

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ
ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO
PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY
INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

BIOMASA JAKO OBNOVITELNÝ ZDROJ ENERGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

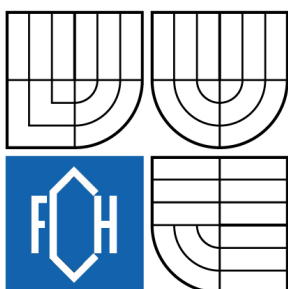
LUKÁŠ PŘICHYSTAL

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ
ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY
INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF
ENVIRONMENTAL PROTECTION

BIOMASA JAKO OBNOVITELNÝ ZDROJ ENERGIE

BIOMASS AS RENEWABLE ENERGY RESOURCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

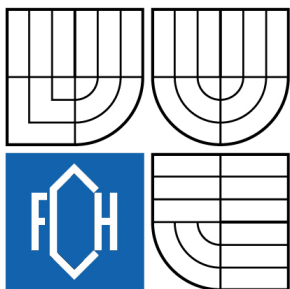
LUKÁŠ PŘICHYSTAL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. ZDENĚK FRIEDL, CSc.

BRNO 2008



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

Zadání bakalářské práce

Číslo bakalářské práce	FCH-BAK0217/2007	Akademický rok: 2007/2008
Ústav	Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí	
Student(ka)	Přichystal Lukáš	
Studijní program	Chemie a chemické technologie (B2801)	
Studijní obor	Chemie a technologie ochrany životního prostředí (2805R002)	
Vedoucí bakalářské práce	prof. RNDr. Zdeněk Friedl, CSc.	
Konzultanti bakalářské práce		

Název bakalářské práce:

Biomasa jako obnovitelný zdroj energie

Zadání bakalářské práce:

Zhodnocení podstaty, významu a způsobů využití biomasy k energetickým účelům

Termín odevzdání bakalářské práce: 30.5.2008

Bakalářská práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu bakalářské práce. Toto zadání je přílohou bakalářské práce.

Lukáš Přichystal
student(ka)

prof. RNDr. Zdeněk Friedl, CSc.
Vedoucí práce

Ředitel ústavu

V Brně, dne 1.12.2007

doc. Ing. Jaromír Havlica, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá využíváním biomasy jako nositele energie a způsobu jejího získání. Jsou popsány v současnosti nejpoužívanější metody přeměny biomasy na různé formy energie, od spalování po anaerobní digesti. Spolu s podrobnějším rozebráním těchto metod jsou uvedeny i různé způsoby předúpravy biomasy či následné úpravy produktů, jako např. čištění bioplynu. Dále tato práce poukazuje na využití biomasy nejen v energetickém odvětví, ale i v dopravním průmyslu, jako pohon motorů vozidel. Rozebírá nejen výrobu bioethanolu z organického materiálu, ale i způsoby přípravy vodíku, jako paliva budoucnosti, a jeho využití v palivových článcích. Dále definuje české normy a zákony, podle kterých se v dopravním průmyslu s biopalivy nakládá.

ABSTRACT

Bachelor's thesis deals with an exploitation of a biomass as an energy carrier and the manners of obtaining this energy. Currently the most widely used methods of conversion of the biomass to various forms of energy, from burning to anaerobic digestion are described here. In the thesis the detailed explanation is given together with various ways of preliminary treatments of the biomass or resulting retreatments of products, as e.g. cleaning of biogas. This work adverts to use the biomass not only in energetics, but also in the transport industry, as alternative fuel of vehicle engines. It describes not only the production of bioethanol from organic material, but also the techniques of hydrogen production as the fuel of future, and its use in fuel cells. Finally, it defines the Czech encoded rules and laws, according to which the biofuels are treated in the transport industry.

KLÍČOVÁ SLOVA:

obnovitelné zdroje energie, biomasa, výhřevnost, zplyňování, bioplyn, bioethanol

KEYWORDS:

renewable resources of energy, biomass, heating power, gasification, biogas, bioethanol

PŘICHYSTAL, L. *Biomasa jako obnovitelný zdroj energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2008. 53 s. Vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Zdeněk Friedl, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....
podpis studenta

OBSAH

1. ÚVOD	6
2. PŘÍRODNÍ ZDROJE ENERGIE	8
2.1. Obnovitelná energie	9
2.2. Dlouhodobý výhled	10
3. BIOMASA	11
3.1. Vznik rostlinné biomasy.....	11
3.2. Energetické plodiny.....	13
3.3. Biomasa využitelná k energetickým účelům.....	15
4. SPALOVÁNÍ	17
4.1. Bilance spalovacích reakcí	17
4.2. Průběh spalování biomasy.....	18
4.3 Zplyňování biomasy	20
4.3.1 Plazmové zplyňování	21
4.4 Výchřevnost biomasy.....	22
4.5 Používané mechanické úpravy pevné biomasy	23
4.5.1 Štěpkování, drcení.....	23
4.5.2 Sušení	23
4.5.3 Lisování.....	23
4.6 Spalovací zařízení biomasy	26
4.7 Emise ze spalování biomasy	26
5. VYUŽITÍ BIOMASY PRO VÝROBU ENERGIE	29
5.1 Bionafta	29
5.1.1 Výroba bionafty.....	29
5.1.2 Fyzikálně – chemické vlastnosti bionafty	31
5.1.3 Emise.....	33
5.2 Bioethanol	33
5.2.1 Výroba bioethanolu	33
5.2.2 Rafinace a dehydratace bioethanolu.....	35
5.2.3 Fyzikálně-chemické vlastnosti bioethanolu	35
5.2.4 Zpracování lihu na ETBE.....	36
5.3 Vodík.....	37
5.3.1 Výroba vodíku.....	37
5.3.2 Palivové články	38
6. ANAEROBNÍ FERMENTACE VLHKÝCH ORGANICKÝCH MATERIÁLŮ	40
6.1 Vznik bioplynu.....	41
6.2 Faktory ovlivňující anaerobní fermentaci	42
6.3 Výroba surového bioplynu	43
6.4 Chemické složení a úprava surového bioplynu.....	44
6.5 Skladování bioplynu.....	45
7. ZÁVĚR	46
8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	48
9. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	51
10. PŘÍLOHY	52

1. ÚVOD

V dnešní době plně moderní techniky, nových objevů a vynálezů se dost často zapomíná na to, komu vděčíme za svou existenci. Neuvědomujeme si, že je to právě Modrá planeta, která člověku umožnila se rozvíjet.

Dnes žije na Zemi přibližně 6 miliard lidí a málokdo z nich myslí na ochranu ovzduší, vody, půdy nebo třeba deštných lesů.

Přístup lidstva k přírodnímu bohatství Země se již projevil i na stavu atmosféry. Původně se předpokládalo, že změny v atmosféře jsou jen omezené a nijak nebezpečné. Teprve v poslední době se ukázalo, jak rychle se složení atmosféry mění. Jedním z problémů jsou ozonové díry, které se tvoří především nad Antarktidou a navíc celková mocnost ozonové vrstvy se postupně dál snižuje. Dalším škodlivým efektem pro atmosféru je skleníkový efekt. Skleníkové plyny udržují na Zemi teplo, ale v dnešní době se únik skleníkových plynů rapidně zvýšil, což má za následek oteplování atmosféry i Země. Průměrná teplota se během 20. století zvýšila o 0,5 °C.

Změny teploty způsobí řadu problémů i zemědělské výrobě, neboť škodlivé UV záření zničí ohromnou část celosvětové úrody. A konečně zvýšený dopad UV záření povede u lidí se světlejší pletí ke zvýšenému výskytu zhoubných nádorových onemocnění.

V důsledku lidské činnosti koncentrace všech hlavních skleníkových plynů stoupají. Síla skleníkového efektu se tak pochopitelně zvětšuje a vzniká antropogenní (člověkem způsobený) tzv. *přídavný skleníkový efekt*.

Nejdůležitějším skleníkovým plynem v atmosféře je **vodní pára** (H₂O), která způsobuje asi dvě třetiny celkového skleníkového efektu. Její obsah v atmosféře ovšem není přímo ovlivňovaný lidskou činností, ale je v zásadě ovlivňován přirozeným koloběhem vody. Nejdůležitějším z člověkem produkovaných skleníkových plynů je *oxid uhličitý*, který vzniká především spalováním fosilních paliv - ropy, uhlí a zemního plynu.

Na přídavném skleníkovém efektu se podílí 64 procenty. Podíl methanu je 19 %, oxidu dusného necelých 6 %.

Některé člověkem produkované znečišťující látky, zejména oxid siřičitý, ovzduší i ochlazují. Do atmosféry se dostávají ve formě aerosolů, jejichž drobné částičky odrážejí část záření zpět do vesmíru. Paradoxně tak tyto látky, které znečišťují ovzduší, působí také pozitivně.

Emise skleníkových plynů jsou pravidelně sledovány od roku 1993, kdy Česká republika přistoupila k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu. V případě České republiky jde o snížení celkových emisí skleníkových plynů do období 2008 - 2012 o 8 % vůči stavu v roce 1990 [1].

Celkové změny v charakteru zemského povrchu způsobují lidské aktivity (kácení lesů, masivní zemědělská činnost) a změny ve složení atmosféry (vypouštění do atmosféry zvýšené množství plynů, zejména oxidu uhličitého). V současnosti tyto zdroje uvolňují do ovzduší každý rok více než 7 miliard tun uhlíku a většina z tohoto množství zůstane v atmosféře po období jednoho sta let i déle. Oxid uhličitý je dobrým pohlcovačem vyzařovaného tepla vycházejícího ze zemského povrchu, zvýšené množství oxidu uhličitého proto působí nad povrchem jako pokrývka, která způsobí, že je povrch teplejší, než by byl za normálních okolností. Se zvýšenou teplotou se v atmosféře zvyšuje také množství vodní páry, a ta se přidává k „pokrývkovému“ efektu.

Na prvním summitu „Planety Země“ v Rio de Janeiru v roce 1992 byl tento dopad chování lidstva uznán a účastníci souhlasili s podepsáním Rámcové konvence Spojených národů o změně klimatu [2].

„Hlavním cílem této konvence je stabilizace koncentrací skleníkových plynů v atmosféře na úrovni, která by zabránila nebezpečnému antropogennímu narušení podnebního systému. Této úrovni by mělo být dosaženo v takovém časovém rámci, aby se ekosystémy mohly adaptovat přirozeným způsobem na změny podnebí, aby se zajistila bezpečnost produkce potravin a aby byl umožněn ekonomický rozvoj, který by pokračoval udržitelným způsobem.“

Na následující schůzce v Kjótu v roce 1997 bylo dohodnuto začít s tímto úkolem a redukovat emise skleníkových plynů.

EU a její členské státy již podnikly akce na splnění svých závazků z Kjóta pro snížení emisí skleníkových plynů a stanovily limity na globální zvýšení teplot o 2 °C nad předindustriální úroveň.

Růst světové populace a její stoupající požadavky a potřeby, postupné vyčerpání relativně dostupných a bohatých zdrojů surovin a s tím i pokles kvality surovin dnes využívaných, jsou jedny z hlavních důvodů, proč patří v současné době zajišťování energetických potřeb k největším globálním problémům lidstva.

Omezené zásoby nejvýznamnějšího zdroje energie, kterými jsou fosilní paliva, vedou v současnosti k nutnosti hledání dalších zdrojů, aby i nadále bylo možné zajišťovat strmě narůstající trend spotřeby energie.

2. PŘÍRODNÍ ZDROJE ENERGIE

Význam využití energie pro civilizaci i kulturní rozvoj lidstva je nesmírný. V dřívějších dobách se uplatňovala hlavně tzv. energie surová, která se vyskytuje v přírodě a projevuje se v prvotních formách (jako je teplo, světlo a některé druhy hnací síly).

Na naší planetě se energie vyskytuje v různých formách, z nichž dosud jen některé dokázal člověk využívat ve svůj prospěch.

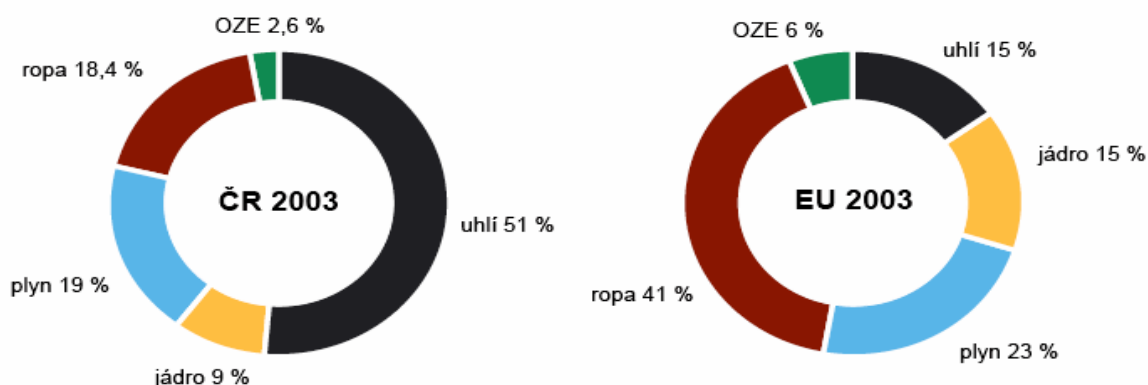
Dnešní život si nedovedeme představit bez nejrůznějších druhů energie zušlechtěné (energie získaná přeměnou surové energie), mezi které počítáme zvláště elektřinu, ale také užitkové plyny, páru, horkou vodu, tlakový vzduch, atd.. Mimořádný význam elektrické energie záleží v její schopnosti přenášet velké výkony na velké vzdálenosti s malými ztrátami, v její velké pohotovosti při použití jak v hospodářství a průmyslu, tak i v domácnostech, a konečně ve velmi snadné přeměně elektřiny v jiné formy energie, proto její využívání je neobyčejně široké.

Všechny prvotní (primární) zdroje, ze kterých získáváme energii v libovolné formě nazýváme *přírodními zdroji energie*. Dělíme je do čtyř skupin:

- *vyčerpátné zdroje*, jejichž zásoby jsou na Zemi omezené. Patří sem především pevná fosilní paliva (uhlí, rašelina), tekutá (ropa) a plynná paliva (zemní plyn, vodík)
- *stále se obnovující zdroje*, jejichž zásoby jsou omezené přírodními podmínkami. Patří sem zejména rostlinná paliva (dřevo, biomasa)
- *nevyčerpátné zdroje*, jakými jsou sluneční záření, tepelná energie Země, vodní energie toků, energie mořského přílivu a odlivu, větrná energie apod.
- *jaderná energie*, vznikající řízeným rozpadem atomových jader v reaktoru

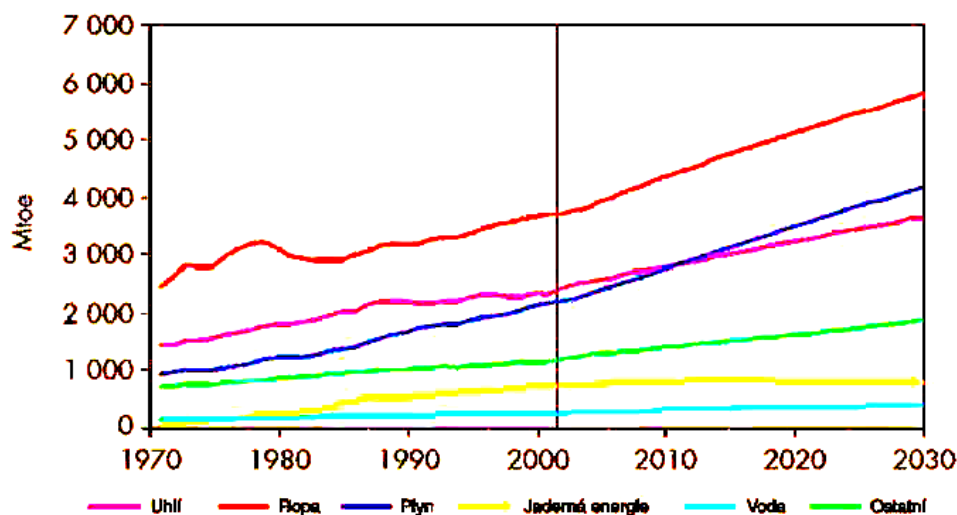
Hlavním problémem světové energetiky je vysoký podíl fosilních paliv, v EU asi 80 % energie spotřebované v EU pochází z fosilních paliv – z ropy, zemního plynu a uhlí. Jaký je podíl jednotlivých zdrojů energie na její celosvětové spotřebě ukazuje Obr. 2.1.

Významný a stále rostoucí podíl těchto surovin pochází ze zemí mimo EU, to znamená pro unii do budoucna vystavení rizikům omezení dodávek či zvýšení cen. Pokud se nesníží spotřeba energie a nezmění se skladba energetických zdrojů, může se do roku 2030 stát, že naše závislost na dovozu ropy se zvýší na 93 % a na dovozu plynu na 84 %.



Obr 2.1 Porovnání podílů jednotlivých primárních energetických zdrojů na produkci energie v ČR a EU v roce 2003 (dle referenčního scénáře IEA (International Energy Agency))

Současná skladba zdrojů energie je rovněž neudržitelná vzhledem k úsilí o zmírnění dopadů změny klimatu. Zatímco spotřeba energie ve světě se od roku 1970 téměř zdvojnásobila, v zemích EU vzrostla v letech 1970 až 2004 o 41 %, při průměrném tempu růstu 1,1 % ročně.



Mtoe = milion tun ropného ekvivalentu (1 Mtoe = 41,868 PJ)

Obr 2.2 Vývoj poptávky po jednotlivých zdrojích energie do roku 2030 dle IEA z roku 2004

2.1. Obnovitelná energie

Obnovitelnými zdroji energie se rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu [3]. Na rozdíl od fosilních zdrojů jsou obnovitelné zdroje energie bohaté, široce rozšířené a dostupné místně.

V současné době se ve světě i u nás obrací pozornost na využívání vlastních, ekologicky čistých a nevyčerpatelných primárních zdrojů energie. Významnou roli mezi nimi zaujímají vodní elektrárny, umožňující s vysokou účinností přeměňovat hydroenergetický potenciál toků na elektrickou energii bez negativních dopadů na okolní prostředí, a větrné elektrárny.

