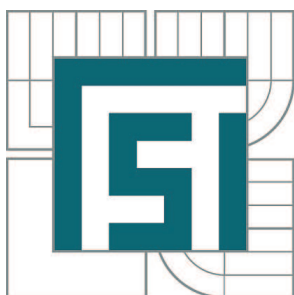


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

ZHODNOCENÍ TECHNOLOGIÍ PRO VYUŽITÍ BIOMASY

EVALUATION OF TECHNOLOGY FOR THE BIOMASS INCINERATION.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VÍT BÍLEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAV JÍCHA, CSc.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Vít Bílek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Zhodnocení technologií pro využití biomasy

v anglickém jazyce:

Evaluation of technology for the biomass incineration.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V současné době roste význam využití biomasy zejména jako obnovitelného zdroje energie. Biomasa má vedle toho i význam pro recyklaci odpadní suroviny na produkty využitelné nejen v energetice, ale i v zemědělství a ve spotřebním průmyslu.

Hlavní zaměření práce:

Biomasa a její produkce.

Možnosti využití biomasy.

Netermické a energetické možnosti využití biomasy.

Energetické využití biomasy.

Cíle bakalářské práce:

Zpracování literární rešerše a přehledu metod zpracování a využití biomasy. Popis technologických zařízení pro spalování biomasy a kogeneraci energie a tepla.

Seznam odborné literatury:

- [1] Doc. Ing. Brožek, K., CSc., Ing. Šourek, B.: Alternativní zdroje energie, ČVUT, Fakulta strojní, 2003
- [2] Prof. Ing. Kadrnožka, J., CSc.: KVET - masivní a efektivní nástroj pro úsporu fosilních paliv, článek v 3T, 3/2004
- [3] FCC Public: Obnovitelné zdroje energie, Praha 2001
- [4] internetové stránky: <http://calla.ecn.cz/atlas> <http://www.biom.cz>.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jaroslav Jícha, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne

L.S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá přehledem metod zpracování a využití biomasy. Popisuje technologie pro energetické využití biomasy. Část práce je věnována energetickým plodinám a ostatním zdrojům biomasy

ABSTRACT

This thesis is concerned with overview of methods of processing and utilization of biomass. It describes technologies for biomass energy. Part is devoted to energy crops and other biomass resources.

KLÍČOVÁ SLOVA

biomasa, energetické plodiny, spalování, zplyňování, pyrolýza, anaerobní fermentace

KEYWORDS

biomass, energy crops, combustion, gasification, pyrolysis, anaerobic fermentation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BÍLEK, V. *Zhodnocení technologií pro využití biomasy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 40 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaroslav Jícha, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Zhodnocení technologií pro využití biomasy vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a podkladů, uvedených v seznamu použité literatury.

V Brně dne 27.5.2010

Podpis.....

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Jaroslavovi Jíchovi, CSc. za vedení a rady při tvorbě této bakalářské práce.

Obsah

ÚVOD.....	9
1. CO JE TO BIOMASA?	9
2. ZDROJE BIOMASY	10
2.1 Byliny	10
2.1.1 Jednoleté byliny	10
2.1.1.1 Sléz přeslenitý - MALVA VERTICILLATA L.....	10
2.1.1.2 Světlice barvířská/saflor - CARTHAMUS TINCTORIUS L.	11
2.1.1.3 laskavec - AMARANTHUS L.....	11
2.1.1.4 Čirok - SORGHUM.....	12
2.1.1.5 Konopí seté - CANNABIS SATIVA L.	12
2.1.2 Další jednoleté plodiny.....	13
2.1.2 Víceleté byliny	14
2.1.2.1 Ozdobnice čínská - MISCANTHUS GIGANTEUS	14
2.1.2.2 Šťovík Uteuša - RUMEX PATIENTIA L.....	14
2.1.2.3 Křídlatky - REYNOUTRIA	15
2.2. Dřeviny	16
2.2.1 Rychle rostoucí dřeviny.....	16
2.3. Odpady	17
2.3.1 Zbytková biomasa ze zemědělství.....	17
2.3.2 Zbytková biomasa z lesnictví a dřevozpracujících závodů	18
2.3.3 Ostatní odpady.....	18
3. ZPŮSOBY VYUŽITÍ BIOMASY K ENERGETICKÝM ÚČELŮM [2].....	18
3.1 Spalování	19
3.1.1 Skleníkový efekt	19
3.1.2 Spalné teplo a výhřevnost.....	19
3.1.3 Průběh spalování.....	20
3.1.4 Druhy kotlů.....	21
3.1.4.1 Kotle s pevným roštem	21
3.1.4.2 Kotle s posuvným roštem.....	22
3.1.4.3 Kotle s pásovým a řetězovým roštem	22
3.1.4.4 Kotle se spodním přívodem paliva	23
3.1.4.5 Speciální hořáky	23
3.1.4.6 Spalování ve fluidní vrstvě	24

3.1.5 Biomasa využívaná ke spalování	25
3.2 Zplyňování	25
3.2.1 Chemické reakce při zplyňování:.....	26
3.2.2 Rozdělení zplyňovačů	27
3.2.3 Protiproudý zplyňovač	27
3.2.4 Souproudý zplyňovač	28
3.2.5 Fluidní zplyňovače	28
3.3 Pyrolýza	29
3.3.1 Rozdělení pyrolýzních procesů.....	30
3.3.2 Pomalá pyrolýza	30
3.3.3 Rychlá pyrolýza	30
3.4 Anaerobní fermentace	31
3.4.1 Faktory ovlivňující anaerobní fermentaci	32
3.4.2 Biomasa vhodná k anaerobní fermentaci	33
3.4.3 Řízení a stabilita procesu.....	34
3.4.4 Produkty anaerobní fermentace	34
3.4.5 Anaerobní fermentační zařízení	35
ZÁVĚR	37
Literatura.....	38
Seznam obrázků	40

ÚVOD

Biomasa, jako zdroj energie, je využívána už odedávna. V posledních době se její využívání začíná rozvíjet za účelem, aspoň částečné, náhrady fosilních paliv. Biomasa je obnovitelný zdroj energie. Při jejím uvážlivém využívání, se dá říct, že je nevyčerpatelný zdroj energie.

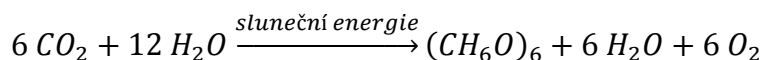
Spalováním biomasy se do ovzduší neuvolní více oxidu uhličitého, než při svém růstu rostliny z ovzduší spotřebují. Asi 10% z celkového množství CO_2 v ovzduší se ročně váže v biomase a opět se z ní uvolňuje [3]. Na rozdíl od fosilních paliv biomasa využívaná k energetickým účelům nezvyšuje obsah oxidu uhličitého, tzv. skleníkového plynu, v atmosféře. Fosilní paliva nejsou obnovitelným zdrojem energie a není jich na Zemi neomezené množství, nalézání nových ložisek a jejich následná těžba je stále náročnější, což jsou další důvody ke snaze, nahrazovat je obnovitelnými zdroji energie.

Mezi obnovitelné energie patří vodní energie, větrná energie, sluneční energie, biomasa a v ČR nezastoupená např. energie přílivu. Z využitelných obnovitelných zdrojů v ČR má největší potenciál právě biomasa. Biomasa zahrnuje veškerou hmotu rostlinného a živočišného původu. Od zbytků a odpadů až po cíleně pěstované rostliny. Tento široký záběr sebou nese i množství technologií, potřebných pro energetické využití jednotlivých forem biomasy.

1. CO JE TO BIOMASA?

Biomasa je veškerá organická hmota rostlinného nebo živočišného původu. Biomasu můžeme rozdělit na fytomasu, obsahující pouze rostlinnou hmotu a biomasu obsahující jak rostlinou tak živočišnou hmotu (např. kejda).

Fytomasa vzniká transformací sluneční energie na chemickou v průběhu tzv. fotosyntézy. Při fotosyntéze vzniká z oxidu uhličitého a vody za spolupůsobení enzymů, chlorofylu a sluneční energie velké množství organických sloučenin. Při fotochemických reakcích se oxid uhličitý redukuje na cukry (glukóza, celulóza, škrob) a voda se oxiduje za vzniku molekulového kyslíku. Reakci fotosyntézy lze zjednodušeně zapsat [2]:



Při spalování biomasy probíhá celý proces obráceně, organické sloučeniny reagují s kyslíkem za vzniku oxidu uhličitého, vody a uvolněné energie. Stejný proces probíhá také samovolně v přírodě při odumření rostlin a jejich následném rozkladu.

Biomasa tedy akumuluje sluneční energii. Pro získání této energie používáme řadu technologií, v závislosti na formě a fyzikálních vlastnostech biomasy (např. vlhkost paliva). Pro energetické využití rozdělujeme biomasu na primární a sekundární paliva. Primární paliva (např. dřevo, sláma) využíváme především spalování za účelem získání tepelné energie. Sekundární paliva získáváme přeměnou primární biomasy např. zplynováním, anaerobní nebo alkoholovou fermentací. Produkty mohou být ve všech skupenstvích: plynné (bioplyn), kapalné (bioolej, bionafta) pevné (dřevěné uhlí). Výhodou sekundárních paliv je širší uplatnění, lepší skladovatelnost a zvýšení energetické hustoty biomasy.

2. ZDROJE BIOMASY

Plodiny:	byliny - jednoleté - víceleté dřeviny - rychle rostoucí dřeviny
Odpady	- zbytková biomasa ze zemědělství - zbytková biomasa z lesnictví a dřevozpracujících závodů - ostatní odpady

2.1 Byliny

Podle délky vegetační doby je můžeme rozdělit na jednoleté a víceleté rostliny. Jednoleté rostliny vyžadují každoroční úpravu půdy a zakládání porostu. Výhodou je, že jednoletý porost můžeme zrušit během jednoho roku a přejít na pěstování jiných plodin. Víceleté rostliny nejsou tak náročné na mechanizaci, nevyžadují každoroční zakládání porostu.

Obecně platí, že ekonomicky a energeticky efektivnější je pěstování rostlin víceletých a vytrvalých než tradičních jednoletých [4]. Porost víceletých rostlin pokrývá půdu v průběhu celého roku a tím zabraňují půdní erozi.

Rostliny pěstované speciálně pro energetické účely se označují jako energetické plodiny. Energetické plodiny musí vytvářet vysoký objem fytohmoty, měli by být nenáročné na půdu a klimatické podmínky. Mohou být pěstovány na půdách nevhodných pro pěstování zemědělských plodin.

2.1.1 Jednoleté byliny

2.1.1.1 Sléz přeslenitý - MALVA VERTICILLATA L.

Jednoletá, hojně se rozvětvlující rostlina, nenáročná na podnebí. Lze pěstovat ve většině oblastí ČR.

Při plném dozrání se část semen vydrolí a následující rok vytvoří opět dostatečně zapojený porost, díky čemuž lze Sléz řadit mezi víceleté rostliny. Sléz vzchází poměrně rychle a je odolný proti zaplevelení.

Sklízí se při plném dozrání v průběhu září, kdy jsou rostliny dostatečně suché. Ke sklizni se používají běžné žací mlátičky na obilí, zrna se používá ke krmení, nebo pro další výsev. Sláma se lisuje do obrovských balíků. Pro energetické účely lze rovněž sklízet celou rostlinu včetně semen. V tomto případě se sklízí před plným dozráním, aby nedocházelo k opadu semene. Výnos suché hmoty se pohybuje od 8 do 12 t/ha. Spalné teplo je 17,5 MJ/kg suché hmoty.



Obr. 1 Sléz přeslenitý [24]



Obr. 2 Světlíce barvířská [26]

2.1.1.2 Světlíce barvířská/saflor - *CARTHAMUS TINCTORIUS* L.

Saflor je jednoletá bylina vhodná do sušších a teplejších oblastí. Je středně náročná na půdu. Značně spoří s vláhou a dobře snáší sucho a mrazíky. Lodyha dorůstá do výšky přes 1m. Pěstuje se podobně jako slunečnice. Ze semene safloru se získává olej, slámu lze využít k výrobě papíru nebo ke spalování. Zelená rostlina se používá jako krmivo hospodářských zvířat. Sklízí se v plné zralosti semen (u nás konec srpna-záčátek září), za použití běžné obilné žací mlátičky. Výnos semene v našich podmínkách je v průměru 2 t/ha. Semena Safloru mají v průměru 23% oleje z obsahu sušiny semene. Průměrný výnos slámy je 4-5 t/ha suché hmoty. Sláma se sklízí běžnými lisami na obilnou slámu nebo samojízdnými řezačkami, v případě že bude použita k výrobě pelet nebo briket. Spalné teplo slámy je 17,8 MJ/kg, semene 24,9 MJ/kg.

