

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Návrh inovace zpracování biologicky
rozložitelných složek z odděleného sběru
komunálního odpadu pro bioplynovou stanici**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jan Malat'ák, Ph.D.

Autor práce: Bc. Petr Kocman

Praha

2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Návrh inovace zpracování biologicky rozložitelných složek z odděleného sběru komunálního odpadu pro bioplynovou stanici“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Jana Malat'áka, Ph.D. a použil jsem jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury. Dále prohlašuji, že elektronická forma této práce je shodná s formou tištěnou a nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé diplomové práce nebo jejích částí se souhlasem katedry.

V Praze dne.....

.....

Bc. Petr Kocman

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra technologických zařízení staveb

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Petr Kocman

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Návrh inovace zpracování biologicky rozložitelných složek z odděleného sběru komunálního odpadu pro bioplynovou stanici

Název anglicky

Design innovation process of biodegradable components of separate collection of municipal waste for biogas plant

Cíle práce

Seznámit se s problematikou zpracování biologicky rozložitelných odpadů anaerobní fermentací. Navrhnout inovaci technologické linky na zpracování biologicky rozložitelných složek z odděleného sběru komunálního odpadu ve vybraném podniku a ekonomicky ji zhodnotit.

Metodika

1. Charakteristika dosavadního zpracování biologicky rozložitelných složek z odděleného sběru komunálního odpadu
2. Řešení inovačního stupně a změny dosavadního stavu výběrem technologického systému
3. Výběr sledovaných parametrů navrhovaného zařízení
4. Ekonomické posouzení návrhu

Doporučený rozsah práce

50 – 60

Klíčová slova

biologicko rozložitelné odpady, kuchyňský odpad, fermentor, bioplyn, kogenerační jednotka

Doporučené zdroje informací

Filip, J.; Oral, J.: Odpadové hospodářství II. 1. vydání. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2003. 78 s. ISBN 80-7157-682-4

Juchelková, D.; Fibinger, V.; Mika, J.: Metody nakládání s odpady. 1. vydání. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 1996. 62 s. ISBN 80-7078-309-5

Juchelková, D.: Likvidace a využití odpadů. Ostrava, VŠB TU Ostrava, 2000. ISBN 80-7078-747-3

Malaták, J.; Vaculík, P.: Zpracování biologicky rozložitelných odpadů. ČZU v Praze, Technická fakulta, tisk. Powerprint, Praha 2008, 168 s., ISBN: 978-80-213-1747-5

Pastorek, Z.; Kára, J.; Jevič, P.: Biomasa obnovitelný zdroj energie, nakladatelství FCC Public, Praha 2004, 284 str., ISBN 80-86534-06-5

Straka, F.; a kolektiv.: Bioplyn. GAS s.r.o., Říčany 2003, s. 517, ISBN 80-7328-029-9

Předběžný termín obhajoby

2015/05 (květen)

Vedoucí práce

doc. Ing. Jan Malaták, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 10. 1. 2014

doc. Ing. Jan Malaták, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 2. 2014

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 07. 04. 2015

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat zejména svému vedoucímu diplomové práce, doc. Ing. Janu Malatřákovi, Ph.D., za jeho odborné rady, trpělivost a pomoc při sestavování práce. A dále ing. Miroslavu Heroutovi, Ph.D., za odbornou pomoc a poskytnutí vnitropodnikových materiálů.

Dále pak své rodině a přítelkyni za morální pomoc, toleranci a nenahraditelný druhý pohled na věc.

V Praze dne.....

.....

Bc. Petr Kocman

Abstrakt:

Cílem této diplomové práce byl návrh inovačního stupně zpracování separovaně sbíraného biologicky rozložitelného odpadu pro bioplynovou stanici. Kapitola „Přehled poznatků z literatury“ předkládá základní informace z odborné literatury. Tyto poznatky jsou nezbytné k pochopení daného tématu. Dále se v této práci nachází technologické postupy zpracování biologicky rozložitelných odpadů a technické parametry jednotlivých způsobů zpracování odpadů. V kapitole „Výchozí podmínky podniku“ je uvedena charakteristika zvolené provozovny, současný stav zpracování odpadu a popis technické a technologické linky. Kapitola „Návrh řešení“ obsahuje záměr návrhu, popis technologické linky na zpracování biologicky rozložitelného odpadu a její přínos pro daný podnik. Inovativní záměr je podložen měřeními a ekonomickým zhodnocením. Práce je ukončena diskuzí o dalších možnostech inovace a závěrečným shrnutím.

Klíčová slova: biologicky rozložitelné odpady, kuchyňský odpad, fermentor, bioplyn, kogenerační jednotka

Design innovation process of biodegradable components of separate collection of municipal waste for biogas plant

The aim of this thesis was the proposal of innovative processing stage by using the collected biodegradable waste for biogas plant. "Summary of the knowledges from the literature" provides essential informations from the scientific literature. These knowledges are necessary to understanding the topic. Furthermore, are in this work describe the technological processes for treatment of biodegradable waste and the technical parameters of the various methods of waste treatment. In the chapter "Initial conditions of the company" is the characteristic of the selected establishment, the current state of waste processing and description of the technical and technological lines. Chapter "Proposed solution" includes a design intent, a description of the technological line for processing biodegradable waste and its contribution to the enterprise. The innovative project is supported by measurement and economic evaluation. Work is terminated by discussions about other possibilities for innovation and with the final summary.

Keywords: biodegradable waste, kitchen waste, digester, biogas, cogeneration unit

Obsah

1	Úvod	1
2	Terminologie	2
2.1	Definice komunálních odpadů	2
2.2	Definice způsobů nakládání s odpady	4
3	Přehled poznatků z literatury	7
3.1	Charakteristika biologicky rozložitelného odpadu	7
3.2	Zpracování biologicky rozložitelných odpadů fermentací	9
3.3	Historie fermentace	9
3.3.1	Česká republika	9
3.3.2	Svět	10
3.4	Význam fermentace	11
3.4.1	Ekologické aspekty	11
3.5	Anaerobní fermentace	11
3.5.1	Výhody anaerobního zpracování	14
3.5.2	Obecné vlastnosti materiálu vhodného pro anaerobní fermentaci	14
3.6	Bioplyn – základní poznatky	16
3.6.1	Charakteristika bioplynu	16
3.6.2	Vznik bioplynu	16
3.6.3	Vlastnosti a složení bioplynu	17
3.6.4	Zařízení na výrobu bioplynu	19
3.7	Fermentace průmyslových a tuhých komunálních odpadů	20
3.7.1	Fermentace tuhých komunálních odpadů	20
3.8	Systémy sběru separovaného biologicky rozložitelného komunálního odpadu	22
3.9	Anaerobní fermentace vlhkých organických materiálů	24
3.10	Technologie a technika využívaná při fermentaci	26
3.10.1	Technologie mokrého a suchého biozplynování	26
3.10.2	Mokrý proces anaerobní fermentace	27
3.10.3	Suchý proces anaerobní fermentace	27

4	Výchozí podmínky podniku	29
4.1	Bioplynová stanice Jarošovice.....	29
4.1.1	Popis technologického zařízení	30
4.1.2	Popis technologie - dopravní cesty pro hygienizovaný materiál.....	31
4.1.3	Souhrn výchozích podmínek	37
5	Návrh řešení.....	38
5.1	Hygienizační linka	38
5.2	Měření.....	44
5.2.1	Měřicí zařízení BC20:	44
5.2.1	Výpočet teoretické koncentrace metanu – CH ₄ v bioplynu.....	48
5.2.2	Výsledky měření.....	51
5.2.3	Shrnutí měření	56
6	Ekonomické zhodnocení inovačního návrhu.....	57
6.1	Investiční náklady na hygienizační linku.....	57
6.2	Financování.....	57
6.3	Odpisový plán	59
6.4	Bilance nákladů, výnosů a zisku.....	60
6.5	Další ekonomické ukazatele	63
6.6	Celkové shrnutí ekonomických ukazatelů	65
7	Závěr.....	66
8	Použitá literatura:.....	67
9	Seznam tabulek.....	72
10	Seznam obrázků.....	73

1 Úvod

Biologicky rozložitelný odpad. V současnosti velmi diskutované téma, zejména ve spojení s plánem odpadového hospodářství ČR 2015 – 2024. Tento stav je nyní velmi příznivý pro veškeré zpracovatele biologicky rozložitelných odpadů, neboť ty jsou hlavní surovinou k výrobě bioplynu v rámci anaerobní fermentace, či kompostu při fermentaci aerobní. Biologicky rozložitelný odpad je nedílnou součástí veškerých odpadů, které lidstvo produkuje a je v jeho zájmu s ním nakládat co nejefektivněji. Anaerobní fermentací je možné dosáhnout částečné eliminace odpadu, vytěžit z něj bioplyn pomocí vhodné technologie a navíc využít k energetickým účelům – tedy k výrobě tepla a elektrické energie.

V této diplomové práci je řešena problematika anaerobní fermentace, tedy zpracování bioodpadu bez přístupu vzduchu. K tomuto procesu dochází zejména v bioplynových stanicích. Podkladem pro řešení návrhu inovačního stupně v rámci této diplomové práce bude právě jedna z těchto provozoven.

Předmětem inovace technického zařízení a technologického postupu bude v diplomové práci hygienizační linka pro zpracování zejména kuchyňského odpadu a jeho využití k výrobě bioplynu. Tato konkrétní bioplynová stanice disponuje velkým potenciálem ve zpracování kuchyňského odpadu. Cílem diplomové práce bude navržení vhodné hygienizační linky a popis jejího zařízení ke vhodnému zpracování odpadu. Tvrzení o vhodnosti či nevhodnosti zapojení nové hygienizační technologie bude podpořeno měřením a ekonomickým posouzením předloženého návrhu. Cílem měření v bioplynové stanici bude prokázání závislosti obsahu metanu a výkonu kogenerační jednotky na čase. Měření poslouží z části jako podklad pro ekonomickou část diplomové práce.

2 Terminologie

2.1 Definice komunálních odpadů

Odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit a přísluší do některé ze skupin odpadů uvedených v příloze č. 1 k zákonu o odpadech (Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech).

Zbavování se odpadu je v zákoně uvedeno jako jev, při kterém osoba předá movitou věc, která spadá do některé ze skupin odpadů, jež jsou uvedeny v příloze č. 1 zákona o odpadech, pokud dojde k jeho využití nebo odstranění ve smyslu tohoto zákona. K tomuto dochází i v případě, že předá osobě, která je oprávněná k výkupu nebo sběru odpadů podle zákona bez ohledu, zda jde o úplatný nebo bezúplatný převod. Jako zbavování se odpadu je pojata i situace, při které odstraní movitou věc osoba sama (Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech § 3 odst. 1 a 2).

Komunální odpad

Je veškerý odpad, který vzniká na území obce při činnosti pouze fyzických osob. Tento odpad je uveden jako komunální v prováděcím právním předpisu. Výjimku mají odpady, které vznikají u fyzických osob oprávněných k podnikání, nebo u osob právnických (Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, § 4 písm. b).

Komunální odpad je chápán z hlediska evidence odpadů v rozšířené podobě jako odpad z průmyslové činnosti, z úřadů, z domácností, z živnostenské činnosti včetně složek odděleného sběru.

Využitelné složky

Jsou to druhy odpadů využitelné ze složky komunálního odpadu získané odděleným sběrem a takové, které je možno po úpravě nebo přímo použít ve většině případů jako druhotnou surovinu. Využitelné složky komunálního odpadu jsou papír, plasty, sklo, neželezné a železné kovy a jejich slitiny, textil a biologický odpad.

Tyto složky odděleně sebrané jsou podle katalogu odpadů uvedeny v podskupinách 20 01 a 15 01.

Druhotná surovina

Tento pojem není v legislativě, která se zabývá odpadovým hospodářstvím, vymezen. Rozumí se jí materiály bezprostředně využívané v procesu výroby, tedy bez jakéhokoliv zpracování či úpravy jsou určeny k materiálové recyklaci či využití (Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech).

Biologicky rozložitelný odpad

Jakýkoliv anaerobně nebo aerobně rozložitelný odpad, který podléhá biologickému rozložení (Vyhláška č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění pozdějších předpisů, § 2 písm. b).

Biologicky rozložitelný komunální odpad

Je to především odpad, který tvoří materiál, jenž je schopen aerobního nebo anaerobního rozkladu (např. papír, odpad ze zeleně a potravin). Ve srovnání s komunálním odpadem jde zejména o odpady ze sídlištní a uliční zeleně, z údržby parků, sadů a lesoparků, ale i travních hřišť. Dále pak jde o odpady ze hřbitovů, které jsou ve správě měst a o odpady ze zahrad fyzických osob (občanů). Do této skupiny patří i odděleně sebrané odpady biologicky rozložitelné z domácností, z kuchyní a stravoven, ale i odpad ze dřeva, přírodních textilií a papíru (Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech).

Směsný komunální odpad

Je to odpad, který zbyde po oddělení nebezpečných složek a využitelných složek z komunálních odpadů. Je možné se setkat s názvem „zbytkový“ odpad. V katalogu odpadů je veden pod druhovým označením 20 03 01 a pod názvem „směsný komunální odpad“ (Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech).

Biopalivo

Je jím chápáno palivo vyrobené z biomasy. Definice, kterou uvádí vyhláška č. 482/2005 Sb., o stanovení druhů způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy, se stanovují druhy biomasy, které jsou předmětem podpory z hlediska ochrany životního prostředí, stanovuje příloha č. 1 této vyhlášky. Ze strany komunálních odpadů jde v souladu s přílohou především o zbytky z kuchyní a stravoven a biopaliva z nich

vyrobená, o biologicky rozložitelnou součást vytríděného komunálního odpadu, který pochází z odděleného sběru a biopaliva z něj vyrobená. Tímto způsobem určená biomasa musí být využita prostřednictvím anaerobní digesce, nebo v druhém případě prostřednictvím vysokoteplotního zplynování (Vyhláška č. 482/2005 Sb., o stanovení druhů způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy; Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech).

2.2 Definice způsobů nakládání s odpady

Odpadové hospodářství

Rozumí se jím činnost zaměřená na předcházení vzniku odpadů, na následnou péči o místo, na kterém jsou odpady trvale uloženy, na nakládání s odpady a na kontrolu těchto činností (Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, § 4 písm. c).

Prevence

Je to činnost, která je zaměřena na předcházení vzniku odpadů a jejich bezpečnosti. Jde např. v rámci zákona o obalech o snižování hmotnosti a objemu obalů právě osobami, které uvádějí obal na trh při zachování požadavků, jež jsou kladeny na balený výrobek a při zachování přijatelnosti pro konečného uživatele, nebo jiného spotřebitele, s dosažením cíle snížit množství odpadu z obalů (Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech, § 3 odst. 1 a § 4 odst. 1 písm. b).

Nakládání s odpady

Nakládáním s odpady se rozumí jejich soustředování, sběr, shromažďování, třídění, výkup, doprava a přeprava, úprava, skladování, využívání a odstraňování (Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, § 4 písm. d).

Shromažďování odpadů

Shromažďování odpadů je činnost, při které se odpady krátkodobě soustřeďují do shromažďovacích prostředků před dalším nakládáním v místě jejich vzniku (Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, § 4 písm. f).

Svoz odpadů

Jde o činnost, kdy se odpady z různých míst pomocí dopravních prostředků přepravují a není zajištěn mobilním zařízením jejich odvoz k výkupu a sběru odpadů (Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech).

Sběr odpadů

Rozumí se jím soustředování odpadů fyzickou nebo právnickou osobou za účelem podnikání od jiných subjektů k jeho předání k dalšímu využití nebo odstranění (Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, § 4 písm. i).

Oddělený sběr odpadů (separace, tříděný sběr)

Je to činnost, která vede k oddělování vybraných druhů a složek odpadů, k jejich soustředování za účelem využití, předání nebo odstranění. Nejčastěji je tento pojem spjat s odděleným sběrem nebezpečných a využitelných složek komunálních odpadů. Tento pojem je možné nazývat také jako separace či tříděný sběr (Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech).

Zpracování odpadů

Rozumí se jím operace, které jsou prováděny za účelem využití, úpravy nebo odstranění odpadů (Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, § 36 písm. e).

Využívání odpadů

Jde o využití odpadů obdobným způsobem jako paliva nebo jiným způsobem, který vede k výrobě energie; regeneraci/získání rozpouštědel; regeneraci/získání organických látek, která nejsou používána jako rozpouštědla (včetně kompostování a jiných biologických procesů); využitím odpadů vzniklých aplikací jednoho z již uvedených způsobů; aplikací do půdy, která zlepšuje ekologii, nebo je přínosem pro zemědělství (Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech).

Energetické využití

Tímto využitím se rozumí použití odpadů zejména takovým způsobem jako u paliv za účelem výroby energie, nebo získání jejich energetického obsahu (Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, § 4 písm. n).

Sběrné nádoby

Jsou to takové nádoby, které jsou určeny ke sběru a shromažďování odpadů. Sběrné nádoby používané v obcích mají nejčastěji objem 80 - 3200 litrů. Jsou vyrobené z plastů, kovu, nebo sklolaminátu v různém tvaru a provedení a jsou barevně odlišené podle druhu odpadu, který se do nich vkládá (Komunální odpad, 2015).

Sběrný dvůr, sběrné místo

Jedná se o místo, které je určeno ke sběru vybraných druhů odpadů a k jejich shromažďování. Toto místo je vybavené množstvím rozličných druhů shromažďovacích prostředků (sběrné boxy, kontejnery, apod.). Ve sběrném dvoře je možné sbírat různý větší počet druhů odpadů. Pojem není legislativně vymezen (Komunální odpad, 2015).

Výtěžnost odděleného sběru

Jedná se o množství odděleně sebraných druhů odpadů, které je možno dále využívat, za určité časové období. Toto množství je obvykle vyjádřeno v měrných jednotkách (např. výtěžnost v kg/obyvatele/rok). Pojem není legislativně vymezen (Komunální odpad, 2015).

3 Přehled poznatků z literatury

3.1 Charakteristika biologicky rozložitelného odpadu

Biologicky rozložitelné odpady (BRO) jsou odpady, které podléhají aerobnímu rozkladu (za přístupu kyslíku) nebo anaerobnímu rozkladu (bez přístupu kyslíku). Mezi BRO patří celá řada odpadů, které jsou určitou substancí biologického původu. Jsou to zejména biologicky rozložitelné komunální odpady (BRKO), rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny (odpady ze sadů a vinic, zbytky po likvidaci lesních náletů a křovin), odpady potravinářské, odpady z jatek, mlékáren, lihovarů, ze zpracování dřeva, kůží, textilního průmyslu, patří sem též čistírenské a vodárenské kaly, odpady z papírensko - celulózarského průmyslu, atd.

Biologický odpad (potraviny, zelený odpad, čistírenský kal, atd.) je velmi nestabilní a rychle biologicky rozložitelný. Při jeho produkci je nutné se vyhnout především zápachu, který způsobuje, avšak na druhé straně má tento odpad vysoký potenciál jako zlepšující činitel kvality půdy (Himanen a Hänninen, 2011).

Bioodpady zaujímají v katalogu MŽP 381/2001 Sb. nesourodou skupinu. Nejpočetnější zastoupení mají tyto odpady ve skupinách:

- 02 katalogu odpadů - odpady z prvovýroby v zemědělství, rybářství, zahradnictví, myslivosti a z výroby a zpracování potravin;
- 03 - odpady ze zpracování výroby desek, dřeva a nábytku, papíru, celulózy a lepenky;
- 20 - komunální odpady (odpady z domácností a podobné průmyslové, živnostenské odpady a odpady z úřadů) tedy i včetně složek z dalšího odděleného sběru;
- 19 08 - odpady z čistíren odpadních vod jinde neuvedené (Katalog odpadů č. 381/2001 Sb.).