Důležitou událostí byl náš vstup do Evropské Unie k 1. dubnu 2004, kdy se Česká republika zavázala schválením státní politiky životního prostředí v souladu se Směrnicí 77/2001/ES zvýšit do roku 2010 podíl OZE ve výrobě elektrické energie na 8 % a 6 % veškeré energie z domácí spotřeby a do roku 2030 více než zdvojnásobit podíl obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energií [4]. Opatření mají Evropské unii pomoci k uskutečnění ambiciózních cílů, k nimž se zavázala v rámci boje s klimatickými změnami.

Česká legislativa implementovala požadavky Směrnice 77/2001/ES do zákona č.180/2005 Sb. o podpoře využívání obnovitelných zdrojů, který ukládá Ministerstvu průmyslu a obchodu ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí a Energetickým regulačním úřadem předkládat vládě ČR Zprávu o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů každým rokem [3].

Jelikož vhodných lokalit pro výstavbu a provoz větších vodních a větrných elektráren je v České republice v závislosti na geomorfologických podmínkách pouze omezené množství, jeví se jako velmi perspektivní pro dlouhodobé zvyšování výroby energie z obnovitelných zdrojů prakticky jen energetické využití biomasy.

Výstavba vodních a větrných elektráren je nejen závislá na současných geomorfologických podmínkách, ale navíc velmi často výrazně zasahuje do přirozeného krajinného rázu.

Energetické využití biomasy takto výrazné zásahy do krajiny obvykle nevyžaduje, a nepřináší proto tolik potenciálních rizik. Výhodou biomasy je, že v některé ze svých forem je přítomna po celém území České republiky.

Nízký podíl obnovitelných zdrojů na světové energetické produkci je zapříčiněno mimo jiné i tím, že v této době ještě nejsou ve větší míře schopny konkurovat fosilním palivům.

Cenu biomasy ovlivňuje jak stav současného využití daného druhu biomasy, tak i náklady spojené s její produkcí (pěstování, sklizeň, úprava před použitím a skladování).

Do budoucna lze však očekávat nárůst ceny fosilních paliv, naopak u biomasy, např. pěstování rychle rostoucích dřevin ve velkém je možné postupně snížit jejich výrobní cenu.

Vlády jednotlivých zemí se ve stále větší míře snaží nastavit ekonomické podmínky pomocí vhodných dotací a bonusů tak, aby producenti tzv. „čisté energie“ mohli konkurovat se svojí cenou na trhu.

Aktuální je rovněž snížení závislosti na dovozu energetických zdrojů, a proto se podporuje růst energetické efektivity doprovázený stimulací některých energetických zdrojů, zejména biomasy, větru a slunce.

Vedoucí představitelé EU se v březnu 2007 shodli, že nastal čas pro integrovanou politiku v oblasti energetiky a životního prostředí, založenou na jasných cílech a časových plánech snižování spotřeby fosilních paliv, úspor energie a vývoje alternativních řešení.

2.2. Dlouhodobý výhled

Ve všech regionech světa bude kontinuálně vzrůstat poptávka po energii. Podle odhadu Mezinárodní energetické agentury (IEA) z roku 2005 vzroste spotřeba energie ve světě do roku 2030 o 60 %. Největší podíl na růstu mají mít fosilní paliva, a to ve výši cca 85 %, z toho cca po jedné třetině ropa a zemní plyn.

Spotřeba energie v EU do roku 2030 má vzrůst o 15 %, přičemž její tempo růstu by se mělo postupně snižovat a od roku 2020 stabilizovat. Ropa by měla zůstat nejvýznamnějším druhem paliva. Podstatný růst spotřeby se očekává u zemního plynu a více než dvojnásobný příspěvek k celkové spotřebě energie ve srovnání s rokem 2005 se očekává od obnovitelných zdrojů. Základní scénář je sestaven na základě trendů a energetických politik členských zemí EU. Tempo růstu snižování energetické náročnosti se odhaduje ve výši 1,5 % ročně. Dovození závislostí EU by se měly nadále zvyšovat u ropy i plynu, a to na 94 %, resp. 84 % [5].

3. BIOMASA

„Biomasa“ se rozumí biologicky odbouratelné frakce produktů, odpadů a zbytků zemědělské výroby (včetně rostlinných a živočišných hmot), lesnictví a podobného druhu průmyslu, jakož i biologicky odbouratelné frakce průmyslového a městského odpadu [3].

Nejznámější biomasou je dřevní hmota, jejíž význam spočívá především v tom, že jde o surovinu domácí, která je při racionálním využívání trvale obnovitelná. Cyklus obnovy samotné dřevní hmoty je však dlouhodobý, v průměru 100 let, a proto je nutno hospodařit s lesní půdou nanejvýš opatrně jak z hlediska produkce dříví, tak i z významu role jakou tato půda hraje z hlediska klimatického a vodohospodářského.

Biomasa představuje pro lidstvo nejvhodnější, a také nejvýznamnější formu transformované sluneční energie. Je to jakási přírodní hmotová a energetická konzerva, použitelná právě v té chvíli, kdy to člověk nejvíce potřebuje.

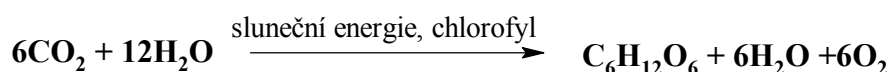
Biomasa má s fosilními palivy jednu společnou vlastnost, obsahuje chemicky zabudovanou sluneční energii ve formě organických uhlíkatých látek, vzniklých v průběhu fotosyntézy rostlin absorbováním CO₂. Mezi fosilními palivy a biomasou je však zásadní rozdíl.

Při spalování fosilních paliv uniká do atmosféry uhlík ve formě CO₂, který však byl absorbován rostlinou z atmosféry před miliony let a byl „uskladněn“ v zemské kůře.

Při spalování biomasy je sice CO₂ rovněž uvolňován do atmosféry, avšak tento uhlík není ze zemské kůry a není tudíž příčinou zvýšené akumulace CO₂ v atmosféře.

3.1. Vznik rostlinné biomasy

Rostliny odebírají oxid uhličitý a vodu v procesu zvaném *fotosyntéza* za spolupůsobení enzymů, chlorofyl a světelná energie, vytvoří velké množství organických látek. Při fotochemických reakcích se redukuje oxid uhličitý na vodu a voda se oxiduje za vzniku molekulového kyslíku. Tuto biochemickou reakci můžeme schématicky znázornit následovně:



Fotosyntéza je základní proces v přírodě, který zabezpečuje interakci sluneční energie, vody a oxidu uhličitého za vzniku složitých organických látek. Tato biochemická reakce je nejdůležitější a svým rozsahem převládající chemická reakce na světě, je zdrojem kyslíku a chemické energie, bez které by byl náš život na Zemi nemožný.

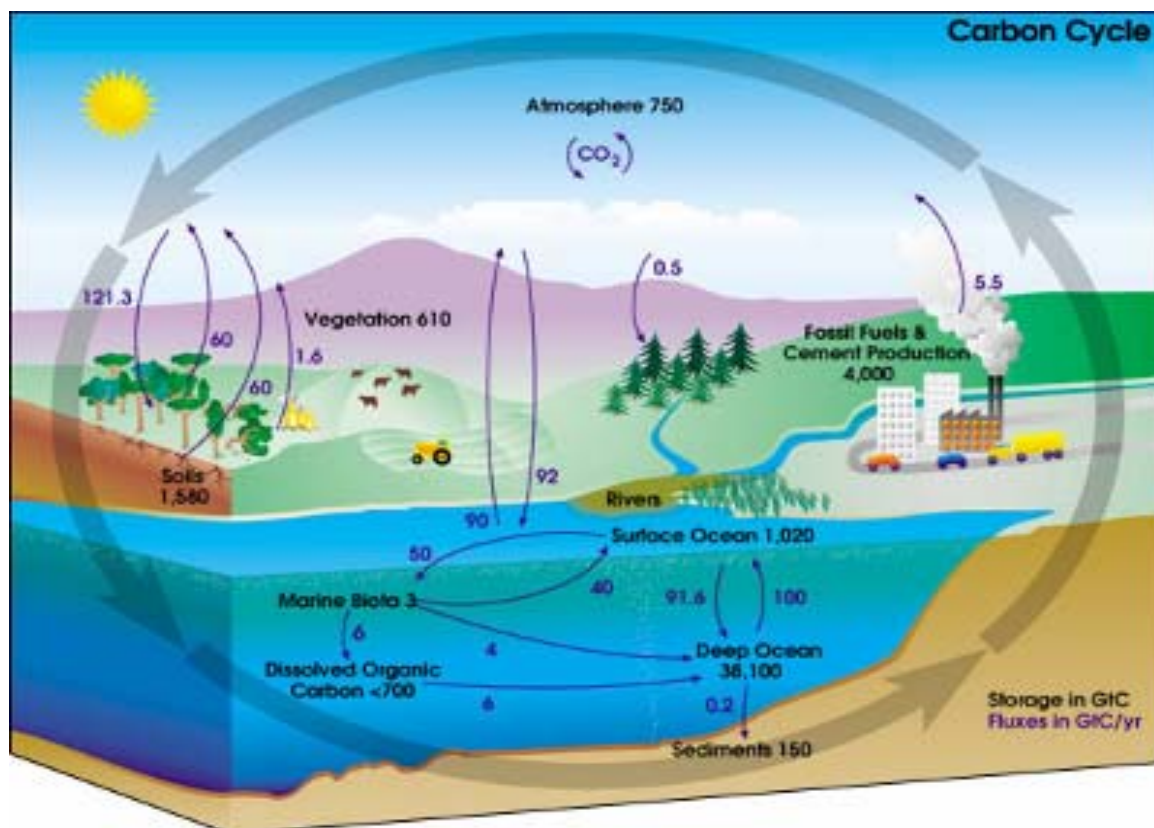
Pro zhodnocení využitelného potenciálu tohoto zdroje energie je třeba vědět i to, jaká je účinnost zachycení, přeměny a uchování sluneční energie ve formě biomasy. To, kolik uhlíku z atmosférického oxidu uhličitého je rostlinou přijato a přeměno na biomasu, se nazývá **čistá primární produkce** a tato hodnota je důležitý údaj pro posouzení vhodnosti rostliny z hlediska výnosu biomasy. V tabulce 3.1 je uvedena průměrná produkce biomasy pro různá rostlinná společenství.

Oxidací biomasy lze v ní uchovanou energii zase uvolnit a využít. Pro tuto oxidaci se využívá atmosférický kyslík a produktem je opět oxid uhličitý. Proces, kterým uhlík,

zachycený rostlinami ve formě oxidu uhličitého z atmosféry, prochází složitým koloběhem, kde je využíván nespočtelným množstvím organismů a posléze opět vrácen ve formě CO₂ do atmosféry, se nazývá koloběh uhlíku a tento koloběh má a měl dopad na mnoho změn v podnebí světa v průběhu různých geologických období. Schématicky je koloběh uhlíku znázorněn na Obr. 3.1.

Tab. 3.1 Produkce biomasy

Ekosystém	Plocha (10 ⁶ km ²)	Produkce biomasy (kg/m ²)
Deštný prales	17	2,2
Tropický prales	7,5	1,6
Lesy mírného pásma	12	1,24
Severské lesy	12	0,8
Savany	15	0,9
Obdělávaná půda	14	0,65
Pustiny, led, pouště	24	0,083
Polopouště	18	0,09



Obr. 3.1 Koloběh uhlíku

3.2. Energetické plodiny

Pro splnění stanoveného cíle, zvýšení podílu OZE na celkové výrobě energie, a s ohledem na zvyšující se poptávku po dřevním odpadu nemůžeme opomenout pěstování energetických rostlin.

Cílem pěstování energetických plodin je produkce biomasy pro energetické využití nebo výrobu kapalných biopaliv, tj. ne pro produkci potravin. Ve skutečnosti lze každou plodinu využít energeticky, avšak praktický význam mají pouze plodiny, které mají určité vlastnosti pro energetické využití (dobrá účinnost přeměny CO₂ na biomasu, velký obsah sušiny, vysoká výhřevnost, nízký obsah popela, nenáročnost na vodu a živiny, odolnost proti chorobám a škůdcům). Energetické plodiny jsou obvykle děleny na rostliny bylinného a dřevinného charakteru.

Energetické byliny:

- jsou jednoleté či víceleté rostliny pěstované na orných půdách (řepka olejka, konopí seté, šťovík, čirok zrnový, křídlatka, atd.)
- jako velmi perspektivní se zdá krmný šťovík (kříženec šťovíku ťanšanského a špenátu), jak je uvedeno ve výnosové tabulce (tab. 3.2.)
- energetické byliny mají jednu velkou výhodu, a tou je jejich skladovatelnost
- energetické náklady na pěstování těchto bylin jsou u nejlepších z nich při správném způsobu pěstování odhadovány na přibližně 10 % energetického výnosu
- výhodou energetických bylin je krátké vegetační období, snadnější výsev, možnost zpracování i na neenergetické účely, možnost rychlé změny druhu rostlin
- nevýhodou těchto plodin je malá propracovatelnost technologií sklizně, úpravy, skladování a užití

Tab. 3.2 Výnosy suché hmoty vybraných druhů rostlin

Rostliny	Výnos (t·ha ⁻¹)	Rostliny	Výnos (t·ha ⁻¹)
<i>Jednoleté:</i>		<i>Vytrvalé:</i>	
Konopí	12,05	Křídlatka	37,50
Hyso	19,33	Šťovík krmný	43,00
Čirok zrnový	9,83	Sléz topolovka	13,40
Čirok cukrový	14,77	Pajasan žláznatý	16,97

Rychlerostoucí dřeviny:

- jsou dřeviny s krátkou obmětní dobou a s hmotovým přírůstkem významně převyšujícím průměrný hmotový přírůstek ostatních dřevin (topoly (černý a balzámový), vrby, akáty, olše, osiky, břízy, atd.)
- obmětní doba se pohybuje mezi 3 až 10 lety
- účelný způsob k využití přebytečné zemědělské půdy
- pěstování rychlerostoucích dřevin se uplatní zejména v oblastech s mírným podnebím a na půdách s dobrou zásobou vody a živin
- výnos v podmínkách ČR lze uvažovat na 5 až 10 t·ha⁻¹

Sloní tráva

Sloní tráva (čínský rákos, *Miscantus sinensis giganteus*) je víceletá travina (15-20 let) původem z tropických oblastí. Patří mezi výjimečné rostliny s výjimečnou schopností asimilace vzdušného CO₂, vody a slunečního záření a následné přeměny na organickou hmotu. Daří se jí všude tam, kde se daří kukuřici. Sklizeň se začíná ve třetím roce a lze ji bez větších problémů realizovat technickými prostředky určenými pro sklizeň kukuřice. Výnos suché hmoty je 20-30 t na 1 ha (v ideálních tropických podmínkách produkují 66 až 88 t z ha za rok).

Sazenice se musí předpěstovat ve sklenících, vysazují se do vyhnojené půdy, první tři roky se musí přihnojovat. Rostlina dosahuje výšky 2,5-3 m, tvoří bohaté trsy. Stonky jsou až 3 cm silné. Koncem září končí růst do výšky. Z jedné sazenice vyroste asi 70 stonků [6]. Pro energetické využití je vhodné sklízet sloní trávu v zimě, kdy má nejméně vody.

V SRN se již uvažuje, že asi 40 % v současné době dočasně neobdělávaných zemědělských pozemků bude vyčleněno právě pro pěstování těchto energetických travin [7].



Obr. 3.2 *Miscantus*

3.3. Biomasa využitelná k energetickým účelům

Energetickou biomasu můžeme rozdělit do pěti základních skupin:

1. fytomasa (biomasa rostlinného původu) s vysokým obsahem lignocelulózy
2. fytomasa olejnatých plodin
3. fytomasa s vysokým obsahem škrobu a cukru
4. organické odpady a vedlejší produkty živočišného původu
5. směsi různých organických odpadů

Pro získávání energie se využívá:

a) Biomasa záměrně pěstovaná k tomuto účelu:

- cukrová řepa, obilí, brambory, cukrová třtina (pro výrobu ethylalkoholu)
- olejnin (z nich nejvýznamnější je řepka olejná pro výrobu surových olejů a methylesterů)
- energetické dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty a další stromové a keřovité dřeviny)

b) Biomasa odpadní:

- *Rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny*: kukuřičná a obilná sláma, řepková sláma, zbytky z lučních a pastevních areálů, zbytky po likvidaci křovin a lesních náletů, odpady ze sadů a vinic
- *Odpady z živočišné výroby*: exkrementy z chovů hospodářských zvířat, zbytky krmiv, odpady mléčnic, odpady z přidružených zpracovatelských kapacit
- *Komunální organické odpady z venkovských sídel*: kaly z odpadních vod, organický podíl tuhých komunálních odpadů, odpadní organické zbytky z údržby zeleně a travnatých ploch
- *Organické odpady z potravinářských a průmyslových výroby*: odpady z provozů na zpracování a skladování rostlinné produkce, odpady z jatek, odpady z mlékáren, odpady z lihovarů a konzerváren, odpady z vinařských provozoven, odpady z dřevařských provozoven (odřezky, hobliny, piliny)
- *Lesní odpady (dendromasa)*: dřevní hmota z lesních probírek, kůra, větve, pařezy, kořeny po těžbě dřeva, palivové dřevo

3.4. Způsoby využití biomasy k energetickým účelům

Způsob využití biomasy k energetickým účelům je značně předurčen fyzikálními a chemickými vlastnostmi biomasy. Velmi důležitým parametrem je vlhkost, resp. obsah sušiny v biomase. Hodnota 50 % sušiny je přibližná hranice mezi mokrymi procesy (obsah sušiny je menší než 50 %) a suchými procesy (obsah sušiny je větší než 50 %).