2.1.1.3 laskavec - *AMARANTHUS* L.

Laskavec má více než 60 druhů, z nichž nejznámější jsou *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus hypochondriacus*, *Amaranthus caudatus*. Pěstuje se hlavně pro nutričně hodnotné semeno. Zbylou slámu lze pak využít k energetickým účelům. Laskavec je jednoletá, teplomilná rostlina dorůstající do výšky 1 až 1,8 m. Vytváří velké množství nadzemní hmoty, která potřebuje dostatek živin. Je náročný na teplo a světlo. Ve vegetačním období má laskavec vysoký obsah vody, až 70%. Vlhkost dělá problémy nejen při sklizení k energetickým účelům ale i pro kombajny na sklizení semen.

Laskavec se proto sklízí ihned po vymrznutí, kdy se vlhkost sníží na 30 až 35% a zároveň nedochází k velkému opadu semen. Při vlhkosti 30 až 35% je již možné laskavec spalovat. Spalné teplo laskavce je 15,3 MJ/kg suché hmoty. Výnos při sklizení celé rostliny činí 8 až 10 t/ha suché hmoty. Při pěstování pro semeno se nejprve vymlátí semeno, výnos semene je 3,1 t/ha. Zbylá sláma se lisuje do balíků. Výnos slámy je 5 t/ha. Při sklizení celé rostliny k energetickým účelům se celá rostlina pokosí a následně slisuje do balíků.

Zelenou hmotu laskavce lze využít k výrobě lihu nebo jako přídavek do fermentoru při výrobě bioplynu. Pro tyto účely může být laskavec sklizen kdykoliv během vegetační doby, neboť jej není potřeba dosušet. Ke sklizení se používají samojízdné řezačky.



Obr. 3 Laskavec při sklizni [29]



Obr. 4 Čirok [28]

2.1.1.4 Čirok - SORGHUM

Čirok je jednoletá, teplomilná rostlina odolná proti suchu. Na půdu je čirok méně náročný než kukuřice. Dorůstá do výšky 1 až 3 m. Podle účelů pěstování lze rozdělit do několika skupin:

- 1) čirok obecný: Má nižší vzrůst, pěstuje se hlavně na zrna, které neobsahuje lepek.
- 2) čirok technický: Má silně vyvinutou pružnou latu, která se používá k výrobě košťat a kartáčů.
- 3) čirok cukrový: Stébla této rostliny obsahují až 18% glukózy. Z jednoho ha lze získat až 6,5 t volně zkvasitelného cukru. Lze z něj vyrábět etanol, bioplyn. Mimo energetické účely se používá jako krmivo hospodářských zvířat.
- 4) čirok saudský: Nejlépe se hodí pro přímé spalování. Je to kříženec čiroku a saudské trávy. Vytváří mnoho nadzemní hmoty a dorůstá výšky 2 až 3 m. Pro pěstování a sklizeň se používá běžná zemědělská mechanizace jako u pěstování kukuřice. Čirok má rovněž podobné nároky na kvalitu půdy jako kukuřice. Průměrný výnos sušiny činí 18 t/ha. Pro účely spalování se čirok sklízí na podzim, je ovšem potřeba počítat s jeho dosoušením, koncem listopadu obsahuje 50% vlhkosti. Při sklizení na konci zimy sice dojde k částečnému vysušení, v průměru 42% vlhkosti, ale ztráty sušiny po zimě dosahují až 50%, což je způsobeno opadem listů a slehnutí celých rostlin. Spalné teplo čiroku je 17,5 MJ/kg.

2.1.1.5 Konopí seté - CANNABIS SATIVA L.

Konopí se využívá v mnoha odvětvích průmyslu a lze tak využít celou rostlinu tj. semeno, vlákna i pazdeří. Ze semena se lisuje olej, který se dále zpracovává v mnohých odvětvích průmyslu. Např. potravinářský, farmaceutický, kosmetický, chemický nebo krmivářský průmysl. Vlákna se používají např. v textilním průmyslu, k výrobě lan nebo izolačních materiálů. Po oddělení vláken zůstane ze stonku pazdeří, které lze dále využít např. v papírenském průmyslu nebo stavebnictví. Mimo to lze celou rostlinu nebo její části využít ke spalování.

Konopí obsahuje omamnou látku THC (tetrahydrocannabinol). V ČR se smí pěstovat jen s obsahem THC menším než 0,3%, v EU menším než 0,2%. Konopí je jednoletá, teplomilná rostlina náročná na vodu a půdu. V době růstu spotřebuje 700 l vody na 1 kg sušiny, což je 1,5 až 2x více než obiloviny. Vyžaduje úrodnou, dobře vyhnojenou půdu, bohatou na humus. S nižšími výnosy se dá pěstovat i na horších půdách a v chladnějších

oblastech. Konopí je poměrně odolné proti chorobám a škůdcům. Roste docela rychle, přičemž hustý porost potlačuje růst plevy. Vegetační období trvá 100 až 120 dní. Konopí dorůstá výšky 2 až 4 m. Dužnatý stonek postupně dřevnatí. *Obsahuje cca 23 % vláknina a cca 75 % dřevité hmoty – tzv. pazdeří [9].*

Podle účelu pěstování se odvíjí i způsob sklizně. Semena se sklízí kombajnem s vysoce nastaveným žací strojem. Pro získání vláken se používají stupňovité žací zařízení, které rostlinu postupně se shora rozřežou na několik částí.

Pro účely spalování se konopí může sklízet samojízdnou řezačkou. Výnos činí 8,5 až 16 t/ha suché hmoty. Z řezanky se lisují pelety nebo brikety. Spalné teplo konopí je 18 MJ/kg. Obsah popelu je 2,5%.



Obr. 5 Konopí v době plné zralosti semen [19]

2.1.2 Další jednoleté plodiny

K energetickým účelům se mohou využívat i tradiční plodiny, pěstované především k potravinářským účelům, jako například obilné zrna. To lze využít ke spalování nebo k výrobě bioetanolu. Výhřevnost obilných zrn je uvedena v tab.1.

Tab. 1 Výhřevnost obilí [30]

Obsah vlhkosti	Výhřevnost obilí	Druh obilí		
		OVES	JEČMEN	PŠENICE
15%	MJ/kg	14,9	14,5	14,1
15%	GJ/m3	8,3	10	10,6

2.1.2 Víceleté byliny

2.1.2.1 Ozdobnice čínská - *MISCANTHUS GIGANTEUS*

Ozdobnice je vytrvalá tráva vysokého vzrůstu, která dobře využívá sluneční energii, vodu a živiny. Je značně odolná proti chorobám a škůdcům. V našich klimatických podmínkách nedozrávají semena, ozdobnice se však rozšiřuje pomocí dřevnatých oddenků.

Sází se ručně nebo pomocí upraveného stroje na sázení brambor, a to 1 až 2 oddenky na metr čtvereční, což představuje 10 až 12 tis. sazenic na hektar. U pěstování ozdobnice je výsadba nejnákladnější položkou. Na svém stanovišti by proto ozdobnice měla být pěstována min. 10 až 15 let. Po skončení pěstování je porost zlikvidován chemickými přípravky nebo jsou na podzim vyorány kořeny, které přes zimu zmrznou.

Ozdobnice dorůstá výšky kolem 2 m, za příznivých podmínek až 4 m. Sklízí se každé 3 roky v období od listopadu do března. Na podzim sklizená fytomasa obsahuje v průměru kolem 50% vody a je potřeba ji dosušet. Ozdobnici je lépe sklízet na konci zimy (únor-březen) kdy dosahuje v průměru poloviční vlhkosti než na podzim (24% hm.). Při sklizni na konci zimy je třeba počítat se ztrátami sušiny v průběhu zimy, které činí až 30 %. Ztráty jsou způsobeny opadem uschlých listů, které ovšem působí jako hnojivo a ochrana půdy před erozí. Ke sklizení se používají běžné řezačky pro sklizení kukuřice. Výnos suché hmoty dosahuje kolem 30t/ha.

Mimo energetické účely se ozdobnice používá k výrobě buničiny, nebo ve stavebním průmyslu. Jako energetická plodina se používá pro spalování a pyrolýzu. Pro přímé spalování se používá ve formě pelet nebo balíků. Spalné teplo suché hmoty je kolem 19MJ/kg. Obsah popela 2 až 3%.



Obr. 6 Ozdobnice čínská [19]



Obr. 7 Šťovík Uteuša [18]

2.1.2.2 Šťovík Uteuša - *RUMEX PATIENTIA* L.

Je vytrvalá rostlina, odolná proti působení škůdců a chorob. Je vhodná pro pěstování v podmínkách mírného klimatického pásu. Na svém stanovišti vydrží 15 až 20let. Šťovík je odolný proti vymrzání. Nehodí se do podmačených nebo příliš kamenitých půd. Je to mohutná rostlina s rozvětvenou lodyhou dorůstající do výšky 2 m. Má vysoký obsah bílkovin a vitamínů, mimo energetické účely se používá ke krmení. U šťovíku nehrozí jeho rozšiřování do okolí. Plantáž se zlikviduje jednorázově použitím herbicidů a zaoráním. Pro výrobu bioplynu se sklízí zelené rostliny 3 až 5 krát do roka. Ke sklizení se používají běžné samojízdné řezačky.

Šťovík dozrává koncem července, pro přímé spalování se sklízí před plným dozráním, aby neopadávaly plody. Při sklizni v červenci obsahuje 25% vlhkosti. Výnos šťovíku je kolem 10 t/ha suché hmoty.

Ke sklizení se používá řezačka, po sklizni šťovík ihned obrůstá, a na podzim tak může být opět použit jako krmivo, k výrobě bioplynu nebo ke spalování, přičemž je sušina ochuzena o semena. Spalné teplo je 17,5 až 18 MJ/kg.

2.1.2.3 Křídlatky - REYNOUTRIA

V české republice se vyskytují tři druhy křídlatek: křídlatka japonská, sachalinská a kříženec předchozích dvou druhů, křídlatka česká. Křídlatky jsou vytrvalé byliny nenáročné na půdu. Na jednom stanovišti vydrží 10 a více let. Křídlatky mají silné, větvené, lodyhy dorůstající do výšky 2 až 5m. Dávají velké množství nadzemní biomasy. Jsou odolné proti plísňím a chorobám. Rozmnožují se semeny nebo pomocí bohatě rozvětvených oddenků. Ze svého stanoviště vytlačí ostatní druhy rostlin a plevele.

Pro výrobu bioplynu se sklízí zelené rostliny i několikrát za rok. Pro přímé spalování se sklízí na konci zimy nebo začátkem jara. Ztráty způsobené opadem listů a stonků tvoří 30-40%. Palivo sklizené na konci zimy není potřeba dále dosoušet a může být ihned použito ke spalování. V prvním roce se křídlatky pro malé výnosy nesklízí, v dalších letech dosahují výnosů 20 -25t/ha.

Ke sklizení se používá běžná mechanizace pro sklizení kukuřice. Tlak od kol zemědělských strojů poškozuje zejména v prvních letech kořeny rostlin. Při výsadbě by proto měl být ponechán prostor pro průjezd kol mechanizace. Likvidace se provádí chemicky nebo mechanicky podzimním vyoráním rhizomů, které přes zimu uschnou a zmrznou.

Spalné teplo má průměrnou hodnotu 18,4 MJ/kg. Obsah popela je 5 až 7%

Mimo energetické účely se křídlatky používají v medicíně, farmaceutickém průmyslu, jako krmivo hospodářských zvířat. Křídlatky vstřebávají velké množství těžkých kovů, které lze po spálení rostliny zachytit spolu s popílkem, Křídlatky tak lze použít k čištění půd kontaminovaných těžkými kovy (olovo, kadmium).



