

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb

**Návrh inovace technologické linky na zpracování
biologicky rozložitelného odpadu**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jan Malat'ák, Ph. D.

Diplomant:

Bc. Martin Sviták

Praha 2011

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb

Akademický rok 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Martin Sviták

obor Technika a technologie zpracování odpadů

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze
čl. 17 odst. 2 určuje tuto diplomovou práci.

Název práce: **Návrh inovace technologické linky na zpracování
biologicky rozložitelného odpadu**

Osnova diplomové práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Přehled poznatků z literatury
4. Výchozí podmínky podniku
5. Návrh řešení a dosažené výsledky
6. Závěr
7. Seznam literatury
8. Přílohy

Rozsah hlavní textové části: 40 - 60 stran

Doporučené zdroje:

- Cenek, M. et. al.: Obnovitelné zdroje energie, nakladatelství FCC Public Praha, 2. vydání, 2001, 202 str. ISBN 80-901985-8-9.
- Kotoulová, Z., Váňa, J.: Příručka pro nakládání s komunálním bioodpadem. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2001, ISBN 80-7212-201-0.
- Malat'ák, 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. et. al.: Bioplyn. GAS s.r.o., Říčany, 2003, s. 517, ISBN 80-7328-029-9.

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

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2011


.....
Vedoucí katedry




.....
Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh inovace technologické linky na zpracování biologicky rozložitelného odpadu vypracoval samostatně a použil jsem pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Praze dne

.....

podpis diplomanta

Poděkování

Dovoluji si poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Janu Malatřákovi, Ph. D. za jeho odborné vedení, cenné rady a připomínky a mé rodině za podporu v průběhu mého studia na ČZU.

Abstrakt: Předmětem této diplomové práce je navrhnout inovační zařízení na zpracování biologicky rozložitelných odpadů ve zvoleném podniku. V první části práce je uveden současný stav a význam bioplynových technologií z hlediska obnovitelných zdrojů energie. Je zde uveden přehled o bioplynu, z jakých materiálů se tvoří, podmínky jeho vzniku a technologie na výrobu bioplynu. Ve druhé části práce je zachycen současný stav zvoleného podniku včetně popisu technologického zařízení a základních parametrů bioplynové stanice. Na základě výše uvedených poznatků je proveden návrh inovace na rozšíření stávající bioplynové stanice, včetně výběrového řízení na kogenerační jednotku a výpočtů základních parametrů bioplynové stanice. Nedílnou součástí diplomové práce je i posouzení návrhu inovace z ekonomického hlediska.

Klíčová slova: obnovitelné zdroje energie, bioplyn, fermentace, kogenerace

Design of innovation technological lines on processing of biologically decomposable waste

Summary: The subject of this degree work is to design of innovation technological lines on processing of biologically decomposable waste at a chosen firm. In the first part of work there is given the present state and meaning of biogas technologies from the standpoint of renewable resources of energy. There is also given full details of biogas, which materials is formed from, starting conditions and division of biogas technologies for biogas production. In the second part of my work there is made the current state of the chosen firm including description of technological equipment and the basic parameters of biogas station. On the basis of above mentioned knowledge there is design of innovation provided for extension of existing biogas station, including selection procedures for cogeneration unit and calculation of the basic parameters of biogas station. The inseparable part of degree work is appraisal of design of innovation from the economic point of view. .

Key words: renewable resources of energy, biogas, fermentation, cogeneration

Obsah

1 ÚVOD.....	9
2 CÍL PRÁCE A METODIKA.....	10
3 PŘEHLED POZNATKŮ Z LITERATURY.....	11
3.1 Význam bioplynových stanic.....	11
3.1.1 Kategorizace bioplynových stanic.....	12
3.2 Aktuální situace v ČR.....	13
3.2.1 Elektrina vyrobená z bioplynu.....	13
3.2.2 Výhled výroby elektřiny z bioplynu do budoucna.....	14
3.3 Základní poznatky o bioplynu.....	15
3.3.1 Termín „bioplyn“.....	15
3.3.2 Vznik bioplynu.....	16
3.3.3 Pojem „anaerobní fermentace“.....	17
3.3.4 Z jakých materiálů se bioplyn tvoří.....	20
3.3.5 Podmínky vzniku bioplynu.....	20
3.4 Rozdělení bioplynových technologií.....	22
3.4.1 Technologie mokrého a suchého biozplynování.....	22
3.4.2 Technologie dávkování surového materiálu.....	24
3.4.3 Konstrukční typy fermentorů.....	25
4 VÝCHOZÍ PODMÍNKY PODNIKU, POSTUPY A METODY ŘEŠENÍ.....	27
4.1 Objasnění – analýza úkolu.....	27
4.2 Charakteristika dosavadní výroby.....	28
4.2.1 Technologie.....	28
4.2.2 Zajištění materiálu a jeho přeměna na energii.....	29
4.2.3 Parametry bioplynové stanice Kněžice v roce 2010.....	30
4.3 Uspořádání stávajícího technologického zařízení.....	31
4.4 Nedostatky dosavadního provozu.....	32
4.5 Souhrn výchozích podmínek.....	32
5 NÁVRH ŘEŠENÍ A DOSAŽENÉ VÝSLEDKY.....	33
5.1 Řešení návrhu.....	33
5.1.1 Výběrové řízení kogenerační jednotky pro BPS.....	33
5.1.2 Vyhodnocení výběrového řízení.....	39
5.1.3 Základní stavební objekty a provozní soubory BPS.....	40
5.2 Vlastní měření.....	45
5.2.1 Výběr sledovaných parametrů navrhovaného zařízení.....	45
5.2.2 Postup měření a měřící přístroje.....	45
5.2.3 Grafické vyjádření naměřených hodnot.....	48

5.2.4 Interpretace výsledků měření.....	50
5.3 Teoretický rozbor hlavních parametrů BPS (anaerobního reaktoru)....	51
5.3.1 Popis funkce zařízení.....	51
5.3.2 Návrh hlavních parametrů bioplynové stanice.....	51
5.3.3 Výpočet zvolených parametrů zařízení	54
5.4 Ekonomické posouzení návrhu.....	54
5.4.1 Metodika ekonomické rozvahy.....	54
5.4.2 Odborný odhad investičních nákladů BPS.....	55
5.4.3 Výpočet ukazatelů ekonomické efektivity investice.....	58
5.4.4 Výsledky ekonomického posouzení návrhu.....	60
6 ZÁVĚR.....	61
7 POUŽITÁ LITERATURA.....	62
8 SEZNAM TABULEK.....	64
9 SEZNAM OBRÁZKŮ.....	65
10 SEZNAM ZKRATEK.....	66

1 Úvod

Obec Kněžice, která se nachází ve Středočeském kraji provozuje již od roku 2006 bioplynovou stanicí (BPS) s možností hygienizace odpadů. Součástí BPS je kogenerační jednotka (KJ), kde se přeměňuje vzniklý bioplyn na elektrickou energii a teplo. Vyrobena elektrická energie je distribuována do elektrizační sítě. Vzniklé teplo je z části využíváno pro BPS a zbylé teplo je celoročně využíváno pro ohřev teplé užitkové vody (TUV) a pro vytápění většiny domů v obci pomocí centrálního zásobování teplem (CZT).

Součástí bioplynové stanice je i kotelná na biomasu, která má dva kotle, jeden na spalování slámy, druhý na spalování štěpky a dřevního odpadu. Kotle jsou v provozu pouze v topném období, kdy přebytečné teplo z BPS nestačí na pokrytí potřeby tepla v soustavě CZT.

Obec Kněžice plánuje rozšiřovat CZT a budou instalovány nové odběrní místa tepla. Po této realizaci nebude dosavadní bioenergetický komplex stačit pokrýt potřeby tepla v CZT, zejména v topném období.

Jednou z možností jak pokrýt teplo potřebné v CZT je návrh rozšíření stávající BPS. Důvodem pro rozšíření BPS není jen pokrytí potřebného tepla v CZT, ale současně vyřeší zpracování biologicky rozložitelného odpadu produkovaného okolní zemědělskou výrobou.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem na rozšíření stávající BPS. Návrh spočívá zvolením vhodného technologického zařízení na zpracování BRO včetně výběrového řízení na KJ a výpočtu základních parametrů BPS. Součástí diplomové práce je i ekonomické posouzení návrhu se základními ekonomickými ukazateli.

2 Cíl práce a metodika

Cíl práce

Cílem této diplomové práce je provést inovační návrh technologického zařízení na zpracování biologicky rozložitelných odpadů včetně ekonomického posouzení, který hodlá provést obec Kněžice na Nymbursku. Konkrétně se jedná o rozšíření bioplynové stanice. Tato investice bude financována z části úvěrem a z části bude dotována.

Metodika práce

Metodika práce lze rozčlenit do několika dílčích kroků. Prvním krokem je nutné prostudování dostupné literatury zabývající se zpracováním biomasy anaerobní fermentací a získání pokud možno co nejvíce informací o současném stavu řešené problematiky. Druhým krokem je zjištění aktuální situace ve výchozím podniku, konkrétně v BPS v obci Kněžice. Zjistit vstupy a výstupy bioplynové stanice a na základě těchto informací navrhnout funkční technologii pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů.

3 Přehled poznatků z literatury

Kvalitně realizované bioplynové stanice jsou moderní a ekologická zařízení, která se běžně provozují v celé Evropské unii. Zpracovávají širokou škálu materiálů nebo odpadů organického původu prostřednictvím procesu anaerobní digesce za nepřístupu vzduchu v uzavřených reaktorech. Výsledkem procesu jsou pak bioplyn, který je zatím nejčastěji používán k efektivní výrobě obnovitelné elektřiny a tepla, a dále digestát, který lze používat jako kvalitní hnojivo (Bačík, 2008).

3.1 Význam bioplynových stanic

BPS a výroba bioplynu obecně má řadu pozitivních a celospolečenských přínosů. Bioplyn je podle zákona č.180/2005 Sb.¹ hodnocen jako obnovitelný zdroj energie a elektrická a tepelná energie z něj vyrobená je tedy ekologicky šetrná. Hlavní přínosy lze shrnout následovně:

- z hlediska obnovitelných zdrojů má ČR právě v bioplynu jeden z největších a navíc rychle mobilizovatelných potenciálů
- jeho uplatnění může nejen významně pomoci při plnění závazku ČR vůči EU v oblasti obnovitelných zdrojů, ale také může přispět ke snížení závislosti ČR na fosilních palivech a na jejich dovozu z nestabilních zemí
- pro obce a města jsou BPS ve vhodných lokalitách efektivním způsobem řešení zpracování bioodpadů a jejich aktivního odklonu ze skládek v souladu s požadavky legislativy
- pro venkov jsou BPS jednou z možností, jak zajistit jeho rozvoj a podporu zaměstnanosti. Zemědělcům nabízejí reálnou alternativu pro smysluplné využití zemědělské půdy a novou podnikatelskou příležitost.

BPS umožňují realizaci přirozeného koloběhu živin v půdě a náhradu umělých hnojiv. Výsledkem řádného fermentačního procesu je stabilizovaný digestát, který

¹ Zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů)

může mít široké uplatnění, zejména jako organické hnojivo (Bačík, 2008).

3.1.1 Kategorizace bioplynových stanic

1. Zemědělské BPS (také farmářské BPS), jejichž vstupy lze hodnotit jako nejméně problematické. Zpracovávají pouze vstupy ze zemědělské prvovýroby, zejména statková hnojiva (kejda, hnůj apod.) a cíleně pěstované plodiny (např. kukuřice) k energetickému využití. Jsou většinou situovány v areálech stávajících zemědělských provozů a zpracováním a stabilizací statkových hnojiv výrazně snižují dosavadní zatížení oblastí pachovými látkami. Právě tato zařízení se stala typickými představiteli BPS v Německu a Rakousku a proces jejich schvalování by měl být co nejjednodušší (Bačík, 2008).
2. Kofermentační BPS (také průmyslové BPS), které zpracovávají výhradně nebo v určitém podílu rizikové vstupy, např. jateční odpady kaly ze specifických provozů, kaly z ČOV, tuky, masokostní moučku, krev z jatek apod. Pro fermentaci těchto vstupů je nezbytné pečlivě zvolit technologii zařízení a zpracovat kvalitní provozní řád zařízení. Povolovací proces by měl být v těchto případech přísnější. Zejména je třeba vyžadovat důsledné plnění požadavků z nařízení ES a Rady č. 1774/2002², které stanovuje hygienická pravidla na nakládání s vedlejšími živočišnými produkty (Bačík, 2008).
3. Komunální BPS, které jsou speciálně zaměřeny na zpracování komunálních bioodpadů, zejména z údržby zeleně, vytríděných bioodpadů z domácností a restaurací a jídelen. Vlastnický podíl v těchto zařízeních by měly mít často přímo obce. Požadavky pro provoz komunálních BPS, ostatně i pro provoz stejně zaměřených kompostáren, by měly ideálně obsahovat určitá zjednodušení a měly by být řešeny samostatným národním předpisem, obdobně jako v Rakousku a Německu (Bačík 2008).

2 Nařízení evropského parlamentu a rady (ES), kterým se stanoví hygienická pravidla týkajících se vedlejších živočišných produktů, které nejsou určeny k lidské spotřebě

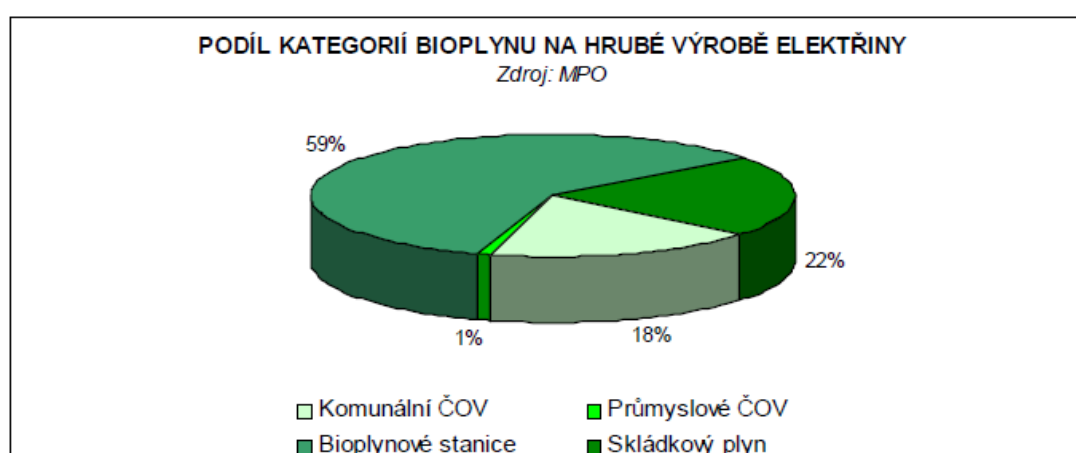
V souvislosti s kategorizací BPS je vhodné doplnit, že mezi bioplyn nepatří kalový plyn, vznikající na čistírnách odpadních vod, a skládkový plyn, vznikající na skládkách. Tyto plyny jsou i podle zákona hodnoceny jako samostatné obnovitelné zdroje (Bačík, 2008)

3.2 Aktuální situace v ČR

Využití bioplynu obecně má v ČR tradici zejména vzhledem k anaerobní fermentaci jako součásti technologie komunálních ČOV. Bioplyn zde vyrobený je především používán pro vlastní potřebu provozu. V posledních letech se ovšem ukazují jako velice perspektivní kvalitně realizované BPS, které obzvláště v roce 2009 zaznamenaly vysoký vzrůst výroby. Jsou to moderní a ekologická zařízení, která se běžně provozují v celé EU (MPO, 2009).

