

Výroba bioplynu z čerstvé travní hmoty

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Katedra: Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky
Vedoucí práce: Ing. Josef Frolík, CSc.
Autor práce: Jakub Živný
Studijní program: B4131 Zemědělství
Studijní obor: Zemědělská technika, obchod, servis a služby

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Zemědělská fakulta
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub ŽIVNÝ**
Osobní číslo: **Z08158**
Studijní program: **B4131 Zemědělství**
Studijní obor: **Zemědělská technika, obchod, servis a služby**
Název tématu: **Návrh zařízení na produkci bioplynu z čerstvé travní hmoty.**
Zadávací katedra: **Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je navrhnout zařízení pro produkci bioplynu z čerstvé travní hmoty získané při pravidelném sekání porostů v parcích a okrajových částech obcí a měst při minimálních dopravních vzdálenostech. Posoudit možnosti využití navrženého zařízení i mimo sezonu, případně pro zpracování jiného organického materiálu.

1. Stanovte možnosti produkce čerstvé travní hmoty na jednotku plochy včetně časového rozložení v průběhu vegetace pro různé produkční plochy (TTP, pastviny, zahrady, parky apod.).
2. Vlastnosti čerstvé travní hmoty a požadavky na její mechanickou úpravu před dávkováním do fermentoru.
3. Možnosti míchání s jinými komponenty pro podporu produkce bioplynu.
4. Návrh skladby technologických linek na sklizeň, úpravu, míchání a dávkování hmoty do fermentoru.
5. Návrh vhodného typu a objemu fermentoru a plynojemu s ohledem na velikost produkční oblasti travní hmoty.
6. Posuďte možnosti mimo sezónního využití zařízení na zpracování jiné organické hmoty.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **40 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Cenek, M. a kol.: Obnovitelné zdroje energie. II. vydání. Praha, FCC Publik, 2000;


Kára, J. a kol. : Výroba a využití bioplynu v zemědělství. VÚZT Praha, 2007. ISBN - 978-80-86884-28-8;

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Josef Frolík, CSc.**
Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Datum zadání bakalářské práce: **19. února 2010**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2011**


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13
370 05 České Budějovice


doc. Ing. Antonín Jelínek, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 12. března 2010

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Josefu Frolíkovi CSc. za odborné rady, metodické vedení práce a za čas, který mi věnoval při tvorbě práce.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně na základě vlastních zjištění a za pomoci uvedené literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platné znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě, elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 5. 4. 2011

.....
Jakub Živný

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou výroby bioplynu z čerstvé travní hmoty, která vzniká při pravidelném sekání v parcích a okrajových částech obcí a měst. V literárním přehledu je nejprve podrobně rozebrána obecná problematika výroby bioplynu. Dále jsou rozebrány vlastnosti materiálů vhodných pro výrobu bioplynu se zaměřením na travní hmotu. V praktické části je vytvořen modelový příklad, na kterém je znázorněno, jak by bioplynová stanice pro zpracování čerstvé travní hmoty mohla probíhat ve skutečnosti, v návaznosti na sklizňovou linku. Také jsou navrženy způsoby jak nakládat s produkty bioplynové stanice, aby byla tato možnost výhodná z ekonomického hlediska.

Klíčová slova:

bioplyn; travní hmota; anaerobní fermentace; kogenerace; trigenerace; kompostování

Abstract

Work is concerned with the biogas production from the fresh grass mass, which come up when the grass is being cut on regular basis in the parks and side parts of communities and cities.

There is a detailed description of the biogas production defined in the beginning of the Theses in the literature overview.

Next, we define the material properties suitable for the biogas production, concerning on the grass mass.

In practice, there is a prototype example showing how the biogas station could manipulate the fresh grass mess in real, linked to the harvest line.

Key words:

biogas; grass, anaerobic digestion, cogeneration, trigeneration; composting

2.5.2 Využití digestátu.....	41
3. Vlastní práce – návrh zařízení na výrobu bioplynu.....	42
3.1 Produkční plocha.....	42
3.2 Parametry sklizňové linky.....	43
3.3 Celkové složení bioplynové stanice.....	46
3.4 Nakládání s produkty bioplynové stanice.....	50
3.5 Hodnocení bioplynové stanice.....	51
3.5.1 Výnos hmoty za jednu seč.....	51
3.5.2 Objem fermentoru.....	53
3.5.3 Výtěžnost bioplynu.....	53
3.5.4 Parametry kogenerační jednotky.....	55
3.5.5 Velikost plynojemu.....	56
3.5.6 Produkce energie	56
3.5.7 Plocha kompostárny.....	58
4. Závěr.....	59
5. Použitá literatura.....	61

1. Úvod

Lidská společnost spotřebovává stále více energie. Vzhledem k tomu, že většina zdrojů pochází ze skupiny neobnovitelných, je potřeba hledat vhodnou alternativu.

Pokryt celou spotřebu lidské společnosti z obnovitelných zdrojů, se jeví v současné době jako nereálné, ale pokud se tyto neobnovitelné zdroje doplní zdroji obnovitelnými, alespoň z části, zmenší se jejich spotřeba a omezí se produkce skleníkových plynů. Vhodnější možností, než vkládat prostředky do cílené produkce biomasy, je možnost hledat tyto obnovitelné zdroje v oblasti odpadů, které by jinak skončily na skládkách bez dalšího využití.

V oblastech lidských sídel a v poslední době i mimo ně, se během roku vyprodukuje velké množství travní hmoty. Jedná se zejména o parky ve městech, sportovní hřiště, louky na opalování, okrasné trávníky a také trvalé travní porosty. Všechny tyto druhy trávníků je nutno sklídit a posečenou travní hmotu odvézt mimo pozemek. Tím vzniká jakýsi odpad. Na řadu přichází otázka, „kam s ním“? Mnohdy je tato travní hmota bez užitku odvážena na skládky, kde je ponechána neřízenému rozkladu. Vhodným způsobem zpracování této hmoty je kompostování. Takto se travní hmota zhodnotí, ale použít ji lze pouze k hnojení nebo jako zahradnický substrát. Oproti tomu výroba bioplynu z této odpadní hmoty, přináší zůžitkování větší. Řízeným procesem anaerobní fermentace dokážeme vyprodukovat bioplyn a ten následně přeměnit na energii, kterou jsme schopni lépe využít pro naše potřeby. Jedná se zejména o elektrickou energii, tepelnou energii nebo i kombinaci obou.

Při spalování bioplynu dochází k produkci CO_2 . Jelikož travní hmota při svém růstu CO_2 spotřebovává, uzavře se tento koloběh. Celková bilance spotřebovaného a vyprodukovaného CO_2 je 1:1. Tato možnost se řadí do skupiny obnovitelných zdrojů a zhodnotí se tímto způsobem odpad, který v každém případě vyprodukujeme.

2. Literární přehled

2.1 Bioplyn

Pojem bioplyn se v poslední době skloňuje ve všech pádech, ale co to vlastně bioplyn je? A dá se vůbec přesně definovat? Provedeme proto malou sondu, co o bioplynu říká odborná literatura.

Kára a kol. (2007) udává, že výsledkem metanové fermentace je vždy směs plynů a vyfermentovaný zbytek organické látky. Pro tuto směs plynů, obsahující vždy dva majoritní plyny (metan CH₄ a oxid uhličitý CO₂) a v praxi početnou, avšak objemově zanedbatelnou řadu minoritních plynů, se ustálily různé názvy podle jejich místa vzniku:

1. Zemní plyn – anaerobní rozklad biomasy nahromaděné v dávných dobách – klasifikováno jako neobnovitelný zdroj
2. Důlní plyn – vznik je obdobný jako u zemního plynu
3. Kalový plyn – anaerobní rozklad usazenin v přírodních nebo umělých nádrží
4. Skládkový plyn – anaerobní fermentace organických materiálů, které se vyskytují na skládkách komunálního odpadu.
5. Bioplyn – v tomto členění chápeme jako plyn vytvořený v umělých technických zařízeních (reaktory, digestory...)

Murtinger a Beranovský (2008) definují bioplyn takto: Bioplyn je metan s příměsemi dalších plynů a vzniká činností metanogenních bakterií. Organismy, které tento rozklad provádějí, jsou citlivé na přítomnost kyslíku, a proto k přeměně organických látek na metan dochází jen v prostředí, v němž není přítomen kyslík. Jedná se tedy o anaerobní prostředí.

Cenek a kol. (2001) popisuje, že tato směs obsahuje zpravidla 55 až 75 % metanu, 25 až 45 % oxidu uhličitého a 1 až 3 % minoritních plynů. Zde se vyskytuje malý rozdíl oproti Károvi a kol., kde je uvedeno, že koncentrace metanu se obvykle pohybuje od 50 % do 75 %. V ideálním případě jej doplní 25 % až 50 % oxidu uhličitého.

Kromě oxidu uhličitého obsahuje bioplyn ještě menší množství dusíku a stopy až 1 % kyslíku, které se mohou dostat do plynového systému ze vzduchu strženého

při čerpání kejdy. U vysoce zatížených anaerobních reaktorů jsou v bioplynu až 3 objemová % vodíku (většinou ale kolem 1 %). V závislosti na složení krmiva hospodářských zvířat obsahuje bioplyn sirovodík v množství 0,1 až 1 objemových procent. Při provozním sledování bioplynových stanic bylo v bioplynu maximálně 0,7 % sirovodíku (průměrně 0,3 až 0,35 %), tedy asi trojnásobné množství v porovnání s bioplynem z městských čistíren. Sirovodík při spalování vytváří oxid siřičitý, který znečišťuje ovzduší a ve spojení s vodou má korozivní účinky. V bioplynu je však síry podstatně méně než ve všech ostatních fosilních palivech. Hnědé uhlí obsahuje např. 2 až 4 % síry, těžké topné oleje a mazut asi 2 % a lehký topný olej až 1 % síry. Vedle zemního plynu je proto bioplyn palivo, které znečišťuje ovzduší oxidem siřičitým nejméně. Protože spalování plynného paliva je (ve srovnání se všemi ostatními kapalnými i tuhými palivy) neúčinnější, představuje znečištění odpovídající získání stejného využitelného tepla jen 3 až 5 % znečištění při spalování hnědého uhlí. Při běžném spalování pro vytápění a přípravu horké vody se proto bioplyn většinou nezbavuje sirovodíku. V poslední době se v Evropě doporučuje, aby se před využíváním plyn odsířil. To je nutné při využívání bioplynu jiným způsobem, např. pro pohon motorů k výrobě elektrické energie nebo při jeho stlačování či zkapalňování. Korozivní účinky sirovodíku jsou zvýrazněny tím, že bioplyn obsahuje vždy značné množství (v závislosti na teplotě vyhnívání 2 až 6 %) vodních par. Páry při ochlazení rychle kondenzují, takže na plynovém rozvodném systému musí být na nejnižších místech potrubí nainstalovány lapače kapek k zachycení kondenzátu. Plynové potrubí musí mít nejméně 1 % spád k lapačům. Jinak hrozí, že se vytvoří vodní kapsy, které zúží profil potrubí, popř. úplně znemožní průchod bioplynu. (Hlavní využití biomasy anaerobní fermentací VUZT)

Česká bioplynová asociace ve svém článku „Co je bioplyn?“ definici bioplynu zpřesňuje a uvádí: Termín „**bioplyn**“ v posledních letech 20. století zcela zobecněl a stal se nejen běžně rozšířeným mezi technickou odbornou veřejností, nýbrž i jistým synonymem čehosi ekologicky příznivého v majoritní laické veřejnosti. Snad právě díky popularizačním pokusům masmédií nejrůznějších typů i odborných úrovní byl v laické veřejnosti fixován dojem, že „**bioplyn**“ je sice možná páchnoucí, nicméně užitečný a ekologicky čistý plyn vznikající v živých organismech, resp. působením těchto organismů.

V tomto směru je třeba přiznat, že ani mezi odbornou veřejností není definice bioplynu zcela jednoznačná a přestože se toto druhové odlišení jisté skupiny plynů široce využívá, je aplikace daného termínu dosti volnou usancí.

Věcný význam slova „**bioplyn**“ napovídá, že by se mělo jednat o plyn produkovaný blíže nespécifikovaným biologickým druhem, pokud přijmeme další běžný usus, totiž že takto mluvíme o plynech produkovaných a nikoliv spotřebovávaných biologicky. I tak je však kategorie „**bioplyn**“ stále velmi pestrá skupinou různých plynných zplodin z biologických, resp. biochemických procesů.

Při rozkladech i syntézách uskutečňovaných biochemickými cestami vzniká celá řada jednoduchých i složitějších plynných sloučenin. Ovšem mnohé z těchto plynů a plynných směsí nemusí být vůbec do kategorie „**bioplyn**“ zahrnovány.

Jako názorný příklad může posloužit atmosférický kyslík. Přesto, že již po mnoho let zná chemie řadu procesů jak čistý kyslík získat i jinak než z atmosféry, není nejmenších pochyb o původu absolutně drtivé většiny kyslíku, která nám umožňuje dýchat a nakonec i diskutovat o tom, co je to „bioplyn“. Již po stovky milionů let produkují nejrůznější rostliny kyslík od mikroskopických druhů až po obří a dlouhověké stromy a přitom nikdo kyslík bioplynem nenazývá.

Oxid uhličitý vznikající při etanolovém kvašení cukrů je rovněž ryze biologickým plynným produktem a také není řazen mezi „bioplyny“.

Obecnému pojmu „bioplyn“ nevyhoví ani zúžení výběru na všechny plyny hořlavé a jejich směsi. Biologicky produkovaný vodík obyčejně sám není klasifikován jako bioplyn, což stejně platí i pro jiné hořlavé (a někdy též vysoce toxické) komponenty jako jsou např. sulfan, či kyanovodík, které též mohou vznikat v biochemických reakcích.

Teprve široce rozvinutá praxe anaerobních postupů pro čištění odpadních vod, která se jako dobře fungující technologie rozšířila od první čtvrtiny 20. století, přinesla s sebou termín „**bioplyn**“. I když v technické praxi byla většinou až do šedesátých či sedmdesátých let pro název tohoto plynu aplikována jiná synonyma buď „*kalový plyn*“, anebo „*čistírenský plyn*“. V Německu, kde byly v technologických měřících široce aplikovány anaerobní čistící procesy, je „*Klärgas*“ dodnes běžný název tohoto plynu. K „*čistírenským*“ plynům můžeme přiřadit i název „*bahenní plyn*“, který ve většině případů vyhoví podmínkám zařazení

mezi bioplyny. Plyny vznikající v anaerobních prostředích hlubších partiích rybníků, slatin a močálů, jsou svým vysokým obsahem biologicky vytvořeného metanu právem chápány jako bioplyny. Naproti tomu mezi bioplyny nemůže být řazen plyn unikající z bahenních „sopek“ na rašeliništi Soos u Mariánských Lázní, neboť tento vysokoprocentní oxid uhličitý se zde objevuje jako plyn vulkanického původu.

Můžeme tedy shrnout, že souhrnný termín „bioplyn“ přiřadila současná technická praxe výlučně pro plynný produkt anaerobní metanové fermentace organických látek, uváděné též pod pojmy anaerobní digesce, biometanizace, biogasifikace anebo vyhnívání (u čistírenských kalů). Názvem „bioplyn“ je obecně míněna plynná směs metanu a oxidu uhličitého.

