



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

ENERGY INSTITUTE

**ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY**

ENERGY USE OF BIOMASS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Zdeněk Zátopek**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Marek Baláš, Ph.D.**

**BRNO 2016**



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Zdeněk Zátopek**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Marek Baláš, Ph.D.**  
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Energetické využití biomasy

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

- 1 - Rešerše druhů biomasy vhodných pro energetické zpracování.
- 2 - rešerše technologií vhodných pro výrobu tepelné energie z biomasy.
- 3 - vytvoření přehledu průmyslových aplikací těchto technologií.

### Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je posouzení možností využití biomasy pro výrobu tepelné energie.

### Seznam literatury:

Baláš, M.: Kotle a výměníky tepla, skripta VUT, Brno 2013, druhé vydání, ISBN 978-80-214-4770-7

Jandačka, J. a kol.: Biomasa ako zdroj energie. Žilina 2008, ISBN 978-80-969161-3-9

Jandačka, J., Mikulík, M.: Technologie pre zvyšovanie energetickeho potencialu biomasy. TU Žilina 2007, ISBN 978-80-969595-4-9

Quaschninh Volker: Obnovitelné zdroje energií. Praha, Grada 2010, ISBN: 978-80-247-3250-3

Malat'ák, J., Vaculík, P.: Biomasa pro výrobu energie. ČZU v Praze, 2008, ISBN 978-80-213-1810-6

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 30. 11. 2015



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan

## **Abstrakt**

Hlavním cílem této práce je posouzení možností využití biomasy pro výrobu tepelné energie. Pro vyřešení tohoto úkolu je nezbytné provést rešerši jednotlivých druhů biomasy vhodných pro energetické zpracování. Dojde k vypracování rešerše technologií určených pro výrobu tepelné energie z biomasy. Tyto informace mají směřovat k vytvoření přehledu průmyslových aplikací těchto technologií.

### **Klíčová slova**

Biomasa, přínos, rozdělení, zpracování, aplikace

## **Abstract**

The main goal of this thesis is the assessment of possible use of biomass for producing heat energy. For solving this task is necessary to make research about individual types of biomass suitable for processing. In next it must be done a research about technologies used for producing heat energy from biomass. These information have to aim at creation of overview of industrial applications of those technologies.

### **Key words**

Biomass, contribution, division, processing, application

## **Bibliografická citace**

ZÁTOPEK, Z. *Energetické využití biomasy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Baláš, Ph.D.

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci na téma: Energetické využití biomasy zpracoval samostatně. Veškeré prameny a zdroje informací, které jsem použil k sepsání této práce, jsou uvedeny v seznamu použitých pramenů a literatury.

Jméno a příjmení: Zdeněk Zátopek

Podpis: .....

V Brně dne 7.5.2016

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval své rodině, přítelkyni a přátelům za podporu v životě i při studiu. Mé poděkování patří také panu Ing. Marku Balašovi, Ph.D. za cenné rady a správné nasměrování.



# Obsah

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| <u>1 Úvod</u>                                      | 11 |
| <u>2 Biomasa, její definice, složení a přínos</u>  | 12 |
| 2.1 Výhody a nevýhody biomasy                      | 12 |
| <u>3 Biomasa vhodná pro energetické zpracování</u> | 14 |
| <u>3.1 Rostliny jednoleté</u>                      | 14 |
| 3.1.1 Energetické obiloviny                        | 14 |
| 3.1.2 Čirok                                        | 14 |
| 3.1.3 Kukuřičná sláma                              | 14 |
| 3.1.4 Konopí seté                                  | 15 |
| 3.1.5 Laskavec                                     | 15 |
| 3.1.6 Krmný sléz                                   | 15 |
| 3.1.7 Horčice sareptská                            | 15 |
| 3.1.8 Řepka olejka                                 | 15 |
| 3.1.9 Světlíce barvířská                           | 16 |
| <u>3.2 Rostliny víceleté a trvalé</u>              | 16 |
| 3.2.1 Komonice bílá                                | 16 |
| 3.2.2 Jestřabina východní                          | 16 |
| 3.2.3 Topinambur hlíznatý                          | 16 |
| 3.2.4 Šťovík krmný                                 | 16 |
| 3.2.5 Mužák prorostlý                              | 17 |
| 3.2.6 Běloun kulatohlavý                           | 17 |
| 3.2.7 Topolka růžová                               | 17 |
| 3.2.8 Boryt barvířský                              | 17 |
| 3.2.9 Ozdobice čínská                              | 18 |
| <u>3.3 Planě rostoucí rostliny</u>                 | 18 |
| 3.3.1 Křídlatka                                    | 18 |
| <u>3.4 Energetické trávy</u>                       | 18 |
| 3.4.1 Chrastice rákosovitá                         | 18 |
| 3.4.2 Kostřava rákosovitá                          | 19 |
| 3.4.3 Psineček veliký – bílý                       | 19 |
| 3.4.4 Ovsík vyvýšený                               | 19 |
| 3.4.5 Sveřep samužníkovitý                         | 19 |
| 3.4.6 Sveřep bezbranný                             | 19 |
| 3.4.7 Rákos obecný                                 | 20 |
| <u>3.5 Rychle rostoucí dřeviny</u>                 | 20 |
| 3.5.1 Topol                                        | 20 |
| 3.5.2 Vrba                                         | 20 |
| 3.5.3 Bříza                                        | 20 |
| 3.5.4 Smrk                                         | 21 |
| 3.5.5 Borovice                                     | 21 |
| <u>4 Druhy zpracování biomasy</u>                  | 22 |
| <u>4.1 Termochemické zpracování biomasy</u>        | 22 |
| 4.1.1 Teorie spalování                             | 22 |
| 4.1.2 Teorie zplyňování                            | 23 |
| 4.1.3 Teorie pyrolýzy                              | 23 |

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2 Biochemické zpracování biomasy.....                                             | 25 |
| 4.2.1 Teorie alkoholového kvašení.....                                              | 25 |
| 4.2.2 Teorie aerobní fermentace.....                                                | 25 |
| 4.2.3 Teorie anaerobní fermentace.....                                              | 26 |
| 4.3 Fyzikálně-chemické zpracování biomasy.....                                      | 27 |
| 5 Zařízení a technologie biomasu zpracovávající.....                                | 29 |
| 5.1 Technologie spalování.....                                                      | 29 |
| 5.1.1 Spalování na roštu.....                                                       | 29 |
| 5.1.2 Spalování se spodním přívodem paliva.....                                     | 30 |
| 5.1.3 Speciální hořáky, hořákové provedení.....                                     | 30 |
| 5.1.4 Spalování ve fluidní vrstvě.....                                              | 30 |
| 5.2 Technologie zplyňování.....                                                     | 31 |
| 5.2.1 Generátor se sesuvným ložem.....                                              | 31 |
| 5.2.2 Generátor s fluidním ložem.....                                               | 31 |
| 5.2.3 Hořákové generátory.....                                                      | 31 |
| 5.3 Technologie pyrolýzy.....                                                       | 32 |
| 5.3.1 Fluidní reaktor se stacionární vrstvou.....                                   | 32 |
| 5.3.2 Fluidní reaktor s cirkulující vrstvou.....                                    | 33 |
| 5.3.3 Rotační kuželový reaktor.....                                                 | 33 |
| 5.4 Technologie alkoholového kvašení.....                                           | 34 |
| 5.4.1 Technologie ze škrobnatých surovin.....                                       | 34 |
| 5.4.2 Technologie ze surovin obsahujících sacharózu.....                            | 35 |
| 5.5 Technologie metanového kvašení.....                                             | 35 |
| 5.7 Bioplynová stanice na mokrou fermentaci.....                                    | 37 |
| 6 Průmyslová aplikace technologií vyrábějících tepelnou energii z biomasy v ČR..... | 38 |
| 6.1 Vytopny.....                                                                    | 38 |
| 6.1.1 Centrální vytopna na spalování biomasy ve Žluticích na Karlovarsku.....       | 38 |
| 6.2 Spalovny.....                                                                   | 38 |
| 6.2.1 Spalovna Sako v Brně.....                                                     | 39 |
| 6.3 Elektrárny.....                                                                 | 39 |
| 6.3.1 Tepelná elektrárna Hodonín.....                                               | 39 |
| 6.4 Teplárny.....                                                                   | 40 |
| 6.4.1 Teplárna Plzeň.....                                                           | 40 |
| 6.4.2 Teplárna Dvůr Králové nad Labem.....                                          | 40 |
| 6.4.3 Teplárna Třebíč.....                                                          | 41 |
| 7 Závěr.....                                                                        | 42 |
| Seznam použitých zdrojů.....                                                        | 43 |
| Seznam použitých zkratk a symbolů.....                                              | 47 |
| Seznam obrázků.....                                                                 | 47 |
| Seznam tabulek.....                                                                 | 47 |

# 1 Úvod

Nenaplněný a diskutovatelný potenciál biomasy nadále otřásá základy Evropské unie. Otázkou zůstává, zda-li přední evropské hlavy neupírají svou pozornost v otázce energetiky a životního prostředí směrem, který vytváří hostilní postoj vůči obnovitelným zdrojům. Současná tenze se tváří spíše proaktivisticky, avšak vývoj jde klikatou cestou. To vyplývá především z pomalu se zvyšujících směrnic pro výrobu energie z obnovitelných zdrojů a ze směrnic navyšující podíl biopaliv v dopravě. Mezinárodní politika si klade za cíl přiblížení se energetické soběstačnosti. Tlak vytváří samotná spotřeba, která nezastavitelně roste. Řešením by mohla být diverzifikace použitých energetických zdrojů s přihlédnutím na geopolitiku Evropy.

Řada procesů zpracování dnes doplácí na svou finanční náročnost. V makroměřítku sehrály důležitou podporu dotace EU slouživše pro budování bioplynových stanic, kotlen, výtopen a jiných provozoven s biomasou pracujících. Situaci také nahrává skutečnost, že toto odvětví se netváří jenom zeleně, ale i obnovitelně a to může sehrát klíčovou roli pro budoucnost. Erudovaných odborníků v oboru přibývá a tím i hlasy pro aktivizaci výroby elektřiny. Proti však působí řada populistů a balbutíků nedostatečně informovaných schovávající své konfabulace za světové média.

Informační šum má za následek zprávy o nadcházejících hrozbách a černých scénářích pro civilizaci. Do opozice se tak může postavit samotný život a peníze. Rozhodnutí je na každém z nás.

## 2 Biomasa, její definice, složení a přínos

Výkladový slovník píše o biomase následující: „Celková hmotnost všech organismů vyskytujících se v určitém okamžiku v biocenóze“ [1]. V praxi jsou používány všechny biologicky rozložitelné odpady a zbytky biologického původu. Pochází ze zemědělství, tj. zemědělské produkty pěstované pro energetické účely nebo zemědělské plodiny, hospodaření v lesích, tj. dřeviny a porosty nebo průmyslové a komunální odpady [2]. Biomasa je obecně je složena z organické struktury, tj. funkční skupiny kyslíkatých, sirných, dusíkatých sloučenin a z anorganické struktury složené ze sloučenin chlóru, flóru, draslíku a těžkých kovů. Při manipulaci ovšem často dochází ke kontaminaci a tím vměšování cizích částic různého charakteru. Výsledné složení se tak výrazně liší na základě typu paliva blíže specifikováno v tabulce 1 [3].

**Tab. 1** Ukázka chemického rozboru některých vzorků paliva [4]

| Prvek | Stébelnina<br>(Řepka) | Stébelnina<br>(Pšenice) | Dřevo<br>(Borovice) | Dřevo<br>(Bříza) | Stébelnina<br>(Šťovík) | Stébelnina<br>(Kukuřice) |
|-------|-----------------------|-------------------------|---------------------|------------------|------------------------|--------------------------|
| C     | 40,9                  | 41,7                    | 43,9                | 39,2             | 42,3                   | 36,6                     |
| H     | 5,26                  | 5,41                    | 5,72                | 5,01             | 5,2                    | 5,03                     |
| O     | 37,9                  | 38,3                    | 38,7                | 35,4             | 37,2                   | 34,5                     |
| N     | 0,57                  | 0,53                    | 0,13                | 0,2              | 1,04                   | 0,92                     |
| Cl    | 0,27                  | 0,07                    | < 0,01              | < 0,01           | 0,15                   | 0,24                     |
| S     | 0,34                  | 0,07                    | 0,01                | 0,02             | 0,09                   | 0,06                     |

### 2.1 Výhody a nevýhody biomasy

Mnoho parametrů a užití vyplývá přímo z chemického a fyzikálního složení. Zcela nám postačí se zaměřit na ty klíčové uvedeny v tabulce 2.

**Tab. 2** Výhody a nevýhody biomasy [2]

| Výhody                                      | Nevýhody                                     |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Obnovitelný zdroj energie.                  | Oproti fosilním palivům má nižší výhřevnost. |
| Neutrálnost vůči oxidu uhličitému.          | Náklady spojené s logistikou.                |
| Využitelnost odpadu.                        | Dodatečné technologie na odpad.              |
| Relativně dobrá účinnost při přeměně tepla. | Dodatečné technologie na zušlechtnění.       |
| Cílené pěstování některých druhů.           |                                              |
| Formy vstupní suroviny pro zpracování.      |                                              |

Přírodní zdroj, jenž má schopnost se obnovovat přírodními procesy je obnovitelným zdrojem energie. Klíčovou vlastností je jeho nevyčerpatelnost. Hovoříme především o biomase, vodě, slunci, větru a prostředí.

Základním principem udržitelnosti je využití takového množství, které je schopno za danou dobu znovu vyrůst. Při růstu dochází k absorbování CO<sub>2</sub>. Při spalování se uvolní stejné množství tohoto oxidu. Můžeme tak hovořit o teoretické udržitelné neutrálnosti vůči oxidu uhličitému [5].

Obecně se da říci, že tuhé palivo je složeno z hořlaviny, popela a vody. Popel je tedy

pevný zbytek, jenž je tvořen převážně minerály. Mezi ně patří oxidy anorganických prvků. Tento materiál můžeme využít jako hnojivo pro obohacení půdy právě svým obsahem.

Energie, která je získána z biomasy se nadále zpracovává. Z polotovaru vhodného pro daný způsob zpracování se dále transformuje na mechanickou nebo elektrickou energii. Účinnost moderních kotlů je kolem 90 %. Jde o velmi vysokou míru využití paliva.

