatel	Jednotky	Hodnota
Dosažitelný tepelný výkon kotle	MWt	35
Výstupní tepelný výkon zdroje	MWt	15
Jmenovitý elektrický výkon TG3	MWe	11,5
Výroba elektrické energie	MWh	89 200
Využití dosažitelného elektrického výkonu	hod/r	7 760
Vlastní spotřeba el. energie ve zdroji	MWh	9 700
Dodávka el. energie do sítě ZČE	MWh	79 600
Měrná spotř. tepla v palivu na výrobu el. energie	GJ/MWh	11,9
Spotř. tepla v palivu na výrobu el. energie	GJ	1 057 200
Celková spotřeba paliva	GJ/r	1 100 400
Biomasa	t/r	90 800
Celková účinnost výroby dodávkového tepla	%	91
Celková účinnost výroby elektrické energie	%	31
Celková účinnost výroby tepla a el. energie	%	33

Parametry jsou počítané pro výhřevnost 12,2GJ/t

- Spotřeba biomasy: 12 t/hod
- Výstupní tlak páry: 6,7 MPa
- Teplota výstupní páry: 495°C
- Teplota napájecí vody: 145°C
- Jmenovité množství páry 45 t/hod

**Parametry sušičky:**

- Množství sušené biomasy: 14t/hod
- Energie pro vysušování:

Sušička 1: Plyn

Sušička 2: Odebírané teplo z výměníku v odvodu spalin, teplota cca 150°C

**3.3 Tabulka s daty za rok 2011**

Tab. 4 Data kotle na biomasu z roku 2011[15]

2011 Období	Biomasa [t]		Výhřevnost [GJ/t]		Obsah vody [%]		Moze [GJ]	Esv [MWh]	Evl [MWh]	Eoze [MWh]
	O1	O2	O1	O2	O1	O2				
Leden	3800	5500	12	8,5	30	49	89000	7900	580	7320
Únor	3600	4400	11	9,5	37	43	80000	7000	490	6510
Březen	4800	5600	10	10,5	40	39	106000	8750	635	8115
Duben	3900	6400	11	11,5	38	35	114000	9200	662	8538
Květen	3800	2000	11	13	35	26	68500	5500	398	5102
Červen	3600	3600	11	13	37	27	86000	7200	527	6673
Červenec	2900	5700	11	13	38	28	104000	8500	625	7875
Srpen	5400	4300	11	13	38	27	113000	9300	678	8622
Září	6600	3300	11	13	36	28	116000	9300	676	8624
Říjen	5400	4500	11	12	38	30	112000	9100	653	8447
Listopad	5500	5400	10	12	42	31	119000	9800	700	9100
Prosinec	6300	5000	10	12	43	34	118000	9600	710	8890
Průměr			10,83	11,75	37,7	33,1				
Celkem	55600	55700					1225500	101150	7334	93816

**Vysvětlivky:**

Biomasa **O1**- účelově pěstované jednoleté a víceleté byliny, účelově pěstované traviny a účelově pěstované rychle rostoucí dřeviny.

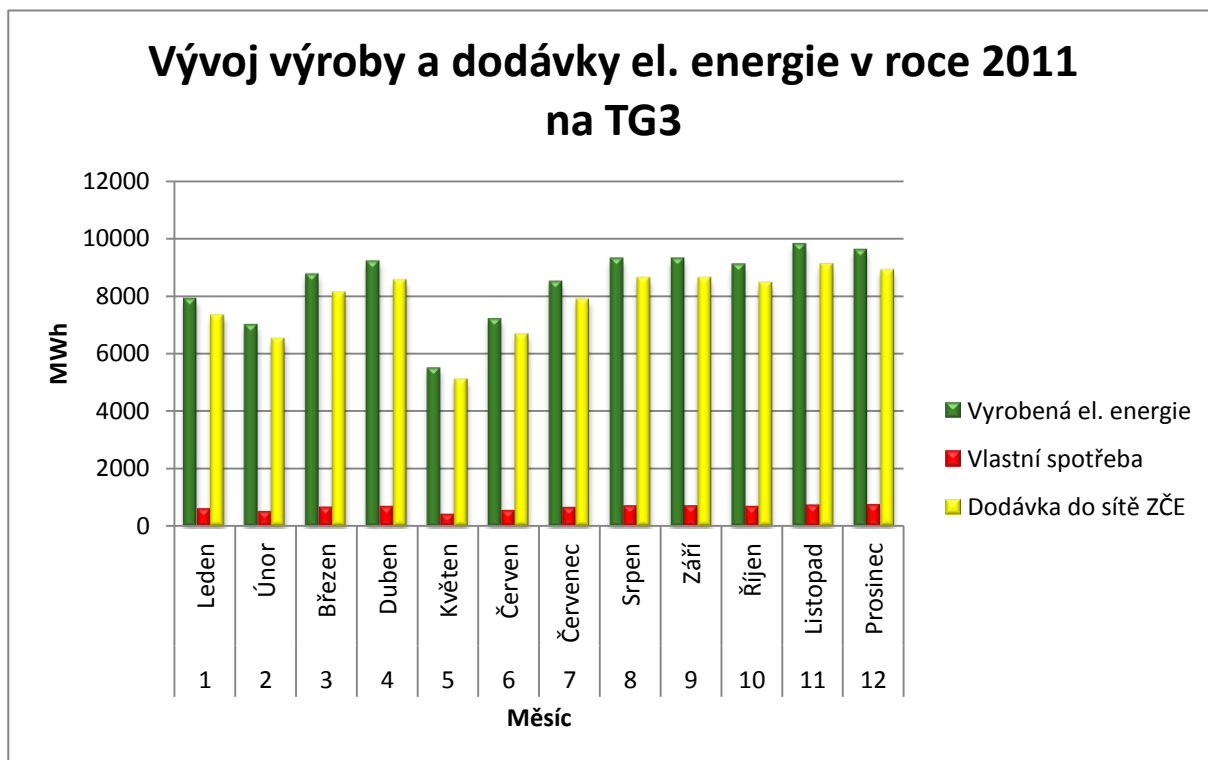
Biomasa **O2** -vedlejší produkty po těžbě dřeva, dřevní odpad z parků, prořezávek lesů, alejí a podobných činností včetně listů a paliva z něj vyrobených; kůra z odkornění dřeva včetně paliva z ní vyrobených; vedlejší produkty a odpady z rostlinné výroby (sláma, obilné zbytky, obilí nepoužitelné pro potravinářskou výrobu)

