

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Energetické využívání bioplynu v BPS ve vybrané lokalitě

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je podat výklad o funkci a principu technologií v bioplynové stanici Kralovice. Jsou zde popsány procesy nepostradatelné pro výrobu bioplynu, principy kogenerace, nakládání se získanou energií a využití digestátu. Poslední část je věnována návrhu tepelné izolace teplovodního potrubí, pro snížení tepelných ztrát.

Klíčová slova

Bioplynová stanice, bioplyn, kogenerace, fermentor, kogenerační jednotka

Abstract

The target of this bachelor thesis is to give a function and technology principle description of the biogas station in Kralovice town. The essential principles of the biogas production, cogeneration, energy handling and utilization of the digestate are described. The last part of the thesis provides with the project of the heat insulation to reduce the heat loss in the conduction.

Key words

Biogas plants, biogas, cogeneration, digester, cogeneration unit

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou/bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 5.6.2014

Jan Charvát

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Mgr. Eduardu Ščerbovi, Ph.D., za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	8
ÚVOD.....	9
1. VÝROBA BIOPLYNU.....	10
1.1. DEFINICE POJMU BIOPLYN.....	10
1.2. VZNIK BIOPLYNU.....	10
1.3. BIOPLYNOVÉ TECHNOLOGIE.....	14
1.3.1. Dělení technologických postupů.....	14
1.3.2. Typy fermentorů.....	17
1.3.3. Možnosti vstupů.....	18
1.3.4. Zpracování výstupů.....	19
2. BIOPLYNOVÁ STANICE KRALOVICE.....	19
2.1. POPIS OBLASTI.....	19
2.2. LOGISTIKA VSTUPŮ.....	20
2.2.1. Substráty.....	21
2.3. FERMENTOR.....	21
2.4. PRODUKCE FERMENTAČNÍCH ZBYTKŮ.....	23
3. KOGENERACE BIOPLYNU V BPS KRALOVICE.....	24
3.1. KOGENERAČNÍ JEDNOTKA.....	24
3.1.1. Elektřina.....	25
3.1.2. Teplo.....	26
3.2. EFEKTIVNOST INVESTICE.....	26
3.3. EMISE.....	27
3.4. SPOLEHLIVOST.....	29
4. NÁVRH NA ZVÝŠENÍ ÚČINNOSTI.....	30
4.1. ODPADNÍ TEPLA.....	30
4.2. IZOLACE.....	32
5. ZÝVĚR.....	33
POUŽITÁ LITERATURA.....	34
PŘÍLOHY.....	35

Seznam symbolů a zkratek

BPS.....	Bioplynová stanice
TUV.....	Teplá užitková voda
TZL.....	Tuhé znečišťující látky
VOC.....	(Volatile organic compounds) Těkavé organické sloučeniny
ČOV.....	Čistička odpadních vod
OZE	Obnovitelné zdroje energie
KGJ.....	Kogenerační jednotka
ZD.....	Zemědělské družstvo

Úvod

V současné době zaujímají alternativní zdroje energie, tedy zdroje z obnovitelných zdrojů, nezanedbatelné postavení mezi moderními zdroji energie. Je tím myšlena především energie z větrných elektráren, sluneční energie, energie z vody či biomasy. V podmínkách ČR je větrná energie a energie z vodních zdrojů již omezena, jak strukturou terénu, který nenabízí ideální větrné podmínky pro provoz větrných elektráren, tak strukturou říční soustavy, která již nedisponuje příliš mnoha možnostmi pro stavbu vodních elektráren. Podobně je na tom energie využívaná ze slunce. Náklady na solární elektrárny jsou velice vysoké a vzhledem k solárním možnostem a místnímu podnebí se návratnost odhaduje na desítky let dopředu.

Z hlediska spolehlivosti a návratnosti investice je v současné době nejzajímavější vyrábět elektrickou energii z biomasy prostřednictvím bioplynových stanic. Bioplyn, který je potřebný pro výrobu elektrické energie je možné získat z organického odpadu, energetických rostlin a dalších organických materiálů, které jsou pro tento typ zpracování vhodné.

Tato bakalářská práce má za úkol přiblížit a osvětlit problematiku výroby bioplynu v bioplynových stanicích, konkrétně také technické a energetické parametry bioplynové stanice v Kralovicích. Ta byla zřízena především pro eliminaci a efektivní využití zemědělské kejdy ve firmě Kralovická zemědělská a.s.. Konečným cílem práce bude zhodnocení roční energetické bilance stanice a možné návrhy změn pro zvýšení účinnosti a využitelnosti, jak elektrické, tak tepelné energie.

Výroba bioplynu

1.1 Definice pojmu bioplyn

Historie

První systematické výzkumy bioplynu provedl přírodovědec Alessandro Volta pocházející z Itálie, který kolem roku 1770 jímá bahenní plyn ze sedimentu hornoitalských jezer a konal pokusy při jeho spalování.

Anaerobní vyhnívací proces dosáhl velmi silného rozmachu na konci 19. století, když se prokázalo, že touto metodou lze čistit odpadní vody. V roce 1897 bylo v jednom zdravotnickém ústavu pro léčbu lepry v indické Bombaji postaveno první zařízení, v němž se plyn používal ke svícení a od roku 1907 také pro pohon motorů vyrábějících elektrický proud.

Teprve v poválečném období se začalo uvažovat o zemědělství, jako o potenciálním dodavateli bioplynu. V roce 1947 upozornil německý inženýr Karl Imhoff na to, že z chlévské mrvy od jedné jediné krávy lze vyrobit stokrát více plynu, než z usazenin odpadních vod vyprodukovaných jedním obyvatelem města. To mělo za následek věnování značné pozornosti pracovníků Technické univerzity v Darmstadtu k této technologii. [1]

Bioplyn

Bioplyn lze tedy chápat jako plyn vzniklý přirozenou cestou. Jde o plynou směs metanu a oxidu uhličitého, vznikající anaerobní fermentací (jinými slovy též anaerobní digescí, biometanizací či vyhníváním). Nejčastější složení bioplynu využívaného pro energetické účely je metan 55 – 70 %, oxid uhličitý 27 – 47 %, vodík 1%, sulfan H_2S 3%.

1.2 Vznik bioplynu

Proces samovolného organického rozkladu látek za nepřítomnosti kyslíku nazýváme anaerobní fermentace, nebo také metanová fermentace. Tento proces je v přírodě velice běžný a můžeme se s ním setkat např. v kanalizacích, na skládkách odpadu, v bažinách atd. Nejčastěji je definován podle lokality výskytu jako např. důlní plyn, zemní plyn, skládkový plyn.[2]

Anaerobní fermentace je složitý biologický proces složený z několika na sebe navazujících fází. Vlastní tvorba metanu je pouze konečná fáze biologické přeměny biomasy na bioplyn a fermentační zbytky. V současné době se anaerobní fermentační proces dělí na čtyři základní fáze.

1. Fáze Hydrolýza

V úvodní fázi celého procesu přeměňují přítomné anaerobní bakterie, tedy ještě nikoli metanové bakterie, makromolekulární organické látky (bílkoviny, uhlovodíky, tuky, celulózu) pomocí enzymů na nízkomolekulární sloučeniny, jako jsou jednoduché cukry, aminokyseliny, mastné kyseliny a voda. [1]