2.1.1 Charakteristika bioplynu:

Princip vzniku bioplynu je ve všech výše zmíněných případech stejný. Ať už jde o zemní plyn, důlní plyn, kalový plyn, skládkový plyn, reaktorový plyn (bioplyn vytvořený v umělých podmínkách). Jeho fyzikální a chemické vlastnosti závisí na materiálových a procesních parametrech. Jak již bylo uvedeno, v ideálním případě by bioplyn obsahoval pouze dva majoritní plyny a to metan a oxid uhličitý. V praxi je však surový bioplyn tvořen příměsí dalších minoritních plynů, které mohou signalizovat přítomnost některých chemických prvků v materiálu nebo poruch anaerobní fermentace. (Kára a kol.(2007))

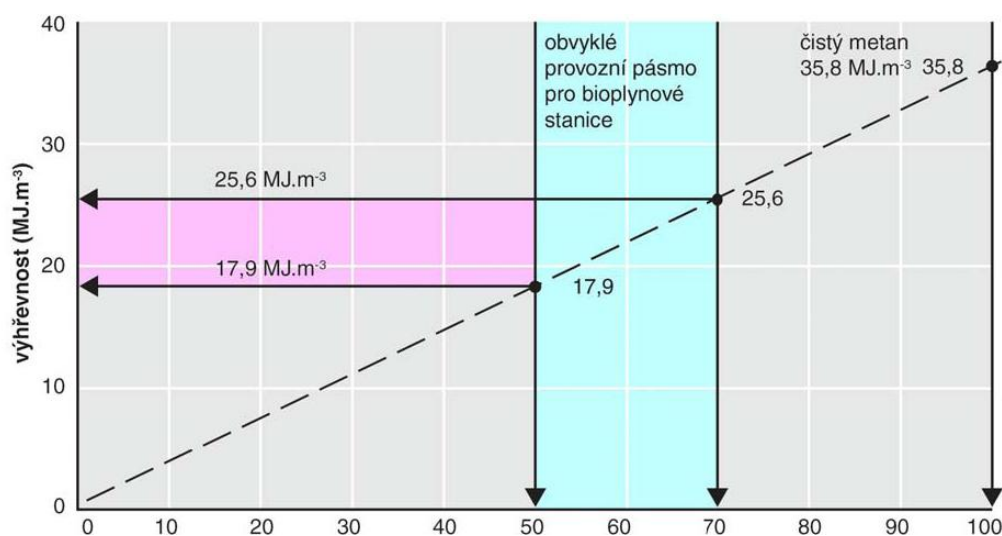
Vysoký obsah oxidu uhličitého znamená, že nebyly vytvořeny optimální podmínky pro anaerobní fermentaci. Přítomnost volného kyslíku s výjimkou počáteční fáze procesu může být zapříčiněna zavzdušněním pracovního prostoru. Tento stav je nežádoucí z hlediska tvorby výbušné směsi metanu se vzdušným kyslíkem. V bioplynu se mohou objevit stopy argonu, který je vzdušného původu, amoniaku a oxidu dusného. V případě komunálního odpadu se mohou v bioplynu ze skládky objevit stopy nežádoucích příměsí (například halogenuhlovodíků a jejich derivátů, atd.). Objeví-li se v bioplynu stopy vodíku, není to na závadu jeho energetické kvality, ale svědčí to o narušení rovnováhy mezi acidogenní a metanogenní fází, způsobené nadměrnou zátěží reaktoru surovým materiálem, nebo dochází k inhibičním účinkům potlačující rozvoj metanogenních organismů. Stopy oxidu uhelnatého mohou indikovat lokální vznik ložisek požáru při suché

anaerobní fermentaci. Tato situace se vyskytuje především na skládkách, nikoli v reaktorech. Velmi významným minoritním plynem je v některých případech sulfan (H_2S) pocházející zpravidla z biochemických procesů při rozkladu proteinů (bílkovin). Obsah sulfanu v bioplynu je velmi proměnlivý. Při zpracování exkrementů z chovu skotu je jeho obsah zanedbatelný, u exkrementů prasat a drůbeže je naopak velmi vysoký, což působí potíže při následném konečném využití bioplynu. (Kára a kol.(2007))

2.1.2 Vlastnosti bioplynu

Výhřevnost je dána, jak uvádí Murtinger Beranovský (2008), obsahem spalitelných plynů, tj. metanu a vodíku. Naproti tomu Kára a kol. (2007) udává, že výhřevnost bioplynu je dána obsahem metanu (Graf. 2.1) a ostatní minoritní plyny mají prakticky zanedbatelný energetický význam.

Graf.2.1: Výhřevnost bioplynu v závislosti na koncentraci metanu (Kára a kol.(2007))



2.2. Anaerobní fermentace

Bioplyn vzniká při tzv. anaerobní fermentaci, což je, jak uvádí Murtinger a Beranovský (2008), poměrně složitý biologický proces a účastní se při něm mnoho různých typů bakterií.

2.2.1 Průběh anaerobní fermentace

Jak uvádí Cenek a kol. (2001), Kára a kol (2007) a Murtinger a Bernovský (2008), můžeme proces rozdělit do čtyř základních částí.

Kára a kol. (2007) popisuje tyto čtyři procesy následovně:

1. Fáze – **Hydrolyza** – Začíná v době, kdy prostředí obsahuje vzdušný kyslík. Předpokladem pro její nastartování je mimo jiné dostatečný obsah vlhkosti nad 50 % hmotnostního podílu. Hydrolytické mikroorganismy ještě nevyžadují striktně bezkyslíkaté prostředí. Enzymatický rozklad mění polymery (polysacharidy, proteiny, lipidy, ...) na jednodušší organické látky (monomery).
2. Fáze – **Acidogeneze** – Zpracovávaný materiál může obsahovat ještě zbytky vzdušného kyslíku, v této fázi však dojde definitivně k vytvoření anaerobního prostředí. Zajistí to četné kmeny fakultativních anaerobních mikroorganismů, které se aktivují v obou prostředích. Vznik oxidu uhličitého, vodíku a kyseliny octové umožňuje metanogenním bakteriím tvorbu metanu. Kromě toho vznikají jednodušší organické látky (vyšší organické kyseliny, alkoholy).
3. Fáze – **Autogeneze** – Někdy je označována jako mezifáze. Acidogenní specializované kmeny bakterií transformují vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý.
4. Fáze – **Metanogeneze** – Metanogenní autotrofní bakterie rozkládají především kyselinu octovou na metan a oxid uhličitý, hydrogenotrofní bakterie produkují metan z vodíku a oxidu uhličitého. Určité kmeny metanogenních bakterií se chovají jako obojetné.

Jednotlivé fáze anaerobní digesce probíhají s odlišnou kinetickou rychlostí. Metanogenní fáze probíhá přibližně pětikrát pomaleji než předcházející tři fáze. Ve většině BPS však probíhají všechny čtyři fáze simultánně. Při dosažení stádia tzv. stabilizované metanogeneze jde vlastně o dlouhodobě udržovanou rovnováhu mezi navazujícími procesy, hlavně pak mezi procesy acidogenními a metanogenními. (Kára a kol. (2007))

2.2.2 Faktory ovlivňující anaerobní rozklad

Anaerobní rozklad organických látek je ovlivňován celou řadou faktorů, které mění životní prostředí mikroorganismů a mají zásadní vliv na průběh celého procesu. Jedná se zejména o tyto faktory:

- vlhkost prostředí – Metanové bakterie mohou pracovat a množit se pouze ve vlhkém prostředí (vlhkost minimálně 50 %).
- anaerobní prostředí – Metanové bakterie jsou striktně anaerobní.
- přítomnost světla – Světlo bakterie neničí, ale brzdí jejich množení.
- teplota prostředí – Tvorba metanu probíhá v širokém rozmezí teplot (4 – 90 °C). Pro udržení stability procesu je rovněž nutné zajistit konstantní teplotu.
- hodnota pH – Optimální pH pro růst metanogenních mikroorganismů je 6,5 - 7,5.
- přísun živin – Metanové bakterie potřebují pro svou buněčnou stavbu rozpustné dusíkaté sloučeniny, minerální látky a stopové prvky.
- velké kontaktní plochy – Organické látka nerozpustné ve vodě musejí být rozdrobeny tak, aby vznikaly velké dotykové plochy.
- přítomnost toxických a inhibujících látek – Za toxické nebo inhibující látky pokládáme ty látky, které nepříznivě ovlivňují biologický proces. Nejčastěji se setkáváme s inhibičním působením mastných kyselin a amoniaku.
- zatížení vyhnivacího prostoru – Udává, jaké maximální množství organické sušiny na m³ a den může být dodáváno do fermentoru, aby nedošlo k jeho přetížení.
- rovnoměrný přísun substrátu – Aby nedošlo k nadměrnému zatížení fermentoru, je třeba zajistit rovnoměrný přísun substrátu.
- odplynování substrátu – Není-li plyn z vyhnivací nádrže odváděn, může v nádrži dojít k velkému nárůstu tlaku plynu. Odplynování substrátu lze zajistit pravidelným mícháním.

Teplota ovlivňuje anaerobní digesci stejně jako všechny ostatní biochemické procesy – se zvyšující se teplotou vzrůstá rychlost všech probíhajících procesů.

Avšak změnou teploty, a tím i rychlosti probíhajících pochodů, dochází k porušení dynamické rovnováhy procesu. Pro stabilní průběh anaerobního rozkladu je tedy nutné udržovat konstantní teplotu. Běžně se vyskytují tři typické teplotní oblasti, které jednotlivým bakteriálním kmenům vyhovují:

- psychrofilní oblast – teploty pod 20 °C
- mezofilní oblast – teploty od 25 do 40 °C
- termofilní oblast – teploty nad 45 °C

(Mužík a Kára (2009))

2.2.3 Obecná charakteristika materiálů vhodných pro anaerobní fermentaci

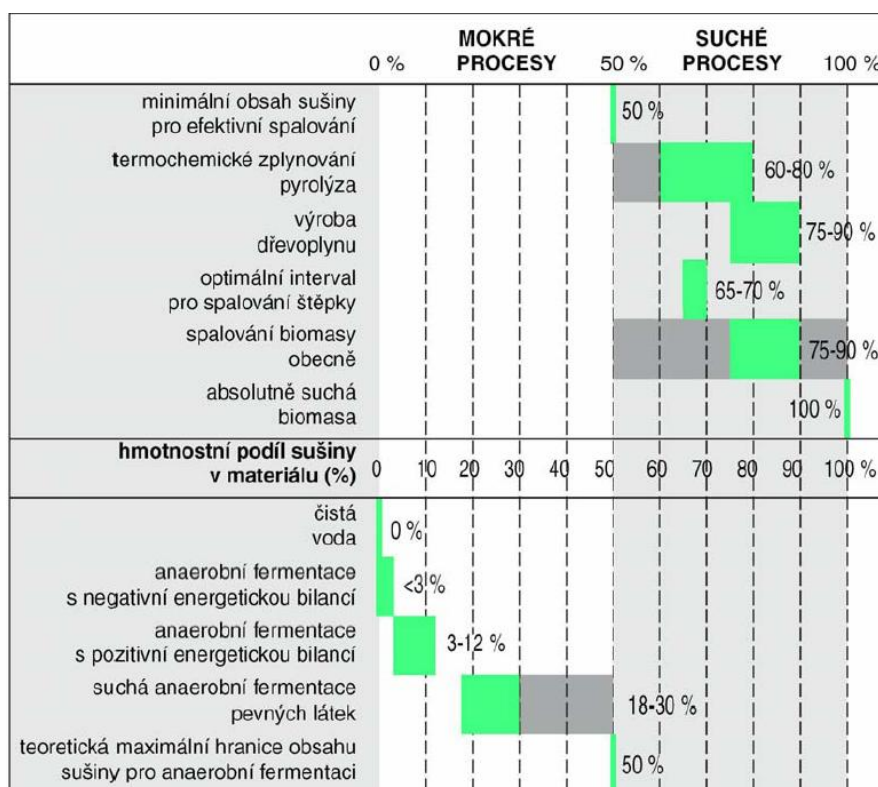
Kára a kol. (2007) uvádí obecnou charakteristiku materiálů vhodných pro anaerobní fermentaci takto:

- Nízký obsah anorganického podílu (popeloviny).
- Organický materiál s vysokým podílem biologicky rozložitelných látek.
- Optimální obsah sušiny pro zpracování pevných odpadů je 22 – 25 %, v případě tekutých odpadů 8 – 14 %. Tekuté **odpady s obsahem sušiny menší než 3 % jsou zpracovávány anaerobní fermentací s negativní energetickou bilancí** (proces je udržován na požadované provozní teplotě za předpokladu dodávky doplňkového tepla z externího zdroje). Pozitivní provozní bilance je dosahována zpravidla až při sušině tekutých odpadů vyšší než 3 – 5 %. Horní hranici optimálního obsahu sušiny tekutého odpadu tvoří vždy mez čerpatelnosti materiálu. Absolutní hranice obsahu sušiny, při které ještě probíhá anaerobní fermentace je 50 %. (Obr. 2.1) Heterogenní vlhkost v pevném organickém materiálu způsobuje, že v praktickém provozu je metanogeneze tlumena postupně a nikoli rázově. To je velmi významný faktor mající význam především při zpracování velkých objemů, materiálů jako například skládek komunálních odpadů.
- Významným faktorem ovlivňujícím metanogenní fermentaci je číslo pH materiálu. Za optimální hodnotu pH na vstupu do procesu se považuje interval blízký neutrální hodnotě $pH = 7 - 7,8$. V průběhu procesu se tento parametr

mění. Na začátku převažuje aktivita acidogenů a číslo pH může poklesnout na 4 – 6. Při hodnotách pH substrátu menších než 5 se mohou začít objevovat inhibiční účinky na některé kmeny metanogenů. Dojde-li však za příznivých podmínek k jejich rozvoji, zvýší svoji aktivitou číslo pH substrátu až na neutrální hodnotu pH = 7. Některé kmeny metanogenů jsou schopny se rozvíjet i v silně alkalickém prostředí (pH = 8 – 9). V praxi se optimální hodnota pH materiálu na vstupu do procesu upravuje homogenizací směsných materiálů nebo alkalickými přísadami.

