

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**VÝROBA ELEKTRICKÉ ENERGIE A TEPLA Z
BIOPLYNU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

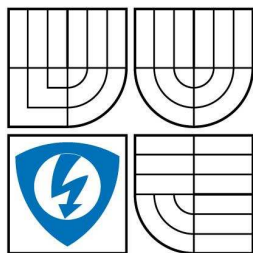
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN INWALD

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Jan Inwald

ID: 78492

Ročník: 3

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Výroba elektrické energie a tepla z bioplynu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. získávání a výroba bioplynu v současných podmínkách
2. energetické vlastnosti bioplynu
3. možnosti využití bioplynu v energetice, zpracování bioplynu pro energetické účely
4. návrh energetického systému na bioplyn
5. provozní analýza navrženého zařízení

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 1.6.2009

Vedoucí práce: Ing. Petr Mastný, Ph.D.

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA
POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan

Jméno a příjmení: Jan Inwald
Bytem: Radostín nad Oslavou 274
Narozen/a (datum a místo): 3.3.1986 Nové Město na Moravě
(dále jen „autor“)

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií,
se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno,
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):
- ☐ disertační práce
 - ☐ diplomová práce
 - ☐ bakalářská práce
 - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: **Výroba elektrické energie a tepla z bioplynu**

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Ústav: Ústav elektroenergetiky

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- ☐ tištěné formě – počet exemplářů
- ☐ elektronické formě – počet exemplářů

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☐ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy

(z důvodu utajení v něm obsažených informací)

4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....

Nabyvatel

.....

Autor

Bibliografická citace práce:

INWALD, J. *Výroba elektrické energie a tepla z bioplynu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 50 stran

Prohlašuji, že jsem svou **bakalářskou práci** vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

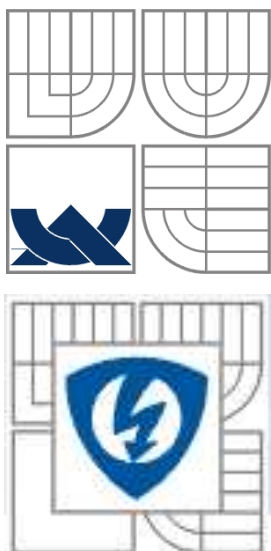
Výroba elektrické energie a tepla z bioplynu

Jan Inwald

vedoucí: Ing. Petr Mastný, PhD.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2008

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Bachelor's Thesis

Production of electricity and heat out of biogas

by

Jan Inwald

Supervisor: Ing. Petr Mastný, PhD.

Brno University of Technology, 2008

Brno

ABSTRAKT

Cílem práce je popsat nové možnosti využití bioplynu pro výrobu elektrické a tepelné energie a navrhnout takové technologické řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA: bioplyn; fermentace; fermentor; plynojem; kogenerace

ABSTRACT

The aim of the thesis is to describe new possibilities for using biogas for electric and heat production and to propose a technological solution.

KEY WORDS: biogas; fermentation; fermentor; gasholder; cogeneration

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	12
SEZNAM TABULEK	13
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	14
1 ÚVOD.....	15
2 ZÍSKÁVÁNÍ A VÝROBA BIOPLYNU V SOUČASNÝCH PODMÍNKÁCH.....	16
2.1 VZNIK BIOPLYNU.....	16
2.1.1 PROCES ANAEROBNÍ FERMENTACE.....	16
2.1.2 MATERIÁLY VHODNÉ PRO TVORBU BIOPLYNU	18
2.2 VÝROBA BIOPLYNU V SOUČASNÝCH PODMÍNKÁCH	19
2.2.1 ZAŘÍZENÍ NA VÝROBU BIOPLYNU	19
3 ENERGETICKÉ VLASTNOSTI BIOPLYNU	25
3.1 CHARAKTERISTIKA BIOPLYNU.....	25
3.2 VLASTNOSTI BIOPLYNU A JEHO SLOŽENÍ	26
3.2.1 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE A VLASTNOSTI METANU.....	27
4 ZPRACOVÁNÍ BIOPLYNU PRO ENERGETICKÉ ÚČELY.....	29
4.1 PLYNOJEMY.....	29
4.2 ČIŠTĚNÍ BIOPLYNU	30
4.2.1 SUŠENÍ BIOPLYNU	31
4.2.2 ODSÍŘENÍ BIOPLYNU	32
5 MOŽNOSTI VYUŽITÍ BIOPLYNU V ENERGETICE	33
5.1 SPALOVÁNÍ V KOTLÍCH.....	33
5.2 KOGENERACE.....	34
5.2.1 KOGENERAČNÍ JEDNOTKA	34
6 NÁVRH ENERGETICKÉHO SYSTÉMU NA BIOPLYN	38
6.1 HIERARCHIE PRÁVNÍCH A TECHNICKÝCH NOREM A PŘEDPISŮ V ČR[2]	38
6.2 DIMENZOVÁNÍ BIOPLYNOVÉ STANICE	39
6.2.1 ZÍSKÁVÁNÍ SUBSTRÁTU A VÝPOČET OBJEMU FERMENTORU	39
6.2.2 ZJIŠTĚNÍ OBSAHU SUŠINY A ORGANICKÉ SUŠINY.....	40
6.2.3 VÝPOČET DENNÍ PRODUKCE PLYNU.....	40
6.2.4 OBJEM JÍMKY NA KEJDU.....	40
6.2.5 OBJEM PLYNOJEMU.....	41
6.2.6 STANOVENÍ VÝKONU BLOKOVÉ TEPLÁRNY	41
6.3 PROJEKTOVÁNÍ TECHNOLOGIE.....	41
6.3.1 ČERPACÍ ZAŘÍZENÍ	41
6.3.2 MÍCHACÍ ZAŘÍZENÍ.....	41
6.3.3 TEPELNÁ IZOLACE FERMENTORU.....	42
6.3.4 POTŘEBA ENERGIE VRACEJÍCÍ SE DO PROCESU	42

7 PROVOZNÍ ANALÝZA NAVRŽENÉHO ZAŘÍZENÍ	43
7.1 NÁKLADY NA VÝROBU BIOPLYNU	43
7.2 ODPISY A ROČNÍ NÁKLADY	44
7.2.1 CELKOVÉ INVESTIČNÍ NÁKLADY NA BIOPLYNOVOU STANICI	45
7.2.2 ROČNÍ NÁKLADY NA VÝROBU BIOPLYNU PŘI ZAHRNUTÍ PRACOVNÍCH NÁKLADŮ	45
7.2.3 UŽITEK Z NÁHRADY ODBĚRU PROUDU A Z DODÁVEK PROUDU DO SÍTĚ	46
7.2.4 VÝNOS Z ODPADNÍHO TEPLA	47
7.2.5 PŘÍNOSY VEDLEJŠÍCH EFEKTŮ	47
7.2.6 CELKOVÝ VÝNOS Z VÝROBY BIOPLYNU A NÁVRATNOST STAVBY TÉTO STANICE.....	48
8 ZÁVĚR.....	49
POUŽITÁ LITERATURA	50

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2.1 Čtyři fáze procesu vyhánění.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr.2.2 Schéma zařízení pro výrobu bioplynu [5].....</i>	<i>20</i>
<i>Obr.2.3 Funkční schéma bioplynové stanice 500kW [6]</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 2.4 Různé typy fermentorů [3]</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 2.5 Způsoby ohřevu fermentorů-nejčastěji se používá c pro snadné čištění a opravy [3] ...</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 2.6 Způsoby míchání obsahu fermentorů [3].....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 2.7 technologie suché fermentace [3]</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 2.8 Garážový systém pro tuhé organické materiály suchý a sucho mokrý proces [7]</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 2.9 Zjednodušené schéma technologie pro získávání bioplynu ze SKO [7]</i>	<i>24</i>
<i>Obr.3.1 Grafické znázornění výhřevnosti bioplynu [11]</i>	<i>26</i>
<i>Obr.4.1 Membránový plynolem SATTLER [13].....</i>	<i>29</i>
<i>Obr.4.2 Vakový plynolem SATTLER [13]</i>	<i>30</i>
<i>Obr.4.3 Možné zapojení zařízení pro sušení bioplynu [13]</i>	<i>31</i>
<i>Obr.4.4 Bakterie Thiobacillus s granulemi síry (na síru poukazuje červená šipka) [13].....</i>	<i>32</i>
<i>Obr.4.5 Odsiřovací zařízení DESULPHAIR U03;odsiřuje s účinností okolo 80% [13]</i>	<i>32</i>
<i>Obr.5.1 Kapotové a kontejnerové provedení od firmy TEDOM s.r.o. [14]</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 5.1 Schematické zapojení kogenerační jednotky v ČOV [14]</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 5.3 Schematické zapojení kogenerační jednotky v SKO [14]</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 5.4 Schematické zapojení kogenerační jednotky v zemědělském zařízení [14]</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 5.5 Porovnání účinnosti oddělené a kogenerační výroby elektrické energie a tepla [14]</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 7.1 Procentuální rozdělení investičních nákladů při stavbě bioplynové stanice [1]</i>	<i>44</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab.2.1 Materiály vhodné pro fermentaci [5]</i>	18
<i>Tab.2.2 Poměr C:N ve vybraných materiálech</i>	19
<i>Tab.3.1 Obsah sulfanu v bioplynu z různých odpadů [3]</i>	25
<i>Tab.3.2 Základní technické údaje o bioplynu [12]</i>	27
<i>Tab.3.3 Vybrané fyzikální vlastnosti bioplynu [12]</i>	28
<i>Tab. 5.1 Možnosti energetického využití bioplynu v českých podmínkách [2]</i>	33
<i>Tab. 5.2 Základní tech. parametry kogeneračních jednotek TEDOM [14]</i>	36
<i>Tab. 5.3 ČOV Žďár nad Sázavou-výroba plynu a energie,celkový odběr a ceny el. en. [15]</i>	37
<i>Tab. 6.1 Objem směsy tuhých a kapalných exkrementů při 10% sušiny u různých druhů skotu v poměru na jedno zvíře, nebo na dobytčí jednotku[1]</i>	39
<i>Tab. 6.2 Obsah sušiny a organické sušiny a výnos plynu v kejdě hovězího dobytku[1]</i>	40
<i>Tab. 7.1 Směrné hodnoty investičních nákladů pro zemědělské bioplynové stanice[1]</i>	43
<i>Tab. 7.2 Náklady na výrobu bioplynu při rozdílných investičních nákladech(bez pracovních nákladů na provoz stanice).....</i>	45
<i>Tab. 7.3 Roční náklady na výrobu bioplynu při zahrnutí pracovních nákladů.....</i>	45
<i>Tab. 7.4 Výnos z dodávek proudu do sítě(všechny vyrobený proud se prodá).....</i>	46
<i>Tab. 7.5 Výnos z odběru proudu a z dodávek proudu do sítě.....</i>	46
<i>Tab. 7.6 Výnos z úspory za nákup proudu a zelených bonusů</i>	47
<i>Tab. 7.5 Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva pro 70 MWh [18].....</i>	48
<i>Tab. 7.6 Celkový výnos z výroby bioplynu návratnost stavby této stanice.....</i>	48

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

ČOV	čistírna odpadních vod
SKO	skládka komunálních odpadů
EO	ekvivalentní obyvatel
EU	Evropská unie
OZE	obnovitelný zdroj energie
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
ERÚ	Energetický regulační úřad
ČSN	České technické normy
DJ	dobytčí jednotka
Q_1	teplo potřebné k ohřevu substrátu
Q_2	teplo potřebné k vyrovnání tepelné ztráty ve fermentoru
Q_P	celkové teplo potřebné pro proces
E	obsah energie v plynu
P_i	instalovaný výkon
ZB	zelené bonusy

1 ÚVOD

V současné době výrazně stoupá o technologie související s bioplynem zájem. To se projevuje nejen rostoucím počtem projektovaných a budovaných bioplynových stanic, ale i velkým zájmem zemědělců, obcí, firem, politiků a soukromých osob o vývoj v této oblasti. Je to dáno vysokou poptávkou po energiích, která je po celém světě. Pro potravinářský průmysl a gastronomii, velkokapacitní kuchyně a kantýny nabízí bioplynová technologie možnost zlikvidovat organické zbytky a odpady, kterých stále přibývá, nenákladnou cestou.

Existují tři hlavní důvody, pro využití anaerobní fermentace organických materiálů pocházejících ze zemědělství, lesnictví, komunálního hospodářství a venkovské krajiny:

- **Produkce kvalitních organických hnojiv**

Je významný pro zemědělské podniky, které zpracovávají vlastní organický materiál a vyprodukované hnojivo využívají sami. Neuvádí ho na trh a tudíž se nemusejí řídit legislativními ustanoveními zákona č. 156/1998 Sb. o hnojivech.

- **Získání doplňkového zdroje energie**

Nejvýhodnější variantou využití bioplynu je pro své potřeby. Buď přímo ohřev užitkové vody nebo lépe pomocí kogenerační jednotky vyrobit teplou užitkovou vodu a elektrickou energii, příp. chlad.

- **Zlepšení pracovního a životního prostředí**

Má stále větší vliv na motivační význam při rozhodování o výstavbě bioplynových stanic. Příčinou je stále se stupňující tlak ekologické legislativy, ať už se jedná o inovace zákona o odpadech

Energetické využití biomasy má příznivý vliv na omezení koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře.

