

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE

Technická fakulta
Katedra konštruovania strojov

Akademický rok: 2009 -2010

ZADÁVACÍ PROTOKOL DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študent: **Bc. Roman ÁGH**
Študijný odbor: **5.2.27 Kvalita produkcie**
Študijný program: **Kvalita produkcie**

V zmysle 3. časti, čl. 21 Študijného poriadku SPU v Nitre z roku 2008 Vám zadávam tému bakalárskej práce:

EFEKTÍVNOSŤ VYUŽITIA LÁSKAVCA AKO KOSUBSTRÁTU PRI VÝROBE BIOPLYNU

Cieľ práce:

Spracovať prehľad o súčasnom stave v oblasti využívania obnoviteľných zdrojov energie so zreteľom hlavne na výrobu bioplynu využívajúc kofermentáciu. Realizovať experimenty za účelom verifikácie výdatnosti nových zmesí biologicky rozložiteľných materiálov v prevádzkových podmienkach bioplynovej stanice na Vysokoškolskom poľnohospodárskom podniku (VPP) SPU v Koliňanoch.

Rámcová metodika práce:

V úvodnej časti práce venovať pozornosť štúdiu problematiky vhodných materiálov na anaeróbnu fermentáciu, vrátane historického prehľadu o využívaní obnoviteľných zdrojov energie a najmä bioplynu. V ďalšej časti spracovať prehľad o súčasných trendoch v aplikácii kofermentácie ako účinného nástroja zvyšovania ekonomickej efektívnosti bioplynového zariadenia. V záverečnej časti zhodnotiť experimenty s využívaním zasiláňovaného láskavca ako kofermentátu na produkciu bioplynu a spracovať konkrétne návrhy na dávkovanie pre podmienky bioplynovej stanice v Koliňanoch.

Rozsah grafických prác: 10 – 12 strán A4

Rozsah textovej časti: 40 – 50 strán

Literatúra:

1. Braun, R.: Biogas - Methangärung organischer Abfallstoffe, Springer-Verlag, Wien 1982
2. Janíček, F., Dragul'a, I., Gaduš, J. a kol.: Obnoviteľné zdroje energie 1, Renesans, s.r.o. Bratislava 2007
3. Jonáš, J., Petříková, V.: Využití exkrementů hospodářských zvířat, Polygrafia, Praha 1988
4. Pastorek, Z., Wolff, J.: Výroba a využití bioplynu v zemědělství, Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha 1993
5. Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P.: Biomasa obnovitelný zdroj energie FCC Public Praha 2004
6. Sklenka, P.: Bioplyn pre Slovensko, Nitra 1998
7. Straka, F. a kol.: Bioplyn, GAS s.r.o, Říčany 2003

Vedúci diplomovej práce: **prof. Ing. Ján GADUŠ, PhD.**

Konzultant diplomovej práce: Ing. Štefan Jančo

Dátum zadania diplomovej práce: **december 2009**

Harmonogram postupu prác:

- | | |
|---|-----------------|
| 1. Štúdium literatúry, spracovanie literárneho prehľadu | do 30. 06. 2010 |
| 2. Spracovanie metodiky | do 30. 09. 2010 |
| 3. Návrh alternatív riešenia a ich vyhodnotenie | do 31. 10. 2010 |
| 4. Spracovanie vlastnej práce | do 31. 03. 2011 |

Dátum odovzdania diplomovej práce: **30. apríl 2011**

Juraj RUSNÁK, doc., Ing., PhD.
vedúci katedry

Vladimír Kročko, prof., Ing., CSc.
dekan

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V
NITRE**

Evidenčné číslo 2123699

**EFEKTIVITA VYUŽITIA LÁSKAVCA AKO
KOSUBSTRÁTU PRI VÝROBE BIOPLYNU**

Školiteľ: Gaduš Ján prof. Ing., PhD

Fakulta: Technická fakulta

Katedra: Katedra konštruovania strojov

2011

Roman Ágh, Bc.

Čestné vyhlásenie

Podpísaný Roman Ágh vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Efektivita využitia láskavca ako kosubstrátu pri výrobe bioplynu“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry. Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre

Roman Ágh

Rád by som touto cestou vyjadril svoje poďakovanie
prof. Ing. Jánovi Gadušovi, PhD.
za jeho cenné námety, pomoc, rady a pripomienky, ktoré mi boli nápomocné pri
spracovaní danej problematiky.

Abstrakt

V diplomovej práci je spracovaný prehľad súčasného stavu poznania a využívania bioplynu, jeho výroby, spracovania a využiteľnosti z pohľadu alternatívnej energie k dnes komerčne štandardne využívaným palivám. V práci je použitý a uvedený podrobný spôsob spracovania meraní a použitých metód pre získanie základných charakteristík bioplynu, ktoré slúžia k posudzovaniu využiteľnosti a kvalít bioplynu a ktoré sú nevyhnutné pre dosiahnutie cieľov diplomovej práce. Práca svojim záverom dokladuje potenciál k pokračovaniu výskumu v stanovených cieľoch a prehĺbeniu poznatkov využitia Láskavca ako kosubstrátu pri výrobe bioplynu.

Kľúčové slová : bioplyn, kogenerácia, výroba bioplynu, analýza bioplynu, láskavec

Abstract

In the thesis is elaborated overview of the current state of knowledge and use of biogas, production, processing and utilization as alternative energy to commercial standard used fuels in these days. In the thesis is used detailed method of processing measurements and methods used to obtain the basic characteristics of biogas, which serve to assessing the usefulness and qualities of biogas and which are necessary for achieving objective of the thesis. The thesis with its conclusions evidenced potential for continuation of the research objectives set out and to seek deeper knowledge using amaranth as additive for biogas production.

Key words : biogas, cogeneration, biogas production, biogas analysis, amaranth

Obsah

Obsah	7
Zoznam skratiek a značiek.....	8
Úvod	9
1 Obnoviteľné zdroje energie.....	10
1.1 Biomasa	10
1.2 Bioplyn	12
1.2.1 Stručná História bioplynu	14
1.2.2 Rozdiel medzi prírodným plynom a bioplynom	15
1.2.3 Využitie bioplynu.....	16
1.3 Výroba bioplynu.....	16
1.3.1 Materiály vhodné na výrobu bioplynu	16
1.3.2 Výroba bioplynu	18
1.3.3 Technológia na výrobu bioplynu	19
1.3.4 Kogenerácia	23
2 Anaeróbna digestia vo svete.....	26
2.1 USA	26
2.2 EÚ.....	26
2.3 Ázia - India	29
3 Metodika práce.....	30
3.1 Popis experimentálneho zariadenia a prípravy substrátu	30
3.2 Fázy merania a popis meraných parametrov	34
3.2.1 Analýza bioplynu	35
3.2.2 Analýza vstupného substrátu	36
3.2.3 Analýza vzoriek substrátu z fermentora	37
3.3 Popis použitých meracích metód pri meraní jednotlivých parametrov	38
3.3.1 Meranie na fotometri.....	38
3.3.2 Stanovenie obsahu suchej hmoty a suchej organickej hmoty	42
3.3.3 Meranie analyzércom plynu MADUR GA-21 Bio plus	44
4 Vlastná práca	46
4.1 Výsledky práce	51
5 Záver.....	54
6 Zoznam použitej literatúry.....	56

Zoznam skratiek a značiek

kWe	kilowatt elektrickej kapacity
MWe	megawatt elektrickej kapacity
Ktoe	kilo ton ropného ekvivalentu
CHSK	CHemická Spotreba Kyslíka
ppm	koncentrácia , z ang. <i>parts per million</i> – častíc na milión, milióntina
N	dušík , (lat. Nitrogeniu,) chemický prvok v periodickej tabuľke prvkov
C	uhlík , (lat. Carboneum) chemický prvok v periodickej tabuľke prvkov
P	fosfor , (gre. Phosphorus) chemický prvok v periodickej tabuľke prvkov
K	draslík , (lat. Kalium) chemický prvok v periodickej tabuľke prvkov
S	síra , (lat. Sulfur) chemický prvok v periodickej tabuľke prvkov
CH ₄	metán , uhl'ovodík, bezfarebný plyn
CO ₂	oxid uhličitý , atmosférický plyn
O ₂	kyslík
H ₂ S	sírovodík , bezfarebný plyn
NH ₄ ⁺	amoniakálny ión
SO ₄ ²⁻	sulfát ión
t	teplota
m ³	metre kubické , jednotka objemu
PJ	petajoule , (PJ = 10 ¹⁵ J)

Úvod

Od priemyselnej revolúcie v 18. storočí vplyvom industrializácie spotreba energie vzrástla niekoľko násobne. Naším najväčším zdrojom energie sú bezpochyby fosílné palivá, ktoré vznikali na našej planéte niekoľko miliónov rokov. Tieto zdroje, nakoľko ich opätovné získanie z krátkodobého hľadiska nie je možné, sú pre nás limitované, vyčerpatel'né a za krátke obdobie pre naše potreby nedostačujúce. Nie sú to ale jediné negatíva najvyužívanejšieho zdroja energie našou spoločnosťou. Energiu z fosílnych palív získavame spaľovaním pri ktorom sa uvoľňuje uhlík a tento uhlík reagujúci s kyslíkom vytvára oxid uhličitý - CO₂. Oxid uhličitý má najväčší podiel z celkového objemu skleníkových plynov, ktoré sa podieľajú na atmosférických zmenách, globálnom otepľovaní a z toho vyplývajúcich ekologických negatívnych dopadov na našu planétu.

Obnoviteľné zdroje energie – slnečná, veterná, geotermálna energia, biomasa a iné, sú nevyčerpatel'nými zdrojmi, miestne dostupnými a najmä z pohľadu ekologického zaťaženia čistými zdrojmi, ktoré sú schopné nahrádzať fosílné palivá. Obnoviteľné zdroje energie sú zdroje našej budúcnosti, ktorým je potrebné venovať čoraz väčšiu pozornosť.

Táto diplomová práca je súčasťou projektu:

APVV č. VMSP – 0063 – 09 **"Využitie biomasy z obnoviteľných zdrojov na energetické účely"**. Obdobie riešenia projektu: 1.9.2009 – 31.8.2011

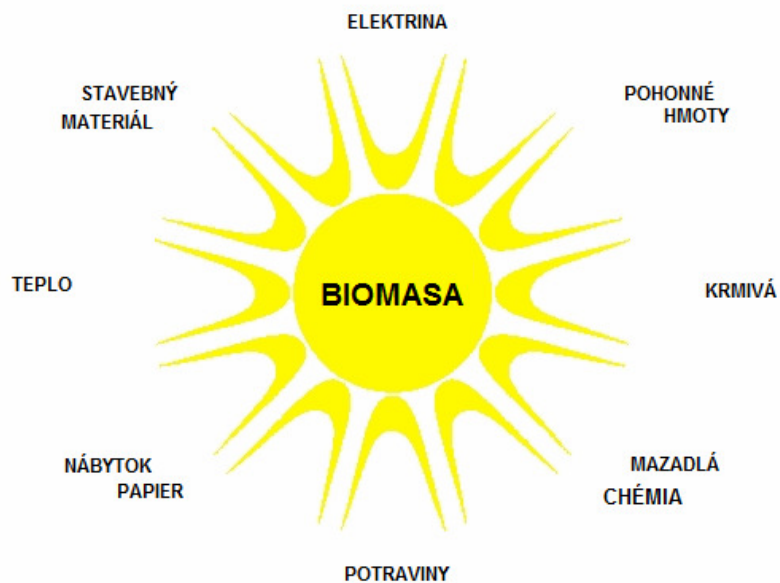
1 Obnoviteľné zdroje energie

Obnoviteľným zdrojom energie môže byť vodná energia - vrátane energie morských vln, energie prílivu, energie prietoku, veterná, solárna, geotermálna energia, energia z biomasy - vrátane bioplynu, skládkového plynu a plynu z čistiarní odpadových vôd a taktiež produkty biologickej frakcie komunálneho a priemyselného odpadu.(Kelly, 2007)

1.1 Biomasa

Biomasa je jediný zdroj obnoviteľného pevného uhlíka a vzhľadom na možnosť skladovania a použitia v prípade potreby je veľmi blízko podobná tradičným fosílnym palivám. Avšak, na rozdiel od väčšiny fosílnych palív, biomasa je obmedzená hustotou uloženej energie a práve preto musí byť vyrobená a spotrebovávaná lokálne. Nakoľko spotrebovaná energia spojená s dopravou na dlhé vzdialenosti by mohla byť väčšia ako samotná energia obsiahnutá v biomase, spracovanie takejto biomasy by bolo kontraproduktívne. Z čoho vyplýva, že jednotky, ktoré spracovávajú biomasu sú relatívne malé v porovnaní s konvenčnými energetickými výrobnými zariadeniami (musia sa spoliehať na miestne dodávateľské reťazce pre vstupné suroviny – biomasu) a sú charakteristické ako malé lokálne výrobné jednotky.