U cíleně pěstovaných druhů se sledují ukazatelé energetických měřítek. To jsou především výhřevnost a spalné teplo. Jde však pouze o základní parametry pro posouzení vhodnosti dané rostliny.

Biomasa může být v nezpracované formě, jako dřevní odpad, tj. piliny, hobliny a štěpka nebo v podobě briket či pelet. O této podobě zpracování konkrétního polotovaru rozhodne jeho původ a technologie procesu [2].

Výhřevnost některých fosilních paliv běžně dosahuje 20 MJ/kg a více. Zatímco u zelené energie tomu bývá zpravidla kolem 15 MJ/kg. Tyto hodnoty jsou pouze orientační a nelze na ně pohlížet směrodatně. Jsou závislé i na dalších faktorech, např. obsah vody, zdroj čerpání a jiné [6].

Velice obtížně dochází k plnému rozvoji potenciálu fytoenergie pokud není vytvořena hustá síť logistiky. To zahrnuje pěstování, sběr, skladování, odvoz a celkově všechny náklady spojené s transportem. Výčet těchto problematik by měl vést k zaručení konkurenceschopnosti [2].

Popel jako výsledek procesu spalování je velice prašný. Tím vytváří zdravotně závadné prostředí a celkově složitou manipulaci. Z tohoto důvodu byly zavedeny dodatečné procesy, tj. granulování, zpevnění nebo peletování popele. Druhotně se díky těmto technologiím daří popel zjemňovat a tím napomáhat k lepšímu vstřebávání do půdy [7].

Různé aplikace mohou vyžadovat různé podoby polotovaru. Pro brikety je třeba vysokého tlaku a teploty v briketovacím lise. Pelety se lisují v zařízení pod vysokým tlakem. Těmito procesy je dosažena nízká vlhkost a vysoká hustota [2].

## 3 Biomasa vhodná pro energetické zpracování

Biomasu rozlišujeme na tři základní kategorie. Těmi jsou rostliny vhodné pro pěstování k energetickým účelům, ty se dále dělí na lignocelulózové, škrobnato-cukernaté a olejnaté. Druhým typem jsou rostliny vhodné na odpad, tj. organické a lesní odpady, rostlinné zbytky. Třetím druhem jsou komunální odpady [8].

### 3.1 Rostliny jednoleté

#### 3.1.1 Energetické obiloviny

Nejznámějším zástupcem obilovin je sláma. Jde o vymlácené, vyschlé stonky a stébla z obilnin. Pšenici se na našem území daří nejlépe. To je dáno především zemědělskými podmínkami. Z toho důvodu je pšeničná sláma používána nejhojněji [9].

Její úskalím je pojem biologická sorpce. Půda potřebuje vyváženě poutat celé molekuly různých sloučenin. Ty slouží především jako živiny pro rostliny a regulace obsahu soli v zemině. Celý proces je uskutečňován mechanismem zadržování disperzních částic nebo agregátů velkých částic vysrážejících se v pórech půdy. Tím je nutno slámu částečně zaorávat, čímž obohatí zem o patřičné složky. Ovšem z tohoto důvodu se nedostávají vždy živiny k pěstované rostlině. Dodatečné zvyšování živin, tj. hlavně dusík, vede k zvyšování nákladů [10].

Jako vedlejší produkt se využívají celé obilné rostliny. Velmi vhodné jsou ozimé žito a tritikale, což je výsledek spojení pšenice a žita. Konkrétní odrůdy pro žito jsou Daňkovské nové, Beskyd, Albedo a Selgo. Pro tritikale to jsou Presto, Ring, Disko, Kolor a Modus. Všem těmto plodinám se dobře daří ve vyšších nadmořských výškách na rozdíl od ječmenu a pšenice. Poté je stačí posekat, nechat doschnout a slisovat do balíků. Výhodou energetických obilovin je tak produkce i sklizeň. Je však třeba zabezpečit ochranu proti hlodavcům při skladování.

Výnos suché hmoty na plochu 1 ha je odhadován na 10 až 12 tunám. Jde o relativně přínosný business při ceně výkupu 350 Kč a více na tunu [9].

#### 3.1.2 Čirok

Vhodným zástupcem rostlin pro pěstování bioenergie je čirok súdánský, tzv. súdánská tráva, odrůda Hyso 2. Obecně vyžadují velmi teplá místa, se zaměřením v Africe, s malou spotřebou vody. Oproti kukuřici spotřebují až o 100 l méně vody na vypěstování 1 kg.

Tento rod rostlin vyžaduje obdobnou pěstitelskou technologii jako kukuřice. Stejně tak platí pro živiny, setí a sklizeň. Svou výškou až 3 m zaručuje vysoké výnosy. Odrůda Hyso je speciálně šlechtěna do podmínek teplot středních poloh. Zdevastované průmyslové plochy, důlní výsypky a složiště popele jsou vhodná místa pro rekultivaci oblasti touto plodinou. Stébla jsou subtilního typu, tzn. schopnost rychlého vysychání. Tím je umožněna brzká sklizeň v podzimu. Výnos suché hmoty na plochu 1 ha odpovídá 14 až 18 tunám [9].

#### 3.1.3 Kukuřičná sláma

Důležitým aspektem sklizně kukuřičné slámy je dobrá vyschlost, tj. až pod 10% obsahu vody. Poté se rozřezává na hrubou řezanku, která je určena k přímému spalování. Využití mají i kukuřičná vřetena, která se dají rozdrtit na drtičích na drobnou dřevní hmotu.

Lze říci, že patří mezi nejvýhodnější rostliny určené pro bioplyn.

Obsahuje vysoký podíl popelovin, jenž má za následek snížení výhřevnosti až na 13,5 MJ/kg. Díky nízkému obsahu těžkých kovů je však využitelný jako hnojivo [9].

### **3.1.4 Konopí seté**

Jedná se o všestranně použitelnou plodinu původem ze střední Asie. Zastoupení má v textilním, energetickém i lékařenském průmyslu. Pěstování pro technické účely se řídí normou ES na obsah látek nižších než 0,03 % THC (tetrahydrocannabinol). Platí především pro odrůdy Juso a Beniko. Vyznačují se dobrou odolností vůči plísni a vadnutí.

Konopí seté využívá dostatek srážek ve vyšších nadmořských výškách. Vyžaduje mírně teplé prostředí. Dosahuje výšky až 3 m. Pro přímé spalování se využívají i jeho zbytky. Spalné teplo konopí může dosáhnout až 18 MJ/kg. Nevýhodou je typ lýkových vláken a výška rostlin, které znesnadňují sklizeň. Výnosy se pohybují kolem 8,5 až 16 t/ha [9].

### **3.1.5 Laskavec**

Jde o vysokou, mohutnou rostlinu původem z Ameriky. Je odolný na nedostatek vláhy a půdu nízké kvality. Patří mezi skupinu rostlin s C4 cyklem, jenž jsou významné rychlou fotosyntézou.

Laskavec je zpracováván na bioplyn v bioplynových stanicích. Pro přímé spalování se používá až sláma. Ta je totiž několikanásobně sušší než nadzemní hmota. Výhřevnost je až 17 MJ/kg. Výnosy se pohybují kolem 8 až 10 t na 1 ha [9].

### **3.1.6 Krmný sléz**

Typickým zástupcem je odrůda Dolina. Jde o vysokou, rozvětvenou rostlinu. Dobře roste na neudržovaných pozemcích. Nemá zvláštní požadavky na podnebí. Vyžaduje však dostatek živin. Až dostatečně vyschlý a vyzrálý je vhodný pro sklizeň.

Sléz ve formě briket a pelet je spalován v kamnech nebo kotlích. Má relativně vysoký podíl popela, síry a chlóru. Odpad lze využít jako hnojivo díky nízkému obsahu těžkých kovů. Výhřevnost je až 14,5 MJ/kg. Průměrný výnos je kolem 8 až 12 t/ha [11].

### **3.1.7 Horčice sareptská**

Primárním oblast využití si tato rostlina našla v potravinářském průmyslu. Ke svému životu nepotřebuje zvláštní podmínky na podnebí nebo půdu. Není však příliš odolná na škůdce nebo choroby.

Na našem území je známá odrůda Vitasso. Ta dosahuje výšky až 2 m při mohutné, rozvětvené lodyze. To má za následek její vhodnost k přímému spalování, nejlépe ve formě slámy. Pro sklizeň musí být plně dozralá aby nedošlo k vysemenění. Nadále je důležité aby obsah vody byl méně než 20%, jinak je nutné ji dosušet. Vhodná pro energetické účely je ve formě slámy i zrn. Je tak štěpena na palivové štěpky. Celkový výnos dosahuje až 10 t/ha [9].

### **3.1.8 Řepka olejka**

Zastoupení Řepky olejky je v ČR velice značné. To je dáno i kvalitní olejem, jenž se lisuje ze semen. V nedávné době se začala využívat i pro výrobu bionafty. Pro bioenergie je vhodná ve formě řepkové slámy.

Typ ozimové řepky vytváří větší množství nadzemní hmoty a tím je i vhodnější pro

fytoenergetiku. V kotlích se spaluje v balících nebo v peletách. Takový popel obsahuje poměrně vyšší podíl síry a chlóru. Ve formě slámy dobře vysychá až pod 10% obsahu vody. To má za následek vysokou výhřevnost až 15 MJ/kg. Výnosy 4 t/ha nejsou příliš vysoké, avšak jde především o využití druhotné suroviny, slámy [9].

### **3.1.9 Světlíce barvířská**

Sláma ze světlíce barvířské je nejvhodnější polotovár pro přímé spalování. U nás je nejpoužívanější odrůda Sabina. Pro sklizeň je vhodná až plně vyzrálá.

V balících, v hrubé řezance nebo v peletách je spalována v automatických kotlích pro vysoké spalné teplo dosahující až 18 MJ/kg. Vzniká relativně vysoký podíl odpadu s vysokým obsahem síry a chlóru. Při dobrém skladování vysychá pod 10% obsahu vody. Výnos suché hmoty je až 5 t/ha [9].

## **3.2 Rostliny víceleté a trvalé**

### **3.2.1 Komonice bílá**

Na našem území je známá odrůda Adéla a Krajová. Druhá zmíněná odrůda je schopna růst na svém působišti až 8 let. Pro svou stálost je zajímavý kandidát pro fytoenergetiku. Běžně dosahuje výšky až 2,5 m.

Vhodným místem jsou neutrální až alkalické půdy bez zvláštních nároků na sucho. Pro spalování je nutná dobrá vyschllost nejčastěji ve formě balíků, řezanky. Poskytuje vysoký výnos nadzemní hmoty až 15 t/ha suché hmoty [9].

### **3.2.2 Jestřabina východní**

Svými 150 cm dosahuje kategorie středně velkých bylin. Vydrží na jednom stanovišti hospodařit i 15 let. Vyžaduje teplé oblasti s nepřekyselenou půdou, dostatek minerálů a vláhy. Pro co nejvyšší výnos je doporučeno ji přihnojovat.

Vhodná pro sklizeň vyschlá se dále zpracuje na balíky. Celkové náklady na založení a údržbu kolonie jestřabiny nejsou nikterak vysoké. Prokázalo se, že dosahuje značný objem hmoty již od prvního roku. Ten eskaluje od 10 do 15 t/ha v průběhu dalších let [9].

### **3.2.3 Topinambur hlíznatý**

Primárně je využíván pro pěstování hlíz v potravinářském průmyslu. Velikostně přesahuje až 2,5 m při zachování pevné, přímé lodyhy. Nejznámější odrůda u nás je Běloslupská.

Topinambury mají malé požadavky na stanoviště. Využívají všech typů půd, včetně zdevastovaných krajů. Vhodné jsou i vlhká, suchá nebo chladná klimata. Jde o nenáročnou, velice vytrvalou, snadno udržitelnou rostlinu. Snadno se s ní technologicky manipuluje. Pro spalování je důležitá vyschlá nadzemní hmota. Dosahuje výnosu suché hmoty až 10 t/ha [9].

### **3.2.4 Šťovík krmný**

U nás je nejznámější odrůda Uteuša. Jde o velice vytrvalou plodinu se schopností růst až 18 let na jednom místě. Šťovík je vysoký 2 m s velice rozvětvenou lodyhou. Neklade důraz na speciální klimatické podmínky, proto je pěstován ve všech různých nadmořských výškách.



Ke svému životu potřebuje však dostatek živin, tj. dobře úrodné půdy nebo časté hnojení.

Svou rozlehlostí listů je schopen pokrýt velikou plochu a tím i chránit půdu vůči plevelu. Sklízí se až 5 do roka v zeleném stavu pro výrobu bioplynu. Druhotně lze šťovík využít jako krmnou surovinu nebo osivo. Pro sklizeň nejsou kladeny zvláštní požadavky na technologii.

Pro přímé spalování se používá celá nadzemní hmota, včetně plodů. Ta musí být dobře vyschlá a vyzrálá. Obsah vody postupně klesá z 24 % na 10 % při následném procesu sušení. Po spalování zůstává vysoký podíl popela, jenž má nízký obsah těžkých kovů, a tím je vhodný i jako samotné hnojivo.

Bývá rozřezáván na hrubé štěpky nebo slisován do balíků. Výnosy suché hmoty dosahují 25 t/ha suché hmoty. Hodnoty spalného tepla jsou kolem 18 MJ/kg [9].

### **3.2.5 Mužák prorostlý**

Vysoká tvorba nadzemní hmoty je dána výškou 2,5 m a statnou, rozvětvenou lodyhou. Vhodné oblasti pro pěstování jsou střední až teplé oblasti. Vyžaduje dobře úrodnou půdu nebo přihnojování.

Pro sklizeň musí být co nejsušší. To je z toho důvodu aby nemusely být použity dotatečně vysoušecí technologie. Sklízí se celá rostlina. Zpracovává se do hrubé štěpky pro spalování. Výnos suché hmoty mužáku je 15 t/ha [9].

### **3.2.6 Bělotrň kulatohlavý**

Suché lokality a prostředí jsou vhodným místem pro bělotrň. Druhotně se využívá jako medonosná nebo okrasná rostlina. Mezi velké klady této rostliny patří vysoká, pevná lodyha a dobrá samovysychací schopnost.

Pro potřeby fytopaliva se využívá jeho nadzemní hmota. Ta je sklízena silážní řezačkou a následně zpracována na hrubou řezanku. Dosahuje výnosu 16 t/ha suché hmoty. Výhřevnost se pohybuje kolem 19 MJ/kg [9].