Kromě toho je i v Evropské unii podporován rozvoj využití biomasy i jejího pěstování pro energetické účely jako součást řešení ekologických otázek energetiky, problému zemědělské politiky. V jejím rámci by do roku 2010 měla výroba elektřiny a tepla z obnovitelných zdrojů energie v České republice ve srovnání se současným stavem výrazně stoupnout. V současné době leží v České republice ladem kolem půl milionu hektaru zemědělské půdy. Pro naplnění cíle roku 2010 by postačilo využívat přibližně polovinu této výměry. Podle údajů Ministerstva zemědělství České republiky se počítá s výměrou 1,5 milionu ha půdy pro pěstování biomasy pro energetické účely. Předpokládá se, že do roku 2010 stoupne v České republice podíl elektrické energie z obnovitelných zdrojů v hrubé spotřebě na 8%, ze současné asi poloviční hodnoty. To České republice ukládá směrnice Evropské unie. Elektrická energie vyrobená z bioplynu se na tom může podílet velkou měrou.[1,2]

2 ZÍSKÁVÁNÍ A VÝROBA BIOPLYNU V SOUČASNÝCH PODMÍNKÁCH

2.1 Vznik bioplynu

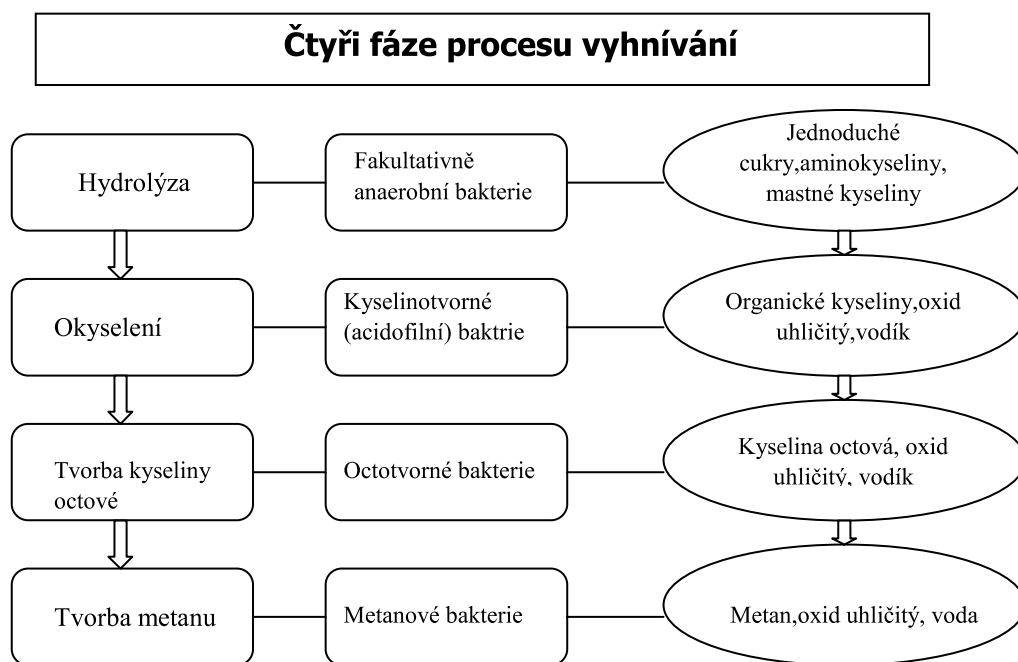
Biologický rozklad organických látek je složitý vícestupňový chemický proces, na jehož konci vzniká bioplyn, který se v ideálním případě skládá z metanu (CH_4) a oxidu uhličitého (CO_2). Průběh a kvalitu tohoto procesu ovlivňuje spousta parametrů, např. vlhkost prostředí, anaerobní prostředí, přístup světla, stálost teploty, zásaditost a kyselost materiálu (optimální hodnota $\text{pH}=7-7,8$), přísun živin, velikost kontaktní plochy, přítomnost inhibitorů (organické kyseliny, antibiotika, chemoterapeutika a desinfekční prostředky).

Biologický rozklad organických látek v anaerobních podmínkách je proces, který se nazývá metanová fermentace, metanové kvašení, anaerobní fermentace, anaerobní digesce, biogasifikace, biometanizace, biochemická konverze organické látky. Výsledkem metanové fermentace je vždy směs plynů, obsahující dva majoritní prvky (metan a oxid uhličitý) a v praxi početnou, avšak objemově nevýraznou řadu minoritních prvků. Podle jejich původu nebo místa vzniku se ustálily tyto názvy:

- 1) Zemní plyn: vznikl anaerobním rozkladem biomasy, obsahuje až 98% metanu. Je klasifikován jako neobnovitelný zdroj energie
- 2) Důlní plyn: vznikl stejně jako zemní plyn, pro svoji výbušnost ve směsi s kyslíkem bývá příčinou důlních havárií
- 3) Kalový plyn: vzniká anaerobním rozkladem organických usazenin v přírodních i umělých nádržích, uvolňuje se ze dna oceánů, moří, jezer a rybníků, které se pravidelně nečistí ale i v biologických stupních ČOV, rýžovištích, rašeliništích.
- 4) Skládkový plyn
- 5) Bioplyn: obecně lze tento název použít pro všechny výše jmenované směsi, vzniklé činností mikroorganismů. [3]

2.1.1 Proces anaerobní fermentace

Jedná se o velmi složitý biochemický proces, který se skládá z mnoha dílčích fyzikálních, chemických a biologických procesů. Proces probíhá při teplotách $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Čím je vyšší teplota, tím je vyšší produkce plynu, kratší doba vyhnívání a s tím souvisí i nižší podíl metanu v bioplynu.



Obr. 2.1 Čtyři fáze procesu vyhnívání

Hydrolýza:

Začíná v době, kdy prostředí obsahuje vzdušný kyslík a vlhkost přesahuje 50% hmotnostního podílu. V této fázi dochází k rozkladu polymerů (polysacharidy, proteiny, lipidy,...) na jednodušší organické látky (monomery)

Acidogeneze:

Tady dochází definitivně k odstranění zbytků vzdušného kyslíku. Zajistí to četné kmeny fakultativních anaerobních mikroorganismů, které jsou schopné aktivace v obou prostředích.

Acetogeneze:

Někdy je označována jako mezifáze. Acidogenní specializované kmeny bakterií přeměňují vyšší organické kyseliny na vodík, oxid uhličitý a kyselinu octovou.

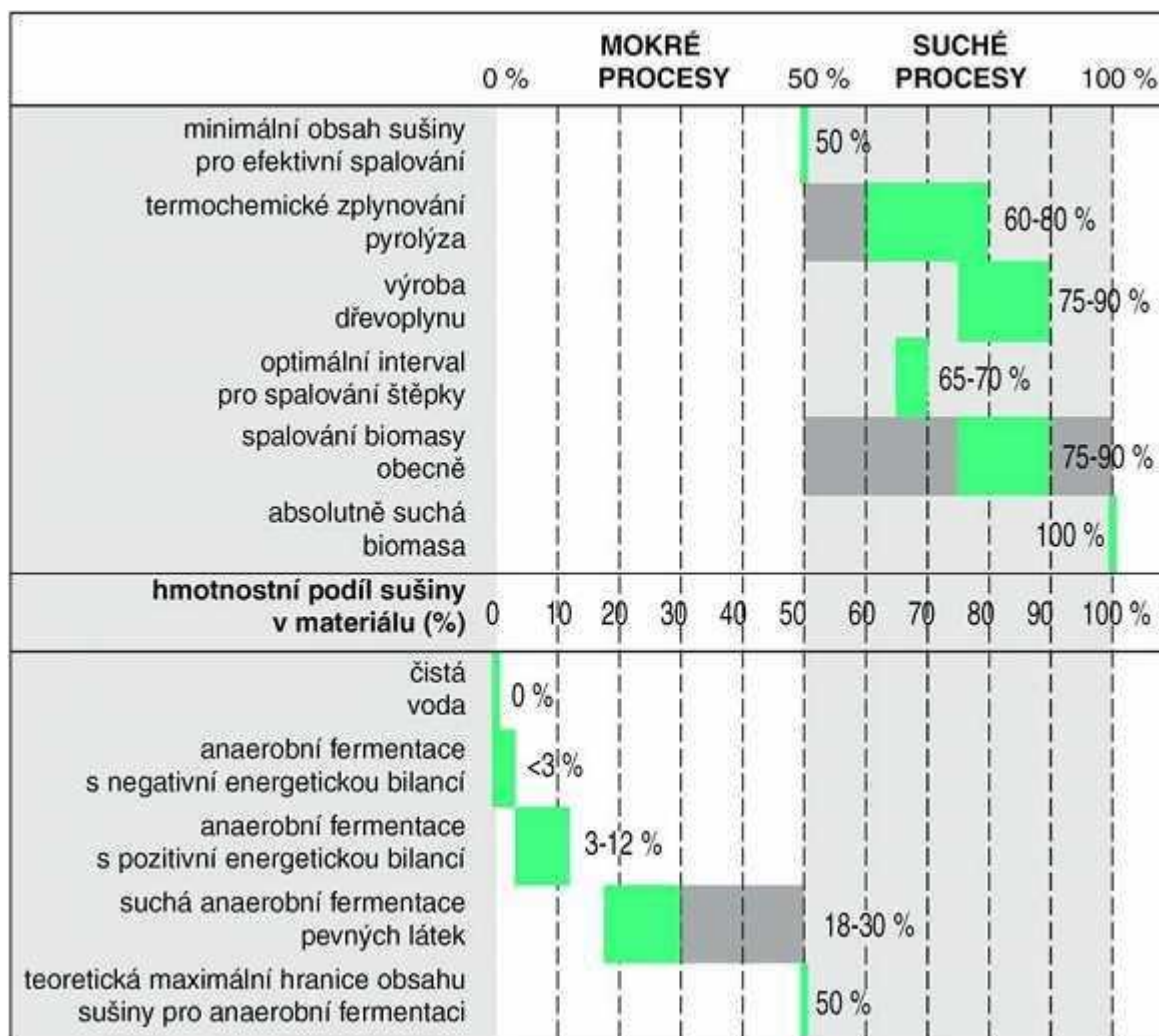
Metanogeneze:

Nyní metanogenní acetotrofní bakterie rozkládají hlavně kyselinu octovou na metan a oxid uhličitý, hydrogenotrofní bakterie produkují metan z vodíku a oxidu uhličitého. Některé kmeny bakterií provádějí obojí. Optimální rovnováha v kinetice jednotlivých fází, probíhajících s odlišnou kinetickou rychlostí, je důležitá pro stabilitu procesu anaerobní fermentace organického materiálu. Závěrečná metanogenní fáze probíhá asi 5x pomaleji než předcházející tři fáze. Proto se musejí velikost a konstrukce fermentoru a dávkování surového materiálu této rychlosti přizpůsobit.[1]

2.1.2 Materiály vhodné pro tvorbu bioplynu

Obeční název pro tyto materiály je biomasa. Rozumí se jí organická hmota biologického původu, která se zahrnuje rostlinnou biomasu (fytomasu) pěstovanou na půdě nebo vodě, živočišnou biomasu, vedlejší organické produkty a organické odpady.

Tyto materiály by měly mít nízký obsah popelovin (anorganické části). Z toho plyne vysoký podíl biologicky rozložitelných látek. Podrobněji toto popisuje obrázek 2.2



Tab.2.1 Materiály vhodné pro fermentaci [5]

Pro zpracování pevných odpadů je optimální obsah sušiny 22 – 25 % a pro tekuté odpady 8 – 14%. Horní hranici obsahu sušiny pro tekuté odpady tvoří mez čerpatelnosti materiálu. Anaerobní fermentace může probíhat v substanci s menším obsahem sušiny než 50 %.

Důležitým faktorem vhodnosti materiálu pro fermentaci je poměr jeho uhlíkatých a dusíkatých látek. Vysoká koncentrace jedné či druhé látky působí neblaze na kvalitu a složení bioplynu. Vysoký obsah dusíku (N) mají exkrementy všech hospodářských zvířat. Naopak materiály rostlinného původu mají vysoký obsah uhlíku (C). V praxi se za optimální poměr C:N považuje hodnota 30:1 a dosahuje se jí míšením různých materiálů. Následující tabulka ukazuje poměr C:N ve vybraných materiálech:[2]

<i>Druh materiálu</i>	<i>C : N</i>
<i>kůra</i>	120 : 1
<i>piliny</i>	500 : 1
<i>papír, karton</i>	350 ÷ 1000 : 1
<i>odpad z kuchyně</i>	12 ÷ 20 : 1
<i>odpad ze zeleniny</i>	13 : 1
<i>posečená tráva</i>	12 ÷ 25 : 1
<i>odpad ze zahrad</i>	20 ÷ 60 : 1
<i>listí</i>	30 ÷ 60 : 1
<i>dřevěné štěpky</i>	100 ÷ 150 : 1
<i>drůbeží trus</i>	10 : 1
<i>močůvka</i>	2 : 1
<i>kejda skotu</i>	10 : 1
<i>sláma obilná</i>	60 ÷ 100 : 1

Tab.2.2 Poměr C:N ve vybraných materiálech

2.2 Výroba bioplynu v současných podmínkách

2.2.1 Zařízení na výrobu bioplynu

2.2.1.1 Podle dávkování surového materiálu se dělí na:

- **Diskontinuální:** vhodný pro suchou fermentaci tuhých materiálů
- **Semikontinuální:** nejpoužívanější způsob plnění fermentoru při zpracování tekutého organického materiálu. Materiál se dávkuje vícekrát za den a dá se snadno automatizovat
- **Kontinuální:** používá se pro zpracování tekutých materiálů s velmi nízkým obsahem sušiny

