

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA**

**V PRAZE**

**TECHNICKÁ FAKULTA**

Katedra technologických zařízení staveb

Využití malého anaerobního fermentoru pro  
zpracování odpadů organického původu z domácností

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Pastorek, CSc., prof. h. c.

Diplomant: Bc. Ondřej Vosátka

**V PRAZE, 2013**

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

Katedra technologických zařízení staveb

Technická fakulta

# **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Vosátka Ondřej

Technika a technologie zpracování odpadů

Název práce

**Využití malého anaerobního fermentoru pro zpracování odpadů organického původu z domácností**

Anglický název

**Utilization of small anaerobic fermentor for household organic wastes processing.**

## **Cíle práce**

Navrhnout zařízení na zpracování organických odpadů z domácností anaerobní fermentací. Stanovit materiálovou a energetickou bilanci technologické linky s malým anaerobním fermentorem.

## **Metodika**

Vypracování literární rešerše (1/2013), návrh řešení technologické linky (2/2013), provedení laboratorních experimentů (3/2013), zpracování výsledků (3/2013), vypracování doporučení pro praxi (4/2013).

## **Osnova práce**

- 1) Úvod, literární rešerše
- 2) Současný stav produkce a nakládání s org, odpady z domácností
- 3) Návrh technologické linky s malým anaerobním fermentorem
- 4) Laboratorní pokusy s modelovým materiálem
- 5) Vyhodnocení výsledků
- 6) Závěr, doporučení pro praxi

### **Rozsah textové části**

Rozsah textové části práce je 50-80 stran včetně obrázků, tabulek a grafů.

### **Klíčová slova**

Malý anaerobní fermentor, organické odpady z domácností.

### **Doporučené zdroje informací**

Pastorek, Z., Kara, J., Jevič, P., 2004, Biomasa – obnovitelný zdroj energie, FCC Public Praha, 284 s., ISBN 80-86534-06-05  
Schulz, H., Eder, B., 2004, Bioplyn pro praxi – teorie – projektování – stavba zařízení – příklady, nakladatelství HEL Ostrava, 164 s.,  
ISBN 80-86167-21-6  
Straka, F. a kol., 2003, Bioplyn – příručka pro vyuuku, projekci a provoz bioplynových systémů, GAS, s. r. o., Říčany, 517 s. ISBN 80-7328-029-9  
Kolektiv autorů KTBL, 2009, Faustzahlen Biogas, KTBL Darmstadt, 2. vydání, 235 s., ISBN 978-3-941583-28-3  
Pastorek, Z. 2012, bioplyn – obnovitelná energie z biomasy. In: kol. autorů, Obnovitelné zdroje energie, ProfiPress, s. r. o., Praha, ISBN 978-80-86726-48-9  
Časopis „Odpady“  
Časopis „Odpadové fórum“  
Nařízení RP a EK č. 1069/2009  
Zákon č. 185/2001 Sb v posledním znění  
Metodický pokyn MŽP „K podmínkám schvalování BS do provozu“

### **Vedoucí práce**

Pastorek Zdeněk, Ing., CSc., prof.h.c.

### **Termín zadání**

listopad 2012

### **Termín odevzdání**

duben 2013

  
**doc. Ing. Miroslav Příkryl, CSc.**  
Vedoucí katedry



  
**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**  
Děkan fakulty

#### Abstrakt:

Předmětem práce je problematika využívání organického odpadu z domácností anaerobním rozkladem pomocí maloobjemového fermentoru a následné získání bioplynu. Cílem práce bylo navrhnout linku s malým anaerobním fermentorem a objasnit efektivitu jejího využití v domácnosti pomocí energetické a materiálové bilance. Návrh zařízení vychází především z daného objemu fermentoru a z vlastností zpracovávaných organických odpadů. Zpracovávanými odpady jsou odpady zeleninové zbytky, čerstvá a suchá travní seč a spadané listí. V jednotlivých odpadech byl laboratorně zjištěn podíl sušiny a její organické části. Dále bylo zjištěno množství vzniklého bioplynu ve fermentoru. Pomocí energetické bilance a navazujícího ekonomického zhodnocení byla zjištěna značná neefektivnost návrhu zařízení. Závěr práce se věnuje příčinám neefektivnosti a je ukončen doporučením pro navýšení objemu fermentoru pro pokrytí provozních a investičních nákladů v přijatelném časovém horizontu.

Klíčová slova: Malý anaerobní fermentor, organické odpady z domácností

#### Abstract:

This thesis investigates the issue of the use of organic waste from households with small-scale anaerobic digestion and subsequent acquisition of the digester biogas. The aim was to design a line with a small anaerobic digester and clarify the efficiency of its use in the home with the energy and material balance. Design of the equipment is based primarily on the volume of the digester and the properties of the processed organic waste, which is waste from vegetables, fresh and dry grass mowing and fallen leaves. In each laboratory waste was found of the dry matter and its organic parts. It was also found the amount of the biogas produced in the digester. Using the energy balance of economic evaluation and follow-up revealed significant inefficiencies in equipment design. The conclusion explores the causes of inefficiency, and is terminated recommendations for increasing the volume of the digester to cover operating and capital costs in a reasonable time frame.

Keywords: Small anaerobic fermentor, household organic wastes

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Využití malého anaerobního fermentoru pro zpracování odpadů organického původu z domácností“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Pastorka, CSc., prof. h. c. a použil jen pramenů citovaných v přiložené bibliografii.

V Praze, dne 7. 4. 2013

.....

Ondřej Vosátka

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval především vedoucímu práce ing. Zdeňku Pastorkovi, prof. h.c. za přínosné konzultace a za trpělivé odborné vedení mé práce, dále katedře agroenvironmentální chemie a výživy rostlin fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity v Praze za možnost seznámit se s přístrojem, rodině Hodkových, celému Ekodomovu, a také celé mé rodině za trpělivost, zázemí a podporu.

## Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Analýza legislativních norem</b> .....	<b>2</b>
2.1	Biologicky rozložitelný odpad (BRO) .....	3
2.1.1	Bioodpady z domácností .....	4
2.2	Legislativní a technologické požadavky v oblasti BPS .....	6
<b>3</b>	<b>ANAEROBNÍ FERMENTACE ORGANICKÝCH ODPADŮ</b> .....	<b>9</b>
3.1	Bioplyn .....	9
3.2	Proces anaerobní fermentace a jeho základní faktory .....	11
3.2.1	Chemické složení substrátu .....	14
3.2.2	Poměr C:N .....	16
3.2.3	Obsah sušiny a vlhkost substrátu .....	17
3.2.4	Teplota .....	18
3.2.5	pH .....	19
3.2.6	Ostatní technologické ukazatele .....	19
<b>4</b>	<b>TECHNIKA A TECHNOLOGIE BIOPLYNOVÉ PRODUKCE</b> .....	<b>22</b>
4.1	Obecná struktura hlavních prvků strojní bioplynové linky .....	22
4.2	Anaerobní fermentor .....	25
4.2.1	Vytápění a tepelné izolace .....	26
4.2.2	Míchání .....	26
4.2.3	Využití malých anaerobních fermentorů .....	27
<b>5</b>	<b>VÝCHOZÍ PODMÍNKY NÁVRHU LINKY</b> .....	<b>28</b>
5.1	Anaerobní fermentor .....	28
5.1.1	Vytápění a regulace teploty .....	29
5.1.2	Míchací pohonná jednotka .....	30

5.2	Box pro umístění linky .....	32
5.3	Produkce organického odpadu z domácnosti .....	33
5.4	LABORATORNÍ POKUSY S MODELOVÝM MATERIÁLEM .....	34
5.4.1	Metodika práce .....	34
5.5	Hmotnostní a surovinová skladba dávky směsi .....	37
5.6	Produkce bioplynu ze směsi substrátu .....	40
5.7	Materiálová bilance .....	41
<b>6</b>	<b>NÁVRH TECHNOLOGICKÉ LINKY S MALÝM ANAEROBNÍM FERMENTOREM .....</b>	<b>43</b>
6.1	Přípravná nádrž vstupního organického materiálu .....	43
6.2	Zásobník bioplynu .....	45
6.3	Rozvody bioplynu .....	47
6.4	Skladovací nádrž na digestát .....	47
6.5	Spotřebič .....	48
6.6	Funkční schéma linky .....	49
<b>7</b>	<b>ENERGETICKÁ BILANCE NÁVRHU LINKY .....</b>	<b>50</b>
7.1	Energetická spotřeba provozu linky .....	50
7.1.1	Doba provozu vytápění .....	52
7.2	Energetický výnos zařízení .....	53
<b>8</b>	<b>TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHU LINKY .....</b>	<b>53</b>
8.1	Náklady .....	54
8.1.1	Provozní náklady .....	54
8.1.2	Pořizovací náklady linky .....	55
8.2	Výnosy .....	58
8.3	Finanční návratnost investice .....	58
8.4	Zvýšení objemu fermentoru .....	59



<b>9</b>	<b>ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PRO PRAXI .....</b>	<b>62</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM LITERATURY .....</b>	<b>63</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>65</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>66</b>

## 1 ÚVOD

Bioplynová stanice představuje náročnou investici, kterou si často nemůže jednotlivec dovolit. Vyžadují si investora, kterým může být např. obec nebo jiný subjekt s odpovídajícími finančními prostředky. Existuje však i méně nákladná cesta, jak bioplyn získat a využívat pro vlastní potřebu. Jedná se o výrobu bioplynu v mnohem menším měřítku, např. pro jednu i více rodin. Tato varianta nachází uplatnění zejména v chudých izolovaných oblastech, ale také v domácnostech, které chtějí využít vlastní bioodpad. Přesto se s těmito malými anaerobními fermentory a jejich příslušenstvím lze výlučně setkat v odlehlých asijských či afrických oblastech. Obyvatelé jsou schopni si i svépomocí vyrobit jednoduché zařízení na anaerobní fermentaci za pomoci dostupné techniky. Tato zařízení jsou technicky značně nedokonalá, avšak v místních podmínkách mohou být efektivní. Někteří uživatelé se stávají nezávislí na místním plynovém připojení a ušetří tak za energii. Využití bioplynu z těchto zařízení je převážně zaměřeno na vaření, případně na ohřev vody.

Využití bioodpadu k anaerobní fermentaci má obecně jak ekologické, tak ekonomické přínosy.

## 2 Analýza legislativních norem

Základní právní normou odpadového hospodářství v České republice je zákon č. 185/2001 Sb. (dále jen zákon o odpadech) ve znění pozdějších předpisů. Stanovuje především základní pravidla pro předcházení vzniku odpadů, nakládání s nimi a práva a povinnosti osob v odpadovém hospodářství. Tento zákon je dostatečně v souladu s legislativou EU a případné požadované změny jsou do tohoto zákona zapracovány formou novel. Další úpravy a podrobnosti legislativy této problematiky stanovují vyhlášky. [1][2]

*Hierarchie způsobů nakládání s odpady ve znění zákona o odpadech.:*

- 1) Předcházení vzniku odpadů
- 2) Příprava k opětovnému použití
- 3) Recyklace odpadů
- 4) Jiné využití odpadů, například energetické využití
- 5) Odstranění odpadů

*Katalog odpadů*

Příloha č. 1 vyhlášky ministerstva životního prostředí (dále MŽP) č. 381/2001 Sb. stanovuje katalog odpadů, podle kterého jsou všichni původci a oprávněné osoby povinni odpady zařazovat. Odpady jsou v katalogu rozděleny na „nebezpečný odpad“ a „ostatní odpad“. Struktura označení odpadu se skládá z šestimístného číselného označení, ve kterém první dvojčíslí udává skupinu odpadu, druhé dvojčíslí podskupinu a třetí určuje druh odpadu. Původce je podnikající osoba, při jejíž činnosti vznikají odpady, nebo podnikající osoba jejíž výsledkem činnosti je změněna povaha nebo složení odpadů. Původcem je i obec od okamžiku, kdy nepodnikající osoba odpad odloží na určené místo. Současně se obec stává majitelem těchto odpadů. [3]

## 2.1 Biologicky rozložitelný odpad (BRO)

Biologicky rozložitelné odpady (dále jen bioodpad, BRO) jsou jakékoliv odpady, které podléhají aerobnímu či anaerobnímu rozkladu. Jejich poměrné zastoupení představuje přibližně pětinu celkové produkce odpadů ČR. Jsou to zejména odpady zemědělské, lesnické, potravinářské, papírensko - celulózařské, ze zpracování dřeva, kůží, textilního průmyslu, dále zahrnuje i biologicky rozložitelné komunální odpady (komunální bioodpady) včetně odpadů ze zeleně, čistírenské a vodárenské kaly a biologicky rozložitelný obalový odpad. [1]

Právní rámec v legislativě České republiky ohledně nakládání s bioodpady tvoří zejména zákon o odpadech a dále vyhláška MŽP č. 383/2001 Sb. „o podrobnostech nakládání s odpady“, vyhláška č. 341/2008 Sb. „o podrobnostech nakládání s biologickými odpady“ a zákon č.156/1998 Sb. o hnojivech ve znění pozdějších předpisů.

### *Koncepce nakládání s bioodpady*

Dopad bioodpadů na životní prostředí je výrazně negativní - mohou způsobovat tvorbu skleníkových plynů, kyselých výluhů při hydrologických procesech a případně ohrožovat zdraví lidí a zvířat výskytem patogenních a podmíněně patogenních mikroorganismů. Ukládáním bioodpadů na skládkách, vzniká za anaerobních podmínek skládkový plyn, tedy plyn s vysokým podílem metanu. Relativní účinnost metanu je přibližně dvacetkrát vyšší ve srovnání s oxidem uhličitým, následkem je výrazný vliv na antropogenní skleníkový efekt a následné změny klimatu. Emise skleníkových plynů v odpadovém hospodářství představují téměř 5 % celkového množství produkovaných skleníkových plynů všech resortů ČR. [1]

### *Plán odpadového hospodářství*

Plán odpadového hospodářství je dán nařízením vlády ČR 197/2003 Sb. Česká republika se vstupem do EU zavázala k postupnému omezování skládkování komunálních bioodpadů. Evropská směrnice Rady EU 1999/31/EC „o skládkování odpadů“ požaduje po členských státech, aby stanovily vnitrostátní strategii za účelem

provádění omezení bioodpadů ukládaných na skládku. Tato strategie by měla obsahovat opatření zaměřená na dosažení cílů zejména pomocí recyklace, kompostování, výroby bioplynu, tedy pomocí materiálového a energetického využití. Cílem je snížení maximálního množství komunálních bioodpadů ukládaných na skládku způsobem, aby podíl této složky činil v roce 2006 nejvíce 75% hmotnostních, v roce 2009 nejvíce 50 % hmotnostních a výhledově v roce 2016 nejvíce 35% hmotnostních z celkového množství komunálního bioodpadu vzniklého v roce 1995. Členské státy, které v průběhu roku 1995 ukládaly na skládku více než 80 % komunálních odpadů, což je případ ČR, mohou odložit splnění cíle maximálně o 4 roky. Pro ČR jsou tedy tyto závazné roky 2010, 2013 a 2020. Další cíl plánu je zvýšit materiálové využití komunálních odpadů na 50 % do roku 2010 ve srovnání s rokem 2000. Současná situace však napovídá, že dosažení těchto cílů plánu odpadového hospodářství ČR není dosud uspokojivě plněno, zvláště špatná situace je v případě ukládání komunálního bioodpadu na skládku, kde navzdory stanovenému cíli dochází dokonce k nárůstu množství tohoto odpadu ukládaného na skládku. [4][5]

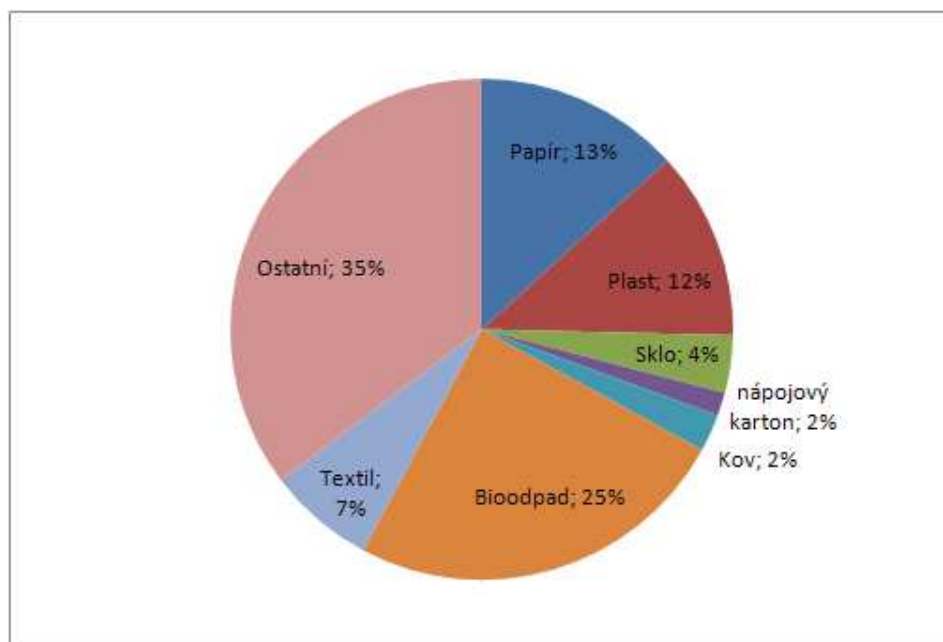
## **2.1.1 Bioodpady z domácností**

Z platné legislativy vyplývá, že odpad z domácností je součástí komunálního odpadu (v katalogu odpadů skupina 20). Komunální odpad je podle definice zákona o odpadech veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob, a který je uveden jako komunální odpad v prováděcím předpisu s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob a též u fyzických osob oprávněných k podnikání. [2]

Povaha a množství komunálních (resp. domovních odpadů) se liší typem zástavby, velikostí sídla, počtem obyvatel, způsobem vytápění ale např. i životním stylem obyvatel.

