



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

PAVLA HAVELKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Doc. Ing. JAROSLAV JÍCHA, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavla Havelková

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 2010/2011.

V Brně, dne

L.S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zaměřuje na popis biomasy a jejího využití jako obnovitelného zdroje energie. V textu je blíže popsána produkce biomasy a také přehled technologií používaných k jejímu zpracování a využití, které je jak energetické, tak i neenergetické. Dále se tato práce zabývá popisem jednotlivých technologických zařízení, ve kterých je biomasa zpracovávána.

ABSTRACT

This bachelor's thesis is interested in description of the biomass and its utilization as a renewable energy source. The text is specified in the production of the biomass and also an overview of the technologies used in its processing and utilization, which is both energy and non-energy. Then, this thesis deals with the description of the various devices, in which the biomass is processed.

KLÍČOVÁ SLOVA

biomasa, spalování, kogenerace, pyrolýza, zplyňování, fermentace, esterifikace

KEY WORDS

biomass, combustion, kogeneration, pyrolysis, gasification, fermentation, esterification

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAVELKOVÁ, P. *Zhodnocení technologií pro využití biomasy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 39 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaroslav Jícha, CSc.

Prohlášení o původnosti práce

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité prameny a literaturu.

V Brně dne 26. 5. 2011

Pavla Havelková

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Jaroslavu Jíchovi, CSc. za jeho ochotu a odbornou pomoc.

OBSAH

1. Úvod.....	13
2. Biomasa.....	14
2.1. Vznik biomasy.....	14
2.2. Zdroje biomasy.....	14
2.2.1. Odpadní biomasa.....	15
2.2.2. Záměrně pěstovaná biomasa.....	15
2.3. Možnosti využití biomasy.....	16
2.3.1. Neenergetické využití biomasy.....	16
2.3.2. Biomasa jako zdroj tepla.....	17
2.3.3. Kogenerace.....	17
2.3.4. Kapalná biopaliva.....	20
2.3.5. Bioplyn.....	21
3. Technologie na zpracování biomasy.....	22
3.1. Spalování biomasy.....	22
3.1.1. Výhřevnost biomasy.....	23
3.1.2. Zařízení na spalování biomasy.....	23
3.2. Pyrolýza.....	24
3.2.1. Rychlá pyrolýza.....	25
3.2.2. Pomalá pyrolýza – karbonizace.....	25
3.3. Zplyňování.....	25
3.3.1. Zplyňovací generátory.....	26
3.4. Anaerobní fermentace.....	27
3.4.1. Zařízení na výrobu bioplynu.....	28
3.5. Aerobní fermentace.....	30
3.5.1. Kompostování.....	30
3.5.2. Technologie Bricolare.....	31
3.6. Hydrotermální karbonizace.....	31
3.7. Alkoholové kvašení.....	31
3.8. Esterifikace bioolejů.....	32
4. Ekologické aspekty využívání biomasy.....	33
5. Závěr.....	34
Seznam použité literatury.....	35
Seznam obrázků.....	38
Seznam tabulek.....	39

1. Úvod

V současné době se intenzivně hledají náhrady za tradiční fosilní energetické zdroje, jako je ropa, černé a hnědé uhlí, zemní plyn a rašelina. Důvodů je více, ale hlavní je ten, že jejich ložiska jsou značně limitována a mohou být v průběhu několika desetiletí vytěžena. Navíc využívání fosilních zdrojů působí klimatické změny, jež jsou spojovány se skleníkovým efektem a globálním oteplováním; kromě klimatických změn dochází i k růstu cen ropy a zemního plynu. Právě tyto okolnosti vedou ke snaze najít alternativy fosilních zdrojů.

Řešením jsou obnovitelné zdroje energie, jejichž výhodou je, že se samy úplně nebo částečně obnovují. Mezi obnovitelné zdroje energie, jež jsou označovány také jako regenerativní a alternativní, patří sluneční energie, biomasa, větrná energie, vodní energie, geotermální energie a v některých částech světa i energie z mořského přílivu.

Právě biomasa má z výše uvedených obnovitelných zdrojů největší potenciál. Je to dáno možnostmi jejího využití nejen v energetice, ale i v zemědělství a spotřebním průmyslu. Biomasa je nejdéle používaným zdrojem energie – v podstatě již od dob, kdy jeskynní člověk začal využívat hořící dřevo. Avšak její energetické využití bylo až do 20. století zastíněno používáním fosilních zdrojů, které byly právě v tomto století intenzivně těženy. Důvodem byl i fakt, že došlo k rapidnímu zvýšení počtu obyvatel na Zemi a tudíž i mnohonásobnému zvýšení spotřeby energie. Toto jsou jedny z hlavních aspektů, které vedly k nebývalému rozvoji technologií pro využití biomasy.

Pro energetické využití biomasy existuje celá řada technologií, ať už nově vyvíjených nebo léta používaných. A právě této široké škále technologií a možnostem využití biomasy se tato práce věnuje.

2. Biomasa

„Pojem biomasa označuje hmotu z organického materiálu. Zahrnuje živé organismy, odumřelé organismy a organické produkty látkové výměny“ [1]. „Biomasa je buď záměrně získávána jako výsledek výrobní činnosti, nebo se jedná o využití odpadů ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby, z komunálního hospodářství, z údržby krajiny a péče o ni“ [2].

Biomasu můžeme rozdělit na [3],[5]:

- dřevní biomasa (dendromasa) – vyskytuje se ve formě štěpek, pilin, hoblin
- rostlinná biomasa (fytomasa) – je získávána z cíleně pěstovaných energetických plodin, případně se vyskytuje ve formě balíků slámy, zbylých po sklizni
- zoobiomasa – vyskytuje se v podobě živočišných produktů

2.1. Vznik biomasy

Téměř veškerá biomasa vzniká fotosyntézou. Fotosyntéza je základní proces v přírodě, který zajišťuje interakci sluneční energie, vody a oxidu uhličitého za vzniku složitých organických látek. Při této reakci se oxid uhličitý redukuje na cukry a voda se oxiduje za vzniku molekulového kyslíku. Fotosyntéza je reakce, která představuje zdroj kyslíku a chemické energie. Bez této reakce by život na Zemi nebyl možný.

Anorganické sloučeniny uhlíku, jakou jsou oxid uhličitý, uhlovodíky a uhličitany, se při fotosyntéze redukují a uhlík se zabudovává do organických sloučenin. Vzniklé sloučeniny se mění opět na oxid uhličitý, a to oxidací při hoření a dýchání.

Oběh uhlíku je úzce spjatý s oběhem kyslíku, dýchání je totiž vlastně přeměna sloučenin uhlíku a vodíku na oxid uhličitý a vodu. Tyto procesy jsou v celosvětovém měřítku prozatím přibližně v rovnováze: v atmosféře je okolo 21 % kyslíku a asi 0,03 % oxidu uhličitého. Uhlíkovým cyklem projde asi 10 miliard tun uhlíku za rok. Nezastupitelnost uhlíku je dána především tím, že je obsažen v biomase (v podstatě je přírodním akumulátorem sluneční energie) a v biopalivech (je součástí přírodního uhlovodíkového cyklu), rovněž se uplatňuje i při energetickém využívání biomasy.

Vliv lidské činnosti v přirozeném koloběhu uhlíku se projevuje enormní produkcí oxidu uhličitého při spalování fosilních paliv, odhaduje se, že ho vznikne až 20 miliard tun za rok [2].

2.2. Zdroje biomasy

Energetická biomasa se pěstuje, ale je také získávána ve formě odpadních hmot organického původu, nebo vedlejších produktů živočišného původu - jedná se především o dřevní či lesní odpady, které mají původ ve dřevozpracujícím průmyslu, případně v lesnictví. Nezanedbatelným zdrojem odpadní biomasy je také sláma: obilní, řepková, kukuřičná a další [3], [4].

Vedle zmíněného využívání odpadů pro energii, je biomasu také možné získat záměrným pěstováním energetických plodin, jako jsou cukrová řepa, obilí, cukrová třtina, olejnin (z nich je nejvýznamnější řepka olejka) a rychle rostoucích dřevin (vrby, topoly, olše a další stromové a keřovité dřeviny) [2].

2.2.1. Odpadní biomasa

Odpadní biomasa je biomasa, která již byla (ne však energeticky) využita, případně která primárně slouží k jiným účelům, než je získávání energie. Většinou se jedná o odpady z odvětví, která nějak biomasu využívají a zpracovávají. Odpadní biomasa je ve většině případů snadno dostupná a levná forma energie [5], [7].

Zdroje odpadní biomasy jsou následující [2]:

- rostlinné zbytky ze zemědělské výroby a údržby krajiny – kukuřičná a obilná sláma, zbytky po likvidaci křovin, odpady ze sadů a vinic
- odpady z živočišné výroby – zbytky krmiv, exkrementy z chovu hospodářských zvířat
- komunální organické odpady – kaly z odpadních vod, odpadní organické zbytky z údržby zeleně a travnatých ploch
- organické odpady z potravinářských a průmyslových výrob – odpady z jatek, odpady z mlékáren, odpady z lihovarů a konzerváren
- odpady z lesního a dřevozpracujícího průmyslu – kůra, větve, pařezy, odřezky, piliny.

2.2.2. Záměrně pěstovaná biomasa

Cílené pěstování plodin pro energetickou biomasu nabývá stále většího významu, zahrnuje pěstování energetických plodin bylinného charakteru a rychle rostoucích dřevin. Plantáže rychle rostoucích dřevin jsou už poměrně známé, ale jsou rozšířeny hlavně v zahraničí, méně známé jsou pak energetické plodiny bylinného charakteru [4].

Energetické plodiny bylinného charakteru

Jsou to plodiny, které se pěstují především pro energetické využití, tedy nikoli pro produkci potravin. V zásadě je možné každou plodinu využít energeticky, avšak praktický význam mají jen plodiny s určitými, pro energetické použití významnými vlastnostmi (velký obsah sušiny v době sklizně, vysoká výhřevnost, nízký obsah popela) [7].

V tropických oblastech se běžně vyskytují víceleté traviny, jako je například *Miscanthus* a *Arundo*, hovorově nazývané „deltská“ či „sloní“ tráva, dosahující výšky až 7 m. V ideálních tropických podmínkách tyto traviny produkují 66 až 88 t z 1 ha za rok. Avšak po aklimatizaci v Evropě produkce „sloní trávy“ poklesla asi na 30 až 40 t z 1 ha za rok. Proto v našich podmínkách mají zajímavý potenciál jiné energetické plodiny [2].

Z jednoletých jsou to plodiny, jako *laskavec* (*Amaranthus*), *konopí seté*, *čirok zrnový*, *Hyso*, *súdánská tráva* a jiné. Z vytrvalých rostlin jsou pak typickým příkladem *šťovík krmný*, *křídlatka z čeledi Polygonum* a *sléz vytrvalý*. Jako zástupce energetických travin lze jmenovat *sveřep bezbranný*, *sveřep horský* nebo *ovsík vyvýšený*.

Největší význam mají rostliny vytrvalé. Důvodem je jejich efektivnost a snížení nákladů na pěstování a každoroční zakládání porostů. Další jejich výhodou je protierozní působení. Zajímavé jsou i energetické trávy, které navíc plní funkci zatravňování, a také osiva těchto trav je možné běžně zakoupit [2], [4].

Z energetických bylin se celkově jako nejperspektivnější jeví krmný šťovík, označovaný *Rumex OK 2*, pod názvem odrůdy Uteuša. Je to plodina vyšlechtěná na Ukrajině křížením šťovíku zahradního a řaňanského. V prvním roce se nesklízí, ale již od druhého roku po zasetí produkuje 8 – 10 t/ha suché hmoty. *Rumex OK 2* se uplatňuje „nazeleno“ jako krmivo pro hospodářská zvířata, v suchém stavu k přímému spalování a rovněž při výrobě bioplynu [4].