### **3.2.7 Topolka růžová**

Druhotným využitím se řadí mezi okrasné nebo léčivé rostliny. Dosahuje výšky 2 m a je schopna růst na jednom stanovišti několik let. Pro sklizeň musí být řádně vyschlá. Není třeba žádné speciální techniky sběru, postačí silážní řezačka. Hrubá řezanka je poté určena k přímému spalování.

Z důvodů kladu důrazů na estetiku, zejména v Evropě, je topolka mnohem častěji vysazována, poněvadž vytváří pohledná prostranství. Poskytuje výnosy kolem 16 t/ha suché hmoty [9].

### **3.2.8 Boryt barvířský**

Kategoricky středního vzrůstu je typický svou statnou, rozvětvenou lodyhu s hustě obsazeným květenstvím. Druhotně je získáván pro přírodní barvivo. Mnohem vhodnější se jeví teplejší oblasti s úrodnými půdami. Ukázalo, že boryt trvale odolává vůči chorobám, škůdcům a plevelům.

Pro sklizeň slouží pouze vyschlá nadzemní hmota. Z té se vytváří normované standardní balíky. Svým výnosem balancuje na hranici únosnosti výroby, tj. 10 t/ha suché hmoty [9].

### 3.2.9 Ozdobice čínská

U nás známá jako sloní tráva, původem z Asie. Vysoce robustní tráva se 4 metry na výšku. Na jednom působišti vydrží až 20 let. Vyžaduje mírné až teplejší podnebí s dostatkem srážek. Vhodné jsou lehké půdy s pH od 5,5 do 6,5. Ty je třeba vyčistit a odplevelit.

Na našem území se nepěstuje ve větším měřítku, protože zakládání plantáže vyžaduje vysoké pořizovací náklady. Známé odrůdy jsou Goliath, Giganteus, Silberfeder, Sirene. Druhotně se využívá na tvorbu buničiny nebo jako stavební materiál. Jedná se o rostlinu typu C4. Pro sklizeň musí být řádně vyschlá a využívá se celá. Pro sběr postačí řezačka, jenž zpracovává materiál na hrubou řezanku. Ta se dále přímo spaluje nebo se z ní lisují palivové pelety. Stejně tak lze vytvářet balíky slámy.

Dosahuje významných výnosů suché hmoty až 30 t/ha. Při obsahu 5% objemu vody dosahuje vysoké výhřevnosti 17 MJ/kg. Některé prognózy v souvislosti s ozdobicí vyzdvihují poměr výstupní energie vůči získané energii při průměrném výnosu suché hmoty na vstupu [12].

## 3.3 Planě rostoucí rostliny

### 3.3.1 Křídlatka

Hlavní charakteristikou křídlatky je její schopnost masivně expandovat. Tím vytváří vysoký objem nadzemní hmoty. Ovšem její rozvoj není dobře kontrolovatelný. Na tuto skutečnost je třeba dbát pravidelným systematickým sklizením porostu několikrát během roku. Současné podmínky v ČR příliš této rostlině nenahrávají. Obecně je brána jako plevel a poloprovozní pokusy zatím situaci neposouvají kupředu.

Pro její obhajobu je dobré zmínit odolnost vůči vymrzání a plísni, schopnost rychlého růstu nebo dobrá schopnost se množit. Je také schopna z půdy vytáhnout mohutnými kořeny řadu těžkých prvků. Pro své osobní blaho vyžaduje bohatou půdu na živiny a vodu.

Pro výrobu biopaliva musí být připravena v relativně suchém stavu. Jako palivo ve formě štěpek a briket je dobře skladovatelná a srovnatelná se suchou dřevní štěpkou. Našla své využití ve farmaceutickém průmyslu nebo pro výrobu papíru. Dobře vysušená lze použít i jako tepelně izolační materiál. Budoucnost může křídlatku využít pro asanaci znečištěných půd [13].

## 3.4 Energetické trávy

### 3.4.1 Chrastice rákosovitá

V Evropě je běžně zastoupena odrůda Palaton. Jde o vytrvalou, 2 m vysokou travu. Vyžaduje půdu s dostatkem živin a vody. Má vysokou schopnost se přizpůsobovat okolním vlivům.

Založení plantáže není nikterak finančně nebo technicky náročné. Pro sklizeň je vhodná vysušená a dobře vyžralá v období léta. Pro takové účely postačí běžná zemědělská technika a sběrací lis. Ty jsou nadále balikovány nebo lisovány do briket, palet. Výnos suché hmoty při příznivých podmínkách dosáhne hodnoty 15 t/ha [9].

### 3.4.2 Kostřava rákosovitá

Jedná se o statnou, vysokou travu známou především odrůdou Kora. Její výhodou je dobrá mrazuvzdornost a odolnost vůči plísním. Zvládá dobře vlhké nebo suché lokality. Vyžaduje vyčištěnou půdu.

Pro sklizen postačí kombajn s mláticím ústrojím. Následně se slisuje do balíku, které jsou určeny pro přímé spalování. Využita je nadzemní hmota, včetně semen, pokud je dostatečně vyschlá. Výnos může být i 14 t/ha suché hmoty [9].

### 3.4.3 Psineček veliký – bílý

Tento typ trávy se vyznačuje mnohem hrubším stéblem. Řadí se však do kategorie středně vzrůstných rostlin. V našem prostředí má ideální podmínky k růstu. To je způsobeno i tím, že ke svému životu zvládá celou škálu typů stanovišť. U nás známý pod odrůdou Rožnovský.

Sklízí se v dostatečně suché hmotě. Stébla jsou vhodná ke slisování do balíků a poté přepravena k přímému spalování do biokotelen. Odhaduje se, že množství celkové nadzemní hmoty může dosahovat 8 t/ha [9].

### 3.4.4 Ovsík vyvýšený

Svým hrubým stéblem a vzrůstem se velice podobá psinečkovi. Na našich loukách je dobře známý. Je odolný vůči suchu, avšak vyžaduje dostatečně vyživenou půdu. Druhotně se jako tráva podílí na přispívání ke stabilitě krajinného systému.

Technologické požadavky na založení plantáže a pěstování semen není nikterak náročné. Ke sklizni je třeba jen použít secí stroje s kartáčovým výsevným ústrojím. Zpracovává se do balíků a jako otop a dále je použit v biokotelnách. Z 1 ha dostaneme až 9 t suché hmoty [9].

### 3.4.5 Sveřep samužníkovitý

Charakterem jde o vytrvalou, rychle rostoucí travu, nejčastěji odrůdy Tacit, řadící se mezi středně vysoké rostliny. Odolává vyšším nadmořským výškám, zimám nebo suchým půdám. V neposlední řadě je odolný vůči plevelům.

Nejsou evidovány zvláštní podmínky pro založení výroby. Pro pěstování jsou využita jeho semena a nadzemní hmota. Tu zpracují sběrací lisy do velkých balíků. Z pravidla má 2 t/ha osiva s celkovým výnosem nadzemní hmoty 15 t/ha [9].

### 3.4.6 Sveřep bezbranný

Mezi základní schopnosti sveřepu patří protierozní ochrana. Tu zajišťuje svým mohutným kořenovým systémem. Mimo jiné je středně vzrůstný s vysoce robustním stéblem. Základní odrůda je Tribun.

Oproti ostatním energeticky prospěšným druhům je rychle stárnoucí. To mu zajišťuje relativně brzké vysychání. Pro následnou sklizeň je běžnými stroji slisován do balíků. Vysoký výnos nadzemní hmoty 15t/ha mu dává velký energetický potenciál [9].

### 3.4.7 Rákos obecný

Volně žijící druh rákose, jenž pokrývá rozlehle řadu míst poblíž vodních útvarů. V takovém podmínkách dosahuje 4 m s velice pevnými a odolnými stébly. Proto se jako vhodná místa jevy zamokřené, špatně udržované pozemky, které by dobře zhodnotil.

V současných podmínkách je třeba klást důraz na mechaniku při sklizni, protože promočená půda klade vysoký odpor. Je vhodné jej tak sklízet spíše po podzimu. Výkyvy ve výnosech nadzemní suché hmoty mezi 15 t/ha až 30 t/ha jsou především dány nedostatečnou rozšířeností informací o provozu [9].

## 3.5 Rychle rostoucí dřeviny

### 3.5.1 Topol

Dřevo topolu je rychle rostoucí a měkký materiál. Díky tomu se i dobře zpracovává pro účely bioenergie. Druhotně hraje důležitou úlohu jako ochránce krajinné sféry, tj. ochrana před smogem a prachem. Své použití také našel ve výrobě papíru a dýh, tj. k výrobě povrchů nábytku a překližky.

Mírný podnebný pás zabezpečuje vhodné podmínky pro růst. Ten je pozitivně ovlivněn dostatkem potřebné vláhy. V takovém podmínkách může dorůst do 35 m se šířkou kmene 2 m.

Dřevo není příliš hořlavé, a tudíž je nutné jej dále upravovat na dřevní štěpku. Technologie zpracování jsou běžně dostupné. Využití si našly roštové kotle, kotle se spodním přívodem paliva nebo zplyňovací kotle. Hodnoty výhřevnosti nebývají příliš vysoké vůči ostatním dřevinám, tj. 16 MJ/kg. Výnos suché hmoty od 10 do 20 t/ha suché hmoty se odvíjí od způsobu hospodaření [14].

### 3.5.2 Vrba

Oproti topolu jde spíše o méně kvalitní dřevo. Dobře poslouží na výrobu obalů a překližek. V neposlední řadě je využíván jako okrasná dřevina nebo jako faktor zabraňující erozi svým mohutným kořenovým systémem. Vrba je hojně využívaná v mírném podnebném pásu. Má dobrou schopnost absorpce prašných poletujících částic. Z toho důvodu je vhodný kandidát na výsadbu do městských částí. Vyhovují jí půdy od nížin až po vysokohorské oblasti. Díky těmto podmínkám dosahuje 15 m na výšku.

Sběr zajišťují kombajny se speciálně upravenými hlavicemi. Pro energetické účely je vhodná štěpka. Při spalování je v některých případech vhodné mít nainstalovány kondenzační jednotky pro využití vody ve spalínách. Výhřevností dosahuje 16 MJ/kg. 18 t/ha suché hmoty se považuje za standardní výtěžek [15].

### 3.5.3 Bříza

Bříza vyžaduje světlé místa a kyselé půdy pro svůj růst. Je odolná vůči nedostatku výživy a suchu. Zpravidla dosahuje alespoň 20 metrů.

Typickou vlastností dřeva je jeho tvrdost. Je obtížné jej štípat, navíc rychle hnije. Není ani odolné vůči houbám. Nejčastěji se používá jako palivové dřevo, poleno. Jde spíše o typ rychle hořícího dřeva s vysokou výhřevností dobře využitelný v kamnech nebo krbech. Obecně je možné při dobrém skladování dosáhnout vlhkosti 15 %. Tím se dosahuje výhřevnosti 15 MJ/kg. Ve skladech je dobré dbát zvýšené opatrnosti kvůli samovznětlivému

charakteru způsobeného alkoholem betulinem [16].

### **3.5.4 Smrk**

Jde o velice mohutný strom obrovských rozměrů. Jeho kůra je drsná a šupinatá. V Evropě je hojně zastoupený díky své nenáročné povaze. Pro smrk je žádoucí kyselá a písčité půda. Nevadí mu ani chladnější podnebí ve vysokohorských oblastech.

V současné době je dřevo využíváno v podobě kulatin, polen, štěpek, pelet či briket. Piliny se jednoduše dají rychle spalovat v kotlích bez dalších úprav. Díky dostatečnému obsahu ligninu se snadno peletuje bez přídavných hnojiv. Velké množství pryskyřičných látek ve dřevě zvyšuje výhřevnost. To může dosahovat hodnoty 16,5 MJ/kg [17], [18].

### **3.5.5 Borovice**

Vysoký, statný strom velice starého původu. Rostou ve vysokých nadmořských výškách. K životu potřebují čistý vzduch s dostatkem slunečního svitu. Daří se jim zakořenit na skalách, sutích a celkově v extrémních podmínkách. Jsou odolné vůči suchu nebo nedostatku živin. Druhotně ji lze využít i na výrobu nábytku nebo konstrukcí.

Běžně se používá metoda harvestorů nebo klasické metody těžby. Dřevo je vysoce kvalitní. Obsahuje totiž dostatek ligninu a pryskyřic. To umožňuje snadné úpravy na pelety či brikety. Vysoká výhřevnost je vykompenzována rychlým hořením [18], [19].

## 4 Druhy zpracování biomasy

### 4.1 Termochemické zpracování biomasy

Termochemické zpracování využívá rozklad materiálu na bázi uhlíku při vysokých teplotách. Mezi takové procesy patří tzv. suché procesy. Ty se dělí mezi následující [20]:

- spalování
- zplyňování
- pyrolýza

#### 4.1.1 Teorie spalování

Budeme se zabývat hořením pevných paliv. U těch je nejprve potřeba ohřátí, následné odpaření vlhkosti, odplynění a v poslední řadě heterogenní reakce povrchu uhlíku a kyslíku. Hoření pevného paliva je složeno z několika dějů [20]:

- ohřev částice
- odpaření vlhkosti
- uvolnění prchavé hořlaviny
- hoření prchavé hořlaviny
- hoření uhlíku

Z těchto dějů je nejdůležitější hoření uhlíku. Proces probíhá déle než 90 % času celého procesu spalování. Uhlík je zastoupen svým podílem majoritně a s jeho rostoucím obsahem stoupá výhřevnost paliva [20].

#### Hoření uhlíku

Heterogenní chemická reakce probíhá v místě styku povrchu uhlíku a kyslíku. K zjednodušení teorie bylo přijato několik předpokladů: a) koncentrace kyslíku na povrchu částic je stejná, b) rychlost reakce má přímou souvislost s koncentrací kyslíku na povrchu, c) do výsledku reakce nezařazujeme meziprodukty. Z těchto důvodů hoření uhlíku závisí především na přívodu kyslíku k povrchu uhlíku a procesu odehrávajícím se na tomto povrchu. Na rychlosti děje se podílí hmotnostní tok kyslíku. Ten je vyjádřen vztahem [20]:

$$m_{O_2} = k \cdot C_{O_2}^S$$

kde:  $m_{O_2}$  – hmotnostní tok kyslíku [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  $k$  – konstanta chemické reakce [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  $C_{O_2}^S$  – koncentrace kyslíku na povrchu částice [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

Vlastnosti paliva, fyzikální podmínky, teplota a tlak jsou dalšími elementy, které se podílejí na rychlosti hoření [20].

