

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

TECHNOLOGIE PRO PŘÍPRAVU A SPALOVÁNÍ BIOMASY

BIOMASS PREPARATION AND COMBUSTION TECHNOLOGIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ VENHODA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. TOMÁŠ JUŘENA

BRNO 2010

Anotace

Cílem této bakalářské práce je provést rešerši v oblasti přípravy a spalování biomasy. V 1. části této práce jsou popsány technologie pro přípravu biomasy zahrnující sklizeň a prostředky pro úpravu před spalováním. 2. část se zabývá různými způsoby spalování biomasy a porovnává jednotlivé typy ohnišť.

Klíčová slova

Biomasa, výhřevnost, vlhkost, kotel, příprava paliva, technologie spalování

Annotation

The aim of this work is to provide for background research about preparation and combustion of biomass. Technologies for preparation of biomass including ingathering prior to combustion are described in the first part of this work. Different ways combustion of biomass and comparison of different types of grates are in the second part of the thesis.

Keywords

Biomass, lower heating value, moisture, boiler, preparation of fuel, combustion technology

VENHODA, T. *Technologie pro přípravu a spalování biomasy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 22s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Juřena

Tímto prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Technologie pro přípravu a spalování biomasy vypracoval sám, pouze s využitím pramenů v práci uvedených.

.....

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Tomáši Juřenovi za odbornou pomoc, rady při zpracovávání bakalářské práce a poskytnutí mnoha užitečných literárních zdrojů.

| | |
|--|-----------|
| Obsah | |
| 1. Úvod | 3 |
| 2. Biomasa | 4 |
| 2.1 Druhy biomasy | 4 |
| 2.1.1 Biomasa odpadní | 4 |
| 2.1.2 Biomasa energetických rostlin | 4 |
| 2.2 Vlastnosti biomasy | 4 |
| 3. Příprava a technologie pro energetické využití biomasy | 6 |
| 3.1 Technologie pro sklizeň bylinné biomasy | 6 |
| 3.1.1 Sekačky | 7 |
| 3.1.2 Žací mlátičky | 7 |
| 3.1.3 Řezačky | 7 |
| 3.1.4 Lisy | 8 |
| 3.2 Peletování a briketování | 8 |
| 4. Procesy v technologiích pro přípravu a energetické využití biomasy | 9 |
| 4.1 Sušení | 9 |
| 4.2 Pyrolýza | 11 |
| 4.3 Zplyňování | 13 |
| 4.4 Hoření | 16 |
| 4.5 Anaerobní fermentace | 16 |
| 5. Technologie pro spalování biomasy | 16 |
| 5.1 Typy ohnišť | 17 |
| 5.1.1 Roštová ohniště | 17 |
| 5.1.2 Prášková ohniště | 20 |
| 5.1.3 Fluidní ohniště | 20 |
| 6. Závěr | 21 |
| Seznam symbolů | 22 |
| Reference: | 23 |

1. Úvod

Pro výrobu elektrické a tepelné energie se používají všechny dostupné energetické zdroje. V současnosti se nejvíce používají fosilní paliva [4]. Bohužel jejich spalováním se znečišťuje životní prostředí. Největší problém je uvolňování CO₂ do ovzduší, který přispívá ke skleníkovému efektu. Dále se produkují emise, které se uvolňují do vody a půdy [7].

Spalování biomasy také produkuje CO₂, ale rostliny ho za svého života odebírají ze vzduchu, přičemž CO₂ je při spalování zpětně uvolňován, proto nedochází ke zvyšování skleníkového efektu.

Je nutné se zabývat problematikou produkce emisí, protože čistý vzduch je pro lidi nenahraditelný. Spotřeba energie každým rokem stoupá nejen ve vyspělých, ale i v rozvojových zemích [7]. Proto je důležité se v současné době zabývat rozšiřováním a využíváním obnovitelných zdrojů energie, mezi něž patří i biomasa.

Rozmanitost druhů a forem biomasy je velice pestrá a tomu odpovídá i široká škála technologií pro přípravu a energetické využití.

Cílem této práce je v následujících kapitolách:

- udělat rešerši v oblasti technologií pro přípravu a spalování biomasy,
- formulovat závěry o problémech souvisejících se spalováním biomasy.

2. Biomasa

Biomasa je organická hmota rostlinného nebo živočišného původu, kterou můžeme použít jako palivo pro účely využití jejího energetického obsahu. Může být získávána buď jako odpad ze zemědělské činnosti, průmyslové činnosti, nebo jako komunální odpad, nebo může být výsledkem záměrné činnosti a pěstování v zemědělství a lesnictví [10].

Z energetického hlediska je možno biomasu využít pro výrobu tepla přímým spalováním, pro výrobu kvalitnějších paliv (pelety, brikety, metylestery, bioplyn) a pro výrobu elektrické energie. Při využívání se postupuje buď suchými, nebo mokrymi procesy (rozhoduje hlavně vlhkost biomasy) a dále můžeme procesy rozdělit na fyzikální a chemické. Mezi nejdůležitější procesy patří spalování, anaerobní fermentace, alkoholové kvašení a esterifikace olejů.

2.1 Druhy biomasy

2.1.1 Biomasa odpadní

Jedná se o odpad při lidské činnosti a nezáleží, zda se jedná o průmyslovou, lesnickou, rostlinou či živočišnou činnost. Zdroje odpadní biomasy jsou například rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby (převážně slámy), odpady z živočišné výroby (exkrementy hospodářských zvířat, zbytky krmiv), lesní odpady (kůra, větve apod.), organický podíl tuhých komunálních odpadů (organické odpady, kaly apod.), organické odpady z potravinářských a průmyslových výrob, upravená biomasa smíchaná s jinými hořlavými materiály.

2.1.2 Biomasa energetických rostlin

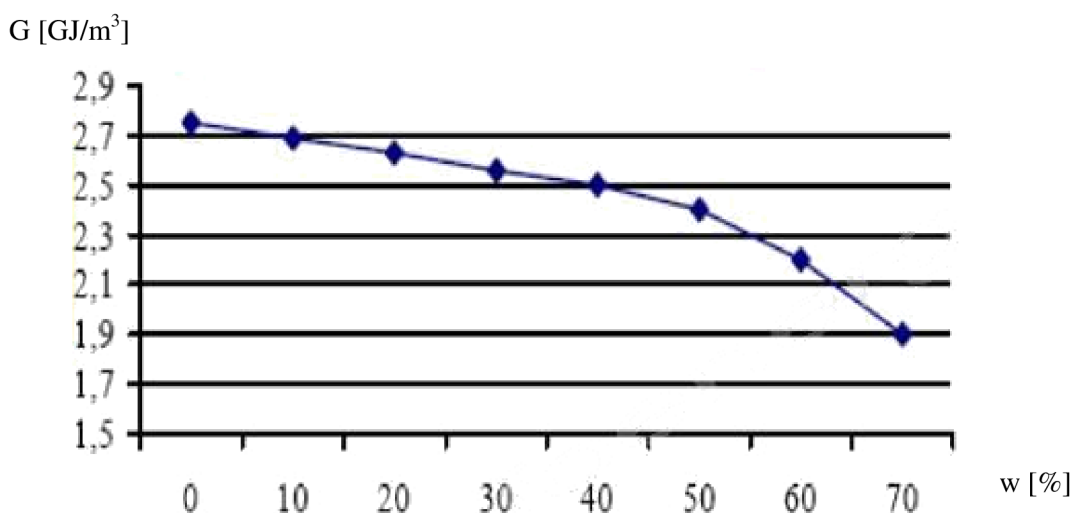
Člení se na dřeviny a nedřevnaté rostliny (byliny). Energetické dřeviny mají schopnost růst velmi rychle, tzv. rychle rostoucí dřeviny. Nejznámějšími rychle rostoucími dřevinami jsou topoly, vrby, osiky a břízy. Rostlin bylinného charakteru je velké množství, jsou jednoleté a víceleté. Jejich největší výhodou je, že se pouze vysévají a dovolují okamžitý přechod půdy na potravinářské využití. Mezi jednoleté se řadí např. laskavec, konopí seté, světlice barvířská, hořčice sardská. Mezi víceleté řadíme např. mužák prorostlý, čičorku pestrou, šťovík krmný, oman pravý.