2.2.1.2 Podle podílu vlhkosti zpracovávaného materiálu se dělí na:

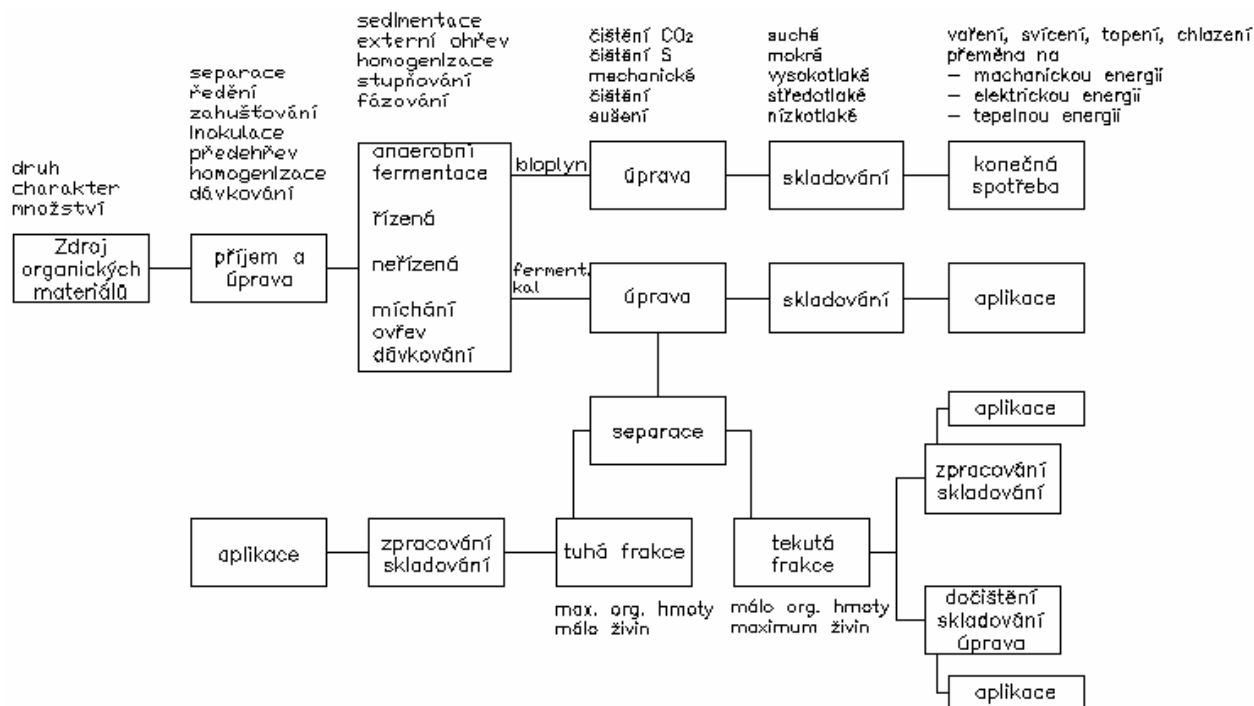
- **Pro tuhé materiály:** podíl sušiny je 18 – 30%, výjimečně až 50%
- **Pro tekuté materiály**
- **Kombinované technologie**

2.2.1.3 Obecné schéma zařízení na výrobu bioplynu

Technologické prvky strojní linky a jejich rozmístění je závislé na druhu zpracovávaného materiálu, podle uspořádání bioplynové koncovky a hlavně podle uspořádání kalové koncovky.

Bioplynová koncovka: obsahuje potrubí na dopravu bioplynu, bezpečnostní zařízení proti zpětnému zahoření plynu, dmychadlo, plynojem, regulační a kontrolní prvky, zařízení pro čištění bioplynu.

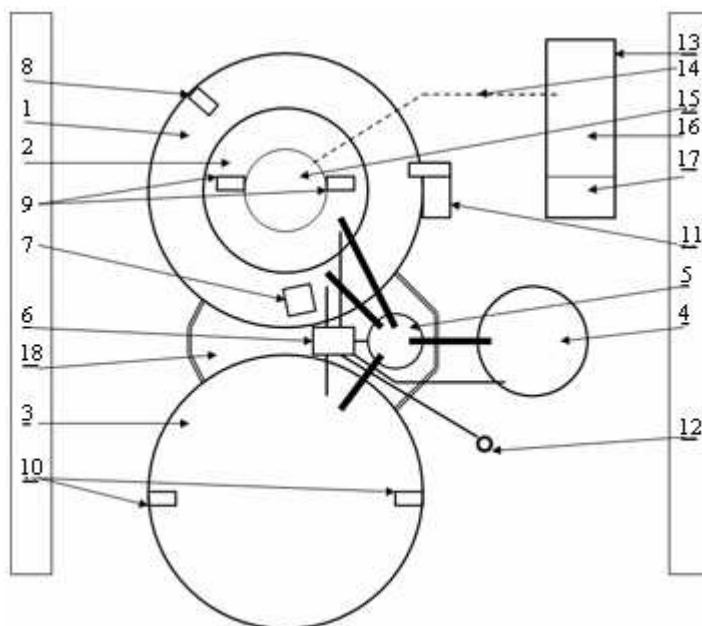
Kalová koncovka: skládá se z armatur, dopravních čerpadel, homogenizátorů, skladů a separačních zařízení (spádové síto, šnekový lis, dekantér, rotační síto, pásový lis). [2]



Obr.2.2 Schéma zařízení pro výrobu bioplynu [5]

Legenda k obrázku 2.3:

1-fermentor 1, 2- fermentor 2, 3-koncový sklad, 4-vstupní jímka, 5-centrální čerpadlo, 6-rozdělovač a potrubní rozvody, 7,8-míchadla fermentoru 1, 9-míchadlo fermentoru 2, 10-míchadla koncového skladu, 11-vstupní zařízení, 12-plnicí stanice cisteren, 13-technická budova, 14-plynové potrubí, 15-zásobník plynu, 16-kogenerační jednotka, 17-rozvaděče, řídicí pracoviště, technologický sklep

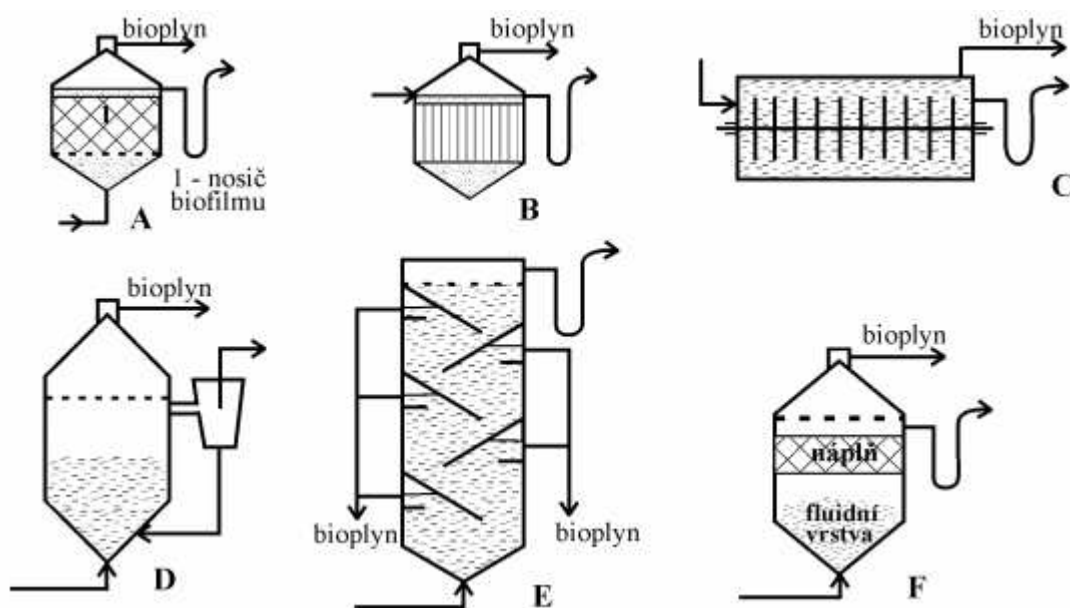


Obr.2.3 Funkční schéma bioplynové stanice 500kW [6]

2.2.1.4 Technologie mokré fermentace

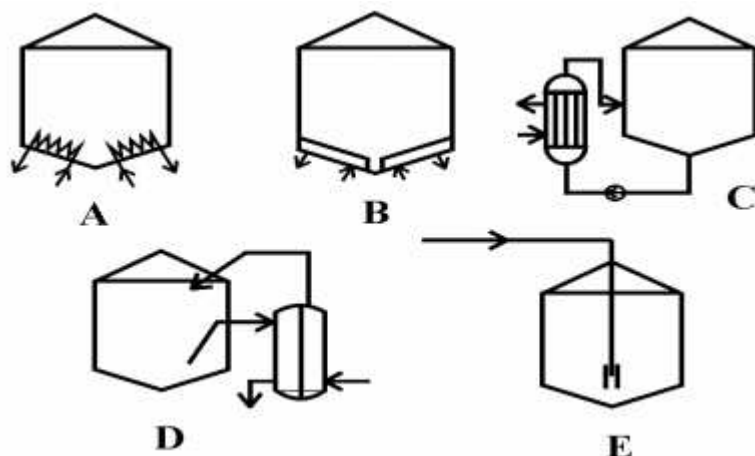
Nejdůležitější částí je **reaktor (fermentor)**. V něm se rozmnožují a působí mikrobiální kultury. Může být válcový, betonový, kovový nebo plastový se svislou nebo vodorovnou osou. Fermentor vybavený míchacím zařízením, ohřevem, homogenizačním a dávkovacím zařízením může sloužit k řízenému metanogennímu procesu.[3]

Jak už jsem zmínil výše, je široká škála technologických provedení jak samotných fermentorů, tak jejich součástí. Na následujících obrázcích jsou některé zobrazeny:



Obr. 2.4 Různé typy fermentorů [3]

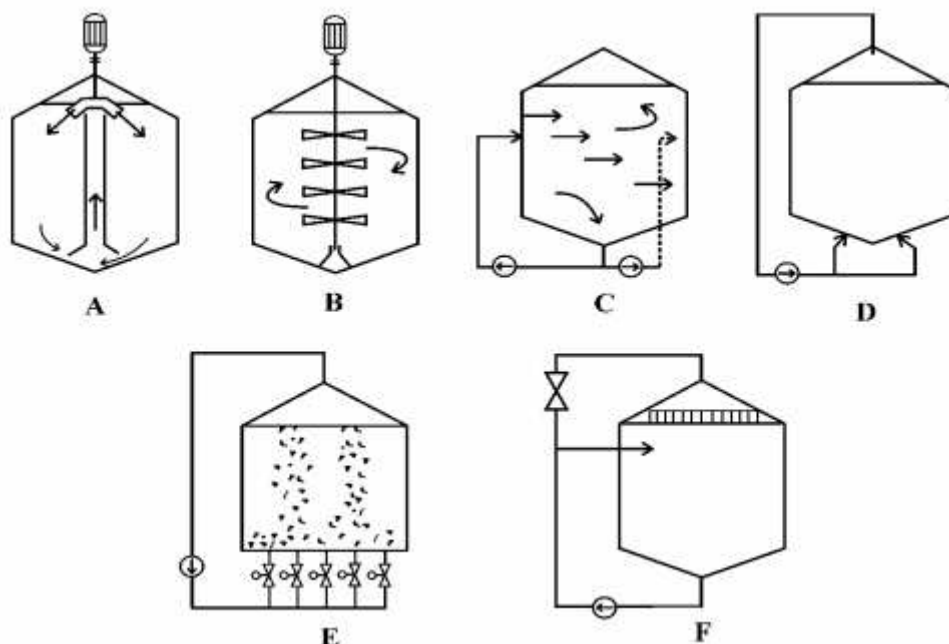
a - náplňový reaktor se vzestupným tokem s biofilmem na pevném násypu, b - výplňový reaktor se sestupným tokem s biofilmem na trubkových nosičích, c - horizontální reaktor s rotujícími disky, d – reaktor s fluidním ložem, e - se stupňovým kalovým ložem, f - hybridní reaktor



Obr. 2.5 Způsoby ohřevu fermentorů-nejčastěji se používá c pro snadné čištění a opravy [3]

a – vnitřní výměník, b – duplikovaný plášť, c- externí výměník, d – rekuperační výměník, e - přímotopná pára

Pro správnou volbu míchacího postupu je důležitá vlastní spotřeba energie tohoto procesu. Míchadla obvykle pracují v krátkých periodách, delší časové intervaly je obsah fermentoru v klidu. Nepřetržité míchání by stejně nepřineslo vyšší výnos bioplynu.

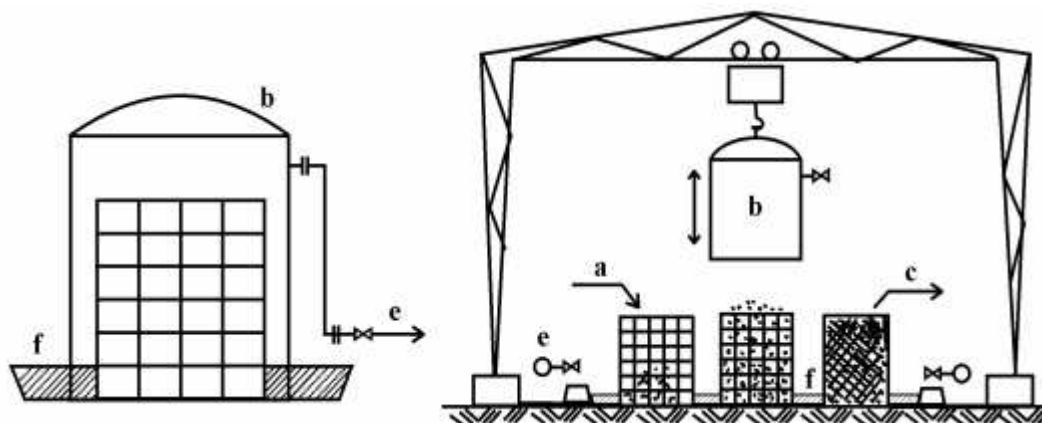


Obr. 2.6 Způsoby míchání obsahu fermentorů [3]

a – mechanické turbínové, b – mechanické lopatkové, c – hydraulické, d – pneumatické s pevnými vstupy, e – pneumatické programově řízené, f – hydraulické s odpěňovací sprchou