- Vhodnost materiálu pro anaerobní fermentaci může být významně narušena nežádoucími příměsemi. Jedná se zpravidla o látky potlačující mikrobiální rozvoj (všechny druhy antibiotik používaných pro léčení nebo jako preventivní součást krmné dávky hospodářských zvířat). Do pracovního prostoru reaktoru bychom také neměli dávat ani materiály, **které jsou již v hnilobném rozkladu.**
- Vhodnost materiálu pro anaerobní fermentaci může být narušena jeho předchozím zpracováním nebo manipulací. Dlouhodobým skladováním materiálu, při kterém proběhne proces aerobní fermentace, nebo fyzikálně-mechanickými účinky na materiál, se může narušit následný proces anaerobního zpracování takového „studeného“ materiálu. (Kára a kol. (2007))
- Poměr C:N je důležitý pro dobrý průběh anaerobního procesu. Je-li je tento poměr vysoký, dochází k deficitu dusíku. Při nízkém poměru dochází k vysoké produkci amoniaku, který je při vyšších koncentracích toxický pro anaerobní bakterie, zejména metanogeny. Toxicky působí nedisociovaná forma amoniaku, jejíž koncentrace závisí především na pH, s vyšším pH silně vzrůstá. Optimální poměr C:N pro anaerobní fermentaci organické frakce tuhého odpadu se pohybuje okolo 25 až 30, vztaženo na biologicky rozložitelný uhlík, pro anaerobní fermentaci exkrementů hospodářských zvířat nebo jatečních a kafilerních odpadů se za optimální poměr C:N považuje 16 až 19. Za kritický se považuje poměr C:N 12. (Dohányos (2009))

Obr. 2.1 Materiály vhodné pro anaerobní zpracování (Kára a kol. (2007))



2.2.4 Vliv chemického složení substrátu na výtěžnost metanu

Biologická rozložitelnost, a tím i výtěžnost bioplynu, závisí na chemickém složení substrátu, na obsahu sacharidů, tuků, proteinů, na podílu celulózy, hemicelulóz a ligninu, eventuálně dalších inertních složek materiálu, a na poměru jednotlivých komponent. Vzhledem k tomu, že poměr těchto komponent v různých druzích suroviny je různý, odlišná je i jejich rozložitelnost a výtěžnost metanu.

Polysacharidy jsou součástí veškeré rostlinné biomasy, patří sem škrob, celulóza a hemicelulózy. Z polysacharidů je nejlépe rozložitelný škrob, který se poměrně snadno hydrolyzuje amylolytickými enzymy.

Celulóza je polymerem glukózy, v biotechnologickém procesu je relativně málo rozložitelná. Pro její hydrolyzu je nutná přítomnost celulolytických enzymů, které jsou produkovány hydrolytickými mikroorganismy a v přírodě jsou přítomny v zažívacím traktu přežvýkavců. Další skupinou polysacharidů jsou heteropolysacharidy - hemicelulózy, které tvoří rozvětvené řetězce s prostorovou

strukturou. Hemicelulózy podléhají snáze a rychleji enzymatické hydrolýze než celulóza.

Lignin Vedle biologicky rozložitelných sacharidů a polysacharidů obsahuje rostlinná biomasa i látky, jejichž biologická rozložitelnost je velmi nízká až nulová. Mezi tyto látky patří především lignin a též lignany a terpeny. Lignin je organickou součástí nejenom každé rostlinné biomasy, ale materiálů z ní pocházejících, jakou jsou například různé druhy kejdy nebo hnoje a je hlavní součástí biologicky nerozložitelné frakce organických látek v stabilizovaném zbytku po anaerobní fermentaci.

Lipidy Společnou charakteristikou lipidů je přítomnost mastných kyselin s dlouhým alifatickým řetězcem a malým počtem atomů kyslíku. Tuky mají nejvyšší výtěžnost metanu ze všech skupin substrátů. Podléhají relativně snadno enzymové hydrolýze. Problémem může být technické zvládnutí rozkladu tuků, které díky své hydrofobicitě mohou mít tendenci vyplouvat k hladině, oddělovat se z vodní fáze nebo zvyšovat tvorbu pěny.

Proteiny Proteiny patří mezi dobře biologicky rozložitelné látky a vykazují vysokou výtěžnost metanu. Proteiny jako jediné z výše uvedených substrátových skupin obsahují ve svých molekulách heteroatomy. Kromě uhlíku, vodíku a kyslíku obsahují také síru a hlavně dusík. Dusík při anaerobní fermentaci přechází v amoniak, který při vyšších koncentracích může způsobovat inhibici tvorby metanu.

V technologické praxi se většinou setkáváme s komplexním složením suroviny pro anaerobní fermentaci, v níž jsou zastoupeny v různém poměru (podle původu a zpracování suroviny) všechny výše uvedené skupiny substrátů. Jak již bylo uvedeno, ne všechny organické látky přítomné v surovině se v průběhu procesu rozloží, část jich zůstává jako tzv. nerozložitelný zbytek ve vyfermentovaném materiálu. Jaký podíl organických látek zůstane nerozložený, závisí i na technologických podmínkách procesu (teplota, doba zdržení, předúprava).

(Dohányos (2009))

2.2.5 Rozdělení anaerobní fermentace podle obsahu sušiny

Jako velice důležitý rozdělovací prvek je obsah sušiny, protože technologie pro suchou a mokrou fermentaci se zásadně liší. CZ BIOM se ve své publikaci pozastavuje nad tímto rozdělením a uvádí, že striktní rozdělení metod na mokrou a suchou fermentaci je z biologického hlediska zavádějící, neboť bakterie podílející se na fermentačním procesu potřebují pro své přežití tekuté médium. Také při definici obsahu sušiny zfermentovaného substrátu dochází stále znovu k nedorozumění, neboť často je používáno více substrátů s rozdílnými obsahy sušiny. Bakterie ve svém bezprostředním okolí v obou případech potřebují dostatek vody. Neexistuje žádná přesná definice hranice mezi mokrou a suchou fermentací, avšak v praxi už zdomácnělo, že až do obsahu sušiny ve fermentoru 12 – 15 % se hovoří o mokré fermentaci, neboť takový obsah fermentoru je ještě čerpatelný. Přestoupí-li obsah sušiny ve fermentoru 16 %, tak materiál už není zpravidla čerpatelný a proces označujeme jakožto suché zfermentování.

Mokrý fermentace

Je to v praxi daleko více využívaná metoda než fermentace suchá a to díky tomu, že mokrá fermentace je metoda starší a tudíž více zavedená a technicky propracovanější. Dále také hrají také roli investiční náklady, které jsou u stanice se suchou fermentací vyšší (Beck (2010)). Naproti tomu bohatší technologická výbava a příslušenství (např. míchadla, čerpadla, drtiče, separace, ...) zvyšuje provozní náklady (spotřeba elektřiny, servis a údržba) a četnost poruch. (www.bioplyn.cz)

Suchá fermentace

Základním principem suché fermentace je anaerobní rozklad biologicky rozložitelných materiálů (biomasa – cíleně pěstované zemědělské plodiny a produkty jejich zpracování, chlévská mrva, travní zeleň, BRO, ...) na bioplyn a jeho přeměna na elektrickou energii a teplo. Na konci procesu zůstává pevný zbytek (fermentát) a tekutý zbytek (perkolát), přičemž oba je možné aplikovat na zemědělské pozemky. (Karafiát a kol. (2010))

2.2.6 Rozdělení bioplynových technologií podle dávkování surového materiálu

Podle Káry a kol. (2007) lze tyto technologie rozdělit do tří kategorií:

Diskontinuální (s přerušovaným provozem, cyklické, dávkové...)

Doba jednoho pracovního cyklu odpovídá době zdržení ve fermentoru. Používá se zvláště při suché fermentaci tuhých organických materiálů. Způsob manipulace je náročný na obsluhu.

Semikontinuální

Doba mezi jednotlivými dávkami je kratší než doba zdržení materiálu ve fermentoru. Je to nejpoužívanější způsob plnění fermentorů při zpracování tekutých organických materiálů. Materiál se dávkuje 1x až 3x i vícekrát za den. Materiál vstupující semikontinuálně do fermentoru má malý vliv na změnu pracovních parametrů (teplota, homogenita). Technologický proces lze snadno automatizovat, tudíž není náročný na obsluhu.

Kontinuální

Používá se pro plnění fermentorů, které jsou určeny pro zpracování tekutých organických odpadů s velmi nízkým obsahem sušiny.

2.2.7 Fermentor

Fermentor je základní technologickou částí anaerobního procesu, zde se rozmnožují mikrobiální kultury. (Kára a kol. (2007)) Různá provedení fermentorů jsou, co se týká materiálů a způsobu stavby, často odvozována od zemědělských skladů kejdy a jsou přizpůsobena specifickým požadavkům bioplynové techniky. Množství substrátu a požadovaná doba zdržení určují objem fermentorů. V závislosti na substrátech, které jsou k dispozici, na zvoleném fermentačním postupu a na místních podmínkách mohou být fermentory různě provedeny. V každém případě musí splňovat některé základní předpoklady, musí:

- být plynotěsné a vodotěsné
- mít možnost účinného a regulovatelného vytápění
- být vybaveny tepelnou izolací

- disponovat možností promíchávání substrátu, aby se předešlo teplotnímu spádu, tvorbě plovoucích vrstev, spádu koncentrace živin v substrátech a špatnému odplynování substrátu a také aby se zajistila homogenizace substrátu
- být vybaven zařízením nebo mít možnosti k vynášení sedimentů
- být vybaven zařízením k odvádění získaného bioplynu
- mít možnosti ke zkušebnímu odběru vzorku z fermentoru

Vedle toho patří k vybavení fermentoru průzorová skla s čistícími zařízeními k vizuální kontrole fermentačního procesu a revizní šachty pro případné údržbářské i opravářské práce.

Vedle technických a stavebních požadavků jsou stanoveny dodatečné nároky i na používané stavební materiály. Mělo by být dbáno na to, aby používané materiály byly vhodné pro prostředí panující ve fermentoru. Jako obzvláště problematické se ukázala přechodová zóna od hladiny tekutiny k plynojemu a plynojem sám. Zde je třeba používat jen materiály, které jsou rezistentní vůči kyselinám a korozi. V případě zanedbání základních stanovených pravidel a minimálních požadavků hrozí závažné a především velice nákladné škody na fermentoru, případně poškození celé bioplynové stanice. (CZ Biom)

2.2.7.1 Technická provedení u mokré fermentace

Principiálně je rozlišujeme na horizontální a vertikální fermentory.

Horizontální fermentory mají cylindrický tvar a jsou omezeny s ohledem na svůj objem, neboť jsou často vyráběny předem před místem umístění. Horizontální fermentory jsou provozovány paralelně, aby bylo možno zpracovávat větší množství substrátu. Protože jsou tyto fermentory zpravidla mnohonásobně delší než je jejich výška, tak se automaticky nastavuje tzv. pístový tok. Substrát přitom pomalu putuje od vnášecí strany ke straně výnosu. Možnost nechtěně z fermentoru vynášet nevykvašený materiál je tímto zmenšena a může tím být zaručena doba pobytu pro veškerý materiál s větší jistotou.

Vertikální fermentory jsou převážně kruhové nádrže a jsou zhotoveny v místě realizace bioplynové stanice. (CZ BIOM)

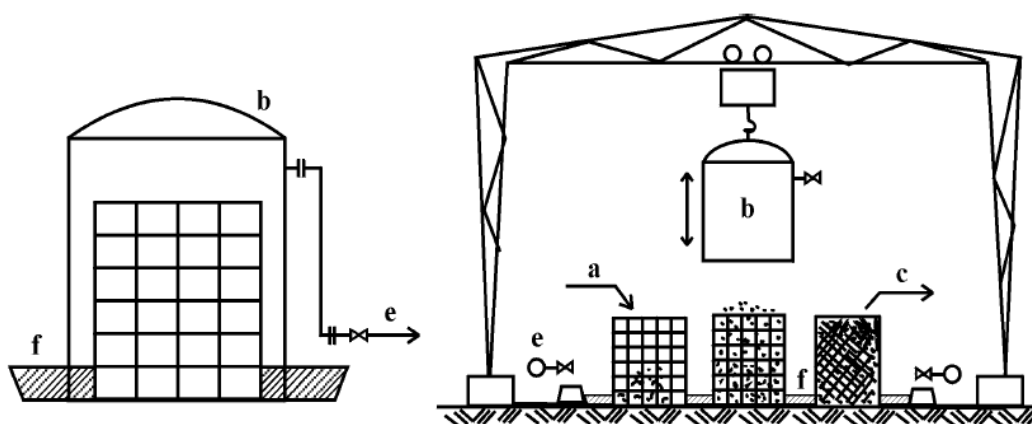
2.2.7.2 Technická provedení u suché fermentace

Pastorek a Kára (2003) uvádějí, že v zahraničí byly v poslední době odzkoušeny se střídavými úspěchy různé kontinuální i diskontinuální systémy na anaerobní suchou fermentaci materiálů s obsahem sušiny vyšším než 15 %. Jedná se například o kontinuální systémy DRANCO (Belgie), KOMPOGAS (Švýcarsko), ANACOM (Švýcarsko), VALORGA (Francie) atd. Mezi diskontinuální systémy se řadí fermentační jednotky z betonových van, foliových rukávců, kontejnerové fermentační jednotky, garážové fermentační jednotky a další.

Fermentační koš + krycí zvon

VÚZT Praha experimentálně ověřil tyto fermentační jednotky již v roce 1956 a poté i po roce 1984 na několika pracovištích pro zpracování chlévské mrvy a rostlinných zbytků. Tato zařízení byla speciálně vyvinuta pro fermentaci slamnaté mrvy, resp. stelivových materiálů. Reakce v těchto zařízeních probíhá pomaleji, neboť substrát je vyskládan do velkých drátěných košů, v nichž je po naplnění překryt plynotěsným zvonem a ponechán fermentaci. Zařízení tohoto typu nemají sice takové problémy jak naložit s tekutou složkou digestát, ale na druhou stranu je systém velice náročný na plochu a na čas (především na manipulaci s materiálem). Reaktory nelze prakticky vytápět, což zvláště v zimě vede ke zpomalení rozkladných procesů. (obr. 2.2)

Obr. 2.2 Systém „fermentační koš + krycí zvon“ (Klára a kol. (2007))



Kontejnerová metoda

V kontejnerovém postupu jsou mobilní zásuvné fermentory naplněny biomasou a vzduchotěsně uzavřeny. Mikroorganismy obsažené v očkovacím substrátu, jenž je proměšován spolu s čerstvým substrátem, ohřívají substrát v první fázi, kdy je do fermentoru přiváděn vzduch. Dále probíhá kompostovací proces spojený s uvolňováním tepla. Poté co je dosaženo provozní teploty, je vypnut přívod vzduchu. Po spotřebě zaneseného kyslíku se aktivují anaerobní mikroorganismy a přemění biomasu na bioplyn, jako u mokré fermentace. (CZ BIOM)

Fóliové – hadicové fermentory

Pro tuto metodu se používá známá metoda fóliového silážování (silážování do vaku). Také zde je užíván aerobní kompostovací proces pro první zahřátí substrátu. K dalšímu plynulému vnášení tepla mohou být hadice položeny na betonový panel, ve kterém je integrováno podlažní topení. Ke zmenšení tepelných ztrát může být fóliová hadice při zaplňování potažena tepelnou izolací. Bioplyn je jímán sběrným vedením, které je integrováno v hadici. (CZ BIOM)

Vanové – popř. tunelové fermentory

Tyto systémy umožňují zdánlivě kontinuální proces ve vanách, popř. v tunelech. Průběh postupu se téměř shoduje s hadicovým systémem, dá se ovšem lépe kontrolovat. (CZ BIOM)

Pístové fermentory

V oblasti odpadového hospodářství jsou už nějakou dobu používány pístové fermentory. Jsou konstruovány jakožto horizontální nebo vertikální a obsluhují se kontinuálně nebo semikontinuálně. Částečně integrované míchací vlny slouží lehčímu odplynování materiálu. V zemědělské výrobě bioplynu nehrají tyto postupy na základě vysokých technických nákladů kontinuální techniky, v této době, žádnou roli. (CZ BIOM)

Garážový systém

Biomasa je navedena do fermentoru kolovým nakladačem. Po naplnění fermentoru jsou uzavřena plynotěsná vrata. Biomasa je vyhřívána podlahovým topením a postřikem perkolátu, který současně obnovuje mikrobiální kulturu na povrchu biomasy. Do 12-20 hod. po navedení dojde k odstranění zbytkového kyslíku

a postupné stabilizaci celého anaerobního procesu. Vznikající bioplyn je odsáván do plynových vaků a dále odváděn do kogenerační jednotky. Proces je diskontinuální, obvyklá délka cyklu je 28 dnů. Pro kontinuitu procesu se doporučuje pracovat minimálně se čtyřmi fermentory. Na konci cyklu je biomasa vyvezena a část vyfermentovaného substrátu je nahrazena novou biomasou v tzv. „směsném navýšení“ (poměr mezi starou, částečně vyfermentovanou biomasou a čerstvou biomasou). Směsné navýšení je jedna z klíčových proměnných pro správné fungování procesu. Je to poměr mezi čerstvou biomasou a biomasou částečně vyfermentovanou, která obsahuje metanogenní bakterie. Pokud by se do fermentoru přidávala pouze čerstvá biomasa, proces by se u každého cyklu rozjížděl od nuly. Částečně vyfermentovaná biomasa slouží k naočkování čerstvé biomasy metanogenními bakteriemi. Převahu by měla mít biomasa částečně vyfermentovaná. Optimální směsné navýšení záleží především na zpracovávaném materiálu, jeho stabilitě (např. siláž způsobuje při vyšších poměrech okyselování fermentoru a následné poruchy procesu) a předpokládané délce cyklu. Proces je až na manipulaci s biomasou (Obr. 2.3) plně automatizován. (Pospíšil a Křivánek)

Obr. 2.3 Manipulace s biomasou (Pospíšil a Křivánek)



2.2.7.3 Porovnání suché (garážový systém) a mokré fermentace

Autoři při porovnání považují suchou fermentaci pouze jako garážový systém, ale rozdíly oproti mokré fermentaci jsou téměř shodné i s jinými systémy.