### 4.1.2 Teorie zplyňování

Zplyňování je termochemický proces přeměny materiálu bohatý na uhlík na energetický plyn, vodík, oxid uhelnatý, metan a jiné. Vzniklá směs plynů je energeticky výživná. Teplota zplyňování nabývá hodnot rozmezí 700-900 °C. To je uskutečněno pomocí zplyňovacího média, tj. vzduch, pára, kyslík nebo oxid uhličitý. Výsledkem tohoto procesu je syntézní plyn, který je složen z výhřevné složky, doprovodné složky a znečišťující složky [21]. Tato technologie se obecně řídí následujícími postupy [20]:

- sušení
- odplynění podílu hořlaviny
- redukce
- oxidace

Procesy mohou probíhat postupně v sesuvných generátorech nebo souběžně ve fluidních nebo hořákových generátorech. Důležité teplo jako hybnou sílu je možné dodávat přímo, tj. částečným spalováním biomasy v generátoru, nebo nepřímo, tj. alotermní zplyňování [20].

#### Syntézní plyn

Jedná se o takových plyn, který je primárně složen z výhřevných permanentních plynů ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ), balastních permanentních plynů ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ) a vodní páry. Sekundárně jej tvoří vedlejší složky a tuhé znečišťující látky (dehet, popeloviny) a jiné sloučeniny. Obecně lze říci, že přesné složení syntézního plynu je blíže specifikovatelné na základě fyzikálně-chemických vlastností tuhého paliva a na konkrétním typu zplyňování. Jako příklad složení jednotlivých složek poslouží hodnoty dřevní biomasy po procesu fluidního zplyňování pomocí různých médií v tabulce 3 [20].

**Tab. 3** Hlavní složky plynu dendromasy podle typu zplyňovacího média [20]

| Parametr      | Jednotky                                   | Zplyňování vzduchem | Zplyňování parou | Zplyňování paro-kyslíkovou směsí |
|---------------|--------------------------------------------|---------------------|------------------|----------------------------------|
| Výhřevnost    | $[\text{MJ} \cdot \text{m}_\text{N}^{-3}]$ | 4 – 6               | 12 – 14          | 12 – 15                          |
| $\text{H}_2$  | [%]                                        | 11 – 16             | 35 – 40          | 25 – 30                          |
| $\text{CO}$   | [%]                                        | 13 – 18             | 25 – 30          | 30 – 35                          |
| $\text{CO}_2$ | [%]                                        | 12 – 16             | 20 – 25          | 23 – 28                          |
| $\text{CH}_4$ | [%]                                        | 3 – 6               | 9 – 11           | 8 – 10                           |
| $\text{N}_2$  | [%]                                        | 45 – 60             | <1               | <1                               |

### 4.1.3 Teorie pyrolýzy

Oproti ostatním termochemickým procesům se snaží pyrolýza zamezit přístupu kyslíku nebo jiných zplyňovacích látek. Nejprve se vstupní materiál zahřeje nad teplotu termické stability organických sloučenin. Jakmile dojde k překročení této hodnoty, začne se štěpit a uvolňovat nízkomolekulární látky a tuhý zbytek. Fáze pyrolýzy jsou obecně následující [20]:

- sušení
- karbonizace

- tvorba plynu

V závislosti na teplotě se během pyrolýzy odehrává řada různých reakcí. Pro jejich přehled postačí tabulka 4 [20].

**Tab. 4** Závislost pyrolytických reakcí v procesu pyrolýzy na teplotě [20]

| Teplota [°C] | Chemická reakce                                                                                                      |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 100 – 200    | Termické sušení, fyzikální odštěpení vody                                                                            |
| 250          | Deoxidace, desulfurace, odštěpení vázané vody a CO <sub>2</sub> , depolymerace, začátek odštěpování H <sub>2</sub> S |
| 340          | Štěpení uhlovodíků, vznik metanu a jiných uhlovodíků                                                                 |
| 380          | Karbonizační fáze                                                                                                    |
| 400          | Štěpení vazeb uhlík-kyslík, uhlík-dusík                                                                              |
| 400 – 600    | Přeměna bitumenových složek na pyrolýzní olej a dehet                                                                |
| > 600        | Krakování za vzniku plyných uhlovodíků s krátkým uhlíkovým řetězcem, vznik aromátů                                   |

Zvláštní pozornost získává dřevo. To lze s vhodnými tepelnými úpravami převést na produkt s vyšší koncentrací energie. Při pyrolýze dřeva vzniká kapalný bio olej. Ten se dá použít namísto motorových paliv. Všechny tyto odlišnosti jsou dány odlišným chemickým složením. Obecně pyrolýzu biomasy můžeme rozdělit na [20]:

- pomalá pyrolýza
- rychlá pyrolýza
- pražení

#### **Pomalá pyrolýza**

Děj probíhá bez přístupu kyslíku. Materiál se pozvolna zahřívá na teplotu 400 °C a více. Doba ohřevu může trvat i 1 hodinu. Z důvodu takto vysoké teploty dojde k rozkladu lignocelulózy za vzniku syntetického plynu, pyrolýzního oleje a uhlí.

Výhodou této metody zpracování jsou nízké pořizovací náklady a rozmanitost ve zpracování druhů vstupního materiálu. Na druhou stranu je přenos tepla pomalý a užití ve větším měřítku je tak obtížné. Výsledkem je také vyšší podíl uhlí a menší podíl ostatních produktů než u ostatních technologiích. Nejčastější užití probíhá ve válcových pecích [20].

#### **Rychlá pyrolýza**

K ohřátí suroviny dochází během několika minut bez přístupu kyslíku. Výsledkem rozkladu jsou plyny, páry, aerosoli a pevný koks. Vzhledem k rychlosti průběhu reakce je ji nutno sledovat a řídit. Ta musí proběhnout v celém objemu co nejrovnoměrněji. Nadále je třeba dodržet aby se vzniklé parní fáze nezdržely v reaktoru déle než 2 vteřiny. Poté je třeba rychle ochlazovat páry a aerosoli aby nedošlo ke vzniku sekundárním reakcím. Fluidní, vakuové, šnekové a pánvové reaktory jsou právě vhodné pro rychlou pyrolýzu [20].

#### **Pražení**

Důležitou podmínkou pražení je prostředí inertní atmosféry. V této ochranné atmosféře dochází k tepelné úpravě materiálu. Tím se především zbavíme vlhkosti materiálu, lehkých těkavých látek a dojde k rozkladu složitých polysacharidů na jednodušší. Na konci toho všeho vzejde hydrofóbní produkt obohacený o energetickou hustotu s lepší schopností být rozemlet.



Následné zpracování paliva je záležitost energeticky nenáročná.

Při procesu pražení dochází ke snížení 20 % těkavých látek v materiálu. Vedle toho dochází ke změně chemického složení a tím může dojít ke zvýšení spalného tepla. Na konci toho procesu dostaneme palivo o vysoké kvalitě, jenž se podobá vlastnostmi uhlí [20].

## 4.2 Biochemické zpracování biomasy

Jakmile dochází k rozkladu organické hmoty pomocí mikroorganismů, můžeme hovořit o biochemické přeměně biomasy. Ta probíhá s přístupem kyslíku nebo bez přístupu kyslíku. Jelikož dochází k fermentaci, označujeme tyto pochody za mokré procesy. Na základní informační úrovni rozlišujeme [22]:

- alkoholové kvašení
- metanové kvašení
  - aerobní fermentace
  - anaerobní fermentace

### 4.2.1 Teorie alkoholového kvašení

Základním předpokladem úspěšné fermentace je rostlina bohatá na cukry a škrob. Za ty se obecně považují brambory, cukrová třtina, cukrová řepa a ovoce. V působení mokrého prostředí dochází k destilaci etanolu. Proces probíhá pozvolna několik desítek hodin. Jakmile dosáhne fermentační kaše obsahu 6 až 10 % alkoholu je možné ji využít dále. Vedle toho však vzniká i celá řada užitečných produktů. Teoretické tabulkové hodnoty napovídají, že z 1 kg cukru jsme schopni získat až 0,65 l tohoto vysokoprocentního alkoholu. Vedlejším produktem je glycerín.

Etanol se používá jako palivo nebo jako směs. V případě paliva jde o velmi kvalitní produkt nahrazující často benzín. Podmínkou směsi pro využití v motorech je obsah etanolu musí být nižší než 10 %.

Mezi hlavní výhody etanolu je vysoká výtěžnost litrů paliva na hektar než u bionafty i přesto, že je jeho energetická bilance výroby poloviční. Má celkově vyšší kompresi a účinnost motoru, což je způsobeno především vyšším oktanovým číslem. Zaručuje vyšší otáčky motoru, vyšší výkon a celkově lepší spalování.

Pro pěstování vhodných surovin je třeba dohnojovat. To zatěžuje životní prostředí. Výroba etanolu vykazuje značné výrobní náklady. Charakterem jde o detergent. Jedná se o druh látky, která má čistící charakter. V tomto případě napadá plastické hmoty a způsobuje korozi kovového materiálu [2].

### 4.2.2 Teorie aerobní fermentace

Jde o velice běžnou dobře známou metodu. Spočívá v dlouhodobém provzdušňování kompostu. Toto místo výskytu mikroorganismů je nutno dále zvelebovat překopáváním. Vyhovují jim komposty s nízkým obsahem  $\text{CO}_2$  a vysokým obsahem kyselin.

Výchozí materiál se za působení živočichů rozkládá na humus a další složky. Na procesu se podílí především heterotrofní organismy, jejichž zdrojem růstu je uhlík a kyslík. Aerobní fermentace si klade za cíl biologicky stabilizovat materiál a vytvořit kompost s vysoce kvalitním humusem. Za stabilizovaný stav se považuje ten, který dostatečně brání patogenním procesům jako je hnití, tlení a jiné.

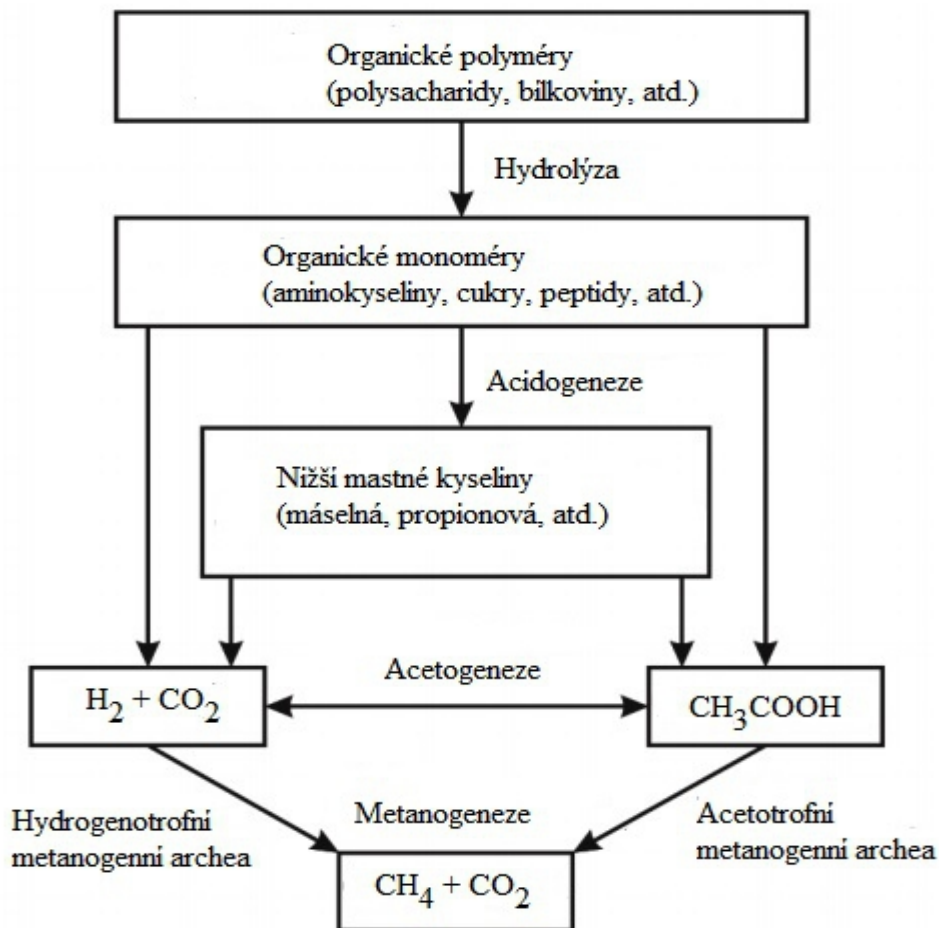
Proces postupně rozkládá vstupní surovinu za prudkého nárůstu teplot. To je spojeno s uvolňováním plynů, tj.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ , skleníkové plyny a vodní pára [2].

### 4.2.3 Teorie anaerobní fermentace

Charakteristikou procesu je návaznost jednotlivých kroků, které jsou zobrazeny v obr. 4.2.1. Proto je důležité zajistit správnou činnost mikroorganismů v mezikrocích. Tato skupina živočichů postupně spotřebovává bioplyn ve fermentoru. Můžeme je obecně chápat jako sedmnáct základních kmenů anaerobních mikroorganismů. Jejich detekce pochází z reálného prostředí trávicího traktu přežvýkavců. Mezi procesy anaerobní fermentace patří [20]:

- hydrolýza
- acidogeneze
- acetogeneze
- metanogeneze

Druh vstupního materiálu určený ke zpracování v bioplynové stanici rozhodne o tom, zda-li mají ve fermentoru převládat proteolytické mikroorganismy nebo amylolytické mikroorganismy [20].



**Obr. 4.2.1** Rozklad organické hmoty na bioplyn [20]

## **Hydrolyza**

V tomto kroku dojde k produkci enzymů, difúzi a adsorpci. Těmito kroky docílíme rozkladu polysacharidů, tuků a bílkovin pomocí extracelulárních enzymů, tj. celuláza, lipáza, pektináza a další, na látky monomerního typu. Mezi ty patří aminokyseliny, monosacharidy, mastné kyseliny a řada alkoholů. Jak rychle proběhne samotný rozklad rozhodne velikost, tvar a povrch vstupního materiálu. Rozložení polysacharidu se považuje za mnohem časově náročnější než rozklad monosacharidu, tuku nebo bílkoviny [20].