Přímá definice organických odpadů z domácností neexistuje, avšak lze konstatovat, že domovní organické odpady jsou veškeré odpady podléhající aerobnímu či anaerobnímu rozkladu a jsou původem z domácností.

Obr. 1 - Skladba komunálního odpadu z domácností v roce 2007 [6]



Na grafu je znázorněna skladba komunálního odpadu původem z domácností, které využívají plynové, elektrické vytápění anebo centrální vytápění. Do ostatního odpadu je zahrnut minerální odpad, nebezpečný odpad a elektroodpad. [6]

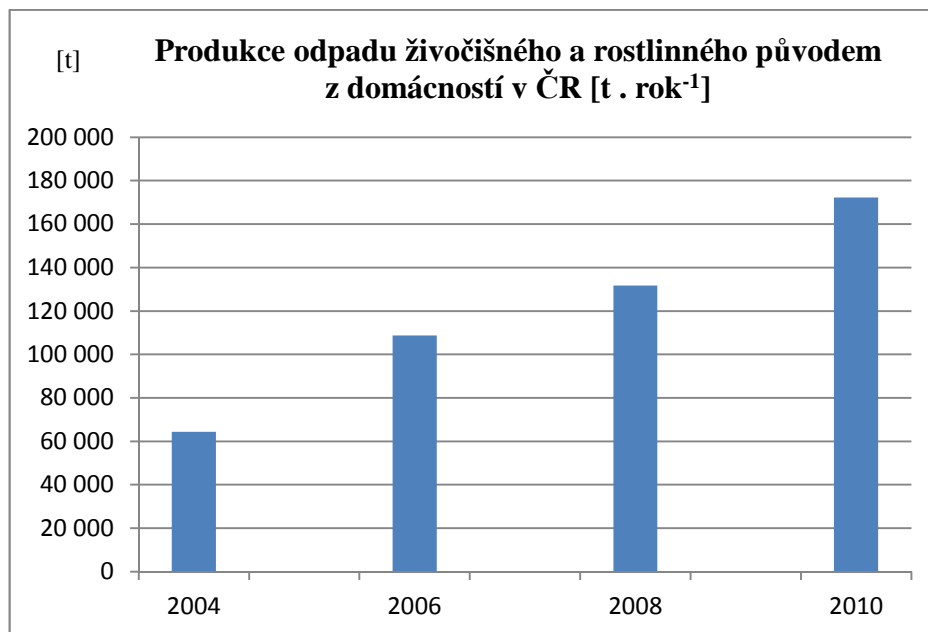
Mezi BRO z domácností patří kuchyňský bioodpad - např.: zbytky zeleniny a ovoce, kávové a čajové zbytky, skořápky z vajíček a ořechů, zbytky vařených jídel – brambory, těstoviny, rýže, zvadlé květiny, podestýlka domácích býložravých zvířat, špinavé papírové ubrousky - a další biologicky rozložitelné odpady - např. papír, lepenka, chemicky neošetřené dřevo a biologicky rozložitelné obaly.

Domovní organické odpady lze dále rozdělit na odpady rostlinného a živočišného původu.

Tab. 1 - Některé způsoby využívání odpadů [2]

kód	Způsob využívání odpadů
R3	Získání / Regenerace organických látek, které se nepoužívají jako rozpouštědla (včetně kompostování a dalších biologických procesů).
R10	Aplikace o půdy, která je přínosem pro zemědělství nebo zlepšuje ekologii.

**Obr. 2 - Graf produkce odpadu živočišného rostlinného původem z domácností [7]**



## 2.2 Legislativní a technologické požadavky v oblasti BPS

Každý návrh BPS musí zohlednit komplexní legislativní požadavky, ať už jde o zabezpečení proti úniku zápachu, zohlednění vlivů na životní prostředí, splnění kvalitativních podmínek vstupů a výstupů, omezení kontaminace spodních vod únikem kontaminovaného materiálu, podmínky skladování organického materiálu a digestátu, nebo kontrolní a zabezpečovací systém. Každý návrh však vychází z odlišných výchozích podmínek a proto musí být posuzován individuálně. [8]

Základní rozdělení BPS:

- Zemědělské
- Čistírenské
- Ostatní

**Zemědělské** bioplynové stanice se vyznačují zpracováváním materiálu rostlinného charakteru a statkových hnojiv (podestýlky). Na těchto zařízeních není legislativně možné zpracovávat odpady podle zákona o odpadech a ani materiály, které spadají pod Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009 o vedlejších živočišných produktech (VŽP).

- *Živočišné suroviny:*

kejska prasat, hnůj prasat se stelivem, kejska skotu, hnůj skotu se stelivem, hnůj a stelivo z chovu koní, koz, králíků, drůbeží exkrementy, včetně steliva.

- *Rostlinné suroviny:*

sláma všech typů obilovin i olejnin, plevy a odpad z čištění obilovin, bramborová nať i slupky z brambor, řepná nať z krmné i cukrové řepy, kukuřičná sláma i jádro kukuřice, travní biomasa nebo seno (senáže), nezkrmitelné rostlinné materiály (siláže, obiloviny, kukuřice).

- *Pěstovaná biomasa:*

obiloviny v mléčné zralosti (celé rostliny) čerstvé i silážované, kukuřice ve voskové zralosti (celé rostliny) čerstvá i silážovaná, kukuřice vyzrálá (celé rostliny) čerstvá i silážovaná, krmná kapusta (celé rostliny) čerstvá i silážovaná, „prutová“ biomasa (štěpky anebo řezanka z listnatých dřevin z rychloobrátkových kultur anebo z průklestů)

**Čistírenské BPS** tvoří nedílnou součást čistírny odpadních vod (ČOV) a využívají se jak ke stabilizaci kalu z čistírny, tak k podpoře či úplného pokrytí energie potřebné pro chod čistírny. Do tohoto zařízení vstupují pouze kaly z ČOV, žump a septiků a odpadní voda. Tyto BPS mají ve svém provozním řádu stanovené podmínky nakládání s aktivovaným kalem a anaerobně stabilizovaným kalem (vyhnílym kalem).

**Ostatní BPS** zpracovávající ostatní vstupy mohou zpracovávat bioodpady a všechny materiály již zmíněných typů BPS. Pokud má výchozí biomasa charakter VŽP, který nevstupuje do potravinového řetězce, je nakládání s ní regulováno ustanoveními dle



nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009 (o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu a získaných produktů, které nejsou určeny k lidské spotřebě). Nařízení dělí uvedené materiály živočišného původu do tří kategorií, které odpovídají úrovni rizika pro člověka a zvířata a stanovuje požadavky mimo jiné i na bioplynové stanice.

Pokud se na zpracovávaný materiál vztahuje již zmiňované nařízení EP a ES je nutné zajistit předepsané podmínky zpracování.

- a. Pro VŽP *katégorie 2* je nutné vybavit linku pasterizačně/sanitační jednotkou, která zajistí jejich hygienizaci. Tato jednotka není nutná, pokud budou tyto materiály podrobeny tepelnému zpracování při teplotě nejméně 133 °C po dobu nejméně 20 minut bez přerušování, při absolutním tlaku nejméně 3 bary, přičemž velikost částic nesmí být větší než 50 milimetrů
- b. Pro *katégorii 3* je nutné zajistit tepelné zpracování při teplotě 70 °C pro dobu 1 hod., přičemž velikost částic nesmí být větší než 12 mm. [8]

Zároveň musí být BPS vybavena prostorem k čištění a desinfekci dopravních prostředků, kontejnerů a přepravních nádob před výjezdem dopravních prostředků ze zařízení a musí být kontrolovány parametry technologického procesu a sledovány předepsané ukazatele výstupů.

Provozovatel je povinen provozovat zařízení v souladu s projektovou dokumentací a souladu s provozním řádem zařízení.

Pro řádný provoz BPS je nutné znát charakteristiku vstupních surovin (např. obsah sušiny), jejich sezónní proměnlivé množství a vzájemný podíl.

### *Požadavky na manipulaci se vstupními a výstupními materiály BPS*

Manipulace s materiálem musí probíhat vždy způsobem, aby nedocházelo k úniku pachových látek. Dále musí být vedená a archivovaná evidence o použitých VŽP. Vstupní materiály (suroviny/odpady) jsou skladovány na zpevněných plochách zabezpečených proti úniku škodlivin do podzemních vod.

V případě záměru prodeje digestátu jako hnojiva musí výstup ze zařízení splňovat zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů.

## 3 ANAEROBNÍ FERMENTACE ORGANICKÝCH ODPADŮ

Proces anaerobní fermentace, který je příčinou vzniku bioplynu, je minimálně stejně starý jako život na Zemi. Během více než poslední stovky let se člověk naučil využívat i praktické stránky tohoto přírodního jevu. Osvojil si znalosti, za jakých podmínek tento proces probíhá, a naučil se jej řízeně využívat ve svůj prospěch. [9]

### 3.1 Bioplyn

Bioplyn, stejně jako zemní plyn, důlní plyn, kalový plyn či skládkový plyn má původ v činnosti mikroorganismů. V technické praxi se však ustálil název bioplyn pro směs vzniklou anaerobní fermentací organických látek v umělých technologických zařízeních a v této práci je bioplyn v tomto smyslu pojat.

#### Základní charakteristika

Bioplyn je směs plynů, z níž hlavní podíl tvoří metan ( $\text{CH}_4$ ) a oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ). Dále se ve směsi nacházejí další plyny v menším, až stopovém množství. Jedná se zejména o sulfan ( $\text{H}_2\text{S}$ ), vodík ( $\text{H}_2$ ), dusík ( $\text{N}_2$ ), kyslík ( $\text{O}_2$ ), amoniak ( $\text{NH}_3$ ) a amonný iont ( $\text{NH}_4^+$ ). Přítomnost některých plynů je však i ve stopovém množství nežádoucí, až nepřijatelná. Jelikož bioplyn nachází uplatnění především jako zdroj energie, je snahou téměř každé technologie získat co nejvyšší podíl metanu, který představuje hlavní výhřevnou složku. Jednotlivé vlastnosti plynů jsou uvedeny. [9][10]

## *Metan*

Nejdůležitější složkou bioplynu je metan, na jehož podílu záleží výhřevnost celé směsi. Výhřevnost bioplynu se tak pohybuje od 13,72 do 27,44 MJ.m<sup>-3</sup>. Metan je bezbarvý plyn bez zápachu, který ve směsi se vzduchem tvoří třaskavou směs. Je lehčí než vzduch a od 0,1 obj. % začíná působit anesteticky. Mezi přirozené zdroje metanu patří obecně rozkladné procesy biomasy za nepřítomnosti vzduchu (výrazným původcem je i trávicí trakt přežvýkavců). Schopnost metanu výrazně pohlcovat infračervené záření jej zařazuje mezi významné skleníkové plyny. Jeho výskyt v atmosféře je přibližně 0,004 obj. %.

## *Oxid uhličitý*

Jedná se o nehořlavý bezbarvý plyn bez zápachu, který není příliš reaktivní. Je přibližně 1,5 krát těžší než vzduch. Nachází velké uplatnění v potravinářském a strojírenském průmyslu (ochranná atmosféra). Přirozený zdroj emisí CO<sub>2</sub> je dýchání aerobních organismů. Fotosyntézou zelených rostlin dochází k přirozenému úbytku. Dalšími velkými zdroji emisí je spalování fosilních paliv, stejně jako spalování jakýchkoliv uhlíkatých paliv. Oxid uhličitý tvoří přibližně 0,035 % podíl atmosférického vzduchu. Od koncentrace 3 – 4 % objemu vdechovaného vzduchu se začíná projevovat zrychleným dýcháním i tepovou frekvencí a zvýšeným krevním tlakem. Pobyt v koncentracích 7 – 10 % je již nebezpečný. Nebezpečnost CO<sub>2</sub> spočívá také v tom, že se shromažďuje na nejnižších místech. [4]

## *Sulfan*

Sulfan je bezbarvý plyn o málo těžší než vzduch, vyznačující se charakteristickým zápachem po zkažených vejcích. Již v malých dávkách působí toxicky. Sulfan reaguje s kovy v životně důležitých enzymech, a tím se projevuje jako nervový jed. Tato sloučenina síry je čichem rozpoznatelná od míry koncentrace 0,4 mg H<sub>2</sub>S . m<sup>-3</sup>. Zvýšení jeho koncentrace však není provázeno vyšší intenzitou zápachu (koncentrace 300 mg . m<sup>-3</sup> již otupuje čich). Hranice koncentrace 100 mg . m<sup>-3</sup> může již vyvolat příznaky otravy, 140 mg . m<sup>-3</sup> může vyvolat edém plic, 1 g . m<sup>-3</sup> a více je nebezpečný již v pouhých minutách pobytu v prostředí. Povolené úrovně nejvyšších

koncentrací pro člověka jsou do  $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  pro trvalý a  $20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  pro krátkodobý pobyt. [4]

**Tab. 2 - Vlastnosti složek bioplynu [10]**

Charakteristika	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	Bioplyn CH <sub>4</sub> 60 %, CO <sub>2</sub> 40 %
Objemový podíl [%]	55 - 70	27 - 47	1	3	100
Výhřevnost [MJ.m <sup>-3</sup> ]	35,8	-	10,8	22,8	21,5
Hranice zápalnosti [obj. %]	5 - 15	-	4 - 80	4 - 45	6 - 12
Zápalná teplota [°C]	650 - 750	-	585	-	650 - 750
Měrná hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	0,72	1,98	0,09	1,54	1,2

## Využití bioplynu

Bioplyn lze přímo využít v procesech, kde se používají plynná paliva. Základním předpokladem je však přizpůsobení spotřebiče upravenému bioplynu. Široké uplatnění nachází při vaření, vytápění, přípravě teplé vody, chlazení, sušení, výrobě elektrické energie, ale i v dopravě. Výhřevnost bioplynu je závislá na podílu metanu. [10][11]

## **3.2 Proces anaerobní fermentace a jeho základní faktory**

Biologický rozklad organických látek v anaerobních podmínkách je nazýván anaerobní fermentace či metanové fermentace, metanové kvašení, biogasifikace, biometanizace, anaerobní digesce. Jedná se o složitý vícefázový biochemický děj, jehož průběh je závislý na fyzikálních a fyzikálně-chemických podmínkách prostředí. S tímto dějem se lze setkat ve volné přírodě např. v močálech, na dně rybníků, ale i v účelových technologických zařízeních určených ke stabilizaci čistírenských kalů, organických odpadů a za účelem získání bioplynu. [10]

Biochemický proces, předcházející vzniku bioplynu, lze zjednodušením rozdělit do čtyř na sebe navazujících fází, které nejsou striktně odděleny a mohou se částečně prolínat či probíhat souběžně. Jednotlivé fáze jsou zastoupeny odlišnými skupinami mikroorganismů a celý děj vyžaduje jejich koordinovanou metabolickou součinnost. Pro správný průběh jednotlivých fází jsou požadovány odlišné fyzikálně chemické podmínky prostředí, ve kterém probíhají. Každý stupeň vyžaduje rozdílné fyzikálně chemické podmínky prostředí. [4][10][12]

## *Hydrolyza*

První fáze je charakteristická průběhem za přítomnosti kyslíku. Pro její zahájení je důležitá vlhkost substrátu, jejíž hodnota by měla být nad 50 % hmotnostního podílu. Hydrolytické mikroorganismy přeměňují makromolekulární látky (polysacharidy, proteiny, lipidy) pomocí mimobuněčně působících hydrolytických enzymů na jednodušší organické látky – monomery. Vzniklé nízkomolekulární látky jsou schopny přímého transportu do těla buňky, v níž pokračuje její rozklad. Často probíhá vedle hydrolyzy současně i acidogeneze.

## *Acidogeneze*

Na začátku druhé fáze je přítomno ještě nízké množství kyslíku, avšak v jejím průběhu dojde k vytvoření anaerobního prostředí. Produkty hydrolyzy jsou uvnitř buňky dále rozkládány na jednodušší látky kyseliny, alkoholy,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ , jejichž fermentací se tvoří řada konečných produktů. Konečnými produkty acidogenní fáze jsou vyšší organické kyseliny, kyselina octová ( $\text{CO}_3\text{COOH}$ ), etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ),  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ .

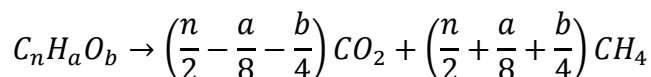
## *Acetogeneze*

Nazývána též mezifází či syntrofní acidogenezí. Jedná se o zvláštní případ acidogeneze. Syntrofní bakterie přeměňují vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou a zároveň produkují směs  $H_2$  a  $CO_2$ . Bakterie produkující  $H_2$  jsou zvláště důležité pro metanogeny a bakterie redukující sulfát. Pokud nejsou tyto skupiny mikroorganismů v těsné součinnosti, přebytek  $H_2$  má za následek inhibici činnosti hydrogenních bakterií (původců produkce  $H_2$ ).