2.2.1.5 Technologie suché fermentace

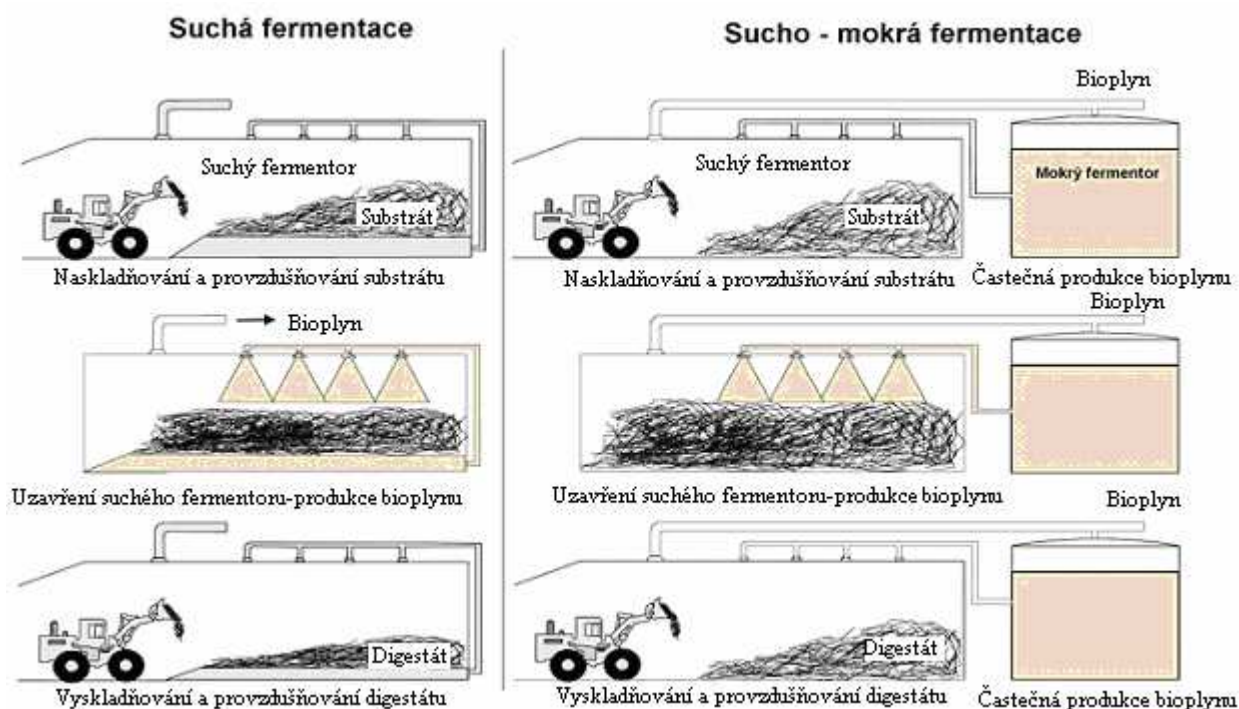
Bylo ozkoušeno mnoho provedení, ale jako jediný spolehlivý se ukázal systém „fermentační koš + krycí zvon“. Toto zařízení se skládá z velkého drátěného koše a vzduchotěsného přiklápěcího zvonu. Je speciálně vyvinutý pro zpracování stelivových materiálů. Reakce probíhá pomaleji, je náročná na prostor a čas.



Obr. 2.7 technologie suché fermentace [3]

a- plnění koše, b- překrývací zvon, c- odběr fermentačních zbytků, d- portálový jeřáb, e- sběrné plynovody, f- vodní uzávěra

V nedávné době se odborníci zajímali o tzv. „garážový systém“. Materiál se čelním nakladačem naskladní do hermeticky uzavíratelného prostoru, kde se rozkládá za vzniku bioplynu. Pro lepší výnosnost bioplynu je materiál skrácen pektolákem. Z této fáze chyběl už jenom krok ke kombinovanému sucho – mokrému systému. Ten se obvykle využívá k zpracování tuhého komunálního odpadu.[2]



Obr. 2.8 Garážový systém pro tuhé organické materiály suchý a sucho- mokrý proces [7]

2.2.1.6 Získávání bioplynu ze skládek komunálního odpadu

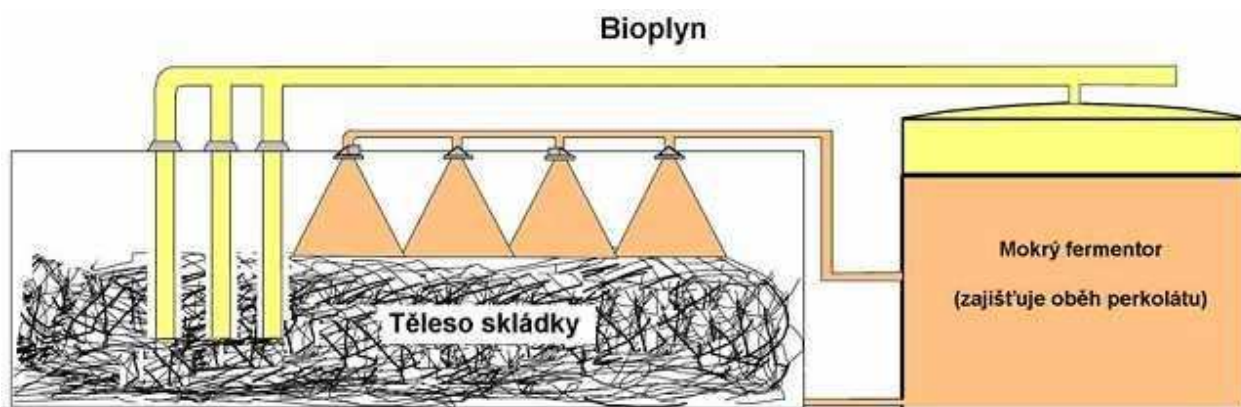
Dalším způsobem jak získat bioplyn (v tomto případě nazývaný skládkový plyn) je umístit přímo na skládku komunálního odpadu odpovídající zařízení. Je to možné, protože v tělese skládky jsou příznivé podmínky (vlhkost, teplota, anaerobní prostředí) pro průběh metanového kvašení. Nejvyšší výnosnost plynu je v období kolem jednoho roku skladování, potom už jenom exponenciálně klesá s časem. Tento systém je velmi podobný sucho-mokrému garážovému systému. Plyn se z tělesa skládky čerpá pomocí sběrných tyčí, které jsou obvykle umístěné v betonových skružích.

Jsou dva způsoby odběru plynu ze skládky:

- Pasivní: odčerpávaný plyn uniká ze skládky pouze díky vlastnímu tlaku
- Aktivní: plyn je odsáván dmychadly pod tlakem asi 50 kPa

Skládkový plyn se musí odčerpávat s mírou, jinak by hrozilo zavzdušnění a tím pádem i zánik anaerobního prostředí. Nemělo by také docházet k tvorbě výbušné směsi kyslíku s metanem. V literatuře se doporučuje přerušit čerpání skládkového plynu pokud koncentrace metanu klesne na 30 % nebo koncentrace kyslíku vzroste na 3 %. Zařízení na čerpání a přepravu má i teplotní pojistku. Vypíná se při dosažení 160°C.

V praxi se daří využít pouze 20 – 70 % produkovaného plynu.[8,9]



Obr. 2.9 Zjednodušené schéma technologie pro získávání bioplynu ze SKO [7]

3 ENERGETICKÉ VLASTNOSTI BIOPLYNU

3.1 Charakteristika bioplynu

Fyzikální a chemické vlastnosti jsou velmi úzce spjaty s jeho materiálovými a procesními parametry. Jak už bylo výše zmíněno, v ideálním případě vznikají při fermentaci pouze dva plyny, jsou to metan (CH_4) a oxid uhličitý (CO_2). V praxi bývá metan a oxid uhličitý v bioplynu doplněn ještě o řadu jiných chemických prvků a sloučenin.

CO_2 : Vysoký obsah oxidu uhličitého naznačuje, že nebyly správné podmínky pro průběh anaerobní fermentace.

O_2 : Přítomnost volného kyslíku je nežádoucí z bezpečnostního hlediska. Tvoří s metanem výbušnou směs.

H_2 : Stopy vodíku nemají negativní vliv na energetickou kvalitu bioplynu. Pouze svědčí o tom, že byla narušena rovnováha mezi acidogenní a metanogenní fází. Tento jev nastává při nadměrné zátěži reaktoru surovým materiálem nebo je z různých důvodů tlumen rozvoj metanogenních bakterií.

CO : Oxid uhelnatý může označovat lokální vznik požáru při suché fermentaci. Dochází k tomu většinou na skládkách komunálních odpadů.

H_2S : Sulfan je velmi výrazným minoritním plynem v bioplynu. Vzniká rozkladem bílkovin. Jeho obsah v bioplynu je značně proměnný. V bioplynu vyráběného z exkrementů skotu je jeho obsah zanedbatelný, naproti tomu u slepičích a prasečích je jeho obsah značný (viz *tab. 3.1*) [10,11]

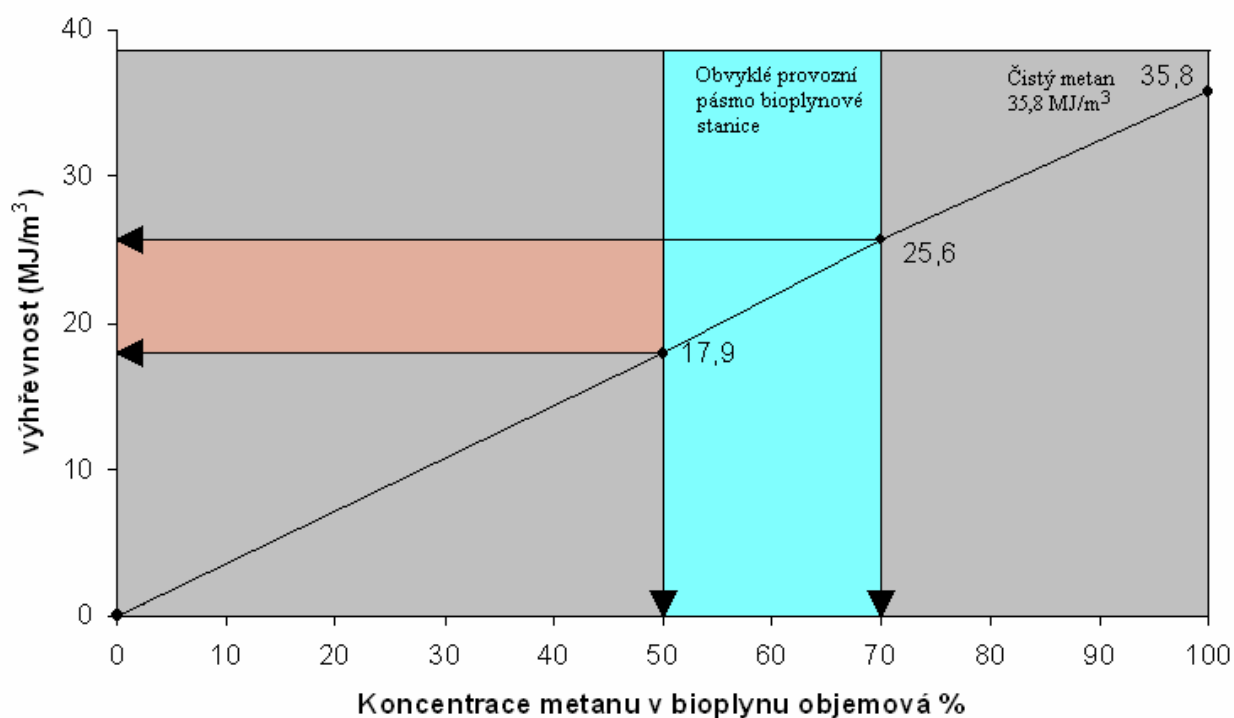
Druh zpracovávaného materiálu	Obsah H_2S [$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$]
dřevní odpad, papír celulóza, škrob	do 80
rostlinná hmota	
kaly z městských ČOV	50-300
živočišné odpady z chovu skotu	50-600
živočišné odpady z chovu prasat nebo drůbeže a potravinářské odpady	500-6000

Tab.3.1 Obsah sulfanu v bioplynu z různých odpadů [3]

3.2 Vlastnosti bioplynu a jeho složení

Mezi jeho hlavní vlastnosti patří výhřevnost, hranice zápalnosti a hustota

Výhřevnost: Určuje ji obsah metanu v bioplynu. Ostatní minoritní plyny (H_2S , H_2 , ...) nemají prakticky význam pro jeho výhřevnost resp. spalné teplo.



Obr.3.1 Grafické znázornění výhřevnosti bioplynu [11]

Hranice zápalnosti: tato hranice je pro směs metanu se vzduchem rovna 5-15% objemu. V téhle koncentraci už tvoří výbušnou směs. Zápalná teplota bioplynu je 650-750°C.

Hustota metanu a bioplynu: Metan, tudíž i bioplyn, je těžší než vzduch a vytváří v reaktorových nádobách, v prohloubeninách na skládkách a podobně smrtelně nebezpečné prostředí pro lidi i zvířata.