Existujú tri základné thermo-chemické konverzné technológie, ktoré používajú pevnú biomasu ako primárne palivo pre výrobu elektriny, a to : priame spaľovanie, splyňovanie, pyrolýza a stále bežnejšie použitie kvapalnej biomasy ,ako odpadové vody, na výrobu metánu pomocou anaeróbnej digescie.



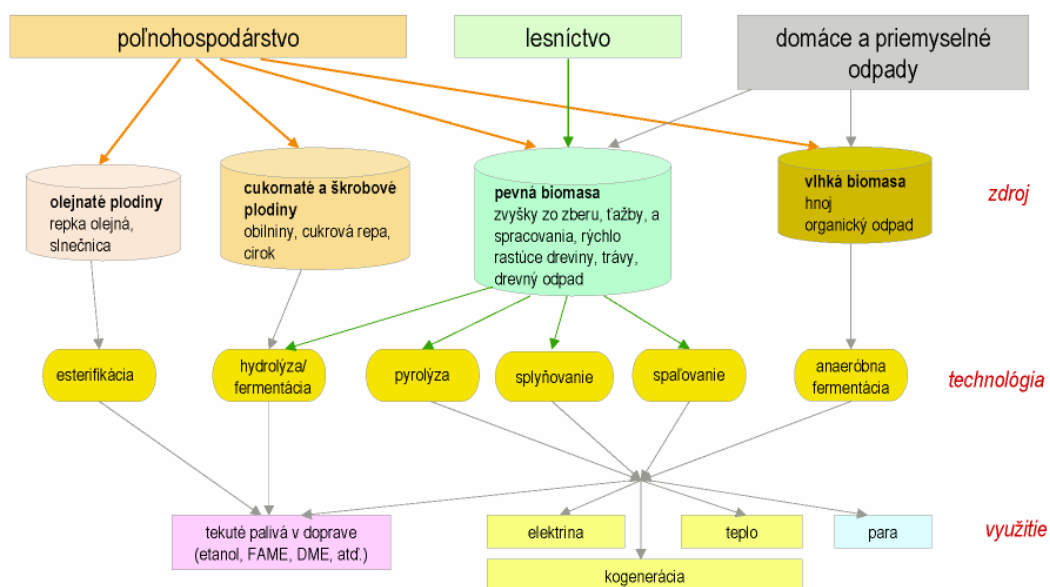
Obr.1 Využitie biomasy.

Výroba elektriny z biomasy je stále sa rozvíjajúce odvetvie a z toho dôvodu zatiaľ nie je bez dotácií cenovo konkurencieschopné elektrickej energie z fosílnych palív. Avšak je stále konkurencieschopná jadrovej energie a pravdepodobne aj novo vybudovaným „čistým“ uhoľným elektrárnami, ale isto nie, v rámci súčasnej právnej a ekonomickej klímy, s modernými plyn spaľovacími elektrárnami. (Hester – Harrison, 2003)

V krátkom období, malé špecializované elektrárne s výkonom 100 až 500 kWe pre použitie na farmách alebo vidieku, budú a v určitej miere sú alternatívnym a konkurenčným zdrojom energie.

V strednodobom horizonte, kedy by mohol zvýšený dopyt po elektrine dospieť k preťaženiu elektrickej siete a spôsobiť jej nespoľahlivosť, väčšie 1-20 MWe elektrárne spracúvajúce biomasu sa pravdepodobne stanú atraktívnou alternatívou k posilneniu elektrickej siete.

V dlhšom časovom horizonte, sieťovo prepojené generovanie a spracovávanie biomasy s využitím celej škály možných technológií, sa môže stať konkurenčným a efektívnym spôsobom pre produkovanie energie. (Hester – Harrison, 2003)



Obr.2 Schematické znázornenie základných zdrojov biomasy a možnosti ich technologického využitia. (Bodík, 2008)

1.2 Bioplyn

Bioplyn je produktom biologického rozkladu organických látok bez prítomnosti kyslíka. Proces bakteriálnej degradácie sa nazýva anaeróbna digestia. Bioplyn typicky obsahuje medzi 50 až 70% metánu, 20 až 45% oxidu uhličitého a stopových plynov. Vysoký obsah metánu v bioplyne z neho robí vynikajúci zdroj energie z obnoviteľných zdrojov, ktorý je schopný nahradiť zemný plyn a ostatné fosílna palivá.

Tab.1 Produkcia bioplynu v Európskej únii r.2007 v Ktoe - kilo ton ropného ekvivalentu. (Biogas barometer, 2008)

Krajina	Skládkový plyn	Plyn zo splaškových kalov ¹	Ostatné bioplyny ²	Spolu
Nemecko	416.4	270.2	1696.5	2383.1
UK	1433.1	191.1	-	1624.2
Taliansko	357.7	1.0	47.5	406.2
Španielsko	259.6	49.1	21.3	329.9
Francúzsko	161.3	144.2	3.7	309.2
Holandsko	43.2	48.0	82.8	174.0
Rakúsko	10.7	2.0	126.4	139.1
Dánsko	14.3	21.0	62.6	97.9
Belgicko	48.1	18.0	12.5	78.6
Česká republika	29.4	32.1	17.0	78.5
Poľsko	19.1	43.0	0.5	62.6
Grécko	38.0	9.8	-	47.8
Fínsko	26.4	10.3	-	36.7
Írsko	23.9	7.9	1.7	33.5
Švédsko	19.1	52.4	19.1	90.6
Maďarsko	2.1	12.4	5.7	20.2
Portugalsko	-	-	15.4	15.4
Slovinsko	7.6	0.6	3.8	11.9
Luxembursko	-	-	10.0	10.0
Slovensko	0.5	7.6	0.5	8.6
Estónsko	3.1	1.1	-	4.2
Litva	1.6	0.8	-	2.5
Cyprus	-	-	0.2	0.2
Spolu	2905.2	887.2	2108.0	5901.2

K dispozícií je mnoho rôznych druhov anaeróbnej digescie a technológie ktorá sa používa na farmách (na spracovanie hnoja a ďalších poľnohospodárskych zvyškov), podľa odvetví (na spracovanie potravín a nápojov alebo odpadu z papierovej buničiny), v obciach (na spracovanie komunálnych kalov a organického podielu v komunálnom odpade), alebo v zariadeniach, ktoré využívajú kombinácie rôznych substrátov. (What is Biogas, 2010)

1.2.1 Stručná História bioplynu

Neoficiálne dôkazy naznačujú, že bioplyn bol používaný pre ohrev vody v kúpeľoch v Asýrii v priebehu 10. storočia pred n.l. a v Perzii počas 16. storočia nášho letopočtu. (Lusk, ca. 2010)

Technológia alebo proces, sa datuje na dlhú dobu späť, sú takí, ktorí sa zmienili o bioplyne ako takom. V roku 1808 H. Davy robil experimenty so slameným hnojom v nádobe a vákuu pre zhromaždenie bioplynu. Nemal záujem o plyn, ale skôr o hnitie alebo nehnitie hnoja. (Tietjen, ca. 1975)

Jan Van Baptita Helmont v 17. storočí zistil, že horľavé plyny by mohli vzniknúť z rozkladajúcej sa organickej hmoty. Alessandro Volta v roku 1776 prišiel k záveru, že existuje priama súvislosť medzi množstvom rozkladajúcej sa organickej hmoty a množstvo vyprodukovaného horľavého plynu. V roku 1808, Sir Humphrey Davy zistil, že v plyne pri rozklade maštalného hnoja je prítomný metán. (Lusk, ca. 2010)

Digestor vznikol v roku 1840 v meste Otago, Nový Zéland. Prvý závod anaeróbnej digescie bol postavený v kolónii malomocných v Bombaji v roku 1859. Anaeróbna digescia dosiahla Anglicko v roku 1895, kedy bol bioplyn produkovaný v "starostlivo navrhnutých" zariadeniach odpadových vôd a slúžil ako palivo pouličných lúčok v Exeteri. Výskum Buswella a ďalších v roku 1930 na identifikáciu anaeróbnych baktérií a podmienok, ktoré podporujú produkciu metánu, viedol k rozvoju mikrobiológie ako vedy. (Lusk, ca. 2010)

India, ako krajina s nainštalovanými mnohými bioplynovými stanicami má pomerne dlhú históriu vývoja bioplynu. Prvá jednotka, ktorá sa v literatúre uvádza, bola bioplynová jednotka v azyle bezdomovcov a malomocných v blízkosti Bombaja. Mohlo by sa diskutovať o tom, či by mala byť nazývaná ako bioplynová jednotka, lebo primárna funkcia bola čistenie odpadových vôd, ale plyn bol použitý taktiež. Množstvo zdrojov datuje túto jednotku do roku 1897. (Gustavsson, ca. 2010)

1.2.2 Rozdiel medzi prírodným plynom a bioplynom

Zemný plyn je fosílna palivo ktoré tvorí metán (70-90%), etán, propán, bután, pentán, oxid uhličitý, dusík, vodík a sírovodík. Na rozdiel od bioplynu nepochádza z obnoviteľných zdrojov energie.

V nižšie uvedenej tabuľke je porovnanie obsahu zloženia zemného plynu s obsahom zloženia skládkového plynu a bioplynu vyrábaného anaeróbnou digesciou. (Biogas barometer, 2008)

Tab.2 Porovnanie obsahu zloženia skládkového, zemného a bioplynu.

Zloženie	Skládkový plyn	Bioplyn	Zemný plyn
Metán (%)	35-65	60-70	89
Ostatné uhľovodíky (%)	0	0	9.4
Vodík (%)	0-3	0	0
Dusík (%)	5.40	0.2	0.28
Kyslík (%)	0-5	0	0
Sírovodík (ppm)	0-100	0-4000	2.9
Amoniak (ppm)	5	100	0

1.2.3 Využitie bioplynu

Produktom anaeróbnej digescie je zmiešaný plyn primárne zložený z metánu CH_4 a oxidu uhličitého, ktorý je bežne nazývaný bioplyn. V malom je plyn primárne využitý pre vykurovanie a varenie. Poháňané bioplynom sú väčšie jednotky kombinovanej výroby tepla a energetických systémov - kogeneračné jednotky. Hnacou silou pre využitie bioplynu je v každom prípade možnosť šetriť fosílnu palivá, alebo drevo, v rozvojových krajinách. Nedávno, ako bolo prerokované na konferenciách v Riu a Kjóte, rôzne vzdušné emisie spôsobili vážne znepokojenie nad klimatickými, environmentálnymi a zdravotnými dopadmi. Vypúšťanie kyselín a skleníkových plynov sú skutočne na úrovni, ktorá vyžaduje okamžité akcie pre riešenia týchto závažných problémov. Čo bolo nakoniec uznané viacerými vládami, ktoré predložili programy (ako je projekt EÚ ZEUS, tj. nulové emisie vozidiel v mestskej spoločnosti) a právne predpisy (napr. Kalifornský predpis za čisté palivá) pre riešenie týchto problémov. Predovšetkým bioplyn, ako palivo, môže priniesť výrazné zníženie skleníkových plynov, častíc a prachu, oxidov dusíka a emisií. Emisné testy vykonané na bioplynových autobusoch vo Švédsku ukázali, že ročné emisie oxidov dusíka boli znížené o 1,2 tony a oxidu uhličitého o 30 ton. (Abraham – Ramachandran - Ramalingam, 2007)

1.3 Výroba bioplynu

1.3.1 Materiály vhodné na výrobu bioplynu

Bioplyn je možné získať anaeróbnou fermentáciou zo všetkých druhov biomasy:

- Fytomasy,
- organických odpadov a vedľajších produktov živočíšneho pôvodu,
- zmesi rôznych organických odpadov.