Novák uvádí, že hlavním rozdílem je druh zpracovávané biomasy. Suchá zpracovává sypkou biomasu a manipulace probíhá pomocí nakladačů. Mokrá zpracovává tekutou biomasu a manipulace probíhá pomocí čerpadel. Další rozdíly uvádí tabulka (Tab. 2.1).

Tab. 2.1 Porovnání suché a mokré fermentace (Novák)

	Mokrá fermentace	Suchá fermentace
Sušina	6 – 10 %	20 – 50 %
Plnění	čerpadly	nakladačem
Dávkování biomasy	kontinuální	diskontinuální
Typ fermentoru	válcovité	garážové
Míchání během procesu	ano	ne
Počet zařízení ve světě	tisíce	Desítky převážně v NSR
Počet zařízení v ČR	desítky	dvě

Společné znaky:

Anaerobní podmínky procesu, bioplyn je jímán do plynových vaků a následně spalován většinou v kogenerační jednotce, biomasu je ve fermentoru třeba zahřát. (Novák)

Výhody suché fermentace

- technologie je vhodná pro biomasu s vyšším obsahem sušiny (25 % a více)
- nižší spotřeba elektrické energie – biomasa se ve fermentoru nemíchá ani do něj nečerpá, vlastní spotřeba bioplynové stanice se pohybuje mezi 2 - 4 %
- jednoduché rozšíření stanice
- biomasu není nutné před vstupem do fermentoru ředit, rozmělnovat, třídit nebo jinak upravovat

- je bez problému možné zpracovávat materiál s delší řezankou (tráva, travní senáž, slamnatá mrva)
- na konci procesu není nutné fugát nijak odstředovat, zůstává na jedné straně kapalná složka a na straně druhé pevné složka
- v případě navedení nevhodného materiálu (např. biomasa s přísadami antibiotik, problémové příměsi, které se mohou objevit v některé ze složek biologicky rozložitelného odpadu ...) nehrozí kolaps celé stanice. Vyveze se pouze jeden postižený fermentor a následně naplní čerstvou biomasou a biomasou částečně vyfermentovanou z jiného fermentoru. Chod bioplynové stanice jako celku není ohrožen
- nižší poruchovost stanice – nemá míchací zařízení, biomasa se naváží dovnitř kolovým nakladačem, nikoliv čerpadly
- jednodušší na obsluhu – plnění fermentoru probíhá pouze jednou až dvakrát do týdne

Nedostatky suché fermentace

- minimální počet aplikací v ČR a relativně malý počet těchto stanic v zahraničí, s čímž souvisí malé povědomí veřejnosti o této technologii
- o 10 - 15 % vyšší investiční náklady na výstavbu bioplynové stanice
- nemožnost zpracovávat větší množství tekutých materiálů – kejda, kaly z ČOV, odpady z kuchyní ...
- technologie není příliš vhodná pro materiály vyžadující hygienizaci (kuchyňské odpady, jateční odpady)
- nerovnoměrná produkce bioplynu, nutné postavit min. 4 fermentory
- náročnější řízení procesu. Ten je možné efektivně řídit pouze stanovením vhodné struktury biomasy na začátku každého cyklu (struktura, směsné navýšení, předpokládaná délka zdržení). Možnosti zasahování do procesu v průběhu cyklu jsou pak již velmi omezené (prostřednictvím perkolátu). (Pospíšil a Křivánek)

2.3 Travní hmota

2.3.1 Možnosti produkce čerstvé travní hmoty

Extenzivně využívané trávníky - Vzniká ve velkém množství při údržbě krajnic, břehů, svahů liniových staveb (železnice, dálnice) a luk. Hmota se vyznačuje zpravidla větší délkou rostlinných segmentů se širším zastoupením travních a nečistka i ostatních druhů rostlin. Charakteristická je nižší vlhkost a různý stupeň zdřevnatění rostlinných pletiv. Právě tato skutečnost je příčinou poměrně širokého poměru uhlíku k dusíku – C : N (50 a více : 1). Množství dusíku obvykle nepřesahuje 1,5 % sušiny. Produkce vzniklé hmoty bývá často velmi rozdílná (v průměru přibližně deset tun z hektaru) a její objemová hmotnost se pohybuje v rozmezí 100 – 150 (200) kg . m⁻³. (Burg (2007))

Intenzivně využívané trávníky - Jedná se o údržbu parkových a parterových travních porostů (sportoviště, hřbitovy, plochy veřejné a sídlištní zeleně). Množství hmoty připadající na jednu seč bývá zpravidla nižší, avšak celkový roční objem produkce bývá s ohledem na vyšší četnost seče srovnatelný s předchozí kategorií. Nejčastěji bývá tvořena krátkými segmenty o délce několika milimetrů. Objemová hmotnost se pohybuje kolem 200 – 300 kg/m³, což představuje množství čtyř až šesti tun na hektar. Travní hmota se vyznačuje vysokou vlhkostí 50 až 70 %. Poměr C : N se pohybuje na úrovni 30 (40) : 1. Uváděné vlastnosti ji proto předurčují k rychlému sesedání a za vyšších teplot k zapaření doprovázenému vznikem hydrolyzních procesů. (Burg (2007))

Trvalé travní porosty (TTP) – Vysoké výnosy bioplynu dosahují zejména 3 až 4 krát sečené porosty. Použití trávy z dvakrát sečných luk může vést k relativně dobrým výnosům v tom případě, že tráva pochází z dobrých stanovišť s příznivými klimatickými podmínkami a vhodným způsobem hnojení. TTP zaujímají v České republice přes dvacet procent výměry zemědělské půdy. Je to zhruba 970 tis. hektarů. Z toho je asi 800 tis. hektarů využívaných pro produkci píce. Toto číslo už napovídá, že jde o významnou součást agroekosystému. Úloha TTP však není pouze v produkci objemných krmiv pro přežvýkavce, v krajině nabývají na důležitosti i jejich mimoprodukční funkce. Za posledních 10 let došlo totiž k výraznému útlumu stavu skotu. Stav skotu celkem poklesl z 3,5 milionu kusů v roce 1990 na 1,3 milionu v roce 2010, tj. na 37 % (ČSÚ). Rychlý a vysoký pokles způsobil problémy se

zajištěním optimálního využití zemědělské půdy, zvláště pak trvalých travních porostů. (Kollárová a kol. (2008))

Biomasu lze využít jak z lučních porostů, tak přebytečnou hmotu z pastevních areálů (posečené nedopasky, sklizená nadbytečná hmota z nerovnoměrného nárůstu píče v jarním období). Trvalé travní porosty představují ve středoevropských podmínkách významný krajinný prvek i prvek soustavy hospodaření na zemědělské půdě. Toto je důležité si uvědomit zejména v souvislosti se značným poklesem stavu skotu a nutností trvalé travní porosty pravidelně využívat a obhospodařovat. Bez správného managementu luk a pastvin dochází k negativním změnám v botanickém složení a jsou ohroženy jejich významné mimoprodukční funkce (protierozní, vodohospodářská, půdotvorná, krajinotvorná, estetická ad.). Cílené obhospodařování travních porostů je proto nutné k zachování celkové diverzity a k udržení jejich nezastupitelných funkcí v krajině. Využití biomasy pro účely produkce bioplynu tak může pozitivně přispět k udržení kvalitního stavu trvalých travních porostů v naší krajině.

Množství získaného bioplynu z travních porostů je závislé především na výnosu hmoty, který je ovlivněn zejména intenzitou hnojení a podmínkami stanoviště. (Fuksa (2009))

2.3.2 Vlastnosti čerstvé travní hmoty:

Vysoký podíl sacharidů v travní hmotě má za následek obsah metanu maximálně 55 %. U relativně vysoce kvalitní trávy se může při výnosu sušiny 1,25 t.ha⁻¹ dosáhnout produkce 5000 m³.ha⁻¹. To odpovídá ekvivalentu topného oleje přibližně 5000 l (Michal (2003))

Ve výše uvedeném textu Kára a kol. (2007) uvádí optimální parametry materiálu vhodného pro anaerobní fermentaci. Naproti tomu v materiálu od autorů Mužíka Káray a Abrhama se hodnoty nepatrně liší (Tab. 2.2). Vybrané hodnoty čerstvě posekané trávy jsou uvedeny v tabulce (Tab. 2.3).

Tab. 2.2: Základní parametry materiálů vhodných k anaerobní fermentaci (Mužík, Kára a Abrham)

Organické látky [% suš.]	Obsah sušiny [%]	Poměr C:N	pH
Nad 60	7– 25	20 - 30 : 1	6,5 – 7,5

Tab. 2.3 Vybrané fyzikální a chemické vlastnosti travní hmoty (Mužík, Kára a Abrham)

Organické látky [% suš.]	Obsah sušiny [%]	Poměr C:N	pH
80 - 92	15 - 25	12 - 25	6,0 – 6,5

Velkou roli hraje typ produkční plochy. Například výnos z traviny u travní siláže z intenzivně využívaných travních ploch byl 0,39 m³ metanu na kg organické sušiny a tím byl výrazně vyšší než siláž z extenzivních travních ploch (0,22 m³ metanu na kg sušiny). Naopak tráva z chráněného území vyprodukovala pouze 0,08 m³ metanu na kg sušiny. Rozdíl ve vyprodukovaném množství metanu lze zdůvodnit různým podílem ligninu v rostlinách.

Obsah ligninu v rostlinách se zvyšuje s pokračujícím vegetačním stádiem, takže stupeň odbourávání a tím i vhodnost organické složky pro produkci bioplynu klesá. (Michal (2003)) Lignin je chemicky těžko definovatelná látka. Předpokládá se, že je to vysoce prokřížený větvený polymer vznikající dehydratací a polykondenzací. Je definován jako statistický polymer hydroxyfenylpropanových jednotek o relativní molekulové hmotnosti 10 000. Právě ligninová matrice stéricky brání celulolytickým extracelulárním enzymům v přístupu k celulózním vláknům a tudíž výrazně snižuje nejen rychlost, ale i celkový výtěžek hydrolyzy. (Zábranská (2010)). Neboť tak jako ve zvířecím trávicím traktu je lignin i pro zařízení na výrobu bioplynu nestravitelný. (Michal (2003))

2.4. Vliv předúpravy suroviny na výtěžnost metanu:

2.4.1 Obecná charakteristika předúpravy

Ke zvýšení biologické rozložitelnosti různých druhů surovin pro anaerobní stabilizaci se začínají stále více uplatňovat různé metody předúpravy zpracovávaného materiálu. Cílem předúpravy je:

- prohloubení biologické rozložitelnosti
- zvýšení produkce metanu (bioplynu)
- hygienizace stabilizovaného materiálu
- minimalizace množství stabilizovaného materiálu (zejména u čistírenských kalů)

Všechny metody zvyšování biochemické rozložitelnosti zpracovávaných materiálů jsou založeny na „zpřístupnění“ k enzymovému rozkladu. Zmenšením velikosti částic mechanickou nebo jinou dezintegrací dochází k podstatnému zvětšení povrchu a tím i k větší dostupnosti enzymovému rozkladu.

Vzhledem k tomu, že většina zpracovávaných organických látek je v partikulární formě, nejdůležitějším procesem rozkladu je jejich převedení do roztoku „hydrolýza“. Tento proces (biochemická hydrolýza) probíhá v důsledku přítomnosti mikroorganismů produkujících hydrolytické enzymy samovolně, a jeho rychlost může být podstatně zvýšena různými způsoby dezintegrace a fyzikální nebo chemické předúpravy zpracovávaného materiálu.

Pod pojem „dezintegrace“ se zahrnují všechny procesy vedoucí k rozbití stávající fyzikální nebo chemické struktury zpracovávaného materiálu. Mezi ně patří například mechanické rozbití částic nebo vloček materiálu na částice menší velikosti, v přítomnosti živých nebo odumřelých mikroorganismů dochází částečnému rozbití jejich těl – buněk, přičemž obsah buněk – buněčný lyzát – se uvolní do roztoku a díky enzymům v něm přítomným stimuluje rozklad dalších látek.

Podobně působí ostatní fyzikální nebo chemické metody „dezintegrace“. U chemických nebo termických metod však dochází k hlubšímu narušení struktury materiálů. Nejčastějším procesem je chemická nebo termická hydrolýza, při níž se

vysokomolekulární látky přeměňují na ve vodě rozpustné nízkomolekulární sloučeniny, které jsou již snadno dostupné enzymovému rozkladu. (Dohányos)

2.4.2 Metody předúpravy dle Zábranské (2010)

Mechanické metody

Sem patří různé způsoby dezintegrace tuhých složek substrátu – mletí, drcení apod. Zmenšením velikosti částic dochází ke zvětšení celkového povrchu a ke zlepšení přístupnosti organických látek v substrátu enzymatickému rozkladu.

Chemické metody

Mezi chemické metody patří například působení alkálií, kyselin, nebo oxidačních činidel (např. ozon), které vede k destrukci složitých organických látek – hydrolýze. Přídavkem chemikálií (např. H_2SO_4) se ale do systému mohou vnášet nežádoucí složky (síra).

Fyzikální metody

Patří mezi ně například termická hydrolýza, ionizující záření, působení ultrazvuku. Dochází k destrukci složitých organických látek.

