

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Dopravní a manipulační prostředky

Katedra: Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Mechanizace intenzivních kompostovacích technologií

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marie Šístková, CSc.

Autor: Pavel Hlavinka

České Budějovice, listopad 2013

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel HLAVINKA**
Osobní číslo: **Z10033**
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační prostředky**
Název tématu: **Mechanizace intenzivních kompostovacích technologií.**
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 :

Zpracování (kompostování) biologicky rozložitelných odpadů (BRO) v bioreaktorech (nejdůležitější část technologické linky) je založeno na principu anaerobní fermentace a skladba technologické linky závisí na druhu odpadů.

V práci proveďte literární řešení na téma technologické systémy a jejich součásti na zpracování BRO anaerobní fermentací (základní typy bioplynových stanic a konstrukční typy fermentorů) a ve vybraném zemědělském podniku proveďte analýzu používané technologie na zpracování BRO.

Rozsah grafických prací: **obrázky, fotografie dle potřeby**

Rozsah pracovní zprávy: **40 - 50 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- Altman, V. (1996): Kompostování odpadů. ČZU v Praze, 88 s.;
- Altman, V., Vaculík, P., Mimra, M. (2010): Technika pro zpracování komunálního odpadu. ČZU Praha, 120 s.;
- Groda, B. (1995): Technika zpracování odpadů. MZLU, Brno. 260 s.;
- Kuraš, M. (1993): Technologie zpracování odpadů. VŠCHT, Praha. 279 s.;
- Voštová, V., Altman, V., Jeřábek, K. (2009): Logistika odpadového hospodářství. ČVUT Praha. 349 s.;
- Ishikawa, S. et al. (2006): Evaluation of a biogas plant from life cycle assessment (LCA). International Congress Series, Volume 1293, July 2006, Pages 230-233;
- Švec, J. (2010): Využití obnovitelných zdrojů energie v zemědělství - zemědělské bioplynové stanice. Vodní zdroje Ekomonitor. 69 s. ISBN 808683249X.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marie Šístková, CSc.**

Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Datum zadání bakalářské práce: **14. ledna 2012**

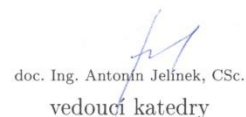
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2013**



Ing. Karel Suchý, Ph.D.

proděkan pověřený vedením ZF

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



doc. Ing. Antonín Jelínek, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 5. března 2012

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Mechanizace intenzivních kompostovacích technologií vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii, a postup při zpracování práce je v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů v platném znění.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 28. 11. 13

.....

Poděkování

Děkuji vedoucí práce Ing. Marii Šístkové, CSc. za rady a pomoc při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Jiřímu Chládkovi z farmy AGRO-Otročín za prohlídku areálu bioplynové stanice, ochotnou spolupráci a za poskytnutí podkladů ke zpracování bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá intenzivní kompostovací technologií a vznikem bioplynu z biologicky rozložitelného odpadu. V teoretické části je popisováno kompostování v pásových hromadách a na volné ploše. Dále je popsáno rozdělení bioplynové technologie a bioplynových stanic s veškerým zařízením s tím souvisejícím. Bioplyn je hlavní produkci anaerobní digesce. O podmínkách souvisejících se vznikem bioplynu, jako např. stálá teplota, pH a přítomnost nutrientů je pojednáváno dále.

Praktická část se věnuje popisu bioplynové stanice AGRO–Otročín, a.s., je zmiňována technologie zde používaná a popisuje jednotlivé části bioplynové stanice s konkrétními hodnotami a údaji. Následně je popisována základní charakteristika kogenerační jednotky a měřená zvuková hladina zde uváděného zařízení.

Klíčová slova: kompostování, fermentace, bioplynová stanice, konstrukce fermentorů, kogenerační jednotka, anaerobní digestce

Abstract

This bachelor thesis is focused on the intensive compost technology and the biogas production of the biologically decomposable waste. The theoretical part describes the technology of compost production in the tracked piles as well as in the loose areas, followed by the description of the biogas technology and biogas stations with all the related equipment. The biogas is the main product of the anaerobic digestion. Subsequently, we describe the conditions necessary for the biogas production, e.g. the constant temperature, pH, and the nutrients' presence.

In the field part of the thesis there we describe the AGRO–Otročín plc. biogas station, as well as the technology hereby in use and its individual parts with the concrete values and figures followed by the basic characteristics of the cogeneration aggregate and the noise level measurements of the technology presented.

Keywords: compost, fermentation, biogas station, fermenter construction, cogeneration unit, anaerobic digestion

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Teoretická část	11
2.1 Rozdělení podle zákona – zpracování biomasy	11
2.2 Rozdělení podle ministerstva životního prostředí	11
2.2.1 Zemědělské BPS	11
2.2.2 Průmyslové BPS	12
2.2.3 Čistírny odpadních vod	12
2.2.4 Biologicky rozložitelný odpad – základní pojmy	12
2.3 Technologie kompostování na volné ploše	14
2.3.1 Kompostování v plošných hromadách.....	14
2.3.2 Kompostování v pásových hromadách	15
2.4 Rozdělení bioplynové technologie	16
2.4.1 Mokrý fermentace	17
2.4.2 Suchá fermentace	18
2.5 Základní typy bioplynových stanic	20
2.5.1 Dávkový způsob	20
2.5.2 Metoda střídání nádrží	21
2.5.3 Průtokový způsob	21
2.5.4 Metoda se zásobníkem.....	22
2.5.5 Kombinovaná průtoková metoda se zásobníkem	22
2.6 Konstrukční typy fermentorů	22
2.6.1 Horizontální konstrukční typ	23
2.6.2 Vertikální konstrukční typ	24
2.7 Anaerobní digesce	24
2.8 Homogenizační jímka.....	27
2.9 Míchadla.....	27
2.9.1 Mechanická míchadla	29
2.9.2 Hydraulická míchadla	29
2.9.3 Pneumatická míchadla	29
2.10 Ohřev	30
2.10.1 Externí výměníky	30

2.10.2	Podlahové vytápění	31
2.10.3	Stěnové topení	31
2.10.4	Topení na hřídeli míchačky	32
2.11	Plynojem	32
2.12	Faktory ovlivňující vznik bioplynu	33
2.12.1	Vliv teploty	33
2.12.2	Vliv reakce prostředí – pH	33
2.12.3	Přítomnost nutrientů	34
2.12.4	Přítomnost toxických a inhibujících látek	34
2.12.5	Vliv technologických faktorů	34
2.12.6	Zpracování bioplynového reaktoru	35
2.13	Legislativa o založení a provozování bioplynových stanic	35
3.	Cíl	38
4.	Praktická část	39
4.1	Metodika	39
4.1.1	Informace o BPS	39
5.	Geografické položení obce Otročin	39
5.2	Charakter stavby bioplynové stanice Agro–Otročin a.s.	40
5.3	Technické parametry stavby	41
6	Hlavní části bioplynové stanice	42
6.1	Dávkovací zařízení	43
6.2	Hlavní fermentor	43
6.3	Dodatečný fermentor s integrovaným zásobníkem plynu	44
6.4	Koncový sklad	46
6.5	Separátor se šnekovým lisem a sběrnou jámou	47
6.6	Bloková zařízení na výrobu elektrické energie/tepla	48
7	Aspekty týkající se životního prostředí	49
7.1	Voda	49
7.2	Půda	49
8	Emise	49

8.1	Zápach	49
8.2	Hluk	50
8.3	Ostatní emise	50
9	Kogenerační jednotka (2 x 160 kW).....	51
9.1	Základní charakteristika	51
9.1.1	Motor	52
9.1.2	Generátor	53
9.1.3	Tepelný systém	53
9.1.4	Palivo, přívod plynu.....	55
9.1.5	Spalovací a ventilační vzduch.....	55
9.1.6	Odvod spalin.....	56
10.	Měření hluku kogenerační jednotky	57
10.1	Použité pomůcky	57
10.1.1	Hlukoměr VOLTCRAFT plus SL-300	57
10.2	Postup měření	58
10.2.1	Naměřené hodnoty	59
10.3	Vyhodnocení a porovnání výsledků	62
11.	Závěr	63
12.	Seznam literatury	65

1. Úvod

Jedním z nejstarších způsobů zpracování organických odpadů je kompostování. Jedná se o proces rozkladu organických materiálů za přítomnosti vzduchu a aerobních mikroorganismů, které přeměňují nesourodý materiál na organické hnojivo – kompost. Kompost je pak následně zapracováván do půdy a poskytuje jí potřebné živiny.

Další způsob, jak zpracovávat organické hmoty, je prostřednictvím bioplynových stanic. Bioplyn je hodnocen jako obnovitelný zdroj. Vzhledem k tomu, že je dnes kladen velký důraz na životní prostředí a energetická náročnost obyvatel neustále narůstá, hledají se alternativní zdroje energie. Jedním z nich jsou bioplynové stanice. Zájem o bioplynovou technologii v posledních letech neustále roste jak ze strany drobných zemědělců, tak družstev, čistíček odpadních vod mnoha dalších. V současnosti je ke dni 30. 6. 2013 evidováno na území České republiky 481 BPS o instalovaném výkonu 363,24 MW. [1]

Vznik bioplynu je proces skládající se ze čtyř na sobě závislých fází (hydrolyza, acidogeneze, acetogeneze, metanogeneze) za nepřístupu vzduchu. Tento proces se nazývá anaerobní fermentací. Jedná se o proces běžně se vyskytující v přírodních podmínkách, např. v bažinách. V bioplynových reaktorech se zpracovávají organické látky (hnůj, močeka, siláž, senáž). Výsledným produktem je již zmíněný bioplyn. Bioplyn je pak následně spalován ve spalovacím motoru za vzniku tepla a elektrické energie. Vedlejším produktem bioplynové stanice je tuhý a tekutý substrát (digestát, fugát) využívaný v zemědělství jako kvalitní hnojivo.[2]

2. Teoretická část

2.1 Rozdělení podle zákona -zpracování biomasy

Podle právní vyhlášky 482/2005 Sb. ve znění 453/2008 Sb. jsou definovány dvě kategorie bioplynových stanic:

- kategorie AF1
- kategorie AF2

kategorie AF1: bioplynové stanice zpracovávající určitý typ nebo druh biomasy

kategorie AF2: veškeré bioplynové stanice na zpracování odpadu, zároveň i zemědělské bioplynové stanice se zpracováním zelené hmoty menší než 50% z celkového množství vsádky a statkové mrvy.
[3]

2.2 Rozdělení podle ministerstva životního prostředí

Zde je rozdělení provedeno do tří kategorií: zemědělské BPS, průmyslové BPS a čistírny odpadních vod.

2.2.1 Zemědělské BPS

Za zemědělské BPS jsou považovány ty stanice, které zpracovávají vstupní suroviny zemědělského původu (chlévká mrva, hnůj, rostlinné zbytky, vedlejší produkty, energetické plodiny, jako např. kukuřice). Chlévká mrva a hnůj jsou základní vstupní surovinou pro většinu evropských zemědělských BPS, ačkoli v posledních letech roste také počet BPS využívajících energetické plodiny. Jejich výhodou je vysoký energetický obsah, který je vyšší než u většiny organických odpadů. [4]

2.2.2 Průmyslové BPS

Anaerobní procesy jsou široce využívány pro zpracování průmyslových odpadů a odpadních vod. Anaerobní digesce (AD) je dnes již standardní technologií pro zpracování průmyslových odpadních vod z potravinářského, zemědělského a farmaceutického průmyslu. Tyto technologie se neustále vyvíjí a zlepšují. V současnosti mohou být zpracovány procesem AD i průmyslové odpadní vody. Environmentální a energetické aspekty přispěly v posledních letech k dalšímu rozvoji anaerobního zpracování organických průmyslových odpadů a hospodaření s těmito odpady je přísně kontrolováno environmentální legislativou. [4]

2.2.3 Čistírny odpadních vod

AD je dnes již běžně využívána pro zpracování čistírenských kalů, pro stabilizaci a redukci finálního množství kalu v kombinaci s moderními systémy úpravy a čištění. Většina společností poskytujících systémy čištění odpadních vod dnes nabízí také proces AD. Evropské země zpracovávají procesem AD, v závislosti na místní legislativě a prioritách, 30 až 70% čistírenských kalů. Kal upravený AD může být později využit jako hnojivo nebo pro výrobu energie spalováním. Jsou však stále země, které ukládají kal z čistíren odpadních vod na skládky. Tento postup může mít negativní vliv na ŽP v důsledku průsaku živin do podzemních vod a emisí skleníkových plynů do atmosféry, a proto je ve většině evropských zemí již zakázán. [4]

2.2.4 Biologicky rozložitelný odpad – základní pojmy

Aerobní rozklad

Aerobní rozklad je rozklad organických hmot na jednoduché anorganické molekuly za přítomnosti kyslíku. [5]

Biologicky rozložitelný odpad

Biologicky rozložitelný odpad představuje jakýkoliv odpad, který je schopen aerobního nebo anaerobního rozkladu. Jedná se zejména o odpady zemědělské, lesnické, potravinářské, celulózo-papírenské, ze zpracování dřeva, kůže, textilu apod. [5]

Kompost

Kompost je organický prostředek pro zlepšení půdy, obsahující stabilizované organické látky a rostlinné živiny, získaný řízeným biologickým rozkladem. [6]

Anaerobní digesce

Anaerobní digesce je kontrolovaný řízený rozklad organických látek bez přístupu vzduchu, na jehož konci vzniká bioplyn a nerozložitelná část (digestát, perkolát). [6]

Digestát

Digestát je fermentovaný zbytek z anaerobního zpracování biologicky rozložitelných materiálů. Jde převážně o tuhou složku, která se využívá jako organické hnojivo. [7]

Fugát

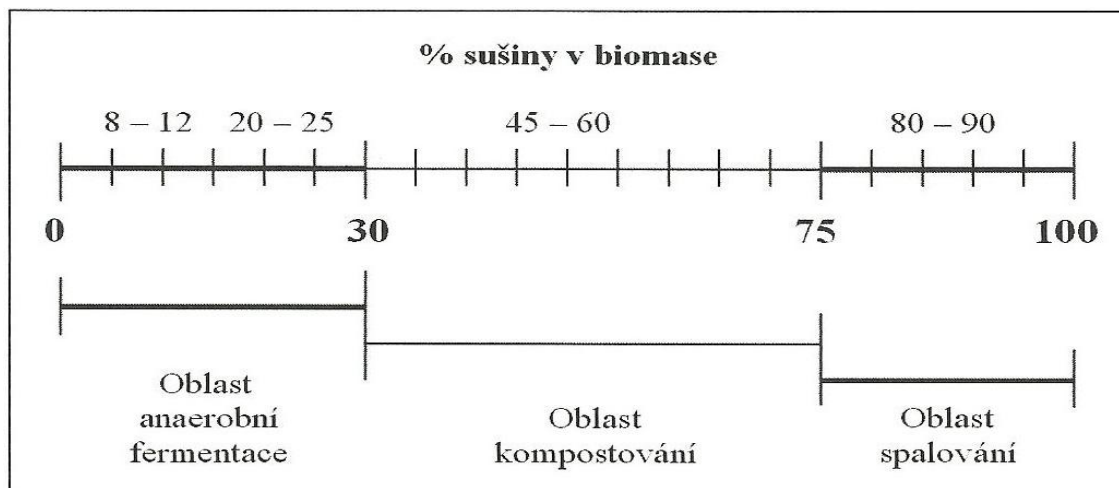
Fugát je tekutina vzniklá při procesu anaerobní digesce, má charakter odpadní vody. Využívá se v zemědělství jako hnojivo. [8]

Bioplyn

Bioplyn je směs plynů obsahující metan, oxid uhličitý, dusík, vodík a další látky, plyny ve stopových koncentracích jsou sirovodíky a další senné a dusíkaté sloučeniny. [5]

2.3 Technologie kompostování na volné ploše

Jedná se biologicky rozložitelný odpad převážně rostlinného původu (tab. 1.) z měst, obcí a venkova. Na obr. 1. jsou vidět jednotlivé způsoby zpracování biomasy. Z jejich rozložení vyplývá, že nejvhodnější technologický postup pro zpracování biologicky rozložitelného dopadu je kompostování. Nevelkou roli zde hraje též cena zpracování kompostu, popřípadě cena jeho prodeje. [5]



Obrázek 1. – Zobrazení způsobů zpracování biomasy ve vlhkostním spektru [6]

Tabulka 1. – Obsah vlhkosti v organických látkách u vybraných bioodpadů [6]

Surovina	Vlhkost [%]	Org. látka [% sušina]
Listí	15 – 40	88 – 94
Vytříděný bioodpad	37 – 64	69 – 82
Stařina z luk	10 – 30	88 – 95
Dřevní odpad	40 – 70	97 – 99
Kuchyňský odpad	65 – 80	75 – 88

2.3.1 Kompostování v plošných hromadách

Kompostování v plošných hromadách je jedním z nejstarších způsobů kompostovací technologie. Plošné hromady se s velkou výhodou zhotovují na souvracích. Kompost se skládá z jednotlivých vrstev zemědělského odpadu, jako např. chlévská mrva, sláma apod. Kompost je vrstven do výšky 0,5 m a je zpravidla proléván močůvkou. K převrstvování takto zhotoveného kompostu docházelo převážně pluhem, jako by se prováděla hluboká orba.

