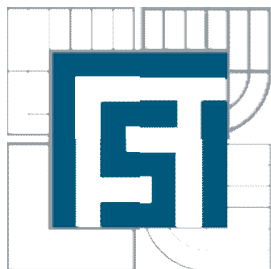


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

TECHNOLOGIE PRO ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY

TECHNOLOGIES FOR ENERGY USE OF BIOMASS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADEK ZÁVIŠKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ MOSKALÍK

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Radek Závaška

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:

Technologie pro energetické využití biomasy

v anglické jazyce

Technologies for energy use of biomass

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student zmapuje možnosti využití biomasy pro energetické účely.

Cíle bakalářské práce:

1/ Rešerše

Seznam odborné literatury:

Jandačka, J., Miklík, M.: Technologie pro zvyšování energetického potenciálu biomasy

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Moskalík

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně dne

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je vypracování rešerše technologií energetického využití biomasy. V úvodní části se práce zabývá definováním biomasy a způsoby jejího produkování včetně strojů určených k produkci a přepravě. Hlavní část bakalářské práce se zabývá technologiemi přeměny surové biomasy na produkty energeticky hodnotnější. Zpracování probíhá přímým způsobem na tepelnou a elektrickou energii nebo nepřímým způsobem se biomasa zhodnocuje na produkty vyšší kvality, jež dále zpracovávají navazující provozy. Z nepřímých procesů vznikají hodnotné energetické výstupy využitelné v dopravě, domech, zemědělství a mnoha dalších odvětvích.

ABSTRAKT

The objective of this work is developing retrieval technology of biomass energy. In the introductory part of the work deals with the definition of biomass, including ways of producing machines for the production and transportation. The main part of the thesis deals with the technology converts raw biomass into valuable energy products. Processing takes place in a straightforward manner the thermal and electrical energy or biomass is indirectly evaluates the products of higher quality, which further downstream processing operations. The indirect processes occur valuable usable energy output in transport, buildings, agriculture and many other industries

KLÍČOVÁ SLOVA

energetické využití, biomasa, spalování, zplyňování, digesce, pyrolýza, fermentace, biopaliva

KEYWORDS

energy use, biomass, combustion, gasification, digestion, pyrolysis, fermentation, biofuels

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZÁVIŠKA, R. *Technologie pro energetické využití biomasy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Moskalík.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODU

Svým podpisem prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s pomocí zdrojů uvedených v seznamu použité literatury.

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Moskalíkovi za připomínky, dobré rady a čas strávený při tvorbě bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své přítelkyni a rodině za technickou a psychickou podporu.

OBSAH

Úvod.....	12
1. Typy biomasy a způsoby jejího získávání.....	13
1.1. Definice biomasy.....	13
1.2. Základní rozdělení biomasy	13
1.2.1. Dle původu	13
1.2.2. Dle technologie energetického využití.....	14
1.3. Potenciál biomasy v ČR.....	15
2. Způsoby zpracování biomasy před energetickým využitím.....	17
2.1. Sazení a setí.....	17
2.2. Sklizení.....	17
2.2.1. Žací mlátičky	18
2.2.2. Sklízecí rezačky	18
2.2.3. Rotační sekačky	18
2.2.4. Lisy na slámu.....	18
2.3. Kácení.....	19
2.3.1. Křovinořezy	19
2.3.2. Motorové pily	19
2.3.3. Sklízeče rychle rostoucích dřevin	19
2.3.4. Harvestory	19
2.3.5. Paketovací lisy.....	19
2.4. Sušení	20
2.5. Štěpkovače	20
2.5.1. Diskové štěpkovače	20
2.5.2. Bubnové štěpkovače	21
2.5.3. Šroubové štěpkovače	21
2.5.4. Drtiče.....	21
2.6. Řezací a stříhací nástroje.....	21
2.6.1. Štípací zařízení	22
3. Spalování.....	23
3.1. Popis spalovacího procesu	23
3.2. Vlastnosti ovlivňující proces spalování.....	23
3.3. Technologie spalování.....	24
3.3.1. Spalování na roštu.....	24
3.3.2. Spalování ve fluidní vrstvě	24
3.3.3. Spalování se spodním přívodem paliva	25
4. Pyrolýza.....	26
5. Zplyňování	27
5.1. Čištění generátorového plynu.....	27
5.2. Výhody zplyňování	28
5.3. Zplyňovací zařízení	28
5.3.1. Souprůdý zplyňovač.....	28
5.3.2. Protiproudý zplyňovač	29
5.3.3. Zplyňovač s křížovým tokem.....	29
5.3.4. Zplyňovač se stacionární bublající fluidní vrstvou	29
5.3.5. Zplyňovač s cirkulující fluidní vrstvou	29
5.3.6. Tlakový fluidní zplyňovač	29
5.3.7. Práškový zplyňovač	29
6. Anaerobní digesce	30
6.1. Princip anaerobní digesce.....	30
6.2. Vlastnosti ovlivňující proces.....	30

6.3. Základní typy zařízení BPS	32
6.3.1. Dávkový způsob	32
6.3.2. Strídání nadrží	33
6.3.3. Průtokový způsob	33
6.3.4. Metoda se zásobníkem	33
6.3.5. Průtoková metoda se zásobníkem	33
6.4. Vícestupňový proces	33
6.5. Konstrukce fermentorů	33
6.5.1. Horizontální fermentor	34
6.5.2. Vertikální fermentor	34
7. Aerobní digesce	35
7.1. Princip aerobní digesce	35
7.1.1. Pomalé zrání	36
7.1.2. Kompostování horkou cestou	36
8. Produkce alkoholu	37
8.1. Alkoholové kvašení	37
8.2. Lihovarská technologie	37
8.2.1. Technologie ze škrobnatých surovin	37
8.2.2. Technologie ze surovin obsahujících sacharosu	38
8.3. Destilace, rektifikace a rafinace bioethanolu	38
9. Esterifikace bioolejů	39
10. Využití energetických výstupů z procesů	41
10.1. Výroba tepla a elektrické energie	41
10.2. Princip ORC	41
10.3. Princip RC	41
10.4. Porovnání RC a ORC	42
11. Závěr	43
12. Seznam použité literatury	44
13. Seznam použitých obrázků	46

Úvod

Vývoj lidstva se nedá zastavit. K tomu, aby lidé mohli cokoliv vyrobit či vyvinout, je potřebná energie, kterou je nutné dodat. Fosilní paliva, jež v minulých stoletích byly brány za suroviny nevyčerpatelné, se dnes postupně dostávají na pokraj vyčerpání zásob. Ze zmíněného důvodu je nezbytné zabývat se výrobou paliv pomocí OZE. Možností využití obnovitelných zdrojů se v poslední letech věnuje stále větší počet lidí a postupně ukazují cesty, jakým způsobem se dají využít OZE a nahradit potřebu po fosilních palivech. I přes všechnu snahu vyvíjenou v posledních letech je stále primárním zdrojem energie uhlí, ropa a zemní plyn. Mezi obnovitelné zdroje energie řadíme solární systémy, větrné elektrárny, vodní díla a v neposlední řadě i biomasu. Využitím celosvětového potenciálu biomasy se dle názorů odborníků dá nahradit spotřeba fosilních paliv. Dnes je tímto způsobem i v nejvyspělejších zemích nahrazeno jen okolo 15 [%] spotřeby paliva. Z hlediska fungování států je vhodné mít i vlastní zdroje paliva a nespoléhat se pouze na dovoz paliv plynovody či ropovody. Ekologické hledisko je též velmi významné. Při těžbě a energetické přeměně fosilních paliv vznikají nezvratné zásahy do krajiny a ekosystému. Zároveň produkují oxid uhličitý a další velmi nebezpečné látky, které bývají často spojovány s různými chorobami a globálním oteplováním. Dle mého názoru se těmto negativním jevům dá zabránit racionálním využitím obnovitelných zdrojů a jaderné energie, která pokud je vyráběna na vhodných místech, nic neohrožuje a produkuje jen minimální odpad přepočtený na jednotku výkonu. Avšak paradoxně ekologové podpořeni katastrofami ve Fukušimě a Černobylu nejvíce proti jaderné energetice protestují. Velkou výhodou biomasy při své přeměně je nulová bilance CO₂. Oxid uhličitý vyprodukovaný během energetického využití je spotřebován během růstu biomasy. Možnosti využití v zemích třetího světa je velmi vhodnou cestou k udržitelnému rozvoji v těchto státech. V mnoha státech jsou výpadky nebo nedostupnost centrální sítě elektrické energie na denním pořádku, proto energie produkovaná biomasou může být do budoucna nejen zde, ale i po celém světě velmi vhodně aplikovatelná.

1. Typy biomasy a způsoby jejího získávání

1.1. Definice biomasy

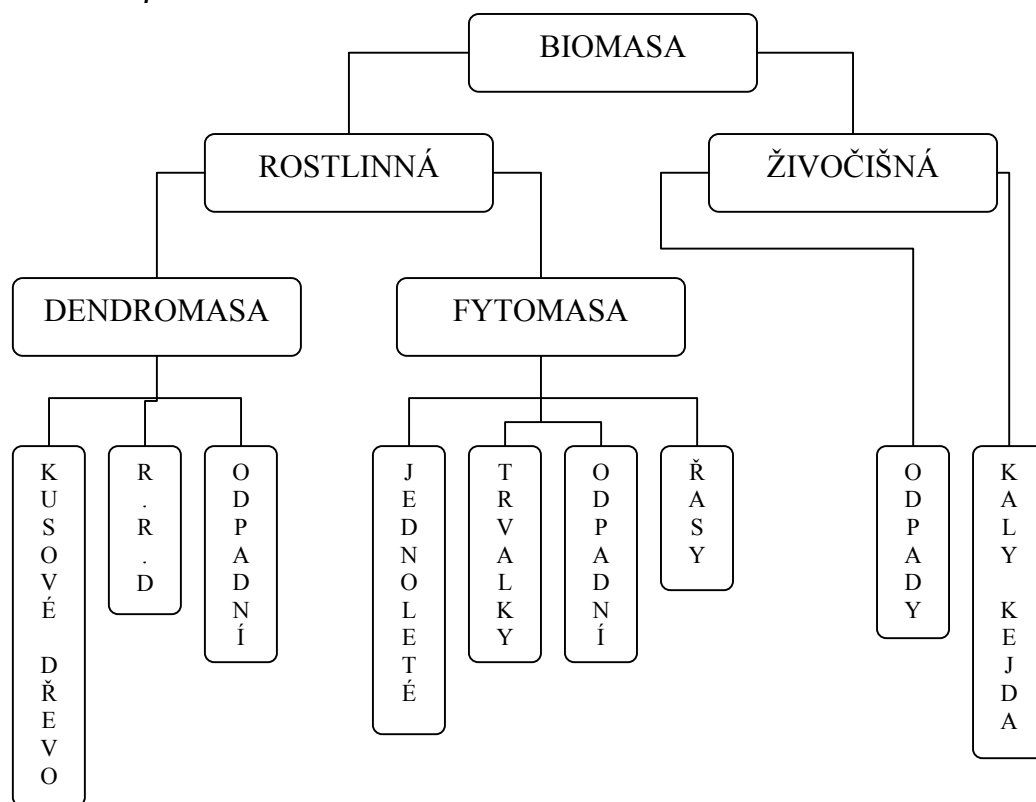
Dle evropské směrnice se „biomasou“ rozumí biologicky rozložitelná část výrobků, odpadů a zbytků ze zemědělství (včetně rostlinných a živočišných látek), lesnictví a souvisejících průmyslových odvětví, a rovněž biologicky rozložitelná část průmyslového a komunálního odpadu. [1]

Biomasa rozumíme všechny produkty živé hmoty. Jedná se zejména o hlavní či vedlejší produkt fotosyntézy, která má za následek růst dendromasy i fytomasy a umožňuje dýchání živočichů. Obě zároveň platí za základní kameny potravního řetězce, a proto způsobují růst živočichů, kteří jsou též významnými producenty biomasy. Za biomasu lze tímto považovat vše organického původu vzniklého za dobu maximálně v stovkách let. Například ropa, uhlí a zemní plyn se za biomasu nepovažuje.

1.2. Základní rozdělení biomasy

Biomasa dělíme dle mnoha kritérií (např. výhřevnosti, způsobem zpracování, druhu získané energie, obsahem plynných látek, vlhkosti apod.). Ve své práci se zabývám především rozdělením dle technologie získávání energie, zpracování a získávání polotovaru.

1.2.1. Dle původu



Obr. 1.1 Diagram energeticky využitelné biomasy

Rychle rostoucí dřeviny (rrd) jsou energetické plodiny mající největší příbytek materiálu během obměny doby 6 až 12 let dle vysázeného druhu dřeviny (topol, vrba, akát, olše, osika, bříza). Výnosy jsou ovlivněny stanovištěm, množstvím půdní vody, kvalitou ošetřování apod. V ČR je vhodné uvažovat s výnosy sušiny 7-12 [t/ha] a s pěstováním na polích ležících ladem. Odpadní dendromasa je produktem průmyslové výroby, zbytků po těžbě a procesů spojených s údržbou krajiny. Za zástupce skupiny považujeme kůru, piliny, větve dále přímo

energeticky využity či zpracované na pelety, brikety a štěpku. Jednoleté energetické plodiny patří do tří podskupin. Olejnaté plodiny využívané pro výrobu oleje esterifikací jako řepka, slunečnice, len. Druhá skupina tvořená škrobnatými a cukernatými plodinami jako jsou brambory, cukrová řepa obiloviny vhodná především k alkoholové fermentaci. Třetí skupina obsahuje plodiny lignocelulóзовé slámy, obilniny, hyso, čirok, konopí určené hlavně ke spalování v kotlích. U víceletých energetických plodin převažují lignocelulóзовé, mající vyšší hektarové výnosy. Nejvýnosnější je šťovík krmný 43 [t/ha] a křídlatky 37,5 [t/ha] dále sléz topolovka, smoloroň, bělotrn, pajasan žláznatý, miscantus a chrastice rákosovitá. Do odpadní fytomasy řadíme slámy, přebytky sena a zbytky potravinářské výroby (odpady z vinic, pecky atd.) [2]

1.2.2. Dle technologie energetického využití

Zde uvádím tab. [1.2] energetického využití, která je základním vodítkem pro text dále. Jedná se o technologie nejběžněji v praxi využívané.

Typ přeměny biomasy	Způsob přeměny biomasy	Energetický výstup	Druhotná surovina, odpad
Suché procesy (termomechanické procesy)	Spalování	Teplo vázané na nosič	Popeloviny
	Zplyňování	Generátorový plyn	Dehtový olej, uhlíkaté palivo
	Pyrolýza	Generátorový plyn, dřevěné uhlí	Dehtový olej, pevné hořlavé zbytky
Mokrý procesy (biochemické procesy)	Anaerobní digesce	Bioplyn	Fermentovaný substrát
	Aerobní digesce	Teplo vázané na nosič	Fermentovaný substrát
	Alkoholová fermentace	Alkohol	Výpalky
Fyzikálně-chemické procesy	Esterifikace bioolejů	Metylester biooleje	Glycerin

Tab. 1.2 Energetické využití biomasy [2]

Důležité při výběru procesu energetického využití je i vhodnost procesu v závislosti na druhu zpracovávané biomasy. Uvedená tab.[1.3] naznačuje jakým základním směrem se vydat při hledání.