Způsoby, jakými bylo nakládáno s biologicky rozložitelnými odpady, prezentuje přehledně tabulka 1. Z tabulky 2 je patrné, že více jak polovina množství komunálních odpadů vyprodukovaných za rok 2013 jsou odpady biologicky rozložitelné. Tento trend se v ČR udržuje již delší dobu a z podkladů, které jsou dostupné, je tomu tak minimálně od roku 2011. Nejvíce používanou metodou, co se týče množství zpracovaného odpadu, je skládkování, jak zobrazují hodnoty v tabulce 1.

Tabulka 1: Nakládání s komunálními odpady

v t	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Skládkování	2 057 429	2 113 893	2 161 801	2 167 041	1 827 868	1 815 103
Spalování s využitím tepla	367 470	369 953	494 949	607 222	651 563	628 413
Spalování bez využití tepla	1 723	2 120	2 152	2 618	2 834	2 696
Recyklace	279 849	352 787	451 765	495 695	665 279	685 920
<u>Kompostování</u>	<u>50 187</u>	<u>55 712</u>	<u>75 724</u>	<u>73 762</u>	<u>85 099</u>	<u>96 101</u>

Zdroj: www.czso.cz

Tabulka 2: Produkce komunálních odpadů

v t	2009	2010	2011	2012	2013
Produkce komunálních odpadů celkem	3 309 667	3 334 240	3 357 877	3 232 643	3 228 232
z toho:					
běžný svoz	2 374 027	2 390 421	2 446 597	2 195 867	2 139 595
svoz objemného odpadu	402 899	352 339	361 592	312 708	317 161
odpady z komunálních služeb	72 438	62 587	66 204	56 574	52 034
odděleně sbírané složky	460 302	528 893	483 483	448 088	448 428
z toho:					
papír	-	-	158 348	147 975	145 012
sklo	-	-	120 358	112 872	114 062
plasty	-	-	102 772	100 703	105 235
kovy	-	-	53 164	40 841	37 461
z toho:					
<u>biologicky rozložitelný odpad</u>	-	-	<u>1 645 704</u>	<u>1 505 699</u>	<u>1 518 784</u>

Zdroj: www.czso.cz

3.2 Zpracování biologicky rozložitelných odpadů fermentací

Fermentační technologie je jednou z metod pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů. Tato metoda je považována za jednu z náročnějších především z pohledu požadavků na technické vybavení a stavební práce. Výsledným produktem této technologie je bioplyn. Ten může být použit jak na výrobu tepla, tak elektrické energie v kogenerační jednotce. Druhotným produktem je stabilizovaný biologicky rozložitelný odpad vhodný pro aplikaci do půdy jako půdní činidlo. Z technologického hlediska je nejdůležitější, aby ke zpracovávanému odpadu nemohl jakýmkoliv způsobem pronikat vzduch, byl hermeticky uzavřen a dobře homogenizován. Pokud je biologicky rozložitelný odpad zpracováván v bioplynové stanici s kompostovací koncovkou, lze tuto jednotku považovat za „dokonalou kompostárnu“ z jejíž činnosti lze získat jak energii (elektřina a teplo), tak dokonale stabilizovaný produkt, který je použitelný jako organické hnojivo (Ust'ak a Váňa, 2006; Malat'ák a Vaculík, 2008).

3.3 Historie fermentace

3.3.1 Česká republika

Největší zastoupení anaerobní metanové fermentace v České republice je zejména při stabilizaci čistírenských kalů při získávání plynu ze skládek komunálního odpadu – skládkového plynu a při anaerobním čištění odpadních vod. Fermentační technologie v České republice byla s postupem času využívána zejména pro stabilizaci odpadů, které vznikají v živočišné výrobě. V minulosti byly exkrementy hospodářských zvířat využívány zejména ke hnojení zemědělské půdy. Ke hnojení přímo nebo po zpracování s další složkou - slámou na slamnatý hnůj nebo s dalšími organickými odpady dále na kompost. V poslední době se s velkou koncentrací jednotlivých druhů hospodářských zvířat do velkokapacitních zařízení produkuje velké množství kejdy a nejde proto v těchto zařízeních aplikovat postupy charakteristické pro malé provozovny a musí se s tímto odpadem nakládat zcela jiným způsobem. Tyto skutečnosti a další ekologické aspekty mají za následek snahu vybudovat v těchto společnostech zařízení, která eliminují negativní vlastnosti exkrementů všech hospodářských zvířat a následné zlepšení jejich kvality (Malat'ák a Vaculík, 2008).

Ze zkušeností v praxi se ukazuje, že v mnoha případech se jedná o rozdílné způsoby anaerobní stabilizace. Její výhodou je získání energeticky výhodného bioplynu, který může zemědělské výrobě sloužit jako lokální zdroj energie. V minulosti se tyto metody aplikovaly

pouze u velkých podniků, avšak v současné době se ukazuje jejich ekonomická výhodnost i při instalaci na menších provozovnách a soukromých farmách (Malat'ák a Vaculík, 2008).

3.3.2 Svět

V minulosti se biologicky rozložitelné odpady používaly zejména pro hnojení zemědělské půdy. Roku 1881 je do provozu uvedeno první technologické řešení na zpracování biologicky rozložitelného odpadu, konkrétně jím byla usazovací a vyhnívací nádrž (dnešní septik) pro stabilizaci kalů ve Francii. V roce 1891 byl v Anglii vyroben a zkonstruován další typ zařízení pro čištění splaškových a komunálních vod. Toto zařízení sestávající z nádrže bylo uprostřed opatřeno roštem z kovu. Na tento rošt bylo nasypáno kamení. Voda s kalem, kterou bylo potřeba vyčistit, byla přiváděna naspod nádrže. Zde se usazoval kal a voda poté protékala směrem vzhůru přes železný rošt s kamením, který plnil funkci filtru. Usazený kal byl periodicky vybírán ze dna nádrže (Malat'ák a Vaculík, 2008).

Jednou z modernějších technologií čištění byla tzv. dvouúčelová nádrž, která sloužila k zadržení sedimentovaného kalu a vody po rozdílnou dobu zdržení v jednotlivých nádržích. Tato technologie byla navržena v roce 1914 v USA. Odpadní voda kontinuálně protékala nádrží a částice kalu v ní obsažené postupně sedimentovaly na dně nádrže, kde poté samovolně a neřízeně probíhal anaerobní proces. Rok 1924 v německém Essenu přinesl první samostatnou anaerobní čistící nádrž. Nádrž byla opatřena zařízením na vyhřívání kalu. Vyhřívání bylo realizováno pomocí spalování uvolňovaného bioplynu (Malat'ák a Vaculík, 2008).

Ve 30. a 40. letech minulého století se získávaly cenné provozní zkušenosti ze stále více se rozvíjejících technologií zpracování biologicky rozložitelného odpadu. Bioplyn se začal využívat i k výrobě elektrické energie a vytápění (Malat'ák a Vaculík, 2008).

Technické úspěchy bioplynu v oboru čištění splaškových odpadních vod motivovaly snahy o rozšíření a aplikaci i na další organické substráty, než pouze na kal z odpadních vod. To mělo za následek jejich rozšíření i na použití této fermentační technologie také na potravinářský a zemědělský odpad.

Od 70. let již není technologie fermentace omezena pouze na zpracování biologicky rozložitelných odpadů, ale záměrně je pro tuto technologii pěstována i tzv. energetická biomasa (Malat'ák a Vaculík, 2008).

3.4 Význam fermentace

3.4.1 Ekologické aspekty

Bioplyn, jako jeden z obnovitelných zdrojů energie, může eliminovat negativní důsledky stále se zvyšujícího množství skleníkových plynů v atmosféře, které je způsobeno spalováním fosilních paliv. Energie využívaná z biomasy má kladný význam v tom, že se nepodílí na zvyšování skleníkového efektu, protože CO₂ uvolněný z biopaliv, se nepodílí na akumulaci CO₂ v atmosféře (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

Další výhodou, proč používat biopaliva, je např. ta skutečnost, že energie, která se tímto způsobem získá z bioodpadu, který je svými vlastnostmi velice nebezpečný životnímu prostředí, navrací zpět do koloběhu energií v přírodě. Tyto negativní vlastnosti jsou použitím vhodných technologií eliminovány. Biopaliva se taktéž snáze biologicky rozkládají a při jejich použití dochází k menšímu znečištění ovzduší, než při spalování fosilních paliv (Babička, 2002; Gaduš, Pružinský, 2006).

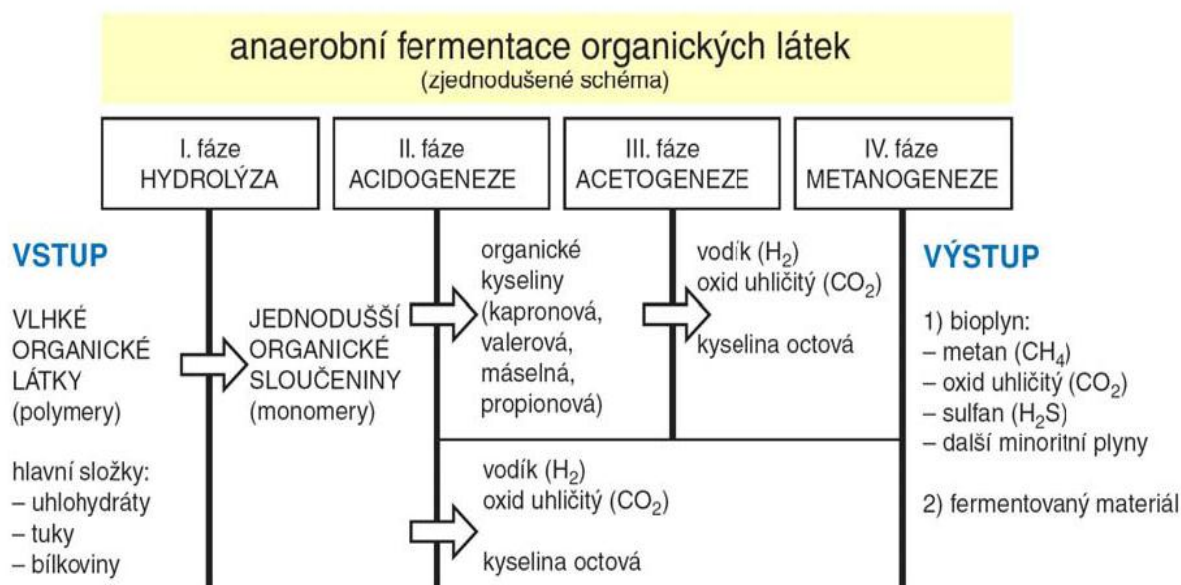
Metanu – plynu, který patří mezi tzv. skleníkové plyny, se do atmosféry uvolňuje ročně 535 106 t vzniklých lidskou a přírodní činností. Metan zachycuje až 30x více tepla než CO₂. Metan se asi z 18 % podílí na celkovém oteplování země (podíl CO₂ činí 49 %). Další látky jsou oxidy dusíku, chlorované uhlovodíky, aj.) (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

3.5 Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace je biochemický proces skládající se z mnoha dílčích, na sebe navazujících biologických, fyzikálních a fyzikálně - chemických procesů. Fáze nazývaná metanogeneze je pouze konečnou fází biochemické konverze biomasy na bioplyn a zbytkový fermentovaný materiál v anaerobních podmínkách. Dále může být tento proces nazýván jako biomethanizace, biogasifikace, metanové kvašení, atd. (Babička, 2002; Gaduš, Pružinský, 2006).

Pro lepší představu je na obrázku 1 graficky zobrazené schéma anaerobní fermentace organických materiálů. Proces se rozděluje do čtyř základních fází (Gujer a Zehnder, 1983):

Obrázek 1: Schéma anaerobní fermentace



Zdroj: Pastorek, Kára, Jevič, 2004

I. fáze - **HYDROLÝZA** - začíná ještě v době, kdy je v prostředí stále přítomný vzdušný kyslík. K nastartování této fáze je zapotřebí obsah vlhkosti minimálně 50% hmotnostního podílu. Enzymatický rozklad mění polymery (proteiny, lipidy, polysacharidy atd.) na organické látky jednodušší báze (monomery) (Pastorek, Kára, Jevič, 2004; Gerhardt, 2007).

II. fáze - **ACIDOGENEZE** - přítomný může být stále vzdušný kyslík, avšak v této fázi dojde k definitivnímu vytvoření bezkyslíkatého (anaerobního) prostředí. Toto zajistí četné kmeny příslušných fakultativních anaerobních mikroorganismů, které jsou aktivovány v obou prostředích. Metanogenním bakteriím umožňují tvorbu metanu vzniklé látky: CO₂, H₂ a CH₃COOH. Kromě těchto látek vznikají i další, kterými jsou jednodušší organické látky (alkoholy a vyšší organické kyseliny) (Straka a kolektiv, 2006).

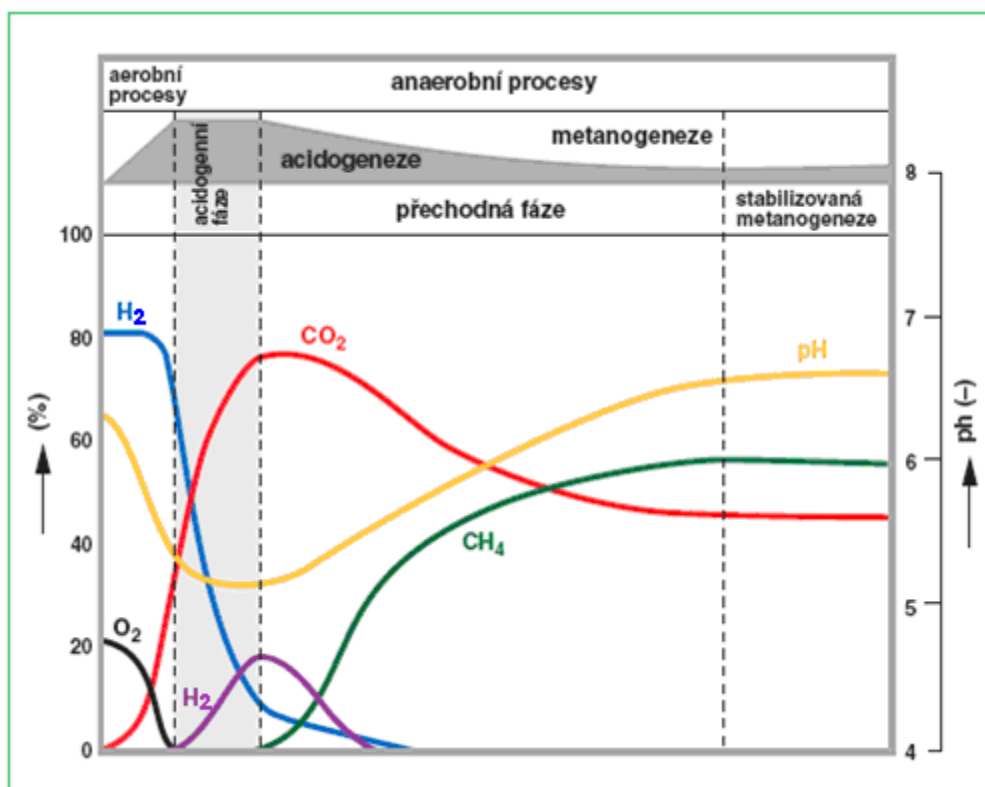
III. fáze - **ACETOGENEZE** - vyšší organické sloučeniny jsou zde transformovány acidogenními specializovanými kmeny bakterií na kyselinu octovou (CH₃COOH), oxid uhličitý (CO₂) a vodík (H₂) (Pastorek, Kára, Jevič, 2004; Straka a kolektiv, 2006).

IV. fáze - **METANOGENEZE** - metanogenníacetotrofní bakterie rozkládají zejména kyselinu octovou (CH₃COOH) oxid uhličitý (CO₂) a metan (CH₄). (Wiegant, Lettinga, 1985)

hydrogenotrofní bakterie jsou producenty metanu (CH_4) z vodíku (H_2) a oxidu uhličitého (CO_2). Určité kmeny bakterií metanogenních se chovají jako obojetné (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

K zajištění stability procesu anaerobní fermentace všech organických materiálů je velice důležité zachovat optimální rovnováhu v kinetice jednotlivých fází. Tyto fáze probíhají s odlišnou kinetickou rychlostí. Metanogenní fáze probíhá cca pětikrát pomaleji, než předchozí tři fáze. Z tohoto důvodu je potřeba, aby se přizpůsobila konstrukce vlastních bioplynových technologických systémů a poté dávkování surového materiálu, aby neohrozilo přetížení fermentoru se všemi negativními důsledky.

Obrázek 2: Schéma změn složení bioplynu při náběhu anaerobního fermentačního procesu



Zdroj: Pastorek, Kára, Jevič, 2004

3.5.1 Výhody anaerobního zpracování

Výhodami anaerobního zpracování jsou zejména (Pastorek, Kára, Jevič, 2004):

Snížení emisí skleníkových plynů a zároveň díky využití bioplynu namísto fosilních paliv pokles produkce CO₂ a tím snížení emisí CH₄ z hnojišť.

1. Ekologicky čistá a přijatelná recyklace odpadů;
2. produkce bioplynu s obsahem 50-75 % CH₄, který lze využít k energetickým účelům;
3. snížení obsahu všech patogenů a semen známých plevelů;
4. anaerobní stabilizace efektivněji recykluje organické odpady používané jako hnojiva a tím snížení nutnosti používat hnojiva průmyslově vyráběná;
5. aplikace přirozeného přírodního materiálu, který byl dříve odpadem, zpět do přírody;
6. omezení možnosti kontaminace vod nežádoucími látkami.

3.5.2 Obecné vlastnosti materiálu vhodného pro anaerobní fermentaci

Jednou z nejdůležitějších vlastností je nízký obsah anorganického podílu (popeloviny).

Nejčastěji zpracovávané směsi jsou homogenizované směsi materiálu, tedy organický materiál s podílem vysokého zastoupení biologicky rozložitelných látek.

Optimální obsah sušiny pevných odpadů je 22 – 25 % při jejich zpracování, u tekutých odpadů je to 8 – 14 %. Tekuté odpady, které mají obsah sušiny menší než 3 %, jsou zpracovávány technologií anaerobní fermentace se zápornou energetickou bilancí (požadovaná provozní teplota pro proces fermentace je udržována přívodem doplňkového tepla z vnějšího zdroje). Pozitivní energetické bilance se dosáhne nejčastěji až při vyšším než 3-5 % obsahu sušiny v tekutých odpadech. Horní hranici optimálního obsahu sušiny v tekutém odpadu tvoří mez čerpatelnosti materiálu. Maximální procentuální obsah sušiny, při kterém stále probíhá proces anaerobní fermentace, je 50 %. Heterogenní vlhkostí pole v pevném organickém materiálu způsobuje, že v provozu v praxi je metanogeneze tlumena postupně, nikoli rázově. Tento faktor je velmi významný hlavně při zpracování materiálů ve velkých objemech, jako např. skládek komunálních odpadů (Haš a kolektiv, 1985).

Další faktor, který ovlivňuje metanogenní fermentaci, je stupeň velikosti pH (kyselost/zásaditost) materiálu. Její optimální hodnota při vstupu do procesu je hodnota blízká neutrálnímu pH = 7 - 7,8. V průběhu celého procesu se velikost pH mění. Na začátku procesu převažuje aktivita acidogenů a hodnota pH může klesnout na 4 - 6. Pokud hodnota pH substrátu klesne pod 5, může se stát, že se začnou objevovat inhibiční účinky vzhledem k některým kmenům metanogenů. Jestliže však dojde za příznivých podmínek, které nastanou, k jejich dalšímu rozvoji, zvýší poté svou aktivitou hodnotu pH substrátu až na hodnotu pH = 7 (neutrální pH). V praxi se hodnota pH materiálu při vstupu do celého procesu upravuje alkalickými přísadami nebo homogenizací směsných materiálů (Björnsson, Murto, Mattiason, 2000; Kára a kolektiv, 2007; Žídek, 2008).