Obr. 8 Křídlatka japonská po odkvětu[19]

2.2. Dřeviny

Dřevo je tradičním zdrojem energie, používaným už od dob, kdy člověk začal používat oheň. Dřevní biomasa je označována jako dendromasa. Běžnými druhy dřevin v ČR jsou z listnatých stromů např. dub, buk, bříza a z jehličnatých např. borovice, smrk, jedle, modřín. Jako energetická biomasa se nejčastěji využívá ke spalování a zplyňování. V závislosti na dané technologii využití se upravuje na polena, štěpku nebo brikety. Nevýhodou tradičních dřevin je jejich dlouhá doba růstu (desítky let).

Zvláštní druhem dřevin jsou tzv. rychle rostoucí dřeviny. Výhřevnost hlavních dřevin je uvedena v tab. 2.

2.2.1 Rychle rostoucí dřeviny

Termínem rychle rostoucí dřeviny (RRD) se označují dřeviny, jenž mají výrazně vyšší roční přírůstek hmoty oproti běžným lesním porostům. RRD mají velmi dobrou schopnost obrůstání pařezů po ořezání (obmytí).

Při zakládání plantáže musí být podle půdně klimatických podmínek stanoviště zvolen vhodný druh a klon dřeviny. Z hlediska ekologické stability a druhové pestrosti se doporučuje sázet na plantáže více druhů a klonů RRD. Při zakládání plantáže je také potřeba vzít v úvahu, že plantáž na svém stanovišti setrvá 20 až 30 let. V současné době jsou v ČR ověřeny pouze vybrané druhy vrb a topolů. Další druhy připadající v úvahu pro pěstování v našich podmínkách jsou např.: olše, akát, pajasan, líska, jilm, osika, bříza.

Rostliny se vysazují do řádků nebo do dvojřádků, mezi řádky je ponechán prostor pro průjezd mechanizace. Výsadba se provádí ručně nebo mechanicky pomocí lesnických sazečů. RRD se vysazují pomocí řízků, které mají délku kolem 20 cm a průměr 1 až 3 cm.

Délka obmytí se pohybuje od 3 do 5 let a i více, v závislosti na druhu dřeviny a dalším použití sklizené fytomasy (štěpka, polénka). RRD se sklízí v době vegetačního klidu, kdy má rostlina nejmenší obsah vody. Výhodou pro pěstitele je možnost odložení sklizně o rok i více, v případě malé poptávky nebo nízkých výkupních cenách. Sklízí se ručně nebo speciálními stroji. Sklízecí stroje svazují pruty do snopků nebo z nich přímo na poli vyrábějí štěpku.

Tab. 2: Výhřevnost dřevin [21]

DRUH PALIVA	OBSAH VODY [%]	VÝHŘEVNOST [MJ/kg]
Listnaté dřevo	15	14,605
Jehličnaté dřevo	15	15,584
borovice	20	18,4
vrba	20	16,9
olše	20	16,7
habr	20	16,7
akát	20	16,3
dub	20	15,9
jedle	20	15,9
jasan	20	15,7
buk	20	15,5
smrk	20	15,3
bříza	20	15
modřín	20	15
topol	20	12,9

2.3. Odpady

2.3.1 Zbytková biomasa ze zemědělství

Nejvýznamnějšími odpady ze zemědělské prvovýroby jsou sláma a z živočišné výroby kejda a statkový hnůj. Nejčastějšími druhy slámy jsou obilná, řepková a kukuřičná. Obilná sláma se používá k podestýlce hospodářských zvířat, část slámy zůstává na poli k zaorání a zbytek může být využit k energetickým účelům. Řepková a kukuřičná sláma nemají uplatnění při chovu hospodářských zvířat a mohou být tedy plně využity k energetickým účelům. Sláma se používá převážně ke spalování a zplyňování. Výhřevnost slámy je uvedena v tab. 3.

Dalšími odpady jsou např. dřevní odpady ze sadů a vinic, využívají se ke spalování ve formě štěpky nebo briket.

Z živočišné výroby jsou nejvýznamnějšími odpady statkový hnůj, kejda. Mají vysoký obsah vody, hlavní možností jejich energetického využití je výroba bioplynu ve fermentačních nádržích.

Tab. 3: Výhřevnost slámy [21]

DRUH PALIVA	OBSAH VODY [%]	VÝHŘEVNOST [MJ/kg]
Sláma obilovin	10	15,49
Sláma kukuřice	10	14,4
Sláma řepky	10	16

2.3.2 Zbytková biomasa z lesnictví a dřevozpracujících závodů

Po těžbě dřeva zůstává v lese množství nevyužité dřevní hmoty (větvě, kůra, pařezy), tato hmota může být využita k energetickým účelům, zejména ke spalování a zplyňování. Množství odpadního dřeva (piliny a odřezky) rovněž vniká při zpracování dřeva např. v truhlářských dílnách. Výhodou je, že tato dřevní hmota má menší vlhkost než lesní odpady. Pro homogenizaci dřevního odpadu a snadnější manipulaci se dřevo drtí na štěpku. Ze štěpky se lisují pelety a brikety.

2.3.3 Ostatní odpady

U nás nejlevnější a nejběžnější způsob likvidace odpadu je jeho ukládání na skládky.

Na skládkách však dochází k úniku plynů, vzniklých rozkladnými procesy organických odpadů, a rovněž hrozí znečištění podzemních vod. Mimo ukládání na skládky může být odpad energeticky zpracován. Energetické procesy likvidace odpadu:

Termické procesy zahrnující spalování, zplyňování a pyrolýzu. Mimo teplo a plyn vzniká popel, škvára, které je možno uložit, v redukovaném množství, na skládku.

Biochemická likvidace spočívá v anaerobní a aerobní fermentaci. Tímto způsobem se zpracovávají biologicky rozložitelné odpady. Vzniká bioplyn a stabilizovaný zbytek, který může být použit jako hnojivo nebo může být uložen na skládku.

Vhodná volba způsobu likvidace nebo stabilizace odpadu závisí na vlastnostech odpadu.

Druhy odpadů:

- komunální odpady
- odpady z údržby zeleně
- kaly z ČOV
- odpady z jatek, mlékáren, pivovarů, lihovarů, cukrovarů,

3. ZPŮSOBY VYUŽITÍ BIOMASY K ENERGETICKÝM ÚČELŮM [2]

Termochemická konverze (suché procesy)

- spalování
- zplyňování
- pyrolýza

Biochemická konverze (mokrý procesy)

- anaerobní fermentace
- aerobní fermentace

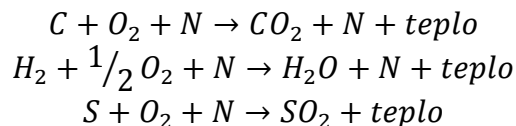
Fyzikálně-chemická konverze

- esterifikace bioolejů

3.1 Spalování

Jedná se o nejčastější používaný druh konverze energie obsažené v biomase [7].

Je to chemická, exotermická reakce, při které dochází ke spalování hořlavých složek paliva a uvolňování tepla. Hořlavé prvky reagují se vzduchem podle těchto chemických reakcí [2]:



Dusík se do chemické reakce, buď nezapojuje a odchází s kouřovými plyny, nebo reaguje s kyslíkem na škodlivý NO a NO_2 . Teploty spalovacího procesu by neměly přesahovat 1000°C . Nad touto teplotou dochází ke zvýšené tvorbě NO_x . Při vyšších teplotách rovněž dochází k velkému namáhání stěn kotle a vniká nebezpečí spékání popela. *Spalováním fytopaliva nevzniká více CO_2 než bylo předtím z ovzduší živými rostlinami přijato, ani více než by bylo do ovzduší vráceno přirozeným rozkladem v přírodě[1].* Spalování fytomasy proto nezhoršuje skleníkový efekt. Obsah síry je v porovnání s fosilními palivy velmi malý.

3.1.1 Skleníkový efekt

Sluneční záření dopadající na naši planetu se částečně odráží od atmosféry zpět do vesmíru a částečně dopadá na povrch, který ohřívá. Ohřátý povrch planety vyzařuje záření zpět do vesmíru, přičemž část toho záření je pohlceno tzv. skleníkovými plyny. Mezi hlavní skleníkové plyny patří vodní pára (H_2O), oxid uhličitý (CO_2), metan (CH_4), oxid dusný (N_2O), ozon (O_3). Skleníkové plyny pohlcené záření vyzařují všemi směry, část tohoto záření opět dopadá na povrch a tím dochází k jeho ohřívání. Je ovšem nutné dodat, že skleníkový efekt je nezbytný pro život na zemi. *Bez něj by teplota na Zemi byla v průměru o 33°C nižší [11].*

3.1.2 Spalné teplo a výhřevnost

Hlavním produktem spalování je teplo. Množství tepla získaného spalováním je závislé na vlhkosti paliva.

Spalné teplo je takové množství tepla, které se uvolní dokonalým spálením jednotkového množství paliva. Předpokládá se, že voda, uvolněná spalováním, opět zkondenzuje a energii chemické reakce není třeba redukovat o její skupenské teplo. Tím se spalné teplo liší od **výhřevnosti**, kde se předpokládá na konci reakce voda v plynném skupenství. Proto je hodnota spalného tepla vždy větší nebo alespoň rovna hodnotě výhřevnosti. [32]

Výhřevnost se vypočítá podle vzorce [17][23]:

$$Q_V = Q_S - \frac{2,4415}{100} \times (W + 8,94 H)$$

kde:

Q_V výhřevnost [MJ/kg]

Q_S spalné teplo [MJ/kg]

W obsah vody v % hm.

H obsah vodíku v %hm.

2,4415 výparné teplo vody [MJ/kg]

8,94 koeficient pro přepočet vodíku na vodu [-] (Při hoření reaguje vodík s kyslíkem za vzniku vody, kterou je nutné také odpařit)

Obsah vody v palivu se spočítá podle vzorce [2]:

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100 [\%]$$

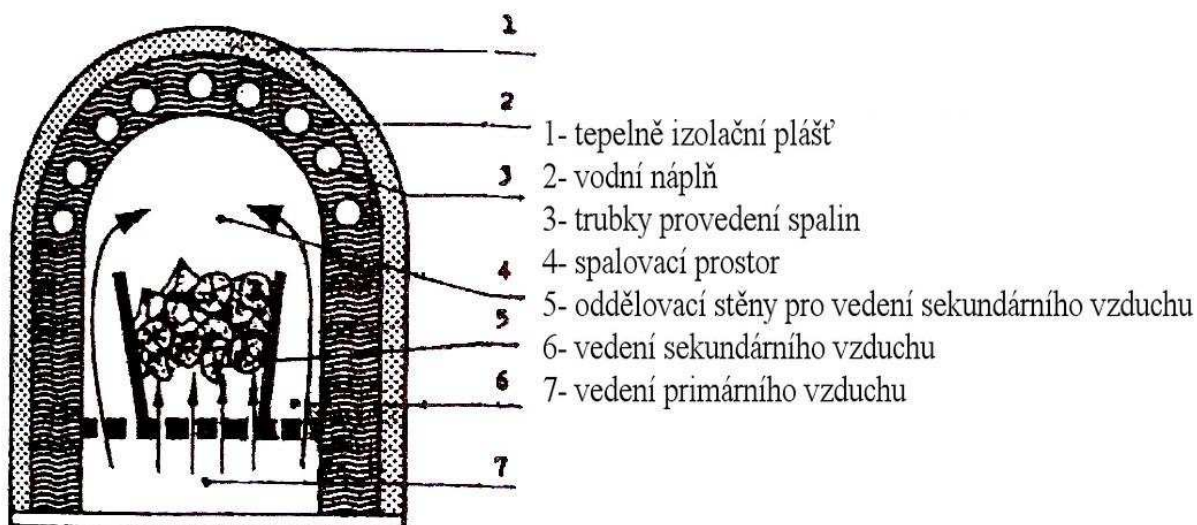
kde: M_1 je hmotnost vzorku surové dřevní hmoty [kg]

M_2 hmotnost vzorku po vysušení [kg]

3.1.3 Průběh spalování

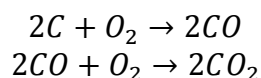
Spalování probíhá ve spalovací komoře, popř. dohořívací komoře, po dohoření předají spaliny část svého tepla na teplosměných plochách. Podle druhu kotle a spalovaného paliva prochází spaliny přes filtr (např. odlučovač popílku) a poté odcházejí komínem, pro lepší tah může být kotel opatřen spalinovým ventilátorem.

