

Biomasa

Obsah.....	1
Seznam pojmů a značek.....	1
9.1 Úvod.....	2
9.1.1 Materiál a metody	2
9.1.2 Energie spotřebovaná	2
9.1.2.1 Energie na pěstování a sklizeň	3
9.1.2.2 Energie na skladování a manipulaci	3
9.1.2.3 Energie na výrobu biopaliv	3
9.1.3 Energie získaná	3
9.1.4 Výsledky srovnávání.....	4
9.2. Biomasa	5
9.2.1 Druhy biomasy	6
9.2.2 Biomasa rostlinného původu	7
9.2.3 Biomasa živočišného původu	10
9.2.4 Palivo z komunálních odpadů	11
9.3 Zpracování biomasy	11
9.3.1 Spalování	12
9.3.2 Zplyňování a pyrolýza	14
9.3.3 Anaerobní fermentace	16
9.3.4 Esterifikace bioolejů	20
9.4 Otázky ke kapitole	21
9.5 Použitá literatura	22

Seznam pojmů a zkratk

acidogeneze -acidogeneze navazuje na hydrolýzu, účastní se jí fakultativně anaerobní a obligátně anaerobní kyselinotvorné bakterie a jsou v ní dále rozkládány meziprodukty hydrolýzy, na nižší mastné kyseliny, oxid uhličitý a vodík. Dále dochází ke vzniku alkoholů a kyseliny mléčné (Handreichung 2006). Bakterie podílející se na acidogenezi jsou charakterizovány značnou tolerancí k nízkým hodnotám pH.

acetogeneze - v této fázi vzniká kyselina octová, elementární vodík a oxid uhličitý. Bakterie podílející se na acetogenezi musí být v symbióze s metanogenními bakteriemi odebírající vodík z prostředí. K tomu aby mohla efektivně probíhat acetogeneze, je nutný nízký parciální tlak vodíku, v prostředí, nejlépe $<10^{-4}$ atm.

anaerobní fermentace - je samovolný, přírodní proces, během něhož jsou rozkládány organické látky za nepřístupu vzduchu, je tvořena 4 základními fázemi

- bioplyn-** bioplyn je směsný plyn, jehož majoritními složkami jsou CH_4 a CO_2 , dále je v něm minoritní obsah N_2 , H_2S , O_2 , H_2 a vodní páry. Podíl zastoupení jednotlivých složek v bioplynu je odvislý od složení vstupního materiálu.
- dendromasa** – dřevní odpad
- fermentace** – proces při kterém dochází k přeměně látky pomocí enzymů mikroorganismů- kvašení
- hydrolýza** – rozkladná reakce působením vody
- Metan** - CH_4 metan je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu. Výhřevnost metanu je 36 MJ/m^3 . Obsah metanu v bioplynu je odvislý od složení vstupních materiálů.
- Oxid uhličitý**- CO_2 je ve vodě rozpustný plyn, podílí se na pufračním systému fermentačního procesu.

9.1. Úvod

Evropská směrnice 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů (OZE) ukládá ČR do roku 2020 zvýšit podíl těchto zdrojů na celkové energetické spotřebě na 13 %, čili přibližně na dvojnásobek současného stavu. Nejvýznamnější podíl má mít podle současných prognóz biomasa pro přímé spalování, počítá se s ní však i pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla. Menší podíl pak připadá na kapalná biopaliva a bioplyn z cíleně pěstované biomasy. Odhad energetického potenciálu biomasy je ovlivněn celou řadou faktorů, proto se jednotlivé studie poměrně výrazně liší. Příklad několika odhadů potenciálu biomasy pro rok 2020 je uveden v následující tabulce 9.1. Hlavní výhodou biomasy v porovnání s ostatními druhy OZE je snadná akumulace a regulovatelnost výkonu podle skutečné potřeby. Rovněž technologie pěstování a sklizně energetických plodin jsou dobře zvládnuty. Nevýhodou biomasy pro energetické účely jsou naopak v současnosti často vyšší náklady než na fosilní paliva. Nabízí se tedy otázka, nakolik je biomasa výhodná z energetického hlediska – tedy z poměru vložené a získané energie a jak si stojí jednotlivé typy biopaliv ve vzájemném porovnání.

9.1.1 Materiál a metody

Tato práce je zaměřena na ekonomiku biopaliv a energetickou efektivnost tří nejobvyklejších způsobů výroby biopaliv z biomasy. Jedná se o produkci pevných tvarovaných biopaliv (pelet, briket), bioplynu a kapalných biopaliv (MEŘO, bioetanol). U vybraných druhů cíleně pěstované biomasy byly stanoveny výrobní náklady na měrnou jednotku paliva a energetická efektivnost těchto paliv – tedy poměr získané energie (obsažené v palivu) ku vložené energii, tj. energii spotřebované při výrobě paliva.

9.1.2 Energie spotřebovaná

Do spotřebované energie je zahrnuta jen přímo spotřebovaná energie na jednotlivé části technologického procesu (tj. není uvažována energie „minulá“, spotřebovaná např. na materiálové vstupy, na výrobu mechanizačních prostředků, na pracovní sílu apod.). Spotřebovaná energie se dělí na 3 hlavní části:

- energie na pěstování a sklizeň
- energie na skladování a manipulace
- energie na výrobu biopaliv

9.1.2.1 . Energie na pěstování a sklizeň

Zahrnuje spotřebu energie na všechny pracovní operace od přípravy půdy, přes založení porostu, jeho ošetřování během vegetace, sklizeň a odvoz produktu z pole do střediska zemědělského podniku. Vychází z normativů technologických postupů pěstování plodin a technického zajištění operací. Technologie, spotřeba energie a ekonomika pěstování a sklizně produkce se zpracovává s využitím modelovacího databázového programu AGROTEKIS.

9.1.2.2 . Energie na skladování a manipulace

Zahrnuje spotřebu energie na soubor operací související s posklizňovým zpracováním, uložením, skladováním a vyskladňováním produkce. Jedná se o odborný odhad na základě měření posklizňových a skladovacích linek. Vychází z normativů získaných při řešení výzkumných projektů z této oblasti. Energie na dopravu vstupních surovin z místa uskladnění do místa zpracování je výrazně ovlivněna kapacitou zpracovatelské linky. Se zvyšující se kapacitou narůstají dopravní vzdálenosti a tedy energie spotřebovaná na dopravu a klesá energetická efektivnost biopaliva. U malých linek instalovaných přímo u producentů energetických plodin (např. malá zemědělská BPS) nejsou žádné další energetické vstupy do dopravy vstupních surovin nad rámec energie na skladování a manipulaci. Vzhledem k nestálosti této hodnoty nebyla energie na dopravu surovin zahrnuta do kalkulace. *BPS – bioplynová stanice*

9.1.2.3. Energie na výrobu biopaliv

Zahrnuje spotřebu energie na transformaci biomasy na konkrétní druh biopaliva. Údaje jsou získány z podkladů firem zabývajících se výrobou těchto paliv a rovněž jsou zahrnuty výsledky vlastních měření při výrobě biopaliv v rámci výzkumných projektů.

9.1.3 Energie získaná

Výpočet energie obsažené v palivu se liší u jednotlivých druhů biopaliv. Pro pevná tvarovaná biopaliva je stanovena na základě průměrného výnosu (uvažuje se výnos suché hmoty o vlhkosti 15 %) a výhřevnosti biomasy. Výhřevnost jednotlivých druhů biomasy je stanovena na základě dostupných informačních zdrojů a korigována podle výsledků vlastních měření. U vybraných plodin se pohybuje od 14,4 do 16,5 GJ.t⁻¹. U bioplynu je výpočet získané energie opět odvislý od průměrného výnosu sledovaných plodin a měrné produkce bioplynu z nich. Obsah sušiny je u kukuřice počítán 30 % a u čiroku 25 %. Údaje o měrné produkci bioplynu byly získány na základě vlastních laboratorních pokusů a z dostupných zdrojů v odborné literatuře. Obsah metanu v bioplynu je pro výpočty stanoven na 60 %.