3.2.1 Elektřina vyrobená z bioplynu

Během roku 2009 byl zaznamenán patrný vzrůst počtu zařízení na výrobu elektřiny pouze u bioplynových stanicích. U těchto se počet zvedl o 52 zařízení, ale samotná hrubá výroba elektřiny stoupla o téměř 300 %. Dodávka do sítě je výrazně větší, zároveň se snížila přímá dodávka elektřiny třetím stranám. Podíl kategorií bioplynu na hrubé výrobě elektřiny znázorňuje tabulka 1 a obrázek 1 (MPO, 2009).



Obrázek 1: Podíl kategorií bioplynu na hrubé výrobě elektřiny (MPO, 2009)

	Počet zařízení na výrobu elektřiny	Instalovaný elektrický výkon (kW)	Výroba elektřiny (MWh)	Vlastní spotřeba vč. ztrát (MWh)	Dodávka do sítě (MWh)	Přímé dodávky (MWh)
Komunální ČOV	74	17 532	79 190,9	65 197,6	13 993,3	0,0
Průmyslové ČOV	9	1 499	3 615,6	2 716,6	899,0	0,0
Bioplynové stanice	151	53 579	262 622,0	32 484,5	227 374,1	2 763,5
Skládkový plyn	83	23 156	95 837,6	8 948,1	86 835,7	53,7
Celkem	317	95 766	441 266,1	109 346,8	329 102,1	2 817,2

Tabulka 1: Podíl kategorií bioplynu na hrubé výrobě elektřiny (MPO, 2009)

Celkový instalovaný výkon je 95 766 kW a roční výroba elektřiny přes 440 GWh.

3.2.2 Výhled výroby elektřiny z bioplynu do budoucna

Se zvyšováním využívání skládkového plynu nelze do budoucna počítat. Právě naopak, záměr podporovaný EU je omezit skládkování na minimum a to pouze u předem zpracovaného odpadu, jenž nejde recyklovat nebo druhotně využít. Proto se předpokládá i pokles produkce skládkových plynů. Potenciál využití bioplynu z komunálních čistíren odpadních vod je již z velké části vyčerpán a nelze očekávat významné změny ani v souvislosti s výstavbou malých čistíren odpadních vod, kde neprobíhá anaerobní fermentace. U bioplynových stanic, kde je nejvyšší vzrůst se očekává konstantní navyšování i do budoucna. Trend výroby elektřiny z bioplynu zachycuje tabulka 2 (MPO, 2009).

Rok	Instalovaný výkon (kW)	Hrubá výroba elektřiny (MWh)	Dodávka do sítě (MWh)
2003	24 985	107 856	11 868
2004	32 540	138 793	81 913
2005	36 271	160 857	93 413
2006	39 964	175 837	99 756
2007	49 913	215 223	138 485
2008	71 031	266 868	176 714
2009	95 766	441 266	329 102
Rozdíl 2008/2009	24 735	174 398	215 388
	34,8 %	65,3 %	121,8 %

Tabulka 2: Trend výroby elektřiny z bioplynu (MPO, 2009)

3.3 Základní poznatky o bioplynu

Názvem „bioplyn“ je obecně míněna plynná směs metanu a oxidu uhličitého. V plynném produktu dobře prosperujících metanogenních mikroorganismů představuje suma CH_4 a CO_2 hodnoty velmi blízké 100 % obj., vždy s výraznou převahou metanu. Protože se však v technické praxi nemusíme vždy potkat s takovýmto „ideálním“ bioplynem je zde ještě celá škála dalších plynů, která může bioplyn obsahovat. Mohou to být zbytky vzdušných plynů (N_2 , O_2 , Ar), neúplně spotřebované produkty acidogeneze (H_2 , přebytek CO_2) anebo další minoritní a stopové příměsi z předcházejících anebo simultánních reakcí organické hmoty (H_2S , N_2O , HCN , uhlovodíky i jejich deriváty většinou kyslíkaté i sirné). A proto složení bioplynu bývá různé, záleží z čeho bioplyn vzniká (Straka, 2006).

3.3.1 Termín „bioplyn“

Termín „bioplyn“ v posledních letech 20. století zcela zobecněl a současná technická praxe pro termín bioplyn přiřadila plynný produkt anaerobní metanové fermentace organických látek uváděné též pod pojmy vyhnívání, anaerobní digesce, biometanizace anebo biogasifikace. V technologii čištění odpadních vod se často

požívá i termín „anaerobní stabilizace kalů“ či zkráceně „stabilizace“, přičemž je míněno téměř vždy totéž: anaerobní fermentace (Straka, 2006).

3.3.2 Vznik bioplynu

Biologický rozklad organických látek je složitý vícestupňový proces, na jehož konci působením metanogenních, acetotrofních a hydrogenotrofních mikroorganismů vzniká bioplyn. Průběh tohoto procesu ovlivňuje řada dalších procesních a materiálových parametrů, např. složení materiálu, podíl vlhkosti, teplota prostředí, číslo pH, anaerobní prostředí, absence inhibičních biochemických látek atd.

Anaerobní mikroorganismy produkující metan (metanogeny) jsou považovány za jedny z nejstarších živých organismů na naší planetě. Kyslík i v sebemenší koncentraci je pro ně totéž jako prudký jed pro živé organismy. Jejich přizpůsobivost jim umožnila přežít i poté, co se v atmosféře Země začal objevovat kyslík. Těsná symbióza s jinými aerobními organismy, které jim zajišťují energii a anaerobní prostředí, umožnila jejich přežití až do dnešní doby. Všudypřítomné metanogenní kultury proto v přírodě nalzáme zásadně ve směsných kulturách, nikoliv v čistém stavu.

Biologický rozklad organických látek v anaerobních podmínkách je proces, který se nazývá metanová fermentace, metanové kvašení, anaerobní fermentace, anaerobní digesce, biogasifikace, biometanizace atd. Tento proces probíhá za určitých podmínek v přírodě samovolně nebo je vyvolán záměrně v biotechnických zařízeních. Výsledkem metanové fermentace je vždy směs plynů a fermentovaný zbytek organické látky. Pro tuto směs plynů, obsahující vždy dva majoritní plyny a v případech v praxi početnou, avšak objemově zanedbatelnou řadu minoritních plynů, se ustálily různé názvy podle jejich původu nebo místa vzniku (Pastorek, Kára, Jevič, 2004). Tak rozeznáváme:

Zemní plyn – vznikl anaerobním rozkladem biomasy nahromaděné v dávných dobách; je energeticky nejhodnotnější, obsahuje okolo 98 % metanu. Je klasifikován jako neobnovitelný zdroj energie.

Důlní plyn – původ jeho vzniku je obdobný jako u zemního plynu. Energetické využití nemá, pro svoji výbušnost ve směsi se vzduchem, resp. kyslíkem, je velmi nebezpečnou příčinou důlních, ale i povrchových havárií.

Kalový plyn – vzniká anaerobním rozkladem organických usazenin v přírodních i umělých nádržích, uvolňuje se ze dna oceánů, moří jezer, močálů, rybníků, které se pravidelně nečistí, ale vzniká i v biologickém stupni čistíren odpadních vod, rýžovištích, rašeliništích apod.

Skládkový plyn – většina skládek komunálního odpadu obsahuje 20-60 % organických materiálů, ze kterých může za vhodných podmínek anaerobní fermentací vznikat po mnoho let skládkový plyn s velmi proměnlivým složením.

Bioplyn – obecně lze tento název použít pro všechny druhy plyných směsí, které vznikly činností mikroorganismů. Tím je vyjádřeno, že všechny druhy bioplynů anaerobního původu vznikají principiálně stejným způsobem, ať probíhá metanogenní proces pod povrchem země, v zažívacím traktu živočichů, zvláště přežvýkavců, ve skládkách komunálního odpadu, v lagunách, nebo v řízených anaerobních reaktorech (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

3.3.3 Pojem „anaerobní fermentace“

Jedná se o velmi složitý biochemický proces, který se skládá z mnoha dílčích, na sebe navazujících fyzikálních, fyzikálně - chemických a biologických procesů. Metanogeneze je pouze konečná fáze biochemické konverze biomasy v anaerobních podmínkách na bioplyn a zbytkový fermentovaný materiál.

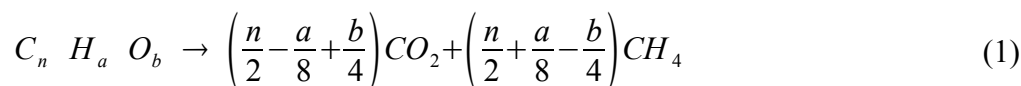
Pro snazší vysvětlení celého procesu se použije velmi zjednodušeného schéma anaerobní fermentace vlhkých organických materiálů rozdělující proces do čtyř základních fází jak ukazuje obr. 2 (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

octovou (CH_3COOH), vodík (H_2), a oxid uhličitý (CO_2).

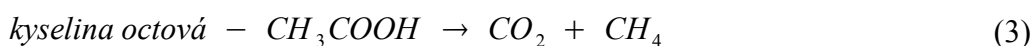
IV. fáze – Metanogeneze - metanogenní acetotrofní bakterie rozkládají především kyselinu octovou na metan a oxid uhličitý, hydrogenotrofní bakterie produkují metan CH_4 z vodíku H_2 a oxidu uhličitého CO_2 . Určité kmeny metanogenních bakterií se chovají jako obojetné.

Pro stabilitu procesu anaerobní fermentace organických materiálů je velmi důležitá optimální rovnováha v kinetice jednotlivých fází, probíhajících s odlišnou rychlostí. Metanogení fáze probíhá přibližně $5\times$ pomaleji než zbylé tři fáze. Tomu je třeba přizpůsobit konstrukci bioplynových technologických systémů a dávkování surového materiálu, jinak hrozí přetížení fermentoru se všemi nepříznivými důsledky (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

Obecně pro rozklad uhlovodanů platí:

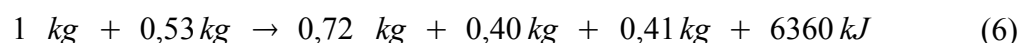


Zjednodušený popis metanového kvašení

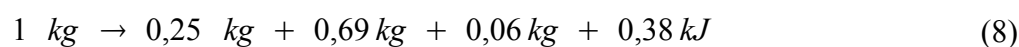


Rozdíl mezi anaerobním a aerobním procesem je zřejmý z modelového příkladu rozkladu glukózy:

Aerobní proces:



Anaerobní proces:



Při aerobním procesu zůstává významné množství stabilizovaného substrátu (např. kompost), který se intenzivně sám zahřívá.

V anaerobním procesu se odbourává velký podíl organické sušiny, materiál se sám zahřívá velmi málo, získáme však bioplyn jako doplňkový zdroj energie (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

3.3.4 Z jakých materiálů se bioplyn tvoří

Biomasa je obecný pojem pro materiál vhodný pro využití k energetickým účelům formou metanogenní fermentace. Za biomasu je v užším pojetí považována organická hmota rostlinného původu vznikajícího na bázi fotosyntetické konverze sluneční energie. Pod pojmem biomasa si však můžeme představit substanci biologického původu, která zahrnuje rostlinnou biomasu (fytomasu) pěstovanou na půdě, hydroponicky nebo ve vodě, živočišnou biomasu, vedlejší organické produkty a organické odpady (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

3.3.5 Podmínky vzniku bioplynu

Jak už bylo zmiňováno, bioplyn je produktem látkové výměny metanových bakterií, ke které dochází když bakterie rozkládají organickou hmotu. Dnes je známo asi 10 druhů *Methanococcus* a *Methanobacterium* o velikosti pouze 1 μm , které vyžadují různé typy péče a aby tyto bakterie mohly rozkládat organickou hmotu, potřebují k tomu následující životní podmínky (Schulz, Eder, 2004).

Vlhké prostředí

Metanové bakterie mohou pracovat a množit se jen tehdy, když jsou substráty dostatečně zalaty vodou (alespoň z 50 %). Na rozdíl od aerobních bakterií, kvasinek a hub nemohou žít v pevném substrátu (Schulz, Eder, 2004).

Zabránění přístupu vzduchu

Metanové bakterie jsou striktně anaerobní, je-li v substrátu přítomen kyslík,

jako například v čerstvé kejďě, musejí ho aerobní bakterie nejprve spotřebovat. K tomu dochází v první fázi bioplynového procesu. Nepatrné množství kyslíku, jaké vzniká z cíleného nafoukání vzduchu při odsíření (mikroaerace), však neškodí (Schulz, Eder, 2004).

Zabránění přístupu světla

Světlo sice bakterie neničí, ale brzdí proces. Zabránit přístupu světla není problém (Schulz, Eder, 2004).

Stálá teplota

Metanové bakterie pracují při teplotě mezi 0–70 °C. Kromě několika kmenů, které mohou žít při teplotě až 90 °C, tzv. ultratermofilní (Pastorek, Kára, Jevič, 2004), při vyšších teplotách hynou. Při teplotách pod bodem mrazu přežívají, ale nepracují. Literatura udává jako dolní hranici 3 – 4 °C.

Rychlost procesu vyhnívání je na teplotě silně závislá. Zásadně platí: čím vyšší je teplota, tím rychleji nastává rozklad a tím vyšší je produkce plynu, tím kratší je doba vyhnívání a tím nižší je obsah metanu v bioplyn. Množství plynu se ovšem v průběhu vzájemného kontaktu složek substrátu sbližují.

Praxe ukázala 3 typické teplotní oblasti, které jednotlivým bakteriálním kmenům prospívají (Schulz, Eder, 2004):

- psychrofilní kmeny – teploty pod 20 °C,
- mezofilní kmeny – teploty od 25 do 35 °C,
- termofilní kmeny – teploty nad 45 °C.