Spalovací proces začíná přiložením paliva do kotle. Nejprve dochází k sušení paliva. Voda obsažená v palivu se přeměňuje na vodní páru. Skupenská přeměna vody vyžaduje teplo, čímž ochlazuje palivo. Dalším zvyšováním teploty paliva dochází při teplotě 600 až 800°C k uvolňování (pyrolýze) těkavých hořlavých látek. Následně dochází ke spálení těchto těkavých plynů. Po zplynění těkavých látek zůstane z paliva zbytek o vysokém obsahu uhlíku. Uhlíkatý zbytek dohořívá na roštu. Při ustáleném spalování probíhají všechny tyto děje současně.



Obr. 9 Kotel na spalování polen [1]

Pro spalování je nezbytný kyslík, ten se do spalovací komory dodává spolu se vzduchem v podobě primárního, sekundárního popř. terciálního vzduchu. Primární vzduch se přivádí pod rošt, podporuje hoření uhlíkatého zbytku. Uhlík reaguje s kyslíkem za vzniku jedovatého oxidu uhelnatého – CO a oxidu uhličitého CO_2 podle těchto rovnic:



Sekundární vzduch se přivádí do spalovací komory. Při spalování biomasy se uvolňuje vysoký podíl těkavých hořlavých plynů, až 85% hmotnosti sušiny. Tento fakt způsobuje, že při spalování biomasy vznikají dlouhé plameny. K dokonalému prohoření spalných plynů je proto zapotřebí přivést do spalovacího prostoru sekundární předehřátý vzduch, přičemž nesmí být plamen ochlazen.

Kotel proto musí mít dostatečně velkou, tepelně izolovanou, spalovací komoru. Pro lepší prohoření spalných plynů mají některé kotle ještě dohořivací komoru, do které je přiváděn terciální vzduch.

Výkon kotle lze regulovat množstvím paliva a množstvím primárního vzduchu. Sekundární popř. terciální vzduch udává kvalitu dohoření spalných plynů a tím obsah emisí. Sekundárním a terciálním vzduchem se výkon kotle nereguluje.

Teprve po dohoření spalných plynů mohou být spaliny přivedeny k teplosměnným plochám kotle, kde předají část svého tepla teplonosnému mediu. Při nedokonalém prohoření, nebo při ochlazení plamene dochází k usazování neshořených látek (sazí) na stěnách kotle a teplosměnných plochách, což vede ke snížení účinnosti kotle. Část těchto látek vyletí komínem a zvyšují tak emise.

3.1.4 Druhy kotlů

Podle druhu roštu můžeme kotle rozdělit na:

3.1.4.1 Kotle s pevným roštem

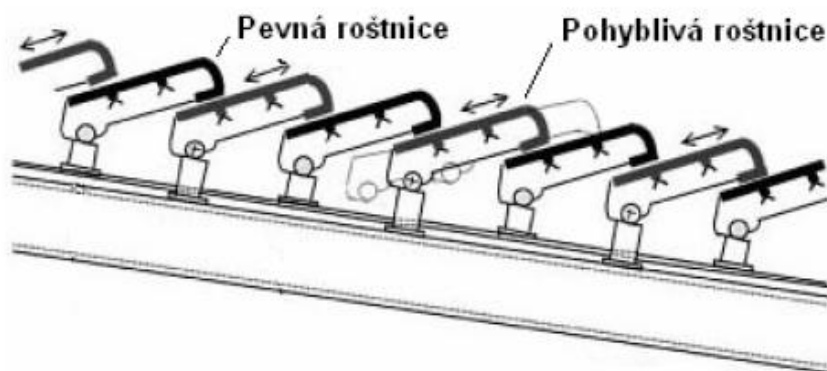
Oproti pohyblivým roštům mají jednodušší konstrukci. Existuje celá řada roštů lišících se zejména konstrukčním uspořádáním, velikostí a způsobem přikládání paliva. Rošty mohou být vodorovné, šikmé nebo stupňovité. Rošty jsou opatřeny otvory nebo mezerami, které slouží k přístupu primárního vzduchu. U některých druhů rovněž sloužit k propadávání popela do popelníku. Zbylý popel musí být odstraňován ručně při odstavení kotle. Nevýhodou je velké tepelné namáhání roštu, způsobené neustálým kontaktem hořícího paliva a žhavého popelu s roštem. Na roštu může docházet ke spékání popelu. K zamezení spékání a ke zvýšení životnosti, bývají rošty vybaveny chlazením. Pevné rošty se používají pro kotle menších výkonů.



Obr. 10 Pevný rošt kotle o výkonu 35kW [2]

3.1.4.2 Kotle s posuvným roštem

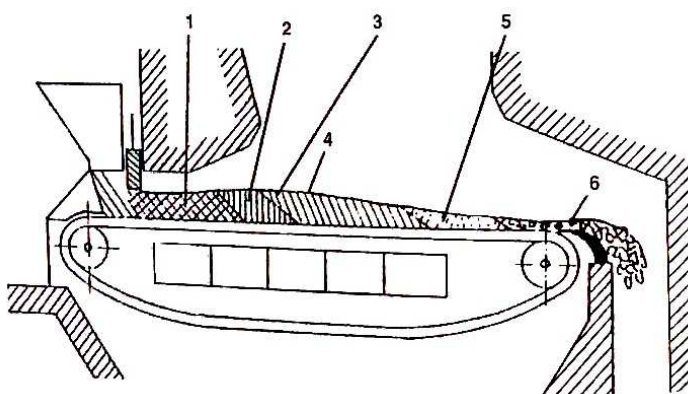
Rošt se skládá z pevných a posuvných roštnic. Konec každé roštnice je přeložen přes sousední roštnici, přičemž se střídají pevné a posuvné roštnice. Posuvné roštnice konají přímočarý vratný pohyb. Tento pohyb bývá zajištěn elektromotorem nebo pneumatickým popř. hydraulickým pístem. Rošt je skloněn pod určitým úhlem, při jeho pohybu dochází k narušování a posouvání vrstvy na roštu, čímž se zlepšuje hoření a nedochází ke spékání popelu. Vyhořelé palivo je postupně přesouváno na okraj roštu, kde přepadává do popelníku. Mezerami mezi roštnicemi proudí do spalovací komory primární vzduch.



Obr. 11 Princip posuvného roštu [7]

3.1.4.3 Kotle s pásovým a řetězovým roštem

Na rozdíl od pevných roštů mají složitější konstrukci. Rošt je tvořen ocelovým pásovým resp. řetězovým dopravníkem. Spalování probíhá na vrchní straně pásu. V průběhu postupu pásu spalovací komorou probíhají všechny fáze hoření. Nevýhodou je, že palivo na roštu není promícháváno a odhořívá ze shora do spodu vrstvy. Výkon kotle závisí na velikosti hořící plochy, tj. na šířce a délce pásu. Popel odpadáva na konci pásu do popelníku. Pás není celou dobu ve spalovací komoře, spodní strana je navíc ochlazována proudem primárního vzduchu, čímž se zvyšuje životnost pásu.

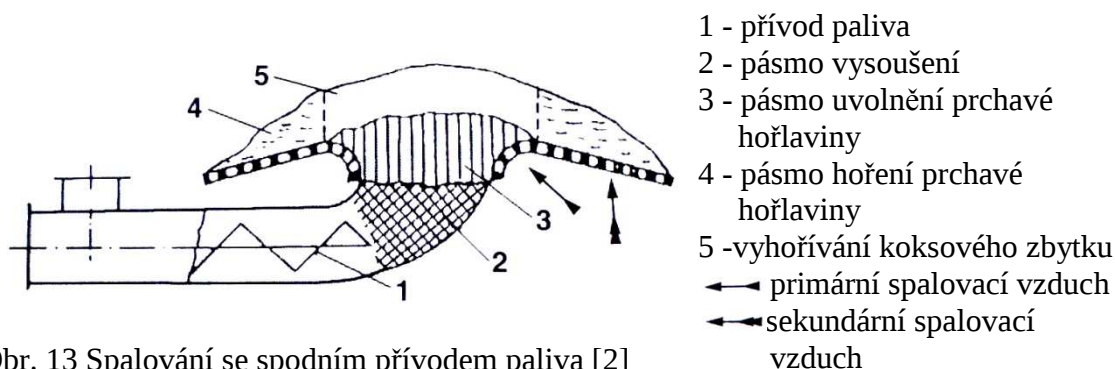


- 1- sušení čerstvého paliva
- 2- odplynění a vzněcování paliva
- 3- hoření tuhé hořlaviny
- 4- vrstva paliva
- 5- dohořívání škváry
- 6- škvára

Obr. 12 Spalování paliva na pásovém roštu [2]

3.1.4.4 Kotle se spodním přívodem paliva

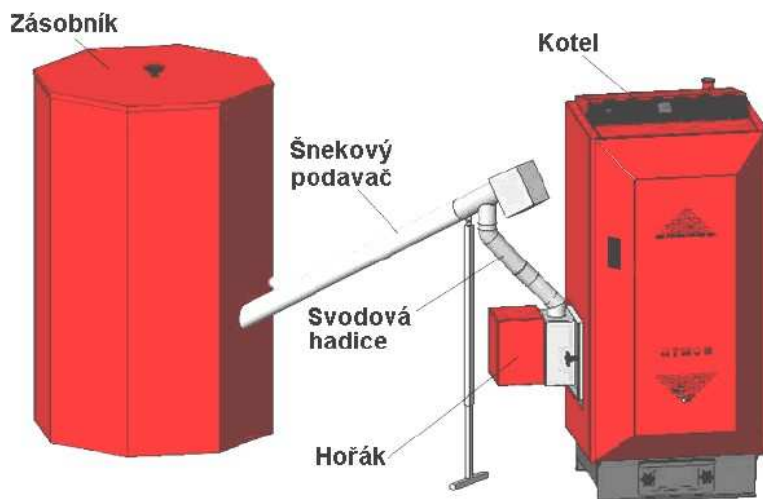
U tohoto způsobu je palivo přiváděno zespodu a odhořívá se shora. Palivo musí být upraveno na štěpku nebo pelety aby se dalo přepravovat šnekovým dopravníkem. Palivo je přiváděno šnekovým dopravníkem pod rošt. Přes litinové koleno (retortu) je pohybující se palivo nasměrováno na rošt. Koleno je vyhříváno a dochází v něm k zahřívání a vysoušení paliva. Nad kolenem dochází k pyrolýze paliva. Zbytek paliva odhořívá ze shora. U kotlů se spodním přívodem paliva je nezbytné keramické reflexní těleso. Je umístěno nad hořící vrstvou a odráží tepelné záření zpět do hořícího paliva, čímž pomáhá k jeho zapalování a stabilizaci hoření. Nově přichází palivo odsouvá vyhořelé palivo na okraj roštu, kde odpadá do popelníku.



Obr. 13 Spalování se spodním přívodem paliva [2]

3.1.4.5 Speciální hořáky

Speciální hořáky umožňují spalování obilného zrna nebo paliva ve formě pelet. Princip spalování je podobný jako u kotlů se spodním přívodem paliva. Hořáky jsou vybaveny žhavicí spirálou pro automatické zapálení paliva. Přísun paliva, primárního a sekundárního vzduchu je řízen řídicí jednotkou. Výhodou je, že palivo hoří přímo na demontovatelném hořáku. Vyhořelé palivo odpadá do popelníku kotle. Hořák je samostatné zařízení ke spalování. Samotný kotel poskytuje pouze tepelně izolovaný prostor pro hoření, teplosměnné plochy a popelník. Po demontáži hořáku může být kotel použit ke spalování jemu povodně určenému palivu.



Obr. 14 Schéma kotle s hořákem a se zásobníkem [7]

3.1.4.6 Spalování ve fluidní vrstvě

Spalování paliva probíhá ve vznosu. Při spalování ve fluidní vrstvě musí být palivo rozemleto na malé částčky. Částčky jsou udržovány ve vznosu (fluidním stavu) prouděním vzduchu. Fluidizovaná vrstva se chová podobně jako kapalina. Změnou rychlosti vzduchu se mění výška fluidní vrstvy. S měnící se výškou fluidní vrstvy se mění velikost teplosměnných ploch ponořených do této vrstvy, čímž se reguluje výkon kotle.