Velikost bioplynové stanice odpovídá instalovanému elektrickému výkonu kogenerační jednotky 500 kW_{el}. Energie obsažená v kapalných biopalivech je rovněž kalkulována s ohledem na hektarové výnosy, bilanci měrné spotřeby sledovaných plodin na jednotku vyrobených biopaliv a jejich energetickou hodnotu. U kapalných biopaliv je do celkového obsahu energie zahrnuta i energie obsažená v pšeničné, resp. řepné slámě. Bilance vychází z dlouhodobých výsledků řešení výzkumných projektů a záměrů VÚZT, a je v souladu s platnými technickými normami a normativy pro kapalná i tuhá biopaliva, především s ohledem na hustoty biopaliv, výhřevnosti biopaliv a vedlejších produktů konverze.

Druh biomasy	Výhřevnost [MJ/kg(m ³)]	Současný stav (2006)		MPO		MŽP				AEBIOM	
				Potenciál 2020		Potenciál 2020 - studie		Upravený potenciál 2020		Potenciál 2020	
		[tisíc tun]	[PJ]	[tisíc tun]	[PJ]	[tisíc tun(m ³)]	[PJ]	[tisíc tun(m ³)]	[PJ]	[tisíc tun(m ³)]	[PJ]
Zbytková biomasa							41,6		28,4		33,5
Lesní biomasa	12	1 132	10,6	1 132	10,6	2 042	24,5	1 392	16,7	1 542	18,5
Bioplyn	22					773	17,0	530	11,7	682	15,0
Rostlinná biomasa						2 700	37,8	1 380	19,3	1 786	25,0
Sláma olejnin	14	84	1,2	100	1,4	1 200	16,8	630	8,8	714	10,0
Sláma obilnin	14					1 500	21,0	750	10,5	1 071	15,0
Celulózové výtuky	8	1 068	8,5	1 068	8,5	1 068	8,5	1 068	8,5	1 813	14,5
Zemědělská biomasa účelově pěstovaná							67,0		62,8		64,4
Energeticky využitelná	18	14	0,2	3 000	51,0	3 000	54,0	3 000	54,0	3 022	54,4
Bioplyn	22					590	13,0	400	8,8	455	10,0
Palivové dřevo	12	3 141	28,3	3 141	28,3	4 680	56,2	4 317	51,8	4 250	51,0
Celkem		5 439	48,8	8 441	99,8		211,0		170,8		188,4

Tab. 9.1 Potenciál biomasy k energetickému využití (zdroj: MŽP podle Vlk, 2009)

Autor: Oldřich Mužik

9.1.4 Výsledky srovnání

Ekonomika výroby a energetická efektivnost biopaliv byla spočítána pro 9 vybraných druhů biomasy. Pro výrobu pevných tvarovaných biopaliv bylo posouzeno 5 druhů energetických plodin, pro produkci bioplynu 2 a pro produkci kapalných biopaliv rovněž 2 plodiny. Výsledky jsou souhrnně uvedeny v tabulce 9.2 Jak je patrné z tabulky 9.2., nejvyšší energetickou efektivnost vykazují podle očekávání pevná tvarovaná biopaliva. Nejlepšího výsledku bylo dosaženo u ozdobnice čínské díky vysokému výnosu suché hmoty z hektaru a nižším energetickým nárokům plodiny na pěstování a sklizeň. Velmi dobrých výsledků však bylo dosaženo u všech posuzovaných plodin. Horších výsledků bylo dosaženo u ušlechtlejších plyných a kapalných biopaliv. Obě sledované plodiny pro produkci bioplynu – čirok i kukuřice – dosáhly téměř stejných hodnot. Nepatrně lepšího výsledku bylo dosaženo u čiroku, u kterého však vychází horší ekonomika v porovnání s kukuřicí. Velké rozdíly pak vykazují bionafta (MEŘO) a bioetanol, a to zejména kvůli řádově vyšším energetickým vstupům na výrobu biopaliva. MEŘO tak dosahuje výsledku srovnatelného s energeticky méně efektivními pevnými biopalivy, kdežto bioetanol dosáhl vůbec nejhoršího výsledku. Ekonomické ukazatele i energetickou efektivnost biopaliv může výrazně ovlivnit kapacita zpracovatelské linky. Vyšší zpracovatelská kapacita producenta biopaliv je může být prospěšná pro ekonomiku podniku, ale energetická efektivnost biopaliv se snižuje. Se zvyšující se kapacitou narůstají totiž dopravní vzdálenosti a tedy energie spotřebovaná na dopravu vstupních surovin. V této studii není energie na dopravu vstupních surovin zahrnuta, protože je právě závislá na kapacitě zpracovatele. Např. u bioplynových stanic je odhad, že energetická efektivnost BPS s kapacitou 100 kWel je o třetinu vyšší než u BPS o instalovaném elektrickém výkonu 2000 kWel, nicméně nejlepších ekonomických výsledků dosahují BPS s výkonem kolem 1000 kWel. Obdobné výsledky lze očekávat i u kapalných biopaliv, kde je třeba ještě počítat s energií na distribuci paliva ke konečným uživatelům.

Operace	Jednotka	Sřovík larmný	Konopi seté	Ozdobnice čínská	Chrastice rákosovitá	Triticale energetické	Círoka na siláž	Kukuřice na siláž	Pšenice ozimá	Repka ozimá	
Náklady variabilní	Kč/ha	8086	21253	23532	6390	18328	16117	25622	19187	24503	
Náklady fixní	Kč/ha	3500	3500	3500	3500	3500	3500	4000	3500	4000	
Výnos - hlavního produktu	t/ha	9,0	12,0	12,0	9,0	10,5	50,0	45,0	6,0	3,2	
Výnos - vedlejšího produktu	t/ha	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	6,0	
Cena (CZV)	Kč/t	1287	2063	2253	1099	2079	392	658			
Vstupy energie - stroje (pěstování + sklizeň)	l/ha	29,3	71,6	21,2	21,8	67,7	52,4	86,8	69,5	76,8	
Vstupy energie - stroje (pěstování + sklizeň)	MJ/ha	1034	2526	748	769	2388	1849	3062	2452	2710	
Vstupy energie - skladování + manipulace	MJ/ha	90	120	120	90	231	1585	1427	432	293	
Vstupy energie - zpracování	MJ/ha	2916	3888	3888	2916	3402	19460	22350	22000	2300	
Vstupy energie celkem	MJ/ha	4040	6534	4756	3775	6021	22894	26839	24884	5303	
Druh biopaliva (energetického produktu)		Brikety	Brikety	Brikety	Brikety	Brikety	Bioplyn	Bioplyn	Bioetanol	MERO	
Měrná jedn. biopaliva	mjbp	t					m ³		l		
Množství biopaliva	mjbp/ha	8,7	11,6	11,6	8,7	10,2	6271	7200	2362	1257	
Celkový obsah energie – hlavní výrobek	GJ/ha	134,4	175,8	192,1	125,7	161,3	134,7	154,7	48,4	43,1	
Celkový obsah energie – vedlejší výrobek	GJ/ha								72,0	87,0	
Celkový obsah energie	GJ/ha	134,4	175,8	192,1	125,7	161,3	134,7	154,7	120,4	130,1	
Náklad na zpracování	Kč/mjbp	850	850	850	850	850	3,3	3,3	7,0	4,9	
Cena paliva na trhu	Kč/mjbp	3500	3500	3500	3500	3500	-	-	19,6	20,2	
Vstupy energie celkem	MJ/mjbp	462,7	561,3	408,6	432,4	591,2	3,7	3,7	10,5	4,2	
Obsah energie na výstupu	MJ/mjbp	15400	15100	16500	14400	15840	21,5	21,5	20,5	34,3	
Energetická efektivnost		33,3	26,9	40,4	33,3	26,8	5,9	5,8	4,8	24,5	

Tab.9. 2: Ekonomika a energetická efektivnost vybraných energetických plodin

9.2 Biomasa

Biomasa neodmyslitelně patří mezi obnovitelné zdroje energie. Biomasu můžeme popsat jako přeměněnou sluneční energii, zachycenou rostlinami a uloženou ve formě chemické energie. Dalo by se říci, že v případě hospodárného využívání půdy bude biomasa k dispozici neustále. Její velkou předností je její minimální vliv na množství CO₂ v ovzduší při jejím spalování.