2. Fáze Acidogeneze

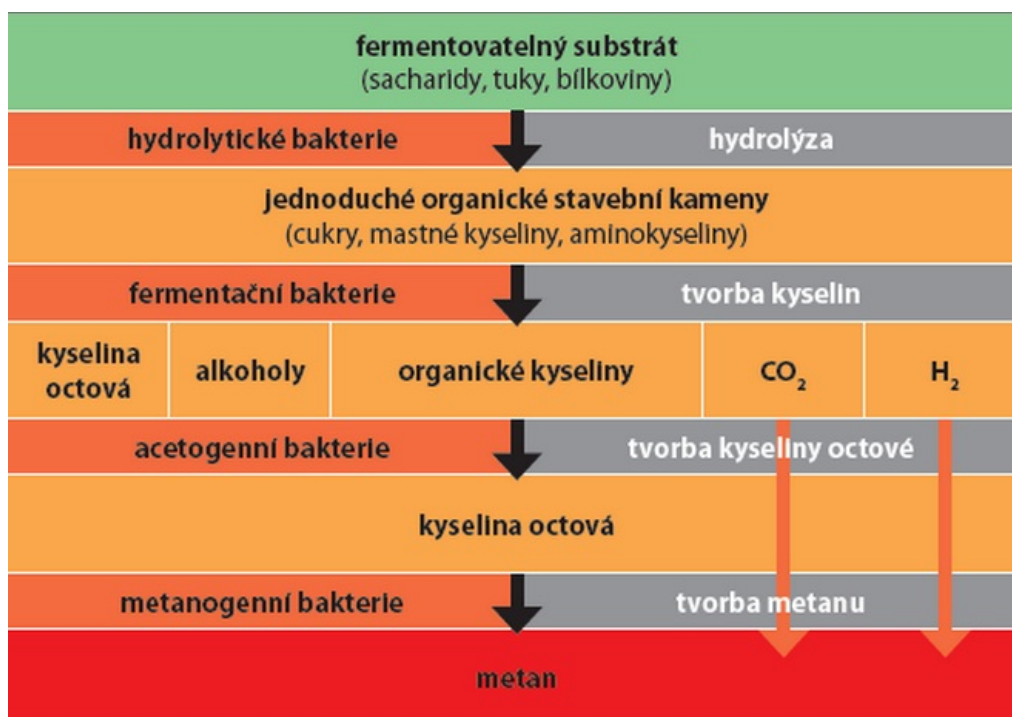
Zpracovávaný materiál může obsahovat ještě zbytky vzdušného kyslíku, což je nežádoucí. Proto v této fázi dojde definitivně k vytvoření anaerobního (bezokyslíkatého) prostředí. Zajistí to četné kmeny fakultativních anaerobních mikroorganismů, které se aktivují v obou prostředích. Potom mohou acidofilní bakterie provést rozklad na organické kyseliny, oxid uhličitý, sirovodík a čpavek [3]

3. Fáze Acitogeneze

Tato fáze je také někdy označována jako mezifáze. Acidogenní specializované kmeny bakterií transformují vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý.

4. Fáze Metanogeneze

Methanogenní organismy krom toho, že rozkládají některé jednoduhlíkaté látky (metanol, kyselinu mravenčí, CO_2 , H_2) jsou limitujícím faktorem celého procesu. Tyto organismy lze také rozdělit na hydrogenotrofní a acetotrofní. Acetotrofní methanogenní bakterie se podílejí svým působením na vzniku metanu v bioplynu a to více než dvěma třetinami. Jsou schopny rozkládat kyselinu octovou na směs metanu a CO_2 . Generační doba těchto bakterií je delší (několik dní). Hydrogenotrofní methanogenní bakterie jsou schopny produkovat metan z CO_2 a H_2 . Rostou poměrně rychle, jejich generační doba je cca 6 hodin. V anaerobním procesu fungují jako samoregulátor. [1]



Obr.1: Fáze rozkladu organické hmoty [4]

U většiny bioplynových stanic probíhá plnění organickou hmotou kontinuálně a tyto procesy probíhají vedle sebe a nejsou odděleny ani místně ani časově. Po zahájení provozu bioplynové stanice je proto běžné, že čtvrtá fáze procesu může nastat až po uplynutí několika týdnů.

Faktory ovlivňující proces

- Vlhké prostředí**

Metanové bakterie mohou pracovat a množit se jen tehdy, když mají substráty dostatečné množství vlhkosti (alespoň 50%). Na rozdíl od aerobních bakterií, kvasinek a hub nemohou žít v pevném substrátu.
- Zabránění přístupu vzduchu**

Metanové bakterie jsou striktně anaerobní. Pokud je v substrátu obsažen kyslík, jako například v čerstvé kejďě, musí ho aerobní bakterie nejdříve spotřebovat. K tomu dochází v první fázi bioplynového procesu. Nepatrné množství kyslíku, které vzniká při cíleném nafoukání vzduchu při odsíření, však neškodí.

- **Zabránění přístupu světla**

Zabránit přístupu světla při procesu není problém. Světlo sice bakterie přímo neničí, ale zbrzdí proces.

- **Stálá teplota**

Metanové bakterie pracují při teplotě mezi 0 °C a 70 °C. Kromě několika kmenů bakterií, které mohou žít při teplotě až 90 °C. Při vyšších teplotách dochází k hynutí bakterií. Při teplotách pod bodem mrazu přežívají, ale nepracují. Literatura udává jako spodní teplotní hranici 3 až 4 °C. Rychlost procesu vyhnívání je na teplotě striktně závislá. V zásadě platí, že 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 bioplynu. Praxí se zjistily 3 typické teplotní oblasti, které jednotlivým bakteriím prospívají:

- Psychrofilní kmeny - teploty pod 20 °C
- Mezofilní kmeny – teploty od 25 do 35 °C
- Termofilní kmeny – teploty nad 45 °C

Čím vyšší je teplota, tím jsou bakterie citlivější na teplotní výkyvy, zejména poklesne-li teplota krátkodobě. Zatím co v mezofilní oblasti bakterie denní výkyvy v rozmezí 2 až 3 °C zvládnou, v termofilní oblasti by teplotní výkyvy neměly přesáhnout 1 °C. Po delší době (zhruba 1 měsíc) se bakterie přizpůsobí nové teplotní úrovni.

- **Hodnota pH**

Optimální pH se pohybuje mezi 6,5-7,5. V rozmezí těchto hodnot pracují metanogenní organismy nejintenzivněji. U kyselých substrátů, jako jsou výpalky, syrovátka a siláž, bývá zapotřebí přidání vápna, aby se hodnota pH snížila.

- **Přísun živin**

Je nutné pro bakterie zajistit vyvážený poměr uhlíku, dusíku, fosforu a dalších stopových prvků, rozpustných dusíkatých sloučenin a minerálních látek důležitých pro činnost jejich metabolismu.

- **Toxické látky a inhibitory**

Některé organické kyseliny (propionová, máselná), antibiotika a desinfekční prostředky mají vysoce negativní vliv na činnost bakterií, potlačují jejich aktivitu. Velmi nepříznivě působí i vyšší koncentrace těžkých kovů (Hg, Cr, Pb).

- **Zatížení vyhnívajícího prostoru**

Tento parametr nám udává, jaké maximální množství organické sušiny na m³ a den může být dodáno do fermentoru, aniž by došlo k „překrmení“ bakterií a zastavení procesu.

- **Odplyňování substrátu**

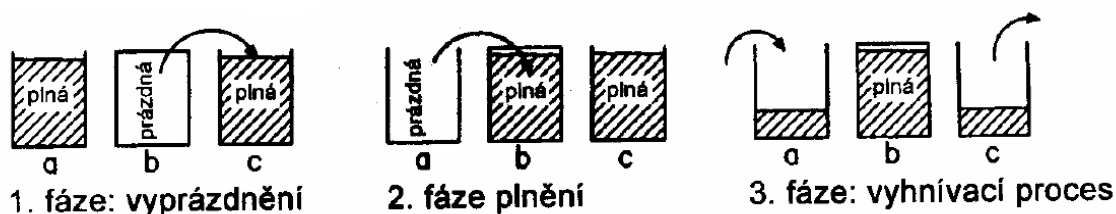
Musí být zajištěn průběžný odvod vzniklého plynu, jehož přebytek anaerobní proces brzdí a způsobuje nežádoucí zvýšení tlaku uvnitř fermentoru.

1.3 Bioplynové technologie

1.3.1 Dělení technologických postupů

Velký počet různých řešení biologických zařízení lze shrnout na několik typických technologických postupů. V zásadě lze postupy rozlišovat podle vstupů plnění (dávkový, nebo průtokový postup), dále podle toho, zda se jedná o proces jednostupňový, nebo vícestupňový, a konečně podle konzistence substrátu (pevný nebo kapalný).