Částčky ve vznosu jsou neustále omílány vzduchem, díky čemuž dochází k hoření po celé jejich ploše. Po shoření jsou částčky popelu vyneseny proudem spalin ze spalovací komory, poté musí být odloučeny ve filtrech.

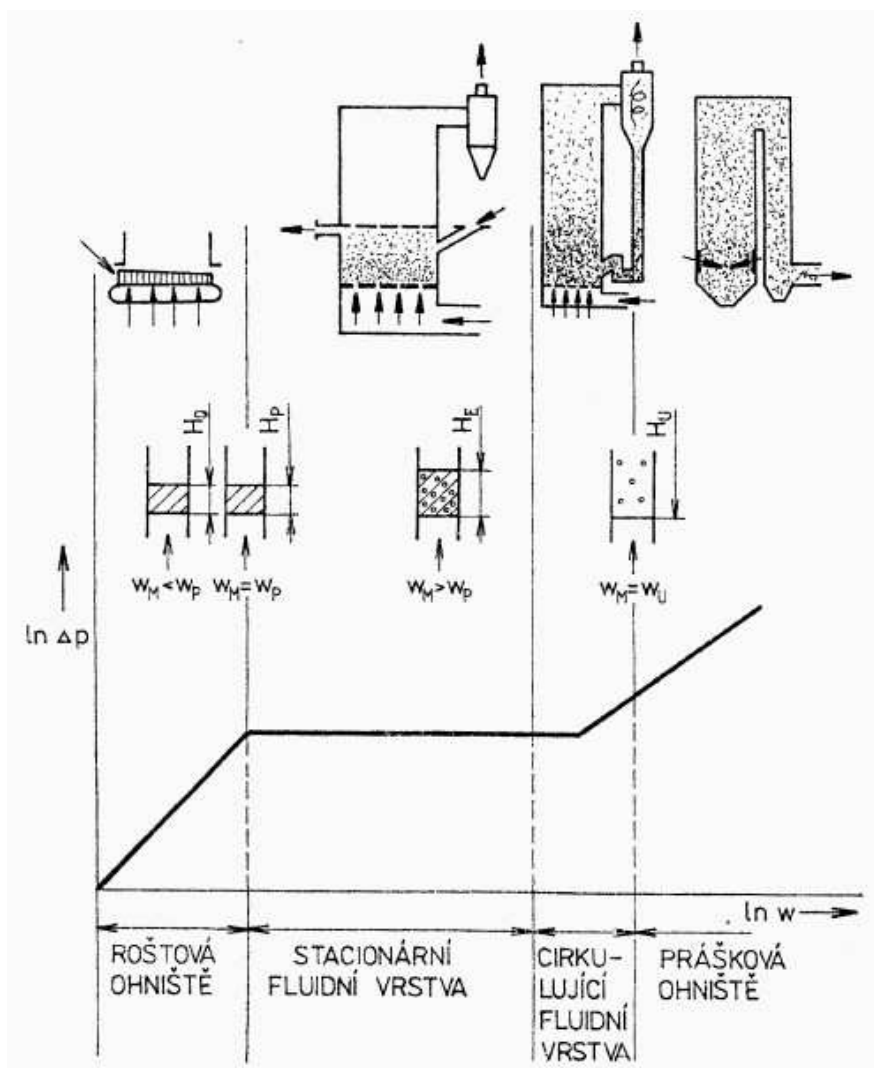
Podle pracovního tlaku můžeme fluidní kotle rozdělit na atmosférické a přetlakové, podle fluidní vrstvy na kotle se stacionární fluidní vrstvou a kotle s cirkulující fluidní vrstvou.

U kotlů s cirkulující fluidní vrstvou prochází částčky ze spalovací komory do cyklonového odlučovače, odkud se znovu vrací do spalovací komory. Částčky tak setrvávají delší dobu ve spalovací komoře.

Výhodou spalování ve fluidní vrstvě je velký regulační rozsah výkonu kotle v rozmezí 30 a 100%, nízké spalovací teploty 800 až 900°C (vznik emisí NO_x do 200 mg/m^3) a možnost spalovat paliva s proměnlivými vlastnostmi.

Vlastnosti paliva se pohybují v těchto rozmezích [7]:

Obsah vody	10-70 %
Výhřevnost	5-20 MJ/kg
Obsah popela	1-8 % (kaly až 45%)
Obsah dusíku	0,1-2 %
Obsah síry	0,01-0,3 %
Obsah Na a K	0-2 %
Obsah chloru	0-0,2 %



Obr. 15 Přechod do fluidizace [7]

3.1.5 Biomasa využívaná ke spalování

- palivové dříví
- rychle rostoucí dřeviny
- energetické plodiny
- vedlejší produkty zemědělských plodin (např. sláma obilovin a olejnin)

3.2 Zplyňování

Zplyňování je termochemický proces, při kterém dochází k přeměně pevné biomasy (primární palivo) na energetický plyn (sekundární palivo). Výhodou je, že takto vzniklé palivo má širší uplatnění a lépe se skladuje. Plyn lze prostřednictvím spalovacího motoru nebo plynové turbíny přeměnit na mechanickou energii, kterou lze dále přeměnit např. na elektrickou energii. Výhodou je rovněž lepší regulovatelnost výkonu při spalování plynu oproti spalování tuhé biomasy.

Zplyňování probíhá ve 4 fázích: sušení, pyrolýza, oxidace a redukce.

Nejprve dochází k sušení biomasy, čímž vzniká vodní pára. Po vysušení a dostatečném zahřátí vzniká vlivem pyrolýzy plyn, kondenzující páry a dřevěné uhlí. V oxidační fázi dochází k částečné oxidaci (hoření) složek plynu a dřevěného uhlí. V redukční zóně

spolu produkty předchozích tří fází reagují, čímž obohacují plyn o CO , H_2 , CH_4 . Proces zplyňování se reguluje množstvím dodaného paliva a kyslíku do generátoru. Kromě kyslíku se může do reaktoru dodávat také vodní pára a CO_2 .

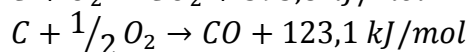
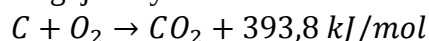
Vzniklý plyn obsahuje především CO (25%), H_2 (20%), CO_2 (10%), N_2 (40%), CH_4 (3%) [2].

Výhřevnost plynu se pohybuje od 4 do 6 MJ/Nm^3 pro zplyňování vzduchem a 13 až 15 MJ/Nm^3 pro zplyňování kyslíkem a vodní párou [7].

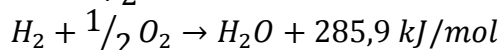
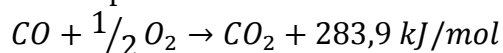
3.2.1 Chemické reakce při zplyňování:

Oxidační reakce

Tyto reakce jsou exotermní a poskytují teplo pro endotermické reakce. Pevný uhlík reaguje s kyslíkem za vzniku oxidu uhelnatého a oxidu uhličitého [7].

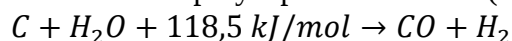


Mimo spalování uhlíku může docházet ke spalování části vzniklých plynů



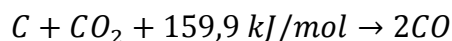
Redukční reakce

Reakce vodní páry a pevného uhlíku (vznik vodního plynu):

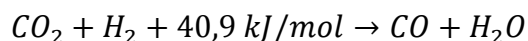


Vodní pára pochází ze sušení, pyrolýzy a také je obsažena v dodávaném vzduchu.

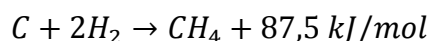
Boudouarova reakce:



Reakce vodní konverze:



Metalizační reakce:



Redukční reakce zvyšují objem plynu o oxid uhelnatý, vodík a metan. Rychlost reakcí je závislá na teplotě, s klesající teplotou klesá rychlost reakcí. Sušení, pyrolýza a redukce jsou endotermické chemické reakce a oxidace je exotermická reakce. V ideálním případě je všechno teplo potřebné pro endotermické reakce dodáváno z exotermických reakcí. Takový stav se nazývá autotermní.

Abychom docílili autotermního stavu je nutné do reaktoru přivést správné množství zplyňovacího media (vzduch, kyslík, vodní páru). Toto množství udává přebytek vzduchu, což je poměr mezi aktuální a stechiometrickou spotřebou vzduchu. Při přebytku 0 dochází pouze k pyrolýze, přebytek 1 a vyšší představuje spalování. Hodnota přebytku vzduchu by tedy měla ležet mezi hodnotami 0 a 1. V praxi bývá v rozmezí 0,2 až 0,45, kdy má plyn největší energetickou hodnotu. Při nižších hodnotách zůstává část nezplyněného paliva ve formě tuhého uhlíku (dřevěného uhlí). Při vyšších hodnotách dochází ke spalování produktů zplyňování, čímž se zvyšuje teplota v reaktoru. S vyšší teplotou se snižuje obsah dehtu. Spalování produktů zplyňování ale snižuje výhřevnost vyrobeného plynu.

3.2.2 Rozdělení zplyňovačů

Zplyňovače můžeme rozdělit podle několika hledisek:

Podle zdroje tepla ke zplyňování můžeme zplyňovače rozdělit na:

- přímé (autotermní): teplo je získáváno částečným spalováním plynů a dřevěného uhlí v podstechiometrickém stavu ve zplyňovacím reaktoru.
- nepřímé (alotermní): teplo je do reaktoru dodáváno zvenčí, vyhříváním stěn reaktoru, předehříváním zplyňovacího média, nebo ohříváním materiálu tvořícího fluidní vrstvu (křemičitý písek). Teplo může být získáváno spalováním biomasy, produktů zplyňování nebo je použito odpadní teplo např. z ochlazování vyrobeného plynu. Získaný plyn má vyšší výhřevnost, až $14\text{MJ}/\text{m}^3$.

Podle zplyňovacího média:

- vzduchové
- kyslíkové
- parní

Podle tlaku ve zplyňovači:

- atmosférické
- tlakové

Podle konstrukce reaktoru:

s pevným ložem

- souproudé
- protiproudé
- křížové

s fluidním ložem

- stacionární fluidní vrstva
- cirkulující fluidní vrstva

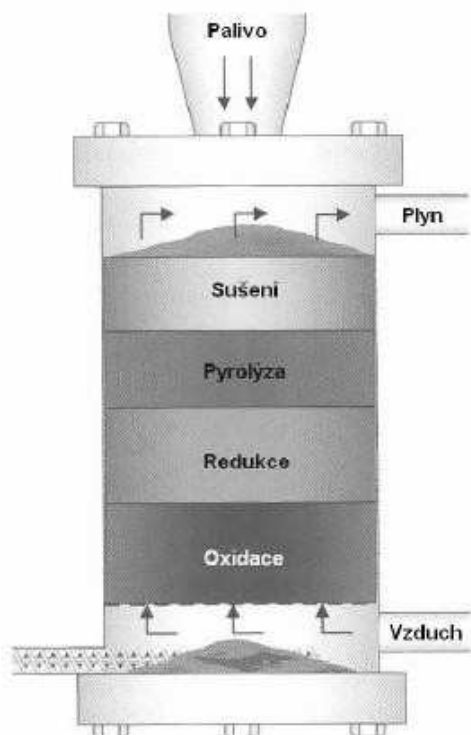
s unášivým proudem

3.2.3 Protiproudý zplyňovač

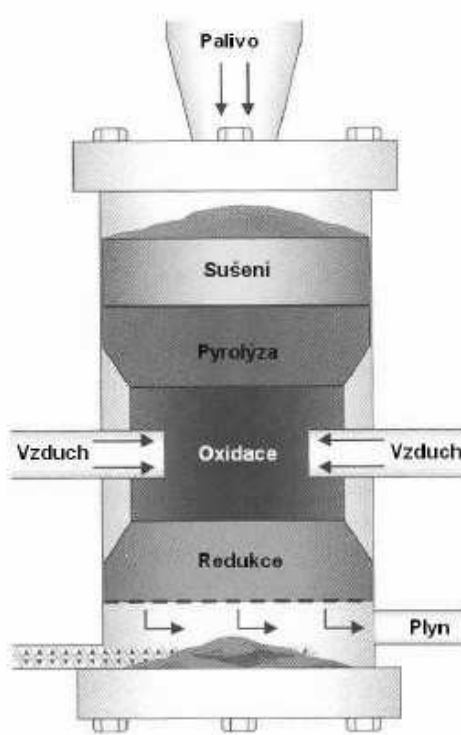
Protiproudý zplyňovač s pevným ložem je nejjednodušší typ zplyňovače. Reaktor má válcový tvar. Biomasa je do reaktoru dopravována ze shora a vlivem zplyňovacích procesů postupuje směrem dolů. Zplyňovací medium je přiváděno pod rošt. Vzniklý plyn je odváděn z vrcholu reaktoru. Plyn se pohybuje proti směru pohybu biomasy. Vzniklý plyn proudí přes nový materiál, který ohřívá a vysušuje, v protiproudém zplyňovači lze zplyňovat biomasu o velké vlhkosti (až 60% hm.). Plyn, který předá své teplo biomase v sušící zóně, má na výstupu relativně malou teplotu ($200\text{--}400^\circ\text{C}$). Nevýhodou je, že vzniklý plyn obsahuje velké množství dehtu. Před použitím plynu jako palivo pro spalovací motor nebo turbínu je nutné jej vyčistit. Při spalování v plynových kotlích se plyn čistit nemusí.