Čím vyšší teplota, tím jsou bakterie citlivější na teplotní výkyvy, zejména jsou li výkyvy krátkodobé a teplota klesne. Zatímco v mezofilní oblasti bakterie denní výkyvy v rozmezí 2 – 30 °C kolem střední hodnoty ještě zvládnou, v termofilní oblasti by výkyvy neměly být větší než 10 °C . Po delší době (asi 1 měsíc) se

kmeny bakterií přizpůsobí nové teplotní úrovni (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

Hodnota pH

Významným faktorem ovlivňujícím metanogenní fermentaci je číslo pH materiálu. Za optimální hodnotu pH na vstupu do procesu se považuje pH = 7 až 7,8, které je blízké neutrální hodnotě. V průběhu procesu se tento parametr mění. Na začátku převažuje aktivita acidogenů a pH může poklesnout na 4 až 6. Při hodnotách pH substrátu menších než 5 se mohou začít objevovat inhibiční účinky na některé kmeny metanogenů. Dojde-li však za příznivých podmínek k jejich rozvoji, zvýší svou aktivitou číslo pH substrátu až na neutrální

hodnotu pH = 7. Některé kmeny metanogenů jsou schopny se rozvíjet i v silně alkalickém prostředí (pH = 8 až 9). V praxi se hodnota pH materiálu na vstupu do procesu upravuje homogenizací směsných materiálů nebo alkalickými přísadami (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

Inhibitory

Některé organické kyseliny, antibiotika, chemoterapeutika a desinfekční prostředky mohou proces vyhnívání brzdit nebo úplně zastavit, zvláště při vyšších koncentracích. K tomu může dojít, když jsou najednou ošetřována všechna zvířata nebo se dezinfikují stáje. Ošetřování jednotlivých zvířat nemá negativní účinky. Také je velký rozdíl mezi užívanými prostředky (Schulz, Eder, 2004).

3.4 Rozdělení bioplynových technologií

3.4.1 Technologie mokrého a suchého biozplynování

Technologie a technika anaerobního zpracování s postupem let dospěla téměř k dokonalosti. Příkladem může být to, že prvotním významem fermentační technologie bylo především stabilizovat biologicky rozložitelný odpad. V současnosti vedle stabilizace odpadu je stále více brán zřetel na produkci bioplynu a jeho následné využití pro produkci energie.

Technologie anaerobní fermentace odpadu (substrátu) se rozděluje dle dílu sušiny ve vsázce zpracovávaného substrátu na mokré a suché. Mokré technologie pracují se sušinou substrátu cca 10 %, u suchého procesu se podíl sušiny pohybuje většinou v rozmezí 30 – 35 % (Malat'ák, Vaculík, 2008)

Mokrý proces anaerobní fermentace

Optimální sušiny fermentovaného substrátu v mokrému procesu je dosahováno recyklací procesní tekutiny z odvodnění již zfermentovaného substrátu. Recyklovaná tekutina je nejen očkovacím médiem, ale má rovněž významné pufrací účinky, tzn. schopnost odolávat změnám při okyselování či alkalizování fermentovaného substrátu. Anaerobní fermentace tekutého substrátu vyžaduje objemné biofermentory a je energeticky náročná na vyhřívání, čerpání a odvodňování. Pomalá reprodukovatelnost anaerobních mikroorganismů zapříčiňuje potřebu delšího období setrvání substrátu ve fermentoru, zpravidla nad 15 dní, což snižuje jeho možné zatížení. Problémový bývá rovněž i záběh bioplynové stanice tohoto typu, než dojde k optimálnímu poměru mezi počtem hydrolytických, acidogenních, acetogenních a metanogenních bakterií. Často je v těchto typech bioplynových stanic realizována kofermentace fytomasy s kejdou. Kofermentace fytomasy s kejdou umožňuje stabilizovaný proces produkce bioplynu vlivem pufrací schopnosti kejdy v substrátu a omezuje disfunkce způsobené vyššími koncentracemi čpavku. Přídavek fytomasy optimalizuje poměr uhlíku a dusíku a kejda vnáší do substrátu potřebné živiny a mikroelementy nezbytné pro rozvoj mikrobioty (Malat'ák, Vaculík, 2008).

Suchý proces anaerobní fermentace

V technologiích biozplynování anaerobní fermentací substrátů s sušinou v rozpětí 35 – 40 % jsou obdobně jako v případě mokré metody fermentace využívány procesy mezofilní, probíhající za teploty 35 – 40 °C nebo termofilní za teploty 55 – 60 °C. Výhodou termofilního procesu je především hygienizace, kterou lze při anaerobní digesci využít pouze při zpracování hygienicky závadného

materiálu. Termofilní mikroflóra je schopna degradovat více proteinů než mezofilní a je až dvojnásobně tolerantní k volnému amoniaku. Většina autorů se shoduje v tom, že při anaerobní digesci fytomasy nejsou podstatné rozdíly ve výtěžku metanu mezi mezofilním a termofilním procesem a z důvodu nižších tepelných ztrát je možné doporučit pro tento účel procesy mezofilní.

Pro bioplynování tuhých biodegradabilních odpadů či fytomasy je mnoho diskontinuálních i kontinuálních technologických systémů. Nejjednoduším z nich je diskontinuální vsázkový systém tzv. Batch-systém. Tento systém byl během šedesáti let obohacen různými modifikacemi. Jeho nejčastější variantou jsou tři vsázkové biofermentory, které jsou střídavě plněny a vyprazdňovány v kombinaci v jednom objektu (Malat'ák, Vaculík, 2008).

3.4.2 Technologie dávkování surového materiálu

Diskontinuální

Diskontinuální (s přerušovaným provozem, cyklické, dávkové atd.) - doba jednoho pracovního cyklu odpovídá době zdržení materiálu ve fermentoru. Používá se zvláště při suché fermentaci tuhých organických materiálů. Způsob manipulace s materiálem je náročný na obsluhu (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

Semikontinuální

Doba mezi jednotlivými dávkami je kratší než doba zdržení materiálu ve fermentoru. Je to nejpoužívanější způsob plnění fermentorů při zpracování tekutých organických materiálů. Materiál se dávkuje 1 krát až 4 krát i vícekrát za den. Materiál vstupující semikontinuálně do fermentoru má velký vliv na změnu pracovních parametrů fermentoru (teplota, homogenita). Technologický proces lze snadno automatizovat a proces není náročný na obsluhu (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

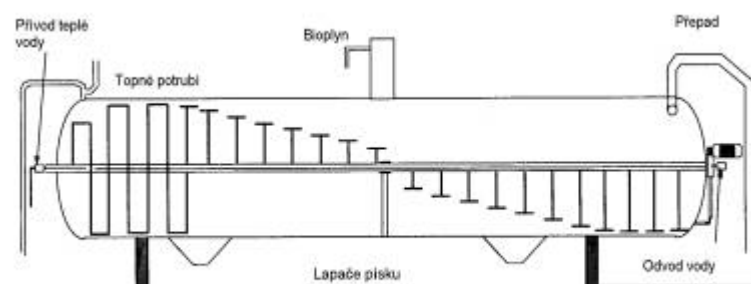
Kontinuální

Používají se při plnění fermentorů, které jsou určeny pro zpracování tekutých organických odpadů s velmi malým obsahem sušiny (Pastorek, Kára, Jevič, 2004).

3.4.3 Konstrukční typy fermentorů

Horizontální konstrukční typ

Vyhnívací nádrž může být konstruována buď jako stojící (vertikální), nebo jako ležící (horizontální). Horizontální konstrukce (obr. 3) má tu důležitou přednost, že zde lze instalovat výkonné, funkčně bezpečné a energeticky úsporné mechanické míchadlo. Tím lze dosáhnout dobrého promíchání napříč směrem průtoku, aniž dochází k přílišnému promíchávání v podélném směru. Protože délka horizontální nádrže je oproti její výšce zpravidla několikanásobná, automaticky zde vzniká velmi žádoucí tzv. pístové proudění. Tento pojem označuje jev, kdy jedna dávka kejdý je posunována rourou jako píst, takže čerstvý substrát z plnicí zóny se nesmíchává s vyhnílym materiálem na druhém konci nádrže, což podporuje hygienizační efekt.

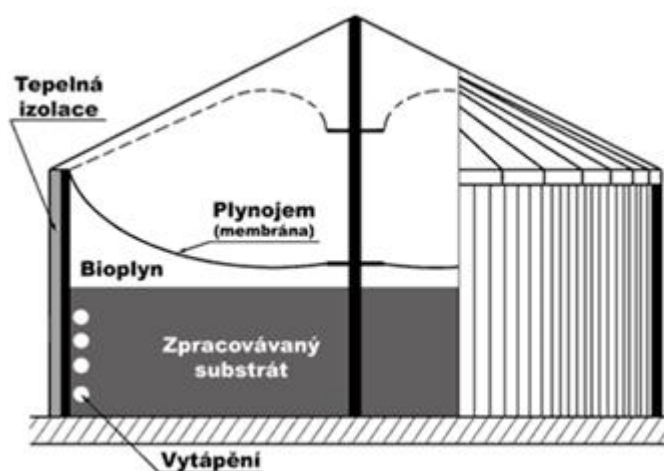


*Obrázek 3: Horizontální konstrukce fermentoru
(www.polnohospodarskabiomasa.sk)*

Nevýhodou je potřeba velkého prostoru na umístění nádrže, nadměrná velikost povrchu nádrže v poměru k jejímu objemu (velké tepelné ztráty) a nemožnost očkovaní čerstvého substrátu bakteriální flórou vyhnílého kalu. U hovězí kejdy a hnoje tyto skutečnosti nehrají žádnou roli, neboť v substrátu už je přítomno dostatečné množství metanových bakterií. Prasečí kejda, slepičí trus nebo organický odpad, které neobsahují žádné anaerogní bakterie, nebo jen velmi malé množství, by u konstrukce tohoto typu měly být očkovány vyhnílym kalem (vyhnílym substrátem). K tomu může dojít v přípravné nádrži nebo recirkulací očkovacího materiálu pomocí malého čerpadla. Horizontální fermentory jsou většinou konstruovány jako cylindrické ocelové nádrže a jsou umístěny nad zemí. Při provedení v betonu přichází v úvahu pouze čtvercový nebo pravoúhlý průřez (Schulz, Eder, 2004).

Vertikální konstrukční typ

Vyhnívací nádrže konstruované jako vertikální (obr. 4) bývají ze statických důvodů vyrobeny z betonu a mají kruhový průřez. Oproti horizontálnímu provedení mají tu přednost, že zde lze dosáhnout lepšího poměru mezi povrchem a objemem, čímž se sníží materiálové náklady a tepelné ztráty. Nevýhodou je především to, že zde nemůže docházet k pístovému proudění (Schulz, Eder, 2004).



Obrázek 4: Vertikální konstrukce fermentory
(www.polnohospodarskabiomasa.sk)

4 Výchozí podmínky podniku, postupy a metody řešení

Obec kněžice se nachází ve středočeském kraji, asi 20 km na severovýchod od Poděbrad, v rovinném nezalesněném terénu. Bez svých satelitních osad mají Kněžice 410 stálých obyvatel. V obci není zaveden zemní plyn, většina objektů v obci byla ještě nedávno vytápěna uhlím a dřívím. V obci je pouze dešťová kanalizace, splašková kanalizace v obci není, domy mají vlastní žumpy a septiky, které se dříve podle potřeby vyvážely většinou na zemědělské pozemky. Nyní se obsahy septiků, žump a všechny vhodné organické odpady z obce využívají a likvidují v BPS. Vhodné odpady z hořlavé biomasy (např. prořezávky z místních porostů) se spalují v kotelně na biomasu. V katastrálním území obce Kněžice je celkem 810 ha zemědělské půdy a 204 ha lesů. Z toho 104 ha zemědělské půdy patří obci, ostatní půda je privátní a nebo patří jiným subjektům (Kazda, Bláha, 2010).

4.1 Objasnění – analýza úkolu

Obec Kněžice plánuje rozšíření CZT a navýšení odběrních míst tepla. Současný bioenergetický komplex nemá kapacity na pokrytí potřeby tepla v CZT.

Záměrem je rozšíření a provozování BPS – tedy zařízení pro energetické využití biologicky rozložitelných odpadů. Zařízení bude určeno pro zpracování materiálů čistě zemědělského původu.

BPS bude pracovat na principu „mokrý cesta anaerobní fermentace“, kdy vstupní biomasa při zpracování je ředěna na cca 10-12 % sušiny. Ve fermentoru probíhá anaerobní proces v mezofilním režimu (cca 38 °C), jehož výstupem je bioplyn a fermentační zbytek.

Vznikající bioplyn bude na základě složení dále zpracováván pro použití v KJ . Při využití v KJ se vyrábí elektrická energie, která se dodává do sítě. Teplo z chlazení KJ je využíváno pro ohřev teplé vody, která se používá na ohřev fermentoru a přebytek tepla bude využíváno v CZT pro obec. V letním období mimo topnou sezonu bude teplo využito pro ohřev TUV a zbytek tepla se bude

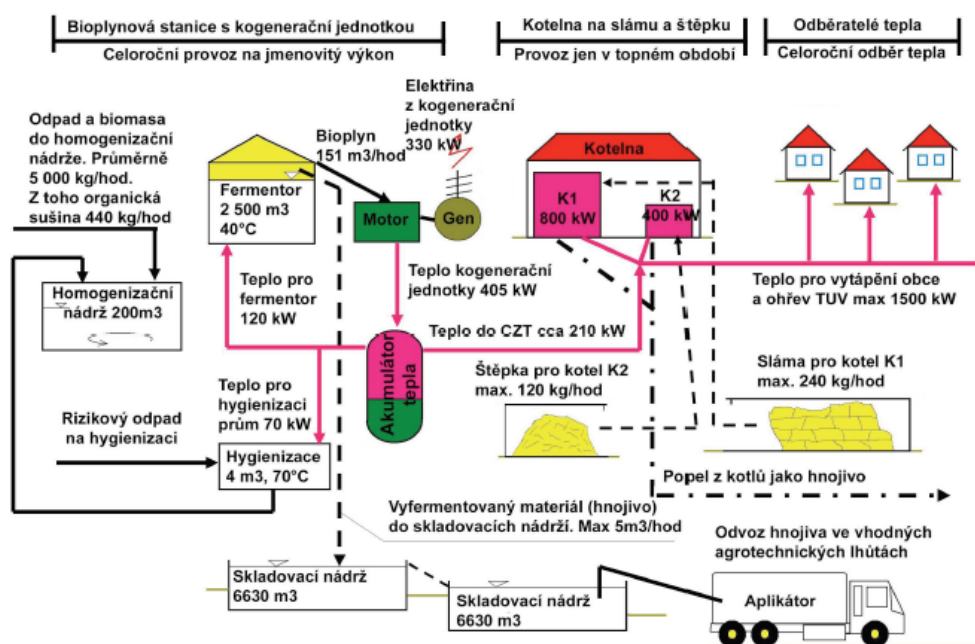
využívat např. pro sušení biomasy pro výrobu pelet nebo mařit v ovzduší. Ochlazené spaliny z kogenerační jednotky jsou odváděny komínem do ovzduší. Bioplyn, jehož složení nebude odpovídat požadovaným parametrům kogenerační jednotky, bude likvidován na bezpečnostním hořáku. Taková situace bude nastávat pouze při závěrečném odstavování fermentoru z cyklu a při havarijních stavech. Předpokládá se, že tímto způsobem bude nutno likvidovat maximálně 5 % vyrobeného bioplynu.