Dalším významným parametrem, kterým lze hodnotit vhodnost materiálu pro anaerobní fermentaci, je výsledný poměr dusíkatých a uhlíkatých látek. Optimální poměr je v pásmu kolem 30 : 1. Při nastalém vysokém obsahu dusíkatých látek či látek s vysokým obsahem uhlíku může dojít ke zhoršení kvality složení bioplynu. Látky s vysokým obsahem dusíku jsou např. exkrementy hospodářských zvířat. Naopak vysoký obsah uhlíku je tvořen materiály rostlinného původu. Optimálního poměru C:N se v praxi dosahuje míšením různých materiálů (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

Proces anaerobní fermentace a vhodnost materiálu může velice negativně narušit přítomnost nežádoucích příměsí. Jde zpravidla o látky, které potlačují mikrobiální rozvoj. Jsou jimi všechny druhy antibiotik používané jako léčiva zejména pro zvířata nebo preventivně jako součást směsí, kterými je krmena drůbež. Nevhodnými materiály, které by se neměly dostat do pracovního prostoru reaktorů, jsou takové, které jsou již napadeny hnilobným procesem (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

Materiál vhodný k anaerobní fermentaci může být také narušen předchozím zpracováním nebo manipulací. Dlouhodobým skladováním materiálu, při kterém mohou probíhat procesy aerobní fermentace (kompostování) nebo fyzikálně chemické účinky na materiál (např. při potrubní dopravě) může být narušen následující proces anaerobního zpracování materiálu (Haš a kolektiv, 1985).

3.6 Bioplyn – základní poznatky

3.6.1 Charakteristika bioplynu

Princip vzniku bioplynu, ať už se jedná o zemní plyn, důlní plyn, reaktorový plyn, skládkový plyn, je vždy stejný. Fyzikální a chemické vlastnosti konkrétního bioplynu však závisejí na procesních a materiálových parametrech. Bioplyn by se v ideálním případě skládal pouze ze dvou majoritních plynů - metanu (CH_4) a oxidu uhličitého (CO_2). Zastoupení metanu je obvykle od 50 - 75 %. V ideálním případě je zastoupení metanu doplněno 25 – 50% oxidu uhličitého. Z praxe je známo, že surový bioplyn tvoří i další minoritní plyny, které signalizují přítomnost některých dalších chemických prvků v daném materiálu nebo poruchy v průběhu anaerobní fermentace. Pokud bioplyn obsahuje vysoké zastoupení oxidu uhličitého, je to známka, že nebyly vytvořeny optimální podmínky pro proces anaerobní fermentace. Zavzdušnění pracovního prostoru může být zapříčiněno přítomností volného kyslíku (O_2), ovšem s výjimkou počátečního procesu. Vzdušný kyslík může tvořit výbušnou směs s metanem. Dalšími plyny, které se mohou objevit, jsou stopy argonu, amoniaku a oxidu dusného. V případě, že se objeví v plynu stopy vodíku, nemá to žádné negativní vlivy na jeho energetickou kvalitu, ale je to indikátor narušení rovnováhy mezi průběhem metanogenní a acidogenní fáze, kterou způsobuje zejména nadměrná zátěž reaktoru surovým materiálem. Pokud se objeví stopy oxidu uhelnatého, mohou být známkou vzniku ložisek požáru, který zde může vzniknout při suché anaerobní fermentaci. Tato situace je velmi nebezpečná a nevyskytuje se v reaktorech, ale především na skládkách komunálního odpadu (Straka a kolektiv, 2006).

3.6.2 Vznik bioplynu

Biologický rozklad organických látek je velmi složitý vícestupňový proces. Na konci tohoto procesu vzniká působením metanogenních, hydrogenofilních a acetotrofních mikroorganismů bioplyn, který je v ideálním případě složen ze dvou složek plynného skupenství, a to z oxidu uhličitého (CO_2) a metanu (CH_4). Průběh tohoto procesu dále ovlivňuje řada dalších materiálových a procesních parametrů (Straka a kolektiv, 2006):

- Složení materiálu;
- teplota prostředí;

- podíl vlhkosti;
- anaerobní (bezokyslíkaté) prostředí;
- číslo pH; atd.

Anaerobní mikroorganismy, které produkují metan (metanogeny), jsou na naší planetě považovány za jedny z nejstarších. Kyslík i ve velmi malé koncentraci je pro ně to samé, co jed pro běžné živé organismy. Tyto mikroorganismy jsou natolik přizpůsobivé, že dokázaly na naší planetě přežít i v dobách, kdy se na Zemi začal objevovat kyslík. Metanogenní kultury se v přírodě zásadně nacházejí ve směsných kulturách, nikoli v čistém stavu (Straka a kolektiv, 2006).

Biologický rozklad všech organických látek v anaerobních podmínkách je proces, který se nazývá anaerobní digesce, metanová fermentace, anaerobní fermentace, metanové kvašení, biometanizace, biogasifikace, biochemická konverze organické látky atd. V přírodě tento proces probíhá samovolně za určitých podmínek nebo je naopak záměrně vyvolán v biotechnických zařízeních. Výsledným produktem metanové fermentace je vždy plynná směs a fermentovaný zbytek organických látek (Babička, 2002; Gaduš a Pružinský, 2006).

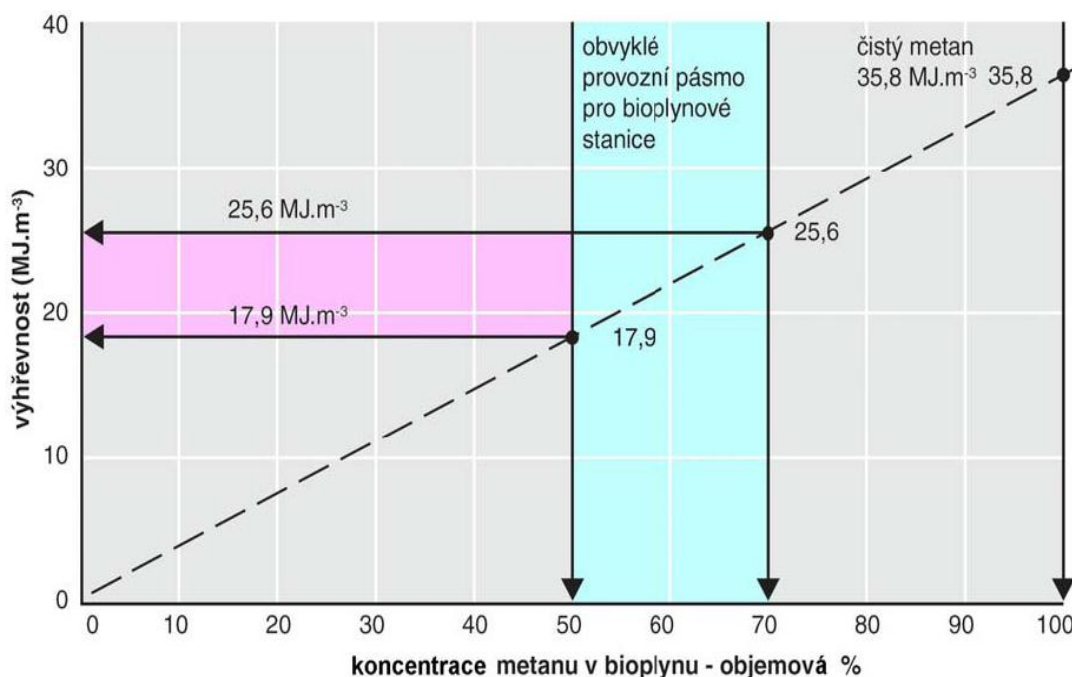
3.6.3 Vlastnosti a složení bioplynu

Výhřevnost

Výhřevnost bioplynu je určena obsahem majoritního plynu – metanu (CH_4), jak je vidět na obrázku 3.

Ostatní plyny, které mají minoritní zastoupení, jako jsou např. H_2 a H_2S , mají zanedbatelný energetický význam. Výhřevnost má stejnou hodnotu jako spalné teplo suchého bioplynu (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

Obrázek 3: Záznam výhřevnosti bioplynu závislé na koncentraci metanu



Zdroj: Pastorek, 2000

Hranice zápalnosti

Hranice, kdy dojde k zapálení metanu ve směsi se vzduchem je 5-15 % objemových. Takto vzniklá koncentrace je již výbušnou směsí. Zápalná teplota bioplynu je stejná jako pro metan, tedy 650-750 °C. Velmi důležitou hodnotou je hodnota hustoty metanu a bioplynu, kde je CH₄ zastoupeno s 60 % podílem. Bioplyn je plyn, který je těžší než vzduch a vytváří tedy pro všechny živočichy, nevyjímaje člověka, smrtelně nebezpečné prostředí. Toto prostředí může vznikat v reaktorových nádobách, ale také např. v prohlubeninách u skládek apod. Po separaci obou složek bioplynu, která je zpravidla zapříčiněna termodifuzí, klesá oxid uhličitý (CO₂) dolů. Každý projektant a informativně i uživatel by se měl seznámit s požárně technickými charakteristikami a ostatními technickými údaji a vlastnostmi metanu (Pastorek, Kára, Jevič, 2004). Základní vlastnosti metanu jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3: Základní vlastnosti metanu

Základní vlastnosti metanu	
(Požárně technická charakteristika – vyhl. MV č. 21/1996)	
Teplota vznícení	537 °C
Mez výbušnosti	4,4 – 17 % objemových
Teplotní třída	T 1
Skupina výbušnosti	II A
Mezní experimentální bezpečná spára	1,14 mm
Relativní hustota – vztažena ke vzduchu	0,55
Výhřevnost - objemová	34,016 MJ.m ⁻³
(ref. teplota spal. 15 °C, ref. Podm. měření objemu 15 °C, 101, 325 kPa)	

Zdroj: Požárně technická charakteristika – vyhl. MV č. 21/1996

3.6.4 Zařízení na výrobu bioplynu

Bioplynové technologie se rozdělují podle dávkování surového materiálu na (Veselá, 2008):

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

- Době jednoho pracovního cyklu přesně odpovídá doba zdržení materiálu ve fermentoru;
- použití hlavně zejména při suché fermentaci;
- manipulace s materiálem je náročná na obsluhu.

Semikontinuální:

- Doba zdržení materiálu ve fermentoru je delší než doba mezi jednotlivými dávkami;
- nejpoužívanější způsob používaný pro plnění fermentorů při zpracování tekutých materiálů organického původu;

- materiál je dávkován jedenkrát až čtyřikrát i vícekrát za den;
- materiál, který vstupuje do fermentoru má na změnu pracovních parametrů fermentoru malý vliv (teplota, homogenita);
- technologický proces není náročný na obsluhu a lze ho snadno automatizovat (Veselá, 2008).

Kontinuální:

- Používá se pro naplnění fermentorů, které jsou určeny pro zpracování tekutých materiálů (odpadů) s velmi malým obsahem sušiny;
- podle podílu vlhkosti materiálu se rozlišují:
 - a) bioplynové technologie na zpracování tuhých materiálů (vysokosušinnové s podílem sušiny 18-30 %, výjimečně až 50 %),
 - b) bioplynové technologie na zpracování tekutých materiálů s nízkým podílem sušiny 0,5-3 % a negativní energetickou bilancí, případně s vyšším podílem sušiny 3-14 % a pozitivní energetickou bilancí,
 - c) bioplynové technologie kombinované (Veselá, 2008).

3.7 Fermentace průmyslových a tuhých komunálních odpadů

Na rozdíl od fermentace ostatních odpadů (např. exkrementy hospodářských zvířat) je fermentace průmyslových a tuhých komunálních odpadů náročnější z hlediska technologických operací, které jsou nezbytnou součástí zpracování právě těchto odpadů. Mezi tyto operace řadíme např. drcení, třídění, homogenizace a lisování (Malat'ák a Vaculík, 2008).

3.7.1 Fermentace tuhých komunálních odpadů

Stále větší růst populace má za následek neustále se zvyšující potřebu co nejefektivněji zhodnotit i tuhé komunální odpady. Fermentační technologie je právě jednou z možností zpracování tohoto odpadu (Zhang a Wang, 2013).

Jedna ze zemí, která již v minulosti zažila kritický stav v souvislosti se skládkováním tuhého komunálního odpadu - TKO, bylo USA. Produkce odpadů neustále narůstala a projektované kapacity skládek neustále klesaly. Byl zde řešen problém, jak TKO zpracovat a tím ho eliminovat. Ve snížení objemu TKO hraje značnou roli recyklační proces. Ovšem ani

to neumožňuje odstranit více jak 30 % z celkového množství odpadu v podobě recyklovatelných surovin. Anaerobní technologie se tedy nabízí jako jedna z možností ekologicky zpracovávat biologicky rozložitelnou frakci z celkového TKO (Malat'ák a Vaculík, 2008).

Velmi úspěšnou metodou pro zpracování TKO je systémová analýza biomethanizace odpadu v USA, která je modelována tak, že samotný proces rozděluje do několika podprocesů (Malat'ák a Vaculík, 2008):

1. Předúprava odpadů;
2. anaerobní fermentace;
3. čištění plynu;
4. zpracování tuhých zbytků.

1. Předúprava odpadů

Tento proces má za úkol co nejvhodněji upravit biologicky rozložitelné složky a odstranit složky, které jsou nevhodné a rušivé pro zpracování v reaktoru. Jednotlivé postupy, které tento proces zahrnují, jsou (Malat'ák a Vaculík, 2008):

- a) Drcení;
- b) magnetická separace;
- c) diskový třídíč;
- d) balistický třídíč;
- e) bubnový třídíč.

Vstupní proudy do přepravy TKO jsou:

- TKO 500 t.den^{-1} + 51 t.den^{-1} vody pro bubnový třídíč.

Výstupy:

- Železný odpad 20 t.den^{-1} ;
- hliníkový odpad 3 t.den^{-1} ;
- plasty 21 t.den^{-1} ;
- minerální odpad na skládku 64 t.den^{-1} ;
- vstupní odpad pro biotechnologii 443 t.den^{-1} .

2. Biomethanizace

Biomethanizace je řešena jako systém s recyklem hlavně vody potřebné pro úspěšný průběh procesu a s recyklem části nerozpustných látek. Objem recyklu lze měnit podle potřeb optimalizace procesu ($1400-2300 \text{ t.den}^{-1}$). Vlastní digesce požaduje při 21 denním zdržení kvasný prostor cca 38 000 až 55 000 m^3 pro vstupní množství 443 t.den^{-1} . V tomto procesu je 168 t.den^{-1} substrátu přeměněno na bioplyn a odpadá 215 t.den^{-1} filtračního koláče a 60 t.den^{-1} přebytkového filtrátu (obsah celkových tuhých látek 2 %) (Malat'ák a Vaculík, 2008).

3. Čištění plynu

Pro model bylo použito jak adsorpční čištění na zeolitech (PSA), tak membránová permeace s produkcí náhradního zemního plynu (95 % CH_4) (SNG). Při tomto procesu je 90 % ze získaného metanu převedeno do formy SNG, ostatní je jako nízkotlaký permeát spálen. Zeolitový proces je dražší než membrány, avšak poskytuje vyšší výtěžky metanu (nad 96 %) a vyšší čistotu SNG (nad 98 % CH_4). Současně lze produkovat tržně uplatnitelný technický CO_2 .

4. Zpracování tuhých odpadů

Samotný odpad z anaerobní digesce může být zpracován několika způsoby. Musí být však odvodněn na obsah vody 40-50 %. Způsoby jsou následující:

- Spalování;
- zplynování;
- skládkování;
- kompostování.

3.8 Systémy sběru separovaného biologicky rozložitelného komunálního odpadu

Při výběru vhodnosti daného systému sběru je nutné zjistit několik klíčových kritérií. Velmi důležitým kritériem je přítomnost oprávněného zpracovatele BRKO v dané lokalitě a to, zda a s jakými druhy BRKO je oprávněn nakládat. Pokud se tento zpracovatel chce

podílet na odběru dalších druhů odpadů, jako jsou např. odpady z kuchyní, pohostinství a domácností, musí splňovat další podmínky na speciální hygienickou úpravu, které ukládá Nařízení Evropského Parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002, kterým se stanovují hygienická pravidla týkající se vedlejších živočišných produktů. Dalšími faktory, které rozhodují o zvolených systémech sběru, jsou zejména finanční možnosti obcí, kultivovanost občanů při dosavadním třídění využitelných složek a úroveň nakládání s odpady v obci. Oddělený sběr bioodpadu vyžaduje následující (Hora, 2005):

- Co nejširší zapojení občanů obce na třídění, které je podmíněno intenzivní osvětou obyvatelstva;
- zvážení místních podmínek sběru (sociální struktura obyvatelstva, typ zástavby);
- znalost množství a míst produkce bioodpadu na území města
- zkušební zavedení odděleného sběru;
- provedení pravidelného hodnocení účinnosti a kvality sběru a jeho optimalizaci;
- provádění analýz kontaminace sebraného bioodpadu;
- zkoumání cest odbytu kompostu;
- analýza nákladů sběru.

Z organizačního hlediska existují následující způsoby sběru bioodpadu (Hora, 2005):

1. Sběrné dvory

Sběrné dvory se nejčastěji používají pro sběr odpadu ze zeleně. Ve sběrném je odpad sbírán donáškovým způsobem do velkoobjemových kontejnerů a poté svážen k dalšímu zpracování nebo přinášen přímo do zpracoven (kompostárny, bioplynové stanice). Problém donáškového způsobu přímo do sběrných dvorů či do zpracoven je často ve velké docházkové vzdálenosti a proto se zakládají tzv. stálá sběrná místa, která jsou oplocená, vybavená kontejnery a označená.

2. Donáškový způsob sběru

Tento způsob sběru je nejčastěji využíván ke sběru kuchyňského bioodpadu z domácností a odpadu ze zeleně do nádob, které jsou umístěné na veřejném prostranství. Sběr je realizován pomocí nádob o objemu 60 – 240 litrů a tyto jsou svázeny jednou za 1 – 2

týdny. (Hora, 2005). Nádoby jsou buď rozmístovány plošně podle předem vypracované mapy, nebo cíleně např. na základě žádostí od obyvatel (Hora, 2005).

3. Způsob odvozový

Je určen zejména pro bioodpad z domácností. Provádí se prostřednictvím sběrných nádob menších objemů (120 nebo 240 litrů) přistavených v blízkosti obytných objektů. Je vhodný pro obě skupiny BRKO (odpady ze zahrad i kuchyní). Je to způsob, při kterém se dosahuje nejvyšší účinnosti sběru bioodpadu, ale také je výrazně provozně nákladnější než donáškový sběr. Je zapotřebí provádět odděleně sběr velko-objemného zahradního bioodpadu (např. větve), a to sezónně jaro – podzim (Hora, 2005).