**Moze** - Množství energie v biomase pro výrobu elektřiny a tepla.

**Esv** - svorková výroba elektřiny

**Evl** - Technologická vlastní spotřeba elektřiny

**Eoze** – Elektřina dodaná – vyrobená z obnovitelných zdrojů



Graf. 1 Zobrazení zelené energie ve výrobě a distribuci za rok 2011[15]

### 3.4 Investiční náklady

Investice pro výstavbu nového kotle K7, turbogenerátoru TG3 a další jiné položky se stavbou spojené nejsou zcela přesné. Hodnoty jsou převzaty z projektu, proto se při realizaci mohly částky měnit.

Tab. 5 Investiční náklady[14]

Instalace OZE- K7+ TG3	
Položka	Cena [tis. Kč]
Instalaci TG3	280 000
Kotel K7	182 000
Technologie ke K7	35 000
Instalace ŠO4	7 000
Systém kontroly a měření	48 000
Stavební část	110 000
Demolice původního kotle	13 000
Projektová dokumentaci a další položky	178 000
<b>Stavba celkem</b>	<b>853 000</b>

Částky jsou zkresleny a zaokrouhleny

### 3.5 Problematika provozu

Provoz běží teprve krátkou dobu, ale už bylo zjištěno několik problémů, které během provozu nastaly. Jedním z nich je problém s biomasou. Do teplárny se nevozí pouze čistá štěpka nebo peletky, ale i směs větví a kůry, které jsou sbírány nakladači přímo ze země. Do směsi se přimíchává i kamení a písek, které zhoršují hoření tím, že se usazují na dolním roštu a těžko se odtud dostávají. Pro jejich čištění je nutné blok odstavit, vyčistit a uvést jej znova do provozu a to může trvat i týden. Další problém, který může přinést ucpaní roštu, je pokles fluidní vrstvy nedostatkem primárního vzduchu, jenž je hnán skrze rošt. Aby se tomuto zabránilo, bylo nutné zlepšit kontrolu biomasy již na skládce a zpřísnit kritéria na dodavatele. [5]

Další problém nastal s vlhkou biomasou, zde se problematika týká hlavně dopravy ze skládky do kotle. Vlhká biomasa se lepila na dopravníky. V zimě se stávalo, že biomasa k pásu přimrzla a způsobovala tak výpadky v dodávce do kotle. Kotel má sice ještě své zásobníky, ale ty jsou určené jen na několik hodin. Když se proto nestihl problém vyřešit včas, došlo opět k výpadku. Tento problém se podařilo částečně vyřešit opět u dodavatelů zlepšením kvality dodávané biomasy a pak také sušičkou, která sníží podíl vlhkosti v biomase o 10-25%. [5]

## 4 Logistika

Plzeňská teplárenská věnuje logistice velké úsilí. Denně prověřuje přísun paliva pomocí laboratorních rozborů. Parametrů k měření je hnedka několik. Základní parametry jsou vlhkost, výhřevnost a emise, které vzniknou při přeměně látky. Přesný postup měření a určení kvality je dán vyhláškou o stanovení postupu zjišťování, vykazování ověřování množství emisí skleníkových plynů a formuláře žádosti o vydání povolení k emisím skleníkových plynů.

### 4.1 Kritéria pro nejpoužívanější paliva z obnovitelných zdrojů v teplárně

#### Názvosloví

- Skupina 1, která zahrnuje zejména byliny nebo dřeviny cíleně pěstované pro energetické využití a biopaliva z nich vyrobená
- Skupina 2, která zahrnuje zejména biomasu včetně zbytkové biomasy, kterou nelze materiálově využít
- Skupina 3, která zahrnuje zejména materiálově využitelnou biomasu a biopaliva z ní vyrobená.

#### Kvalita dodávek

- Prodávající se zavazuje předložit kupujícímu certifikát o původu biomasy v souladu s kategoriemi paliva uvedených v prováděcí vyhlášce k zákonu č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a v bodě „Názvosloví“
- Prodávající se zavazuje dodávat peletky s následujícími kvalitativními parametry: viz bod 4.1.1 a 4.1.2 [16] [17]

#### 4.1.1 Peletky

- Výhřevnost 14-17 GJ/t
- Max. obsah popele 7%
- Max. obsah vody 20%
- Max. obsah síry 0,4%

- v jednotlivých dodávkách se připouští přítomnost cizích látek: zeminy, písku, různých minerálů, kovových předmětů, kamení, písku a lesní hrabanky maximálně 2% z celkového objemu předmětné dodávky. Maximální velikost jednotlivých částic těchto cizích látek nesmí přesáhnout velikost krychle o hraně 1 cm, (nečistoty – součet tří stran max. 10cm)



Obr. 13 Peletky

- biomasa bude dodávána jako peletka o průměru do 12 mm
- dodávka nesmí obsahovat žádné chemické látky a příměsi (např. biomasa impregnovaná chemickými přípravky, opatřená nátěry apod.). [16] [17]

#### 4.1.2 Štěpka

- Minimální výhřevnost 7 GJ/t
- max. obsah popele 7 %
- max. obsah vody 55 %
- max. obsah síry 0,4 %
- v jednotlivých dodávkách se připouští přítomnost cizích látek: zeminy, písku, různých minerálů, kovových předmětů,