## **Acidogeneze**

Vstupující hmotou do reakcí jsou produkty hydrolyzy, tj. etanol, laktát a další. Tyto látky naplňují funkci substrátu pro acidogenní mikroorganismy. Nadále se štěpí na nižší mastné kyseliny, tj. kyselina octová, máselná, propionová, valerová, dále na amoniak, alkoholy, oxid uhličitý a vodík. V metabolismech živočichů nejsou spotřebovány v tomto kroku mastné kyseliny. Ty poté slouží jako vstupní jednotka v dalším procesu. Charakter acidogeneze vychází z koncentrace vstupního materiálu, pH a koncentrace vodíku [20].

## **Acetogeneze**

S tímto stupněm vývoje je spojena produkce plynného vodíku  $H_2$ . Je však nutné aby se vodík nepřetržitě zpracovával bakteriemi neboť může dojít ke kolapsu systému. V řadě těchto endotermických reakcí dochází k odebírání tepla, kdy výsledkem jsou mastné kyseliny obohacené o vodík, acetát a oxid uhličitý [20].

## **Metanogeneze**

Při činnosti metanogenezních mikroorganismů vzniká bioplyn. Ten je tvořen metanem a oxidem uhličitým. Majoritní hybnou silou procesu jsou acetotrofní metanogeny, které právě přetváří acetát na tyto dvě složky. K tomuto procesu dochází bez přítomnosti kyslíku a za uvolňování tepla. Druhotně zde působí hydrogentrofní metanogeny, kteří spotřebovávají plynný vodík a oxid uhličitý pro tvorbu metanu [20].

## **4.3 Fyzikálně-chemické zpracování biomasy**

Pro tento typ přeměny je typická esterifikace. To je takový proces, při kterém dochází k reakci mezi alkoholy a kyslíkatými kyselinami, případně deriváty kyslíkatých kyselin. Výsledkem je vznik esterů a vody. Tato přeměna slouží k výrobě bionafty. Ta probíhá ve třech krocích [20]:

- výroba surového oleje
- rafinace surového oleje
- esterifikace oleje

### **Výroba surového oleje**

Mezi technologické postupy lisování semen patří metoda s předlisováním – dolisováním nebo metoda lisování – extrakce organickým rozpouštědlem. Výchozí polotovar jsou semena olejnin. Ty je však nutno nejdříve připravit. Dojde k očištění semen od nečistot a jiného materiálu. Poté se musí oslabit buňky obsahující olej a vytvarovat materiál do vločkovitých forem. K tomu dochází při procesu předkondicionace, tj. zahřátí semen na optimální teplotu pro vločkování. Při tomto procesu oslabení buněk dojde právě ke snížení viskozity oleje pro snadnější odjímání oleje ze struktury. Následuje kondicionace při které

dojde ohřátí na lisovací teplotu. To umožní vylisování olej a pevného zbytku, výlisku. Jelikož může semeno obsahovat jakékoliv nečistoty, musí se olej čistit. Tomu odpovídá proces číření, kde se oddělují pevné částice od oleje. Výlisek je vhodný na extrakci, tj. dodatečné vylisování zbytků pomocí rozpouštědla, hexanu. Po tomto procesu se z něj stává šrot, který není pro nás zajímavý [20].

### **Rafinace surového oleje**

Jedná se o technologický postup při kterém má dojít k zušlechtnění oleje. To znamená zbavit jej nežádoucích komponent. Mezi takové patří jakékoliv zbytky nerozpustné v oleji, tj. mechanické nečistoty, minerální látky, částice bílkovin, sacharidů a voda. Abychom docílili výsledného oleje zbaveného o tyto nadbytečnosti, musí postupně projít těmito postupy [20]:

- odslizení – v tomto kroku jsou odstraněny fosfolipidy a sliz
- neutralizace volných kyselin – dosaženo pomocí hydroxidu sodného
- sušení – dojde k ohřevu při nižších teplotách
- filtrace – dojde k odstranění pevných látek
- bělení – dojde k odstranění barevných látek
- dezodorizace – proces destilace a stripování vodní párou

### **Esterifikace oleje**

Výsledným produktem chemické přeměny by měl být čistý olej vhodný pro běžné motory. V posledním kroku je třeba jej dodatečně upravit. Proto dochází ke snížení viskozity s pomocí jednoduchých alkoholů. Při procesu dochází k uvolňování glycerolu a metylesteru. Metylestery vznikají při přímé esterifikaci mastných kyselin metanolem nebo při preesterifikaci olejů a tuků metanolem [20].

## 5 Zařízení a technologie biomasu zpracovávající

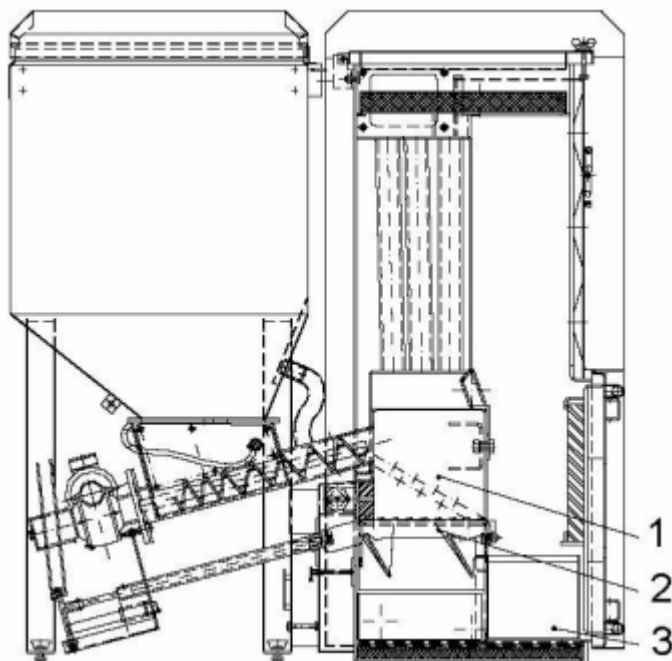
### 5.1 Technologie spalování

Za spalovací zařízení obecně považujeme kamna, krby, sporáky a kotle. Podle konkrétního typu využití, funkcí a způsobu provedení se dále mohou dělit na krbová kamna, kachlová kamna, kotle s manuálním přikládáním, automatické kotle, průmyslové kotle a další. Mezi základní principy spalování patří [23]:

- spalování na roštu
- spalování se spodním přívodem paliva
- speciální hořáky, hořákové provedení
- spalování ve fluidní vrstvě

#### 5.1.1 Spalování na roštu

Základní funkcí roštu je snaha o co nejdokonalejší spálení paliva při rovnoměrném posuvu a zároveň zajistit dostačující přívod vzduchu do spalovací komory. Původní uplatnění roštových kotlů bylo při spalování fosilních paliv. V nynější době využívají biomasu ve formě štěpek, pelet, kusového dřeva, obilovin nebo dřevního odpadu. Pro nízké výkony se využívá pevný, nehybný rošt přes který propadají zbytky do popelníku. Pro snadnější odvod tohoto odpadu může mít nainstalovány vibrační nebo pohyblivé mechanismy. Pro vysoké výkony se uplatňuje rošt mechanický, který svým pohybem posunuje palivo do místa odchodu zbytků. Rozlišujeme dále rošty pásové, přesuvné, vratisuvné a válcové. Palivo je dopravováno šnekovým dopravníkem z násypky. Pro názornější představu roštového kotle slouží obr. 5.1.1 [23].



**Obr. 5.1.1** Schéma roštového kotle 1-hořák, 2-rošt, 3-popelník [23]

### 5.1.2 Spalování se spodním přívodem paliva

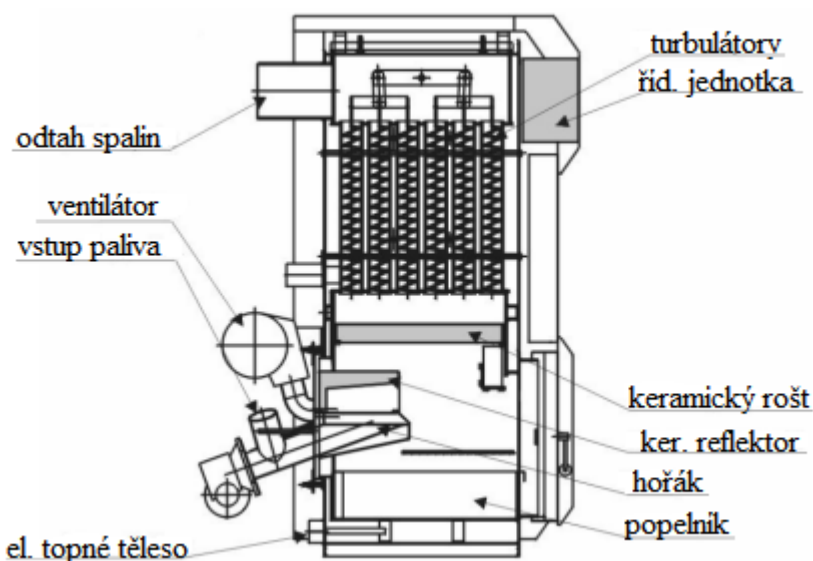
Palivo je dopravováno šnekovým dopravníkem pod hořící vrstvu, kde se pomocí litinového kola a retorty přivádí v horizontálním směru. K přívodu může u některých kotlů dojít i vertikálně. V takovém případě mají šneky s opačným stoupáním a vertikální hrdlo namísto retorty. Mezi retortou a roštem je vzduchová mezera usnadňující průchod proudu spalovacího vzduchu.

Spalování doprovází vysoké tepelné záření hořící vrstvy, a tudíž se reflektuje zpět keramickým tělesem do ohniště. V místě retorty dochází k ohřevu a vysušení paliva a nad touto oblastí se uvolňuje prchavá hořlavina. Uhlík dohořívá na roštu. Popel je postupně nahrazován a vytlačován novým vstupním materiálem ke kraji roštu. V tomto místě padá do popelníku [23].

### 5.1.3 Speciální hořáky, hořákové provedení

Metoda dobře spalující suché obilí nebo biopelety. Z pravidla se užívá přímo v zemědělských oblastech. Při spalování vzniká velké množství popela. Proto jsou vhodnější kotle s velkým popelníkem nebo s automatickým vynašečem odpadu. Účinnost spalování se pohybuje až k hranici 90 %.

Hořáky mají čidla s detekcí dostatku paliva. Mají také zabudovanou žhavicí spirálu pro automatické zapálení. K hoření dochází přímo v části hořáku. Ten je navíc odmontovatelný a kotel se tak může využívat na kusové dřevo. Pro lepší představu o kotly s hořákovým provedením slouží obr. 5.1.3 [23].



Obr. 5.1.3 Schéma kotle s hořákovým provedením [23]

### 5.1.4 Spalování ve fluidní vrstvě

Vytvoří se fluidní vrstva inertního materiálu. Ta je schopna absorbovat náhlé změny vlastností paliv při procesu spalování. Tím je docíleno možnosti spalovat jakýkoliv druh biomasy, včetně odpadů.

Pevná látka se udržuje v tekutém stavu pomocí neustále proudícího vzduchu. Proces fluidizace proběhne v momentě kdy se rychlost vzduchu vyrovná rychlosti fluidizace.

Postupným zvyšováním rychlosti dosáhneme vyšší fluidní vrstvy. Částice v ohništi zůstávají do úplného dohoření. Jakmile dojde k dovršení rychlosti úletu jsou tyto částice unášeny z vrstvy, tj. princip práškových ohnišť. Fluidní vrstva reguluje výkon kotle. Kotle takto využívané jsou z pravidla konstruovány pro vysoké výkony. Přestupy tepla dosahují několikanásobků běžných zařízení. Fluidní kotle mohou být atmosférické nebo přetlakové. Dále mohou mít odlučovač, nebo cirkulující fluidní vrstvu s externím výměníkem tepla [23].

## 5.2 Technologie zplyňování

Za zplyňovací zařízení považujeme zplyňovače, generátory. Jednotlivá zařízení se liší výkonově, v rozdílné chemickém složení produkovaného plynu a ve výšce teplot. Dělí se podle zplyňovacího média na vzduchové, kyslíkové a parní. Dále o jejich typu rozhoduje zdroj tepla, tj. autotermální nebo alotermální zařízení. V neposlední řadě rozhoduje konstrukce reaktoru rozděluje zplyňovače na [24]:

- generátor se sesuvným ložem
- generátor s fluidním ložem
- hořákový generátor

### 5.2.1 Generátor se sesuvným ložem

Zplyňovací médium prochází buďto ve shodném směru jako palivo nebo ve směru opačném, a nebo ve směru kolmém k palivu.

Nedostatkem těchto generátorů je tvorba plynu o proměnlivém složení, což je zapříčiněno klenbováním vrstvy paliva. Tento plyn je také nízkovýhřevný. Celkově je metoda omezena nízkým výkonem do cca 1 MWt. Na druhou stranu jsou náklady na provoz relativně nízké a celková konstrukce je jednoduchá.

Atmosférické provedení se používá pro biomasu, zatímco tlakové provedení pro uhlí [24].

### 5.2.2 Generátor s fluidním ložem

Dochází k probublávání vrstev materiálu zplyňovacím médiem. Tato vrstva může být tvořena z písku nebo popela. Odehrává se zde proces fluidace při které rychlost proudění plynů přisuzuje materiálu vlastnosti podobné kapalin. Ve fluidním loži dochází tak odplynění a následnému zplynění uhlíkem. To zajišťuje rovnoměrně rozloženou vrstvu dobře vedoucí teplo.

Základním rozdílem toho typu generátoru oproti ostatním je ten, že reakce zplyňování zde probíhají současně najednou. Teploty přeměny u biomasy dosahují až 950 °C. Výhodou tedy je, že dochází k rovnoměrné distribuci tepla v reaktoru a ke vzniku rovnoměrné fluidní vrstvy. Tyto podmínky jsou vhodné pro zpracování vysoce objemných materiálů s náročným zpracováním.

Dle rychlosti proudění plynu se dále větví na typ se stacionární fluidní vrstvou a nestacionární fluidní vrstvou [24].

### 5.2.3 Hořákové generátory

Podmínky v plamenu při procesu zplyňování jsou substechiometrické. To jsou takové podmínky, které složení chemické sloučeniny považují bez skutečného počtu atomů v molekule. Za vysokých teplot a tlaků dochází ke zplyňování materiálu pomocí směsi kyslíku a

páry. Doba zdržení částic v reaktoru je velice krátká. Popel vlivem těchto extrémních podmínek odchází ve formě strusky.