Metán v bioplyne vzniká pri tzv. metanogénnej fermentácii organických substrátov rozkladom :

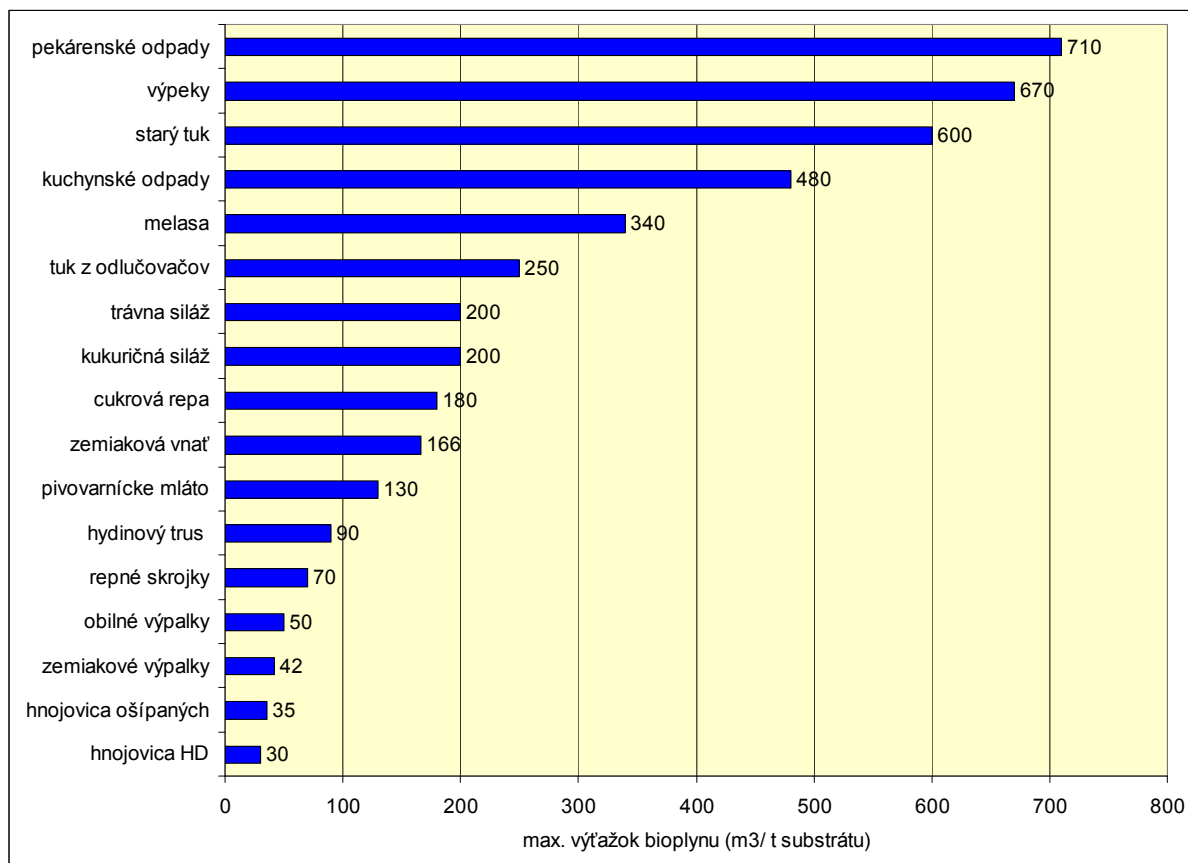
- Polysacharidov,
- lipidov,
- proteínov.

Pri rozklade proteínov (bielkovín) sa do bioplynu uvoľňujú sírnaté zložky (napríklad sírovodík), ktoré treba pred použitím plynu odstraňovať. Rozkladom lipidov (tukov) sa dosahuje najvyššia výťažnosť (produkcie bioplynu). Rozklad polysacharidov zvlášť obsiahnutých vo fytomase býva hlavným zdrojom látok pre tvorbu metánu. Jeden z hlavných stavebných prvkov fytomasy – lignín – je z hľadiska metanogenezie balastným materiálom a na tvorbe metánu sa takmer nezúčastňuje, pokiaľ nie je fyzikálno-chemickými procesmi predspracovaný. (Janiček – Daruľa – Gaduš, 2007)

Všeobecné vlastnosti materiálov vhodných na anaeróbnú fermentáciu je potom možné zhrnúť nasledovne :

- Malý obsah anorganických zložiek (popolovín),
- vysoký podiel biologicky rozložiteľných látok (spracovávajú sa predpripravené – homogenizované zmesi materiálov),
- optimálny obsah sušiny (v závislosti od použitej technológie – pri pevných substrátoch 22-25 %, v prípade tekutých substrátov 8-14%. Obsah sušiny pod 3% - negatívna energetická bilancia),
- hodnota PH (kyslosť alebo zásaditosť) – ideálny stav PH = 7-7,8 (neutrálna hodnota),
- pomer uhľikátých a dusíkatých látok v substráte. Ideálny pomer C : N = 30 : 1. Vysoký obsah dusíkatých látok – negatívny vplyv na zloženie bioplynu – amoniak, oxid dusný, atď. . Materiály s vysokým obsahom N - exkrementy všetkých druhov hospodárskych zvierat. Opačný extrém – vysoký obsah uhlíka C – materiály rastlinného pôvodu. Vhodné je preto miešať materiály – kofermentácia,
- neprítomnosť antibiotík ako aj zložiek materiálu, pri ktorých prebehol hnilobný proces,

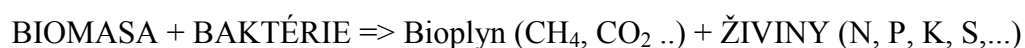
- dlhodobé skladovanie a nevhodná manipulácia znižuje vhodnosť materiálov na anaeróbnú fermentáciu. (Janíček – Daruľa – Gaduš, 2007)



Obr.3 Výťažok bioplynu z rôznych druhov materiálu.

1.3.2 Výroba bioplynu

Každá organická hmota po odumretí podlieha rozkladu. Ak tento proces prebieha účelovo bez prítomnosti kyslíka (tzv. anaeróbne vyhnívanie), dochádza k vzniku bioplynu. Bioplyn sa v súčasnosti získava hlavne zo skládok komunálneho alebo poľnohospodárskeho odpadu, kde vzniká pri vyhnívaní organických zvyškov. Uvedenú reakciu je možné zapísať nasledovne:



Bioplyn skladajúci sa hlavne z metánu (60-70%) a oxidu uhličitého (30-40%) predstavuje hodnotné palivo. Proces anaeróbného vyhnívania organických zvyškov prebieha v nádržiach bez prístupu vzduchu. Okrem bioplynu vzniká v nádrži aj tuhý odpad, ktorý je vhodným hnojivom pre poľnohospodárske účely. Uvedená výroba je perspektívna hlavne pre poľnohospodárske družstvá, čističky odpadových vôd alebo skládky komunálneho odpadu, kde vzniká tzv. skládkový plyn. Hoci výroba bioplynu na energetické účely je vo svete bežná, na Slovensku existuje len veľmi málo takýchto zariadení. Zatiaľ je v prevádzke len niekoľko čističiek odpadových vôd a je len päť poľnohospodárskych bioplynových staníc. (Janiček – Daruľa – Gaduš, 2007)

1.3.3 Technológia na výrobu bioplynu

Anaeróbnou fermentáciu vlhkých organických materiálov so zachytávaním bioplynu je možné zaradiť medzi tzv. nízkopotenciálne energetické zdroje. Tieto technológie pritom prispievajú k zníženiu plynných emisií z organických odpadov všetkého druhu pri ich súčasnom energetickom využívaní. Teda spracovávanie biologických „odpadov“ anaeróbnou fermentáciou poskytuje:

- Bioplyn (zdroj čistej obnoviteľnej energie), možno ho priamo spaľovať v kotloch alebo efektívnejšie využiť ako palivo pre kogeneračnú jednotku s kombinovanou produkciou elektriny a tepla,
- kvalitné organické hnojivo, po anaeróbnej fermentácii možno využiť priamo ako tekuté hnojivo, alebo separovať a získať substrát pre pestovanie plodín,
- ochranu životného prostredia, bioplyn je CO₂ neutrálny, pri energetickom využívaní biomasy je oxid uhličitý, ktorý bol spotrebovaný pri fotosyntéze uvoľňovaný späť do atmosféry a uzatvára sa tak jeho kolobeh v prírode v relatívne krátkom čase.

Základom každého bioplynového zariadenia je fermentor. Podľa typu konštrukcie fermentora sa zvykne aj bioplynové zariadenie označovať. Podľa formy prevádzkovania je ich možné rozdeliť na:

- Samostatné,
- spoločné prevádzkarne,
- komunálne/priemyselné, veľké zariadenia.

Ďalším kritériom môže byť pôvod alebo druh používaného substrátu. Na základe tohto pohľadu môžeme hovoriť o:

- Poľnohospodárskych bioplynových zariadeniach,
- kofermentačných (priemyselných) zariadeniach.

Bioplynové zariadenia v princípe delíme podľa obsahu suchej hmoty na v spracovávanom substráte na :

- Mokrú fermentáciu (obsah suchej hmoty < 15%),
- suchú fermentáciu (obsah suchej hmoty 25-60%).

Podľa teplotných rozmedzí, pri ktorých dochádza k tvorbe metánu rozdeľujeme zariadenia na:

- Psychofilné (do 20 °C),
- mezofilné (30-40 °C),
- termofilné (50-75 °C).

V Európe sú najbežnejšími typmi bioplynové zariadenia s mokrou fermentáciou, založené na požiadavke dobrej čerpatel'nosti vstupného biologického materiálu. Takéto zariadenia je opäť možné kategorizovať podľa spôsobu dávkovania na :

- Diskontinuálne, s prerušovanou prevádzkou, cyklické, dávkové – doba jedného pracovného cyklu zodpovedá dobe zdržania materiálu vo fermentore, viac sa využíva pri suchej fermentácií,
- kontinuálne (semikontinuálne), doba medzi jednotlivými dávkami je kratšia, ako doba zdržania materiálu vo fermentore. To je najpoužívanejší spôsob plnenia fermentoru pre spracovávaní tekutých organických materiálov, substrát sa dávkuje viackrát denne, technologický proces je možné ľahko automatizovať.

Technologická linka pre anaeróbnú fermentáciu organických materiálov teda môže mať veľa variantov, podľa toho aký materiál a ako je predspracovaný pred dávkovaním do hlavnej časti – fermentora. Odlišnosti môžu byť aj pri usporiadaní bioplynovej koncovky, usporiadaní kalovej koncovky vrátane spôsobu aplikácie vyfermentovaného substrátu (digestátu). Celá linka môže pozostávať z týchto podsystemov:

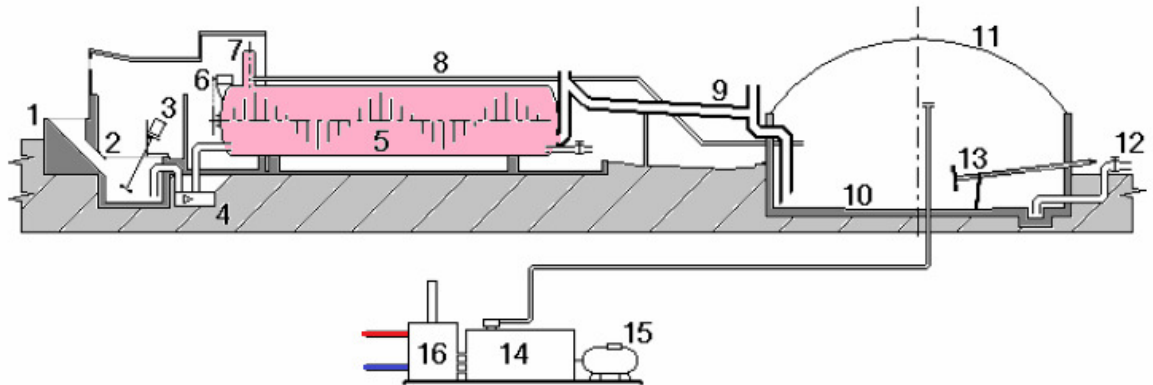
- Zber a transport materiálu,
- príjem a úprava materiálu:
 - o Separácia hrubých prímiesí,
 - o riedenie/zahusťovanie,
 - o inokulácia alebo aktivácia mikroflóry,
 - o predohrev,
 - o homogenizácia,
 - o (automatické) dávkovanie do fermentora.