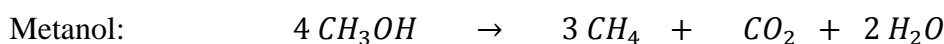
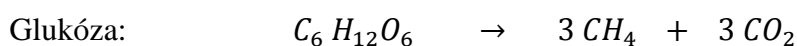
## *Methanogeneze*

Metanogenní acetotrofní bakterie rozkládají kyselinu octovou  $CO_3COOH$  na metan  $CH_4$  a oxid uhličitý  $CO_2$ . Hydrogenotrofní produkují metan z vodíku a oxidu uhličitého, avšak určité kmeny metanogenů se chovají jako obojetné. Metanogenní fáze probíhá přibližně pětikrát déle než zbylé tři fáze, proto je třeba přizpůsobit režim dávkování substrátu této skutečnosti. [4][10][12]

Pro rozklad uhlovdanů obecně platí:



Zjednodušený popis metanového kvašení:



V závislosti na složení substrátu se vytvářejí vhodné podmínky pro výskyt a množení určitých kmenů bakterií zpracovávajících substrát [10].

- a) Lagová fáze – mikroorganismy se postupně adaptují na dané podmínky
- b) Fáze zrychleného růstu – částečně přizpůsobené mikroorganismy se začínají množit

- c) Fáze exponenciálního růstu – zcela přizpůsobené mikroorganismy se silně množí, mají dostatečný přísun živin
- d) Fáze zpomaleného růstu – rychlost růstu mikroorganismů se zpomaluje
- e) Stacionární fáze – vlivem počátku nedostatku živin je počet vznikajících a umírajících mikroorganismů v rovnováze
- f) Fáze poklesu – nedostatek živin, odumírání a rozklad mikroorganismů

Za účelem rychlejšího náběhu fermentačního procesu se využívá očkovací látka (tzv. inokulum) z jiného fermentoru v ustáleném stavu.[10][11]

## **Základní faktory anaerobní fermentace:**

Existuje mnoho faktorů, které zásadním způsobem ovlivňují výši produkce bioplynu

Hlavní faktory ovlivňující průběh anaerobní fermentace: [12]

- složení fermentovaného substrátu,
- vlhkost,
- teplota,
- hodnota pH,
- anaerobní prostředí,
- biochemické inhibitory.

### **3.2.1 Chemické složení substrátu**

Složení bioplynu závisí především na chemickém složení rozkládaného materiálu. Obecně podléhá anaerobní fermentaci biomasa, tedy materiál biologického původu zahrnující rostlinný a živočišný materiál, vedlejší organické produkty a organické odpady. Bioplyn vzniká rozkladem základního látkového složení organického materiálu – proteinů (bílkovin), lipidů (tuků) a polysacharidů. Při znalosti produkce bioplynu z jednotlivých základních složek (látek) chemického složení materiálu lze vypočítat předpokládanou produkci bioplynu (resp. metanu). Pro každou tuto složku se výpočet provádí zvlášť. Při rozkladu bílkovin dochází k uvolňování sirnatých

složek do bioplynu (např. H<sub>2</sub>S), které je v některých případech nutné z bioplynu odstranit. Rozkladem lipidů lze dosáhnout nejvyšší výtěžnosti, avšak ve fermentovaném substrátu se zpravidla ve velkém množství nenachází. Hlavním zdrojem látek pro tvorbu složek bioplynu jsou polysacharidy obsažené ve fytomase. [10][12]

**Tab. 3 - Měrná produkce bioplynu ze základních složek organických materiálů [10]**

Látka	Výnos plynu [m <sup>3</sup> <sub>bioplynu</sub> · kg <sup>-1</sup> <sub>sušiny</sub> ]	Obsah metanu [%]
Proteiny	0,700	71
Tuky	1,250	68
Uhlovodíky	0,790	50

*Polysacharidy* se vyskytují v rostlinné biomase v podobě škrobu, celulózy a hemicelulózy. Z nich je nejsnadněji rozložitelný škrob, který se snadno hydrolyzuje amylolytickými enzymy. Celulóza je polymerem glukózy a je poměrně obtížně rozložitelná. Její hydrolyza je podmíněna přítomností celulolytických enzymů, které jsou produkovány hydrolytickými mikroorganismy přirozeně se vyskytujícími např. v trávicím traktu přežvýkavců. Další skupinou polysacharidů jsou heteropolysacharidy - hemicelulózy, které tvoří rozvětvené řetězce s prostorovou strukturou. Hemicelulózy podléhají snáze a rychleji enzymatické hydrolyze než celulóza.

*Lipidy* mají nejvyšší výtěžnost metanu ze všech třech zmíněných složek. Podléhají relativně snadno enzymové hydrolyze. Rozklad tuků může být technicky zkomplikován tím, že díky své hydrofobicitě mohou plavat na hladině, oddělovat se z vodní fáze nebo zvyšovat tvorbu pěny.

*Proteiny* patří mezi dobře biologicky rozložitelné látky. Proteiny jako jediné s výše uvedených substrátových skupin obsahují ve svých molekulách heteroatomy (kromě uhlíku, vodíku a kyslíku obsahují také síru a hlavně dusík). Dusík při anaerobní



fermentaci přechází amoniak, který při vyšších koncentracích může způsobovat inhibici tvorby metanu.

Kromě rozložitelných polysacharidů obsahuje rostlinná biomasa i další látky biologického původu, které jsou biologicky prakticky nerozložitelné nebo jen do malé míry. Mezi tyto látky patří především lignin. Lignin je organickou součástí nejenom každé rostlinné biomasy, ale materiálů z ní pocházejících, jakou jsou například různé druhy kejdy nebo hnoje a je hlavní součástí biologicky nerozložitelné frakce organických látek v stabilizovaném zbytku po anaerobní fermentaci. [10][13]

### 3.2.2 Poměr C:N

Metanogenní bakterie nemohou rozkládat tuky bílkoviny a uhlovodíky a celulózu v čisté formě. Pro svou buněčnou stavbu potřebují rozpustné dusíkaté sloučeniny, minerální látky a stopové prvky. Významným parametrem pro výběr vhodných materiálů pro anaerobní fermentaci je poměr uhlíkatých a dusíkatých látek. Za optimální hodnotu je považován poměr v intervalu 25 - 30 : 1. Za kritickou hodnotu je považován poměr 12 : 1. Vyšší obsah dusíkatých látek se může negativně odrážet ve složení bioplynu přítomností amoniaku, oxidu dusného a dalších minoritních plynů. Materiály obsahující vysoké množství N jsou exkrementy všech druhů hospodářských zvířat, čerstvá tráva, obsah bacheru přežvýkavců a kuchyňský bioodpad. Vysoký obsah uhlíku představují materiály rostlinného původu, proto se musí zvolit optimální poměr mezi uhlíkatými a dusíkatými materiály. Některé uvedené druhy produktů mají příznivou surovinovou skladbu a v podstatě mohou být samy o sobě rozloženy. V praxi se však doporučuje využít kejdy a hnoje jako stálého základního substrátu a ostatní materiál využívat jako kofermentáty. [10][13]

**Tab. 4 - Poměr obsahu uhlíku a dusíku v některých materiálech [10]**

Druh materiálu	C : N
Kůra	120 : 1
Piliny	500 : 1
Papír, karton	350 – 1 000 : 1
Odpad z kuchyně	12 – 20 : 1
Odpad ze zeleniny	13 : 1
Posečená tráva	12 – 25 : 1
Odpad ze zahrad	20 – 60 : 1
Listí	30 – 60 : 1
Dřevěné štěpky	100 – 150 : 1
Drůbeží trus	10 : 1
Močůvka	2 : 1
Kejda skotu	10 : 1
Sláma obilná	60 – 100 : 1

### 3.2.3 Obsah sušiny a vlhkost substrátu

Metanové bakterie mohou pracovat a množit se jen tehdy, když je substrát dostatečně zalit vodou, a to minimálně z 50 %. Organický materiál je tvořen podílem vody a sušiny. Sušina dále obsahuje organickou část, jejíž množství je pro anaerobní fermentaci klíčový. [10]

Obecné požadavky na organický materiál jsou:

- Co největší podíl biologicky rozložitelných látek v organickém materiálu
- Co nejmenší obsah popelovin (anorganický podíl)

Optimální obsah sušiny pro zpracování pevných odpadů je 20 – 25 % a v případě tekutých odpadů 8 – 14 %. Tekuté odpady s obsahem sušiny menším než 3 % se jeví nevhodně, z důvodu nedostatečného pokrytí spotřeby technologického tepla či elektrické energie potřebné pro chod bioplynové (BP) stanice. Pozitivní energetické bilance je zpravidla dosahováno od obsahu sušiny větším než 3 – 5 %. Maximální hranice obsahu sušiny, při kterém může ještě anaerobní fermentace probíhat je 50 %. Pro technickou praxi je také důležitý ukazatel čerpatelnosti materiálu.

**Tab. 5 - příklady organických odpadů a jejich parametrů [10]**

	Sušina [%]	Org.sušina [% ze sušiny]	C/N	Produkce bioplynu [ $\text{m}^3\text{CH}_4 \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{org.sušiny}}$ ]
Starý chleba	90	96 - 98	42	0,7 - 0,75
Bramborové slupky	12 - 15	90	13 - 19	0,55
Ovocná drť	45	93	50	0,4
Kuchyňské odpadky	9 - 18	90 - 95	15 - 20	0,5 - 0,6
tuk	35 - 70	96	-	0,7

Výtěžnost metanu z organického materiálu lze vypočítat podle předpokládaného úbytku organické sušiny zpracovávaného substrátu – předpokladem pro použití této metody je znalost produkce bioplynu z jednotkového množství sušiny zpracovávaného materiálu.

### 3.2.4 Teplota

Teplota, při které vzniká bioplyn, lze rozdělit do tří intervalů podle přirozeného výskytu kmenů mikroorganismů. Základní rozdělení intervalů teplot: [10]

- Psychrofilní kmeny                      teploty 15 - 20° C
- Mezofilní kmeny                         teploty 35 – 40° C
- Termofilní kmeny                        teploty do 55° C

Metanové bakterie pracují při teplotách od 0 do 70 °C. Bylo zjištěno, že se mohou vyskytovat kmeny, které žijí při teplotě až 90 °C. Při teplotách pod nulou bakterie přežívají, ale nevykazují činnost. Nejnižší teplota, při které jsou bakterie ještě schopny pracovat, je 3 až 4 °C. Rychlost procesu vyhnívání je na teplotě silně závislá. Čím vyšší je teplota, tím vyšší je produkce bioplynu a kratší doba vyhnívání, avšak s nižším podílem metanu. V termofilní oblasti jsou bakterie mnohem citlivější na výkyvy teploty než v oblasti psychrofilní a mezofilní. Především pokud jsou výkyvy krátkodobé a teplota se snižuje. Nejvyšší rozdíl teploty, který termofilní mikroorganismy snesou je 1 °C. Na novou úroveň teploty se adaptují přibližně 30

dnů. V mezofilní oblasti bakterie snesou kolísání teploty v rozmezí 2 – 3 °C. [10]  
[11]

Technologická spotřeba tepla je spotřebovaná část bioplynu pro ohřev materiálu v reaktoru a krytí tepelných ztrát. Technologická spotřeba tepla je nejvyšší u termofilních teplotních režimů. Dále závisí na výši teplotních ztrát (venkovní teplotě) a době zdržení materiálu v pracovním prostoru. Technologická spotřeba tepla při zpracování tekutých materiálů dosahuje 30 až 40 % z vyrobeného bioplynu. Při obsahu sušiny menším než 3 až 5 % technologická spotřeba tepla přesahuje množství vyrobeného tepla v bioplynu a musí být doplněna z externího zdroje. [10]

### 3.2.5 pH

Kyselost nebo zásaditost materiálu (číslo pH) je důležitým faktorem ovlivňující metanogenní fermentaci. Za optimální hodnotu pH na vstupu do procesu se považuje interval blízký neutrální hodnotě  $\text{pH} = 7$  až 7,8. V průběhu procesu se tento parametr mění. Na začátku převažuje aktivita acidogenů a pH může poklesnout na 4 až 6. Při hodnotách pH substrátu menší než 5 se mohou začít objevovat inhibiční účinky na některé kmeny metanogenů. Dojde-li však za příznivých podmínek k jejich následnému rozvoji, zvýší svojí aktivitou číslo pH substrátu až na neutrální hodnotu  $\text{pH} = 7$ . Některé kmeny metanogenů jsou schopny se rozvíjet i v silně alkalickém prostředí ( $\text{pH} 8$  až 9). Praxí se hodnota pH materiálu na vstupu do procesu upravuje homogenizací směsných materiálů nebo alkalickými přísadami. [10]

### 3.2.6 Ostatní technologické ukazatele

#### Plynový výkon

Množství plynu vznikající v BP stanici se udávaným denním objemem vyrobeného plynu připadajícím na 1 m<sup>3</sup> vyhnívací nádrže. [11]

## Výnos plynu

Celkové množství plynu získané během doby kontaktu substrátu. Výnos plynu je vztažen na kilogram organické sušiny materiálu. V technické praxi se výnos plynu pohybuje v rozmezí 0,17 až 0,64 m<sup>3</sup> plynu na kilogram organické sušiny. Průměrná hodnota činí 33 m<sup>3</sup> · kg<sub>os</sub><sup>-1</sup>. Na výnos plynu má, mimo skladby živin v substrátu, vliv především stupeň rozkladu. [11]

## Stupeň rozkladu

Stupeň rozkladu udává, kolik procent organické sušiny bylo rozloženo během doby kontaktu. Úplný rozklad až na úroveň mineralizace je teoreticky možný jen když substrát neobsahuje lignin, protože metanové bakterie ho nejsou schopny rozkládat. V praxi by úplný rozklad znamenal velmi dlouhou dobu kontaktu, protože rychlost rozkladu není konstantní, ale po počáteční fázi vzestupu produkce bioplynu klesá. Úplný rozklad organického podílu substrátu není v zájmu jak z ekonomického, tak z ekologického hlediska. Prvním důvodem je delší doba zdržení, resp. větší ekonomická náročnost procesu a druhý důvod je možnost použití zbylého digestátu jako hnojiva, proto musí v digestátu alespoň malý organický podíl zůstat. V nerozloženém organickém podílu substrátu zpravidla zůstávají pro anaerobní mikroorganismy nerozložitelný lignin a celulóza. V praxi se dosahuje stupně rozkladu od 30 do 70 %. Doporučený stupeň rozkladu je od 40 do 60 %. Při nižším stupni rozkladu se pozitivní vedlejší efekty bioplynové technologie, především snížení pachových projevů a žíravých účinků, projevují méně. [11]

## Doba zdržení substrátu

Doba kontaktu substrátu ve fermentoru má v souvislosti s teplotou vyhřívacího procesu velký vliv na stupeň rozkladu, plynový výkon, a výnos plynu. Krátké doby kontaktu přinášejí vysoký plynový výkon (na m<sup>3</sup> vyhřívací nádrže a den), protože dochází především k rozkladu snadno rozložitelných živin. Krátké doby kontaktu jsou však spojeny s nízkým výnosem plynu (produkce plynu na kg organické sušiny) a nízkým stupněm rozkladu.

Při dlouhých dobách kontaktu klesá plynový výkon, zatímco výnos plynu a stupeň rozkladu se zvyšují. Dobu kontaktu lze objasnit vydělením objemu nádrže denně dodávaným množstvím substrátu. Obecná průměrná doba kontaktu se pohybuje kolem 50 dnů. [11]

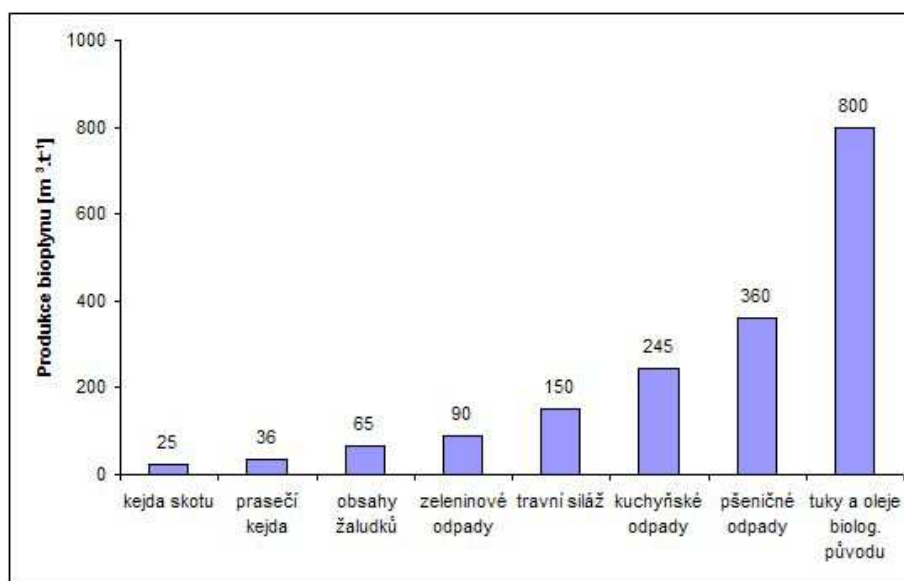
**Tab. 6 - Přibližné hodnoty doby kontaktu pro kejdu při rozdílných teplotách [11]**

Teplota procesu [°C]	Doba kontaktu [den]
20 – 25	60 – 80
30 – 35	30 – 35
45 – 55	15 – 25

### Čistý výnos bioplynu

Čistým výnosem bioplynu je označováno množství plynu, které zbylo po odečtení množství plynu pro podporu procesu od hodnoty hrubého výnosu bioplynu. U moderních BP stanic činí čistý výnos 65 – 70 %. [11]

**Obr. 3 - Měrná produkce bioplynu dle druhu organického materiálu [10]**



## 4 TECHNICKÁ A TECHNOLOGIE BIOPLYNOVÉ PRODUKCE

Samotné anaerobní fermentaci předchází přísun organického materiálu, jeho úprava a následná homogenizace. Po anaerobní fermentaci je získán bioplyn a digestát (vyhnilý kal), který lze dále využít – např. ve formě hnojiva. Pro jednotlivé úkony se technické prostředky a technologické postupy liší, a proto je důležité zvolit optimální variantu pro konkrétní podmínky (např. pro druhy zpracovávaných organických materiálů, způsob využití bioplynu a digestátu). [10][11]

### 4.1 Obecná struktura hlavních prvků strojní bioplynové linky

- 1) *Zdroj organických materiálů* – sběr a transport do příjmové nádrže musí s malými výkyvy odpovídat nominální výkonnosti strojní linky, před uskladněním v přijímací nádrži musí být evidován druh, charakter, a množství materiálu a odebrány vzorky pro případ reklamací dodávek.
  