Pro dobrou využitelnost biomasy je nutné dodržet určité technologické postupy při jejím zpracování. Jedním z faktorů, který ovlivňuje kvalitu biomasy, je obsah vody, která má přímý vliv na výhřevnost. Čerstvá biomasa má velký obsah vody a ta má velké výparné teplo. Před spalováním je proto třeba biomasu vysušit. Všeobecně se doporučuje snížit vlhkost pod 30 % a za optimální se považuje vlhkost do 20 %. Pro účely lisování briket nebo pelet je třeba surovinu vysušit na ještě nižší obsah vody.

Biomasu používáme k topení nejčastěji ve formě kusového dřeva. Dřevo je poměrně dostupné a levné, nicméně topidla na spalování kusového dřeva jsou poměrně náročná na obsluhu a obtížně se reguluje jejich výkon. Jednou z možností řešení tohoto nedostatku je

využití akumulčních nádrží, které přebytečné teplo uloží na pozdější dobu a umožní tak kotli pracovat celou dobu v optimálním režimu.

Velmi častou formou biomasy, kterou využíváme, jsou pelety. Pelety se vyrábějí lisováním, mají však tak malé rozměry, že s nimi lze zacházet do jisté míry jako s kapalným palivem. Zásadní výhodou pelet je to, že hořák na pelety může být poměrně malý a pelety mohou být dávkovány do hořáku podle potřeby tepla. V důsledku toho je možné dělat topidla s výkonem zhruba od 2kW a tento výkon se dá podle požadavků termostatu rychle měnit. Pelety mají také malý obsah vody a popela a tedy dobrou výhřevnost. Automatická topidla na pelety se svým komfortem obsluhy přibližují topidlům na plyn nebo topný olej, cena paliva je ale o něco nižší.

Specifické postavení v oblasti biomasy má štěpka. Dřevní štěpka se vyrábí především z odpadu při těžbě dřeva nebo prořezávání stromů kolem cest a v parcích (zbytky větví, kůry a podobně). Dalším zdrojem štěpky mohou být „energetické plantáže“ tj. porosty rychle rostoucích dřevin. Vzhledem k tomu, že se surovina pro výrobu téměř vždy zpracovává čerstvá, je vlhkost štěpky poměrně vysoká. Cena štěpky je oproti peletám podstatně nižší a tak se mnohdy vyplácí spalovat štěpku ve vlhkém stavu s nižším ziskem tepla, než ji sušit. Z hlediska konstrukce je spalovací zařízení na štěpku větší, složitější a dražší než zařízení pro spalování pelet. Štěpka se proto téměř výlučně spaluje ve větších zařízeních (obecní vytápny, elektrárny). [14]

Limity určující využití biomasy pro energetické účely můžeme shrnout do několika následujících bodů: [15]

- produkce biomasy pro energetické účely konkuruje dalším způsobům využití biomasy,
- zvyšování produkce biomasy vyžaduje rozšiřovat produkční plochy nebo zvyšovat intenzitu výroby, což přináší zvýšené investice,
- získávání energie z biomasy v současných podmínkách s obtížemi ekonomicky konkuruje využití klasických energetických zdrojů,
- maximální využití zdrojů biomasy k energetickým účelům je z celosvětového hlediska problematické vzhledem k rozmístění zdrojů biomasy a spotřebičů energie, vzhledem k potížím s akumulací, transportem a distribucí získané energie.

Biomasa je materiál biologického původu nefosilního charakteru, který pochází zpravidla z pěstování rostlin, chovu živočichů, produkce organického původu, a jiné organické odpady. [1][2]

Základním principem získávání biomasy je zachycování slunečního záření a jeho využití k endotermické reakci, která se nazývá fotosyntéza. Vzniklý jednoduchý cukr se pak v dalších nesčetných reakcích mění na složitější cukry, škroby a další látky, které se v tělech živočichů mění na další chemické sloučeniny.



Využití biomasy jakožto obnovitelného zdroje má z hlediska energetiky veliký význam. Nespornými přednostmi jsou především vysoký energetický potenciál a centralizovaná výroba energie. Možnost produkce biomasy v lokálních podmínkách snižuje

energetickou závislost na zdrojích z dovozu. Nezanedbatelnou výhodou je i zpracování a likvidace odpadů, které mohou být v nezpracované podobě toxické. Největší výhodou jsou široké možnosti řízení výroby energie v časovém měřítku, na rozdíl od ostatních obnovitelných zdrojů, které buď neumožňují řízení výroby vůbec a jsou zcela závislé na podmínkách počasí nebo jsou regulovatelné jen v omezené míře. Mezi nevýhody využití biomasy lze uvést malou účinnost využití sluneční energie a nutnost dopravy do místa zpracování.

9.2.1 Druhy biomasy

Biomasu využitelnou pro energetické účely je možné rozdělit do následujících skupin:

- a) fytomasa s vysokým obsahem lignocelulózy,
- b) fytomasa olejnatých plodin,
- c) fytomasa s vysokým podílem škrobu a cukru,
- d) organické odpady a vedlejší produkty živočišného původu,
- e) směsi různých organických odpadů.

Podle [1] se pro získávání energie využívá biomasa těchto typů:

- biomasa záměrně pěstovaná pro energetické účely
 - cukrová řepa, obilí, brambory, cukrová třtina, olejniny, energetické dřeviny
- odpadní biomasa
 - rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny
 - odpady z živočišné výroby
 - komunální organické odpady z venkovních sídel
 - organické odpady z potravinářských a průmyslových výrobníků
 - lesní odpady (dendromasa)

Způsob využití biomasy k energetickým účelům je dán jejími fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Jedním z nejdůležitějších parametrů určující kvalitu a využití biomasy je *vlhkost* (obsah sušiny v biomase). Hodnota 50% sušiny je přibližná hranice mezi mokkými procesy využití biomasy (obsah sušiny je menší než 50%) a suchými procesy (obsah sušiny je větší než 50%). [1]

V tabulce 9.3 je uveden obsah vody a výhřevnost u některých druhů biomasy využívané k energetickým účelům.

Druh paliva	Obsah vody	Výhřevnost
	(%)	(MJ.kg ⁻¹)
Listnaté dřevo	15	14,605
Jehličnaté dřevo	15	15,584
borovice	20	18,4
vrba	20	16,9
olše	20	16,7
habr	20	16,7
akát	20	16,3
dub	20	15,9
jedle	20	15,9
jasan	20	15,7
buk	20	15,5
smrk	20	15,3
bříza	20	15,0
modřín	20	15,0
topol	20	12,9
Dřevní štěpka	30	12,18
Sláma obilovin	10	15,49
Sláma kukuřice	10	14,4
Lněné stonky	10	16,9
Sláma řepky	10	16,0

Tab. 9.3:[15]

9.2.2 Biomasa rostlinného původu

Biomasu rostlinného původu lze rozdělit do dvou skupin a sice na odpadní biomasu a biomasu pěstovanou za účelem energetického využití. O výhodnosti zpracování odpadní biomasy není pochyb. Prostřednictvím ní se lze zbavit odpadu, který by jinak nebyl využit nebo by byl proplýtván. Navíc lze jím alespoň částečně nahradit již tak vysokou spotřebu fosilních paliv. O prospěchu účelně pěstované biomasy pro energetické využití lze již vést polemiky. I když jde z hlediska politiky Evropské Unie o propagovanou a podporovanou činnost, má svá značná negativa. V následujícím nebudou tyto kategorie rozlišovány, ale rozdělení bude provedeno podle charakteru a složení z hlediska paliva.

Dřevo a dřevní odpady

Jde o tradiční energetické palivo, které se pro spalování v elektrárnách nebo výtopenách zpracuje do podoby tzv. dřevní štěpky. Využívá se odpad z dřevozpracujícího průmyslu, odpady z lesní těžby, odpady papírnictví atd. Pro pěstování se využívají tzv. rychle rostoucí dřeviny.