Často se můžeme setkat s dělením rostlinné biomasy podle formy. Dělí se na balíky (suché stébelniny), brikety (dřeviny, stébelniny), pelety (dřeviny, stébelniny), pakety (dřevo, stébelniny), dřevní palivo (polena, štěpka, piliny, hoblíny, odřezky, dřevní šrot).

2.2 Vlastnosti biomasy

Biomasa má několik vlastností, kterými se odlišuje od běžně užívaných paliv. Jednou z nejdůležitějších vlastností je proměnný a často vysoký obsah vody. Pro účinné energetické využití biomasy je tato vlastnost velmi negativní, neboť vlhkost obsažená v palivu snižuje poměr výhřevnosti a spalného tepla. Spalováním vlhkého paliva se výrazně snižuje účinnost

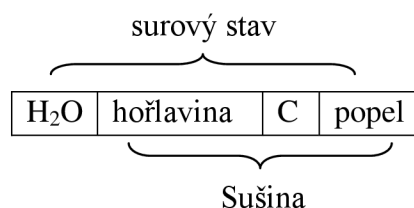
spalovacího zařízení a zkracuje se jeho životnost. Vlivem vlhkosti se zvyšuje množství vzniklých spalin a tím také komínová ztráta. Obsah vody v biomase může značně kolísat (např. obsah vlhkosti v tzv. "čerstvém" palivovém dřevu se pohybuje v rozsahu 25% až 65%) [6]. Z grafu 1 vyplývá, že se zvyšující se vlhkosti velmi intenzivně klesá výhřevnost paliva. Hodnoty výhřevnosti biomasy v porovnání s fosilními palivy jsou uvedeny v tabulce 1. Dalším charakteristickým znakem biomasy je její prvkové složení. Obecně obsahuje hořlavina cca 50%C, 43% O, 6% H. 1% tvoří další prvky jako např. N, S, Cl atd. Biomasa téměř neobsahuje síru, v některých případech však obsahuje chlór, fluor, draslík a těžké kovy. Tyto prvky se v průběhu spalování uvolňují ve formě par, které dále reagují v plynné fázi za vzniku dalších látek, z nichž mnohé mají nepříznivý dopad na životní prostředí (hlavně dioxiny v případě spalování komunálního odpadu) a na správnou funkci některých částí kotle (zanášení a koroze teplotměrných ploch – např. KCl) [11,13].



Graf 1: Výhřevnost dřevní štěpky v závislosti na vlhkost biomasy v surovém stavu [10]

| Druh paliva | Obsah vody v surovém stavu [%] | výhřevnost [MJ/kg] |
|------------------|--------------------------------|--------------------|
| Dřevo | 20 | 14,23 |
| Listnaté dřevo | 15 | 14,60 |
| Jehličnaté dřevo | 15 | 15,58 |
| Dřevní štěpka | 20 | 14,28 |
| Smrková kůra | 15 | 15,47 |
| Sláma obilovin | 10 | 15,49 |
| Koks | - | 27,50 |
| Petrolej | - | 43,97 |
| Nafta motorová | - | 42,60 |
| Benzín | - | 42,70 |
| Zemní plyn | - | 34,05 |

Tabulka 1: Hodnoty obsahu vody a výhřevnosti vybraných paliv [12]



Obrázek 1: Složení paliva

Obsah vody v biomase může být popsán w (množství vlhkosti v surovém stavu) nebo u (množství vlhkosti v sušině). Rozdíl mezi sušinou a surovým stavem materiálu je znázorněn na obrázku 1.

$$w = \frac{X_{H_2O}}{X_{H_2O} + X_{bp}} \cdot 100\% \quad [\text{hm.}\%]$$

$$u = \frac{X_{H_2O}}{X_{bp}} \cdot 100\% \quad [\text{hm.}\%]$$

Vlhkost paliva z biomasy se značně liší v závislosti na druhu materiálu, na době sklizně, formě zpracování a na době skladování. Vlhkost čerstvého dřeva je víc než 50%, zatímco obsah vlhkosti dřevního odpadu je obvykle nižší než 15%.

3. Příprava a technologie pro energetické využití biomasy

3.1 Technologie pro sklizeň bylinné biomasy

Sklizeň a posklizňové zpracování biomasy jsou velice důležité operace. Celková ekonomika výroby biopaliv výrazně závisí na ekonomice sklizně.

Pro sklizeň bylinné biomasy určené pro energetické (termochemické - spalování, pyrolýza) využití, lze použít širokou škálu technologických postupů, které se používají pro sklizeň a úpravu plodin určených pro potravinářské, krmivářské nebo průmyslové účely. Výběr konkrétní technologie vychází z konkrétní energetické rostliny, které se mohou lišit termínem sklizně, požadavků na výstupní surovinu a finanční náročnosti dané technologie. Pro energetické využití je stejně jako pro ostatní účely důležitý správný termín sklizně a co nejrychlejší úprava do skladovatelného stavu.

- Pro jednofázovou sklizeň se využívají sklízecí rezačky a dopravní prostředky. Sklízecí rezačka porost pokosí, nařeže na požadovanou velikost a pomocí metače dopraví do dopravního prostředku. Ten odveze řezanku (produkt rezačky) na místo skladování, sušení nebo využití. Touto sklizní se využívá celá rostlina, takže není možno oddělit určitou část rostliny a použít ji pro jiné účely. Doprava řezanky je ekonomicky přijatelná pouze na krátké vzdálenosti, cca 2 km, nebo ve velkoobjemových soupravách.

- Vícefázová sklizeň se využívá u rostlin, u kterých chceme použít část produktu, např. semena, pro jiné než energetické účely nebo chceme rostlinu transportovat a skladovat v jiné formě – balících. Porost je nejprve posekán a ponechán v řádcích na poli, přičemž mohou být využity různé druhy sekaček a žacích mačkačů, kdy jsou odděleny od rostlin nejčastěji semena. V druhé fázi je rostlina sklizena z pole pomocí řezačky, přičemž následuje stejný postup jako u jednofázového procesu sklizně, pomocí sběracích vozů, dále sběracích lisů, které rostliny slisují do tvaru hranatých nebo válcových balíků, které jsou naloženy na dopravní prostředek a odvezeny na místo skladování.

3.1.1 Sekačky

Nejčastěji se k sekání bylin používají diskové a bubnové sekačky. Princip spočívá v rotaci bubnu nebo disku, který je osazen noži. Nože pohybem postupně odřezávají rostliny a ostatní rotující části odhazují rostliny mimo dráhu bubnů nebo disků. Sekačky bývají zavěšeny za traktorem nebo nesené vepředu.

Nejčastěji se používá dvoububnová nebo čtyřbubnová sekačka.

3.1.2 Žací mlátičky

Žací mlátičky jsou stroje pro sklizeň zrna obilovin, olejnin nebo luštěnin. Přední část je opatřena sklízecím ústrojím, následuje mláticí a separační ústrojí. Po vymlácení se zrno dostává do sekce čištění, která je tvořena vibračními plochami s nastavitelným sklonem, domlacovacím zařízením a ventilátorem.



Obrázek 2: čtyřbubnová sekačka [8]



Obrázek 3: žací mlátička [8]

3.1.3 Řezačky

Pro sklizeň rostlin ve formě řezanky se používají řezačky. Přední část stroje je opatřena adaptérem, který rostlinu usekne a nasměruje do dalších částí zařízení. Podávací ústrojí může být například bubnové na hydraulický pohon.