1 m³ bioplynu obsahuje stejné množství energie jako 0,6 až 0,7 l topného oleje

3.2.1 Základní technické údaje a vlastnosti metanu

Teplota vznícení	537°C
Teplotní třída	T1
Mez výbušnosti	4,4-17% objemových 29-113mg/l
Skupina výbušnosti	II A
Mezní experim. bezpečná spára	1,14 mm
Relativní hustota (ve vztahu ke vzduchu)	0,55
Objemová výhřevnost (ref. teplota spal. 15 °C ref. podmínky měření objemu 15 °C, 101,325kPa)	34,016 MJ/m ³

Tab.3.2 Základní technické údaje o bioplynu [12]

Průměr molekuly	$4 \cdot 10^{-10}$ m
Molární hmotnost	16,043 g/mol
Relativní molekulová hmotnost	16,043
Realný molární objem	22,3519 m ³ /kmol
Hustota plynu (-161,52 °C; 101,325 kPa)	1,819 kg/m ³
Hustota plynu (15 °C; 101,325kPa)	0,7049 kg/m ³
Kritický tlak	45,96 bar
Kritická teplota	190,53 K
Kritický měrný objem	0,0061 m ³ /kg
Trojný bod - teplota	90,68 K
- tlak	0,117 bar
- skupenské teplo tání	58,720 kJ/kg
Bod varu	- 162,52 °C

Skupenské teplo varu (-161,52 °C; 101,325 kPa)	510,20 kJ/kg
Množství plynu z 1 m ³ kapaliny (15°C, 1 bar)	630 m ³
Výhřevnost (15 °C, 1041,325 kPa)	
objemová	34,016 MJ/m ³
molární	802,69 kJ/mol
Spalné teplo (15 °C, 1041,325 kPa)	
objemové	37,782 MJ/m ³
molární	891,56 kJ/mol
Měrná tepelná kapacita c_p ideálního plynu	2,195 kJ*kg ⁻¹ *K ⁻¹
Měrná tepelná kapacita c_v ideálního plynu	1,686 kJ*kg ⁻¹ *K ⁻¹
Poměr $c_p : c_v$ ideálního plynu	1,301
Mez výbušnosti směsi s kyslíkem	555 °C
Minimální zápalná energie (vzduch +8,5 % CH ⁴)	0,28mJ
Koncentrace s nejvyšším nebezpečím vznícení	8,2 % objem
Stechiometrické spalování směsi s kyslíkem	
teplota plamene	2810 °C
maximální spalovací rychlost	3,9 m/s
Stechiometrické spalování směsi se vzduchem	
teplota plamene	1957 °C
maximální spalovací rychlost	0,4 m/s
Wobbeho číslo ideálního plynu (0 °C; 110,325 kPa)	53,3781 MJ/m ³
Wobbeho číslo reálného plynu (0 °C; 110,325 kPa)	53,4568 MJ/m ³

Tab.3.3 Vybrané fyzikální vlastnosti bioplynu [12]

4 ZPRACOVÁNÍ BIOPLYNU PRO ENERGETICKÉ ÚČELY

4.1 Plynojemy

K uskladnění bioplynu vyrobeného v bioplynové stanici se používají plynojemy. Pokud je bioplyn využíván pro výrobu tepla, bývá zásobník dimenzován na skladování plynu vyrobeného za jeden den. Při využití pro výrobu elektrického proudu postačí podstatně menší nádrže (20-50% denní produkce plynu). Žádná bioplynová stanice nemůže pracovat bez plynojemu, protože během dne dochází ke kolísání produkce plynu v závislosti na míchání a přísunu substrátu.[1,2]

Dělíme je dvojím způsobem:

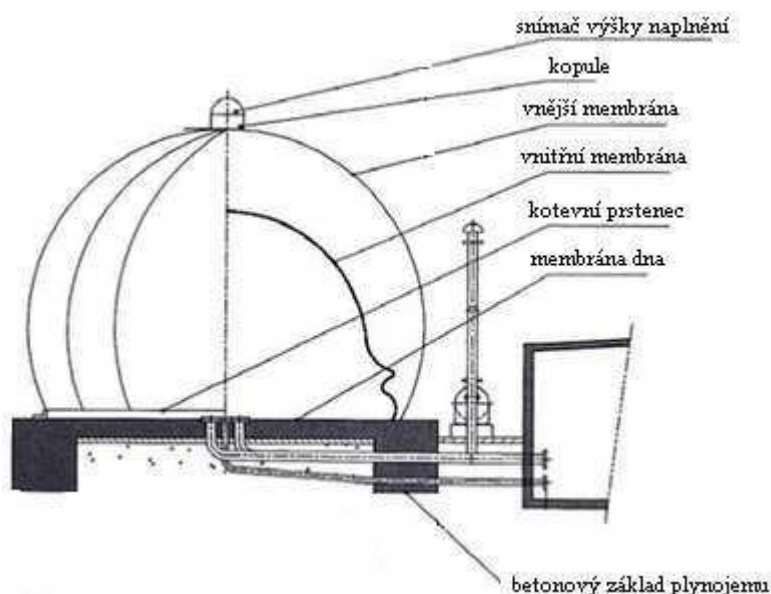
1. Podle konstrukčního materiálu:

kovové
plastové
gumotextilní
kombinované

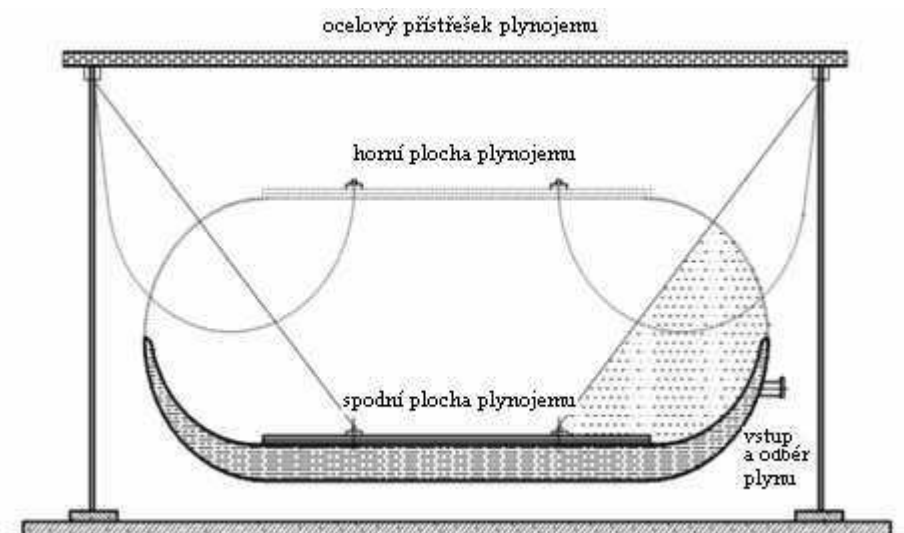
2. Podle provozního tlaku:

Nízkotlaké (<50 kPa)
Středotlaké (1-2 MPa)
Vysokotlaké (15- 35 MPa)

U současných bioplynových stanic se používají převážně plynojemy kovové válcové s horizontální osou, mokré plovoucí plastové plynojemy, gumotextilní dvouplášťové plynojemy a suché kovové plynojemy s gumotextilní membránou.



Obr.4.1 Membránový plynojem SATTLER [13]



Obr.4.2 Vakový plynojem SATTLER [13]

4.2 Čištění bioplynu

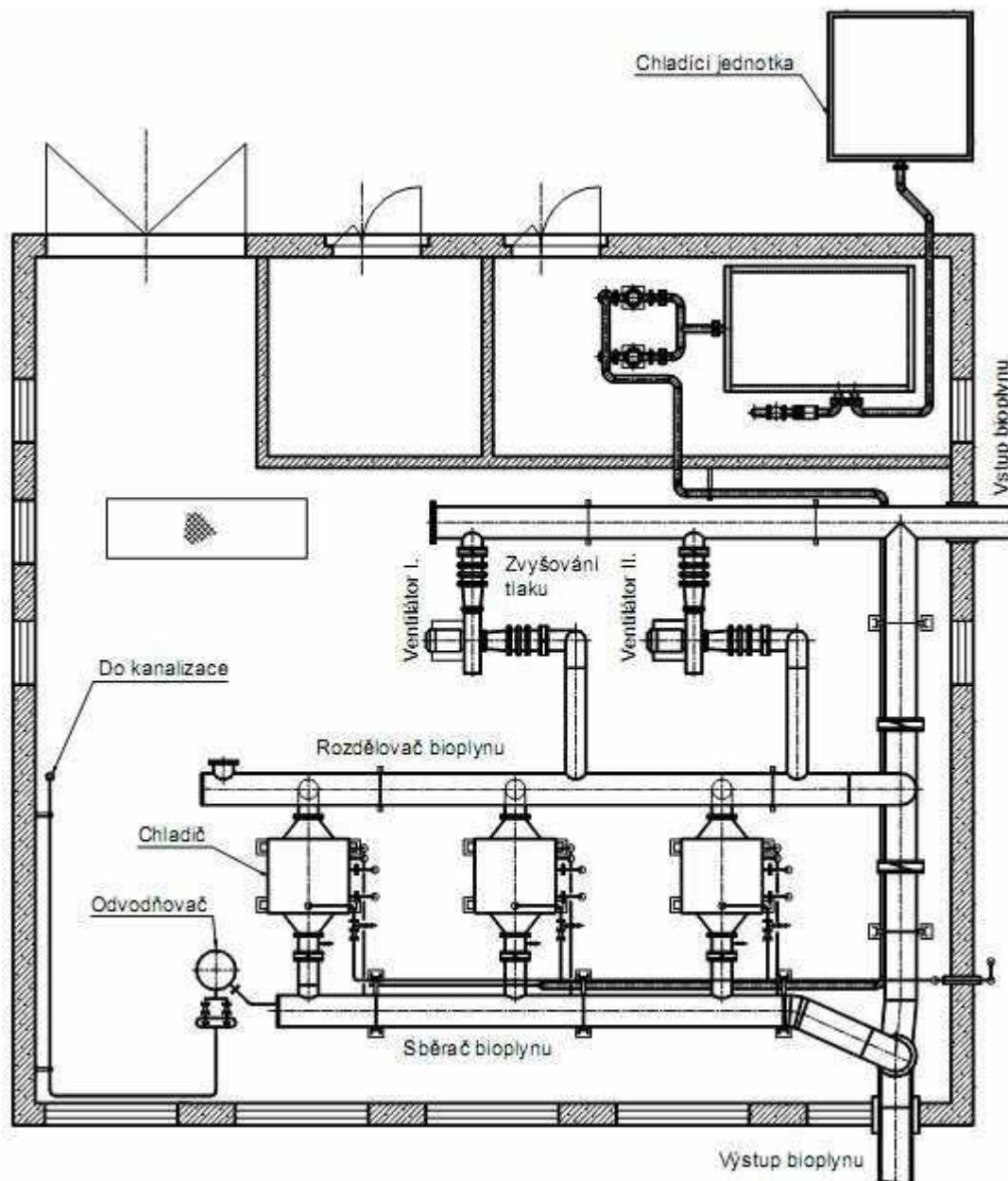
Bioplyn čistíme kvůli:

- Zamezení zamrzání kondenzátu v potrubí
- Zamezení tvorby „kapalných zátek“ v potrubí
- Maximálně eliminovat korozivní účinky surového bioplynu
- Snížení toxicity bioplynu a zplodin jeho spalování
- Zvýšení energetického obsahu bioplynu na úroveň zemního plynu
- Zvýšení koncentrace metanu v zásobnících mobilních energetických prostředků

Tyto úkony se provádí sušením, odsířením, kalorickým zhodnocením, stlačením, zkapalněním atd.[2]

4.2.1 Sušení bioplynu

Sušení bioplynu se provádí jeho zchlazením pod rosný bod vodní páry a opětovným ohřevem. Při ochlazení se z plynu vysráží voda a následným ohřevem se sníží relativní vlhkost. Chlazení a ohřev se provádí ve speciálních výměnících.

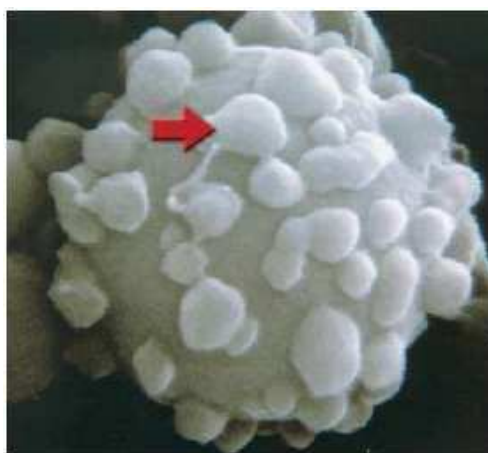


Obr.4.3 Možné zapojení zařízení pro sušení bioplynu [13]

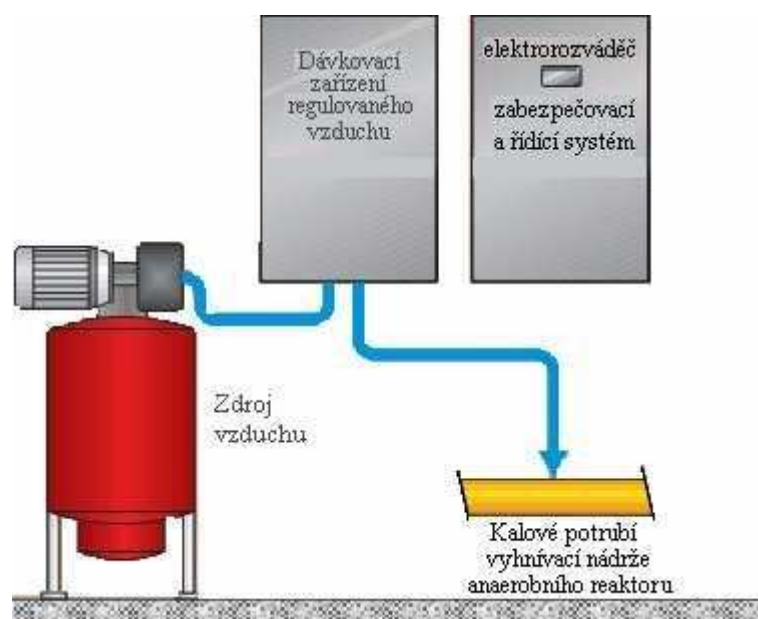
4.2.2 Odsíření bioplynu

Odsíření bývá nejčastěji prováděno profukováním granulovaných materiálů na bázi oxidů železa nebo v jednodušším případě přes vrstvu železných třísek, které vznikají při obrábění materiálů.

Další možností je oxidace H_2S sirnými bakteriemi (*Thiobacillus*) ve vodním prostředí na elementární síru. Do nádrže, ve které probíhá fermentace, se přivádí regulované množství vzduchu tak, aby se přidaný kyslík spotřeboval na oxidaci H_2S a bioplyn neobsahoval volný kyslík. Elementární síra se ze systému odstraňuje spolu s vyhnílym kalem, případně odpadní vodou.



Obr.4.4 Bakterie *Thiobacillus* s granulemi síry (na síru poukazuje červená šipka) [13]



Obr.4.5 Odsiřovací zařízení DESULPHAIR U03; odsiřuje s účinností okolo 80% [13]

5 MOŽNOSTI VYUŽITÍ BIOPLYNU V ENERGETICE

Pro energetické účely se dá bioplyn využít mnoha způsoby, např. k:

- Přímému spalování (vaření, svícení, chlazení, topení, svícení, ohřev užitkové vody, ...)
- Výrobě elektrické energie a ohřevu teplotnosného média (kogenerace)
- Výrobě elektrické energie, ohřevu teplotnosného média a výrobě chladu (trigenerace)
- Pohonu spalovacích motorů nebo turbín pro získávání mechanické energie

V České republice se nejčastěji setkáme s využitím bioplynu jako paliva do kotlů nebo pohonu kogeneračních jednotek.