Rychle rostoucí dřeviny

Jde o dřeviny pěstované za účelem energetického využití, které jsou charakterizovány zejména vysokým ročním výnosem z osázené plochy a poměrně krátkým obdobím mezi sklizněmi (3-7 let). Tento typ pěstování neklade většinou vysoké nároky na kvalitu půdy, ale základní požadavky musí být splněny. Nutností je dostatečný přísun vláhy resp. vysoká hladina spodních vod, snadný přístup pro stroje zajišťující mechanizovanou sklizeň. [7][8]

V podmínkách České republiky jsou pro pěstování vhodné různé druhy topolů (obr. 9.1), vrby, ale také olše, lípy, lísky či jeřáby. Některé druhy není nutné po sklizni opětovně vysazovat, protože sami obrázejí a po uplynutí cyklu je možno opět sklízet. [7]



Obr. 9.1: Japonké topoly [16]

Obilní a řepková sláma

Sláma zemědělských plodin je významný zdroj energetické biomasy. Používá se sláma obilovin a sláma řepky olejné. Do této kategorie lze též zahrnout zbytky kukuřice, pěstované pro zrno.

Olejnaté plodiny

Do této kategorie spadá řepka (obrázek 9.2), slunečnice, len a další hospodářské plodiny. Ze semen těchto plodin je za tepla lisován olej. Olejnatá semena se před zpracováním kondiciují na 80-90°C a jsou lisována šnekovými lisami, čímž se získá přibližně 50% oleje. Pokrutiny z lisu jsou v extraktoru míseny technickým rozpouštědlem. Ze směsi je pak destilací oddělen olej od rozpouštědla. Celková účinnost procesu se pohybuje kolem 98%. Získaný olej se esterifikuje např. na bionaftu. [1]



Obr. 9.2: Řepka olejná [18]

9.2.3 Biomasa živočišného původu

Exkrementy hospodářských zvířat

Druh zvířat a způsob ustájení mají veliký vliv na složení kejdy a hnoje. Podíl sušiny je nejvyšší u slepičího trusu, střední u hovězí kejdy a nízký u prasečí kejdy. Podíl sušiny se odrazí v množství vyprodukovaného metanu při anaerobní fermentaci. Dalším faktorem ovlivňujícím produkci a kvalitu metanu je druh a způsob chovu, druh podlážky či podestýlky a krmivo. Množství generovaného plynu mohou také zcela zásadně ovlivnit vyšší koncentrace vybraných antibiotik, chemoterapeutik i desinfekčních prostředků v substrátu.

Kejda

Kejda je směs tuhých a kapalných zvířecích exkrementů produkovaná zvířaty ustájenými bez podestýlky. Zdrojem tohoto materiálu jsou především dojnice, jateční hovězí dobytek a jateční prasata.

Pevný hnůj

Zdrojem jsou zvířata ustájená na chovu s podestýlkou. Vzhledem k podílu slámy je při zpracování ve fermentoru nutné provést rozmělnění substrátu.

Kejda a hnůj z volného ustájení

Jedná se o kal bez podestýlky z tuhých a kapalných zvířecích exkrementů. Pro výrobu bioplynu je to výborný materiál, který z důvodu vysokého podílu vody nelze kompostovat.

Kafilerní tuky

Jako zdroj biomasy je možné použít odpadní kafilerní tuk, kterého je poměrně velké množství soustředěno do kafilerii. Příznivým faktorem je jeho poměrně nízká cena, ovšem negativem je velké množství volných kyselin a vysoká teplota tuhnutí. Tato surovina je využitelná pro spalování nebo přeměnu na bionaftu. Transesterifikace kafilerního tuku vyžaduje jiné podíly přidaných látek než je tomu u esterifikace rostlinných olejů.

9.2.4 Palivo z komunálního odpadu

Roztříděný komunální odpad je možné energeticky zpracovávat ve spalovnách. Organická část musí splňovat základní podmínky pro jeho zpracování, aby bylo energeticky výhodné. Zároveň je důležité zajištění dobrého třídění odpadu, aby se zamezilo možným únikům škodlivin do ovzduší.

V praxi spalovny komunálního odpadu nerozlišují mezi odpadem organického původu (tedy charakteru biomasy) a spalují značný podíl odpadů fosilního charakteru (např. plasty).

9.3. Zpracování biomasy

Jak už bylo zmíněno pro zpracování biomasy se využívá celé řady chemických procesů, které ji buď mění na jiný druh paliva nebo ji přímo mění na tepelnou energii. Přehled těchto procesů zpracování je uveden v následujících bodech:

- termochemická přeměna biomasy (suché procesy)
 - o spalování
 - o zplyňování
 - o pyrolýza
- biochemická přeměna biomasy (mokrý procesy)
 - o alkoholové kvašení
 - o metanové kvašení
- fyzikální a chemická přeměna biomasy
 - o mechanicky (štípání, drcení, lisování, peletování)
 - o chemicky (esterifikace surových bioolejů)
- získávání odpadního tepla při zpracování biomasy
 - o kompostování
 - o aerobní čištění odpadních vod
 - o anaerobní fermentace pevných organických odpadů

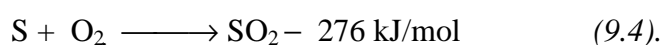
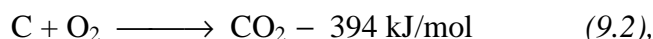
Z hlediska energetického využití lze biomasu rozdělit následujícím způsobem:

- a) lokální a centrální vytápění
- b) elektroenergetika (centralizovaná výroba elektrické energie, kogenerace lokální i centralizovaná)
- c) doprava

9.3.1 Spalování

Jako palivo pro spalovací procesy je možné použít téměř jakýkoliv biomateriál. Nejčastěji je spalováno dřevo a odpady z dřezpracujícího průmyslu, sláma, pícniny, obiloviny, rostlinné zbytky ze zemědělské výroby, organický a komunální odpad. Je také možné využít olejnaté plodiny jako je řepka nebo slunečnice. [1]

Při spalování dochází k exotermickým reakcím paliva s kyslíkem, viz následující rovnice:



Mimo oxidu uhličitého a vodní páry vznikají při spalování biomasy i další znečišťující látky. Jde o tuhé znečišťující částice a oxid uhelnatý, vznikající nedokonalým spalováním. Oxidy dusíku, které vznikají nejen ze vzdušného dusíku, ale především z dusíku obsaženého v biomase samotné. V biologickém palivu je částečně obsažena síra, která se při spalovacím procesu podílí na vzniku oxidů síry. Jejich koncentrace bývají však výrazně nižší než při spalování uhlí. V popelu je pak možné objevit relativně vyšší podíl těžkých kovů. [1]

Při spalování zemědělské fitomasy vznikají rovněž vyšší emise chlóru, který působí agresivně na spalovací komoru.

Jak už bylo zmíněno pro spalování jsou nejčastěji využita pevná paliva, čemuž odpovídají i typy topenišť. Pro spalování dřevní štěpky, či zemědělské fitomasy se používají kotle s fluidním ložem nebo roštové kotle. Teplota tečení a tavení dřevního popela se pohybuje mezi 860°C až 1100°C.

Při spalovacím procesu se po zahřátí paliva uvolňuje směs uhlovodíků a dusíkatých látek, která spolu s pevným uhlíkem prohořívá. Vysoký podíl plynné hořlaviny je typický pro biomasu, i když je závislý na spalovací teplotě. Právě tento podíl definuje požadavky na dobu hoření, délku plamene, podíl vzdušného kyslíku, tak aby došlo k dobrému prohoření spalované látky. Nejen tyto požadavky mohou být výrazným omezením pro spolu spalování biomasy.[4]

Obecně můžeme říci, že proces spalování biomasy je ovlivněn následujícími faktory:

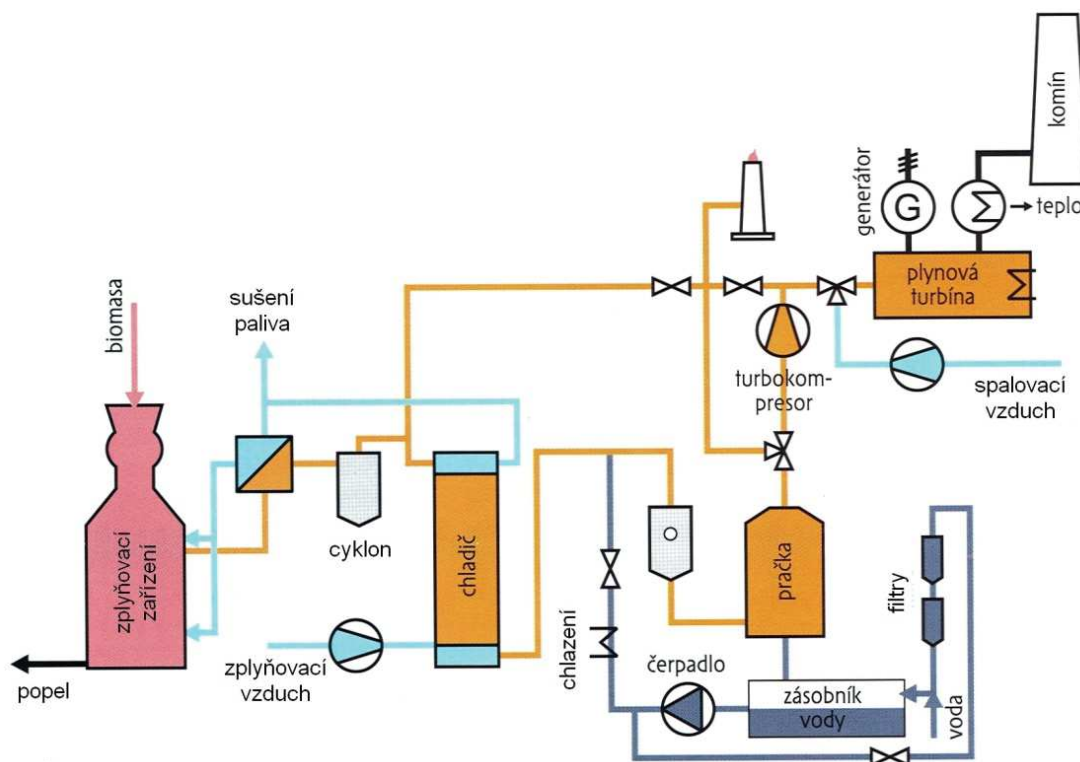
- vysoký podíl uvolňované prchavé hořlaviny při teplotách nad 200°C
- dlouhé plameny – obtížný průnik kyslíku pro spalování
- dlouhá doba prohořívání spalitelných plynů – možnost tvorby sazí
- vyšší spotřeba spalovacího vzduchu
- nízká hustota fytopaliv

Spoluspalování biomasy

Častým způsobem využití biomasy je její spoluspalování s jiným typem paliva fosilního charakteru (technologické schéma procesu je na obrázku 9.3). Výhodou spoluspalování je částečná náhrada fosilního paliva ekologičtější variantou při zachování výhodných parametrů fosilního paliva. Běžně se podíl biomasy v palivu pohybuje v rozmezí 5 – 20%. Specificky v České republice je biomasa jako příměsné palivo (nebo také v čisté formě) využívána v těchto energetických výrobnách:

- elektrárna Tisová,
- elektrárna Poříčí,
- elektrárna Hodonín,
- elektrárna Ledvice,
- elektrárna ve Dvoře Královém,
- teplárna v Plzni.

Největším spotřebitelem biomasy pro energetické účely je v současné době v České republice elektrárna Hodonín, která ročně zpracuje přibližně 250 tis. tun biomasy s výrobou asi 190 GWh elektrické energie. V současné době je jeden z kotlů v této elektrárně upraven pro 100% využití biomasy v technologickém procesu.



Obr. 9.3: Technologické schéma spoluspalování biomasy a uhlí [17]



Obr. 9.4: Skládka biomasy v elektrárně Hodonín

Emise ze spalování biomasy

Emisní faktor

Energetické využívání biomasy má zanedbatelný vliv na produkci „skleníkových plynů“, neboť se uvažuje, že množství CO_2 emitovaného spálením jistého objemu biomasy bylo dříve akumulováno. Z tohoto důvodu je často nesprávně uváděn emisní faktor pro spalování biomasy jako nulový. I když jde o správnou hodnotu z hlediska legislativy Evropské Unie pro výpočet emisí CO_2 , z fyzikálního hlediska se emisní faktory CO_2 pohybují na hodnotách 62 až 86 kg/TJ. [3]

9.3.2 Zplyňování a pyrolýza

Pro zplyňování či pyrolýzu se používají především odpady z dřevozpracujícího průmyslu a organický komunální odpad. [1]

Zplyňování

Při zplyňování dochází k částečné chemické přeměně pevného paliva na plynné za pomoci zplyňovacích látek (vodní pára, H_2 , CO_2 , O_2). Teploty, za kterých chemické reakce probíhají, se pohybují kolem 700°C až 1100°C . Nejčastější technologií je zplyňování na pevném loži, využívá se i dalších technologií – zplyňování s fluidní vrstvou, proudové zplyňovače. [4]

Zplyňování ve fluidní vrstvě využívá jako médium jen kyslík a vodní páru (ev. oxid uhličitý). Palivo je průtokem plynu nadnášeno a dochází tak k dobrému promíchávání, což urychluje distribuci tepla a i samotnou reakci. Obecně lze říci, že se snižující se teplotou je proces ekonomičtější. Naproti tomu při vyšších teplotách roste podíl vodíku, klesá podíl dehtu i CO_2 , což hraje ve prospěch kvality plynu. [11]

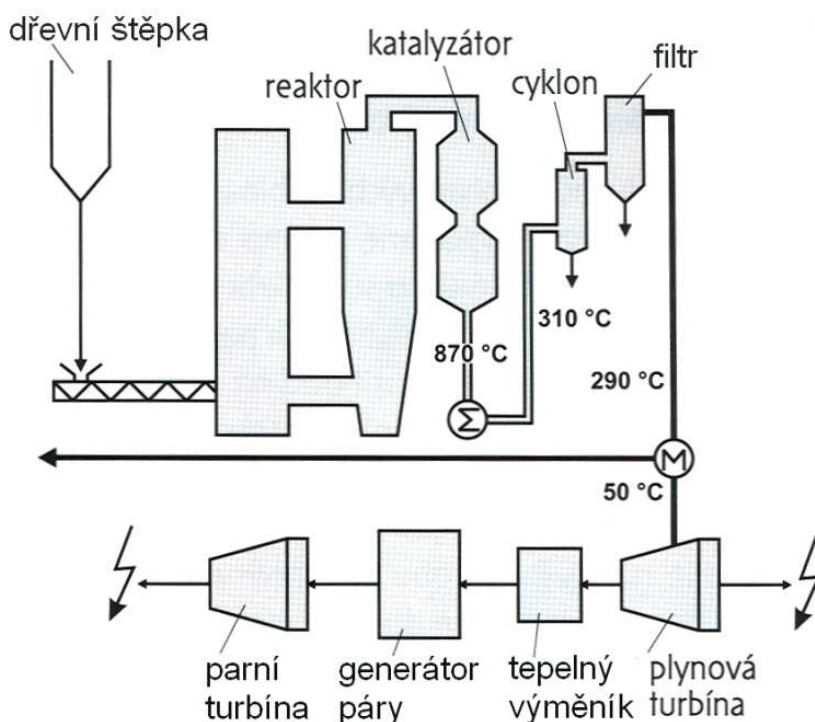
Druhou metodou je zplyňování v Battelle-Columbovu zplyňovacím systému, kde se promísí biomasa s pískem zahřátým na teplotu kolem 1000°C. Část materiálu se přemění na plyn a část na dřevěné uhlíky. Ty pak putují do kotle s fluidním ložem, kde se při teplotách kolem 850°C spalují, aby se vyrobilo teplo pro ohřev písku. [10]

Plyn, který je produktem zplyňování obsahuje H₂, CO, CH₄ a další uhlovodíky. Dále může obsahovat dusík (ať už vzdušný či z paliva), kyslík a také malé množství znečišťujících látek jako např. dehet, prach, oxidy dusíku a síry. [11]

Pro zplyňování je nejvhodnější palivové či odpadní dřevo získané při těžbě nebo v dřevozpracujících závodech. Dřevo se převážně zplyňuje za přítomnosti vzduchu. Zplyňování dřeva ve zplyňovači má následující průběh:

- sušení,
- pyrolýza,
- oxidace,
- redukce.

Jednoduché technologické schéma zplyňovacího cyklu je na obrázku 9.5.