Dávkový způsob



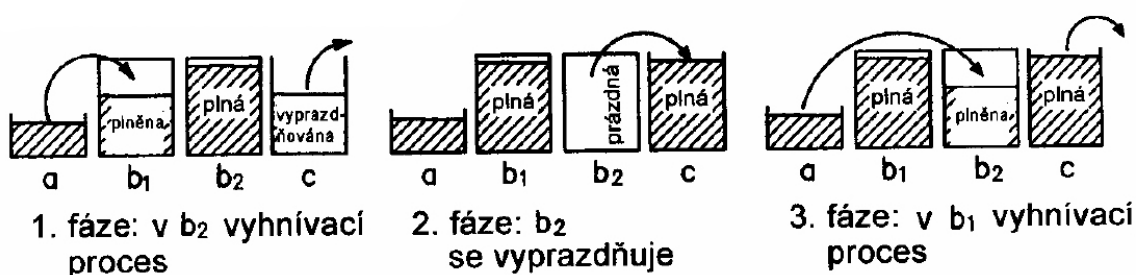
Obr.2: Fáze rozkladu organické hmoty [1]

U dávkového postupu se vyhnívací nádrž (fermentor) naplní celá najednou. Dávka pak vyhnívá do konce doby kontaktu, aniž by se přidával nebo odebíral další substrát. Produkce

plynu po naplnění pomalu roste. Na konci procesu, při dosažení maxima, se vyhnivací nádrž najednou vyprázdní. Při tom se menší množství vyhnílého kalu (zhruba 5 až 10 %) ponechá na dně nádrže, aby se nová dávka naočkovala „zapracovanými“ bakteriemi.

Tento způsob se příliš nepoužívá, protože má řadu nevýhod. Je zapotřebí přípravné a skladovací nádrže, což postup prodražuje. Problémem je i nekonstantní produkce bioplynu, kterou lze vyrovnávat jen dalším fermentorem (což je opět drahé). Další nevýhodou je, že proces vyhnívání často začíná už v přípravné nádrži a dochází tak ke ztrátám metanu. [1]

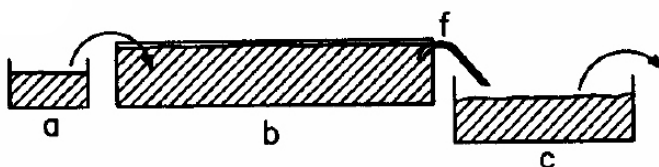
Metoda střídání nádrží



Obr.3: Fáze rozkladu organické hmoty [1]

Tato technologie pracuje se dvěma vyhnivacími nádržemi. Z přípravné nádrže, která pojme substrát získaný za 1 až 2 dny, se prázdná vyhnivací nádrž pomalu, ale rovnoměrně plní, zatímco v druhé probíhá vyhnivací proces. Poté, co je první nádrž naplněna, obsah druhé nádrže se najednou přesune do skladovací nádrže a následně se tato vyprázdněná druhá nádrž začne plnit z přípravné nádrže. Mezi tím se vyhnílý kal ze skladovací nádrže vyváží na vhodná místa tak, že tato nádrž se průběžně zcela nebo částečně vyprazdňuje. Její kapacitu je tedy z pravidla potřeba počítat jako větší, než kapacita vyhnivací nádrže. Nevýhodou jsou stejně jako u dávkového systému vysoké pořizovací náklady a navíc vyšší tepelné ztráty. [1]

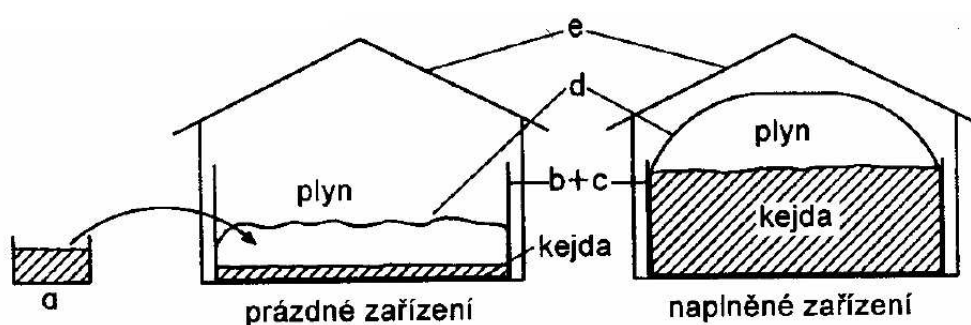
Průtoková metoda



Obr.4: Fáze rozkladu organické hmoty [1]

Většina bioplynových stanic pracuje na principu průtokové metody. Z jednoho zásobníku je substrát pumpován víckrát denně do vyhnívací nádrže. To samé množství, které je přidáno do fermentoru, je na druhém konci celého procesu odebíráno do skladu fermentačních zbytků. Fermentor je pro toto technologické řešení stále plněn a k vyprázdnění dochází pouze při údržbových pracích. Tato metoda vykazuje stejnou produkci plynu a dobré využití prostoru ke hnití. [5]

Metoda se zásobníkem



a = přípravná nádrž
b = vyhnívací nádrž
c = skladovací nádrž

d = fóliový poklop
e = ochrana před povětrnostními vlivy

Obr.5: Fáze rozkladu organické hmoty [1]

U zásobníkové metody jsou fermentor a skladovací nádrž spojeny do jedné nádrže. Při vyvážení již vyhnílého substrátu se zásobník vyprázdní až na malý zbytek, který je nutný k naočkování další náplně. Poté se kombinovaná vyhnívací a skladovací nádrž pomalu plní z přídatné nádrže, nebo stálým přítokem kejsdy, přes přirozený přepad. Výhodou této metody jsou nízké pořizovací náklady, jelikož provozovatel potřebuje pouze jednu velkou, relativně levnou nádrž. Výhodou je také přehlednost a jednoduchost celého procesu.

Jednostupňový nebo víceetapňový

Jak bylo řečeno, vyhnívací proces má čtyři fáze a rozkladu se účastní čtyři typy bakterií. Každá skupina těchto bakterií vyžaduje pro svoji existenci specifické životní podmínky, a proto není výhodné, aby všechny stupně probíhaly současně v jednom fermentoru. Nejčastěji se využívá dvoustupňová metoda. V prvním fermentoru se vyskytují

více acidogenní bakterie, které potřebují kyselější prostředí. Po uplynutí několika dnů se materiál přečerpává do druhého fermentoru, ve kterém probíhá výroba metanu metanogenními organismy, které vyžadují pH vyšší než acidogenní bakterie. Oba typy bakterií mají jiné požadavky i na teplotu.

Konzistence substrátu

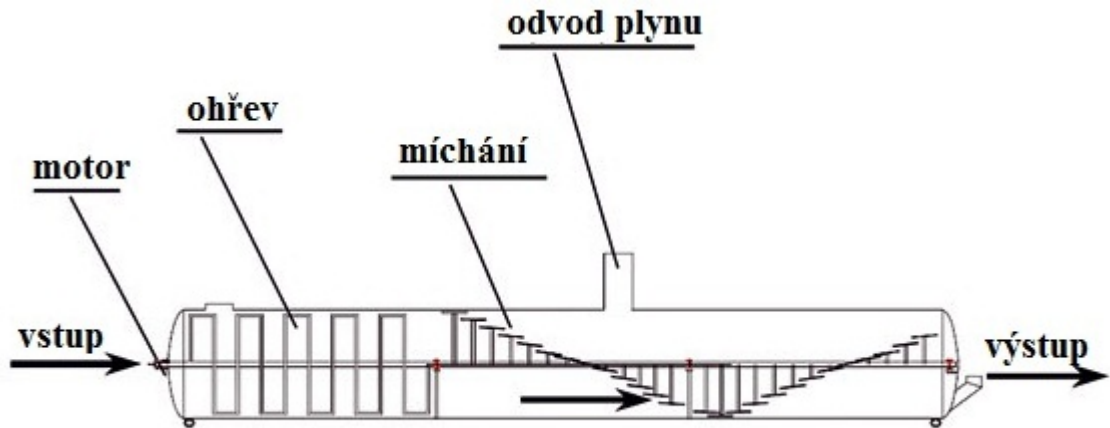
Konzistence substrátu je závislá na obsahu sušiny. Při mokré fermentaci se používají jak pevné, tak kapalné substráty, ovšem výsledná směs je kapalná a je míchána. U suchého procesu jsou využívány substráty výhradně pevné.