Druh biomasy	Suché procesy			Mokré procesy			Ostatní procesy	
	Spalování	Zplyňování	Pyrolýza	Alkoholová fermentace	Aerobní digestce	Anaerobní digestce	Esterifikace bioolejů	Odpadní technologické teplo
Energetické plodiny lignocelulózové	3	1	1	1	2	2		1
Olejnate plodiny	2					2	3	
Plodiny škrobnaté a cukernaté	1	1	1	3		1		
Odpady živočišné výroby	1	1	1		2	3		2
Organický podíl komunálních odpadů	3	2	2		1	3		1
Organický odpad z průmyslové či potravinářské výroby	1			2	2	3		1
Odpady z dřevařských provozoven	3	2	2					
Odpady z lesního hospodářství	3	2	2		1	2		1
Rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a péče o krajinu	3	1	1		1	2		1

Tab.1.3 Vhodnost využití technologií.[2]

1. technicky zvládnutá technologie v praxi pro špatnou rentabilitu nevhodná
2. technologie vhodná pouze za určitých technicko-ekonomických podmínek
3. v praxi technologie běžně užívaná

1.3.Potenciál biomasy v ČR

O potenciálu biomasy v ČR lze říci, že dle studií Ministerstva průmyslu a obchodu ČR, Ministerstva životního prostředí ČR a společností Aebiom se má stav využití potenciálu z roku 2006 do roku 2020 zdvojit až zčtyřnásobit. Tato přehledová tabulka nám dává jen

částečný pohled na vývoj využití biomasy, protože nezahrnuje předpokládaný rozvoj odpadní biomasy, kalů apod., které nebyly do studie zahrnuty. [3]

Druh biomasy	Výhřevnost [MJ/kg (m^3)]	Stav 2006 [10^3 t] [PJ]		MPO		MŽP				AEBIOM	
				Potenciál 2020		Potenciál 2020		Upravený potenciál 2020		Potenciál 2020	
				[10^3 t]	[PJ]	[10^3 t]	[PJ]	[10^3 t]	[PJ]	[10^3 t]	[PJ]
Zbytková biomasa		1132	10,6	1132	10,6		41,5		28,4		33,5
Lesní biomasa	12					2042	24,5	1392	16,7	1542	18,5
Bioplyn	22					773	17	530	11,7	682	15
Rostlinná biomasa		84	1,2	100	1,4	2700	37,8	1380	19,3	1786	25
Sláma olejnin	14					1200	16,8	630	8,8	714	10
Sláma obilnin	14					1500	21	750	10,5	1071	15
Celulózové výluhy	8	1068	8,5	1068	8,5	1068	8,5	1068	8,5	1813	14,5
Zemědělská biomasa účelově pěstovaná		14	0,2	3000	51		67		62,8		64,4
Energeticky využitelná	18					3000	54	3000	54	3022	54,4
Bioplyn	22					590	13	400	8,8	455	10
Palivové dřevo	12	3141	28,3	3141	28,3	4680	56,2	4317	51,8	4250	51
Celkem		5439	48,8	8441	99,8	17553	211	13467	170,8	15335	188,4

Tab. 1.1 Porovnání výsledků studií o využití biomasy pro energetické účely v roce 2020 [3]

2.Způsoby zpracování biomasy před energetickým využitím

V dnešní době se již nedají zanedbávat energetické ani ekonomické aspekty při návrhu a realizaci projektů a je třeba klást důraz na jejich racionalizaci. V drtivé většině případů potřebujeme mechanizaci (traktory, kombajny, sekačky, drtiče, dopravníky apod.) objekty (sušárny, kotelny, sklady, pole apod.) a obsluhu k těmto prostředkům. Právě popisem přípravy z prvotní surové biomasy na biomasu připravenou k energetickému využití se zabývá tato kapitola.

2.1.Sázení a setí

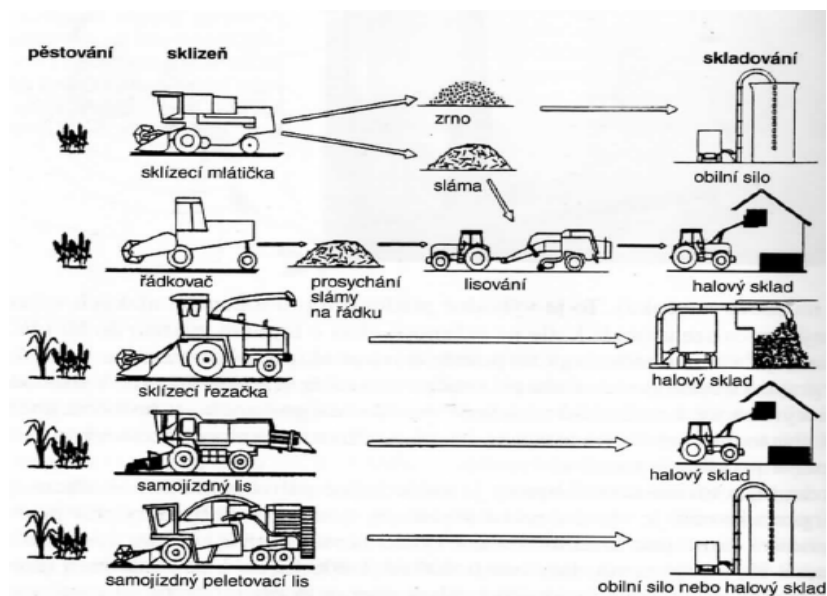
K neodmyslitelné, avšak opomíjené operaci patří výsadba energetických plodin. Naprosto základní technologií, která se využívá již od starověku, je ruční sázení. Ručně se již ve vyspělých státech sází hlavně stromy i rrd a trend je v nahrazování této dosti vyčerpávající práce vhodnou částečnou či úplnou mechanizací. K pěstování na polích patří secí stroje dělené na mechanické, pneumatické a přesné, které se používají k setí většiny druhů fytomasy i rrd.



Obr. 2.1 Zleva ruční výsadba r.r.d, poloautomatická výsadba rrd

2.2.Sklízení

Sklízení fytomasy se provádí žacími mlátičkami neboli kombajny, sklízecí řezačkou, samojízdnými lisy (hrnaté, kulaté balíky) a rotační sekačkou (bubnovou, diskovou). Odvoz biomasy z pole zajišťují traktory s vlečkou či nákladní automobily. Výběr vhodné technologie sklízení závisí na konkrétní pěstované plodině a lokálních přírodních podmínkách. Pro účely domácích kotlů mohou být využity i křovinořezy, kosy apod.



Obr. 2.2 Systémy sklizení fytomasy

2.2.1. Žací mlátičky

Slouží k oddělení zrn, sklízají se jimi obilniny, luštěniny a olejnaté rostliny. Materiál prochází přes sklízecí ústrojí do mláticího a separačního ústrojí. Po vymláčení se zrno čistí a případně domlacuje. Poté pokračuje do zásobníku v zadní části.

2.2.2. Sklízecí řezačky

Pro sklizeň řezanky jsou vyvinuty řezačky. Fungují tak, že rostlinu podřízne a rozřeže na kousky o velikosti od 4 až 80 [mm]. Nejčastěji se využívá bubnových řezacích ústrojí. Podávací ústrojí je chráněno před vniknutím cizích těles a pomocí metacího zařízení vrhá řezanku na doprovodné vozidlo.

2.2.3. Rotační sekačky

Sekačky fungují podobně jako řezačky, akorát materiál rovnou nesbírají, ale nechávají jej na poli proschnout. Většinou se tímto způsobem sklízí seno. Sekáček máme více typů bubnových nebo diskových a čelních nebo zadních.



Obr. 2.3 Zleva žací mlátička, sklízecí řezačka a zadní disková sekačka

2.2.4. Lisy na slámu

Svinovací lisy se využívají především ke sběru materiálu z polí hlavně sena a slámy. Rozlišují se dva základní typy lisů. Dle tvaru slisovaného balíku na lisy s kulatými a hranatými balíky. Pro skladování a prostorovou náročnost jsou výhodnější hranaté balíky. Avšak kvůli své menší energetické náročnosti při lisování se v praxi více využívají válcové. Lisy na válcové balíky mají komoru s proměnným objemem a tlaky se v lisu pohybují od 6 do 18 [MPa].

Komoru obvykle tvoří 6 až 13 formovacích válců, které svazují materiál do provázku popřípadě sítě. Lisy na hranaté balíky mají jiný princip. Obsahují řezací ústrojí čítající okolo 20 nožů a lis s pístem, který má okolo 35 zdvihů za minutu [2]

2.3.Kácení

Na kácení dendromasy se používá mechanizace především podle rozsahu práce. Od motorových pil a křovinořezů po těžbu dřeva v průmyslovém měřítku harvestory a speciálním strojům sklízecích rrd.

2.3.1. Křovinořezy

Na zastříhávání trávníků v parcích či při úpravě křoví a další činnosti spojené s úpravou zeleně v blízkosti sídel se křovinořezy používají nejčastěji.

2.3.2. Motorové pily

Vhodný pomocník na všechny druhy dendromasy slouží jak k dělení již pokáceného dříví, tak k přímo ke kácení. Jsou v praxi velmi rozšířené pro svou schopnost mobility a nákladech spojených s pořízením a údržbou. Za základní dělení je na pily s elektrickým či benzinovým motorem. Elektrické pily se používají především na dělení dříví a benzinové na práci všeho druhu.

2.3.3. Sklízeče rychle rostoucích dřevin

Jsou buď speciální představec na kombajn či traktor nebo celé speciální stroje určené výhradně na sklizeň rrd. Sklizeň probíhá buď se samosběrem, kdy při řezání dochází rovnou k nakládání na vlečku či kamion. Další možností je pouze ruční pokácení s následným ručním sběrem. Ekonomicky výhodnější je zvládnout technologii se samosběrem.

2.3.4. Harvestory

Mezi hlavní výhody harvestorů patří jejich rychlost při kácení a možnost prvotní úpravy dřeva před naložením. Avšak k jejich častějšímu nasazování v ČR bude časem bránit hranice cca 50 [%] všeho zpracovatelného dřeva v ČR, protože zbývající polovina je těžena v oblastech, kde není možné se s harvestory bezpečně dostat.[5]



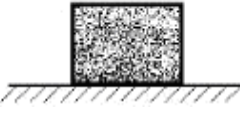
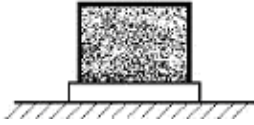


Obr. 2.4 Zleva adaptér New Holland pro sklizeň rrd, Harvestor při práci v lese

2.3.5. Paketovací lisy

Využívají se na zpracování dřevního odpadu. Lisy fungují velmi podobně jako lisy na slámu. K lisování ovšem využívají vyšší tlaky nutné ke stlačení větví. Pakety vyrobené těmito lisy se spalují v kotlích větších výkonů, aby je bylo možné vložit do kotle nebo jsou dále před spálením rozštěpkovány pro kotle menších výkonů. Pakety mají jako u slámy hranatou a kulatou formu o velikosti vhodné k přepravě na europaletách.

2.4. Sušení

Vliv vlhkosti na výhřevnost je významný. K sušení biomasy se využívá primárního vysušení. Například mezi posečením a sklizní přímo na poli u sena. Pochopitelně všechna biomasa se nedá vysušit během několika slunečných dnů, proto přicházejí na řadu sušárny a sklady. Ve všech objektech využívaných pro sušení musí být zajištěno dobré proudění vzduchu, aby nedošlo k samovznícení či plesnivění biomasy.[2] V některých sušárnách se například přebytečné teplo, které by nebylo například v letním období využito pro vytápění, využije k vysušení biomasy na další sezónu. Pomocí ventilátorů je teplý vzduch vháněn do sušáren. Při využití této technologie lze ušetřit ročně nemalé náklady. Po sušení obvykle dojde k přesunu materiálu do skladu, protože všechna biomasa se nám nahromadí po sklizni a my ji energeticky využíváme další celý rok. Základní druhy skladů a vliv způsobu skladování na vlhkost je uveden v následující tab. [2.1].

Měsíc	Typ skladování			
	Otevřená	Otevřená s podlahou	Zakrytá	Zakrytá s podlahou
				
Absolutní vlhkost [%]				
0 (XII)	85	82	70	78
1 (I)	95	81	58	55
2 (II)	101	83	54	45
3 (III)	108	79	52	35
4 (IV)	101	66	46	28
5 (V)	84	37	39	20
6 (VI)	84	35	33	17
7 (VII)	68	29	30	17
8 (VIII)	62	39	20	17
9 (IX)	-	-	27	17

Tab. 2.1 Vliv použitého skladu na vlhkost štěpky z listnatých stromů v průběhu 9 měsíců [2]

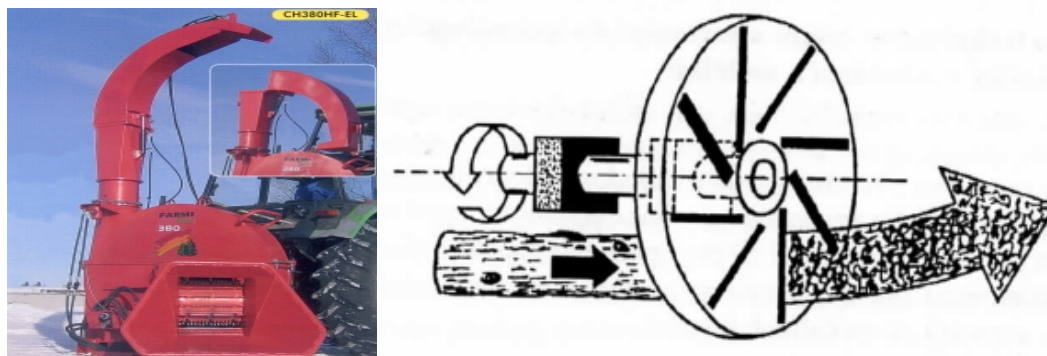
2.5. Štěpkovače

Slouží k dělení dřeva řeznou silou sekacích nožů napříč vlákny a zároveň dělením na stanovenou tloušťku podél vláken díky klínovému tvaru nože. Štěpkovače mohou být děleny do mnoha podskupin dle způsobu podávání materiálu na štěpkovače s manuálním nebo mechanickým podáváním. Štěpkovače můžeme mít se separátním pohonem či bázovým pohonem, kde jako motor funguje traktor spojený s pomocí kardanu. V praxi se užívají tři základní druhy štěpkovaček diskové, bubnové a šroubové