4.2 Charakteristika dosavadní výroby

Komplex se skládá z bioplynové stanice s kogenerační jednotkou, z výtopny na spalování slámy a dřevního odpadu, teplovodního rozvodu z předizolovaného potrubí v celé obci, kterým se přes předávací stanice v jednotlivých objektech celoročně dodává z kotelny a z bioplynové stanice teplo pro vytápění a pro ohřev teplé užitkové vody do téměř všech domů v obci (Kazda, Blaha, 2010).

4.2.1 Technologie

Bioplynová stanice (obr. 5) má příjmovou homogenizační jímku s objemem 180 m³, hygienizační linku s kapacitou 10 tun materiálu za den, jeden vytápěný fermentor o objemu 2 500 m³ se střešním plynojemem 700 m³, jednu kogenerační jednotku s elektrickým výkonem 330 kW a s tepelným výkonem 400 kW, a dvě skladovací nádrže s objemem 2 x 6300 m³ na vzniklé hnojivo - tekutý vyfermentovaný substrát. Součástí stanice je trafostanice 22/0,4 kV pro vyvedení elektrického výkonu kogenerační jednotky do elektrizační sítě. Kotelna na biomasu má dva kotle, jeden kotel o výkonu 800 kW na spalování slámy, druhý o výkonu 400 kW na spalování štěpky a dřevního odpadu, provozní zásobník slámy na přibližně 8 hodin nepřetržitého automatického provozu kotle na slámu, provozní zásobník štěpky na více než jednodenní automatický provoz kotle na štěpku, krytý sklad paliva na několik týdnů provozu kotelny, čerpací stanici pro cirkulaci topné vody v soustavě, chemickou úpravnu vody a systém udržování tlaku v soustavě CZT (Kazda, Bláha, 2010).



Obrázek 5: Schéma BPS Kněžice

Kotelna spaluje hlavně obilní slámu a energetický šťovík v obřích balících, drobný dřevní odpad, podle potřeby dodává teplo do soustavy CZT. Popel ze spalování slámy a dřeva je využíván jako hnojivo pro zemědělské pozemky.

4.2.2 Zajištění materiálu a jeho přeměna na energii

Je to především organický odpad z místní zemědělské farmy, kejda hospodářských zvířat, ale i krmné a posklizňové zbytky (siláž, traviny, šrot atd.) Stanice dále zpracuje a ekologicky naprosto nezávadně likviduje svážený obsah septiků a žump z Kněžic a okolí. Další surovinou do budoucna pro bioplynovou stanici bude záměrně pěstována biomasa, například kukuřice a jeteloviny.

Stanice je vybavena i tepelnou hygienizací rizikových vstupních surovin a je tudíž schopna zpracovávat a ekologicky likvidovat zbytky jídel z restauračních zařízení tzv. cateringový odpad a krev z jatek. Všechny tyto vstupní suroviny se po průchodu bioplynovým reaktorem promění v biologicky a hygienicky nezávadné

hnojivo. To se skladuje ve skladovacích nádržích stanice, a ve vhodných agrotechnických lhůtách je vyváženo na zemědělské pozemky. Vznikající bioplyn je trvale spalován v KJ, která vyrábí elektřinu a teplo. Elektřina z jednotky se prodává do elektrizační sítě. Teplo z jednotky se z menší části využije pro ohřev fermentoru a veškeré zbylé teplo se trvale dodává do rozvodu tepla v obci.

U bioplynových stanic je využití zbytkového odpadního tepla z kogenerační jednotky problémem. Obvykle využití veškerého tepla není možné, protože jsou většinou postaveny v místě, kde jsou sice zdroje surovin pro stanici, ale nikoli dostatečný odbyt tepla. Více než polovina vyrobeného tepla z BPS se pak obvykle odvádí bez užitku do okolního vzduchu. V Kněžicích je teplo z kogenerační jednotky využito právě díky soustavě CZT v obci (Kazda, Bláha, 2010)

4.2.3 Parametry bioplynové stanice Kněžice v roce 2010

Spotřeba bioplynu	1 479 095 m ³
Obsah metanu v bioplynu	54,00%
Výhřevnost bioplynu	21 MJ . m ⁻³
Dodávka tepla z KJ do CZT	3 138 GJ / 1 705 MWh _t
Celková produkce tepla KJ	9 396 GJ / 2 610 MWh _t
Výroba elektrické energie	2 625 MWh _e
Roční proběh KJ	8 300 h
Měrná produkce elektrické energie	1,75 kWh _e ·m ⁻³
Měrná spotřeba bioplynu	0,5714 m ³ ·kWh _e ⁻¹
El. účinnost KJ (pro výhřevnost bioplynu 21 MJ.m-3)	35,67%

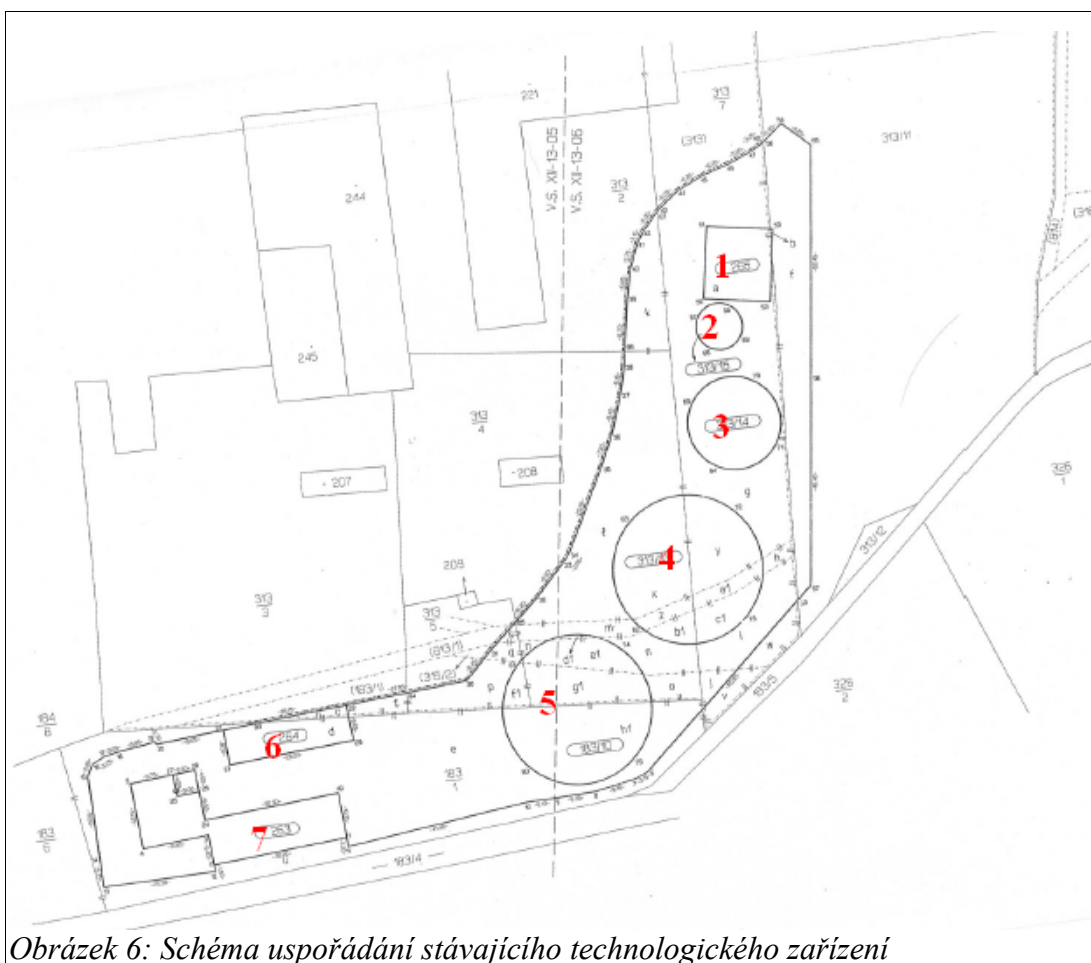
Tabulka 3: Parametry bioplynové stanice Kněžice v roce 2010 (Kazda, Bláha, 2010)

4.3 Uspořádání stávajícího technologického zařízení

Stávající schéma a uspořádání jednotlivých stavebních objektů a provozních souborů je znázorněno na obrázku 6.

Legenda:

1. Provozní budova
2. Homogenizační jímka
3. Fermentor
4. Skladovací nádrž
5. Skladovací nádrž
6. Sklad pro biomasu
7. Kotelna na slámu a štěpku



Obrázek 6: Schéma uspořádání stávajícího technologického zařízení

4.4 Nedostatky dosavadního provozu

Obec Kněžice plánuje rozšíření CZT a současná BPS a kotelna na biomasu nemá takové kapacity, hlavně v topném období, aby stačila zásobovat celou obec vzniklým teplem v BPS a kotelně na biomasu. Tudíž se plánuje rozšíření stávající BPS o další fermentor na výrobu bioplynu, příjmové zařízení a technologické zařízení na zpracování vzniklého bioplynu. Skladovací nádrže na vzniklý digestát nejsou zatím uvažovány. Budou využívané nádrže stávající BPS.

Dalším argumentem proč rozšířit stávající BPS je využívání produktů jak už odpadních či záměrně pěstovaných zemědělského družstva v obci Kněžice.

4.5 Souhrn výchozích podmínek

Obec Kněžice díky svému projektu a realizaci unikátní BPS s kogenerační jednotkou, která je nyní hlavním zdrojem energie v místě a další úsporná opatření, například zvýšení efektivity veřejného osvětlení a vlastní výroba topných pelet z biomasy v obci, získala od Ministerstva životního prostředí Certifikát energeticky soběstačné obce (ESO).

Jednotlivými kroky k rozšíření návrhu budou dimenzování BPS na základě maximálního povolení³ (500 kW) dodávky elektřiny do elektrizační soustavy. Dalším krokem je nadimenzování BPS dle povoleného výkonu a výběrem vhodného technologického zařízení pro zpracovávané jednotlivé substráty v dané obci a místním regionu.

Závěrem je vyhodnocení celého projektu z ekonomického hlediska a diskuze a přijetí návrhu.

3 Vyhláška 51/2006 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě

5 Návrh řešení a dosažené výsledky

Záměrem je rozšíření a provozování stávající bioplynové stanice – tedy zařízení pro energetické využití rostlinných a živočišných biologicky rozložitelných odpadů ve stávajícím objektu již provozované bioplynové stanice v obci Kněžice. Zařízení bude určeno pro zpracování materiálů čistě zemědělského původu, tak i nerizikových odpadů z údržby zeleně (tráva, listí, staré květiny). Navrhovaná BPS bude zařazena do kategorie „zemědělská BPS“, tedy zařízení není možné zpracovat biologicky rozložitelné odpady jako jsou zbytky jídel, odpadní tuky a jedlé oleje a materiály čistě komunálního původu, neboť vstupní zařízení není vybaveno hygienizací.

Na základě žádosti Obce Kněžice dle vyhlášky 51/2006 Sb. ze dne 17. února 2006 o podmínkách připojení k elektrizační soustavě dostala Obec Kněžice připojení 0,5MW elektrického výkonu do přenosové soustavy. Tudíž kogenerační jednotka BPS bude dimenzována na tuto hodnotu.

5.1 Řešení návrhu

Návrh rozšíření BPS bude řešit:

- Výběrové řízení kogenerační jednotky pro BPS dle daného elektrického výkonu
- Vyhodnocení výběrového řízení
- Základní stavební objekty a provozní soubory BPS

5.1.1 Výběrové řízení kogenerační jednotky pro BPS

Kogenerační jednotky jsou zařízení pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. Jejich základem je pístový spalovací motor upravený pro spalování bioplynu, který pohání elektrický agregát. Celková energetická účinnost kogenerace bývá 80 – 88 %, přičemž 1/3 vyrobené energie představuje energii elektrickou a 2/3 energii tepelnou, kterou je možno využít pro ohřev fermentorů. Z 1 m³ bioplynu

jsme takto schopni získat přibližně 2 kWh elektřiny, zbytek tvoří tepelná energie. Kogenerační jednotka je soustrojí motor – generátor a ostatní příslušenství, které je zpravidla umístěno na společném rámu ocelové konstrukce. Celá jednotka je opatřena protihlukovým krytem s rozvaděčem, který lze oddělit a umístit mimo jednotku. V případě potřeby vyššího výkonu lze několik kogeneračních jednotek spojit. Řídicí systém kogenerační jednotky zajišťuje plně automatický bezobslužný provoz a trvalou automatickou diagnostiku stavu, na přání je možné provádět dálkový monitoring a ovládání, případně napojit jednotku na centrální dispečink servisního střediska výrobce, atd (Malat'ák, Vaculík, 2008).

Obec Kněžice jakož to právní subjekt musí dle zákona⁴ vypsat tzv. výběrové řízení na kogenerační jednotku. Zakázka bude zveřejněna včetně kritérií posuzování. Jednotlivé kritéria budou vyhodnocena podle tabulky 4.

Kogenerační jednotka bude provedena v kontejneru včetně přídatného chlazení.

Reference	5 a více ⁵	1- 5	0	0
	100 %	40 %	nevyhověl	nevyhověl
Servis	do 24 hod	do 36 hod	do 48 hod	do 60 hod
	100 %	70%	30%	0%
Elektrický výkon (kW)	500 ± 4 %	500 ± 5 %	500 ± 6 %	500 ± 7 %
	100 %	70 %	30 %	0%
Elektrická účinnost (%)	45 a více	40 - 45	35 - 40	35 a méně
	100 %	70 %	30 %	0 %
Tepelná účinnost (%)	45 a více	40 - 45	35 - 40	35 a méně
	100 %	70 %	30 %	0 %
Cena (Kč)	Nejnižší cena	Nejnižší cena + 10 %	Nejnižší cena + 15 %	Nejnižší cena + 20 %
	100 %	70 %	50 %	30 %

Tabulka 4: Kritéria pro vyhodnocení výběrového řízení

4 Zákon 137/2006 Sb., o veřejných zakázkách

5 Počet realizovaných a zkolaudovaných zařízení na bioplyn o jmenovitém výkonu nad 300 kW, za poslední 2 roky

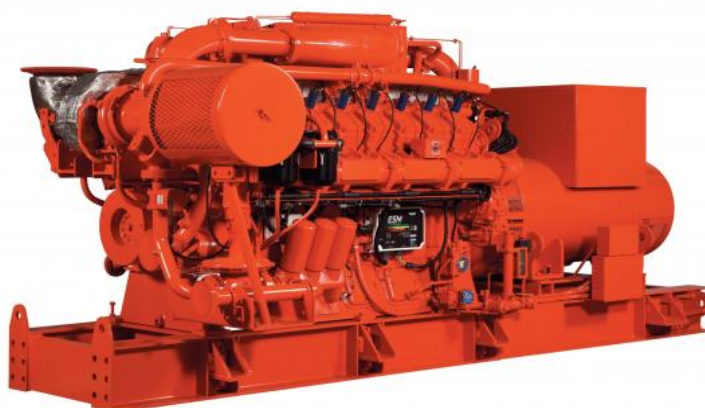
Motorgas s.r.o.