V dnešní době se kompostování v plošných hromadách využívá ve velkých kompostárnách u měst, kde se zpracovává velké množství biologicky rozložitelného komunálního odpadu. Tento odpad je vrstven v plošných hromadách až do výšky 5 m. K převrstvování se zde využívají speciální překopávače s pracovním orgánem ležícím zboku kompostované hromady, kompost je odnímán a vrstven na vedlejší stanoviště. [6]

2.3.2 Kompostování v pásových hromadách

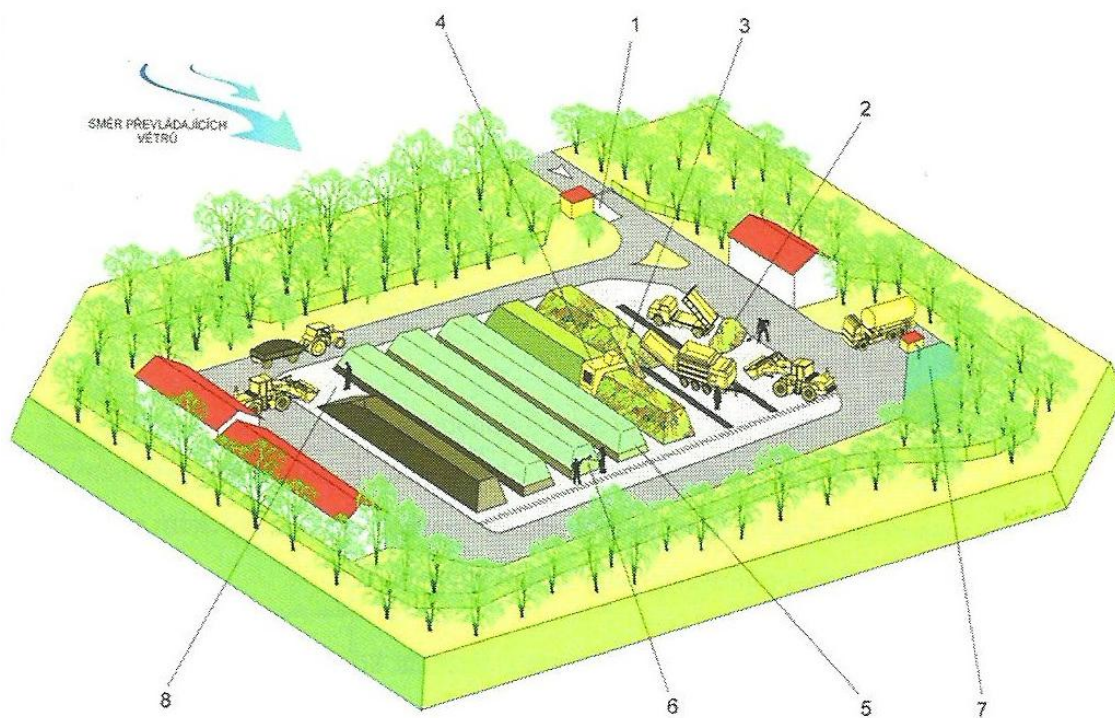
Jedná se o kompostovací technologii, která zpracovává kompostovací suroviny do pásových hromad lichoběžníkového nebo trojúhelníkového průřezu. Nezbytnou součástí je zde vodohospodářsky zabezpečená plocha. Pro zřízení těchto ploch jsou stanovena přísná pravidla. [9]

- K jejich splnění patří:
- zabránění styku zpracovaných surovin s půdou a s podzemní vodou;
 - vypsádování kompostovací plochy minimálně 2%;
 - zhotovení dostatečného prostoru, pro přístup pracovních strojů ke kompostovacím hromadám;
 - zřízení jímek a žlabů pro svod dešťové vody a částic jimi stržených.

Velikost kompostovaných ploch závisí na množství kompostovaných surovin a technologii jejich zpracování. Pro kompostování v pásových hromadách na volné ploše bereme v potaz některé faktory:

- 1) *tvar průřezu pásové hromady;*
- 2) *rozmístění na ploše;*
- 3) *četnost překopávání kompostu;*
- 4) *stupeň zrání kompostu.*

Kompostování v pásových hromadách je ideální technologií pro provoz řízeného kompostování. Na obr. 2 je znázorněno řízené kompostování v pásových hromadách s využitím biologicky rozložitelného odpadu. [6]



Obrázek 2. – Kompostování na volné ploše v pásových hromadách [5]

1 – evidence surovin, váha; 2 – příjem surovin; 3 – zakládání do pásových hromad;
4 – překopávání kompostu; 5 – zrání kompostu v přikryté hromadě; 6 – monitorování
komponovacího procesu; 7 – jímka; 8 – expedice kompostu

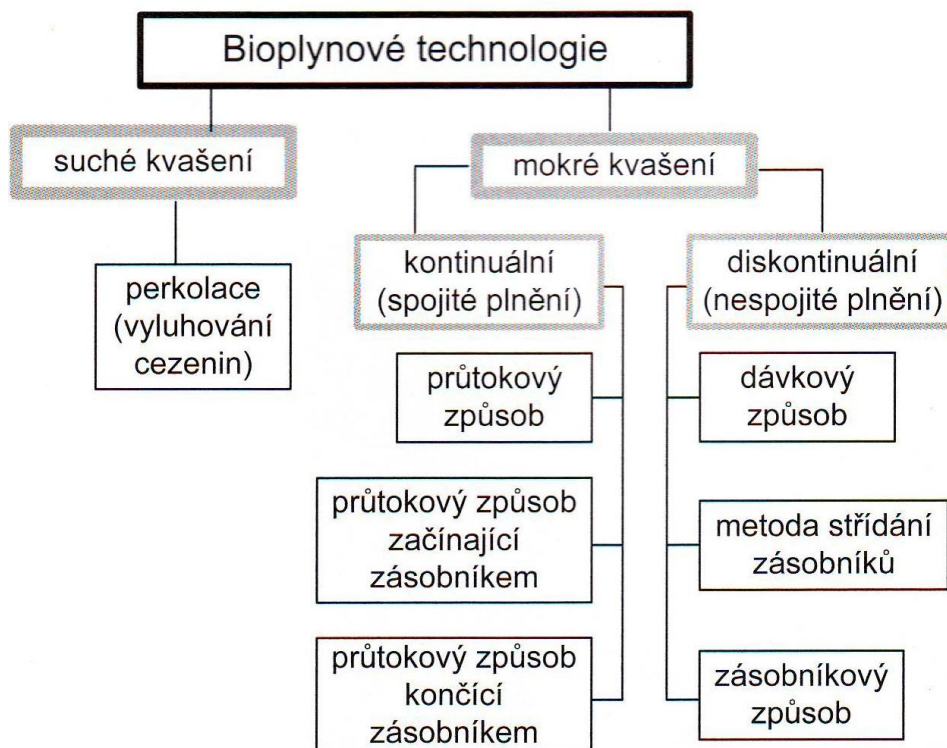
2.4 Rozdělení bioplynové technologie

Tato kapitola pojednává o jednotlivých postupech a technologiích souvisejících se zpracováním anaerobní fermentace. Tato technologie využívá pro zpracování bioodpadů, včetně biologicky rozložitelných komunálních odpadů, dvou základních typů, a to technologii mokré anaerobní fermentace, prováděnou v různých typech míchaných reaktorů, a technologii suché anaerobní fermentace prováděnou v boxech či ležatých reaktorech.

Reaktory pro výrobu bioplynu se dělí podle druhu fermentace, který v nich probíhá:

- Mokrý anaerobní fermentace;
- Suchá fermentace;

[3]



Obrázek 3. – Schematické rozdělení bioplynových technologií [10]

2.4.1 Mokrý fermentace

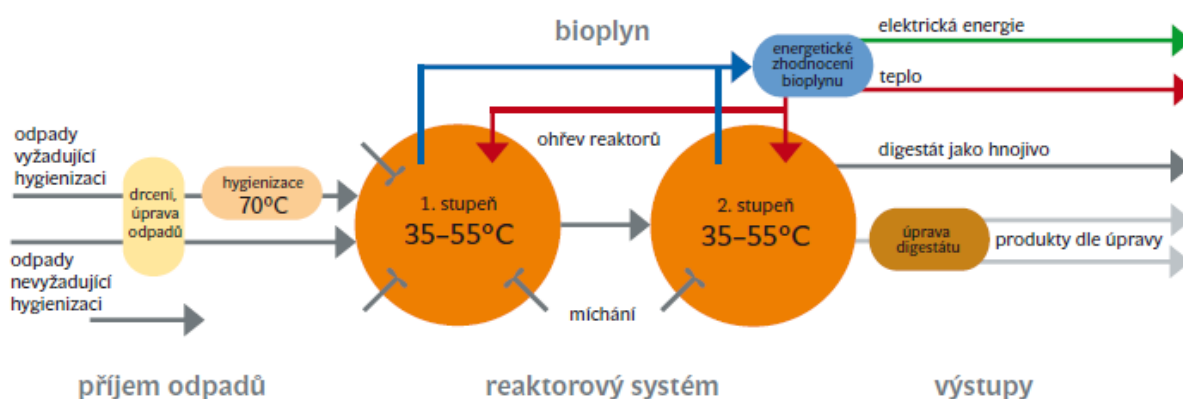
Jedná se o nejběžnější způsob zpracování biologický rozložitelného odpadu prostřednictvím mokré fermentace s obsahem sušiny 12%. Vstupní materiály s vyšším podílem sušiny (např. senáž, siláž, hnůj) jsou před fermentací drceny nebo mlety a následně naředěny např. kejdou nebo močkou. Při procesu zpracování materiálu je zde nezbytné separovat nežádoucí příměsi, které mohou způsobit nadměrné opotřebení součástí nebo ucpaní čerpacích systémů (písek, kamení, hlína). Jde o nepřetržitý proces dodávky substrátu do vzduchotěsně uzavřené míchací nádoby – fermentoru. Teplota je zde udržována při mezofilních podmínkách kolem 35 °C nebo při termofilních podmínkách okolo 55 °C, v tomto případě se jedná o hlubší proces rozkladu organických hmot.

Vzhledem k tomu, že se u mokré anaerobní fermentace pracuje s ustáleným množstvím hmoty, je nezbytné před začátkem výstavby vzít v potaz některé technologie:

- Velikost reaktorů a jejich účinnost;
- Zatížení reaktorů organickou hmotou;
- Koncentrace amoniakálního dusíku v reaktorech.

Velkou výhodou u mokré fermentace je možnost zpracování tekutých odpadů. Na druhou stranu je zde nezbytné zabezpečit nepřetržité dodávání substrátu a jeho zpracování před vstupem do fermentoru.

Pro snížení zápachu na výstupu digestátu se v dnešní době používají více-stupňové systémy se sériově řazenými fermentory a dofermentory. Princip je uveden na obr. 4. [3]



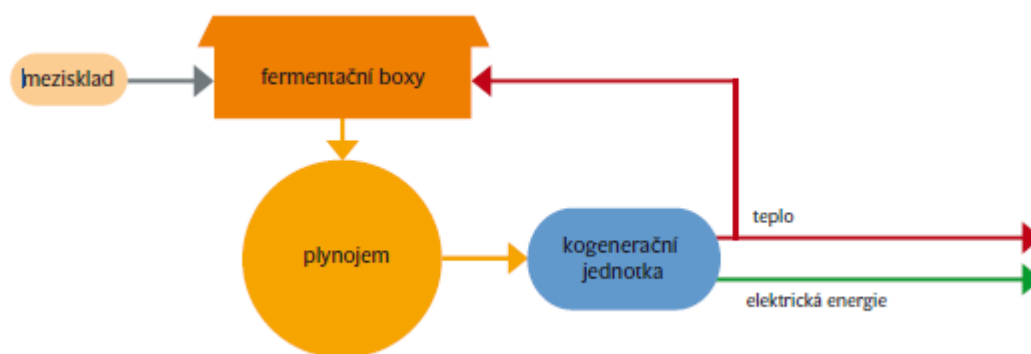
Obrázek 4. – Schéma bioplynové stanice využívající dvou stupňové mokré fermentace [3]

2.4.2 Suchá fermentace

Technologie suché fermentace se v posledních letech rozvíjí převážně v západní Evropě. Je to způsobeno hlavně nižší energetickou náročností provozu. Při vstupu materiálu pracuje technologie bez větší potřeby ředící kapaliny s pracovní sušinou, jejíž množství v reaktoru se pohybuje kolem 30%. U suché fermentace, u tzv. garážových bioplynových stanic, se využívá diskontinuálního procesu, kdy je materiál nadávkován do paralelních fermentačních železobetonových boxů. Následně dochází k uzavření a zahřívání na provozní teplotu cca 40 °C za stálého zkrápění procesní tekutinou (tzv. perkolátem). Při této reakci dochází v krátké době ke spotře-

bování kyslíku v boxu a za následného nepřístupu vzduchu probíhá anaerobní fermentace a produkce bioplynu.

Zde také hraje nemalou roli umístění boxů, obvykle se v praxi používá umístění několika boxů vedle sebe (min. 3–4). Díky tomu je celková produkce bioplynu z celého zařízení stálá i přes nerovnoměrnou produkci jednotlivých boxů. Bioodpad je v boxech ponecháván po dobu cca 20–40 dní, po této době již produkce bioplynu ustává. Následně po uplynutí této doby dochází k vyskladnění a dokompostování materiálu. V některých případech je část vyskladněného materiálu při modifikaci technologie smíchána s novým bioodpadem a opět je vracena do boxu jako inokulum.



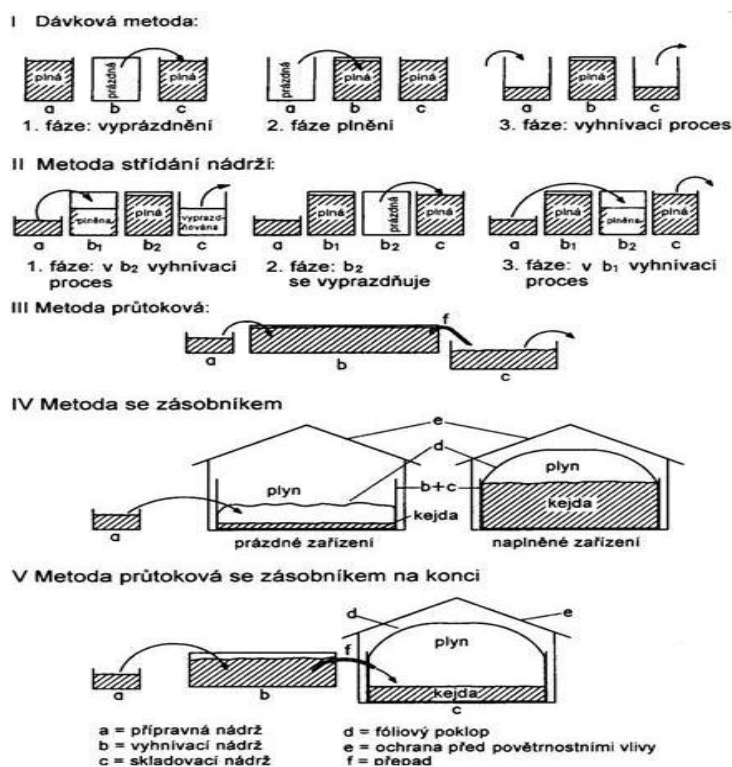
Obrázek 5. – Schéma bioplynové stanice využívající suché fermentace garážového typu [3]

Výhodou při suché fermentaci je především možnost pracovat se značně heterogenní vstupní hmotou obsahující např. příměsi nehomogenního materiálu, jako je např. hlína, cizorodé předměty apod. U separovaného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu není v některých aplikacích vůbec zapotřebí materiál upravovat, je však doporučeno alespoň hrubé drcení před zpracováním. Mezi další výhody patří nízká spotřeba vlastní elektrické energie, možnost diskontinuálního provozu a nižší nároky na obsluhu.