Termická předúprava

Ta je požadovaná u některých materiálů legislativou. Může to být buď pasterizace při 70 °C nebo hygienizace při 130 °C podle druhu suroviny, obě metody vedle hygienizačního efektu fungují jako termická hydrolýza a zvyšují výtěžnost bioplynu.

Biotechnologické metody

Enzymová nebo mikrobiální předúprava s použitím čistých komerčně vyráběných enzymů – např. celuláz, přímé použití mikroorganismů s vysokou celulázovou aktivitou - bacherové kultury, anaerobní houby.

Všechny tyto technologie jsou ekonomicky a technicky náročné, byly vyvinuty pro zpracování fytomasy na jiné produkty (high value products) a pro BPS se v provozním měřítku zatím nepoužívají. Většinou vyžadují vnos chemikálií a energie a v případě chemických nebo i termických metod předúpravy se často tvoří látky s toxickými účinky na anaerobní biomasu.

Kromě mechanické dezintegrace a termické hydrolýzy, které se již v provozu sporadicky používají, jsou nejnadějnější biotechnologické metody zvýšení rozložitelnosti. Používání čistých enzymů (celuláz) je již komerční záležitostí, avšak je zde ještě mnoho nedořešených problémů. Výrobky různých producentů reagují různým způsobem, neexistuje jednoznačná metodika jejich aplikace, která by zaručovala výrobcem deklarované výkonnosti. Zatím nejsou prozkoumány závislosti funkce enzymových přípravků různých výrobců na změny technologických podmínek anaerobní fermentace. Negativním faktorem je také vysoká cena enzymových přípravků a nutnost pravidelného dávkování do reaktoru.

2.4.3 Netradiční možnost zvýšení výtěžnosti bioplynu

Jednou z možností zvýšení rozložitelnosti problematické složky rostlinné biomasy - lignocelulózových komplexů - je biotechnologická metoda aplikace mikroorganismů se zvýšenou celulázovou aktivitou - anaerobních hub - přímo do anaerobního fermentoru. Zde je nutné nastavit takové podmínky, aby se mohly aktivně projevit ve směsi s ostatními mikroorganismy fermentace.

Anaerobní houby osidlují zažívací trakt býložravců, zejména přežvýkavců, a významným způsobem ovlivňují bachorový metabolismus. Tyto houby disponují celou řadou enzymů potřebných pro rozklad strukturních polysacharidů rostlinného krmiva. Produkují komplex enzymů pro štěpení celulózy (endoglukanázu, exoglukanázu a beta-glukosidázu) a hemicelulózy (xylanázu, xylosidázu, manázu, licheninázu a různé typy esteráz). Tyto hydrolázy umožňují houbám proniknout hluboko do rostlinného pletiva, odhalit fermentační substráty nedostupné povrchově působícím bakteriím a kolonizovat a degradovat i vysoce odolná pletiva. Anaerobní houby, jako jediné houby vůbec, mají hydrolytické enzymy organizovány v organelle zvané celulozom, která zajišťuje těmto houbám prioritní postavení mezi všemi celulozolytickými mikroorganismy.

Komplexní působení celuláz a hemiceluláz navázaných v těchto „extracelulárních organelách“ je zodpovědné za mimořádnou degradační účinnost anaerobních hub, která převyšuje i komerčně užívané enzymatické preparáty vyráběné z aerobních hub rodu *Trichoderma* či *Aspergillus*.

Anaerobní houby potřebují pro svou životní aktivitu teplotu 35 až 40 °C, pH mírně alkalické a potřebují odstraňovat produkty své činnosti (vodík, CO₂, mastné kyseliny aj). **To předurčuje jejich symbiózu zejména s metanogenními mikroorganismy ve fermentorech bioplynových stanic**, pro něž je to vítaný substrát.

Základním principem tohoto řešení je, že anaerobní houby svými enzymy rozruší strukturu rostlinné biomasy a tím uvolní další substráty pro anaerobní bakterie, které by byly pro ně jinak nedostupné, navíc produkty jejich činnosti jsou přímé metanogenní prekursory. To povede k celkovému zvýšení rozložitelnosti rostlinných materiálů a tím i ke zvýšení celkové produkce bioplynu. Zvýšení rychlosti rozkladu biomasy umožní také zkrátit dobu zdržení ve fermentoru a zvýšit celkovou výkonnost fermentoru. (Zábranská (2010))

2.4.4 Vliv dezintegrace travní hmoty na produkci bioplynu

Gerndtová a Andert (2009) uvádějí, že vliv dezintegrace rostlinné biomasy přináší výhodnější náběh procesu a rovněž vyšší produkci bioplynu, oproti materiálu neupravenému. Toto platí pro čerstvou zelenou rostlinnou hmotu. U rostlin sklizených ve fázi kvetení, u kterých se snižuje obsah živin a vody v pletivech, nemá úprava příliš velký význam.

2.5 Možnosti využití produktů anaerobní fermentace

2.5.1 Využití bioplynu

Úprava bioplynu

Přímé užívání získaného surového plynu je kvůli různým pro bioplyn specifickým látkám, jako např. sulfan, zpravidla nevhodné. Z toho důvodu je čištěn. (CZ BIOM)

Bioplyn je nasycený vodní parou a obsahuje vedle metanu, oxidu uhličitého a ostatních plynů také stopy sulfanu, který ve spojení s vodní parou obsaženou v bioplynu vytváří kyselinu sírovou, která způsobuje korozi nejen na motorech, ale

také na plynovodech, na vedení odpadních plynů atd. z tohoto důvodu bývá u zemědělských bioplynových stanic prováděno odsiřování a sušení získaného bioplynu.

Možnosti odsiřování:

- Biologické odsiřování v biofermentoru
- Biologické odsiřování mimo plynojem
- Chemické odsiřování v biofermentoru
- Chemické odsiřování mimo biofermentor

(CZ BIOM)

Využití Bioplynu k energetickým účelům

Spalování v kotlích

Kára a kol. (2007) uvádí, že prakticky všichni výrobci hořáků nabízejí modifikace určené na spalování bioplynu. Běžné typy kotlů žádné další úpravy nepotřebují. Pokud bioplyn obsahuje vysoký obsah sirnatých sloučenin, především sulfan, je třeba je odstranit nebo provádět častější kontrolu a čištění teplosměnných ploch kotle a komínů. Dále uvádějí, že z experimentů provedených na radiačním kotli se ukázal surový bioplyn jako nevhodný zdroj energie s ohledem na nežádoucí chemické reakce mezi některými složkami bioplynu a speciální keramickou výplní radiačních kotlů. Tento problém by se pravděpodobně podařilo odstranit čištěním bioplynu, což však technologii znevýhodňuje ekonomicky i náročnějším provozem z hlediska obsluhy.

Kogenerace

V současnosti nejrozšířenějším způsobem využití bioplynu je kogenerace. Kogenerační jednotky využívají bioplyn na kombinovanou výrobu elektrické energie (cca 35 % celkové energie) a tepla s vysokou účinností až 90 %. Spalovací motor na bioplyn pohání generátor elektrické energie a zároveň se využívá teplo z chladícího média motoru, popř. tepla ze spalin. Část tepla se využívá k vytápění bioreaktoru. (Mužík a Slejška (2003))

Na výrobu 1 kWh elektrické energie (kWh_e) je potřeba spálit v kogenerační jednotce cca 0,6 - 0,7 m^3 bioplynu s obsahem kolem 60 % metanu. Na výrobu 1 kWh_e a 1,27 kWh_t tedy bude potřeba cca 5 - 7 kg odpadní biomasy, 5 - 15 kg

komunálních odpadů nebo 4 - 7 kg tekutých komunálních odpadů. (Mužik a Kára (2009))

Kogenerační jednotky spalující bioplyn nebo důlní plyn mají od jednotek, které spalují zemní plyn, svá určitá specifika, která jsou dána složením plynu (především podílem CH_4 v palivu) a také množstvím plynu za hodinu, jenž jsme schopni pro spalování zajistit.

Hranice únosnosti pro spalování bioplynu je obvykle 40 % podíl CH_4 a 60 % podíl CO_2 . Při spalování důlního plynu hranice podílu metanu nesmí potom klesnout pod 25 %. Důvodem je, že při snižování obsahu metanu ve směsi se snižuje rychlost laminárního plamene a nastávají problémy se zhášením motoru během provozu, což je nežádoucí jev, protože se tím snižuje i účinnost a životnost spalovacího motoru. Další kritické faktory při provozu plynového spalovacího motoru jsou:

1. teplota plynu
2. tlak plynu
3. výkyvy tlaku
4. vlhkost plynu
5. spád potrubí

Teplota plynu před vstupem do kogenerační jednotky by neměla být vyšší než $40\text{ }^\circ\text{C}$. Je-li teplota vyšší, dochází k nadměrnému teplotnímu namáhání armatur a řídicích jednotek. To vede nejčastěji k poškození membrán a tím k jejím netěsnostem. **Tlak plynu** by se měl pohybovat v rozmezí cca 0,9 – 2 kPa a jeho výkyvy by neměly překročit hodnotu $1\text{ kPa}\cdot\text{s}^{-1}$. Výkyvy tlaku plynu jsou problematické především u důlního plynu. Pokud **relativní vlhkost** plynu dosahuje více jak 80 %, dochází k tvorbě vodních zátek. S tím souvisí i spád potrubí, který se musí s ohledem na kondenzaci plynu volit co nejmenší, aby se zamezilo vodním zátkám, které se tvoří v prohlubních.

Je nutné ale podotknout, že hodnoty kritických faktorů se liší podle použitých materiálů a konstrukčního uspořádání, a proto každý výrobce kogeneračních jednotek tyto kritické hodnoty uvádí trochu jiné. (Trávníček a Karafiát (2009))

Využití Stirlingových motorů

Stirlingův motor je druhem tepelného motoru. Zde píst není uváděn do pohybu expanzí topných plynů, nýbrž roztahováním uzavřeného plynu, který se následkem přívodu energie (příp. přívodu tepla z vnějšího zdroje energie) roztahuje.

Vzhledem k tomu, že bioplyn není spalován ve vnitřním prostředí motoru (ve válcích), vykazuje malé nároky na kvalitu bioplynu a mohou být používány také plyny s malým množstvím metanu.

Stirlingovy motory poháněné zemním plynem jsou na trhu k dispozici ve velmi malých výkonnostních třídách. Aby bylo možno nasadit Stirlingovy motory do bioplynové technologie a byly konkurenceschopné klasické kogeneraci, je zapotřebí ještě dalšího vývoje. (CZ BIOM)

Trigenerace

Trigenerace je výhodná zejména z pohledu provozu kogenerační jednotky, protože umožňuje využít teplo i v létě, mimo topnou sezónu, a tím dosáhnout prodloužení ročního chodu jednotky. Právě snížené možnosti využití tepla z kogenerační jednotky v letních měsících vedou často k nasazení menších jednotek, než by bylo jinak vhodné. Pokud tedy dovedeme přeměnit teplo na chlad, nic nestojí v cestě tomu, aby kogenerační jednotka mohla naplno pracovat i přes léto. Vyrobený chlad může být využit všude tam, kde je zapotřebí klimatizace – v bankách, hotelech, obchodních a administrativních střediscích, nemocnicích, sportovních halách apod. Klimatizační zařízení může být v zásadě dvojího druhu:

- kompresorové – pohon kompresoru zajišťuje elektromotor
- absorpční – pohon zajišťuje pára, plyn, teplo z teplé vody

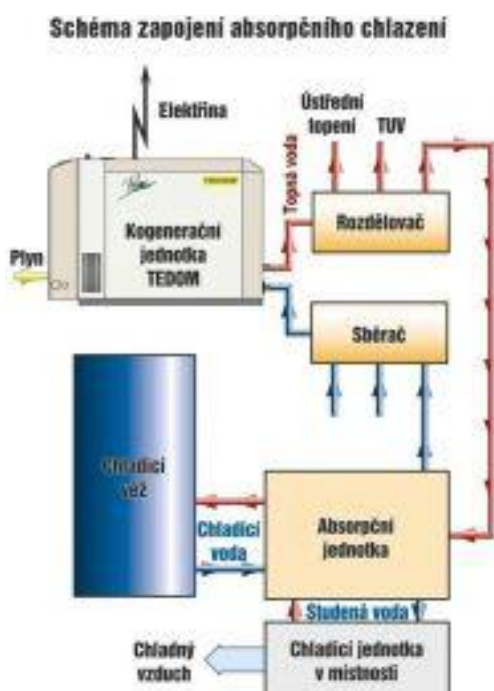
Předností absorpčního chlazení (kromě již uvedené možnosti spojení s kogenerační jednotkou) ve srovnání s chlazením kompresorovým je to, že si vystačí s méně ušlechtilou, a tedy i levnější vstupní energií tepelnou, oproti dražší vstupní energii elektrické u chlazení kompresorového. Absorpční chlazení je také tiché, jednoduché a spolehlivé. Nevýhodami jsou především vyšší investiční náklady oproti kompresorovému chlazení, větší rozměry a větší hmotnost.

Základním principem sorpčních oběhů je nahrazení komprese tepelným pochodem, ve kterém se chladivo za nízkého tlaku pohlcuje vhodnou látkou

(absorbentem), potom se dopravuje do dalšího výměníku, který pracuje za vyššího tlaku a kde se chladivo přívodem tepla v roztoku varem znovu uvolňuje (vypuzuje). Výsledkem je chladivo s vyšším tlakem, který odpovídá podmínkám kondenzace. Děj v kondenzátoru a výparníku je podobný jako při parním oběhu. (TEDOM)

Schematické znázornění trigenerace je na obrázku 2.4.

Obr. 2.4 Schéma trigenerace (TEDOM)



Pohon mobilních energetických prostředků

Pro pohon mobilních energetických prostředků je nejprve nutno bioplyn upravit. Úprava spočívá v čištění a oddělení CO_2 od metanu. K bioplynové stanici je zapotřebí instalovat plnicí stanici CNG. Systém je ale velmi investičně náročný a hodí se od kapacit nad $150 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ surového bioplynu. (Kára a Kol (2007))

Plnění bioplynu do plynovodní sítě

Tato možnost opět požaduje upravit bioplyn na kvalitu zemního plynu. Tato metoda spočívá v možnosti jeho vyskladnění do stávající plynovodní sítě a následná distribuce až k místům lepšího využití, např. k vysoce účinným polygeneračním zařízením či plnicím stanicím na CNG. (Čermáková (2009))

Úprava bioplynu zvýšením podílu metanu

Sladký (2009) uvádí následující způsoby úpravy bioplynu, které se provádějí ve Švédsku, kde mají s úpravou velké zkušenosti. Princip spočívá v oddělování oxidu uhličitého.

Tlaková vodní vypírka

Tato metoda spočívá v tom, že se molekuly CO_2 váží na molekuly vody. V reagenční tlakové komoře s pracovním tlakem 0,8 až 1 MPa a teplotou 20 – 25 °C postupují obě média proti sobě. Vlivem navozeného tlaku se různě mění parciální tlak jednotlivých plynů a CO_2 se zachycuje ve vodě. Pro dosažení co nejvyššího obsahu metanu v plynu je tato technologie dvoustupňová. Voda však obsahuje kromě CO_2 i 4 až 10 % CH_4 . Po poklesu tlaku se zbytek metanu uvolňuje a ztráty metanu jsou minimální.