Délka řezanky bývá 4-80 mm a je plynule měnitelná. Některé stroje mají také válce pro drcení řezanky. Řezanka je následně pomocí metacího zařízení dopravována do dopravního prostředku.



Obrázek 4: sklízecí řezačka [8]



Obrázek 5: adaptér [8]

3.1.4 Lisy

Pro lisování sena, slámy a senáže se používají lisy. Dělí se podle toho, zda tvoří válcové nebo hranaté balíky. Výhodnější jsou z hlediska uskladnění balíky hranaté, ale z důvodu nižší energie na lisování jsou stále častěji využívány lisy na válcové balíky.



Obrázek 6: Sběrací lisy [8]

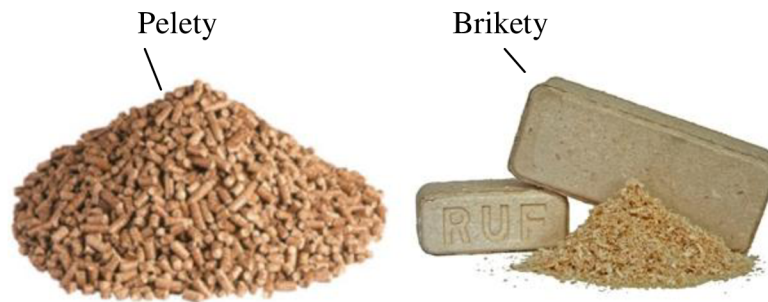
3.2 Peletování a briketování

S využitím materiálu biomasy jako paliva vznikají problémy, které jsou spojeny s velkým objemem, což má za následek vysoké náklady na dopravu a vyžaduje velké úložné prostory. Navíc vysoký obsah vlhkosti může vést k biologickému rozpadu. Tyto problémy lze překonat po vysušení zhušťováním. Tím se zvýší objemová hmotnost (od 80 - 150 kg/m³ pro slámu nebo 200 kg/m³ pro piliny) [13]. To vede ke snížení nákladů na dopravu, skladovacích prostor a snadnější manipulaci. Vlhkost klesne pod 10% a umožňuje dlouhé zachování a menší ztráty výrobku během doby skladování. Hlavní nevýhodou jsou vysoké energetické náklady pro granulování procesu, které vedou ke zvýšení ceny finálního výrobku.

Zhuštěné produkty lze nalézt jako brikety nebo pelety znázorněné na obr. 1. Výhřevnost, vlhkost a chemické vlastnosti jsou pro obojí stejné, ale pevnost a hustota je u pelet vyšší. Brikety jsou naopak mnohem větší a křehčí.

Pelety se vyrábí ze suchého a broušeného dřeva či zemědělských zbytků. Mají válcový tvar o průměru 6 – 12 mm s délkou 25 – 40 mm.

Brikety se také vyrábí ze suchého a broušeného dřeva, surovina však může být více hrubá než pro peletování z důvodu větších rozměrů finálního výrobku. Nachází se buď v kvádrovém tvaru o 150 x 70 x 60 mm nebo válcovém tvaru o průměru 80 – 90 mm [13].



Obrázek 7: Pelety a brikety [13]

4. Procesy v technologiích pro přípravu a energetické využití biomasy

4.1 Sušení

Biomasa se musí vysušit, pokud se nevysuší, spotřebuje při spalování velký podíl spalného tepla a tím se snižuje výhřevnost, což může způsobit nestabilitu spalování. Také při skladování může dojít vlivem nahromadění výparného tepla na jednom místě k samovznícení. Z důvodu eliminace samovznícení, ale i tvorby plísní a hub je opět důležité před skladováním sušení [2].

Hlavní důvody pro sušení jsou [2]:

- Energetický obsah paliva závisí na obsahu vlhkosti v palivu. Účinnost spalovacího systému se zvyšuje s klesající vlhkostí.
- Pro minimální množství emisí a maximální výkon je důležité, aby obsah vlhkosti byl ustálený. Palivo s různým obsahem vlhkosti vyžaduje složitější technologii spalování.
- Při dlouhodobém skladování by měla být vlhkost nižší než 30%, aby nedocházelo k biologickému rozkladu.

Biomasa se suší dvěma způsoby - přirozeně nebo uměle. Přirozené sušení spočívá v ponechání biomasy na místě s dostatečným prouděním vzduchu po dobu potřebnou k dosažení požadované vlhkosti. U umělého sušení se používají různá sušicí zařízení, která horkým vzduchem biomasu vysouší na požadovanou vlhkost. Mají však nevýhodu v energetické náročnosti a to se projeví v nákladech úpravy paliva.

Přirozené sušení – účinný a levný způsob sušení. Například čerstvé dřevo se nechá sušit v létě venku na slunci. Tímto způsobem se může obsah vody snížit z 50 až na 30%. Sušení řezané slámy ponechané několik dní na poli také vede efektivně ke snížení vlhkosti. Nevýhodou přirozeného sušení je nepředvídatelné počasí a dlouhá doba skladování.

Když je čerstvá kůra nebo dřevní štěpka uložena na slunci, teplota se v nahromaděné biomase zvýší kvůli rozkladu biologických účinků. Vzduch cirkuluje přes biomasu a vodní pára se přesunuje na její povrch. Proto je palivo v centru hromady sušší, zatímco část par kondenzuje v horních a chladnějších částech.

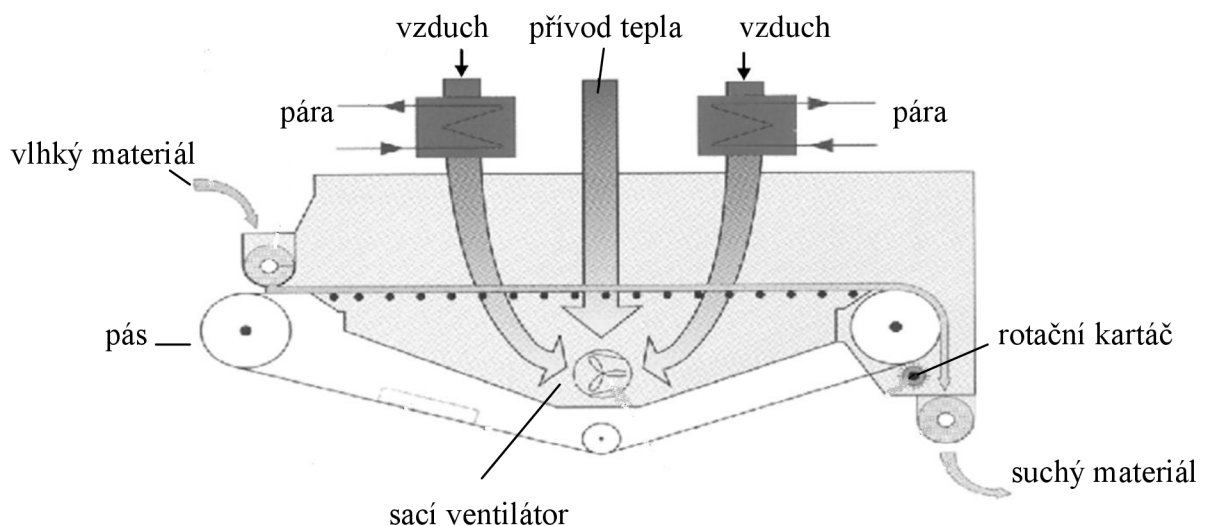
Při sušení sypkého materiálu v uzavřených prostorách lze podpořit ventilaci předehřátým vzduchem. Ve většině případů je sušení paliva z biomasy ekonomický účinné, pokud jsou k dispozici levné zdroje tepla.