Obr. 14 Štěpka

- kamení, písku a lesní hrabanky maximálně 2 % z celkového objemu předmětné dodávky. Maximální velikost jednotlivých částic těchto cizích látek nesmí přesáhnout velikost krychle o hraně 1 cm, (nečistoty – součet tří stran max 10 cm)
- biomasa bude dodávána jako drcená na rozměry 0 – 100 mm
- biomasa přesahující velikost 100 mm bude v dodávce ojediněle, max. do 10% dodávky,
- maximální rozměr biomasy nepřesáhne 200 mm,
- celková dodávka bude obsahovat max. 10% jemné frakce 0-5mm
- dodávka nesmí obsahovat žádné chemické látky a příměsi (např. biomasa impregnovaná chemickými přípravky, opatřená nátěry apod.).

**Prodávající prohlašuje, že v dodávané biomase je vyloučena přítomnost:**

- dřevního odpadu, který obsahuje nebezpečné chemické látky a přípravky (chemicky ošetřené dřevo, dřevotříska, nátěrové hmoty),
- oleje, mazadla, apod.
- ostatních příměsí a cizích předmětů,
- sněhu a ledu (v zimním období),
- dalšího inertního materiálu. [16] [17]

## 4.2 Laboratorní vyhodnocení kvality biomasy

### 4.2.1 Vzorkování biomasy

Provádí jej zaměstnanec PT, který odebírá vzorek biomasy podle ČSN P CEN/TS 14778-2 z každé dodávky při vykládce, tj. 1 vzorek z každého nákladního vozidla nebo železničního vozu. Vzorek se odebírá do plastového kbelíku označeného "biomasa" a vždy se k odebranému vzorku přiloží vážní list s údaji o názvu dodavatele, číslu váženky, datu a času vykládky a hmotnosti dodávky. Vzorek se dodává do směsné týdenní dávky. Tento vzorek se pak laboratorně prověřuje. Postup je takový, že vzorek biomasy se v průběhu týdne upraví na mlýnku na analytický laboratorní vzorek a je analyzován dle normy ČSN EN 14774 pro stanovení vody a výpočet výhřevnosti dle vyhlášky 502/2005 Sb. Takto zjištěné ukazatele pak budou přiřazeny jako průměrné všem dodávkám prodávajícího v kalendářním týdnu jako podklad pro fakturaci za biomasu. [16] [17]

### 4.2.2 Průměrné výhřevnosti

Do PT se vozí štěpka s výhřevností kolem 9-10MJ/kg, jejíž vlhkost se pohybuje kolem 45%, délka od 0 do 100 mm. Peletky mají výhřevnost kolem 15MJ/kg a její vlhkost se pohybuje kolem 12%, průměr max. 12 mm. [17]

## 4.3 Cena biomasy

Ceny biomasy se udávají v Kč/tunu, ceny jsou pouze průměrné a orientační. Biomasa se rozděluje do dvou cenových skupin. V první skupině se nachází čistá biomasa s relativně malou vlhkostí a dobrou výhřevností. Do druhé se pak zařazuje zbylá, kvalitně horší biomasa, nežli v první skupině.



Tab. 6 Cena biomasy dle kvality [17]

Kvalita	Skupina 1		skupina 2	
Druh	štěpka	peletky	štěpka	peletky
Cena	1600Kč/t	2600Kč/t	1100Kč/t	2350Kč/t

Pozn: ceny v roce 2011

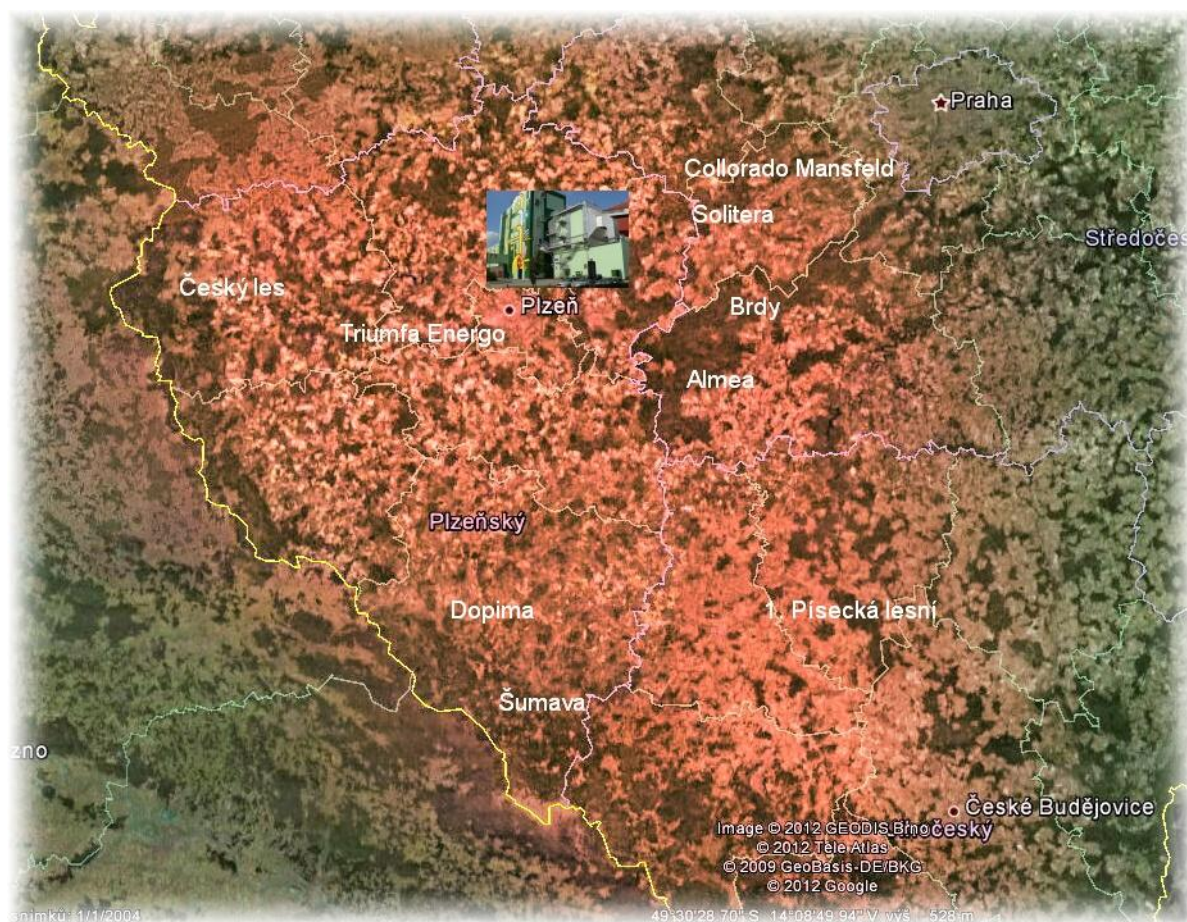
#### 4.4 Lokalita produkce biomasy pro PT