-
- Anaeróbne reaktory (fermentory) na tekutý materiál, môže byť vo vyhotovení:
 - Lagúna – najjednoduchšie zariadenie a spôsob spracovania organického materiálu, má veľmi nízku intenzitu výroby metánu CH₄, prevádzkové teploty ležia v psychrofilnom pásme,
 - pravouhlé hranolovité – majú podobu žľabu,
 - reaktory valcové – pre malé objemy do 150 m³ (výnimočne 300-600 m³) sa používajú fermentory s horizontálnou osou valca, oceľové alebo plastové, pre väčšie kapacity so zvislou osou valca, oceľové alebo betónové, modifikácia je s upraveným dnom v podobe kužeľa,
 - reaktory guľové alebo polguľové – väčšinou sa používajú, v jednoduchých, podzemných konštrukciách.

 - Bioplynová koncovka – obsahuje potrubia, bezpečnostné prvky, dúchadlá, zásobník (plynojem), zariadenie na úpravu bioplynu (čistenie), zariadenie na konečné využitie bioplynu (kotel, kogeneračná jednotka), horák zbytkového plynu,

 - kalová koncovka – pozostáva z armatúr, čerpadiel, homogenizátorov, skladu separátora.

Typické usporiadanie poľnohospodárskej bioplynovej stanice s fermentorom horizontálneho semikontinuálneho typu, s vyhrievaním riešeným prívodom cez dutý hriadeľ je na obr. 4. (schéma bioplynovej stanice vo Vysokoškolskom poľnohospodárskom podniku SPU v Kolíňanoch pri Nitre). (Janíček – Daruľa – Gaduš, 2007)



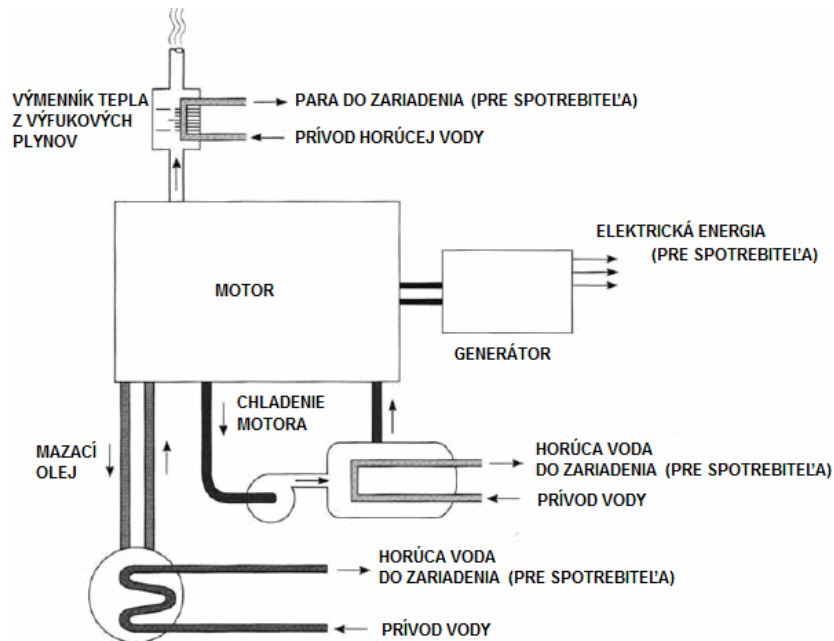
- | | | |
|-------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 1 – násypka | 6 – miešanie fermentora | 11 – membrána plynojemu |
| 2 – homogenizačná nádrž | 7 – plynový dóm | 12 – výpustné potrubie digestátu |
| 3 – vrtuľové miešadlo | 8 – plynové potrubie | 13 – vrtuľové miešadlo |
| 4 – kalové čerpadlo | 9 – prepádové potrubie | 14 + 15 – kogeneračná jednotka |
| 5 – fermentor | 10 – konečná skladovacia nádrž | 16 – výmenník tepla |

Obr.4 Schéma typickej poľnohospodárskej bioplynovej stanice.

1.3.4 Kogenerácia

Kogenerácia je postupné prevedenie primárnych palív - zdrojov energií ako sú ropa, zemný plyn, uhlie, alebo biomasy, na energiu, zvyčajne elektrinu a tepelnú energiu. Zachytením a konverziou užitočnej energie (z motora, turbín, či z iných mechanických alebo elektrických zariadení) ktorá by inak bola zanedbaná. Kogenerátor pracuje na podstatne vyššej účinnosť, než základné generátory. (Finger, ca. 2001)

Kogeneračné systémy produkujú elektrickú a tepelnú energiu, v niektorých prípadoch taktiež mechanickú energiu. Kogenerácia zachytáva odpadové teplo, ktoré je vždy produkované pri výrobe energie a umožní jeho využitie skôr než unikne do atmosféry. Pri konvenčnej produkcii energií sú dve tretiny energetických vstupov plytvané. Kogenerácia dokáže väčšinu tohto odpadového tepla využiť, zdroje využíva ekonomicky a má často za následok úspory energie 20 až 40 percent.



Obr.5 Schéma typickej kogeneračnej stanice.

Kogenerácia prispieva k lepšej budúcnosti udržateľných zdrojov energie tým, že minimalizuje vplyv na životné prostredie spôsobené škodami komerčných aktivít. Najviditeľnejšími a najznámejšími výhodami sú úspory emisií oxidu uhličitého. Kogenerácia vedie k úsporám až 50 percent CO₂ emisií v porovnaní s konvenčnými zdrojmi tepla a elektriny. Zníženie emisií oxidu siričitého a jeho častíc sú ďalšie výhody.

Dobre navrhnuté a dobre prevádzkované kogeneračné elektrárne budú mať vždy lepšiu energetickú účinnosť a budú významne znižovať emisie oxidu uhličitého. S typickou účinnosťou medzi 70 až 95 percentami, kogenerácia je najlepším riešením pre kombinovanú výrobu elektriny a tepla. (Smith a i., 2001)

Kogenerácia je na poli záujmu v oblasti energetického vedomia, ktoré je dnes v priemysle prevládajúcim. Môže uspokojiť elektrické a tepelné potreby budov a zariadení. Pretože plynu máme dostatok a ceny malých plynových generátorov klesajú, malé priemyselné prevádzky sú schopné produkovať energiu za cenu, ktorá je porovnateľná s lokálnou produkciou. Navyše, tepelná energia ktorá je normálne pri výrobe zanedbaná je zachytávaná a použitá, a teda zvýšenie efektívnosti využitia energie, ktoré už bolo spomenuté, je dosiahnuteľné.

Kogenerácie môže byť dosahovaná niekoľkými spôsobmi. Najbežnejším je použitie plynového turbogenerátora alebo piestového motora v spojení s bojlerom využívajúcim odpadové teplo alebo parného kotla spolu s parnou turbínou. Hlavný rozdiel medzi týmito typmi systémov je poradie, v ktorom sa získava elektrina. Plynové turbíny alebo piestový motor vyrába elektrinu, potom horúce výfukové plyny sú odosielané do kotla na odpadové teplo k výrobe pary. Tento proces je známy ako „topping cyklus“. Keď kotol vyrába paru, ktorá je prvou a tá je vedená do parnej turbíny na výrobu elektriny a odpadová para sa používa pre tepelný proces, ide taktiež o „topping cyklus“. Menej zaužívaný je „bottoming cyklus“, ide o cyklus kde para je najprv vedená k výmene tepla a odpadová para sa používa k výrobe energie.

V závislosti na požiadavkách a povahe inštalácie použitia kogeneračných systémov, má každý systém svoje výhody. Systém s plynovou turbínou a piestovým motorom je výhodnejší pre nové zariadenia. Množstvo energie vyrobenej plynovou turbínou alebo piestovým motorom, s požiadavkou na teplo, je vyššia ako u bojlera a parnej turbíny. Pre dobudovanie aplikácie, kde je kotol už nainštalovaný a v prevádzka, je najideálnejšia parná turbína. Mnohé jednotky vytvárajú paru pri vyššom tlaku ako je nevyhnutné, táto para sa reguluje na nižší tlak pred jej využitím v zamýšľanom procese. Výmenou ventilu na redukciu tlaku pary s parnou turbínou dokážeme v škrtiacom procese využiť odpadovú energiu na produkciu elektriny. Pretože malé parné turbíny sú relatívne lacný, počiatočná cena je relatívne menší. Pretože malé parné turbíny sú pomerne lacné, počiatočná cena je relatívne menšia. (Smith a i., 2001)

2 Anaeróbna digescia vo svete

2.1 USA

Výhody využitia bioplynu a zvýšenie finančnej podpory zo strany štátu a federálneho programu viedli v Spojených štátoch k výraznému nárastu počtu systémov anaeróbnej digescie. V posledných dvoch rokoch sa počet systémov anaeróbnej digescie zvýšil o 30 percent. Väčšina tohto rastu sa premietla na farmárskych prevádzkach. Na Royal farmách, na farmách číslo jedna v Tulare - Kalifornia, je hnoj z ošípaných využívaný na výrobu bioplynu, ktorého množstvo je schopné udržiavať v prevádzke 70 a 100 kW motorový generátor. Vyprodukovaná elektrina na farme je schopná splniť mesačné požiadavky elektrickej a tepelnej energie na týchto farmách. Vzhľadom k úspechu tohto projektu, ďalšie tri prasacie farmy (Sharp Ranch, Fresno, a Prison farma) začali využívať anaeróbnú digesciu pre tvorbu energie. V projekte Knudsen a synovia v Chico - Kalifornia, je na výrobu bioplynu využívaná odpadová voda ktorá obsahuje organické hmoty z mletého a praného ovocia. Vyprodukovaný bioplyn je spaľovaný vo vykurovacom kotly v mliekarni Langerwerf v Durhame - Kalifornia, zatiaľ čo kravský hnoj je použitý v piestovom digestore na anaeróbnú digesciu. Vyrobený bioplyn je spaľovaný v 85 kW plynovom motore ktorý pracuje na 35 kW kapacitnej úrovni a produkuje elektrinu a teplo ktoré je schopné kompenzovať všetky požiadavky mliekarne na energiu. Systém je v prevádzke od roku 1982. (Abraham – Ramachandran – Ramalingam, 2007)

2.2 EÚ

Za posledných dvanásť rokov začalo mať využívanie bioplynu na energetické účely v Európskej únii značný význam. Význam tohto odvetvia na ekonomické, energetické a finančné podmienky momentálne prebieha v 20 európskych krajinách , čo predstavuje celkovú produkciu v roku 2004 v tejto oblasti 4 265 miliónov ton ropného ekvivalentu. Je potrebné zdôrazniť, že poľnohospodárske bioplynové stanice (ktoré využívajú odpad z chovu zvierat a poľnohospodárstva) predstavujú typ aplikácie ktorá

zažíva veľký rozmach a ich počet sa zvýšil z 1500 v roku 2001 na viac ako 2000 v roku 2004. So všetkými druhmi dohromady, je v EÚ viac než 4 000 bioplynových staníc. V súčasnosti sa odhaduje, že až polovica bioplynu v EÚ je zhodnotená. Je mnoho spôsobov zhodnocovania bioplynu ktoré umožňuje bioplyn premeniť na užitočnú energiu. Len okrajovo, bioplyn môže byť použitý ako biopalivo v rámci vozového parku, ako to potvrdzujú skúsenosti vo Francúzsku (Lille) a vo Švédsku. V konečnom dôsledku bioplyn môže byť vedený do distribučnej siete zemného plynu. Najvyspelejšou krajinou v tejto oblasti je Holandsko. Nárast vo využívaní obnoviteľných zdrojov energie medzi rokom 2003 a 2004 v Holandsku predstavuje percentuálne 9%. V EÚ, kde nárast využitia obnoviteľných zdrojov energie bola iba 5% , čo je menej než bolo pozorované v mnohých častiach sveta, sa predpokladá nárast podielu obnoviteľných zdrojov na dvojnásobok do roku 2010 a pre podiel bioplynu sa očakáva nárast na 12% s odvolaním sa na bielu knihu Komisie EÚ z roku 1997.