- 2) *Příjem a úprava materiálu* – skladovací nádrže mohou být vybaveny zařízeními na separaci hrubých příměsí, na ředění vodou, na zahušťování řídkého materiálu, inokulace mikroflóry, přehřev materiálu, homogenizace a automatické dávkování do fermentoru.
  
- 3) *Anaerobní reaktor na tekutý materiál* – reaktor je nejdůležitější součástí strojních linek a rozhoduje o kvalitativní funkci celé linky. Používají se tato provedení reaktorů:
  - *Laguna* - nejjednodušší zařízení a způsob zpracování, malá intenzita výroby CH<sub>4</sub>, psychrofilní pásmo (do 20 °C).
  - *Rekatory pravoúhlé hranolovité* – jsou konstruovány v podobě žlabu nebo zakryté jímky hranolovitého tvaru.
  - *Reaktory válcové* – pro malé objemy do 150 m<sup>3</sup> a výjimečně až do 600 m<sup>3</sup>, se používají válcové reaktory s horizontální osou válce. Pro větší objemy se z pevnostních důvodů používají reaktory válcové se svislou

osou. Využívají se též modifikované verze válcových reaktorů se zakončením komolého kužele.

- *Reaktory kulové nebo polokulové* – polokulový tvar se často vyskytuje u primitivních reaktorů realizovaných jako podzemní stavba.

4) *Bioplynová koncovka* se skládá z potrubí na dopravu bioplynu, bezpečnostního systému proti zpětnému zahoření plamene, dymchadlo, plynojem, regulační a kontrolní prvky, zařízení na úpravu bioplynu, zařízení na konečné využití bioplynu a hořák zbytkového plynu.

5) *Kalová koncovka* sestává z armatur, dopravních čerpadel, homogenizátorů, skladů, separačních zařízení a lisu. [10]

## Rozdělení podle podílu vlhkosti zpracovávaného substrátu

- Suchá fermentace
- Mokrý fermentace

Suchá fermentace je vhodná pro tuhé materiály s vysokým podílem sušiny 18 – 30 %, výjimečně 50 %.

Mokrý fermentace je určena pro materiály s nízkým podílem sušiny 0,5 – 14 %. (0,5 – 3 % podílu sušiny v praxi však vykazuje negativní energetickou bilanci).

## Podle způsobu dávkování

- Diskontinuální (dávkový)
- Kontinuální (průtokový)
- Semikontinuální (kombinovaný)

*Kontinuální* technologie je využita ve fermentorech, do kterých je přiváděn tekutý organický odpad s nízkým podílem sušiny. Tento způsob se vyznačuje stále naplněnou vyhnívací nádrží a příležitostným vyprazdňováním za účelem oprav nebo odstranění usazenin. Většina bioplynových stanic tento způsob využívá. Z malé přípravné nádrže je čerstvý substrát, většinou jednou až dvakrát denně, dodáván do



vyhňivací nádrže, přičemž zároveň a automaticky odchází odpovídající množství vyhnilého substrátu (digestátu) přepadem do skladovací nádrže. Výhodou této metody je rovnoměrná výroba plynu, dobré vytížení vyhňivacího prostoru, a tím také cenově příznivá, kompaktní konstrukce s nízkými tepelnými ztrátami. Kromě toho lze proces plnění automatizovat například plovákovým spínačem na plnicím čerpadle. Nevýhodou oproti dávkovému systému a systému se střídáním nádrží je především skutečnost že může dojít k znehodnocení hygienizačního efektu smícháním čerstvého substrátu s vyhnilým substrátem (v závislosti na míchací technice). [10] [11]

*Diskontinuální* způsob (dávkový způsob) se vyznačuje stejnou dobou pracovního cyklu jako je doba zdržení materiálu ve fermentoru. Používá se zvláště při suché fermentaci tuhých organických materiálů. Produkce plynu po naplnění pomalu roste, dosahuje maxima a následně klesá. Po skončení doby kontaktu se vyhňivací nádrž vyprázdní. Ponechá se pouze menší množství kalu (zhruba 5 – 10 %) pro naočkování nového substrátu bakteriemi a tím „nastartováním“ následujícího cyklu. Aby bylo možné dávkový fermentor jednorázově naplnit i vyprázdnit, je zapotřebí mít k dispozici také přípravnou a skladovací nádrž o stejné m objemu jako má fermentor.

*Semikontinuální* způsob se vyznačuje dobou mezi jednotlivými dávkami, která je kratší než doba zdržení materiálu ve fermentoru. Jde o kombinaci obou předešlých způsobů (průtokovo-zásobníková metoda). Jedná se o nejpokročilejší metodu v bioplynové technologii.

V praxi bývá vyhnilý kal ve skladovacích nádržích uskladněn po dobu přibližně 7 měsíců. V těchto nádržích dochází ještě k samovolné produkci bioplynu, bez vyhřívání a míchání nádrže, která tvoří 20 až 40 % celkového výnosu bioplynu. [10][11]

## 4.2 Anaerobní fermentor

Nejdůležitějším zařízením pro výrobu bioplynu je anaerobní fermentor (vyhňivací nádrž). Je to zařízení, které reguluje a udržuje vhodné podmínky pro život mikroorganismů, a tím pro vznik bioplynu.

### Základní konstrukční typy anaerobního fermentoru

- Horizontální (ležící)
- Vertikální (stojící)

Délka *horizontální* nádrže je několikanásobně delší než její výška. Její výhodou je účinné promíchávání napříč směrem průtoku, aniž by docházelo k přílišnému promíchávání v podélném směru. Dochází k tzv. píستovému proudění, čerstvá dávka substrátu je posouvána rourou podobně jako píst a nedojde tedy k okamžitému smíchání s vyhnilým materiálem na druhém konci nádrže to má příznivý vliv na hygienizační efekt. Nevýhodou je zábor velikého prostoru pro umístění nádrže, nadměrná velikost povrchu nádrže v poměru k jejímu objemu, čímž vznikají tendence k vysokým tepelným ztrátám. Horizontální nádrže jsou většinou konstruovány v podobě cylindrické ocelové nádrže, které jsou umístěny nad zemí. Pokud jsou zhotoveny z betonu, v úvahu připadají průřezy čtvercového nebo pravoúhlého tvaru.

*Vertikální* konstrukční typ nádrže bývá zhotoven z oceli nebo železobetonu a má kruhový průřez. Výhodou je lepší poměr mezi povrchem a objemem nádrže, což snižuje materiálové náklady a tepelné ztráty. Nevýhodou je nemožnost píستového proudění.

Mezi další prvky tvořící konstrukci anaerobního fermentoru patří plášť fermentoru, tepelná izolace, kontrolní okénko, nátěry, ochrana proti povětrnostním vlivům.

Výhodou nadzemního umístění anaerobního fermentoru je investice do levnější tepelné izolace. Nevýhodou jsou velké tepelné ztráty v zimním období a vystavení povětrnostním vlivům. Nadzemní či zpola zapuštěné umístění fermentoru je voleno také při vysoké hladině spodní vody.

Zařízení se stropem zcela uložená pod zemí mají výhodu, že nezabírají žádné místo na povrchu. Okolní zemí jsou také chráněna před změnami venkovních teplot. Tato skutečnost se v zimě projeví na relativně nízkých nákladech na spotřebu technologického tepla. Izolace však bývá investičně nákladnější z důvodu nutnosti dobré odolnosti proti vlhkosti. [10][11]

## *Regulace podmínek vnitřního prostředí*

Mezi tyto základní fyzikálně-chemické podmínky patří: teplota, vlhkost, hodnota pH, skladba substrátu. Protože se jedná o anaerobní děj, základním požadavkem na vyhřívací nádrž je její vzduchotěsnost.

### **4.2.1 Vytápění a tepelné izolace**

V oblasti vytápění fermentoru jsou využívány různé technologie, lišící se topným médiem, otopným tělesem a umístěním otopného systému. Systém vnitřního otopu s duplikátorovými stěnami anebo se složenými topnými hady se málo používá kvůli obtížnému čištění a pro nižší hodnoty koeficientů přestupu tepla u duplikátorových soustav. Přímotopná pára je další méně využívaná možnost vytápění. Nejpoužívanějším způsobem otopu je externí výměník, který lze snáze oddělit v případě opravy či sanitace. [11]

#### Tepelné izolace

Tepelná izolace má výrazný vliv na tepelné ztráty fermentoru (popř. teplovodního potrubí a zásobníků tepla v BPS), a tím i na energetickou náročnost provozu. Pro provoz BPS v zeměpisné šířce polohy České republiky je zvláště vhodné věnovat izolaci pozornost. [11]

### **4.2.2 Míchání**

Substrát se ve fermentoru zpravidla několikrát denně promíchává, aby se dosáhlo následujících efektů:

- Smíchání čerstvého substrátu s již vyhnívajícím substrátem, aby se čerstvý substrát naočkoval aktivními bakteriemi.
- Homogenizace teplotního pole, aby se ve fermentoru udržovala co nejrovnoměrnější úroveň
- Zlepšení látkové výměny bakterií vypuzením bublin bioplynu a přívodem čerstvých živin.

I když míchací zařízení nepracuje, dochází ve vyhnívací nádrži k určitému promíchávání působením termického proudění a stoupajících plynových bublin. Pasivní promíchávání je však dostačující jen u velmi řídkých, homogenních kapalných substrátů, kterými jsou např. odpadní vody.[11]

Způsoby míchání je možno rozdělit:

- mechanické
- hydraulické
- pneumatické

Mechanický způsob je zrealizován pomocí pomaloběžných míchaček nebo rychlých kompaktních vrtulí (resp. mixérů). Mechanická lopatková míchadla se užívají v horizontálních cisternových fermentorech. Jejich hlavní předností je, že jsou v kontaktu s celým vyhnívacím prostorem.

### **4.2.3 Využití malých anaerobních fermentorů**

Velké množství malých anaerobních fermentorů, o objemu 1 – 4 m<sup>3</sup>, se vyskytuje v rozvojových zemích. Tyto fermentory, resp. malé bioplynové stanice, jsou málo výkonné, avšak pro základní potřebu vaření (popř. svícení) postačují. Čím více je v oblasti vyšší průměrná roční teplota, tím více jsou tato zařízení účinná. Nejrozšířenějšími typy fermentorů jsou: [11]

- s pevnou kopulí (tzv. čínský typ)
- s plovoucím zvonem (tzv. Indický typ, či Gobargas)
- s plastovým poklopem (typ Ferke)
- dávkového typu (typ Isman – Ducellier)

## 5 VÝCHOZÍ PODMÍNKY NÁVRHU LINKY

V této kapitole jsou nastíněny výchozí podmínky návrhu linky.

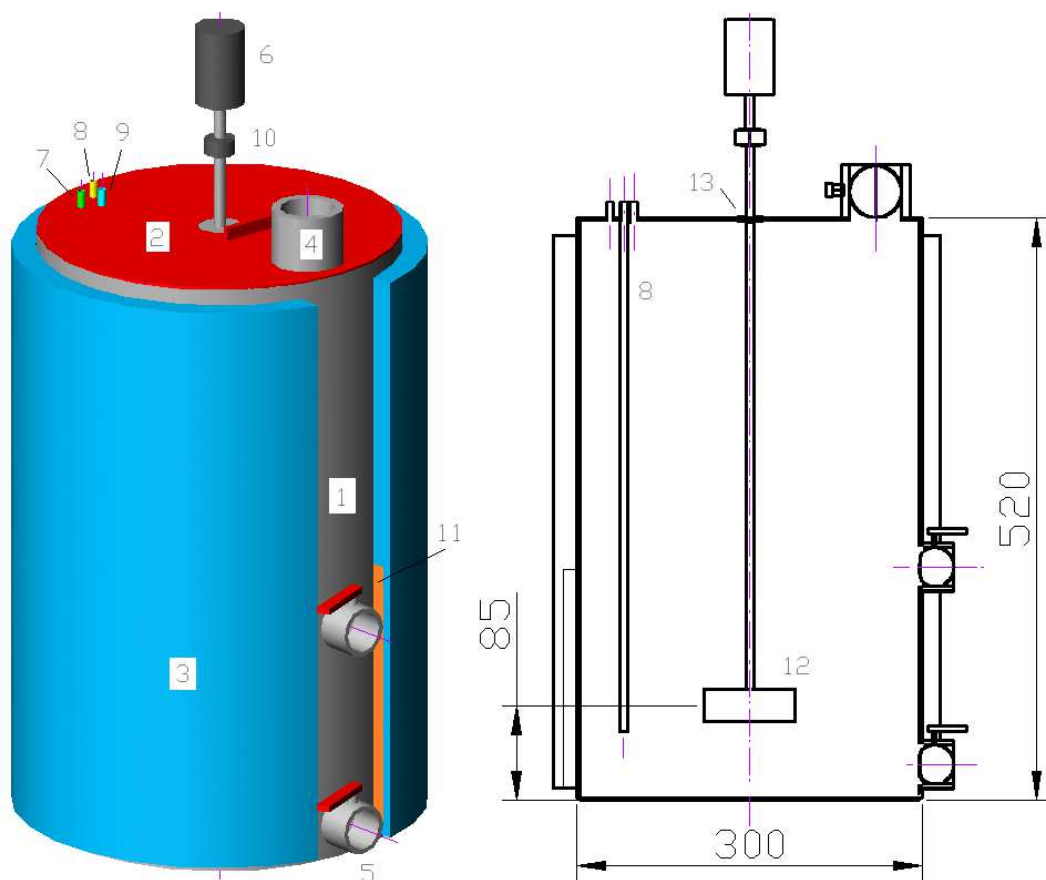
Hlavní výchozí podmínkou pro návrh je objem malého anaerobního fermentoru. Dalším důležitým faktorem je množství a charakteristika zpracovávaného bioodpadu z konkrétní domácnosti.

### 5.1 Anaerobní fermentor

Fermentor byl zhotoven za laboratorními účely katedrou agroenvironmentální chemie a výživy rostlin fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity v Praze a je zároveň jeho výhradním vlastníkem se všemi právy s touto skutečností spojenými.

Fermentor tvoří válec z akrylátového skla o průměru 0,3 m a výšce 0,52 m. Válec je vzduchotěsně uzavřen plastovým víkem, které svírá ocelový rám konstrukce. Ve stěně válce, o tloušťce půl centimetru, jsou otvory pro vstup a výstup materiálu. Otvory jsou využity k umístění armatur (kulových kohoutů - DN 25, 1“). Hlavní vstup pro materiál se však nachází na víku nádoby - skrz armaturu kulového kohoutu (DN 50, 2“). Pomocí dalších otvorů ve víku je odváděn vyvinutý bioplyn, měřena teplota substrátu, míchán substrát a případně detekován a vyrovnáván přetlak (resp. podtlak). Fermentor je zateplen polyuretanovou tepelnou izolací o tloušťce 2 cm a je vyhříván elektrickou topnou podložkou, která je ovinuta okolo spodní části stěny válce. Pro větší stabilitu je válec uložen do ocelové konstrukce. Vnitřní a vnější uspořádání fermentoru lze vidět na Obr. 4.

**Obr. 4 – Vnitřní a vnější uspořádání fermentoru**



*1 – válcová nádoba, 2 – víko, 3 – tepelná izolace, 4 – hlavní vstup pro substrát, 5 – odvod digestátu, 6 – elektromotor, 7 – výstup bioplynu, 8 – vstup pro teplotní sondu, 9 – výstup pro přetlakový ventil, 10 – spojka, 11 – topná podložka, 12 – hřídel, míchací lopatky, 13 – uložení hřídele*

## 5.1.1 Vytápění a regulace teploty

Nádrž je vyhřívána topnou pryžovou podložkou o rozměrech 0,75 a 0,25 m (plocha 0,18 m<sup>2</sup>) a výkonu 180 W, což představuje měrný výkon přibližně 1,1 kW na m<sup>2</sup>. Rohoží je pokryto téměř 37 % pláště fermentoru.

Teplota substrátu je měřena vodotěsnou sondou a zobrazena číslicovým regulátorem teploty (pro akvária a terária) ATC-300A. V závislosti na výši požadované teploty regulátor spíná či vypíná elektrický přívod do topného tělesa a udržuje tak téměř stálou teplotu. Jistou odchylku 1° C od stálé teploty způsobuje hystereze (rozdíl mezi

požadovanou a skutečnou teplotou). Zařízení je vybaveno nastavitelným alarmem, upozorňujícím na odchylku požadované teploty, na poruchu sondy nebo překročení měřitelné teploty.