U zemědělských bioplynových stanic se zatím téměř výhradně používá mokrá fermentace. Suchá fermentační zařízení zatím považujeme za pokusné.

1.3.2 Typy fermentorů

Horizontální konstrukční typ

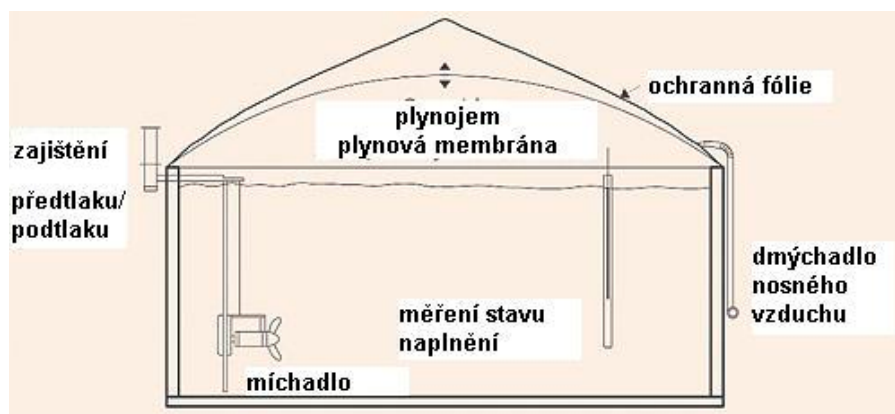
Horizontální konstrukce má tu důležitou přednost, že zde lze instalovat výkonné, energeticky úsporné a výkonné míchadlo. Tím lze dosáhnout dobrého pomíchání napříč směrem průtoku, aniž dochází k přílišnému promíchávání v podélném směru. Jelikož délka horizontální nádrže je několikanásobně větší, než její výška, automaticky tak vzniká velmi žádoucí tzv. pístové proudění. Dochází k jevu, kdy jedna dávka kejdy je posouvána rourou jako píst, tudíž nedochází k míchání čerstvého substrátu s již vyhnílym materiálem na konci nádrže.



Obr.6: Fáze rozkladu organické hmoty [1]

Vertikální konstrukční typ

Vertikální vyhnívací nádrže 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 nezanedbatelné tepelné ztráty. Nevýhodou je především to, že zde nemůže docházet k pístovému proudění.



Obr.7: Fáze rozkladu organické hmoty [1]

1.3.3 Možnosti vstupů

V bioplynových stanicích je možné efektivně zpracovat velmi rozsáhlou škálu bioodpadů, včetně takových, které se jinak dají jen obtížně zpracovat.

- Bioodpady z údržby veřejné zeleně (tráva, listí, ale nikoli dřevo)
- Bioodpady z domácností a supermarketů
- Zbytky jídel z jídelen, hotelů a restaurací
- Výstupy z chovů hospodářských zvířat (kejda, hnůj, podestýlky atd.)
- Cíleně pěstovanou biomasu (např. kukuřice, řepa, senáž, vojtěška).

Rozhodujícím faktorem pro volbu vhodného materiálu je především obsah sušiny v materiálu. Zhruba by se dalo říci, že pro bioplynovou technologii je optimální obsah sušiny mezi 5 a 15 %.

1.3.4 Zpracování výstupů

Bioplyn je možno využívat všude tam, kde se používají plynná paliva. Mezi způsoby energetického využití bioplynu patří:

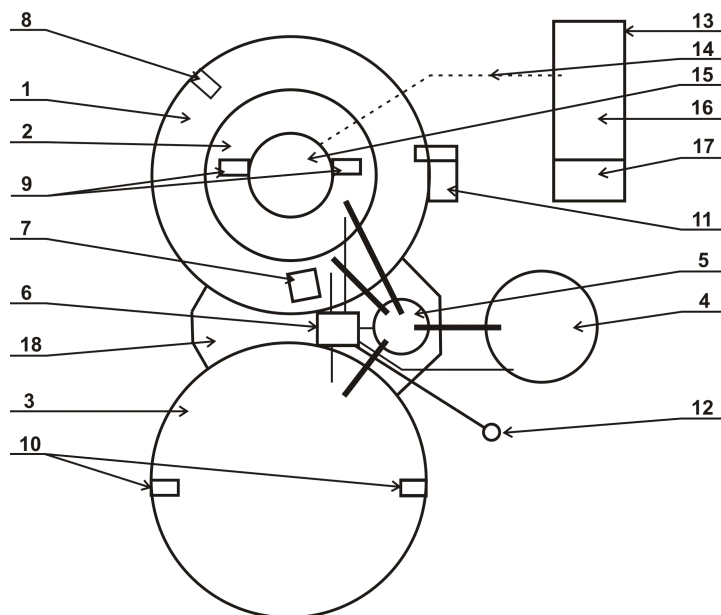
- Přímé spalování (vaření, svícení, chlazení, topení, sušení, ohřev vody,...)
- Výroba elektrické energie a ohřev teplotního média (kogenerace)
- Pohon spalovacích motorů nebo turbín pro získání mechanické energie

2 Bioplynová stanice Kralovice

Bioplynová stanice se nachází na okraji města Kralovice a je součástí zemědělské firmy Kralovická zemědělská a.s., která je rovněž provozovatelem bioplynové stanice. Stanici postavila firma Agri Fair s.r.o. v roce 2008.

2.1 Technický popis

Bioplynová stanice Kralovice se skládá ze dvoustupňového fermentoru (kruh v kruhu) vybaveného dávkovacím zařízením na tuhou složku, ze vstupní jímky pro tekutou složku, z koncového skladu, technického sklepa s přečerpávací jednotkou v meziprostoru mezi fermentorem a koncovým skladem, technické budovy s kogenerační jednotkou a rozvodny pro předávání elektrického proudu.

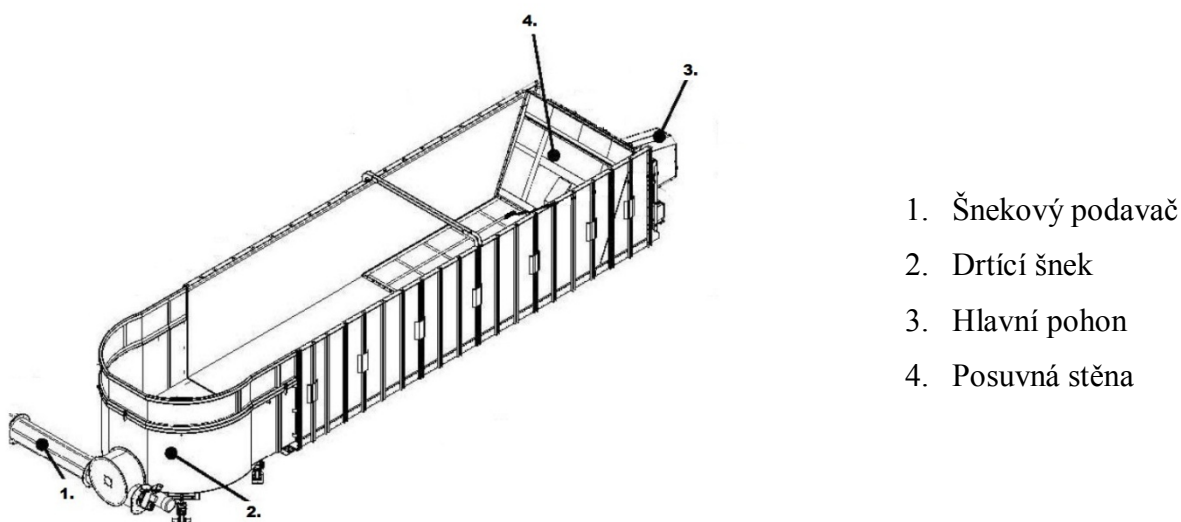


Obr.8: Funkční schéma BPS Kralovice [6]

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| 1. Fermentor 1 | 10. Míchadla koncového skladu |
| 2. Fermentor 2 | 11. Vstupní zařízení |
| 3. Koncový sklad | 12. Plnicí stanice cisteren |
| 4. Vstupní jímka | 13. Technická budova |
| 5. Centrální čerpadlo | 14. Plynové potrubí |
| 6. Rozdělovač a potrubní rozvody | 15. Zásobník plynu |
| 7. Míchadlo fermentoru | 16. Kogenerační jednotka |
| 8. Míchadlo fermentoru | 17. Rozvaděče, řídicí pracoviště |
| 9. Míchadla fermentoru | 18. Technologický sklep |

2.2 Logistika vstupů

Dávkovací zařízení na tuhou složku slouží k zásobování fermentoru načerpatelnou biomasou. Dávkovací zařízení na tuhou složku je kompaktní jednotka s objemem 48m³ složená z elektricky poháněných šneků (dopravní šnek, mačkácí šnek atd.), posuvného dna a posuvné stěny. Protože zařízení na získání plynu se pro udržení stabilní a nepřerušované výroby plynu musí několikrát denně v konkrétně stanovených časových intervalech zásobovat živinami, je plnění automatizováno. Obsah plného zásobníku vydrží přibližně na 24 hodin. Proto zaměstnanec každý den naplní zásobník příslušnými substráty a zásobník si automaticky dávkuje substrát podle potřeby.