Rychle rostoucí dřeviny

Lesy tvořené rychle rostoucími dřevinami jsou zakládány za účelem získání co největšího množství biomasy na co nejmenší ploše, případně k využití přebytečné zemědělské půdy. Výsadba rychle rostoucích dřevin je organizována do rovných řad v pravidelných vzdálenostech, proto jsou tyto lesy označovány jako plantáže. Tento způsob výsadby je výhodný zejména při ošetřování a sklizni.

Rychle rostoucí dřeviny jsou plantážovým způsobem pěstovány po celém světě, například v Brazílii, Austrálii a Jižní Africe se pěstují eukalypty; v Číně, Indii a Thajsku se pěstují tropické akáty – akácie. Rychle rostoucí topoly se pak pěstují v téměř celé Evropě [6].

Pěstování rychle rostoucích dřevin se uplatňuje zejména v oblastech s mírným podnebím a na půdách dobře zásobených vodou a živinami. Aby byla zajištěna efektivnost při pěstování rychle rostoucích dřevin, je třeba zajistit extrémně vysoký vzrůst dřevin v mládí, výborné obrůstací schopnosti pařezů po obmýtí, odolnost proti škůdcům a chorobám a uzpůsobený pozemek k mechanizačnímu zpracování.

Z dřevin, které respektují uvedené podmínky, je nejnámější topol černý a balzámový, dobré výsledky přinášejí i vrby. Z ostatních druhů, které jsou méně výkonné, lze jmenovat akát, olši, osiku a břízu. Obecně platí, že nejvýnosnější dřevina odpovídá konkrétnímu stanovišti v každé oblasti [2].

Rychle rostoucí dřeviny jsou především zdrojem biomasy, ale stejně jako „klasické“ lesy mají i mnohé další funkce. Slouží například pro produkci kyslíku a pohlcování oxidu uhličitého, pro eliminaci eroze půdy; mají i funkci asanační, izolační, kulturní a další [6].

2.3. Možnosti využití biomasy

Využití biomasy je velmi různorodé. V současné době je biomasa využívána jak energeticky, tak i neenergeticky (materiálové využití).

Energetické využití biomasy [8]:

- výroba tepla
- kombinovaná výroba elektrické energie a tepla (kogenerace)
- výroba kapalných biopaliv
- výroba bioplynu

Neenergetické využití biomasy [8]:

- farmaceutický a chemický průmysl
- stavebnictví
- dřevozpracující průmysl

2.3.1. Neenergetické využití biomasy

Neenergetické využití biomasy zahrnuje veškerou odpadní i cíleně pěstovanou biomasu určenou pro průmyslovou výrobu. Jedná se zejména o papírenský průmysl (výroba papíru a buničiny), stavebnictví (výroba cihel, stavebních desek, apod.), průmysl farmaceutický a chemický. Tento způsob využívání biomasy má nabývat na významu, ale z větší části je závislý na tržních podmínkách, jelikož na rozdíl od energetického využití nebývá zvykem tuto oblast dotovat [8].

2.3.2. Biomasa jako zdroj tepla

Významná část energie, která je spotřebována, je využita k výrobě tepla na vytápění a ohřev vody v domech, případně pro různé průmyslové procesy. Teoreticky je možné na teplo proměnit jakoukoliv formu energie se 100% účinností (na rozdíl od výroby elektřiny), ale technicky to tak jednoduché není, proto bývá dosažená účinnost o nějakých 10 % nižší.

Používání biomasy pro výrobu tepla má dlouhou tradici a v zásadě k tomu nejsou zapotřebí nijak drahé a složité technologie. Teplo se z biomasy vyrábí spalováním, což je, vedle jejího využití jako krmiva a potravy, asi její nejstarší a nejběžnější využití.

Nejdůležitější výhodou biomasy jako obnovitelného zdroje energie je, že její spalování nevede ke zvyšování obsahu oxidu uhličitého v atmosféře. Teoreticky je stejné množství oxidu uhličitého, které rostliny získaly z atmosféry a uložily ve formě biomasy, při spalování uvolněno zpět do atmosféry, avšak v praxi to tak docela není pravda. Důvodem je, že při pěstování biomasy se obvykle používají různá hnojiva a pesticidy a při sklizni stroje, poháněné naftou, takže do procesu vstupuje jistý podíl fosilních paliv.

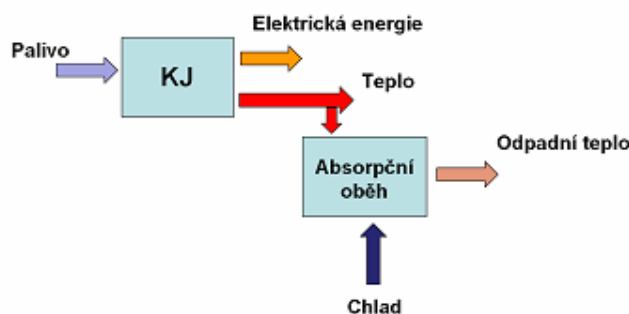
V zásadě lze spalovat jakoukoli formu biomasy, musí být ovšem splněny jisté podmínky. Jedná se především o přijatelnou míru vlhkosti, vhodnou velikost a formu biomasy a rovněž odpovídající zařízení pro její spalování [7]. Spalování biomasy bude podrobněji popsáno v kapitole 3.1.

2.3.3. Kogenerace

Kogenerace znamená kombinované využití elektrické energie a tepla. Na rozdíl od klasických elektráren, ve kterých se nejprve spálením paliva vyrobí teplo, které je potřebné k následné výrobě elektřiny, a poté vypuštěno do okolí, kogenerační jednotka využívá toto teplo k vytápění a zvyšuje tak účinnost výroby energie. Kogenerační jednotky jsou nejčastěji využívány v městských a průmyslových teplárnách, bioplynových stanicích a spalovnách komunálních odpadů. Kogenerační jednotky pracují s účinností v rozmezí 80 - 90 % [9], [10].

Výhoda využívání kogenerační jednotky spočívá v minimalizaci nákladů na rozvod energie, poněvadž teplo i elektřina vznikají najednou a v místě své spotřeby, současně se tedy redukuje i ztráty v rozvodných sítích. Oproti běžným elektrárnám se při použití kogenerace ušetří asi 40 % paliva, tudíž i z ekologického hlediska je tento způsob výroby energie výhodnější.

Ke kogenerační jednotce lze připojit absorpční chladicí jednotku, tento systém je označován jako trigenerace a jedná se o kombinovanou výrobu elektřiny, tepla a chladu. Toto spojení je výhodné z ekonomického pohledu, jelikož v letních měsících se namísto tepla vyrábí chlad, kogenerační jednotka tedy může naplno pracovat celoročně [9]. Schéma kogenerace, respektive trigenerace je znázorněno na obr. 1.



Obr. 1 Blokové schéma kogenerace, resp. trigenerace [9]

Kogenerace se uskutečňuje buď ve velkých kogeneračních jednotkách, nebo v malých kogeneračních jednotkách. Velké kogenerační jednotky se používají v městských teplárnách, případně podnikových zařízeních a jejich výkon se pohybuje ve stovkách kW, přičemž někdy dosahuje i několika MW. Malé kogenerační jednotky obvykle dosahují výkonu desítek až stovek kW [11]. „Technologická zařízení určená pro kogeneraci se v závislosti na požadovaném výkonu, účelnosti zařízení, investičních možnostech zadavatele a dalších podmínkách, vybavují parními turbínami, spalovacími turbínami nebo spalovacími motory“ [10]. V tabulce 1 jsou uvedeny základní parametry jednotlivých zařízení pro kombinovanou výrobu tepla a elektřiny.

Tab. 1 Základní parametry zařízení pro kombinovanou výrobu tepla a elektřiny [11]

Typ teplárny	Podíl výroby elektřiny a tepla [-]	Účinnost elektrická [%]	Účinnost tepelná [%]	Účinnost celková [%]	El. výkon teplárny [MW]
S parním strojem	0,16 – 0,25	8 – 12	60 - 67	68 – 87	0,1 – 2
S parní turbínou	0,24 – 0,34	12 - 15	60 – 68	72 – 80	0,15 - 100
Se spalovacími motory	0,7 – 0,1	32 – 41	44 – 53	82 – 90	0,1 - 10
Se spalovacími turbínami	0,5 – 0,8	23 – 38	36 – 50	68 – 85	2 - 100
Paroplynové	0,5 – 1,5	35 – 44	32 – 50	78 – 87	5 – 200 a více

Kogenerační jednotka se spalovací turbínou

Tento typ kogenerační jednotky se skládá ze soustrojí spalovací turbína a spalínový kotel. Elektřina je vyráběna ve spalovací turbíně, ze které jsou spaliny odváděny do spalovacího kotle, kde se vyrábí teplo ve formě páry nebo teplé vody. Výhodou kogenerační jednotky se spalovací turbínou je možnost volby média, kterým je teplo odváděno ze spalínového kotle [11].

Kogenerační jednotka s parní turbínou

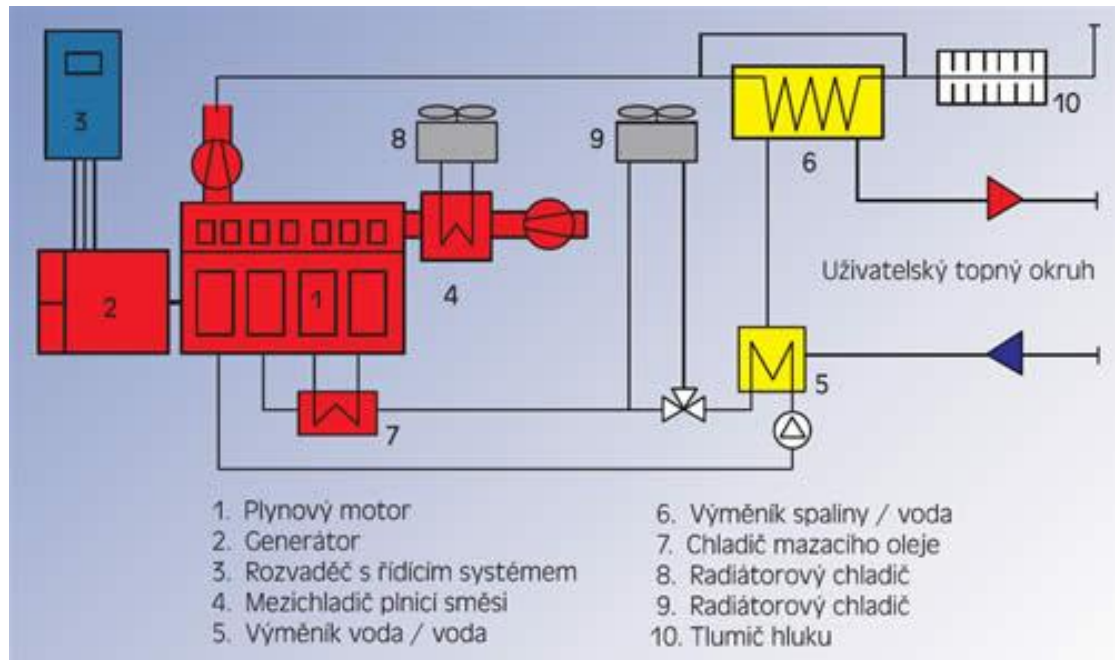
Výroba elektrické energie a tepla se provádí prostřednictvím páry, která se získává v parním kotli. Pára je přiváděna do parního motoru, do protitlaké nebo kondenzační odběrové parní turbíny, kterými je poháněn generátor elektrické energie. Teplo je získáváno ve formě páry a odebíráno z výfuku parního stroje nebo z protitlaku parní turbíny. Pro parní kogeneraci jsou dodávány soustrojí s axiálními nebo radiálními protitlakovými turbínami, přičemž axiální turbíny jsou používány pro vyšší výkony a radiální pro nižší elektrické výkony. Z hlediska termodynamické účinnosti jsou upřednostňovány rychloběžné radiální turbíny, jednostupňové nebo dvoustupňové. Turbíny jsou konstruované pro vstupní tlak páry 0,9 - 6,5 MPa a výstupní tlak páry 0,1 - 0,7 MPa a teplotu páry 200 - 450 °C [11].