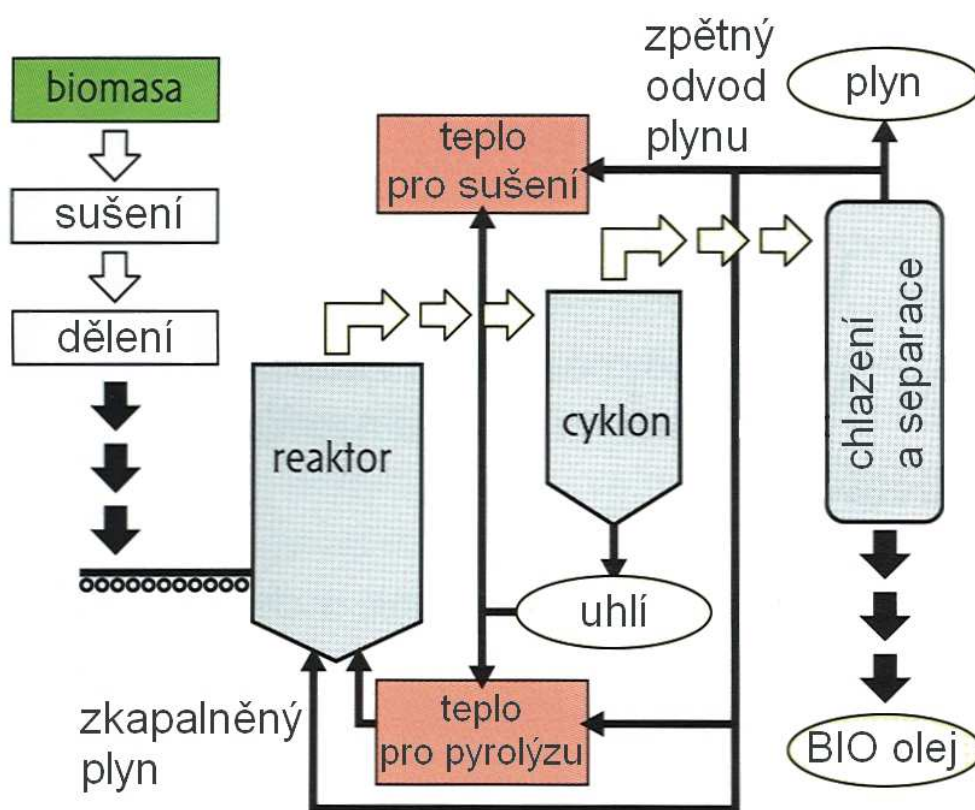


Obr. 9.5: Zplyňovací zařízení pro dřevní hmotu [17], [15]

Pyrolýza

Pyrolýza je jednoduchý a pravděpodobně nejstarší způsob úpravy biomasy na palivo vyšší kvality (dřevěné uhlí). Při pyrolýze dochází k termickému rozkladu hmoty za nedostatku vzduchu. Teploty se pohybují v rozmezí od 400°C do 700°C a vzniklá plyn, který je směsí uhlovodíků. Dále je produktem pevná složka s vysokým podílem uhlíku (již zmíněné dřevěné uhlí). [4]

Plyn z pyrolýzy a spalování je možné využít například v kogeneračních jednotkách pracujících se spalovacím motorem nebo s plynovou turbínou. V současné době je pyrolýza považována za velmi perspektivní technologii. Toto souvisí s tím, že proces probíhá při relativně nízkých teplotách, což vede k nižším emisím potenciálně škodlivých látek v porovnání s klasickým spalováním biomasy. Technologické schéma zařízení pro pyrolýzu biomasy je na obrázku 9.6.



Obr. 9.6: Technologické schéma pyrolýzy biomasy [17], [15]

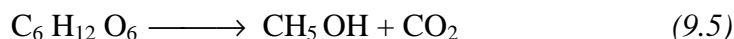
9.3.3 Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace dokáže zpracovat celou řadu produktů. Nejvíce využívané jsou odpady z živočišné výroby (exkrementy), organické komunální odpady a organické odpady z potravinářského průmyslu. Méně používané bývají dřevo a odpady z dřevozpracujícího průmyslu, olejnaté plodiny, sláma, obiloviny a jiný odpad ze zemědělské výroby.[1]

Alkoholové kvašení

Pro alkoholovou fermentaci se využívají škrobové a cukernaté energetické plodiny jako jsou brambory, cukrová řepa, cukrová třtina, obiloviny případně odpad z potravinářské výroby. [1]

Samotné alkoholové kvašení lze souhrnně popsat rovnicí (9.5), ve skutečnosti jde o sled několika chemických reakcí, ve kterých se nejprve glukóza v sérii přeměn metabolizuje na pyruvát, dále se dekarboxyluje na acetaldehyd a následně redukuje na ethanol.[12]



Pro správný průběh chemických reakcí je ve fermentorech regulována teplota i pH. Využívá se buď způsobu kvašení s recyklací kvasinek (kvasinky se přenášejí mezi kvasy) nebo s kontinuální výměnou kvašeného média. Účelem je úspora cukru, který by kvasinky k syntéze a k urychlení kvašeného procesu potřebovaly. Dále je nutné udržovat koncentraci alkoholu pod limitní hranicí, neboť způsobuje inhibici kvasinek a zpomalení procesu kvašení. [13]

Anaerobní fermentace odpadů z živočišné výroby

Proces anaerobní fermentace je z chemického hlediska vícestupňový proces, ve kterém dochází k postupné přeměně sacharidů, tuků a bílkovin na bioplyn působením metanogenních, acetotrofních a hydrogenotrofních mikroorganismů. Celý proces probíhá ve čtyřech fázích – hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze (schématicky je celý proces naznačen na obrázku 9.7):

- Hydrolýza
 - při hydrolýze není vyžadováno bezkyslíkaté prostředí. Hydrolytické mikroorganismy vyžadují pouze dostatečný obsah vlhkosti. V tomto procesu dochází k přeměně vlhkých organických látek na jednodušší organické sloučeniny. [1]
- Acidogeneze
 - v této fázi z vlhkých organických látek vznikají organické kyseliny (kyselina kapronová, valerová, máselná, propionová a také kyselina octová, která se 3. fáze neúčastní). Současně se anaerobní bakterie podílejí na vzniku H_2 a CO_2 . [1]
- Acetogeneze
 - při acetogenezi přeměňují bakterie vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou. [1]
- Metanogeneze
 - v této fázi probíhají dva procesy. Metanogenní acetotrofní bakterie rozkládají kyselinu octovou na metan a oxid uhličitý. Hydrogenní bakterie produkují z vodíku a oxidu uhličitého metan.[1]

Pozn. Acidogeneze je proces enzymatické přeměny organických sloučenin na organické kyseliny.

Prekurzor – sloučenina, která se účastní chemické reakce za vzniku jiné sloučeniny