**Obr. 5 - Číslicový regulátor ATC-300A [14]**



**Tab. 7 - číslicový regulátor ATC-300A [14]**

Technické parametry regulátoru	
Rozsah měření	0 až +50° C
Jednotky časování	hodiny
Přesnost	± 1° C
Rozlišení	0,1 ° C
Hystereze	1° C
Maximální povolené zatížení výstupů	1 200 W/ 230 V
Příkon regulátoru	Max 1,5 W

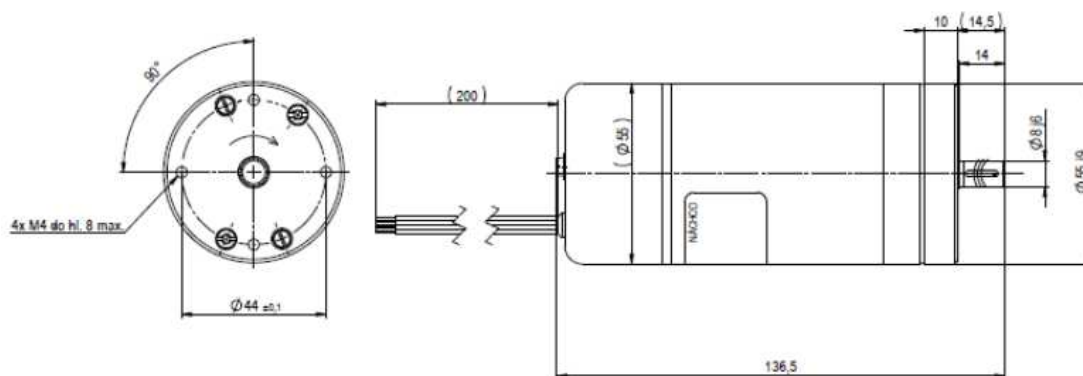
## 5.1.2 Míchací pohonná jednotka

Míchání zajišťuje stejnosměrný komutátorový převodový elektromotor (ATAS), který je pomocí spojky připojen na míchací hřídel. Nízké otáčky 45 min<sup>-1</sup> zajišťuje

převod umístěný ve skříni elektromotoru. Motor je přišroubován k ocelovému rámu nad víko fermentoru a je pomocí adaptéru připojen do rozbočovače napájecí sítě, který je spínán časovačem.

Regulaci míchání ovládá časovač, jenž je součástí číslicového regulátoru ATC-300A. Intervaly míchání jsou nastavitelné v hodinách. Nastavit lze interval pauzy a interval činnosti motoru. Tyto intervaly se, pokud je interval pauzy nastaven, střídavě opakují.

**Obr. 6 - Převodový komutátorový elektromotor [15]**



**Tab. 8 - Technické údaje míchací pohonné jednotky [15]**

Typ	Točivý moment [Nm]	Napětí [V]	Proud [A]	Otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Převodový poměr	Hmotnost [Kg]
ATAS K7A3	0,64	24	0,5	45	1:98	0,6

Míchací hřídel je zhotoven z kulatiny z nerezové oceli a jeho uložení je zrealizováno pomocí axiálního ložiska. Průměr hřídele je 10 mm a poloha jeho osy je totožná s osou fermentoru.

### 5.1.2.1 Pojistný přetlakový ventil

Pojistný přetlakový ventil zajišťuje v případě náhlého přetlaku ve fermentoru jeho snížení odvodem vyvinutého bioplynu do volného prostoru. Tato velice nežádoucí skutečnost může nastat v situaci, kdy je přetlak v okolním systému rozvodu bioplynu vyšší než ve fermentoru. Jinými slovy při neprůchodnosti výstupu určeného pro

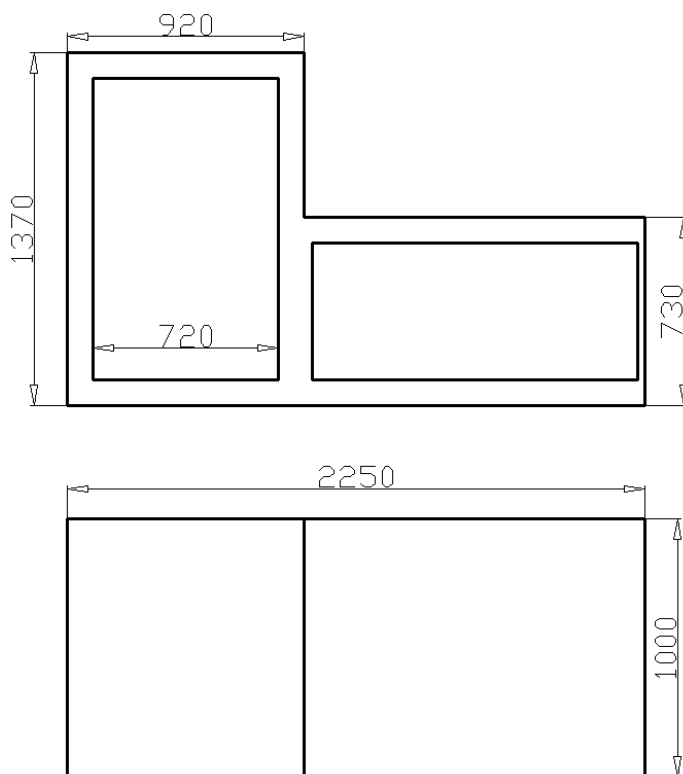


odvod bioplynu z fermentoru. Příčinou neprůchodnosti může být úplné zaplnění vaku bioplynem, kdy zároveň nedochází ke spotřebě bioplynu, dále vzniklé usazeniny v odvodu bioplynu případně při uzavření kulového kohoutu v odvodu bioplynu.

Pojistný tlakový ventil je zrealizován pomocí zafixované PVC hadičky, ve které se nachází malé množství vody. Pomocí výše hladiny vodního (resp. rozdílu hladin) sloupce jsou detekovány změny momentálního přetlaku ve fermentoru. Voda se nachází v místě ohybu hadičky (principem je rozdíl výší vodních hladin v U trubici). Druhý konec hadičky je vyveden do vyšší polohy než výše hladiny substrátu ve fermentoru. Výši vodního sloupce a odpovídající přetlak lze zkalibrovat pomocí měřidel. Údaje o tlaku budou mít však vždy jen signifikantní, avšak pro chod zařízení podstatný, význam.

## 5.2 Box pro umístění linky

Box je zhotoven z OSB desek a je zateplen přírodní tepelnou izolací, která se nachází mezi stěnami desek.



## 5.3 Produkce organického odpadu z domácnosti

Organický materiál na vstupu pochází z konkrétní domácnosti. Domácnost obývá čtyřčlenná rodina žijící v rodinném domku s malou zahradou (přibližně 60 m<sup>2</sup> travnaté plochy). Směs bioodpadu z domácnosti, která je zvolena pro anaerobní fermentaci, tvoří zeleninový bioodpad z kuchyně, a bioodpad ze zahrady - čerstvá a suchá tráva a spadané suché listí.

*Zeleninový bioodpad* je složen z větší části slupkami od brambor (65 %), dále odřezků od mrkve (20 %) a zbytky celeru, cibule, řepy a dalších plodin (30 %).

Produkce zeleninového odpadu byla měřena po dobu 3 měsíců (červenec, srpen, září 2012). Průměrná hodnota měsíční produkce činí 14,5 kg.

### *Zahradní bioodpad*

Byla zjištěna průměrná sezónní produkce travní seče. Toho bylo docíleno zvážením zaplněné nádoby o známé hmotnosti a objemu. Spadané listí bylo zváženo stejným způsobem.

Pro přehlednost byl rok rozdělen na období sezóny (květen – říjen) a „zimní období“ (listopad – duben). Období sezóny je charakteristické produkcí čerstvé travní seče.

**Tab. 9 - Průměrná produkce bioodpadu za jednotlivá období**

Bioodpad	Sezóna [kg]	Zimní období [kg]
Čerstvá tráva	122	-
Suchá tráva	-	24
Spadané listí	-	18
Zeleninový bioodpad	87	87

V práci je uvažováno se slamnatým kravským hnojem (pro zaočkování směsi) v množství 1/2 kg na celkovou měsíční dávku směsi.

## 5.4 LABORATORNÍ POKUSY S MODELOVÝM MATERIÁLEM

### 5.4.1 Metodika práce

Obsah sušiny, její organické části a plynová výtěžnost z organického materiálu byly pomocí vzorků laboratorně zjištěny ve Výzkumném ústavu zemědělské techniky (VÚZT). Součástí laboratorního měření bylo zjištění podílu  $\text{CH}_4$  a  $\text{CO}_2$  ve vyvinutém bioplynu.

#### 5.4.1.1 *Obsah sušiny, její organické části a výtěžnost bioplynu*

*Obsah sušiny* byl ve všech čtyřech vzorcích zjištěn na základě laboratorního měření ve Výzkumném ústavu zemědělské techniky (VÚZT) v Praze-Ruzyni. Toho bylo docíleno pomocí vysušení vzorků v sušárně. Vzorky byly zváženy a ponechány v sušárně na dobu 24 hodin při teplotě  $105\text{ }^\circ\text{C}$  (po zhruba hodinovém přehřátí na  $65\text{ }^\circ\text{C}$ ). Vzorky byly v průběhu procesu váženy a v sušárně byly ponechány až do konstantního obsahu sušiny (resp. konstantní hmotnosti vzorku). Poté byl z rozdílu vah nevysušeného a vysušeného vzorku zjištěn podíl vody ve vzorcích – resp. obsah sušiny. Od každého druhu materiálu bylo použito třech vzorků. Následně byla vypočítána průměrná hodnota obsahu sušiny. Postupováno bylo dle normy ČSN EN 14346 „Charakterizace odpadů: Výpočet sušiny stanovením podílu sušiny nebo obsahu vody“. [16]

Použité přístroje:

- laboratorní váhy Kern - KB (0,01g)
- sušárna - Chirana - HS-122A

*Organický podíl v sušině* se zjistil pomocí ztráty žíháním, kdy byly nadávkované vzorky nejdříve zváženy a poté ponechány v žáruvzdorných nádobkách v peci po dobu 5 hodin. Teplota se postupně zvyšovala (z  $250\text{ }^\circ\text{C}$  přes  $350\text{ }^\circ\text{C}$ ) až na konečnou teplotu  $550\text{ }^\circ\text{C}$ . Z následného rozdílu hodnot vah byl zjištěn organický podíl v sušině. Postup měření byl dán normou ČSN EN 15169. „Charakterizace odpadů: Stanovení ztráty žíháním“. [17]

Použité přístroje:

- analytické váhy Kern - ALJ - 220-4NM
- pec - Elsklo - MF 5

### **5.4.1.2 Praktická příprava materiálu**

Užitný objem fermentoru byl stanoven na 30 litrů (6/7 celkového objemu fermentoru). Z toho minimálně polovinu musí tvořit voda, k zajištění dobré míchatelnosti. Pro tekutou fermentaci je optimální podíl sušiny v substrátu 6 - 9 %.

Objemová hmotnost organického materiálu byla zjištěna pomocí nádoby o známém objemu (1 litr) a kuchyňské váhy Soehnle s přesností  $\pm 2\text{g}$ . Následně byl materiál dezintegrován pomocí kuchyňského mixéru (Homefriend) na jemnou zrnitost. Aby se docílilo požadovaného efektu dezintegrace, muselo být do mixéru k materiálu přidáno kolem 0,25 litru vody na 1 litr bioodpadu. Dezintegrací materiálu bylo docíleno podstatného zvýšení využitelnosti objemu nádoby (resp. fermentoru) oproti surovému stavu.

### **5.4.1.3 Stanovení výtěžnosti bioplynu**

Účelem bylo zjistit měrnou produkci bioplynu z organické sušiny jednotlivých vzorků. Vzorky byly nadávkovány do malých laboratorních fermentorů o jednolitrovém objemu. Sada těchto fermentorů je vyhřívána vodní lázní na teplotu mezofilní oblasti ( $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Každý fermentor má vývod bioplynu do svého laboratorního plynojemu o objemu 3 litry, který slouží pro odečet produkce bioplynu. Zařízení slouží k hrubému odhadu produkce z daného organického materiálu.

Vyvinutý bioplyn byl podroben analýze analyzátozem AIR LF, kterým je možné měřit koncentraci  $\text{CO}_2$  a  $\text{CH}_4$ .

Použité přístroje:

- Analyzátor skládkového plynu a bioplynu AIR LF
- Laboratorní fermentorky

**Tab. 10 - Shrnutí laboratorních výsledků**

Substráty / produkce	sušina	organická část sušiny	prod. BP z 1 kg org. sušiny	Podíl metanu v BP
	[%]	[%]	[m <sup>3</sup> .kg <sub>org.suš.</sub> <sup>-1</sup> ]	[%]
Zeleninový odpad	12,92	92,30	0,6	66
Tráva čerstvá - zavadlá	29,35	89,55	0,5	55
Seno	85,58	77,92	0,46	55
Listí	84,61	89,81	0,395	52
Kravský hnůj	25,20	72,30	0,3	60

### *Zeleninový bioodpad*

Obsah sušiny v zeleninovém bioodpadu je 12,92 %, a z toho tvoří organickou část 92,3 %. Měrná produkce bioplynu z organické sušiny zeleninového odpadu je 0,6 m<sup>3</sup> . kg<sup>-1</sup><sub>os.</sub>. Přibližná hodnota poměr C : N je 19 : 1. [9][10]

### *Čerstvá tráva*

Obsah sušiny v travní seči (v mírně zavadlém stavu) je 29,39 %, a z toho tvoří organickou část 89,55 %. Měrná produkce bioplynu z organické sušiny zeleninového odpadu je 0,5 m<sup>3</sup> . kg<sup>-1</sup><sub>os.</sub>. Přibližná hodnota poměr C : N je 35 : 1. [9][10]

### *Suchá tráva*

Obsah sušiny v suché trávě je 85,58 %, a z toho tvoří organickou část 77,92 %. Měrná produkce bioplynu z organické sušiny zeleninového odpadu je 0,46 m<sup>3</sup> . kg<sup>-1</sup><sub>os.</sub>. Přibližná hodnota poměr C : N je 80 : 1. [9][10]

### *Spadané listí*

Obsah sušiny ve spadaném listí (suché listí) je 84,61 %, a z toho tvoří organickou část 89,81 %. Měrná produkce bioplynu z organické sušiny zeleninového odpadu je 0,395 m<sup>3</sup> . kg<sup>-1</sup><sub>os.</sub>. Přibližná hodnota poměr C : N je 48 : 1. [9]

## *Kravský hnůj*

Obsah sušiny v kravském hnoji (slamnatý) je 25,2 %, a z toho tvoří organickou část 72,3 %. Měrná produkce bioplynu z organické sušiny zeleninového odpadu je  $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{os}}$ . Přibližná hodnota poměru C : N je 19 : 1. [9]

## 5.5 Hmotnostní a surovinová skladba dávky směsi

Na základě dostupnosti organického materiálu, obsahu sušiny a poměrů C : N byla určena skladba jedné dávky pro letní a pro zimní období zvlášť. Aby byla splněna podmínka celkového obsahu sušiny a zaručení dobré míchatelnosti byla pro organický materiál vyhrazena 1/2 pracovního objemu fermentoru, druhá polovina objemu byla zalita vodou.

Hlavní složkou tvořící obě směsi byl určen zeleninový bioodpad, zejména pro jeho celoroční přísun a nejvyšší výtěžnost bioplynu (resp. nejlepší rozložitelnost). Ostatní složky jsou zastoupeny v malém množství, jejichž podstata je především v optimalizaci surovinové skladby, popř. mají očkovací význam. Doba zdržení jedné dávky je 30 dní.

**Tab. 11 – Skladba jedné vsádky v sezóně (květen - říjen)**

	Hmotnost materiálu	Sušina materiálu	Hmotnost sušiny	Voda	Hmotnostní poměr substrátu	Navážka vkládaného materiálu na 1 kg směsi	poměr sušiny
	[kg]	[%]	[kg]	[kg]	[%]	[kg]	[%]
Zelenina	10,133	12,92	1,30918		38,9	0,38857	83,6
Čerstvá tráva	0,445	29,35	0,13061		1,7	0,01706	8,4
Kravský hnůj	0,5	25,2	0,126		1,9	0,01917	8
Voda	15	0	0		57,5	0,5752	0
<b>Směs</b>	<b>26,078</b>	<b>6</b>	<b>1,566</b>	<b>24,512</b>	<b>100</b>	<b>1</b>	<b>100</b>

**Tab. 12 – Skladba jedné vsádky v zimním období (listopad - duben)**

	Hmotnost materiálu	Sušina materiálu	Hmotnost sušiny	Voda	Hmotnostní poměr substrátu	Navážka vkládaného materiálu na 1 kg směsi	poměr sušiny
	[kg]	[%]	[kg]	[kg]	[%]	[kg]	[%]
Zelenina	10,133	12,92	1,30918		38,4	0,38448	63,8
Suchá tráva	0,522	85,58	0,44673		2	0,01981	21,8
Listí	0,2	84,61	0,16922		0,8	0,00759	8,3
Kravský hnůj	0,5	25,2	0,126		1,9	0,01897	6,1
Voda	15	0	0		56,5	0,56915	0
<b>Směs</b>	<b>26,355</b>	<b>7,78</b>	<b>2,051</b>	<b>24,304</b>	<b>100</b>	<b>1</b>	<b>100</b>

Vstupními údaji pro výpočet jsou hmotnosti jednotlivých druhů organických odpadů po přípravě a zjištěný podíl sušiny. Součástí směsi je přidaná voda (1/2 objemu užitého objemu fermentoru).