Obr.9: Zásobník pro tuhou složku [7]

2.2.1 Substráty

Jako hlavní substráty pro provoz BPS Kralovice se využívají především vedlejší produkty z chovu zemědělských zvířat. Největší podíl ve vstupním substrátu má prasečí kejda, dále se přidává kukuřičná siláž (zhruba 200ha na provoz PBS), travní senáž, drůbeží podestýlka a hnůj z chovu skotu.

Vstupy do BPS Kralovice				
Rok	2010	2011	2012	2013
Hnůj [t]	1649	1244	705	560
Kukuřičná siláž [t]	5455	5992	6322	7275
Senáž z luk [t]	901	2547	2609	2669
Odpadové obilí šrot [t]	602	516	328	392
Prasečí kejda [m ³]	11488	7092	5555	4434

Tab.1: Vstupy do BPS Kralovice

2.3 Fermentor a koncový sklad digestátu

Hlavní část Bioplynové stanice tvoří dvoustupňový fermentor typu kruh v kruhu. Průměr vnějšího fermentoru je 36m a průměr vnitřního 18m. Oba jsou vysoké 5m a jsou z větší části zapuštěné v zemi. Toto řešení, kdy je větší část fermentoru zabetonovaná v zemi se osvědčilo z důvodu lepší tepelné izolace fermentoru a snazšího dopravování materiálu ze zásobníku.

Pro zachytávání bioplynu slouží foliový plynojem umístěný na svrchní části vnitřního fermentoru o objemu 500 m³. Toto množství skladovaného plynu vystačí zhruba na 2h provozu kogenerační jednotky.

Pro eliminaci plovoucích vrstev, pro homogenizaci substrátu a jeho míchání jsou fermentory vybaveny přestavitelnými ponornými motorovými míchadly. Ta také zajišťují, že i při vysokém obsahu sušiny lze obsah fermentorů čerpat a dopravovat potrubím.

K řízení teploty procesu ve fermentorech se používá teplovodní oběhové topení, které je vyhříváno vodou z chlazení kogenerační jednotky. Díky 10centimetrové vzdálenosti od stěny je zajištěno, že bude docházet ke staticky bezproblémovému ohřívání jímky fermentoru.

Fermentory a koncový sklad jsou mezi sebou propojeny jednak přepadovým potrubím, jednak tlakovým potrubím. Dopravuje-li se kvasný substrát do fermentoru, odtéká přepadovým potrubím stejné množství následně do dokvašovací jímky. Z dokvašovací jímky bioplynové stanice přetéká vykvašený substrát přepadovým potrubím do skladu destilátu, kde je skladován a připraven na další využití. Jímka skladu digestátu je železobetonová kruhová nádrž, bez zastřešení a tepelné izolace.



Obr.10: BPS Kralovice popis [8]

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1. Koncový sklad (sklad destilátu) | 4. Technická místnost + kogenerační jednotka |
| 2. Vnější fermentor | |
| 3. Zásobník na pevnou složku | 5. Dokvašovací jímka |

2.4 Produkce fermentačních zbytků

Nejedná se o odpad z hlediska zákona o odpadech. Fermentační zbytky tvoří cca 86% ze vstupní suroviny pro bioplynovou stanici. Množství fermentačních zbytků: $17\,250 \times 0,80 = 13\,250$ t/rok. Skladovací kapacita koncového skladu cca 6.900 m^3 vyhovuje pro více než 6 měsíční skladování a splňuje tedy požadavky vyhl. č. 274/1998 Sb. o skladování a způsobu používání hnojiv.

Využití digestátu

Digestát, tedy tuhý stabilizovaný vyhnílý kal a nerozložené organické látky vláknitého charakteru se v BPS Kralovice využívají především jako hnojivo na zemědělské plochy. Podmínkou využití digestátu jako organického hnojiva je nepřekročení limitních hodnot obsahu rizikových látek podle platné legislativy. Digestát je možné použít jako organické hnojivo pouze tehdy, obsahuje-li minimálně 25% spalitelných látek a 0,6% dusíku v sušině, nebo může být použit jako surovina k výrobě kompostů. Požadavky a kritéria pro hodnocení a kontrolu digestátu jsou uvedeny ve vyhlášce č. 341/2008 Sb., v příloze č. 5.



Obr.11: BPS sklad digestátu

Další využití digestátu

V případě, že by digestát obsahoval množství rizikových látek a prvků nad množství stanovené limitem, k čemuž může dojít při fermentaci ze směsného komunálního odpadu, a nemohl by se dát aplikovat na zemědělskou nebo nezemědělskou půdu, musel by se likvidovat jako odpad dle zákona o odpadech (např. spalovat, čistit na ČOV nebo ukládat na skládku). Toto jsou až krajní možnosti a provozovatelé BPS se jim snaží vyhýbat volbou vhodných vstupních surovin.

Další alternativou použití digestátu je separace a usušení tuhého podílu a následným využitím pro výrobu tuhých alternativních paliv. Tato varianta je energeticky i ekonomicky

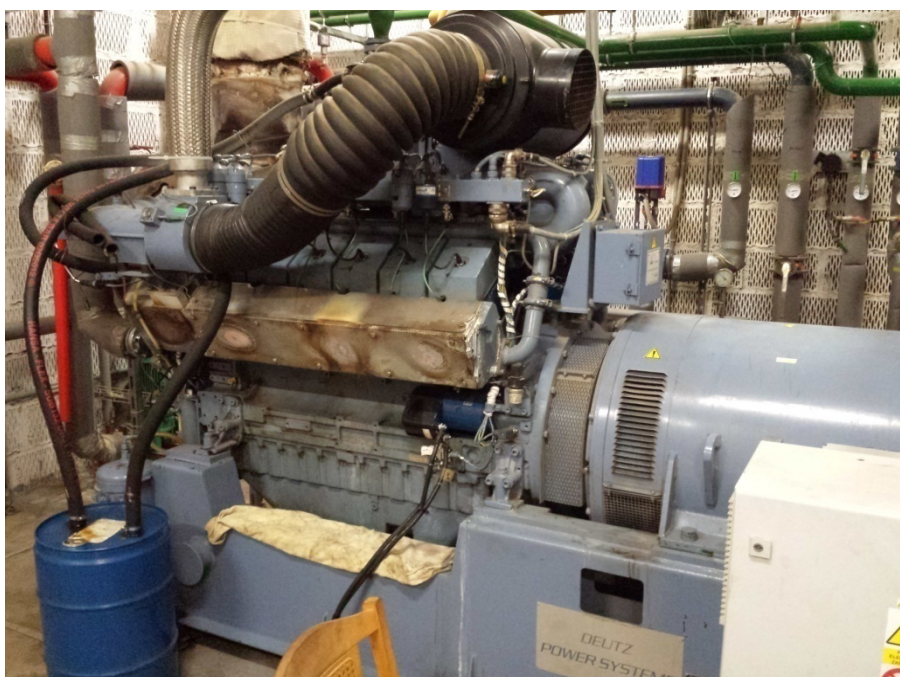
náročná a proto se zatím nenašlo její hojné uplatnění.