Do PT se sváží biomasa z okruhu přibližně 200km. K transportu se využívá silniční a železniční doprava (do 80 km silniční, 200 km železniční). Z ekonomického hlediska vychází dovoz do 80 km levněji kamionově, protože dodavatelů je více a svoz na jedno místo a následný transport po železnici by se prodražil. Pro tuto službu má PT svou vlastní transportní firmu Plzeňská Teplárenská a.s. - autodoprava. Pro vzdálenější dopravu vychází lépe železniční kontejnerová doprava. Nejčastější lokalitou je oblast Šumavy, Brdy, Český les, Plzeňsko. Lesy z těchto lokalit jsou majetkem Lesů České republiky, Vojenských lesů, soukromých subjektů (Collorado Mansfeld, obce). S těmito subjekty spolupracují smluvní dodavatelé. Tito dodavatelé neberou biomasu jen od velkých subjektů, ale i od malých. Například zbytky z malých pil, kde odřezků a pilin je málo, sváží na překladiště do doby, než naplní kamion popřípadě vagón. [17]

Mezi ty nejvýznamnější patří:

1. Písecká lesní a dřevařská a.s.	<a href="http://www.piseckalesni.cz">www.piseckalesni.cz</a>
Almea	<a href="http://www.almea-biomasa.cz">www.almea-biomasa.cz</a>
Solitera	<a href="http://www.solitera.cz">www.solitera.cz</a>
Triumfa Energo	<a href="http://www.triumfa-energo.cz">www.triumfa-energo.cz</a>
Dopima	<a href="http://www.dopima.cz">www.dopima.cz</a>
Less&Forest	<a href="http://www.less.cz">www.less.cz</a>

Pozn.: Červenou barvou na mapě v Obr.15 je znázorněna lokalita svozu biomasy a názvy dodavatelů dle jejich regionu.



Obr. 15 Mapa lokalit pro svoz biomasy do PT [struktura mapy převzata z Google.maps]

#### 4.5 Jiné možnosti zdrojů pro PT

Běžná paliva pro kotel K7 jsou štěpka a peletky, ale jsou i jiné možnosti? Určitě ano, ovšem parametry musí být vždy stejné. Hlavním parametrem je, aby zdroj byl obnovitelný a do ovzduší při spalování neunikaly nebezpečné látky. Dalším důležitým parametrem je vlhkost. Ideální palivo by mělo mít do 50% vlhkosti z důvodu kvality spalování a výhřevnosti.

Jednou z možností je spalování zbytků z výroby, jako jsou piliny, hobliny, odřezky, atd. Z potravinářské výroby je to například mláto, které PT začala spalovat od tohoto roku. Před spalováním mláta se provádí ještě lisování, aby se snížila poměrně vysoká míra vlhkosti. Při spalování by měla být vlhkost u mláta zhruba 50%. Mezi další možnosti jsou přebytky ze zemědělské výroby, jako je drcená sláma, suchá kejda, drcené nekvalitní seno, nekvalitní zrno aj. Mezi zajímavosti, které se nyní spalují v PT, patří nekvalitní palmové oříšky nebo jen jejich skořápky, které jsou dováženy z Afriky. Mezi cíleně pěstované rostliny lze zařadit miscanthus nebo japonský topol. Tyto rostliny jsou přímo pěstované pro energetické využití pro jejich výbornou výhřevnost a rychlost růstu i ve špatných podmínkách. [5] [17]

## 5 Zhodnocení stávajícího zařízení a navržení změn pro vyšší efektivitu

### 5.1 Porovnání projektu biomasy k uhlí

Když se vymýšlel projekt na nový blok pro výrobu energie v PT, zvažovaly se dvě varianty. Varianta na biomasu, která se později i zrealizovala, a varianta na spalování uhlí. Proč vyhrála varianta biomasy je zhodnoceno v následující části.

Základní parametry byly pro obě varianty stejné, jedná se o výkon - svorkový výkon 11,5MW<sub>e</sub> a výkon kotle 45 tun páry za hodinu. Jediný rozdíl se nachází v přísunu paliva s ohledem na výhřevnost paliva. Biomasa má výhřevnost menší, a proto musí být přísun paliva u biomasy za hodinu větší. Pro stejný výkon, jako má blok na biomasu, je vypočítáno 10,0 t/h uhlí.

#### 5.1.1 Investiční náklady varianty U- Uhlí

Investiční náročnost tohoto projektu byla odvozena z energetického auditu, který čerpal informace od nabídek dodavatelů a z podobných projektů.