2.5.1. Diskové štěpkovače

Nejrozšířenější a nejvýkonnější na výrobu štěpky jsou stroje s průměrem disku až do 2 [m], příkonem až 500 [kW], výkonnost 250 až 300 [m³/h]. Rozšířeny jsou stacionární i mobilní štěpkovače. Navrhují se, aby v nich bylo možné štěpkovat celé stromy. Vysoká kvalita štěpky, velký setrvačný moment umožňující zabudování menšího motoru, velký vrhací a ventilační účinek způsobující vyřazení přidavného ventilátoru nám vytváří velmi vhodné ekonomické podmínky provozu tohoto zařízení. Mezi nevýhody patří zejména sekání větví, které kvůli

svému chaotickému tvaru často svými rozměry přesahuje možnost vlézt se do otvoru, což vyžaduje přeřezání větví. [6]



Obr. 2.5 Zleva diskový štěpkovač, schéma sekacího ústrojí diskové štěpkovačky

2.5.2. Bubnové štěpkovače

Na rozdíl od diskových mají menší rozměry i výkonnost, což umožňuje konstruovat a produkovat sekačky menších rozměrů, využitelné ve městech, parcích a jiných hůře dostupných míst. Vzhledem k nižším výkonům nelze využívat na sekání velkých kusů dřeva, avšak její přednosti spočívají v sekání drobného chaotického materiálu jako jsou větve. Bubnové sekačky často obsahují ventilátor pro zvýšení vtahovacího účinku, protože buben nemá sám o sobě téměř žádný vtahovací ani vrhací účinek. [6]

2.5.3. Šroubové štěpkovače

Pracují jako jednoúčelové stroje na štěpkování kmínků o velikosti 10 x 10 [cm]. Jsou vhodné k rodinným domům a zemědělským usedlostem. Princip je velmi podobný jako u mlýnku na maso, kdy se šroubovice zařezává do dřeva a vtahuje jej k většímu průměru. Výsledkem je poměrně kvalitní štěpka. [6]

2.5.4. Drtiče

Své uplatnění nacházejí při zpracování dřevního odpadu a dřeva. Jejich produktem je štěpka vhodná k spalování na menších i větších topeništích. Rozlišují se rotační rychloběžné a pomaloběžné drtiče. Pomaloběžné mají asi okolo 1000 [ot/min] a slouží k drcení větších kusů.



Obr. 2.6 Zleva rychloběžný drtič DW3060, štěpkovač s ručním podáváním za auto, profi štěpkovač Jensen za traktor

2.6. Řezací a stříhací nástroje

Slouží k dělení dendromasy na velikost vhodnou k energetickému využití. Nejčastěji se takto řezají kmeny a větší kusy dřeva. Slouží nám k tomuto účelu pily všech možných druhů od klasické ruční pily až po linky s dopravníkem a velkými řezacími výkony. Stříhání je vhodné

například ke krácení větví na vhodnou velikost, která usnadňuje přepravu a překládání. Oba druhy nástrojů se využívají jak v průmyslovém, tak v soukromém sektoru.

2.6.1. Štípací zařízení

Zpracovávají se obvykle kusové kulaté špalky na velikost přijatelnou k překládání. Slouží nám k tomu sekyra. Při větším množství dřeva je vhodné využít mechanické nebo hydraulické štípačky, jejichž štípací síla dosahuje hodnoty až 40 000 [N].



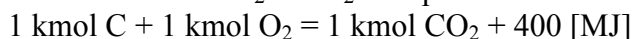
Obr. 2.7 Zleva štípací zařízení, kmenová pásová pila

3. Spalování

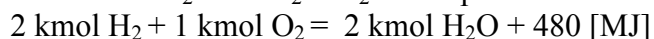
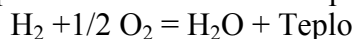
3.1. Popis spalovacího procesu

Spalování je nejstarší metodou přímého uvolnění energie a tepla. V průběhu procesu dochází k složitým chemickým i fyzikálním dějům. Chemické procesy mají dominantně charakter oxidačních reakcí. V menší míře probíhají i redukční reakce. Fyzikální děje nám představují především přenos látky, hmoty a tepla. Nejdůležitějším fyzikálně-chemickým dějem při procesu spalování je hoření. Jedná se o exotermickou reakci hořlavých prvků s kyslíčovadlem, při kterém dochází k emitování záření v oblasti viditelného spektra. Reakci můžeme popsat pomocí chemických rovnic. Znamé jsou tři základní rovnice hoření, kterými lze dosazením molekulových hmotností vyjádřit výhřevnost. Tedy výhřevnost uhlíku je rovna 33,8 [MJ/kg], vodíku 120 [MJ/kg] a síry 9,25 [MJ/kg].

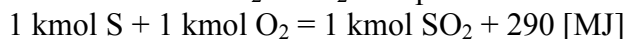
Spalování uhlíku na oxid uhličitý



Spalování vodíku na vodní páru



Spalování síry na oxid siřičitý

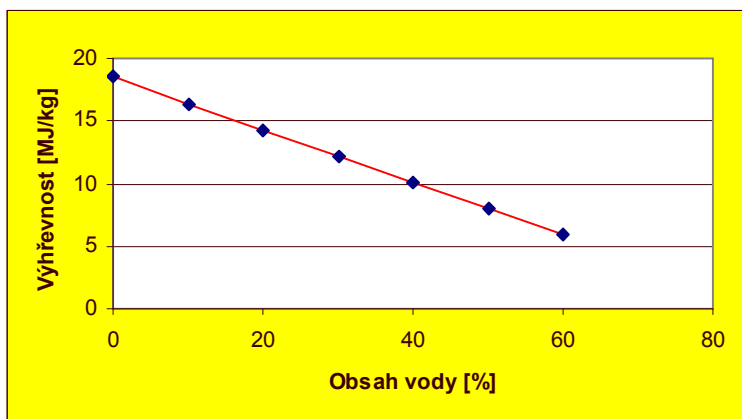


Ve všech rovnicích nám vstupuje i dusík, který se při samotném hoření reakcí neúčastní. Avšak hoření se neúčastní jen kyslík, ale vzduch, který je směsí dusíku a kyslíku. Hlavní role dusíku při spalování je při tvorbě emisí v kouřovodech, kde reaguje s kyslíkem na škodlivé emise NO_x. Celkově kouřové plyny tvoří pravé strany rovnic CO₂, H₂O, SO₂, SO₃, NO, NO₂, vodní páry z vlhkosti paliva popřípadě dalších složek zastoupených v malém či stopovém množství. [7]

3.2. Vlastnosti ovlivňující proces spalování

Obsah vlhkosti v palivu je primárním faktorem, který nejvíce ovlivňuje účinnost spalování a výhřevnost. V praxi je hranice okolo 50 [%] vlhkosti, nad kterou proces není energeticky ani ekonomicky přijatelný tab. [3.1]. Energeticky je to z důvodu, že teplo uvolněné hořením je spotřebováno na vysušení paliva. Životnost zařízení závisí i na tvorbě zplodin, které jsou schopny zanést spalovací zařízení a kouřovody, což může vést až k požáru. Složení zplodin závisí na teplotě spalování, přebytku vzduchu a složení paliva. Proto je nutné při výběru spalovacího zařízení vyhledat vhodné zařízení, které bude odpovídat spalovanému palivu. Zplodiny je nutné též regulovat kvůli životnímu prostředí, protože problémem při spalování je též obsah popelovin a riziko úletu částic. Při hoření nám jde také o nejdokonalejší spálení paliva. Pro správné vyhoření paliva a dobrou výhřevnost je důležitý objem spalovacího zařízení, přívod vzduchu, obsah prchavých látek, přebytek vzduchu a další.

Obsah vody	Dřevo	
	[MJ/kg]	[kWh/kg]
0	18,5	5,1
10	16,4	4,6
20	14,3	4,0
30	12,2	3,4
40	10,1	2,8
50	8,0	2,2
60	6,0	1,7



Tab. 3.1 Skutečná výhřevnost dřeva a kůry v závislosti na obsahu vody[2]

3.3. Technologie spalování

U spalovacích zařízení na biomasu se používá rozdílných způsobů přívodu paliva, spalování. Na trhu tedy existuje mnoho výrobců, kteří se mohou lišit detaily, které mohou výrazně ovlivňovat výslednou kvalitu spalování, emise a komfort obsluhy, avšak použité principy jsou si podobné.

3.3.1. Spalování na roštu

Roštové kotle našli své využití již při spalování fosilních paliv a jejich využití je stejně dobré i při spalování biomasy. V těchto zařízeních se dá spalovat téměř veškerá rostlinná biomasa výjimku tvoří pouze biomasa s jemnou frakcí. U roštových kotlů se dbá na zajištění přívodu spalovacího vzduchu do jednotlivých míst tak, aby spalování probíhalo při optimálním přebytku vzduchu. Tyto kotle bývají konstruovány s horním přísunem paliva, což má zajistit postupné vysušení paliva, zahřátí na zápalnou teplotu a dokonalé vyhoření paliva. Zbytky po prohoření paliva (popel) propadne roštem popřípadě je zajištěn jeho odvod z ohniště. Další výhodou je regulace výkonu zařízení, kde maximální výkon ovlivňuje hlavně plocha roštu. Roštové kotle se dále dělí na kotle s pevným a pohyblivým roštem. Pevné rošty se využívají převážně u kotlů malých výkonů. Mohou být různých tvarů i různě nakloněny a zahnuty. U kotlů větších výkonů jsou rošty pohyblivé, aby zajišťovaly pohyb paliva směrem do míst, odkud jsou následně odváděny zbytky po spalování. Spalovací vzduch bývá u těchto zařízení přiváděn ve více fázích. Pohyblivé rošty mají též různé technické provedení a jsou to rošty pásové, přesuvné, vratisuvné a válcové. Poslední tři jmenované při svém pohybu narušují vrstvu na roštu, což má za následek dokonalejší spalování a tím i větší účinnost. Výhoda je i v možnosti chlazení roštu, což se může pozitivně odrazit v životnosti. Mezery mezi roštnicemi jsou minimální, protože biomasa nepotřebuje velké množství primárního vzduchu. Takové roštnice se dají vhodně využít i při spalování odpadů. [2]

3.3.2. Spalování ve fluidní vrstvě

Při fluidním spalování dochází k spalování paliva ve fluidní vrstvě z inertního materiálu. Tato vrstva nám umožňuje vstřebávat změny vlastností paliva, zejména se jedná o vlhkost v palivu, která se například u odpadů a stéblin může výrazně lišit. U spalování je palivo udržováno ve fluidním stavu pomocí proudění vzduchu, kde odpor proudícího média odpovídá tíze částic. Částice se pak chovají jako kapalina. Práh fluidizace nastává, když rychlost proudícího vzduchu je rovna či vyšší než prahová rychlost fluidizace. Zvětšováním rychlosti se zároveň zvětšuje i výška fluidní vrstvy až do stavu, kdy začne docházet k cirkulaci částic.

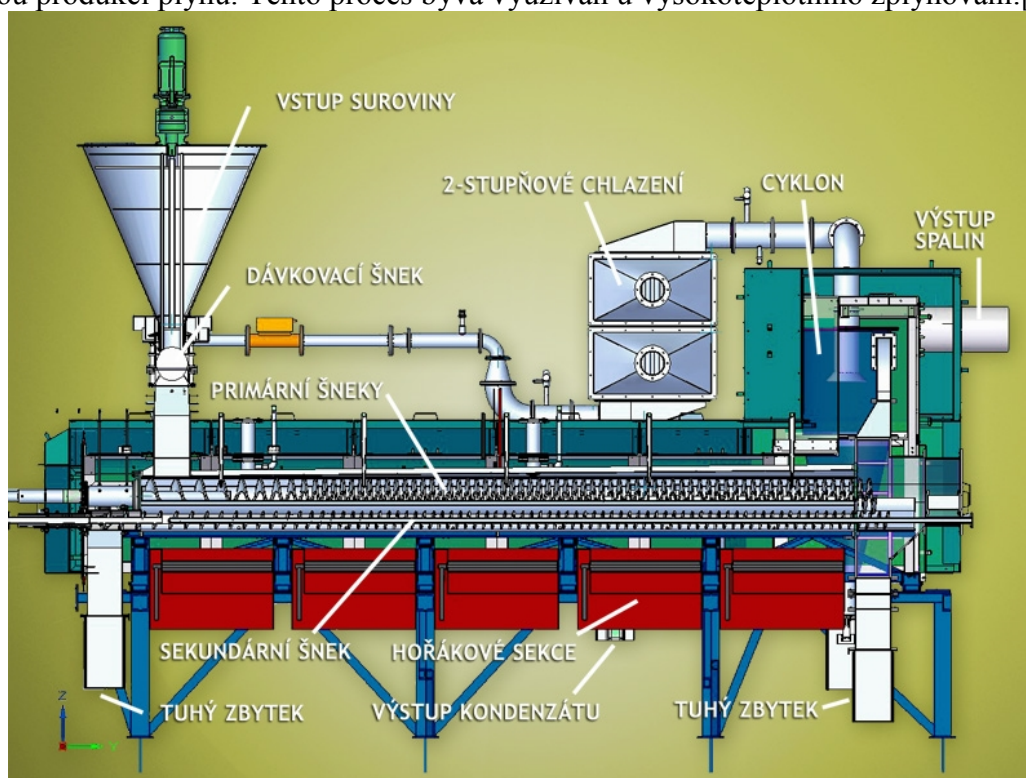
Následným zvětšením rychlosti na rychlost úletu dojde k unášení částic z vrstvy ven, čemuž říkáme práškové ohniště. K regulaci výkonu dochází regulací výšky fluidní vrstvy, která je obklopena teplosměnnými povrchy. Druhá možnost regulace vyžaduje externí výměník, kdy regulace výkonu kotle provádíme úpravou množství materiálu ve výměníku. [4]

3.3.3. Spalování se spodním přívodem paliva

Přivádění paliva zespod pod již hořící vrstvu se v současné době stále rozšiřuje. Poté co je palivo nejčastěji šnekovým dopravníkem dopraveno do ohniště nastává problém, jakým způsobem docílit vznícení a prohoření na spodní vrstvu. K tomu u těchto kotlů slouží keramická odrazivá deska, která způsobí odraz tepelného záření zpět do ohniště a zaručuje nám tím vhodné podmínky pro spalování. Po vyhoření paliva je popel vytlačen do boků ohniště, kde propadává do popelníků. [4,8]