Ze základního hlediska lze rozlišit několik způsobů získávání energie z biomasy (viz tab. 3.3) a přípravy biomasy pro energetické využití:

a) termochemická přeměna biomasy (suché procesy pro energetické využití biomasy):

- spalování
- zplyňování
- pyrolýza

b) biochemická přeměna biomasy (mokrý procesy pro energetické využití biomasy):

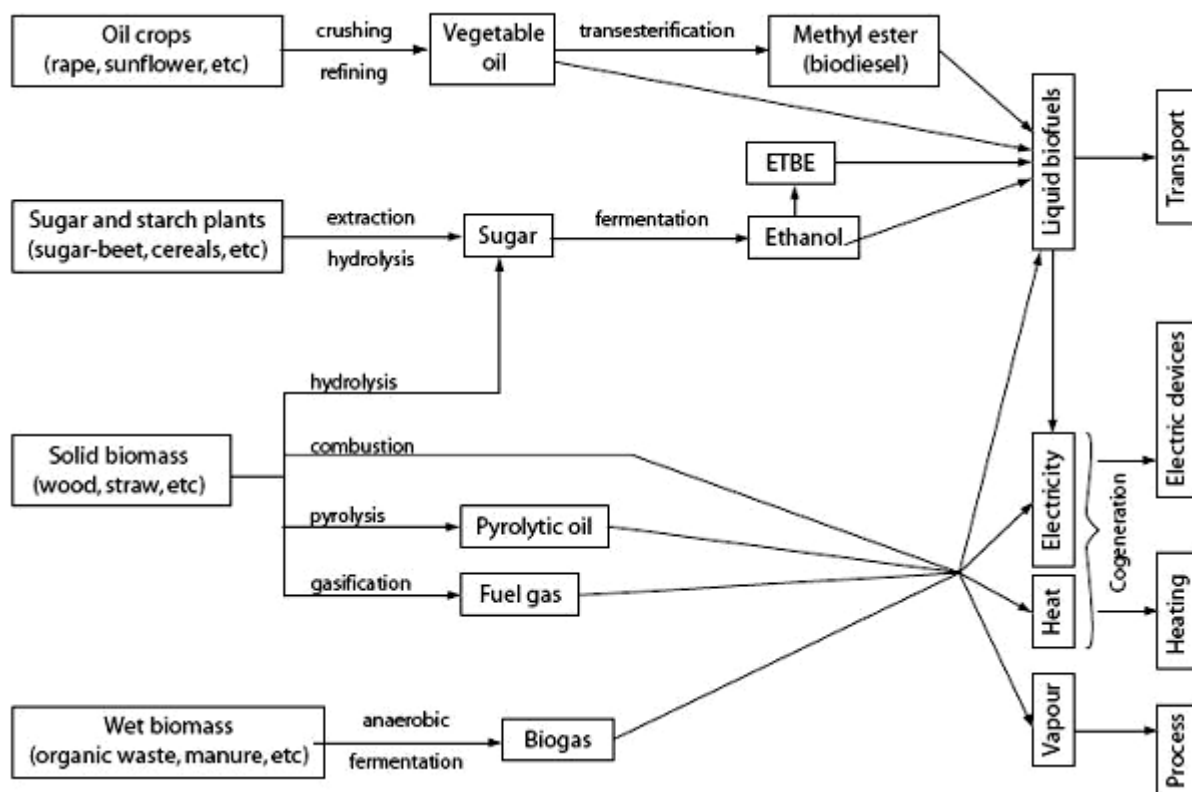
- alkoholové kvašení
- methanové kvašení

- c) fyzikální a chemická přeměna biomasy:
- mechanicky (štípání, drcení, lisování, briketování, peletování, mletí apod.)
 - chemicky (esterifikace surových bioolejů)
- d) získávání odpadního tepla při zpracování biomasy (např. při kompostování, aerobním čištění odpadních vod, anaerobní fermentaci pevných organických odpadů apod.)

Tab. 3.3 Způsoby využití biomasy k energetickým účelům

Typ konverze	Technologie	Produkty	Výstupy
Termochemické přeměny (suché procesy)	Spalování		Tepló, elektřina
	Zplyňování	Olej, plyn, dehet, methan, čpavek, methanol	Elektřina, tepló, pohon vozidel
	Rychlá pyrolýza		
Biochemické procesy (mokrý procesy)	Anaerobní fermentace	Bioplyn, methan	Elektřina, tepló, pohon vozidel
	Alkoholové kvašení	Ethanol	Pohon vozidel
Fyzikálně-chemické přeměny	Esterifikace	Methylester řepkového oleje (MEŘO)-bionafta	Pohon vozidel

Přestože existuje více způsobů využití biomasy k energetickým účelům, v praxi převládá ze suchých procesů spalování biomasy, z mokrých procesů výroba bioplynu anaerobní fermentací. Z ostatních způsobů dominuje výroba methylesteru kyselin bioolejů, získávaných v surovém stavu ze semen olejnatých rostlin.



Obr.3.3 Energetické využití biomasy

4. SPALOVÁNÍ

Je nejjednodušší metodou pro termickou přeměnu organických (fosilních i obnovitelných) paliv za dostatečného přístupu kyslíku na tepelnou energii [8]. Tato technologie je dokonale zpracovaná, a pro investory proto představuje minimální riziko. Získaná tepelná energie se následně využije pro vytápění, technologické procesy nebo pro výrobu elektrické energie.

Základním procesem spalování je děj hoření. Hoření je fyzikálně chemický děj slučování hořlaviny s okysličovadlem, přičemž probíhající chemická reakce je doprovázena za světelného efektu vývinem tepla, chemicky vázaného v palivu.

Spalování jako oxidační reakce probíhá za každé teploty větší než 0 K. Dochází přitom k spotřebování hořlaviny a kyslíku, tak i k uvolňování reakčního tepla. S rostoucí teplotou rychlost této reakce roste a o procesu hoření mluvíme od okamžiku, kdy teplota produktů hoření dosáhla viditelného spektra (objevení plamene).

Při spalovacím procesu probíhá řada fyzikálních a chemických dějů, které se vzájemně ovlivňují. K chemickým dějům patří především oxidační a redukční reakce, z dějů fyzikálních pak mají největší význam přenosy hybnosti, hmoty a energie.

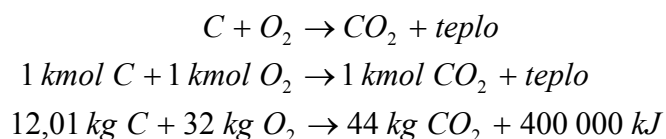
Z celosvětových statistik využití obnovitelných zdrojů energie je známo, že přibližně 70 % energie je získáváno s využitím spalovacích procesů (spalování biomasy, odpadů, bioplynu).

Spalovací reakce, při kterých se slučují hořlavé prvky s kyslíkem, se označují za reakce *exotermické*. Aktivními prvky hořlavé části paliva jsou prvky, jejichž spálením se uvolní teplo; největší význam mají uhlík, vodík a síra.

4.1. Bilance spalovacích reakcí

Chemické reakce při spalování lze vyjádřit následujícími spalovacími rovnicemi:

Spalování uhlíku na oxid uhličitý

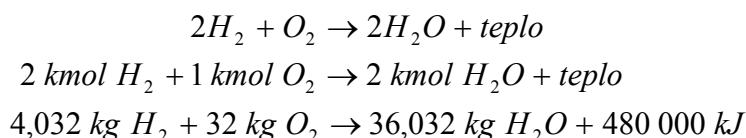


Tento zápis říká, že pro spálení 1 kmolu uhlíku (to je 12,01 kg uhlíku) je zapotřebí 1 kmol kyslíku (tj. 32 kg nebo 22,4 m³ kyslíku), a že spálením vznikne 1 kmol oxidu uhličitého (tj. 44,01 kg nebo 22,4 m³ CO₂) a uvolní se uvedené množství tepla.

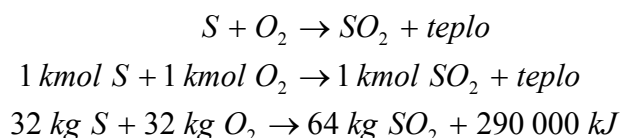
Z poslední rovnice vyplývá, že na spálení 1 kg uhlíku je zapotřebí 2,667 kg kyslíku a vznikne 3,667 kg CO₂, a že výhřevnost 1 kg čistého uhlíku je 33 300 kJ·kg⁻¹.

Stejným způsobem lze postupovat u spalovací rovnice pro vodík a síru.

Spalování vodíku na vodní páru



Spalování síry na oxid siřičitý



Spotřebu spalovacího vzduchu je pak snadné určit ze známé spotřeby kyslíku, součet dílčích výpočtů jednotlivých spalitelných prvků, jestliže procentuálně vyjádřený podíl kyslíku ve vzduchu je 21 % objemových, nebo 23,2 % hmotnostních.

Bilanční výpočty spalování se provádí za předpokladu stechiometrických poměrů, a to znamená, že je k dispozici přesně takové množství reagentů, jaké je potřeba. Takový způsob spalovacího procesu je pouze teoretický. Proto se spalovací proces vždy provádí tak, aby bylo v ohništi více kyslíku, než je teoretické množství. Tak je zajištěno maximální vyhoření hořlaviny a přebytečný kyslík se objeví ve spalinách.

4.2. Průběh spalování biomasy

Hořlavina všech tuhých paliv se skládá ze dvou částí, zvaných prchavá hořlavina a fixní (pevný) uhlík. Po zahřátí paliva na dostatečně vysokou teplotu, se začne uvolňovat prchavá hořlavina, která představuje směs uhlovodíkových a dusíkatých hořlavých složek. Po jejím uvolnění zbývá fixní uhlík.

Pro biomasu je typický vysoký obsah prchavé hořlaviny v rozsahu od 70 % do více než 80 % (Tab. 4.1), což je výrazně odlišuje od jiných tuhých paliv, a proto se na vedení spalovacího procesu kladou specifické nároky.

Aby ohniště mohlo zajistit vyhoření všech hořlavých plynných složek prchavé hořlaviny, je k tomu zapotřebí zajistit dostatečně vysokou spalovací teplotu, promísení těchto hořlavých plynů se spalovacím vzduchem a dostatek času pro průběh spalovací reakce. Čím je větší výška ohniště, tím lépe lze zajistit dokonalé vyhoření prchavé hořlaviny.

Tab. 4.1 Obsah prchavé hořlaviny základních druhů pevné biomasy [9]

Palivo	dřevo	sláma	traviny	kůra
Obsah prchavé hořlaviny v %	75 - 85	70 - 82	74 - 80	74 - 80

Zásadní schéma spalování uvádí obr. 4.1. Po přívodu paliva do vyhřátého ohniště probíhá nejdříve odpařování vody, palivo se vysouší. Poté následuje fáze uvolňování prchavé hořlaviny, začínající při zahřátí paliva na cca 160 °C a intenzita uvolňování závisí na rychlosti

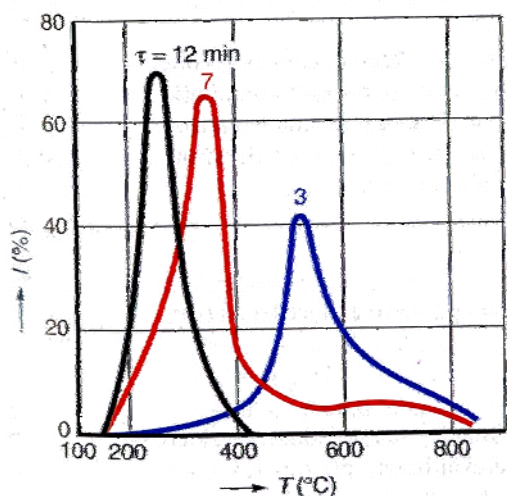
nárůstu teploty. Pro tyto první dvě fáze není teoreticky zapotřebí spalovací vzduch. Protože však probíhají obvykle na roštu, kde současně dohořívá fixní uhlík, přivádí se pod rošt tzv. primární vzduch. Dohořívání fixního uhlíku napomáhá k udržení dostatečně vysoké teploty, kterou naopak přiváděný chladný spalovací vzduch snižuje, proto je většinou množství primárního vzduchu malé, obvykle do 40 % celkového množství vzduchu. Uvolněná prchavá hořlavina se v následné fázi vzněcuje a hoří, uvolněné teplo napomáhá dosažení vysoké teploty v ohništi, a tak podporuje průběh počátečních fází. Velmi důležité je v této fázi zajistit dostatek kyslíku, protože kyslík z paliva a z primárního vzduchu již byl spotřebován. Proto se zde přivádí sekundární vzduch, v některých případech i nadvakrát, pak se hovoří o vzduchu terciárním. Poslední fází hoření je dohořívání fixního uhlíku. Pokud heterogenní reakce probíhá při dostatečně vysokých teplotách, je její rychlost závislá na rychlosti přívodu kyslíku.



Obr.4.1 Schéma průběhu spalování

Konstrukce spalovacího zařízení musí počítat se skutečností, že v průběhu uvolňování prchavé hořlaviny se při určité teplotě objevuje ostré maximum [9], kdy se z biomasy uvolňuje převážná část z celkového obsahu prchavé hořlaviny (Obr.4.2).

Z tohoto důvodu je velmi důležitý správný přívod sekundárního spalovacího vzduchu, protože kdyby prchavá hořlavina přicházela do prostoru ohniště bez dokonalého promísení se spalovacím vzduchem, nedošlo by k jejímu dokonalému vyhoření. A to by mělo za následek vysokou tepelnou ztrátu.



Obr.4.2 Intenzita uvolňování prchavé hořlaviny ze smrkové kůry

Spalování biomasy je podporováno stejně jako využívání jiných druhů obnovitelných zdrojů na základě zákona č. 180/2005 Sb., o podpoře využívání obnovitelných zdrojů. Tímto zákonem byla stanovena přesná legislativní pravidla pro podporu využívání obnovitelných zdrojů energie.

Dalším rozšířeným a diskutabilním způsobem využití biomasy je její spoluspalování s uhlím ve stávajícím elektrárenském kotlí, který obsahuje soustrojí parní turbína–generátor. Jediné omezení určuje poměr biomasa/uhlí, při kterém lze spoluspalovat tato dvě paliva bez úpravy spalovacího prostoru, s přijatelnými emisemi a bez technických obtíží (udává se do 15 % biomasy). Směsné palivo uhlí a biomasy má v řadě parametrů výhodnější hodnoty než jednotlivé složky (snížení emisí jak plyných, tak pevných škodlivin). Vysoký obsah prchavé hořlaviny v biomase spolu s nízkou popelnatostí podstatně přispívá ke snížení ztrát mechanickým nedopalem, takže evidentně nastává i celkové zvýšení účinnosti spalovacího procesu [10].

Velkou nevýhodou tohoto způsobu spalování je, že velké uhelné elektrárny skupují dostupnou dřevní biomasu (štěpku, piliny) na českém trhu, kde na našem málo rozvinutém trhu způsobí každé mimořádné zvýšení poptávky problém, ať je to už v dostupnosti či zvýšení ceny dřevní štěpky. Tyto důsledky jsou velkým problémem pro výtopny na biomasu a výrobce pelet a briket, a to má za výsledek zvýšení cen jejich produktů a tím se znemožňuje větší rozvoj alternativních zdrojů.

4.3 Zplyňování biomasy

V převážné míře se biomasy využívá k výrobě horké vody, případně páry klasickým způsobem, kdy spalováním je uvolněné teplo předáváno pracovní látce, tj. vodě. Jako perspektivnější řešení se jeví zplyňování, umožňující kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. Zplyňování je na rozdíl od spalování složitější, méně osvojený proces a investiční náklady jsou ve srovnání se spalovacími vyšší.

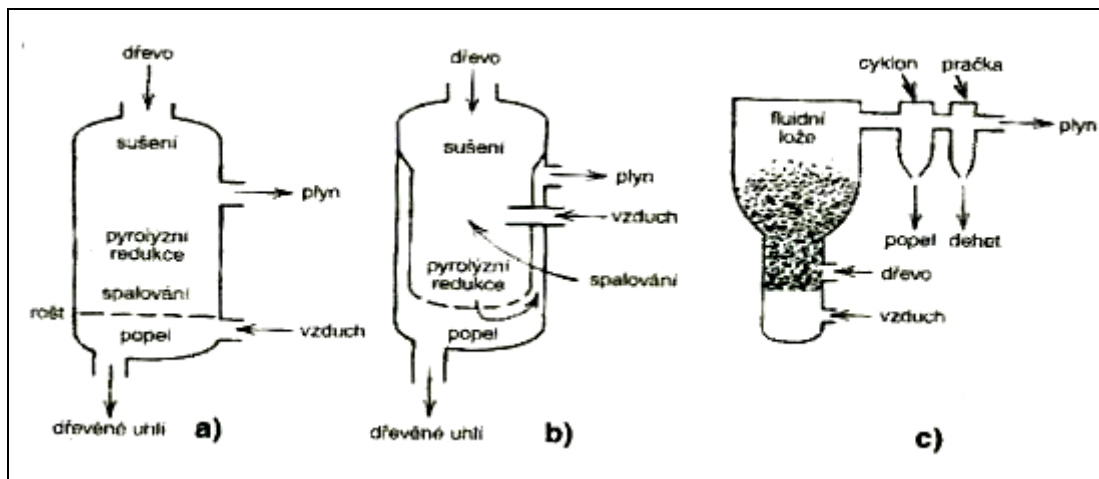
Pro zplyňování je nejvhodnější použít palivové nebo odpadní dřevo, nebo i slámu. Jedná se o termochemickou přeměnu biomasy při vyšších teplotách (v oblasti 800 °C až 900 °C) a za nedostatku kyslíku. Tento proces je podobný procesu spalování (viz. kapitola 4.2), s tím rozdílem, že celý proces končí po fázi uvolňování prchavé hořlaviny.

V první fázi bez přístupu vzduchu vzniká dehet a dřevěné uhlí, v druhé fázi reagují vzniklé produkty s omezeným množstvím vzduchu a vzniká dřevní plyn.

Skutečný zplyňovací proces je veden tak, aby byla zajištěna maximální výtěžnost hořlavých plynů. Velkým problémem je přítomnost vyšších uhlovodíků ve formě dehtových par, které při nižších teplotách kondenzují a činí tak další využití generovaného plynu obtížným. Výchřevnost uvolněného plynu (CO, CO₂, vodní pára, vodík a uhlovodíky) je kolem **5 MJ·m⁻³** (záleží na obsahu vodní páry). Z 1 kg dřeva se uvolní 1,5 až 2 m³ dřevoplynu [9].

Využití plynu je možné dvěma způsoby. Prvním řešením je, že zplyňování lze provádět v tzv. předtopeništi a vzniklý plyn využít v bezprostředně následujícím ohništi (toto řešení není tak náročné na kvalitu plynu). Dokonalejším řešením je použití vyčištěného plynu pro pohon hnacího agregátu elektrického generátoru.

Výhodou zplyňování je snadná regulace výkonu, nižší emise a vyšší účinnost. Zařízení se zplyňováním biomasy se používají stále více.