Za nevýhodu je považována především nižší účinnost rozkladu oproti mokré technologii, nutnost otevřené manipulace s bioodpadem při naskladnění a vyskladnění, výkyvy produkce bioplynu v startovní fázi procesu a komplikovanější náběh technologie. Využití této technologie není příliš vhodné pro bioodpady vyžadující hygienizaci, jako např. jateční odpady a materiály kapalné konzistence. [3]

2.5 Základní typy bioplynových stanic

Velký počet různých typů řešení bioplynových stanic lze zredukovat na několik technologických postupů, které jsou schematicky znázorněny na obr. 6. Jak je zde patrné, postupy lze rozlišit např. podle způsobu plnění (dávkový nebo průtokový způsob), dále podle toho, zda se jedná o jednostupňový nebo vícestupňový proces, a konečně i podle konzistence substrátu (pevná nebo kapalná). [10;11]



Obrázek 6. – Základní typy bioplynových stanic [12]

2.5.1 Dávkový způsob

Fermentor je u tohoto postupu naplněn najednou. Dávka pak vyhnívá do konce doby kontaktu, aniž by docházelo k přidávání nebo odnímání substrátu. Produkce plynu po naplnění pozvolna stoupá, po dosažení maxima následně začíná klesat. Na konci doby procesu je fermentor najednou vyprázdněn. Přitom je v nádrži ponecháno malé množství vyhnílého kalu (cca 5 až 10%), aby došlo k naočkování nové dávky.

Aby bylo možné jednorázové plnění a vyprazdňování, je zapotřebí mít vedle fermentoru další dvě nádrže: a to přípravnou a skladovací nádrž, což tento postup značně prodražuje. Dalším problémem je zde nerovnoměrná výroba plynu. [10;11]

2.5.2 Metoda střídání nádrží

Tato technologie pracuje s dvěma vyhnívacími nádržemi. Z přípravné nádrže, která pojme substrát získaný za 1 až 2 dny, se prázdný fermentor pomalu, ale rovnoměrně plní, zatímco v druhém probíhá vyhnívací proces. Když je první nádrž naplněna, obsah druhé nádrže se najednou přesune do skladovací nádrže a následně se tato vyprázdněná nádrž začne plnit z přípravné nádrže. Mezitím se vyhníly kal ze skladovací nádrže částečně nebo zcela vyváží na volné plochy. Proto je vhodné, aby její kapacita byla větší než kapacita jedné vyhnívací nádrže.

Tato metoda se vyznačuje velmi rovnoměrnou výrobou plynu a dobrým hygienizačním účinkem, neboť nedochází během celého vyhnívání k doplňování čerstvým substrátem. Stejně jako u dávkovacího systému zde narážíme na problém vysokých pořizovacích nákladů. Nehledě na to, že pokud zásobník plynu není dostatečně velký a naplněný tak, aby zaplnil plynem prostor po odebraném vyhníleém substrátu, musí se nádrž při vyprazdňování zavzdušňovat. [10;11]

2.5.3 Průtokový způsob

Tento způsob se oproti jiným technologiím vyznačuje tím, že vyhnívací nádrž je stále naplněna a k jejímu vyprázdnění dochází pouze příležitostně kvůli opravám nebo odstranění usazenin. Z malé přípravné nádrže je čerstvý substrát (jednou až dvakrát denně) dodáván do fermentoru, přičemž zároveň automaticky odchází odpovídající množství vyhníleého substrátu do skladovací nádrže.

Výhodou je rovnoměrná produkce plynu, dobré využití vyhnívacího prostoru, a tím také cenově příznivá, kompaktní produkce s nízkými tepelnými ztrátami. Kromě toho lze proces plnění automatizovat (plovákový, časový spínač). Nevýhodou u průtokového způsobu je to, že v závislosti na míchací technice a typu nádrže může dojít ke smíchání čerstvého substrátu s vyhnílym materiálem. [10;11]

2.5.4 Metoda se zásobníkem

U zásobníkové metody je fermentor se skladovací nádrží spojen do jedné nádrže. Při vyvážení vyhnílé kejdy se zásobník vyprázdní až na malý zbytek, který je nezbytný k naočkování další náplně. Poté dochází k plnění fermentoru z přípravné nádrže nebo stálým přítokem přes přirozený přepad. Provoz těchto zařízení je tudíž jednoduchý a přehledný. S použitím foliové krytiny lze také využívat otevřené jímky na kejdu s minimálními náklady k přestavbě na bioplynovou stanici.

Výhodou zásobníkové metody je především nízká nákladnost. Provozovatel potřebuje pouze velkou a dostatečně pevnou nádrž. Problémem u foliovaných krytů jsou vysoké tepelné ztráty. U zařízení s pevným krytem k tak markantním tepelným ztrátám sice nedochází, ale jejich nevýhodou je, že musí disponovat plynojemem o dostatečně velkém obsahu, aby nedošlo při vyprazdňování k vniknutí vzduchu.

[10;11]

2.5.5 Kombinovaná průtoková metoda se zásobníkem

Technologie kombinovaného průtokovo-zásobníkového zařízení je v současnosti nejvyšším stupněm bioplynové technologie. Tato zařízení vznikla tak, že k průtokovému fermentoru byly připojeny dříve otevřené skladovací nádrže na vyhnílou kejdu dodatečně opatřené foliovým poklopem nebo pevným krytem. Cílem bylo zabránit ztrátám na dusíku způsobeným aerobními rozkladnými procesy a získat tak dodatečný bioplyn. Výsledky z praxe ukázaly, že při dnešní obvyklé době skladování (7 měsíců), pochází 20 až 40% z celkového výnosu plynu ze skladovací nádrže. Tato nádrž není z pravidla izolovaná, ohřívána a ani jinak promíchávaná, proto jsou náklady na dodatečný zisk plynu minimální. [10;11]

2.6 Konstrukční typy fermentorů

Fermentor je nádrž, ve které dochází k vlastnímu procesu vyhnívání materiálu za vzniku bioplynu a dalších tuhých substrátů. Vzhledem k tomu, že v dnešní době se zpracovává nemalý objem z odpadového hospodářství v desítkách až stovkách m³, mají velké uplatnění vertikální nebo horizontální fermentory. Konstrukční provedení fermentační nádrže se převážně provádí z železobetonu nebo z ocelových plechů. Při výstavbě železobetonových nádrží jsou stěny se dnem provedeny v monolitické po-

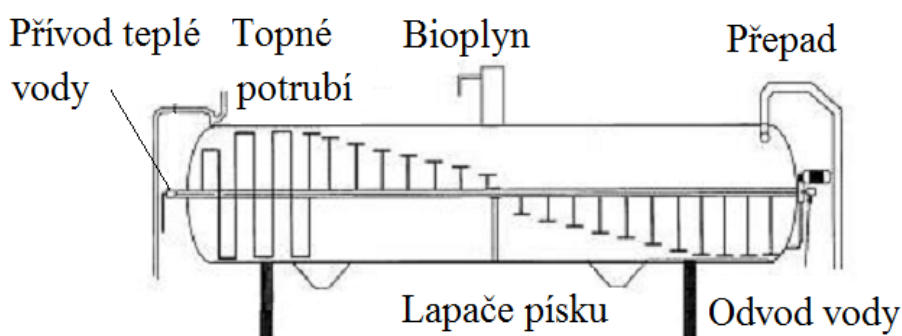
době za dodržení přísných směrnic o vodotěsnosti a plynotěsnosti. Jako izolace se zde používají běžné stavební materiály.

Při výstavbě ocelových plechových nádrží se jedná o použití vyřazených, leč ještě použitelných nádrží nebo cisteren na přepravu kapalin (např. při pravidelném intervalu výměny benzínové čerpací nádrže z důvodů bezpečnosti). Tyto nádrže jsou opatřeny tloušťkou stěn 4 až 6 centimetrů s dalšími technickými úpravami zabraňujícími vnější korozi materiálu. [10;13]

2.6.1 Horizontální konstrukční typ

Mezi přednosti horizontální konstrukce patří možnost instalovat výkonné, funkčně bezpečné a energeticky úsporné mechanické míchadlo. Tím lze dosáhnout dobrého promíchání substrátu v příčném směru průtoku, aniž by docházelo k přílišnému promíchání v podélné ose.

U horizontální konstrukce je délka nádrže několikanásobně větší než její výška, automaticky zde vzniká velmi žádoucí tzv. pístové proudění. Tento pojem označuje jev, kdy jedna dávka kejdy je posouvána rourou jako píst, takže čerstvý substrát z plnicí zóny se nesmíchává s vyhnílym materiálem na druhém konci nádrže, což podporuje hygienizační efekt.



Obrázek 7. – Horizontální fermentor [13]

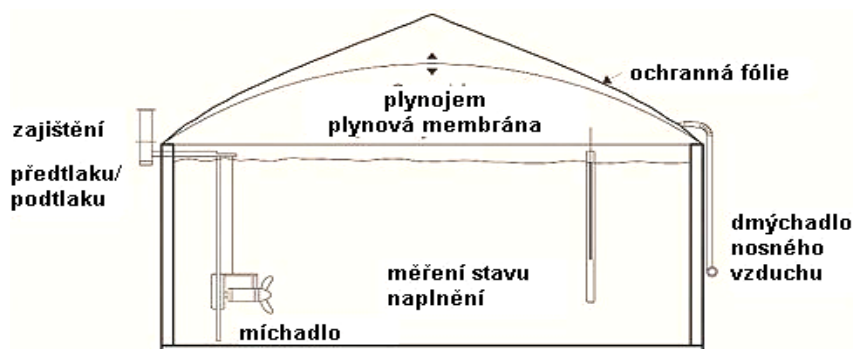
Nevýhodou u tohoto konstrukčního typu je to, že je zapotřebí velký prostor na umístění nádrže, nadměrná velikost povrchu nádrže vede k značným teplotním ztrátám. Dochází zde rovněž ke znemožnění očkování čerstvého substrátu bakteriální flórou vyhnívaného kalu. U hnoje a hovězí kejdy nehrají tyto skutečnosti žádnou roli, poněvadž je už v substrátu přítomné dostatečné množství metanolových bakterií. Prasečí kejda, slepičí trus nebo organický odpad však neosahují žádné anaerobní

bakterie, nebo jen nepatrné množství, a proto je zde u tohoto konstrukčního typu doporučováno očkování vyhnílym substrátem. K očkování může docházet např. v přepravní nádrži nebo recirkulací materiálu pomocí malého čerpadla. [10;13]

2.6.2 Vertikální konstrukční typ

Vyhnívací nádrže u vertikálního konstrukčního typu bývají ze statických důvodů vyrobeny z betonu s kruhovým průřezem. Předností této konstrukce je to, že zde lze dosáhnout lepšího poměru mezi povrchem a objemem, čímž dochází ke snížení materiálových nákladů a tepelných ztrát. V některých případech mohou být nádrže umístěny pod úroveň terénu. Objem používaných reaktorů se pohybuje v rozmezí 250 – 5000 m³. Tato konstrukce je oproti horizontálnímu fermentoru více rozšířena.

Konstrukční řešení vertikálního fermentoru má tu nevýhodu, že zde nemůže docházet k pístovému proudění. [11;13]



Obrázek 8. – Vertikální fermentor [14]

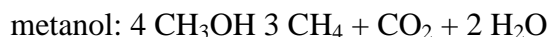
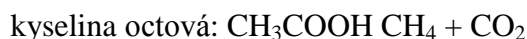
2.7 Anaerobní digesce

Anaerobní digesce je proces za nepřítomnosti kyslíku, skládající se ze čtyř základních na sobě závislých fází. Jedná se o velmi složitý biochemický proces, který se skládá z mnoha dílčích fyzikálních, fyzikálně-chemických a biologických procesů. Metanogeneze je pouze konečná fáze biochemické přeměny biomasy na bioplyn a zbytkový fermentovaný materiál. [15;16;17]

- I. **Hydrolyza** – začátek této fáze probíhá, když prostředí obsahuje vzdušný kyslík. Pro nastartování reakce musí mít vstupní materiál obsah vlhkosti 50% hmotnostního podílu. Hydrolytické mikroorganismy zde ještě nevyžadují bezkyslíkaté prostředí. Enzymatický rozklad mění polymery (polysacharidy, proteiny...) na jednoduché organické nízkomolekulární látky, jako jsou jednoduché cukry, glycerin, vyšší masné kyseliny a aminokyseliny.
- II. **Acidogeneze** – zpracovávaný materiál může ještě obsahovat zbytky vzdušného kyslíku, v této fázi však dojde k definitivnímu vytvoření anaerobního (bezkyslíkatého) prostředí. Této přeměny je dosaženo díky anaerobním mikroorganismům, které se aktivují v obou prostředích. Dochází k tvorbě jednodušších organických látek (vyšší organické kyseliny, alkoholy, CO_2 , H_2 a CH_3COOH), které umožňují metanogenním bakteriím vznik metanu.
- III. **Acetogeneze** – je v některých případech označována jako mezi fáze. Dochází zde k tomu, že acidogenní kmenové bakterie přeměňují vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý.
- IV. **Metanogeneze** – jedná se o konečnou fázi anaerobní fermentace. Metanogenní acetotrofní bakterie se podílejí na vzniku metanu v bioplynu a to více jak 2/3. Rozkládají kyselinu octovou na metan a oxid uhličitý. Hydrogenotrofní bakterie produkují metan z vodíku a oxidu uhličitého (rychlý růst, generační doba cca 6 hodin). Některé metanogenní bakterie se chovají jako obojetné. [15;18]

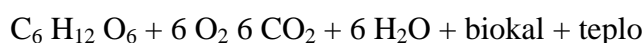
Pro stabilizaci anaerobní digesce je velmi důležitá optimální rovnováha v kinetice jednotlivých fází. Metanogenní fáze probíhá přibližně pětikrát pomaleji než zbylé tři předchozí fáze, proto je nezbytné přizpůsobit konstrukce bioplynových technologických systémů a dávkování surového materiálu, jinak hrozí přetížení fermentoru.