Do systému s uzavřeným oběhem čerstvé vody se zařazuje ještě jeden stupeň, desorpční kolona, ve které se po celkovém poklesu tlaku uvolňuje i všechen zachycený CO_2 a vodu je možno znovu použít. Běžně se v rámci čistírny odpadních vod desorpční kolona nevyužívá a k jímání CO_2 se používá vyčištěná voda z čistírny, která se i se zachyceným CO_2 vypouští do vodoteče. Úprava bioplynu je tak levnější. (Sladký (2009))

Změny tlaku

Druhou nejčastější metodou odstraňování CO_2 z bioplynu je metoda střídání tlaků (PSA – Pressure Swing Adsorption). Při tom se surový bioplyn musí nutně nejprve odsířit a potom se v adsorpční koloně stlačí na 800 – 1000 kPa. CO_2 se v koloně pod tímto tlakem váže na molekuly aktivního uhlí nebo na adsorpční „síta“ vyrobená na bázi aktivního uhlí. Jakmile je adsorpční materiál v jedné komoře nasycen, přesouvá se operace do kolony následující při dodržení pracovního tlaku. V první komoře se po uvolnění tlaku uvolňuje z adsorpčního materiálu CO_2 a dochází k potřebné regeneraci. Pro zajištění plynulého provozu a dostatku k regeneraci potřebného času se zpravidla v úpravně používají čtyři kolony. (Sladký (2009))

Nízkotlaká absorpce

Podobně, jako je tomu u metody mokré vypírky, postupují při této metodě (LP Coaab-System, Low Pressure CO₂ Absorption) v absorpční koloně proti sobě absorpční materiál a surový bioplyn. Zde se však jedná, na rozdíl od první metody fyzikálního vázání CO₂ na vodu v propírce, o čistě chemickou reakci. Absorpční kapalinou je zde speciální dusíkatá sloučenina s obchodním názvem „COAAB“. Skoro čistý metan odchází z kolony nahoře, musí pak být poněkud stlačen, zbaven vody (vysušen) a většinou odorizován. Kapalina COAAB se pak regeneruje zahřátím. Získaný, velmi čistý CO₂, se buď vypouští do okolního ovzduší, nebo se přivádí do skleníků (na podporu asimilace), nebo se využívá průmyslově dál. Protože se touto metodou CO₂ odděluje z bioplynu za normálního tlaku, je tato metoda energeticky méně náročná, než tlaková vodní propírka nebo metoda změny tlakových změn, ale pro regeneraci absorpční kapaliny je zapotřebí určitého množství tepla. (Sladký (2009))

2.5.2 Využití digestátu:

Kvalita:

Cenek a kol. (2001) uvádí, že jedním z důvodů využití anaerobní fermentace je produkce kvalitních organických hnojiv. Naproti tomu se staví Kužel a kol. a uvádějí: „Výsledky výzkumu nás tedy vedly k překvapivému závěru, že kaly jako odpad z procesů anaerobní digesce jsou hnojivem spíše minerálním, než organickým a že z hlediska užití jako organické hnojivo jsou mnohem méně jakostním materiálem, než výchozí suroviny. O zušlechtnění organického materiálu anaerobní digescí nelze mluvit a za hnojivo se spíše dá pokládat kapalná fáze, než fáze pevná.“

Aplikace:

Podle zákona č. 156/1998 Sb. o hnojivech (po novele zákonem č. 9/2009 Sb.) smějí být používána organická hnojiva vzniklá anaerobní fermentací při výrobě bioplynu na zemědělské půdě a lesních pozemcích pouze pokud jsou registrována podle tohoto zákona. To neplatí, jsou-li vyrobeny výhradně ze statkových hnojiv nebo objemných krmiv. Z toho vyplývá problém s jeho likvidací.

3. Vlastní práce

Návrh zařízení na výrobu bioplynu (modelový příklad)

Na modelovém příkladu bude demonstrováno, jak by zařízení na zpracování zbytkové travní hmoty formou anaerobní fermentace mohlo vypadat. Fiktivní zařízení bude zpracovávat různé druhy trávníků.

3.1 Produkční plocha

Produkční plocha v modelovém příkladě se bude skládat z následujících druhů trávníků:

- Trávník v parku
- Trávník v krajině
- Louka na opalování
- Sportovní trávník
- Okrasný trávník

Typ produkční plochy charakterizuje druh trávniku. Jednotlivé druhy jsou uvedeny v tabulce (Tab. 3.1)

Tab. 3.1 Seče trávníků podle druhu (multimediální učební text Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně)

Druh trávniku	Počet sečí za vegetační období	Výška seče (mm)	Vzrůst (mm)
Trávník v krajině	1 - 3	60 - 80	-
Trávník v parku	5 - 20	35 - 40	50 - 55
Okrasný trávník	20 - 40	15 - 25	20 - 35
Louky na opalování	10 - 20	35 - 45	50 - 60
Sportovní trávníky	20 - 45	30 - 45	40 - 60
Jamkoviště (Green)	120 - 150	4 - 7	6 - 9
Odpaliště (Tee)	40 - 70	12 - 18	16 - 24
Dráha (Fairway)	25 - 40	15 - 20	20 - 27

Parametry jednotlivých produkčních ploch:

Obsah nežádoucích příměsí

Karafiát (2009) dává příklad nežádoucích příměsí biologicky rozložitelných odpadů - kameny, sklo, plasty... Tyto nerozložitelné příměsi by mohly být problematické při následném zacházení s digestátem. Pšenička (2011) uvádí, že spolu se zpracovávanými materiály může do reaktoru dostávat i množství nežádoucích látek jako například těžkých kovů, ropných produktů nebo látek na ochranu rostlin. Ty pak mohou mít negativní vliv jak na činnost mikroorganismů v reaktoru, tak na aktivitu půdních mikroorganismů či kvalitu podzemních vod po aplikaci digestátu na zemědělskou půdu. Velká pozornost je, určitě právem, ze zákona dáována těžkým kovům, polychlorovaným bifenylům a polyaromatickým uhlovodíkům. Obsah pesticidních látek ale prakticky sledován není.

Při údržbě trávníku v krajině budeme předpokládat, že se žádná z těchto nežádoucích příměsí na pozemcích vyskytovat nebude, nebo pouze v minimálním množství a to z toho důvodu, jelikož se jedná o rozsáhlé plochy, na kterých je většinou minimální pohyb lidí, kteří by tyto příměsi na pozemek dopravili.

Naopak velice mnoho příměsí se může vyskytovat na travních porostech v blízkosti lidských obydlí, nebo na místech s velkou koncentrací pohybu. To mohou být louky na opalování a trávníky v parku. Menší výskyt nežádoucích příměsí může být i na okrasných trávnících.

Na sportovních trávnících obsah nežádoucích příměsí v pevné formě až tolik hrozit nebude. Problém by mohly činit, jak je uvedeno výše, pesticidy používané na ochranu trávníků.

3.2 Parametry sklizňové linky

Sklizňová linka na údržbu trávníků v krajině:

Pro sklizeň těchto ploch za účelem výroby bioplynu by se využívalo strojů, které se pro tento druh trávníku běžně používají. Jelikož se jedná o manipulaci s čerstvou hmotou, odpadá obracení a sušení a přechází se rovnou ke sběru.

Výpočet výkonností jednotlivých článků sklizňové linky

Výkonnost efektivní

$$W_1 = B_p \cdot v_p \cdot k \text{ [ha} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$$

B_p – pracovní záběr [m]

v_p – pojezdová rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

k – koeficient přepočtu plochy (zvoleno $k = 0,36$)

Výkonnost provozní:

$$W_{07} = W_1 \cdot \tau_{07} \text{ [ha} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$$

τ_{07} – koeficient využití celkového času (zvoleno $\tau_{07} = 0,5$)

Sled operací:

sečení – shrnování posečené hmoty - sběr hmoty v čerstvém stavu – odvoz k bioplynové stanici

Strojní vybavení:

Sečení – rotační žací stroj nesený traktorem – ŽTR 165

B_p – 1,65 m

v_p – 3 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

$W_{07} = 0,89 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$

Shrnování – shrnovač SB – 3621

B_p – 3,6 m

v_p – 2,5 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

$W_{07} = 1,62 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$

Sběr – sběrací vůz KRONE Titan 6/40 GL příkon $P = 60 \text{ kW}$, objem orby = 26,5 m^3

B_p – 1,7 m

v_p – 4 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

$W_{07} = 1,71 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$

Zde bude τ_{07} větší z důvodů odvozu travní hmoty $\tau_{07} = 0,7$

Tento sběrací vůz je vybavený řezacím ústrojím, protože, jak již bylo uvedeno výše, dezintegrace hmoty má vliv na vyšší produkci bioplynu.

Ostatní druhy trávníků:

Pro tyto druhy trávníků by se opět používala stávající technika. Materiál se bude po posečení ukládat do zásobníku a následně nakládat na odvozový prostředek. Zde by se mohly při odvozu využívat kontejnery, což usnadní nakládku a zvýší se využití dopravního prostředku.

Strojní vybavení:

trávník v parku, louky na opalování, sportovní trávník

Sečení – rotační žací stroj -Gianni Ferrari PG 250 s výkonem motoru $P_e = 18,4 \text{ kW}$

$$B_p - 1,12 \text{ m}$$

$$v_p - 3,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$W_{07} = 0,67 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$$

Okrasný trávník – rotační žací stroj s pojezdem Husqvarna LC 48V s výkonem motoru $P_e = 2,4 \text{ kW}$

$$B_p - 0,48 \text{ m}$$

$$v_p - 1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$W_{07} = 0,13 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$$

Zjištěné výkonnosti a početní stavy jednotlivých strojů jsou uvedeny v tabulce 3.2.

V tabulce 3.3 je uveden harmonogram sklizně jednotlivých produkčních ploch v průběhu vegetace.

Fermentor

Jako vhodný typ by se jevil garážový fermentor o rozměrech 7 x 4,5 x 10,5 m. Tento rozměr odpovídá maximální produkci travní hmoty (viz kapitola 3.5.2). Jedná se o diskontinuální typ fermentačního procesu, tudíž by se celý fermentor jednorázově naplnil na začátku procesu a po skončení by se vyprázdnil.

Manipulace s materiálem bude pomocí kolového nakladače. Před naskladněním do fermentoru bude vhodný materiál smíchat s částí zfermentovaného materiálu což se nazývá směsné navýšení.

Pospíšil a Křivánek ve své publikaci uvádějí, že smysluplné navýšení se pohybuje mezi 25 % - 50 % čerstvé biomasy ku 75 % - 50 % částečně vyfermentované biomasy. Pokud je čerstvé biomasy přes 50 %, dochází k přetížení reaktoru, proces se rozbíhá velmi pomalu, křivka objemu bioplynu je podstatně nižší a plošší. Naopak pokud je čerstvé biomasy pod 25 %, proces naběhne velmi rychle, má relativně vysokou špičku, ale rovněž velmi rychlý pád.

V grafu 3.1 jsou vybrány typické křivky při různé výši směsného navýšení. Vysoké navýšení v našem případě znamená cca 50 % čerstvé vsázky, nízké směsné navýšení cca 20 % čerstvé vsázky a optimální směsné navýšení cca 30 % čerstvé vsázky. Ve všech případech byla vsázka složena z kombinace kukuřičné siláže, travní senáže a hovězího hnoje. Tyto parametry byly získány z bioplynové stanice Šumperk – Temenice. (Pospíšil a Křivánek)

Aby byl zajištěn kontinuální proces, musí být v bioplynové stanici několik těchto fermentorů, které se svými cykly budou překrývat. Jak již bylo uvedeno výše, Pospíšil a Křivánek doporučují pro kontinuitu procesu pracovat nejméně se čtyřmi fermentory.

Schema bioplynové stanice s garážovým fermentorem je uvedeno na obrázku 3.1.

Kompostárna:

Po skončení fermentace se materiál vyveze z fermentoru. Pokud se nepoužije jako očkovací substrát pro čerstvou hmotu, odveze se do kompostárny.

Kompostárna bude zpevněná plocha o velikosti 1500 m². Tato plocha by měla pojmout veškerý zpracovávaný materiál (viz. kapitola 3.5.7).

Požadavky na kompostovací plochu jsou podle Plívy (2010) následující:

- zamezení kontaktu zpracovávaných surovin s okolní půdou a podzemní vodou
- zajištění volného přístupu pracovní techniky k hromadám kompostu
- minimální spád kompostovací plochy 2 %
- zabezpečení odvodu srážkových vod a splachů z kompostů do podzemních nebo nadzemních jímek odpovídající kapacity

Jelikož nově stavěné vodohospodářsky zabezpečené plochy jsou z důvodu jejich poměrně náročné konstrukce investičně nákladné (800 až 2 000 Kč . m⁻²), lze využívat pro kompostování stavby, které jsou již zabezpečené: silážní žlaby, hnojiště a zemědělská složiště, areály uhelných skladů, skladů hnojiv a podobně. Rekonstrukce těchto stávajících zařízení probíhají s minimálními úpravami a poměrně nízkými náklady. (Plíva (2010))

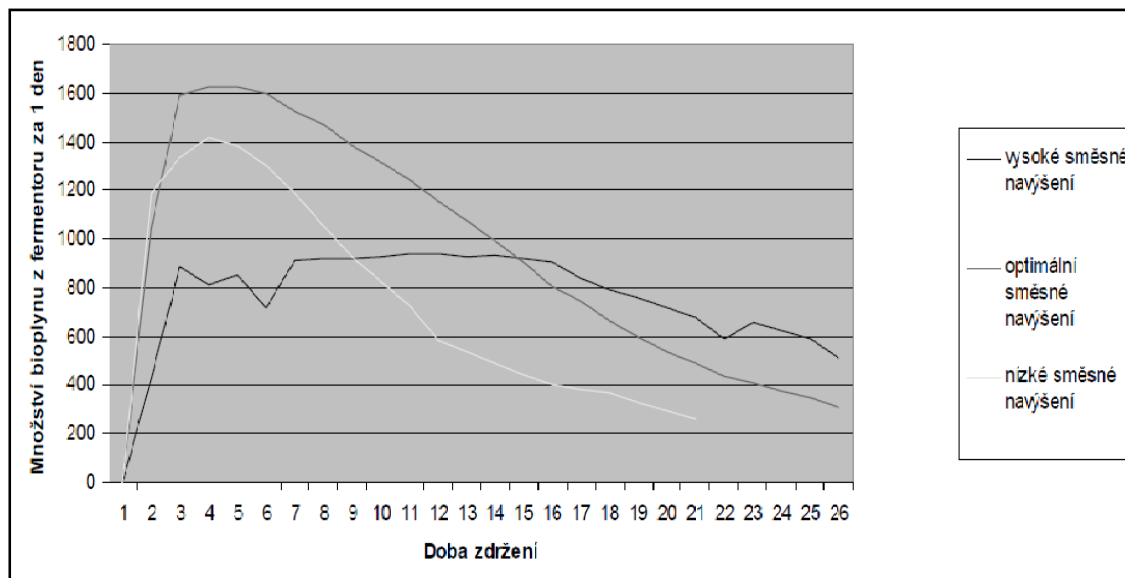
Tento návrh by byl možný pouze, pokud by byla bioplynová stanice vybudovaná v areálu, kde se takovéto prostory nacházejí.

Manipulační technika

Pro plnění a vyprazdňování fermentoru a rovněž pro míchání zfermentovaného a čerstvého materiálu stačí použít pouze kolový nakladač.