3.9 Anaerobní fermentace vlhkých organických materiálů

Anaerobní fermentace vlhkých organických materiálů se systémem jímáním bioplynu patří k nízkopotenciálním energetickým zdrojům, čímž přispívá k zásadnímu omezení plyných emisí z odpadů organického původu a následnému využití zachyceného plynu k energetickým účelům. Tato technologie zpracování odpadů a jejich vedlejších produktů na bioplyn a fermentovaný substrát, který se využívá v širokém pojetí k hnojařským účelům a jeho následná aplikace na degradovanou půdu a tím zlepšující účinky životního prostředí, má obrovský význam. Při zpracování materiálů, které jsou považovány jeho „původcem“ za odpad, je třeba dodržovat závazná legislativní ustanovení, kterým je zejména zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, ve znění pozdějších předpisů a všech prováděcích vyhlášek MŽP k tomuto zákonu se poutajících a jejich pozdějších inovací. Pokud je jeden z výsledků procesu fermentace, mezi které se řadí i fermentovaný substrát, uváděn na trh, je potřeba se řídit ustanoveními zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, ve znění zákona č. 308/2002 Sb. a všech těchto souvisejících prováděcích vyhlášek MZe (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

Před samotným záměrem zahájení projektových prací pro bioplynovou stanici je potřeba poradit se s místně příslušnými orgány, kterými jsou zejména místně příslušný stavební úřad a další dotčené úřady a instituce. Konzultace s místně příslušnými orgány, zjištění podmínek, zda se v místě výstavby vyplatí realizace bioplynové stanice a zmapování okolí, je více než účelným krokem (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

Anaerobní fermentace organických materiálů, které pocházejí ze zemědělství, komunálního hospodářství, lesnictví a venkovské krajiny, se využívá ze tří hlavních důvodů (Pastorek, Kára, Jevič, 2004):

1) Produkce kvalitních organických hnojiv:

Tohoto využívají zejména zemědělské podniky. Pokud se v podniku zpracovává vlastní organický materiál a výsledný produkt po zpracování, tedy vyprodukované vlastní hnojivo, využívají v daném podniku, tedy neuvádějí ho na trh, nemusí se řídit legislativním ustanovením zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů ohledně povinnosti registrovat hnojiva uváděná na trh. Na rozdíl od těchto podniků, pokud podnikatel shromažďuje odpady a pomocí anaerobní fermentace je dále zpracovává a hnojivo prodává, musí se samozřejmě řídit tímto zákonem.

2) Získání dalšího doplňkového zdroje energie

Nejvýhodnější varianta, jak nakládat se vzniklým bioplynem, je jeho využití pro vlastní potřeby. Existuje několik variant, jak vzniklého bioplynu využít:

- Ohřev teplé užitkové vody;
- ohřev teplé užitkové vody a s tím spojená výroba elektrické energie pomocí kogenerační jednotky (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

Energetický regulační úřad svým rozhodnutím stanovuje cenu za elektřinu vyráběnou spalováním bioplynu v bioplynových stanicích. Energetický regulační úřad dále stanovuje výkupní cenu a tzv. zelený bonus (pro kategorie bioplynových stanic AF, AF1 a AF2). **Výkupní cena** pro rok 2014 činí **3,04 – 4,12 Kč . kWh⁻¹** (režim tzv. zelených bonusů stanovuje 1,98 - 3,06 Kč . kWh⁻¹) (Pastorek, Kára, Jevič, 2004; Skupina ČEZ, 2015).

3) Zlepšení pracovního a životního prostředí

Tlak na zlepšení především životního prostředí má nyní velký vliv na stále se rozšiřující a častěji stavěné bioplynové stanice a další zpracovny bioodpadu, neboť to řeší problém se znečišťováním životního prostředí a eliminaci negativních vlivů především ze skládkování odpadů (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

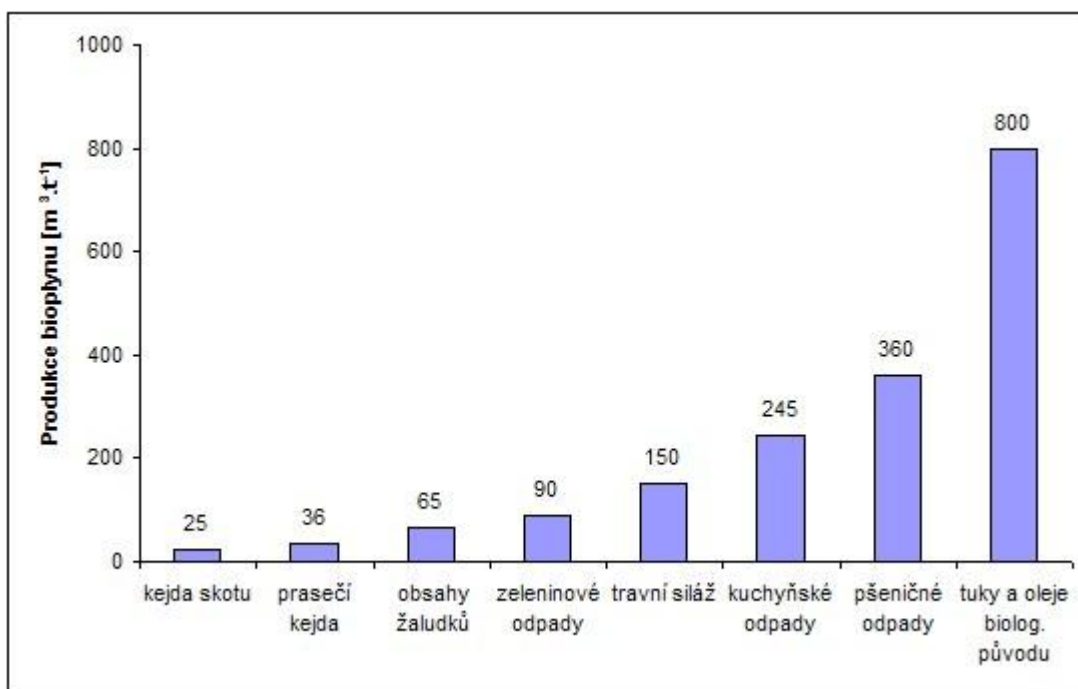
3.10 Technologie a technika využívaná při fermentaci

3.10.1 Technologie mokrého a suchého bioplynování

V současnosti je hlavním cílem anaerobního zpracování odpadu získat bioplyn a následně jej využít pro produkci energie. V minulosti tomu však takto nebylo. Prvotním významem fermentace byla především stabilizace biologicky rozložitelného odpadu (Malat'ák a Vaculík, 2008).

Jednotlivé technologie anaerobní fermentace odpadu (substrátu) se rozdělují na dvě hlavní skupiny dle podílu sušiny ve vsázce na mokré a suché. Suché technologie pracují se sušinou substrátu většinou v rozmezí 30-35 %, u mokré technologie se pracuje se sušinou substrátu v rozmezí cca 10 %. Pro představu je na obrázku 4 znázorněna výtěžnost bioplynu různých substrátů. Hodnoty jsou převzaty z laboratorního měření (Malat'ák a Vaculík, 2008).

Obrázek 4: výtěžnost bioplynu v $m^3 \cdot t^{-1}$ různých substrátů



Zdroj: Biom, 2009

3.10.2 Mokrý proces anaerobní fermentace

Docílení optimální sušiny fermentovaného substrátu je dosahováno recyklací procesní tekutiny z odvodnění již zfermentovaného substrátu. Recyklovaná tekutina má významné pufrací účinky (schopnost odolávat změnám při okyselování či alkalizování fermentovaného substrátu) (Zauner, 1985) a je zároveň očkovacím médiem. Anaerobní fermentace tekutého substrátu je náročná na vyhřívání, čerpání a odvodňování a vyžaduje objemné biofermentory. Pomalá reprodukovatelnost anaerobních mikroorganismů je příčinou možného nízkého zatížení fermentoru, neboť v něm musí substrát setrávat zpravidla déle než 15 dní (Gujer, Zehnder, 1983). Problémem bývá i záběh bioplynové stanice, protože k vytvoření optimálního poměru mezi počtem hydrolytických, acidogenních, acetogenních a metanogenních bakterií je zapotřebí více času (Mackie, Bryant, 1981). Je možné využít dvoufázový systém „D.U.T.“, používaný v Singenu v Německu, kde probíhá proces fermentace fytomasy s bioodpadem a tekutými organickými odpady (Malat'ák a Vaculík, 2008).

Vzniklý bioplyn z tohoto systému je možné použít k nahrazení energií používaných ke kompostování za přístupu vzduchu, kde na 1 t bioodpadu je třeba 50-100 kWh. Při výrobě bioplynu vznikají vysoké teploty a ty zajišťují zdravotní nezávadnost substrátu. Kombinace aerobního a anaerobního kompostování je možnou cestou od odpadového k bezodpadovému hospodářství (Malat'ák a Vaculík, 2008).

3.10.3 Suchý proces anaerobní fermentace

Suché biozplynování využívá substrát se sušinou v rozmezí 35-40 %. Jsou zde zastoupeny dva procesy: mezofilní probíhající za teploty 35-40 °C, nebo termofilní za teploty 55-60 °C. Termofilní proces má nespornou výhodu především v hygienizaci, kterou lze využít pouze při zpracování hygienicky závadného materiálu. Z většiny zdrojů vyplývá, že v průběhu anaerobní digesce fytomasy nejsou podstatné rozdíly ve výsledném výtěžku metanu mezi mezofilním a termofilním procesem a z důvodů nižších ztrát tepla se jako lepší řešení pro tento účel jeví procesy mezofilní (Malat'ák a Vaculík, 2008).

Existuje mnoho kontinuálních i diskontinuálních technologických systémů, které lze použít pro biozplynování tuhých biodegradabilních odpadů. Jedním z nejjednodušších je tzv. Bach-systém (diskontinuální vsázkový systém). Tento systém byl během 60. let obohacen různými modifikacemi. Jeho nejčastější variantou je použití tří vsázkových biofermentorů,

keré jsou střídavě vyprazdňovány a plněny v kombinaci s plynojemem integrovaným v jednom objektu (Sun a kol., 1987). Používané diskontinuální fermentory pro zpracování slamnatého hnoje navrhl sám Žilka (Žilka, 1979). Základem je drátěný koš o průměru 6 m, do kterého se sype chlévská mrva. Na tento koš se po naplnění pomocí jeřábu nasadí tepelně izolovaný zvon. Zvon je opatřen zařízením pro odvod bioplynu do plynojemu (Malat'ák a Vaculík, 2008).

Kontinuální systémy, které pracují se sušinou substrátu přibližně 30 %, vznikají na základě návrhu Wong-Chong (WONG-CHONG, 1975). V tomto systému prochází substrát kontinuálně fermentorem a část zfermentovaného substrátu se vrací zpět na začátek procesu. Zde je promíchávána s čerstvým substrátem. Hlavní zaměření vývoje těchto systémů bylo směřováno do oblasti anaerobní digesce bioodpadu ze separovaného sběru komunálního odpadu (Wiemer, Kern, Mayer, 1997).

Dalším je systém DRANCO, neboli (Drug Anaerobic Composting), který vznikl v Belgii a používá biofermentor válcového tvaru vyprazdňovaný pomocí šnekového mechanismu a externího čerpadla sloužícího k recirkulaci tekuté části substrátu (Baere, Verdonck, Verstraete, 1986). Dalšími systémy jsou např. švýcarský KOMPOSTGAS (Wellinger, Wyder, Metzler, 1992) a francouzský WALORGA. KOMPOSTGAS používá ležatý válec, ve kterém se tuhá část substrátu pohybuje v horizontální ose a je promíchávána s recirkulující procesní tekutinou (Edelmann a Engeli, 1996). Francouzský systém využívá bioplyn k promíchávání části obsahu fermentoru.

Jednostupňové zařízení, které se velmi osvědčilo pro anaerobní digesci fytomasy, je „fermentační kanál“ (GÄRKANAL). Je to systém, který používá stacionární procesní tekutinu, uvnitř které jsou perforované nádoby naplněné tuhým substrátem. Nádoby se zde pomalu pohybují. Tento systém má výhodu v tom, že se v procesní tekutině netvoří plovoucí vrstva ani sediment (Baserga a Egger, 1995).

Dvoustupňové procesy fungují tak, že v prvním stupni je realizována hydrolýza a acidogeneze a ve druhém stupni se zpracovává procesní tekutina s meziprodukty rozkladu. Ve druhém stupni probíhá acetogeneze a metanogeneze. Po ukončení posledního stupně – metanogeneze recirkuluje procesní tekutina zpět na začátek procesu a je mísená s čerstvým tuhým substrátem (Malat'ák a Vaculík, 2008).

4 Výchozí podmínky podniku

4.1 Bioplynová stanice Jarošovice

Bioplynová stanice Jarošovice je od roku 2014 novým provozem pro zpracování odpadů. Tato bioplynová stanice funguje na bázi mokré fermentace. Technologii zde zastupuje dvoustupňový fermentor, nazývaný taktéž „kruh v kruhu“. V tomto fermentoru probíhá termofilní fermentace o teplotě 45 °C. Bioplynová stanice je v úzkém kontaktu s Kompostárnou Jarošovice, která se nachází ve stejném areálu. Tato spolupráce s sebou přináší spoustu výhod. Kompostárna Jarošovice například sváží gastroodpad ze širokého okolí ke zpracování v jejím provozu. K hygienizaci tohoto odpadu zde slouží fermentor EWA, blíže popsany níže. Surovinová základka samotné bioplynové stanice je v poměru 60 : 40, kde 60 % zastupuje kejda a 40 % biomasa. Z těchto 40 % biomasy je 70 % objemu složeno z kukuřičné siláže a 30 % z travní senáže.

Bioplynu, základního kamene každé bioplynové stanice, se zde vytěží okolo 6500m³ za den a zastoupení jeho hlavní složky – metanu – v něm tvoří průměrně 60%. Tento vzniklý bioplyn přetváří v elektrickou energii kogenerační jednotka MWM Caterpillar. MWM Caterpillar je schopná vyrobit měsíčně okolo 400 MWh.

V diplomové práci je řešen zejména dopad nahrazení části kukuřičné siláže gastroodpadem a vliv na výslednou koncentraci metanu v bioplynu a s tím spojenou výkonnost KVET – tedy kogenerační jednotky. Dále je zde rozpracována hygienizační linka pro zpracování gastroodpadu a návrh jejího využití v provozu Jarošovice, kde by touto linkou byl nahrazen fermentor EWA, který je ze zkušeností v praxi nespolehlivým.

Možnosti spolupráce s provozovnou Jarošovice

Provozovna Jarošovice nabízí tyto služby:

- Likvidace biologicky rozložitelného materiálu z obce: listí, tráva, větve, uliční smetky, hřbitovní odpad;
- zpracování odpadů a gastroodpadů ze závodních a školních jídelen, veřejného stravování, výroben lahůdek, restaurací, atd.;

- likvidace kalů z čistírny odpadních vod;
- možnost výroby energetické štěpky z biomasy. Výroba energetické štěpky vlastními drtiči z cizích odpadů – větve, odpadové dřevo, apod.;
- pařezová fréza – vyfrézování pařezů, kořenů po těžbě a údržbě zeleně, atd.;
- sadařské a údržbářské práce - pomoc při údržbě sadů a zahrad;
- zahradnické práce a zahradnický materiál - komplexní zahradnické služby s možností návrhů zahrad, odborné kácení stromů, apod.;
- doprava materiálů - doprava nákladním autem i kamionem, kontejnerová doprava;
- možnost sítování sypkých materiálů - kámen, kompost, hlína, zemina, apod.

4.1.1 Popis technologického zařízení

Místnost kogenerace

V této místnosti je umístěný motor kogenerace MWM Catterpillar. Místnost je osazena nutnou vzduchotechnikou a odvětráním dle požadavků výrobce kogenerační jednotky.

Elektro rozvodna NN:

V místnosti elektro rozvodny jsou umístěny řídicí, ovládací a kontrolní skříně, které se starají o plynulý chod BPS.

Sklad motorových olejů

Zde je skladován jak čerstvý olej, tak i vyjetý použitý motorový olej v samostatných dvouplášťových nádržích. Tyto nádrže jsou propojeny s klikovou skříní motoru, čímž je možné zajistit automatické doplňování, ale i kompletní výměnu motorového oleje.

Sklad plynu

V tomto prostoru je umístěn plynojem pro jímání bioplynu. Plynojem slouží jako vyrovnávací prvek mezi výrobou bioplynu a jeho zpracováním. Je konstruován jako nízkotlaký. Jeho velikost je volena tak, aby jeho objem stačil ještě minimálně na dvě hodiny plného provozu plynového motoru. Je opatřen jednou přívodní a jednou výstupní plynovou přírubou.

Koncové sklady

Jsou využity 2 stávající nadzemní ocelové jímky na kejdu. Užitený obsah jímek je 2 krát 1 250 m³. Výstupní množství digestátu je cca 5 700 t, celková kapacita jímek je 160 dní, tj. 5,3 měsíce.

Fermentory a servisní sklep

Fermentory jsou tvořeny železobetonovými kruhovými jímkami se zastropením železobetonovou deskou. Jímky jsou železobetonové, kruhového tvaru, o průměru 18 m a výšce 6 m. Celkový vnitřní obsah fermentorů je 2 x 1526 m³, tj. 3 052 m³. Prostor mezi fermentory a koncovým skladem je využit jako servisní sklep (strojovna čerpadel), ve kterém budou umístěna čerpadla a propojovací potrubí mezi fermentory. Vstup do servisního sklepa je z úrovně terénu po ocelovém schodišti.

Jímky fermentorů jsou opatřeny foliovou izolací a detekčním systémem průsaku. Nad terénem jsou jímky izolované tepelnou izolací. Sklep mezi fermentory je proveden podobně jako fermentory. Nádrže fermentorů jsou zapuštěny cca 2 m pod stávající úroveň terénu.

4.1.2 Popis technologie - dopravní cesty pro hygienizovaný materiál

Zbytky potravin a kuchyňské zbytky jsou hygienizovány ve stávající hygienizační jednotce – fermentoru EWA. Popis fermentoru EWA byl již použit a převzat z mé bakalářské práce pro potřeby návaznosti a řešení daných problémů v této práci. Dále je v této kapitole popsána hygienizační linka pro hygienizaci zejména gastroodpadů.

4.1.2.1 Fermentor EWA

Aerobní fermentor EWA (Ecological Waste Apparatus) na obrázku 5 slouží ke zpracování, přeměně a hygienizaci biologicky rozložitelných odpadů na výrobek ve formě kompostu metodou rychlé intenzivní automaticky řízené aerobní termofilní fermentace (Fermentor EWA, 2013; Kompostárna Jarošovice, 2009).