Zjednodušený popis metanového kvašení:



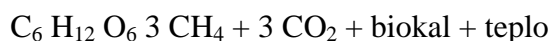
Rozdíl mezi anaerobním a aerobním procesem je zřejmý z rozkladu glukózy:

aerobní proces:



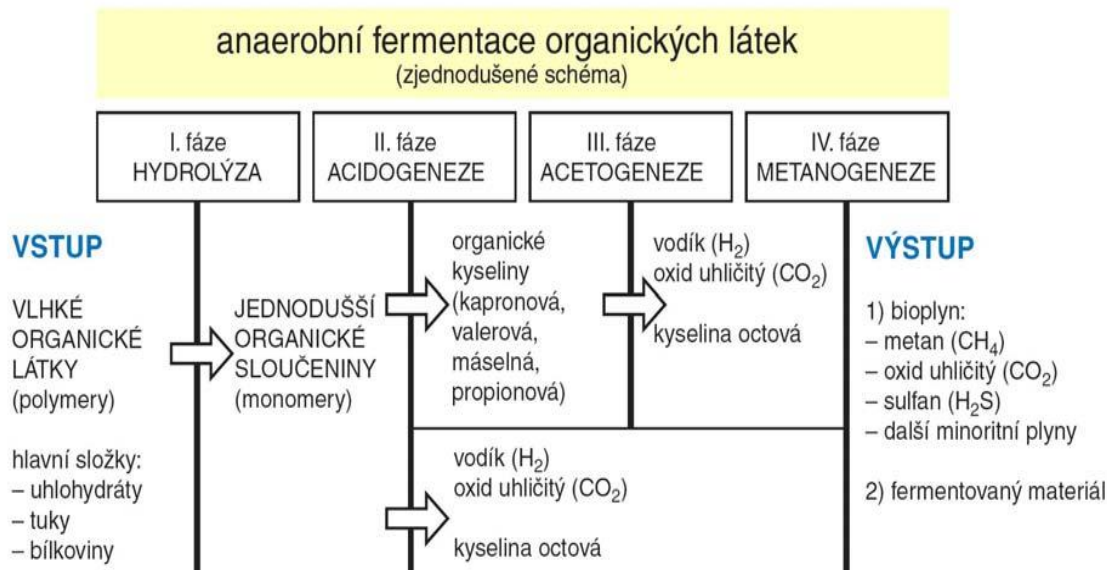
1 kg + 0,53 kg 0,72 kg + 0,40 kg + 0,41 kg + 6360 kJ

anaerobní proces:



1 kg 0,25 kg + 0,69 kg + 0,06 kg + 0,38 kJ

[15]



Obrázek 9. – Schéma vzniku bioplynu z biologicky rozložitelných odpadů [19]

2.8 Homogenizační jímka

Jedná se o výchozí bod procesu při vzniku bioplynu. Dochází zde k mísení jednotlivých materiálových substrátů. Měla by mít takový objem, aby byla schopna pojmout množství kejdy a hnoje nejméně za jeden až dva dny. Je nezbytné její utěsnění proti úniku kejdy, plynotěsné provedení není nutné. Ba naopak, přístup vzduchu příznivě ovlivňuje započetí první fáze rozkladu.

Homogenizační nádrž je většinou zapuštěna do země a zhotovena ze skruží nebo odlita z litého betonu. Substrát je nasáván z výšky 50 cm nade dnem, na němž zůstávají usazena cizorodá tělesa. Je vhodné a praktické, když do přípravné nádrže ústí odvod usazenin z fermentoru. [10]

2.9 Míchadla

Míchání ve fermentoru je důležité pro homogenizaci obsahu, a tudíž i pro naočkování čerstvého substrátu aktivními bakteriemi. Díky promíchávání dochází k rovnoměrnému rozložení tepla ve fermentoru a zabránění vzniku kalové krusty na hladině reagujícího materiálu. Substrát je několikrát denně promícháván. Je tedy nezbytné zvolit vhodný způsob a dobu míchání tak, aby ve fermentoru bylo dosaženo následujících efektů. Jednotlivé metody jsou znázorněny na obr. 10. [10;14;]

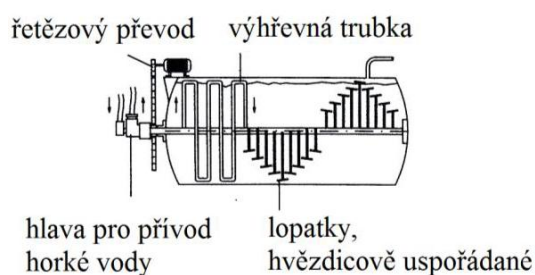
- *Smíchání čerstvého substrátu s již vyhnívajícím substrátem, aby se čerstvý substrát naočkoval aktivními bakteriemi.*
- *Rozdělení tepla, aby se ve fermentoru udržela co nejrovnoměrnější tepelná úroveň.*
- *Zabránění vzniku plovoucího příkrovu a usazenin nebo jejich odstranění.*
- *Zlepšení látkové výměny bakterií vypuzením bublin bioplynu přívodem čerstvých živin.*

[10]

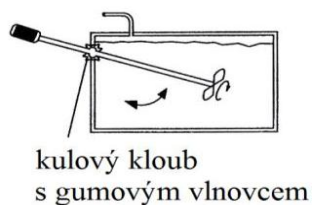
Přesto, že míchadlo nepracuje, dochází neustále k určitému promíchávání působením termického konvekčního proudění a stoupajících plynových bublin.

V praxi je možno se setkat s třemi základními způsoby promíchávání:

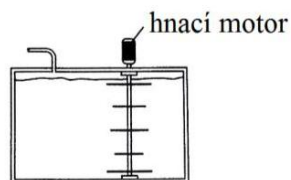
- Mechanicky – zařízeními zavedenými do fermentoru;
- Hydraulicky – odděleně instalovanými čerpadly nebo využitím vlastního tlaku vyráběného plynu;
- Pneumaticky – vtlačováním bioplynu. [10,20]



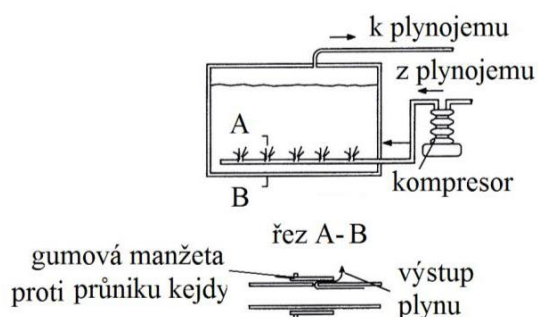
Mechanické lopatkové míchadlo s výhřevnými trubkami



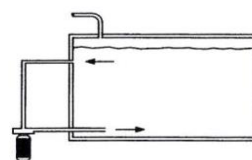
Tyčový mixér, otočný



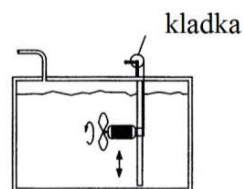
Mechanické mlýnové míchadlo s excentrickým umístěním



Pneumatické vtlačování bioplynu



Hydraulická cirkulace



Ponorné motorové vrtulové míchadlo s nastavitelnou výškou

Obrázek 10. – Míchadla pro bioplynové stanice [10]

2.9.1 Mechanická míchadla

Mechanická míchadla se dále dělí na tři typy: pomaloběžné míchačky, rychlé kompaktní vrtule a mixéry. Jejich uplatnění se převážně využívá v horizontálních cisternových fermentorech. Předností těchto míchadel je to, že zasáhnou celý vyhnívací prostor, nevyvolávají žádné vířivé proudění, působí převážně ve vertikální rovině, a proto je substrát posouván ve fermentoru jako píst, aniž by přitom docházelo k mísení s vyhnílym substrátem. [10]

2.9.2 Hydraulická míchadla

U hydraulického typu míchání je využíváno výkonných centrálních čerpadel, která zároveň slouží k přečerpávání substrátu z přepravní nádrže do fermentoru a vyhnílého substrátu ze skladovací nádrže do cisternového vozu. Je nezbytné zde docílit toho, aby nasávání substrátu a plnění fermentoru probíhalo tak, aby docházelo k plnému promíchání objemu fermentoru. K tomuto účelu se nejčastěji používají míchací trysky, které je možno natáčet jak ve svislé, tak vodorovné rovině. Předností tohoto typu míchání je to, že se v prostoru fermentoru nenacházejí žádné pohyblivé části. Možnost použití hydraulických míchadel je však omezena na velmi řídký (nízkoviskózní) substrát. [10]

2.9.3 Pneumatická míchadla

Bioplyn je odčerpáván z plynového prostoru reaktoru a pod tlakem kompresoru přes difuzor vháněn ke dnu nádrže fermentoru. Vznikající plynové bubliny vyvolávají v substrátu vertikální pohyb, nikoli však horizontální proudění. Pneumatická míchadla jsou vhodná i pro ty případy, kdy nemá být obsah fermentoru promícháván v plném rozsahu. Pokud rozdělíme fermentor vestavenou stěnou, můžeme docílit podobného proudění jako u horizontálních fermentorů. [10]

2.10 Ohřev

Slouží k účelům udržení konstantní teploty ve fermentoru. V našich klimatických podmínkách je nezbytné, aby byl fermentor vytápěn, jednak z již uvedeného důvodu konstantní teploty a jednak z důvodu úniku tepla do okolního prostředí. Pro zahřívání substrátu se zpravidla používá cirkulace teplé vody nebo tepelný výměník.

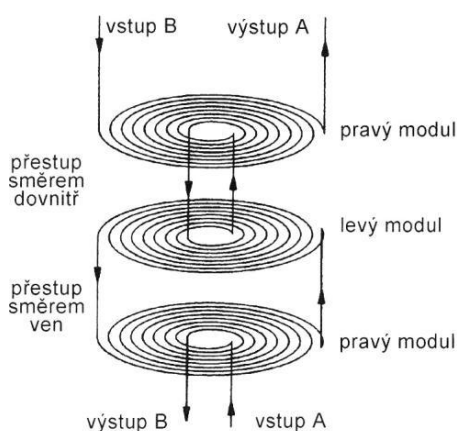
[10;20]

2.10.1 Externí výměníky

U externího vytápění (výměník umístěný mimo fermentor) je kejda a horká voda čerpána teponosnými zařízeními proti sobě. Protiproudé výměníky jsou z termodynamického hlediska velmi efektivní. V praxi se převážně využívají výměníky s dvojitými trubkami a spirálovité výměníky, viz obr. 11.

U protiproudého výměníku tepla s dvojitými trubkami protéká kejda centrální trubkou. Ve vnější trubce protéká horká nebo studená voda. Tento způsob není vhodný pro přenos horké kejdy na studenou. Čištění protiproudých výměníků s dvojitými trubkami je velmi nákladné.

Spirálovité výměníky se vyznačují prostorovou nenáročností při relativně vysokých výkonech. U těchto výměníků může být použito chladicí nebo topné médium i kejda. Díky jejich konstrukci se může výměník snadno rozšiřovat. Nejsou náročné na údržbu a ani náchylné na ucpání, mají dlouhou životnost při setrvale vysokém výkonu. [10]



Obrázek 11. – Schéma spirálového výměníku [10]

2.10.2 Podlahové vytápění

Vnitřní vyhřívané plochy ve fermentoru pracují na principu přečerpávání pouze horké vody. U vertikálních fermentorů jsou v podlahové desce zabudovány plastové výhřevné trubky. Pod podlahovou deskou je uložen extrudovaný pěnový polystyren, který slouží jako izolace. V případě, že jsou topné trubky ukládány do železobetonové desky, je nutné provést statickou zkoušku její stability. Při volbě podlahového vytápění je třeba dbát na to, aby se na dně fermentoru nehromadila silná vrstva usazenin, která by zabraňovala prostupu tepla. Toho lze docílit výkonným čerpadlem. [10]

2.10.3 Stěnové topení

U vertikálního fermentoru se stěnové topení provádí také v plastové podobě. Užívají se dvě varianty: první z nich je stejná jako u podlahového vytápění. V tomto případě jde ale o to, že trubky jsou zality ve stěně fermentoru. Další variantou je upevnění trubek v určité vzdálenosti od stěny, jak je patrné z obr 12. Nezbytné je zde, aby byly trubky neustále omývány substrátem a nevznikaly mrtvé zóny (místa, kde nedochází k prostupu tepla). Účelem je stočit trubky do spirály a nechávat je odvzdušňovat prouděním odspoda nahoru. Přitom záleží na průměru trubky a velikosti nádrže. Trubky jsou na sebe paralelně napojeny ve dvou nebo více kruzích. [10]



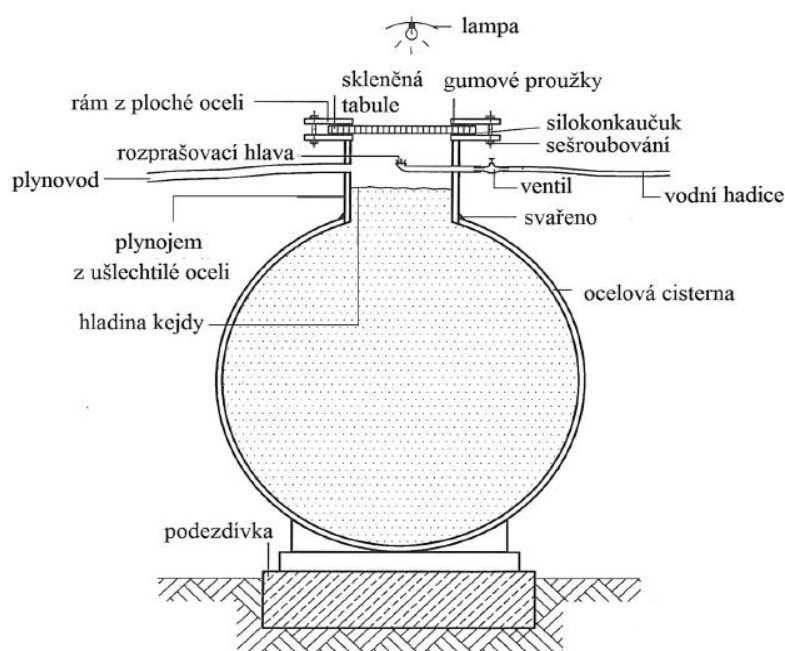
Obrázek 12. – Stěnové vytápění [21]

2.10.4 Topení na hřídeli míchačky

Tento typ ohřevu je převážně uplatňován u horizontálního fermentoru s lopatkovým míchadlem. V místě, kde přitéká kejda do nádrže, je v určitém úseku hřídele míchačky (namísto lopatek) osazena několikasiadlná smyčka z ocelové trubky, kterou protéká horká voda. Při otáčení míchadla dochází k velmi dobrému přenosu tepla na substrát, takže postačují i relativně malé plochy výměníku. Pokud je míchadlo zapínáno jen krátkodobě a ne nepřetržitě, pak je třeba počítat s podstatně horším přestupem tepla. [10]

2.11 Plynojem

Úkolem plynojemu je shromažďování plynu a oddělování od pěny a kapalných částic. Horní část by měla být opatřena skleněnou nebo plexisklovou tabulkou, díky které je možno nahlížet do nádrže a vizuálně tak kontrolovat funkci míchadla a tak včas rozpoznat vytváření kalového stropu. Tabulka je lepena (silikonkaučukem) na přírubu plynojemu a po obvodu je přimontována na rám z ocelového plechu, aby nedocházelo k nadzvedávání tlakem plynu. Tabulka pak následně plní funkci přetlakové pojistky. V případě, kdy by došlo k tomu, že se plynojem ucpe pěnou a přetlaková pojistka na odlučovači kondenzované vody nereaguje, dochází k prasknutí tabulky, čímž se zabrání poškození nádrže příliš vysokým tlakem. [10]



Obrázek 13. – Schéma plynojemu [10]

Konstrukční řešení plynojemu se provádí z ušlechtilých ocelí, které dobře odolávají korozivním účinkům. Mnohdy však postačuje použití 4 až 6 cm tloušťky ocelového plechu, který je na vnitřní straně ošetřen předepsaným způsobem. Obr. 13.

[10]

2.12 Faktory ovlivňující vznik bioplynu

Stabilitu anaerobního procesu ovlivňuje velká řada faktorů, které mohou přímo měnit životní prostředí mikroorganismů (např. složení materiálu, podíl vlhkosti, teplota prostředí, pH a mnoho dalších), proto je nezbytné brát tyto faktory v úvahu už při návrhu a posuzování reaktoru. [22]

2.12.1 Vliv teploty

Teplota podstatnou měrou ovlivňuje interakce mezi jednotlivými druhy mikroorganismů. S následnou změnou teploty se mění rychlosti probíhajících pochodů, což se projevuje ve výsledku narušením dynamické rovnováhy procesu a může vést až k úplné destrukci procesu. Při dlouhodobé změně teploty dochází ke změně zastoupení jednotlivých druhů mikroorganismů.