Lídrom v EÚ vo využití bioplynu je Nemecko. Jeho Celková produkcia v roku 2004 dosiahla 1291 ton s využitím hlavne na výrobu elektriny. Vďaka zákonu o obnoviteľných zdrojoch energií a podmienok využitia energie sa počet spracovateľských miest výrazne zvýšil. Nemecká asociácia bio energie odhaduje, že ich počet stúpne z 2 000 (430 MW elektrickej energie) na 4 000 (800 MWe). V tabuľke číslo 3 môžeme vidieť energetický potenciál bioplynu v európskych štátoch. (Abraham – Ramachandran – Ramalingam, 2007)

Tab.3 Predpokladaný energetický potenciál bioplynu pre rok 2020.

Štáty EÚ	Spolu biomasy v mill. Tonách	Suma energie z bioplynu TWh/rok	Suma energie z bioplynu PJ
Rakúsko	36.1	6.1	22.0
Belgicko	52.0	8.8	31.7
Dánsko	52.5	8.9	32.0
Fínsko	18.5	3.1	11.3
Francúzsko	251.9	42.7	153.7
Nemecko	234.6	39.8	143.2
Grécko	11.4	1.9	7.0
Írsko	70.5	11.9	43.0
Taliansko	112.0	19.0	68.3
Luxembursko	2.8	0.4	1.3
Holandsko	80.8	13.7	49.3
Portugalsko	22.0	3.7	13.4
Španielsko	108.2	18.3	66.0
Švédsko	26.3	4.4	16.0
Spojené kráľovstvo	155.4	26.3	94.8
Spolu EU:	1,234.3	209	753.0

2.3 Ázia - India

V Indii bolo prvé zariadenie na výrobu bioplynu uvedené v roku 1962. Až od roku 1982 začala vláda podporovať bioplyn a naštartovala „Národný bioplynový program“. Potenciál bioplynu v domácich jednotkách bol odhadnutý až na 12 miliónov Eur, zatiaľ čo súčasná implementácia bola v roku 2005 len na úrovni 3,8 milióna Eur (32%). Ministerstvo nových a obnoviteľných zdrojov energie zriadilo „Centrálne finančné pomoci“ na program pre podporu bioplynových projektov. Od roku 1995 bol zriadený program pre súkromné, verejné, podnikateľské a neziskové organizácie, ktorý slúžil na zriaďovanie, poskytovanie a prevádzkovanie bioplynových staníc. Odhaduje sa, že v Indii sa každý rok produkuje 30 mil. pevného odpadu a 4,400 mil. kubických metrov tekutého odpadu. (Abraham – Ramachandran – Ramalingam, 2007)

3 Metodika práce

Hlavným cieľom merania bude monitorovanie vplyvu vstupného substrátu na produkciu a vlastností vytvoreného bioplynu, a tým aj energetického výkonu zariadenia na výrobu bioplynu. Za týmto účelom sa v pravidelných intervaloch bude robiť chemická analýza vzoriek vstupného substrátu, a rovnako aj analýza zloženia bioplynu. Zároveň sa budú sledovať podmienky anaeróbného rozkladu vo fermentore pomocou analýz vzoriek substrátu z fermentora.

Metodický postup riešenia obsahuje:

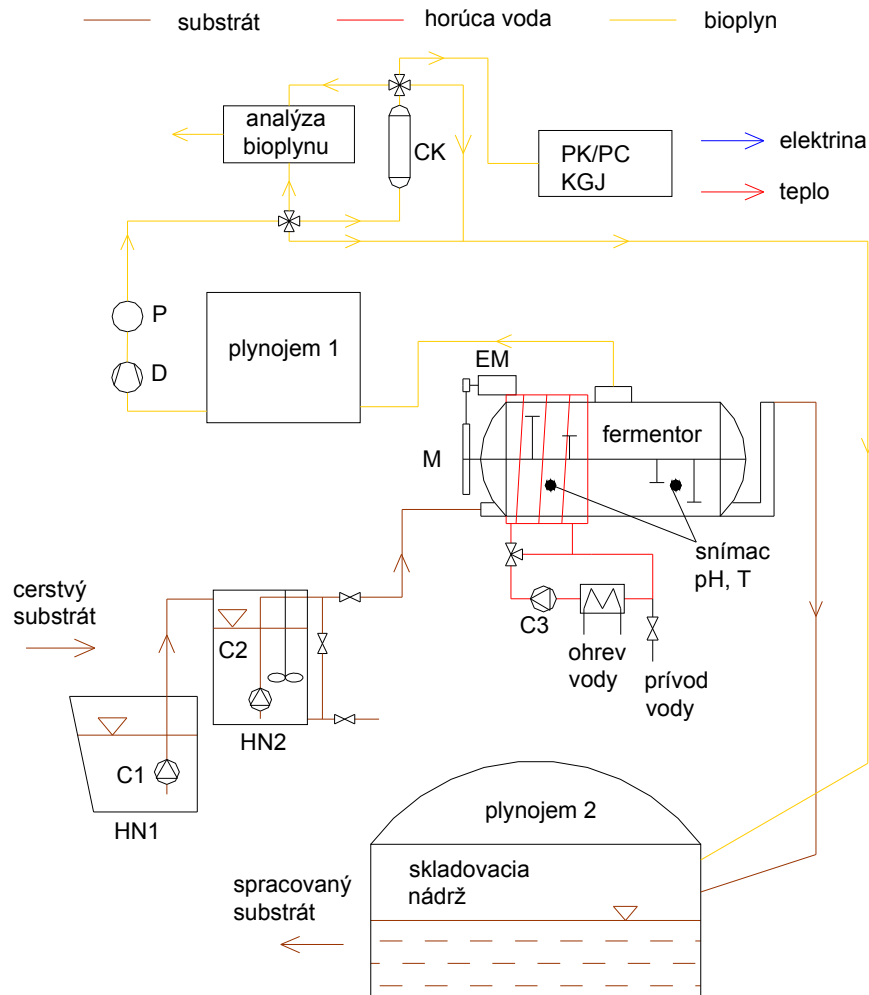
- Popis výskumného zariadenia a prípravy substrátu,
- fázy merania a popis meraných parametrov,
- popis meracích metód,
- spôsob vyhodnotenia nameraných údajov.

3.1 Popis experimentálneho zariadenia a prípravy substrátu

Experimentálne zariadenie na výrobu bioplynu, nachádzajúce sa v Kolíňanoch na Vysokoškolskom poľnohospodárskom podniku Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre (ďalej VPP Kolíňany), bolo navrhnuté s mokrým procesom a kvázikontinuálnym plnením fermentora.

Hlavnými technologickými prvkami, z ktorých celé zariadenie pozostáva, sú dve homogenizačné nádrže, fermentor, flexibilný plynojem a skladovacia nádrž s integrovaným flexibilným plynojemom. Základný substrát, ktorým bude hnojovica z chovu hovädzieho dobytku, sa privádza do homogenizačnej nádrže (HN1), kde sa podľa potreby riedi vodou a dôkladne sa zhomogenizuje pomocou posuvného tangenciálneho propelerového miešadla poháňaného elektromotorom s výkonom 7,5 kW – obrázok 7. Samotná homogenizačná nádrž s objemom 6 m³ je vybudovaná z betónu. Pri fermentácii čistej hnojovice sa vstupný substrát bude pridávať

do fermentora priamo z tejto nádrže. Pri kofermentácii hnojovice s ostatnými substrátmi sa pre prípravu vstupnej zmesi substrátu bude používať ďalšia homogenizačná nádrž (HN2) – obrázok 8.

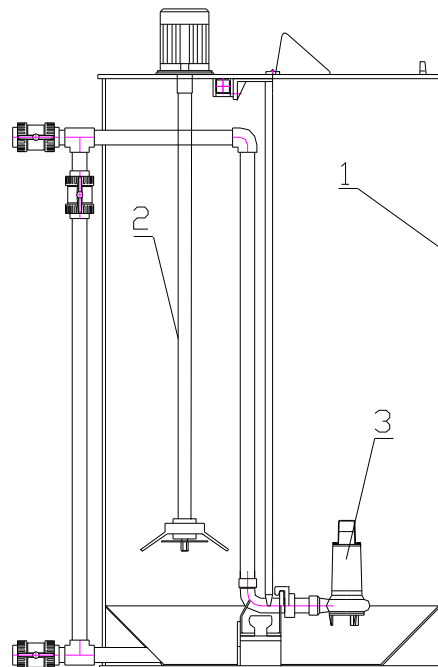


- | | |
|------------------------------|----------------------|
| HN1 – homogenizačná nádrž 1 | D – dúchadlo |
| HN2 – homogenizačná nádrž 2 | P – plynomer |
| C1 – rotačné kalové čerpadlo | CK – čistiaca kolóna |
| C2 – ponorné kalové čerpadlo | M – miešadlo |
| C3 – obehové čerpadlo | EM – elektromotor |
| PK – plynový kotol | PC – palivový článok |
| KGJ – kogeneračná jednotka | |

Obr.6 Funkčná schéma zariadenia na výrobu bioplynu.



Obr.7 Propelerové miešadlo na úpravu vstupného substrátu.



Obr.8 Homogenizačná nádrž pre prípravu zmesi pri kofermentácii.

Homogenizačná nádrž (HN2) s objemom 2 m³ je vyhotovená z polypropylénu. Hnojovica sa do nádrže bude pridávať pomocou kalového čerpadla a kosubstrát sa bude pridávať manuálne. Zmes vstupného substrátu v homogenizačnej nádrži sa mieša pomocou v nádrži napevno osadeného vertikálneho mixéra poháňaného elektromotorom s výkonom 2,2 kW. Pripravená zmes sa do fermentora bude dodávať raz denne v stanovenej dávke $\dot{m}_{s,d}$ (200 až 350 l.d⁻¹) pomocou upraveného ponorného kalového čerpadla umiestneného na dne homogenizačnej nádrže. Experimentálny fermentor – obrázok 9, je vyrobený z ocelevej valcovej nádrže s objemom 5 m³ naležato umiestnenej nad zemou a od okolia tepelne izolovanej sklenenou vatou. Obsah fermentora sa premiešava v pravidelných časových intervaloch (10 krát za deň po dobu 15 min) pomocou pomalobežného horizontálneho lopatkového miešadla s otáčkami 6 min⁻¹.



Obr.9 Experimentálny fermentor.

Doba zdržania substrátu vo fermentore 15 až 20 dní je stanovená na základe empirických údajov získaných z odbornej literatúry. Po pridaní dennej dávky čerstvého substrátu rovnaké množstvo spracovaného substrátu odchádza prepadom fermentora v jeho zadnej časti do skladovacej nádrže. Tvoriaci sa bioplyn sa zhromažďuje v plynovom dome vo vrchnej časti fermentora a vlastným pretlakom je vytláčaný cez rozvodné ocelové potrubie do flexibilného plynojemu s maximálnym objemom 5 m³. Po naplnení plynojemu sa bioplyn pomocou dúchadla prečerpáva ďalej do rozvodnej siete, prechádza biologickým filtrom na odbúravanie sírovodíka

alebo do plynojemu 2. Prečistený bioplyn sa bude spaľovať v palivových článkoch alebo sa bude skladovať vo veľkom flexibilnom plynojeme umiestnenom nad skladovacou nádržou.