Umělé sušení – je nutné při úpravě pilin pro výrobu pelet nebo briket. K dispozici jsou technologie jako pásové sušičky, bubnové sušičky nebo sušičky trubkové. Ty mohou být vytápěny přímo z procesu spalování nebo nepřímo horkou vodou, párou nebo tepelnými oleji. Bubnové sušičky fungují při vyšších teplotách (až 600°C) a jsou vytápěny přímo. Nevýhodou je, že při sušení uvolňují částice dřeva.

Trubkové sušičky jsou vytápěny nepřímo, což znamená, že nedochází k přímému kontaktu topného média s materiálem sušení. To zajišťuje jemný způsob sušení při teplotách 90°C.

Pásové sušičky (viz obr. 8) fungují s teplotami plynu na vstupu 90-100°C a výstupními teplotami plynu na 60-70°C, v závislosti na použité technologii [2].

Obvykle jsou pásy sušičky vytápěny nepřímo pomocí vzduchu jako topného média. Vzduch je ohříván parou, horkou vodou nebo odpadním teplem z kondenzačních jednotek.



Obrázek 8: pásová sušička [2]

4.2 Pyrolýza

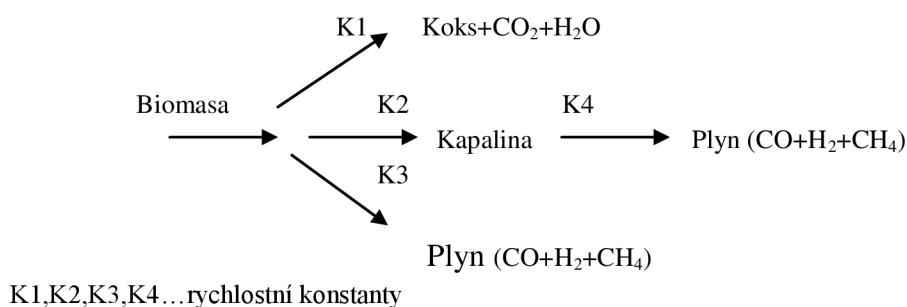
Pyrolýza může být definována jako termický rozklad v nepřítomnosti externě dodávaných činidel jako je vzduch, kyslík, vodní pára, oxid uhličitý. Nejčastěji probíhá při vysokých teplotách mezi 150-900°C a tlaku nižším než barometrický [8]. V průběhu pyrolýzy se štěpí chemické vazby výchozích látek a vznikají nové produkty jak je znázorněno na obrázku 9. Těmi jsou hlavně dehet, pyrolýzní olej a nízkomolekulární plyny. Nejpoužívanějším biomateriálem pro pyrolýzu je dřevo v různých formách nebo obiloviny.

Podle teploty se rozlišuje nízkoteplotní (pod 500°C), středněteplotní (500-800°C) a vysokoteplotní pyrolýza (nad 800°C).

Pyrolýzu lze využít pro výrobu tepla, elektřiny, metanolu nebo amoniaku. Tekuté dehty nebo bio-olej lze upravit na uhlovodíkové kapalné palivo pro spalovací motory nebo použít přímo pro výrobu elektřiny a vytápění.

Problematikou tepelného štěpení je způsob přívodu tepla[8]:

- Přímý ohřev látek z topných plynů nebo olejů horkými spalinami uváděnými do reakčního prostoru
- Přímý ohřev teplem, které vzniká spalováním koksu v reaktoru, přidávaného ke štěpené surovině. (přímý ohřev se používá u anorganických surovin, organické látky by shořely).
- Ohřev teplem získaným spálením částí štěpené suroviny přímo v reaktoru, kam se přidává určité množství kyslíku. Využití u tzv. oxidačních pyrolýz uhlovodíků (např. výroba acetylenu).
- Nepřímý ohřev spalnými plyny. Ve spalovacích komorách dochází ke spalování plyných nebo kapalných paliv.



Obrázek 9: mechanismus pyrolýzy [8]

Řízením hlavních reakčních parametrů (teplota, rychlost, zahřívání a obsah vlhkosti) lze ovlivňovat oblast získaných produktů. Z hlediska těchto parametrů pyrolýzu dělíme na pomalou a rychlou.

Pomalá pyrolýza: tzv. karbonizace, využívá se hlavně pro výrobu dřevěného uhlí. Dřevo se zuhelňuje při teplotě okolo 400°C. Pomalou rychlostí zahřívání a dlouhou dobou vypařování poskytuje přibližně vyrovnaný podíl tuhých, kapalných a plynných produktů. Vzhledem k hmotnosti zcela suchého, výchozího dřeva, získáme asi 35% dřevěného uhlí.

Typické chemické složení tuhého zbytku je 80-85% tuhého uhlíku, 15-20% prchavých látek a 0-2% popela. Obsah prchavých látek závisí na pyrolýzních parametrech a obsah popela závisí na obsahu popelovin v biomase.

Jako tuhé palivo je dřevěné uhlí používáno po celém světě pro použití v domácnosti nebo pro výrobu železa. Celková roční světová produkce se pohybuje nad 10 milionů tun.

Plyny představují 25-30% obsahu energie biomasy při pomalé pyrolýze. Hlavní složky jsou CO, CO₂, CH₄, a H₂, které tvoří až 95%. Zbytek do 100% je tvořen N₂. Čím je vyšší teplota pyrolýzy, tím je v produkovaném plynu větší procento vodíku. Výroba vodíku z biomasy se jeví jako velice perspektivní do budoucna [8], protože je ekologickým palivem pro vodíkové technologie, jehož výroba je ale v současnosti velice energeticky náročná.

Dřevěné uhlí nazývané také aktivní uhlí se používá jako palivo a má lepší výhřevnost než dřevo. Gram může mít plochu přesahující 500m². Dřevěné uhlí má vysokou pórovitost, která poskytuje vynikající podmínky pro adsorpci a tím poskytuje lepší hoření.

Existují 2 základní technologie pro výrobu kvalitních výrobků:

- Pálení dřevěného uhlí v karbonizačních pecích (ocelové nebo hliněné konstrukce viz obr. 10). Teplo se dodává zevnitř spalováním části dřeva. Karbonizační pec je celokovová nádoba uložená v křížovém nosníku a je opatřena soustavou komínů. Mezi nimi jsou uloženy dvě spalovací komory a mezi komorami je kondenzátor. Každá spalovací komora je opatřena plynovou stanicí s přívodem sekundárního vzduchu.



Obrázek 10: karbonizační pec [8]

- Při pálení dřevěného uhlí je v retortách teplo přiváděno zvenčí přes stěny pláště spalováním odpadního paliva. Palivo je dopravováno do horní části retorty. Z horní části je odebírán pyrolýzní plyn, který se poté spaluje, přičemž se teplo spalin předává přes stěny do retorty. Jelikož nedochází ke spalování dřeva, je větší výtěžnost dřevěného uhlí až 5-ti násobná.

Rychlá pyrolýza: tzv. zkapalňování, probíhá při atmosférickém tlaku a při teplotách v reaktoru 450 – 600°C s dobou setrvání biomasy v reaktoru 2 sekund poskytuje kapalně produkty, které jsou snadno transportovatelné. Při teplotách nad 800°C, velmi vysokou rychlostí zahřívání a krátké vypařovací době poskytuje vyšší produkci plynů. Produktem jsou aerosoly a páry.

Z celkových produktů je možno získat 75%_{hm} kapalného biopaliva, 13%_{hm} hořlavého plynu a 12%_{hm} tuhé biomasy [8].

Rychlá pyrolýza probíhá v reaktoru, který je zároveň koncipován jako cyklónový odlučovač. Do cyklónu se přivádí plyn, který unáší částice biomasy i inertního materiálu (písek). Jeho prostřednictvím je biomase předávána tepelná energie potřebná pro rychlé odplynění. Uvolněné plyny proudí přes rotační odlučovač do chladiče, ve kterém dojde k zchlazení plynu a vysrážení biooleje.