Tab. 7 Investiční náklady varianty Uhlí [14]

Položka	Cena [tis. Kč]
Instalace TG3	280 000
Nový kotel za K7	150 000
Ostatní technologie K7	34 000
Instalace ŠO4	7 000
System kontroly a měření	48 000
Stavební úpravy	105 000
Demolice původního objektu	13 000
Projektová dokumentace a jiné položky	178 000
<b>Celkem</b>	<b>815 000</b>

Investiční náklady biomasy jsou k porovnání k dispozici v kapitole 3.4. Z porovnání investičních nákladů je varianta B (biomasy) dražší cca o 43 mil. Kč

#### 5.1.2 Energetické vyhodnocení variant

Roční energetická bilance je u obou variant stejná, shoduje se tedy s Tab. 3. Rozdíl mezi porovnávanými variantami je v množství spotřebovaného paliva a tržbách za dodané energie. V následující Tab. 8 jsou uvedeny energetické a peněžní přínosy upravené k variantě B (biomasa).

Tab. 8 Energetické vyhodnocení obou variant [14]

ř.	Ukazatel	Varianta U		Varianta B	
		energie GJ/r	roční náklady tis. Kč/r	energie GJ/r	roční náklady tis. Kč/r
1	Vstupy paliv a energie	1 100 400	55 000	1 100 400	140 600
2	Spotřeba paliv a energie	1 100 400	55 000	1 100 400	140 600
3	Prodej energie cizím (horká voda + elektřina)	326 000	99 000	326 000	303 000
4	Konečná spotřeba paliv a energie v areálu (ř.2-ř.3)	774 400	39 000	774 400	97 000
5	Ztráty ve vlastním zdroji (ztráta kotlů) - (z ř.4)	99 000	4 900	99 000	12 500
6.I	Vlastní spotřeba tepla- ztráta v kotelně - (z ř.4)	29 500	1 500	29 500	3 600
6.II	Vlastní spotřeba elektrické energie- (z ř.4)	35 000	1 800	35 000	1 800
6.III	Nákup elektrické energie	0	0	0	0
7	Spotřeba energie na technologii - strojovna (z ř.4)	612 000	30 300	612 000	78 200

Předpokládaná roční úspora primárních energií	<b>0</b> GJ/rok
Předpokládaná úspora nákladů za energie	<b>-85 600</b> tis. Kč
Předpokládaný roční nárůst, či pokles z tržeb za energie	<b>204 000</b> tis. Kč

### 5.1.3 Ekonomické vyhodnocení variant

Ekonomické vyhodnocení variant se provádí na základě všech peněžních toků (cash flow) za určitou dobu porovnání. Tok peněz se provádí jen k bloku K7+TG3. Obě varianty jsou konstruovány tak, že mají stejný tepelný výkon a vyrobí stejné množství elektřiny. Stejná dodávka elektřiny do sítě ale neznamena stejnou tržbu, protože jsou rozdílné tržby za výkupní ceny elektřiny.

Do ekonomického modelu se nejvíce promítají následující skupiny tržeb a nákladů:

- Investice
- Tržby za prodej silové elektřiny a příplatku KVET
- Příplatky za zelené bonusy při výrobě elektřiny z biomasy
- Náklady na paliva
- Ostatní variabilní náklady
- Náklady na emisní povolenky

Výpočty ekonomické efektivity odpovídají vyhlášce č. 213/2001Sb.ve znění vyhlášky č. 425/2004Sb. [14]

Pro opatření investičního projektu se stanoví soubory jednotlivých variant:

- Prostá doba návratnosti investice – doba splacení investic vypočítaná z podílu investičních nákladů a roční změny peněžních toků po realizaci projektu.

$$T_s = IN/CF \quad \text{kde } IN = \text{investiční náklady, } CF = \text{roční cash-flow projektu}$$

- Reálná doba návratnosti (výpočetem z diskontovaného cash-flow projektu)

$$\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN = 0 \quad \text{kde } CF_t = \text{roční přínosy projektu, } r = \text{diskont, } (1+r)^t = \text{úročitel}$$

- Čistá současná hodnota (NPV výpočetem z diskontovaného cash-flow projektu)

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

- Vnitřní výnosové procento (IRR vychází z diskontovaného cash-flow)

$$IN - \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} = 0 \quad \text{platí: } IRR = r$$

Při výpočtu se počítalo s modelem časových rozlišení finančních toků. [14]

### 5.1.3.1 Obecné podmínky ekonomického zhodnocení

#### Doba hodnocení

Byla zavedena pro obě varianty 20 let od výstavby.

Rok výstavby	2008-2010
První rok plného provozu	2011
První rok hodnocení	2010
Poslední rok hodnocení	2027

Doba splatnosti je počítána na 15let.

#### Diskontní sazba

Zvolena byla 8%, později stoupla na 9%.

#### Daň z přidané hodnoty a daň z příjmu

PT je plátcem DPH, a proto není daň zahrnuta v cenách a nákladech pro výpočty.

Daň z příjmu činila 19%, což odpovídá stavu k 1.1.2010. [14]

### 5.1.3.2 Náklady variant

#### Náklady na palivo:

Ceny jsou orientační z roku 2010, přesnější ceny lze najít v kapitole 4.3

- Hnědé uhlí 683Kč/t
- Biomasa 1550Kč/t
- Povolenky CO<sub>2</sub> 347 Kč/povolenku - 1 tunu emisí CO<sub>2</sub>
- Zemní plyn (zapalování a stabilizace) 200 tis. Kč/rok
- Vápno (jen u varianty Uhlí) 2900Kč/t
- Chladicí voda 3,50Kč/GJ [14]

Proměnné náklady u obou variant vyjádřené v Tab. 9 a Tab. 10.