Kogenerační jednotky motorgas MGW s plynovými motory waukesha (obr. 7) jsou nejoblíbenějším výrobkem provozovatelů kogenerace na bioplyn na čistírnách odpadních vod v Česku. U zákazníků jsou oblíbené zejména díky dlouholetým pozitivním provozním zkušenostem. Motorgas je oficiálním zástupcem společnosti Dresser waukesha pro prodej nových motorů i náhradních dílů a také autorizovanou servisní organizací pro Česko i Slovensko.

Z řady KJ na bioplyn od výrobce Motorgas se nabízí KJ MGW 520 s motorem WAUKESHA L36 GLD a elektrickým výkonem 520 kW za cenu 6 794 930 Kč. Základní technické údaje o KJ jsou uvedeny v tab.5 (Motorgas, 2011).

Typ KJ	MGW 520
Motor	WAUKESHA L36 GLD
Elektrický výkon (kW)	520
Tepelný výkon (kW)	711
Účinnost elektrická (%)	36,00
Účinnost tepelná (%)	49,20
Účinnost celková (%)	85,00

Tabulka 5: Základní technické údaje KJ (Motorgas, 2011)



Obrázek 7: Kogenerační jednotka Motorgas s motorem Waukesha (Motorgas, 2011)

Tedom a.s.

V oboru kogeneračních technologií patří TEDOM mezi významné evropské výrobce. V malé a střední kogeneraci zaujímá na domácím trhu dominantní postavení a stále více se prosazuje i v zahraničí.

Z řady KJ na bioplyn od výrobce TEDOM se nabízí KJ Quanto D 580 (obr. 8) s elektrickým výkonem 600 kW za cenu 10 564 400 Kč. Základní technické údaje o KJ jsou uvedeny v tab.6 (Tedom, 2011).

Typ KJ	Quanto D 580
Motor	-
Elektrický výkon (kW)	600
Tepelný výkon (kW)	610
Účinnost elektrická (%)	42,50
Účinnost tepelná (%)	43,20
Účinnost celková (%)	85,80

Tabulka 6: Základní technické údaje KJ (Tedom, 2011)



Obrázek 8: KJ Tedom v kontejnerovém provedení (Tedom, 2011)

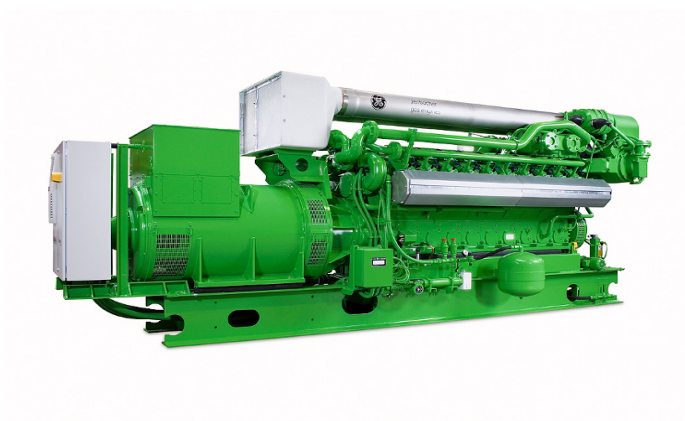
GE Jenbacher

Společnost GE JENBACHER vyrábí plynové motory (obr. 9) od roku 1955 v továrně v Rakouském Jenbachu. Jednotky pro spalování bioplynu jsou cíleně konstruovány pro spalování bioplynu a čistírenského kalového plynu, jsou vybaveny přídatnou nádrží oleje pro zvýšení odolnosti proti působení škodlivých příměsí v plynu, bypas turbokompresoru pro rychlou reakci na změny obsahu metanu v bioplynu a využití tepla ve vodě, v páře nebo v termooleji.

Z řady KJ na bioplyn od výrobce GE JENBACHER se nabízí KJ JMS 312 GS-B.L s elektrickým výkonem 526 kW za cenu 10 564 400 Kč. Základní technické údaje o KJ jsou uvedeny v tab.7 (GE Jenbacher, 2011).

Typ KJ	JMS 312 GS-B.L
Motor	-
Elektrický výkon (kW)	526
Tepelný výkon (kW)	558
Účinnost elektrická (%)	40,36
Účinnost tepelná (%)	42,86
Účinnost celková (%)	83,22

Tabulka 7: Základní technické údaje KJ (GE Jenbacher, 2011)

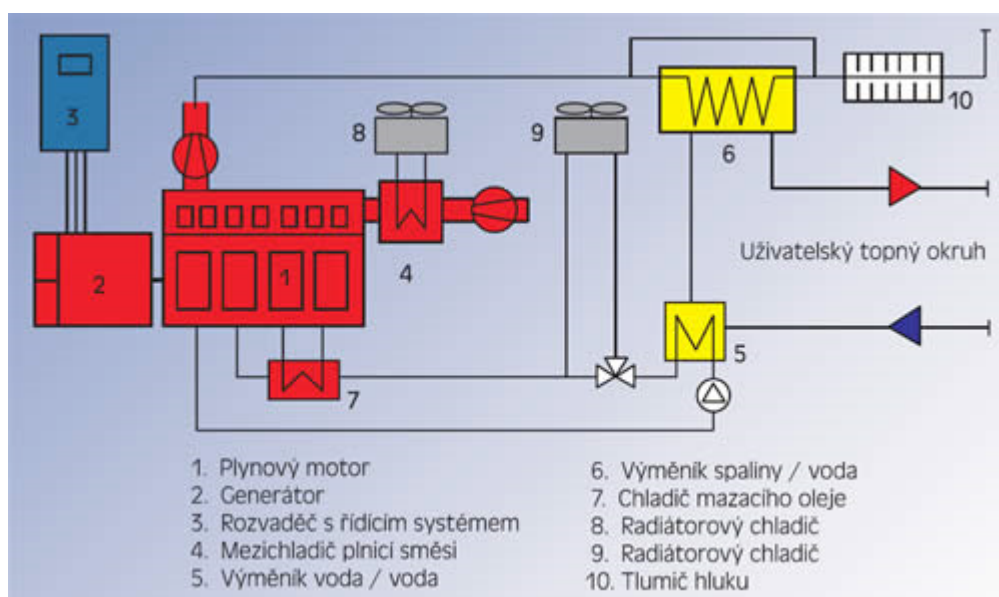


Obrázek 9: Kogenerační jednotka Jenbacher výkonové řady 0,5 -1MWe (GE Jenbacher, 2011)

Pro lepší přehlednost jsou základní technické parametry od vybraných KJ uvedeny v porovnávací tabulce 8. Na obrázku 10 je uvedeno schéma kokenerace.

	Motorgas s.r.o.	Tedom a.s.	GE Jenbacher
Typ KJ	MGW 520	Quanto D 580	JMS 312 GS-B.L
Motor	WAUKESHA L36 GLD	-	-
Elektrický výkon (kW)	520	600	526
Tepelný výkon (kW)	711	610 (KON) ⁶	558
Účinnost elektrická (%)	36,00	42,50	40,36
Účinnost tepelná (%)	49,20	43,20	42,86
Účinnost celková (%)	85,10	85,80	83,22
Cena (Kč) ⁷	6 794 830	9 540 000	10 564 400

Tabulka 8: Porovnávací tabulka KJ



Obrázek 10: Schéma kokenerace

6 KON - znamená provedení jednotky v kontejneru

7 Přepočítání měny z EUR na Kč (1EUR = 24.010Kč k 4.2.2011 dle kurzu České národní banky)

5.1.2 Vyhodnocení výběrového řízení

Jednotlivé firmy jsou silnými výrobci a spolehlivými dodavateli kogeneračních jednotek na českém trhu i v zahraničí. Tabulka 8 uvádí jednotlivá kritéria s váhou kritéria a hodnocení bylo provedeno dle stanovených požadavků uvedených v tabulce 9.

Kriteria	Váha	Hodnocení dle tab. 3		
		Motorgas	Tedom	GE Jenbacher
Reference	0,05	100	100	100
Servis	0,20	100	100	100
Elektrický výkon	0,10	100	0	30
Elektrická účinnost	0,15	30	70	70
Tepelná účinnost	0,20	100	70	70
Cena zařízení	0,30	100	70	50
Vyhodnocení		89,5	70,5	62,5

Tabulka 9: Vyhodnocení výběrového řízení

Vyhodnocení výběrového řízení dle stanovených kritérií v tabulce 4 vyšlo jednoznačně pro firmu Motorgas s.r.o. Kogenerační jednotka bude dodána v kontejneru včetně příslušenství.

5.1.3 Základní stavební objekty a provozní soubory BPS

Příprava vstupní směsi pro výrobu bioplynu

Bioplynová stanice se navrhuje pro zpracování především kukuřičné siláže. Jako další zpracovávané komodity se uvažuje o odpadních bramborech, glycerol tzv. G-fáze. Také je uvažováno i se zpracováním lihovarských výpalků jako náhrada za odpadní brambory, popřípadě vepřovou či hovězí kejdu ovšem s rizikem většího zatížení na výstupu (malé skladovací prostory) nebo v případě lihovarských výpalků větší náklady na odsíření.

Pro výpočet potřebného množství zpracovávaného substrátu se uvažuje o zpracování silážní kukuřice, odpadních brambor a vepřové kejdy.

Dle základních technických parametrů KJ (tab.12) je známa hodinová spotřeba bioplynu KJ. Na základě tohoto údaje se spočítá potřebné množství jednotlivých komodit pro denní vsázku. Denní vsázka jednotlivých fermentovaných substrátů s procentuálním zastoupením sušiny je uvedena v tab. 11.

Denní potřebné množství bioplynu je dle tab. 5227 m³·den⁻¹. Množství zpracovávaného materiálu pro jednotlivé materiály se určí ze vzorce 9.

$$Q_{BP} = \sum_i M_i \cdot q_i \quad (9)$$

kde: Q_{BP}množství vyprodukovaného bioplynu (m³·den⁻¹),

Mmnožství zpracovávaného materiálu (kg·den⁻¹),

qměrná produkce bioplynu pro jednotlivé materiály (m³·kg⁻¹),

ijsou jednotlivé materiály vsázky.

Výpočty bilance vstupů a produkce bioplynu jsou uvedeny v tab. 10.

Druh vsázky	t·rok ⁻¹	Sušina %	Sušiny t·rok ⁻¹	Produkce bioplynu	
				m ³ ·t ⁻¹ sušiny	m ³ ·t ⁻¹
Silážní kukuřice	7 910	35	2 768	500	1 384 000
Odpadní brambory	5 025	25	1 273	350	445 550
Vepřová kejda	3 350	6	201	400	80 400
Celkem	16 285	26	4 242	450	1 910 000

Tabulka 10: Bilance vstupů a produkce bioplynu

Komentář k metodice výpočtu:

Sušina kejdy je uvažována 6 % (Pastorek, Kára, Jevič, 2004), sušina silážní kukuřice 35 % a sušina brambor 25 % (Kouďa a kol., 2008). Uvažovaná produkce bioplynu ze silážní kukuřice je 500 m³·t⁻¹ sušiny (Kouďa a kol., 2008), z vepřové kejdy 400 m³·t⁻¹ sušiny (Kouďa a kol., 2008) a produkce bioplynu z odpadních brambor je uvažována 350 m³·t⁻¹ sušiny (Kouďa a kol., 2008).

Výsledná sušina vsázky je 26 % což pro mokrou anaerobní fermentaci není optimální hodnota, tudíž se vsázka bude dořeďovat fugátem již zfermentovaného materiálu na 10 – 12 % sušiny.

Podle nařízení EU 142/2011⁸ je silážní kukuřice, kejda a odpadní brambory materiálem kategorie 1 a mohou tedy být v BPS zpracovány přímo, bez předúpravy.

8 Nařízení EU, kterým se provádí nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009 o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu a získané produkty, které nejsou určeny k lidské spotřebě, a provádí směrnice Rady 97/78/ES, pokud jde o určité vzorky a předměty osvobozené od veterinárních kontrol na hranici podle uvedené směrnice

	$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$	$\text{t} \cdot \text{den}^{-1}$	% TS	%
Silážní kukuřice	18,4 ⁹	21,7	35	46
Odpadní brambory	11,4 ¹⁰	15	25	28
Vepřová kejda	10,5 ¹¹	10	6	26
Celkem	40,3	46	26	100

Tabulka 11: Denní vsázka k fermentaci

Funkce zařízení

Zařízení technologického souboru je sestaveno ze dvou linek. První linka slouží k příjmu biomasy, např. kukuřičné siláže, odpadních brambor a zajišťuje (Kouda a kol., 2008):

- příjem, meziskladování a míchání biomasy,
- úpravu velikosti části biomasy
- dopravu upravené biomasy do homogenizační nádrže

Druhá linka (homogenizace) slouží k přípravě finální směsi pro výrobu bioplynu a zajišťuje:

- příjem a meziskladování fugátu ze stávající BPS
- homogenizaci substrátu, resp. biomasy s fugátem
- naředění na technologicky nutnou sušinu (v případě potřeby)
- načerpání finální směsi do reaktoru

Příjmový zařízení biomasy

Příjmové zařízení biomasy se stává z násypky o objemu 45 m³ s míchacím ústrojím a vynášecím šnekem. Násypka je uložena na tenzometrických vahách.. Následuje drtič, ze kterého se šikmým šnekem rozmělněný substrát podává

9 1m³ silážní kukuřice = 650 až 1050 Kg (Kavka a kol, 2003)

10 1m³ brambor = 700 až 820 Kg (Kavka a kol, 2003)

11 1m³ kejdy = 1060 až 1100 Kg (Kavka a kol, 2003)

do homogenizační nádrže. Drtič je zařazen jako zařízení zabezpečující granulometrii vstupující biomasy, bez ohledu na velikost dodanou sklízecími sekačkami nebo řezačkami. Zavážení substrátu bude čelním nakladačem.

Výroba a skladování bioplynu

Výroba bioplynu probíhá ve fermentoru a vzniklý bioplyn je skladován v hermeticky uzavřeném dvoumembránovém textilním plynojemu. Plynojem je tvořen vnější a vnitřní membránou. Vnější membrána je trvale napínána tlakem vzduchu, který zajišťuje ventilátor. Zařízení je opatřeno regulačním tlakovým ventilem pro nastavení hodnoty vnitřního přetlaku, jehož hodnota se pohybuje v rozmezí 0,5 – 2,5 kPa. Vnitřní membrána slouží k akumulaci plynu a podle množství plynu se naplňuje nebo vyprazdňuje. Jelikož hodnota tlaku plynu uvnitř vnitřní membrány je shodná s hodnotou tlaku v prostoru mezi oběma membránami, nedochází k namáhání membrán. Velikost plynojemu je dimenzovaná na 4 hodiny odstávky KJ tj. 950 m³. (Malat'ák, Vaculík, 2008)

Výroba elektrické energie a tepla

Provozní soubor řeší technologické zařízení pro spalování bioplynu v KJ. Bioplyn se v KJ přeměňuje na elektrickou energii a teplo ve formě teplé vody. KJ s příslušenstvím je umístěna v kontejneru.