Obrázek 5: Aerobní box EWA

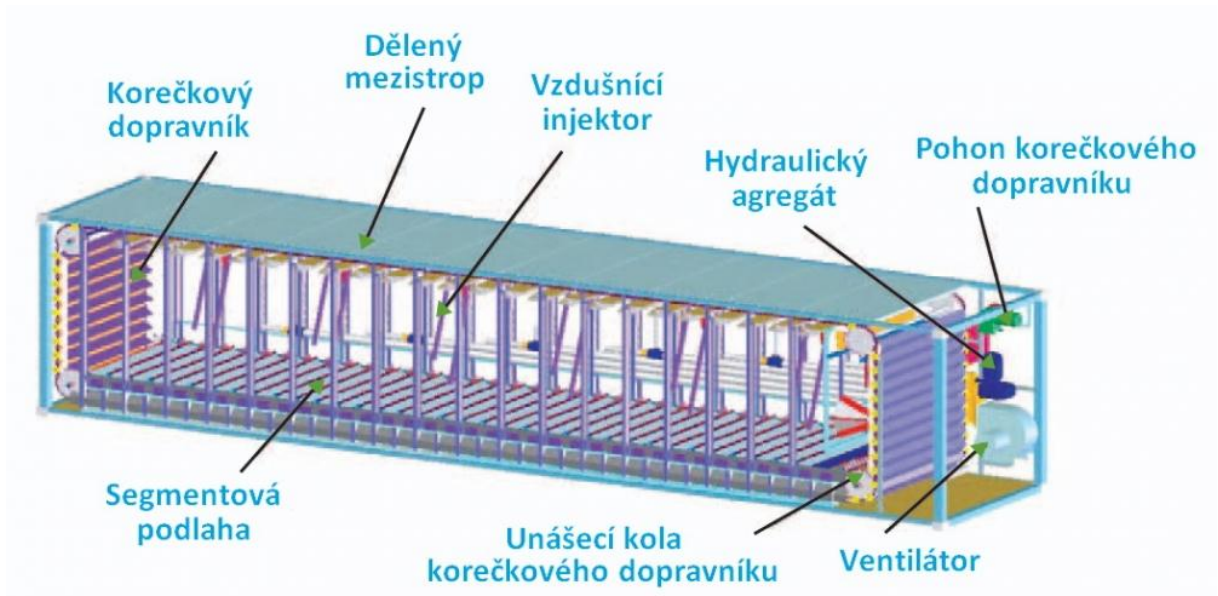


Zdroj: Fermentor EWA, 2013

Princip zpracování

Směs biologicky rozložitelných odpadů a strukturální (nasávkavé) biomasy se naskladní do pracovní části fermentoru, jeho schéma je možné vidět na obrázku 6. Optimální vlhkost zakládky (50 – 60 %) a dostupnost vzdušného kyslíku aktivuje metabolický aparát aerobních bakterií. Aerací a překopáváním uvnitř fermentoru dochází k provzdušňování zakládky. Vysoká úroveň metabolické aktivity a současné množení bakterií se navenek projevuje zvyšováním teploty zakládky. Za stejných podmínek probíhá v celém profilu zakládky intenzivní termofilní aerobní fermentace, čímž se urychlují kompostovací procesy. Složité organické látky se rozkládají a přeměňují se v jiné. Díky optimálním podmínkám probíhá ve fermentoru bouřlivá biologická oxidace. Teplota v zakládce se zvyšuje nad 70 °C a dochází k postupné denaturaci bílkovin. Vysoké teploty v zakládce po definovanou dobu způsobují inaktivaci přítomných mikrobů a patogenních organismů (viry, bakterie, kvasinky, plísně, prvoci, červi). Tento proces se nazývá aerobní termofilní stabilizace a hygienizace zakládky. Působením vysoké teploty se snižuje množství mikroorganismů a semena plevelů ztrácejí svou klíčivost. Tato fáze trvá minimálně 48 hodin od založení zakládky. Výsledkem je kompost k agrotechnickému využití o vlhkosti 40 – 45 %, který lze ihned expedovat nebo nechat dozrát na vhodné ploše (Fermentor EWA, 2013).

Obrázek. 6: Schéma fermentoru EWA



Zdroj: Fermentor EWA, 2013

Pokud je cílem výroba kompostu k energetickým účelům – biopaliva, je výhodné snížit obsah vody v zakládce na cca 35 %. Ve druhé fázi zpracování se proto spouští režim biologického dosušování. Jeho podstata spočívá v tom, že se intenzivní, ale řízenou aerací zakládka z fermentoru vytěsňuje vodní pára. Přitom je důležité, aby se teplota zakládky udržela nad 50 °C. V případě vysoké vlhkosti atmosférického vzduchu je výhodné snížit vlhkost rekuperačním prvkem, řešeného v rámci vzduchotechniky technologie (Fermentor EWA, 2013).

Počet a doba trvání provzdušňování se koriguje v závislosti na teplotě vnějšího vzduchu a aktuální teplotě zakládky. To je důležité, aby nedošlo k nežádoucímu podchlazení zakládky. Tato fáze trvá cca 48 hodin v závislosti na atmosférických podmínkách a složení zakládky. Na zakládku působíme počtem, délkou a časovým nástupem provzdušňování a počtem a časovým nástupem překopávání. Pracovní prostor je vidět na obrázku 7. Vysušování probíhá tak, že voda obsažená v zakládce se mění v páru. Odpařování napomáhá teplota zakládky, která je vyšší než teplota okolního prostředí. Vlhký vzduch se řízenou aerací zakládky dostává mimo zakládku a odchází do atmosféry (Fermentor EWA, 2013).

Obrázek.7: Pracovní prostor fermentoru EWA



Zdroj: Fermentor EWA, 2013

Výsledkem procesu řízené aerobní termofilní fermentace mohou být tyto certifikované výrobky:

- Kompost k agrotechnickému využití (mulčkompost) (Fermentor EWA, 2013);
- kompost k energetickému využití (biopalivo) (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

Kompost k agrotechnickému využití (mulčkompost)

Kompost k agrotechnickému užití se vyrábí procesem řízené aerobní fermentace. Jedná se o směs biologicky rozložitelných odpadů a odpadní biomasy z lesnictví a zemědělství. Používá se k povrchové aplikaci na půdu, při zakládání a údržbě zeleně. Převážně se pak používá k tvorbě mulčovacích vrstev kolem výsadeb květin, keřů a dřevin. Mulčovací vrstva omezuje výpar z povrchu půdy, omezuje růst plevelů a tlumí teplotní rozdíly.

Tento typ kompostu může také sloužit k tvorbě rekultivačních substrátů, v takovém případě se mísí se zeminami, aby se vylepšily jejich fyzikální vlastnosti.

Kompost k energetickému využití (biopalivo)

Kompost k energetickému využití je fermentovaná směs, vyrobená podle podnikové normy, v souladu s vyhláškou č. 5/2007 Sb., složená z BRO (viz katalog bioodpadu vyhlášky č. 341/2008 Sb.) (Fermentor EWA, 2013; Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

V podnikové normě výrobce stanoví výrobní postup, rozsah použitých vstupů, maximální hodnoty sledovaných látek, jakostní znaky a doporučené způsoby využití. Palivo je určené ke spalování v kotlích na tuhá paliva. Je vhodné pro kotelní systémy spalující biomasu, ale také pro kotle uhelné. Palivo je možné využívat v kotlích roštových, ale mimořádně dobrých výsledků se dosahuje v kotlích s fluidní vrstvou. Spalování může probíhat samostatně nebo ve směsi s fosilními palivy. Vyrobené palivo se dodává obvykle ve formě sypané (Fermentor EWA, 2013).

Kompost k energetickému využití má drobtovitou, hrudkovitou až vláknitou strukturu, barva je hnědá až černohnědá. Ve směsi jsou patrné vstupní složky biomasy – části rostlin, kůry, větvi atd. Maximální délka jednotlivých kousků biomasy je 50 x 50 x 50 mm, velmi tenké větvičky mohou být dlouhé až 100 mm, ojediněle až 200 mm. (Fermentor EWA, 2013)

Provoz fermentoru EWA a řízení procesu

Pracovní cyklus aerobního fermentoru řídí průmyslový počítač. Jeden pracovní cyklus sestává ze tří nebo čtyř časově oddělených fází, podle požadovaného finálního výrobku. Z pohledu obsluhy může jít o režim ruční, automatický a poloautomatický. Rozdíl mezi režimy je v potřebě fyzické přítomnosti pracovníka obsluhy. Samotná strojovna je vidět na obrázku 8.

Obrázek 8: Strojovna fermentoru EWA



Zdroj: Fermentor EWA, 2013

V případě výroby mulčkompostu nedochází k biologickému dosušování a doba fermentace je 48 hodin. Může být také delší, v závislosti na aktuálních podmínkách a kvalitě vstupních surovin (Fermentor EWA, 2013).

Nejdůležitější fází je vlastní fermentace. Inteligentní řízení je založeno na základě kontinuálního zjišťování těchto veličin z pracovního prostoru fermentoru:

- Teplota zakládky v celém profilu;
- obsah kyslíku v odplyně.

Teplota zakládky se měří clonou speciálních teploměrů, které svým provedením odpovídají specifickému prostředí fermentoru. Vedle teploty zakládky se měří teplota vnějšího prostředí. Aktuální hodnoty se zaznamenávají a vyhodnocují průmyslovým počítačem. Řídící program spouští aeraci a překopávání při dosažení předem nastavených hodnot nebo mohou tyto funkce být spouštěny pracovníkem obsluhy při tzv. ručním režimu.

Obsah kyslíku a oxidu uhličitého je v atmosféře ve stálém vzájemném poměru. Při procesu biologické oxidace organických substrátů (aerobní fermentace – kompostování) se jejich vzájemný poměr mění. Obsah kyslíku klesá, protože je spotřebováván. Naproti tomu stoupá obsah oxidu uhličitého, který je konečným metabolitem aerobní oxidace uhlíkatých

substrátů (Krebsův cyklus). Přes vzdušnicí injektory, umístěné uvnitř pracovního prostoru fermentoru, probíhá nucená ventilace zakládky. Do zakládky se vhání čerstvý vzduch a současně je evakuován vzduch s obsahem vodní páry. Optimální provzdušňování zakládky je předpokladem pro průběh fermentace v aerobních podmínkách. V případě, že aerace nezabezpečí dostatečný přísun vzdušného kyslíku, je spuštěno překopání zakládky. Tím dojde k žádoucímu nakypření a převrstvení zakládky za současné výměny plynů v pracovním prostoru fermentoru. Po překopání je zakládka opět dostatečně porézní a kompostování probíhá v aerobním prostředí (Fermentor EWA, 2013).

Tabulka 4: Technická specifikace fermentorového boxu EWA

Rozměry:	délka:	12 192 mm
	šířka:	2 438 mm
	výška:	2 896 mm
Hmotnost prázdného fermentoru:		14 800 kg
Maximální hmotnost plného fermentoru:		32 000 kg
Objem pracovní části:		36 m ³
Hmotnost jedné základky:		10 - 17 t
Spotřeba el. energie na zpracování:	1 t kompostu	5 kWh
	1 t biopaliva	8 kWh
	Výhřevnost 1 kg biopaliva	cca 10 MJ

Zdroj: Fermentor EWA, 2013

4.1.3 Souhrn výchozích podmínek

Provozovna Jarošovice má velký potenciál, který její stávající zaměstnanci efektivně využívají a jsou pro ni kvalifikovanými odborníky. V poslední době se tento provoz zabývá zejména možností zpracování separovaně sbíraného gastroodpadu ze širokého okolí. Již v současné době se tento odpad dováží do provozu Kompostárny Jarošovice, kde se zpracovává v již zmiňovaném fermentoru EWA.

Návrhem pro tuto práci je dovybavení provozovny Jarošovice o novou hygienizační linku. Tato linka bude popsána níže v práci a podložena materiály z jiného provozu BPS, kde je již instalována. Tento provoz je srovnatelný s provozem Jarošovice. Fermentor EWA je podle odborného personálu bioplynové stanice Jarošovice nespolehlivý a je tedy na místě jej nahradit jinou technologií pro zpracování separovaně sbíraného gastroodpadu a popřípadě i tříděného komunálního odpadu.

5 Návrh řešení

5.1 Hygienizační linka

Samotná hygienizační linka slouží pro příjem, vyřízení a zhygienizování přijímaného odpadu. Konkrétně tato linka je dimenzována pro příjem až osmi tun odpadu za den, přičemž v samotném provozu Jarošovice se podle odhadů přijmou do kompostárny zhruba 4 tuny tohoto odpadu denně. Bioplynová stanice by mohla být schopna zpracovat kuchyňské zbytky spolu s ostatními surovinami a zhodnotit je tedy na bioplyn. Doposud je gastroodpad využit pouze jako část surovinové zakládky pro výrobu živinově poměrně kvalitního kompostu, ta se mimo jiné skládá především z nadrcených větví, pilin a listí. Výroba a produkce kompostu se v dnešní době provozu Jarošovice příliš nevyplácí, neboť není pro tento produkt významný odbyt a je dále použit především na vlastní pole. Proto je použití gastroodpadu pro zpracování v bioplynové stanici vnímáno jako dobrý posun a krok tím správným směrem.

Přivezený gastroodpad by bylo možné vysypávat přímo z barelů, ve kterých se shromažďuje a přepravuje, do shromažďovací nádrže. Barely se poté přesouvají do mycího zařízení – zde se za teploty 800°C s přidavkem antibakteriálního přípravku, hygienizují prázdné barely. Antibakteriální přípravek se nepoužívá syntetický, ale na přírodní bázi, aby bylo možné vodu, obohacenou o tuky, dále zpracovat a použít v BPS.

Když je nádrž na odpad plná, přesouvá se odpad pomocí šnekového podavače na kontrolní pás. Na kontrolním páse se manuálně kontroluje procházející odpad a odstraňují se nežádoucí příměsi, jako např.: masivní kosti, přístroje a obalový materiál. Gastroodpad, který je zbaven nežádoucích příměsí, pokračuje potrubím ke kladívkovému šrotovníku, který za pomoci 10kW výkonu nadrtí odpad na požadovanou velikost částic 1,2 mm. Materiál o požadované velikosti částic menší než 1,2 mm je vháněn do hygienizačních boxů, které zajistí jeho zahřátí na požadovanou teplotu 70°C po dobu jedné hodiny. Poté je možno tuto surovinu čerpat v přesných dávkách do BPS pomocí dálkově ovládaného čerpadla.

V případech instalace linky, jako je tato, se vychází z možností jednotlivých podniků. Nejdůležitějšími kritérii jsou samozřejmě požadavky investora a od nich se odvíjející cena. U linek tohoto typu, spadajících do kategorie malých linek, jsou náklady na provoz zanedbatelným prvkem a při realizaci se neřeší.

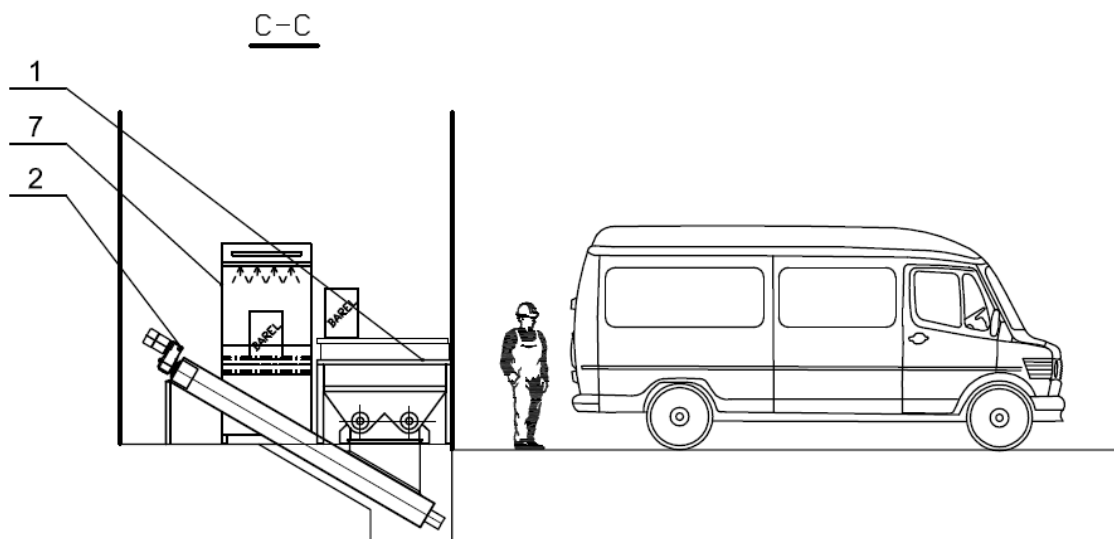
Na obrázcích 9, 10, 11 je možné vidět rozmístění jednotlivých součástí hygienizační linky. Tabulka 5 udává názvy jednotlivých součástí číselných odkazů na obrázcích.

Tabulka 5: Popis součástí hygienizační linky

Název	Popis
1	Příjmový žlab
2	Transportér šnekový žlabový
3	Transportér šnekový žlabový
4	Třídící pás
5	Šnekový dopravník plnicí
6	Drtící čerpadlo kladívkové
7	Mycí box
8	Obslužné plošiny

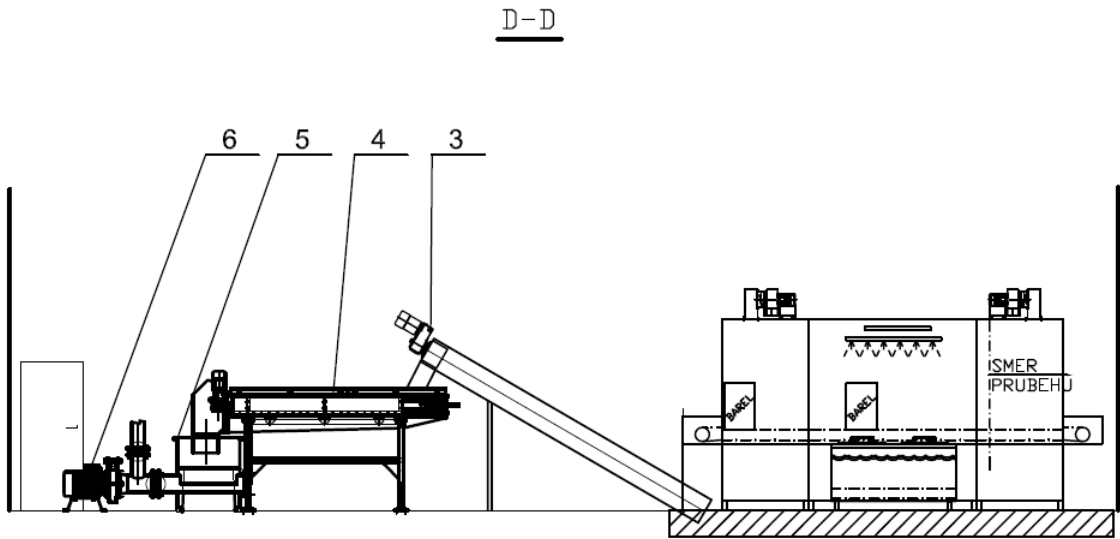
Zdroj: Coramexport s.r.o., 2008

Obrázek 9: Schéma hygienizační linky – příjem odpadu



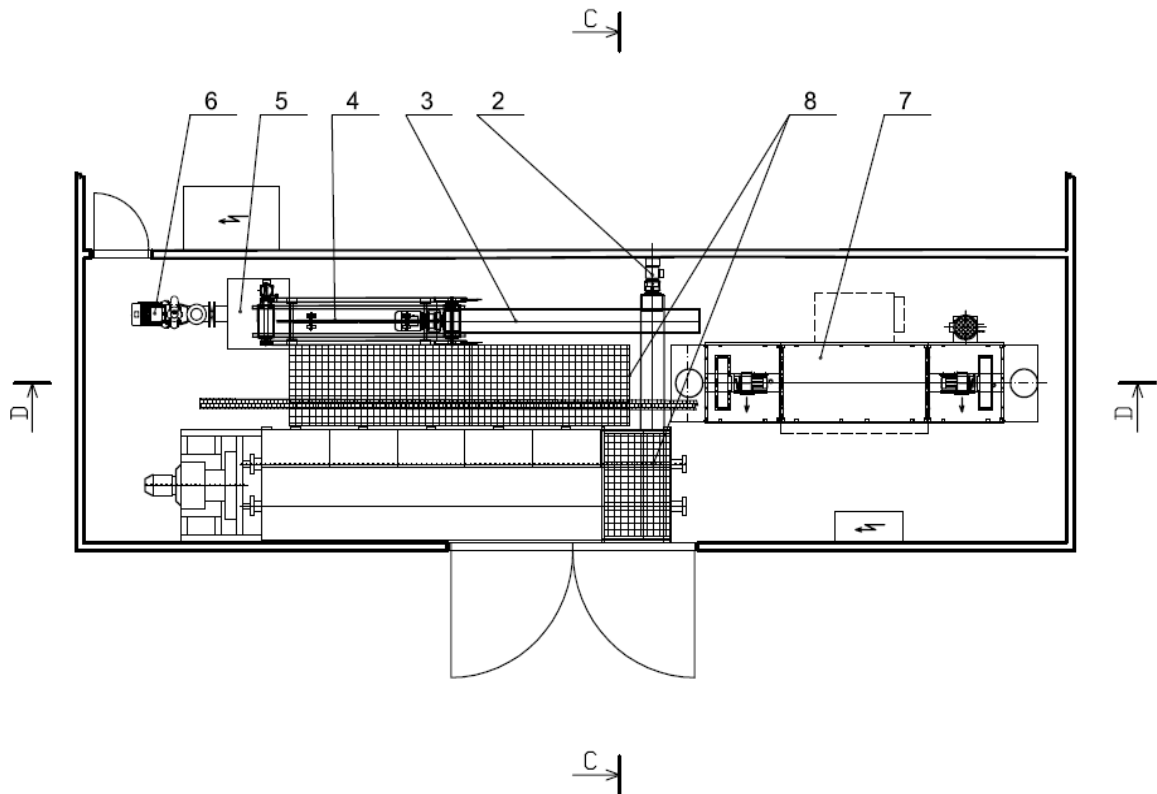
Zdroj: Coramexport s.r.o., 2008

Obrázek 10: Schéma hygienizační linky – boční pohled



Zdroj: Coramexport s.r.o., 2008

Obrázek 11: Schéma hygienizační linky – pohled shora



Zdroj: Coramexport s.r.o., 2008

Příjmový žlab 8m³:

Hlavním úkolem příjmového žlabu na obrázku 12 je zaručení plynulosti průběhu linky. Žlab na obrázku vyrovnává především nárazový příjem odpadu, linka totiž není uzpůsobena tomu, aby byla schopna zpracovat najednou velké nárazové množství.