Hmotnost sušiny  $m_s$ :

$$m_s = m_M \cdot \frac{s}{100} \quad [\text{kg}] \quad /1/$$

$m_M$  - hmotnost materiálu [kg]

$s$  - obsah sušiny v materiálu [%]

Hmotnostní poměr materiálu ve směsi  $p_{m_M}$ :

$$p_{m_M} = \frac{m_M \cdot 100}{m_c} \quad [\%] \quad /2/$$

$m_c$  - hmotnost celkové směsi (bez přidané vody) [kg]

# TECHNICKÁ FAKULTA

Navážka vkládaného materiálu na 1 kg směsi  $m_{1kg}$ :

$$m_{1kg} = \frac{p_{mM}}{100} \quad [\text{kg}] \quad /3/$$

Poměr sušiny v jedné dávce (resp. navážce)  $p_s$ :

$$p_s = \frac{m_s}{m_{sc}} \quad [\%] \quad /4/$$

$m_{sc}$  - hmotnost celkové sušiny [kg]

Průměrná denní dávka směsi substrátu se odvíjí od jedné dávky na 30 dní.

**Tab. 13 - Průměrná denní dávka směsi substrátu**

	Denní dávka směsi	Denní dávka sušiny
	[kg · den <sup>-1</sup> ]	[kg · den <sup>-1</sup> ]
Sezóna	0,8693	0,0522
Zimní období	0,8785	0,0683

**Tab. 14 – Surovinová skladba směsi**

	Sezóna [kg]	Zimní období [kg]	C : N [1][2]
Zbytky zeleniny	10,133	10,133	19 : 1
Čestvá tráva	0,445	0	35 : 1
Suchá tráva	0	0,522	80 : 1
Spadané listí	0	0,2	48 : 1
Kravský hnůj	0,5	0,5	14 : 1
Celkem	11,078	11,355	
<b>C : N Celkem</b>	<b>22 : 1</b>	<b>26 : 1</b>	

*Poznámka: Poměr C:N sezónní směsi lze zkorigovat např. přidávkem suché trávy.*



Výpočet surovinové skladby Váženým průměrem byl zjištěn celkový poměr C : N směsi v sezóně i zimním období.

$$CN = \frac{\sum_{i=1}^n CN_i \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad /5/$$

Příklad výpočtu poměru C : N pro sezónní směs

$$CN_{sezona} = \frac{m_{zel} \cdot CN_{zel} + m_{tra} \cdot CN_{tra} + m_{hnu} \cdot CN_{hnu}}{m_{zel} + m_{tra} + m_{hnu}}$$

$m_{zel}$	-	hmotnost zeleninového odpadu ve směsi	[kg]
$CN_{zel}$	-	podíl C:N zeleninového bioodpadu	[-]
$m_{tra}$	-	hmotnost čerstvé trávy ve směsi	[kg]
$CN_{tra}$	-	poměr C : N v čerstvé trávě	[-]
$m_{hnu}$	-	hmotnost kravského hnoje ve směsi	[kg]
$CN_{hnu}$	-	podíl C : N kravského hnoje	[-]

Stejným způsobem byl vypočítán poměr C : N v zimním období.

## 5.6 Produkce bioplynu ze směsi substrátu

Vstupními údaji pro výpočet celkové produkce bioplynu ze směsi substrátu jsou – hmotnost sušiny ve složce směsi, podíl organické sušiny z této sušiny a měrná výtěžnost bioplynu z organické sušiny (údaje z tab. 10).

Výpočet množství bioplynu ze složky směsi  $BP_{směs}$  : [m<sup>3</sup>]

$$BP_{směs} = \sum_{i=1}^n m_{s_i} \cdot os_i \cdot bp_i \quad /6/$$

$m_{s_i}$	-	hmotnost sušiny	[kg]
$os_i$	-	podíl organické sušiny	[-]
$bp_i$	-	výtěžnost bioplynu z org.suš.	[m <sup>3</sup> . kg <sub>os</sub> ]

Výpočet celkového podílu metanu v bioplynu  $CH_{4_{směs}}$ :

$$CH_{4_{směs}} = \sum_{i=1}^n m_{s_i} \cdot os_i \cdot bp_i \cdot CH_{4_i} \quad /7/$$

$CH_{4_i}$  - měrná produkce metanu z organické sušiny [ $m^3$ ]

**Tab. 15 - Produkce bioplynu z jedné vsádky**

	Bioplyn [ $m^3$ ]	Podíl metanu [%]	Metan [ $m^3$ ]
Sezónní vsádka	0,811	64,6	0,524
Zimní vsádka	0,973	62,08	0,604
Celková roční produkce	10,704		1,128

## 5.7 Materiálová bilance

Protože výsledná produkce zahradního odpadu (tráva a listí) výrazně převyšuje možnosti využití fermentorem, je počítáno s uskladněním části suché trávy pro využití mimo sezónu za účelem optimalizace surovinové skladby (C:N) a pokrytí případných materiálových potřeb. Zbývá část zahradního, případně zeleninového bioodpadu bude využita v komunitním kompostéru.

**Obr. 7 - Roční využití organického odpadu z domácnosti**

Bioodpad	Sezóna [kg]		Zimní období [kg]	
	produkce	využito	produkce	využito
Čerstvá tráva	122	2,67	-	-
Suchá tráva	-	-	24	3,13
Spadané listí	-	-	18	1,2
Zeleninový bioodpad	87	60,8	87	60,8

Ze souhrnu využití organického materiálu vyplývá, že produkce zcela převyšuje využití. Nejvíce využit je zeleninový odpad - ze 70%, suchá tráva ze 13 %, suché listí 7 %, čerstvá tráva pouze 2 %.

Úbytek materiálu při anaerobní fermentaci závisí na složení substrátu. V organické sušině rostlinné biomasy se nacházejí pro anaerobní mikroorganismy nerozložitelné části (např. lignin). K úplnému rozkladu organické sušiny tak prakticky nedochází. [13]

Teoretický úbytek materiálu byl stanoven na základě průměrného stupně rozkladu udaného literaturou na 43,5 % z organické sušiny. [11]

$$OS_{\text{úbytek}_{\text{směs}}} = \sum_{i=1}^n m_{s_i} \cdot os_i \cdot 0,435 \quad /8/$$

**Tab. 16 - Celkový teoretický úbytek organické sušiny**

Produkce	Sezónní směs	Zimní směs
Úbytek na dávku [kg]	0,616	0,783
Celkový roční úbytek [kg]	8,394	

## 6 NÁVRH TECHNOLOGICKÉ LINKY S MALÝM ANAEROBNÍM FERMENTOREM

V této kapitole je proveden samotný návrh, který vychází především z pracovního objemu fermentoru a plynové výtěžnosti.

Celá linka se skládá z anaerobního fermentoru, vaku na bioplyn, funkčních a regulačních prvků (rozvodů, armatur a ventilů), přípravné a skladovací nádrže. Zařízení bude situováno do zatepleného dřevěného boxu.

Pro vyšší stupeň integrace, stabilnější chod a snadnější obsluhu linky jsou součástí návrhu přípravná a skladovací nádrž. Přípravná nádrž je účelná zejména při zvolení dávkového způsobu plnění a skladovací nádrž při kontinuálním způsobu. Snahou návrhu je umožnit oba způsoby plnění (resp. kombinovaný).

Obecný postup návrhu vychází z množství a vlastností substrátu a až následně je dimenzován objem fermentoru. V této práci je však objem fermentoru již známý. [11]

### 6.1 Přípravná nádrž vstupního organického materiálu

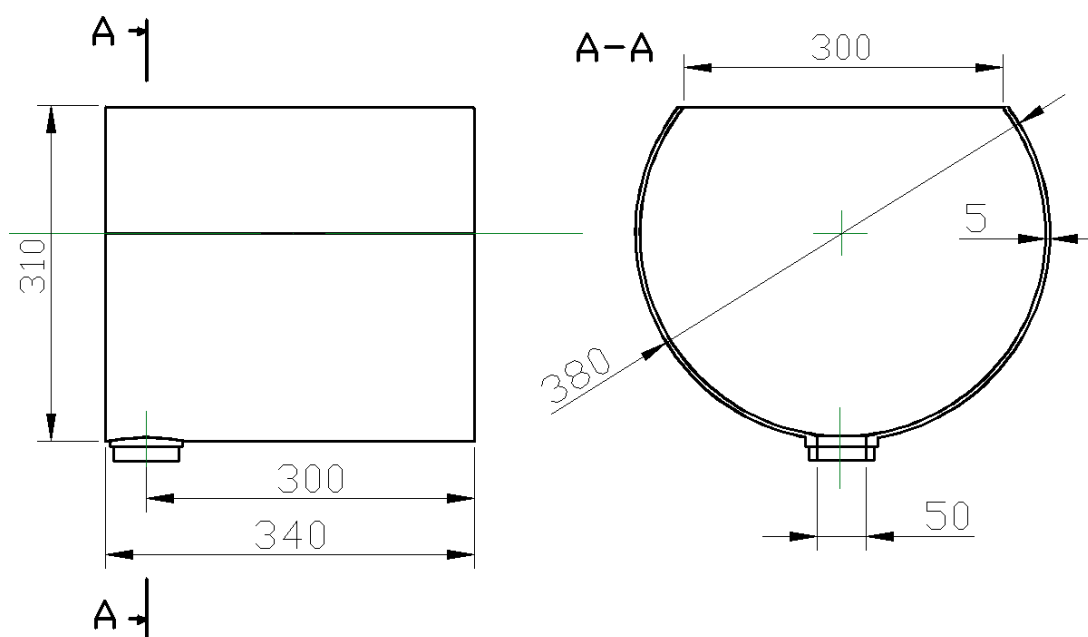
Funkce přípravné nádrže je především v uskladnění surového organického materiálu, jeho úprava (dezintegrace, homogenizace) a snadnější dávkování (popř. přesnější dávkování), přimísení a zkapalnění kofermentů.

Minimální objem nádoby musí být takový, aby pojal alespoň dvoudenní produkci směsi biodpadu. Tato skutečnost je zohledněna především při kontinuálním dávkování. Minimální objem nádrže při dávkovém způsobu plnění je odvozen z pracovního objemu fermentoru - pro přípravu celé dávky. Nádrž může v budoucnosti sloužit i k předehřevu vstupního materiálu, s tím však v této práci, kvůli minimalizaci energetické náročnosti provozu, počítáno není. Nádrž bude také sloužit pro dodatečnou dezintegraci (např. pomocí tyčového mixéru) a homogenizaci materiálu.

Profil nádrže je válcového charakteru s otevřenou horní částí. Výhodou otevřené přípravné nádrže je snadnější příprava a manipulace s materiálem a také skutečnost, že zatím co je v ní materiál uskladněn, zde může probíhat první fáze anaerobního rozkladu - hydrolýza. Tato skutečnost může pomoci důslednějším rozkladu substrátu za dobu 30 dní. [11]

Důležitými faktory při volbě materiálu nádoby byla chemická i mechanická odolnost, celková trvanlivost materiálu, výrobní možnosti (dostupnost na trhu) a cena. Těmto ukazatelům nejvíce vyhovuje plastová nádoba z vysokohustotního polyetylenu (HDPE). Na trhu jsou tyto nádoby relativně rozšířené.

**Obr. 8 - Přípravná nádrž**

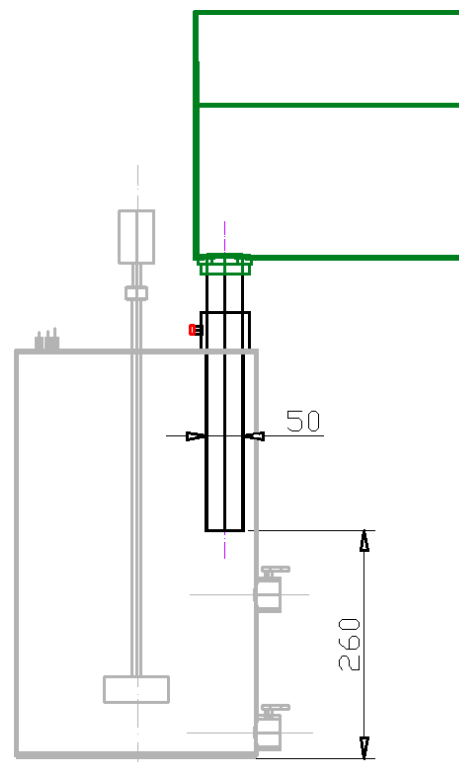


Díky konkávnímu profilu dna a hladkému povrchu plastu bude doprava materiálu z nádoby účinnější. Směs organického materiálu a vody musí být dostatečně tekutá. Dávkování bude probíhat pomocí kulového ventilu. Nádoba bude v případě nutnosti umístěna s mírným sklonem osy ( $5^\circ$ ).

Protože se v této lince nepočítá se zařazením čerpadla, bude pro dopravu připraveného substrátu využito spádu potrubí. Ke vstupu materiálu do fermentoru bude využit hlavní vstup přes kulový ventil (DN 50) vedoucí víkem fermentoru. Na vnitřní stranu víka bude navařena (nebo jiným plynotěsným spojem připevněna) dávkovací roura z plastu o světlém průměru 50 mm. Vyústění jejího spodního konce je v polovině výšky fermentoru. Předpokladem je, že její vyústění bude při provozu dostatečně pod hladinou substrátu, a tím se při dávkování nenaruší anaerobní prostředí fermentace.

Kvůli dostupnosti do nádrže byl do boxu vyříznut otvor, odpovídající rozměrům vstupního otvoru nádoby (300 x 340 mm). Tento otvor lze zakrýt poklopem zhotoveného z vyřízlé části OSB desky. Přípravná nádrž bude zavěšena za ocelové kotevní prvky vetknuté do boxu.

**Obr. 9 - Propojení přípravné nádrže s fermentorem**



## 6.2 Zásobník bioplynu

Návrh objemu bioplynu obecně vychází z denní produkce a ze způsobu spotřeby bioplynu. Využívá-li se pro výrobu elektrické energie, postačí zásobník o menším objemu, než je denní produkce. [11]

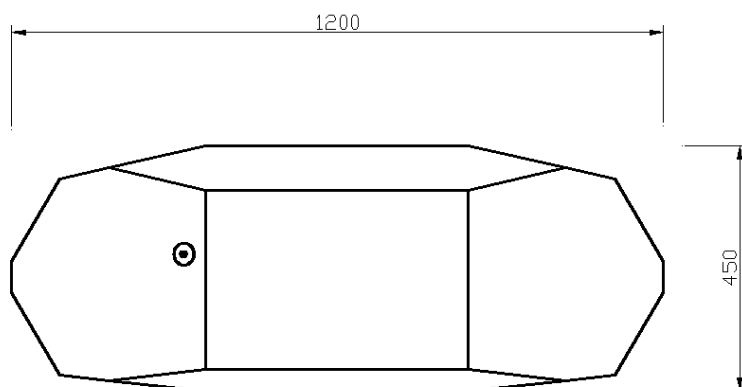
Pro jímání plynu byl zvolen bioplynový vak. Výhodou oproti plynojemům pevných konstrukcí (např. sudy) je lepší skladovatelnost a využitelnost prostoru.

Rozměry navrhovaného vaku vychází především z produkce bioplynu a způsobu spotřeby bioplynu. Výchozím hlediskem pro návrh tvaru a rozměrů vaku byly však i rozměry prostoru, do kterého je vak situován (polootevřený box).

Při návrhu objemu vaku bylo vycházeno z dvoutýdenní produkce bioplynu, což představuje produkci bioplynu zhruba z jednoho kilogramu organické sušiny.

V zimním období provozu linky činí plynová produkce 0,973 m<sup>3</sup> za měsíc (při dvou kilogramech organické sušiny směsi). Vzhledem k prostoru, kde má být vak umístěn, byl zvolen vak ve tvaru kvádrů o rozměrech 1,2 x 0,5 x 0,75 m o teoretickém objemu 450 litrů. Skutečný objem vaku je však nižší z důvodu rozdílného tvaru. Objem vaku je zhruba 350 litrů.

**Obr. 10 - Vak na bioplyn**



Připojovací příslušenství k ventilu vaku je tvořeno mosaznou rychlospojkou s vnitřním závitem, vsuvkou s trnem na hadici a šroubením s vnitřním a vnějším závitem.

**Tab. 17 - Základní vlastnosti materiálu [18]**

Ukazatel	Hodnota	Dle normy
Vlákno	100 % PES	DIN EN ISO 2286-2
Měrná hmotnost membrány	1 150 g . m <sup>-2</sup>	
Pevnost v tahu	4 000 N . 5cm <sup>-1</sup>	EN ISO 1421-1*
Trhací síla	550 N	DIN 53 363
Provozní teplota	-30 °C až +70 °C	DIN EN 1876-2
Prodyšnost membrány	< 400 cm <sup>3</sup> . m <sup>-2</sup> . bar <sup>-1</sup> . d <sup>-1</sup>	DIN 53 380

\* Textilie povrstvené gumou anebo plasty. Zjišťování pevnosti v tahu a tažnosti při přetrhnutí (ISO 1421: 1998)

## 6.3 Rozvody bioplynu

Pro rozvody bioplynu budou sloužit hadice na propan butan. Hadice je také určena na dopravu zkapalněných ropných produktů a zemního plynu. Pracovní teplota určena do pracovních teplot od – 30 do 70 °C a maximálního tlaku 2 MPa. V této lince je však pro dopravu a uskladnění bioplynu použit beztlaký systém (resp. s minimálním přetlakem).