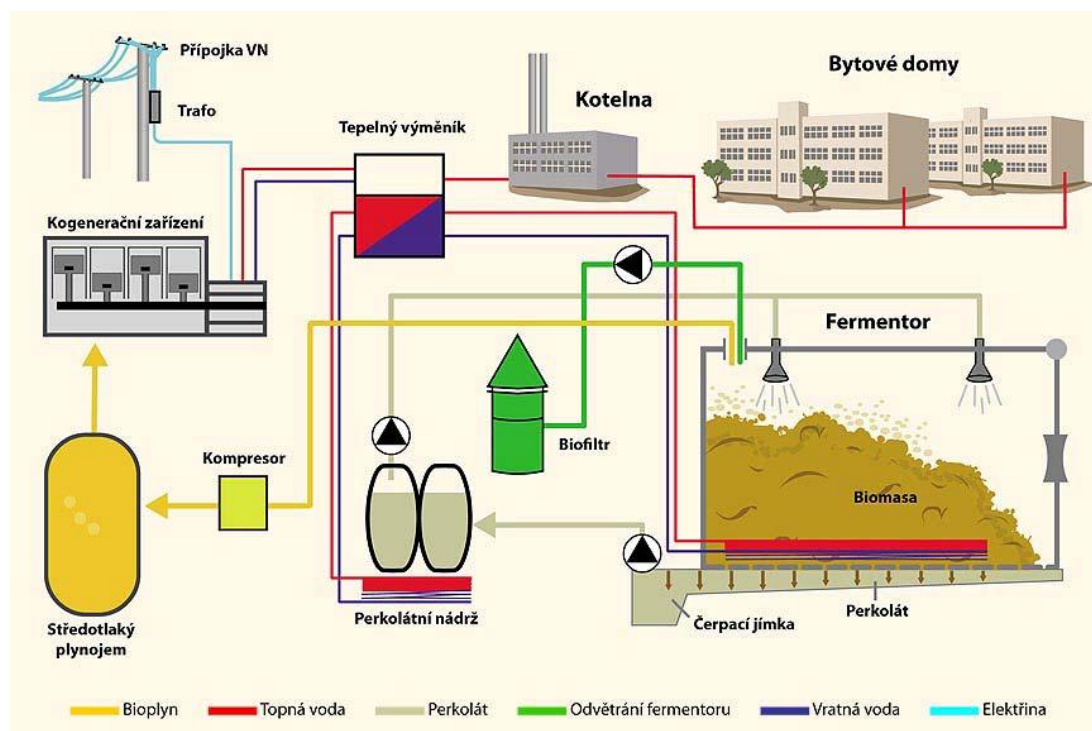
Pro překopávání kompostu by bylo vhodné použít speciální adaptér, agregovaný na kolovém nakladači. Nebude proto nutné pořizovat další energetický prostředek.

Graf 3.1 Vliv směsného navýšení na produkci bioplynu (bioplynová stanice Šumperk – Temenice)



Zdroj: bioplynová stanice Šumperk - Temenice

Obr. 3.1 Schéma bioplynové stanice s garážovým fermentorem



Zdroj: <http://www.odpadoveforum.cz/OF2010/dokumenty/prispevky/022.pdf>

3.4 Nakládání s produkty bioplynové stanice

Bioplynová stanice, která pracuje v oblasti suché fermentace, má tu výhodu, že se pevná a tekutá složka oddělí již při procesu anaerobní fermentace.

Tekutá složka:

Tekutá složka, nazývaná perkolát, odteče do sběrné jímky, dále se čerpá do vyhřívaného zásobníku. Tato kapalina se používá pro zintenzivnění procesu anaerobní fermentace, tím, že se s ní postříkuje nově přijatý materiál ve fermentoru. Přebytečný perkolát lze použít jako kapalné hnojivo a aplikovat jej na zemědělské pozemky.

Pevná složka:

Perspektivní možností nakládání s vyfermentovaným zbytkem by bylo kompostování.

Vyfermentovaný materiál, který se nepoužije pro očkování nového materiálu, se přesune do kompostárny. Kompostování bude probíhat v pásových hromadách na zpevněné podložce. Po ukončení procesu kompostování se materiál protřídí přes síta a připraví se k další distribuci. Takto upravený materiál se může prodávat jako zahradnický substrát. Prodej kompostu by mohl být dalším zdrojem finančních prostředků.

Některé firmy, které se starají o městskou zeleň, provozují i zahradnictví, kde by byla možnost odbytu.

Bioplyn:

Bioplyn bude jímán do plynojemu kvůli eliminaci vzrůstající a klesající produkci bioplynu a také pro případ výpadku kogenerační jednotky.

Spalování bioplynu bude probíhat v kogenerační jednotce.

Pro případ výpadku kogenerační jednotky, pokud plynojem bude již plný, se bude vyprodukovaný bioplyn spalovat v bezpečnostním hořáku.

Elektrická energie:

Odbyt elektrické energie bude probíhat ve formě distribuce do veřejné sítě.

Tepelná energie:

Odbyt tepelné energie – část vyrobené tepelné energie se upotřebí pro vytápění fermentoru, nádrže na perkolát a budov patřících k bioplynové stanici. Zbylé teplo by se mohlo distribuovat do přilehlých objektů, což by vyžadovalo investici do teplovodu. Pokud by se tepelná energie nezužítkovala, muselo by se mařit ve výměnících, aby nedošlo k přehřátí kogenerační jednotky.

Zajímavá je i možnost využití trigenerace, což ovšem je investičně náročné a musel by být blízko objekt, ve kterém by byl odbyt chladu. Vzhledem k tomu, že by bioplynovou stanicí bylo vhodné postavit mimo hustě obydlenou oblast, bylo by zajímavou možností tímto chladem zásobovat klimatizovaný sklad, jehož pronájem bychom mohli získat další finanční prostředky.

3.5 Hodnocení bioplynové stanice

Hlavním zdrojem příjmu bude prodej elektrické energie do rozvodné sítě. Podle vyhlášky č. 482/2005 Sb. je bioplynová stanice zpracovávající materiál, kterým není cíleně pěstovaná biomasa, zařazena do kategorie AF2 – zpracovávající jinou biomasu. Pro tuto kategorii se vztahují podle Energetického a regulačního úřadu tyto výkupní ceny:

Výkupní cena elektřiny dodané do sítě na 3550 Kč . MWh⁻¹

Zelené bonusy na 2589 Kč . MWh⁻¹

Další finanční prostředky by bylo možno získat distribucí tepelné energie za úplatu, výrobou chladu do klimatizovaného skladu a prodejem kompostu.

Možnost by byla i likvidace vytríděného biologicky rozložitelného komunálního odpadu, který by se v době vegetace míchal s travní hmotou a po skončení vegetace by se do fermentoru dával samotný, pokud by ho bylo dostatečné množství.

3.5.1 Výnos hmoty za jednu seč

$$Q_s = s \cdot k \text{ [t]}$$

S – plocha trávníku [m²]

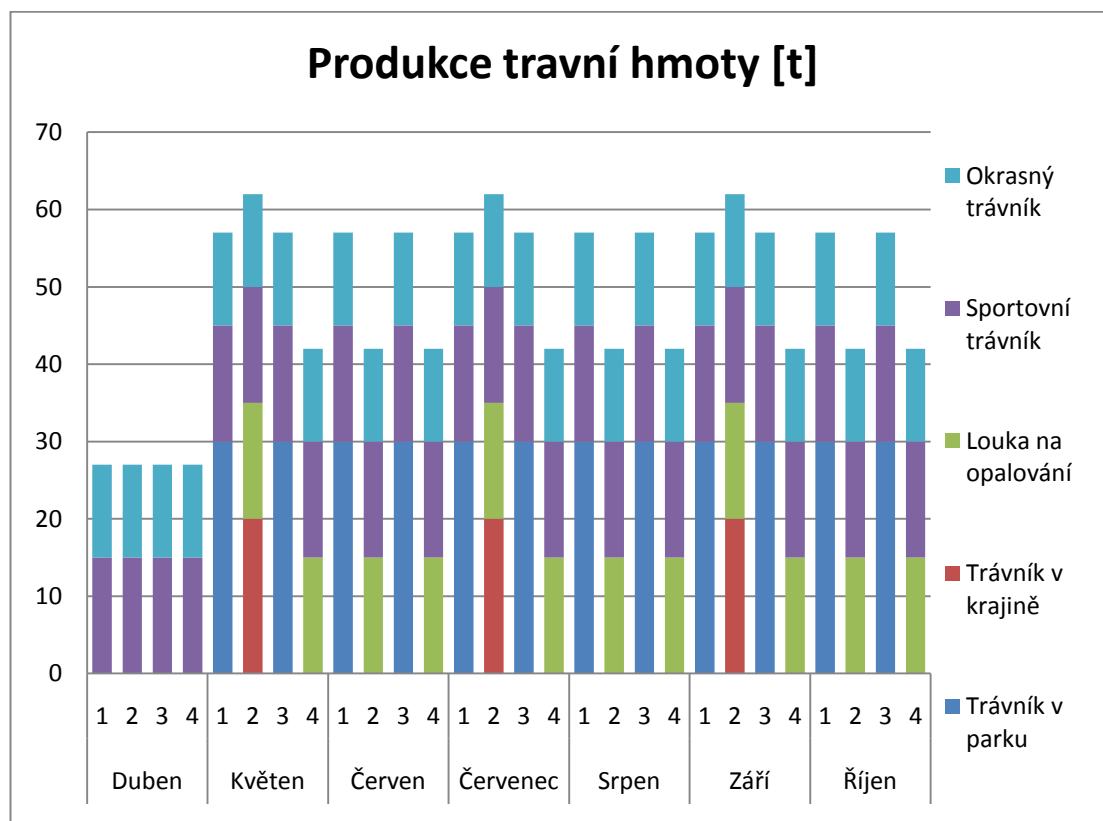
k – výnos hmoty na jednotku plochy [t . ha⁻¹]

Výnosy jednotlivých produkčních ploch jsou uvedeny v tabulce 3.4. Rozložení produkce během vegetace naznačuje graf 3.2.

Tab. 3.4 Výnosy produkčních ploch za jednu seč

Druh trávníku	Plocha [ha]	Výnos k [t.ha ⁻¹]	Objemová hmotnost [kg . m ⁻³]	Výnos hmoty Q _t [t]	Celkový objem hmoty [m ³]
Trávník v parku	6	5	200	30	150
Trávník v krajině	2	10	200	20	100
Louka na opalování	3	5	200	15	75
Sportovní trávník	3	5	200	15	75
Okrasný trávník	2	5	200	10	50

Graf 3.2 Množství sklizené travní hmoty v tunách



3.5.2 Objem fermentoru

Z grafu 2 vyplývá, že produkce hmoty je nerovnoměrná. Objem jednoho fermentoru budeme dimenzovat na maximální předpokládanou produkci, což je 300 m³ (tab. 3.5). Při navrhování budeme uvažovat s rezervou 10 % pro případ, že by byl větší výnos při sklizni. Celkový objem jednoho fermentoru bude tedy 330 m³.

Fermentory budou čtyři a každý týden se naplní jeden. Podle ploch a složení sklizňové linky by se měl fermentor naplnit za jeden den, což je žádoucí, aby v travní hmotě nezačaly rozkladné procesy.

Směsné navýšení

Aby proces lépe nabíhal, bude vhodné smíchat čerstvý materiál s materiálem již zfermentovaným, jak je uvedeno výše. Problém zřejmě bude ve sléhavosti travní hmoty. Po skončení fermentace nebude zřejmě dostatek zfermentovaného materiálu pro zachování malého směsného navýšení. Aktivace procesu bude probíhat pouze aplikací perkolátu. Během provozu lze však zkusit vliv směsného navýšení na produkci, protože objem fermentoru nebude většinou využit na maximální kapacitu.

Jelikož se jedná o zařízení provozované pouze během sklizně travní hmoty, bude se proces, z první dodávky travní hmoty, rozvíjet pomaleji, protože nebudeme mít perkolát pro aktivaci procesu. Možností by bylo perkolát pro první dávky přivést z jiné bioplynové stanice na suchou fermentaci. Jelikož těchto stanic je zatím minimum, je tato možnost nereálná.

3.5.3 Výtěžnost bioplynu

Kára a kol. (2007) uvádí produkci bioplynu z čerstvé travní hmoty 0,516 m³ . kg⁻¹org. sušiny.

Budeme předpokládat, že travní hmota bude mít obsah sušiny 20 % a obsah organických látek 90 % sušiny. Pak z 1t travní hmoty bude 200 kg sušina a z toho 180 kg bude organická sušina. Z toho vyplývá, že produkce bioplynu bude:

$$Q_{BP} = Q_{os} \cdot os$$

Q_{os} – produkce bioplynu na 1 kg organické sušiny [m³ . kg⁻¹org. sušiny]

os – organická sušina [%]

$$Q_{BP} = 92,88 \cong 93 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$$

Toto číslo je nutné brát pouze orientačně, protože hodnoty sušiny se během vegetace mění a na výtěžnost má vliv i složení travní hmoty, která může být u různých ploch odlišná.

Tabulka 3.5 ukazuje množství vyprodukovaného bioplynu za jednotlivá období.

Tab. 3.5 Produkce bioplynu za období

Měsíc	týden	Množství čerstvé hmoty		Množství bioplynu [m ³]
		[t]	[m ³]	
Duben	1	27	125	29062,5
	2	27	125	
	3	27	125	
	4	27	125	
Květen	1	57	275	81375
	2	62	300	
	3	57	275	
	4	42	200	
Červen	1	57	275	90675
	2	42	200	
	3	57	275	
	4	42	200	
Červenec	1	57	275	95325
	2	62	300	
	3	57	275	
	4	42	200	
Srpen	1	57	275	90675
	2	42	200	
	3	57	275	
	4	42	200	
Září	1	57	275	95325
	2	62	300	
	3	57	275	
	4	42	200	
Říjen	1	57	275	90675
	2	42	200	
	3	57	275	
	4	42	200	
Listopad		0	0	31387,5
Celkové produkce		1356	Q _{th} = 6500	Q _c = 604500

Q_c – celková produkce bioplynu 604500 m³

Q_{th} – celková produkce travní hmoty 6500 m³

Množství vyprodukovaného bioplynu za období nelze vypočítat pouze vynásobením hmotnosti čerstvé hmoty a produkce Q_{BP} . Je důležité si uvědomit, že hmota se zdrží ve fermentoru čtyři týdny. V tabulce je použit výpočet, který zohledňuje, jak se který fermentor podílí na produkci v daném měsíci.

Ve skutečnosti budou tato čísla jiná, protože u diskontinuálních procesů během fermentace nedochází k rovnoměrné produkci bioplynu.

Měsíc listopad je v tabulce, protože ještě pokračuje fermentace ve fermentorech 2, 3 a 4.

3.5.4 Parametry kogenerační jednotky

Kogenerační jednotku navrhujeme pro případ maximální produkce bioplynu.

Předpokládáme, že bioplyn se bude vyvíjet 244 dní.