Očekávaná výhřevnost bioplynu bude nižší (22 MJ·m⁻³) než je jmenovitá hodnota udávaná výrobcem (23 MJ·m⁻³) pro stanovení nominálních výkonových parametrů KJ (viz níže), a proto lze očekávat vyšší spotřebu bioplynu cca o 5 %. Základní parametry výroby energie na BPS jsou uvedeny v tabulce 12.

Kogenerační jednotka bude v provozu 22 denně, vždy v režimu 100 % zatížení, tedy při uvedené účinnosti. Zbytek časového fondu zbývá na údržbu a servis. Nemá smysl provozovat KJ na nižší zatížení, účinnost klesá a nabývají zbytečné motohodiny. V průběhu motohodin se nepřihlíží k provoznímu zatížení. Tedy pro KJ platí: chod naplno nebo vypnuto (Koud' a a kol, 2008)

Počet KJ	1	ks
Spotřeba bioplynu na KJ (22 MJ.m ⁻³)	237,6	Nm ³ ·hod ⁻¹
Denní produkce bioplynu	5 227	Nm ³ ·den ⁻¹
Provozní doba za den	22	den
Elektrická účinnost	36	%
Tepelná účinnost	49,2	%
Elektrický výkon Σ	520	kW
Tepelný výkon Σ	711	kW
Teoreticky vyrobená elektrická energie	11 440	kWh·den ⁻¹
Teoreticky vyrobená tepelná energie	15 642	kWh·den ⁻¹
Přenos ztrát mezi KJ a výstupem do sítě	8	%
Tepelná ztráta při přenosu do spotřebiče	10	%
Disponibilní elektřina denně	10,5	MWh·den ⁻¹
Disponibilní teplo denně	14	MWh·den ⁻¹

Tabulka 12: Základní parametry výroby energie na BPS

Využití tepla z výroby elektrické energie

Vyrobené teplo bude distribuováno pomocí topných rozvodů k jednotlivým spotřebičům v areálu BPS. Spotřebiči se rozumí nouzové chlazení KJ, vytápění reaktoru a napojení do stávajícího potrubí CZT. Jmenovitá teplota TUV na přírubě KJ se uvažuje 90/70 °C.

Zpracování digestátu separací a skladování jeho tekuté složky (fugátu)

Provozní soubor bude řešit technologické zařízení na odvodňování digestátu, který je pravidelně odtahován z reaktoru. Výsledkem zpracování je fugát, který bude skladován již ve stávající nádrži BPS s kapacitou 3 měsíce a je z části recyklován jako ředící prostředek do homogenizační nádrže. Odseparovaná pevná frakce (separát) se bude skladovat také v již stávající nádrži a odtud se vyváží ve vhodných agrotechnických lhůtách.

5.2 Vlastní měření

Předmětem měření bylo zjištění produkce bioplynu a složení bioplynu v závislosti na čase a fermentovaném substrátu složeného z více druhů materiálu.

5.2.1 Výběr sledovaných parametrů navrhovaného zařízení

Měřenými parametry jsou koncentrace metanu (CH_4), oxid uhličitý (CO_2), sulfan (H_2S), kyslík (O_2) a produkce bioplynu.

5.2.2 Postup měření a měřící přístroje

Měřící přístroje

Analyzátor AIR LF (obr.11) je analyzátor skládkových plynů a bioplynu, vybavený měřením koncentrace metanu, oxidu uhličitého a kyslíku, a je také dovybavený měřením sulfanu. Měření koncentrace metanu a oxidu uhličitého pracuje na infračerveném principu, pro stanovení kyslíku a pro měření sulfanu jsou použity elektrochemické senzory. Měřené hodnoty jsou zobrazeny na svítícím čtyřřádkovém displeji a jsou ukládány ve volitelných intervalech a po volitelnou dobu do integrované paměti o kapacitě 4000 záznamů. Po měření lze uložená data přenést po sériové lince RS 232/485 do počítače. Technická charakteristika analyzátoru jsou uvedena v tabulce 13. Dále byl použit zabudovaný průtokoměr firmy Endress + Hauser.

Základní měřené plyny	CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S	
Měřící princip	metan, oxid uhličitý	infračervený
	kyslík, sulfan	elektrochemický
Měřící rozsah	metan	0 – 100 %
	oxid uhličitý	0 – 100 %
	kyslík	0 – 21 %
	sulfan	0 – 100 ppm
Zobrazení	čtyřřádkový svítící itron. displej	
Opakovatelnost měření	2 % F.S.	
Doba náběhu po zapnutí	20 min.	
Rychlost odezvy 90 %	max. 40 s.	
Klimat. odolnost	0 – 40 °C	
Životnost senzorů	infrač. 4, kyslík 4, sulfan 2 roky	
Napájení	230 V 50 Hz, akumulátor	
Výstup	RS 485	
Rozměry (v x š x h, mm)	185 x 330 x 350, 500 x 400 x 155	
Hmotnost	cca 5 kg	

Tabulka 13: Technická charakteristika analyzátoru AIR LF (Aseko, 2011)

Analyzátor je vybaven čerpadlem pro odběr plynu z normálního tlaku nebo mírného podtlaku a jehlovým redukčním ventilem pro odběr z přetlaku. Na vstupu je standardně osazen detektor kondenzátu, který uzavře vstup při výskytu kapaliny a zabrání tak znečištění optického systému.

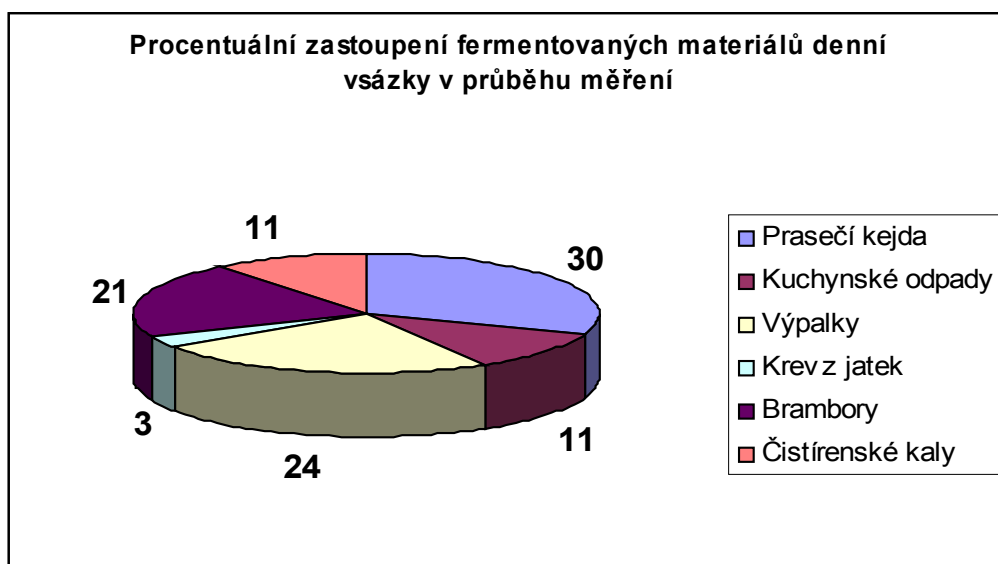
Díky progresivní technologii využívající pyroelektrické senzory infračerveného záření neobsahuje optický systém žádné pohyblivé prvky, což se příznivě projevuje na jeho odolnosti a spolehlivosti při zachování nízkých nákladů na údržbu a recalibrace (Aseko, 2011)



Obrázek 11: Analyzátor AIR LF

Postup měření

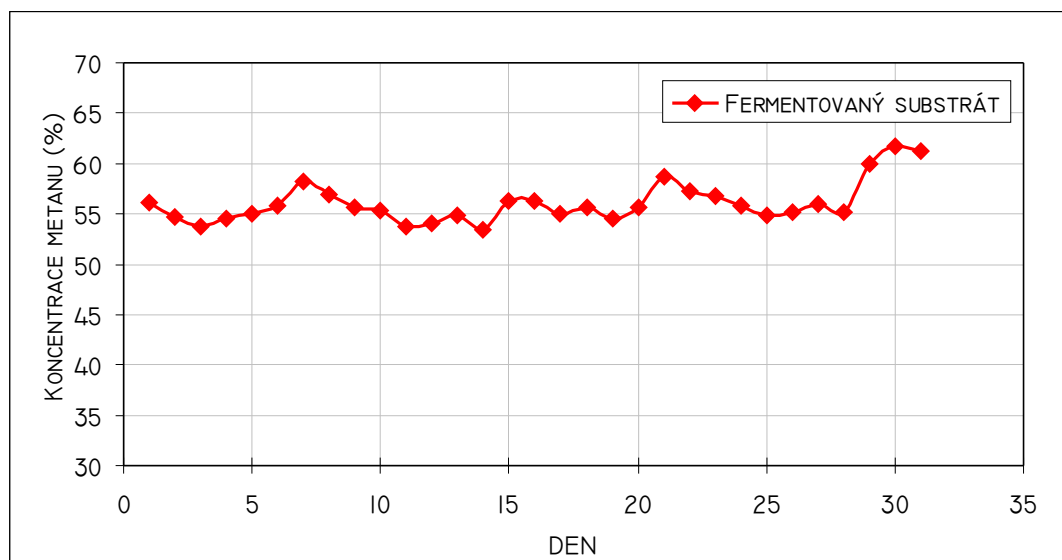
Měření probíhalo v bioplynové stanici v Obci Kněžice. Naměřené hodnoty se v pravidelných jednodenních intervalech odečítaly z analyzátoru plynu a z průtokoměru. Procentuální zastoupení jednotlivých fermentovaných substrátů denní vsázky zachycuje obr 12 .



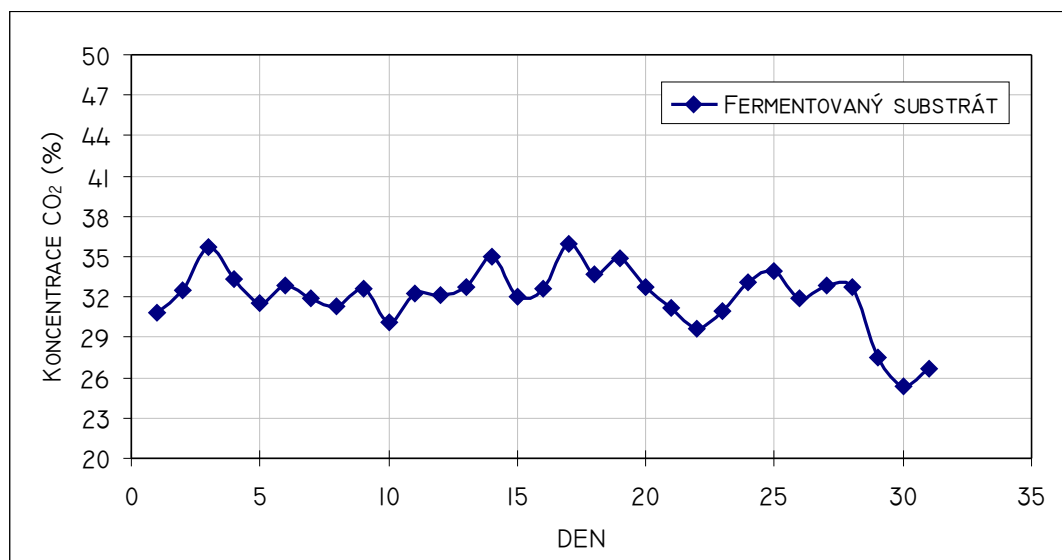
Obrázek 12: Procentuální zastoupení fermentovaných materiálů denní vsázky v průběhu měření

5.2.3 Grafické vyjádření naměřených hodnot

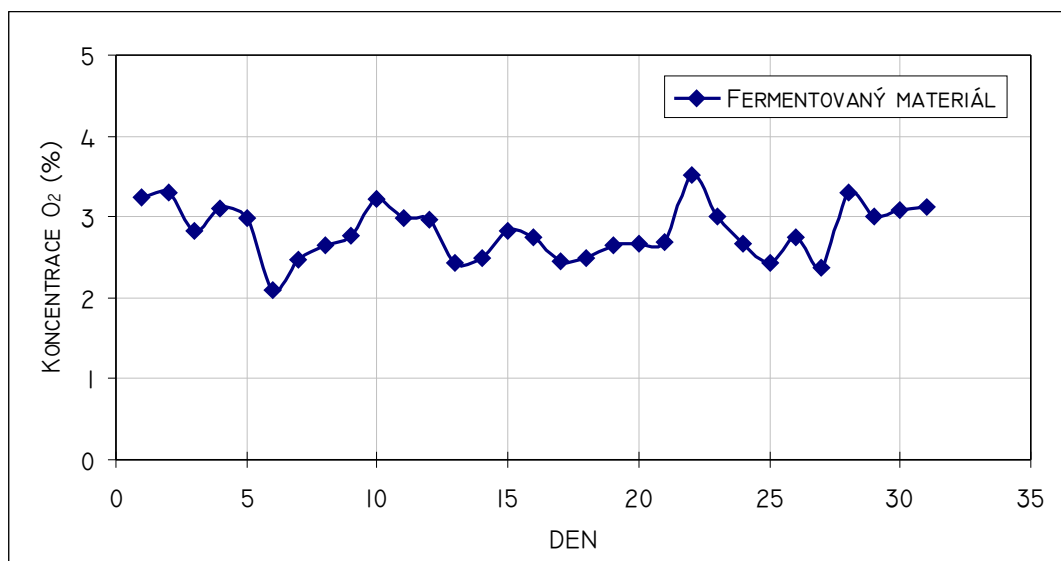
Jednotlivé koncentrace sledovaných parametrů jsou na obrázku 13-17.