4. Pyrolýza

Pyrolýza představuje nedílnou součást zplyňování, jako tepelný rozklad organických materiálů za teplot od 150 [°C] do 900 [°C], při kterém se uvolňují těkavé látky a vícemolekulární organické látky se rozloží na níže molekulární. Průběh pyrolýzy a výsledek konverze ovlivňují výchozí materiál a jeho vlhkost, pyrolýzní teplota a reakční doba. Pyrolýzou lze získat plynné, kapalně a tuhé produkty, které mohou být využity přímo nebo dále zpracovávány. Děj můžeme dělit dle rychlosti procesu na pomalou, bleskovou při 500 [°C] a rychlou pyrolýzu při 800 [°C]. Pomalá pyrolýza je obvykle používána a známá jako karbonizace při teplotách okolo 450 [°C] s dlouhou dobou zahřívání a vypařování. Často se tímto způsobem zuhelňuje dřevo na dřevěné uhlí. Získáme tak asi 35 [%] dřevěného uhlí, kondenzací vytěžíme dřevný dehet, kyselinu octovou a methanol. Kromě kvalitní suroviny je důležitý i přísun tepla. Bývá provedeno buď autotermním způsobem při pálení dřevěného uhlí v klasických mlířích nebo alotermním (zvenčí) přísunem tepla v retortách. Retorty [obr. 4.1] mají výhodu zaprvé v chemické stálosti a vyšší čistotě finálního produktu. Při bleskové pyrolýze s teplotou okolo 500 [°C] při velmi rychlém zahřívání a dobou vypařování okolo 1 [s] jsme schopni vyprodukovat vyšší procento kapalných složek. Tento proces je jedním z nejnovějších a stále se vyvíjí. Funguje na principu, že reaktor, kde pyrolýza probíhá, je zároveň i cyklónový odlučovač. Výhodou kapalného paliva je vhodnost pro další konverzi na motorová paliva a také kvůli snadnějšímu přepravování. U rychlé pyrolýzy probíhající při teplotách nad 800 [°C] za vysoké rychlosti zahřívání a krátké vypařovací době umožňuje vysokou produkci plynu. Tento proces bývá využíván u vysokoteplotního zplyňování.[4,9]



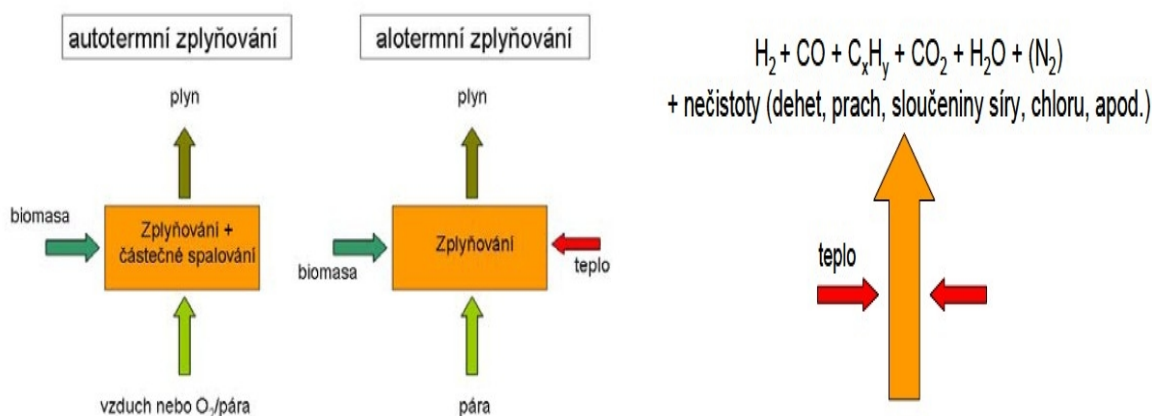
Obr. 4.1 Schéma pyrolýzní retorty

Produkty	Pomalá pyrolýza	Blesková pyrolýza	Rychlá pyrolýza
Kapalně	30-35 [%]	60-80%	10-15%
Plynné	25-30 [%]	12-20%	75-90%
Tuhé	20-35 [%]	5-15%	5-10%

Tab. 4.1 Složení produktů u jednotlivých druhů pyrolýzy [4]

5.Zplyňování

Druhým významným suchým procesem je zplyňování. Největším rozdílem mezi spalováním a zplyňováním je výsledný produkt, který není teplo jako v případě spalování, ale je to dřevěné uhlí či nízkovýhřevný generátorový plyn. Generátorový plyn je před dalším využitím filtrován, aby se odstranily nežádoucí částice jako prach či dehet. Palivem ke zplyňování může být i biomasa o nízké energetické hodnotě jako například odpady, které takto můžeme mnohem lépe energeticky využít než při spalování. Při zplyňování dochází k celé řadě chemických reakcí, které se dají popsat těmito pochody: sušením, pyrolýzou, redukcí a oxidací. Pochody dle konstrukce zplyňovače mohou probíhat postupně (sesuvný) nebo zároveň (fluidní). Jediným pochodem exotermním je oxidace. Zbývající pochody energii spotřebovávají. Na pokrytí energie potřebné pro sušení, pyrolýzu a redukcí fungují dva principy. První z nich je autotermní a funguje tak, že potřebná energie je vyrobena shořením části biomasy určené k zplyňování asi 20-25 [%] hmotnosti. Pro hoření je nutný přívod vzduchu, který však svým obsahem dusíku snižuje celkovou výhřevnost plynu. Tento fakt můžeme ovlivnit přísunem čistého kyslíku a zvýšit tím výhřevnost, avšak za cenu vyšších výrobních nákladů. Druhou možností dodání energie je alotermní (nepřímé zplyňování), kdy je teplo dodáváno z okolí, což má za následek vyšší investiční náklady, avšak výsledný produkt má vyšší výhřevnost. Teplo bývá dodáváno přes zplyňovací médium (vodní pára), otopem stěn reaktoru nebo inertním materiálem (pískem) přímo do reaktoru. [10]



Obr. 5.1 Schéma autotermního, alotermního zplyňování a výstup po zplyňování

	Zplyňování vzduchem (autotermní)	Zplyňování parokyslíkovou směsí (autotermní)	Zplyňování párou (alotermní)
Výhřevnost [MJ/m ³]	4-6	12-15	12-14
H ₂ [%]	11-16	25-30	35-40
CO [%]	13-18	30-35	25-30
CO ₂ [%]	12-16	23-28	20-20
CH ₄ [%]	3-6	8-10	9-11
N ₂ [%]	45-60	<1	<1

Tab. 5.1 Složení plynu ze zplyňování dřeva s obsah vody 20 [%] hmotnosti [10]

5.1.Čištění generátorového plynu

Velmi důležité je odstranit z plynu pevné částice, dehet, sloučeniny dusíku (NH₃, HCN), síry (H₂S, COS, CS₂) a jiné, které závisí na složení biomasy a použité technologii. Důležité je odstranit nečistoty jak z ekologického hlediska, tak i kvůli riziku zanášení motoru, výměníků a dalších zařízení. Čistit plyn můžeme již při zplyňování, pokud se bude zplyňovat vhodnou

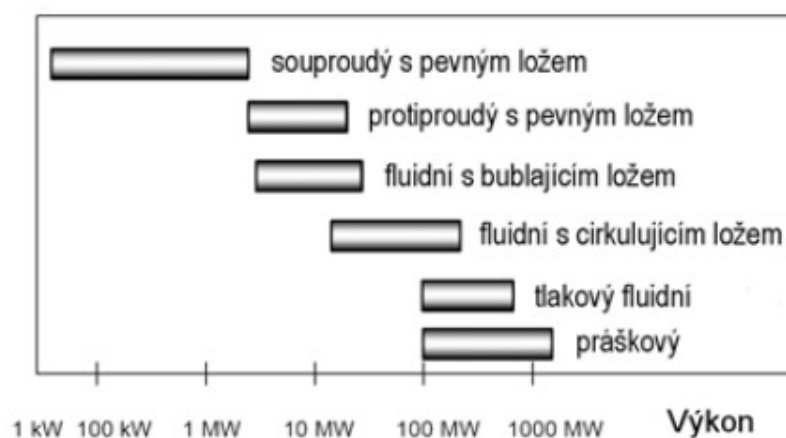
volbou zplyňovacího média, teploty zplyňování a tlaku zplyňování. Například vysokoteplotně (nad 800 [°C]), tak můžeme nízkotavitelné látky obsažené v biomase roztavit a tím odvést nečistoty v tekuté formě nebo u fluidních generátorů lze vložit katalyzátor fluidního lože. Tato opatření se nazývají primární opatření. Sekundární opatření spočívá v čištění plynu v navazujících zařízeních jako jsou filtry, cyklóny, mokré vypírky a katalytické reaktory. U sekundárních opatření existují dva přístupy nízkoteplotní, který spočívá v ochlazení plynu pod teplotu varu oleje či vody, a následný kontakt s těmito kapalinami nebo vysokoteplotní přístup, který nám umožňuje vynechat ochlazení plynu a jeho následné zahřívání pro potřeby výroby elektřiny a tepla na turbíně či výrobu alternativních paliv tím, že jsou jednotlivé nečistoty odstraňovány pomocí sorpčních a katalytických metod. Po vyčištění dostáváme syntézní plyn. [4,11]

5.2. Výhody zplyňování

Oproti spalování lze najít mnoho výhod zplyňování, které technologii zplyňování zvýhodní. Patří sem větší konverze paliva na elektrickou energii, menší provozní náklady na jednotku výkonu, menší zařízení, převedení tuhého paliva na plyn, dosažení vyšších teplot při spálení plynu, regulace přívodu plynu při spalování a snížení produkce CO₂, SO₂, NOX. Hlavní nevýhodou jsou vyšší investiční náklady a nutnost čištění generátorového plynu. [10]

5.3. Zplyňovací zařízení

Zplyňovací zařízení jsou vyvíjeny přes 100 let, během kterých se zatím nejvíce osvědčily zplyňovače s pevným nebo fluidním ložem. Vhodnost použití jednotlivých druhů zplyňovačů v závislosti na jmenovitém výkonu nastiňuje [obr. 5.2].



Obr. 5.2 Orientační výkon různých zplyňovacích generátorů

5.3.1. Souproudý zplyňovač

Prvotní myšlenkou souproudých zplyňovačů je, že biomasa, plyn a vzduch mají stejný směr pohybu. Palivo bývá obvykle dodáváno vrchem a plyn odváděn spodem, avšak i opačná konstrukce je přípustná. Přívodem vzduchu v oxidační části bývá dosahována velmi nízká hodnota dehtů. Takto čisté palivo je velice vhodné na transformaci v biopalivo, proto jsou souproudé zplyňovače pro využití v aplikacích motorů nejvhodnější. Velmi důležitý pro správný chod je optimální výkon související s teplotou v generátoru. Při špatně nastavených parametrech dochází k dehtování a poklesu účinnosti. Kromě nevýhody se stabilizací procesu je další nevýhodou větší množství částic v plynu, protože plyn prochází přes oxidační zónu. Stabilizace procesu má samozřejmě vliv na požadavky na kvalitu biomasy, která má být dostatečně suchá (vlhkost max. 25 [%]), zrnitost od 4 do 10 [cm] a obsah popela v sušině (max. 6 [%]). V praxi byly vyvinuty zplyňovače speciální. Například zplyňovač s otevřeným

jádrem vhodný pro jemnou biomasu (piliny, rýžové slupky) nebo vícestupňový souproudý zplyňovač, u něhož jednotlivé fáze procesu probíhají v oddělených nádobách, čímž má být dosaženo snížení koncentrace dehtů. [4]

5.3.2. Protiproudý zplyňovač

Jedná se o nejjednodušší typ zplyňovače. Vyrábí se v provedení updraft nebo downdraft. Označení nám naznačuje proudění plynu reaktorem. Vzestupné proudění je updraft a naopak. Platí zde, že vzduch jde v protiproudu s biomasou. Mezi přednosti protiproudých zplyňovačů je kromě jednoduchosti konstrukce, vysoký stupeň vyhoření vedoucí k vnitřní výměně tepla a tím k relativně nízké teplotě výstupního plynu. Vnitřní výměna tepla nám umožňuje spalovat biomasu s velkým obsahem vlhkosti nad 50 [%] a větší kusky biomasy. Vyprodukovaný plyn je kvůli velkému množství dehtů a látek vzniklých pyrolýzou vhodný na přímé spalování. Pro výrobu elektrické energie či biopaliv musí být plyn čištěn. [4]

5.3.3. Zplyňovač s křížovým tokem

Původně byl navrhnout pro zplyňování dřevěného uhlí. Tento druh zplyňování se vyznačuje vyšší teplotou v oblasti nístěje 1500 [°C] a více, což může mít za následek snížení odolnosti materiálu, ze kterého je zplyňovač vyroben. Z tohoto důvodu jsou jednotky navrhovány s malým rozsahem pracovních výkonů a používají se zejména v rozvojových zemích pro pohon strojů. Plyn totiž není nutné složitě čistit. Jediným nárokem pro provoz je vysoký nárok na kvalitu dřevěného uhlí. [4]

5.3.4. Zplyňovač se stacionární bublající fluidní vrstvou

Při spalování ve fluidní vrstvě musí být rychlost plynu vyšší než rychlost fluidizace. V přístroji se používá rychlost 5 až 30 násobně větší než rychlost fluidizace. Teplota vrstvy bývá konstantní a pohybuje se od 700 do 900 [°C]. Palivo do vrstvy bývá dodáváno šnekem přes vzduchotěsný uzávěr. Spodek nádoby je porózní zasypaný inertním materiálem (písek), přes který je dodáván vzduch. Stacionární vrstva má jasnou hladinu mezi prostorem nad vrstvou či pod vrstvou. Velikost průměru reaktoru je dána rychlostí plynu nad vrstvou, čímž se vyhneme úletu částic. Při procesu je vyprodukováno 1 až 2 [%] dehtů. [9]

5.3.5. Zplyňovač s cirkulující fluidní vrstvou

U cirkulující vrstvy není zřetelná hladina, která je omezena stropem reaktoru. Hustota se v průběhu vrstvy liší. Na dně je hustota nejvyšší a u stropu naopak nejnižší. Unášené částice bývají zachyceny cyklónem a dopraveny sifonem zpět do dna. Přeměna paliva je tímto způsobem dokonalejší, proto můžeme dosáhnout zařízení s většími výkony než u stacionární vrstvy. [9]

5.3.6. Tlakový fluidní zplyňovač

Pro zařízení velkých výkonů je vhodnější spalovací turbína než motor. Plyn je dodáván zchlazený, protože horký plyn poškozuje části kompresoru, pod tlakem 10 až 25 [MPa]. [10]

5.3.7. Práškový zplyňovač

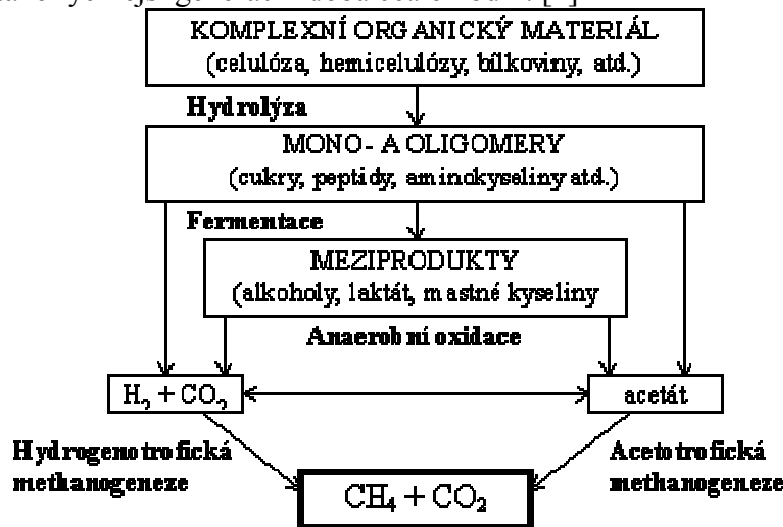
Technologie je již zvládnutá pro uhlí s podílem biomasy 10 až 25 [%]. Avšak očekává se, že tato technologie umožní vysoké výkony. Při tomto procesu dochází k velmi rychlé přeměně s rychlostí pod 1 [s]. Palivo je dodáváno se zrnitostí paliva okolo 0,1 [mm]. Teplota v reaktoru se pohybuje okolo 1300 až 1600 [°C] a tlak je vyšší než atmosférický okolo hodnoty 2,5 až 6 [MPa]. [9]

6. Anaerobní digesce

Anaerobní digesce nazývaná též methanová fermentace patří k biochemickým procesům a je též název pro na sebe navazující procesy. Při nichž soubor organických materiálů na vstupu je pomocí mikroorganismů postupně rozložena v několika krocích, kde produkt předchozího kroku je substrátem dalšího kroku. Výsledným produktem jsou plyny CH_4 , CO_2 , H_2 , H_2S , nerozložitelný organický zbytek a vyhnílý substrát nazývaný digestát.