Obrázek 12: Příjmový žlab



Zdroj: Vlastní

Šnekové dopravníky:

Šnekové dopravníky jsou uzpůsobeny k tomu, aby kontinuálně přiváděly gastroodpad z příjmového žlabu na třídící pás. Volba šnekového dopravníku je zde volena proto, aby byl zaručený bezproblémový chod a aby byl odpad již z části mělněn na menší částice. Plnicí šnekový dopravník zajišťuje plnění drtícího čerpadla.

Třídící pás:

Jak je vidět na obrázku 13, tak třídící pás zajišťuje obsluhu, která vizuálně kontroluje přijímaný odpad, aby mohla co nejefektivněji odhalit nežádoucí příměsi v odpadu. Těmito příměsemi jsou nejčastěji: příbory, síťky na ovoce, mikrotenové sáčky, velké kosti. Pás je dostatečně široký a dlouhý na to, aby obsluha stíhala jeho kontrolu. V případě nouze je v dosahu vypínací tlačítko k zastavení chodu linky. Rovnoměrné rozložení odpadu po povrchu třídícího pásu zajišťuje již zmiňovaný šnekový dopravník.

Obrázek 13: Třídící pás



Zdroj: Vlastní

Drtící čerpadlo:

Úkolem drtícího čerpadla je dosáhnout požadované velikosti částic odpadu pro další zpracování. Maximální velikost částic je 1,2 mm. Drtící čerpadlo disponuje výkonem 10 kW.

2x zásobní nádrže na nadrcený materiál

Tyto nádrže na obrázku 14 jsou plněny drtícím čerpadlem a v nich se ohřívá nadrcený odpad na požadovanou teplotu 70 °C po dobu jedné hodiny. Každé plnění musí být zaprotokolováno, tedy musí být zaznamenán čas, kdy nádrže dosáhly teploty 70 °C a od té chvíle určená jedna hodina ke zhygienizování. Tyto nádrže tedy mohou sloužit místo již zmiňovaného fermentoru EWA, který je používán doposud a nahradit jej. Odpad je nadále surovinou a je možné jej použít do BPS.

Obrázek 14: Zásobní nádrže



Zdroj: Vlastní

Myčka sudů:

Tento nedílný prvek linky na obrázku 15 je zkonstruován tak, aby náklady na jeho provoz byly co nejmenší a v celkovém provozu tím pádem zanedbatelné. Množství vody, které je u myčky potřebné, je cca 1m³ na 300 umytých sudů.

Obrázek 15: Myčka sudů



Zdroj: Vlastní

5.2 Měření

V rámci diplomové práce probíhalo čtyřměsíční měření koncentrace jednotlivých plynů v bioplynu. Pro konkrétní potřeby je v práci uváděn výsledek měření procentuální koncentrace metanu CH_4 v závislosti na čase a vliv jeho zastoupení na výkon kogenerační jednotky. Následně pak probíhalo porovnání s měřením v jiném podniku, který již gastroodpad zpracovává. 5 % z kukuřičné siláže zde bylo nahrazeno právě hygienizovaným gastroodpadem. V průměru se množství gastroodpadu pohybovalo okolo jedné tuny a ostatní složky vstupních surovin měly konstantní hodnoty.

5.2.1 Měřicí zařízení BC20:

Procentuální zastoupení jednotlivých plynů v bioplynu bylo měřeno pomocí přístroje BC20 – analyzátor bioplynu, na obrázku 16.

Jedná se o stacionární měřicí přístroj, který určuje koncentrace jednotlivých plynů, zastoupených v produkovaném bioplynu. Těmito plyny jsou: metan, kysličník uhličitý, kyslík a sirovodík.

Měřicí zařízení BC20 používá k měření koncentrace metanu a oxidu uhličitého čidlo tepelné vodivosti. Toto čidlo na základě tepelné vodivosti, kterou mají oba plyny rozdílnou, určuje směšovací poměr. K měření vzduchu – tedy kyslíku, který se do bioplynu přidává pro jeho odsíření, slouží kyslíkové čidlo. Vzduch by mohl zkreslit výsledné hodnoty a je tedy zajištěno jeho zohlednění odpovídajícím způsobem.

Další plyny, které se měří, jsou zachycovány pomocí elektrochemických čidel. Čidla pracují na podobném principu jako baterie, avšak s rozdílem, že energie je vyráběna pouze za předpokladu, že je přítomen požadovaný plyn.

BC20 je vybaven dvěma vzájemně nezávislými měřicími větvemi. Jedna větev slouží pro kontinuální měření, druhá pro měření periodické.

Plyny kontinuálně měřené jsou:

- Metan (CH_4);
- kyslík (O_2);
- oxid uhličitý (CO_2).

Periodicky měřené plyny:

- Sirovodík (H_2S);
- amoniak (NH_3);
- vodík (H_2)
- kysličník uhelnatý (CO).

Obrázek 16: Analyzátor bioplynu - BC20



Zdroj: Chemec, 2015

Měřicí větev kontinuální přepíná při samotném měření v taktu 2,5 minuty mezi jednotlivými měřenými médii – tedy mezi bioplynem a vzduchem. Ve fázi, kdy se měří bioplyn, jsou zjišťovány koncentrace metanu, kyslíku a oxidu uhličitého a jsou předány na datový logger (slouží k registraci dat) a datová rozhraní. Ve fázi, kdy se měří vzduch, slouží naměřené hodnoty k hrubé kontrole funkčnosti čidla tepelné vodivosti a čidla kyslíkového. Tím jsou každých 5 minut aktualizovány naměřené hodnoty pro metan, kyslík a oxid uhličitý.

Při periodickém měření je možné nastavit odstup mezi dvěma jednotlivými měřeními od 30 minut až do 8 hodin. Čidla se po každém měření oplachují bioplynem a zároveň probíhá hrubá kontrola jejich funkčnosti.

Analyzátor BC20 má při zapnutí integrovány tyto kontrolní funkce a provádí test v těchto bodech:

1. Teplotní čidlo 1 a 2;
2. čidlo proudění 1 a 2;
3. kalibrační termíny.

Dále:

1. Během každého měření je spouštěna kontrola průtoku zúčastněných větví měření;
2. po každém 2. měření je kontrolováno kyslíkové čidlo pomocí okolního vzduchu a případně kalibrováno;
3. každých 6 minut je prováděna registrace chyb a varování měření teploty;
4. po 40 měřeních pomocí kontinuální měřicí větve jsou kontrolována průtoková čidla okolním vzduchem.

Při měření sirovodíku (H₂S) může být krátkodobě překročena nominální měřicí oblast čidla. Pomocí čidel se dají měřit koncentrace až do 2500 ppm.

Analyzátor BC20 je opatřen datovým loggerem (registrace dat) pro 500 datových clusterů (datových shluků), jeden datový cluster je složen z data, času, data měření, místa, kde je měření prováděno a z hlášení chyb. Intervaly pro ukládání je možné měnit v předem zadaných stupních.

Na výstupu přístroje není zobrazena koncentrace vzduchu, ale kyslíku. Koncentrace kyslíku ve vzduchu je 21 %. Platí zde tedy vztah:

$$\text{Koncentrace CH}_4 + \text{koncentrace CO}_2 + (4,76 \cdot \text{koncentrace O}_2) = 100\%$$

Technická data BC20:***Oblasti měření analyzátoru:***

- Metan - 0 až 100% (na čidle tepelné vodivosti);
- oxid uhličitý - 0 až 100% (na čidle tepelné vodivosti);
- kyslík - 0 až 21% (elektrochemická buňka);
- vodík - (0 až 10 000 ppm) (elektrochemická buňka);
- amoniak - (0 až 1 000 ppm) (elektrochemická buňka).

Datová paměť BC20:

BC20 disponuje 500 datovými clustery, skládajícími se z naměřených hodnot, data, hodin, hlášení chyb a stavu intervalů ukládání.

5.2.1 Výpočet teoretické koncentrace metanu – CH₄ v bioplynu

Anaerobní rozklad čistých organických látek je proces, který je dobře znám a definován zejména z hlediska převodu energie a hmoty ze substrátu do produktů. Z praxe však víme, že substrát je málokdy možné přesně definovat jeho složením. Většinou se anaerobně zpracovává komplexní substrát. Ten je navíc zpracováván s proměnlivým poměrem i počtem složek.

K popisu kvality substrátu z pohledu jeho energetického obsahu se používá několik kritérií. K tomuto účelu může sloužit ekvivalent dostupných elektronů obsažených v substrátu (Mayberry a kolektiv, 1967).

Množství kyslíku, které je potřebné k oxidaci komplexního substrátu, je možné odhadnout, pokud je stanovená chemická spotřeba kyslíku (CHSK). Pokud se počítá v anaerobním systému, kde není finálním akceptorem elektronů kyslík, je možné použít vztah jednoho molu kyslíku a ekvivalentu dostupných elektronů a tyto použít ke stanovení míry energetického obsahu kyslíkové jednotky substrátu ve formě CHSK (TSK, kde TSK je teoretická spotřeba kyslíku k úplné oxidaci organické látky, která je vypočtena z elementárního složení) (Dohányos, 2013).

K celkové hmotově energetické bilanci anaerobního procesu se používá elementární složení substrátu (Sobotka a kolektiv, 1983). Tento údaj však není vždy snadno dostupným. Oproti tomu je CHSK jedna z nejčastěji prováděných analýz v laboratořích, zejména ve vodohospodářství. Tento údaj se používá k návrhu, řízení i kontrole technologií procesů a bývá k dispozici u většiny hodnocených substrátů (Dohányos, 2013).

Hmotově energetická bilance

Je uvažována organická sloučenina se sumárním vzorcem C_xH_yO_z, kde indexy x, y, z jsou značením počtu atomů jednotlivých prvků. Oxidace látky probíhá v její úplnosti podle rovnice:



kde:

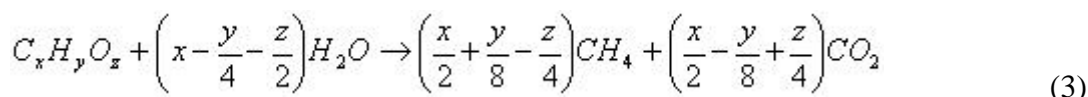
$$n = 2x + y/2 - z \quad (2)$$

kde:

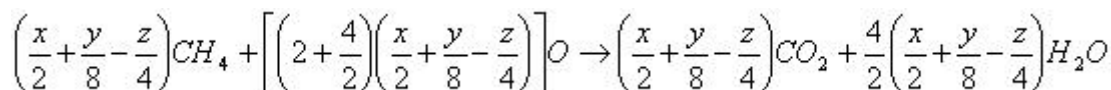
n ... počet atomů kyslíku, které jsou potřebné k úplné oxidaci příslušné organické látky (TSK)

$2n$... elektronový ekvivalent molekuly příslušné organické látky (počet elektronů, které jsou předané touto molekulou, při úplné oxidaci, akceptoru elektronů)

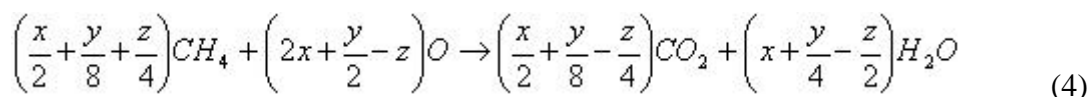
Stechiometrická obecná rovnice vzniku metanu podle Buswella (Symons a Buswell, 1933):



Vzniklé množství metanu závisí na počtu volných elektronů, které jsou k dispozici dané molekule organické látky. Následujícím vztahem lze dokázat, že je možné k úplné oxidaci metanu, který vzniká při reakci (3) spotřebovat shodné množství kyslíku jako k oxidaci látky původní (Mayberry a kolektiv, 1967)



po úpravě:



Součtem rovnic (3) a (4) vznikne rovnice (1).

Z výše uvedených rovnic vyplývá: při metanizaci veškerá zásoba energie výchozí látky zůstane zachována ve vzniklém metanu.

Poměr počtu atomů uhlíku v jedné molekule organické látky k poměru počtu ekvivalentních elektronů $2n$ udá tzv. stupeň redukovatelnosti určité látky – γ .

$$\gamma = \frac{2n}{x} = \frac{2\left(2x + \frac{y}{2} - z\right)}{x} \quad (5)$$

γ je měřítko teoretické spotřeby kyslíku (TSK), které je vyjádřené v počtu atomu kyslíku, jež jsou zapotřebí k oxidaci jednoho molu organické látky vztažené na jeden atom uhlíku. Vztah (5) v hmotnostním vyjádření přechází na tvar:

$$\gamma = 2 \frac{\text{počet atomů kyslíku}}{\text{počet atomů uhlíku}} = 1,5 \frac{TSK}{C_{org}} = 4 - POXČ \quad (6)$$

kde:

POXČ... průměrné oxidační číslo jednoho atomu uhlíku

Vztahy (1) až (5) je možné použít pro výpočet teoretické výtěžnosti metanu a tedy složení bioplynu (Dohányos, 2013).

Výpočet teoretické koncentrace CH₄ v bioplynu

Z rovnice (3) vyplývá: vznik $(x/2 + y/8 - z/4)$ CH₄ z jedné molekuly organického substrátu se sumárním vzorcem C_xH_yO_z. Vztaženo na jeden atom uhlíku:

$$\%CH_4 = \frac{\left(\frac{x}{2} + \frac{y}{8} - \frac{z}{4}\right)100}{x} = \frac{4 + \frac{y}{x} - \frac{2z}{x}}{8}100 = \frac{\gamma}{8}100 \quad (7)$$

Pokud dosadíme do předchozí rovnice vztah (6), vznikne výraz pro výpočet koncentrace metanu (teoretické) na základě stanovení CHSK a množství organického uhlíku v substrátu:

$$\%CH_4 = \frac{\gamma}{8}100 = \frac{1,5 \frac{CHSK}{C_{org.}}}{8}100 = 18,75 \frac{CHSK}{C_{org.}} \quad (8)$$

Při znalosti POXČ substrátu je možné počítat takto:

$$\%CH_4 = \frac{4 - POXČ}{8} 100 \quad (9)$$

Výsledný obsah metanu ve skutečnosti je vyšší o cca 9 – 18% než teoreticky vypočítaný. Tento rozdíl je způsobený tím, že teoretický obsah metanu je nutné korigovat na rozpustnost CO₂ v kapalně fázi (Dohányos, 2013).

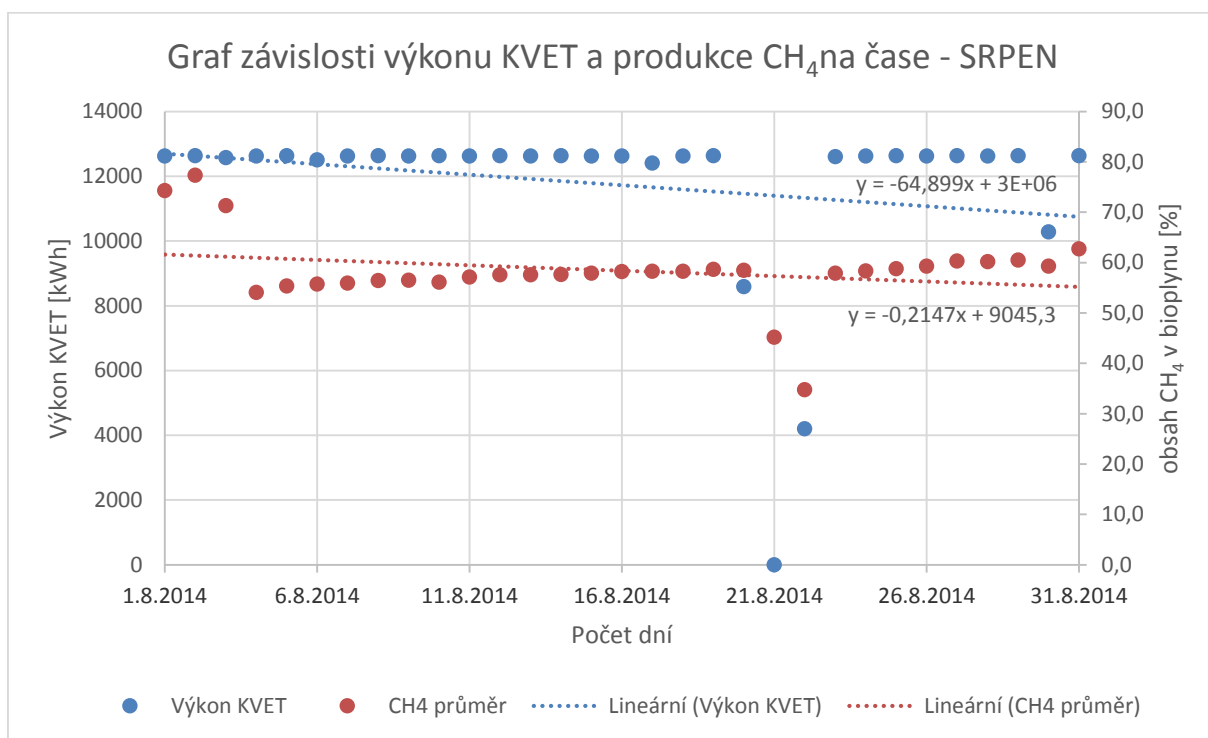
5.2.2 Výsledky měření

Vlastní měření zjišťovalo procentuální koncentraci metanu CH₄ v závislosti na čase a vliv jeho zastoupení na výkon kogenerační jednotky. Významnou vstupní surovinou, která byla z celkového množství 40% biomasy zastoupena v 70%, byla kukuřičná siláž. Druhou vstupní surovinou byla travní senáž. Tato rostlinná biomasa měla během měření obsah sušiny okolo 35%.

Měření koncentrace metanu v závislosti na čase v porovnání s výkonem kogenerační jednotky:

V následujících grafech (obrázcích 17, 18, 19, 20) jsou postupně pro dané měsíce (srpen až listopad) uvedeny výsledné hodnoty v časové závislosti. Z grafů je možné odečíst, zda má koncentrace metanu CH₄ vliv na výkon kogenerační jednotky.