3.2.4 Souproudý zplyňovač

Biomasa i vzduch jsou přiváděny vrcholem reaktoru. U souproudého zplyňovače je redukční zóna pod oxidační. V místě oxidační zóny je reaktor zúžen. Pyrolýzní plyn musí projít přes zúženou oxidační a redukční zónu, kde se dehet vlivem vysokých teplot rozpadá na nižší uhlovodíky a dochází k jeho hoření. Plyn je odváděn dnem reaktoru. Výstupní plyn má nižší obsah dehtu a vyšší teplotu než plyn z protiproudého zplyňovače. Nevýhodou je, že plyn obsahuje velké množství částic, které unáší z oxidační zóny. Částice musí být zachyceny ve filtrech a odlučovačích.



Obr. 17 Protiproudý zplyňovač [7]



Obr. 16 Souproudý zplyňovač [7]

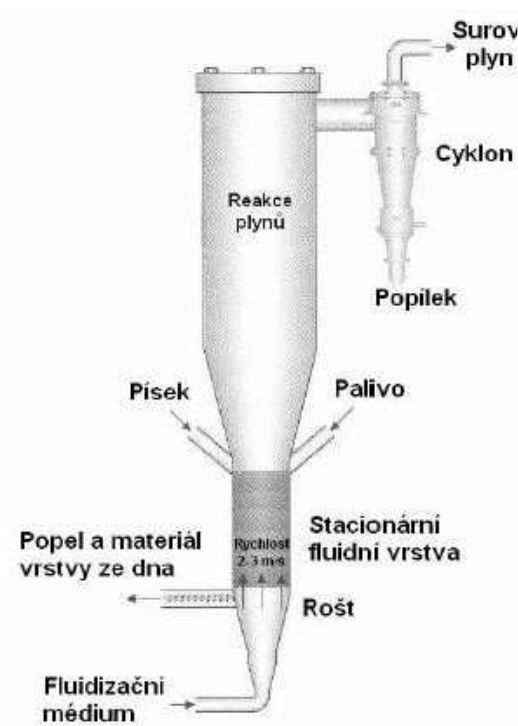
3.2.5 Fluidní zplyňovače

Reaktor má tvar válce s porézním dnem. V reaktoru je křemičitý písek. Biomasa je dodávána šnekovým dopravníkem. Zplyňovací médium, proudící přes porózní dno, uvádí biomasu spolu s pískem do vznosu. Fluidizovaná vrstva se chová podobně jako kapalina. Vlivem neustálého promíchávání částic, dochází k rovnoměrné distribuci tepla a tím ke zplyňování částic v celém objemu fluidní vrstvy. Reaktor nelze rozdělit na jednotlivé zóny zplyňování, všechny procesy probíhají zároveň.

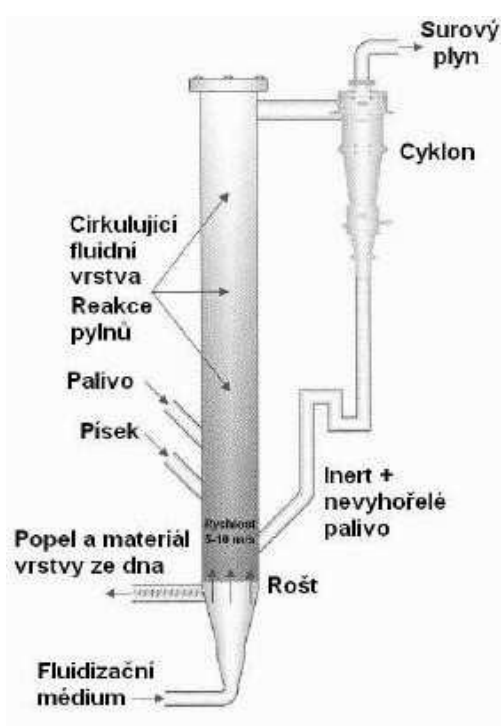
Zplyňovače se stacionární fluidní vrstvou mají zřetelnou hladinu. Vzniklý plyn je odváděn přes cyklonový odlučovač, který zachycuje popílek.

Fluidní zplyňovače s cirkulující fluidní vrstvou nemá zřetelnou hladinu. Fluidní vrstva vyplňuje celý prostor reaktoru. Unášené částice zachycené v cyklonu jsou opět přiváděny do reaktoru. Částice tak zůstávají delší dobu v reaktoru, čímž dochází k dokonalejšímu zplyňování.

Získaný plyn se používá jako palivo do upravených spalovacích motorů, plynových turbín a kotlů.



Obr. 19 Schéma zplyňovače se stacionární fluidní vrstvou [7]



Obr. 18 Schéma zplyňovače s cirkulující fluidní vrstvou[7]

3.3 Pyrolýza

Pyrolýza je termochemický proces, při kterém dochází k rozkladu pevné biomasy na pevnou, kapalnou a plynou část. Produkty pyrolýzy mají vyšší energetickou hustotu než původní biomasa.

Na rozdíl od zplyňování probíhá pyrolýza zcela bez přístupu oxidačních činitelů (vzduch, kyslík, oxid uhličitý nebo vodní pára).

Pyrolýzní proces začíná sušením biomasy při teplotě do 200°C, se zvyšující se teplotou dochází ke složitému štěpení řetězců organických látek a vznikají tuhé kapalně a plynné produkty pyrolýzy. Vlastnosti a podíl jednotlivých produktů pyrolýzy ovlivňuje zejména teplota, rychlost zahřátí, doba setrvání biomasy v reaktoru a z vlastností biomasy zejména vlhkost.

Pyrolýzou se získávají tuhé produkty (dřevěné uhlí) a kapalně produkty (pyrolýzní oleje). Pyrolýzní plyn, jakožto vedlejší produkt bývá využit k výrobě tepla pro pyrolýzní reakce. Pro přeměnu biomasy na plyn se spíše používá technologie zplyňování. Pyrolýzní plyn obsahuje především oxid uhličitý (CO_2), oxid uhelnatý (CO), vodík (H_2), metan (CH_4) a etan (C_2H_6). Poměr mezi jednotlivými produkty a jejich složení závisí především na rychlosti pyrolýzy a vlastnostech vstupního materiálu.

3.3.1 Rozdělení pyrolýzních procesů

Podle teploty můžeme pyrolýzu rozdělit na:

- nízkoteplotní (< 500°C)
- středněteplotní (500 až 800°C)
- vysokoteplotní (>800°C)

Podle rychlosti ohřevu na:

- pomalá pyrolýza
- rychlá pyrolýza

3.3.2 Pomalá pyrolýza

Pomalá pyrolýza známá jako karbonizace se používá k výrobě dřevěného uhlí. Výroba dřevěného uhlí v milířích je známá již stovky let. Dnes se dřevěné uhlí vyrábí v karbonizačních pecích nebo retortách

Na rozdíl od milířů zde nedochází k úniku kapalných a plyných produktů a tím znečišťování životního prostředí. V karbonizačních pecích je teplo, potřebné pro pyrolytické reakce získáváno spalováním části dřeva. Uhlíkaté sloučeniny vzniklé při nedokonalém spalování se vážou na dřevěné uhlí. Retorty jsou vytápěny zvenčí přes stěny reaktoru. Dřevěné uhlí z retort je chemicky čistější.

Proces začínám sušením při teplotě do 200°C. Se zvyšující se teplotou (200 až 500°C) nastává suchá destilace, v biomase dochází ke štěpení organických látek za vzniku plyných a kapalných produktů a tuhého uhlíku (dřevěné uhlí).

Pomalá pyrolýza je charakterizována pomalým ohříváním (<10°C/s), relativně nízkými teplotami (kolem 450°C) a dlouhou dobou setrvání biomasy v reaktoru (hodiny až několik dní).

Pomalou pyrolýzou získáme 80 až 85% tuhého uhlíku, 15 - 20% těkavých látek a 0-2% popela.

Vyrobené dřevěné uhlí tvoří asi 35% vstupní zcela suché biomasy. Mimo uhlí získáme pomalou pyrolýzou dřevný dehet, až 7% kyseliny octové a 1% metanolu.

3.3.3 Rychlá pyrolýza

Rychlá pyrolýza spočívá ve velmi rychlém ohřátí biomasy (min. 104°C/s) na teplotu 500 až 900°C a velmi krátkém čase (<1s) setrvání biomasy v reaktoru. Poté jsou produkty velmi rychle ochlazeny, aby nedocházelo k jejich dalšímu rozkladu na plyné produkty.

Hlavním produktem rychlé pyrolýzy je podle reakční teploty buď vysoký obsah kapalných produktů (až 70% hm.) při teplotě kolem 500°C nebo vysoký obsah plyných produktů (70 až 80% hm.) při teplotách 800 až 900°C.

Kapalné produkty jsou označovány jako pyrolýzní oleje. Pyrolýzní olej je tmavě hnědá, viskózní kapalina. Obvykle také obsahuje vodu a zbytky tuhých látek. Větší část vody se do oleje dostane z vlhkosti vstupní biomasy, menší část pak vzniká při pyrolýze. Při 10% vlhkosti vstupní suroviny obsahuje olej kolem 20% vody. Vlastnosti pyrolýzních olejů s porovnáním s naftou jsou uvedeny v Tab. 4.

Plyn obsahuje hlavně H_2 , CO , CO_2 , CH_4 . Podíl plyných produktů vzrůstá se zvyšující se teplotou pyrolýzních reakcí. Přehled složení pyrolýzních plynů je uveden v Tab. 5.

Tab. 4: Vlastnosti pyrolýzních olejů [7]

	BTG borovice	Ensyn	FENOS	Pomalá pyrolýza	nafta
Vlhkost (%)	18,6	26,4	25,6	14,6	0,7
pH	2,7	2,75	2,17	-	-
Hustota (kg/dm ³)	1,25	1,23	1,28	1,19	0,84
Složení (%)					
C	54,8	59,6	54,4	61,9	85,9
H	6,6	6	6,1	6	13,3
N	0,4	0,3	0,4	1,05	0,25
S	0,11	-	-	0,03	0,3
Popelovina	0,02	-	-	1,5	-
O	38,3	33,8	39,1	29,5	-
Výhřevnost MJ/kg	16,6	16,8	15	-	41,9
Viskozita (mm ² /s 40°C)	105,7	175,6	n.a	300	7,5

Tab. 5: Přehled složení pyrolýzních plynů [7]

Typ pyrolyzního procesu	Druh dřeva	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)
Ablativní ASTON	Borovice	38,5	47,7	8,5	0,1
Ablativní ASTON	Topol	46,2	43,1	4,6	3,4
Fluidní lože	Topol	57,8	26,2	8,4	5,9
CIRAD(pomalá)	Třtina	21,3	51,8	19,2	4,2
Tlaková	Třtina	50,5	24,2	14,3	2,5

3.4 Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace je biochemický proces, při kterém skupiny mikroorganismů rozkládají za nepřístupu vzduchu biologicky rozložitelnou organickou hmotu na bioplyn. Konečnými produkty anaerobní fermentace jsou bioplyn (CH_4 , CO_2 , H_2 , N_2 , H_2S) a stabilizovaný, hygienicky nezávadný fermentovaný digestát.