Kapalné produkty (tzv. pyrolýzní oleje) jsou kontaminovány různým množstvím tuhých látek a také vodou, která udržuje bio-olej v tekuté formě.

Při skladování a stárnutí se nejtěžší částí směsi pozvolna usazují na dně, přičemž tvoří hustý kal. Kontaktem se vzduchem zapříčiňuje rozklad bionafty, pro vyhnutí se polymeraci je nutný minimální kontakt s kyslíkem. Nicméně bionafta nemůže být skladována ve vzduchotěsné nádobě z důvodu uvolňování plynů a tedy případného růstu tlaku.

Plyny představují 5% obsahu energie biomasy při rychlé pyrolýze. Pro výrobu plyných produktů se pyrolýzy téměř nepoužívá, výhodnější je použít zplyňování.

4.3 Zplyňování

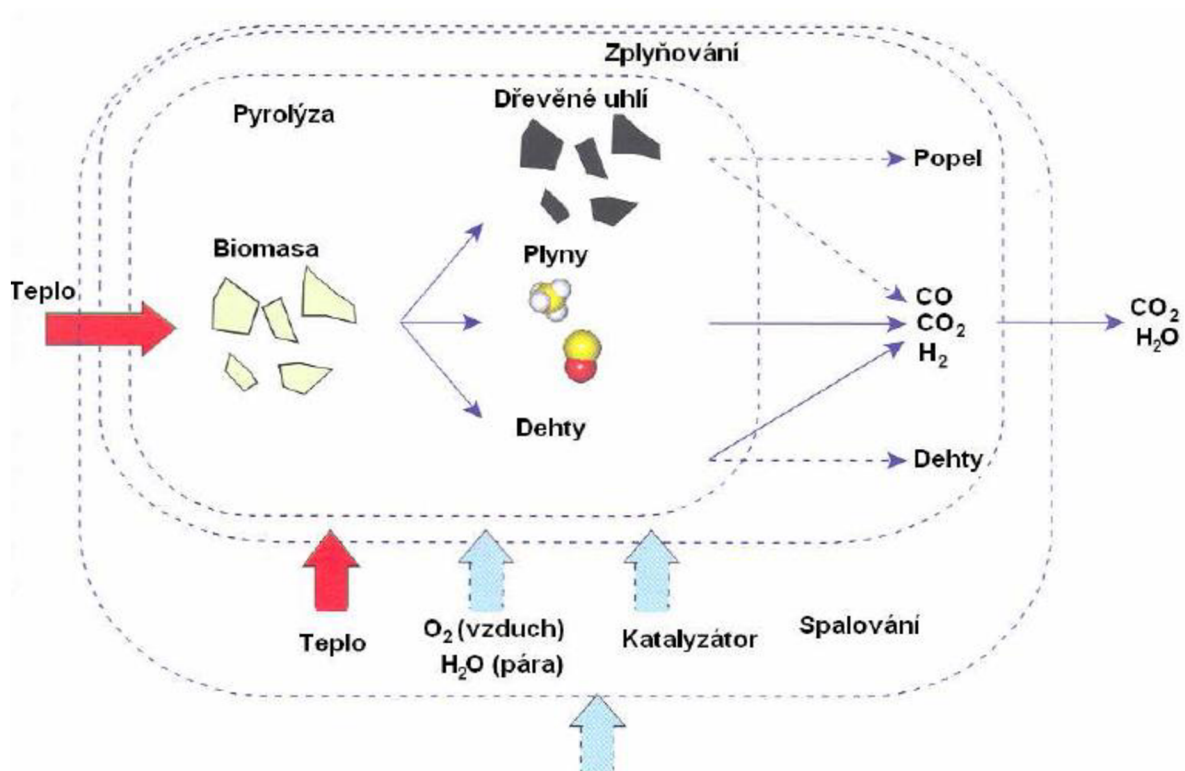
Účelem zplyňování je výroba generátorového plynu. Je optimalizováno s ohledem na maximální výnos plynu. Plyn obsahuje především CO, CO₂, H₂O, H₂, CH₄ a další uhlovodíky [2].

Při zplyňování dochází nejprve k sušení, pak k uvolnění prchavé hořlaviny (pyrolýze), oxidaci tuhé fáze a nakonec k redukci v redukční zóně.

Nejlepší materiál pro zplyňování jsou piliny a štěpka, u kotlů s malými výkony je vhodnější použít kusové palivo. Vzniklý plyn se použije na výrobu elektřiny nebo pro vytápění.

Princip: Je znázorněn na obrázku 11. Nejprve proběhne tepelný rozklad biomasy na plyn a kondenzující páry (pyrolýza). Následně dochází k tepelnému štěpení par na plyn a dřevěné uhlí. Dřevěné uhlí se zplyňuje parou nebo oxidem uhličitým. Při teplotě nad 500°C je vyprodukováno 75 až 90% prchavé hořlaviny, která je složena z vodní páry, plynů a kondenzujících uhlovodíků.

Konečný plyn obsahuje žádané složky, jako jsou oxid uhelnatý, vodík a metan. Dále obsahuje vodní páru, oxid uhličitý a dusík.



Obrázek 11: Schéma zplyňování [8]

Vlastnosti biomasy ovlivňující zplyňování:

- Vlhkost – dává se přednost suché biomase, která produkuje kvalitnější plyn.
- Obsah popela a jeho složení – minerální nebo anorganické látky v biomase, které zůstanou po dokonalém spálení.
- Prvkové složení – je důležité z hlediska výhřevnosti a úrovně emisí.
- Výhřevnost – je ovlivněna hlavně obsahem vody, chemickým složením a obsahem popela. U většiny typů biomasy se pohybuje okolo 19 MJ/kg.
- Synná hmotnost a zrnitost – jedná se o hustotu materiálu, která se u různých druhů biomasy liší. Ta s malou hustotou je náročná na manipulaci.
- Podíl prchavých látek a znečišťující látky – prchavé látky mají vliv na tvorbu dehtů.

Zplyňovače - mohou být rozděleny podle několika hledisek:

Podle zplyňovacího média

- Vzduchové
- Kyslíkové
- Parní

Podle zdroje tepla pro zplyňování

- Přímý zplyňovač (teplo dodáváno spalováním biomasy)
- Nepřímý zplyňovač (teplo dodáváno z externího zdroje)

Podle tlaku ve zplyňovači

- Atmosférické
- Tlakové

Podle konstrukce reaktoru

- S pevným ložem
- S fluidním ložem
- S unášivým proudem
- Se zdvojeným ložem

Lože je zásobárnou vody, která zásobuje mikroorganismy látkami nezbytnými pro jejich činnost, které nejsou obsaženy v přiváděné vzdušnině. Slouží k vyrovnávání kolísání koncentrace polutantů přiváděných do biofiltru, ke snížení kolísání teploty, vlhkosti a musí udržovat téměř konstantní pH.

Zplyňovače s pevným ložem – Teplo potřebné pro zplyňovací procesy může být dodáváno přímo částečnou oxidací paliva nebo nepřímým přenosem tepla. Typy reaktorů s pevným ložem jsou charakterizovány směrem proudění plynu. (vzestupné proudění, klesající proudění) nebo směrem toku pevných částic vzhledem k směru proudu plynu (soproudé, protiproudé, s křížovým prouděním).

Zplyňovače s pevným ložem se potýkají s několika technickými a provozními problémy. Doposud neexistuje zplyňovač, který by vyráběl plyn bez tvorby dehtů. Pro snížení úrovně dehtů se doporučuje navrhnout reaktor dle vlastností používané biomasy [8].

Pokud dojde k průniku hořlavého plynu do zásobníku paliva, může dojít k explozi. Je proto nutné před spuštěním dokonale odvětrat plyny zbylé z předchozího provozu.