Využití bioplynu	Současný stav	Nutnost čištění		
		H ₂ S	H ₂ O	CO ₂
Kogenerace, spalovací motor (el. energie a teplo)	hlavní využití	ano	ne	ne
Výroba tepla (spalování v plynových kotlích)	neekonomické	ano	ne	ne
Kogenerace, palivové články (el. en. a teplo)	výzkum a vývoj	ano	ano	ano
Motorové palivo, pohonná látka	výzkum a vývoj	ano	ano	ano
Dodávka do rozvodné sítě zemního plynu	výzkum a vývoj	ano	ano	ano

Tab. 5.1 Možnosti energetického využití bioplynu v českých podmínkách [2]

5.1 Spalování v kotlích

Při spalování bioplynu v kotlích je největším problémem jeho kvalita, stálost energetických parametrů a vznik nežádoucích chemických reakcí uvnitř kotle. Dalo by se omezit velmi důkladným čištěním bioplynu, ale to celou technologii znevýhodňuje jak ekonomicky, tak z hlediska náročnosti obsluhy.

Z předchozího odstavce jasně vyplývá, že spalování bioplynu za účelem výroby pouze tepla není příliš výhodné.[5]

5.2 Kogenerace

Kogenerací je myšlena současná výroba elektrické energie a tepla (ohřev teplotosného média). Hlavní předností této technologie je velmi vysoká účinnost přeměny energie bioplynu na elektrickou energii a teplo dosahující 80-90% a znatelná úspora paliva. To má výrazný vliv na ekologii a ekonomiku výroby. Zhruba 60% energie padne na výrobu tepla a 30% na výrobu elektřiny. Zbytek jsou tepelné ztráty.[5]

5.2.1 Kogenerační jednotka

Jedná se o zařízení sloužící k souběžné výrobě elektřiny a tepla. Její hlavní části jsou plynový motor (turbína) a generátor elektrického proudu.

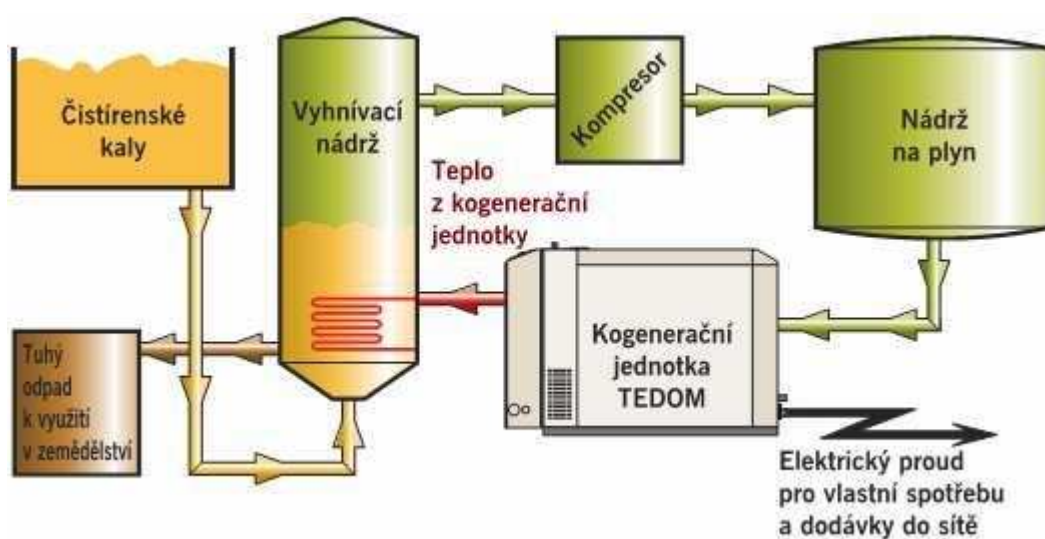
Kogenerační jednotky se vyrábějí v různých provedeních. Například jedna z českých firem TEDOM s.r.o. zabývající se kogenerací uvádí ve svých materiálech tyto možnosti provedení:

- Kapotové : instalace do budov, vyznačuje se snadnou instalací a nízkou hlučností
- Kontejnerové: venkovní instalace, je dobře chráněná proti povětrnostním vlivům
- Modulové: používá se u kogeneračních zařízení vyšších výkonů, jedná se o oddělení tepelného modulu od modulu motorgenerátoru. Dá se dobře přizpůsobit individuálním potřebám zákazníka.
- Zdrojové soustrojí

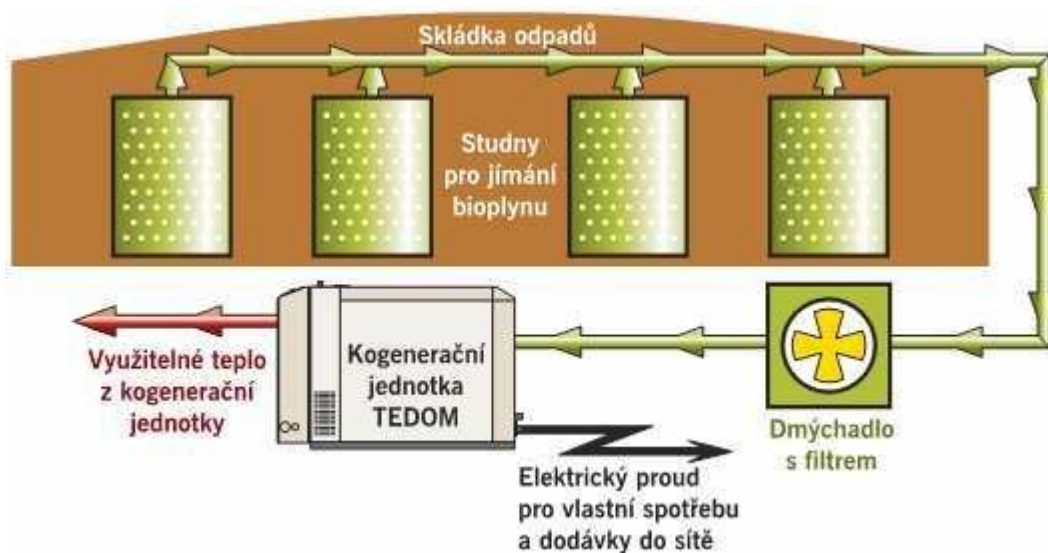


Obr.5.1 Kapotové a kontejnerové provedení od firmy TEDOM s.r.o. [14]

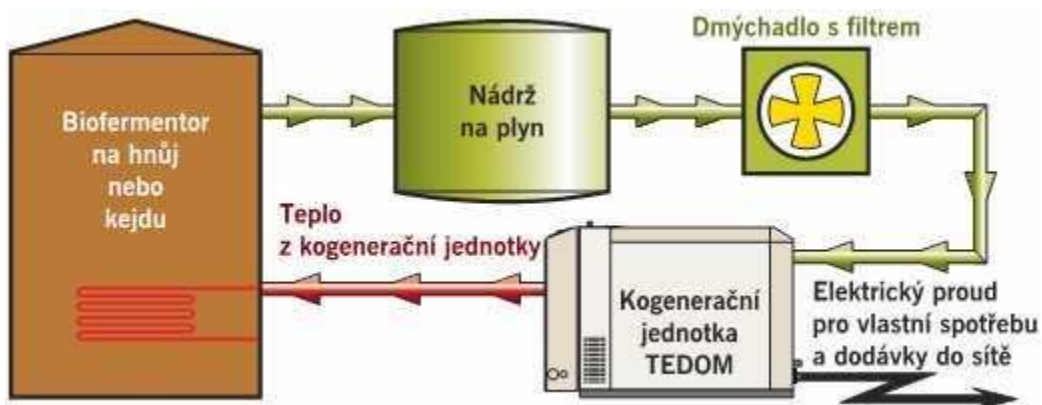
Elektrina vyrobená kogenerační jednotkou se dá využít jak k vlastní spotřebě objektu, v němž je instalovaná, tak k dodávce do sítě. Teplo jí vyprodukované se využívá k vytápění budov (v podstatě jakákoli budova s celoročními nároky na odběr elektrické energie), k ohřevu užitkové vody (bazény, plovárny, lázně). Kogenerační jednotky taky mohou sloužit jako záložní zdroje elektrické energie na místech, kde je nepřetržitě potřeba (zdravotnická zařízení, letiště, různá řídicí stanoviště atd.).[14]



Obr. 5.1 Schematické zapojení kogenerační jednotky v ČOV [14]



Obr. 5.3 Schematické zapojení kogenerační jednotky v SKO [14]



Obr. 5.4 Schematické zapojení kogenerační jednotky v zemědělském zařízení [14]

Každá kogenerační jednotka má své charakteristické vlastnosti jako jsou maximální elektrický a tepelný výkon, elektrickou a tepelnou účinnost, celková účinnost (využití paliva) a typ paliva

Základní technické parametry kogeneračních jednotek TEDOM

Bioplyn	Elektrický výkon (kW)	Tepelný výkon (kW)	Spotřeba plynu* (Nm ³ /h)
Micro T25	23	41,5	11,6
Centro T80	81	122	37,2
Centro T100	100	143	44,0
Centro T120	125	163	52,5
Centro T150	150	192	61,8
Centro T160	160	197	64,6
Centro T180	175	223	71,5
Centro T300	300	370	121,4
Quanto D580	537	622	206,3
Quanto D770	716	823	173,3
Quanto D1200	1021	1198	389,0
Quanto C770	785	1118	374,0
Quanto C1100	1100	1187	459,0

*Spotřeba je uvedena pro bioplyn s obsahem metanu 65% při normálních podmínkách (0°C, 101,325 kPa).

Tab. 5.2 Základní technické parametry kogeneračních jednotek TEDOM [14]



Obr. 5.5 Porovnání účinnosti oddělené a kogenerační výroby elektrické energie a tepla [14]

Praktický příklad využití bioplynové technologie v praxi

ČOV Žďár nad Sázavou:

Místní čistírna odpadních vod už má instalované bioplynové hospodářství deset let. Je konstruována pro 34 500 ekvivalentních obyvatel (EO). Loni dosáhl průtok kalů čistírnou hodnoty 2 852 852 m³/rok, což v přepočtu na znečištění činí 31 521 EO.

Je zde využita kontinuální technologie výroby bioplynu. To znamená, že se zde zpracovává materiál s velmi nízkým obsahem sušiny. Vyhníly kal putuje z vyhnívací nádrže do usazovací nádrže. Z ní, pokud není kal dost hustý, do kalových polí, kde se ještě více zahušťuje, a poté na odstředivku, kde se oddělí od zbytku přebytečné vody. Takto zpracovaný kal je možné použít jako materiál do kompostů nebo přímo jako hnojivo.

Cesta bioplynu vede z vyhnívací nádrže do plynojemu s vodním uzávěrem. V něm uskladněný bioplyn se zbavuje přebytečné vlhkosti (suší). Takto upravený se spotřebovává v kogenerační jednotce s instalovaným výkonem 75kW . Její produkce, jak vyplývá z tabulky 5.3, stačí na pokrytí asi jedné třetiny energie spotřebované celým komplexem čistírny.

rok	celková výroba bioplynu	vyrobená el. en.	celkový odběr el. en	nákupní cena	zelený bonus
	m ³	kWh	kWh	Kč/kWh	Kč/kWh
2005	212 313	353 700	612 415	1,6	-
2006	225 226	379 354	615 014	1,855	1,66
2007	211 692	335 055	632 628	2,092	1,55
2008	210 581	331 536	643 386	2,296	1,46

Tab. 5.3 ČOV Žďár nad Sázavou-výroba plynu a energie, celkový odběr a ceny el. en. [15]

6 NÁVRH ENERGETICKÉHO SYSTÉMU NA BIOPLYN

Rozhodl jsem se zpracovat návrh energetického systému na bioplyn pro zařízení k chovu mléčného skotu. V tomto zařízení je 160 dojnic a pracuje v kejrovém provozu (zpracovává se pouze kejda + silážní kukuřice). Bude se tedy jednat o systém mokré fermentace.

Použijeme průtokové zařízení. To nám pro takto malou farmu bude stačit. V tomto způsobu jde o to, že je vyhnívací nádrž stále naplněna. Substrát je do ní napouštěn jednou nebo dvakrát za den z menší přípravné nádrže. Stejně množství vyhnílého substrátu odchází přepadem do skladovací (usazovací nádrže). Výhodou je rovnoměrné množství vyrobeného plynu, nízké tepelné ztráty a možnost plné automatizace.

Plyn vznikající ve fermentoru je většinou natolik vlhký, že je potřeba ho před zužitkováním vysušit. Máme dvě možnosti. Buď pořídit drahé sušičky a čističky plynu, nebo vést plynovodní potrubí dostatečně chladnou zónou, kde vlhkost plynu bude kondenzovat. Vysrážená voda je odváděna odlučovačem kondenzátu. Potrubí musí být ve spádu a odlučovač je umístěn v nejhlubším místě. [1]

Bioplyn bude spalován v kogenerační jednotce za účelem získávání elektrické a tepelné energie.

6.1 Hierarchie právních a technických norem a předpisů v ČR[2]

1) Právní a technické normy EU

- nařízení EU č. 1774/2002 upravující podmínky nakládání s produkty živočišného původu, které nevstupují do potravního řetězce
- směrnice EU č. 2001/77/ES o podpoře elektřiny vyrobené z OZE na vnitřním trhu s elektřinou
- směrnice EU č. 2008/30/ES o podpoře využití biopaliv a jiných obnovitelných paliv v dopravě

2) Základní zákony pro oblast využití biomasy

- zákon č. 22/1997 Sb. v posledním znění o technických požadavcích na výrobky uváděné na trh
- zákon č. 185/2001 Sb. v posledním znění o odpadech
- zákon 180/2005 Sb. o podpoře výroby el. energie z obnovitelných zdrojů energie.