Obecně lze říci, že pro udržení stability procesu je nezbytně nutné zabezpečit konstantní teplotu. Změny teploty jsou tím nebezpečnější, čím je proces zatíženější, to znamená, čím je kratší doba zdržení a menší koncentrace biomasy v reaktoru. [22]

2.12.2 Vliv reakce prostředí - pH

Dalším faktorem, který nemalou měrou ovlivňuje stabilitu anaerobního procesu, je úzký rozsah hodnoty pH. Metanogenní mikroorganismy vyžadují pH v neutrální oblasti (optimálně 6,5 – 7,5), proto je nezbytné udržet uvnitř reaktoru tyto hodnoty. Pokud je hranice nižší než pH 6 nebo naopak vyšší než pH 8, je jejich činnost silně inhibována. K nestabilním výkyvům pH nejčastěji dochází vlivem přetížení reaktoru, kdy produkce kyselin rychlejšími mikroorganismy předmetanizační fáze je vyšší než jejich spotřeba a dochází k jejich akumulaci v systému, avšak při vysoké koncentraci amoniaku, tj. při vysokých hodnotách alkality, pH není citlivým ukazatelem. Z těchto důvodů je zapotřebí řídit množství a složení masných kyselin v médiu, aby nedošlo ke zhroucení procesu. [22]

2.12.3 Přítomnost nutrientů

Pro zapracování a provoz reaktorů je nutný správný poměr dusíku a fosforu k organickým látkám. Z bilance produkce biomasy se udává potřebný poměr živin. Vedle N a P je žádoucí přítomnost řady mikronutrientů – Na, K, Ca, Fe, S, Mg, Se, W, důležitá je také přítomnost řady růstových faktorů. Převážně u původního přirozeného substrátu je množství nutrientů dostačující, zatímco u anaerobní fermentace kejdy nebo jiného živočišného produktu bývá vysoký podíl amoniaku, který vede ke zvýšení hodnoty pH s následnou možností působení inhibičních až toxických látek. [22]

2.12.4 Přítomnost toxických a inhibujících látek

Toxické nebo inhibující látky jsou ty látky, které svojí přítomností nepříznivě ovlivňují biologický proces. Nejčastěji se vyskytuje působení inhibičních nižších mastných kyselin a amoniaku. V obou případech je jejich závislost ovlivněna hodnotou pH. Při nízkém pH působí inhibičně mastné kyseliny, zatímco při vysokém amoniak. [22]

2.12.5 Vliv technologických faktorů

Z technologického hlediska zde hraje nejdůležitější roli míchání a doba zdržení. Obsah reaktoru musí být v dostatečné míře promícháván, tak aby byl umožněn co nejdokonalejší kontakt mikroorganismů se substrátem.

Doba setrvání substrátu v reaktoru musí být dostatečně dlouhá, aby nedocházelo k vyplavování potřebných mikroorganismů a aby bylo dosaženo potřebné účinnosti rozkladu. V závislosti na tom, že generační doby anaerobních mikroorganismů jsou relativně dlouhé v řádech dní (0,5 až 12 dní) pro různé skupiny mikroorganismů, ponechává se substrát v bioplynovém reaktoru 20 až 40 dní. Dále je třeba si uvědomit to, že čím hůře je rozložitelný daný substrát, tím se prodlužuje generační doba příslušných bakterií. [22]

2.12.6 Zapracování bioplynového reaktoru

Zapracování anaerobního reaktoru do provozu je tou nejdůležitější fází. Spočívá na něm doba ustálení stavu provozu, stabilita a v neposlední řadě i účinnost provozu.

Zapracování zahrnuje tyto důležité fáze:

- adaptaci biomasy na daný substrát a dané podmínky;
- nahromadění (akumulaci) takového množství aktivní biomasy, aby reaktor byl schopný zpracovávat požadované zatížení.

Zapracování se provádí postupným zvyšováním zatížení substrátem za zvýšené kontroly průběhu procesu. Rychlost zapracování závisí na kvalitě a množství inokula (kultura mikrobů přenesena na živnou půdu) a na rychlosti adaptace mikroorganismů inokula na daný substrát. Množství inokula bezprostředně ovlivňuje dobu zapracování. [22]

2.13 Legislativa o založení a provozování bioplynových stanic

Zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z OZE

Podporu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů upravuje *zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (OZE)*. Na základě uvedeného zákona jsou provozovatelé distribučních soustav a provozovatel přenosové soustavy povinni přednostně připojit k soustavě výrobu elektřiny na bázi OZE.

[15]

Zákon č. 458/2000 Sb. energetický zákon

Tento zákon umožňuje podnikat v oblasti energetického odvětví, prodávat a distribuovat elektrickou energii po získání licence na dobu maximálně 5 let, za předpokladu splnění předem stanovených podmínek. [23]

Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech

Provozovny bioplynových stanic podléhají nařízení o zpracovávání odpadu podle § 14 odst. 1 zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech, vzhledem k tomu že se zde zpracovávají nejen biologicky rozložitelné odpady, ale i vedlejší živočišné produkty, je nezbytné získat kladné vyjádření příslušného orgánu ochrany veřejného zdraví.

[24]

Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách

Podle zákon č. 254/2001 Sb. o vodách musí mít provozovatel bioplynové stanice povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových nebo podzemních. Toto povolení vydává příslušný vodoprávní úřad, který také stanovuje emisní limity pro vypouštění odpadních vod. Vodohospodářský úřad dále stanovuje způsob, četnost, typ a místo odběru vzorku odpadní vody z bioplynové stanice, včetně rozborů pořízených vzorků a následného vyhodnocení ukazatele znečištění. [25]

Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší

Před začátkem výstavby je nutné doložit odborný posudek a rozptylovou studii týkající se vlivu provozu bioplynové stanice na ovzduší. Množství znečištění ovzduší je stanoveno emisními limity, ministerstvo stanovuje podmínky a způsob posouzení a vyhodnocení úrovně znečištění. [26]

Zákon č. 156/1998 Sb. o hnojivech

Má-li být digestát použit jako hnojivo, je nezbytné splnit podmínky stanovené zákonem o hnojivech, dále musí být toto hnojivo evidováno v České republice zasláním ohlášení o uvedení hnojiva nebo pomocné látky do oběhu. Ministerstvo zemědělství a Ministerstvo životního prostředí stanoví vyhláškou podmínky a způsob používání digestátu (sedimentů) na zemědělské půdě, způsob vedení evidence o použití, limitní hodnoty rizikových prvků a rizikových látek v digestátu (sedimentu) a v půdě, na kterou má být použit, požadavky na další fyzikálně-chemické a biologické vlastnosti a postupy rozboru půdy, včetně metod odběru vzorků. [27]

Tabulka 2: Limitní hodnoty obsahu rizikových prvků v organických hnojivech, substrátech a statkových hnojivech v sušině [27]

Rizikové prvky	Maximální hodnota v mg.kg-1
Kadmium	2
Olovo	100
Rtuť	1
Arsen	10
Chróm	100
Měď	100
Molybden	100
Nikl	50
Zinek	300

Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření s energií

Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření s energií stanovuje způsoby pro co nejefektivnější hospodaření s energií a povinnosti spojené s jejím nakládáním. [28]

3. Cíl

Na základě teoretického přehledu o problematice technologie bioplynových stanic, který byl podán v předchozí části této bakalářské práce, je v následující praktické části kladeno za cíl provést analýzu technologie na zpracování biologicky rozložitelného odpadu používané ve vybraném zemědělském podniku (konkrétně na farmě AGRO – Otročín). Analýza bude vedena se zaměřením na hlavní části bioplynové stanice s jejich popsáním a technickými parametry.

Na doporučení vedoucí bakalářské práce bylo navíc provedeno měření hluku kogenerační jednotky a následné porovnání s hodnotami udávanými výrobcem.

4. Praktická část

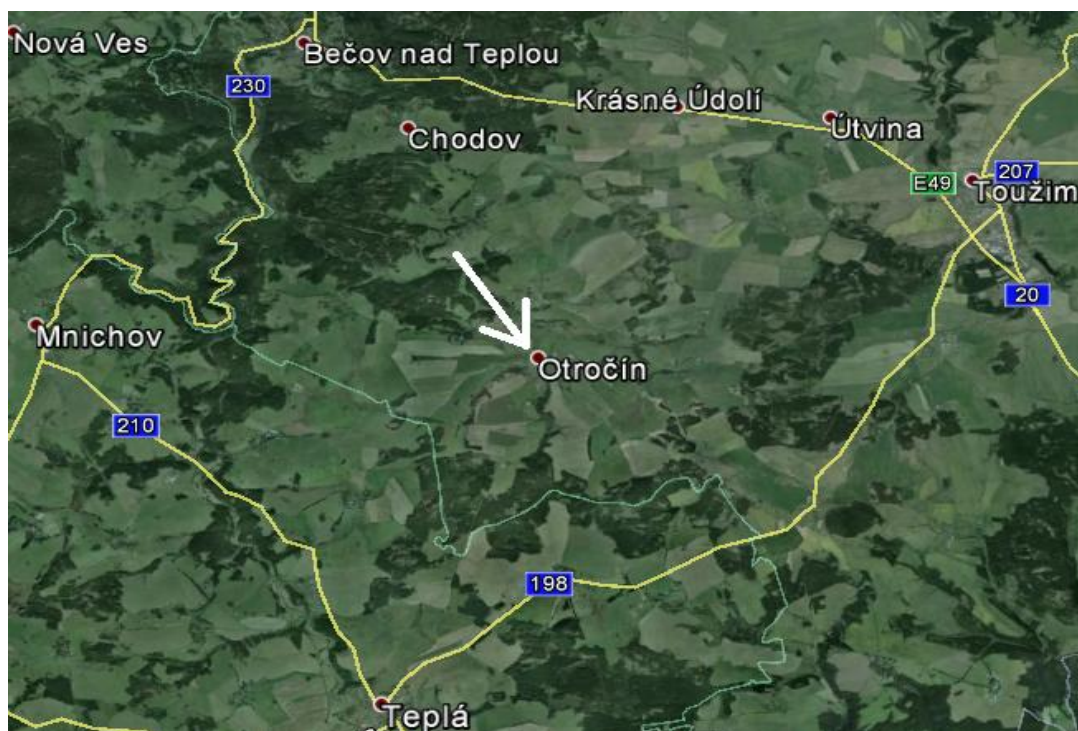
4.1 Metodika

4.1.1 Informace o BPS

Jako zdroj informací pro vypracování praktické části bakalářské práce byla zvolena bioplynová stanice Agro-Otročín a.s.. Následný popis hlavních částí bioplynové stanice a zde používané technologie je uveden v kapitolách 5 – 9. Informace zde sdělované a udávané jsou použity z interních zdrojů sledovaného podniku.

5. Geografické položení obce Otročín

Obec Otročín se nachází v Karlovarském kraji, okres Karlovy Vary. Leží v nadmořské výšce 632 m. Celková katastrální výměra je 35,82 km². Zeměpisné souřadnice obce jsou 50° 1' 55" s. š., 12° 53' 31" v. d. [29]



Obrázek 14. – Poloha obce Otročín [30]

5.2 Charakter stavby bioplynové stanice Agro-Otročín a.s.

Výstavba bioplynové stanice byla dokončena roku 2008 a jedná se o novostavbu bioplynové stanice kombinovaného zařízení k výrobě bioplynu a jeho energetickému využití ve stávajícím areálu farmy Agro-Otročín a.s. v obci Otročín.

Charakter stavby: novostavba

Odvětví: zemědělství, výroba ekologické energie

Bioplynová stanice zpracovává kravský hnůj a biomasu, produkované zemědělskou činností farmy Agro-Otročín a.s., s jejich energetickým využitím. Přestože je bioplynová stanice umístěna v areálu firmy zaměřené na chov dobytka pro produkci mléka, nedochází k významnému ovlivnění obou produktů, neboť fermentace biomasy je proces izolovaný vůči okolí a kogenerační jednotka je především zdrojem emisí ze spalování, které jsou odlišného charakteru než emise z chovu skotu (amoniak, zápach). K omezení emisí amoniaku a zápachu došlo díky hermetickému utěsnění fermentoru a skladovacích nádrží. Dále také díky tomu, že vzniklé hnojivo (digestát) aplikované na pole nenesou tak velké množství pachových látek, neboť fermentací dochází až k 85% redukci. Řízený proces zpracování kravského hnoje a rostlinné biomasy fermentací má pozitivní dopad na ŽVP, a to díky omezení množství skleníkových plynů odcházejících do volného ovzduší.

Výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů je snahou celé společnosti, dále jde o snahu snížit spotřebu fosilních paliv a emise z jejich spalování. Tato snaha je podporována státem, konkrétně zákonem č. 180/2005 Sb. ze dne 31. března 2005 o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Navíc je zde odpadní teplo využito k vytápění objektů firmy. V budoucnu by firma chtěla produkované teplo využívat nejen k vytápění objektu, ale také k sušení dřeva.

Technologická linka bioplynové stanice je složena z: automatického dávkovače vstupních surovin, hlavního horizontálního fermentoru, hygienizátoru, dofermentorů, koncového skladu, separátoru a kogenerační jednotky na zpracování biomasy (travní senáž, siláž, čerstvá tráva) za vzniku bioplynu, který je následně spalován za účelem výroby elektrické energie a tepla. Hlavním cílem je využití odpadu z živočišné výroby. Díky tomu dochází ke snížení zátěže okolí množstvím ukládaných odpadů na skládkách a zápachem, následně je využito travní hmoty jako obnovitelného zdroje energie.

5.3 Technické parametry stavby

Velikost hlavního fermentoru válcového profilu má rozměry 30 x 3,8 m a výšku 4,7 m. Přízemní stavba kogenerační jednotky má rozměry 13,5 x 2,5 m s výškou 2,5 m bez technologických zařízení osazených na její střeše. Kruhový dofermentor má průměr 20,46 m a výšku pevné části 4,3 m nad zemí. Pohyblivá část plynojemu je tvořena gumotextilní membránou, která má výšku nad pevnou částí v nejvyšším bodě 4,2 m. Koncový sklad o kruhovém půdorysu o průměru 24,24 m má výšku 4,8 m nad terén. Kompaktní betonová trafostanice o rozměrech 2,8 x 1,9 m má výšku nad zemí 1,7 m.

6 Hlavní části bioplynové stanice

- 1 Dávkovací zařízení s objemem zásobníku 30 m³
- 2 Hlavní fermentor s kvasným objemem 325 m³
- 3 Dodatečný fermentor s objemem pro dodatečnou fermentaci cca 1 800 m³
- 4 Koncový sklad se skladovacím objemem cca 2 600 m³
- 5 Separátor se šnekovým lisem a se sběrnou jámou
- 6 BHKW (blokové zařízení pro výrobu elektrické energie/tepla) se 160 kW elektrického výkonu



Obrázek 15. – BPS Agro–Otročín a. s. Zdroj: (interní zdroj podniku)

1 – dávkovací zařízení; 2 – hlavní fermentor; 3 – dodatečný fermentor s integrovaným zásobníkem plynu; 4 – koncový sklad; 5 – separátor se šnekovým lisem a se sběrnou jámou; 6 – blokové zařízení pro výrobu elektrické energie/tepla

6.1 Dávkovací zařízení

Pevné substráty (tuhý hnůj nebo kukuřičná siláž) se přivádějí do fermentoru odděleně přes dávkovací šnekový systém. Plnění zásobníku (30 m³) se provádí čelním nebo teleskopickým nakladačem. Vertikální šnek je opatřen noži pro rozmělnění siláže, aby siláž netvořila hrudky, které by mohly způsobit ucpání. Materiál následně postupuje k horizontálnímu šneku, který ho podává do dávkovacího šnekového systému. Dávkovací zařízení pracuje v plně automatickém procesu podávání materiálu do fermentoru. Je zde ovšem možnost plně ručního ovládání na místě. (Tabulka 3)

Tabulka 3: Technická data dávkovacího zařízení

Rozměry:	- výška	3,4 m
	- šířka	2,5 m
	- délka	5,8 m
Objem zásobníku:		cca. 30 m ³
Mísicí systém:	- vertikální šnek	2 ks
	- hnací výkon	(2 x 22 kW) 44 kW
Přepravní šneky:	- počet šneků	3 ks
	- výkon motoru	(tři motory) 2,6 – 6,8 kW

Zdroj: (interní zdroj podniku)

6.2 Hlavní fermentor

Pro vybudování hlavního fermentoru je použit ležící zásobník z normální oceli. Pro instalaci bylo nezbytné opatřit zásobník opěrnými patkami a vyztužit ho ocelovou konstrukcí. Zásobník je postaven na vyztužených základech ze železobetonu.

Je nezbytné zde zachovat provozní teploty okolo 40° C (mezofilní), proto je hlavní fermentor opatřen 60 mm silnou vnější izolací z minerální vlny. Izolace je následně opláštěná pozinkovaným ocelovým plechem, který dobře odolává povětrnostním vlivům. Veškeré neizolované součásti musejí být natřeny základním lakem a dvěma vrstvami krycího laku, aby nedocházelo ke korozi.