Průměrnou hodinovou produkci bioplynu vypočteme:

$$Q_{h \text{ prům}} = \frac{Q_c}{n \cdot t} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$$

Q_c = Celková produkce bioplynu

n – počet dní provozu kogenerační jednotky (zvoleno 244 dní)

t – počet hodin provozu kogenerační jednotky během dne [h] (zvoleno 24 hodin)

$$Q_{h \text{ prům}} = 103,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Pro spalování vyprodukovaného bioplynu by měla postačovat kogenerační jednotka, se spotřebou $> 103,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Pro případ větší produkce budeme raději volit kogenerační jednotku s větší spotřebou.

Kogenerační jednotka splňující tento parametr je v nabídce firmy TEDOM.

Parametry této kogenerační jednotky jsou v tabulce 3.6.

Tab. 3.6 Parametry zvolené kogenerační jednotky (TEDOM)

Typ jednotky	Elektrický výkon [kW]	Tepelný výkon [kW]	Spotřeba plynu [$\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]
Quanto D400 SP BIO	400	452	144

3.5.5 Velikost plynojemu

Objem plynojemu V_{plyn} budeme dimenzovat na průměrnou denní produkci bioplynu $Q_{\text{d prům}}$.

$$V_{\text{plyn}} = Q_{\text{d prům}} = Q_{\text{h prům}} \cdot t$$

$$V_{\text{plyn}} = 2476,8 \text{ m}^3$$

Zde si musíme opět dát pozor na různou produkci bioplynu během procesu, obzvláště na jeho začátku, kdy bývá nejvyšší.

3.5.6 Produkce energie:

Budeme počítat s případem, kdy kogenerační jednotka bude pracovat na 72 %, což zhruba odpovídá hodinové produkci bioplynu $103,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Elektrický výkon

$$P_e = P_{\text{je}} \cdot k_1 [\text{kW}]$$

P_{je} – jmenovitý elektrický výkon [kW]

k_1 – koeficient využití výkonu motoru (zvoleno $k_1 = 0,72$)

$$P_e = 288 \text{ kW}$$

Tepelný výkon

$$P_t = P_{\text{jt}} \cdot k_1 [\text{kW}]$$

P_{jt} = jmenovitý tepelný výkon [kW]

$$P_t = 325,4 \text{ kW}$$

Za předpokladu, že bude kogenerační jednotka pracovat 244 dní, což je 5856 hodin, bude schopna vyrobit následující parametry:

Elektrická energie

Budeme předpokládat, že bioplynová stanice bude spotřebovávat pro svůj provoz 5 % vyrobené elektrické energie.

$$W_e = P_e \cdot t_p \cdot (1 - k_2) \text{ [kWh]}$$

t_p – doba provozu [h] (zvoleno $t_p = 5856$ h)

k_2 - spotřeba elektrické energie bioplynovou stanicí v podobě koeficientu (zvoleno $k_2 = 0,05$)

$$W_e = 1602201,6 \text{ kWh}_e = 1602,2016 \text{ MWh}_e$$

Výkupní ceny elektrické energie (C_{ee}) 3550 Kč . MWh

Zelený bonus (ZB) 2589 Kč . MWh

Za předpokladu takto stanovených výkupních cen budou výnosy za prodej elektrické práce následující:

Výnosy za prodej elektrické energie

$$V = W_e \cdot C_{ee} + W_e \cdot ZB \text{ [Kč]}$$

$$V = 9835915,6 \text{ Kč}$$

Tepelná energie

Budeme předpokládat, že bioplynová stanice bude spotřebovávat pro svůj provoz 20 % vyrobené tepelné energie.

$$Q = P_t \cdot t_p \cdot (1 - k_3) \text{ [kWh]}$$

k_3 - spotřeba tepelné práce bioplynovou stanicí v podobě koeficientu (zvoleno $k_3 = 0,2$)

$$Q = 1524621,3 \text{ kWh} = 1524,6 \text{ MWh}$$

3.5.7 Plocha kompostárny:

Plíva (2010) uvádí, že nejvýhodnější jsou pásové hromady lichoběžníkového průřezu, které vykazují nejmenší potřebu plochy na objem kompostu (asi 0,3 m² plochy na 1 m³ založených surovin).

Pokud budeme počítat, že během procesu fermentace dojde k objemové redukci materiálu na 50 %, bude nutno připravit plochu nejméně pro 3250 m³.

Plocha potřebná pro kompostování

$$S_k = Q_{th} \cdot k_4 \cdot S_{potř} [m^2]$$

k_4 – koeficient objemové redukce (zvoleno $k_4 = 0,5$)

$S_{potř}$ – plocha potřebná na uskladnění 1 m³ hmoty (dle Plívy (2010) 0,3 m²)

$$S_k = 975 \text{ m}^2$$

Celková plocha kompostárny

Celková plocha kompostárny by měla být 1500 m². Z toho 975 m² bude určeno pro uložení kompostu a 525 m² pro pohyb manipulační techniky.

4. Závěr

Výroba bioplynu z čerstvé travní hmoty, která vzniká jako odpadní hmota při udržování veřejné zeleně, se ukázala jako zajímavá možnost zhodnocení tohoto odpadu. Ukázalo se, že tato možnost by byla reálná. Podle výpočtů bychom získali určité výnosy a tím lépe zhodnotili tuto odpadní hmotu. Hlavní příjem by byl z prodeje elektrické energie do veřejné sítě, který je finančně zvýhodněn pro výrobu energie z obnovitelných zdrojů. Další druh příjmu by byl prodej kompostu, který by se vytvářel z vyfermentované travní hmoty. Možností, jak využít teplo vzniklé při kogeneraci, by bylo vybudovat klimatizovaný sklad. Využíval by se způsob trigenerace. V létě by se sklad chladil a v zimě vytápěl, podle požadavků uskladněného materiálu.

Vhodným doplňkem by bylo zpracovávání biologicky rozložitelného komunálního odpadu, což by mohlo prodloužit dobu využití bioplynové stanice.

Výhodou tohoto způsobu je, že pro sklizeň bude postačovat stávající technika a nebude potřeba pořizovat nové stroje. Další předností je to, že stroje běžně používané pro údržbu komunální zeleně travní hmotu drtí na poměrně malé části. To je výhodné z hlediska podpory tvorby bioplynu. Tudíž nebude nutné zařazovat do technologické linky zařízení pro dezintegraci. Navrhnutá bioplynová stanice s garážovými fermentory by se dala snadno rozšířit, pokud by byla potřeba zpracovávat více materiálu.

Přesto, že se vstupní materiál nebude muset nakupovat ani na jeho produkci vynakládat žádné další prostředky, bude vzhledem k nutným investicím na vybudování potřebné technologie (fermentory s příslušenstvím, kompostárna a případně klimatizovaný sklad), doba návratnosti zřejmě dlouhá. Na době návratnosti se podepíše také délka provozu během roku, jelikož travní hmotu jsme schopni produkovat pouze 7 měsíců v roce. Konzervace není příliš vhodná, protože použití pouze travní senáže by mohlo vést k zastavení anaerobního procesu. Abychom uspořili náklady na vybudování potřebných objektů, bylo by vhodné celé zařízení umístit do již vybudovaného objektu, například zemědělské farmy, kde by se daly využít stávající nevyužité stavby. Je však nutné si uvědomit dopravní vzdálenost, která by mohla vést k prodražení celého procesu. Produkce bioplynu také není zcela jednoznačná. V České republice takovéto zařízení, které zpracovává pouze čerstvou

travní hmotu, zatím realizováno není. Výpočty se opírají pouze o teoretické předpoklady a bylo by nutné je ověřit v praxi ve větším měřítku, než jen v laboratoři. Vhodným pokusným pracovištěm by byla například bioplynová stanice zpracovávající materiál metodou suché fermentace, diskontinuálním způsobem.

5. Použitá literatura:

1. BECK, M. *Možnosti energetického využití biomasy - výroba bioplynu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 17 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.
2. BURG, Patrik: Travní hmota a možnosti jejího využití (2007) http://www.zahradaweb.cz/informace-z-oboru/realiza-a-udrzba/Travni-hmota-a-moznosti-jejeho-vyuziti_s517x44463.html (staženo 5. 11. 2010)
3. CENEK, M a kol.: *Obnovitelné zdroje energie*. Druhé, upravené a doplněné vydání. Praha, FCC Public 2001 ISBN 80-901985-8-9
4. CZBA: Co je bioplyn? <http://www.czba.cz/index.php?art=page&parent=vse-o-bioplynu&nid=co-je-to-bioplyn-> (staženo 25. 1. 2011)
5. ČERMÁKOVÁ, Jiřina: *Nové trendy ve využití bioplynu*. Sborník příspěvků ze semináře „Energie z biomasy X“, VUT v Brně, 2009, ISBN 978-80-214-4027-2
6. Český statistický úřad (ČSÚ)
7. Český zeměměřičský a katastrální úřad
8. DOHÁNYOS Michal: Závislost výtěžku metanu na složení a předpravě surovin <http://www.czba.cz/index.php?art=page&parent=veda-a-vyzkum&nid=zavislost-vytezku-metanu-na-slozeni-a-predprave-suroviny> (26. 1. 2011)
9. DOHÁNYOS, Michal: Zvyšování efektivity fermentace - nejnovější poznatky ve výzkumu a praxi. *Biom.cz* [online]. 2009-02-25 [cit. 2011-01-29]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zvysovani-efektivita-fermentace-nejnovejsi-poznatky-ve-vyzkumu-a-praxi>>. ISSN: 1801-2655.
10. FUKSA, Pavel: *Netradiční využití biomasy v praxi*. *Biom.cz* [online]. 2009-07-15 [cit. 2011-01-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/netradicni-vyuziti-biomasy-v-praxi>>. ISSN: 1801-2655.
11. GERNDTOVÁ, Ilona, ANDERT, David: *Využití travních směsí při anaerobní digesci*. *Biom.cz* [online]. 2009-11-18 [cit. 2011-01-26]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-travnich-smesi-pri-anaerobni-digesci>>. ISSN: 1801-2655.

12. Hlavní využití biomasy anaerobní fermentací
<http://www.vuzt.cz/doc/energetika/biopllyn.pdf?menuid=184> (staženo 21. 12. 2010)
13. http://www.biopllyn.cz/at_popis.htm (staženo 14. 2. 2011)
14. KÁRA, J a kol.: Výroba a využití bioplynu v zemědělství. VÚZT Praha 2007 ISBN 978-80-86884-28-8
15. KARAFIÁT, Zbyšek a kol. (2010) Netekutá fermentace substrátů ze zemědělské činnosti <http://www.odpadoveforum.cz/OF2010/dokumenty/prispevky/022.pdf> (staženo 15. 3. 2011)
16. KARAFIÁT, Zbyšek, VÍTĚZ, Tomáš, POSPÍŠIL, Lukáš: Bioplynové stanice na „suchou“ fermentaci – šance pro energetické využití biologicky rozložitelných odpadů (BRO). *Biom.cz* [online]. 2009-08-31 [cit. 2011-02-14]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovy-stance-na-suchou-fermentaci-sance-pro-energeticke-vyuziti-biologicky-rozlozitelnych-odpadu-bro>>. ISSN: 1801-2655.
17. KOLLÁROVÁ, Mária, ALTMANN, Vlastimil, JELÍNEK, Antonín, PLÍVA Petr: Zásady pro zpracování zbytkové biomasy z údržby TTP. (2008)VÚZT Praha ISBN 978-80-86884-32-5
18. KUŽEL, Stanislav: Jak efektivně využít digestát? (2010)
http://www.energie21.cz/archiv-novinek/Jak-efektivne-vyuzit-digestat_s303x46878.html (staženo 24. 1. 2011)
19. Materiály firmy TEDOM (www.tedom.cz)
20. MICHAL, Petr: Bioplyn: Komu se vyplatí fermentace trávy? (2003)
<http://www.agronavigator.cz/default.asp?ids=0&ch=1&typ=1&val=11448> (staženo 26. 1. 2011)
21. MURTINGER, K BERANOVSKÝ, J: Energie z biomasy. ERA group spol. s r.o. Brno 2008 ISBN: 978-80-7366-115-1
22. MUŽÍK, Oldřich, KÁRA, Jaroslav, ABRHAM, Zdeněk: Možnosti využití travních porostů anaerobní digestací
http://www.vuzt.cz/doc/energetika/BP_TTR_PDF.pdf?menuid=486 (staženo 26. 1. 2011)
23. MUŽÍK, Oldřich, KÁRA, Jaroslav: Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. *Biom.cz* [online]. 2009-03-04 [cit. 2011-01-24]. Dostupné z WWW:

- <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>>. ISSN: 1801-2655.
24. MUŽÍK, Oldřich, SLEJŠKA, Antonín: Možnosti využití anaerobní fermentace pro zpracování zbytkové biomasy. *Biom.cz* [online]. 2003-07-14 [cit. 2011-01-22]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-anaerobni-fermentace-pro-zpracovani-zbytkove-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.
 25. NOVÁK, Petr <http://www.trendex.cz/documents/prezentace-sucha-fermentace-Trendex.pdf> (staženo 15. 2. 2011)
 26. PASTOREK, Zdeněk, KÁRA, Jaroslav: Suchá fermentace zemědělských a komunálních organických materiálů. *Biom.cz* [online]. 2003-09-29 [cit. 2011-02-27]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/sucha-fermentace-zemedelskych-a-komunalnich-organickyh-materialu>>. ISSN: 1801-2655.
 27. PLÍVA, Petr: Plochy vhodné pro kompostování v pásových hromadách. *Biom.cz* [online]. 2010-08-11 [cit. 2011-03-21]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/plochy-vhodne-pro-kompostovani-v-pasovych-hromadach>>. ISSN: 1801-2655.
 28. POSPÍŠIL, Lukáš, KŘIVÁNEK, Břetislav FORTEX-AGS, a.s. http://www.fortexbioplyn.cz/uploaded/trebon_1_2010.pdf (staženo 15. 2. 2011)
 29. Průvodce výrobou a využitím bioplynu [CZ Biom](#) – České sdružení pro [biomasu](#), 2009, ISBN 978-80-903777-5-2, 3. vydání 2010
 30. PŠENIČKA, Pavel: Výskyt a rozklad pesticidů během anaerobní digesce. *Biom.cz* [online]. 2011-02-21 [cit. 2011-03-09]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyskyt-a-rozklad-pesticidu-behem-anaerobni-digesce>>. ISSN: 1801-2655.
 31. SLADKÝ, Václav: Metody úpravy bioplynu na kvalitu zemního plynu. *Biom.cz* [online]. 2009-03-30 [cit. 2011-02-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/metody-upravy-bioplynu-na-kvalitu-zemniho-plynu>>. ISSN: 1801-2655.
 32. TRÁVNÍČEK, Petr, KARAFIÁT, Zbyšek: Kogenerace pomocí plynových spalovacích motorů. *Biom.cz* [online]. 2009-04-15 [cit. 2011-02-16]. Dostupné

z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kogenerace-pomoci-plynovych-spalovacich-motoru>>. ISSN: 1801-2655.

33. ZÁBRANSKÁ, Jana: Intenzifikace výroby bioplynu z rostlinných materiálů. *Biom.cz* [online]. 2010-10-18 [cit. 2011-01-27]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/intenzifikace-vyroby-bioplynu-z-rostlinnych-materialu>>. ISSN: 1801-2655.
34. Zákon č. 156/1998 Sb. ve znění pozdějších předpisů – novela zákona zákon č. 9/2009 Sb.