Přeměna biomasy na plyn a vyhnílý substrát probíhá ve 4 fázích: hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze. Jednotlivé fáze přeměny na sebe navazují. Mikroorganismy jedné fáze připravují substrát pro mikroorganismy následující fáze. Pro přeměnu biomasy na bioplyn je tedy nezbytný správný průběh všech fází přeměny.

Hydrolýza: Na začátku materiál ještě obsahuje vzdušný kyslík, hydrolýzní organismy ještě nevyžadují zcela bezkyslíkaté prostředí. V této fázi dochází pomocí enzymů k přeměně makromolekulárních rozpuštěných i nerozpuštěných látek (polysacharidů, proteinů, lipidů) na nízkomolekulární látky (monosacharidy, aminokyseliny, peptidy, mastné kyseliny, glycerin). Enzymy jsou produkovány fermentačními bakteriemi. Podmínkou pro průběh hydrolytických procesů je aspoň 50% vlhkost materiálu.

Acidogeneze: V této fázi dochází vlivem anaerobních mikroorganismů k vytvoření bezkyslíkatého prostředí. Produkty hydrolýzy jsou rozkládány na jednodušší organické látky (kyseliny, alkoholy, CO_2 , H_2). Fermentací těchto látek se tvoří řada konečných redukovaných produktů. V závislosti na vlastnostech materiálu a parciálním tlaku vodíku jsou produkovány: kyselina octová, CO_2 , H_2 nebo organické kyseliny (máselná, propionová, kapronová, valerová).

Acetogeneze: Acetogenní organismy přeměňují vyšší organické kyseliny (másečná, propionová, kapronová, valerová), alkoholy a některé aromatické uhlovodíky na kyselinu octovou, CO_2 , H_2 . V minoritním zastoupení jsou tu také organismy (sulfátreduktanty, nitrátreduktanty) produkující sulfán (H_2S) a dusík.

Metanogeneze: Je poslední fází anaerobní fermentace. Acetotrofní metanogenní bakterie rozkládají kyselinu octovou (CH_3COOH) na metan (CH_4) a oxid uhličitý (CO_2). Hydrogenotrofní metanogenní bakterie vyrábějí metan z vodíku a oxidu uhličitého. Hydrogenotrofní bakterie odstraňují z procesu vodík, kterým jsou nejvíce ovlivňovány acetotrofní organismy, pro jejich činnost musí být obsah vodíku co nejnižší. Metanogenní fáze probíhá 5 krát pomaleji než předešlé tři fáze.

Na proces anaerobní fermentace má vliv řada faktorů, jako jsou vlhkost a složení materiálu, kyselost (pH), teplota prostředí, bezkyslíkaté prostředí a další. V bioplynových stanicích tyto podmínky vytváříme a regulujeme záměrně, za účelem výroby bioplynu. Na řadě míst v přírodě však nastávají vhodné podmínky samovolně a dochází zde ke vzniku bioplynu, který, pokud není jímán, uniká volně do ovzduší. V přírodě vnikající plyny jsou např.:

- zemní plyn: vznikl v minulosti anaerobní fermentací z odumřelé biomasy. Radí se mezi fosilní paliva a tedy neobnovitelné zdroje energie.
- kalový plyn: vzniká na dně oceánů, moří, jezer, rybníků a jiných vodních nádrží (přírodních i umělých).
- skládkový plyn: vzniká rozkladem organického materiálu na skládkách komunálního odpadu.

Dalším místem vzniku bioplynu jsou např. zažívací trakty živočichů, zejména přežvýkavců.

3.4.1 Faktory ovlivňující anaerobní fermentaci

Teplota

Podle teploty můžeme fermentaci rozdělit na tři oblasti:

- psychofilní (pod $20^{\circ}C$)
- mezofilní ($25-40^{\circ}C$)
- termofilní (na $45^{\circ}C$)

Teplota ovlivňuje rychlost fermentačních procesů. Čím vyšší teplota, tím probíhají všechny reakce rychleji. Největšího rozkladu zpracovávaného materiálu tedy dosahují termofilní organismy. Se vzrůstající teplotou procesu také vzrůstá citlivost bakterií na výkyvy teploty. Bakterie v mezofilní oblasti zvládnou výkyv o 2 až $3^{\circ}C$, u termofilních bakterií by výkyv neměl přesáhnout $1^{\circ}C$. Vytápění fermentoru na vyšší teplotu je samozřejmě energeticky náročnější. V praxi reaktory pracují převážně v mezofilní a v menší míře termofilní oblasti.

Hodnota pH

Hodnota pH udává, zda je vodní roztok kyselý nebo zásaditý (alkalický). Neutrální roztok má hodnotu pH rovno 7. Roztoky s hodnotou pH 0-7 jsou kyseliny, čím menší číslo, tím silnější kyselina. Roztoky s hodnotou pH 7-14 jsou zásady, čím vyšší číslo, tím silnější zásada.

Hodnota pH má vliv na růst metanogenních bakterií. Během procesů se může hodnota pH měnit. Vstupní materiál by měl mít zhruba neutrální pH, v rozmezí 6,5-7,5. K problémům dochází při přetížení reaktoru, rychleji pracující organismy předmetalizační fáze přemění materiál na kyseliny, metanogenní organismy pracují pomaleji a nestíhají rozkládat kyseliny, ty se hromadí v reaktoru a způsobují pokles pH. V kyselém prostředí přestávají růst metanogenní organismy, což může vést až k úplnému zastavení fermentačních procesů. Proto je nutné hlídat množství mastných kyselin a v případě přetížení reaktoru zvýšit alkalickými činidly pH na neutrální hodnotu.

Přítomnost nutrientů

Mimo organické látky potřebují mikroorganismy ke svému životu a růstu dusíkaté sloučeniny, minerální látky a stopové prvky. Pro správný průběh biochemických procesů v reaktoru by měl být poměr mezi organickými látkami, dusíkem a fosforem, udávaný jako CHSK:N:P, v rozmezí 300:6,7:1 až 500:6,7:1. Další žádoucí mikronutrienty jsou Na, Ca, K, Fe, S, Mg, Se, W. V praxi se ukázalo, že prvky jako Mo, Co, Ni zvyšují metanogenní aktivitu.

Poměr C:N

Dalším parametrem ovlivňujícím vhodnost biomasy k anaerobní fermentaci je poměr uhlíkatých a dusíkatých látek v biomase. Poměr C:N by se měl pohybovat kolem 30:1. Zvýšený obsah dusíku se může projevit zvýšeným obsahem amoniaku a oxidů dusíku v plynu. Vhodného poměru se docílí mícháním fermentovaných materiálů, tzv. kofermentací. Při kofermentaci se např. míchají exkrementy hospodářských zvířat (obsahující velké množství dusíku) spolu s rostlinnou biomasou (obsahující velké množství uhlíku).

3.4.2 Biomasa vhodná k anaerobní fermentaci

Zpracovávaný materiál musí mít vysoký podíl biologicky rozložitelných látek. Anaerobní fermentací se zpracovává biomasa o vyšší vlhkosti. Materiál by měl být v tekutém stavu. *Optimální obsah sušiny pro zpracování pevných odpadů je 22 až 25 %, v případě tekutých odpadů 8 až 14 % [2].* Maximální obsah sušiny, při kterém ještě probíhá anaerobní fermentace je 50%.

Anaerobní fermentací se zpracovávají hlavně:

- odpady z živočišné výroby (hnůj, prasečí kejda)
- zbytky ze zemědělské výroby
- odpady z výroby a zpracování potravin
- organické komunální odpady
- kaly z čistíren odpadních vod
- odpady z jídelen a jatek
- cíleně pěstované rostliny: kukuřice, cukrová řepa, obilí, brambory
- speciálně pěstované energetické plodiny

3.4.3 Řízení a stabilita procesu

Průběh procesu můžeme řídit:

- teplotou: Měření i regulace teploty je dobře technicky zvládnuta.
- zatížením reaktoru: Dávkování materiálu tak, aby nedošlo k přetížení.
- dávkování chemikálií: Přidáváním do reaktoru nutrientů a látek na úpravu pH.

Stabilitu procesu lze kontrolovat řadou veličin:

V plynné fázi - množství produkovaného plynu a jeho složení

V kapalně fázi- pH

- koncentraci jednotlivých mastných kyselin
- celkovou koncentraci kyselin
- zásadovou a neutralizační kapacitu
- koncentraci amoniaku
- celkový organický uhlík
- koncentraci nutrientů

V pevné fázi - koncentraci suspendovaných látek a jejich organickou frakci
- koncentraci organického dusíku (často slouží jako měřítko množství biomasy)
- sedimentační a filtrační vlastnosti suspendovaných látek

3.4.4 Produkty anaerobní fermentace

Anaerobní fermentací vzniká bioplyn a zbytek fermentovaného substrátu tzv. digestát.

Bioplyn v některých případech není nutné čistit (v závislosti na jeho použití). Čistěním se v plynu snižuje vlhkost, obsah CO_2 , sulfanu H_2S a tuhých nečistot. Množství vyprodukovaného bioplynu závisí na vstupním materiálu a mnoha vlivech během procesu fermentace. Bioplyn vyrobený anaerobní fermentací v reaktorech obsahuje 50-75% metanu (CH_4), zbytek objemu je tvořen oxidem uhličitým CO_2 a mnoha dalšími minoritními plyny (H_2 , N_2 , H_2S). Minoritní plyny mají zanedbatelný význam na hodnotu spalného tepla bioplynu. Spalné teplo bioplynu závisí především na množství metanu v bioplynu. Spalné teplo metanu je $39,8 \text{ MJ/Nm}^3$. Spalné teplo bioplynu obsahujícího 60% metanu je zhruba $20\text{-}25 \text{ MJ/Nm}^3$. Využití plynu:

- výroba tepla spalováním plynu v kotli
- současná výroba tepla a elektrické energie, tzv. kogenerace
- dodávání plynu do plynárenské sítě (plyn musí být vyčištěn na téměř čistý metan)

Digestát

V případě mokré fermentace má digestát tekutou formu. Je možné jej odstředit, čímž se získá téměř čistá kapalina bez sušiny (fugát) a tuhý zbytek o obsahu sušiny kolem 30%. Digestát, je stabilizovaný hygienizovaný materiál, obsahuje vyšší podíl biologicky nerozložitelných látek a živin. Používá se jako hnojivo. Na rozdíl od statkových hnojiv obsahuje vyšší koncentraci dusíku, neobsahuje klíčící semena a vytváří menší zápach.

3.4.5 Anaerobní fermentační zařízení

Zařízení na výrobu bioplynu se obvyklé skládají z:

Přípravná nádrž: sloužící zároveň jako mezisklad. Přípravné nádrže bývají otevřené a začíná v nich první fáze procesu. V přípravné nádrži dochází k rozmělnění a míchání materiálů, pro tyto účely musí být nádrž vybavena řezačkou nebo mixérem. Z přípravné nádrže je substrát přečerpáván jednou až dvakrát denně do fermentační nádrže.

Fermentační nádrž: dochází v ní k samotné anaerobní fermentaci. Nádrž musí být uzavřená a plynotěsná, aby nedocházelo k úniku vyrobeného bioplynu. V nádrži je umístěno míchací zařízení, které několikrát denně míchá fermentovaný materiál, čímž zajišťuje:

- promíchání nového materiálu s vyhnílym a tím jeho naočkování
- rovnoměrnou teplotu v celém objemu nádrže
- zabraňuje tvorbě usazenin a plovoucích příkrovů

Nádrž musí být vybavena topným systémem, který ohřívá substrát na reakční teplotu a kryje tepelné ztráty. Pro snížení ztrát bývají stěny nádrže tepelně izolovány.

Skladovací nádrže slouží k uskladnění digestátu. Musí mít dostatečně velkou kapacitu k uskladnění digestátu i během období vegetačního klidu (5-6měsíců), kdy se materiál nevyužívá jako hnojivo. Skladovací nádrže bývají uzavřené, zabrání se tak ztrátám dusíku a je možno jímat dodatečně vzniklý plyn.