Tab. 9 Proměnné náklady varianty Uhlí [14]

Komodita	Množství (t)	Jednotková cena (Kč)	Náklady (Kč)
Palivo	80 000	683	54 640 000
Povolenky CO <sub>2</sub>	110 032	347	38 207 512
Zemní plyn			200 000
Vápno	821	2 900	2 380 900
Uložení tuhých zbytků			4 070 000
Chladicí voda			1 806 000
Poplatky za emise			800 000
<b>Celkem</b>			<b>102 104 412</b>

Tab. 10 Proměnné náklady varianty Biomasa [14]

Komodita	Množství (t)	Jednotková cena (Kč)	Náklady (Kč)
Palivo	90 740	1 550	140 647 000
Zemní plyn			200 000
Uložení tuhých zbytků			1 056 000
Chladicí voda			1 806 000
Poplatky za emise			317 000
<b>Celkem</b>			<b>144 026 000</b>

#### Stálé náklady

Mezi stálé náklady patří ty, které budou stejné při obou variantách. Jedná se o náklady na opravy (2 mil. Kč), režijní náklady (9 mil. Kč). **Celý projekt bude odepisován 20 let.** [14]

### 5.1.3.3 Tržby variant

Tržby za teplo zůstávají stejné v obou variantách. Tržby za prodej elektřiny se skládají z několika položek:

- Výkupní cena za silovou elektřinu
- Zelený bonus za výrobu elektrické energie z OZE dle cenového rozhodnutí ERU č. 4/2009
- Z příspěvku k ceně elektřiny vyrobené v kombinované výrobě elektřiny a tepla

[14]

Přehled tržeb v obou variantách je znázorněn v *Tab. 11 a Tab. 12.*

*Tab. 11 Tržby varianty Uhlí [14]*

Komodita	Množství MWh, GJ	Jednotková cena Kč	Celkem Kč
Dodané teplo [GJ]	39 500	294	11 601 150
Silová elektřina [MWh]	80 000	1 090	87 200 000
Elektřina z KVET [MWh]	5 736	45	258 120
Tržby za elektřinu celkem			87 458 120
<b>Tržby celkem</b>			<b>99 059 270</b>

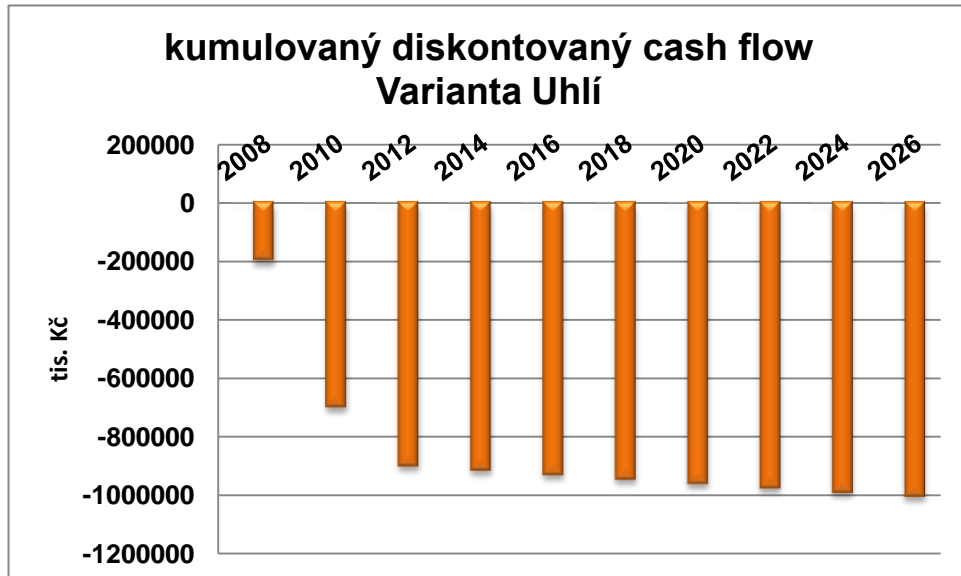
*Tab. 12 Tržby varianty Biomasa [14]*

Komodita	Množství MWh, GJ	Jednotková cena Kč	Celkem Kč
Dodané teplo [GJ]	39 500	294	11 601 150
Silová elektřina [MWh]	80 000	1 090	87 200 000
Zelený bonus [MWh]	89 200	2 560	228 352 000
Elektřina z KVET	5 736	45	258 120
Tržby za elektřinu celkem			315 810 120
<b>Tržby celkem</b>			<b>327 411 270</b>

### 5.1.3.4 Výsledky ekonomického hodnocení

*Tab. 13 Hodnocení varianty Uhlí [14]*

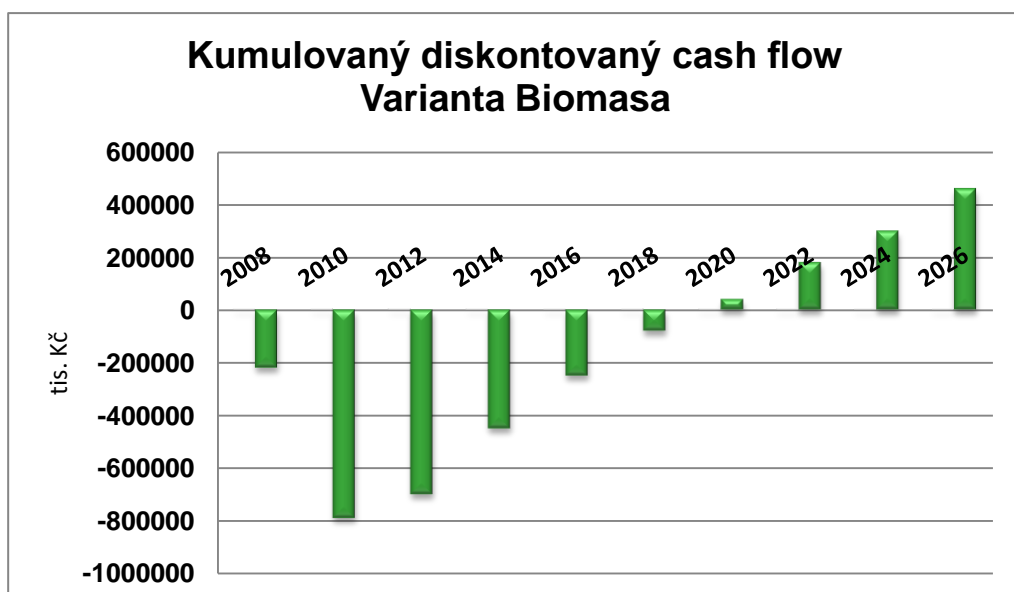
Hodnotící kritéria - varianta Uhlí			
Čistá současná hodnota	<b>-1 004 000</b>	tis. Kč	NPV
Vnitřní výnosové procento	není defín.		IRR
Doba splacení (prostá)	nesplatí	let	Ts
Doba splacení (diskontovaná)	nesplatí	let	Tsd
Rok hodnocení	2010		
Doba životnosti (hodnocení)	20	let	
Diskont (2010)	8%		