Výhodou tohoto typu generátoru je vysoká čistota plynu. Plyn obsahuje 80 % objemu vodíku a oxidu uhelnatého. Z tohoto důvodu se spíše používají na vyšší výkony. Mezi nevýhody patří vysoké náklady a nároky na přípravu paliv. To musí být totiž zpracováno v prášku nebo suspenzi [24].

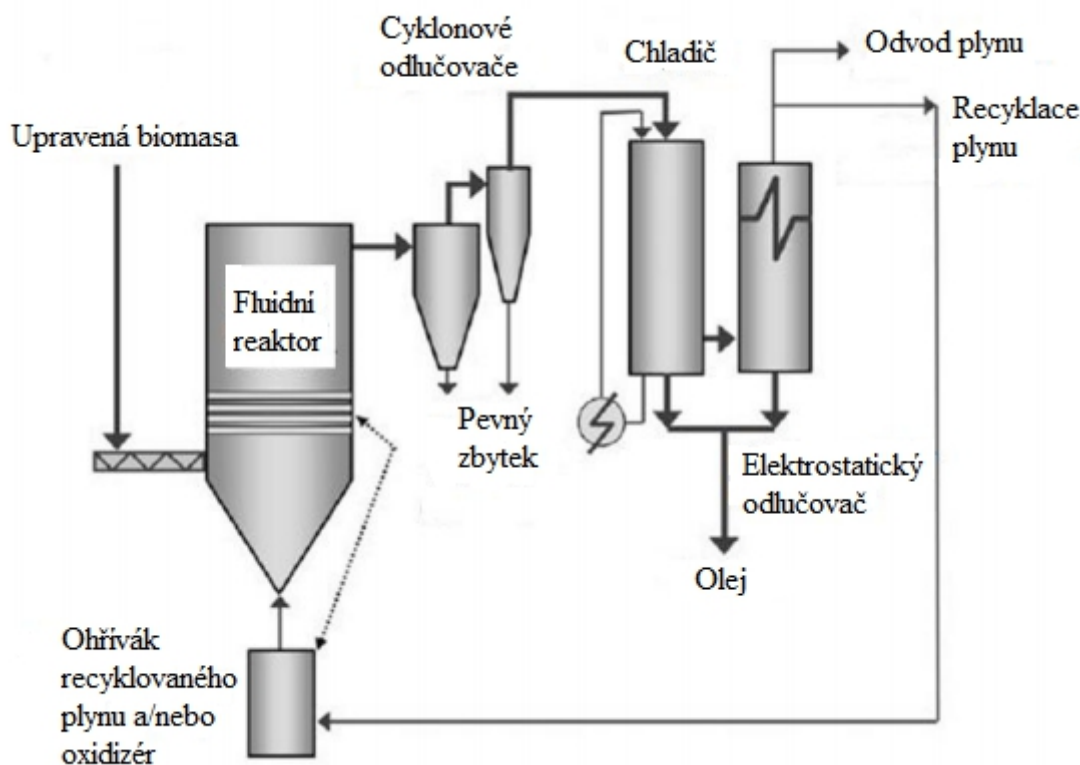
## 5.3 Technologie pyrolýzy

Pro účely pyrolyzního zpracování slouží fluidní reaktory, rotační kuželové reaktory, vakuové reaktory a pánvové reaktory. Odlišnost spočívá v různých způsobech ohřevu a rychlostech reakcí [20].

### 5.3.1 Fluidní reaktor se stacionární vrstvou

Nespornou výhodou je dobrá znalost jejich technické stránky, jednoduchost konstrukce a celkového provozu či snadná regulace teplot v reaktoru. Ještě před vstupem je potřeba nejprve biomasu upravit na podobnou velikost jednotlivých částic. Částice o rozměru 2 – 3 mm zaručují největší míru efektivity přenosu tepla. Tento typ zařízení vykazuje stabilitu výkonu s vysokým obsahem kapalného podílu [20].

Technologie BioTherm je pyrolýza probíhající ve fluidních reaktorech vyvinuta v Kanadě firmou Dynamotive. Dochází ke spalování dřevních pilin na fluidním loži tvořeného pískem. O spalování bio oleje se stará plynová turbína s výkonem 2,5 KW za účelem výroby elektrické energie. Na obr. 5.3.1 je jednoduché schéma zachycující fluidní reaktor [25].



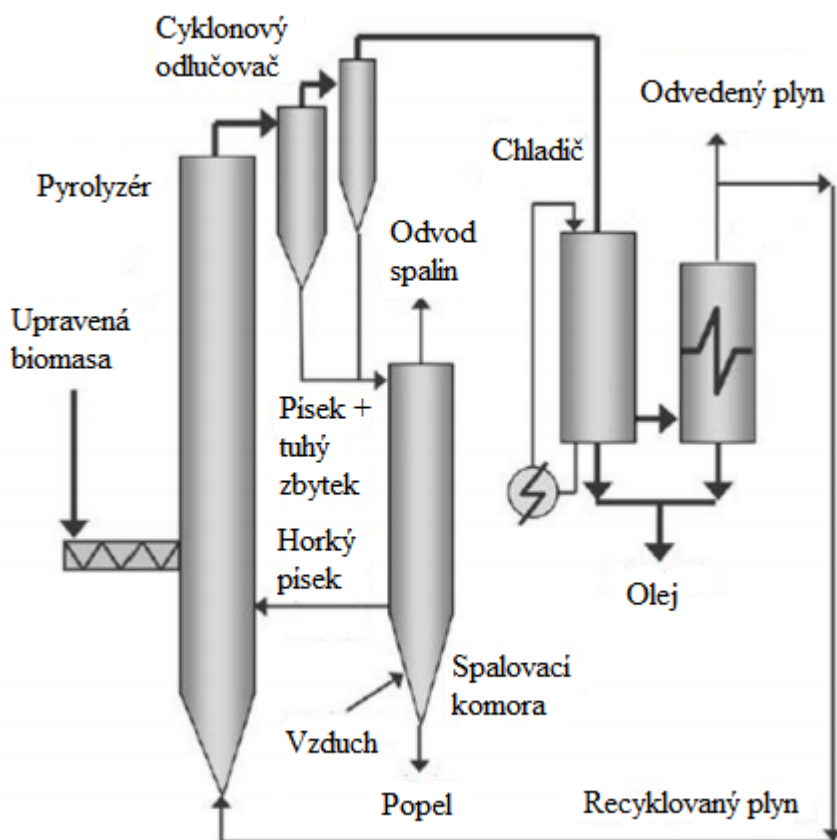
**Obr. 5.3.1** Schéma fluidního reaktoru [20]



### 5.3.2 Fluidní reaktor s cirkulující vrstvou

Oproti předchozímu typu dochází v průběhu procesu k částečné recyklaci materiálu. Ten se pomocí odlučovačů navrácí zpět do reaktoru. Navíc průměrné zdržení pevného podílu částic je přibližně stejné jako u par a plynů. Transport materiálu uskutečňuje proudící plyn. Vyšší rychlosti v reaktoru panující mohou mít za následek narušení vrstvy pevných částic. V tomto případě by došlo ke zvýšení obsahu takových částic ve výsledném oleji [20].

Technologie RTP využívá cirkulující vrstvu k výrobě chemikálií a paliv. Cirkulující lože je tvořeno pískem. Jeho cesta probíhá spolu s polokoksem až do spalovací komory. Z ní se však písek částečně navrácí zpět. Nedostatkem je častá eroze zařízení nebo velký objem plynů v oběhu. Rozdíl mezi jednotlivými reaktory může vyzorovat z obr. 5.3.2 [25].

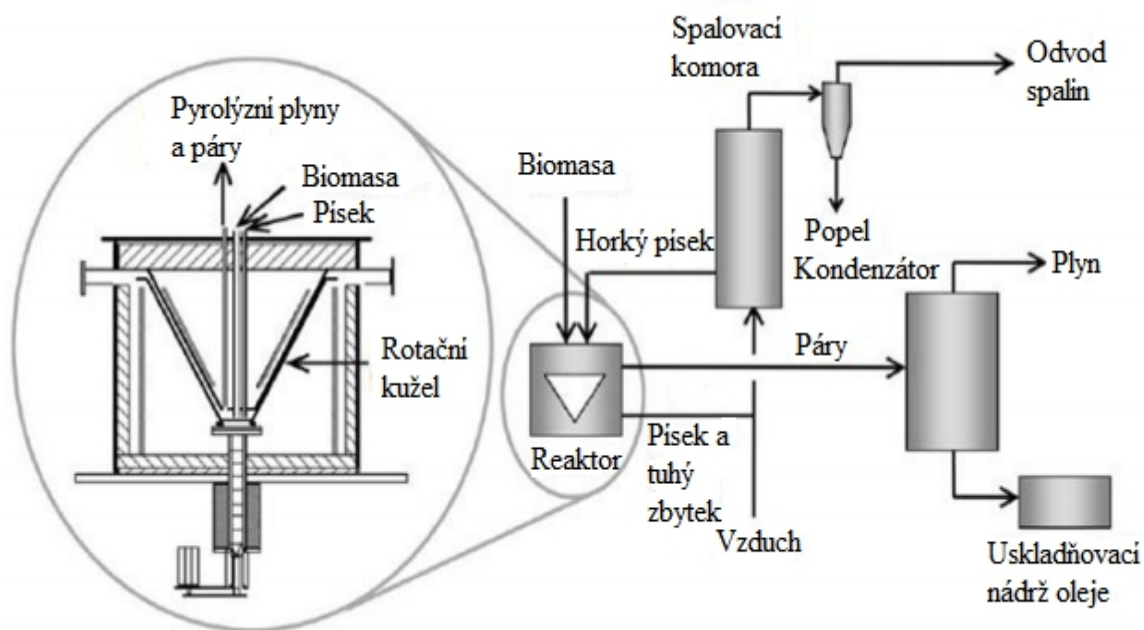


Obr. 5.3.2 Cirkulující fluidní lože [20]

### 5.3.3 Rotační kuželový reaktor

Odlišnost spočívá v transportu materiálu v reaktoru a to za pomoci odstředivých sil. Specifický je i samotný pohon reaktoru. Ten je rozpořhobován horkým pískem a biomasou. Dalším rysem je přítomnost sekundárního spalovacího zařízení. To má za úkol spálit pevný zbytek. Oproti ostatním typům je výtěžek kapalného podílu o něco nižší [20].

Technologie BTG má za úkol co největší zisk bio oleje z daného materiálu. K tomu dochází promíchání biomasy s pískem. Vstupní surovinou může být sláma, dřevo, energetické plodiny nebo drůbeží trus. Vytěžený pyrolýzní olej má funkci náhrady topného oleje při spoluspalování v kotli. Na obr. 5.3.3 je zachycen rotační kuželový reaktor [25].



*Obr. 5.3.3 Schéma rotačního kuželového reaktoru [20]*

## 5.4 Technologie alkoholového kvašení

Nejpoužívanější aplikace je známá pod pojmem lihovarská technologie. Ta vychází z parametrů vstupní suroviny, nejčastěji škrobnaté nebo obsahující sacharózu. Procesy se následně rozlišují na sádkové, s recyklací buněk, bez recyklace buněk nebo zda dochází k oddělení ethanolu [23].

### 5.4.1 Technologie ze škrobnatých surovin

K aplikaci dochází v oblasti zemědělských lihovarů. Základní dílčí procesy jsou dva [23]:

- příprava záparu
- průběh kvašení

#### Příprava záparu

Proces začíná přípravou záparu. K tomu může dojít tlakovým nebo beztlakovým způsobem. V prvním případě jde využití celého zrna nebo hlízy. K uvolnění škrobu dochází při teplotě 100 °C a více vodní parou o vysokém tlaku. Takový proces paření má výhodu sterilizace materiálu. Jakmile je vstupní surovina namleta je vhodná pro beztlakový způsob. Po namletí mají částice mít od 0,4 mm do 1,6 mm. Poté je nutno škrob přetvořit na zkvasitelný sacharid. To probíhá díky komplexu amylolytických enzymů nebo lze použít hemicelulózy či proteázy [2].

#### Průběh kvašení

Dříve zmíněné enzymy rozloží dále zkvasitelný sacharid na ethanol a oxid uhličitý. Obvyklá doba působení může být až 3 dny. Odvíjí se od teploty a míře aktivity kvasinek.

Metoda vsádkování začíná periodickým rozkvašováním, poté hlavním kvašením a dokvašením. Ke kvašení dochází v kvasných kádích opakovaně během celé fermentace. K přívodu a odvodu záparsy dochází neustále [23].

#### **5.4.2 Technologie ze surovin obsahujících sacharózu**

Budeme se zabývat popisem technologie z řepné melasy. Jde o velice vhodnou surovinu, protože obsahuje přímo sacharózu, navíc je jednoduše upravitelná a má nízkou viskozitu.

Melasnice jsou místem pro skladování melasy. Pokud možno uleželá melasa se ředí vodou a dodatečně upravuje pH kyselinou sírovou. Vhodná hladina je 4,5 až 5 hodnoty pH. Řepná melasa je bohatá na dusíkaté živiny. Její nedostatek je nízký obsah fosforu, který se musí dodávat.

K samotnému kvašení dochází různými způsoby. Zmiňuji nejzajímavější způsob s recyklací kvasinek. Základem je, aby se do nové záparsy dostaly kvasnice z již proškvařené záparsy. Tím dochází k výraznému ušetření spotřeby cukru k syntéze biomasy. Rychlost kvašení je relativně vysoká, protože v procesu koluje vyšší koncentraci buněk. Na konci fermentace se zápara částečně odstřeďuje. Vzniká kvasničné mléko, které se dále okyseluje [23].