6.1. Princip anaerobní digesce

Skládá se ze 4 hlavních na sobě závislých fází hydrolyzy, acidogeneze, acetogeneze a methanogeneze. Hlavní procesy doprovází ještě další procesy způsobené aktivitou mikroorganismů. Při hydrolyze makromolekulární organické látky (polysacharidy, lipidy, proteiny) rozkládáme pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů produkovaných fermentačními bakteriemi na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě. Tím přecházíme do fáze, kde produkty hydrolyzy jsou při acidogenezi přeměněny na jednodušší organické látky (CO_2 , H_2 , kys. octová, kys. máselná, kys. propionová, ethanol apod.). V následném rozkladu acetogenezi probíhá oxidace kyselin a ethanolu na CO_2 , H_2 a kys. octovou. Účast homoacetogenních organismů je nezbytná kvůli produkci H_2 , protože rozkládají vyšší kyseliny na kys. octovou a také tím, že kys. octová (CH_3COOH) je tvořena acetogenní respirací CO_2 a H_2 . Nyní zbývá nejdůležitější část methanogeneze. Organismy methanogenní dodané procesu mají specifické požadavky na substrát i životní podmínky, proto dělíme na dvě skupiny acetotrofní a hydrogenotrofní methanogenní bakterie. Vlivem působení acetotrofních bakterií rozložíme kyselinu octovou na směs methanu a CO_2 , čímž vzniknou asi 2/3 methanu v bioplynu. Hydrogenotrofní bakterie působí jako samoregulátor. Z procesu odstraňuje všechny vodík, jehož produkce by měla být minimální a to tím, že produkují methan z CO_2 a H_2 . Výhodou je také rychlejší generační doba cca 6 hodin. [4]



Obr. 6.1 Schéma anaerobního procesu

6.2. Vlastnosti ovlivňující proces

Každý proces limitují faktory, které při nedodržení mají důsledky na finální produkt. Teploty, při kterých fermentujeme, jsou psychofilní (pod 20 [°C]) a mají za následek nižší účinnost, nižší rozklad amoniaku i sulfanu, menší citlivost na výkyv teplot (2-3 [°C]) nezpůsobují problémy a menší stupeň hygienizace. S rostoucí teplotou na mezofilní teploty (20-45 [°C]) či termofilní teploty (přes 45 [°C]) přeměny všech vyjmenovaných vlastností roste, což má za následek vyšší účinnost, ale zároveň i více nákladů. Prostředí a hodnota pH jsou pro proces velmi důležité faktory, protože pro methanogeny je nejlepší neutrální pH (6,5-7,5). Pro jinou hodnotu pH může dojít k zastavení procesu. Methanové bakterie nedokáží rozkládat tuky,

proteiny a celulózu v čisté formě. Pro svůj správný vývoj potřebují správný poměr mezi dusíkem, fosforem a organickými látkami N:P:OL (6,7:1:400). Dále výzkumy prokázaly, že přítomnost mikronutrientů Na, K, Ca, Fe, S, Mg, Se, W a stopových prvků Ni, Co, Mo zvyšuje methanogenní aktivitu. Během procesu je nutné kontrolovat diagnostické veličiny, proces podle daných hodnot vyhodnotit a učinit včas potřebná opatření [tab. 6.1]. Poslední výrazná vlastnost ovlivňující proces je samotné složení biomasy [tab. 6.2] a podle ní zvolená technologie. Známé jsou zatím tři technologie stabilizace čistírenských kalů s obsahem CH₄ 60-70 [%], fermentace zemědělských odpadů s obsahem CH₄ 55-75 [%] a skládky s obsahem CH₄ 35-55 [%]. [4,12]

Fáze vzorku	Druh rozboru
Plynná	Množství produkovaného bioplynu
	Obsah CH ₄ , CO ₂ , H ₂ , H ₂ S
Kapalná	pH
	Celkovou koncentraci jednotlivých mastných kyselin
	Kyselinovou (KNK) a zásadovou neutralizační kapacitu (ZNK)
	Obsah organických složek
	Celkový organický uhlík
	Rozpuštěné látky
Pevná	Oxidačně-redukční potenciál
	Obsah makroprvků v sušině C, H, S, O, N
	Sušina při 105 [°C]
	Organická sušina při 550 [°C]
	Obsah makrokomponentů (lignin, celulóza, hemicelulóza)
Formy dusíku	

Tab. 6.1 Sledované veličiny v různých fázích vzorku [4]

Substrát	Sušin -a (TS)	Organická sušina (OS) produkty digestát	Dusičnany celkem	P ₂ O ₅	K ₂ O	C/N	Výtěžnost
	[%]	[%]	[%TS]	[%TS]	[%TS]	[-]	[OS/kg]
Prasečí kejda	3-9,7	60-85	6-18	2-10	3-7,5	5-10	450
Slepičí kejda	10-29	75-77	2,1-6	2,3-6	2,2	7	470
Telecí kejda	6-11	68-85	2,6-6,7	0,5-3	7,7	10-17	400
Jablečné slupky	2-3,7	94-95	-	0,73	-	6	475
Bramborové slupky	12-15	90	5-13	0,9	6,4	3-9	480
Starý chléb	90	96-98	1,8-2	-	-	42	750
Pivní slad	21-15	66-95	4-5	1,5	1,2	9-10	500
Syrovátka	80	80-92	0,7-1,5	0,8-2	-	27	850
Zeleninový odpad	5-20	76-90	3-5	0,8	1,1	15	500
Léčivé bylinky	53	55	2,3	1,2	1,1	14	400
Zbytky olejných semen	92	97	1,4	0,3	1,2	41	600
Řepka extrahovaná drť	88	93	5,6	2,5	1,6	8	550
Stříhaná zeleň	11,7	90	3,3-4,3	0,3-2	2-9	18	600
Obsahy žaludků	12-15	80-84	2,5-2,7	-	-	19	250
Masokostní moučka	-	-	8-12	2-5	0,-0,5	2,5-5	550
Krevní moučka	90	80	12	1	0,6	4	600
Obsah bachelorů	11-19	80-90	1,3-2,2	1,3	0,5	19	350
Kuchyňský odpad	9-37	75-98	0,6-5	0,3-2	0,3-1	18	600
Odloučený tuk	2-70	70-99	0,1-3,6	0,4	0,3	-	800

Tab. 6.2 Substráty využívané v bioplynových stanicích [4]

6.3. Základní typy zařízení BPS

V praxi existuje mnoho rozdílných řešení bioplynových zařízení, avšak základní principy jsou si podobné a jejich popisem se zabývá následující kapitola. Postupy se liší zejména způsobem plnění, stupňovitostí procesu a konzistencí substrátu.

6.3.1. Dávkový způsob

Jedná se o nejstarší metodu k získání bioplynu. Fermentor bývá zpravidla naplněn najednou. Dávka postupně vyhívá a produkuje plyn, jehož množství zpočátku roste, postupně dosahuje

maxima a poté klesá. Na konci je fermentor vyprázdněn, ale cca 15 [%] bývá ponecháno pro naočkování nové várky. Vhodnou biomasou pro tento způsob je například kejda.[13]

6.3.2. Střídání nádrží

Pracuje podobně jako dávkový způsob. Je rozšířena na více vyhnívacích nádrží a také o přípravnou a skladovací nádrž. Do přípravné nádrže je substrát postupně dovážen. Za 1-2 dny je prázdná vyhnívací nádrž rovnoměrně plněna, zatímco v druhé probíhá vyhnívací proces. Po naplnění první nádrže je obsah z druhé přesunut do skladovací nádrže a druhá nádrž je opět naplněna z přípravné nádrže. Kal ze skladovací nádrže se využívá buď jako hnojivo nebo vyvážen na vhodné plochy. Nevýhodou technologie je problém se zavzdušňováním nádrže během vyprazdňování, vyšší tepelné ztráty a vysoké pořizovací náklady. Na druhou stranu mezi přednosti patří rovnoměrná výroba plynu a dobrý hygienizační účinek. [13]

6.3.3. Průtokový způsob

V současnosti se jedná o nejrozšířenější technologii používanou ve světě. Z přípravné nádrže je několikrát během dne dodáván substrát do mnohonásobně větší vyhnívací nádrže. Kolik materiálu do fermentoru vejde, tolik vyhnílého substrátu odvádíme do skladovací nádrže. U této technologie je vyhnívací nádrž naplněna stále a vyprazdňuje se jen ve výjimečných případech. Dobré vytížení vyhnívacího prostoru, cenově příznivá kompaktní konstrukce, rovnoměrná výroba plynu s nízkými ztrátami a možnost zcela automatizovaného procesu jsou hlavními výhodami technologie. Hlavní nevýhodou může být v závislosti na konstrukci promíchávání již vyhnílého a čerstvého substrátu, čímž se snižuje hygienizační účinek. [4]

6.3.4. Metoda se zásobníkem

Skladovací nádrž a fermentor jsou spojeny v jednu nádrž. Fermentor je plněn pomalu z přídatné nádrže nebo kontinuálně přes přepad. Fermentor se vyváží vždy až na malý zbytek nutný pro naočkování další várky. Plyn je s použitím fóliové krytiny je jednoduše zachycen, ale fóliová krytina způsobuje větší tepelné ztráty. Ovšem výhodou pro použití v ČR je nízká pořizovací cena, přehledný a jednoduchý provoz za nižších teplot mezi 20-25 [°C].

6.3.5. Průtoková metoda se zásobníkem

Patří k doposud nejvyspělejší technologii, která spojuje průtokový způsob s přídatnou fermentační nádrží na konci procesu. Tímto opatřením dochází k dodatečnému výnosu 20 až 40 [%] plynu z již vyhnílé kejdy. Vyhnílá kejda se v praxi skladuje 5-6 měsíců a také se lépe zhodnotí. Tato nádrž se již nepromíchává ani neohřívá, takže relativně jednoduchým opatřením nám významně ovlivňuje výnos.

6.4. Vícestupňový proces

U fermentorů se dá využít možnosti, aby probíhalo více fází zároveň. Provádí se to například vnořenou nádrží, která je obklopena vyhnívacím materiálem. Vnořená nádrž funguje jako výměník a předává teplo z jedné várky do druhé. Výhodou je, že ztráty do okolí jsou eliminovány, avšak náklady spojené s výstavbou jsou zatím nutné velmi pečlivě zvážit.[10]

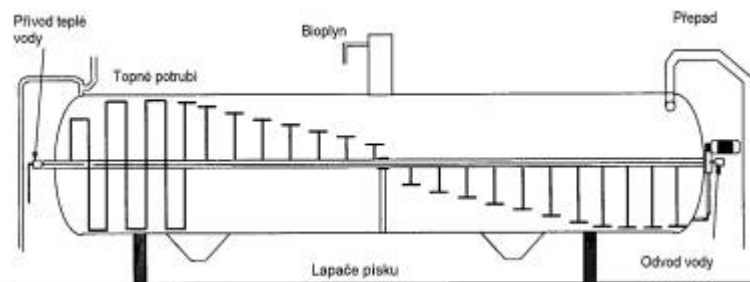
6.5. Konstrukce fermentorů

Nezbytnou součástí fermentorů jsou též míchadla. Jejich činnost se dělí na mechanická míchadla, která se nejčastěji vyskytují u horizontálních fermentorů. Hlavní výhodou těchto míchadel je nízký výkon motoru a schopnost zasáhnout celý vyhnívací prostor. Druhým typem míchadel jsou hydraulická míchadla používající vysokovýkonné čerpadlo a rozvod trysek, aby bylo dosaženo promíchání v celém objemu. Posledním typem jsou pneumatická

míchadla. Vtlačováním bioplynu vzniknou plynové bubliny vyvolávající v substrátu vertikální pohyb, který je vhodný tam, kde není potřeba míchat kvůli hygienizačnímu efektu celý objem.