Graf. 2 Hodnocení varianty Uhlí v grafu [14]

Tab. 14 Hodnocení varianty Biomasa [14]

Hodnotící kritéria - varianta Biomasa			
Čistá současná hodnota	<b>460 000</b>	tis. Kč	NPV
Vnitřní výnosové procento	14%		IRR
Doba splacení (prostá)	8	let	Ts
Doba splacení (diskontovaná)	9	let	Tsd
Rok hodnocení	2010		
Doba životnosti (hodnocení)	20	let	
Diskont (2010)	8%		



Graf. 3 Hodnocení varianty Biomasa v grafu [14]



### 5.1.3.5 Porovnání ekonomického hodnocení

Porovnání vychází z dat v předchozích kapitolách. Jde hlavně o *tabulky č. 9, 10, 11, 12*.

- V investiční náročnosti vítězí varianta Uhlí pro nižší investiční náklady.
- Obě varianty vychází ze stejných výkonů dodávky tepla a z té pak stejných dodávek elektřiny. Proto se výpočty dají dobře porovnávat z nákladů a tržeb.
- Rozdíl tržeb a nákladů je u variant různá, hlavní vliv má cena paliva, z kterého se vyrábí teplo a elektrická energie.
- Přínosy varianty Biomasa jsou kladné, tržby za elektrickou energii vyváží i podstatně vyšší palivové náklady.
- Z hlediska měrných ukazatelů ekonomické efektivity, tj. z hlediska prosté i reálné doby návratnosti a dosahované míry zhodnocení investice – vnitřního výnosového procenta, **vykazuje varianta Biomasa příznivé výsledky, varianta Uhlí je naopak neefektivní a ztrátová.** [14]

### 5.1.4 Ekologické vyhodnocení variant

Emisní faktory jsou uvedené v *Tab. 15*

*Tab. 15* Ekologické zhodnocení [14]

Znečišťující látka	Jednotka	Emisní faktor	
		HU	Biomasa
Tuhé látky	kg/t	8,5 Ap	15
SO <sub>2</sub>	kg/t	19,0 Sp	1,5
NO <sub>x</sub>	kg/t	6	3
CO	kg/t	0,5	1
Org. látky	kg/t	0,14	0,89
CO <sub>2</sub>	kg/t	1380	0

Ap - obsah popela v původním palivu (% hm.)

Sp – obsah síry v původním palivu (% hm.)

Za použití výše uvedených emisních faktorů, účinnosti filtrů tuhých látek 99,9% (viz. kapitola 2.5.1), účinnosti odsíření 70% (viz. kapitola 2.5.1), známých objemů spotřeby jednotlivých druhů paliv (viz. předchozí kapitoly) je již možno kvantifikovat vliv navržených variant na životní prostředí. Tyto kvantifikace jsou pro obě varianty uvedeny v *Tab. 16*

Tab. 16 Ekologické zhodnocení provozu [14]

Znečišťující látka	Jednotky	Varianta Uhlí	Varianta Biomasa	Rozdíl
Tuhé látky	t/r	9,2	1,4	-7,8
SO <sub>2</sub>	t/r	364	41	-323
NO <sub>x</sub>	t/r	479	273	-206
CO	t/r	40	91	51
Org. látky	t/r	12	81	69
CO <sub>2</sub>	t/r	110000	0	-110000

Z hlediska ochrany životního prostředí má varianta Biomasa výrazně nižší vliv na množství emisí znečišťujících látek do ovzduší oproti variantě Uhlí. Velkým přínosem této varianty je pokles produkce CO<sub>2</sub>, což s sebou přinese úsporu nákladů za jejich nákup na trhu, popřípadě obchodovat s povolenkami přidělenými společností na CO<sub>2</sub>.

Využití OZE přinese žádoucí efekt. Sice se zvýší celkové množství spalovaných paliv, ale sníží se produkce všech sledovaných znečišťujících látek do ovzduší kromě produkce CO, které se naopak zvýší.

## Závěr

Hlavním záměrem této bakalářské práce bylo posoudit a přiblížit výrobu energie z obnovitelných zdrojů energie. Konkrétně se jednalo o kotel na biomasu a to i s příkladem reálného provozu tohoto typu kotle v Plzeňské teplárenské a.s. Práce obsahuje několik částí, kde každá část se zabývá energií z jiného pohledu.

První část je zaměřená na možnosti výroby energie z biomasy. Jedná se hlavně o přeměnu termickou, anaerobní, fermentační a mechanicko-chemickou. Pro bakalářskou práci byla zvolena přeměna termická. U této přeměny je rozhodující obsah vlhkosti a výhřevnost biomasy. Z tabulek nejpoužívanějších druhů biomasy, které jsou v práci zobrazeny, si lze všimnout nejvíce výhřevných druhů paliva. Je to borovice, peletkovaný šťovík, vrba atd.