Paroplynová kogenerace

Cílem zařízení pro paroplynovou kogeneraci je vyrobit maximální podíl elektřiny, čehož je dosaženo použitím dvou turbosoustrojí se spalovací a parní turbínou. Pára, vyrobená ve spalínovém kotli odpadním teplem ze spalovací turbíny, ještě navíc pohání soustrojí s parní turbínou. Teplo se získává ze spalín spalovací turbíny a také z protitlaku parní turbíny [11].

Kogenerační jednotka se spalovacím motorem

Kogenerační jednotka se spalovacím motorem (schéma je znázorněno na obr. 2) se skládá ze zážehového spalovacího motoru, který pohání alternátor vyrábějící elektřinu a z výměníků zajišťujících využití odpadního tepla z motoru. Výměníky pracují na dvou teplotních úrovních. První výměník odvádí teplo z bloku motoru při teplotě 80 – 90 °C a druhý výměník odvádí teplo z odcházejících výfukových spalin při teplotách 400 – 500 °C [11].



Obr. 2 Blokové schéma kogenerační jednotky se spalovacím motorem [11]

Plynové spalovací motory pro kogeneraci

V současné době je pro kogeneraci také již velmi rozšířené užívání plynových spalovacích motorů. Jako palivo se používá především zemní plyn a bioplyn. Kritické faktory při provozu spalovacího motoru jsou následující: teplota plynu, tlak plynu, výkyvy plynu, vlhkost plynu a spád potrubí.

Teplota plynu před vstupem do kogenerační jednotky by neměla být větší než 40 °C, poněvadž při vyšších teplotách dochází k nadměrnému namáhání armatur a řídicích jednotek, což vede k poškození membrán a tím k jejich netěsnostem. Tlak plynu by se měl pohybovat v rozmezí 9 až 20 kPa, přičemž jeho výkyvy by neměly překročit hodnotu 1 kPa/s. Relativní vlhkost plynu by měla dosahovat maximálně 80 %, dosahuje-li vyšších hodnot, dochází k tvorbě vodních zátek. S tím souvisí i spád potrubí, který se s ohledem na kondenzaci plynu volí co nejmenší, právě proto, aby se zabránilo vzniku vodních zátek. Hodnoty kritických faktorů se ovšem liší podle použitých materiálů a konstrukčního uspořádání, a proto každý výrobce kogeneračních jednotek uvádí tyto faktory jiné.

Teplo se získává za pomoci tepelných výměníků, základní výměník u kogeneračních jednotek je především výměník motorového okruhu a spalinový výměník. U motorového okruhu je vhodné použít deskový výměník, u spalinového pak trubkový, přičemž spaliny proudí uvnitř trubek a předávají tak svou tepelnou energii otopné vodě. Elektrická energie se získává přeměnou mechanické energie, za pomoci elektromagnetické indukce v elektrickém generátoru, obvykle se používají generátory synchronní a asynchronní [10].

2.3.4. Kapalná biopaliva

Kapalná biopaliva jsou na rozdíl od dřeva značně flexibilnější, poněvadž kromě výroby tepla a elektrického proudu se mohou používat i jako pohonné hmoty pro dopravní prostředky. Možností využití biomasy pro dopravu je celá řada, praktický význam mají však jen některé. Omezení tkví v tom, že moderní spalovací motor dokáže využít jen kapalné nebo plynné palivo a má i poměrně vysoké nároky na jeho kvalitu. Rostlinou biomasu je tedy nejprve nutné přeměnit na kapalné palivo. Mezi kapalná biopaliva patří bioolej, bionafta, bioetanol a paliva BTL [1], [7].

Bioolej

Bioolej je palivo, které lze nejsnadněji vyrobit, pro jeho výrobu je možno použít až 1000 různých olejnatých rostlin. Mezi nejrozšířenější oleje patří řepkový, sojový a palmový. Rostlinné oleje se získávají buď přímo vylisováním, nebo extrakcí bez nutnosti dalších chemických úprav. Zbytky z lisování se dají využít jako krmivo pro zvířata. Rostlinné oleje se jako paliva mohou používat jen u vznětových motorů [1], [13].

Bionafta

Surovinou pro výrobu bionafty je řepkový olej, ze kterého se esterifikací, tj. substitucí metanolu za glycerin obsažený v oleji, získává metylester řepkového oleje (MEŘO), který má podobné vlastnosti a výhřevnost jako motorová nafta. Avšak na rozdíl od běžné nafty je rozložitelnost bionafty v přírodě několikrát rychlejší, což má příznivé dopady při ochraně životního prostředí. Bionaftu lze používat jako palivo pro vznětové motory, avšak motory musí být pro její použití uzpůsobené. Existuje totiž nebezpečí, že bionafta poškodí nebo zničí hadice a těsnění a poškodí tak motor. Určité množství bionafty lze přimíchat do běžné motorové nafty, tato směs je pak označována jako směsná motorová nafta, jejíž jakost je ošetřena normou ČSN 65 6508. Dle této normy musí směsná nafta obsahovat minimálně 31 % MEŘO (tato směs je označována jako SMN 30 – bionafta 2. generace). Norma klade požadavek i na obsah síry, jejíž maximální hodnota nesmí překračovat 40 mg/kg [1], [2], [12].

Bioetanol

Bioetanol se vyrábí z glukózy (cukr) a škrobu, proto se jako suroviny pro jeho výrobu používají cukrová řepa, cukrová třtina nebo obilí. Přestože cukrovka je nejvýnosnější plodinou k výrobě etanolu, v našich podmínkách se, z mnoha důvodů, mezi které patří relativní agrotechnická nenáročnost, zavedená technologie sklizně a skladování, vznikající přebytky, upřednostňují obiloviny. Z cukru, případně škrobu se fermentací získává rmut s obsahem etanolu kolem 12 %. Ten je pak destilován, čímž se získá surový alkohol, který dosahuje koncentrace okolo 90 %. Surový alkohol se poté dehydruje a nakonec je získán vysokoprocenní etanol. Bioetanol lze používat jako čistou nebo jako směsnou pohonnou hmotu. Bioetanol v čisté formě nemůže být používán pro pohon konvenčních motorů, jsou totiž vyžadovány motory na čistý bioetanol, avšak lze jej bez problémů míchat s benzínem. Požadavky na kvalitu bioetanolu určeného k použití do automobilových benzínů, jsou upraveny normou ČSN 65 6511, podle které je obsah etanolu před denaturací 99,7 %. Do běžných zážehových motorů lze dle normy ČSN EN 228 (656505) bez problémů přimíchat až 5 % bioetanolu. V současné době se začala jako palivo využívat směs s označením E85, jedná se o palivo, které obsahuje až 85 % etanolu a 15 % benzínu [1], [2].

Paliva BTL

Nevýhodou bioolejů, bionafty nebo bioetanolu je, že se pro jejich výrobu dají použít jen ty části rostlin, které obsahují olej, cukr nebo škrob. Tuto nevýhodu by měla odstranit druhá generace biopaliv – paliva BTL (Biomass To Liquid). Jedná se o syntetickou výrobu biopaliv, ke které lze jako suroviny využít slámu, biologický odpad, zbytky dřeva, případně i celé rostliny.

Výroba BTL paliv je poměrně komplikovaná, v prvním stupni se provádí zplyňování surovin, kdy při vysokých teplotách přidáním kyslíku a páry vzniká syntézní plyn („synplyn“) z oxidu uhelnatého a vodíku. Různé stupně čištění plynu separují oxid uhličitý a ostatní nežádoucí příměsi a technologie chemické syntézy pak mění „synplyn“ na kapalné uhlovodíky. V posledním stupni – finalizaci – se kapalné uhlovodíky od sebe oddělují a zušlechťují se.

Hlavní předností paliv BTL je, že mohou být spalována ve stávajících motorech bez přizpůsobení a modifikace, ale na druhé straně jsou tato biopaliva stále relativně drahá [1].

2.3.5. Bioplyn

Bioplyn se v ideálním případě skládá ze dvou plynných složek, metanu a oxidu uhličitého. Jeho kvalita je dána právě podílem metanu a čistotou bioplynu; surový bioplyn by měl obsahovat více než 50 % objemu metanu (složení bioplynu je uvedeno v tabulce 2). Bioplyn vzniká biologickým rozkladem organických látek za působení metanogenních, acetotrofních a hydrogenotrofních mikroorganismů. Průběh procesu vzniku bioplynu ovlivňuje celá řada procesních a materiálových faktorů, k nimž patří složení materiálu, podíl vlhkosti, teplota prostředí a anaerobní prostředí (prostředí, v němž není přítomen kyslík) [2].

Tab. 2 Složení bioplynu [7]

metan	oxid uhličitý	vodní pára	dusík	kyslík	vodík	čpavek	sulfan
40 - 75 %	25 - 55 %	0 - 10 %	0 - 5 %	0 - 2 %	0 - 1 %	0 - 1 %	0 - 1 %

Bioplyn je plynné palivo, jehož hlavní předností je, že má řadu významných výhod [7]:

- Zpracovává se biomasa s vysokým obsahem vody, jejíž sušení by bylo obtížné.
- Lze zpracovávat i odpady ze živočišné a zemědělské produkce (hnůj, kejda) a vytvořit z nich kvalitní organické hnojivo.
- Je možná likvidace a zpracování jinak těžko odbouratelných organických zbytků, např. zbytky jídel.
- Bioplyn vzniká i z odpadů uložených na skládkách, tím pádem se dají zpracovat i odpady z minulosti – vzniká tzv. skládkový plyn.
- Bioplyn lze též použít k pohonu kogeneračních jednotek a využít ho tedy nejenom k výrobě tepla, ale i elektřiny.

V technické praxi se jako bioplyn označuje plynná směs vzniklá anaerobní fermentací vlhkých organických látek v umělých technických zařízeních, jako jsou reaktory, digestory, případně laguny se zařízením na jímání plynu [2]. Anaerobní fermentace bude podrobněji rozebrána v kapitole 3.4.

3. Technologie na zpracování biomasy

Způsob využití biomasy k energetickým účelům je do značné míry předurčen jejími fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Asi nejdůležitějším parametrem je vlhkost, jenž je charakterizována obsahem sušiny v biomase. Hranici mezi suchými a mokrymi procesy určuje hodnota 50 % sušiny, tedy pokud je obsah sušiny menší než 50 % jedná se o mokré procesy, v opačném případě se jedná o suché procesy [2]. Způsoby a metody zpracování biomasy k energetickým účelům zobrazuje tabulka 3.