6.5.1. Horizontální fermentor

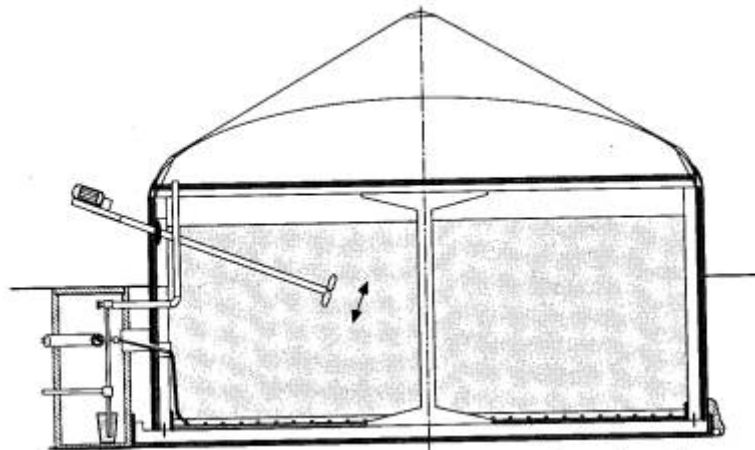
Fermentor bývá uložen, aby měl sklon 3-5 [%]. Keжда je do fermentoru přiváděna do vrchní části. Míchání zajišťují lopatky umístěné na hřídeli procházejícím na ose fermentoru. Sklon a vhodnost nízké rychlosti otáčení umožňují používat motor nízkých výkonů např. 1 [kW] na 100 [m³] kejdy. Plyn se shromažďuje v horní části reaktoru a odvod vyhnílého materiálu je zajištěn odkalovacími ventily umístěnými ve spodní části. Ohřev zajišťuje buď plášťové vyhřívání nebo integrovaným topením do míchadla. Objem fermentorů se pohybuje v rozmezí 50-100 [m³]. Velikost je ovlivněna jednoduchostí pro přepravu. Výhodou tohoto fermentoru je vysoká hygienizace, protože nedochází ke styku vyhnílého materiálu s čerstvým a ekonomický provoz míchadla. Nevýhodou jsou vyšší výrobní náklady tohoto systému. [14]



Obr. 6.2 Horizontální průtočný fermentor

6.5.2. Vertikální fermentor

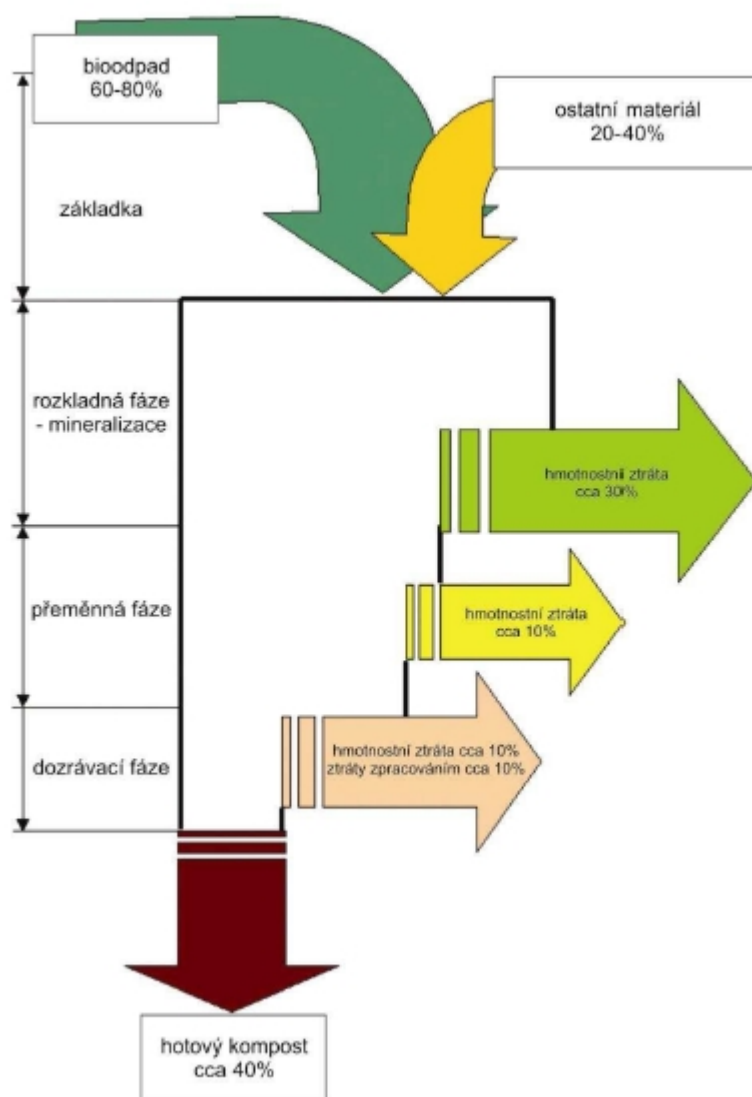
Reaktory jsou standardizovány a vyrábějí se ve velikostech 250-5000 [m³]. Jsou mnohem větší než horizontální. K míchání jsou využívány všechny tři výše zmíněné způsoby. Materiál se ve fermentoru zdržuje 20-60 dnů. Výhodou je nižší cena, možnost umístění pod úroveň terénu a tím snížení tepelných ztrát. Poměr mezi povrchem a objemem příznivě ovlivňují náklady na výstavbu. Reaktory jsou vhodnější do větších bioplynových stanic. Nevhodné jsou pro materiál potřebující vysoký stupeň hygienizace. [14]



Obr. 6.3 Vertikální fermentor

7. Aerobní digesce

Nazýváme též kompostování a jde o mokrý proces. Jedná se o likvidaci odpadu zejména travní fytomasy procesem jednoduše realizovatelným a známým již od počátků zemědělství. V dnešní době je chápáno kompostování jako řízený proces, který má stejný způsob přeměny jako přirozený rozklad organických látek mikroorganismy v půdě. Během procesu v důsledku rozkladu materiálu dochází k poklesu hmotnosti okolo 60 [%] [Obr. 7.1]. Základní podmínkou je správný přísun vzduchu. Při procesu je uvolňováno teplo, které můžeme využít například pro ohřev vody, a kvalitní hnojivo, které může být využíváno v zemědělství a vrátit se tím k ekologické variantě hnojení. Využití jako hnojiva je podmíněno splněním norem ČSN pro hnojiva. [16]



Obr. 7.1 Sankyeův diagram úbytku materiálu během kompostování horkou cestou

7.1. Princip aerobní digesce

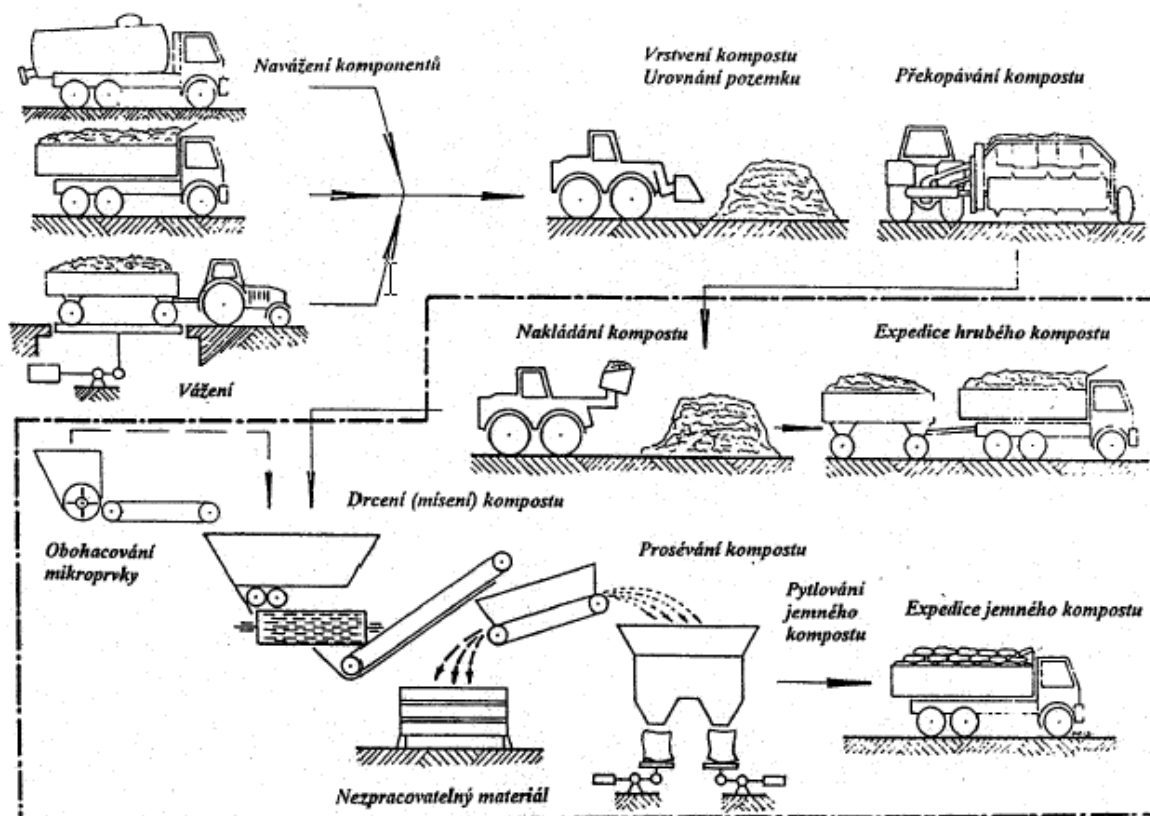
Můžeme rozlišovat více způsobů kompostování. Jedná se o mokrý proces a získáváme z něj teplo a kvalitní humus, jehož prodejem je možné zvýšit zisk. Dělíme na horkou cestu užívanou u průmyslové výroby a pomalé zrání trávající 2 až 4 roky známé svým charakteristickým zápachem na polích.

7.1.1. Pomalé zrání

Technologie spočívá v navezení materiálu na základku a ponechání zrání bez dalších zásahů. Důležité je složení materiálu. Měl by obsahovat vhodnou směs mikroorganismů, fytomasy a živočišné biomasy. Tato technologie je tradiční v zahrádkách u menších zemědělských výrobních a na polích. Nevýhodou této technologie je dlouhá doba zrání a menší možnost ovlivnit průběh. Při větších výrobních je nevýhodou zápach, horší provzdušnění uvnitř a riziko ekologického zatížení. Například zvýšený obsah dusičnanů ve spodních vodách apod. Výhodou jsou nízké náklady, které velmi často dosahují pouze ceny pozemku. Tato stanoviště jsou buď dočasná nebo trvalá.[16]

7.1.2. Kompostování horkou cestou

Během kompostování prochází proces čtyřmi fázemi. Úvodní fáze je základka, která je velmi důležitá z hlediska sestavení surovinové skladby (poměr C:N), úpravy vlhkosti a pH. V 1. fázi trvající okolo 14 dnů se teplota musí pohybovat v rozmezí 60 až 70 [°C]. Při překročení 70 [°C] dochází k zastavení procesu, proto je nutné provzdušňovat zpravidla každý den. Druhou fází charakterizuje, že teplota pro nejlepší rozklad neklesá pod 55 [°C], provzdušňování probíhá jednou za 2 dny a probíhá do 21. dne zrání. Rozkládají se cukry, bílkoviny, škrob a živiny vázané v organické hmotě na dusičnany, čpavek, oxid uhličitý, aminokyseliny, polysacharidy a minerální látky. Proto se fáze říká mineralizace. Ve třetí přeměnné fázi je proces stabilizovaný, nutnost jej překopávat klesá na jednou za 5 až 7 dní a trvá od čtvrtého až devátého týdne. Mineralizované látky jsou základem humusu, který začíná mít charakteristickou hnědou barvu a drobkovitou strukturu. U poslední dozrávací fáze dochází k stabilizaci teploty s postupným utlumením přeměn. Humus získává zemitou strukturu a zvyšuje se účinnost hnojiva, ale hnojařský účinek klesá. Předností je zrychlení procesu na několik týdnů a možnost využití uvolněného tepla. Nevýhodou jsou větší investice spojené s pořízením drtičů odpadů, kompostárny a překopávače kompostů. [17,18]



Obr. 7.2 Schéma kompostovací linky

8. Produkce alkoholu

Výroba alkoholu není pouze pro potravinářský průmysl, ale i pro energetické využití. Biomasa vhodná k výrobě alkoholu pro energetické využití má obsahovat mono-, di- až polysacharidy, škrob, inulin a sacharosu. Jedná se tedy zejména o brambory, žito, pšenici, ječmen, čekanku, cukrovku, melasu, surový cukr a výjimečně lze uvažovat i o ovoci. Vyprodukovaný bioethanol se dnes přidává do motorových paliv a své uplatnění může najít u vznětových i zážehových motorů nebo jako samostatné palivo. Pro produkci se využívá fermentace (alkoholové kvašení) a lihovarská technologie.

Surovina	Výnos [t/ha]	Spotřeba suroviny v kg		Výtěžek Bioethanolu [t/ ha]
		Na 100 [l]	Na [1 t]	
Pšenice	6 - 8	280	3528	1,70 – 2,27, průměr 1,98
Kukuřice zrno	7 - 10	275	3465	2,02 – 2,87, průměr 2,45
Ječmen	5 - 7	285	3591	1,39 – 1,95, průměr 1,67
Triticale	6 - 8	280	3528	1,70 – 2,27, průměr 1,98
Cukrovka	40 - 65	992	12500	3,20 – 5,20, průměr 4,20
Brambory	20 - 35	794	10004	2,00 - 3,50, průměr 2,75

Tab. 8.1 Produkční potenciál bioethanolu u jednotlivých plodin [20]

8.1. Alkoholové kvašení

Proces kvašení je znám již od starého Egypta. Původcem kvašení jsou kvasinky, které mají vysokou rychlost tvorby ethanolu, vysokou toleranci ethanolu a nízká produkce vedlejších metabolitů. Výhodou procesu je jeho jednoduchost. Fermentace probíhá převážně anaerobně, avšak na začátku fermentace je vhodné pro růst a aktivitu kvasinek v kvasném médiu mírné provzdušnění. Finální produkt má koncentraci ethanolu maximálně 17-20 [%] obj. Je to způsobeno tím, že při koncentraci nad 10 -11 [%] dochází k inhibici kvasinek, což způsobuje značné zpomalení kvašení a problémy s fyziologickým stavem kvasinek při jejich recirkulaci. Proto se v praxi končí na hranici 12-13 [%] obj. Doba kvašení závisí na mnoha faktorech od aktivity kvasinek, teploty, pH, obsah cukru v médiu a množství rozpuštěného kyslíku. Pro dosažení 10-11 [%] obj. je udáváno, že při 30 [°C] a pH 4-6 trvá kvašení přibližně 26-36 [h]. Během kvašení vznikají kromě ethanolu i další látky. Jedná se o glycerol, oxid uhličitý, acetaldehyd, přiboudlinu, methanol a aromatické látky. [20,21]

8.2. Lihovarská technologie

Rozlišujeme technologie dle hlavní složky použité biomasy na výrobu ze škrobnatých surovin či na výrobu ze surovin obsahujících sacharosu.