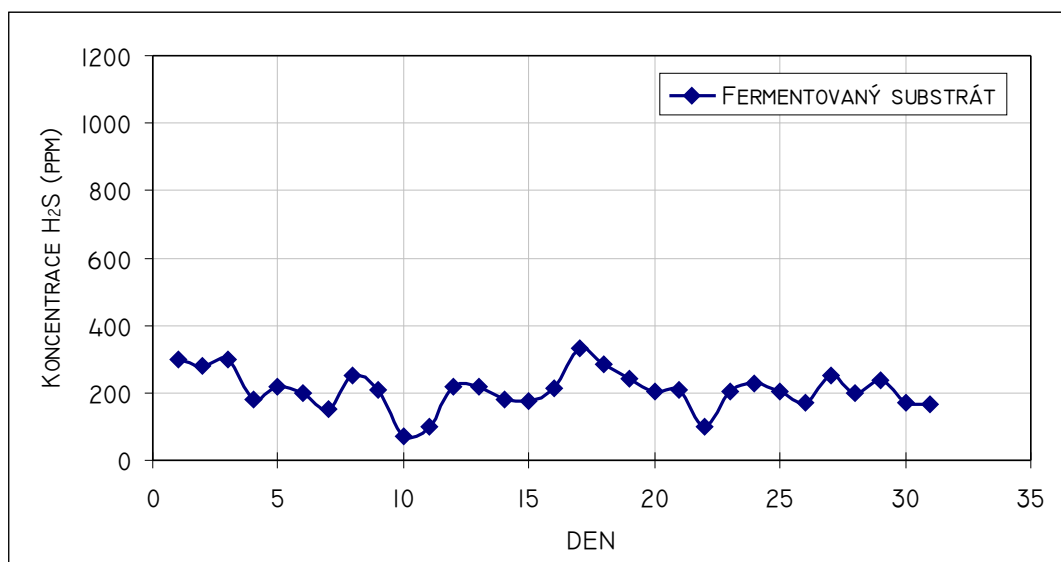
Obrázek 13: Koncentrace metanu (%)



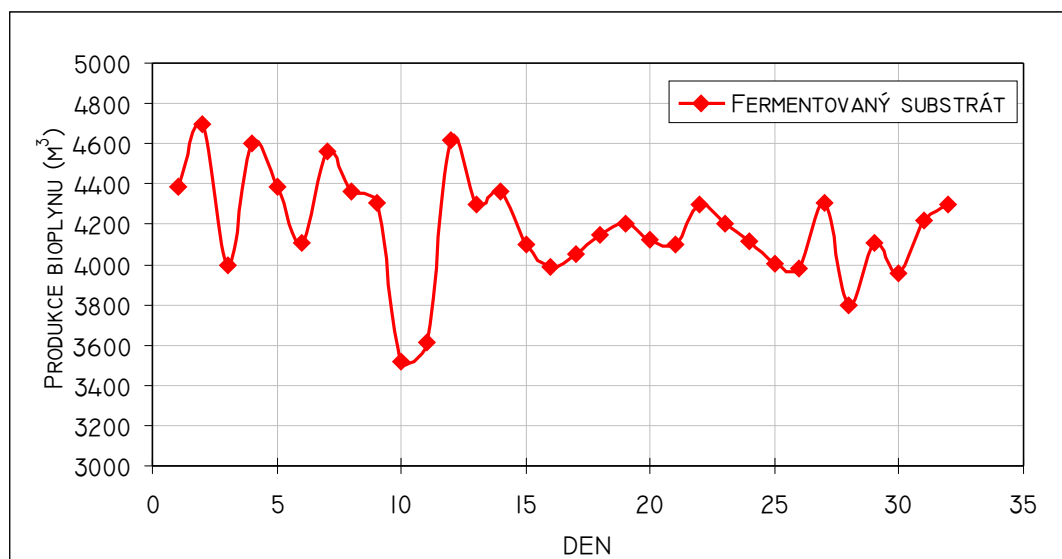
Obrázek 14: Koncentrace oxidu uhličitého (%)



Obrázek 15: Koncentrace kyslíku (%)



Obrázek 16: Koncentrace sulfanu (ppm)



Obrázek 17: Produkce bioplynu (m³)

5.2.4 Interpretace výsledků měření

Z výsledků měření je patrné, že kumulativní hodnota bioplynu je celkem konstantní, což je optimální pro zdárný provoz BPS. Rovněž obsah ostatních příměsí vyhovuje daným parametrům instalované kogenerační jednotky.

5.3 Teoretický rozbor hlavních parametrů BPS (anaerobního reaktoru)

5.3.1 Popis funkce zařízení

Reaktor je základní technologickou částí anaerobního procesu a z tohoto důvodu jsou na něj kladeny nejvyšší nároky, a to z hlediska vytvoření vhodného prostředí pro rozvoj mikrobiálních kultur. Hlavní podmínkou pro dobrou činnost bakterií je udržení stálé teploty na optimální úrovni. Zajištění požadované teploty je řešeno pomocí ohřevu substrátu přímo ve fermentoru. Jako topné medium slouží horká voda přiváděná dovnitř reaktoru systémem zabudovaných topných hadů, kde dochází ke sdílení tepla. Nezbytným prvkem reaktoru je zařízení pro míchání substrátu uvnitř fermentoru (Malat'ak, Vaculík, 2008).

5.3.2 Návrh hlavních parametrů bioplynové stanice

Nejdůležitější veličinou pro stanovení základních parametrů BPS je doba zdržení fermentovaného materiálu ve fermentoru (Malat'ak, Vaculík, 2008).

K výpočtu základních parametrů fermentoru je využito následujících vztahů:

$$\tau_z = \frac{V_r}{Q_o} \quad (9)$$

τ_z - střední doba zdržení materiálu ve fermentoru (d)

Q_o - denní dávka surového materiálu za den do jednoho fermentoru ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)

V_R - užitný objem reaktoru (m^3)

$$Z_r = \frac{Q_o \cdot c_o}{V_r} = \frac{c_o}{t_z}$$

(10)

Z_R - zatížení reaktoru ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$)

τ_z - střední doba zdržení materiálu ve fermentoru (d)

Q_o - denní dávka surového materiálu za den do jednoho fermentoru ($m^3 \cdot d^{-1}$)

c_o - koncentrace organické sušiny na vstupu ($kg \cdot m^{-3}$)

V_R - užitný objem reaktoru (m^3)

$$y_{BP} = \frac{Q_{BP}}{Q_o \cdot c_o}$$

(11)

y_{BP} - měrná produkce bioplynu ($m^3 \cdot kg^{-1}$)

Q_o - denní dávka surového materiálu za den do jednoho fermentoru ($m^3 \cdot d^{-1}$)

c_o - denní dávka surového materiálu za den do jednoho fermentoru ($m^3 \cdot d^{-1}$)

Q_{BP} množství vyrobeného bioplynu za den ($m^3 \cdot d^{-1}$)

$$r_{BP} = \frac{Q_{BP}}{V_R} = y_{BP} \cdot Z_R$$

(12)

r_{BP} - intenzita produkce bioplynu (d^{-1})

V_R - užitný objem reaktoru (m^3)

Q_{BP} - množství vyrobeného bioplynu za den ($m^3 \cdot d^{-1}$)

Z_R - zatížení reaktoru ($kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$)

y_{BP} - měrná produkce bioplynu ($m^3 \cdot kg^{-1}$)

$$r_{BPm} = \frac{Q_{BP}}{V_R \cdot c_V}$$

(13)

r_{BPm} - měrná intenzita produkce bioplynu ($m^3 \cdot kg^{-1} \cdot d^{-1}$)

V_R - užitný objem reaktoru (m^3)

c_V - koncentrace organické sušiny na výstupu ($kg \cdot m^{-3}$)

Q_{BP} - množství vyrobeného bioplynu za den ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)

$$n_z = \frac{Q}{Q_o}$$

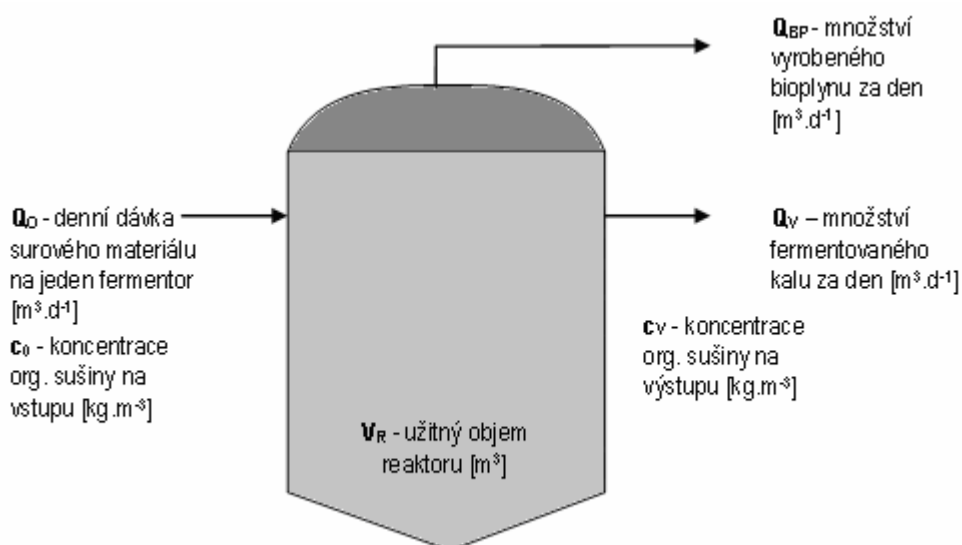
(14)

n - počet fermentorů o stejně velkém užitém objemu (ks)

Q - celkové množství surového materiálu za den ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)

Q_o - denní dávka surového mat. na jeden fermentor ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ks}^{-1}$)

Jednoduché schéma fermentačního reaktoru s vyznačením základních veličin důležitých pro stanovení užitého objemu reaktoru je znázorněno na obr. 18.



Obrázek 18: Jednoduché schéma fermentačního reaktoru s vyznačením základních veličin důležitých pro stanovení užitého objemu reaktoru

5.3.3 Výpočet zvolených parametrů zařízení

V tabulce 14 jsou uvedeny vypočtené základní parametry BPS

Počet fermentorů	1	ks
Užitný objem reaktoru	2100	m ³
Konstrukční objem reaktoru	2400	m ³
Střední doba zdržení materiálu ve fermentoru	35	den
Zatížení reaktoru	0,84	-
Intenzita produkce bioplynu	2,49	-
Měrná intenzita produkce bioplynu	6,8	-

Tabulka 14: Vypočtené parametry BPS

5.4 Ekonomické posouzení návrhu

5.4.1 Metodika ekonomické rozvahy

V metodice ekonomické rozvahy se vychází z ekonomického hodnocení investice, které zpracovává investor žádající o podporu v Operačním programu RVMZ (Rozvoj venkova a multifunkční zemědělství). Metodika byla převzata z Instrukčního listu „Postup ekonomického hodnocení projektové dokumentace“, vydaného SZIF Praha ve spolupráci s MZe.

Vstupy

Ceny surovin jednotlivých složek pro výrobu bioplynu jsou 800 Kč za 1 tunu silážní kukuřice (7 910 t ročně) včetně dopravy a odpadní brambory za 150 Kč za 1 tunu (5 025 t ročně) včetně dopravy. Nákup vepřové kejdy se neuvažuje. elektrické. Spotřeba elektrické energie se uvažuje 7 % z vyrobené. Mzdové náklady 1,3 zaměstnanec (450 000 Kč·r⁻¹). Pojištění 0,5 % z IN. Náklady na služby 30 000 Kč (Kouřa a kol, 2008).

Výsledky

Elektrická energie dodávaná do sítě je přepočtena podle Cenového rozhodnutí ERÚ č. 2/2010 ze dne 8. listopadu 2010, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných zdrojů. Výroba elektřiny spalováním bioplynu v BPS je uvažováno s výkupní cenou elektřiny dodané do sítě 4 120 Kč·MWh⁻¹. Teplo pro komerční využití je kalkulováno 0,89 Kč·kWh⁻¹, předpokládá se využitelnost od 60 do 80 %.

Dotace

Výše dotace je dle Programu rozvoje venkova České republiky. Předpokládá se dotace 40 – 43 % investičních nákladů.

5.4.2 Odborný odhad investičních nákladů BPS

Stavební objekty

Betonová nádrž fermentoru	4 430 tis Kč
Betonová jímka dávkovacího zařízení	560 tis Kč
Základy membránového plynojemu	950 tis Kč
Betonové základy a patky	570 tis Kč
Úpravy stávající technologické budovy	85 tis Kč
Ocelová nádrž na glycerol vč. záchytné betonové jímky	195 tis Kč
Odvodnění a kanalizace, přívod provozní vody	140 tis Kč
Komunikace a zpevněné plochy	135 tis Kč
Zemnicí soustava vč. hromosvodu	370 tis Kč
Elektro instalace stavební	285 tis Kč
Zemní práce, teréní úpravy, oplocení	260 tis Kč
Stavební objekty celkem	7 980 tis Kč

Tabulka 15: Seznam stavebních objektů

Provozní soubory

Vystrojení fermentoru	5 280 tis Kč
Dávkovací zařízení	2 380 tis Kč
Strojovna fermentoru	890 tis Kč
Plynojem	2 930 tis Kč
Strojovna plynu v kontejneru	1 830 tis Kč
Strojovna tepla v kontejneru	1 240 tis Kč
Odsiřovací jednotky	890 tis Kč
Kogenerační jednotka v kontejneru	6 795 tis Kč
Hořák zbytkového plynu	575 tis Kč
Venkovní potrubní rozvody vč. sloupů	2 160 tis Kč
Vybavení nádrže na glycerol	35 tis Kč
El. silnoproud	1 950 tis Kč
Řídicí systém MaR	2 230 tis Kč
Trafostanice; vyvedení výkonu	1 750 tis Kč
Provozní soubory celkem	30 935 tis Kč

Tabulka 16: Seznam provozních souborů

Celkem IN 38 915 000 Kč

Amortizace (odpisování majetku)

Amortizace majetku představuje postupné soustředování peněžních prostředků podle stupně opotřebení. Odpisování je upraveno zákonem č. 586/92 Sb., o daních z příjmu (daňové odpisy) a zákonem č. 563/ 91 Sb., o účetnictví (účetní odpisy) (Bervidová, Vančurová, 2007) Odpisy se počítají ze snížené vstupní ceny o datoci (40 %).