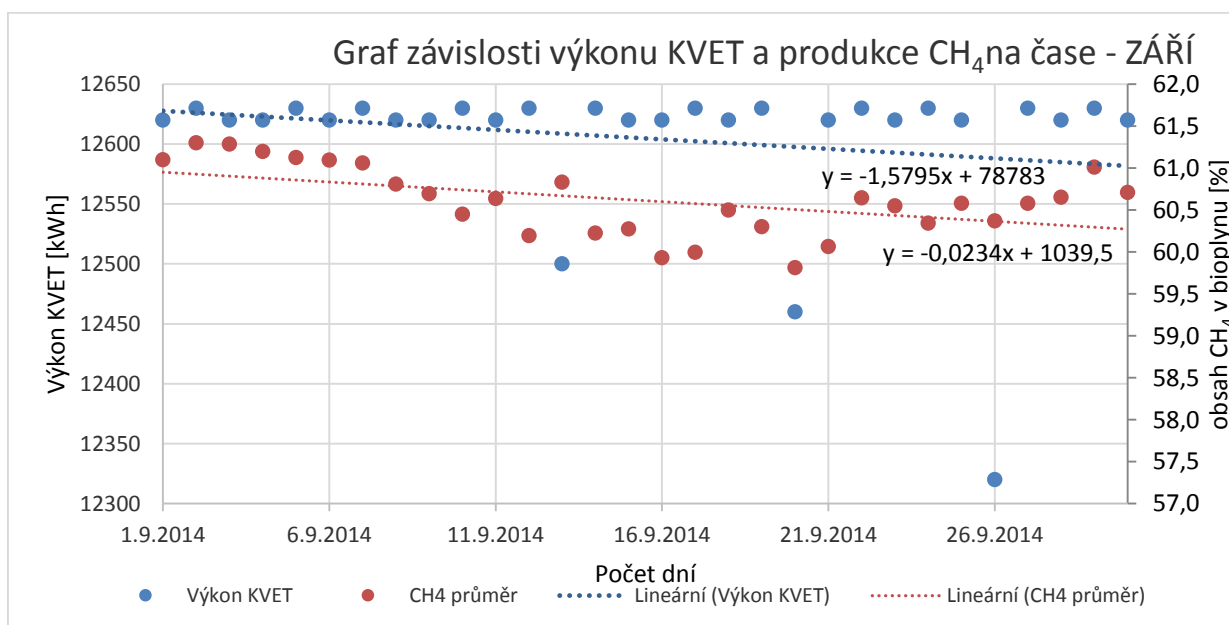
Obrázek 17: Graf závislosti výkonu KVET a produkce CH₄ na čase - SRPEN



Zdroj: Vlastní

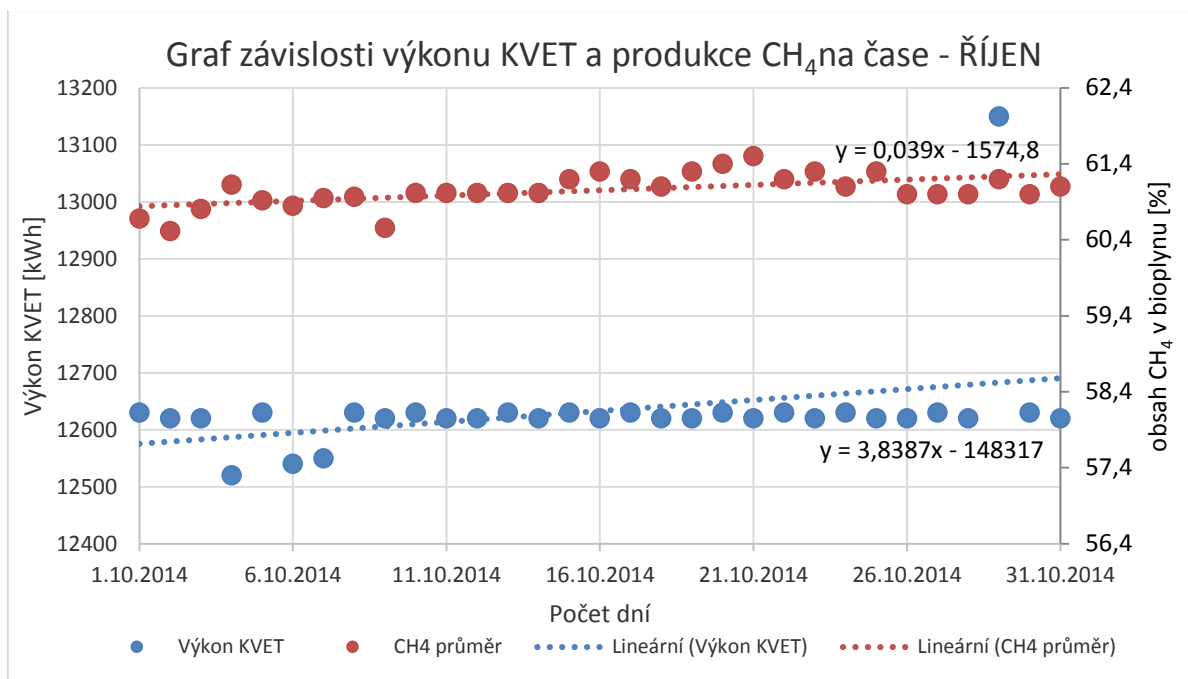
Hodnoty, které jsou naměřené v období 20. – 22. 8. 2014 jsou způsobeny prováděnou odstávkou a servisem kogenerační jednotky, proto se vymykají standardu.

Obrázek 18: Graf závislosti výkonu KVET a produkce CH₄ na čase - ZÁŘÍ



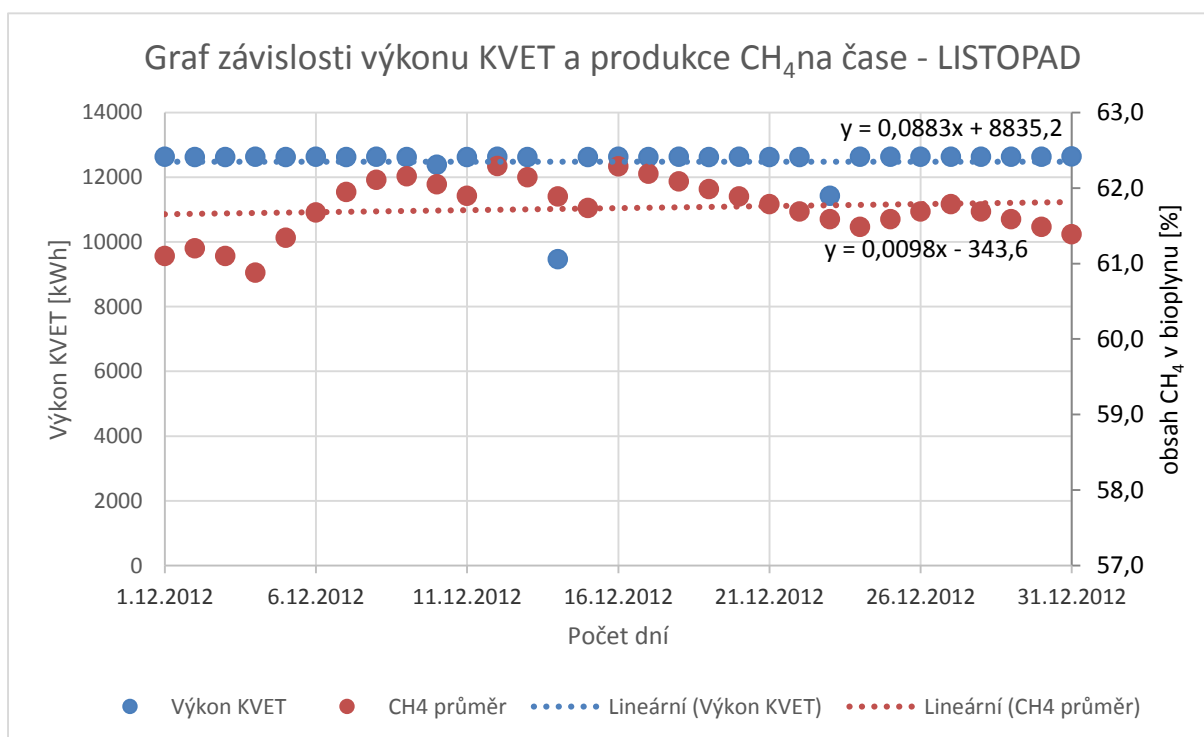
Zdroj: Vlastní

Obrázek 19: Graf závislosti výkonu KVET a produkce CH₄ na čase - ŘÍJEN



Zdroj: Vlastní

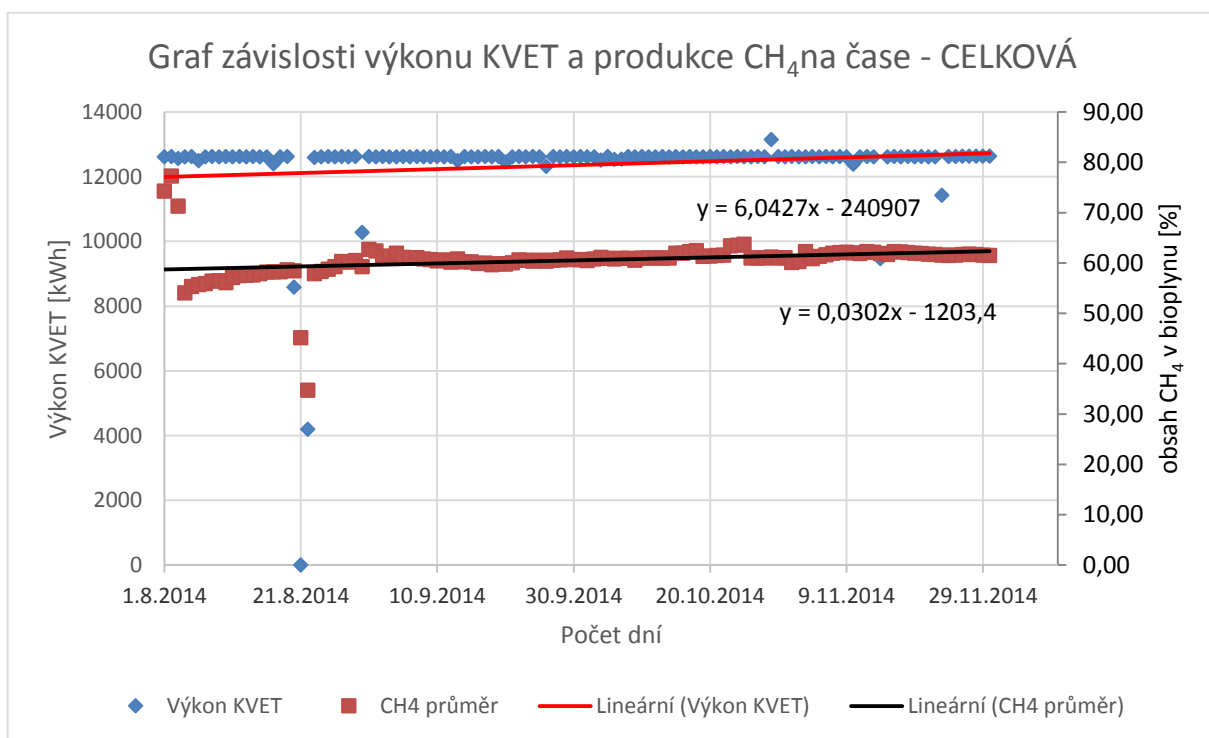
Obrázek 20: Graf závislosti výkonu KVET a produkce CH₄ na čase - LISTOPAD



Zdroj: Vlastní

Z jednotlivých grafů lze odečíst, že závislost výkonu kogenerační jednotky na obsahu metanu CH₄ je zřejmá. Pro lepší znázornění je dále uveden graf (obrázek 21) celkového měření ve všech čtyřech měsících.

Obrázek 21: Graf závislosti výkonu KVET a produkce CH₄ na čase – CELKOVÝ PRŮBĚH MĚŘENÍ



Zdroj: Vlastní

Graf celkových závislostí prokazuje, že výkon kogenerační jednotky má velice podobný průběh jako obsah CH₄ v bioplynu. Je tedy zřejmé, že obsah bioplynu má vliv na výkon kogenerační jednotky a tedy i na produkci výsledné energie.

Souběžně s měřením v provozu v Jarošovicích byly vyžádány výsledky z podobné BPS. Odtud byly získány téměř shodné výsledky produkce bioplynu jako v Jarošovicích. Pro představu jsou uvedeny tabulky 6 a 7 s naměřenými hodnotami, ze kterých je patrné, že produkce bioplynu za období od srpna do listopadu je velice podobná. Rozdíl je však v použité surovině. Namísto 70 % kukuřičné siláže v rostlinné složce surovinové zakládky je použito 5 % hygienizovaného gastroodpadu. To odpovídá přibližně 1 tuně suroviny.

Tabulka 6: Shrnutí naměřených hodnot Jarošovice

měsíc	surovina	množství rostlinné složky biomasy v %	obsah metanu v %	výkon KVET
srpen	kukuřičná siláž	70	58,4	12117
	travní senáž	30		
září	kukuřičná siláž	70	60,6	12605
	travní senáž	30		
říjen	kukuřičná siláž	70	61,1	12633
	travní senáž	30		
listopad	kukuřičná siláž	70	61,7	12685
	travní senáž	30		

Zdroj: Vlastní

Tabulka 7: Získané hodnoty

měsíc	surovina	množství rostlinné složky biomasy v % + množství gastroodpadu	obsah metanu v %	výkon KVET
srpen	kukuřičná siláž	65	58,9	12121
	travní senáž	30		
	gastroodpad	5		
září	kukuřičná siláž	65	60,8	12615
	travní senáž	30		
	gastroodpad	5		
říjen	kukuřičná siláž	65	61,3	12617
	travní senáž	30		
	gastroodpad	5		
listopad	kukuřičná siláž	65	61,9	12695
	travní senáž	30		
	gastroodpad	5		

Zdroj: Vlastní

Tabulka 8 uvádí výsledné rovnice, podle kterých je možné vypočítat závislost koncentrace metanu a výkonu kogenerační jednotky na čase.

Tabulka 8: Rovnice lineární spojnice trendu

měsíc	sledovaná veličina	rovnice pro výpočet spojnice trendu	směrodatná odchylka
srpen	%obsah CH ₄	$y = -0,2147x + 9045,3$	7,183
	výkon KVET	$y = -64,899x + 3E+06$	2707,069
září	%obsah CH ₄	$y = -0,0234x + 1039,5$	0,603
	výkon KVET	$y = -1,5795x + 78783$	64,329
říjen	%obsah CH ₄	$y = 0,039x - 1574,8$	0,837
	výkon KVET	$y = 3,8387x - 148317$	98,084
listopad	%obsah CH ₄	$y = 0,0098x - 343,6$	0,506
	výkon KVET	$y = 0,0883x + 8835,2$	598,566
celkem	%obsah CH ₄	$y = 0,0302x - 1203,4$	3,894
	výkon KVET	$y = 6,0427x - 240907$	1446,561

Zdroj: Vlastní

5.2.3 Shrnutí měření

Měřením byla zjištěna závislost výkonu kogenerační jednotky a procentuálního obsahu metanu na čase. Lineární spojnice trendu vykazuje shodný průběh hodnot obsahu metanu v bioplynu a výkonu kogenerační jednotky. Lze konstatovat, že čím větší bude obsah metanu v produkovaném bioplynu, tím vyšší bude výkon kogenerační jednotky.

Při nahrazení 5 % kukuřičné siláže lze z porovnání říci, že tento krok bude mít kladný výsledek. Z technologické stránky je tomu tak, že kompostárna Jarošovice již odebíraný gastroodpad nepoužije pouze k výrobě kompostu, ale BPS Jarošovice jej zhodnotí dále při výrobě bioplynu. Za gastroodpad, který se již do areálu sváží, musí navíc jeho producenti platit, naproti tomu nákup kukuřičné siláže znamená pro společnost vynaložené náklady.

6 Ekonomické zhodnocení inovačního návrhu

6.1 Investiční náklady na hygienizační linku

V této diplomové práci je jako inovativní návrh řešena hygienizační linka. Jde o zavedení nové technologie do bioplynové stanice. Provozovna Jarošovice má k dispozici již stávající halu, do které je možné hygienizační linku umístit. Z tohoto důvodu nevzniknou další náklady na stavební činnosti, či stavební úpravy.

Přehled nákladů spojených s hygienizační linkou:

Pořizovací cena hygienizační linky: 5 500 000,-

v celkové ceně hygienizační linky je zahrnuto:

- Příjmový žlab;
- transportér šnekový žlabový;
- transportér šnekový žlabový;
- třídící pás;
- šnekový dopravník plnicí;
- drtící čerpadlo kladívkové;
- mycí box;
- obslužné plošiny;
- projektová dokumentace;
- montáž a doprava.

6.2 Financování

Náklady, které je třeba vynaložit na inovativní návrh hygienizační linky ve výši 5 500 000 Kč, budou uhrazeny z cizích zdrojů. Největší část nákladů bude čerpána z dotace od Operačního programu životního prostředí. Dotace z tohoto programu jsou možné čerpat až po zřízení linky, ale z důvodu výpočtů v této práci je zde počítáno s touto dotací. Provozovna Jarošovice je již fungující a prosperující společností a je schopna zafinancovat částku ke zřízení hygienizační linky ze svých zdrojů předtím, než bude čerpána dotace. Další část

pokryje úvěr, který bude žádán u bankovní společnosti GE Money Bank. (podrobnosti k jednotlivým možnostem budou popsány níže).

Cizí zdroje:

Jak již bylo řečeno, nejpodstatnější finanční část tohoto návrhu bude pokryta z dotace, která by byla provozovně Jarošovice poskytnuta z Operačního programu životního prostředí. Hlavním cílem tohoto programu v období 2014 - 2020 je ochrana a zajištění kvalitního prostředí života obyvatel České republiky. Dále podpora efektivního využívání zdrojů, eliminace negativních dopadů lidské činnosti na životní prostředí a zmírňování dopadů změn klimatu. Výše této dotace je 4 000 000 Kč. Další část nákladů pokryje bankovní úvěr ve výši 1 500 000 Kč od společnosti GE Money Bank.

Náležitosti daného úvěru poskytnutého pro návrh hygienizační linky:

- Úrok: 11 % ;
- délka splácení: 3 roky;
- začátek splácení: leden 2016;
- interval splácení: čtvrtletní.

Tabulka 9: Splátkový kalendář pro výše uvedený úvěr (v tis. Kč)

Rok	Měsíc	Splátka (CZK)	Úrok (CZK)	Úmor (CZK)	Úvěr (CZK)
1	1	148 453,06	41 250,00	107 203,06	1 392 796,94
1	2	148 453,06	38 301,92	110 151,15	1 282 645,79
1	3	148 453,06	35 272,76	113 180,31	1 169 465,48
1	4	148 453,06	32 160,30	116 292,76	1 053 172,72
2	5	148 453,06	28 962,25	119 490,82	933 681,90
2	6	148 453,06	25 676,25	122 776,81	810 905,09
2	7	148 453,06	22 299,89	126 153,17	684 751,91
2	8	148 453,06	18 830,68	129 622,39	555 129,53
3	9	148 453,06	15 266,06	133 187,00	421 942,52
3	10	148 453,06	11 603,42	136 849,65	285 092,88
3	11	148 453,06	7 840,05	140 613,01	144 479,87
3	12	148 453,06	3 973,20	144 479,87	0,00

Zdroj: Vlastní

SWOT analýza

Silné stránky – STRENGTH:

- Vhodná logistická poloha;
- stávající areál provozovny Jarošovice (kompostárna);
- využití již dováženého odpadu do provozovny Jarošovice;
- výroba bioplynu díky nově vzniklé hygienizační lince;
- energetické zhodnocení odpadu používaného pouze ke kompostování.