8.2.1. Technologie ze škrobnatých surovin

Zpracování škrobnatých surovin prošlo v posledních letech vývojem zaměřeným zejména na snížení energetických nákladů na výrobu, rozmělnování suroviny pro zpřístupnění škrobů k enzymům a na využití vysoko aktivních enzymových preparátů. U některých technologiích se využívá recirkulace kvasinek, proto je nutné záparu připravit bez částic. Výsledkem je buď upravené mletí zrna nebo oddělení pevného podílu a další práci jen s kapalným podílem, ale při práci s pouze kapalným podílem dochází k nižší výtěžnosti lihu. Výhodou je možnost přípravy krmiv z pevného podílu. Pro přípravu zápar jsou vyvinuty dva způsoby. Starší tlakový způsob zpracovává celá zrna či hlízy a probíhá při teplotě nad 100 [°C] působením vodní páry o zvýšené teplotě. Nejčastěji je používán Henzeův pařák. Výhodou tohoto páření je sterilizace zápar. Páření probíhá ve třech fázích propařování, páření pod tlakem a vyháněním díla. Beztlakový způsob umožnilo používání enzymu alfa-amylasy, který dokáže

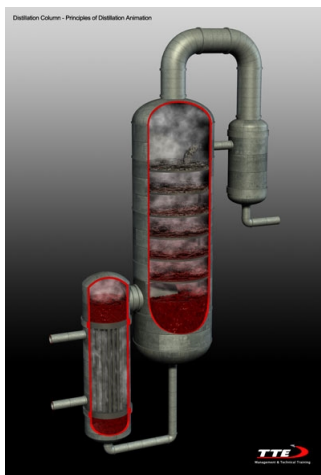
být aktivní i při teplotách nad 100 [°C] a může působit i během zmazovatění škrobu. Nezbytné je namletí obilí na zrnitost 0,4-1,6 [mm]. Cílem použití amylolytických enzymů je převést škrob uložený v zrnech na zkvasitelný sacharid. Přípravou zápar nám vzniká meziprodukt zvaný sladká zápara. Z části sladké zápary se přidáním potřebného množství kvasinek vyrábí zákvas. Může se použít i pekařské droždí, jeho spotřeba je přibližně v 0,3-0,5 [kg/hl] zákvasu. Působením zákvasu přidaného po 24 [h] zpět do zápary jsou pomocí enzymů zkvasitelné sacharidy zkvašovány na ethanol, oxid uhličitý a vedlejší produkty. Obvyklá doba kvašení je 48-72 [h]. Koncentrace ethanolu v prokvašeném záparu je kolem 7-8 [%] obj. V lihovarech se nejčastěji používá vsádková metoda s přítokem nebo bez přítoku zápary.[21]

8.2.2. Technologie ze surovin obsahujících sacharosu

Výhodou plodin je jejich jednodušší zpracování, které nepotřebují 24 [h] přípravu zápar, protože obsahují již přímo zkvasitelný cukr. Po přidání kvasinek, které díky recyklaci zkrátí fermentaci na 8 až 24 [h] při koncentraci ethanolu 10 až 12 [%] obj. Pro samotnou recyklaci kvasinek se používají separační aparáty jako centrifugy či speciální filtry. Pro sacharózní suroviny je využíváno spíše semikontinuální a kontinuální způsoby kvašení. Dochází při nich k neustálému přítoku a odtoku, který protéká z důvodu udržování potřebné koncentrace kvasinek více reaktory. Velmi vhodná je tato technologie pro melasu. U sacharózních surovin je při klasickém vsádkovém použití dosaženo nižší produktivity a delší doby kvašení, proto je vhodné používat spíše kontinuální technologie.[21]

8.3. Destilace, rektifikace a rafinace bioethanolu

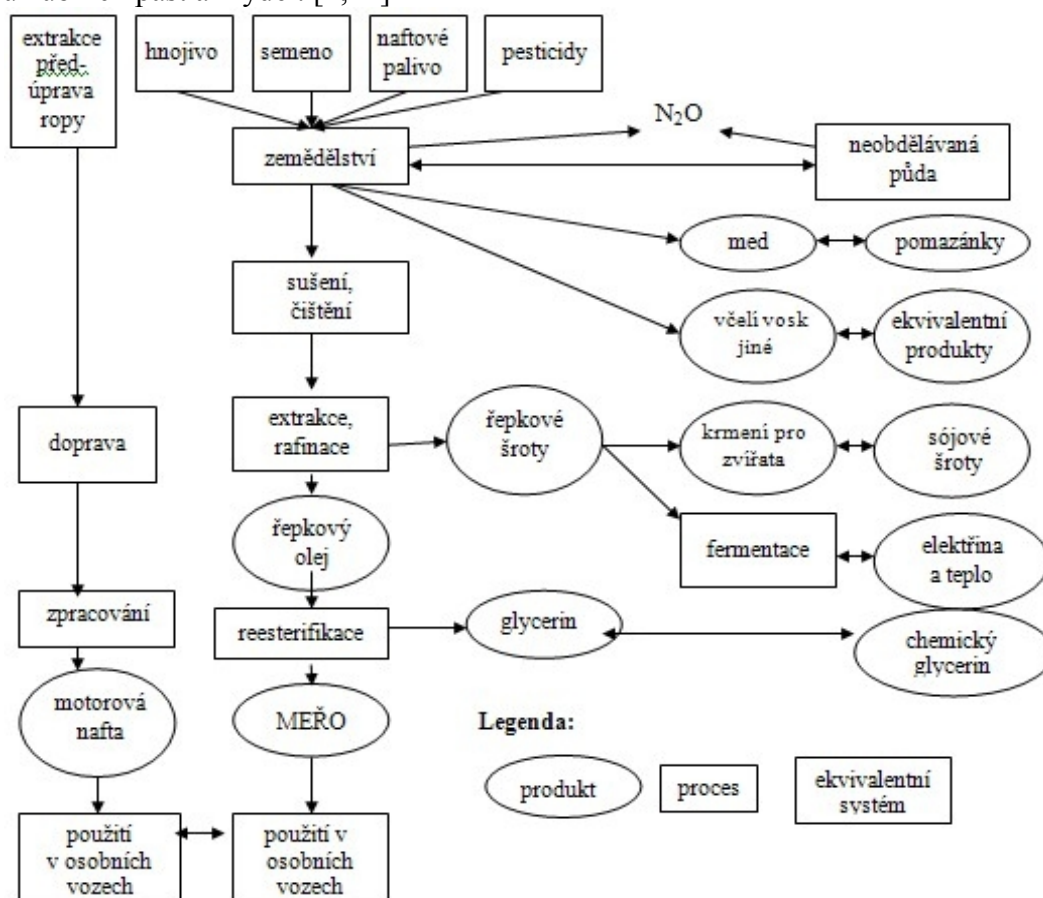
Zkvašená zápara se destiluje na jednoduchém kolonovém aparátu. Kolona je vespod vybavena ohřevem nazývaným vařák na vrchu kolony bývá hlava. Jednotlivá patra kolony bývají klobouková. Na jednotlivých patrech se setkává pára se stékající kapalinou v protisměru. Každá kolona je vybavena deflegmátorem sloužícím ke kondenzaci par vystupujících z hlavy, kondenzátorem a chladičem. Rektifikace je opakovaná destilace sloužící k zvýšení obsahu ethanolu. V pařáku se shromažďují výpalky, které se dají dále využít na výrobu briket či jako krmivo pro dobytek. Rafinace se provádí též v kolonách a slouží k odstranění těkavých látek obsažených v ethanolu. V praxi se využívají dva způsoby zpracování. První způsob je, že se alkohol pouze destiluje a rafinace s rektifikací probíhá v další továrně. Nevýhodou tohoto způsobu je energie spotřebovaná na převoz a znovu zahřátí alkoholu. Dnes preferovaný způsob spočívající v použití vícekolonového aparátů využívající tlakového spádu v kolonách a umožňuje tím destilaci, rektifikaci a rafinaci provádět zároveň s minimem vynaložené energie. Nejčastěji se vyskytují tříkolonové systémy s úkapovou, rafinační a dokapovou kolonou.



Obr. 8.1 Tříkolonový destilační systém

9. Esterifikace bioolejů

Jedná se o fyzikálně-chemický proces, kterým získáváme kapalné palivo. Pro postup jsou vhodné olejnaté plodiny jakými jsou řepka olejka, slunečnice a další. Semena s minimálně 20 [%] obsahem oleje se lisují po ohřevu na 80 až 90 [°C]. Lisuje se pomocí šnekových lisů, jimiž se získá asi polovina oleje v semenech. Zbývající olej ze semen se dostane drcením, lisováním a dopravením do extraktoru, který pomocí rozpouštědla extrahuje zbývající olej. Rozpouštědlo je následně odstraněno destilací. Po destilaci následuje odstranění fosfolipidů, pigmentů, zápachů, vosků a stop kovů. Souhrnně tento proces nazýváme rafinace. Samotná esterifikace a reesterifikace spočívá v míšení oleje nejčastěji s methanolem za činnosti dalších katalyzátorů (NaOH). Hlavním produktem je metylester známý v ČR jako MEŘO nebo v Evropě FAME. MEŘO se využívá jako základní složka bionafty 2. generace, jež obsahuje minimálně 30 [%] MEŘO. Výhodou této bionafty jsou příznivé ekologické vlastnosti. Například fakt, že MEŘO je z 98 [%] biologicky odbouratelný do 21 dní. Při znečištění půdy se MEŘO samo biologicky odbourá. Výhřevnost je nižší než u nafty a to 33,1 [MJ/l]. Následkem je vyšší spotřeba o 6 až 10 [%] než u běžné nafty. Jodové číslo ukazuje míru snadnosti spalování a správná hodnota zaručuje malé zanášení spalovacího prostoru. Cetanové číslo vyjadřuje reaktivitu paliva. Pokud je nízké, nastávají problémy se startováním a způsobují jej metylestery s mastných kyselin s krátkými řetězci. CFPP je nejvyšší teplota, při které palivo neprotéká filtrem. Oxidační stabilita je důležitá, aby nedocházelo k předčasnému stárnutí. Vedlejším produktem při výrobě MEŘO je glycerin využívaný dále v průmyslu na výrobu zubních past a mýdel. [4,22]



Obr. 9.1 Schéma životního cyklu motorové nafty (MN) a MEŘO zohledňující účinek předplodiny, emise N₂O, výrobu medu a metanogenezi bioplynu z řepkových šrotů

Palivo	2006	2007	2008	2009	2010
Benzín	2297	2361	2428	2476	2514
Nafta	3704	3856	3968	4045	4108
Fosilní celkem	6001	6217	6396	6521	6612
Bionafta	65	81	125	127	173
Bioethanol	0	54	79,3	107,8	109,5
Biopaliva celkem	65	135	204,3	234,8	282,5
Paliva celkem	6066	6352	6600,3	6755,8	6894,5

*Tab. 10.1 Vývoj spotřeby kapalných fosilních paliv a biopaliv v letech 2006 až 2010 v ČR
[10³ t] [9]*

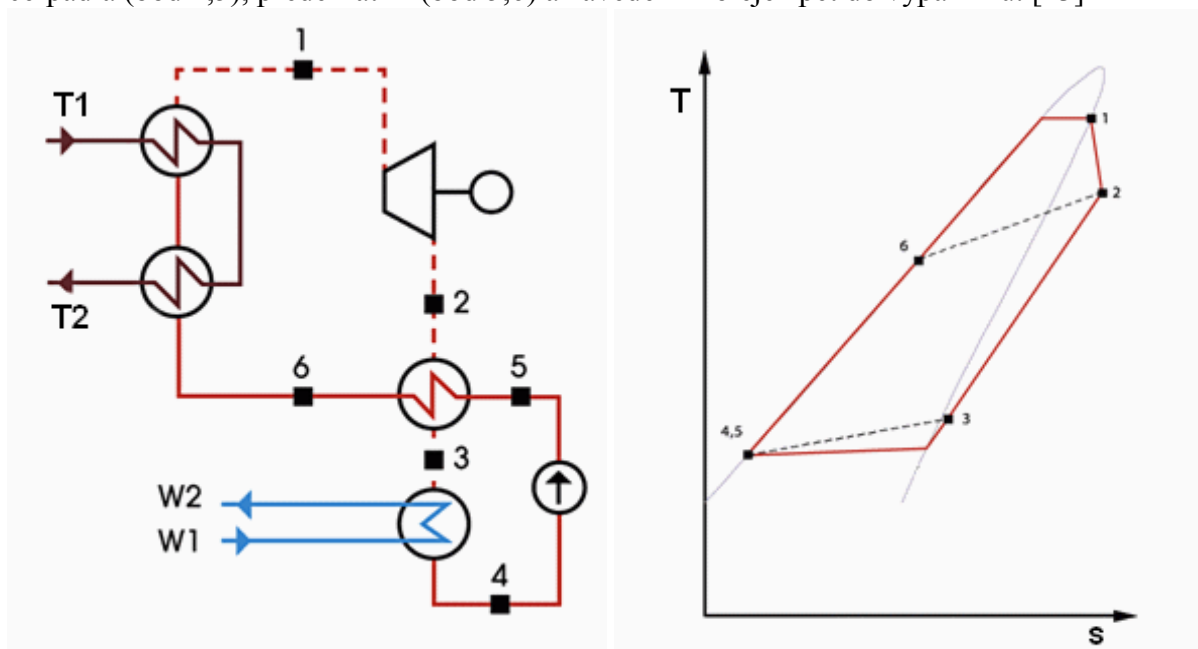
10. Využití energetických výstupů z procesů

10.1. Výroba tepla a elektrické energie

Využití paliv je v souběžné výrobě elektrické energie a tepla pomocí turbíny. Takový způsob využití energie je dnes velmi podporován a znám pod pojmem kogenerace. Turbíny pracují dle několika základních porovnávacích cyklů. Rankinův cyklus pracující normálně se sytou párou je pro využití bioplynu či energie získané spálením biomasy méně vhodný. Proto je pára nahrazena organickými uhlovodíky (termoolejem) složenými ze silikonového oleje s větším podílem anorganických látek, které při daných pracovních podmínkách (300 [°C]) vykazují lepší vlastnosti. Nahrazením páry nám vzniká tzv. organický Rankinův cyklus (ORC). Další méně využívané jsou rovnotlaký Braytonův cyklus a Humphreyův cyklus. [23]

10.2. Princip ORC

Termoolej je zahřán na 300 [°C] a z výměníku přiveden do dvoustupňového výparníku, kde předává teplo sekundárnímu okruhu se silikonovým olejem, čímž vznikají silikonové páry [obr. 10.1] (bod 6,1). Páry pracovního média expandují na pomaloběžné axiální dvoustupňové turbíně spojené s generátorem elektrické energie. Páry po ochlazení v přehříváči (bod 2,3) se dostanou do kondenzátoru (bod 3,4), kde je kondenzační teplo předáno do vody a tím využito pro ohřev vody či dálkové vytápění. Okruh ORC se uzavře zvýšením tlaku pomocí čerpadla (bod 4,5), přehřátím (bod 5,6) a zavedením oleje zpět do výparníku. [23]