Obr.4.3 *Typy zplyňovačů biomasy*
 a) *zplyňovač protiproudový* b) *zplyňovač souprroudý* c) *fluidní zplyňovač*

4.3.1 Plazmové zplyňování

Jedná se o technologii vysokoteplotního zplyňování, která využívá plazmových hořáků k dosažení velice vysokých teplot (okolo 5 000 °C), za kterých se potom organická část, při řízeném omezeném přístupu primárního vzduchu, promění v syntézní plyn. Tento plyn je poté využit jako palivo pro výrobu elektrické energie. Tato unikátní technologie dovoluje dosáhnout vysoké účinnosti ve výrobě elektrické energie (51 %) a také se považuje za „bezodpadovou“ technologii. Při zplyňování vzniká minimální obsah popela, který obsahuje jen přeměněné anorganické části biomasy. Tento popel (struska) je použitelný jako stavební materiál. Tato technologie má i řádově nižší emise než metody klasického spalování biomasy a díky vysoké teplotě nevznikají ani žádné dioxiny.

Tato ekonomicky náročná technologie se má brzy objevit i na našem území (projekt *REMBRANDT*), a to v průmyslové zóně města Kosmonosy nedaleko města Mladá Boleslav [11].

4.4 Výhřevnost biomasy

Výhřevnost dřeva a dalších rostlinných paliv kolísá nejen podle druhu dřeva či rostliny, ale navíc i s vlhkostí, na kterou jsou tato paliva citlivější (proto je výhodnější používat předsušené palivo). Při přirozeném provětrávání pod střechou sníží dřevní hmota svůj obsah vody na 20 % za jeden rok, řepková sláma za stejných podmínek na 13 % [12].

Obsah energie v 1 kg dřeva s nulovým obsahem vody je asi 5,2 kWh. Ve skutečnosti však nelze dřevo vysušit úplně, zbytkový obsah vody je asi 20 % hmotnosti suchého dřeva. Protože se při spalovacím procesu část energie spotřebuje na vypaření této vody, je nutné počítat s energetickým obsahem 4,3 až 4,5 kWh na 1 kg dřeva.

Tab.4.2 Výhřevnost pevné biomasy [13]

DRUH PALIVA	OBSAH VODY [%]	VÝHŘEVNOST [MJ/kg]
listnaté dřevo	15	14,605
jehličnaté dřevo	15	15,584
borovice	20	18,4
vrba	20	16,9
olše	20	16,7
habr	20	16,7
akát	20	16,3
ďub	20	15,9
buk	20	15,5
topol	20	12,9
dřevní štěpka	30	12,18
sláma obilovin	10	15,49
sláma kukuřice	10	14,40
lněné stonky	10	16,90
sláma řepky	10	16,00

Tab.4.3 Porovnání výhřevnosti biomasy s fosilními palivy

Palivo	Výhřevnost [MJ/kg]
Uhlí hnědé	12 - 16
Uhlí černé	26
Koks	30
LTO	41
Zemní plyn	33
Dřevní štěpky	12,18
Piliny dřeva	12
Sláma řepková	16

4.5 Používané mechanické úpravy pevné biomasy

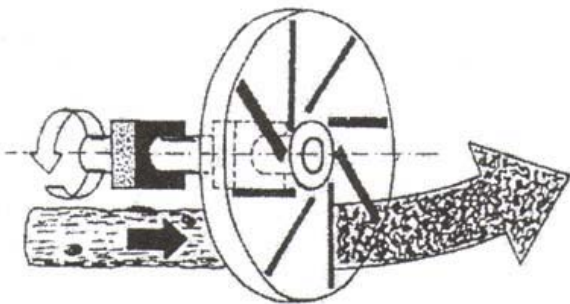
Dřevní odpady určené k energetickému nebo jinému využití, jsou natolik tvarově a objemově různorodé, že je nezbytné je před jejich dalším zpracováním homogenizovat, tvarově organizovat nebo jinak upravit. Těchto postupů existuje poměrně mnoho, z nichž nejvíce používané jsou dezintegrační technologie (mechanické rozvolňování materiálu na jemnější frakci).

Provádí se nejčastěji tyto operace: štěpkování, drcení, sekání (štípání), mletí

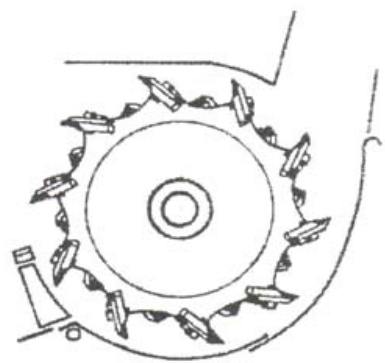
4.5.1 Štěpkování, drcení

Používají se štěpkovače a drtiče různé výkonnosti, mobilní i stacionární s vhodnou pohonnou jednotkou. Motor štěpkovače může zajišťovat elektromotor, stacionární spalovací motor nebo motor traktoru i nákladního automobilu, na kterém je štěpkovací stroj umístěn. Štěpkovače jsou kolové (obr.4.4), bubnové (obr.4.5), šnekové.

Drtiče jsou podobné bubnovým rezačkám, často jsou opatřené sítí a rovnou se provádí třídění na určité frakce.



obr.4.4 Kolový štěpkovač



obr.4.5 Bubnový štěpkovač

4.5.2 Sušení

Sušárna je zařízení pro sušení sypkých materiálů před jejich dalším zpracováním. Nejčastěji se používají bubnové rotační sušárny, které pracují v mírném sklonu, ohřev může být i spaliny, odvod vzniklé páry je prováděn ventilátorem s odlučovacím cyklónem. V mnoha případech se spojují s technologickou operací briketování nebo peletování do jedné ucelené technologické linky.

4.5.3 Lisování

Briketování

Tvarová úprava briketováním využívá mechanických a chemických vlastností materiálů, které se použitím vysokotlakého lisování zhutňují do kompaktních tvarů bez přídavku pojiva s využitím pryskyřic obsažených v materiálu. Při lisování biomasy se působením tlaku uvolňuje lignin. Někdy se přidává k dřevnímu odpadu i uhelný prach, ale poté se musí k těmto surovinám přidat malé množství vápence, na který se váže síra z uhlí a ukládá se do popelového odpadu. Stupeň slisování má vliv na kvalitativní parametry, jako je výhřevnost,

tvárová stálost apod.. Briketování probíhá při tlaku až 400 MPa a teploty cca 70 °C. Dochází k objemové redukci cca 12:1.

Hlavní omezující vlastností pro zpracování je především vlhkost materiálu, která nesmí přesáhnout 15 hmotnostních procent vody (rozpadání brikety) a dále zrnitost materiálu, která nesmí přesáhnout rozměr 15 mm.

Brikety standardní kvality mají výhřevnost **18 až 20 MJ·kg⁻¹**. Nejčastější tvar brikety je kruhový, méně častý je tvar klasické hnědouhelné brikety. Cena briket je kolem 4,00 Kč·kg⁻¹ (včetně 19% DPH), cenu ovlivňuje druh dřeva, z kterého jsou brikety vyrobeny.

Peletování

Pelety jsou zpravidla granule kruhového průřezu 6 až 20 mm a délce 1 až 5 cm, které jsou vyrobeny výhradně bez chemických přísad z organického materiálu nebo biomasy – dřevního odpadu, dřeva, pilin, stébelnin. Pelety se lisují za vysokého tlaku na protlačovacích matricových lisech (obr.4.6).

Surovinou pro výrobu peletek je čistá, homogenní dřevní hmota ve formě pilin s minimem dřevního prachu, který zhoršuje pevnost pelet. Obsah vody v surovině by se měl pohybovat kolem 10 %, proto se většinou musí piliny od katru, které mají kolem 45 % vody, sušit.

Do výrobního procesu většinou nepřichází surovina v optimálním tvaru, ale jako piliny, hobliny, kousky dřeva, a proto je jí potřeba před vlastní peletizací homogenizovat, upravit částice na vhodnou velikost. To se zajišťuje výkonným kladívkovým drtičem.

Hlavním strojem výrobní linky peletek je protlačovací, matricový lis. Vyrábí se v několika konstrukčních provedeních, jako talířový, plochý nebo prstencový. Protlačovací matrice je vyrobena z ušlechtilé oceli, je opatřena soustavou otvorů potřebného průřezu a nad ní v přesně stanovené nepatrné vzdálenosti se odvalují při jejím otáčení přítlačné rolny, které zpracováváný materiál protlačují otvory matrice [14]. Při tom vzniká značné teplo, které uvolňuje a změkčuje v surovině obsažený lignin. Ten je spolu s přídatným organickým pojivem, např. kukuřičnou moukou, hlavní zárukou pevnosti peletek.

Chlazení peletek po výstupu z peletizátoru je zásadní nezbytností. Teprve potom peletka dostává potřebnou pevnost a trvanlivost, protože zatuhne lignin a pojivo.

Cena peletek je kolem 3,50 Kč·kg⁻¹ (včetně DPH).

Tab.4.4 Složení pelet

Organické složení pelet:		Chemické složení pelet:	
celulóza	40 – 55 %	uhlík	51 %
lignin	20 – 35 %	kyslík	42 %
glycidy	18 – 25 %	vodík	6 %
popel	0,3 – 0,8 %	dusík	1 %

Využívání pelet k energetickým účelům má své výhody, ale také nevýhody.

Mezi *výhody* patří:

- na rozdíl od fosilních paliv se jedná o obnovitelný zdroj energie pro vytápění
- palety mají vysokou výhřevnost ($18,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$), nízký obsah popelovin (do 1 %) a vody (kolem 10 %)
- nízké nároky na skladovací prostor díky vysoké objemové hmotnosti
- nízký obsah emisí
- možnost automatizace procesů spalování (pomocí šnekového dopravníku)

Mezi *nevýhody* můžeme zařadit:

- vyšší náklady na pořízení technologických zařízení na spalování pelet, oproti jiným zdrojům tepla
- vyšší cena než uhlí
- nerozvinuta obchodní a distribuční síť výrobců a dodavatelů pelet

Toto palivo je obecně považováno za palivo budoucnosti nejen v zemích západní Evropy. Aby mohly pelety úspěšně konkurovat fosilním palivům a ostatním formám biomasy, je třeba zajistit jejich spolehlivou distribuci ke konečným uživatelům, nabídnout jim kvalitní technologická zařízení na spalování pelet, a to vše za rozumnou cenu.

V dnešní době se čestí výrobci pelet i technologických zařízení na spalování pelet soustředují převážně na zahraniční trhy, kde svými nižšími cenami a kvalitou výrobků úspěšně konkurují zahraničním firmám. V ČR není doposud trh s peletami tak rozvinut, jako je tomu u našich nejbližších sousedů, v Rakousku a v Německu, nebo ve skandinávských zemích. Tyto problémy by mohla odstranit pružnější dotační politika naší republiky.



Obr.4.6 Matrice peletovacího lisu

4.6 Spalovací zařízení biomasy

Biomasa (nejčastěji ve formě dřevní štěpky) se ve velkém spaluje v klasických elektrárnách ve fluidních kotlích¹ s cirkulací spalin spolu s energetickým uhlím. Pro průmyslové aplikace nebo systémy centrálního zásobování teplem se používají kotle nad 100 kW spalující také dřevní štěpku nebo balíky slámy. Často jsou vybaveny automatickým přikládáním paliva a dokáží spalovat i méně kvalitní a vlhčí biomasu. Někdy tato zařízení využívají kombinovanou výrobu tepla a elektřiny (kogenerace).

Kotle pro rodinné domky pracují obvykle tak, že se palivo nejprve zplyňuje a teprve potom se plyn spaluje. Takový systém umožňuje velmi dobrou regulaci srovnatelnou s plynovými kotli. Kotle spalují nejčastěji polenové dříví či pilinové brikety, někdy v kombinaci se dřevní štěpkou nebo dřevním odpadem. V současné době se zvyšuje využívání lisovaných pilinových pelet (viz. kapitola 4.5), které umožňují bezobslužný provoz kotle a komfortní dopravu a skladování.

Dřevo se dále spaluje i v cihlových pecích, kachlových nebo kovových kamnech. Výhodou kamen je, že se rychle rozehřejí. Jejich účinnost závisí na konstrukci i na uživateli. Některá moderní kamna mají také vestavěnou topnou vložku, takže pracují zároveň i jako kotel ústředního vytápění.

4.7 Emise ze spalování biomasy

Při spalování biomasy vznikají stejné základní látky jako při spalování jiných organických paliv, a to především CO₂ a H₂O. Při správném spalování biomasy se uvolňuje jen tolik oxidu uhličitého, kolik bylo absorbováno rostlinami. V závislosti na vedení a podmínkách spalovacího procesu a na sloučeninách obsažených v biomase vzniká množství dalších látek, které jsou považovány za látky znečišťující.

Suchá biomasa je velmi složité palivo, protože obsahuje velký podíl prchavé hořlaviny. Vzniklé plyny mají různé teploty spalování. Vzhledem k tomu, že se biomasa nejdříve zplyní a plyny následně vyhoří v plynném plameni, stává se spalování biopaliv dvoustupňovým.

Škodliviny ze spalování biomasy se rozdělují na:

- *škodliviny z neúplného spalování*: CO, C_xH_y, dehet, saze, nespálené uhlovodíkové částice, vodík a neúplně okysličené sloučeniny dusíku (NH₃, N₂O)
- *škodliviny a požadované produkty z úplného spalování*: oxidy dusíku (NO, NO₂), CO₂, H₂O
- *škodliviny ze stopových prvků nečistot biopaliv*: částice prachu (nespalitelné), síra, sloučeniny chloru a stopové množství kovů (Cu, Pb, Zn, Cd)

Nejvíce sledované polutanty jsou toxické látky (SO₂, CO) a plyny podporující skleníkový efekt (CO₂, N₂O, CFC (freony), CH₄ a stopové plyny HFC, PFC, SF₆).

Jelikož biomasa obsahuje jen nízké procento organicky vázané síry a prakticky nulový obsah těžkých kovů, lze logicky předpokládat jen velmi nízké koncentrace anorganických polutantů (SO₂ a emisí těžkých kovů) ve spalinách, což je jedna z předností spalování biomasy.

¹ fluidní kotle umožňují spalovat při nízké teplotě ve fluidním loži, což potlačuje tvorbu NO_x

Produkce organických znečišťujících látek závisí vždy na způsobu spalování a konstrukci spalovacího zařízení (např. při nedostatku spalovacího vzduchu může vznikat celá řada organických látek). Vznik dalších organických látek ve spalinách, zejména polyaromatických uhlovodíků, sazí a také již zmíněného oxidu uhelnatého lze omezit volbou vhodného spalovacího režimu (obecně je nutné zajistit dostatečný přísun vzduchu k palivu, což představuje problém např. u klasických kamen).

Polycyklické aromatické sloučeniny (PAH) mají poměrně nízký řád toxicity, jejich toxický účinek se projevuje zejména působením na játra a ledviny (jedná se o prokázané karcinogeny).

Množství i zastoupení jednotlivých PAH v exhalacích ze spalování biomasy se liší, ve větší míře bývají zastoupeny např. anthracen, fenanthren, chrysen, benz(a)anthracen, benzo(a)pyren a další.

Tab.4.5 Emise polutantů při spalování různých biopaliv [15]

Palivo	Cl (mg/kg)	HCl (mg/m ³)	CO (mg/m ³)	PAH (mg/m ³)	PCDD (ng/m ³)	PCBs (ng/m ³)	PCPh (ng/m ³)
Smrková štěpka	120	0,9	625	37	0,063	60	580
Topolová štěpka	16	0,13	2880	74	0,003	70	220
Pelety z pšeničné slámy	2056	74	733,5	247	1,822	2000	10 800
Řezanka z pšeničné slámy	1500	89	165,5	33	0,631	1300	3000
Pelety ze sena	2890	173	325,5	69,5	0,835	600	2800
Řezanka ze sena	1681	50	534	134	1,909	2000	32 000
Pelety z tritikale	575	72	81,5	105	0,078	-	1380
Řezanka z tritikale	1390	45	461	26	0,082	-	1200
Pokrutiny ze semene řepky	194	17	697	115	0,365	230 000	3280

tritikale je hybridní obilnina, která vznikla křížením žita a pšenice, vyznačuje se velkými klasy bez osin

Problematika sloučenin chloru při spalování biomasy je důležitá a z hlediska dopadu na životní prostředí podstatná. Při spalování kulturních obilovin hnojených průmyslovými hnojivy a ošetřovanými pesticidy a herbicidy se může vyskytnout až 180 mg/m³ HCl. Tato látka na kotle působí vysokoteplotní korozi (nad 550 °C).

Další, podstatnější, skupinou vznikajících při spalování chloru jsou persistentní organické polutanty (POPs). Jedná se o termín používaný pro skupinu organických sloučenin (PAH, PCB, PCDD/F).

Tab.4.6 Porovnání emisí polutantů fosilních paliv s nejpoužívanějším biopalivem

Druh paliva	EMISE (mg/MJ)					
	SO ₂	NO _x	C _x H _y	CO	Popílek	CO ₂
Černé uhlí	420	50	400	4 500	200	94 000
Hnědé uhlí	480	30	500	5 000	200	97 000
Koks	340	70	10	4 500	60	104 000
LTO	140	40	10	50	5	78 000
TTO	245	80	10	50	10	77 000
Zemní plyn	-	40	5	50	-	52 000
Brikety	270	70	400	4 000	200	99 000
Polena	10	50	1 000	6 000	72	102 000
Štěpka	10	80	100	2 500	50	102 000

Pro posuzování produkce emisí jsou závazné právní předpisy. Emisní limity pro koncentraci škodlivin ve spalinách pro kotle spalující dřevo nebo nekontaminovaný dřevní odpad, kůru, atd. upravuje znění vyhlášky č. 117/1997Sb.

5. VYUŽITÍ BIOMASY PRO VÝROBU ENERGIE

Protože lidstvo potřebuje vedle tepla i jiné formy energie, používají se technologie na přeměnu chemické energie v biomase na mechanickou nebo elektrickou energii. Teoreticky by bylo možné energii v biomase přeměnit se 100% účinností, ale v současnosti ještě nedisponujeme takovými potřebnými technickými prostředky. Nejlepší tepelné stroje, které dokážeme vyrobit, jsou turbíny s paroplynovým cyklem a mají účinnost přeměny tepla na elektřinu kolem 50 % (viz Tab.5.1). Nízká účinnost vadí tehdy, když sálané odpadní teplo nelze nijak využít (např. u dopravních prostředků).