3.2 Fázy merania a popis meraných parametrov

Celkové monitorovanie procesu výroby bioplynu v trvaní od 16.júna 2010 do 30.júla 2010 bude rozčlenené do niekoľkých fáz. V každej fáze bude anaeróbnemu rozkladu podrobený iný substrát. V prvej fáze sa použije ako vstupný substrát iba čistá hnojovica z chovu hovädzieho dobytku, ktorý bol ustajnený s podstielkou. V ďalších fázach budú použité rôzne zmesi substrátov, pričom v každom prípade predstavuje hnojovica základný substrát a pridávaná zložka kosubstrát. Trvanie meraní počas jednotlivých pokusov a zloženie použitých zmesí sú uvedené v tabuľke 4.

Pre možnosť porovnania výsledkov z jednotlivých meraní bude nevyhnutné pomocou regulačných prvkov udržiavať približne rovnaké podmienky anaeróbného rozkladu vo fermentore u všetkých substrátov. Regulácia podmienok vo fermentore spočíva v udržiavaní teploty v mezofilnom rozsahu na hodnote 37 ± 3 °C, sledovaní hodnoty pH a možných inhibičných faktorov (obsah mastných kyselín, NH_4^+ , SO_4^{2-}).

Ohrev obsahu fermentora je zabezpečený pomocou horúcej vody prúdiacej dvojitým plášťom fermentora. Regulácia teploty vo fermentore bude zabezpečená pomocou odporového snímača teploty Pt 100, inštalovaného v prvej tretine plášťa fermentora, a servopohonu, ktorý pri prekročení danej teploty uzatvorí ventil prírodného potrubia s horúcou vodou.

Teplota substrátu vo fermentore bude snímaná kontinuálne aj pomocou odporového teplomeru Pt 1000 s digitálnym výstupom zabudovaným v druhej tretine plášťa fermentora. Pri kontinuálnom meraní pH dochádza k častým poruchám meracej sondy, a preto sa ďalej hodnota pH bude pravidelne merať pri odbere vzoriek substrátu z fermentora.

Tab.4 Členenie jednotlivých fáz monitorovania a použité substráty.

Pokus	Použitý substrát	Trvanie meraní Dni
I	100 % vol. hnojovice HD	30
II	80 % vol. hnojovice od ošípaných, 20 % vol. slamnatý maštal'ný hnoj od HD	30
III	80 % vol. hnojovice od ošípaných, 20 % vol. slamnatý maštal'ný hnoj od HD + 25 kg zasilážovaný amarantus	30

3.2.1 Analýza bioplynu

Analýza zloženia bioplynu sa bude robiť dvakrát denne pomocou analyzéro plynu MADUR GA-21 Bio plus .

Merané zložky bioplynu pomocou analyzéro plynu MADUR GA-21 Bio plus:

- Metán **CH₄** (% vol.) – infračerveným dvojlúčovým snímačom,
- oxid uhličitý **CO₂** (% vol.) - infračerveným dvojlúčovým snímačom,
- kyslík **O₂** (% vol.) – elektrochemicky,
- sírovodík **H₂S** (ppm vol.) – elektrochemicky.

Denná produkcia bioplynu V_{BP} ($m_N^3 \cdot d^{-1}$) sa bude merať pomocou klasického plynomeru a zaznamenávať sa bude raz denne. Pre možnosť porovnania produkcie bioplynu pre jednotlivé fázy experimentu sa bude zaznamenávať aj teplota bioplynu v plynojeme, aby bol možný prepočet produkcie bioplynu pri referenčnej teplote 0 °C.

Z dennej produkcie bioplynu sa vypočíta hodinová produkcia bioplynu $\dot{V}_{BP,h}$ vzťahnutá na 1 m³ objemu fermentora:

$$\dot{V}_{BP,h} = \frac{V_{BP}}{V_F \times 24}, \quad m_N^3 \cdot m^{-3} \cdot h^{-1} \quad (1)$$

V_F – objem fermentora, m³

V_{BP} – denná produkcia bioplynu, m³·d⁻¹

Obsah metánu vo vyprodukovanom bioplyne bude smerodajným parametrom pre výpočet jeho výhrevnosti ako aj pre stanovenie energetického výkonu experimentálneho zariadenia na výrobu bioplynu. Obsah sírovodíka je dôležitý hlavne z hľadiska ďalšieho využitia bioplynu. Maximálna prípustná hodnota obsahu H₂S pri spaľovaní bioplynu v kogeneračnej jednotke sa zvyčajne pohybuje okolo hodnoty 1,5 g.m³ alebo 100 ppm. Sledovanie obsahu vodíka v bioplyne má najmä kontrolnú funkciu, pretože jeho výskyt v bioplyne je veľmi dobrým indikátorom nestability procesu. Zvýšený obsah dusíka a kyslíka zasa svedčia o nežiaducom primiešavaní vzduchu do bioplynu.

3.2.2 Analýza vstupného substrátu

Analýza vstupného substrátu sa v každej fáze experimentu bude robiť 3 až 5 krát týždenne. Stanovované budú nasledovné parametre:

- Chemická spotreba kyslíka **CHSK** (mg.l⁻¹) – stanovovať sa bude fotometricky,
- obsah síranov **SO₄²⁻** (mg.l⁻¹) – stanovovať sa bude fotometricky,
- obsah celkového dusíka **N_{celk}** (mg.l⁻¹) – stanovovať sa bude fotometricky,
- obsah suchej hmoty **% SH** (%) – stanovovať sa bude pomocou sušínových váh.

Organické zaťaženie fermentora **OZF** sa bude zisťovať výpočtom podľa vzťahu:

$$OZF = \frac{CHSK \text{ (kg.m}^{-3}\text{)} * D_D \text{ (m}^3\text{)}}{V_F \text{ (m}^3\text{)} * 24}, \quad \text{kg CHSK.m}^{-3}\text{.d}^{-1} \quad (2)$$

V_F - objem fermentora

D_D - denná dávka čerstvého substrátu.

Chemická spotreba kyslíka (CHSK) substrátu udáva množstvo kyslíka potrebné na úplnú oxidáciu organických látok obsiahnutých vo vzorke substrátu na CO_2 a H_2O . Z hodnoty CHSK je možné stanoviť teoretickú výťažok bioplynu z daného substrátu. Skutočná produkcia bioplynu je však závislá od podmienok anaeróbného rozkladu, od zloženia substrátu alebo od inhibičných faktorov. Redukciou SO_4^{2-} metabolickou činnosťou sulfát-redukujúcich baktérií vzniká sírovodík. Premnoženie týchto baktérií vďaka vysokej koncentrácii síranov v substráte môže pôsobiť inhibične na produkciu metánu, pretože sulfát-redukujúce baktérie si konkurujú s metanogénnymi o disponovanie vodíkom.

3.2.3 Analýza vzoriek substrátu z fermentora

Vo vzorkách substrátu z fermentora sa budú stanovovať nasledovné parametre:

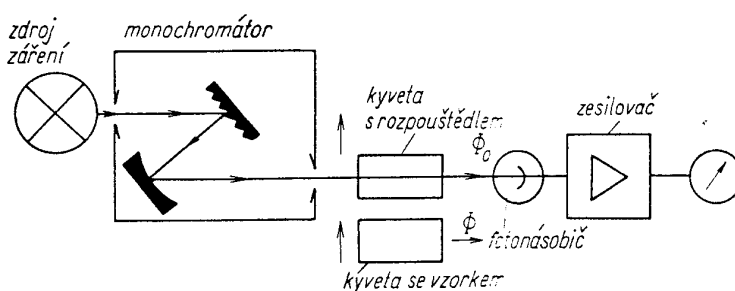
- Amoniakálne ióny NH_4^+ (mg.l^{-1}) – stanovovať sa budú fotometricky,
- hodnota **pH** – merať sa bude laboratórne pomocou pH sondy,
- teplota substrátu **t** ($^\circ\text{C}$) – merať sa bude kontinuálne pomocou odporového teplomera Pt 1000 s digitálnym výstupom zabudovaného do fermentora,
- obsah suchej hmoty **SH** (%) – stanovovať sa bude pomocou sušínových váh,
- organická suchá hmota **OSH** (% , % SH) – stanovovať sa bude žiňaním v muflovej peci.

Sledovanie koncentrácie mastných kyselín je dôležité z hľadiska inhibičného účinku pri ich vysokých koncentráciách. Pre vysokú tlmivú kapacitu živočíšnych exkrementov sa zvýšený obsah mastných kyselín vo fermentore nemusí prejavíť poklesom hodnoty pH, a preto je vhodné sledovať aj koncentráciu týchto kyselín v odoberaných vzorkách. Zvýšená koncentrácia NH_4^+ môže viesť k zvýšeniu hodnoty pH, čo môže pôsobiť inhibične na metanogénne baktérie. Podľa literárnych prameňov bol inhibičný efekt pozorovaný pri koncentrácii amoniakálnych iónov NH_4^+ nad 2 500 mg.l^{-1} . Toxicita NH_4^+ sa prejavila až nad hodnotami 12 000 mg.l^{-1} , pričom obsah voľného amoniaku nebol vyšší ako 80 až mg.l^{-1} (Hani, 1998).

3.3 Popis použitých meracích metód pri meraní jednotlivých parametrov

3.3.1 Meranie na fotometri

Fotometria predstavuje jednoduchú a pomerne presnú metódu pre stanovenie obsahu látok vo vodných roztokoch. Látka nachádzajúca sa vo vodnom roztoku reaguje s testovacou sadou reagentov pričom vzniká farebne sa javiaci produkt. Zafarbenie je spôsobené absorpciou svetla určitej vlnovej dĺžky zo spektra bieleho svetla (s výnimkou pre zisťovanie síranov, kde sa meria zákal tekutiny). Fotometrické meranie sa zvyčajne robí pri vlnovej dĺžke, ktorá je najviac ovplyvnená farbou produktu. Fotometer sníma intenzitu svetla, ktoré prejde meracou kyvetou pred aj po kontaminácii jej obsahu vzorkou. Kalibračná krivka pre vyhodnotenie nameraných hodnôt sa získa premeraním rady roztokov so známym obsahom stanovovanej zložky a vynesím nameraných hodnôt do grafu oproti príslušným obsahom zložky. Dáta sú potom uložené do pamäte fotometra a použijú sa na výpočet, zobrazenie a zaznamenanie koncentrácie stanovovanej látky.



Obr.10 Schematické znázornenie princípu fotometra.

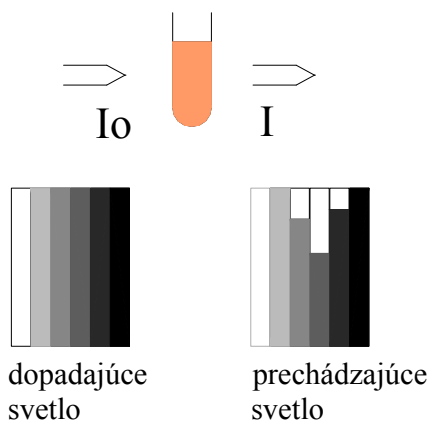
Na výber vhodnej vlnovej dĺžky z celého spektra bieleho svetla volfrámovej halogénovej lampy sa používa interferenčný filter alebo iný druh monochromátora.

Pre charakteristiku intenzity absorpcie svetla môžeme použiť transmitanciu T (priepustnosť) svetla:

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (3)$$

I_0 – intenzita dopadajúceho svetla pred kontamináciou meracej kyvety vzorkou

I – intenzita svetla po kontaminácii meracej kyvety vzorkou



Obr.11 Prechod svetla meracou kyvetou.