Zplyňovače s fluidním ložem - při fluidizaci se pevné částice chovají jako kapalina v důsledku kontaktu s plynem. Pokud budeme dnem reaktoru zvyšovat přívod plynu, bude narůstat tlaková ztráta vrstvy a dojde k překonání gravitačních sil vrstvy a vrstva se dostane do fluidizace. Ve vrstvě shoří asi 25% paliva, zbytek se zplyní, přičemž v důsledku velkých přenosů tepla a hmoty ve vrstvě dochází k sušení, pyrolýze, oxidaci a redukci. Teplota vrstvy je téměř konstantní a udržuje se mezi 700 – 900°C.

Výhodou těchto zplyňovačů jsou malé teplotní rozdíly bez horkých míst a schopnost spalovat velice rozdílná paliva bez zásahu do zařízení. Nevýhodou je vysoký podíl dehtů v plynu a nedokonalé vyhoření paliva.

Zplyňovače s unášivým proudem – jsou používány pro uhlí, protože mohou být provozovány na uhelný kal v přímém zplyňovacím režimu. U těchto zplyňovačů je jemné palivo do kapičky oleje přiváděno do reaktoru spolu s kyslíkem nebo parou. Hlavní výhodou je v dopravě paliva v kašovitě formě, ale není uplatnitelná pro biomasu, protože je pórovitá a má velkou jímavost vody.

4.4 Hoření

Hoření může být v ideálním případě definováno jako úplná oxidace paliva [2]. Jedná se o exotermické chemické reakce, při kterých se uvolňuje maximální množství tepla dokonalým spalováním hořlavých složek paliva. Pro jeho průběh je zapotřebí přítomnost hořlaviny (dřevo, benzín, zemní plyn), oxidačního prostředí (kyslík) a zdroje iniciace (plamen, jiskra). Horké plyny ze spalování mohou být použity pro přímé vytápění v malých spalovacích jednotkách pro ohřev vody v kotli.

4.5 Anaerobní fermentace

Jedná se o nově se rozvíjející a perspektivní technologii. Dochází při ní k biologickému rozkladu organických materiálů mikroorganismy za vzniku bioplynu. Rozklad způsobují organismy, které dělíme podle teploty na termofilní (asi 55 °C), mezofilní (35 – 40°C) a psychrofilní (15 – 20 °C). Zbytek po fermentaci je kvalitním hnojivem [8].

Při kompostování aerobní mikroorganismy rozkládají organickou látku díky přístupu vzduchu na anorganické látky. Výsledkem rozkladu je humus, který se používá jako hnojivo. Záměrně se vytváří kompostováním, proto se nazývá také kompost. Tento proces běžně probíhá v přírodě.

5. Technologie pro spalování biomasy

Jedním z možných způsobů energetického využití biomasy je přímé spalování. Jedná se o proces, při němž palivo postupně prochází fázemi sušení, pyrolýzy/zplyňování a hoření, které byly popsány v předchozí kapitole. Sušení a pyrolýza/zplyňování budou vždy prvními fázemi procesu spalování tuhých paliv.

Při spalování biomasy mohou mít suroviny vyšší vlhkost. Podle charakteru a složení biomasy je nutno věnovat pozornost podmínkám pro spalování a čištění výstupních spalin, u kterých se kontrolují emise CO, NO a dalších plynných a tuhých látek. Pro spalování biomasy se používají tři typy kotlů. Jedná se o kotle roštové (s pevným či mechanickým roštem), fluidní a práškové. Roštové a fluidní kotle mají dobrou přizpůsobivost paliva a mohou být plněny buď výhradně biomasou, nebo kombinací biomasy a uhlí.

Spalovací zařízení parních a horkovodních kotlů se skládá z ohniště s hořáky a z pomocných zařízení. Pomocná zařízení např. připravují palivo ke spalování, odstraňují tuhé zbytky po spalování atd. Výkon kotle s mechanickým roštovým ohništěm bývá od 0,25MW_t po cca 150MW_t, s práškovým ohništěm od 40 MW_t až po nejvyšší výkony a fluidní kotle obvykle do 40MW_t. Jednotlivé typy ohnišť budou v následujícím textu podrobněji popsány.

5.1 Typy ohnišť

5.1.1 Roštová ohniště

Slouží ke spalování kusových tuhých paliv v klidné vrstvě tzv. filtračním způsobem. Byl to první systém používaný pro spalování tuhých paliv, nyní se používá pro spalování biomasy. Rychlost uvolňování tepla může být až 4MW/m^2 v důsledku nízkého množství popela, což je typické pro palivo z biomasy.

Základní části jsou spalovací prostor, rošt s palivovou násypkou, palivovým hradítkem, škvárovým jízkem, škvárovými výsypkami a zařízení pro přívod a regulaci spalovacího vzduchu. Rošt je ve spodní části spalovací komory vytápěný a má dvě základní funkce. Podélnou přepravu pohonných hmot a dodávání primárního vzduchu vstupujícího zespod roštu. Spalované palivo prochází na roštu postupně sušením, odplyňováním prchavé hořlaviny, zapálením, hořením a dohoříváním. Životnost roštů se prodlužuje jejich chlazením. Mezery mezi roštnicemi jsou malé, protože postačí malé množství vstupujícího vzduchu. Tyto rošty se často používají pro spalování odpadů.

U kotlů s malým výkonem se používá pevný nehybný rošt a zbytky po spálení přes něj propadají do popelníku.

Kotle větších výkonů jsou vybaveny mechanicky pohyblivými rošty. Na rošt se palivo dopravuje pomocí šnekových dopravníků.

Funkce roštu při spalování lze tedy shrnout následovně:

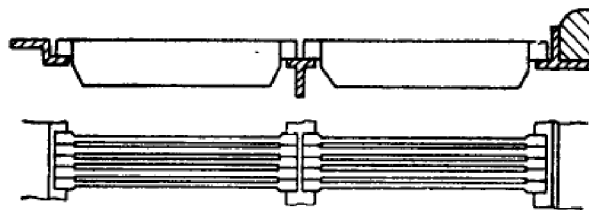
- Vytvářet a udržovat vrstvu požadované tloušťky a prodyšnosti
- Zajišťovat přívod spalovacího vzduchu do jednotlivých míst plochy
- Umožňovat postupné vysoušení, zahřátí na zápalnou teplotu, hoření a dokonalé vyhoření paliva
- Zajišťovat odvod tuhých zbytků po spalování
- Regulovat tepelný výkon podle výkonnosti kotle

Základní část roštu je roštnice. Plní funkci nosníků, na kterých je uložena vrstva paliva. Za studena je jejich namáhání malé, ale při provozu dochází k opalu a snížení pevnosti materiálu. Teplota roštnic je dána především teplotami paliva, které závisí na jeho vlastnostech, výšce a slehnutí palivové vrstvy, na přebytku vzduchu a jeho teplotě. Nejvyšší teploty nejsou na povrchu spalované vrstvy, ale pod povrchem zhruba ve čtvrtině tloušťky vrstvy. Čím je spalovaná vrstva nižší, tím víc v ní klesá rozdíl teplot. Aby teplota materiálu roštnice nadměrně nestoupla, musí být teplo z roštnice odváděno. K tomu se využívají zásady o tvaru roštnice, nejlépe se osvědčují jednoduché tvary bez náhlých změn průřezu. Pouze příliš tenké roštnice nejsou výhodné, z důvodu malých akumulčních schopností a malého průřezu k odvádění tepla.

V technických aplikacích se můžeme setkat s těmito typy roštů: pevný rošt, posuvný rošt, rotační rošty a vibrační rošty. Všechny tyto technologie mají specifické výhody a nevýhody v závislosti na vlastnostech paliva, proto je nezbytný pečlivý výběr a plánování.