3 Kogenerace bioplynu v BPS Kralovice

3.1 Kogenerační jednotka

O energetickou přeměnu bioplynu na elektrický proud a teplo se stará kogenerační jednotka. Jedná se o kogenerační jednotku s plynovým motorem o elektrickém výkonu 537 kW. Tepelný výkon kogenerační jednotky činí 668 kW. Spotřeba kogenerační jednotky při ideálních otáčkách 1500 ot/min činí 238m³/h, což vzhledem k objemu plynojemu stačí na 2 hodiny provozu.

Při odstávce kogenerační jednotky se bioplyn neskládá, ale aktivuje se fléra – zařízení pro spalování přebytečného plynu, umístěná 15 m od BPS. K fléře je vedena podzemní odbočka plynovodu mezi plynojemem a kogenerací.



Obr.12: Kogenerační jednotka

3.1.1 Elektřina

Výkupní cenu stanovuje Cenové rozhodnutí Energetického Regulačního úřadu, kterým

se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z OZE, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů.

Biomasa na výrobu bioplynu se dělí dle vyhlášky č. 453/2008 Sb. Do dvou skupin.

- **Kategorie AF1**

Jedná se o biomasu s původem v cíleně pěstovaných energetických plodinách určenou k výrobě bioplynu. Tato biomasa tvoří v daném kalendářním měsíci více jak polovinu hmotnostního podílu v sušině vstupní suroviny. Zbytek vstupní suroviny tvoří biomasa z kategorie AF2.

Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v [Kč/MWh] je 4120.

- **Kategorie AF2**

Kategorie AF2 zahrnuje veškerou ostatní biomasu, než je uvedena v kategorii AF1. Především se jedná o odpadní biomasu.

Výkupní ceny elektřiny dodané do sítí v [Kč/MWh] je 3550.

Rok	Elektrický výkon kogenerační jednotky					
	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Výroba [kWh]	56850	3958025	3967016	4163700	4097000	3903000
Prodej [kWh]	46282	3420894	3436190	3641223	3571619	3165816
Nákup [kWh]	6173	17029	10153	12375	11629	22482
Účinnost výroby [%]	16	85	85	89	87	83
Doba zdržení [dny]	0	63	70	80	91	95
Výkup. Cena Kč/kWh	4,347	4,307	4,327	4,292	4,365	4,22
Provozní mot.hod.	83	8316	8434	8406	8489	8358
Vlastní technol. sp. [%]	18,5	13,5	13,4	12,5	12,5	14,2
Tržba za el. e. bez DPH [Kč]	199337	15049935	15083631	15660840	15262532	13997071

Tab.2: Produkce elektřiny BPS Kralovice

3.1.2 Teplo

Při samotném chodu a následném nutném chlazení kogenerační jednotky vzniká teplo, které se dále využívá. Celkový tepelný výkon KJ je 668 kW. Z celkového tepelného výkonu se zhruba 30% (zhruba 220kW) využije na ohřev fermentoru a vlastní chod motoru, který musí mít určitou provozní teplotu. Ostatní teplo (zhruba 400kW) je teplovodem vedeno od BPS k jednotlivým vytápěným objektům areálu (správnímu objektu, truhlářské dílně, sušce řeziva, vytápění pro selata a kuřata) a dále ke stávajícímu silu obilí.

3.2 Efektivnost investice

Zjednodušený výpočet ekonomické efektivnosti lze provést porovnáním dosažených přínosů z úspor energie s vynaloženými investičními náklady za období jednoho roku. Prostá návratnost vynaložené investice se vypočte takto:

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

kde jsou

IN	investiční, jednorázové náklady na realizaci úspor
V	výnosy z realizace, např. roční hodnota úspor energie
Np	roční provozní náklady
CF = V-Np	roční úspory v peněžní podobě

Náklady na výstavbu.....	40 078 000,00 Kč
Dotace	25 756 000,00 Kč
Celkové náklady na výstavbu BPS.....	65 834 000,00 Kč
Tržby za rok 2009.....	14 936 000,00 Kč
Zisk po odečtení nákladů.....	5 415 000,00 Kč

Návratnost vlastních nákladů na výstavbu BPS po odečtení dotací vychází zhruba na 7,4 roku. Dále musíme brát zřetel na úsporu tepelné energie, díky vytápění přebytečným teplem z kogenerační jednotky prakticky celého provozu ZD. Tato úspora činí ročně zhruba 750 000 Kč. Výpočet prosté návratnosti nám dává pouze orientační představu, protože se v něm nepočítá se změnami cen za energie a časovou hodnotu peněz. [8]

3.3 Emise

Výstavba BPS řeší problematiku zpracování statkových hnojiv a biomasy jejich energetickým využitím, což napomáhá snížení produkce pachových látek z chovu zvířat a hnojení zemědělských pozemků v blízkosti obytných území. Řízené zpracování biomasy fermentací a následným využitím bioplynu má i globální význam z hlediska omezení množství skleníkových plynů odcházejících do volného ovzduší. Lze tedy konstatovat, že z hlediska emisních účinků na životní prostředí nejde o negativní, ale spíše pozitivní dopad.

Jedním z možných zdrojů emisí je občasný provoz zařízení k likvidaci odpadních plynů (fléry), která je v provozu v případě odstavení kogenerační jednotky z provozu z důvodu např. provádění servisních prohlídek atp. Protože technologie výroby bioplynu neumožňuje přerušování procesu fermentace (to by způsobilo špatnou funkci fermentoru, horší kvalitu bioplynu atp.) je instalace hořáku zbytkového plynu (fléry) nezbytná. Pro tento zdroj znečištění ovzduší platí závazné podmínky provozu zařízení na spalování odpadních plynů dle přílohy č. 1m bodu 0.3, nařízení vlády č. 615/2006 Sb.

Fléra (pochodeň) je zařízení pro snížení emisí látek znečišťujících ovzduší, které pracuje jako havarijní výpusť plynů do ovzduší, nebo při neustálém a jinak těžce zpracovatelném přebytku plynů.



Obr.13: Fléra

Jako druhý a hlavní zdroj emisí je kogenerační jednotka. Bioplynové stanice patří podle Nařízení vlády č. 615/2006 Sb. do kategorie velkých zdrojů znečištění. Emisní limity pro kogenerační jednotku v BPS jsou uvedeny v tab.3.

Emisní limity [mg/m ³]						
TZL	SO ₂	NO ₂	CO	sulfan	amoniak	Kategorie
150	2 500	500	800	10	50	Velký zdroj

Tab.3: Emisní limity pro BPS

Ze změřených koncentrací znečišťujících látek ze dne 21.06.2012 je zřejmé, že emisní limity nejsou překročeny u žádné z látek.

Emisní limity [mg/m ³]					
TZL	SO ₂	NO ₂	CO	sulfan	VOC
5,1	50,4	469,9	855,46	-	826,7

Tab.4: Emisní limity pro BPS Kralovice ke dni 21.6.2012

Poplatky za znečišťování ovzduší jsou stanoveny dle přílohy č.1 k zákonu č.86/2002 Sb. o ochraně ovzduší a uvádí je tab. 12.

Poplatky za znečišťování ovzduší	
Znečišťující látka	sazba [Kč/t]
Tuhé znečišťující látky	3000
Oxid siřičitý	1000
Oxidy dusíku	800
Oxid uhelnatý	600
Těkavé organické látky	2000

Tab.5: Poplatky za znečišťování ovzduší

Roční poplatek z kogenerační jednotky BPS Kralovice

Poplatky za znečišťování ovzduší		
Znečišťující látka	Množství [t]	Poplatek [Kč]
Tuhé znečišťující látky	0,05	200
SO ₂	0,622	600
NO _x	3,429	2700
CO	6,593	4000
VOC	6,74	13500
Celkem		21000

Tab.6: Poplatky za kogenerační jednotku

3.4 Spolehlivost BPS

Poruchy procesu

Ne každá porucha procesu vzniku bioplynu se dá zpozorovat okamžitě. Často trvá delší dobu, než se chyba projeví. Od příčiny ke gradujícímu důsledku může uběhnout několik měsíců. Pozorujeme proto již malé změny v procesu a začínáme pátrat po příčině v čas. Využití všech prvků v organismu se řídí podle zásobení toho nejméně zastoupeného.