Vestavěný vytápěcí systém hlavního fermentoru umožňuje rovnoměrné zahřívání stěny zásobníku a zaručuje tak co nejefektivnější ohřívání substrátu, což se pozitivně projevuje na stabilitě procesu.

Bioplyn vznikající v hlavním fermentoru díky anaerobnímu kvašení proudí přes plynovou kupoli a potrubní vedení z nerez oceli do zásobníku plynu, a to přes dodatečný fermentor. Veškeré vnitřní prostory, které přicházejí do styku s bioplynem v hlavním fermentoru, jsou ošetřeny epoxidovým lakem na ochranu před korozí.

Aby bylo možné vyhnout se přetlaku nebo podtlaku v kvasném zásobníku, je hlavní fermentor vybaven hydraulickou pojistkou proti přetlaku nebo podtlaku.

Ležící hlavní fermentor se zvláště dobře hodí jako první kvasný stupeň při zpracování pevných substrátů. Díky takzvanému roubovacímu proudění vně zásobníku se zabraňuje promíchání zkvašeného a nekvašeného substrátu, proto je proces kvašení intenzivnější a uskutečňuje rychlejší a efektivnější kvašení oproti systémům s úplným promícháváním.

Tabulka 4: Technická data hlavního fermentoru

Rozměry:	kapacita	325 m ³	
	průměr (vnitřní)	3,8 m	
	délka (vnitřní)	30 m	
Provozní teplota:			40 °C
Míchací ústrojí:	počet	2 ks	
	výkon motoru	(2 x 3 kW)	6 kW

Zdroj: (interní zdroj podniku)

6.3 Dodatečný fermentor s integrovaným zásobníkem plynu

Dodatečný fermentor z betonových prefabrikátů stojící na kruhovém základě slouží jako stojící zásobník. Zásobník je zhotoven z vysoce hodnotného betonu s vysokým odporem vůči pronikání a prosakování vody. Dále je zvýšena odolnost betonu vůči působení chemických kyselin.

Pro zachování provozní teploty okolo 55° C (termofilní) je dodatečný fermentor opatřen minimálně 60 mm silnou vnější izolací, která odolává povětrnostním vlivům.

Integrovaný systém vytápění namontovaný uvnitř zásobníku umožňuje efektivní ohřívání již předeřátého substrátu z hlavního fermentoru. V dodatečném fermentoru jsou umístěna dvě ponorná motorová míchací ústrojí a jedno míchací ústrojí s podélnou osou, která se starají o spolehlivé promíchání substrátu. Zaručují vysokou míru provozní bezpečnosti v dodatečném fermentoru.

Bioplyn vznikající v dodatečném fermentoru díky anaerobnímu dokvašování se ukládá společně s bioplynem pocházejícím z hlavního fermentoru do takzvaného fóliového zásobníku plynu. Fóliový zásobník plynu se skládá z nehořlavé a plynotěsné fóliové membrány z kaučuku. V případě usazení membrány, kdy je v zásobníku jen minimální množství plynu nebo žádný, je dodatečný fermentor opatřen středovou podpěrou a příslušnou konstrukcí z dřevěných trámů. Upevnění plynové membrány se provádí pomocí těsnicího systému na vrcholku zásobníku, který udržuje stlačený vzduch a je utěsněný vůči plynu. Maximální přetlak v zásobníku plynu činí 5 mbar z toho důvodu není zásobník plynu považován za tlakové zařízení. Dodatečný fermentor je rovněž opatřen hydraulickou pojistkou proti přetlaku nebo podtlaku, jako je tomu u hlavního fermentoru.



Obrázek 16. – Dodatečný fermentor s integrovaným zásobníkem plynu

Tabulka 5: Technická data dodatečného fermentoru s integrovaným zásobníkem plynu

Rozměry:	průměr (vnitřní)	20,46 m
	výška stěny (vnitřní)	5,80 m
	kapacita (brutto)	1,907 m ³
	plnicí výška	5,50 m
	kapacita (netto)	1,808 m ³
Provozní teplota:		40 °C
Míchací ústrojí:	počet	3 ks
	výkon motoru	(2 x 13 kW)
	výkon motoru	(s podélnou osou)
Foliový zásobník plynu:	objem plynu fóliová střecha	520 m ³
	objem plynu zásobník	100 m ³
	objem plynu celkem	620 m ³
	maximální energetická kapacita	(při 5,5 kWh/m ³)
	energetický ekvivalent k topnému oleji	(v případě požáru)
		cca. 340 litrů

Zdroj: (interní zdroj podniku)

6.4 Koncový sklad

Jako koncový sklad pro průběžné skladování tekuté fáze (fugátu) je použito stacionárního zásobníku z betonových prefabrikátů. Zásobník je zhotoven z vysoce hodnotného betonu s vysokým odporem proti pronikání a prosakování vody. Dále je beton odolný proti organickým kyselinám obsaženým v kvasných zbytcích. Zásobník má betonovou středovou podpěru a kruhovou lištu na koruně zásobníku, tudíž je možné dovybavení krytem. Pomocí míchacího ústrojí s ponorným motorem může zde docházet k promíchávání, homogenizování obsahu koncového skladu před odebráním ze zásobníku.



Obrázek 17. – Koncový sklad se zabudovanou středovou podporou

Tabulka 6: Technická data koncového skladu

Rozměry:	průměr (vnitřní)		24,24 m
	výška stěny (vnitřní)		5,80 m
	kapacita (brutto)		2,677 m ³
	plnicí výška		5,60 m
	kapacita (netto)		2,584 m ³
Míchací ústrojí:	počet		1 ks
	výkon motoru	(s ponorným motorem)	15 W

Zdroj: (interní zdroj podniku)

6.5 Separátor se šnekovým lisem a sběrnou jámou

Zkvašené zbytky se odvádí z dodatečného fermentoru přes separátor se šnekovým lisem. Díky tomu dochází k jeho rozdělení na tekutý a tuhý substrát. Tekutá směs separovaných zbytků se po kvašení odvádí do koncového skladu, kde může být následná část přečerpána do hlavního fermentoru pro stabilizaci procesu. Odčerpáním části zpět do hlavního fermentoru se zmenšuje výskyt tekutých kvasných zbytků a zvyšuje provozní bezpečnost.

Poměr mezi tuhým a tekutým materiálem je možno variabilně nastavit. Tuhé zbytky se po kvašení vyznačují zvláště malými emisemi a malým zápachem. Vzhledem k tomu, že obsahují vyšší hustotu živin, hodí se pro přepravu na vzdálenější zemědělské plochy.



Obrázek 18. – Separátor se šnekovým lisem a sběrnou jámou

Tabulka 7: Technická data separátoru se šnekovým lisem a sběrnou jámou

Separátor s lisovacím šnekem:	hnací výkon	5,5 kW
	propustnost	5 – 20 m ³ /h
Sběrná jáma:	ukládací kapacita pro tekutou fázi	cca. 5 m ³

Zdroj: (interní zdroj podniku)

6.6 Bloková zařízení na výrobu elektrické energie/tepla

Pro zužitkování produkovaného bioplynu slouží dvě bloková zařízení na výrobu elektrické energie/tepla (BHKW) s elektrickým výkonem každého z nich ve výši 160 kW. Pro pohon generátorů je použito Ottovo plynového motoru. Oba bloky na výrobu energie jsou umístěny v hlukově izolovaném kontejneru s technikou. Kromě elektrické energie produkují oba bloky BHKW pomocí různých systémů výměníků tepla také termickou energii ve formě tepla, takže mimo vyhřívání hlavního a dodatečného fermentoru je možno provozovat vytápění blízké tepelné soustavy, díky čemuž je možno vytápět sousedící budovy. Provoz obou bloků zvyšuje flexibilitu a provozní bezpečnost celého zařízení.

7 Aspekty týkající se životního prostředí

7.1 Voda

Ohrožení spodních vod nebo povrchových vod je díky pravidelnému (nepřetržitému) provozu do značné míry redukováno. Zásobníky používané pro kvasný proces biomasy a pro její skladování jsou speciálně konstruované pro tento účel použití. Je zde snaha o co největší množství vedení plynu a substrátu nad zemským povrchem. Jde o to, že vzniklé závady (průsaky, netěsnosti) mohou být provozovatelem rychle a bezpečně detekovány a odstraněny.

Produkováné kvasné zbytky jsou vysoce hodnotným organickým hnojivem, které se vyskytuje jak v tuhé, tak i v tekuté formě. Jejich vyvážení je ovlivněno legislativou, a to dle zákonných ustanovení platných pro zemědělské oblasti.

7.2 Půda

Hnojení zemědělských ploch zbytky z kvašení anaerobního procesu má prokazatelně pozitivní efekt na využití zemědělského půdního fondu. A to jak na tvorbu humusu, tak na tvorbu života v půdě a s tím související úrodnost půdy, bez toho, že by docházelo k přebytkému přehnojování půdy a tím k ohrožení spodní vody zatížením dusičnanů.

8 Emise

8.1 Zápach

Při dodržování odpovídající čistoty zařízení, například při pravidelném čištění provozních ploch, nemusí být uvažováno o zápachu, který by stál za zmínku. V zařízení nejsou zpracovávány žádné odpady s intenzivním zápachem, jako jsou například odpady z odlučovačů tuku nebo odpady z jatek.

8.2 Hluk

U zařízení na výrobu bioplynu jako samotného celku nejsou provozovány žádné agregáty, které by se významně podílely na hluku. Jediný masivní zdroj hluku představují oba bloky na výrobu elektrické energie/tepla, které jsou umístěny v hlučkově izolovaném kontejneru s technikou. Hodnoty hluku mimo kontejner s technikou jsou uvedeny v kapitole 10. (Měření hluku kogenerační jednotky).

8.3 Ostatní emise

Vstupu většího množství bioplynu do atmosféry musí být zabráněno z důvodu ochrany klimatu. Zařízení na výrobu bioplynu má uzavřený a utěsněný systém pro ukládání plynu. V případě nouze může bioplyn unikat pouze přes takzvanou přetlakovou pojistku, aby bylo zabráněno nebezpečnému přetlaku uvnitř zařízení. Jedná se o čistě bezpečnostní opatření. K úniku bioplynu zpravidla nedochází. V případě poruchy obou bloků je přebytečný bioplyn spalován ve svíci.

Zařízení na výrobu bioplynu AGRO – Otročín je vybaveno dvěma nezávislými bloky na výrobu elektrické energie/tepla. Dochází tak ke zvýšení provozní bezpečnosti. Tudiž produkované množství plynu může být zpravidla v jakékoliv době využito. V případě poruchy bloku na výrobu elektrické energie/tepla nebo jeho nezbytného odstavení musí být provozovatelem učiněna následující opatření:

- Zamezení přívodu substrátu kvůli snížení potenciálu pro výrobu plynu;
- Odstavení vytápění hlavního a dodatečného fermentoru pro snížení tvorby plynu;
- Připojení mobilní odplyňovací pochodně během 24 hodin.

9 Kogenerační jednotka (2 x 160 kW)

9.1 Základní charakteristika

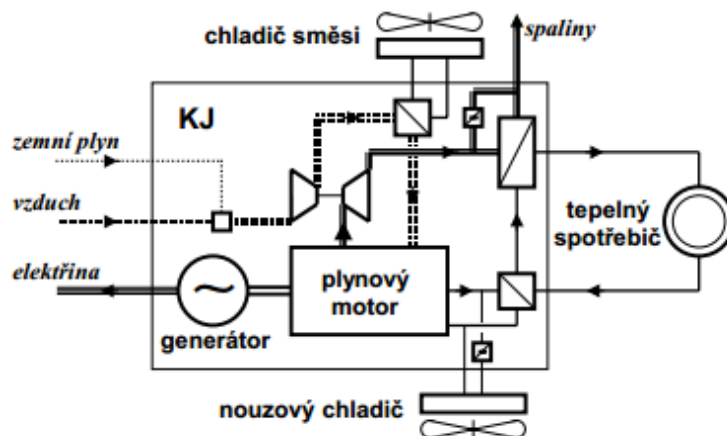
Kogenerační jednotky TEDOM řady Cento se řadí mezi stroje středních a vyšších výkonů na bázi plynových motorů, které vycházejí ze vznětových motorů. Tvoří řadu výkonů v rozsahu od 40 do 300 kWel. Uspořádání kogenerační jednotky podle této technické specifikace je v kontejnerovém provedení, které obsahuje dvojici soustrojí motor – generátor, tepelné zařízení jednotky, včetně tlumiče výfuku a elektrického rozvaděče. Podle této technické specifikace je kogenerační jednotka určena na provoz bioplynového paliva, pro venkovní provoz, pro provoz se synchronním generátorem, dále je určena pro paralelní provoz se sítí o napětí 400 V, 50 Hz pro teplovodní okruhy 80/60°C a v poslední řadě pro plnění emisních limitů.

Tabulka 8: Základní technické údaje kogenerační jednotky (2 x 160 kW)

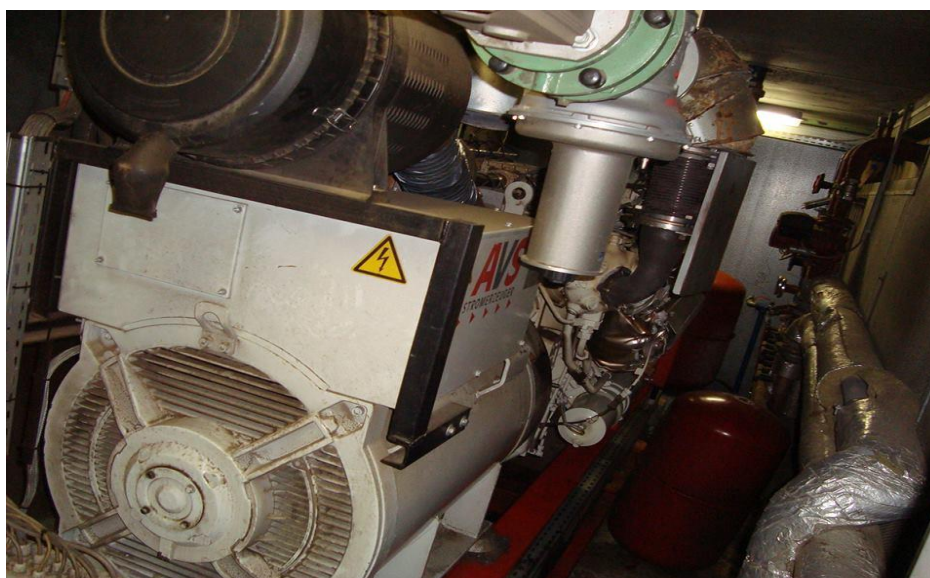
jmenovitý elektrický výkon	2 x 160 kW
maximální tepelný výkon sek. okruhu	2 x 95 kW
příkon v palivu	2 x 453 kW
elektrická účinnost	35,30 %
tepelná účinnost	21,00 %
celková účinnost (využití paliva)	56,30 %
spotřeba plynu při 100 % výkonu	2 x 69,7 Nm ³ /h
spotřeba plynu při 75 % výkonu	2 x 57,3 Nm ³ /h
spotřeba plynu při 50 % výkonu	2 x 40,8 Nm ³ /h

Zdroj: (interní zdroj podniku)

Požadovaný minimální trvalý elektrický výkon je 50% jmenovitého výkonu. Spotřeba plynu je uvedena pro bioplyn s obsahem metanu 65%. Na obr. 19 je znázorněné schéma kogenerace s pístovým spalovacím motorem.



Obrázek 19. – Schéma kogenerace se spalovacím motorem[31]



Obrázek 20. – Kogenerační jednotky

9.1.1 Motor

K pohonu kogenerační jednotky je využito dvou shodných plynových spalovacích motorů značky TEDOM v provedení TB172TW86, výrobků společnosti TEDOM s.r.o. s parametry dle následující tabulky.