Rošty v pecích jsou vhodné pro paliva z biomasy s vysokým obsahem vlhkosti a různými velikostmi částic. V současných technologiích se obvykle nepoužívají směsi paliva ze dřeva a slámy či trávy a obilovin, vzhledem k jejich nízké vlhkosti a nízkému obsahu popela. Pouze speciální konstrukce roštu jsou schopny vyrovnat se s dřevinami a travní směsí paliva z biomasy, např. vibrační rošty, nebo rotační rošty.

Pevný rovinný rošt – se skládá z litinových desek s otvory pro vzduch nebo z řad vedle sebe a za sebou umístěných roštnic ve tvaru štíhlých nosníků, jak je znázorněno na obrázku 12. Roštnice jsou vystaveny mechanickému a tepelnému namáhání a musí být proto dostatečně tuhé. Mezery mezi nimi jsou úzké, aby palivo nepropadlo, ale přitom dostatečně velké na přívod vzduchu. Jedná se o starý typ roštu, který se používal u parních lokomotiv [9]. Dnes se u nových kotlů téměř nepoužívá. Výjimkou je spalovací systém, kde slouží jako dohořivací pásma k chlazení popele.



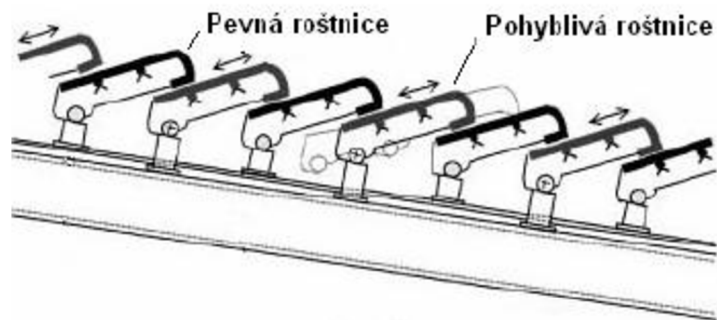
Obrázek 12: roštnice pevného rovinného roštu [1]

Pohyblivé rošty se skládají z tyčí, které tvoří běžící pás a pohybující se přes spalovací komoru. Palivo je dodáváno z jednoho konce spalovací komory např. pomocí šnekových dopravníků. Na konci spalovací komory je rošt očištěn od popela a špíny, zatímco pás se otočí a tím se automaticky odstraní popel. Rychlost pohybu roštu je plynule nastavitelná, aby bylo dosaženo úplného vyhoření dřevěného uhlí.

Výhodou pohyblivých roštů jsou jednotné podmínky pro spalování štěpky a pelet a nízké emise prachu, díky stabilnímu uložení uhlíků. Také údržba nebo výměna roštu je nenáročná.

Řetězový rošt je typem pohyblivého roštu. Je tvořen dvojicí Gallových řetězů, mezi kterými jsou tyče, v nichž jsou vyskládány roštnice. Řetězy pojíždějí po kladičkách na kolejničkách, které jsou na bočnicích roštu. Palivo postupuje rovnoměrně, ale špatně prodyšné pro spalovací vzduch. Rošty jsou proto vhodné zejména pro granulované a tříděné palivo [9].

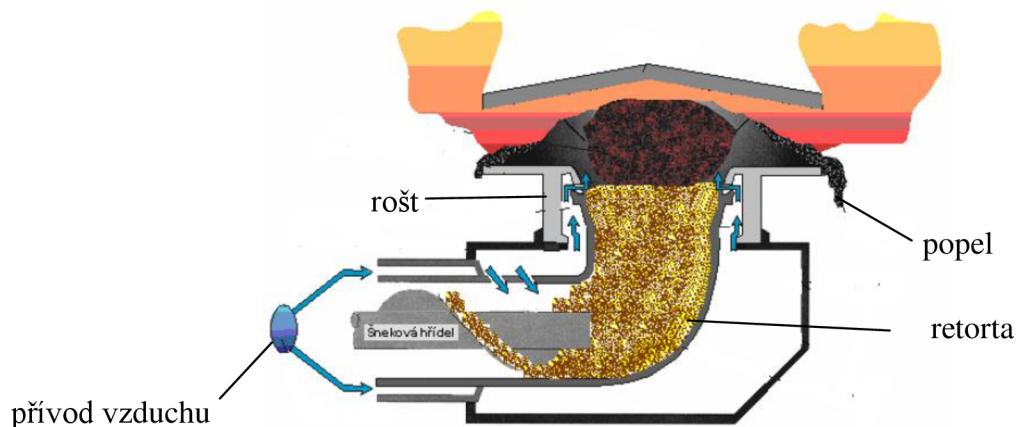
Posuvný rošt - kotle s posuvným roštem představují odlišnou technologii než předchozí typy. Řídicí elektronika, hořák, zásobník paliva a dopravník jsou součástí kotle. Palivo je nabíráno ze zásobníku šnekovým podavačem a je dopravováno do otvoru v zadní části spalovací komory. Odtud padá na dno posuvného roštu znázorněného na obrázku 13. Rošt je vyroben z plochých, v horní části ozubených lamel. Ty se přes pákový mechanismus vysouvají nahoru a současně vpřed. Tím se palivo přesouvá ze zadní do přední části spalovací komory. Na konci komory popel přepadne z roštu do popelníku [14].



Obrázek 13: Posuvný rošt [8]

Kotle se spodním přívodem paliva - u kotlů s nižšími výkony ($10-20\text{kW}_t$) se používá spalování se spodním přívodem paliva a je velice rozšířené. Je to speciální typ roštového kotle a palivo se u nich přivádí pod hořící vrstvu, jak je znázorněno na obrázku 14. Reflexní těleso odráží tepelné záření hořící vrstvy a plamene zpět do ohniště, a pomáhá tak při zapalování a stabilizaci hoření.

Palivo je dopravováno šnekovým dopravníkem a pomocí litinového kolena (retorty) je směr pohybu paliva převeden do vertikálního směru. Na ně navazuje rošt a mezera mezi retortou a roštem dává prostor pro proudění spalovacího vzduchu. V retortě se palivo zahřívá a vysušuje, nad touto oblastí dochází k uvolňování prchavé hořlaviny, která hoří výše. Fixní uhlík dohořívá na roštu. Dohořívající palivo a následující popel je novým palivem vytlačován na okraj roštu, kde přepadává do popelníku.



Obrázek 14: Schéma ohniště kolte se spodním přívodem paliva [8]

5.1.2 Prášková ohniště

Práškové ohniště není co do výkonu omezeno, spaluje paliva s obsahem popela vyšším než 55% a s vyšší účinností než ohniště roštová.

Jelikož nehrozí nebezpečí spálení roštnic, je možno ohřívat u práškových ohnišť spalovací vzduch na podstatně vyšší teplotu (běžně 300 - 400°C), což umožní spalovat dokonaleji i paliva, která by se na roštu spalovat nedala. Při mletí je možné palivo sušit, čímž se zvýší výhřevnost.