Typické příznaky vyskytujících se poruch

- Snižující se množství plynu při plynulém přívodu substrátu
- Snižující se množství metanu v plynu (<50%)
- Zvyšující se obsah vodíku (H₂) v plynu
- Zvyšující se obsah sirovodíku (H₂S) v plynu
- Snižující se pH hodnota ve fermentoru (většinou spíš pozdní reakce)
- Tvorba pěny ve fermentoru

Vyskytne-li se jeden nebo vícero příznaků, doporučuje se poslat vzorek do laboratoře na rozbor. V žádném případě by se nemělo reagovat na sníženou produkci plynu současným navýšením dávkovaného substrátu! [4]

Ke dni 1.4.2014 má kogenerační jednotka 44842 motohodin provozu. Zanedbáme-li 83 hodin provozu v posledním měsíci roku 2008, kdy byla bioplynová stanice spuštěna, vychází nám zhruba 345 dní provozu každý rok. Připočítáme-li údržbové práce na BPS, vychází nám vysoká spolehlivost celého procesu.

4 Návrhy zvýšení účinnosti

4.1 Tepelná izolace teplovodního potrubí

Jak již bylo psáno, tak v technické místnosti se nachází kogenerační jednotka se jmenovitým tepelným výkonem 668 kW. Tento výkon, pocházející z chlazení kogenerační

jednotky je chladícím médiem v teplovodním potrubí odváděn a využívám převážně k vytápění okolních budov a zařízení. Nabízí se tedy otázka. Zda-li vůbec, či jak efektivně je sekundární chladicí okruh (teplovodní potrubí) tepelně izolován od okolního prostředí a jak vysoké jsou tepelné ztráty bez izolace v tomto potrubí.

Po prostudování konceptu a realizaci technické místnosti jsem došel k závěru, že 85% (což je zhruba 35m) potrubí sekundárního okruhu v technické místnosti nemá žádnou tepelnou izolaci a dochází tedy ke značným tepelným ztrátám, které se projevují i na tepelném komfortu obsluhy, mající pracovní stanoviště ve vedlejší místnosti. Návrhu izolace teplovodního potrubí jsem věnoval následující výpočet.

Potrubí			
Průměr	d=	22	[mm]
Tloušťka stěny	st=	2.6	[mm]
Souč. tepelné vodivosti	λt =	50	[W/mK]
Teplota média	t_{in} =	90	[°C]
Teplota v okolí potrubí	t_{out} =	25	[°C]
Relativní vlhkost vzduchu	rh=	55	[%]
Teplota rosného bodu	t_w =	15.9	[°C]
Součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu	α_e =	10	[W / m ² K]
Délka potrubí	l=	35	[m]

Tab.7: Parametry potrubí

Izolace			
Tloušťka izolace	$[s_{iz}]$ =	9	[mm]
Souč. tepelné vodivosti	$[\lambda_{iz}]$ =	0.045	[W/mK]

Tab.8: Parametry izolace

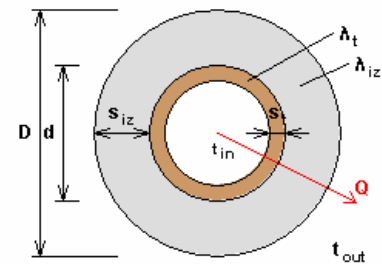
Teorie výpočtu tepelné ztráty potrubí

$$Q_{ztr} = U_o \cdot l \cdot (t_{in} - t_{out}) \quad [W]$$

$$U_o = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_t} \cdot \ln \frac{d}{d - 2 \cdot s_t} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{iz}} \cdot \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{\alpha_e \cdot D}} \quad [W/mK]$$

Obr.14: Výpočet ztrát v potrubí [10]

Obr.15: Schéma potrubí [10]



$$d = 22.0 \text{ mm}$$

$$D = 40.0 \text{ mm}$$

$$s_{iz} = 9.0 \text{ mm}$$

$$D = d + 2 \cdot s_{iz} = 40 \text{ mm}$$

Tepelná ztráta potrubí kruhového průřezu je způsobena vedením tepla jednotlivými vrstvami potrubí a přestupem tepla do okolního prostředí.

Její velikost ovlivňují:

- Součinitel prostupu tepla válcovou stěnou U_o
- Materiál trubky – minimálně
- Materiál izolace – podstatně
- Přestup tepla mezi povrchem potrubí a okolního prostředí α_e
- Délka potrubí l
- Rozdíl teploty média uvnitř t_{in} potrubí a teploty v jeho okolí t_{out}

Dosazením do vzorců a následným výpočtem jsme zjistili, že tepelná ztráta bez izolace $Q_p=1571,4 \text{ W}$ a tepelná ztráta potrubí s izolací činí $Q_{iz}=782,4 \text{ W}$. Energetická úspora izolovaného potrubí tedy činí 50% za použití izolace dutého profilu z pěnového polyetyleny. Volbou dražší varianty izolace se můžeme dostat až na úsporu 69 %.

4.2 Zakrytí skladu digestátu

Ke zdaleka největším samovolným únikům metanu však dochází u skladu digestátu. Při zdržení substrátu ve fermentorech neodpovídajících jejich povaze může docházet k emisím CH_4 tak vysokým, že bilance příspěvku projektu k omezení emisí CO_2 , může být i jen poloviční, než je v rámci výpočtu ekologických přínosů pro potřeby různých systémů podpory vyčíslováno. Jinými slovy elektřina z takto nevhodné BPS může být ve skutečnosti zatížena „nenulovým“ emisním faktorem CO_2 , majícím původ v únicích metanu na úrovni odpovídající 30 – 50 % emisního faktoru elektřiny vyráběné uhelnou elektrárnou. Plynotěsné zakrytí skladu digestátu by proto mělo být standardem, který vedle uvedených ekologických přínosů současně umožní zvětšit skladovací kapacitu bioplynu a řešit, jak delší provozní výpadky systému bez potřeby mrhání bioplynu, tak i možnost výkonové regulace kogenerační jednotky, bude-li vyžadována perátorem elektrizační soustavy. [11]

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vysvětlit a přiblížit problematiku vzniku bioplynu v bioplynové stanici a nastínit možné využití elektrické a tepelné energie získané z kogenerační jednotky.

Moderní trend v dnešní době je získávání energie z obnovitelných zdrojů. Ve srovnání s ostatními obnovitelnými zdroji energie, jako jsou například solární či větrné elektrárny, mají bioplynové stanice několik nezanedbatelných výhod. Jednou z těchto výhod je bezesporu jejich regulovatelnost a možnost dodávat stabilní výkon nepřetržitě 24 hodin denně. Dá se tedy celkem spolehlivě zabránit náhlému přebytečnému výkonu dodaného do sítě, vlivem změn počasí. Je tedy alespoň částečně možné předcházet krátkodobé nadvýrobě energie do sítě a potenciálnímu vzniku tzv. blackoutu.