Tab. 3 Způsoby a metody zpracování biomasy k energetickým účelům [2]

Typ konverze biomasy	Způsob konverze biomasy	Energetický výstup	Odpadní materiál nebo druhotná surovina
Termochemická konverze (suché procesy)	Spalování	Teplo vázané na nosič	Popeloviny
	Zplyňování	Generátorový plyn	Dehtový olej, uhlíkaté palivo
	Pyrolýza	Generátorový plyn	Dehtový olej, pevné hořlavé zbytky
Biochemická konverze (mokrý procesy)	Anaerobní fermentace	Bioplyn	Fermentový substrát
	Aerobní fermentace	Teplo vázané na nosič	Fermentový substrát
Fyzikálně-chemická konverze	Esterifikace bioolejů	Metylester, bioolej	glycerin

3.1. Spalování biomasy

Spalování biomasy je jedno z nejstarších energetických využití biomasy. Hoření biomasy probíhá za vysokých teplot (700 až 900 °C) a za přítomnosti vzdušného kyslíku. Pokud jde o dokonalé spalování, vznikají stejné látky jako při spalování jiných organických látek – oxid uhličitý a voda. Při nedokonalém spalování vzniká ještě celá řada dalších znečišťujících látek, jako oxid uhelnatý nebo oxidy dusíku [2], [7].

Spalování biomasy je ovlivněno mnoha faktory. Jedná se především o vysoký podíl uvolňované prchavé hořlaviny při teplotách nad 200 °C, dlouhé plameny zapříčiňující potíže při průniku potřebného kyslíku pro dokonalé spálení, relativně dlouhá doba prohořívání spalitelných plynů, vyšší spotřeba spalovacího vzduchu, nízká hustota většiny fytopaliv (zejména slámy, dřevní štěpky a pilin) a určitý podíl popílku s obsahem těžkých kovů.

Pro spalování je nejúčelnější a nejekonomičtější používat dřevo a slámu. Důležitým předpokladem pro efektivní spalování s příznivým dopadem na životní prostředí je, aby obsah vlhkosti paliva byl co nejnižší. Pro chování dřeva a slámy při hoření má význam i jejich struktura; upravují se do podoby polen, briket, pelet a dřevní štěpky, sláma se vyskytuje ve formě balíků. Dřevo a sláma jsou spalovány za účelem vytápění obytných domů a poskytování tepla a energie pro zemědělství a průmyslový sektor (sušárny, skleníky, palírny, lihovary) [13].

Při spalování biomasy probíhá celá řada procesů. Mechanismus hoření dřeva, či slámy začíná zahříváním dřeva, při kterém dochází k odpaření vody. Tento proces spotřebuje mnoho tepla a velmi efektivně dřevo chladí, proto po odpaření vody ve vysušené zóně vzroste teplota a začne docházet k uvolňování dalších prchavých látek (pryskyřice) a k tepelnému rozkladu jednotlivých látek, ze kterých se dřevo skládá, vzniká tak směs hořlavých plynů. Hořlavé plyny s přiváděným vzduchem hoří ve formě dlouhého plamene (primární spalování – zplyňování). Při tomto procesu ale nedojde ke spálení všech spalitelných plynů, protože k tomu většinou není dostatek kyslíku nebo dostatečná teplota. Z tohoto důvodu se do plamene přimíchává ještě sekundární vzduch, který zajišťuje dohoření nespálených plynů [7].

3.1.1. Výhřevnost biomasy

„Výhřevnost je vlastnost paliva, která udává, kolik energie se uvolní úplným spálením jedné jednotky (obvykle 1 kg). Proti spalnému teplu není v hodnotě zahrnuto měrné skupenské teplo páry, obsažené ve spalinách. Předpokládá se, že její teplo je nevyužitelné a uniká v plynném stavu se spalinami“ [14].

Výhřevnost biomasy je jedním z nejdůležitějších parametrů pro její spalování. Je závislá především na obsahu vody v palivu a také na době skladování, protože na tyto biopaliva působí mikroorganismy, houby a plísňe, jež snižují výhřevnost.

Výhřevnost biomasy dosahuje poměrně vysokých hodnot: u dřevin, slámy a travin se pohybuje okolo 19 MJ/kg, přičemž tato hodnota je necelá polovina výhřevnosti fosilních paliv. Avšak ve skutečnosti biomasa obsahuje nejméně 10 % vody – tato voda se při hoření odpařuje a tím snižuje základní výhřevnost sušiny obsažené v biomase [2].

3.1.2. Zařízení na spalování biomasy

Spalovací zařízení musí splňovat tyto požadavky [13]:

- snadná obsluha, malé pracovní zatížení (odstraňování popelu)
- vysoký stupeň účinnosti (75-85 %), spalování s příznivým dopadem na životní prostředí
- dostatečná regulovatelnost topného systému
- vysoká životnost
- přijatelná cena za pořízení

Kachlová kamna

Dřevo je většinou spalováno ve formě polen, teplo je do místnosti předáváno sáláním. Výhodou je dobrá spalovací kvalita a optimální akumulace tepla, která zajišťuje rovnoměrnější vytápění a menší nároky na obsluhu. Kachlová kamna dosahují i poměrně vysoké účinnosti; moderní kamna dosahují účinnosti až 80 %. Této účinnosti je dosahováno tím, že spaliny jsou do komína vedeny řadou kanálů, kde odevzdají větší část svého tepla [7].

Kamna a kotle na pelety

Pelety představují poměrně vysoce zhodnocenou biomasu, jejich výroba sice vyžaduje relativně drahé zařízení a vyšší energetickou náročnost, ale na rozdíl od dřeva mají nižší obsah vlhkosti, zpravidla pod 10 %, což usnadňuje jejich spalování. Významnou výhodou topidel na pelety je dobrá regulovatelnost jejich výkonu a také to, že díky jejich malým a pravidelným rozměrům není problém využívat systém automatického dávkování paliva ze zásobníku do hořáku [7].

Kotle na spalování dřevní štěpky

Dřevní štěpka se podobně jako pelety dá využít v kotlích s automatickým provozem a dobrou regulovatelností výkonu. Dřevní štěpka bývá většinou spalována ve větších kotlích, které zásobují například zemědělské farmy [7].

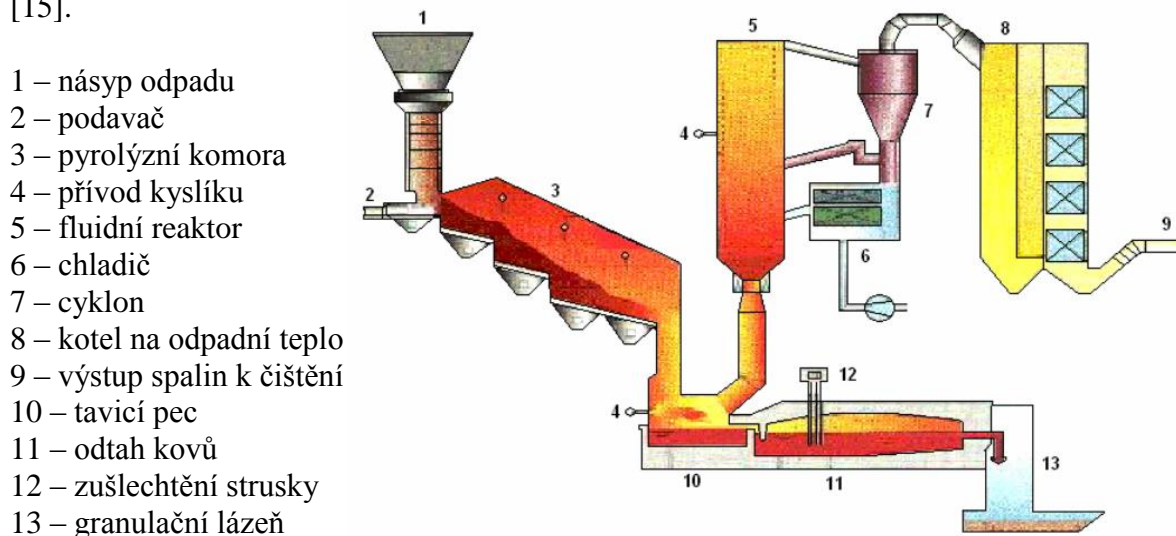
Zatímco spalování dřeva dosáhlo poměrně vysokého stupně technického vývoje, u slámy tomu tak prozatím není. Problémem spalování slámy je vysoký podíl popelu, který je potřeba z oblasti spalování co nejrychleji odstranit, aby se zamezilo tvoření strusky. K tomuto je však nutná obsluha a dohled nad zařízením. Sláma je spalována ve formě slisovaných balíků buď v topeništích s ručním, nebo automatickým podáváním. Mnohá zařízení pro spalování slámy musí být dodatečně vybavena odlučovači prachu, aby byly dodrženy mezní hodnoty pro emisi prachu, stanovené zákonem. Tyto hodnoty se pohybují pro zařízení s ručním spalováním okolo 150 mg/m^3 a pro zařízení s automatickým podáváním okolo 300 mg/m^3 [13].

3.2. Pyrolýza

Pyrolýza je děj řadící se do poměrně široké skupiny termických procesů. Je to proces, při kterém se organické látky termicky rozkládají na nízkomolekulární sloučeniny a tuhý zbytek bez působení médií obsahujících kyslík. Z technologického hlediska lze pyrolýzní procesy dle dosahované teploty rozdělit na nízkoteplotní (do $500 \text{ }^\circ\text{C}$), středně teplotní (500 až $800 \text{ }^\circ\text{C}$) a vysokoteplotní (nad $800 \text{ }^\circ\text{C}$). U nižších teplot je výsledkem pyrolýzy tuhý zbytek, zatímco u vyšších teplot roste podíl pyrolýzního plynu.

Při pyrolýze dochází k řadě dějů. Při teplotách do $200 \text{ }^\circ\text{C}$ dochází k sušení a tvorbě vodní páry, následuje suchá destilace probíhající při teplotách $200 - 500 \text{ }^\circ\text{C}$, při které vznikají plynné a kapalné organické produkty, mezi nimi i pevný uhlík. V oblasti teplot $500 - 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ jsou produkty vzniklé suchou destilací štěpeny a transformovány na stabilní plyny.

V současné době je většina pyrolýzních jednotek založena na termickém rozkladu odpadu v rotační peci vytápěné spalinami, které vznikají z následného spalování pyrolýzních plynů v termoreaktor. V současnosti se ve světě vyskytuje poměrně malý počet pyrolýzních jednotek, k nimž patří např. systém Babcock, systém RCP (viz obr. 3), jednotka S-B-V a další [15].



Obr. 3 Schéma pyrolýzní jednotky RCP [15]

Základem pyrolýzní jednotky RCP je vnitřně vyhřívaná pyrolýzní komora, v níž probíhá kontrolované odplynění odpadu. Bezprostředně za pyrolýzním blokem je umístěna tavicí pec, kde za teplot přes 1400°C probíhá současné spalování plynu a tavení strusky, která je následně zušlechťována a upravována v granulační lázni. Horké spaliny z tavicí pece vstupují do fluidního reaktoru s cirkulující vrstvou, kde jsou zároveň chlazeny pomocí písku na teplotu nižší než 1000°C. V důsledku snahy o minimalizaci objemu spalin došlo k náhradě spalovacího vzduchu ve všech stupních čistým kyslíkem [15].

3.2.1. Rychlá pyrolýza

Při rychlé pyrolýze jsou organické materiály rychle ohřáty na teplotu 400-600 °C bez přístupu vzduchu. Tímto způsobem vznikají stabilní plyny a tuhý zbytek – dřevěné uhlí. Vzniklé plyny jsou odváděny do kondenzátoru, kde zkondenzují na pyrolýzní olej, který je stabilní a nenáročný na skladování a přepravu.

Pyrolýzní olej má širokou škálu využití – používá se při výrobě tepla, elektrické energie, pohonných hmot i v chemickém průmyslu. V praxi se pyrolýzní olej s úspěchem osvědčil zejména při spoluspalování v kotlích na zemní plyn, a další možnosti využití jsou testovány v laboratořích [16].