3) Nařízení vlády ČR a prováděcí vyhlášky k základním zákonům

- nejdůležitější je vyhláška MŽP č. 482/2005 Sb. o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy, při podpoře výroby elektřiny z biomasy ve znění vyhlášky č. 5/2007 Sb.
- zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře využívání OZE; cenová rozhodnutí ERÚ

- 4) Složkové zákony a související předpisy
- 5) Vyhlášky a předpisy samosprávných orgánů
- 6) České technické normy (ČSN) a jiné předpisy
- 7) Podnikové normy a předpisy

6.2 Dimenzování bioplynové stanice

Jako první věc je potřeba určit přibližnou velikost jednotlivých prvků bioplynové stanice.

6.2.1 Získávání substrátu a výpočet objemu fermentoru

Základní parametrem pro dimenzování bioplynové stanice je množství hnoje, respektive kejdy a množství kofermentátů, které má být zpracováváno. Z tabulky 6.1 jsme schopni určit odhad předpokládaného množství kejdy.

Druh zvířete	m ³ kejdy na jedno zvíře				m ³ kejdy na 1 dobytčí jednotku			
	1 zvíře	den	měsíc	rok	1 DJ	den	Měsíc	rok
Dojnice	1,2 GV	0,055	1,65	19,8	0,83 Tiere	0,046	0,38	16,5
Krmný býk	0,7 GV	0,023	0,69	8,3	1,43 Tiere	0,033	0,99	11,8
Mladý dobytek	0,6 GV	0,025	0,75	9,0	1,67 Tiere	0,042	1,25	15,0
Chovné tele	0,2 GV	0,008	0,24	2,9	5,00 Tiere	0,040	1,20	14,4
Krmné tele	0,2 GV	0,004	0,12	1,4	5,00 Tiere	0,020	0,60	7,2

Tab. 6.1 Objem směsi tuhých a kapalných exkrementů při 10% sušiny u různých druhů skotu v poměru na jedno zvíře, nebo na dobytčí jednotku[1]

Denní produkce kejdy = počet zvířat*denní produkce odpadů = 160*0,055 m³ = **8,8 m³/den**

Objem fermentoru = Denní produkce kejdy*střední doba kontaktu = 8,8 * 20 až 30 dní =
= **176 až 264m³**

- jako fermentor bude sloužit válcová nádrž (poloměr 4m a výška 6m)

6.2.2 Zjištění obsahu sušiny a organické sušiny

Obsah sušiny a organické sušiny ve fermentovaném materiálu je důležitý pro odhad množství vyráběného bioplynu.

Druh zvířat	Hovězí dobytek
Substrát	Kejda
sušina [%]	7 až 17
organická sušina v sušině [%]	44 až 86
výnos plynu m ³ /kg org. sušiny	0,176 až 0,52

Tab. 6.2 Obsah sušiny a organické sušiny a výnos plynu v kejdě hovězího dobytka[1]

Pro svůj případ si stanovím obsah sušiny 10% (této hodnoty dosáhneme přidáním silážní kukuřice ke kejdě) a obsah organické sušiny v sušině 85%. Z toho plyne, že 1 m³ kejdy obsahuje 85kg sušiny.

$$\begin{aligned}
 \text{Množství organické sušiny} &= \text{obsah organické sušiny} * \text{množství kejdy} = \\
 &= 85 \text{ kg/ m}^3 * 8,8 \text{ m}^3/\text{den} = \underline{\underline{748 \text{ kg/ den}}}
 \end{aligned}$$

6.2.3 Výpočet denní produkce plynu

Pokud znám denní množství organické sušiny a specifický výnos plynu, který určím z tabulky 6.2, spočítám denní produkci plynu. Tento výpočet by byl přesný pouze v tom případě, že by produkce plynu byla plynulá a rovnoměrná.

$$\begin{aligned}
 \text{Denní množství plynu} &= \text{denní množství organické sušiny} * \text{specifický výnos plynu} = \\
 &= 748 \text{ kg/ den} * 0,348 \text{ m}^3/\text{kg} = \underline{\underline{260 \text{ m}^3/\text{den}}}
 \end{aligned}$$

6.2.4 Objem jímky na kejdu

Celková kapacita jímky by měla vystačit na 180 až 200 dní, z toho plyne, že pro naši denní produkci 8,8 m³ kejdy je potřeba skladovací prostor minimálně **1584 až 1760 m³**.

6.2.5 Objem plynojemů

Objem plynojemů by se měl rovnat aspoň množství plynu vyrobeného za 1 den. V našem případě by to bylo **260 m³**.

6.2.6 Stanovení výkonu blokové teplárny

Agregát bývá s výrobou plynu sladěný tak, že pracuje téměř 24 hodin denně. Z toho plyne že není potřeba plynojem o velkém objemu.

$$\begin{aligned} \text{Denní výroba proudu} &= \text{denní výroba plynu} \cdot \text{činitel využití bioplynu k výrobě proudu} = \\ &= 260 \text{ m}^3/\text{den} \cdot 2,0 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{m}^3 \text{ bioplynu} = \underline{\underline{520 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{den}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Elektrický výkon blokové teplárny} &= \text{denní výroba proudu} / 24 \text{ hod.} = \\ &= 520 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{den} : 24 \text{ hod.}/\text{den} = \underline{\underline{21,7 \text{ kW}}} \end{aligned}$$

Pro naši bioplynovou stanici jsem zvolil kogenerační jednotku od české firmy TEDOM. Jedná se o typ Micro T25.

6.3 Projektování technologie

6.3.1 Čerpací zařízení

Kejda se bude přepravovat ze stájí do přípravné nádrže, kde se smíchá s kukuřicí. Poté do fermentoru a z něj do koncové skladovací nádrže. Měly by tudíž stačit 3 čerpadla o takovém výkonu, aby byla schopná zvládat čerpání kejdy a substrátu.[1]

6.3.2 Míchací zařízení

Má velký vliv na plynulost výroby bioplynu. Míchat se musí ve fermentoru i ve skladovací nádrži. Použijeme mechanické lopatkové zařízení.

6.3.3 Tepelná izolace fermentoru

Jejím přínosem je snížení tepelných ztrát. Musíme zvážit poměr úspory tepelné energie a pořizovací ceny zateplení. Požadujeme-li teplotu ve vyhřívacím prostoru 35 až 40 °C, měla by tloušťka vrstvy izolace být mezi 10 a 12 cm.[1] V našem případě (nádrž o objemu 300 m³), když bychom uvažovali izolaci po obvodu 10 cm stejně jako na dně, by celkové materiálové náklady na izolaci činily při ceně 145 Kč/m² cca 40000Kč.

6.3.4 Potřeba energie vracející se do procesu

Množství tepla potřebné k vytápění bioplynové stanice je součtem tepla potřebného pro ohřev čerstvé kejdy a tepla potřebného k vyrovnání přenosových tepelných ztrát fermentoru. Čím je větší objem fermentoru, tím se snižuje specifický otopný výkon pro vyrovnání tepelné ztráty u fermentoru, tudíž v porovnání s energií, co bude potřeba k ohřevu substrátu, můžeme energii pro vyrovnání tepelné ztráty zanedbat.

Objem fermentoru	264m ³
Produkce kejdy	8,8 m ³ /den
Produkce sušiny	748 kg/ den
Denní výtěžek bioplynu	260 m ³ /den

Ohřev substrátu:

Specifický otopný výkon pro vyrovnání tepelné ztráty v substrátu je pro 10% obsahu sušiny roven 445 Wh/kg.

$$Q_1 = 748 \text{ kg sušiny} \cdot 0,445 \text{ kWh/kg} = \underline{333 \text{ kWh/den}}$$

Vyrovnání tepelné ztráty:

Specifický otopný výkon pro vyrovnání tepelné ztráty u fermentoru je pro fermentor o objemu 300m³ roven 0,299 kW/m³.

$$Q_2 = 0,299 \text{ kW/m}^3 \cdot 300 \text{ m}^3 = \underline{90 \text{ kWh/den}}$$

Celková potřeba energie pro proces:

$$Q_P = Q_1 + Q_2 = \underline{423 \text{ kWh/den}}$$

Celkový obsah energie v plynu:

$$E = \text{Denní výtěžek bioplynu} \cdot \text{výhřevnost} = 260 \text{ m}^3 / \text{den} \cdot 6000 \text{ kWh} / \text{m}^3 = \underline{1560 \text{ kWh}}$$

Při tepelné účinnosti blokové teplárny 55% lze pak očekávat 858kWh_{therm} využitelného tepla. Pro proces je tedy za potřebí přibližně 49 % využitelného tepla (423 z 858kWh/den).[1]

7 PROVOZNÍ ANALÝZA NAVRŽENÉHO ZAŘÍZENÍ

Základem každé hospodářské rozvahy je srovnání nákladů a výnosů daného zařízení. Pokud bychom došli k tomu, že roční náklady na provoz bioplynové stanice jsou větší než zisky z výroby proudu a tepla a zelených bonusů, pak není ekonomicky výhodné tuto bioplynovou stanici budovat. [1]

7.1 Náklady na výrobu bioplynu

Počítají se z odpisů investičních nákladů, nákladů na opravy a údržbu, běžných provozních nákladů a ještě k tomu pracovní náklady na obsluhu stanice.

Podle [1] jsem zjistil, že směrné hodnoty pro investice při stavbě zemědělské bioplynové stanice jsou:

Základní hodnota	Specifické investice
Investice na dobytčí jednotku	750 až 1750 €/DJ
Investice na m ³ fermentoru	250 až 400 €/m ³
Investice na kW P _i	2500 až 4000 €/kW
Investice na vyrobenou kW elektrického proudu	0,40 až 0,60 €/kWh
Kombinovaný výpočet	200 až 300 €/m ³ + 450 €/kW
Investice na m ³ fermentoru + investice na kW P _i	

Tab. 7.1 Směrné hodnoty investičních nákladů pro zemědělské bioplynové stanice[1]

Pro naši bioplynovou stanici:

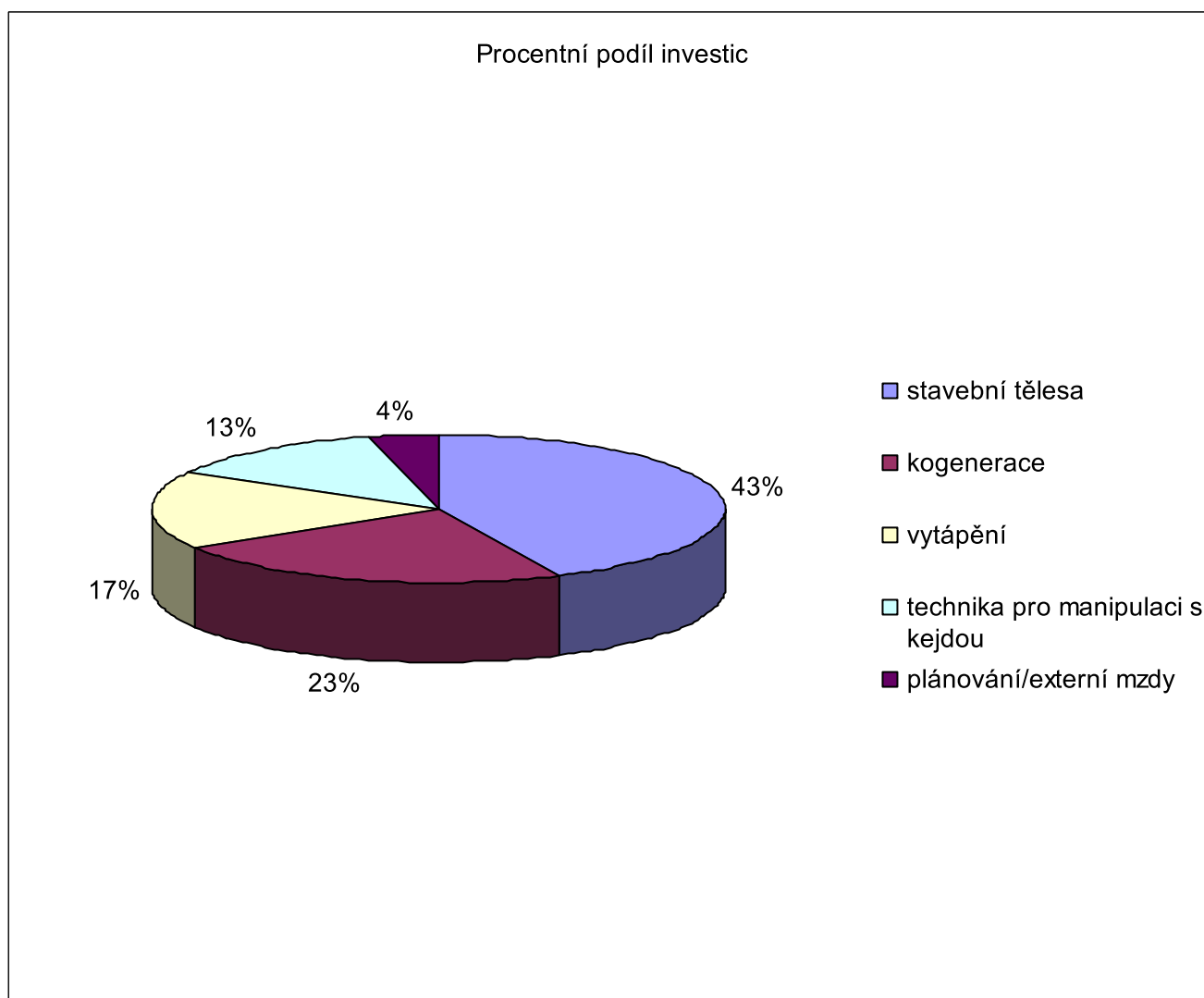
- 160 kusů dobytka
- objem fermentoru 300 m³
- Jmenovitý výkon blokové teplárny 23 kW

Uurčíme hodnotu celkové investice kombinovaným výpočtem na 70 350 až 100 350 €.