Ak roztok so vzorkou úplne absorbuje svetlo, bude $T=0$, v prípade nulovej absorbancie bude $T=1$. Na posúdenie miery absorpcie svetla sa zvyčajne používa absorbancia A , ktorá priamo súvisí s koncentráciou absorbujúcej látky v roztoku. Medzi transmitanciou a absorbanciou platí nasledovný vzťah:

$$A = -\log T \quad (4)$$

Vzťah pre stanovenie závislosti medzi absorbanciou a koncentráciou zisťovanej látky sa nazýva Lambertov - Beerov vzťah a môže sa použiť iba pre zriedené roztoky:

$$A = \epsilon_{\lambda} \cdot c \cdot d \quad (5)$$

ϵ_{λ} - molárny absorpčný koeficient, $\text{mol} \cdot \text{cm}^{-1}$

c – koncentrácia látky, $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$

d – hrúbka kvety, cm

Chyby merania sa pri práci s fotometrom pohybujú do 5 %. Hlavným problémom pri použití fotometra na stanovenie obsahu jednotlivých látok je príprava vzorky, ktorá je náročná na čas. Môžu sa stať 3 veci, spôsobené zlou prípravou vzorky, ktoré vedú k chybným výsledkom:

- Vzorka má rovnakú farbu, aká môže vzniknúť v dôsledku chemickej reakcie vzorky s reagentom,
- farba meranej matrice je príliš intenzívna a prekryva meranie zafarbenia pri chemickej reakcii,
- zriedenie nie je urobené presne a výsledky preto nie sú presne prepočítané.

Z týchto dôvodov je veľmi dôležitá presná práca a príprava bezfarebných a čírych vzoriek. Vzorka sa musí najprv dobre zhomogenizovať v zmysle získania reprezentatívnej vzorky tak, aby ju bolo možné odobrať pipetou. Ďalší postup

po homogenizácii (odstreďovanie, filtrácia a pod.) vyplýva z charakteru stanovovanej látky. Vzorka sa podľa potreby riedi v presných pomeroch. Miera zriedenia závisí v prvom rade od meracieho rozsahu testovacej sady a koncentrácie meranej látky vo vzorke (toto platí pre všetky merané parametre), a v druhom rade od potrebného zriedenia pre získanie číreho roztoku.

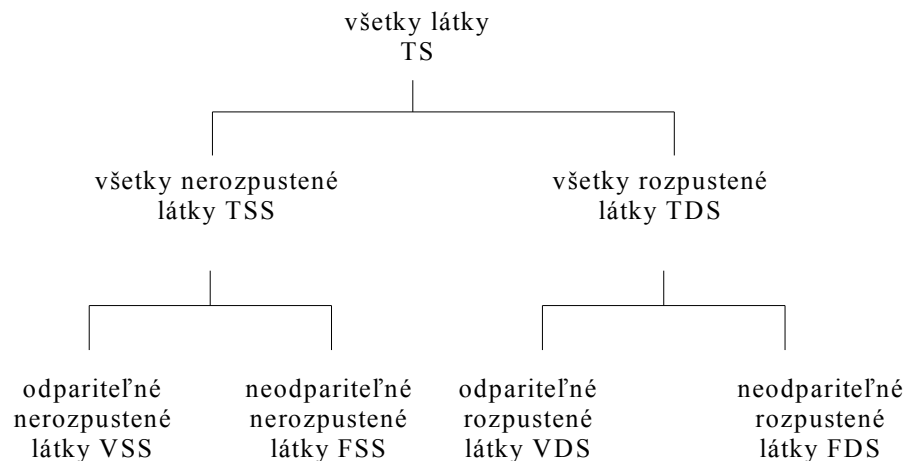


Obr.12 Použitý fotometer PhotoLab S12 od firmy WTW.

Prostredníctvom fotometra PhotoLab S12 od firmy WTW sa stanovovali nasledovné parametre: amoniakálne ióny NH_4^+ , celkový dusík N_{celk} , sírany SO_4^- a chemická spotreba kyslíka **CHSK**.

3.3.2 Stanovenie obsahu suchej hmoty a suchej organickej hmoty

Všetky tuhé látky, obsiahnuté v substráte, ktorý je vlastne vodným roztokom, je možné rozdeliť na látky rozpustené a nerozpustené. Schéma rozdelenia všetkých tuhých látok obsiahnutých v substráte je znázornená na obrázku 13.



Obr.13 Rozdelenie všetkých tuhých látok obsiahnutých v substráte.

Za jednotlivými zložkami na obrázku 13 sú uvedené skratky podľa medzinárodného označenia v angličtine.

Pre stanovenie obsahu suchej hmoty (všetky tuhé látky) a organickej suchej hmoty (odpariteľné nerozpustené látky) bude použitá gravimetrická metóda podľa normy DIN 38 414.

Pri stanovení obsahu suchej organickej hmoty a straty žíhaním je postup nasledovný:

Do vopred vyžíhanej a zvaženej misky sa dá dobre zhomogenizovaná vzorka, ktorá sa zváži a suší sa pri 105 °C až pokým nie je hmotnosť konštantná. Na sušenie vzorky budú použité sušinové váhy KERN MLB 50-3, ktoré umožňujú zobrazenie obsahu suchej hmoty aj digitálne. Tuhý zvyšok po odčítaní váhy misky reprezentuje koncentráciu celkovej sušiny v substráte.

Výpočet koncentrácie suchej hmoty % SH:

$$SH = \frac{(m_C - m_M)}{m_V} * 100, \quad \% hm \quad (8)$$

m_C - hmotnosť misky s odparkom, mg

m_M - hmotnosť misky, mg

m_V - hmotnosť vzorky pred sušením, mg



Obr.14 Sušínové váhy KERN MLB 50-3.

Stratu žíhaním zistíme tak, že tuhý zvyšok získaný zo stanovenia obsahu suchej hmoty podrobíme žíhaniu v muflovej peci pri teplote 550 °C po dobu 1 hodiny. Zvyšok sa po schladení v exikátore odváži a stratu žíhaním vypočítame nasledovne. (DIN 38 414)

Výpočet straty žíhaním ako podiel z mokrej vzorky:

$$OSH = \frac{(m_A - m_B)}{m_V} * 100, \quad \% hm. \quad (9)$$

alebo ako podiel zo suchej hmoty:

$$OSH = \frac{(m_A - m_B)}{m_A} * 100, \quad \%SH \quad (10)$$

m_A - hmotnosť tuhého zvyšku pred žiňaním, resp. po sušení, mg

m_B - hmotnosť tuhého zvyšku po žiňaní, mg

m_V – hmotnosť vzorky pred sušením, mg



Obr.15 Muflová pec.

3.3.3 Meranie analyzéróm plynu MADUR GA-21 Bio plus

Pomocou analyzérú plynu Madur GA-21 Bio plus sa bude stanovovať jeden krát denne obsah metánu a oxidu uhličitého vo vzorke bioplynu pomocou infračervených absorpčných snímačov (NDIR) a obsah sírovodíka a kyslíka pomocou elektrochemických meracích článkov. Prístroj nasáva analyzovaný plyn v zadaných časových intervaloch prostredníctvom kompresora cez ochranný filter do meracej komory. Pred každým meraním je nasatý vzduch ako referenčný plyn, aby sa presne stanovila nulová hodnota, pretože okolitý vzduch neobsahuje ani metán a ani sírovodík. Pri meraní pomocou infračervených snímačov sa využíva oslabenie svetelného lúča pri prechode vzorkou bioplynu, ktoré je závislé od koncentrácie CH_4 a CO_2 v bioplyne. Oba plyny sú odlišené na základe rozdielnej vlnovej dĺžky absorbovaného svetla.

Výhodou 2-lúčových snímačov je kompenzácia faktorov ovplyvňujúcich výsledok pomocou prídavného referenčného kanála. Bioplyn vďaka svojmu špecifickému zloženiu vplýva na starnutie svetelného zdroja, spôsobuje koróziu optických elementov a znečistenie snímačov, čo významne skracuje životnosť snímačov. Pri kalibrácii snímačov by mali byť teplota a tlak kalibračného plynu približne rovnaké ako je teplota analyzovaného bioplynu.

Pri meraní pomocou elektrochemických snímačov difundujú plyny do elektrolytu snímača, pričom na elektróde dochádza k chemickej reakcii a vzniká elektrický prúd. Veľkosť prúdu je závislá od koncentrácie plynov vo vzorke. Pri používaní elektrochemických snímačov je nutné dbať na to, aby nedošlo k ich znehodnoteniu vplyvom preťaženia príliš vysokou koncentráciou H_2S . (GA-21 plus, 2008)



Obr.16 Analyzér plynu Madur GA21 Bio plus.

4 Vlastná práca

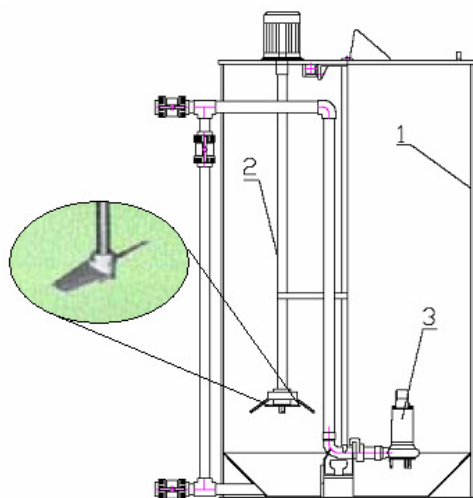
Všetky experimenty s anaeróbnou fermentáciou biomasy zloženej z hnojovice od ošípaných, slamnatého maštalného hnoja a zasilážovaného amaranthusu (v ďalšom označovaná ako „substrát“) boli uskutočňované v prevádzkových podmienkach bioplynovej stanice, kde boli realizované aj chemické analýzy substrátu a rozbor bioplynu.

Ako porovnávací a východiskový biologický materiál pre fermentáciu bol použitý maštalný hnoj od hovädzieho dobytku riedený hnojovicou od ošípaných v objemovom pomere 20 : 80 %, ktorý sa v hlavnej homogenizačnej nádrži mechanicky predpripravoval ponorným vrtuľovým miešačom. Po hrubej homogenizácii hnoja bola denná dávka 250 l substrátu prečerpávaná do experimentálneho fermentora s objemom 5 m³, teda bola dodržaná doba zdržania 20 dní.

Amaranthus pre experimenty bol zasilážovaný po kosbe v plastových vreciach (obr. 17), z ktorých bol pridávaný v množstve 10 kg do malej homogenizačnej nádrže do základnej zmesi pozostávajúcej s 20 % obj. maštalného hnoja a 80 % obj. hnojovice od ošípaných. V tejto nádrži vždy pred dávkovaním sa substrát rozmiešal vrtuľovým miešačom v trvaní 30 minút (obr. 18). Denná dávka sa prečerpávala z tejto nádrže pomocou kalového čerpadla do malého fermentora.



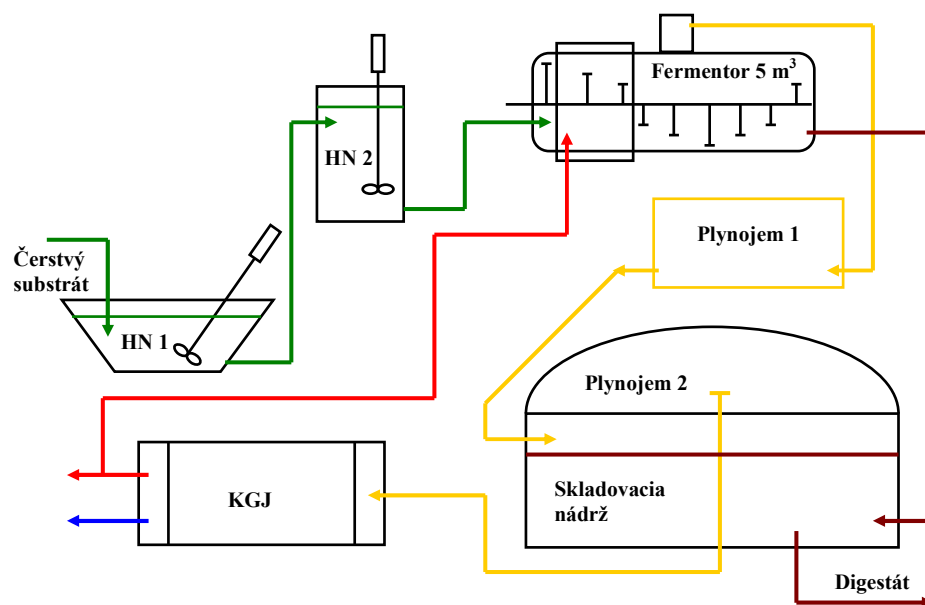
Obr.17 Zasilážovaný amaranthus v plastových vreciach.