Tabulka 9: Technická data motoru

počet válců	6	kompresní poměr	11:1
uspořádání válců	v řadě	pracovní otáčky	1500 ot/min
vrtání x zdvih	130 x 150 mm	spotřeby oleje normal/max.	0,3/0,7 g/kWh
zdvihový objem	11 940 cm ³	max. výkon motoru	172 kW

Zdroj: (interní zdroj podniku)

9.1.2 Generátor

Zdroj elektrické energie zajišťují dva jednoložiskové synchronní generátory ECO 38-1LN/4, výrobky firmy Mecc alte spa, Itálie, s parametry uvedenými v tabulce (Tabulka 10).

Tabulka 10: Technická data generátoru

výkon generátoru	250/200 kVA/kW	napětí	400 V
cos φ	0,8/1	frekvence	50 Hz
účinnost v pracovním bodě	95,70 %	jmenovité otáčky	1500 ot/min
zapojení satorového vinutí	do hvězdy	krytí	IP 21
max. pracovní teplota	40 °C		

Zdroj: (interní zdroj podniku)

9.1.3 Tepelný systém

Tepelný systém zde zmiňované kogenerační jednotky je tvořen dvěma nezávislými okruhy, sekundárním (SO) a technologickým (TO). Sekundární okruh je určen k využití v topné soustavě uživatele, nebo je mařen chladicí jednotkou SO (pokud je produkce tepla nežádoucí). Tepelný výkon TO je mařen vlastní chladicí jednotkou.

a) Sekundární okruh – jedná se o okruh, kterým je zajištěno vyvedení hlavních tepelných výkonů motorgenerátorů kogenerační jednotky (chlazení motoru) do topného systému. Okruh pracuje s teplotami vratné vody 60°C. Části sekundárního okruhu jsou umístěné ve venkovním prostředí. Proto je nezbytné zabránit zamrznutí dostatečnou koncentrací etylenglykolu ve vodním roztoku. Pro zajištění funkce SO je zde upevněna dvojice paralelně pracujících čerpadel.

Tabulka 11: Parametry sekundárního okruhu jednotky

tepelný výkon okruhu	2 x 95 kW
jmenovitá teplota kapaliny vstupu / výstupu	60/80 °C
teplota vratné vody min /max.	55/60 °C
jmenovitý průtok	2 x 2,6 kg/s
max. přípustná tlaková ztráta vnější části okruhu	30 kPa
max. prac. přetlak kapaliny	600 kPa
nejmenší přípustný přetlak v okruhu	100 kPa
hydraulický objem okruhu v kogenerační jednotce	2 x 80 dm ³
jmenovitý teplotní spád	20 K

Zdroj: (interní zdroj podniku)

Nedochází-li k využití tepelného výkonu okruhu, je tepelný výkon SO odváděn chladičí jednotkou pro nouzové chlazení (výměník voda – vzduch).

b) Technologický okruh – představuje celý okruh chlazení plnicí směsí spalovacího motoru. Jednomu motorgenerátoru náleží jeden technologický okruh. Teplotní hladina kapaliny u těchto okruhů bezprostředně ovlivňuje plnicí směsí příslušného spalovacího motoru. A díky tomu je dosaženo základních technických údajů kogenerační jednotky. Technologický okruh pracuje s teplotami chladičí kapaliny od 35 do 45°C (na vstupu do chladiče plnicí směsí), přičemž nejnižší teplotě odpovídá jmenovitý elektrický výkon. S rostoucí teploty plnicí směsí (např. vlivem teplého vzduchu vnějšího prostředí v letních měsících) pak výkon klesá. Různým teplotám chladičí kapaliny TO odpovídá i elektrický výkon kogenerační jednotky. Instalace chladičí jednotky pro předání tepelného výkonu TO do vnějšího prostředí (výměník voda – vzduch) je umístěna na střeše kontejnerové skříně. Základní parametry vlivu teploty chladičí kapaliny TO jsou uvedeny v následujících tabulkách (Tabulka 12).

Tabulka 12: Základní parametry teploty chladicí kapaliny

teplota vracející se chladicí kapaliny okruhu	35 °C	38 °C	45 °C
teplota plnicí směsi	41 °C	45 °C	52 °C
tepelný výkon okruhu	2 x 22 kW	2 x 19 kW	2 x 16 kW
elektrický výkon	2 x 160 kW	2 x 147 kW	2 x 134 kW
hydraulický objem okruhu	cca. 2 x 50 dm ³		

Zdroj: (interní zdroj podniku)

9.1.4 Palivo, přívod plynu

Plynové trasy kogenerační jednotky (pro každý motorgenerátor jedna plynová trasa) jsou sestaveny v souladu s TPG G 811 01 a obsahují (každá jedna plynová trasa): čistič plynu, sestavu dvou nezávislých rychlouzavíracích elektromagnetických ventilů s odvodušněním mezikusu pro uzavření přívodu plynu při vypnutí jednotky, nulový regulátor tlaku plynu a kovovou hadici pro připojení ke směšovači příslušného spalovacího motoru. Pro správný provoz jednotky je požadována plynová přípojka o patřičné dimenzi s přiměřeným akumulacním objemem, aby nedošlo k poklesu tlaku plynu v rozvodu v době skokového odběru plynu. Přípojka je zakončena ručním plynovým uzávěrem a opatřena tlakoměrem.

Tabulka 13: Technické údaje přívodu plynu

obsah metanu (výhřevnost 23,4 MJ/Nm ³)	65 %
tlak plynu	5 ÷ 10 kPa
max. změna tlaku plynu při změnách spotřeby	10 %
max. teplota plynu	30 °C

Zdroj: (interní zdroj podniku)

9.1.5 Spalovací a ventilační vzduch

Teplu vzniklé vysáláním z horkých částí, které zde není nevyužitelné, je z prostoru kontejneru odváděno ventilačním vzduchem, který je vháněn do kogenerační jednotky pomocí dvojice ventilátorů umístěných v boční stěně kontejnerové skříň. Výstupní otvory ventilačního vzduchu jsou umístěny na střeše kontejnerové

skříně. Proudění vzduchu vně kontejnerové skříně je zajištěno ventilátory umístěnými uvnitř kontejneru. Ottvory, jak na vstupu, tak na výstupu jsou, opatřeny protidešťovou žaluzií a tlumiči vzduchotechniky. Část ventilačního vzduchu je uvnitř kontejnerové skříně oddělována od ventilačního vzduchu a následně použita jako spalovací vzduch.

Tabulka 14: Technické údaje o spalovacím a ventilačním vzduchu

nevyužitelné teplo odvedené ventilačním vzduchem	2 x 36 kW
množství spalovacího vzduchu	2 x 730 Nm ³ /h
jm. množství ventilačního vzduchu	2 x 6980 Nm ³ /h
teplota venkovního vzduchu min. / max.	-20/35 °C

Zdroj: (interní zdroj podniku)

9.1.6 Odvod spalin

Spaliny vystupují z kogenerační jednotky výstupním spalinovodem, napojeným na výstupní přírubu tlumiče výfuku. Tlumič výfuku je umístěn na střeše kontejneru. Spaliny je možné dle potřeby odvést do vhodného komína spalinovodem nebo mohou přímo vystupovat do venkovního prostředí. Při použití spalinovodu nesmí být maximální tlaková ztráta celého spalinovodu (vč. komína) od příruby KJ větší než 20 mbar.

Tabulka 15: Technické údaje o odvodu spalin

množství spalin	2 x 810 Nm ³ /h
teplota spalin	590 °C

Zdroj: (interní zdroj podniku)

10. Měření hluku kogenerační jednotky

10.1 Použité pomůcky

10.1.1 Hlukoměr VOLTcraft plus SL-300

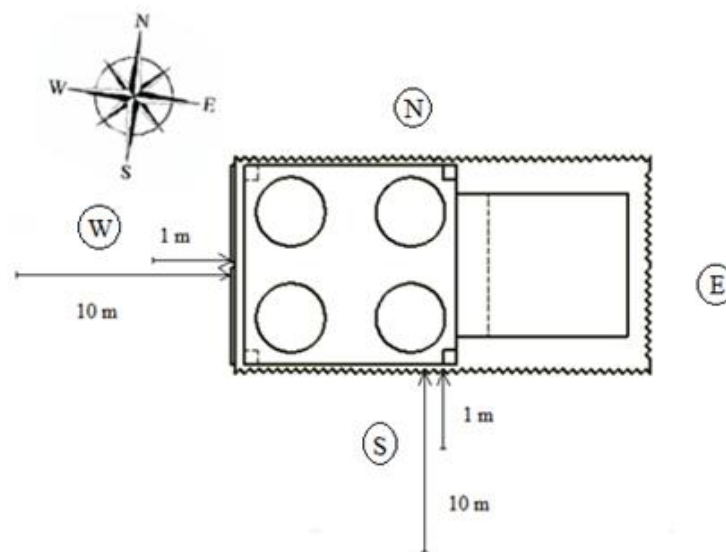
Pro měření hluku bylo použito zapůjčeného přístroje VOLTcraft plus SL-300 s příslušenstvím Jihočeské univerzity. Přístroj splňuje normy EN 61672-1 Třída 2. Technické parametry přístroje jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 16).

Tabulka 16: – Technické parametry VOLTcraft plus SL-300 [32]

Výrobek vyhovuje standardům:	EN 61 672-1 třída 2
Provozní napětí:	1 x 9V baterie
Proud:	Cca 10mA/max. 16mA
Provozní doba baterie:	Cca 50h (alkalická baterie)
Funkce automatického vypínání:	Po 15 minutách bez stisku jakéhokoli tlačítka
Displej:	LCD 2000 bodů
Rozlišení:	0,1 dB (aktualizace 2s)
Přesnost:	± 1,4%
Mikrofon:	1/2 Elektret – kondenzátorový mikrofon
Rozsah frekvence:	31,5 Hz až 8 kHz
Rozsah dynamiky:	50 dB
Rozsah hladiny hluku:	30 – 130 dB (automatický rozsah)
	30 – 80 dB/50 – 100 dB / 80 – 130 dB
Hodnocení frekvence:	A a C
Hodnota času:	FAST (125ms) nebo SLOW (1s)
Analogový výstup:	AC = 1Vrms/dB, DC = 10mV/dB
Paměť:	32600 paměťových míst
Provozní podmínky:	Teplota 0°C až +40°C
	Relativní vlhkost vzduchu od 10 do 90%, bez kondenzace
	Provozní výška < 2000 m
Hmotnost:	Cca 350 g
Rozměry:	76 x 278 x 50 mm
Provozní napětí:	100 – 240 V/AC 50/60 Hz

10.2 Postup měření

Prvním krokem bylo ověření podmínek nezbytných k uskutečnění měření. Zda se teplota nevyskytuje pod bodem mrazu, rychlost větru nepřesahuje 5 m/s a zda neprší či není mlha. Dalším postupem bylo vytyčení vzdáleností, ve kterých bude prováděno měření. Hlukoměr byl přimontován na stativ ve výšce 150 cm od zemského povrchu směřující ke kogenerační jednotce. Bylo celkem provedeno 8 měření. Hluk byl měřen v několika vzdálenostech, a to v 1 a 10 metrech ze všech čtyř stran kogenerační jednotky TEDOM řady Cento s protihlukovým krytem a po dobu 60 sekund (viz obr. 21). Pouze ze severní strany bylo provedeno měření ve vzdálenosti 6,8 m z důvodů zastavěné plochy fermentorem. Následně bylo provedeno měření i vně kogenerační jednotky. Po naměření hodnot byl 1 hlukoměr propojen s počítačem pomocí USB kabelu a data byla následně zpracovávána v aplikaci Microsoft Office Excel 2007.



Obrázek 21. – Schéma kogenerační jednotky (půdorys)

Měření bylo provedeno dne 31. 10. 2013 ve 14:30 za těchto meteorologických podmínek (Tabulka 17):

Tabulka 17: Meteorologické údaje

čas [h]	předpověď	teplota [°C]	srážky [mm]	vítr [m.s ⁻¹]	vlhkost vzduchu [%]	atmosférický tlak [hPa]
14:00:00	jasno	6 °C	0.0 mm	JV 2 m/s	56%	960
15:00:00	jasno	6 °C	0.0 mm	JV 2 m/s	61%	960

10.2.1 Naměřené hodnoty

Hodnoty, které byly zaznamenány, jsou následně spočítány dle níže uvedeného vzorce:

$$L_{AeqT} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \times \int_0^T (p_{Ai}/p_0)^2 \times dt \right)$$

[33]

L_{AeqT} – ekvivalentní hladina akustického tlaku [dB (A)]

p_{Ai} – naměřený tlak

p_0 – referenční hodnota tlaku 2×10^{-5} Pa

T – sledovaný časový úsek

A dále zpracovány do níže uvedených tabulek (Tabulka 18 – 22). Naměřené hodnoty představují střední úroveň akustického tlaku měřené v přírodních podmínkách, ve vzdálenosti 1 m a 10 m od kogenerační jednotky s protihlukovým krytem a použitím filtru A.

Tabulka 18: Severní strana (N)

Kogenerační jednotka s protihlukovým krytem	měření 1. [1 m]	měření 2. [6,8 m]
Místo měření:	N	N
Délka měření:	60 s	60 s
Použitý přístroj:	digitální hlukoměr SL-300	
Rychlost měření:	FAST	
Max. / Min.:	77,3/72,2 dB (A)	68,1/61,6 dB (A)
Ekvivalentní hladina (L_{AeqT}):	73,3 dB (A)	65,1 dB (A)

Tabulka 19: Západní strana (W)

Kogenerační jednotka s protihlukovým krytem	měření 1. [1 m]	měření 2. [10 m]
Místo měření:	W	W
Délka měření:	60 s	60 s
Použitý přístroj:	digitální hlukoměr SL-300	
Rychlost měření:	FAST	
Max. / Min.:	73,7/63,2 dB (A)	65/56 dB (A)
Ekvivalentní hladina (L_{AeqT}):	70,2 dB (A)	58,6 dB (A)

Tabulka 20: Jižní strana (S)

Kogenerační jednotka s protihlukovým krytem	měření 1. [1 m]	měření 2. [10 m]
Místo měření:	S	S
Délka měření:	60 s	60 s
Použitý přístroj:	digitální hlukoměr SL-300	
Rychlost měření:	FAST	
Max. / Min.:	69,8/65,4 dB (A)	66,3/56,1 dB (A)
Ekvivalentní hladina (L_{AeqT}):	66,8 dB (A)	61,9 dB (A)

Tabulka 21: Východní strana (E)

Kogenerační jednotka s protihlukovým krytem	měření 1. [1 m]	měření 2. [10 m]
Místo měření:	E	E
Délka měření:	60 s	60 s
Použitý přístroj:	digitální hlukoměr SL-300	
Rychlost měření:	FAST	
Max. / Min.:	59,6/56,4 dB (A)	63,8/52,3 dB (A)
Ekvivalentní hladina (L_{AeqT}):	57,6 dB (A)	56,3 dB (A)

Tabulka 22: Měření vně krytu (N)

Kogenerační jednotka s protihlukovým krytem	
Místo měření:	vně krytu
Délka měření:	60 s
Použitý přístroj:	digitální hlukoměr SL-300
Rychlost měření:	FAST
Max. / Min.:	97,2/95,2 dB (A)
Ekvivalentní hladina (L_{AeqT}):	96,1 dB (A)

10.3 Vyhodnocení a porovnání výsledků

Naměřené hodnoty byly následně porovnávány s hodnotami uvedenými výrobcem při odečtech ve vzdálenosti 1 m s použitím filtru A. (Tabulka 23)

Tabulka 23: Porovnání hodnot ve vzdálenosti 1 m

Hodnota udávaná firmou TEDOM	Hodnoty udávané vlastním měřením
78,4 dB (A)	70,3 dB (A)

Hodnoty udávané firmou TEDOM v porovnání s hodnotami naměřenými se liší o 8,1 dB (A). Pravděpodobně odchylka měření vznikla v měřeném prostředí, kdy měření firmy TEDOM bylo prováděno ve volném zvukovém poli, ve kterém se zvuk šíří v přímých vlnách, nedochází k jeho absorpci, odrazu nebo jakékoli jiné deformaci. Zatímco vlastní měření bylo provedeno ze dvou stran v otevřeném prostoru směřujícím k poli, přičemž druhé dvě strany směřují do areálu podniku s hlavním fermentorem a dodatečným fermentorem s integrovaným zásobníkem plynu. Kvůli těmto stavbám dochází k částečnému odstínění zvukové hladiny.