3.2.2. Pomalá pyrolýza – karbonizace

Pomalá pyrolýza je technologie používaná pro výrobu dřevěného uhlí. Jde o nejstarší, ale stále používanou metodu zpracovávání biomasy pro energetické využití. Karbonizace probíhá při teplotě 400 °C bez přístupu vzduchu a uskutečňuje se v milířích nebo v karbonizačních pecích a retortách. Zásadní rozdíl mezi milíři a retortami představuje způsob dodávání tepla pro tepelný rozklad. Zatímco u milířů a karbonizačních pecí dodává potřebné teplo samo zuhelnatělé dřevo, u retort je teplo dodáváno zvenčí, zahříváním pláště retorty.

Při karbonizaci se získává až 35 % dřevěného uhlí, 15,8 % nezkondenzovatelných plynů, 8,1 % dehtu, 6,0 % kyseliny octové a přibližně dalších 300 chemických sloučenin, jejichž objemový podíl nepřesahuje 1 % [2].

3.3. Zplyňování

Zplyňování je termochemická přeměna uhlíkatého materiálu, za pomoci zplyňovacích médií a tepla, na energetický plyn obsahující výhřevné složky (oxid uhelnatý a vodík), doprovodné složky (oxid uhličitý, dusík) a znečišťující složky (dehet, prach). Pro zplyňování je nejvhodnější použít dřevo a slámu. Zplyňování probíhá ve čtyřech fázích - sušení, pyrolýza, oxidace a redukce – a uskutečňuje se ve zplyňovacích generátorech. Generátory jsou vyráběny se sesuvným ložem (soproudé, protiproudé), s fluidním ložem, nebo hořákové. Jednotlivé typy zplyňovacích generátorů se značně liší ve svém funkčním principu, proto mají i rozdílné požadavky na parametry paliva (jejich přehled je uveden v tab. 4) [2], [17].

V případě, že je tepelná spotřeba pokryta částečným spálením paliva přímo v reaktoru, jde o přímé (autotermní) zplyňování. Při přímém zplyňování musí být do reaktoru přiváděn kyslík (nejčastěji se používá vzdušný), aby došlo k potřebným spalovacím reakcím, které poskytují teplo pro zplyňování. Použití vzdušného kyslíku se projevuje naředěním produkovaného plynu, dochází tedy i ke snížení obsahu výhřevných složek, výhřevnost plynu se pak pohybuje v rozmezí 2,5 – 8,0 MJ/m³.

Pokud je teplo přiváděno z okolí do reaktoru jde o nepřímé (alotermní) zplyňování, při kterém je produkován plyn s výhřevností až 14 MJ/m³. Nevýhodou je, že je třeba zajistit přísun tepla, což vyžaduje složitější zařízení a vyšší náklady. Zplyňovacím médiem bývá vodní pára, jejímž předehevem je zajištěn přísun tepla [17].

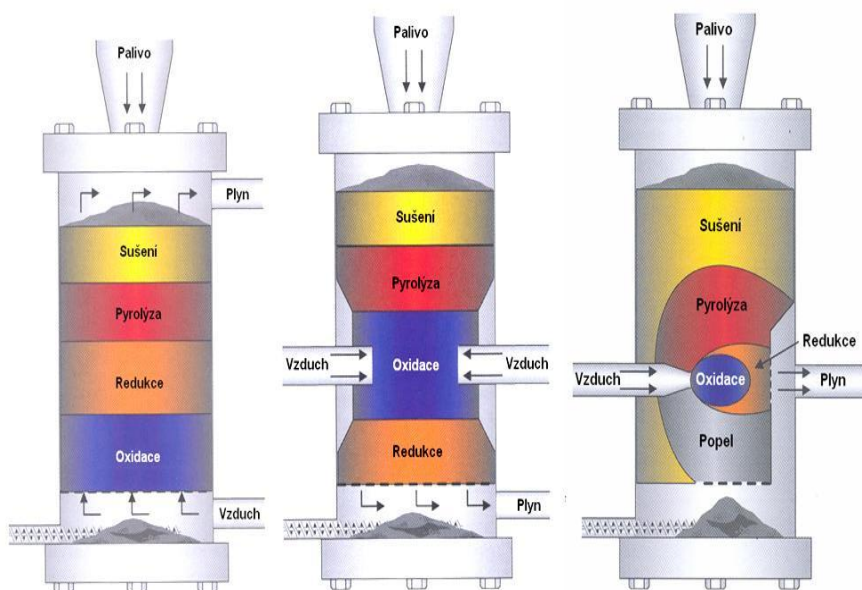
Tab. 4 Požadavky na parametry paliva pro jednotlivé typy generátorů [17]

Typ generátoru	Sesuvný protiproudý	Sesuvný souproudý	Fluidní	Hořákový
Velikost částic [mm]	5 - 100	20 - 100	10 - 100	< 0,1
Vlhkost [hm. %]	< 50	15 - 20	< 40	< 15
Popel [hm. %]	< 15	< 5	< 20	< 20
Sybná hmotnost [kg/m ³]	> 400	> 500	> 100	> 400
Teplota tavitelnosti popela [°C]	> 1000	> 1250	> 1000	< 1250

3.3.1. Zplyňovací generátory

Zplyňovače s pevným ložem (viz obr. 4) [2], [18]:

- Protiproudý zplyňovač - jeho výhodou je nízká pořizovací cena, neboť je jednoduché konstrukce, avšak vyrobený plyn obsahuje více dehtu, a proto je nutné jej čistit.
- Souproudý zplyňovač – na rozdíl od protiproudého vzniká zplyňováním méně dehtů.
- Zplyňovač s křížovým tokem – původně byl navržen pro zplyňování dřevěného uhlí.



Obr. 4 Schéma zplyňovačů – zleva protiproudý, souproudý, s křížovým tokem [18]

Zplyňovače s fluidním ložem [18]:

- Se stacionární fluidní vrstvou – fluidní vrstva je ukončena hladinou, úroveň dehtů se pohybuje od 1 do 2 %.
- S Cirkulující fluidní vrstvou – nemají žádnou zřetelnou hladinu vrstvy, vrstva je omezena stropem reaktoru, konverze paliva je dokonalejší a vyhoření uhlíku mnohem větší než u zplyňovače se stacionární fluidní vrstvou.

Hořákové (plazmové) zplyňovače - Slouží pro výrobu syntézního plynu. Provozní teploty jsou větší než 2 000 °C, právě kvůli nim se jedná o ekonomicky náročnou technologii, která je prozatím v poloprovozním ověřování [2].

3.4. Anaerobní fermentace

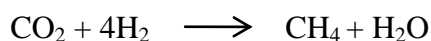
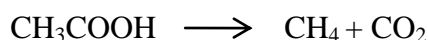
Anaerobní fermentace vlhkých organických materiálů je velice složitý biochemický proces, který sestává z mnoha dílčích na sebe navazujících procesů. Anaerobní fermentace (zjednodušené schéma znázorňuje obr. 5) probíhá ve čtyřech základních fázích – jedná se o hydrolýzu, acidogenezi, acetogenezi a metanogenezi [2].

Hydrolýza – předpokladem pro nastartování procesu je dostatečný obsah vlhkosti – nad 50 % hmotnostního podílu. V této fázi se uplatňují hydrolytické organismy, které ještě nevyžadují bezkyslíkaté prostředí a které svými enzymy mění biomasu na jednodušší organické látky [2].

Acidogeneze – v této fázi dochází ke vzniku anaerobního prostředí, přičemž působením acidogenních bakterií vznikají vyšší organické kyseliny (propionová, máselná), alkoholy, vodík a oxid uhličitý [7].

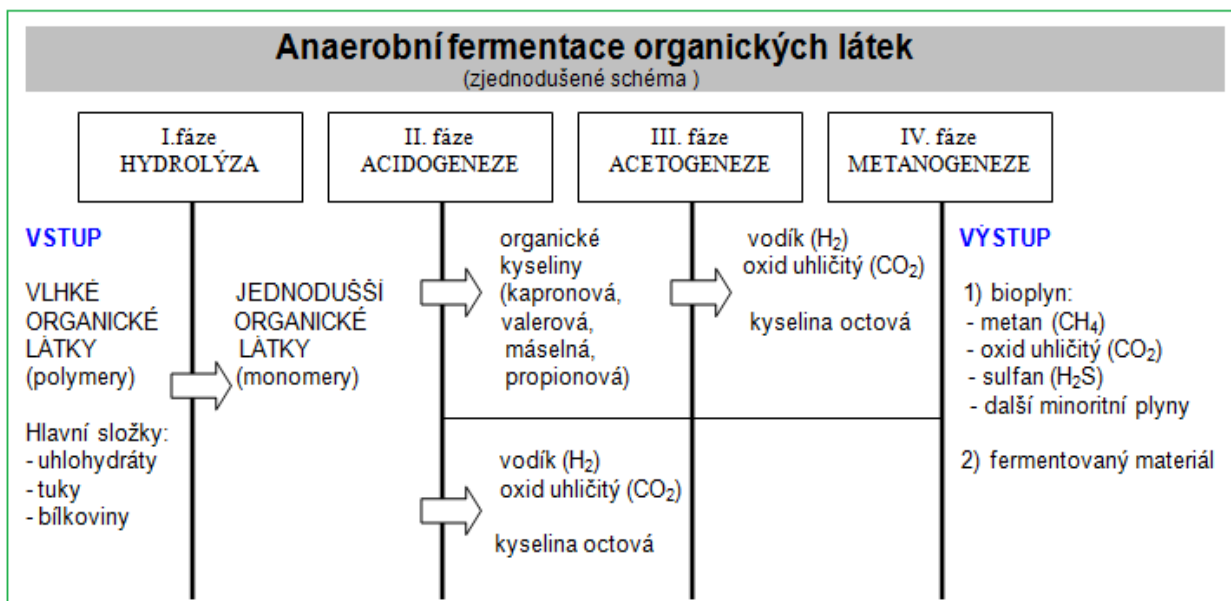
Acetogeneze – v této fázi jsou vyšší organické kyseliny transformovány na kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý [2].

Metanogeneze – působením metanogenních acetotrofních bakterií vzniká z kyseliny octové metan a oxid uhličitý. Další, hydrogenotrofní bakterie produkují metan z vodíku a oxidu uhličitého. V této fázi musí být striktně dodrženo bezkyslíkaté prostředí, neboť kyslík poškozuje uvedené bakterie [2], [7]. Metanogeneze je popsána následujícími rovnicemi [2]:



Výsledkem těchto procesů je bioplyn (viz kapitola 2.3.5.). Pro stabilitu anaerobní fermentace je nutné dodržet rovnováhu v kinetice jednotlivých fází, které probíhají odlišnou kinetickou rychlostí. Metanogeneze probíhá až 5krát pomaleji než ostatní fáze, a právě tomu je nutné přizpůsobit konstrukci bioplynových stanic a dávkování surového materiálu, jinak hrozí přetížení fermentoru [2], [7].

Anaerobní procesy lze dělit dle reakčních teplot na psychrofilní (10 – 20 °C), mezofilní (20 – 40 °C) a termofilní (50 – 55 °C), přičemž relativně největší produkce bioplynu je v termofilní oblasti. Teplotní režim je důležitý především z ekonomického hlediska, jelikož část bioplynu musí být spotřebována pro ohřev fermentoru na potřebnou teplotu (při kvalitním návrhu a provedení bioplynové stanice je spotřebováno asi 30 % vyrobeného bioplynu, v opačném případě může být spotřebováno až 80 % bioplynu) [2], [13].