#### **5.5 Technologie metanového kvašení**

Ve světě se rozvinula velká řada rozličných typů biostanic. Můžeme je dělit podle způsobu plnění, podle konzistence substrátu nebo zda-li jsou jednostupňové nebo vícestupňové. Mezi takové řadíme [26]:

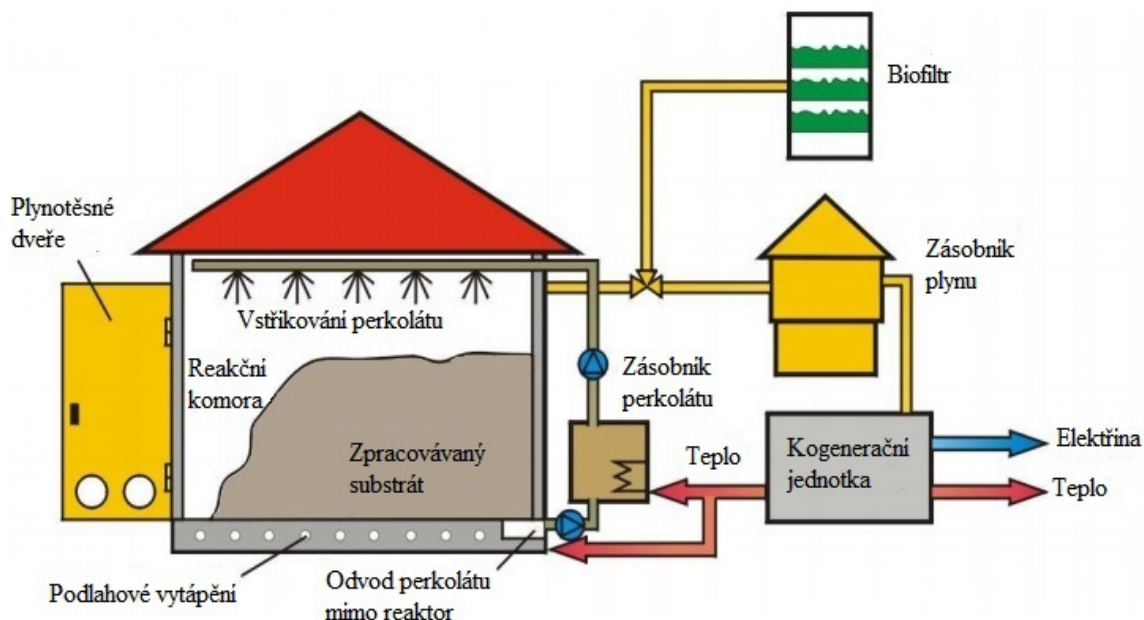
- Dávkový způsob – Dojde pouze k jednomu naplnění fermentoru. Dále se nepřidává nebo neodbírá substrát. Objem plynu nejprve pomalu stoupne na maximum a poté dále jen klesá.
- Metoda střídání nádrží – V první nádrži probíhá pomalé rovnoměrné plnění, zatímco ve druhé nádrži probíhá vyhnívání. Jakmile se zaplní první nádrž, dojde k přemístění obsahu druhé nádrže do skladovací. Poté se tato prázdná nádrž naplní obsahem první nádrže.
- Průtokový způsob – Na rozdíl od ostatních je zde vyhnívající nádrž pořád plná. Je zde i malá nádrž, která doplňuje nepravidelně čerstvý substrát do fermentoru.
- Metoda se zásobníkem – Došlo k propojení skladovací nádrže a fermentoru. Část fermentoru je postupně plněna z přípravné nádrže.
- Kombinovaná průtoková metoda se zásobníkem – K průtokovému fermentoru se připojí otevřené nádrže kvůli sběru vyhnílé kejdy.

## 5.6 Bioplynová stanice na suchou fermentaci

Bioplynové stanice využívají základní princip rozkladu biologicky rozložitelného materiálu bez přístupu kyslíku. Ten je následně rozložen na bioplyn, který je přeměněn na elektrickou energii a teplo. Za tuhý zbytek označujeme fermentát a tekutý zbytek perkolát. Obr. 6 přehledně schematicky popisuje celou stanici.

Prvotním kritériem zpracování biomasy v tomto typu stanice je vyšší obsah sušiny. Zpracovává substráty jako je hnůj, tráva, prošlé ovoce a zelenina, biologicky rozložitelné komunální odpady a kukuřičné krmivo. Mezi přednosti využití tohoto typu zpracování patří [27]:

- nižší spotřeba elektrické energie
- vstupní surovinu není třeba dodatečně upravovat
- je možné využít odpadní biomasu
- nízká poruchovost stanic
- výsledkem je plyn o vyšší koncentraci metanu a nižší koncentraci síry

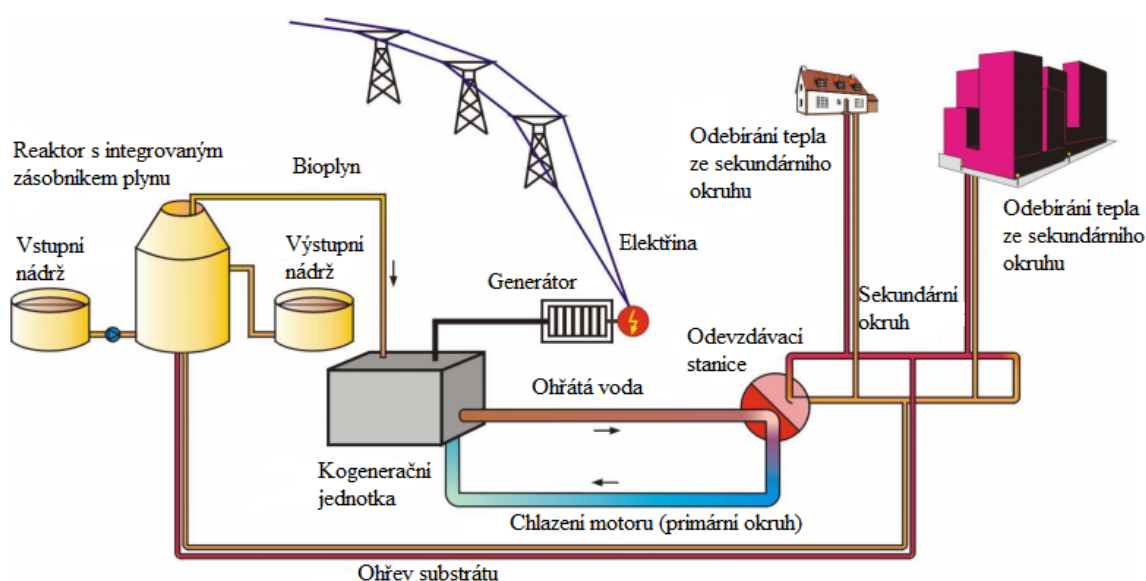


**Obr. 5.6** Schéma bioplynové stanice na suchou fermentaci [28]

## 5.7 Bioplynová stanice na mokrou fermentaci

Tento typ stanic se využívá na zpracování komunálních bioodpadů nebo v zemědělských provozech. Na obr. 7 můžeme pozorovat detailnější popsání cesty mokré fermentace při odběru. Je to již dlouhodobě, tradičně odzkoušený zdroj bioplynu na našem území nejrozvinutější. Hlavní výhody jsou [27]:

- široké uplatnění, technicky propracované
- bohatá technologická výbava a příslušenství
- zpracovávají substráty s mnohonásobně vyšším obsahem hmoty než u suché fermentace



**Obr. 5.7** Zařazení mokré fermentace v okruhu spotřební sítě [28]

## 6 Průmyslová aplikace technologií vyrábějících tepelnou energii z biomasy v ČR

Obecně můžeme říci, že tepelná nebo elektrická energie je zpracována následujícími zdroji [29]:

- výtopny
- spalovny
- elektrárny
- teplárny

### 6.1 Výtopny

V tomto tepelném zdroji dochází pouze k výrobě tepelné energie. Výtopny mohou zpracovávat tuhá, kapalná nebo plynná paliva. Dle produkce teplotnosného média se rozdělují na výtopny parní, horkovodní, teplovodní a smíšené [29].

#### 6.1.1 Centrální výtopna na spalování biomasy ve Žluticích na Karlovarsku

Začátek provozu sahá do roku 2002. Z důvodu potřeby nahradit staré neefektivní uhelné kotelny se místní rada rozhodla zřídit centrální výtopnu.

V prostorech se nachází čtyři průmyslové kotle *VERNER GOLEM* o celkovém výkonu 7,9 MW. Kotel o vyšším výkonu 2,5 MW je uzpůsoben ke spalování dřevního odpadu. Jeden z kotlů o výkonu 1,8 MW je přizpůsoben ke spalování dřevního opadu a balíků slámy. Zbývající dva kotle o stejném výkonu spalují jen slámu.

Základním palivem výtopny je biomasa ve formě pilin, dřevního odpadu, štěpky a slámy. Ve výtopně se průměrně spotřebuje až 4,5 tisíc tun paliva během roku. Tabulka 5 udává základní údaje pro přehled [30].

**Tab. 5** Přehled důležitých údajů Žlutické výtopny [30]

|                         |                   |
|-------------------------|-------------------|
| Instalovaný výkon       | 7,9 MW            |
| Délka teplovodů         | 11,6 km           |
| Teplotní spád           | 105 °C/65 °C      |
| Tlaková pásma teplovodů | 0,4 MPa a 0,9 MPa |
| Rozvodná síť            | teplovodní        |

### 6.2 Spalovny

Ve spalovnách dochází ke spalování komunálního odpadu, který je následně možno použít na vytápění nebo přípravu užitkové vody. Ve větších celcích se využívají parní turbogenerátory, které produkují navíc i elektrickou energii.

Oproti výtopnám je zde rozdíl ve skladování paliv a také celková konstrukce kotelní jednotky se liší [29].

### 6.2.1 Spalovna Sako v Brně

Jde o velice multifunkční provozovnu, která se zabývá především svozem odpadu a jeho následným využitím při spalování.

Spalovna Sako v Brně je schopna zpracovávat odpady rostlinných pletiv, odpady z lesnictví, odpadní kůru a korek, piliny, hobliny, odřezky a jiné.

Výsledkem přeměny vstupní suroviny je teplo a elektřina. Během celého roku je provozovna schopna pokrýt energetické náklady 30 tisíc obyvatel.

Na začátku technologického procesu je vstupní surovina důkladně protříděna. Poté se jeřábem dále přemísťuje do zásobníku odpadu. V kotelně se nachází dva kotle pětitažové koncepce s vratisuvnými rošty typu *MARTIN*. Zde materiál hoří v kotlích bez přídavného paliva. Po spálení tohoto materiálu padá škvára do mokrého vynašeče. Zde dojde k jejímu vychlazení a následně je dopravena do zásobníku škváry. Vzniklá přehřátá pára projde parní kondenzační turbínou. V této turbíně dojde k přeměně tepelné a tlakové energie na mechanickou. Mechanickou práci koná lopatkový rotor [31].

## 6.3 Elektrárny

Hlavním výrobním produktem elektrárny je elektrická energie, tepelná energie je vedlejší produkt. Výrobní zařízení elektráren jsou uspořádány do bloků. Ty jsou tvořeny kotelní jednotkou, parní kondenzační turbínou, kondenzátorem, napájecími čerpadly, elektrickým generátorem, vývodovým transformátorem, vývodovým polem a elektrickými rozvody.

Nejprve dochází k základní přeměně energie paliva spalováním na tepelnou energii. Tepelná energie je dále transformována na tlakovou energii přehřáté vodní páry. K expanzi páry dochází v parní kondenzační turbíně. Výsledkem celého procesu je až elektrická energie.

U elektráren sloužících jako zdroj tepelné energie se část přehřáté vodní páry odvádí mimo pro další využití [29].

### 6.3.1 Tepelná elektrárna Hodonín

Elektrárna Hodonín je typem tepelné elektrárny. Výstavba probíhala od roku 1951 do roku 1958 v blízkosti města Hodonín.

Na počátku elektrárna měla k dispozici osm práškových kotlů, každý o výkonu 125 tun páry/hod. Později byly nainstalovány dva kotle s turbínou o výkonu 50 MW a další dva o výkonu 55 MW. 10 let na to proběhla rekonstrukce obou kotlů o nižším výkonu a došlo tak k navýšení celkového výkonu elektrárny na 210 MW. Ten se však postupem let až do dnešní doby dále zvyšoval.

Jako vstupní surovina se využívá hnědé uhlí nebo biomasa. Ročně se spotřebuje 209 000 tun biomasy a 250 000 tun hnědého uhlí [32].

**Tab. 6** *Technické parametry elektrárny Hodonín [32]*

|                        |             |
|------------------------|-------------|
| Roční výroba elektřiny | 177 000 MWh |
| Roční výroba tepla     | 800 000 GJ  |
| Elektrický výkon       | 105 MW      |
| Tepelný výkon          | 250 MW      |

## 6.4 Teplárny

Teplárny se především soustřeďují na výrobu tepelné energie. Výroba elektrické energie je až druhořadá. Rozdíl mezi teplárnou a elektrárnou vyplývá v odlišné konstrukci parní turbíny.

V teplárnách se instalují protitlakové parní turbíny. V tomto zařízení dochází k expanzi páry až na tlak vyšší než je atmosférický. Tím je velká část energie vodní páry využita pro výrobu tepelné energie v dalších technologických postupech [29].

### 6.4.1 Teplárna Plzeň

Plzeňské teplárny využívají energetického bloku, který je složen z kotle K7, turbosoustrojí TG3 a tepelného výměníku ŠO4. Nejpoužívanějším palivem je biomasa ve formě dřevní štěpky. Nutným předpokladem pro využití paliva je jeho čistota. Společnost se aktivně podílí na rozvoji v oblasti cíleně pěstovaných rostlin pro energetické účely. Ročně dojde ke spálení 285 000 tun dřevní štěpky. Výkon bloku je 11,5 MW elektrického výkonu a 35 MW tepelného výkonu [33].

**Tab. 7** *Technické parametry teplárny Plzeň [33]*

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| Jmenovitý parní výkon kotle K7        | 50 t/h    |
| Jmenovitý tlak páry před TG3 kotle K7 | 6,7 MPa   |
| Jmenovitá teplota páry před TG3       | 485 °C    |
| Jmenovitý výkon generátoru            | 13 500 kW |

### 6.4.2 Teplárna Dvůr Králové nad Labem

Teplárna Dvůr Králové nad Labem patří pod výrobní zdroje skupiny ČEZ už od padesátých let 20. století. V kotlích jsou především spalovány rostlinné pelety, dřevní štěpky a piliny. Ve zbytku se spaluje uhlí nebo kombinace uhlí s biomasou.

V areálu se nachází dva moderní fluidní kotle a dva staré kotle. Teplárna vyrábí elektrickou i tepelnou energii pomocí technologie kogenerace. Tento provoz je schopen spalovat až 240 tun biomasy denně. Teplárenský výkon činí 115,8 MW. Ročně se do sítě dodá teplo 800 TJ [34].



### **6.4.3 Teplárna Třebíč**

Teplárna v Třebíči působí od roku 1995. Svým pokrytím je schopna zásobovat teplem celé město. V kotlích se spaluje zelená štěpka, piliny, hnědá štěpka, sláma a odpadní biomasa.