Tab.5.1 Přehled technologií vhodných pro výrobu elektrické energie z biomasy [7]

Technologie	Výkon [MW _e]	η _e [%]
Parní stroj	0,2–2,0	10–12
Parní turbína	0,5–240	15–40
Šroubový parní stroj	0,02–1,0	10–12
Stirlingův motor	<0,1	18–25
Plynová turbína s uzavřeným cyklem	0,1–240	18–30
Spalovací motor	0,1–2,0	27–31
Spalovací plynová turbína	0,1–240	18–30
Mikroturbína	<0,1	15–25
Paroplynový cyklus	>10	40–55
Palivový článek	0,02–2,0	25–40

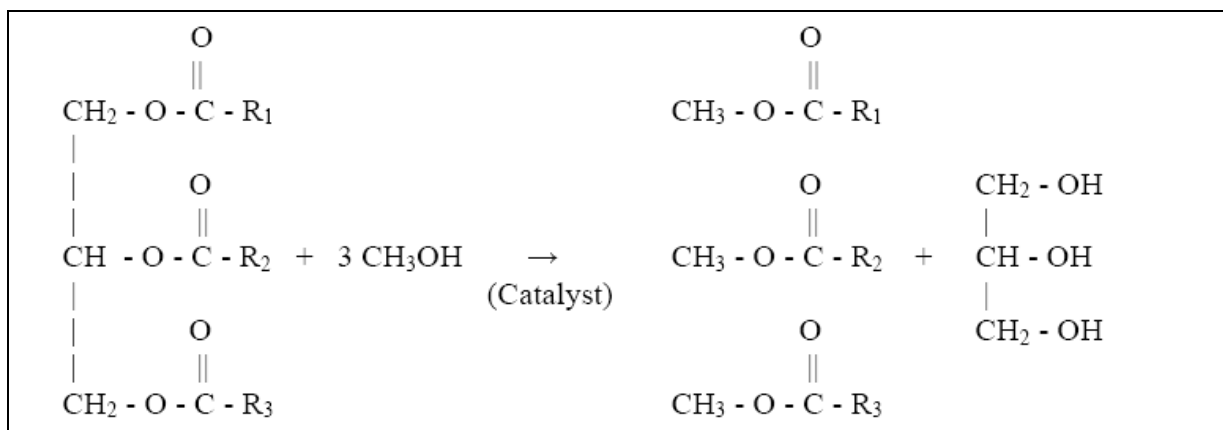
Možnosti využití biomasy pro potřeby dopravy je celá řada, ale praktický význam mají jen některé. Hlavním omezením je, že moderní spalovací motory pro pohon vozidel, dokáží využívat jen kapalné nebo plynné palivo a mají i vysoké nároky na jejich kvalitu.

Bílá kniha Komise evropské dopravní politiky žádá z ekologického hlediska snížení závislosti dopravního sektoru na ropě používáním alternativních paliv, jako jsou biopaliva. Zajištění používání těchto biopaliv v dopravě je krokem směrem k širší aplikaci biomasy, který umožní vývoj biopaliva do budoucna, přičemž nejsou vyloučeny další možnosti, zejména možnost vodíku.

5.1 Bionafta

5.1.1 Výroba bionafty

Pojem bionafta byl zaveden pro methylestery (označované jako methylestery mastných kyselin – FAME). Můžeme říci, že výroba bionafty je prověřenou a dobře zvládnutou technologií, která je úspěšně provozována ve velkokapacitním měřítku již řadu let i v podmínkách ČR. Podstatou její výroby je transesterifikace v surovině přítomných triglyceridů za přítomnosti vhodného katalyzátoru. Reagenty jsou rostlinný olej, získaný z olejnatých rostlin (sója, řepka olejná, slunečnice) nebo živočišný tuk, a methanol. Je možné použít jako suroviny i upotřebené fritovací oleje a tuky. V současné době je 80 % světové roční produkce bionafty realizováno na bázi řepkového oleje. Základní schéma transesterifikační reakce triglyceridů s methanolem je uvedeno na obrázku 5.1.

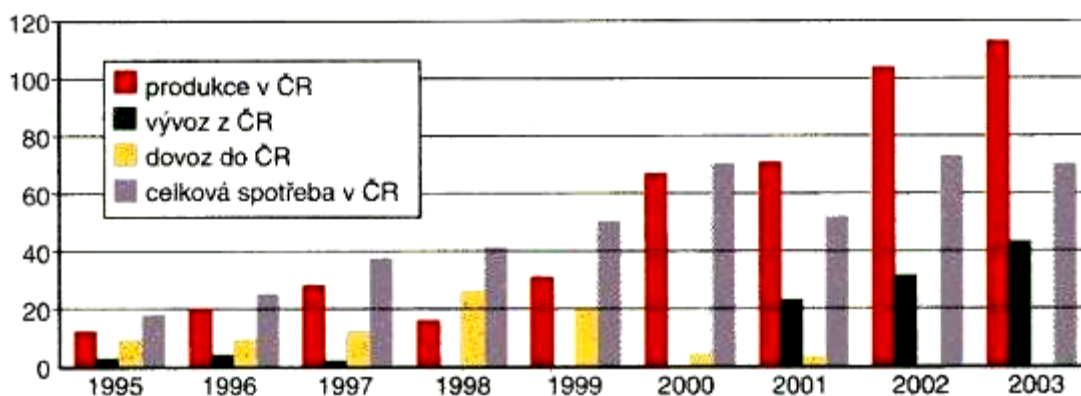


Obr.5.1 Základní schéma transesterifikace triglyceridů methanolem

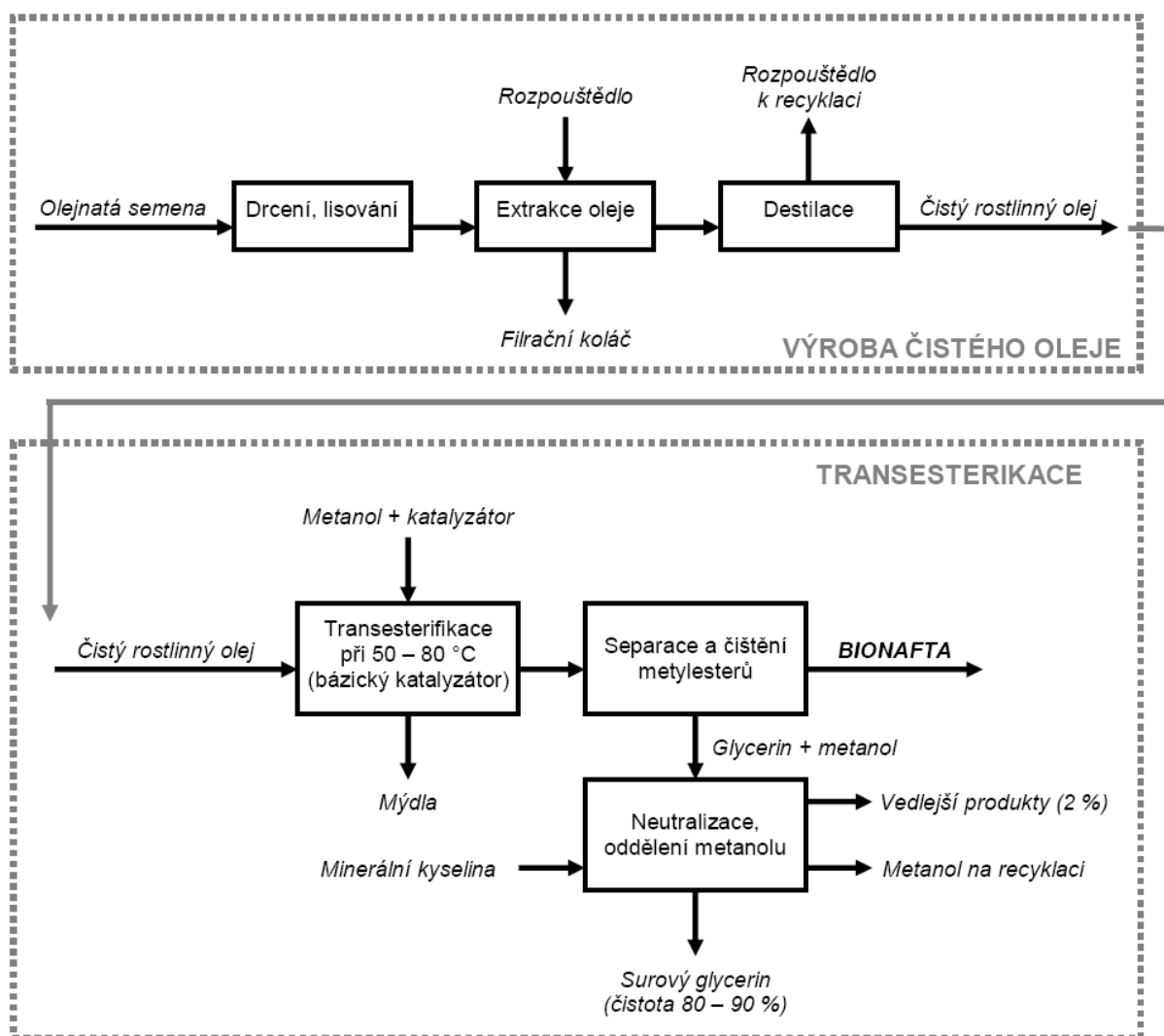
Čistý rostlinný olej pro výrobu bionafty lze získat extrakcí, lisováním za studena a nebo kombinací obou způsobů. Následnou destilací tohoto oleje se oddělí rozpouštědlo, které se recykluje.

Při samotném procesu transesterifikace se v methanolu nejprve rozpustí použitý katalyzátor (KOH, NaOH), který se používá k provedení reakce za nízké teploty a tlaku, a směs obou látek je spolu s rostlinným olejem dávkována do uzavřeného reaktoru. Vedlejším produktem je glycerin. Je důležité, aby se u suroviny kontroloval obsah vody a volných mastných kyselin (saponifikace). Reakční teplota je obvykle v rozmezí 50 – 80 °C a reakční doba je od 1 do 8 hodin. Jednoduché blokové schéma výroby bionafty je uvedeno na obr.5.3.

Po transesterifikaci je nezbytné oddělení glycerolu od methylesterů, a protože jak bionafta, tak i glycerol obsahují methanol, musí se oba produkty zneutralizovat přidávkem minerální kyseliny (kyselina neutralizuje přítomný katalyzátor), a poté se methanol oddestiluje. Oddělený methanol je recyklován a glycerin je využit např. v kosmetickém průmyslu (hydratační krémy, mýdla, zubní pasty).



Obr.5.2 Přehled výroby, vývozu, dovozu a spotřeby řepkových methylesterů v ČR v tisíci tunách v letech 1995 až 2003 (zdroj: Celní statistika, VÚZT – SVB, 2004)



Obr.5.3 Schéma výroby bionafty transesterifikací rostlinných olejů

5.1.2 Fyzikálně – chemické vlastnosti bionafty

Methylestery mastných kyselin jsou vhodným palivem pro vznětové motory, jejich viskozita, hustota a cetanové jsou podobné jako u klasické minerální motorové nafty. Hlavní vlastnosti methylesteru řepkového oleje a klasické motorové nafty jsou uvedeny v tab.5.2.

Díky vysokému cetanovému číslu se MEŘO dobře vzněcuje a jeho stechiometrické spalování vyžaduje méně vzduchu. Nevýhodou je při jeho spalování vznikající specifický zápach. MEŘO má větší viskozitu a rovněž jeho hustota je v porovnání s naftou o něco větší. Nevýhodou menší výhřevnosti MEŘO vztažené na jednotku objemu je větší spotřeba v porovnání s klasickou naftou. MEŘO má dále vyšší bod vzplanutí, který je důležitý z hlediska bezpečného zacházení s palivem.

Tab.5.2 Porovnání některých vlastností MEŘO a klasické motorové nafty

Vlastnosti paliva	Bionafta	Motorová nafta
Rel. molekulová hmotnost (g/mol)	~300	170–200
Cetanové číslo	~54	51
Hustota při 15 °C (g/cm ³)	0,88	0,84
Výhřevnost (MJ/kg)	37,3	42,7
Výhřevnost (MJ/l)	32,0	35,7
Stechiometrický poměr vzduch/palivo (hm.)	12,3	14,53
Obsah kyslíku (% hm.)	9–11	<0,6
Kinematická viskozita při 20 °C (mm ² /s)	7,4	4,0
Bod vzplanutí (°C)	91-135	77

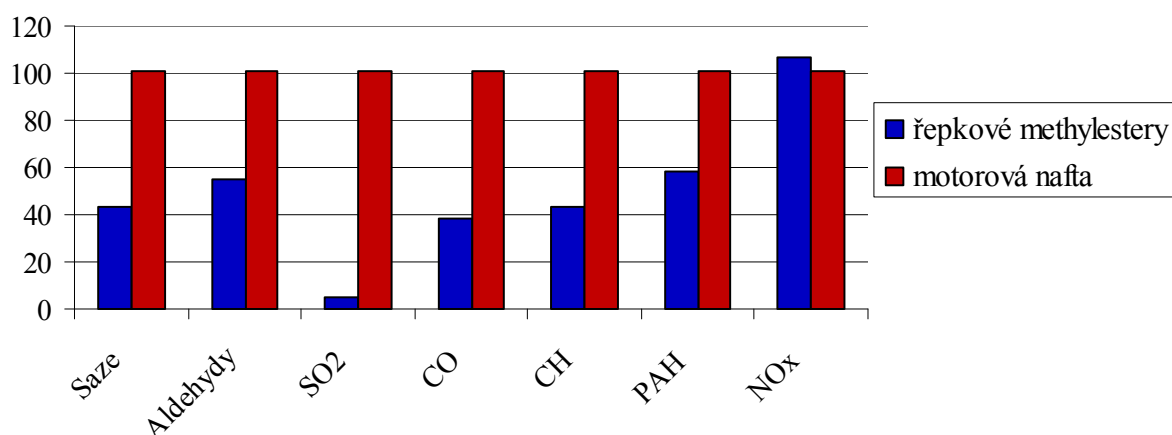
Výhodou MEŘO je skutečnost, že má dobré mazací vlastnosti. Z pohledu ekologie je další výhodou bionafty její velmi dobrá biologická odbouratelnost (98 % za 21 dní), to ale přináší skutečnost, že bionafta je méně stabilní, což je její nevýhoda z pohledu skladovací stability, tj. její odolnost vůči chemickým změnám při jejím dlouhodobém skladování. Tuto stabilitu významně ovlivňuje složení mastných kyselin, resp. jejich methylesterů odvozené od nenasycených kyselin, především kyseliny linolové a linoleové se dvěma, resp. třemi dvojnými vazbami jsou velmi citlivé vůči oxidaci. Katalizujícími látkami těchto chemických změn jsou některé kovy a světlo. Pokud je přítomna voda, může probíhat i hydrolyza. Kvůli těmto skutečnostem je jasné, že hodnocení kvality jak výchozí suroviny, rostlinného oleje nebo živočišného tuku, tak i vyrobené bionafty je třeba věnovat náležitou pozornost.

Od 1.9.2007 je na trhu motorová nafta s obsahem od 0 do maximálně 5 % objemových methylesterů mastných kyselin, v ČR nejčastěji methylesterů řepkového oleje. Palivo dodržuje jakostní normy dle ČSN EN 590 [16].

Rizikem provozu vozidel se vznětovým – dieselovým motorem je menší oxidační a termální stabilita směsí nafty s methylestery (FAME/MEŘO). Jestliže natankované palivo není v dohledné době spotřebováno, může se stát, že se vytvoří nerozpustné látky, které začnou postupně zanášet palivový filtr a vytvářet lepivé úsady v palivovém čerpadle a tryskách. Podle zkušenosti k tomu může dojít v letním období u vozidla odstaveného z provozu v průběhu dvou až tří měsíců, v zimním období za delší dobu [16]. Tyto zkušenosti platí pro směsnou naftu obsahující 30 % FAME, ale prakticky nehrozí pro běžné palivo obsahující dnes do 5 % methylesterů, u kterých je riziko vzniku úsad velmi nízké.

5.1.3 Emise

Jestliže porovnáme MEŘO s motorovou naftou při provozu, tak MEŘO vykazuje zhruba poloviční kouřivost a emisní hodnoty jsou rovněž příznivější, s výjimkou NO_x (viz. obr.5.4)



Obr.5.4 Porovnání měrných emisí MEŘO a motorové nafty

5.2 Bioethanol

5.2.1 Výroba bioethanolu

Bioethanol se vyrábí aerobní fermentací (kvašením) cukerných, resp. škrobnatých plodin. V Evropě se jako surovina využívá nejčastěji cukrová řepa, obilí nebo brambory. Ve světě jsou to především cukrová třtina a kukuřice.

Můžeme říci, že pro výrobu bioethanolu je vhodný jakýkoliv typ biomasy, která obsahuje větší množství cukrů (cukrová řepa, cukrová třtina) nebo látek, které lze na cukr převést, jako jsou škrob nebo celulóza.

Velká pozornost ve světě je věnována využití biomasy stromů a trav jako surovin pro výrobu bioethanolu. Tato technologie výroby je sice technicky realizovatelná, ale je komplikovaná, a proto se prozatím ve velkém neprovádí.

Kvasný (fermentační) způsob výroby bioethanolu z biomasy je umožněn díky působení enzymů v procesu, kterému se říká lihové kvašení. Tento proces probíhá převážně bez přístupu vzduchu (anaerobně), protože jinak by mohly kvasinky spotřebovat kyslík pro jiné účely. Přímo zkvasitelné jsou pouze monosacharidy, jejichž molekula obsahuje 6 uhlíků, tzv. hexosy. Složitější sacharidy (oligosacharidy až polysacharidy) musí být před zkvašením hydrolyzovány na monosacharidy, a to pomocí enzymové nebo kyselé hydrolyzy.