Obr. 5 Schéma anaerobní fermentace [2]

3.4.1. Zařízení na výrobu bioplynu

Výroba bioplynu se uskutečňuje v bioplynových stanicích (schéma stanice je znázorněno na obr. 6). V praxi existuje celá řada bioplynových technologií, které lze dělit dle způsobu dávkování surového materiálu, nebo dle konzistence substrátu [19].

Dle dávkování surového materiálu rozlišujeme technologie [2]:

- Diskontinuální (s přerušovaným provozem, cyklické) – doba jednoho cyklu odpovídá době zdržení materiálu ve fermentoru, proces je náročný na obsluhu.
- Semikontinuální – doba mezi jednotlivými dávkami je kratší než doba zdržení materiálu ve fermentoru, je to nejpoužívanější způsob plnění dávkování (materiál je dávkován 1krát až 4krát denně), technologický proces lze snadno automatizovat, proces není náročný na obsluhu.
- Kontinuální – používá se pro fermentory, které jsou určeny ke zpracování tekutých organických odpadů s nízkým obsahem sušiny.

Dle konzistence substrátu rozlišujeme [2]:

- Bioplynové technologie na zpracování tuhých materiálů - zpracovávají jsou materiály s obsahem sušiny 18 až 30 %, tato technologie bývá také označována jako suchá fermentace.
- Bioplynové technologie na zpracování tekutých materiálů – zpracovávají jsou materiály s obsahem sušiny 0,5 až 3 % a negativní energetickou bilancí, popř. materiály s podílem sušiny 3 až 14 % a pozitivní energetickou bilancí; tato technologie je také označována jako mokrá fermentace.
- Bioplynové technologie kombinované.

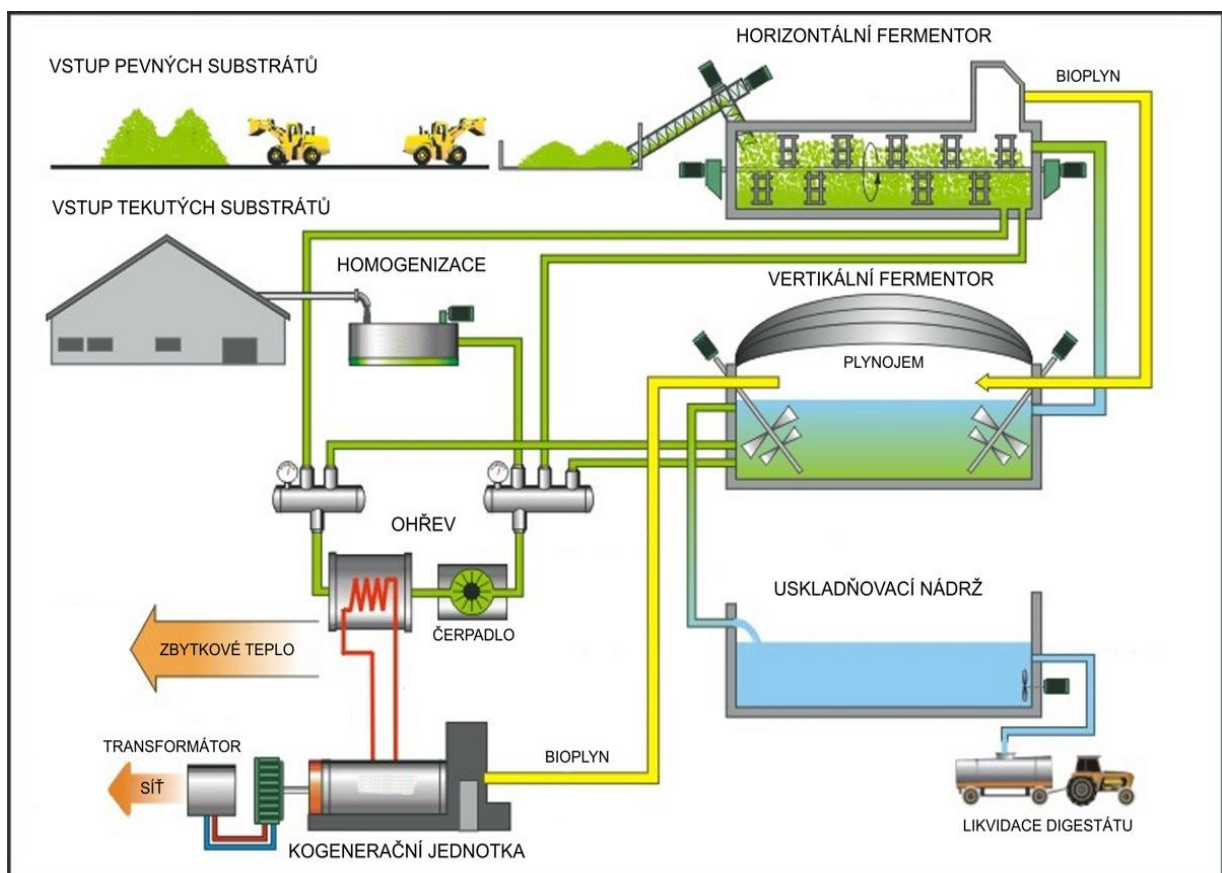
Konzistenci vstupního materiálu velmi často odpovídá i zvolený způsob dávkování: tuhé materiály jsou obvykle dávkovány diskontinuálně a tekuté materiály jsou nejčastěji dávkovány semikontinuálně či kontinuálně [19].

Hlavní prvky bioplynové stanice jsou následující [2]:

- Zdroj organických materiálů – před uskladněním v přijímací nádrži musí být evidován druh, charakter a množství materiálu.
- Příjem a úprava materiálu – skladovací nádrže mohou být vybaveny zařízením na separaci hrubých příměsí, ředění vodou, předehřev materiálu, homogenizaci, inokulaci (aktivaci) mikroflóry a zahušťování řídkého materiálu.
- Anaerobní reaktor (fermentor) – jedná se o nejdůležitější součást bioplynové stanice. Používají se následující provedení reaktorů:
 - laguna
 - reaktory pravoúhlé hranolovité
 - reaktory válcové
 - reaktory kulové nebo polokulové.

Nejjednodušším zařízením, ve kterém probíhá anaerobní fermentace, je laguna, ale ta má velmi malou intenzitu výroby metanu; proto jsou ve většině bioplynových stanic používány válcové reaktory. Reaktory bývají vybaveny míchacím zařízením, ohřevem, homogenizačním zařízením a dávkovacím zařízením.

- Bioplynová koncovka – obsahuje potrubí na dopravu bioplynu, dmychadlo, plynojem, regulační a kontrolní prvky, zařízení na úpravu bioplynu (čištění od H_2O , CO_2 , H_2S , od mechanických nečistot), zařízení na konečné využití bioplynu, hořák zbytkového plynu.
- Kalová koncovka – se skládá z armatur, dopravních čerpadel, skladů, separačních zařízení, spádového síta, šnekového lisu, pásového lisu, rotačního síta).



Obr. 6 Schéma bioplynové stanice [20]

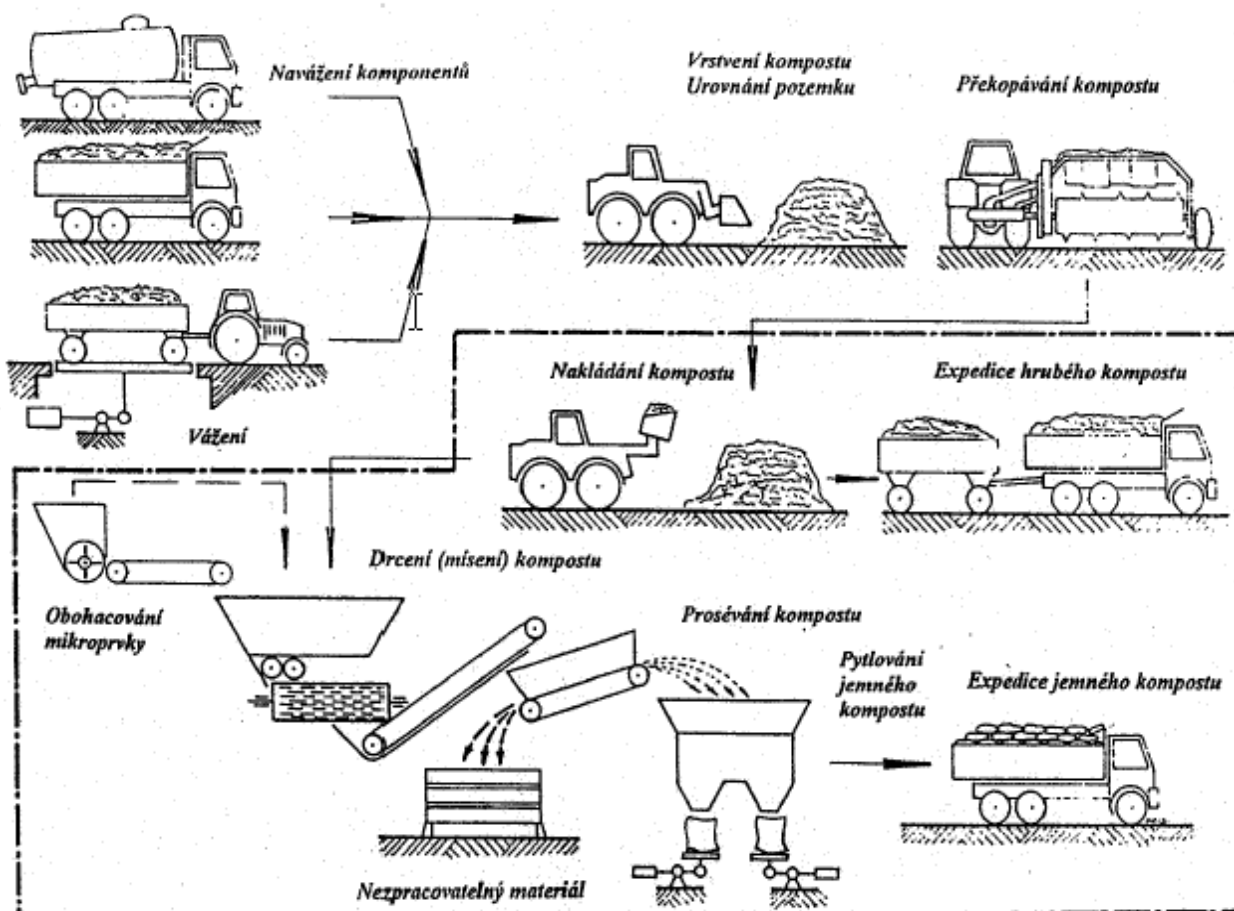
3.5. Aerobní fermentace

V případě aerobní fermentace se jedná o proces rozkladu organického materiálu za přístupu vzduchu. Mezi aerobní procesy řadíme kompostování a technologii Bricolare [21].

3.5.1. Kompostování

Kompostování je řízený proces využívání biologicky rozložitelného odpadu, při kterém činností mikroorganismů za kontrolovaných podmínek vzniká kompost. Ten lze využít jako velice kvalitní hnojivo pro různé plodiny, které lze po jejich odumření znovu využít k výrobě kompostu. Kompost také nahrazuje umělá hnojiva, při jejichž výrobě je životní prostředí zatěžováno emisemi, ty vznikají těžbou surovin, dopravou a energetickou náročností. Kompost je využíván i jako náhrada rašeliny a je nedocenitelný při rekultivacích a zúrodnování půdy [21].

V praxi jsou rozlišovány dva základní kompostovací systémy – otevřený a uzavřený. Otevřený kompostovací systém funguje na principu statické zakládky s přirozeným větráním nebo zvýšenou aerací, které je dosaženo např. vháněním vzduchu do řádků nebo zásobníků. Mezi základní vybavení kompostáren patří drtiče a štěpkovače pro úpravu rostlinného odpadu, překopávače a proseváče (rotační síta) kompostu [22]. Schéma kompostovací linky je znázorněno na obr. 7.