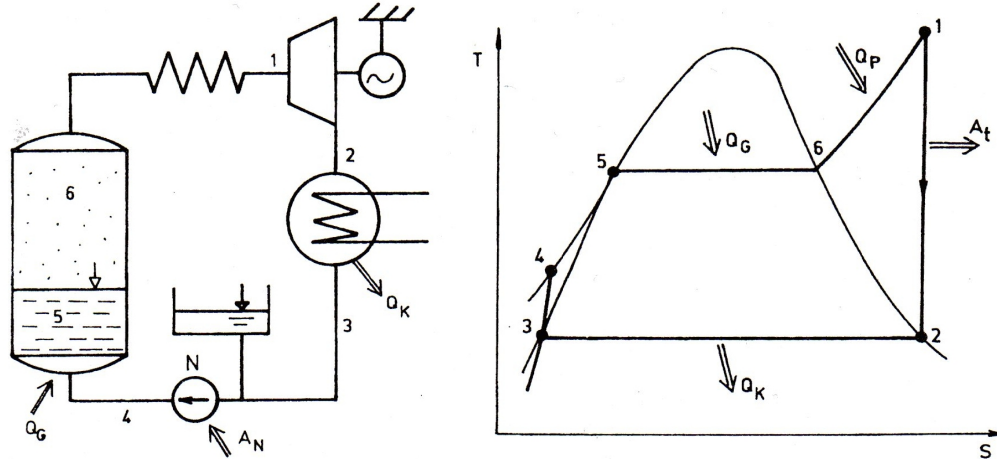


Obr. 10.1 Schéma zařízení a náčrt ORC v T-s diagramu

10.3. Princip RC

V elektrárnách je též tepelná energie transformována tepelným oběhem, který nazýváme Rankin - Clausiův cyklus. Tento elektrárenský kondenzační cyklus, ve své podstatě složený ze základních termodynamických změn, používá jako pracovní látku vodní páru. Voda na mezi sytosti, která je přivedena napájecím čerpadlem do parního generátoru (bod 3,4), se v něm ohřívá, odpařuje (bod 5,6) a v parním přehříváči (bod 6,1) dosahuje parametrů ostré páry (tlak cca 14,5 [MPa], teplota cca 530 [°C]), která je přivedena do parní turbíny. V turbíně pára expanduje (bod 1,2) (přehřátá pára přechází do oblasti syté páry) a následně mění své skupenství v kondenzátoru, odkud je v kapalném stavu kondenzačním čerpadlem

dopravována přes zásobní nádrž zpět do parního generátoru (bod 2,3). Přebytečné teplo Q_K z kondenzátoru je využito na kogenerační ohřev vody či vytápění. Termická účinnost takového cyklu se u nejmodernějších elektráren pohybuje na úrovni cca 38 [%]. Ke zvyšování termické účinnosti se zpravidla používá regenerace tj. ohřev napájecí vody v regeneračních ohřevácích mimo vlastní kotel nebo přehřívání páry (omezeno používanými materiály, maximální tlak 15 [MPa]). [24,25]



Obr. 10.2 Schéma zařízení a náčrt RC v T-s diagramu

10.4.Porovnání RC a ORC

Hlavní výhody ORC spočívají v nižších provozních tlacích a teplotách. Z toho plyne větší bezpečnost a nižší nároky na obsluhu. Dále je to vysoká účinnost a možnost regulovatelnosti výkonu dle potřeb a také využití kogenerace, čímž můžeme zhruba 65 [%] přivedeného tepla využít na vytápění. Zbytek využijeme na výrobu elektrické energie a jen asi 3 [%] nám představují ztráty. Nízké otáčky turbíny umožňují pohon generátoru bez převodovky. Minimální eroze lopatek turbíny, dvojnásobná životnost tlakových dílů a menší mechanické namáhání z důvodu nižší obvodové rychlosti. Všechny výhody se dají dohromady shrnout do vysoké pracovní spolehlivosti při minimálních nákladech.



Obr. 10.3 Plynová kogenerační jednotka GE Jenbacher

11.Závěr

Problematika využívání biomasy je velmi rozsáhlá. Při shrnutí poznatků, které jsem během tvorby práce posbíral, je patrný výrazný vývoj v chápání problematiky biomasy hlavně během posledních let. Technologie dnes využívané pro energetické využití biomasy jsou většinou známy nejméně století, ale jejich využití v praxi bylo bržděno ekonomicko-politickými aspekty. K urychlení vývoje napomohly možnosti moderní techniky, snahy o zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie, zpomalení těžby fosilních paliv a větší konkurenceschopnost podpořená dotačními programy jednotlivých vlád. Procesy probíhající u jednotlivých technologiích nelze jednoduše rozřadit od nejlepší po nejhorší. Vždy totiž velmi záleží na okolních podmínkách provozu. Z tohoto důvodu při jakémkoliv plánování výstavby jednotky zabývající se zpracováním biomasy je nutné přihlídnout k místním faktorům. Jedná se zejména o pravidelné dodávky primární suroviny, která by měla být dopravována na nejkratší vzdálenost. Dále musíme počítat s využitím získané energie a správnou volbou technologie v závislosti na použité primární surovině. Trend vývoje u všech technologiích je stejný. Snižování energie potřebné k procesům. Využívání všech primárních i sekundárních výstupů z jednotlivých procesů. Tedy kromě primárních energetických výstupů se jedná například o dále prodejny humus, glycerin a výpalky. Velkou výhodou se dnes u všech systémů při zefektivňování procesu jeví využití kogenerace a trigenerace. Kogenerace spočívá ve využívání tepla vzniklého procesem, které dříve bylo odváděno chladiči do okolí, na vytápění či ohřev vody. Kogenerační jednotky se dnes nejčastěji vyskytují při sdružené výrobě tepla a elektrické energie, čímž se dají ztráty při procesu vyčíslit pouze v řádu jednotek procent. Celosvětový potenciál biomasy není v současné době plně využit a největší rozvoj energie vytvořené z biomasy nás dle mého názoru teprve čeká. V ČR se největšímu rozvoji v současnosti těší bioplynové stanice na okrajích obcí či měst. Druhým velmi tradičním způsobem využití biomasy je u nás spalování využívané zejména k vytápění. Zvyšování podílu OZE, kterého je biomasa nedílnou součástí, je nezbytné pro zachování vývoje lidstva.

12. Seznam použité literatury

- [1] Evropský parlament: Podpora elektřiny z OZE. *Biomasa2010.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-05-24] Dostupné z WWW: <<http://biomasa2010.cz/legislativa>>.
- [2] PASTOREK, Zdeněk, KÁRA, Jaroslav, JEVIČ, Petr, Biomasa: Obnovitelný zdroj energie. 1.vyd. Praha: FCC Public, 2004. 288s. ISBN 80-86534-06-5
- [3] Náklady a potenciál využití biomasy v České republice. *Biom.cz* [online]. 2005-10-20 [cit. 2011-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/naklady-a-potencial-vyuziti-biomasy-v-ceske-republice>>. ISSN: 1801-2655.
- [4] OCHODEK, Tadeáš, KOLONIČNÍ, Jan, BRANC, Michal: Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy. 1.vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007. 229s. ISBN 978-80-248-1426-1
- [5] BARTOŠ, Luboš: Kolik místa zbývá v našich lesích pro harvestory?. *Biom.cz* [online]. 2009-09-30 [cit. 2011-05-26]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/czt-pestovani-biomasy-spalovani-biomasy-kapalna-biopativa-obnovitelne-zdroje-energie/odborne-clanky/kolik-mista-zbyva-v-nasich-lesich-pro-harvestory>>. ISSN: 1801-2655
- [6] KLOBUŠNÍK, Lubomír: Pelety palivo budoucnosti. 1.vyd. České Budějovice: Harmonie České Budějovice, 2003. 108s ISBN 80-6842-476-3
- [7] NOSKIEVIČ, Pavel, JUCHELKOVÁ, Dagmar, ČECH, Bohumír. Biomasa a její energetické využití. 1.vyd. Ostrava: Kleinwachter, 1996. 68s. ISBN 80-7078-367-2
- [8] OCHODEK, Tadeáš: Možnosti energetického využití biomasy, sborník. 1.vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2005. 175s. ISBN 80-248-0834-X
- [9] SLADKÝ, Václav: Výroba syntézního plynu z pevné biomasy. *Biom.cz* [online]. 2010-12-15 [cit. 2011-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyroba-syntezniho-plynu-z-pevne-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.
- [10] POHOŘELÝ, Michael, JEREMIÁŠ, Michal: Zplyňování biomasy – možnosti uplatnění . (kolektiv autorů), Výsledky výzkumu, vývoje a inovací pro obnovitelné zdroje energie (OZE 2010)
- [11] LISÝ, Martin. Čištění energoplynu z biomasy v katalytickém vysokoteplotním filtru. 1.vyd. Brno, 2009. 25s. ISBN 978-80-214-3998-6
- [12] Anaerobní digesce. *Wikipedia.org* [online] 10.1.2011 [cit. 2011-05-02]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/AnaerobníAD_digesce>
- [13] JUCHELKOVÁ, Dagmar, KOPPE, Klaus. Nutzung der biomasse – Využívání biomasy. 1.vyd. Ostrava: Repronis Ostrava, 2003. 112s. ISBN 80-7329-035-9
- [14] KAJAN, Miroslav: Výroba a využití bioplynu v zemědělství. *Biom.cz* [online]. 2002-11-26 [cit. 2011-05-15]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyroba-a-vyuziti-bioplynu-v-zemedelstvi>>. ISSN: 1801-2655.

- [15] KAJAN, Miroslav: Bioplyn z odpadů živočišné výroby. *Biom.cz* [online]. 2005-08-23 [cit. 2011-05-15]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-z-odpadu-zivocisne-vyroby?add_disc=1>. ISSN: 1801-2655.
- [16] VÁŇA, Jaroslav: Kompostování odpadů. *Biom.cz* [online]. 2002-01-14 [cit. 2011-05-11]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-odpadu>>. ISSN: 1801-2655.
- [17] VÁŇA, Jaroslav: Kompostování bioodpadu. *Biom.cz* [online]. 2001-11-21 [cit. 2011-05-11]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-bioodpadu>>. ISSN: 1801-2655.
- [18] HABART, Jan: Komposty – významný článek využití odpadů a zajištění půdní úrodnosti. Racionální použití hnojiv - sborník z konference, ISBN 978-80-213-2006-2
- [19] KÁRA, Jaroslav, PASTOREK, Zdeněk, JELÍNEK, Antonín: Kompostování zbytkové biomasy. *Biom.cz* [online]. 2002-01-31 [cit. 2011-05-11]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-zbytkove-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.
- [20] KÁRA, Jaroslav: Využití bioalkoholu. *Biom.cz* [online]. 2001-12-18 [cit. 2011-05-13]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-bioalkoholu>>. ISSN: 1801-2655.
- [21] SZABO, Tereza: Problematika využití výpalků při výrobě bioethanolu. Brno: Mendelova lesnická a zemědělská univerzita v Brně, Fakulta agronomická, 2008. 59 s. Vedoucí diplomové práce Tomáš Gregor
- [22] JEVIČ, Petr: Energetická bilance a životní cykly biogenních pohonných hmot – 2. *Biom.cz* [online]. 2010-11-15 [cit. 2011-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energeticka-balance-a-zivotni-cykly-biogennich-pohonnnych-hmot-2>>. ISSN: 1801-2655
- [23] NOVOTNÝ, Petr: Rankinův oběh s organickými uhlovodíky. *Kez.tul.cz* [online]. [cit. 2011-04-29]. Dostupné z WWW: <<http://kez.tul.cz/web/hlavni/data/doplanky/ORCRankin.pdf>>.
- [24] PAVELEK, Milan: Termomechanika. 3.vyd. Brno: Akademické nakladatelství Cerm, 2003. 286s. ISBN 80-214-2409-5.
- [25] ŠKORPÍK, Jan: Tepelné oběhy a jejich realizace, on–line pokračující zdroj Transformační technologie. *oei.fme.vutbr.cz* [online]. 2006 [cit. 2011-05-24] Dostupné z WWW: <<http://oei.fme.vutbr.cz/jskorpik/tepelne-obehy-a-jejich-realizace.html>>. ISSN: 1804-8293

13. Seznam použitých obrázků

Obrázek 1.1 Diagram energeticky využitelné biomasy

Obrázek 2.1 Zleva mechanizovaná ruční výsadba r.r.d , poloautomatická výsadba rrd

Zdroj: http://www.df.biom.cz/cz/odborne-clanky/zkusenosti-s-pestovanim-rychle-rostoucich-drevin-v-mikroregionu-bystrice-n-p?apc=/cz/odborne-clanky/zkusenosti-s-pestovanim-rychle-rostoucich-drevin-v-mikroregionu-bystrice-n-p&sh_itm

Obrázek. 2.2 Systémy sklizení fytomasy

Zdroj: [4]

Obrázek 2.3 Zleva žací mlátička, sklízecí řezačka a zadní disková sekačka

Zdroj: http://zemedelskestrojekrajsky.cz/index.php?main_page=index&cPath=7_29

Obrázek 2.4 Zleva adaptér New Holland pro sklizeň rrd, Harvester při práci v lese

Zdroj: <http://europe.construction.newholland.com/application.php?applicationId=5>
<http://biom.cz/cz/obrazek/harvestor-volnycz>

Obrázek 2.5 Zleva diskový štěpkovač, schéma sekacího ústrojí diskové štěpkovačky

Zdroj: http://zemedelskestrojekrajsky.cz/index.php?main_page=index&cPath=7_129_130
[2]

Obrázek 2.6 Zleva rychloběžný drtič DW3060, štěpkovač s ručním podáváním za auto, profi štěpkovač Jensen za traktor

Zdroj: <http://www.doppstadtus.com/?section=grindersLanding>
<http://www.agroseznam.cz/cz/archiv-inzeratu/?izz=1&from=15>
<http://www.stepkovace-jensen.cz/technicka-data.asp#pohon>

Obrázek 2.7 Zleva štípací zařízení, kmenová pásová pila

Zdroj: http://www.epiloun.cz/index.php?page=shop.product_details.tpl&product_id=1077&category_id=9_virtuemart&Itemid=1

Obrázek 4.1 Schéma pyrolýzní retorty

Zdroj: <http://www.envicrack.cz/pyrolyza.html>

Obrázek 5.1 Schéma autotermního, alotermního zplyňování a výstup po zplyňování

Zdroj: [10]

Obrázek 5.2 Orientační výkon různých zplyňovacích generátorů

Zdroj: [10]

Obrázek 6.1 Schéma anaerobního procesu

Zdroj: [12]

Obrázek 6.2 Horizontální průtočný fermentor

Zdroj: [15]

Obrázek 6.3 Vertikální fermentor

Zdroj: [15]

Obrázek 7.1 Sankyeův diagram úbytku materiálu během kompostování horkou cestou
Zdroj: [4]

Obrázek 7.2 Schéma kompostovací linky
Zdroj: [19]

Obrázek 8.1 Tříkolonový destilační systém
Zdroj: <http://www.rumour3d.co.uk/portfolio2.html>

Obrázek 9.1 Schéma životního cyklu motorové nafty (MN) a MEŘO zohledňující účinek předplodiny, emise N_2O , výrobu medu a metanogenezi bioplynu z řepkových šrotů
Zdroj: [22]

Obrázek 10.1 Schéma zařízení a náčrt ORC v T-s diagramu
Zdroj: [23]

Obrázek 10.2 Schéma zařízení a náčrt RC v T-s diagramu
Zdroj: [24]

Obrázek 10.3 Plynová kogenerační jednotka GE Jenbacher
Zdroj: http://www.jenbacher.cz/spolecnost_GE_Jenbacher.html