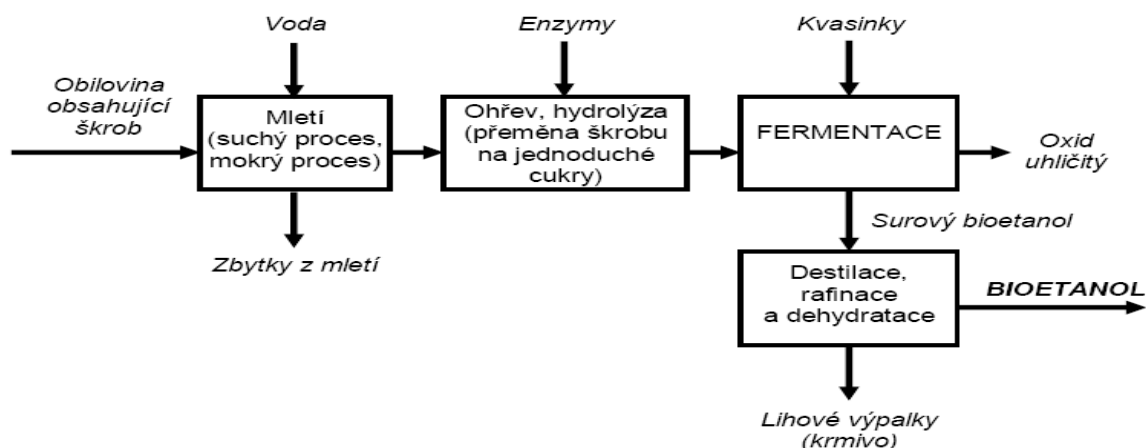
Abychom docílili správného průběhu kvašení je třeba udržovat vhodné pH (4–6) a také vhodnou teplotu 27–32 °C. V běžné technologické praxi nelze překročit hodnotu 12–13 % obj. koncentrace ethanolu, protože díky inhibici produktem se fermentační proces zcela zastaví.

V dnešní době a v podmínkách ČR je možné realizovat dva základní technologické postupy výroby bioethanolu, který by byl vhodný pro pohon motorových vozidel, a to z obilovin a z cukrové řepy.

a) Výroba bioethanolu z obilovin

Z obilovin a kukuřice jsou jako surovina pro výrobu bioethanolu použita pouze zrna obsahující škrob, která ovšem představují pouze malý podíl z celkové rostlinné hmoty. Škrobová zrna je třeba nejprve zpřístupnit, proto je prvním krokem mechanická předúprava, jako je mletí nebo drcení, které se provádí buď za mokra, nebo za sucha.

V dalším stupni následují proces bobtnání a zmazovatění zrn škrobu, kdy se škrob postupně převádí až na zkvasitelný sacharid. Poté následuje vlastní fermentace a destilační oddělení surového bioethanolu.

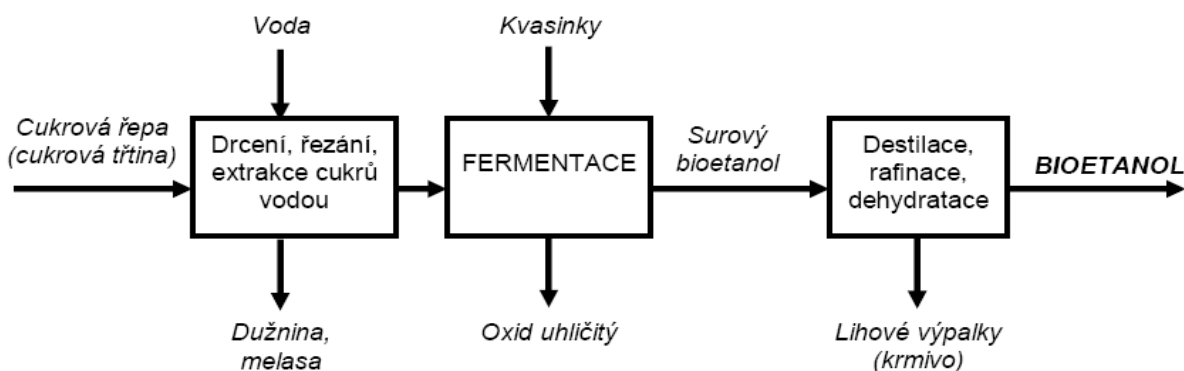


Obr.5.5 Blokové schéma výroby bioethanolu z obilovin

b) Výroba bioethanolu z cukrové řepy

Z biomasy obsahující jednoduché cukry je výroba bioethanolu méně složitá, protože nevyžaduje operaci enzymatického štěpení polysacharidů na zkvasitelné jednoduché cukry.

Cukrová řepa je rozmělněna a cukry jsou odděleny pomocí vypírky vodou. Následně jsou cukry zkvašeny ve fermentoru na bioethanol působením kvasinek za podmínek obdobných jako v případě výroby bioethanolu z obilovin. Odpadem ze zpracování jsou dužnina a melasa.



Obr.5.6 Blokové schéma výroby bioethanolu z cukrové řepy

V dnešní době je ale z pohledu pěstování cukrové řepy kladen důraz převážně na výrobu cukru, proto nepřichází využití cukrovky jako hlavní suroviny pro výrobu bioethanolu v úvahu. Pozornost se spíše obrací na využití vedlejších produktů z výroby cukru, jako je melasa (hustá sirupovitá tekutina, kde jejími hlavními složkami jsou voda (20 % hm.), sacharidy (50 % hm.) a necukerné látky).

Velmi zajímavým řešením této skutečnosti je spojení výroby cukru a lihu, které má svoji kolébku ve Francii a které umožňuje při výrobě lihu využít meziproductů a vedlejších produktů výroby cukru. To má několik výhod, z nichž jsou nejzajímavější dvě. Ta první umožňuje výrazné snížení nákladů na surovinu a ta druhá umožňuje realizaci bezodpadové výroby [17].

Tab. 5.3 Průměrná výtěžnost bioethanolu z produktů a zbytků zemědělských závodů

Biomasa	Průměrná spotřeba na výrobu 100 l bioethanolu	Biomasa	Průměrná spotřeba na výrobu 100 l bioethanolu
syrovátka	4 000 l	melasa	360 kg
cukrová třtina	1 181 kg	pšenice	260 kg
cukrová řepa	932 kg	kukuřice	268 kg
brambory	1 211 kg	žito	241 kg
dřevo	385 kg	triticale	251 kg

5.2.2 Rafinace a dehydratace bioethanolu

I když dodržíme všechny zásady optimálního vedení procesu fermentace, vznikají vždy některé vedlejší produkty, které jednak snižují výtěžek ethanolu a za druhé komplikují proces destilačního dělení ethanolu. Jsou to tyto látky: organické kyseliny, glycerol, akrolein, vyšší alkoholy, estery, atd..

Při rafinaci je nutné všechny tyto nežádoucí látky z kvasného ethanolu účinně odstranit tak, aby vyrobený produkt mohl splňovat potřebné jakostní požadavky na kvalitu pohonné hmoty pro motorová vozidla. Výsledkem rafinace surového bioethanolu je rafinovaný bioethanol, který obsahuje maximálně 95,5 % hm. ethanolu, zbytek tvoří voda.

Ve finále je pro využití do motorových paliv získán bezvodý líh se zbytkovým obsahem vody maximálně 0,3 % hmotnostních, pomocí adsorpce na molekulových sítích, zeolitech, které využívají rozdílného průměru molekul ethanolu (4,4 Å) a vody (2,8 Å).

Rozdílem od potravinářského lihu je, že bioethanol může obsahovat malé množství methanolu a vyšších alkoholů. Pro bioethanol pro dopravní účely platí ČSN 65 6511.

5.2.3 Fyzikálně-chemické vlastnosti bioethanolu

Základní fyzikálně-chemické vlastnosti bioethanolu a pro srovnání i automobilového benzínu jsou uvedeny v tab.5.4.

Ethanol má vysoké oktánové číslo, vyšší než benzin, a proto je vhodným alternativním palivem pro zážehové motory, naproti tomu díky jeho nízkému cetánovému číslu je podstatně méně vhodným palivem pro vznětové motory. Míru těkavosti paliva nám pomáhá určovat tlak

par, a ten je u ethanolu velmi nízký. Nevýhodou menší výhřevnosti alkoholu vztažené na jednotku objemu je větší spotřeba v porovnání s benzínem.

Každá země dotuje výrobu biopaliv odlišně a také biolih přimíchává do benzínu v různém procentuálním zastoupení. Zatímco v Brazílii jeho podíl tvoří v benzínu až 25 % z rafinérií (individuální prodejci někdy zvyšují tento podíl až na 30 %), v Asii jsou to jen tři procenta a Evropská unie má zájem o přimíchávání biolihu do úrovně pěti procent [18].

Od 1. 1. 2008 bude v ČR na trhu automobilový benzin s obsahem od 0 do maximálně 5 % objemových kvasného bezvodého lihu zvláště denaturovaného, případně bude benzin obsahovat místo vysokooktanové komponenty MTBE komponentu bioETBE. Palivo bude na trh dodáváno s jakostními parametry dle ČSN EN 228 [16].

5.2.4 Zpracování lihu na ETBE

Ethyl-*terc*-butylether (ETBE), tak i MTBE jsou žádanou komponentou automobilových benzinů. Hlavní přednostmi těchto látek (viz. tabulka 5.4) jsou větší výhřevnost, menší tlak par, vysoké oktanové číslo a ve srovnání s alkoholy se s benzínem lépe mísí a vzniklá směs je stabilní. Přítomnost etherů v benzínu podporuje jeho dokonalejší spalování, a to má za následek snížení emisí uhlovodíků a CO.

Výroba tohoto etheru lze provést reakcí příslušného ethanolu, s nenasyceným plynným uhlovodíkem isobutenem v přítomnosti kyselého katalyzátoru. Výroba ETBE je převážně realizovaná v upravených jednotkách, které sloužily pro výrobu MTBE.

V benzinových směsích by sloučenina ETBE mohla nahradit v současnosti zdravotně nevyhovující MTBE (methyl-*terc*-butylether). Pro dopravní průmysl má ETBE také lepší vlastnosti než MTBE např. nižší tenzi par, nižší rozpustnost ve vodě, vyšší bod varu.

Tab.5.4 Porovnání některých vlastností alkoholu, ETBE a benzínu

Vlastnosti paliva	Ethanol	ETBE	Benzín
Rel. molekulová hmotnost (g/mol)	46	102	111
Oktanové číslo RON/MON	109/92	118/105	96/85
Cetanové číslo	11	-	8
Tlak par podle Reida (kPa)	16,5	28,0	75,0
Hustota 15 °C (g/cm ³)	0,8	0,74	0,75
Výhřevnost (MJ/kg)	26,4	36,6	41,3
Výhřevnost (MJ/l)	21,2	26,7	31,0
Stechiometrický poměr vzduch/palivo (hm.)	9,0	-	14,7
Bod varu (°C)	78	72	30 – 190
Zápalná teplota (°C)	425		>280
Bod vzplanutí (°C)	12	-19	- 35
Meze výbušnosti D/H (% v/v)	3,5/15	1,2/9,1	1,3/7,6

5.3 Vodík

Vodík je nazýván nejčistším palivem, protože při jeho spalování vzniká jako vedlejší produkt pouze voda. Proto je jeho využití výhodné jako pohonnou hmotu pro motorová vozidla. Právě doprava je nejdůležitější oblastí, v které by měl být vodík v první řadě nasazen. Vodík může být spalován v běžných, jen nepatrně upravených spalovacích motorech nebo pomocí palivových článků. Za perspektivní se však považuje především využití v palivových člancích, protože palivové články vykazují podstatně větší energetickou účinnost při generování energie než motory s vnitřním spalováním. Předpokládá se, že palivové články by se mohly stát hlavním způsobem pohonu motorových vozidel v průběhu příštích 20-30 let.

Velké ropné společnosti, které produkují klasická kapalná motorová paliva, ale i výrobci motorových vozidel jsou přesvědčeni, že vodík je palivem budoucnosti. Pro masové využití vodíku v dopravě je ovšem třeba mít k dispozici jeho dostatečný a relativně levný zdroj a vybudovat potřebnou infrastrukturu pro jeho distribuci.

5.3.1 Výroba vodíku

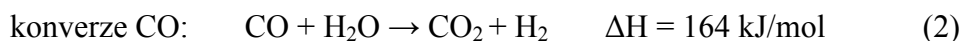
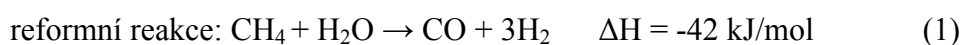
Vodík může být vyráběn mnoha způsoby, v současnosti ve světě dominuje výroba z fosilních paliv. Další možností je výroba vodíku z obnovitelných zdrojů. Z těchto zdrojů se vodík získává pomocí elektrolýzy vody, vysokoteplotního rozkladu vody, zplyňováním či pyrolýzou biomasy nebo výrobou s využitím speciálních bakterií.

Z vody se vodík vyrábí elektrolýzou, v případě fosilních paliv pak parním reformováním a parciální oxidací zemního plynu, parciální oxidací ropných zbytků a nebo zplyňováním uhlí.

a) Parní reformování zemního plynu

Tato technologie je v současnosti nejlevnějším a nejrozšířenějším způsobem výroby vodíku. Proces má dvě fáze; v první fázi převažuje endotermní reakce, kdy se při vysoké teplotě (700 °C – 1000 °C; 6 – 8 MPa) za přítomnosti katalyzátoru (Ni, Co/Mg + SiO₂) do vodní páry přivádí methan (hlavní část zemního plynu) [19]. Tato směs methanu a páry reaguje za vzniku vodíku a oxidu uhelnatého (1).

Poté následuje exotermní reakce, kdy při nižší teplotě (400 – 500 °C) v přítomnosti katalyzátorů (Fe₂O₃, Cr₂O₃ apod.) reaguje vzniklý oxid uhelnatý s vodní parou (2).



Separace oxidu uhličitého ze vzniklé směsi (CO₂ + H₂) se provádí vypírkou hydroxidem draselným s přísadkou ethanolaminu s použitím oxidu vanadu jako inhibitoru [20].

Při výrobě vodíku je běžné, že na tunu vodíku vzniká okolo 10 tun oxidu uhličitého [21], což ukazuje, že využívání vodíku jako paliva ještě nevede k vyřešení emisí oxidu uhličitého.

b) Elektrolýza vody

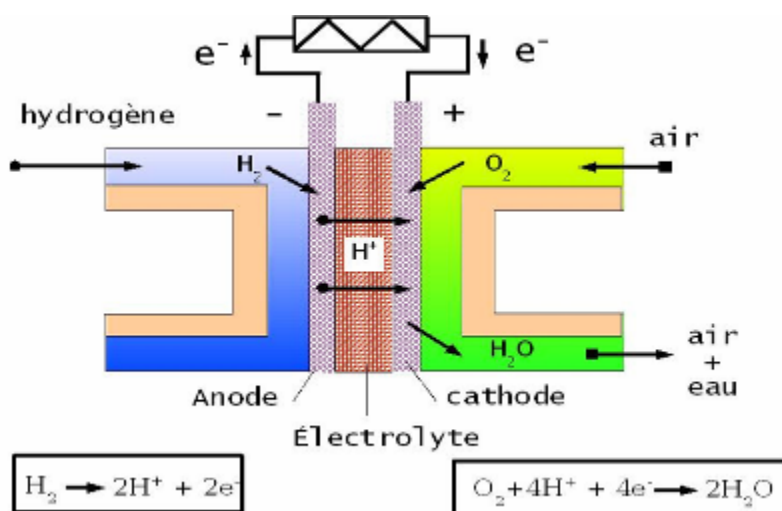
Při elektrolýze dochází k disociaci vody účinkem elektrického stejnosměrného proudu procházejícího dvěma kovovými elektrodami ponořenými do vody (elektrolytu). Výsledkem disociace vody je vznik iontů H⁺ a OH⁻, které jsou přitahovány k opačně nabitým elektrodám. H⁺ (proton) poté reaguje na katodě za vzniku plynu, který je jímán a následně skladován.

Samotný proces elektrolyzy má vysokou účinnost 80-100 %. Spotřeba elektrického proudu je asi 4,3 kWh na 1 m³ vodíku [19]. Potom ale šetrnost použití vodíku jako paliva na životní prostředí závisí na zdroji elektrického proudu. Pokud je elektrický proud vyráběn v tepelných elektrárnách, je sice spalování vodíku šetrné, ale jeho výroba je spojena s významnými emisemi CO₂ a jiných škodlivých látek. Při použití ale elektrické energie vyrobené z obnovitelných zdrojů (využitím solární nebo větrné energie, případně energie vodních zdrojů) můžeme teprve teď mluvit o šetrném palivu, které má být palivem budoucnosti. Ale jelikož tyto energetické zdroje nedisponují dostatečně velkou hustotou energetických toků, je jediným nefosilním a dostatečně masivním energetickým zdrojem jaderná energie [20]. I z tohoto hlediska bych vyzdvihl využívání nukleární energie, ať už z hlediska jejich zásob, relativně šetrnému dopadu na životní prostředí nebo i vývojovému příslibu do budoucnosti.

5.3.2 Palivové články

Palivový článek je zařízení, které při elektrochemické reakci přeměňuje chemickou energii kontinuálně přiváděného paliva s oxidačním činidlem na energii elektrickou a teplo. Hlavní předností palivových článků je vysoká účinnost, s jakou se výhřevnost vodíku využívá k výrobě elektrické energie, a to až 60 % v laboratorních podmínkách. Reálná účinnost dosahuje 40-55 %, dle zatížení a typu palivového článku [22]. Tato vysoká účinnost je dána zejména tím, že přeměna energie je přímá, není zprostředkovávána přes mezistupně (tepelnou a mechanickou energii), jako je tomu např. u spalovacích motorů. Jestliže využijeme uvolněné teplo ke kogeneraci elektrického proudu, může se zvýšit celková účinnost systému až na 85 % [23].

Palivovým článkem obvykle označujeme soubor palivových cel, kde palivovou celou je soubor dvou elektrod a elektrolytu. Elektrody jsou od sebe odděleny elektrolytem (popř. membránou), který propouští kladně nabitě ionty – protony. K anodě je přiváděn vodík, kde na povrchu katalyzátoru dochází k jeho disociaci na protony a elektrony. Protony procházejí skrze elektrolyt, elektrony jsou nuceny procházet vnějším okruhem, a mohou tedy konat užitečnou práci. Na katodě je přiváděn čistý kyslík nebo častěji kyslík ze vzduchu. Produktem této reakce je vznik vody (vzhledem k provozní teplotě palivového článku obvykle v podobě páry) na katodě sloučením dvou kladně nabitých vodíkových iontů, dvou elektronů a atomu kyslíku.