**Tab. 18 - Technické parametry propan butanové hadice [22]**

Průměr [mm]	10 / 17
Pracovní tlak [MPa]	2
Poruchový tlak [MPa]	6
Poloměr ohybu (R.min.-mm)	100
Hmotnost [kg . m <sup>-1</sup> ]	0,2

Dle: EN 559:1994

Pojistný ventil tvoří průhledná hadice z PVC, aby bylo umožněno sledování indikační hladiny vody uvnitř hadice.

## 6.4 Skladovací nádrž na digestát

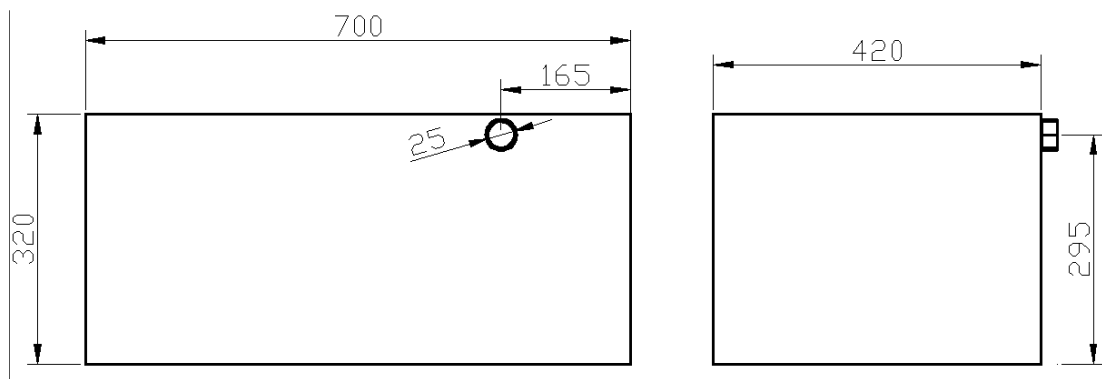
Skladovací nádrž je důležitá pro uskladnění vyhnílého kalu (když momentálně není na odbyt). Je vhodná především pro průtokový způsob dávkování, kdy zároveň dochází k dohnívání fermentátu za doprovodu vzniku bioplynu. Při dávkovém způsobu plnění umožňuje skladování celého objemu kalu (s výjimkou zbytku pro naočkování substrátu, který činí přibližně 10 % užitného objemu fermentoru). Objem uzavřené nádrže se obvykle dimenzuje na šesti až sedmiměsíční produkci fermentátu. [11]

Pro pohodlnější odvod digestátu za doprovodu co možná nejslabšího zápachu je navržena nádoba, která bude umístěna pod nádobu fermentoru. Bude propojena s fermentorem potrubím o jmenovité světlosti 25 mm přes odváděcí armaturu



(spodní kulový ventil DN 25 na fermentoru) digestátu. Při odvodu digestátu do nádoby je nutno počítat s jistým přetlakem a v případě nutnosti vybavit tak nádobu přetlakovým ventilem. Materiál, ze kterého bude nádrž zhotovena, by neměl podléhat chemickým degradačním vlivům digestátu a měl by vydržet i mechanickou zátěž při manipulaci. Nejvhodnější a ekonomicky nejvýhodnější variantou se, stejně jako u přípravné nádrže, jeví plastová nádoba o objemu 60 litrů z HDPE. Nádoba z tohoto materiálu bývá určena i na přepravu nebezpečných kapalných látek, což představuje určitou záruku odolnosti.

**Obr 11 - Skladovací nádrž**

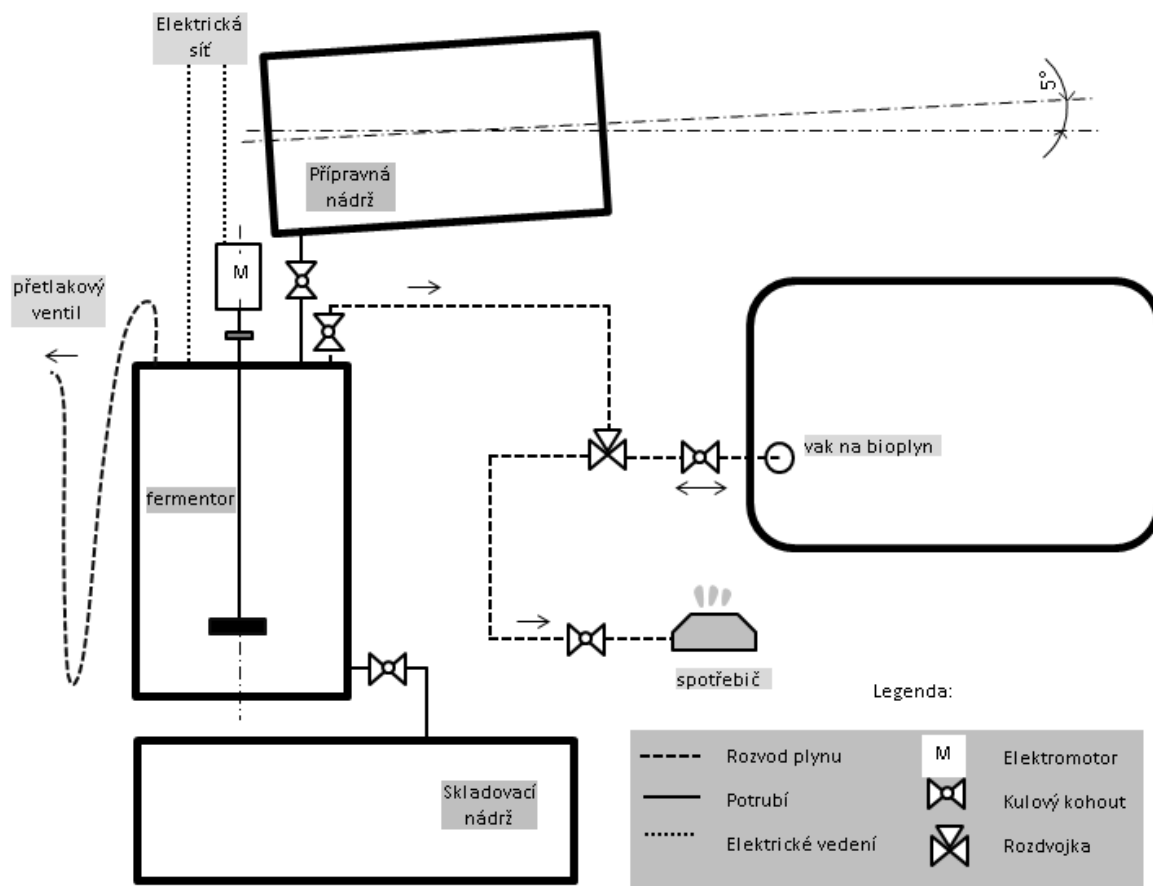


## 6.5 Spotřebič

Spotřebičem je plynový vaříč.

## 6.6 Funkční schéma linky

Obr. 12 - Funkční schéma linky



## 7 ENERGETICKÁ BILANCE NÁVRHU LINKY

Tato kapitola se zabývá analýzou energie spotřebované provozem linky a energie získané v podobě bioplynu (resp. jeho výhřevné složky).

### 7.1 Energetická spotřeba provozu linky

Protože všechny součásti návrhu linky kromě fermentoru jsou energeticky nezávislé, měření elektrické spotřeby provozu fermentoru je směrodatné pro celkovou elektrickou spotřebu linky. Pro zjednodušení výpočtu je předpokládáno, že hodnota příkonu všech zařízení se v čase nemění. Hodnota příkonu vychází z nejvyšší naměřené hodnoty okamžitého příkonu (dále jen příkon).

Příkon byl sledován pomocí měřiče elektrické spotřeby FK technics, typ 3362. Tento typ měřidla byl použit k orientačním výsledkům (třída přesnosti 5 %). Spotřeba provozu linky byla sledována v časovém úseku jednoho týdne.

#### Pracovní režim fermentoru

- Vnitřní teplota fermentoru: 36 °C
- Interval míchání: 1 h míchání, 3 h nečinnost
- Průměrná teplota okolí: 18 °C

**Tab. 19 - Elektrické spotřebiče linky**

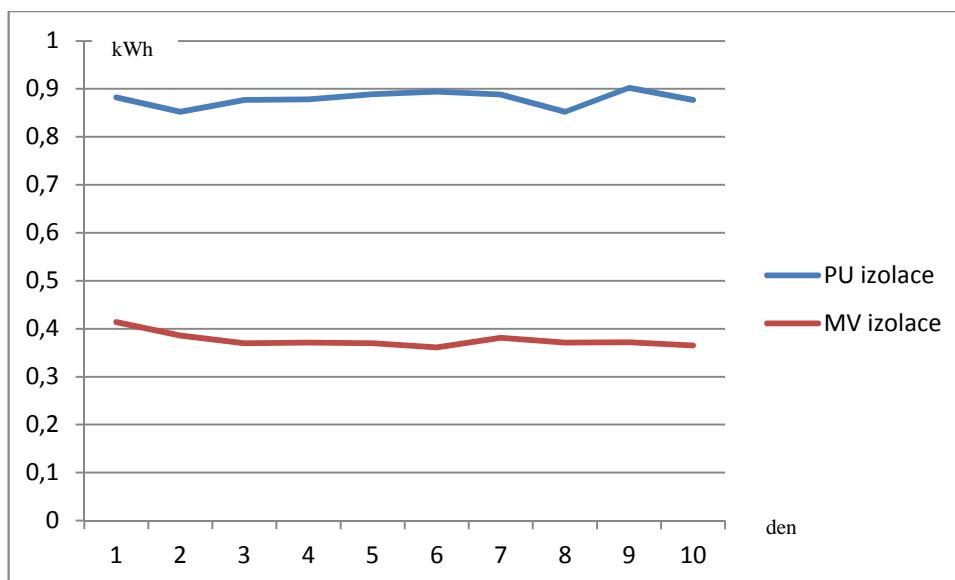
Spotřebič	Příkon [W]
Topná podložka	185
Elektromotor	16
Číslicový regulátor	1,5
<b>Celkem</b>	<b>192,5</b>

V rámci měření elektrické spotřeby linky byly vyzkoušeny dva druhy tepelné izolace o různých tloušťkách.

**Obr. 13 - Technické parametry tepelných izolací**

	Tloušťka [mm]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]
PU pěna	20	0,03
Minerální vata	80	0,035

**Obr. 14 – Denní příkon linky v průběhu jednoho týdne**



Výchytky z průměrné hodnoty denní spotřeby mohou být způsobeny změnami teplot v průběhu dne a nepřesností měřidla (chyba 5%). Jak lze pozorovat z grafu, výraznější výchytky zaznamenalo měření při použití PU izolace. Tyto změny mohou být způsobeny především menší tloušťkou izolace, a tím větší náchylností k teplotním změnám okolí.

**Tab. 20 - Průměrná spotřeba celé linky za časové období**

Průměrná spotřeba	PU (20 mm) izolace	MV (80 mm) izolace
denní [kWh]	0,8704	0,37
měsíční [kWh]	26,474	11,2539
roční [kWh]	317,696	135,05

## 7.1.1 Doba provozu vytápění

### Denní spotřeba

*Elektromotor:*

$$P_{M_d} = P_M \cdot n_h = 96 \text{ W} \quad /9/$$

$P_{M_d}$  - denní spotřeba elektromotoru [kWh]

$P_M$  - příkon elektromotoru [kW]

$n_h$  - celkový počet hodin provozu za den [-]

**Tab. 21 - Znázornění denního režimu míchání**

h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
M	X				X				X				X				X				X			

*Poznámka: h – hodina, M – motor, „X“ značí motor v provozu*

*Číslicový regulátor:*

$$P_{R_d} = P_{\check{c}} \cdot n_h = 36 \text{ W} \quad /10/$$

$P_{R_d}$  - denní spotřeba číslicového regulátoru [kWh]

$P_{\check{c}}$  - příkon číslicového regulátoru [kW]

$n_h$  - počet hodin v provozu za den [-]

Teoretická denní spotřeba linky bez vytápění je 132 Wh za den a 48,18 kWh za rok. Roční spotřeba vytápění je pak 86,87 kWh a denní 0,238 kWh. Při známé spotřebě vytápění 0,185 kWh, je průměrná denní doba provozu tepelné podložky 1 hodina a 17 minut.

## 7.2 Energetický výnos zařízení

Energetický výnos vychází z množství využitelné části bioplynu – tedy metanu a jeho výhřevnosti 35,833 MJ . m<sup>-3</sup>.

**Tab. 22 - Produkce vyvinutého bioplynu a jeho výhřevné složky**

	Období	Bioplyn [m <sup>3</sup> ]	Metan [m <sup>3</sup> ]	Výhřevnost	
				[MJ]	
Období produkce	Měsíční	Sezóna	0,811	0,604	21,67
		Zimní období	0,973	0,524	18,8
		Celkem	1,784	1,128	40,47
	Roční	Sezóna	4,866	3,624	130,04
		Zimní období	5,838	3,144	112,82
		Celkem	10,704	6,768	242,86

Celkovou roční výhřevnost lze také vyjádřit jako 67,5 kWh, což je přibližně polovina roční spotřeby linky. V praxi je však nutné počítat s účinností potenciačního generátoru elektrické energie (max. 30%).

## 8 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHU LINKY

V této kapitole bude nastíněna výhodnost provozu linky v domácnosti. Do výpočtu jsou zahrnuty provozní a investiční náklady a dále výnosy v podobě získaného bioplynu.

## 8.1 Náklady

Do celkových nákladů na zařízení jsou zahrnuty náklady provozní a investiční.

### 8.1.1 Provozní náklady

Provozní náklady linky vycházejí pouze z elektrické spotřeby provozu linky. Tyto náklady se odvíjí od aktuální průměrné ceny elektrické energie. Ve zhodnocení provozních nákladů je vycházeno z průměrné ceny  $4,83 \text{ Kč} \cdot (\text{kWh})^{-1}$  (březen, 2013).

Elektrická spotřeba linky vychází z konkrétních podmínek měření, kdy byla průměrná teplota vnějšího prostředí  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  a režim míchání 1 hodina míchání a 3 hodiny pauzy.

**Tab. 23 - Průměrná cena spotřeby linky s variantními tepelnými izolacemi za dané období**

Období	PU (20 mm) izolace	MV (80 mm) izolace
Den [Kč]	4,2	1,79
Měsíc [Kč]	128,1	54,6
Rok [Kč]	1 534,5	652,3

Náklady na spotřebu linky za určité období:

$$C = P_d \cdot n_d \cdot C_{kWh} \quad [\text{Kč}] \quad /11/$$

$$P_d \quad - \quad \text{spotřeba linky za jeden den}^* \quad [\text{kWh}]$$

$$n_d \quad - \quad \text{počet dnů v počítaném období} \quad [-]$$

$$C_{kWh} \quad - \quad \text{cena jedné kWh elektrické energie} \quad [\text{Kč}]$$

\* celková spotřeba linky se vztahuje ke konkrétním podmínkám měření

Z vypočtených údajů také vyplývá skutečnost, že použitím tepelné izolace lze dosáhnout podstatných úspor. V tomto případě se náklady na spotřebu fermentoru snížily více než o polovinu (57,5 %) spotřeby v porovnání s první variantou tepelné izolace.

# TECHNICKÁ FAKULTA

## 8.1.2 Pořizovací náklady linky

Souhrn investičních nákladů je důležitým východiskem pro posouzení ekonomické návratnosti zařízení. Tvoří podstatnou složku celkových nákladů na zařízení, a tím je směrodatný při zvažování investice do zařízení.

Tab. 24 - Souhrnné investiční náklady

Č.	Předmět	Celkem [Kč]	Cena [Kč]
<b>1</b>	<b>Anaerobní fermentor</b>	<b>10 073</b>	
a	Válcová nádoba s víkem <sup>1</sup>		1 500
b	Armatury		350
c	Elektromotor		5 696
d	Spojka		139
e	Míchací hřídel včetně lopatek		150
f	Číslicový regulátor teploty		637
g	Topná podložka		770
h	Ocelový rám		178
i	Dávkovací roura		59
j	Tepelná izolace		594
<b>2</b>	<b>Bioplynový vak</b>	<b>5 015</b>	4 800
a	Mosazný ventil		1 000
b	Připojovací koncovka		212
<b>3</b>	<b>Přípravná nádrž</b>	<b>455</b>	455
<b>4</b>	<b>Skladovací nádrž</b>	<b>297</b>	297
<b>5</b>	<b>Rozvody bioplynu</b>	<b>643</b>	
a	Hadice propan - butan		195
b	PVC hadice		111
c	Armatury		337
<b>6</b>	<b>Rozvody pro substrát a digestát</b>	<b>69</b>	
a	Potrubí přípr. nádrž - fermentor		54
b	Potrubí fermentor - sklad. nádrž		25
<b>7</b>	<b>Box</b>	<b>2 800</b>	
a	OSB desky		2 800
b	Tepelná izolace		1 398
<b>8</b>	<b>Vařič</b>	<b>550</b>	
	<b>CELKEM</b>	<b>19 902</b>	

<sup>1</sup> Pořizovací cena byla stanovena úpnlým odhadem)

Celkové náklady na zařízení vycházely z pořizovacích cen jednotlivých komponentů linky, případně byly odvozeny z cen za materiál potřebného množství pro výrobu komponentu. Pokud výrobek nebyl dohledatelný na trhu, určila se cena na základě



podobnosti technických parametrů s výrobkem jiným. V případě samotné plastové nádoby fermentoru musel však být učiněn úplný odhad. Z již zmiňovaných důvodů jsou celkové pořizovací náklady pouze orientační.