Podle způsobu dodávání materiálu můžeme bioplynové stanice rozdělit na :

Dávkovací způsob: Fermentor se naplní najednou. Po proběhnutí všech fází přeměny se fermentor vyprázdní, nechá se zhruba 5-10% vyhnílého substrátu k naočkování nového materiálu. Během fermentačních procesů se do fermentoru žádný materiál nedoplňuje, ani se z něj neodvádí. Nevýhodou jsou tepelné ztráty a zavzdušňování během vyprazdňování. Tento způsob se používá zvláště při suché fermentaci tuhého organického materiálu.

Střídání nádrží: K této metodě jsou zapotřebí dvě fermentační nádrže. Princip je stejný jako u dávkovacího způsobu. V době, kdy probíhá vyhnívací proces v první nádrži, se druhá nádrž vyprazdňuje a poté opět plní novým materiálem. Tato metoda zajišťuje rovnoměrnou výrobu plynu.

Výhodou je, stejně jako u dávkovacího způsobu, že během vyhnívacích procesů se nedodává nový substrát, díky čemuž má proces dobrý hygienizační účinek. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady. Během plnění může být prostor fermentoru vyplněn vyrobeným plynem.

Průtokový způsob: Většina bioplynových stanic pracuje tímto způsobem. U tohoto způsobu se materiál do reaktoru doplňuje plynule (několikrát denně), přičemž stejné množství fermentovaného digestátu odchází přepadem. Fermentor je stále naplněný, vyprazdňuje se jen při údržbě. Výhodou je maximální vytíženost fermentační nádrže. Nevýhodou je, že může docházet ke smíchávání nového substrátu s vyhnílym kalem, čímž se snižuje hygienizační účinek.



Obr. 20 Laboratorní fermentor K-1000 umístěný na Ústavu procesního a ekologického inženýrství na FSI VUT Brno [31]



Obr. 21 Topný had ve fermentoru K-1000 [31]

ZÁVĚR

Energetické využívání biomasy má velký význam zejména při zpracovávání zbytkových a odpadních materiálů. K tomuto účelů využíváme řadu technologií jako např. spalování, zplyňování, anaerobní digesce aj. Výhodou těchto technologií je, že ekologicky likvidují nebo stabilizují odpadní materiály, za vzniku např. tepelné energie nebo chemické energie vázané v bioplynu.

K energetickým účelům se rovněž využívají energetické plodiny, tj. biomasa speciálně vypěstovaná pro energetické účely. Výhodou tohoto pěstování je využití půdy nevhodné nebo nevyužitá k pěstování zemědělských plodin. Další výhodou je, že pěstování a zpracování energetických plodin vytváří nová pracovní místa.

Nevýhodou však je, že mechanizace používaná při pěstování, sklizni, zpracování a dopravě spotřebovává velké množství pohonných hmot. Z toho pohledu jsou na mechanizaci méně náročné víceleté rostliny a rychle rostoucí dřeviny.

Obecně je při pěstování energetických plodin potřeba zvolit vhodnou plodinu, vzhledem k půdně klimatickým podmínkám, a rovněž vhodnou agrotechniku k zajištění co největších výnosů rostlinné hmoty a tím i zisku.

Významný vliv na cenu paliva mají náklady na dopravu biomasy, resp. vzdálenost, na kterou je biomasa přepravována. Biomasa by měla být dostupná v blízkém okolí jejího zpracování a využití. Využití primární biomasy (sláma, štěpka) má spíše lokální charakter. Při dopravě na větší vzdálenosti by měla být zvýšena energetická hustota paliva, např. lisováním paliva (pelety, brikety) nebo přeměnou biomasy na sekundární nosič energie jako je např. bioplyn.

V současné době se rozvíjí energetické využívání biomasy jako náhrady za fosilní paliva. Se stále vzrůstající spotřebou energií však nelze předpokládat úplné nahrazení fosilních paliv biomasou. To ovšem neznamená, že bychom se neměli snažit nahrazovat fosilní paliva obnovitelnými zdroji energie a tedy i biomasou.

Literatura

- [1] BROŽEK, K. - ŠOUREK, B. *Alternativní zdroje energie*. Praha: ČVUT, Fakulta strojní, 2003. ISBN 80-01-02802-X.
- [2] PASTOREK, Z. – KÁRA, J. – JEVIČ, P. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC Public, 2004. ISBN 80-86534-06-5.
- [3] PETŘÍKOVÁ, V. *Energetické plodiny*. 1. vydání, Praha, Profi Press, 2006, ISBN 80-86726-13-4
- [4] OCHODEK, T. – KOLONIČNÝ, J. – JANÁSEK, P. *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy*. 1. vydání, Ostrava, VSB-TU Ostrava, 2006, ISBN 80-248-1207-X
- [5] MALAŤÁK, J. - JEVIČ, P. *Přehled pyrolýzních technologií pro zpracování biomasy*. Dostupné z: <http://odpady.tf.czu.cz/p/pz.pdf> [cit. 2010-04-16]
- [6] PETŘÍKOVÁ, V. *Rostliny pro energetické účely*. Biom.cz [online]. Dostupné z: <http://www.czbiom.cz/data/Upload/PDF/Rostliny%20pro%20energeticke%20ucely.pdf> [cit. 2010-03-30]
- [7] OCHOTEK, T. – KDONIČNÝ, J. - BRANC, M. *Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy*. Ostrava: VŠB-TU, 2007. I. vydání, ISBN 987-80-248-1416-1
- [8] SKOBLIA, S. - KOUTSKÝ, B. - MALECHA, J. - VOSECKÝ, M. *Výroba energie z biomasy a odpadu: Perspektivy zplyňování a produkce čistého plynu*. Dostupné z: <http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa/Skoblia.pdf>. [cit. 2010-04-15]
- [9] ŠIROKÁ, M. *Konopí seté – energetická a průmyslová plodina třetího tisíciletí*. Biom.cz [online]. 2009-01-26 [cit. 2010-04-01]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/konopi-sete-energiticka-a-prumyslova-plodina-tretiho-tisicileti>. ISSN: 1801-2655.
- [10] DITTRICH, M. *Popis technologie Biofluid, Ateko a.s.*. Biom.cz [online]. 2002-05-03 [cit. 2010-03-03]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/popis-technologie-biofluid-ateko-a-s>. ISSN: 1801-2655.
- [11] Skleníkový efekt [online]. Dostupné z: <http://www.jitrnizeme.cz/view.php?nazevclanku=sklenikovy-efekt-neprijemne-pravdy&cislocclanku=2007101548> [cit. 2010-04-10].
- [12] PETŘÍKOVÁ, V. *Nejnovější zkušenosti s pěstováním energetického šřovíku - Uteuša*. Biom.cz [online]. 2003-12-17 [cit. 2010-04-26]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nejnovejsi-zkusenosti-s-pestovanim-energetickeho-stoviku-uteusa> . ISSN: 1801-2655.
- [13] DOHÁNYOS, M. *Anaerobní reaktor není černou skříňkou - teoretické základy anaerobní fermentace*. Biom.cz [online]. 2008-11-17 [cit. 2010-04-19]. Dostupné z:

<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>. ISSN: 1801-2655

[14] PŮLKŘÁBEK, J. *Speciální fytotechnika*. Dostupné z: http://etext.czu.cz/php/skripta/skriptum.php?titul_key=4 [cit. 2010-04-19].

[15] ŠIROKÁ, M. *Konopí seté – energetická a průmyslová plodina třetího tisíciletí*. Biom.cz [online]. 2009-01-26 [cit. 2010-04-19]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/konopi-sete-energiticka-a-prumyslova-plodina-tretiho-tisicileti>. ISSN: 1801-2655.

[16] SLADKÝ, V. *Křídlatka - perspektivní energetická plodina*. Biom.cz [online]. Dostupné z: <http://stary.biom.cz/biom/6/sladky.html> [cit. 2010-04-20].

[17] POHOŘELÝ, M. - JEREMIÁŠ, M. - KOČICA, J. *Těžké topné oleje: spalné teplo, výhřevnost, popel, síra*. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/ktt/studium/predmety/lap/03-tto.pdf> [cit. 2010-04-27].

[18] PETŘÍKOVÁ, V. *Biomasa pro vytápění budov*. Biom.cz [online]. 2008-12-17 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-vytapeni-budov>. ISSN: 1801-2655.

[19] STRAŠIL, Z. - ŠIMON, J. *Stav a možnosti využití rostlinné biomasy v energetice ČR*. Biom.cz [online]. 2009-04-20 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/stav-a-moznosti-vyuziti-rostlinne-biomasy-v-energetice-cr>. ISSN: 1801-2655.

[20] Jak využít fermentační zbytek? [online]. Dostupné z: http://bioplyn.cz/vyuziti_fermentacniho_zbytku [cit. 2010-05-03].

[21] Energie biomasy [online]. Dostupné z: <http://www.i-ekis.cz/?page=biomasa> [cit. 2010-05-04].

[22] Skleníkový efekt [online]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Sklenikovy_efekt [cit. 2010-05-04].

[23] Stanovení spalného tepla a výpočet výhřevnosti materiálu podle ČSN 44 1352, ČSN EN ISO 1716 [online]. Dostupné z: http://prometheus.vsb.cz/materialy/NM/pdf/spalene_teplo.pdf [cit. 2010-05-04].

[24] Sléz krmný [online]. Dostupné z: <http://www.vupt.cz/slez-krmny> [cit. 2010-05-010].

[25] STAF, M. - BURYAN, P. *Aplikace metod termické analýzy ve výzkumu pyrolýzy biomasy*. Biom.cz [online]. 2005-01-20 [cit. 2010-05-11]. Dostupné z: <http://biom.cz/czt-Soci%C3%A1ln%C3%AD%20oblast/odborne-clanky/aplikace-metod-termicke-analyzy-ve-vyzkumu-pyrolyzy-biomasy>. ISSN: 1801-2655.

- [26] CARTHAMUS TINCTORIUS L. - světlice barvířská [online]. Dostupné z: <http://botany.cz/cs/carthamus-tinctorius/> [cit. 2010-05-12].
- [27] Miscanthus: energetický zázrak? [online]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/vytapeni-1/miscanthus-energeticky-zazrak-proc-mame-topit-biomasou.aspx> [cit. 2010-05-12].
- [28] Čirok [online]. Dostupné z: <http://www.biofuelsrevolution.com/images/grass-stains/Sweet-Sorghum-Field.jpg> [cit. 2010-05-12].
- [29] Historie projektu [online]. Dostupné z : <http://www.biomasa-info.cz/cs/historie.htm> [cit. 2010-05-12].
- [30] Tabulka obilí seřazena podle výhřevnosti [online]. Dostupné z: <http://www.infoenergie.cz/web/root/energy.php?nav01=121&nav02=344> [cit. 2010-05-12].
- [31] BEŇO, Z. *Anaerobní fermentace biodegradabilních materiálů: Pojednání ke státní doktorské zkoušce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství, 2010. 33 s. Školitel doc. Ing. Jaroslav Jícha, CSc.
- [32] Spalné teplo [online]. Dostupné z : http://cs.wikipedia.org/wiki/Spalné_teplo [cit. 2010-05-12].

Seznam obrázků

- Obr. 1 Sléz přeslenitý
Obr. 2 Světlice barvířská
Obr. 3 Laskavec při sklizni
Obr. 4 Čirok
Obr. 5 Konopí v době plné zralosti semen
Obr. 6 Ozdobnice čínská
Obr. 7 Šťovík Uteuša
Obr. 8 Křídlatka japonská po odkvětu
Obr. 9 Kotel na spalování polen
Obr. 10 Pevný rošt kotle o výkonu 35kW
Obr. 11 Princip posuvného roštu
Obr. 12 Spalování paliva na pásovém roštu
Obr. 13 Spalování se spodním přívodem paliva
Obr. 14 Schéma kotle s hořákem a se zásobníkem
Obr. 15 Přejít do fluidizace
Obr. 16 Souproutý zplyňovač
Obr. 17 Protiproutý zplyňovač
Obr. 18 Schéma zplyňovače s cirkulující fluidní vrstvou
Obr. 19 Schéma zplyňovače se stacionární fluidní vrstvou
Obr. 20 Laboratorní fermentor K-1000 umístěný na Ústavu procesního a ekologického inženýrství na FSI VUT Brno
Obr. 21 Topný had ve fermentoru K-1000