Avšak z naměřených hodnot vyplývá, že v areálu farmy AGRO-Otročín v blízkosti kogenerační jednotky nedochází k překročení hygienických limitů ekvivalentní hladiny akustického tlaku 85dB (A).

Následně byl naměřen i zvuk vně kogenerační jednotky. Naměřené hodnoty přesahují hranici 90 dB (A), konkrétně 96,1 dB (A). Při vystavení takto vysoké hladině zvuku dochází k trvalému poškození sluchu. Proto, je nezbytné při vstupu do objektu použít pracovních pomůcek ochrany sluchu.

11. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo v teoretické části popsat postupy na zpracování biologicky rozložitelných odpadů (BRO) v bioreaktorech, založené na principu anaerobní fermentace. V praktické části byla provedena analýza používání technologie na zpracování BRO ve vybraném zemědělském podniku. Na doporučení vedoucí bakalářské práce, bylo provedeno měření ekvivalentní hladiny akustického tlaku u kogenerační jednotky.

Bioplyn vzniká rozkladem organických hmot v anaerobním procesu skládajícího se ze čtyř na sobě závislých fází. Jedná se o směs plynů, z nichž je využitelný jenom metan. Bioplyn je možno vyrábět z cíleně pěstovaných energetických plodin, ale nejen to, lze jej vyrábět i z BRO, jako např. z čistírenských kalů, odpadů v zemědělství, průmyslu a domácností.

Z prostudovaných materiálů vyplývá, že nejvhodnějším a nejjednodušším způsobem zpracování bioplynu je kogenerace, což je společná výroba tepla a elektrické energie. Tato hypotéza byla v praktické části potvrzena. Elektřina, která je zde na farmě vyrobena, slouží k provozu bioplynové stanice a jí přilehlých budov farmy. Přebytečná elektřina je pak následně odkupována elektrárnami a dodávána do sítě. Teplo je zde využito v podobě vytápění budov a ohřevu teplé vody.

Tato bakalářská práce se rovněž věnovala vlivu bioplynové stanice na životní prostředí. Na základě naměřených hodnot v daném podniku AGRO-Otročín u sledované kogenerační jednotky nedošlo ani v jednom případě k překročení limitních hodnot hluku stanovených pro osmihodinovou pracovní dobu na 85 dB (A). Ekvivalentní hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 10 m je 60,5 dB (A). Hluk měřený uvnitř kogenerační jednotky dosáhl maximální hladiny 97,2 dB (A) proto je nezbytné při vstupu do objektu použít ochranných pomůcek mušlových chráničů (sluchátek), aby nedošlo k trvalému poškození sluchu.

Přestože bioplynové stanice patří k obnovitelným energetickým zdrojům, je jejich uplatnění v České republice prozatím minimální, a zatím nedosahují konkurenceschopnosti s fosilními palivy na trhu, a i přesto, že na rozdíl od fosilních paliv pracuje bioplynový systém s plně obnovitelnými energetickými zdroji.

Bioplynové stanice jsou z ekonomického pohledu velmi výhodnou investicí. Jejich hlavním problémem je potýkání se s problematikou vstupních surovin pro provoz stanice. Samotná výstavba je jedna věc, ale nepřetržité dodávání substrátu je věc druhá. A proto některé bioplynové stanice musejí tento problém řešit nákupem materiálu a následnou přepravou. Avšak toto není problém zde zmiňované stanice AGRO–Otročín a.s., která je v tomto ohledu plně soběstačná. Složení substrátu dávovaného do hlavního fermentoru je prozatím firemním tajemstvím. V budoucnu by bylo jistě velmi zajímavé rozšířit tento výzkum a zahrnout do analýzy bioplynové stanice také chemický rozbor dodávaného substrátu do hlavního fermentoru např. ve vztahu k bezpečnosti práce a vlivu na životní prostředí. Tento úkol však již přesahuje zadání této bakalářské práce. Dalším problémem bioplynových stanic je jejich pověst v očích veřejnosti. Navenek se jeví jako abnormálně zapáchající. Avšak problém není v nedostatečné technologii nebo samotném principu bioplynové stanice, ale v lidském faktoru jak vnímat vnější prostředí.

12. Seznam literatury

- [1] *Mapy bioplynových stanic. Czba.cz* [online]. 2013-06-30 [cit. 2013-10-18]. Dostupné z WWW: <http://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic/>
- [2] *Popis anaerobní technologie. Bioplyn.cz* [online]. 14. 01. 2010 [cit. 2013-03-06]. Dostupné z WWW: http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm
- [3] *Výstavba komunálních bioplynových stanic s využitím BRKO. Czbiom.cz* [online]. 01. 08. 2009 [cit. 2013-03-06]. Dostupné z WWW: <http://czbiom.cz/wp-content/uploads/bioplynky.pdf>
- [4] *Materiál pro Českou republiku Seminář pro finanční sektor o realizaci projektů výroby a využití bioplynu. Biogasin.org* [online]. 2011 [cit. 2013-10-16]. Dostupné z WWW: http://www.biogasin.org/files/pdf/WP3/D_3.6.3_CzBA_CZ.pdf
- [5] Voštová, V., Altman, V., Fries, J., Jeřábek, K.: *Logistika odpadového hospodářství*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009. 349 s. ISBN 978-80-01-04426-1.
- [6] Altman, V., Vaculík, P., Mimra, M.: *Technika pro zpracování komunálního odpadu*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2010. 120 s. ISBN 978-80-213-2022-2.
- [7] *4_Bioplyn. Eagri.cz* [online]. 01. 08. 2009 [cit. 2013-03-06]. Dostupné z WWW: http://eagri.cz/public/web/file/3668/_4_BIOPLYN.pdf
- [8] *Bioplyn. 1.vsb.cz* [online]. 14. 01. 2010 [cit. 2013-03-06]. Dostupné z WWW: http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Pdf/Bioplyn.pdf
- [9] Plíva, P.: *Kompostování v pásových hromadách na volné ploše*. 1. vydání. Praha: Profi Press, 2009, 136 s. ISBN 978-80-86726-32-8.
- [10] Schulz, H., Eder, B.: *Bioplyn v praxi*. 1. české vydání. HEL, Ostrava 2004. 168 s. ISBN 80-86167-21-6.

- [11] Ochodek, T., Kolonyčný, J., Branc, M., *Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy*. *Biomasa-info.cz* [online]. 2011 [cit. 2013-11-21]. Dostupné z WWW: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/prirucka2.pdf>
- [12] *Základní typy provozu bioplynové stanice*. *Biomasa - info.cz* [online]. 2009 [cit. 2013-10-14]. Dostupné z WWW: <http://www.biomasa-info.cz/cs/techfer.htm>
- [13] Kajan, M.: *Bioplyn z odpadů živočišné výroby*. *Biom.cz* [online]. 2005-08-23 [cit. 2013-10-14]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-z-odpadu-zivocisne-vyroby> . ISSN: 1801-2655.
- [14] *Práce*. *Dyjanka.webzdarma.cz* [online]. 2007 [cit. 2013-10-14]. Dostupné z WWW: <http://www.dyjanka.webzdarma.cz/prace.htm>
- [15] Švec, J., Kára, J., Váňa, J., Pastorek, J., Machálek, E.: *Využití obnovitelných zdrojů energie v zemědělství, Zemědělské bioplynové stanice*. 1. vydání. Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o., Chrudim: Callisto-96, s.r.o., 2010, 72 s. ISBN 978-80-86832-49
- [16] *What is Anaerobic Digestion?*. *American biogas council.org* [online]. 2013 [cit. 2013-10-16]. Dostupné z WWW: http://www.americanbiogascouncil.org/biogas_what.asp
- [17] Groda, B.: *Technika zpracování odpadů*. 1. vydání. v Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1995, 213 s. ISBN 80-715-7164-4.
- [18] *Biogashandbuch*. *Bayerisches Landesamt für Umwelt.de* [online]. 2007 [cit. 2013-10-16]. Dostupné z WWW: <http://www.lfu.bayern.de/abfall/biogashandbuch/doc/kap1bis15.pdf>
- [19] Kára J., Pastorek Z., Příbyl E. a kol.: *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. 1. vydání, VÚZT Praha, 2007, 120str., ISBN 978-80-86884-28-8
- [20] Krytky, L., *Fermentor na přípravu biopaliv*. Praha, 2009. Bakalářská práce České vysoké učení technické v Praze

- [21] *Bioplynové-stanice: Fermentační technika. WELtec BioPower.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-10-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.weltec-biopower.cz/bioplynove-stanice/technika/fermentacni-technika>>
- [22] Dohányos, M.: *Anaerobní reaktor není černou skříňkou - teoretické základy anaerobní fermentace. Biom.cz* [online]. 2008-11-17 [cit. 2013-06-02]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace> . ISSN: 1801-2655.
- [23] *Právní-předpisy: Zákon č. 458/2000 Sb., energetický zákon. Tzb – info.cz* [online]. 01. 01. 2001 [cit. 2013-03-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-458-2000-sb-o-podminkach-podnikani-a-o-vykonu-statni-spravy-v-energetickych-odvetvich-a-o-zmene-nekterych-zakonu-energeticky-zakon>>
- [24] *Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech. Business.center cz* [online]. 15. 5. 2001 [cit. 2013-03-06]. Dostupné z WWW: <<http://business.center.cz/business/pravo/zakony/odpady/cast3.aspx>>
- [25] Tluka, P., Šafařík, M., Habart, J.: *Expertní systém pro bioplyn: Legislativa založení a provozu bioplynových stanic. Biom.cz* [online]. 2008-06-10 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z WWW: <<http://expert.biom.cz/bioplyn.stm> . ISSN: 1801-2655
- [26] *Právní-předpisy. Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší. Tzb – info.cz* [online]. 01. 09. 2012 [cit. 2013-03-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-201-2012-sb-o-ochrane-ovzdusi>>
- [27] *Právní-předpisy: Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech. Eagri.cz* [online]. 1. 9. 1998 [cit. 2013-03-06]. Dostupné z WWW: <http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_zakon-1998-156-hnojiva.html>
- [28] *Právní-předpisy. Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií. Tzb – info.cz* [online]. 01. 09. 2012 [cit. 2013-03-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-406-2000-sb-o-hospodareni-energi>>

[29] *Otročín*. *Wikipedie.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-11-22]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Otročín>

[30] *Otročín*. *Mapy.cz* [online]. 2012-03-01 [cit. 2013-11-11]. Dostupné z WWW: <https://maps.google.cz/>

[31] Dlouhý, T.: *Kotelny a kogenerační jednotky: projekt II*. *Fsinet.fsid.cvut.cz* [online]. 2010 [cit. 2013-10-16]. Dostupné z WWW: <http://fsinet.fsid.cvut.cz/cz/U207/U2072/projektII.pdf>

[32] *Conrad Electronic* – návod na použití digitálního hlukoměru SL-300

[33] Smetana, C. a kol. *Hluk a vibrace, měření a hodnocení*. Praha: Sdělovací technika, 1998. 188 s. ISBN 80-901936-2-5

Seznam zkratk:

KJ – Kogenerační jednotka

SO – sekundární okruh

TO – technologický okruh

BHKW (Blockheizkraftwerk) – bloková zařízení na výrobu elektrické energie/tepla

OZE – obnovitelné zdroje energie

ČR – Česká republika

AD – anaerobní digesce

ŽP – životní prostředí

filtr A – střední úroveň akustického tlaku

BRO – biologicky rozložitelný odpad

dB (A) – decibely, intenzita zvuku s "A" kontury filtru

mm – milimetr

cm – centimetr

cm³ – centimetr krychlový

dm³ – decimetr krychlový

m – metr

m³ – metr krychlový

km² – kilometr čtverečný

s. š. – severní šířka

v. d. – východní délka

Na – sodík

K – draslík

K - Kelvin

Ca – vápník

Fe – železo

S – síra

Mg – hořčík

Se – selen

W – watt

kW – kilowatt

°C – stupeň Celsia

kWh – kilowatthodina

V – volt
Hz – hertz
kHz – kilohertz
JV – jihovýchod
Nm³/h – normálový metr krychlový „kubík“ za hodinu
kWh/m³ – kilowatthodina za metr krychlových
g/kWh – gram za kilowatthodinu
m³/h – metr krychlový za hodinu
ot/min – otáčky za minutu
a. s. – akciová společnost
s. r. o. – společnost s ručením omezeným
org. – organické
obr. – obrázek
min. – minimum
max. – maximum
ks. – kus
cca. – cirka
MJ/Nm³ – megajoul normálového metru krychlového
mbar – milibar
hPa – hektopascal
kPa – kilopascal
mA – miliampér
IP – odolnost elektrospotřebiče proti vniknutí kapaliny nebo cizího tělesa
kVA/kW – kilovoltampéry/kilowatty
cos φ – cosinus φ
% – procenta

Seznam tabulek:

<i>Tabulka 1. – Obsah vlhkosti v organických látkách u vybraných bioodpadů [6]</i>	<i>14</i>
<i>Tabulka 2: Limitní hodnoty obsahu rizikových prvků v organických hnojivech, substrátech a statkových hnojivech v sušině [27]</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 3: Technická data dávkovacího zařízení</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 4: Technická data hlavního fermentoru</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 5: Technická data dodatečného fermentoru s integrovaným zásobníkem ...</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka 6: Technická data koncového skladu</i>	<i>47</i>
<i>Tabulka 7: Technická data separátoru se šnekovým lisem a sběrnou jámou</i>	<i>48</i>
<i>Tabulka 8: Základní technické údaje kogenerační jednotky (2 x 160 kW)</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 9: Technická data motoru</i>	<i>52</i>
<i>Tabulka 10: Technická data generátoru</i>	<i>53</i>
<i>Tabulka 11: Parametry sekundárního okruhu jednotky</i>	<i>54</i>
<i>Tabulka 12: Základní parametry teploty chladicí kapaliny</i>	<i>55</i>
<i>Tabulka 13: Technické údaje přívodu plynu</i>	<i>55</i>
<i>Tabulka 14: Technické údaje o spalovacím a ventilačním vzduchu</i>	<i>56</i>
<i>Tabulka 15: Technické údaje o odvodu spalin</i>	<i>56</i>
<i>Tabulka 16: – Technické parametry VOLTCRAFT plus SL-300 [32]</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka 17: Meteorologické údaje</i>	<i>59</i>
<i>Tabulka 18: Severní strana (N)</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka 19: Západní strana (W)</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka 20: Jižní strana (S)</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka 21: Východní strana (E)</i>	<i>61</i>
<i>Tabulka 22: Měření vně krytu (N)</i>	<i>61</i>
<i>Tabulka 23: Porovnání hodnot ve vzdálenosti 1 m</i>	<i>62</i>

Seznam obrázků:

<i>Obrázek 1. – Zobrazení způsobů zpracování biomasy ve vlhkostním spektru [6]</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 2. – Kompostování na volné ploše v pásových hromadách [5]</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 3. – Schematické rozdělení bioplynových technologií [10]</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 4. – Schéma bioplynové stanice využívající dvou stupňové mokré fermentace [3]</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 5. – Schéma bioplynové stanice využívající suché fermentace garážového typu [3]</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 6. – Základní typy bioplynových stanic [12]</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 7. – Horizontální fermentor [13]</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 8. – Vertikální fermentor [14]</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 9. – Schéma vzniku bioplynu z biologicky rozložitelných odpadů [19]</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 10. – Míchadla pro bioplynové stanice [10]</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 11. – Schéma spirálového výměníku [10]</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 12. – Stěnové vytápění [21]</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 13. – Schéma plynojemu [10]</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 14. – Poloha obce Otročín [30]</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 18. – BPS Agro–Otročín a. s. Zdroj: (interní zdroj podniku)</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 15. – Dodatečný fermentor s integrovaným zásobníkem plynu</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 16. – Koncový sklad se zabudovanou středovou podporou</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek 17. – Separátor se šnekovým a sběrnou jámou</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 19. – Schéma kogenerace se spalovacím motorem [31]</i>	<i>52</i>
<i>Obrázek 20. – Kogenerační jednotky</i>	<i>52</i>
<i>Obrázek 21. – Schéma kogenerační jednotky (půdorys)</i>	<i>58</i>