Celý provoz je složen z několika dílčích celků, tj. Teplárna SEVER, Teplárna JIH, Teplárna ZÁPAD, kotelna B1, kotelna B2 a kotelna K14. Primárně se využívají kotle na spalování dřevní biomasy VESKO-B a kotle na spalování slámy VESKO-S.

Za své hlavní přednosti si společnost klade spolehlivost a stabilitu. To je především díky záložen výroby tepla. Dále potom šetrnost k životnímu prostředí, protože nedochází v místě spotřeby k druhotným opadům a úspora CO<sub>2</sub> je vysoká [35].

## 7 Závěr

Na začátku této práce byl vymezen pojem biomasa. Pro jeho lepší pochopení byla do textu vložena tabulka názorně vysvětlující odlišnosti jednotlivých typů paliv biomasy. Čtenář se dále dozví základní výhody a nevýhody této zelené energie. Výčet jednotlivých argumentů je vyrovnaný na obou stranách. Z toho lze vyvodit jakým komplikovaným pojmem biomasa je. Tento základ je vhodné rozčlenit již na začátku aby sloužil na pozadí jako vodítko pro případné srovnávání a představy.

Biomasa se dělí do tří primárních kategorií. Těmi jsou především rostliny vhodné pro pěstování k energetickým účelům, rostliny vhodné na odpad a komunální odpady. Z rostlin určených k energetickým účelům byly vybráni zástupci z rostlin jednoletých, rostlin víceletých a trvalých, rostlin planě rostoucích, energetických trav a rychle rostoucích dřevin. Z této kapitoly vyplývá, že pro stanovení co možná nejlepšího výsledku pěstování dané rostliny je třeba skloubit dohromady nároky klimatické, půdní, logistické a technologické.

Ve čtvrté kapitole dojde k rozřazení zpracování biomasy na termochemické, biochemické a fyzikálně-chemické. Tyto přeměny se zásadně odlišují svým charakterem, podmínkami nebo jednotlivými fázemi procesu. Stejně tak samotný výsledek procesů je zcela odlišný.

V další kapitole došlo k rozdělení technologií využívajících dříve zmíněné zpracování. Jednotlivé technologie jsou specifické svým zařízením nebo jednotlivými dílčími kroky v rámci celého procesu. To dává možnost široké průmyslové variability.

Jakmile se ohlédneme v České republice, můžeme najít relativně dobré zázemí pro průmyslové využití biomasy. To dokazuje řada výtopen, spaloven, elektráren a tepláren. Tyto provozy se liší zejména z důvodu svého účelu, protože některé slouží k zásobování menších měst, zatímco jiné k zásobování obcí. U nich se podařilo vybudovat dobrou síť přepravy energie až k finálním spotřebitelům při zachování relativně dobré ekonomické bilance. Ze samotné struktury a charakteru provozů zatím vyplývá, že biomasa nachází uplatnění regionální či lokální a jeho větší celorepublikový růst nebo dokonce centralizace je otázkou mnohem složitější, protože samotná politika hraje v tomto odvětví velkou roli.

Závěrem této bakalářské práce je představa. Představa upřena směrem k budoucnosti. Taková, která hledá rovnováhu mezi energií všeho druhu a životem. Ta jenž vidí prostého živočicha, rostlinu, člověka nebo půdu v rovnováze. Tato představa vychází z celé práce. Bere v potaz to co bylo představeno a to o čem se jen hovoří.

Pokud má být učiněn razantní krok, pak ať je nebojácný a přímý. Ať dojde k vytvoření světa, kde má biomasa důležité postavení. Ať jsou vytvořeny reálné oblasti, které co nejlépe zachycují lokální prostředí a podmínky. Necht' se vypracuje plán všech možných energeticky vhodných rostlin a důkladně se otestují v reálných provozech.

Tyto oblasti musí mít vypracovanou síť, která bude zaručovat propojení s každou domácností. Pro uzavření kruhu je třeba vybudovat základny, které využijí odpad nebo vedlejší produkty biomasy jako užitečnou surovinu.

Představa nám říká, že nic není nemožné. Energie je nadřazený pojem téměř všemu. Ať jde o biomasu nebo jinou formu, má především sloužit dobré věci a lidem. A pokud vývoji, evoluci nelze zabránit, tak ať je čistá, podporující, obnovitelná a tvořivá. Mé přesvědčení říká, že až dojde k rozpadu papírové opony a tím i vlády nepravdy, dojde konečně k naplnění skutečného potenciálu o kterém sní jen pár vyvolených.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] Biomasa. *Www.slovník-cizích-slov.abz.cz* [online]. c2005-2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://slovník-cizích-slov.abz.cz/web.php/slovo/biomasa>
- [2] Jandačka, J., M. Mikulík a M. Malcho. *Biomasa ako zdroj energie, potenciál, druhy, bilancia a vlastnosti paliv*. Žilina: Juraj Štefuň – GEORG, 2008, 241 s. ISBN 978-80-969161-3-9.
- [3] VOLÁKOVÁ, Pavlína: Prvkové složení biomasy. *Biom.cz* [online]. 2010-09-08 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/prvkove-slozeni-biomasy>. ISSN: 1801-2655.
- [4] SKÁLA, Zdeněk a Tadeáš OCHODEK. *Energetické parametry biomasy: Projekt: GAČR 101/04/1278* [online]. Brno: MANTILA REPRO, 2007 [cit. 2016-05-07]. ISBN 978-80-214-3493-6. Dostupné z: <http://www.eu.fme.vutbr.cz/uploads/OEI/enparbio.pdf>
- [5] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. První vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2010. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [6] Výhřevnosti paliv. *Www.tzb-info.cz* [online]. Jan Novák, 2000 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>
- [7] ŠIMKOVÁ, Leona. *MOŽNOSTI VYUŽITÍ POPELE Z DŘEVNÍ BIOMASY* [online]. Brno, 2006 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?zalozka=7;id=6661;studium=6439;zp=12922;download\\_prace=1](https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?zalozka=7;id=6661;studium=6439;zp=12922;download_prace=1). Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Jiří Kadlec.
- [8] KÁRA, Jaroslav, Zdeněk PASTOREK a Petr JEVIČ. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC Public, 2004. ISBN 80-86534-06-5.
- [9] PETŘÍKOVÁ, Vlasta. ROSTLINY PRO ENERGETICKÉ ÚČELY. In: *Http://biom.cz* [online]. Praha: Česká energetická agentura [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/rostliny-pro-energetick-ely.pdf>
- [10] SORPČNÍ SCHOPNOST PŮDY. *Http://web2.mendelu.cz* [online]. Brno: Rostislav Richter, 2004 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: [http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/agrochemie\\_pudy/sorpce.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/sorpce.htm)
- [11] Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy: Sléz přeslenitý. *Www.biomasa-info.cz* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, c2007-2013 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/slez.pdf>

- [12] Miscanthus: energetický zázrak? Proč máme topit biomasou? *Http://www.nazeleno.cz* [online]. Jana Poncarová, 2009 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/vytapeni-1/miscanthus-energeticky-zazrak-proc-mame-topit-biomasou.aspx>
- [13] STUPAVSKÝ, Vladimír: Nezapomínejme na křídlatku. *Biom.cz* [online]. 2008-07-07 [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nezapominejme-na-kridlatku>. ISSN: 1801-2655.
- [14] Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy: Topol. *Www.biomasa-info.cz* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, c2007-2013 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/topol.pdf>
- [15] Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy: Vrba. *Www.biomasa-info.cz* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, c2007-2013 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/vrba.pdf>
- [16] Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy: Bříza. *Www.biomasa-info.cz* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, c2007-2013 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/briza.pdf>
- [17] Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy: Smrk. *Www.biomasa-info.cz* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, c2007-2013 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/smrk.pdf>
- [18] KRAVKA, Miroslav a kol. *Plantáže dřevin: pro biomasu, vánoční stromky a zalesňování zemědělských půd*. První vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2012. ISBN 978-80-247-3925-0.
- [19] Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy: Borovice. *Www.biomasa-info.cz* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, c2007-2013 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/borovice.pdf>
- [20] TRÁVNÍČEK, Petr, Ivan VITÁZEK, Tomáš VÍTEŽ, Luboš KOTEK a Petr JUNGA. *TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ BIOMASY ZA ÚČELEM ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ* [online]. První. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015 [cit. 2016-05-07]. ISBN 978-80-7509-206-9. Dostupné z: [http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty/files/23/23-technologie\\_zpracovani\\_biomasy\\_za\\_ucelem\\_energetickeho\\_vyuziti\\_travnicek.pdf](http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/23/23-technologie_zpracovani_biomasy_za_ucelem_energetickeho_vyuziti_travnicek.pdf)
- [21] ŠENOVSKÝ, Petr. *ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY* [online]. Brno, 2012 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=52667](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52667). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [22] MELAR, Jaroslav. *Pokrok ve využívání biomasy* [online]. Zlín, 2006 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: [http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/pokrok\\_ve\\_vyuzivani\\_biomasy\\_bp.pdf](http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/pokrok_ve_vyuzivani_biomasy_bp.pdf). Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.

- [23] OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Michal BRANC. *Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy* [online]. První. Ostrava: Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava, 2007 [cit. 2016-05-07]. ISBN 978-80-248-1426-1. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/tech.pdf>
- [24] POHOŘELÝ, Michael, Michal JEREMIÁŠ, Petra KAMENÍKOVÁ, Siarhei SKOBLIA, Karel SVOBODA a Miroslav PUNČOCHÁŘ. ZPLYŇOVÁNÍ BIOMASY. *Chemické listy* [online]. 2012, **2012**(106), 264-274 [cit. 2016-05-07]. ISSN 1213-7103. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2012\\_04\\_264-274.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2012_04_264-274.pdf)
- [25] JÍLKOVÁ, Lenka, Karel CIAHOTNÝ a Radek ČERNÝ. TECHNOLOGIE PRO PYROLÝZU PALIV A ODPADŮ. *Paliva*[online]. 2012, **2012**(4), 74-80 [cit. 2016-05-07]. ISSN 1804-2058. Dostupné z: <http://paliva.vscht.cz/download.php?id=76>
- [26] OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Michal BRANC. Metodická příručka ke studii - Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy. In: [Http://biom.cz](http://biom.cz) [online]. Ostrava: Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava, 2007 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: [http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/metodicka\\_prirucka\\_ke\\_studii\\_techologie\\_pro\\_pripavu\\_a\\_energeticke\\_vyuziti\\_biomasy.pdf](http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/metodicka_prirucka_ke_studii_techologie_pro_pripavu_a_energeticke_vyuziti_biomasy.pdf)
- [27] POSPÍŠIL, Lukáš: Výzkum „suché“ anaerobní fermentace různých druhů biomasy za účelem výroby bioplynu. *Biom.cz* [online]. 2011-10-24 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z : <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyzkum-suche-anaerobni-fermentace-ruznych-druhu-biomasy-za-ucelem-vyroby-bioplynu>. ISSN: 1801-2655.
- [28] MIKULÍK, Marian. ZPŮSOBY ZUŠLECHŤOVÁNÍ BIOMASY: Možnosti lokálního vykurovania a výroby elektrickej energie z biomasy. In: [Http://www.biomasa-info.sk](http://www.biomasa-info.sk) [online]. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2007 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: [http://www.biomasa-info.sk/docs/08mikulik\\_s.pdf](http://www.biomasa-info.sk/docs/08mikulik_s.pdf)
- [29] ŠÍPAL, Jaroslav. *Obnovitelné zdroje energie: Způsoby získávání elektrické a tepelné energie z obnovitelných zdrojů* [online]. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem, Fakulta životního prostředí, 2014 [cit. 2016-05-07]. ISBN 978-80-7414-831-6.
- [30] VERNER, Vladimír, VOLÁKOVÁ, Pavlína: Vytápna na biomasu - technologie VERNER po deseti letech. *Biom.cz* [online]. 2012-03-26 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vytopna-na-biomasu-technologie-verner-po-deseti-letech>. ISSN: 1801-2655.
- [31] [Http://www.sako.cz](http://www.sako.cz) [online]. SAKO BRNO, c2013 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.sako.cz/stranka/cz/62/technologicky-proces/>
- [32] Elektrárna Hodonín. [Https://www.cez.cz](https://www.cez.cz) [online]. ČEZ, c2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/hodonin.html#zakladni\\_info](https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/hodonin.html#zakladni_info)

[33] ZELENÁ ENERGIE. *Http://www.pltep.cz* [online]. Plzeňská teplárenská, c2006 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.pltep.cz/index.php?goto=text&sekce=Ar5bXRIQ&tid=V8TSTGNc&lng=cz>

[34] Elektrárny Poříčí: Teplárna Dvůr Králové. *Https://www.cez.cz* [online]. ČEZ, c2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/porici.html>

[35] *Http://www.tts.cz* [online]. Třebíč: TTS Group [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.tts.cz/cz/energo/>

# Seznam použitých zkratk a symbolů

## Symbols

|               |                                        |                      |
|---------------|----------------------------------------|----------------------|
| $m_{O_2}$     | hmotnostní tok kyslíku                 | $[kg.m^{-2}.s^{-1}]$ |
| $k$           | konstanta chemické reakce              | $[m.s^{-1}]$         |
| $C^{S_{O_2}}$ | koncentrace kyslíku na povrchu částice | $[kg.m^{-3}]$        |

## Seznam obrázků

- Obr. 4.2.1 Rozklad organické hmoty na bioplyn [20]  
Obr. 5.1.1 Schéma roštového kotle 1-hořák, 2-rošt, 3-popelník [23]  
Obr. 5.1.3 Schéma kotle s hořákovým provedením [23]  
Obr. 5.3.1 Schéma fluidního reaktoru [20]  
Obr. 5.3.2 Cirkulující fluidní lože [20]  
Obr. 5.3.2 Schéma rotačního kuželového reaktoru [20]  
Obr. 5.6 Schéma bioplynové stanice na suchou fermentaci [28]  
Obr. 5.7 Zařazení mokré fermentace v okruhu spotřební sítě [28]

## Seznam tabulek

- Tab. 1 Ukázka chemického rozboru některých vzorků paliva [4]  
Tab. 2 Výhody a nevýhody biomasy [2]  
Tab. 3 Hlavní složky plynu dendromasy podle typu zplyňovacího média [20]  
Tab. 4 Závislost pyrolytických reakcí v procesu pyrolýzy na teplotě [20]  
Tab. 5 Přehled důležitých údajů Žlutické výtopny [30]  
Tab. 6 Technické parametry elektrárny Hodonín [32]  
Tab. 7 Technické parametry teplárny Plzeň [33]