Roční odpis se vypočítá na základě pevně stanovených odpisových sazeb (pro jednotlivé odpisové skupiny) ze vstupní ceny:

$$RO = \frac{PC \cdot SI[S]}{100}$$

RO - roční odpis

$SI, \text{ resp. } S$ - roční odpisová sazba v prvním roce, resp. dalších letech

PC - pořizovací cena

Odpisový plán

Rok	Provozní soubory		Stavební objekty		Odpis celkem PS + SO
	18 560 tis. Kč (5 let)		4 789 tis. Kč (10 let)		
	odpis	zůst. cena	odpis	zůst. cena	
2011	2 041 600	16 518 400	263 445	4 525 555	2 305 045
2012	4 129 600	12 388 800	502 845	4 022 710	4 632 445
2013	4 129 600	8 259 200	502 845	3 519 865	4 632 445
2014	4 129 600	4 129 600	502 845	3 017 020	4 632 445
2015	4 129 600	0	502 845	2 514 175	4 632 445
2016	2 041 600	16 518 400	502 845	2 011 330	2 544 445
2017	4 129 600	12 388 800	502 845	1 508 485	4 632 445
2018	4 129 600	8 259 200	502 845	1 005 640	4 632 445
2019	4 129 600	4 129 600	502 845	502 795	4 632 445
2020	4 129 600	0	502 845	0	4 632 445

Tabulka 17: Odpisový plán

Určení velikosti pravidelných anuitních splátek

Cílem je určit velikost pravidelné splátky, aby za stanovené období byla umořena dlužná částka. (Bervidová, Vančurová, 2007) Výše úvěru je poskytnuta na 6 let, 12 % p.a., roční splátky.

$$A = K_o \cdot \frac{q^n(q-1)}{q^n-1} \quad (12)$$

Rok	Počáteční stav	Úrok	Úmor	Anuitní splátka	Konečný stav
1	38 915 000	4 669 800	4 795 329	9 465 129	34 119 671
2	34 119 671	4 094 361	5 370 768	9 465 129	28 748 903
3	28 748 903	3 449 868	6 015 260	9 465 129	22 733 642
4	22 733 642	2 728 037	6 737 092	9 465 129	15 996 551
5	15 996 551	1 919 586	7 545 543	9 465 129	8 451 008
6	8 451 008	1 014 121	8 451 008	9 465 129	0

Tabulka 18: Splátkový kalendář

5.4.3 Výpočet ukazatelů ekonomické efektivity investice

Doba návratnosti (DN)

DN je podílový ukazatel, vycházející z nediskontovaných hodnot investice, který se vypočítá následovně (Kouřa a kol, 2008):

$$DN = \frac{I N}{\text{prům. CF 1 p. (nediskont.)}} \quad (5)$$

$I N$ - je celkový vynaložený investiční náklad (součet za všechny roky)

$\text{prům. CF 1 p. (nediskont.)}$ - průměrné cash flow 1 provozní (včetně dotace)

NPV (čistá současná hodnota)

je rozdílový (absolutní) ukazatel, vycházející z diskontovaných hodnot investice, který se vypočítá následovně (Kouřa a kol, 2008):

$$NPV = \text{Efekty z investice (jejich současná hodnota)} - I N$$

$\text{Efekty z investice}$ - (jejich současná hodnota) je rovna součtu diskontovaných hodnot provozního cash flow 1 (současná hodnota efektů z investice)

$I N$ - celkový vynaložený investiční náklad (součet za všechny roky)

Č. ř. Položka	Výpočet	Období 0	Období 1	Období 2	Období 3	Období 4	Období 5	Období 6	Období 7	Období 8	Období 9	Období 10
1	lotace)Investice (náklady investiční, bez DPH, a	-38 915 000		15 566 000								
2	Tržby provozní (cena služby)		18518640	18518640	18518640	18518640	18518640	18518640	18518640	18518640	18518640	18518640
3	Ostatní výnosy provozní		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Výnosy celkem provozní		18518640	18518640	18518640	18518640	18518640	18518640	18518640	18518640	18518640	18518640
5	Spotřeba materiálu		7081750	7081750	7081750	7081750	7081750	7081750	7081750	7081750	7081750	7081750
6	Spotřeba energie		1105000	1105000	1105000	1105000	1105000	1105000	1105000	1105000	1105000	1105000
7	Náklady na opravy a údržbu		574875	574875	574875	574875	574875	574875	574875	574875	574875	574875
8	Náklady na služby		25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000
9	Pojištění, popř. silniční daň		194500	194500	194500	194500	194500	194500	194500	194500	194500	194500
10	Náklady na garážování		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Osobní náklady (mzdy + soc. zab.)		450000	450000	450000	450000	450000	450000	450000	450000	450000	450000
12	Odpisy - z tab odpisů, položka "O"		2305045	4632445	4632445	4632445	4632445	2544445	4632445	4632445	4632445	4632445
13	Ostatní náklady provozní		30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
14	Fin. Náklad- z tab. Fin. Nákl., pol. "FN"		4669800	4094361	3449868	2728037	1919586	1014121	0	0	0	0
15	Náklady celkem provozní		16435970	18187931	17543438	16821607	16013156	13019691	14093570	14093570	14093570	14093570
16	HV provozní, hrubý tj. výnosy provozní - náklady provozní		2082670	330709	975202	1697033	2505484	5498949	4425070	4425070	4425070	4425070
17	Daňová sazba		0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
18	Daň z příjmu (absolutní výše)		395707	62835	185288	322436	476042	1044800	840763	840763	840763	840763
19	HV čistý (po odpočtu daně)		1686963	267874	789914	1374597	2029442	4454149	3584307	3584307	3584307	3584307
20	Provozní CASH FLOW 1= HV čistý + odpisy		3992008	4900319	5422359	6007042	6661887	6998594	8216752	8216752	8216752	8216752
21	Odhad hodnoty ostatních nefinančních efektů		6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000	15000
22	Provozní CASH FLOW 2 = Provozní CASH FLOW 1+ ostatní nefinanční efekty		3998008	4907319	5430359	6016042	6671887	7009594	8228752	8229752	8230752	8231752

Tabulka 19: Ekonomický propočet a tvorba cash flow

Finanční a ekonomická míra výnosnosti

Je jedna z charakteristik výnosnosti projektu sloužícímu k zavedení pravidel pro přijetí nebo zamítnutí investičního projektu.

5.4.4 Výsledky ekonomického posouzení návrhu

Investiční náklady záměru nejsou tak vysoké, neboť nová rozšířená BPS navazuje již na stávající BPS. Budou tedy využívány sklady fugátu, částečně stávající komunikace, inženýrské sítě BPS, rovněž tak bude možno využívat mobilní stroje BPS (fekální vozy pro dopravu fugátu a kejdy, čelní nakladač pro zakládání biomasy do homogenizační nádrže apod.). Bez těchto návazností na stávající BPS by se zvedly investiční náklady až o 21 % (Koudřa a kol, 2008).

V tabulce 20 jsou uvedeny vypočtené základní ekonomické ukazatele.

IN Kč	Dotace Kč	Doba návratnosti roky	Finanční míra výnosnosti %	Ekonomická míra výnosnosti %
38 915 000	15 566 000	4,63	19,66	19,70

Tabulka 20: Souhrnná tabulka základních ekonomických ukazatelů

6 Závěr

Inovační návrh bioplynové stanice je dimenzován na 0,5 MW elektrického výkonu. K produkci bioplynu dochází při mokré fermentaci substrátu (10 – 12 % sušiny) při teplotě 38 – 40 °C (mezofilní provoz). Denní vsázka substrátu do fermentoru byla spočítána na 46 tun s obsahem 26 % sušiny. Vsázka se tedy bude dořezovat v homogenizační nádrži na požadovanou sušinu 10 - 12 %. K ředění bude používán fugát, ve vyjíměčných případech provozní voda.

Samotná anaerobní fermentace bude probíhat v jednom fermentoru o konstrukčním objemu 2 400 m³ a vyrobený bioplyn bude energeticky využíván v kogenerační jednotce. Na plynové trase mezi fermentorem a kogenerační jednotkou bude dvoumembránový plynojem o objemu 950 m³, který bude umístěn přímo nad fermentorem. Tento plynojem bude sloužit jako vyrovnávací zásobník bioplynu, např. při odstávkách kogenerační jednotky nebo vyrovnávání výkyvů při výrobě bioplynu.

Výběrového řízení se zúčastnily tři výrobci kogeneračních jednotek. Dle stanovených kritérií výběrového řízení byla nejlépe ohodnocena firma Motorgas s. r. o., která dodá kogenerační jednotku v kontejnerovém provedení včetně příslušenství.

Vyrobená elektrická energie bude distribuována přes trafostanici přímo do elektrizační sítě. Vzniklé teplo bude ze 40 % využíváno pro vlastní potřeby bioplynové stanice a zbylé teplo bude distribuováno do místního rozvodu centrálního zásobování tepla pro obec.

Z ekonomického hlediska byla doba návratnosti vypočítána na 4,72 roků, finanční míra výnosnosti na 19,07 % a ekonomická míra výnosnosti na 19,11 %. Z pohledu investora je to lukrativní záměr, ale je to hlavně díky dotačním programům České republiky plynoucích z Evropské unie.

7 Použitá literatura

- SCHULZ, H., EDER, B. *Bioplyn v praxi: Teorie – projektování – stavba zařízení – příklady*: Ostrava: HEL, 2004. 1. české vydání, 168 s. ISBN 80-86167-21-69.
- STRAKA, F. a kol. *Bioplyn: příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů*. Praha: GAS, 2006. 2. rošířené a doplněné vydání, 726 s. ISBN 80-7328-090-6
- PASTOREK, Z., KÁRA J., JEVIČ P. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC PUBLIC, 2004. 288 s. ISBN 80-86534-06-5
- MLAŤÁK, J., VACULÍK P. *Technologická zařízení staveb odpadového hospodářství: zpracování biologicky rozložitelných odpadů*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. 1. vydání, 180 s. ISBN 978-80-213-1747-5
- KOUŘDA, J. a kol., *Bioplynové stanice s mokřým procesem*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008. 1. vydání, 120 s. ISBN 978-80-87093-33-7
- KAZDA, M., BLÁHA, P., KUČERA, Z. *Bioplynová stanice Kněžice: energeticky soběstačné obce*. Kněžice: 2010, 15 s.
- BAČÍK, O. *Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu*. *Biom.cz* [online]. 2008-01-14 [cit. 2011-02-22]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-technologiecelonarodniho-vyznamu>>. ISSN: 1801-2655.
- KAVKA, M., a kol. *Normativy pro zemědělskou a potravinářskou výrobu: Technologické, technické a ekonomické normativní ukazatele*. Praha: 2003. Šesté přepracované a rozšířené vydání, 344 s. ISBN 80-7271-136-9
- BERVIDAVÁ, L., VANČUROVÁ, P., *Cvičení z ekonomiky podniků I*. Praha: 2007. 1. vydání, 118 s. ISBN 978-80-213-1192-3

- *Motorgas.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-02-09]. Kogenerace - plynové motory. Dostupné z WWW: <<http://www.motorgas.cz>>.
- *Tedom.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-02-09]. Kogenerační jednotky – bioplyn. Dostupné z WWW: <<http://www.tedom.cz>>.
- *Jenbacher.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-02-09]. GE Jenbacher – výrobní program 2010. Dostupné z WWW: <<http://www.jenbacher.cz>>.
- Ministerstvo průmyslu a obchodu. [online]. 2011 [cit. 2011-02-014]. *Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů za rok 2009*. Dostupné z WWW: <<http://www.mpo.cz>>.
- Státní zemědělský intervenční fond.. [online]. 2011 [cit. 2011-02-014]. Postup ekonomického hodnocení projektové dokumentace. Dostupné z WWW: <<http://www.szif.cz>>.
- Energetický regulační úřad. [online]. 2011 [cit. 2011-03-018]. *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu*. Dostupné z WWW: <<http://www.eru.cz>>.
- *Aseko.cz*. [online]. 2011 [cit. 2011-03-06]. Analyzátoři plynu. Dostupné z WWW: <<http://www.aseko.cz>>.
- Zákon o veřejných zakázkách (Zákon č. 137/2006 Sb.). Dostupné on-line na <<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/>> [cit. 2011-03-25].
- Zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (Zákon č. 180/2005 Sb.). Dostupné on-line na <<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/>> [cit. 2011-03-25].
- Nařízení evropského parlamentu a rady (ES), kterým se stanoví hygienická pravidla týkajících se vedlejších živočišných produktů, které nejsou určeny k lidské spotřebě (Nařízení č. 1774/2002 Sb.). Dostupné on-line na <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002R174:CS:HTML>> [cit. 2011-03-25].

8 Seznam tabulek

Seznam tabulek

Tabulka 1: Podíl kategorií bioplynu na hrubé výrobě elektřiny(MPO, 2009).....	14
Tabulka 2: Trend výroby elektřiny z bioplynu (MPO, 2009).....	15
Tabulka 3: Parametry bioplynové stanice Kněžice v roce 2010 (Kazda, Bláha, 2010)	30
Tabulka 4: Kriteria pro vyhodnocení výběrového řízení.....	34
Tabulka 5: Základní technické údaje KJ (Motorgas, 2011).....	35
Tabulka 6: Základní technické údaje KJ (Tedom, 2011).....	36
Tabulka 7: Základní technické údaje KJ (GE Jenbacher, 2011).....	37
Tabulka 8: Porovnávací tabulka KJ	38
Tabulka 9: Vyhodnocení výběrového řízení.....	39
Tabulka 10: Bilance vstupů a produkce bioplynu.....	41
Tabulka 11: Denní vsázka k fermentaci.....	42
Tabulka 12: Základní parametry výroby energie na BPS.....	44
Tabulka 13: Technická charakteristika analyzátoru AIR LF.....	46
Tabulka 14: Vypočtené parametry BPS.....	54
Tabulka 15: Seznam stavebních objektů.....	55
Tabulka 16: Seznam provozních souborů.....	56
Tabulka 17: Odpisový plán.....	57
Tabulka 18: Splátkový kalendář.....	58
Tabulka 19: Ekonomický propočet a tvorba cash flow.....	59
Tabulka 20: Souhrnná tabulka základních ekonomických ukazatelů.....	60

9 Seznam obrázků

Seznam obrázků

Obrázek 1: Podíl kategorií bioplynu na hrubé výrobě elektřiny (MPO, 2009).....	13
Obrázek 2: Zjednodušené schéma výroby bioplynu (Pastorek, Kára, Jevič, 2004)..	18
Obrázek 3: Horizontální konstrukce fermentoru (www.polnohospodarskabiomasa.sk).....	25
Obrázek 4: Vertikální konstrukce fermentoru (www.polnohospodarskabiomasa.sk)	26
Obrázek 5: Schéma BPS Kněžice.....	29
Obrázek 6: Schéma uspořádání stávajícího technologického zařízení.....	31
Obrázek 7: Kogenerační jednotka Motorgas s motorem Waukesha (Motorgas, 2011)	35
Obrázek 8: KJ Tedom v kontejnerovém provedení (Tedom, 2011).....	36
Obrázek 9: Kogenerační jednotka Jenbacher výkonové řady 0,5 -1MWe (GE Jenbacher, 2011).....	37
Obrázek 10: Schéma kogenerace.....	38
Obrázek 11: Analyzátor AIR LF.....	47
Obrázek 12: Procentuální zastoupení fermentovaných materiálů denní vsázky v průběhu měření.....	47
Obrázek 13: Koncentrace metanu (%).....	48
Obrázek 14: Koncentrace oxidu uhličitého (%).....	48
Obrázek 15: Koncentrace kyslíku (%).....	49
Obrázek 16: Koncentrace sulfanu (ppm).....	49
Obrázek 17: Produkce bioplynu (m ³).....	50
Obrázek 18: Jednoduché schéma fermentačního reaktoru s vyznačením základních veličin důležitých pro stanovení užitého objemu reaktoru.....	53

10 Seznam zkratek

BPS	Bioplynová stanice
BRO	Biologicky rozložitelný odpad
CZT	Centrální zásobování teplem
ČOV	Čistírna odpadních vod
ERÚ	Energetický regulační úřad
ESO	Energeticky soběstačná obec
EU	Evropská unie
KJ	Kogenerační jednotka
kW_e	Elektrický výkon
kW_t	Tepelný výkon
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MZe	Ministerstvo zemědělství
Nm^3	Normální metr krychlový
PS	Provozní soubor
RVMZ	Rozvoj venkova a multifunkční zemědělství
SO	Stavební objekt
SZIF	Státní zemědělský intervenční fond
TUV	Teplá užitková voda