Pokud bychom uvažovali investici 1000 €/DJ došli bychom k číslu 160 000 €.

7.2 Odpisy a roční náklady

Pro určení ročních nákladů je potřeba si odpisy i údržbu rozepsat do skupin *Technika* a *Stavba*. Jak ukazuje graf 7.1 je poměr těchto částí zhruba 60% ku 40% nákladů. Při výpočtu úroků při financování z vlastních prostředků lze kapitálové náklady na úročení snížit na úrokovou míru vkladu. Jakožto s ročními náklady je třeba na opravy techniky počítat se 4% (z 60% celkového objemu investic) a na údržbu stavebních těles s 0,5% (ze 40%).[1]



Obr. 7.1 Procentuální rozdělení investičních nákladů při stavbě bioplynové stanice [1]

Z praxe plyne, že roční náklady činí 12 až 20 % celkových investic

7.2.1 Celkové investiční náklady na bioplynovou stanici

Specifické náklady v Kč/DJ	10800	16200	21600	27000
Náklady zařízení pro 160 DJ v Kč	1728000	2592000	3456000	4320000
Roční náklady v Kč/rok				
Odpis stavby: 40% na 20 let	34560	51840	69120	86400
Odpis techniky: 60% na 10 let	103680	155520	207360	259200
Úročení 8% * 0,5	69120	103680	138240	172800
Opravy a údržba stavby (0,5% ze 40%)	3456	5184	6912	8640
Opravy a údržba techniky (4% ze 60%)	41472	62208	82944	103680
Pojištění: 0,5%	8640	12960	17280	21600
Roční náklady v Kč/rok	260928	391392	521856	652320
Roční náklady v % investic	15,1			

Tab. 7.2 Náklady na výrobu bioplynu při rozdílných investičních nákladech (bez pracovních nákladů na provoz stanice)

7.2.2 Roční náklady na výrobu bioplynu při zahrnutí pracovních nákladů (180 hodin a 150 Kč/hod)

Náklady zařízení pro 160 DJ v Kč	1728000	2592000	3456000	4320000
Roční náklady v Kč/rok	260928	391392	521856	652320
Roční náklady včetně mzdových nákladů v Kč	287928	418392	548856	679320
Roční náklady v % investic	16,7	16,1	15,9	15,7

Tab. 7.3 Roční náklady na výrobu bioplynu při zahrnutí pracovních nákladů

7.2.3 Užitek z náhrady odběru proudu a z dodávek proudu do sítě

Tento výnos zpracuji pro tři různé možnosti. První je, že všechnu vyrobenou elektřinu prodám. V druhém spotřebuji 30 MWh/rok a zbylý proud prodám a nakonec zpracuji případ, kdy využiji pro vlastní účely všechn vyrobený el. proud

Roční výroba plynu v m ³	94900
Obsah energie při 6,5 kW/m ³	616,850 MW
Součinitel účinnosti elektrický	0,25
Součinitel účinnosti tepelný	0,55
Roční výroba proudu	154,212 MWh _{el}
Roční výroba tepla	313,170MWh _{therm}
Spotřeba proudu bioplynovou stanicí	6,400 MWh/rok
Proud dodávaný do sítě	147,812 MWh _{el}
Výkupní cena elektřiny dodané do sítě v Kč za MWh	3550
Prodej proudu v Kč	547453
Zelený bonus v Kč	0
Celkový výnos v Kč	547453

Tab. 7.4 Výnos z dodávek proudu do sítě(všechn vyrobený proud se prodá)

Roční výroba plynu v m ³	94900
Obsah energie při 6,5 MW/m ³	616,850 MW
Součinitel účinnosti elektrický	0,25
Součinitel účinnosti tepelný	0,55
Roční výroba proudu	154,212 MWh _{el}
Roční výroba tepla	313,170MWh _{therm}
Náhrada vlastního odběru proudu	30,000 MWh/rok
Spotřeba proudu bioplynovou stanicí	6,400 MWh/rok
Proud dodávaný do sítě	117,812 MWh _{el}
Aktuální výkupní cena přebytku e-on (při čerpání ZB)	1550 Kč/MWh
Zelené bonusy v Kč za MWh	2010
Nákupní cena e-on sazba C02d v Kč za MWh	4680
Náhrada vlastního odběru proudu v Kč	140400
Prodej proudu v Kč	182609
Zelený bonus v Kč	309966
Celkový výnos v Kč	632975

Tab. 7.5 Výnos z odběru proudu a z dodávek proudu do sítě

Roční výroba plynu v m ³	94900
Obsah energie při 6,5 kW/m ³	616,850 MW
Součinitel účinnosti elektrický	0,25
Součinitel účinnosti tepelný	0,55
Roční výroba proudu	154,212 MWh _{el}
Roční výroba tepla	313,170MWh _{therm}
Nákupní cena e-on sazba C02d v Kč za MWh	4680
Zelené bonusy v Kč za MWh	2010
Úspora za nákup proudu v Kč	721712
Prodej proudu v Kč	0
Zelený bonus v Kč	309966
Celkový výnos v Kč	1031678

Tab. 7.6 Výnos z úspory za nákup proudu a zelených bonusů

* výše výkupní ceny elektřiny dodané do sítě a zelených bonusů byla zjištěna z cenového rozhodnutí ERÚ č. 8/2008 ze dne 20.11.2008. Nákupní cena e-on sazby C02d a aktuální výkupní cena přebytku e-on (při čerpání zelených bonusů) jsou aktuální hodnoty zjištěné od dodavatele.

7.2.4 Výnos z odpadního tepla

Budeme uvažovat roční potřebu energie z paliva pro vytápění domu a stájí cca 70 MWh. V tabulce 7.5 je uvedeno porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva. Jak bylo spočítáno v kapitole 6.2.4 je denní výtěžek tepla z blokové teplárny 858kWh/den, když odečteme 423kWh/den potřebné pro proces, tak nám zbude 435 kWh/den užitečného tepla. To nám bohatě postačí k vytápění domu i stájí. Roční výroba tepla se spočítá jako součin roční výroby bioplynu a 3,3kWh/m³ bioplynu. Pokud bychom sehnali vhodného odběratele mohli bychom přebytečné užité teplo prodávat.[1]

7.2.5 Přínosy vedlejších efektů

Mezi pozitivní vedlejší efekty zpracování kejdy řadíme zisk kvalitních organických hnojiv, zlepšení pracovního a životního prostředí nehledě na snížení zatížení zápachem. Tyto vedlejší efekty se ale velmi těžko vyjadřují finančně. V praxi je zavedena hodnota 10€/DJ a rok. To odpovídá podle současného kurzu 270Kč/DJ za rok.[1]

Druh paliva (Výhřevnost)	Cena paliva v Kč/kg	Cena tepla Kč/kWh	Spotřeba paliva / rok	Náklady na vytápění Kč / rok
Hnědé uhlí (18 MJ/kg)	2,5	0,91	25455 kg	63636
Černé uhlí (23,1 MJ/kg)	4	1,13	19835 kg	79339
Koks (27,5 MJ/kg)	7,5	1,58	14780 kg	110850
Dřevo (14,6 MJ/kg)	1,9	0,62	23014 kg	43726
Dřevěné brikety (17,5 MJ/kg)	4	1,1	19200 kg	76800
Dřevěné pelety (18,5 MJ/kg)	2,3	0,98	16025 kg	68909
Štěpka (12,5 MJ/kg)	2	0,72	25200 kg	50400
Rostlinné pelety (16 MJ/kg)	2,8	0,7	17500 kg	49000
Zemní plyn (spalné teplo 37,82 MJ/m ³)	12,84Kč/m ³ + 229,41Kč/měsíc	1,56	87322 kWh 8316 m ³	109322
Lehký topný olej ELTO (42 MJ/kg)	18,5	1,78	6742 kg	124719
Centrální zásobování teplem	400/GJ	1,47	257 GJ	102857

Tab. 7.5 Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva pro 70 MWh [18]

7.2.6 Celkový výnos z výroby bioplynu a návratnost stavby této stanice

Budeme-li uvažovat, že odpadní teplo nám nahradí náklady na vytápění zemním plynem, můžeme počítat podle tabulky 7.5 s úsporou ve výši 109322 Kč. Jak jsem uvedl v kapitole 7.2.5, je v praxi využívána hodnota 270 Kč/DJ pro výpočet výnosu z vedlejších efektů. Z toho plyne výnos 43200 Kč. Pro určení investičních nákladů na realizaci zařízení pro 160 dojníc jsem uvažoval se specifickými náklady 21600 Kč/DJ. Z toho plynou roční náklady 548856 Kč a celkové náklady 3456000Kč. Pro tyto hodnoty jsem také spočítal návratnost investice do zařízení.

Pro jednotlivé druhy využití proudu (jak jsou rozepsané v kapitole 7.2.3) bude celkový výnos vypadat takto:

Výroba proudu v Kč	547453	632975	1031678
Odpadní teplo v Kč	109322	109322	109322
Vedlejší efekty v Kč	43200	43200	43200
Celkový výnos za rok v Kč	699975	785497	1184200
Roční náklady v Kč	548856	548856	548856
Zisk v Kč	151119	236641	635344
Návratnost v rocích	23	15	6

Tab. 7.6 Celkový výnos z výroby bioplynu návratnost stavby této stanice

8 ZÁVĚR

Jako výstup z této práce by mělo být celkové shrnutí navržených parametrů zařízení na zpracování bioplynu a výsledky jeho provozní analýzy. Jedná se o stanici pro chov dobytka (160 dojnic). Její jednotlivé části mají tyto parametry:

Objem fermentoru	300m ³
Objem plynojemu	260m ³
Objem jímky na kejdu	1584 až 1760 m ³
<u>Kogenerační jednotka</u>	Micro T25 (TEDOM)
Elektrický výkon blokové teplárny	23 kW
Tepelný výkon blokové teplárny	41,5 kW
Spotřeba plynu	11,6 Nm ³ /h

Podrobnější popis a výpočty jsou uvedeny v odpovídajících kapitolách.

Provozní analýza dopadla dobře. V žádném uvažovaném případě jsem nezjistil, že bychom se dostali do ztráty. V případě, že bychom chtěli všechnu vyrobenou elektrickou energii prodávat, by návratnost investice do bioplynové stanice dosáhla 23 let a to je vzhledem k postupnému opotřebení a životnosti jednotlivých částí stanice hodně. Z tohoto pohledu nejlépe dopadl případ, kdy bychom všechnu vyrobenou energii využili pro vlastní potřebu. Roční zisk by byl 635344 Kč, tudíž návratnost při nákladech na zřízení 3456000 je 6 let. Úspora by vycházela z toho, že na všechnu el. energii bychom uplatnili zelené bonusy a náhradu proudu bychom počítali podle aktuální sazby CO₂d, která v této době činí 4680 Kč/MWh. Dále je využíván systém, kdy se spotřebuje určité množství energie a zbytek se prodá. V tom případě je ale přebytek prodáván do sítě za 1550 Kč/MWh.

Úplným závěrem bych chtěl poukázat hlavně na to, proč se vůbec problematikou bioplynu zabýváme a jakou má pozici v energetickém průmyslu.

Česká republika jako člen Evropské unie je povinna dodržovat unijní předpisy týkající se minimální produkce energie z obnovitelných zdrojů. Zavázali jsme se, že do roku 2010 budeme vyrábět 8% elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Nesporným kladem energie, která vznikne spotřebováním bioplynu je fakt, že při její výrobě se zužitkovaly zbytky rostlin, odpady živočišné výroby a biologické složky komunálního odpadu obcí a měst. Tato energie umožňuje subjektům, které ji vyrábí, být soběstační v dodávce elektrické energie a tepla.

Měli bychom si ale uvědomit, že energie vyrobené z OZE resp. z bioplynu není v tuto chvíli kvůli vzrůstající energetické náročnosti obyvatelstva hlavním objektem rozvoje v energetice. Zaměřit bychom se měli na energii z jádra, protože ta bude v budoucnu nejvýznamnějším zdrojem energie.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] SCULZ,H – EDER,B.: Bioplyn v praxi, Ostrava, HEL 2004
- [2] VÚZT Praha, Výroba a využití bioplynu v zemědělství, Praha listopad 2007
- [3] Straka,F. a kol.>Bioplyn – příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů. Říčany, GAS s.r.o., 2003
- [4] Dubrovin, V. A kol.:Biopaliva – technologie, stroje a zařízení. Kijev, 2004
- [5] Pastorek, Z. – Kára, J.:Biomasa obnovitelný zdroj energie. Praha FCC PUBLIC s.r.o. 2004
- [6] Webové stránky, www.agrifair.cz
- [7] Kolektiv autorů: Trockenfermentation-Evaluierung des Forschungs und Entwicklungsbedarfs,Gülzower Fachgespräche: Band 23. Gülzow, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.,2004
- [8] Straka,F.- Crha, J.- Musilová, M.: Skládkový plyn – Reaktorový bioplyn a skládkový plyn, rozdíly, podobnosti a minoritní složky těchto plynů. Odpady, 1999, č. 2.
- [9] Straka,F.: Skládkový plyn – Faktory ovlivňující tvorbu sklád. plynu. Odpady,1999, č.9
- [10] Váňa,J. – Slejška,A.: Bioplyn z rostlinné biomasy.Studijní informace ÚZPI-Rostlinná výroba, VH PRESS 1998.
- [11] Cenek,M. A kol.: Obnovitelné zdroje energie. II. Vydání. Praha, FCC Public 2000
- [12] Technické informace č. 7 a 27. Praha, GAS s.r.o., 1996
- [13] Katalogové listy firmy KH-KINETIC a.s.
- [14] Firemní podklady TEDOM s.r.o. Česká republika
- [15] Firemní dokumentace VAS a.s. divize Žďár nad Sázavou
- [16] Cenové rozhodnutí ERÚ č. 7/2007 ze dne 20.11.2007
- [17] Cenové rozhodnutí ERÚ č. 8/2008 ze dne 20.11.2008
- [18] Webové stránky, www.tzb-info.cz Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva;květen '09