Obr.5.7 Schematické vyjádření dějů v palivovém článku

5.3.2.1 Typy palivových článků

V současné době je vyvíjeno několik typů palivových článků, které se liší především chemickým složením elektrolytu, provozními teplotami a možným palivem. Nízkoteplotní palivové články využívají s kyslíkem vodík nebo methanol a využití těchto zařízení je zejména v mobilních aplikacích k výrobě elektrické energie. Naproti tomu vysokoteplotní články mohou využívat i některá uhlovodíková paliva (methan, oxid uhelnatý) a jsou využívány v kombinované výrobě tepla a elektrické energie v aplikacích stacionárních.

Podle druhu elektrolytu se rozeznávají následující typy palivové články:

- s polymerním elektrolytem; PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)
- s alkalickým elektrolytem; AFC (Alkaline Fuel Cell)
- s kyselinou fosforečnou; PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell)
- s taveninou uhličitanů; MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell)
- s tuhým oxidem; SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)

Hlavní charakteristiky uvedených typů palivových článků jsou uvedeny v tab.5.5.

Tab.5.5 Charakteristiky palivových článků [20]

Typ paliv. článku	Elektrolyt	Provozní teplota (°C)	Účinnost (%)	Využití
PEMFC	Iontoměničový polymer	80	40 - 50	malé teplárny
AFC	KOH (30–85 % hm.)	80 – 200	40 - 50	kosmické
PAFC	H ₃ PO ₄ (100 % hm.)	190	40 - 50	malé teplárny
MCFC	Roztavené soli Li ₂ CO ₃ + K ₂ CO ₃	650	více než 60	teplárny, elektrárny
SOFC	Pevné oxidy (ZrO ₂)	1000	více než 60	teplárny, elektrárny

Vývoj této technologie se nadále zdokonaluje, což má za výsledek vývoj palivového článku pro přímé využití methanolu, který je označován DMFC - *Direct Methanol fuel cell*, který je podobný článkům typu PEM. Velkou výhodou je snadná distribuce paliva, které je v kapalném stavu. Principem tohoto článku je rozklad methanolu na anodě za účinku katalyzátoru na oxid uhličitý a vodík, který je následně spotřebován s kyslíkem v palivovém článku.

Velmi zajímavý výzkum provádí americká vládní agentura NASA, která testuje nový typ palivového článku, označovaného jako *Regenerative fuel cell*, který používá za palivo vodu. Před vstupem do palivového článku je voda rozdělena v elektrolyzáru, který je napájen solární energií, na vodík a kyslík. Následně je vodík a kyslík v palivovém článku spotřebován na elektrinu, teplo a vodu. Vzniklá voda je dopravena zpět do elektrolyzáru a proces může začít znovu [23].

6. ANAEROBNÍ FERMENTACE VLHKÝCH ORGANICKÝCH MATERIÁLŮ

Anaerobní fermentace je proces, kdy za nepřístupu vzduchu dochází při určité teplotě pomocí specifických bakterií k rozkladu organické hmoty za současného vývinu energeticky bohatého bioplynu, který lze velmi efektivně využít. Někdy je tento děj uváděn také pod pojmy anaerobní digesce, biometanizace nebo biogasifikace.

Pro zařízení, kde se zpracovávají organické materiály a odpady procesem anaerobní fermentace, se vžil název *bioplynové* neboli *fermentační stanice*.

Největší rozvoj zaznamenala technologie fermentace především v Německu, Dánsku a Švédsku. V České republice jsou bioplynové stanice již dlouhá léta provozovány na velkých ČOV jako doprovodný proces při čištění odpadních vod. Primární a aktivovaný kal jsou čerpány do vyhnívacích nádrží a vzniklý bioplyn je spalován v teplovodních kotlích nebo nověji v kogeneracích. Stejný anaerobní proces probíhá i v bioplynových stanicích pro anaerobní zpracování jiných organických odpadů. Rozdíl je však v tom, že např. u ČOV je bioplyn většinou pouhým energetickým (v ČR i ekonomickým) přílepkem, naproti tomu bioplynové stanice musí být zcela rentabilní.

Do roku 2004 u nás tento obor zcela stagnoval. Oživení nastalo díky přijetí zákona č. 180/2005 Sb., o odpadech, a zvýšení výkupní ceny za elektřinu vyrobenou z bioplynu. Dnes už nemůže být pochyb o tom, že bioplynové stanice produkující energii z obnovitelných zdrojů mají budoucnost i v našich podmínkách.

Odhady CZ Biom - Českého sdružení pro biomasu ukazují, že pokud se podaří nastavit skutečně vhodné podmínky pro rozvoj oboru, v roce 2010 může celkový instalovaný elektrický výkon v bioplynových stanicích činit 90 MW_{el}. Protože výhodou těchto zařízení je vysoká energetická účinnost s roční dobou využití standardně 8000 hod., předpokládaná výroba elektrické energie by mohla v roce 2010 dosáhnout až 720 GWh [24]. Toto množství by mohlo pokrýt spotřebu elektřiny pro zhruba 130 000 obyvatel (spotřeba elektrické energie na obyvatele v r. 2006 činila 5500 kWh). Proto nastane-li u nás podobný vývoj jako v Německu, mohly by se bioplynové stanice v blízké budoucnosti stát významným zdrojem energie.

Pro samotné zemědělce má technologie bioplynu stále větší význam z mnoha důvodů.

Mezi hlavní důvody využití anaerobní fermentace organických materiálů bych vyzdvihl tyto:

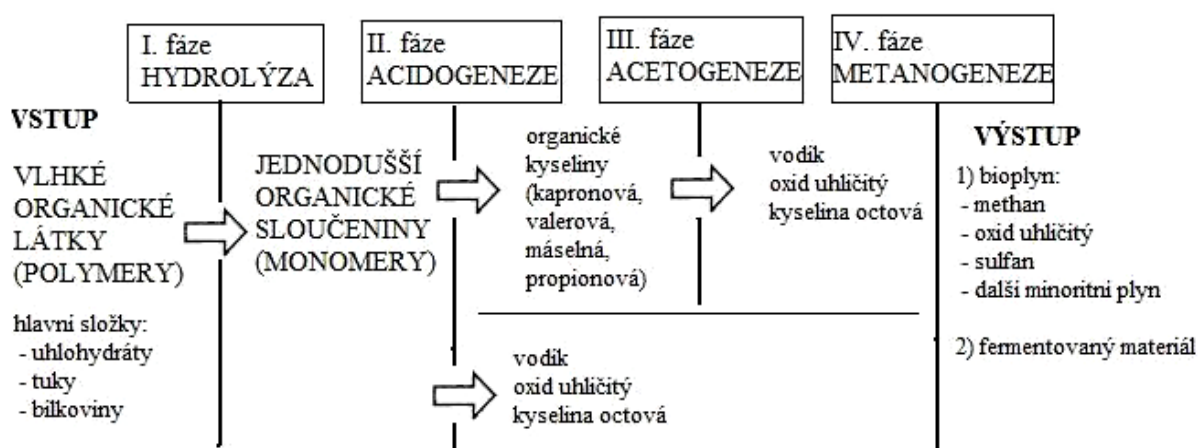
- získání vedlejšího zdroje energie
- produkce kvalitních organických hnojiv
- odstranění negativního vlivu na pracovní a životní prostředí (zápach, únik methanu)

6.1 Vznik bioplynu

Názvem bioplyn je obecně míněna plynná směs methanu a oxidu uhličitého, která v menší míře obsahuje ještě některé další minoritní složky organického či anorganického charakteru. Okruh surovin pro výrobu bioplynu je poměrně široký. Významnou surovinou pro výrobu bioplynu jsou hlavně odpady živočišné výroby s vysokým obsahem organických látek a vysokou produkcí bioplynu, odpadní a cíleně pěstovaná biomasa a biologicky rozložitelný komunální resp. průmyslový odpad.

Anaerobní fermentace je soubor dílčích na sebe navazujících biologických procesů anaerobních mikroorganismů. Rozklad organických látek až na bioplyn vyžaduje jejich koordinovanou metabolickou součinnost, kde produkt jedné skupiny mikroorganismů se stává substrátem skupiny druhé. Tento proces rozkladu má v podstatě čtyři fáze (obr.6.1):

- **hydrolýza** – začíná v době, kdy je ještě v prostředí vzdušný kyslík a dostatečná vlhkost přesahující 50 % hmotnostního podílu. V této fázi anaerobní bakterie přeměňují makromolekulární organické látky pomocí enzymů na jednodušší organické látky (jednoduché cukry, aminokyseliny, mastné kyseliny)
- **acidogeneze** – v této fázi dochází k odstranění zbytků vzdušného kyslíku a vytvoření anaerobního prostředí. Poté acidofilní bakterie zapříčiní další rozklad na organické kyseliny, oxid uhličitý, sulfan a amoniak.
- **acetogeneze** – nyní převádějí octotvorné bakterie vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý.
- **metanogeneze** – teprve nyní methanové bakterie rozkládají hlavně kyselinu octovou na methan a oxid uhličitý, hydrogenotrofní bakterie produkují methan z vodíku a oxidu uhličitého



Obr. 6.1 Schéma anaerobní fermentace

U bioplynových stanic, využívající kontinuální plnění, probíhají tyto fáze vedle sebe a nejsou místně ani časově odděleny.

6.2 Faktory ovlivňující anaerobní fermentaci

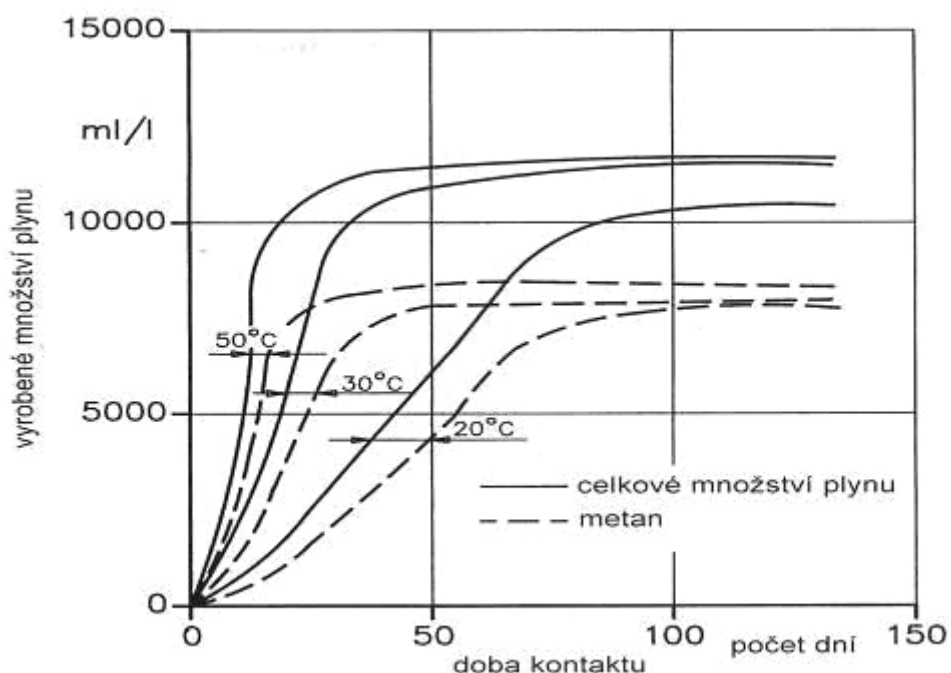
Existuje celá řada faktorů, která přímo nebo nepřímo ovlivňují životní prostředí organismů při anaerobní fermentaci.

1. Teplota

Teplota ovlivňuje tento proces podobně jako ostatní biochemické reakce, s rostoucí teplotou vzrůstá rychlost rozkladu a tím je vyšší produkce plynu, ale protože je kratší doba kontaktu je nižší obsah methanu v bioplynu (obr.6.1) [25].

Z hlediska reakčních teplot rozdělujeme anaerobní procesy, podle optimální teploty pro mikroorganismy na *psychrofilní* (5-30 °C), *mezofilní* (30-40 °C), *termofilní* (45-60 °C) a *extrémně termofilní* (nad 60 °C). Nad teplotou 90 °C methanové bakterie hynou.

Nejběžnější aplikací jsou zatím procesy mezofilní při teplotě cca 38 °C.



Obr. 6.2 Vliv teploty a doby kontaktu na množství a složení vyrobeného bioplynu

2. Vliv pH

Optimální hodnota pH pro většinu methanogenních bakterií leží v oblasti 6,2 – 7,8. Jestliže poklesne pH pod 6, působí toto prostředí inhibičně díky vyšší koncentraci neionizovaných mastných kyselin. Naproti při vzrůstu pH nad 7,8 je proces inhibován vyšší koncentrací neionizovaného NH_3 [26].

3. Inhibitory

Některé látky při vyšších koncentracích způsobí zbrzdění vyhnívacího procesu nebo i úplné zastavení. Jedná se o organické kyseliny, antibiotika, chemoterapeutika a desinfekční prostředky.

6.3 Výroba surového bioplynu

Způsoby výroby bioplynu lze rozdělit na mokré a suché. V prvním případě se bioplyn vyrábí fermentací biomasy za přítomnosti vody ve fermentorech. Druhý způsob představuje produkci bioplynu na skládce tuhých odpadů.

a) Anaerobní fermentace v reaktoru

Tento technologický postup výroby bioplynu je nejrozšířenějším způsobem. Surovina pro fermentaci musí obsahovat dostatečné množství biologicky rozložitelných látek a vodu obvykle v množství 60 % hm., případně i více.

Při řízené fermentaci ve fermentoru je nutné zajistit vhodné podmínky – anaerobní prostředí, složení substrátu a jeho pH (6,2–7,8), fermentační teplota, míchání, živiny. Obsah methanu se pohybuje, podle reagujícího substrátu, v širokém rozmezí 50–85 % obj., proto i výhřevnost bioplynu se pohybuje v rozmezí **17,8 – 25 MJ/m³**.

Pro zabezpečení a udržení těchto podmínek existuje v dnešní době celá řada technologických řešení, jejichž výběr záleží na druhu zpracovávaných odpadů, kvalitě požadovaných výstupů a samozřejmě na ekonomických možnostech.

Základním prvkem bioplynové stanice je reaktor (vyhřívací nádrž), v praxi nejčastěji betonová nebo kovová nádoba s míchacím zařízením a ohřevem suspenze. Denní produkce bioplynu se pohybuje v rozmezí 1 – 3 m³ bioplynu na m³ reaktorového objemu [27].

Tab. 6.1 Měrná produkce bioplynu z některých biodpadů [28]

Surovina	Průměrná sušina (%)	Průměr. org. sušina (OS) (%)	Výtěžnost bioplynu m ³ /t OS	Výtěžnost bioplynu m ³ /a
Kejda	6,5	72,5	510	22
Čistírenský kal	5		700	20-30
Zbytky jídel	23	86	1 000	220
Oleje, tuky	36	84	900	400
Zelená hmota	12	90	720	103
Travní siláž	40	82,5		195
Organický odpad	57,5	50		168
Zbytky zeleniny	12,5	83	750	57
Drůbeží výkaly	19,5	76		332
Jateční odpady	20-30	75-90	780	

b) Produkce bioplynu ve skládce odpadů

Bioplyn může i samovolně vznikat v utěsněných a zhutněných skládkách odpadů, které obsahují biologicky rozložitelné komponenty. Obecně se jedná o stejné procesy jako u reaktorové biometanizace, ale složení skládkových plynů bývá mnohem proměnlivější.

Složení skládkového bioplynu závisí na složení odpadů, vlhkosti a hloubce uložení. Skládkový plyn má obvykle 55 až 60 % obj. methanu.

Intenzita produkce skládkového plynu ale není stálá, kulminuje po jednom roce a poté klesá s dobou skladování. Proto výhodnější podmínky oproti skládce tuhých komunálních odpadů nabízí výroba bioplynu z komunálního a průmyslového odpadu v reaktoru. V reaktorech

probíhá reakce neporovnatelně rychleji a umožňuje podstatně efektivněji využívat vzniklý plyn.

Skládkový plyn, získávaný z odplyňování skládek, který obsahuje vysoké procento methanu, je považován spíše za alternativní palivo než za palivo z obnovitelného zdroje [29]. A to především z toho důvodu, že odplyňování skládek je spíše druhotným opatřením pro snižování emisí skleníkových plynů, než cílená produkce tohoto plynu.

6.4 Chemické složení a úprava surového bioplynu

V chemickém složení bývá často poměrně velký rozdíl mezi reaktorovým a skládkovým bioplynem. Skládkový plyn obsahuje vedle methanu a CO₂ nárůzdíl od plynu reaktorového i podíly vzdušného dusíku a může se v něm nalézat i argon (původem rovněž ze vzduchu) a nezreagovaný kyslík.

Tab. 6.2 Porovnání složení reaktorového a skládkového bioplynu

Složka	Reaktorový bioplyn	Skládkový plyn
Metan	60–65 % obj., výjimečně 58–80 % obj.	50–62 % obj., výjimečně 45–75 % obj.
Kyslík	vždy pod 0,1 % obj.	kvalitní plyn má pod 0,1 % obj., "přečerpaná" skládka 0,5–2 % obj.
Dusík	prakticky žádný (<3 % obj., běžně i <0,2 % obj.)	běžně 3–10 % obj., "přečerpané" skládky až 30 % obj.
Sulfan	nízký (100 mg/m ³) – nízkosírné vsázky, vysoký (4000–5000 mg/m ³) – odpady proteinového typu, extrémně vysoký (až 80g/m ³) –v přítomnosti síranů	ideálně i pod 1 mg H ₂ S/m ³ , běžně 0,5–20 mg/m ³ , mladé části odpadů cca 100 mg/m ³ , vysoký obsah H ₂ S je jen u opadů bohatých síranů
Halogenované uhlovodíky	velmi nízké pokud jimi není surovina kontaminována	běžný komunální odpad 20–50 mg/m ³ , staré zátěže až 5000 mg/ m ³
Křemík (siloxany)	není podstatný rozdíl	
Uhlovodíky a jejich deriváty (nehalogenované)		skladba minoritních složek je ve skládkovém plynu řádově pestřejší, typickou příměsí jsou ftaláty a produkty jejich metabolismu (původem z měkčeného PVC)

Energeticky hodnotný je v bioplynu methan a vodík. I když bioplyn obsahuje vysoké procento methanu, obsahuje i řadu dalších složek, které je třeba z plynu odstranit. Jedná se především o sulfan a vodu, které by způsobily korozi potrubí, případně plynoměru, plynového motoru a jiných spotřebičů.