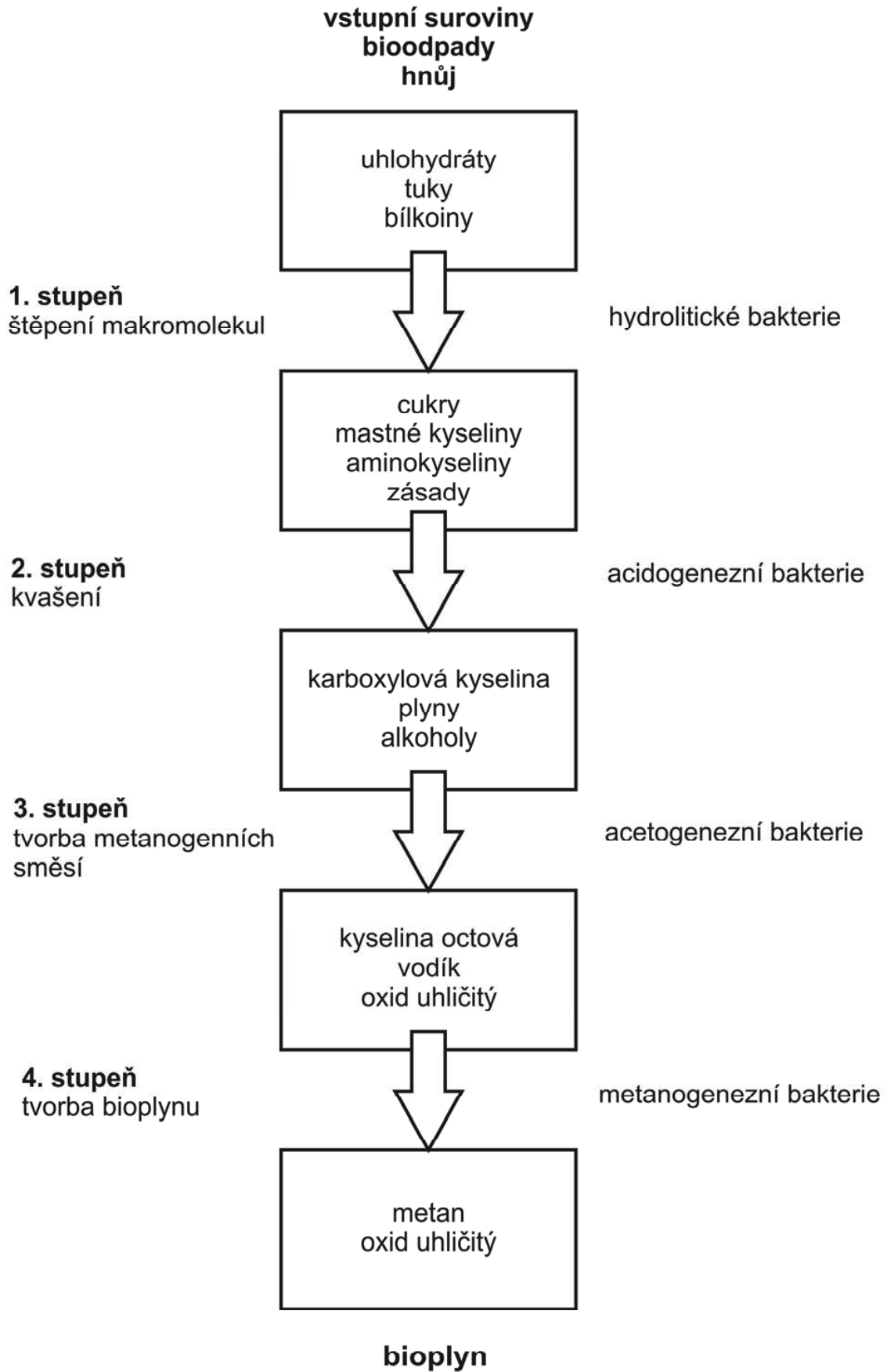
Anaerobní digesce - označuje kontrolovanou mikrobiální přeměnu organických látek bez přístupu vzduchu za vzniku bioplynu a digestátu

Metanogen je organismus, který produkuje metan, tedy je schopný metanogeneze.

<i>Substrát</i>	<i>sušina</i>	<i>bioplyn</i>
	(% objemu)	($m^3 \cdot t^{-1}$)
<i>hovězí kejda</i>	7	25
<i>prasečí kejda</i>	9	36
<i>jateční odpady</i>	18	65
<i>zeleninové odpady</i>	22	90
<i>slamný hnůj</i>	22	100
<i>domovní bioodpad</i>	35	100
<i>travní senáž</i>	30	150
<i>kuchyňské odpady</i>	33	245
<i>obilní odpad</i>	55	360
<i>odpadní tuky</i>		800

Tab. 9.2: Produkce bioplynu

Výstupním produktem anaerobní fermentace je směs plynů nazývaná jako bioplyn. Produkce bioplynu podle typu substrátu je pro některé vybrané typy substrátů uvedena v tabulce 9.2. Bioplyn se skládá převážně z metanu, oxidu uhličitého a v menších koncentracích jsou to látky jako sirovodík, vodík či kyslík. [5]



Obr. 9.7: Postup výroby bioplynu [17]

Přítomnost vodíku zpravidla nemá vliv na kvalitu bioplynu, svědčí pouze o nerovnováze mezi bakteriemi podílejícími se na acidogenní a metanogenní fázi. Koncentrace kyslíku v bioplynu jsou nežádoucí, protože tvoří s bioplynem třaskavou směs. Sirovodík v zařízení způsobuje jeho korozi (armatury, plynoměry, hořáky, motory), navíc spalováním H_2S vznikají škodlivé oxidy síry SO_x . V praxi se z bioplynu odsiřuje profukováním přes granulát složený z oxidů železa, či přes železné piliny. Jiným způsobem odsíření je bakterie *Thiobacillus*, která v kapalně fázi mění H_2S na síru. [5], [6]

Spalování bioplynu je velmi výhodné z hlediska emise skleníkových plynů, neboť volně unikající metan má z hlediska globálních klimatických změn mnohem větší dopady než oxid uhličitý. Dalším nezanedbatelným faktem je možnost zpracování organických odpadů z živočišné výroby, které mohou způsobit kontaminaci spodních i povrchových vod. Z tohoto důvodu je také vhodné, aby transport neprobíhal na velké vzdálenosti, aby se snížila pravděpodobnost havárie.

Bioplyn je možno využívat všude, kde se používají i jiná plynná paliva. Bioplyn lze pro energetické účely využít následujícími způsoby:

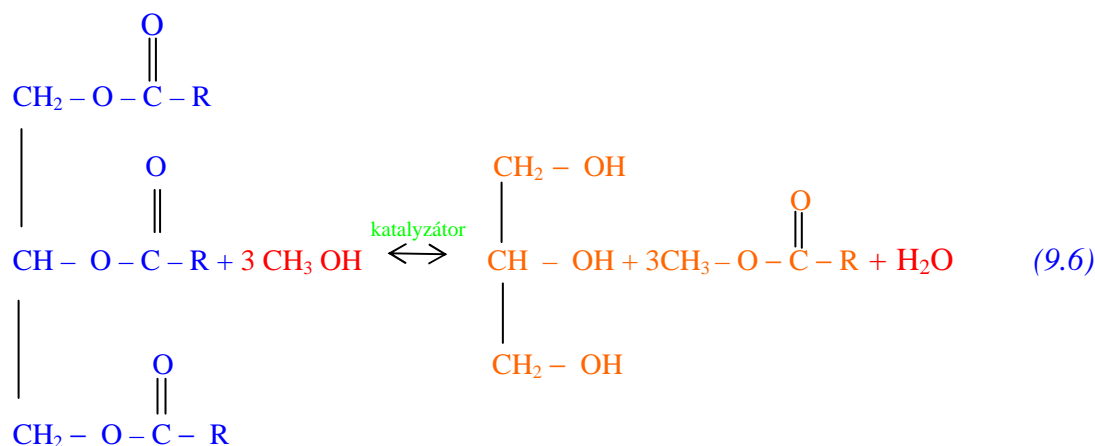
- přímé spalování,
- výroba elektrické energie a ohřev teplotnosného média (kogenerace),
- výroba elektrické energie, ohřev teplotnosného média, výroba chladu (trigenerace),
- pohon spalovacích motorů nebo turbín,
- využití bioplynu v palivových člancích.

Jak již bylo uvedeno, výroba bioplynu je vícestupňový proces. Zjednodušené technologické schéma je na obrázku 9.7. Všechny procesy v tomto cyklu vyžadují dodržení fyziologicky příznivé podmínky pro mikroorganizmy. Jedná se především o teplotu, hodnotu pH, koncentraci substrátu a inhibitorů, které ovlivňují proces výroby bioplynu.