## 1) Fermentor

- a) cena válcové nádoby s víkem je čistý odhad.
- b) přibližná cena armatur pro vodu (DN50 a DN25) je 230 a 120 Kč
- c) cena převodového komutátorového elektromotoru ATAS je 5 695 Kč
- d) odhad ceny spojky je 139 Kč
- e) odhad ceny míchadla, cena materiálu hřídele
- f) cena číslicového regulátoru teploty je na trhu 637 Kč
- g) přibližná cena topné podložky (vychází z podobného kusu) 770 Kč
- h) cena rámu je odvozena z ceny ocelového čtvercového profilu (20/20/2 mm jekl) 42,35 Kč za metr materiálu - ke konstrukci rámu je celkově zapotřebí 4,2 m, tedy 178 Kč celkem
- i) dávkovací roura 55 Kč
- j) cena tepelné izolace - minerální vlna 80 mm - 500/1000mm činí 594 Kč

## 2) Bioplynový vak

Vak byl zhotoven z membrány (typ B6070, Sioen Industries) pro bioplynové zásobníky. Realizaci provedla firma Shapeart s. r. o. a náklady činily 4 800 Kč.

- a) V této ceně je započítán i ventil v podobě masivního mosazného obrobku s vnějším závitem v ceně 1 000 Kč.
- b) Dodatečné náklady na připojovací koncovku – mosaznou rychlospojkou s vnitřním závitem, vsuvku s trnem na hadici a šroubení s vnitřním a vnějším závitem jsou 215 Kč.

## 3) Přípravná nádrž

Odhad ceny nádrže vychází z nádrže o stejném objemu. Jedná se o plastový sud o objemu 30 litrů v ceně 455 Kč.

## 4) Skladovací nádrž

Cena skladovací nádrže vychází z plastové nádoby (kanystru) o stejném objemu jako navržená nádrž - 60 litrů a cena činí 296 Kč.

## 5) Rozvody bioplynu

- a) Celková délka propanbutanové hadice byla spočítána na 5 metrů. Při ceně 39 Kč za metr činí celková cena rozvodů bioplynu 195 Kč.
- b) Pro pojistný ventil byla určena PVC hadička o délce 3 m. při ceně 37 Kč za metr je cena 111 Kč.
- c) Do armatur je zahrnuta rozdvojka pro propan butan 49 Kč a tři kulové kohouty v celkové ceně 288 Kč.

## 6) Rozvody pro substrát a digestát

- a) Potrubí z přípravné nádrže do fermentoru - cena vychází z ceny za kus - 54 Kč.
- b) Cena potrubí z fermentoru do skladovací nádrže vychází z kusové ceny za metr - 25 Kč.

## 7) Box

Celková cena za box vychází z množství materiálu, ze kterého se skládá a množství izolace potřebné k zateplení boxu.

- a) Cena dřevoštěpkových OSB desek o tloušťce 1,5 cm vychází z tržní ceny za 1 m<sup>2</sup>. Bylo spočítáno, že na konstrukci boxu je třeba 20 m<sup>2</sup>. Při ceně 140 Kč za 1 m<sup>2</sup> je celkový náklad na dřevěnou konstrukci 2 800 Kč.

- b) Pro zateplení části boxu, kde se nachází hlavní část linky (fermentor a přípravná a skladovací nádrž) byla vybrána jako tepelně izolační materiál lněná izolace. Cena za 1 m<sup>2</sup> při požadované tloušťce 8 cm je 233 Kč. K zaizolování boxu je třeba přibližně 6 m<sup>2</sup> izolačního materiálu, celková cena za izolaci je 1 398 Kč.
- 8) Odhad ceny vařiče na bioplyn se odvíjí od ceny klasického plynového vařiče. Nákladnost potenciálních technických modifikací není do ceny zahrnuta. Odhadovaná cena je 550 Kč.

Celkové investiční náklady na zařízení jsou přibližně 19 tisíc Kč. Některé jednotlivé částky nezahrnují výrobní náklady, obchodní marže apod. Skutečné investiční náklady budou tedy vyšší.

## 8.2 Výnosy

Hlavní výnos tvoří získaná energie v podobě metanu. Za další potenciální výnos lze považovat ušetřené náklady za svoz BRO.

Protože je výhřevnost metanu (35,833 MJ . m<sup>-3</sup>) o něco vyšší než výhřevnost zemního plynu (33,48 MJ . m<sup>-3</sup>), je na základě výhřevnosti celkového množství získaného metanu spočítáno ekvivalentní množství zemního plynu na 7,253 m<sup>3</sup>.

Od ekvivalentního množství zemního plynu je na základě průměrné ceny za 1 m<sup>3</sup> zemního plynu 17,5 Kč (březen, 2013) spočítán roční výnos bioplynu, který činí 130 Kč.

## 8.3 Finanční návratnost investice

Roční náklady na spotřebu energie provozu vycházejí z celkové spotřebované energie za rok, které činí 135 kWh a průměrné jednotkové ceny za elektrickou energii 4,83 Kč za kWh. Roční náklady na spotřebu činí 652 Kč.

Z předchozí kapitoly vyplynula skutečnost, že roční výnos z provozu zařízení je 130 Kč.

Z bilance výnosů a nákladů vyplývá, že výnosy z provozu zařízení nejsou dostatečně vysoké ani pro pokrytí nákladů na provoz zařízení, lze tedy konstatovat, že za daných podmínek je návrh zařízení nerentabilní.

## 8.4 Zvýšení objemu fermentoru

Pokud se vychází z předpokladu lineární závislosti mezi užitným objemem a produkcí bioplynu (resp. ročním výnosem objemu metanu přepočítaného na průměrnou tržní cenu jednoho m<sup>3</sup> plynu), pak pro tento návrh linky platí:

30 litrů užitého objemu (V) => 130 Kč · rok<sup>-1</sup> zisku (Z)

Teoretický zisk z jednoho litru užitého objemu je tedy:

/12/

$$Z_{1l} = \frac{Z}{V} = \frac{130}{30} = 4,33 \text{ Kč} \cdot l^{-1} \cdot rok^{-1}$$

V - užitný objem fermentoru [m<sup>3</sup>]

Z - roční zisk z provozu linky [Kč · rok<sup>-1</sup>]

Velikost užitého objemu fermentoru pro pokrytí ročních provozních nákladů (N) je:

/13/

$$V_{PN} = \frac{N}{Z_{1l}} = \frac{652}{4,33} = 152 \text{ l}$$

N - roční provozní náklady návrhu linky [Kč · rok<sup>-1</sup>]

*Pro pokrytí ročních nákladů linky, kterou se zabývá tato práce, by užitný objem fermentoru musel činit alespoň 152 litrů.*

Teoretický objem fermentoru pro návratnost investičních nákladů do 6 let:

/14/

$$I_6 = \frac{I}{n_i} = \frac{19\,902}{6} = 3\,317 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}$$

$I_6$  - roční náklad pro šestiletou návratnost investice [Kč · rok<sup>-1</sup>]

$I$  - celková investice [Kč]

$n_i$  - doba požadované návratnosti [rok]

Teoretický užitný objem fermentoru:

/15/

$$V_{IN6} = \frac{I_6}{Z_{1l}} = \frac{3\,317}{4,33} = 766 \text{ l}$$

*Pro šestiletou návratnost investice do linky musí užitný objem činit minimálně 766 litrů.*

Velikost užitého objemu fermentoru pro pokrytí celkových nákladů :

/16/

$$N_C = N + I_6 = 3\,317 + 652 = 3\,969 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}$$

$N_C$  - Celkové roční náklady (zahrnutý roční investiční náklady i roční náklady na provoz)

/17/

$$V_{CN} = \frac{N_C}{Z_{1l}} = \frac{3\,969}{4,33} = 917 \text{ l}$$

*Pro celkové pokrytí nákladů návrhu linky by za stávajících podmínek musel užitný objem fermentoru činit alespoň 917 litrů, což je zhruba třicetkrát více než objem současný.*

Výsledné hodnoty vychází z konkrétních podmínek měření, složení bioplynu (resp. druhu zpracovávaného substrátu), aktuálních cen energií a též je zanedbáno zvýšení energetické náročnosti provozu zařízení při větším objemu. Výpočet vychází z předpokladu, že mezi objemem fermentoru a výnosem bioplynu je lineární závislost.

Při vyšším objemu zpracovávaného organického odpadu lze počítat i s výnosy v podobě ušetřených nákladů na svoz bioodpadu. Náklady na svoz bioodpadu činí přibližně 600 – 960 Kč . rok<sup>-1</sup> v závislosti na objemu nádoby. [22]

## 9 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Cílem práce byl návrh linky pro anaerobní zpracování organických odpadů z domácnosti a objasnění jeho efektivity. Návrh vycházel především z objemu malého anaerobního fermentoru a dále z množství a charakteristiky zpracovávaných organických odpadů. Kromě anaerobního fermentoru celý návrh linky zahrnuje, bioplynový vak, přípravnou nádrž na bioodpad, skladovací nádrž pro digestát a plynové a vodní rozvody. Součástí práce byly laboratorní pokusy se vzorky zpracovávaných bioodpadů. Na základě energetické bilance a následného ekonomického zhodnocení byla zjištěna skutečnost, že zařízení je pro praktický provoz značně neefektivní. Výnosy linky reprezentované výhřevnou složkou vyvinutého bioplynu za rok činí 130 Kč, zatímco roční náklady na provoz linky jsou 652,3 Kč.

Pro zvýšení efektivity zařízení je naprosto zásadní zvýšit pracovní objem fermentoru. V závěru práce je na základě předpokladu lineární závislosti mezi pracovním objemem fermentoru a produkcí bioplynu zjištěn teoretický objem fermentoru pro pokrytí stávajících nákladů. Pro pokrytí provozních nákladů by objem fermentoru musel činit nejméně 152 litrů, tedy zhruba pětinásobek současného objemu. Pro pokrytí celkových nákladů (investičních a provozních) s dobou návratnosti 6 let, by musel objem fermentoru činit nejméně 917 litrů, tedy 30tinásobek současného objemu. Těchto výsledků bylo dosaženo pomocí měrného výnosu z jednoho litru užitého objemu fermentoru, zvyšující se nákladnost v závislosti na vyšším objemu nádrže byla zanedbána.

Pro praktické využití v domácnosti lze tedy doporučit fermentor s minimálním objemem 1 m<sup>3</sup>.

## 10 SEZNAM LITERATURY

- [1] **VÁŇA, J., HANČ, A. a HABART, J.** *Pevné odpady*. 2. přepracované vydání. Praha : Česká zemědělská univerzita, 2009. str. 191 s. ISBN 978-80-213-1992-9.
- [2] Zákon o odpadech 185/2001 Sb.
- [3] Vyhláška MŽP 381/2001 Sb.
- [4] **ALTMANN, V., VACULÍK, P. a MIMRA, M.** *Technika pro zpracování komunálního odpadu*. 1. vydání. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2010. str. 120 s. ISBN 978-80-213-2022-2.
- [5] Nařízení vlády 197/2003.
- [6] SKLADBA KOMUNÁLNÍHO ODPADU Z DOMÁCNOSTÍ. *Informační server o energetickém využití odpadů*. [Online] [Citace: 2. 3 2013.] <http://www.odpadjeenergie.cz/fakta/cr-a-evropa/skladba-komunalniho-odpadu-z-domacnosti.aspx>.
- [7] [www.eurosat.com](http://www.eurosat.com). [Online] [www.eurosat.com](http://www.eurosat.com).
- [8] Metodický pokyn: K podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu. [Online] [http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/FD0B0C02EA4F6135C12574DC0055BBB/B/\\$file/94229973.pdf](http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/FD0B0C02EA4F6135C12574DC0055BBB/B/$file/94229973.pdf).
- [9] **STRAKA, F. a a kol.** *Příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů*. 2. rozšířené a doplněné vydání. Praha : GAS, 2006. str. 720 s. ISBN 80-7328-090-6.
- [10] **PASTOREK, Z., KÁRA, J. a JEVIČ, P.** *Biomasa - obnovitelný zdroj energie*. 1. vydání. Praha : FCC Public, 2004. str. 288 s. ISBN 80-86534-06.
- [11] **SCHULZ, H. a EDER, B.** *Bioplyn v praxi*. 1. české vydání. Ostrava : HEL, 2004. str. 168 s. ISBN 80-86167-21-6.



- [12] **MALAŤÁK, J. a VACULÍK, P.** *Technologická zařízení staveb odpadového hospodářství - zpracování biologicky rozložitelných odpadů*. 1. vydání. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. str. 180 s. ISBN 978-80-213-1747-5.
- [13] **DOHÁNYOS, M.** Zvyšování efektivity fermentace - nejnovější poznatky ve výzkumu a praxi. *Biom.cz*. [Online] 25. 02 2009. [Citace: 15. 1 2013.] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zvysovani-efektivita-fermentace-nejnovejsi-poznatky-ve-vyzkumu-a-praxi>. ISSN: 1801-2655.
- [14] ATC-300 termostat s časovačem akvária-terária. [Online] [Citace: 7. 2 2013.] <http://www.logitron.cz/produkt-1564/atc-300-termostat-s-casovacem-akvaria-teraria.html>.
- [15] Stejnoseměrný komutátorový převodový motor. [Online] [Citace: 2. 2 2013.] <http://www.atas.cz/files/K7A.PDF>.
- [16] ČSN EN 14346 Charakterizace odpadů: Výpočet sušiny stanovením podílu sušiny nebo obsahu vody. [Online] 2007. [Citace: 5. 11 2012.] <http://nahledy.normy.biz/nahled.php?i=78942>.
- [17] ČSN EN 15169. Charakterizace odpadů: Stanovení ztráty žháním v odpadech, . [Online] 2007. [Citace: 2012. 11 5.] <http://nahledy.normy.biz/nahled.php?i=79397>.
- [18] *Sioen industries*. [Online] [Citace: 14. 2 2013.] <http://www.sioen.com/coating/ContentNav.aspx?lang=ENG&con=3870>.
- [19] Směrnice Rady 1999/31/ES.
- [20] Vyhláška 341/2008 Sb.
- [21] Nařízení EP a ES č. 1069/2009.
- [22] <http://www.psas.cz/index.cfm/sluzby-firmam/odpady/svoz-biodpadu/ceny-svozu/>

## 11 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - Některé způsoby využívání odpadů [2].....	5
Tab. 2 - Vlastnosti složek bioplynu [10].....	11
Tab.3 - Měrná produkce bioplynu ze základních složek organických materiálů [10]15	
Tab. 4 - Poměr obsahu uhlíku a dusíku v některých materiálech [10].....	17
Tab. 5 - příklady organických odpadů a jejich parametrů [10].....	18
Tab. 6 - Přibližné hodnoty doby kontaktu pro kejdu při rozdílných teplotách [11]..	21
Tab. 7 - číslicový regulátor ATC-300A [14] .....	30
Tab. 8 - Technické údaje míchací pohonné jednotky [15].....	31
Tab. 9 - Průměrná produkce bioodpadu za jednotlivá období.....	33
Tab. 10 - Shrnutí laboratorních výsledků.....	36
Tab. 11 – Skladba jedné vsádky v sezóně (květen - říjen).....	37
Tab. 12 – Skladba jedné vsádky v zimním období (listopad - duben).....	38
Tab. 13 - Průměrná denní dávka směsi substrátu.....	39
Tab. 14 – Surovinová skladba směsi.....	39
Tab. 15 - Produkce bioplynu z jedné vsádky .....	41
Tab. 16 - Celkový teoretický úbytek organické sušiny.....	42
Tab. 17 - Základní vlastnosti materiálu [18].....	46
Tab. 18 - Technické parametry propan butanové hadice [22] .....	47
Tab. 19 - Elektrické spotřebiče linky .....	50
Tab. 20 - Průměrná spotřeba celé linky za časové období.....	52
Tab. 21 - Znárodnění denního režimu míchání .....	52
Tab. 22 - Produkce vyvinutého bioplynu a jeho výhřevné složky.....	53
Tab. 23 - Průměrná cena spotřeby linky s variantními tepelnými izolacemi za dané období.....	54
Tab. 24 - Souhrnné investiční náklady.....	55

## 12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Skladba komunálního odpadu z domácností v roce 2007 [6].....	5
Obr. 2 - Graf produkce odpadu živočišného rostlinného původem z domácností [7] .	6
Obr. 3 - Měrná produkce bioplynu dle druhu organického materiálu [10].....	21
Obr. 4 – Vnitřní a vnější uspořádání fermentoru .....	29
Obr. 5 - Číslicový regulátor ATC-300A [14].....	30
Obr. 6 - Převodový komutátorový elektromotor [15] .....	31
Obr. 7 - Roční využití organického odpadu z domácností.....	41
Obr. 8 - Přípravná nádrž.....	44
Obr. 9 - Propojení přípravné nádrže s fermentorem .....	45
Obr. 10 - Vak na bioplyn.....	46
Obr 11 - Skladovací nádrž.....	48
Obr. 12 - Funkční schéma linky .....	49
Obr. 13 - Technické parametry tepelných izolací .....	51
Obr. 14 – Denní přírůstek linky v průběhu jednoho týdne .....	51