Vodní pára a část sirovodíku mohou být odstraněny v kondenzační jednotce. V menších bioplynových stanicích je množství sirovodíku v bioplynu snižován díky přidáváním malého množství vzduchu do reaktoru, který způsobí mikrobiální přeměnu sirovodíku na nekorosivní síru. Ve větších BPS se využívá klasický způsob odsiřování pomocí aktivního uhlí.

Pro snižování obsahu vody lze opět použít několik metod. Nejvíce využívaným způsobem je stlačení plynu s následným chlazením a odstraňováním kondenzátu. Tato metoda je relativně jednoduchá, má nízkou spotřebu energie a ve většině případů je dostačující. Při ochlazení bioplynu na 20 °C dojde ke snížení obsahu vody při 100% nasycení na 17,3 g/m³, což odpovídá 2,3 % objemovým [30]. Dalším řešením tohoto problému je využití adsorpčních postupů sušení např. pomocí silikagelu.

6.5 Skladování bioplynu

Velkou výhodou bioplynu oproti jiným nosičům energie je skutečnost, že ho můžeme skladovat, a to bez ztráty, a poté ho podle potřeby využít v době, kdy je potřeba elektřina nebo teplo. Nevýhodou bioplynu je jeho malá hustota energie v poměru k objemu, kdy 1 m³ bioplynu obsahuje stejné množství energie, jako 0,6 až 0,7 l topného oleje [31].

Bioplynové zásobníky lze rozdělit podle typu konstrukce a velikosti na:

nízkotlaké zásobníky – patří mezi nejvíce rozšířený druh zásobníků plynu, zastoupený především ocelovými zásobníky (s vodním uzávěrem).

Vzhledem ale k ekonomické úspoře se v poslední době začínají prosazovat foliové plynoměry (obr.6.3), kde pořizovací náklady jsou mnohem nižší.

sředitlaké a vysokotlaké zásobníky – ocelové zásobníky s tlakem 5 až 20 bar. Jestliže použijeme ke stlačení kompresory, lze při tlaku 10 bar dosáhnout desetinásobku skladovaného množství než u nízkotlakých zásobníků.



Obr. 6.3 Gumotextilní vak pro uskladnění bioplynu

7. ZÁVĚR

Biomasa jako obnovitelný zdroj energie má svojí hlavní roli v energetickém hospodářství, kde se od obnovitelných zdrojů energie očekává významný příspěvek do struktury celkové spotřeby primárních zdrojů (se zdůrazněním nevyčerpatelnosti) a snížené environmentální zátěže. Zatímco v případě energetického využívání slunce a větru hraje významnou roli počasí a nutnost vyráběnou elektřinu okamžitě spotřebovat, což klade zvýšené nároky na regulaci sítě, disponuje bioenergetika snadnou a přirozenou možností akumulace energie skladováním paliva.

Pěstování energetických plodin představuje nový trend, umožňující využít ladem ležící zemědělskou půdu a nabízející nové zemědělské aktivity s využitím stávajících zařízení a technologií, ale také nová pracovní místa. Obecně si myslím, že využívání biomasy a její pěstování by mohla pomoci ekonomicky našemu skomírajícímu zemědělství, ale tím nechci říci, že by naše zemědělství mělo preferovat jen pěstování plodin na výrobu biopaliv, tedy že by mělo nahrazovat svoje obilná pole například šťovíkem, ale využívat opravdu jen půdu, která je nevhodná pro pěstování zemědělských plodin např. obilovin a mohla by být oseta rychlerostucími dřevinami nebo bylinami.

Myslím si, že mohu tvrdit, že biomasa je relativně výhodným palivem, a to především z ekologického a někdy i z ekonomického hlediska. Především ji lze doporučit např. jako náhradu za uhlí pro lokální vytápění tam, kde je k dispozici vhodný zdroj. Její výhřevnost je sice v porovnání s jinými palivy nižší, ale zase jde o obnovitelný zdroj energie, v současnosti již mnohdy levnější (zejména jde-li o dřevní odpad) než jiná paliva, a lze předpokládat, že se tento cenový rozdíl bude postupně zvětšovat. Časem lze snad očekávat relativní pokles ceny biomasy cíleně pěstované pro energetické využití (zejména při pěstování ve velkém množství a zefektivnění produkce). Ale pevně věřím, že tato cesta nepovede k tomu, že lidé na venkově se vrátí ke spalování dřeva místo uhlí, neboť následné spalování v neupravených topeništích by vedlo k nedokonalému spalování a tudíž k produkci dioxinů a různých jiných nebezpečných látek, a využívání biomasy jako ekologického paliva by ztratilo svůj význam. Proto bych osobně viděl budoucnost využívání dřevěné biomasy ve spalování pelet a briket, což by vedlo k tíženému ekologickému využívání dendromasy. V tomto ohledu se možná už probudilo i ministerstvo a z okolních států si vzalo příklad, a chce zavést příspěvky domácnostem na pořízení topenišť pro spalování briket nebo pelet, a snížit 19% DPH na 5% u biopaliv. Jestli se tyto sliby ale stanou skutečností a hlavně kdy, se teprve ukáže.

Využívání obnovitelných zdrojů energie je prioritou energetické koncepce EU, kde panuje oprávněná obava z rostoucí závislosti na dovozu energetických surovin. Ze stejného důvodu nebude budoucí vývoj energetické situace v České republice jistě jednoduchý. Již dnes zde existuje téměř naprostá závislost na dovozu ropy, zemního plynu a jaderného paliva, jediným domácím palivem je uhlí a pouze omezené množství nabízí obnovitelné zdroje. Přestože biomasa nemůže nikdy nahradit klasické zdroje energie, je v silách ČR pokryt tímto zdrojem 15 – 20 % spotřeby všech paliv a energií. Jak dlouho bude trvat než docílíme tohoto předpokladu záleží na mnoha faktorech, jako ekonomická situace státu a správné nasměrování naší legislativy, ale především vývoj v patřičné technologii. Rozhodně energetické využívání biomasy je dobrou cestou, jak napomáhat zajišťovat dostatek elektrické energie stále se zvětšujícího poptávce ve světě.

Nakonec bych vyjádřil svůj názor, že si myslím, že EU ale dělá v tomhle směru až moc velké divadlo a její neustále nátlaky a preferování využívání biomasy, přeorientovávají nyní zemědělství, které mělo celou svou historii hlavní funkci produkování potravin, na pěstování právě biomasy k energetickému využití a zanechávají produkce svých obvyklých plodin jen kvůli ekonomickému zbohatnutí. Důkazem může být u nás osud cukrovarů, které se přeměnily na lihovary a produkují biolih, abychom mohli jezdit ekologičtěji, zatímco na druhé polovině zeměkoule lidé umírají hladem. Proto bych raději viděl, kdyby se EU, Amerika a Rusko v této chvíli snažily spíše dotovat své zemědělství v potravinářském odvětví, aby napomohly státům, které trpí hladomorem, a energetické hospodaření v zemědělství odsunuly až „na druhou kolej“.

8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Co jsou klimatické změny?* [online]. poslední revize 09.11.2001 [cit.2008-02-05]. Dostupné z: <<http://www.ekolist.cz/kl-procklzm.htm>>.
- [2] *Udržitelné využívání energie* [online]. 2007, poslední revize 22.2.2007 [cit. 2008-02-10]. Dostupné z: <http://www.reccr.cz/download/kyoto/01_udrzitelna_E.pdf>.
- [3] Zákon č. 180/2005 Sb.
- [4] Skoblia S., Tenkrát D., Vosecký M., et al.: Využití biomasy jako obnovitelného zdroje energie. *Chem. Listy* **100** (13) 21 (2006). ISSN 0009-2770
- [5] Vtesaný S.: *Výroba, spotřeba a ceny energetických zdrojů* [online]. poslední revize 08.4.2008 [cit. 2008-02-10]. Dostupné z: <<http://www2.czso.cz/csu/csu.nsf/informace/cka070809.doc>>.
- [6] Jiříček I., Rábl V.: *Energie z biomasy* [online]. 2005, s. 23, poslední revize 25.4.2005 [cit. 2008-02-12]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/ktt/zdrene/5.0_Energie_z_biomasy.pdf>
- [7] Pastorek Z.: *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*, Praha: FCC Public,2004. Kapitola 2.8, s. 21-22 ISBN 80-86534-06-5
- [8] *Spalování* [online]. poslední revize 20.12.2007 [cit. 2008-02-22]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Spalov%C3%A1n%C3%AD>>.
- [9] Pastorek Z.: *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*, Praha: FCC Public,2004. s. 65,86-87. ISBN 80-86534-06-5
- [10] Andert D., Kára J., Schulz V.: *Spalování biomasy - vliv přidávání uhlí*. *Biom.cz* [online]. 1999, poslední revize 12.7.2003 [cit. 2008-02-22]. Dostupné z: <<http://stary.biom.cz/sborniky/99kara/09.html>>
- [11] Plazma bude zplyňovat biomasu. *Odpady* [online]. **16** (12) (2006). [cit. 2008-02-22]. Dostupné z <<http://odpady.ihned.cz/>>. ISSN 1210-4922 MK ČR 6330
- [12] *Výroba energie z biomasy* [online]. poslední revize 06.09.2007 [cit.2008-02-25]. Dostupné z: <<http://www.alternativni-zdroje.cz/vyroba-energie-biomasa.htm>>.
- [13] *Energie biomasy* [online]. poslední revize 23.02.2008 [cit.2008-02-25]. Dostupné z: <<http://www.ekowatt.cz/index.php?id=121>>.
- [14] Sladký V.: *Dřevní peletky - standardní fytopalivo budoucnosti*. *Biom.cz* [online]. 2001, poslední revize 26.02.2008 [cit.2008-02-27]. Dostupné z: <<http://biom.cz/index.shtml?x=52524>>. ISSN: 1801-2655.

- [15] Váňa J.: *Spalování biomasy a tvorba PCDD/F*. *Biom.cz* [online]. 2002, poslední revize 28.02.2008 [cit.2008-02-28]. Dostupné z: <<http://biom.cz/index.shtml?x=71291>>. ISSN: 1801-2655.
- [16] *Informace o použití motorových paliv s obsahem biopaliv (část druhá)* [online]. 2007, poslední revize 16.07.2007 [cit.2008-03-02]. Dostupné z: <<http://www.cappo.cz/>>.
- [17] Diviš J.: Biopaliva poněkud odlišný pohled. *Technický Týdeník* [online]. (25) (2006) [cit. 2008-03-03]. Dostupné z: <<http://www.techtydenik.cz/detail.php?action=show&id=1754&mark=>>>.
- [18] Línková E.: *Biolíh pomůže regionům* [online]. 2005, poslední revize 03.03.2008 [cit.2008-03-03]. Dostupné z: <<http://www.agronavigator.cz/default.asp?ids=138&ch=1&typ=1&val=38049>>.
- [19] Jiříček I., Rábl V.: *Vodík* [online]. 2005, poslední revize 25.04.2005 [cit.2008-03-15]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/ktt/zdrene/11.0_Vod%EDk.pdf>.
- [20] Kadrnožka J.: *Energie a globální oteplování*, VUTIUM, 2006. s.147-149 ISBN-80-214-2919-4
- [21] Horák J.: Může použití vodíku jako motorového paliva vyřešit problém skleníkového efektu oxidu uhličitého?. *Chem. Listy* **101** (10) 767 (2007). ISSN 0009-2770
- [22] Janík L., Dlouhý P.: Jak se vyrábí palivo budoucnosti. Vodík pro auta i elektroniku. *Deník Technet* [online]. (1) (2008). [cit. 2008-03-15]. Dostupný z: <http://technet.idnes.cz/jak-se-vyrabi-palivo-budoucnosti-vodik-pro-auta-i-elektroniku-p6d/tec_technika.asp?c=A080127_234744_tec_technika_vse>.
- [23] *The online fuel cell information ressource* [online]. poslední revize 25.03.2008 [cit.2008-03-29]. Dostupné z: <<http://www.fuelcells.org>>.
- [24] Tisková zpráva asociace CZ Biom [online]. Dostupné z: <<http://www.czbiom.cz/tiskove/biopllyn-elektrina-pro-tisice-domacnosti/>>.
- [25] Schulz H.: *Biopllyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení – příklady*, 1. české vyd. Ostrava: HEL,2004. s. 18 - 20 ISBN 80-86167-21-6
- [26] Dohányos M.: *Anaerobní technologie v ochraně životního prostředí*, Praha Ministerstvo životního prostředí ČR,1996. 30 s. ISBN 80-85368-90-0
- [27] Kajan M., Kozák J.: Perspektivy bioplynových stanic v ČR, *Technik* [online]. 2003, č. 1 [cit. 2008-03-22]. Dostupné z <http://technik.ihned.cz/2-12139380-800000_d-33>.
- [28] Dvořáček T., Rosenberg T.: Fermentační stanice jako regionální centrum nakládání s bioodpady. *Odpady* [online]. **14** (11) (2004) [cit. 2008-03-22]. Dostupné z <<http://odpady.ihned.cz/>>. ISSN 1210-4922 MK ČR 6330

- [29] Tenkrát D., Prokeš O.: Plyná paliva z alternativních zdrojů a možnosti jejich přepravy a distribuce ve stávající plynovodní síti. *Chem. Listy* **100** (13) 16 - 19 (2006).
ISSN 0009-2770
- [30] *Bioplyn* [online]. poslední revize 26.03.2008 [cit. 2008-03-27]. Dostupné z:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Su%C5%A1en%C3%AD_bioplynu>.
- [31] Michal P.: *Bioplyn – energie ze zemědělství* [online]. 2006, poslední revize 08.02.2006
[cit.2008-04-03]. Dostupné z:
<http://www.agronavigator.cz/attachments/Studie_bioplyn.pdf>.

9. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

OZE	obnovitelné zdroje energie
PAH	polyaromatické uhlovodíky
HFC	fluorované uhlovodíky
PFC	polyfluorované uhlovodíky
PCB	polychlorované bifenyly
PCDD/F	polychlorované dibenzodioxiny/furany
PCPh	polychlorované fenoly
ETBE	ethyl- <i>terc</i> -butylether
MTBE	methyl- <i>terc</i> -butylether
MEŘO	methylester řepkového oleje
FAME	methylester mastných kyselin (z anglického fatty acid methyl ester)

10. PŘÍLOHY

Tabulka 1: Výkupní ceny a zelené bonusy pro výrobu elektřiny z biomasy pro rok 2008

Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O1 v nových lokalitách po 1.1.2008 včetně	4210	2930
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O2 v nových lokalitách po 1.1.2008 včetně	3270	1990
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O3 v nových lokalitách po 1.1.2008 včetně	2520	1240
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O1 před 1.1.2008	3540	2260
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O2 před 1.1.2008	2940	1660
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O3 před 1.1.2008	2430	1150
Výroba elektřiny společným spalováním palivových směsí biomasy kategorie S1 a fosilních paliv	-	1390
Výroba elektřiny společným spalováním palivových směsí biomasy kategorie S2 a fosilních paliv	-	790
Výroba elektřiny společným spalováním palivových směsí biomasy kategorie S3 a fosilních paliv	-	240
Výroba elektřiny paralelním spalováním biomasy kategorie P1 a fosilních paliv	-	1650
Výroba elektřiny paralelním spalováním biomasy kategorie P2 a fosilních paliv	-	1050
Výroba elektřiny paralelním spalováním biomasy kategorie P3 a fosilních paliv	-	500

Zařazení jednotlivých druhů biomasy do kategorií O1 – O3 pro účely spalování čisté biomasy, kategorií S1 – S3 pro účely společného spalování palivových směsí biomasy a fosilních paliv a kategorií P1 – P3 pro účely paralelního spalování biomasy a fosilních paliv

Tabulka 2: Indikativní cíle v Evropě v % [zdroj Eurostat]

	1994	2004	2010		1994	2004	2010
EU (25 countries)	13,2	13,7	21,0	Malta	0,0	0,0	5,0
EU (15 countries)	14,2	14,7	22,0	Netherlands	1,9	5,7	9,0
Belgium	1,1	2,1	6,0	Austria	70,1	58,8	78,1
Czech Republic	3,0	4,0	8,0	Poland	1,6	2,1	7,5
Denmark	5,6	27,0	29,0	Portugal	36,1	24,4	39,0
Germany	4,3	9,7	12,5	Slovenia	31,8	29,1	33,6
Estonia	0,0	0,6	5,1	Slovakia	17,0	14,3	31,0
Greece	6,4	9,5	20,1	Finland	24,8	28,3	31,5
Spain	17,7	18,2	29,4	Sweden	42,7	46,1	60,0
France	19,7	12,9	21,0	United Kingdom	2,1	3,7	10,0
Ireland	5,5	5,1	13,2	Bulgaria	2,2	8,9	-
Italy	18,0	15,9	25,0	Croatia	41,7	41,0	-
Cyprus	0,0	0,0	6,0	Romania	23,4	29,9	-
Latvia	52,8	47,1	49,3	Turkey	39,5	30,9	-
Lithuania	4,1	3,5	7,0	Iceland	99,9	100,0	-
Luxembourg	3,0	3,3	5,7	Norway	99,5 (p)	89,8	-
Hungary	0,5	2,3	3,6				

Tabulka 3: Hrubá výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů energie v roce 2007

	Hrubá výroba elektřiny v roce 2006	Hrubá výroba elektřiny v roce 2007	Meziroční změna 2006/2007	Podíl na hrubé výrobě elektřiny v roce 2007	Podíl na hrubé tuzemské spotřebě elektřiny v roce 2007
	GWh	GWh	%	%	%
Vodní elektrárny	2 550,7	2 092,2	-18 %	2,4 %	2,9 %
Biomasa celkem	731,1	970,0	33 %	1,1 %	1,3 %
Bioplyn	175,8	210,0	19 %	0,2 %	0,3 %
Větrné elektrárny	49,4	125,1	153 %	0,1 %	0,2 %
Tuhé komunální odpady (BRO)	11,3	12,0	6 %	0,0 %	0,0 %
Fotovoltaické systémy	0,5	2,2	307 %	0,0 %	0,0 %
Kapalná biopaliva	0,0	0,0	-60 %	0,0 %	0,0 %
Celkem OZE	3 518,8	3 411,5	-3 %	3,9 %	4,7 %

Zdroj: Ministerstvo průmyslu a obchodu, Energetický regulační úřad