9.3.4 Esterifikace bioolejů

Vstupní surovinou pro esterifikaci jsou tuky. Využívá se olejnatých plodin, tedy především řepka, ale i slunečnice, hořčice, seznam či len. Pro zpracování je ovšem možné použít i kafilerní tuky. [1], [4]

Metylesterifikace je proces při němž se tuky (biooleje) za přidání metylalkoholu mění na metylestery (bionaftu). Směs je zahřívána a probíhá reakce, která je katalyzována zpravidla kyselinou (HCl , H_2SO_4 , aj.) rozpuštěnou v alkoholu. Reakce se následně zastaví zchlazením, při němž se vytvoří dvě vrstvy. Spodní vrstva obsahuje nezreagovaný tuk, kyselinu a glycerin, v horní vrstvě je pak esterifikovaný tuk a metanol. Pro separaci vrchní vrstvy se pak využije detilace. Získaný methylester se v závěrečné fázi zbaví vlhkosti. Základní chemický proces je popsán v rovnici 9.6. [1], [9]

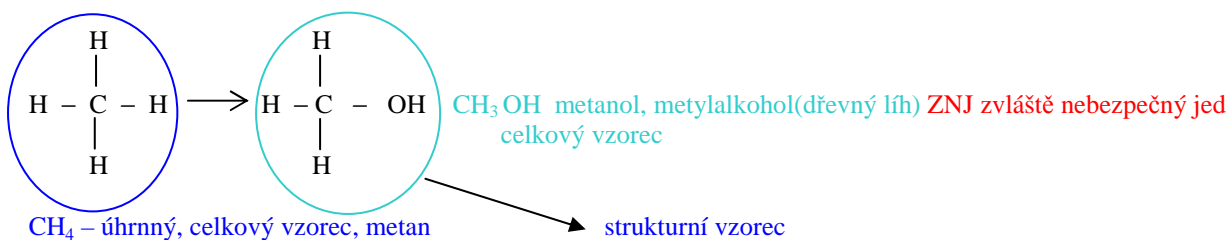


tuk (kyselina olejová) + jednoduchý alkohol H_2SO_4 (HCL) metylester kyseliny olejové + voda
 v rostlině reakce

řepka + jednoduchý alkohol raguje bionafta

katalyzátory jsou chemické látky, které umožňují, urychlují, nebo zpomalují chemickou reakci

příklad odvození vzorce metylalkoholu



9.4 Otázky ke kapitole Biomasa

- 1) Vysvětlete pojem biomasa
- 2) Co je základním principem biomasy
- 3) Druhy biomasy
- 4) Které palivo(biomasa) je nejvýhodnější k energetickým účelům
- 5) Popište které druhy biomasy rostlinného původu znáte, a uveďte jejich využití
- 6) Popište které druhy biomasy živočišného původu znáte a uveďte jejich výhody a nevýhody s ohledem na životní prostředí
- 7) Definujte způsoby zpracování biomasy
- 8) Uveďte příklady emisí ze spalování biomasy, porovnejte vliv vstupních a výstupních produktů na životní prostředí
- 9) Vysvětlete pojem zplyňování a pyrolýza
- 10) Popište princip výroby bioplynu
- 11) Vysvětlete proces esterifikace bioolejů a jeho využití

9.5. Literatura

- [1] Pastorek, Z. Biomasa – obnovitelný zdroj energie. FCC Public: 2004, 288 s. ISBN: 80-86534-06-5
- [2] Rosa, A.V. Renewable energy processes. Elsevier Inc.: 2009, 844 s. ISBN: 987-0-12-374639-9
- [3] Bartošík, T.; Mastný, P. Carbon capture technologies according to fuel type. In Proceedings of the 12th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2011. VSB Ostrava: 2011, s. 1-3. ISBN: 978-80-248-2393-5.
- [4] Koppe, K., Juchelková, D. Nutzung der biomasse – Využití biomasy. REPRONIS Ostrava: 2003, 112 s. ISBN: 80-7329-035-9
- [5] Schutz, H., Eder, B. Bioplyn v praxi. HEL Ostrava: 2004, 168 s. ISBN: 80-86167-21-6
- [6] Mikeš, J., Siglová, M., Zábranská, D. Biologická eliminace sulfidů z bioplynu. [online] Odpadové fórum 2011: 2011-04-13, 4 s. [cit. 2011-12-14]. <<http://www.odpadoveforum.cz/OF2011/dokumenty/prispevky/030.pdf>>
- [7] Weger, J., Havlíčková K. Zásady a pravidla pěstování rychle rostoucích dřevin (r.r.d.) ve velmi krátkém obmětí. [online] 2002-01-18. [cit. 2011-12-10] <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zasady-a-pravidla-pestovani-rychle-rostoucichdrevin-r-r-d-ve-velmi-kratkem-obmyti>> ISSN: 1801-2655.
- [8] Bungay, H. R. Energy, The Biomass Options. Rensselaer Polytechnic Institute Troy, New York: 1981, 347 s. ISBN: 0-471-04386-9
- [9] Prošková, A., Kučera, J., Kopicová, Z. Využití odpadního kafilerního tuku k výrobě paliva. [online] Z vědy a výzkumu 12/2008 s.24-26. [cit. 2011-12-11] <www.chemicke-listy.cz/docs/full/2009_12_1034-1036.pdf>
- [10] Rezaiyan, J., Cheremisinoff, N. P. Gasification Technologies: A Primer for Engineers and Scientists. CRC Press, Boca Raton: 2005, 360 s. ISBN: 978-08247-2247-0
- [11] Pohořelý, M., Jeremiáš, M., Skoblia, S. Alotermní fluidní zplyňování biomasy. [online] Paliva 2009, s. 23-30. [cit. 2011-12-14] <http://paliva.vscht.cz/data/clanky/9_alotermni_fluidni_zplynovani_biomasy.pdf>
- [12] Čegan, A., Korecká, L. Biochemie pro bakalářské studium chemie a technické chemie. [online] Univerzita Pardubice, Pardubice: 2008, 61 s. [cit. 2011-12-15] <<http://biochemie.wbs.cz/skripta-biochemie.pdf>>
- [13] Kadlec, P. a kolektiv Technologie potravin II. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha: 2002, 236 s. ISBN: 80-7080-510-2
- [14] Mastný, P., *Využití znalostních technologií pro podporu návrhu energetických systémů v budovách*, Habilitační práce, Brno 2010, Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 123 stran
- [15] Mastný, P., Studijní podklady předmětu Malé zdroje elektrické energie, 2011, Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně
- [16] Webové stránky Japonský topol – <http://japonske-topoly.com/fotogalerie/>, cit. 20.12.2011
- [17] Janíček, F. a kolektiv autorů, *Obnovitelné zdroje energie 1 – Technologie pre udržateľnú budúcnosť*, STU FEI Bratislava, 2007, ISBN: 978-80-969777-0-3
- [18] Webové stránky – http://www.gymnazium.milevsko.cz/projekty/oze/bioplynove_elektrarny.html, cit. 9.1.2012

ABRHAM, Z., KOVÁŘOVÁ, M.: [Tuhá biopaliva](#) - ekonomika a konkurenceschopnost. Economy and competitive level of solid biofuels. In Zemědělská technika a [biomasa](#) 2006 : Sborník anotací z mezinárodního odborného semináře [VÚZT](#) s podporou [MZe](#) 21.11.2006, Praha. Praha : [VÚZT](#) 2006, s. 7, ISBN 80-86884-16-3

ABRHAM, Z. Technologie a ekonomika [tuhých biopaliv](#) z [energetických plodin](#). In JAKOBE P. a kol. Příručka pro zemědělce. Praha : Verlag Dashöfer, 2009, část 12, díl 7, kap. 2.6, s. 1-8. ISSN 1803-2826

JEVIČ, P., HUTLA, P., KRÍŽEK, J. Peletizovaná alternativní paliva ze spalitelných zbytků a [biomasy](#). In Energetika a [biomasa](#) 2010 :sborník přednášek z konference 10.-11.2.2010. Praha : ČVUT v Praze, 2010, s. 1-11. ISBN 978-80-01-04523-7

JEVIČ, P. Energetická bilance a životní cykly biogenních pohonných hmot – 1. [Biom.cz](#) [online]. 2010-11-08 [cit. 2010-12-09]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energetickabilance- a-zivotni-cykly-biogennich-pohonnychhmot- 1>>. ISSN: 1801-2655.

KÁRA, J., ABRHAM, Z., 2008: Studie o energetické efektivnosti běžných [obnovitelných zdrojů energie](#). MF ČR.

KÁRA, J., PASTOREK, Z., MAZANCOVÁ, J.: Trendy ve výrobě a využití [bioplynu](#) v podmínkách českého zemědělství. In. Proceedings of the International Scientific Conference. Polnohospodárska [biomasa](#) - alternativny zdroj energie. Banská Bystrica, 2009. Institute of Agricultural Engineering Bratislava, p. 45-55.

MUŽÍK, O., ABRHAM, Z.: Economic modelling of Biogas production. Nitra, SPU. In: Management of Production Systems with support of Information Technologies and Control Engineering. Sborník přednášek z mezinárodní vědecké konference, Nitra 2006, s. 196-201. ISBN 80-8069-743-4 VLK, V.: Obnovitelné zdroje energie. [Biom.cz](#) [online]. 2009-03-25 [cit. 2011-12-30]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/obnovitelnezdroje- energie>>. ISSN: 1801-2655