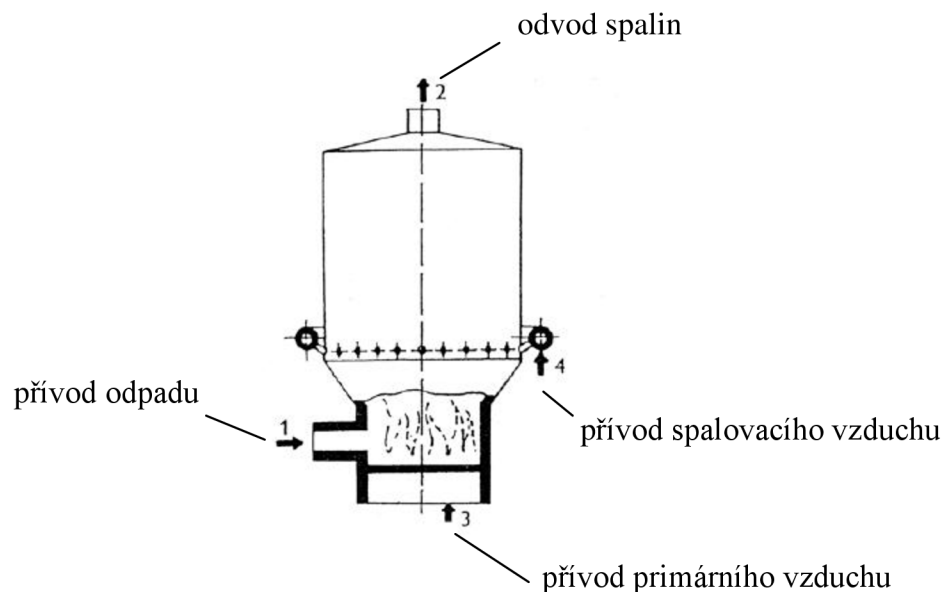
Zatímco roštová ohniště dovolují stavět kotle s maximální jmenovitou výkonností $M_{pj} = 80 - 100$ t/h, nebylo u práškových kotlů jmenovité výkonnosti dosaženo. Největší dnes postavený práškový kotel pro blok 1300 MW na černé uhlí má $M_{pj} = 4200$ t/h [9].

Příprava paliva ke spalování na práškovém ohništi, tj. mletí a sušení, je nákladnější než u roštových ohnišť. Kromě toho z uhelného prášku vzniká jemný popílek, který je snadno unášen spalinami z ohniště a tím zanáší výhřevné plochy a znečišťuje po výstupu z komína biosféru. Proto je nutné vybavit práškové kotle odlučovači popílku.

5.1.3 Fluidní ohniště

Ve fluidním ohništi se spaluje drcené palivo v kypící vrstvě, částice paliva a popílku jsou nadnášeny proudem vzduchu a spalin, které proudí svisle vzhůru. Aby mohla nastat rovnováha tíhy a aerodynamického odporu pro částice různé velikosti, snižuje se postupně rychlost spalin zvětšováním průtočného průřezu ohniště, které má nálevkovitý tvar. Palivo se rozvrství podle velikosti do různých výšek, větší částice se spalují ve spodní zúžené části, menší zrna v rozšířené části ohniště.

Na trubkách výhřevných ploch nevznikají nánosy, lze spalovat méně hodnotná paliva, dává-li se do fluidní vrstvy vápenec, omezí se tvorba oxidů síry [1].



Obrázek 15: Fluidní pec na spalování odpadů [1]

6. Závěr

Při energetickém využití biomasy je spalování ekologické a omezuje vznik skleníkového efektu. Z ekonomického i ekologického hlediska je však výhodné spalovat pouze biomasu z blízkého okolí spalovny, protože dopravní prostředky při svozu spalují naftu. Z důvodu velkého objemu biomasy a náročnosti na dopravu se zhušťuje na pelety nebo brikety. Výhřevnost je však v porovnání s fosilními palivy menší. V přírodních podmínkách se vyskytuje biomasa zbytková a cíleně pěstovaná.

Před spalováním musí být biomasa upravena. Po sklizení se nejprve provede přirozené nebo umělé sušení a rozměrové úpravy. Takto upravená biomasa jako palivo se může dále využít různými způsoby. Pyrolýzou získáváme pyrolýzní oleje, zplyňováním generátorový plyn. Tím se však zvýší náklady na energii. Nejčastěji se však energie akumulovaná v biomase využívá přímým spalováním k vytvoření tepelné energie.

Pro spalování biomasy se využívají nejčastěji roštové kotle a jejich výkony dosahují řádově desítek MW_t. Biomasa se spaluje většinou na šikmém přesuvném roštu, který zaručuje promíchávání paliva a zamezuje případnému spékání povrchu. Kotel se spodním přívodem paliva je speciální typ roštového kotle s menšími výkony, než je tomu u ostatních typů roštových kotlů, jedná se řádově o desítky kW_t.

U fluidních kotlů spalování probíhá ve vznosu, palivo je udržováno ve fluidním stavu prouděním vzduchu a hmota částic se chová jako kapalina.

Využívání biomasy jako paliva je jedna z možností, jak snížit produkci oxidů síry do ovzduší. Je však nutné počítat s častější údržbou kotlů. Při spalování biomasy se tvoří popel, který se hromadí ve spodní části kotle a pouze malé množství popela odchází komínem. Biomasa energetických rostlin má velkou spékavost a může způsobovat tvorbu strusky okolo pohyblivých částí kotle, což může vést až k jeho poškození.

Seznam symbolů

| | | |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| CH ₄ | methan | [-] |
| CH ₃ OH | methanol | [-] |
| Cl | chlór | [-] |
| CO | oxid uhelnatý | [-] |
| CO ₂ | oxid uhličitý | [-] |
| G | výhřevnost | [MJ/kg] |
| H ₂ | vodík | [-] |
| H ₂ O | voda | [-] |
| M _{pj} | jmenovitá výkonnost | [t/h] |
| N | dusík | [-] |
| N ₂ | dusík | [-] |
| O ₂ | kyslík | [-] |
| P | výkon | [MW _t] |
| SO ₃ | oxid sírový | [-] |
| S | měrný povrch | [m ² kg ⁻¹] |
| S | síra | [-] |
| u | vlhkost v sušině | [hm.%] |
| w | vlhkost v surovém stavu | [hm.%] |
| X _{bp} | množství biopaliva | [-] |
| X _{H₂O} | množství vody | [-] |

Reference:

- 1) Černý V., Janeba B., Teyssler J., *Parní kotle*, Praha 1983
- 2) Van Loo S., Koppejan J., *Handbook of biomass combustion and co-firing*, 2.vydání, Earthscan, London 2008
ISBN 978-1-84407-249-1
- 3) Yin,C., Rosendahl, L.A., Kaer, S.K. *Grate-firing of biomass for heat and power production*, Progress in Energy and Combustion Science 34 (2008), s.725-754.
- 4) Jandačka J., Mikulík M., *Ekologické aspekty spalování biomasy a fosilních palív*, [online].© 2008 [cit.2010-03-21]
Dostupný z WWW: <<http://www.biomasa-info.cz>>
- 5) Kepák F., *Energetika a životní prostředí*, [cit.2010-03-21]
Dostupný z WWW: < <http://fzp.ujep.cz> >
- 6) Lukáš Pravda, *Biomasa jako obnovitelný zdroj energie*, energie z biomasy III - seminář, s.127-132, [online].© 2004 [cit.2010-04-11]
Dostupný z WWW: < <http://oei.fme.vutbr.cz>>
- 7) Ochodek T., Kolonicny J., Janasek P., *Potencial biomasy, druhy, balance a vlastnosti paliv z biomasy*, .© 2006 [cit.2010-03-21]
- 8) Ochodek T., Kolonicny J., Branc M., *Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy*, [online].© 2007 [cit.2010-03-21]
Dostupný z WWW: < <http://www.biomasa-info.cz>>
- 9) Ševelová K., Stárek K., Berka I., HEROSCH J., Salvat P., *Parní kotle (návod do cvičení)*, Ostrava 2007, [online].© 2007 [cit.2010-03-21]
Dostupný z WWW: <<http://www.fs.vsb.cz>>
- 10) [online], dostupné z:
<http://www.infoenergie.cz/web/root/energy.php?nav01=121&nav02=624>
- 11) [online], dostupné z:
<http://www.biomasa-info.cz/cs/biovladnosti.htm>
- 12) [online], dostupné z:
<http://ekobioenergo.cz/eko-bio-zajimavosti-vyhrevnosti-paliv.html>

13) [online], dostupné z:
<http://www.eubia.org/111.0.html>

14) [online], dostupné z:
<http://www.biomasa-sro.cz/cz/kotle-pelety>