Slabé stránky – WEAKNESS:

- Zápach vzniklý dovážením rychle se kazícího odpadu.

Příležitosti – OPORTUNITIES:

- Možnost získání velmi hodnotné alternativní suroviny – bioplynu;
- inovace v oblasti odpadového hospodářství;
- modernizace provozovny Jarošovice.

Ohrožení – THREATS:

- Malá vytíženost linky;
- stížnosti obyvatel na vzniklý zápach ze skladovaného odpadu.

6.3 Odpisový plán

Náležitosti odepisování:

- Pořizovací cena hygienizační linky: 5 500 000,-
- Způsob odepisování: lineární;
- odpisová skupina: 2;

- doba odepisování: 5 let;
- roční odpisová sazba v prvním roce: 11 %;
- roční odpisová sazba v dalších letech: 22,25 %.

Odpisy – výpočet:

$$RO = PC \times \frac{S}{100}$$

kde:

PC ... pořizovací cena;

S ... odpisová sazba.

Tabulka 10: Odpisový plán hygienizační linky

Rok	Zůstatková cena	Roční odpis	Oprávký celkem
2014	4 895 000	605 000	605 000
2015	3 671 250	1 223 750	1 828 750
2016	2 447 500	1 223 750	3 052 500
2017	1 223 750	1 223 750	4 276 250
2018	0	1 223 750	5 500 000

Zdroj: Vlastní

6.4 Bilance nákladů, výnosů a zisku

Náklady

Pro provoz hygienizační linky je třeba uvažovat s následujícími náklady:

- **Náklady na svoz odpadu** – pohonné hmoty + náklady na mzdu řidiče dodávkového automobilu -> 349 600 Kč . rok⁻¹;
- **náklady na elektrickou energii** – 360 000 Kč . rok⁻¹;
- **náklady na spotřebu vody** – 0 (provozovna Jarošovice čerpá vodu z vlastní studny);

- **mzdové náklady na jednoho pracovníka obsluhujícího linku** – 192 000 Kč . rok⁻¹;
- **ostatní náklady** – 300 000 Kč . rok⁻¹ (odhad nákladů na opravy a služby).

Celkové náklady: 1 201 600 Kč . rok⁻¹.

Výnosy

Kalkulace výnosů vychází především z tržeb za přijímaný gastroodpad. Hygienizační linka bude pracovat v jednosměnném provozu. Díky realizaci hygienizační linky lze uvažovat z následujícími výnosy:

- **Výnosy z přijatého gastroodpadu** – 2 232 000 Kč . rok⁻¹;
- **výnosy z nahrazení 5 % používané kukuřičné siláže** – 293 750 Kč . rok⁻¹;
- **výnosy z prodeje elektrické energie vyrobené z 1 t . den⁻¹ gastroodpadu** – 556 768 Kč . rok⁻¹ (tento výnos bude mít s postupujícím časem stoupající trend – lze uvažovat až o 6 t/den zpracovaného gastroodpadu).

Celkové výnosy: 3 082 518 Kč . rok⁻¹.

Tabulka 11: Bilance nákladů, výnosů a zisku

období	1	2	3	4	5
investiční náklady	1500000,00	0,00	0,00	0,00	0,00
náklady na svoz odpadu	349600,00	349600,00	349600,00	349600,00	349600,00
náklady na elektrickou energii	360000,00	365400,00	370881,00	376444,22	382090,88
náklady na vodu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
mzdové náklady	192000,00	192000,00	192000,00	192000,00	192000,00
ostatní náklady	300000,00	300000,00	300000,00	300000,00	300000,00
úroky z úvěru	146984,98	95769,07	38682,73	0,00	0,00
odpisy	605000,00	1223750,00	1223750,00	1223750,00	1223750,00
náklady celkem	1953584,98	2526519,07	2474913,73	2441794,22	2447440,88
výnosy (tržby) celkem	3082518,00	3144168,36	3207051,73	3271192,76	3336616,62
hospodářský výsledek	1128933,02	617649,29	732138,00	829398,55	889175,74
daň z příjmu (19%)	214497,27	117353,37	139106,22	157585,72	168943,39
čistý zisk	914435,75	500295,92	593031,78	671812,82	720232,35

Zdroj: Vlastní

6.5 Další ekonomické ukazatele

Doba návratnosti investice

Dobou návratnosti investice se rozumí doba, za kterou je investice splacena z peněžních příjmů, jež investice zajistí (jinak řečeno – jde o období, za které se kumulovaný cash-flow vyrovná počátečnímu kapitálovému výdaji na investici). Doba návratnosti investice je velmi důležitý a také velmi často užívaný ukazatel hodnocení investic a to zejména z důvodu její schopnosti udávat představu o době, po kterou je v ohrožení počáteční investiční kapitál.

V případě této diplomové práce činila investice 1 500 000 Kč.

Výpočet doby návratnosti investice:

$$TN_p = \frac{IN}{CF}$$

kde:

IN ... náklady na investici

CF ... roční peněžní tok (cash-flow) v tomto případě v průměru 5 letého výhledu

Doba návratnosti je v tomto případě **1,78 roku**, což je velice dobrý výsledek.

Rentabilita tržeb

Tento pojem vysvětluje, kolik korun čistého zisku připadá na jednu korunu tržeb.

Výpočet rentability tržeb:

$$ROS = \frac{zisk}{tržby} \times 100 (v \%)$$

kde:

ROS ... rentabilita tržeb

Tabulka 12: Rentabilita tržeb

Rok	2016	2017	2018	2019	2020
ROS	0,2967	0,1591	0,1849	0,2054	0,2159

Zdroj: Vlastní

Rentabilita nákladů

Rentabilita nákladů označuje, jaký je poměr celkových nákladů k celkovým tržbám podniku. Tento ukazatel je doplňkový k rentabilitě tržeb.

Výpočet rentability nákladů:

$$ROC = \frac{\text{zisk}}{\text{celkové náklady}} \times 100 \text{ (v \%)}$$

kde:

ROC ... rentabilita nákladů

Tabulka 13: Rentabilita nákladů

Rok	2016	2017	2018	2019	2020
ROC	0,4681	0,1980	0,2396	0,2751	0,2943

Zdroj: Vlastní

Čistá současná hodnota

Čistá současná hodnota je takový faktor, který zohledňuje faktor času. Tím se liší od ukazatelů statistických, tj. čistá současná hodnota nezohledňuje pouze absolutní výši kapitálových výdajů a příjmů, ale také období, v němž jsou tyto prostředky vynaloženy, či získány. Tento pojem je také definován jako rozdíl mezi současnou hodnotou očekávaných výnosů a nákladů vynaložených na investici.

Výpočet čisté současné hodnoty:

$$\check{C}SH = \sum \frac{\check{C}Z}{(1+i)^n} - IN$$

kde:

ČSH ... čistá současná hodnota;

i ... požadovaná úroková míra, v tomto případě průměrná úroková míra;

IN ... investiční náklady.

Čistá současná hodnota v rámci 3 let je vypočtena na 176 810 Kč. Je kladná, tedy výhodná.

6.6 Celkové shrnutí ekonomických ukazatelů

Na základě výpočtů jednotlivých ekonomických ukazatelů se investice jeví jako velmi výhodná. Celkové náklady na hygienizační linku činí 5 500 000 Kč. Tyto náklady jsou hrazeny z cizích zdrojů, konkrétně 4 000 000 Kč pokryje dotace z Operačního programu životního prostředí a částka 1 500 000 Kč bude pokryta bankovním úvěrem od společnosti GE Money Bank. Pro lepší představu a ucelení ekonomického zhodnocení je do této práce zahrnuta celková bilance nákladů, výnosů a zisku.

Jedním z výpočtů byla doba návratnosti investice. Ta činí 1,78 roku. Dalším ukazatelem byla čistá současná hodnota, díky níž bylo zjištěno, že investice do hygienizační linky je také výhodná.

Celkově vychází návrh hygienizační linky velmi dobře a bude doporučen danému podniku.

7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navržení inovačního stupně pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů v bioplynové stanici. Inovovanou soustavou prvků byl návrh hygienizační linky pro zpracování především biologicky rozložitelných odpadů, které jsou svým charakterem velice blízké kuchyňskému odpadu. Tato inovace byla navržena především z důvodu vysokého potenciálu lokality, ve které se bioplynová stanice nachází. Dalším důvodem bylo zpracování již sváženého gastroodpadu do kompostárny. Tento odpad byl využíván jen jako část suroviny pro aerobní fermentaci (kompostování) a v návrhu diplomové práce byl navíc použit k energetickým účelům – výrobě bioplynu.

Část diplomové práce byla věnována nastínění všeobecné problematiky nakládání s bioodpadem. Byly zde mimo jiné řešeny i konkrétní fáze a podrobný popis anaerobní fermentace. V rešeršní části byl popsán výsledný produkt anaerobní fermentace, bioplyn, např. jeho složení, vznik a charakteristika.

Cílem měření bylo stanovit závislost obsahu metanu v bioplynu a výkonu kogenerační jednotky na čase a jeho srovnání s nahrazením části surovinové zakládky. Toto měření bylo zčásti použito i při ekonomickém posouzení návrhu, ve kterém je zohledněno nahrazení kukuřičné siláže jako části vstupního materiálu do bioplynové stanice, které přináší náklady, materiálem z kuchyňského odpadu, který je naopak pro bioplynovou stanici výnosem.

Diplomová práce částečně navazovala na moji předchozí práci bakalářskou, neboť v té bylo řešeno aerobní zpracování bioodpadu. Díky inovaci a částečnému propojení kompostárny s bioplynovou stanicí je možná vyšší výtěžnost výsledné suroviny z bioodpadu. V dalším postupu inovací se jeví jako případná možnost využití tepla z bioplynové stanice pro samotnou hygienizaci a tím snížení ekonomické náročnosti linky o další hodnoty.

Ekonomické zhodnocení návrhu hygienizační linky popsané v této diplomové práci přineslo kladné výsledky. Jedno z kritérií byla např. doba návratnosti investice vložené do hygienizační linky, která se jeví jako velmi výhodná a efektivní, neboť hodnota doby návratnosti je 1,78 let.

8 Použitá literatura:

BABIČKA, L., J. HOLEJŠOVSKÝ a J. STRAKA. *Akumulační biotechnologický cyklus – perspektivní a nová metoda v oblasti využívání obnovitelných zdrojů energie* [Sborník konference – Možnosti výroby a využití bioplynu v České republice]. Třeboň, 2002.

BAERE, L.A., O. DE VERDONCK a VERSTRAETE. *High rate dry anaerobic composting process for the organic fraction of solid wastes*. [Biotechnology and Bioengineering Symp.] 1986.

BASERGA, U. a K. EGGER. .: *Entwicklung der Gärkanalpilotanlage zum Vergären von strohhaltigem Mist*. Bundesamt für Energiewirtschaft, Forschungsprogramm Biomasse. 1995.
Komunální odpad. *Komunální odpad* [online]. 2015

Biom. *Biom.cz: Biomasa, biopaliva, bioplyn, pelety, kompostování a jejich využití* [online]. 2009

BJORNSSON, L., M. MUTRO a B. MATTIASSON. *Evaluation of parameters for monitoring an anaerobic co-digestion process*. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2000.

CORAMEXPORT, s.r.o. *Návrh linky*. 1.12.2008. 2008.

DOHÁNYOS, M. *Bilance tvorby bioplynu - metanizace*. CZBA Česká bioplynová asociace [online]. 2013

EDELMANN, W. a H. ENGELI. *Biogas aus festen Abfällen und Industrieabwässer, Eckdaten für PlanerInnen*, Bundesamt für Konjunkturfragen. 1996.

Fermentor EWA. *AGRO-EKO Ostrava* [online]. 2013

GADUŠ, J. a J. PRUŽINSKÝ. *Možnosti zvýšení produkcie bioplynu cestou kofermentácie* [Sborník konference – Výstavba provoz bioplynových]. Třeboň, 2006.

GERHARDT, M., V. PELENC a M. BÄUMEL. *Application of hydrolytic enzymes in the agricultural biogas production: Results from practical applications in Germany*. 2007.

GUJER, W. a A. J. B. ZEHNDER. *Conversion processes in anaerobic digestion. Water Science and Technology*,. 1983.

HAŠ, S a kol.. *Energie v zemědělství*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1985.

HIMANEN, M. a K. HÄNNINEN. Composting of bio-waste, aerobic and anaerobic sludges – Effect of feedstock on the process and quality of compost. *Bioresource Technology*. 2011, vol. 102.

HORA, L.: *Implementace systému třídění biologicky rozložitelné složky komunálního odpadu do plánů odpadového hospodářství obcí*, EKODENDRA, Krajský úřad Ústeckého kraje [online]. 2005

Kompostárna Jarošovice: Provozní řád [Vnitropodniková dokumentace]. 2009

MACKIE, R.I. a M.P. BRYANT. *Metabolic Activity of Fatty Acid-oxidizing Bacteria and the Contribution of Acetate, Propionate, Butyrate and CO₂ to Methanogenesis in Cattle Waste at 40 and 60°C.: Appl. Environ. Microbiol.* 1981.

MALAŤÁK, J. a P. VACULÍK. *Technologická zařízení staveb odpadového hospodářství, zpracování biologicky rozložitelných odpadů*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008, 168 s. ISBN 978-80-213-1747-5.

MAYBERRY, W.R., G.J. PRÉCHÁZKA a PAYNE W.J. *Growth yields of bacteria on selected organic compounds*. J. Appl. Microbiol., 1967.

PASTOREK, Z., J. KÁRA a P. JEVIČ. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC Public, 2004, 286 s. ISBN 80-865-3406-5.

ROGOFF, M., J. F. SCREVE a M. J. ROGOFF. *Waste-to-energy: technologies and project implementation*. 2nd ed. Waltham, MA: William Andrew, 2011, 166 p. ISBN 978-143-7778-717

SCHULZ, H. *Bioplyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení - příklady*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2004, 167 s. ISBN 80-861-6721-6.

SOBOTKA, M., J. VOTRUBA, I. HAVLÍK a I. G. MINKEVICH. *The mass—Energy balance of anaerobic methane production*. 1983. ISBN 10.1007/bf02884083.

SYMONS, G. E. a A. M. BUSWELL. The Methane Fermentation of Carbohydrates 1,2. *Journal of the American Chemical Society* [online]. 1933, vol. 55, issue 5, s. 2028-2036. DOI: 10.1021/ja01332a039.

Skupina ČEZ. *Skupina ČEZ* [online]. 2015

STRAKA, F. a kol. *Bioplyn: příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů*. 1. vyd. Říčany: GAS, 2003, 517 s. ISBN 80-732-8029-9.

STRAKA, F. a M. DOHÁNYOS. *Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]*. 2., rozš. a dopl. vyd. Praha [i.e. Říčany u Prahy]: GAS, 2006, 706 s. ISBN 80-7328-090-6.

SUN, Guo-chao, Yi-Zhe WU, Shi-jin SHA a Ke-xin LIU. Dry digestion of crop wastes: Studies on dry anaerobic digestion with agricultural wastes. *Biological Wastes* [online]. 1987, vol. 20, issue 4, s. 291-302. DOI: 10.1016/0269-7483(87)90006-1.

UŠŤAK, S. a J. VÁŇA. *Bioplynová fermentace biomasy a biologicky rozložitelných odpadů*. Praha: CZ Biom, 2006. ISBN 9788090377707.

VÁŇA, J., A. HANČ a J. HABART. *Pevné odpady 2009*. Vyd. 3., přeprac. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2009, 188 s. ISBN 978-80-213-1992-9.

VESELÁ, K. : *Optimalizace výroby a možnosti využití bioplynu jako náhrady zemního plynu*. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita.

WELLINGER, A., K. WYDER a A.E. METZLER. .: *Kompogas - a new system for the anaerobic treatment of source separated waste*. In: Checchi, F. - Mata-Alvarez, J. - Pohland F.G. (eds) *Anaerobic digestion of solid waste*. Venice Stamperia di Venezia. 1992.

WIEGAND, W.M. a G. LETTINGA. *Thermophilic anaerobic digestion of sugars in upflow anaerobic sludge blanket reactors.*: *Biotechnology and Bioengineering*. 1985.

WIEMER, K., M. KERN a M. MAYER. *Leitfaden Bioabfallvergärung. Luft, Boden, Abfall*. 1997.

WONG-CHONG, G.M. *Dry anaerobic digestion*. In: *Energy Agriculture and Waste Management (B. Jewell, ed.)* [Ann. Arbor Science]. 1975.

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů. In: *Sbírka zákonů*. 2001.

Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech a o změně některých zákonů (zákon o obalech). In: *Sbírka zákonů*. 2001.

ZAUNER, E. *Biogasgewinnung aus Pflanzenstoffen*. *Landbauforschung volkenrode*. 1985.

ZHANG, B. a Y. WANG. *Biomass processing, conversion, and biorefinery*. x, 457 pages, 2013, ISBN 9781626183469.

ŽÍDEK, M. Anaerobní digesce zvolených substrátů na laboratorním fermentoru. *Energetický ústav: Odbor energetického inženýrství* [online]. 2004

ŽILKA, M. .: *Olomoucký způsob úpravy chlévské mrvy* [Sborník "Využití energetických zdrojů pro resort z]. ", Československá akademie zemědělská Praha, 1979.

9 Seznam tabulek

Tabulka 1: Nakládání s komunálními odpady

Tabulka 2: Produkce komunálních odpadů

Tabulka 3: Základní vlastnosti metanu

Tabulka 4: Technická specifikace fermentorového boxu EWA

Tabulka 5: Popis součástí hygienizační linky

Tabulka 6: Shrnutí naměřených hodnot Jarošovice

Tabulka 7: Získané hodnoty

Tabulka 8: Rovnice lineární spojnice trendu

Tabulka 9: Splátkový kalendář pro výše uvedený úvěr (v tis. Kč)

Tabulka 10: Odpisový plán hygienizační linky

Tabulka 11: Bilance nákladů, výnosů a zisku

Tabulka 12: Rentabilita tržeb

Tabulka 13: Rentabilita nákladů

10 Seznam obrázků

Obrázek 5: Schéma anaerobní fermentace

Obrázek 6: Schéma změn složení bioplynu při náběhu anaerobního fermentačního procesu

Obrázek 7: Záznam výhřevnosti bioplynu závislé na koncentraci metanu

Obrázek 8: výtěžnost bioplynu v m³.t⁻¹ různých substrátů

Obrázek 5: Aerobní box EWA

Obrázek. 6: Schéma fermentoru EWA

Obrázek 7: Pracovní prostor fermentoru EWA

Obrázek. 8: Strojovna fermentoru EWA

Obrázek 9: Schéma hygienizační linky – příjem odpadu

Obrázek 10: Schéma hygienizační linky – boční pohled

Obrázek 11: Schéma hygienizační linky – pohled shora

Obrázek 12: Příjmový žlab

Obrázek 13: Třídící pás

Obrázek 14: Zásobní nádrže

Obrázek 15: Myčka sudů

Obrázek 16: Analyzátor bioplynu - BC20

Obrázek 17: Graf závislosti výkonu KVET a produkce CH₄ na čase - SRPEN

Obrázek 18: Graf závislosti výkonu KVET a produkce CH₄ na čase – ZÁŘÍ

Obrázek 19: Graf závislosti výkonu KVET a produkce CH₄ na čase - ŘÍJEN

Obrázek 20: Graf závislosti výkonu KVET a produkce CH₄ na čase - LISTOPAD

Obrázek 21: Graf závislosti výkonu KVET a produkce CH₄ na čase – CELKOVÝ PRŮBĚH MĚŘENÍ