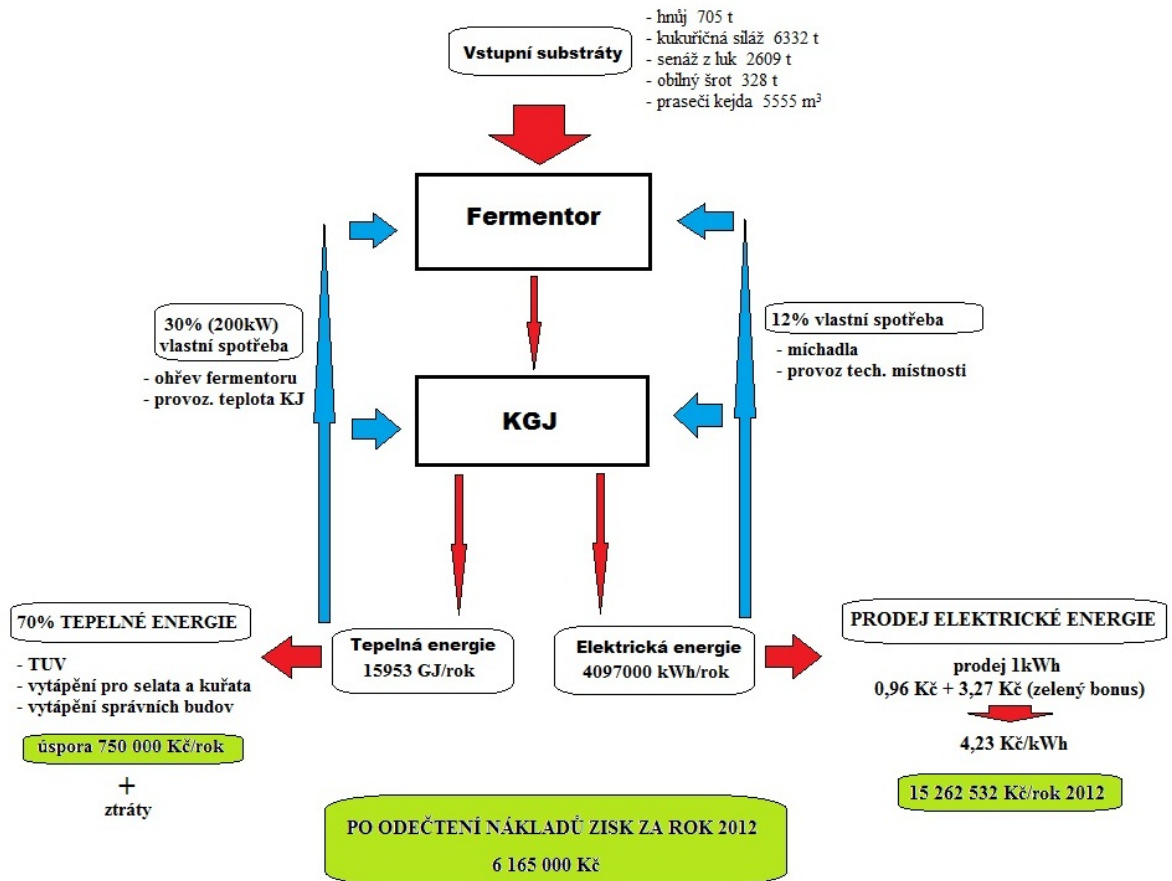
Nepříjemnou etickou vlastností bioplynových stanic je fakt, že se ze stále větší části přechází na vstupní substráty složené z energetických plodin, které jsou cíleně pěstované pro tento účel. A to vše v době, kdy podle odhadů na světě zemře každých 6 sekund jeden člověk hladu. Navzdory tomu, má energie získaná ze zpracovaných energetických plodin největší legislativní i obecnou podporu.

Tento zdroj výroby energie je ovšem v globálním měřítku ještě mladý a lidstvo teprve přichází na všelijaké možné využívání této technologie.

Výstavba bioplynové stanice v Kralovicích byla zvolena především jako možnost ekologického, z dlouhodobého hlediska finančně přínosného způsobu, jak se zbavit ročně tisíců tun odpadního materiálu z chovné činnosti a jak eliminovat zápach, na který byly podány každoročně desítky stížností.

Fosilních paliv, jako je uhlí, ropa, zemní plyn na celém světě rychle ubývá a za současných technologií není v silách lidstva jejich nového vytváření. Alternativní zdroje energie se v současné době jeví jako jedinou rozumnou možností, jak se obejít bez těchto zanedlouho vyčerpaných surovin.

Na závěr je přiloženo energetické schéma BPS Kralovice spolu s kalkulací výnosů za rok 2012.



Obr.16: Energetické schéma BPS Kralovice

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] SCHULZ, Heinz. *Bioplyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení - příklady*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2004, 167 s. ISBN 80-861-6721-6.
- [2]
- [3] KÁRA, Jaroslav. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. Vyd. 1. Praha: VÚZT, 2007, 120 s. ISBN 978-80-86884-28-8.
- [4] Biochemie výroby bioplynu. [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://bioplyn.schaumann.cz/vyroba/>
- [5] *Průvodce výrobou a využitím bioplynu*. Praha: CZ Biom, 2009, 155 s. ISBN 978-80-903777-5-2.
- [6] Funkční schéma BPS 500 kW. Dostupné z www: <http://www.agrifair.cz/component.php?cocode=section&seid=173>
- [7] [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.fliegl-agrartechnik.cz/zemedelska-technika/vyhrnovaci-vozy>
- [8] [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/>
- [9] Vašíček, J.: Zásady ekonomického hodnocení energetických projektů. Dostupné z www: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2565>
- [10] Tepelná ztráta potrubí. [online]. [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/44-tepelna-ztrata-potrubu-s-izolaci-kruhoveho-prurezu>
- [11] Energetická efektivnost bioplynových stanic. [online]. [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/files/ceska-bioplynova-asociace/uploads/files/EnEfBPS-komplet.pdf>

Přílohy

Příloha A: Silážní jáma BPS Kralovice



Příloha B: Dávkovací zařízení pro tuhou složku



Příloha C: Fermontor typu kruh v kruhu

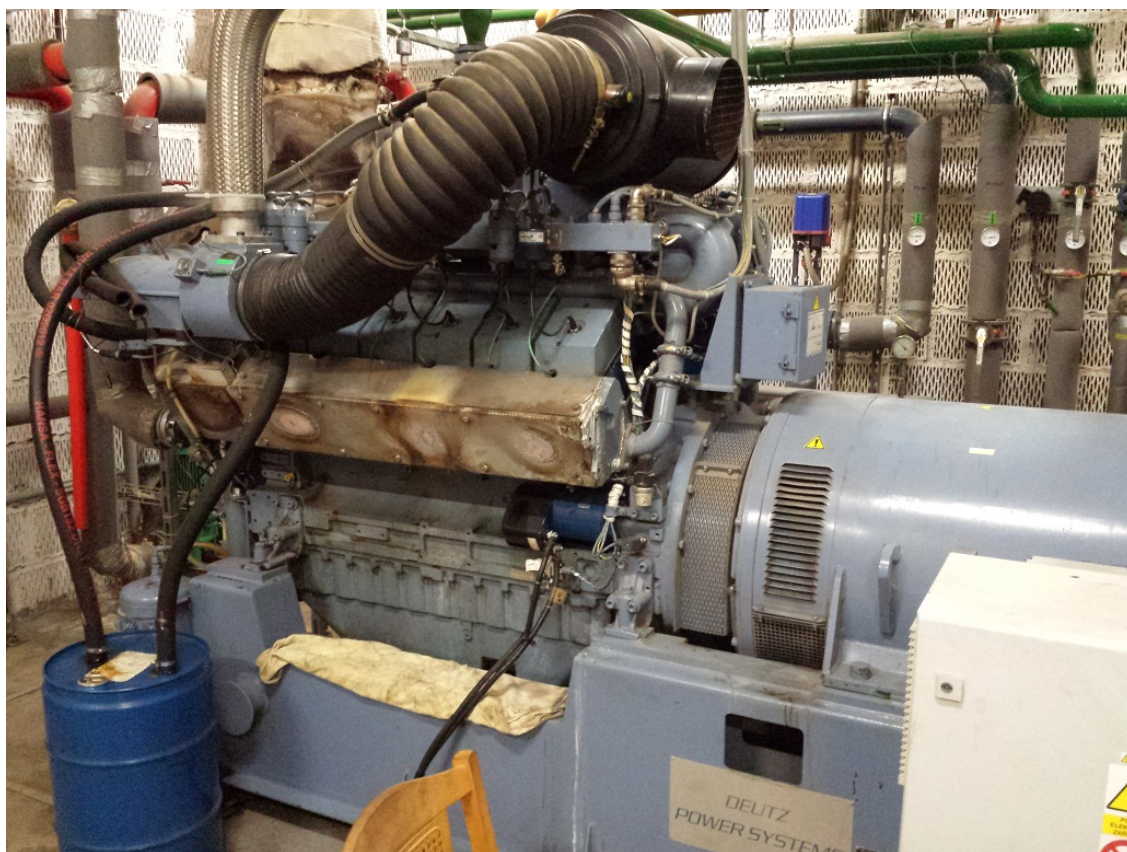


Příloha D: Odsíření bioplynu



Příl

oha E: Kogenerační jednotka



Příloha F: Tepelný výměník KGJ



Příloha G: Chlazení KGJ