Obr. 7 Schéma kompostovací linky [23]

Uzavřený kompostovací systém funguje nepřerušovaně, přičemž tlení zajišťují různé typy biofermentorů. Kompostovací biofermentory jsou mobilní, tepelně izolované kontejnery se zabudovanou vzduchotechnikou, které zajišťují zrání čerstvého kompostu při dodržování hygienizačních teplot 65 – 75 °C. Proto se uplatňují při kompostování hygienicky rizikových odpadů (zejména čistírenských kalů a zvířecích fekálií). Mezi tuzemské výrobce kompostovacích biofermentorů patří firmy AGROFUTURE, AGRONOM, a VUCHZ [22].

3.5.2. Technologie Bricolare

Tato technologie je podobná kompostování, avšak je méně náročná na plochu. Celé zařízení včetně příjmu a mechanického zpracování bioodpadů je zastřešeno, přičemž odvětrávání je vedeno přes biologický filtr. Odpady ze zeleně jsou drceny a promíchávány s domovními odpady, vzniklá směs je pak proséváním zbavována nežádoucích příměsí a následně opakovaně drcena a přidávána do substrátu. Ten je lisován do tvárnic a rovnán tak, že mezi jednotlivými tvárnicemi jsou mezery pro zabezpečení výměny plynů při fermentaci, která probíhá ve fermentační hale. Kompost je pak proséván na jemném rotačním sítu, kde se tvárnice samy rozpadají. Výsledný produkt je používán jako mulčovací kompost, v zahradnictví a při zakládání a udržování veřejné zeleně [21].

3.6. Hydrotermální karbonizace

Hydrotermální karbonizace je poměrně nová technologie, která byla vyvinuta prof. Marcem Antoinettim v Max – Planckově Institutu. Je to chemický proces, při kterém je z biomasy jednoduše a efektivně vyráběno hnědé uhlí a meziproducty v podobě zemního oleje nebo humusu. Tento proces trvající několik hodin napodobuje vznik hnědého uhlí, které v přírodě vzniká až 50 milionů let [24].

Hydrotermální karbonizace se provádí ve slabě kyselých podmínkách v autoklávu, v němž se biomasa smíchá s vodou a ohřeje se na teplotu okolo 200 °C, jako katalyzátor se používá kyselina citrónová. Po dvanácti hodinách je výchozí produkt přeměněn na porézní kuličky hnědého uhlí o velikosti 8 – 20 nm. Reakce může být dokonce i přerušena, čímž lze dosáhnout různých meziproductů, např. po osmi hodinách vzniká humus. Výhodou hydrotermální karbonizace je, že se řadí mezi mokré procesy, čímž jsou vyloučeny vysoušecí procesy. Nespornou výhodou je i to, že se jedná o silně exotermický proces, při kterém se uvolní až třetina spalované energie, což vysvětluje jednoduchost reakce. Při procesu dochází k efektivnímu vázání uhlíku – uhlíková eficeience se blíží hodnotě 1,24 (to znamená dosažení negativní bilance oxidu uhličitého). Tato technologie byla vyvinuta za účelem snížení podílu oxidu uhličitého v atmosféře, k čemuž by dle výpočtů prof. Antoinettiho stačilo, kdyby zelená hmota na 1 % zemského povrchu byla karbonizována [24], [25].

3.7. Alkoholové kvašení

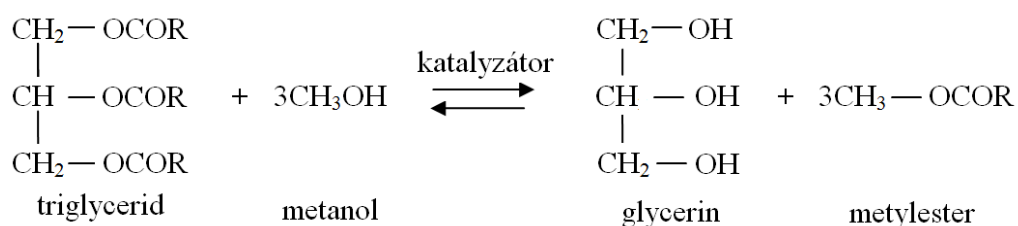
Alkoholové kvašení je již dávno známý postup, který se používá pro výrobu alkoholických nápojů, navíc má etanol velký význam jako pohonná hmota spalovacích motorů i jako surovina v chemickém průmyslu. K výrobě etanolu se používají látky obsahující sacharosu (cukrová řepa) nebo látky obsahující škrob (brambory a obiloviny). Tyto suroviny se zkvašují pomocí kvasinek za nepřístupu vzduchu, avšak substráty obsahující škrob je nejprve třeba rozložit pomocí enzymů nebo kyselin na zkvasitelné cukry [13].

3.8. Esterifikace bioolejů

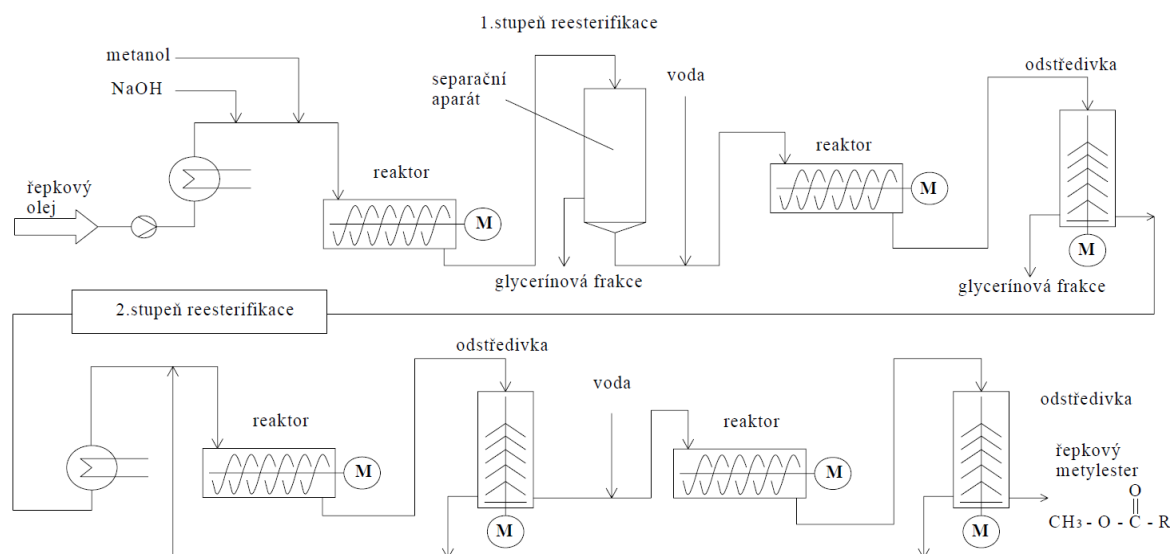
Tato technologie se řadí mezi fyzikálně-chemické procesy, při kterých je biomasa upravována do formy kapalných biopaliv (viz kapitola 2.3.4). Pro tuto technologii jsou nejvhodnější surovinou olejnaté rostliny; v našich zeměpisných šířkách přicházejí v úvahu slunečnice, Euphorbia (pryšec) a řepka, právě ta má největší potenciál [13].

Olejnatá semena jsou v centrálních olejových mlýnech lisována šnekovými lisami, čímž je získáno asi 50 % oleje obsaženého v rostlinách. Zbytky po lisování se dopravují do extraktoru, kde se pomocí rozpouštědla, nejčastěji hexanu, extrahuje zbylá část oleje. Z extraktu je destilací odděleno rozpouštědlo, které se vrací zpět do procesu. Surový olej je tvořen olejem získaným lisováním i olejem získaným extrakcí [2].

Dalším možným způsobem jak využít rostlinné oleje jako biopaliva je jejich esterifikace. Jedná se o proces, do kterého vstupuje kyselina a alkohol společně s katalyzátorem za vzniku esteru. Typickým příkladem reesterifikace v energetice je výroba metylesteru řepkového oleje, tj. bionafta – MEŘO (viz kapitola 2.3.4). Při výrobě bionafty spolu reagují řepkový olej, metanol a jako katalyzátor je používán hydroxid sodný, kdy při teplotách 50 – 60 °C v chemickém reaktoru vzniká MEŘO a jako vedlejší produkt glycerin [1]. Technologické schéma výroby řepkových metylesterů je zobrazeno na obr. 8. Proces reesterifikace je popsán následující rovnicí [2]:



Po dosažení rovnovážného stavu zůstávají v reakční směsi přítomny reakční produkty (nezreagovaný olej, metanol, který je dávkován v nadbytku), reakcí katalyzátoru s mastnými kyselinami vznikají soli mastných kyselin a směs glyceridů a glycerinu. Tato směs oleje a tuků je téměř nemísitelná a rozdělí na dvě fáze, u kterých je potřebná rafinace na standardizovanou kvalitu [2].



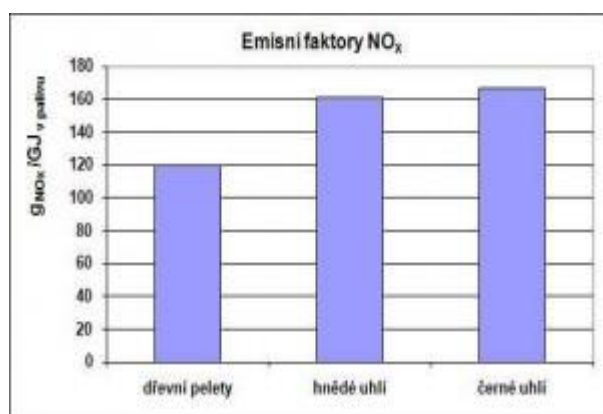
Obr. 8 Technologické schéma výroby metylesterů řepkového oleje

4. Ekologické aspekty využívání biomasy

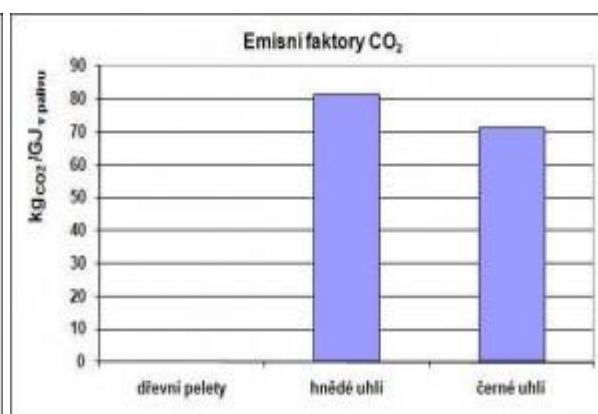
Význam biomasy nespočívá pouze v jejím energetickém využití, ale také v tom, jak její využití pozitivně přispívá ke zlepšení životní prostředí. Přispívá k omezení skleníkového efektu a dále k efektivnímu využití půdy pro pěstování energetických plodin a ke zlepšení ekologie krajiny [1].

Spalování biomasy je z hlediska emisí oxidu uhličitého neutrální, neboť množství uvolněného oxidu uhličitého je srovnatelné s množstvím, které rostliny spotřebují při svém růstu. Na obr. 10 jsou porovnány emise CO_2 vzniklé spalováním biomasy a fosilních zdrojů (po přepočtení emisních faktorů na výhřevnost paliva dosahují emisní faktory CO_2 následujících hodnot: pro hnědé uhlí 81,3 kg CO_2/GJ v palivu, pro černé uhlí 71,3 kg CO_2/GJ v palivu, a i když emise oxidu uhličitého po spalování biomasy nejsou nulové, lze je za nulové považovat).