V druhé části jsou ke zhlédnutí druhy kotlů a k nim určité parametry. Je zde vysvětlen princip provozu kotle a možnosti jeho regulace. Mezi nejzákladnější kotle se řadí fluidní, práškové a roštové. Všechny tyto kotle mohou spalovat uhlí i biomasu. Typický spalovací diagram, který je v práci podrobně popsán, slouží k regulaci požadovaného výkonu. Závěr tohoto bodu je zaměřen na životní prostředí, zařízení pro čištění spalin, včetně odsíření.

V třetí části se práce zabývá konkrétním projektem a to kotlem na biomasu v Plzeňské teplárenské a.s. Parametry kotle K7 a sušičky spalující pouze biomasu, včetně investičních nákladů, jsou podrobně popsány v tabulkách. Pro ukázkou výkonu z provozu je vytvořena tabulka výstupních dat z roku 2011. Problémy provozu, které se doposud objevily, jsou popsány na konci. Jedná se hlavně o způsoby odstranění závažných problémů, které vedly až k dočasnému odstavení celého bloku.

Čtvrtá část je zaměřena na logistiku a kontrolu kvality paliva v PT. Sleduje se hlavně podíl vlhkosti a výhřevnost, ale i obsah síry a množství popela po shoření. Jsou zde uvedeny ceny biomasy dle skupin, které PT nakupuje. V závěru této části se práce zabývá lokalitami produkce biomasy a jiným možným zdrojem.

V páté části se kotel na biomasu porovnává s kotlem na uhlí shodného výkonu. Porovnávaly se tyto body: investiční náklady, energetické vyhodnocení, ekonomické hodnocení, provozní náklady a tržby. Počítala se i hodnota cash-flow pro obě varianty s výhledem do roku 2026. Důležitým výsledkem porovnání variant je zjištění, že kotel na uhlí se do roku 2026 nesplatí, kdežto kotel na biomasu by se měl zaplatit do roku 2022 a možná i dříve. Na konci této části je vyhodnocení dopadů na životní prostředí z vypouštěných emisí.

V porovnání hodnocených variant vychází lépe kotel na biomasu a to nejen z ekonomického, ale hlavně ekologického hlediska. Zatímco zlepšení dopadů na ekologii je dáno spalováním nefosilních paliv, ekonomie je zisková z důvodu vysokých provozních dotací. Jedná se totiž o zelenou energii, která má daleko větší výkupní cenu. Příjmy jsou rovněž získávány z obchodování s emisními povolenkami, neboť při spalování biomasy vznikne jen tolik CO<sub>2</sub>, kolik biomasa za svou dobu růstu dokáže spotřebovat. Proto se uvádí, že produkce CO<sub>2</sub> při spalování je rovna nule. Pro životní prostředí je vhodné i to, že se snižují emise tuhých látek, oxidu siřičitého a oxidů dusíku. Naopak neblaze ve vyšší míře se produkují organické látky a oxid uhelnatý. Na kotel spalující biomasu je pak nahlíženo dvěma pohledy. Pozitivně s ohledem na životní prostředí, kde tato varianta zmírňuje dopady na znečištění ovzduší. A z pozice ekonomického, kde nebyť zelených bonusů, byl by provoz kotle na biomasu výrazně nákladnější.

## Použitá literatura

- [1] BROŽ, Karel a Bořivoj ŠOUREK. *Alternativní zdroje energie*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, 213 s. ISBN 80-010-2802-X.
- [2] Konzultace na předmětu Bioenergetika, Mgr. Eduard Ščerba 15.12.2011
- [3] Ekowat [online]. [cit. 21.5.2012]  
Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-biomasy>
- [4] Wikipedia, parní kotle [online]. [cit. 21.5.2012]  
Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Parn%C3%AD\\_kotel](http://cs.wikipedia.org/wiki/Parn%C3%AD_kotel)
- [5] Konzultace v Plzeňské teplárenské a.s., Ing. Václav Jirů Csc. 20.1. 2012
- [6] ČERNÝ, Václav. *Parní kotle a spalovací zařízení* .: 1. vyd. Praha: SNTL, 1975, 526 s. Řada strojírenské literatury.
- [7] ČERNÝ, Václav. *Parní kotle*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983, 858 s. ISBN 04-224-83.
- [8] Energyweb [online]. [cit. 21.5.2012] [www.energyweb.cz](http://www.energyweb.cz)
- [9] Kotel na biomasu Vesko [online]. [cit. 21.5.2012]  
Dostupné z: <http://www.tts.cz/cz/boilers/vesko-b.html>
- [10] Kotle na biomasu [online]. [cit. 21.5.2012]  
Dostupné z: <http://www.fs.vsb.cz/euprojekty/414/parni-kotle.pdf>
- [11] Odlučovače spalin [online]. [cit. 21.4.2012]  
Dostupné z: <http://www.energyweb.cz/web/schemata/tepelna/odlucovac.htm>
- [12] ČEZ výroba elektřiny [online]. [cit. 21.4.2012] Dostupné z: [www.cez.cz/elektrarny](http://www.cez.cz/elektrarny)
- [13] LEDVINA, Michael. *Výroční zpráva PT* 1.vyd. Plzeň, Dragon s.r.o. 2010
- [14] SEVERÝN, Petr. *Energetický audit PT* 1.vyd Plzeň, Dragon s.r.o. 2010
- [15] Interní data provozu, Ing. Václav Jirů Csc. 20.1.2012
- [16] Interní předpisy provozu, Otakar Hamták 15.3.2012
- [17] Konzultace v Plzeňské teplárenské a.s., Otakar Hamták 15.3.2012