Kromě oxidu uhličitého vznikají při spalování biomasy další znečišťující látky. Jedná se o oxid uhelnatý, který je produktem nedokonalého spalování. Dále se jedná o oxidy dusíku NO_x , kdy v případě vysokých teplot vznikají termické NO_x a při teplotách běžných pro spalování biomasy (700 – 900 °C) vznikají palivové NO_x (emise NO_x vzniklé spalováním biomasy a fosilních zdrojů jsou porovnány na obr. 9). Znečišťující látkou je také oxid siřičitý, avšak jeho emise jsou velmi nízké, kvůli minimálnímu množství síry obsažené v biomase. Přesto je spalování biomasy ekologicky výhodnější než spalování fosilních zdrojů [2], [26].



Obr. 9 Emisní faktory NO_x přepočtené na výhřevnost paliva [26]



Obr. 10 Emisní faktory CO_2 přepočtené na výhřevnost paliva [26]

Na rozdíl od spalování se pohonné hmoty z biomasy jeví poněkud kontroverzně. Většina dosavadních studií hodnotí ekologické aspekty biopaliv podle emisí skleníkových plynů nebo podle úspory fosilních paliv, avšak je třeba také brát v úvahu, zda a nakolik jsou při produkci plodin pro výrobu biopaliv poškozovány přirozené ekosystémy. Biopaliva jsou z hlediska energetické bilance a úspory emisí oxidu uhličitého ekologičtější, ale tento fakt přestává platit, jestliže se plantáže zakládají např. na místech, kde byly vymýceny tropické deštné lesy. Biomasa tropického lesa je totiž velice bohatá na uhlík a jejím spálením, případně kácením za použití těžkých strojů, vzniká velké množství oxidu uhličitého, které zcela zvrátí ekologický efekt vzniklých biopaliv. Neekologičtější biopaliva pocházejí ze zpracování rostlinných olejů, z odpadní biomasy a recyklovaného potravinářského oleje, příznivě se jeví i bioetanol. Obecně lze říci, že se jednotlivá biopaliva, co se ekologického hlediska týče, velice liší [27].

5. Závěr

Biomasa se jeví jako velice perspektivní zdroj obnovitelné energie – nabízí totiž nespočet technologií, kterými ji lze zpracovávat. Proto v současné době dochází k rozvoji využívání biomasy jako energetického zdroje. Biomasa je však také významná i z ekologického hlediska, protože omezuje růst skleníkových plynů v ovzduší.

Nejsnáze realizovatelný způsob energetického využití biomasy je spalování, které je využíváno k výrobě tepla již od nepaměti. Asi nejpoužívanější surovinou používanou pro vytápění je dřevo, avšak podmínkou pro jeho optimální využití je, aby bylo dobře vysušené. Dřevo je používáno v různých podobách, jako je dřevní štěpka nebo pelety. Jejich nevýhodou je vyšší pořizovací cena, avšak na druhou stranu vytápění biomasou bývá dotováno.

Biomasu lze využívat nejen k výrobě tepla, ale i k výrobě elektřiny, případně ke kombinované výrobě tepla a elektřiny, tj. kogeneraci. Kogenerační jednotky využívají paliva z biomasy mnohem účelněji než tradiční elektrárny a lze je velice dobře používat v bioplynových stanicích. Ty zpracovávají odpady organického původu a také jsou používány k čištění odpadních vod.

Z hlediska snižování emisí oxidu uhličitého se jeví velice nadějně hydrotermální karbonizace. Právě díky této technologii by v budoucnu mohlo dojít k výraznému snížení emisí oxidu uhličitého, vzniklých využíváním fosilních zdrojů. Avšak hydrotermální karbonizace není ještě stále ve světě rozšířená, a proto bude nějakou dobu trvat, než se začne využívat i mimo laboratoře.

Pěstování biomasy, její zpracovávání a přeprava, vývoj technologií a jednotlivých technologických zařízení poskytuje mnoho pracovních příležitostí a umožňuje tak růst ekonomiky.

Přestože tradiční fosilní energetické zdroje nelze úplně nahradit, zejména kvůli rostoucí spotřebě energie, vývoj technologií pro využití biomasy zmenšuje naši závislost na nich. Navíc tyto technologie umožňují zpracovávat i biologické odpady, případně účelně využívat méně úrodnou zemědělskou půdu k pěstování energetických plodin.

Seznam použité literatury

- [1] QUASCHNING, V.: *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada Publishing, 2010. 296 s. ISBN 978-80-247-3250-3
- [2] PASTOREK, Z.; KÁRA, J.; JEVÍČ P.: *Biomasa: Obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC Public, 2004. 288 s. ISBN 80-8653-4-06-5.
- [3] VOLÁKOVÁ, Pavlína: Prvkové složení biomasy. *Biom.cz* [online]. 2010-09-08 [cit. 2011-02-27]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/prvkove-slozeni-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.
- [4] PETŘÍKOVÁ, Vlasta: Biomasa z energetických rostlin. *Biom.cz* [online]. 2006-04-19 [cit. 2011-02-27]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-z-energetickych-rostlin>>. ISSN: 1801-2655.
- [5] WEGER, Jan: Biomasa jako zdroj energie. *Biom.cz* [online]. 2009-02-02 [cit. 2011-02-27]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-jako-zdroj-energie>>. ISSN: 1801-2655.
- [6] CELJAK, Ivo: Biomasa je nezbytná součást lidského života. *Biom.cz* [online]. 2008-12-22 [cit. 2011-02-27]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-je-nezbytna-soucast-lidskeho-zivota>>. ISSN: 1801-2655.
- [7] MURTINGER, K.; BERANOVSKÝ J.: *Energie z biomasy*. 2.vyd. Brno: ERA, 2005. 92s. ISBN: 978-80-7366-115-1.
- [8] Agriwatt.CZ: Biomasa [online]. [cit. 2011-02-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.agriwatt.cz/biomasa/>>.
- [9] STUPAVSKÝ, Vladimír: Mikrokogenerace a trigenerace. *Biom.cz* [online]. 2010-08-09 [cit. 2011-03-08]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mikrokogenerace-a-trigenerace>>. ISSN: 1801-2655.
- [10] TRÁVNÍČEK, Petr, KARAFIÁT, Zbyšek: Kogenerace pomocí plynových spalovacích motorů. *Biom.cz* [online]. 2009-04-15 [cit. 2011-03-08]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kogenerace-pomoci-plynovych-spalovacich-motoru>>. ISSN: 1801-2655.
- [11] I-Ekis: Internetové energetické konzultační a informační středisko ČEA [online]. Kombinovaná výroba elektřiny a tepla [cit. 2011 - 03 - 08]. Dostupné z <<http://www.iekis.cz/?page=kogenerace>>
- [12] STUPAVSKÝ, Vladimír: Kapalná biopaliva – cíle a perspektivy. *Biom.cz* [online]. 2008-08-04 [cit. 2011-03-13]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kapalna-biopaliva-cile-a-perspektivy>>. ISSN: 1801-2655.
- [13] DOC. ING. BROŽEK, K., CSC., ING. ŠOUREK, B.: *Alternativní zdroje energie*. Praha: ČVUT, Fakulta strojní, 2003. 213 s. ISBN 80-010-2802-X.

- [14] Wikipedie.cz : Výhřevnost [online]. [cit. 2011-03-19]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDh%C5%99evnost>>.
- [15] STAF, Marek: Výzkum termické konverze odpadní biomasy na plynná a kapalná paliva. *Biom.cz* [online]. 2005-01-12 [cit. 2011-03-21]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyzkum-termicke-konverze-odpadni-biomasy-na-plynna-a-kapalna-paliva>>. ISSN: 1801-2655.
- [16] BTG Central Europe.cz: Rychlá pyrolýza [online]. [cit. 2011-03-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.btg.cz/cz/o-biomase/rychla-pyrolyza>>.
- [17] POHOŘELÝ, Michael, JEREMIÁŠ, Michal: Zplyňování biomasy – možnosti uplatnění. (kolektiv autorů), Výsledky výzkumu, vývoje a inovací pro obnovitelné zdroje energie (OZE 2010). *Biom.cz* [online]. 2010-11-24 [cit. 2011-03-22]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovani-biomasy-moznosti-uplatneni?add_disc=1>.
- [18] INTERREG – Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy: Zplyňování [online]. [cit. 2011-03-31]. Dostupné z WWW: <<http://www.biomasa-info.cz/cs/techzpl.htm>>.
- [19] MUŽÍK, Oldřich, KÁRA, Jaroslav: Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. *Biom.cz* [online]. 2009-03-04 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>>. ISSN: 1801-2655.
- [20] blacknbush.com: Bioplynové stanice [online]. [cit. 2011-05-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.blacknbush.com/cs/sluzby/energetika/bioplynove-stance>>.
- [21] Biodis.cz: Aerobní technologie [online]. [cit. 2011-04-14]. Dostupné z WWW: <<http://bioodpady.ecomanag.cz/aerobni-technologie/>>.
- [22] Homen.vsb.cz: Využití odpadních kalů [online]. [cit. 2011-05-15]. Dostupné z WWW: <<http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/vyuziti.html#kompostovani>>.
- [23] KÁRA, Jaroslav, PASTOREK, Zdeněk, JELÍNEK, Antonín: Kompostování zbytkové biomasy. *Biom.cz* [online]. 2002-01-31 [cit. 2011-05-15]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-zbytkove-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.
- [24] Wikipedie.cz: Hydrotermální karbonizace [online]. [cit. 2011-04-24]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hydroterm%C3%A1ln%C3%AD_karbonizace>.
- [25] Mongabay.com: Hydrothermal carbonization [online]. [cit. 2011 – 04 - 24]. Dostupné z WWW: <<http://news.mongabay.com/bioenergy/2007/05/scientists-describe-hydrothermal.html>>.
- [26] KOLONIČNÝ, Jan: Emise při spalování biomasy. *Biom.cz* [online]. 2010-06-07 [cit. 2011-05-01]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/emise-pri-spalovani-biomasy-2>>. ISSN: 1801-2655.

- [27] PETR, Jaroslav: Jak ekologická jsou biopaliva?. *Biom.cz* [online]. 2008-11-12 [cit. 2011-05-01]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/jak-ekologicka-jsou-biopaliva>>. ISSN: 1801-2655.

Seznam obrázků

Obr. 1 Blokové schéma kogenerace, resp. trigenerace [9].....	17
Obr. 2 Blokové schéma kogenerační jednotky se spalovacím motorem [11].....	19
Obr. 3 Schéma pyrolýzní jednotky RCP [15]	24
Obr. 4 Schéma zplyňovačů – zleva protiproudý, souproudý, s křížovým tokem [18].....	26
Obr. 5 Schéma anaerobní fermentace [2].....	28
Obr. 6 Schéma bioplynové stanice [20]	29
Obr. 7 Schéma kompostovací linky [23].....	30
Obr. 8 Technologické schéma výroby metylesterů řepkového oleje	32
Obr. 9 Emisní faktory NOx přepočtené na výhřevnost paliva [26]	33
Obr. 10 Emisní faktory CO2 přepočtené na výhřevnost paliva [26].....	33

Seznam tabulek

Tab. 1 Základní parametry zařízení pro kombinovanou výrobu tepla a elektřiny [11]	18
Tab. 2 Složení bioplynu [7].....	21
Tab. 3 Způsoby a metody zpracování biomasy k energetickým účelům [2].....	22
Tab. 4 Požadavky na parametry paliva pro jednotlivé typy generátorů [17]	26