1 – nádrž, 2 – vrtuľový miešač, 3 – kalové čerpadlo

Obr.18 Schéma zariadenia na úpravu substrátu.

Celkové usporiadanie experimentálneho zariadenia je vidieť na obr. 19, kde sú znázornené hlavné časti a tok substrátu, bioplynu a vody pre ohrev.



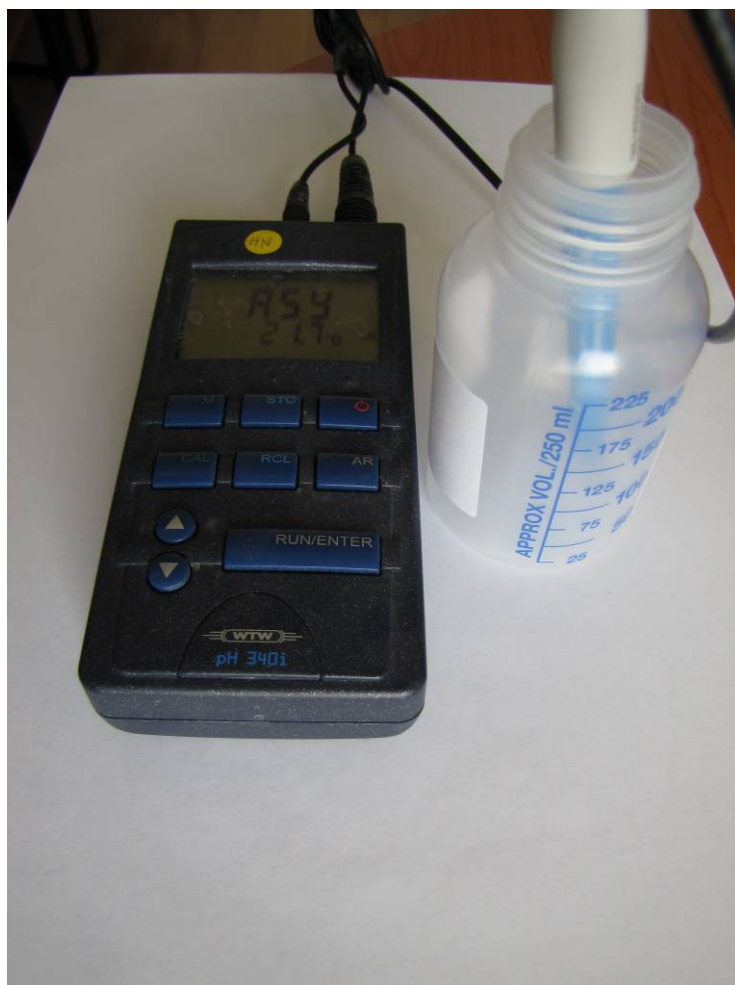
HN1 – veľká homogenizačná nádrž 8 m³

HN2 – malá homogenizačná nádrž 1,6 m³

KGJ kogeneračná jednotka

Obr.19 Celkové usporiadanie experimentálneho zariadenia.

Experiment bol realizovaný v čase od 16. júna do 30. júla 2010. Pri experimentoch sa zvolila rovnaká doba zdržania ako s referenčným biologickým materiálom (hnojovica + maštal'ný hnoj) teda 20 dní, čo predstavovalo tiež dennú dávku 250 l substrátu. Pred denným dávkovaním substrátu bola vždy stanovovaná teplota a hodnota pH digitálnymi meradlami (obr. 20).



Obr.20 Meranie pH a teploty substrátu.

Fermentor je základným technologickým zariadením pre proces výroby bioplynu. Pre potreby testovania bol použitý experimentálny horizontálny fermentor o objeme 5 m³, pracujúci v mezofilných podmienkach 38-40°C. Obsah fermentora sa v pravidelných intervaloch uvádzal do pohybu lopatkami pomalobežného miešača. Baktériami tvorený surový bioplyn z fermentora sa akumuloval v malom plynojeme, odkiaľ bol prečerpávaný cez merač objemu plynu do veľkého plynojemu, umiestneného nad konečnou skladovacou nádržou.

Pohľad na experimentálny fermentor s malým flexibilným plynojedom a meraním vyprodukovaného množstva bioplynu je vidieť na obr. 21.



Obr.21 Experimentálny fermentor s plynojedom.

Hlavnými zisťovanými parametrami bolo množstvo vyprodukovaného bioplynu (BP) vo vyjadrení jeho špecifickej produkcie (m³/m³.d) na jednotku objemu fermentora, obsah metánu (CH₄) a ostatných zložiek bioplynu (CO₂, O₂ a H₂S). Bola realizovaná pravidelne, dvakrát týždenne aj chemická analýza substrátu, pričom sa zisťovali hodnoty chemickej spotreby kyslíka, obsah dusíka, sulfátov a sušina. Pre potreby procesu fermentácie boli sledované aj hodnoty pH, organické zaťaženie fermentora

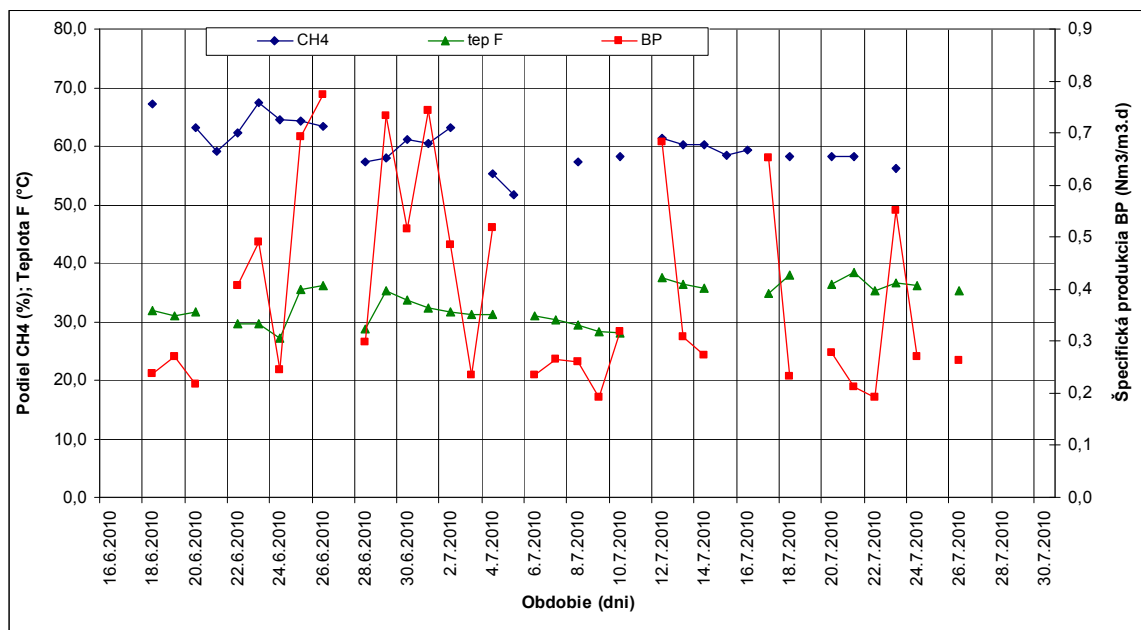
a teploty substrátu vo fermentore a homogenizačnej nádrži. Podiel jednotlivých zložiek (CH_4 , CO_2 , O_2 a H_2S) v surovom bioplyne bol zisťovaný analyzátorom plynu MADUR GA-21 Bio plus (obr. 22). Meranie bolo realizované raz denne.



Obr.22 Meranie analyzátorom bioplynu MADUR.

4.1 Výsledky práce

Obsah pôvodnej biomasy vo fermentore sa postupne pridávaním dennej dávky sledovaného substrátu (250 l) znižoval a ako vidieť z grafu Obr. 23 mierne klesal obsah metánu (prvých 20 dní). V tom čase, ale bola porucha na bioplynovej stanici a teplota vo fermentore sa pohybovala okolo 30°C, takže výsledky produkcie bioplynu nie sú úplne korektné a to bolo pravdepodobne aj príčinou silného kolísania produkcie (špecifickej produkcie) bioplynu. Od 26 dňa pokusu už bola teplota vo fermentore na hodnote 36 až 38°C čo sa prejavilo aj v stabilizovaní obsahu metánu cca na 60%. V prvých dvoch dekádach pokusu bol aj veľmi nízky obsah suchej hmoty v substráte, čo tiež mohlo zapríčiniť nízku špecifickú produkciu bioplynu. Priemerné hodnoty sledovaných parametrov sú uvedené v tabuľkách Tab.5 a Tab. 6.



Obr.23 Priebeh sledovaných parametrov pri fermentácii substrátu.

Podľa experimentov Mockaitisa, účinnosť odstraňovania COD nad 85% možno dosiahnuť pri zdržaní substrátu vo fermentore viac ako 5 dni a pri OZR menej ako 10 kg COD.m⁻³.d⁻¹. Úplná premena VFA na metán však vyžaduje zdržanie substrátu vo fermentore viac ako 10 dni (Mockaitis *et al.*, 2006). Z tab. 5 je vidieť prítomnosť

amoniaku vo vysokom zastúpení. Vstupný substrát (hnojovica+hnoj+amaranthus) vykazoval pomerne nízku hodnotu organicky rozložiteľnej sušiny (OTS = 61,64 %TS).

Tab. 5 Priemerné hodnoty sledovaných parametrov a chemického zloženia substrátov.

Parameter	Jednotka	Vzorky substrátov	
		MHN	Fermentor
pH	-	6,56	7,48
Teplota	°C	20,00	34,2
TS	%	3,58	6,10
VSS	%		3,55
OTS	%TS		61,64
COD	mg/l	35625	
Ntot	mg/l	148	
NH ₄	mg/l		1481
SO ₄	mg/l	378	
Fe	mg/l		5,04

TS – obsah sušiny; VSS – strata žiháním; OZF – organické zaťaženie fermentora; COD – chemická spotreba kyslíka; Ntot – celkový dusík; NH₄⁺ - amóniové ióny; SO₄²⁻ - síranové anióny; Fe – obsah železa.

Počas celého testovacieho obdobia bolo analyzátorom plynu sledované aj zloženie bioplynu. Prehľad dosahovaných priemerných hodnôt podľa percentuálneho zastúpenia sú uvedené v tabuľke Tab. 6. Priemerný obsah sírovodíka, ktorý je v bioplyne nežiaducou zložkou, dosahoval veľmi prijateľných hodnôt (v priemere 752,3 ppm), čo bola približne polovičná hodnota ako pri referenčnom substráte. Veľmi dobré hodnoty a po stabilizovaní teploty vo fermentore aj veľmi stabilné vykazoval aj obsah metánu (v priemere 61,0%).

Tab. 6 Porovnanie priemerných parametrov produkcie bioplynu zo substrátu a referenčnej biomasy (hnojovica a maštal'ný hnoj).

Materiál	CH ₄	H ₂ S	CO ₂	Prod. BP	Špecifická prod. BP	Výt'azok BP	OZF	Prod. BP
	obj. %	Ppm	obj. %	Nm ³ /h	Nm ³ /m ³ .d	Nm ³ /kg oTS	kg COD/m ³ .d	Nm ³ /d
Substrát (10 kg amaranthus)	61,0	752,3	39,6	0,096	0,462	0,260	1,781	2,304
Hnojovica:MH (80:20) obj.%	60,8	1343	31,2	0,262	1,260	0,711	4,900	6,288

TS – obsah sušiny; VSS – strata žíhaním; OZF – organické zaťaženie fermentora; COD chemická spotreba kyslíka; Ntot – celkový dusík; NH₄⁺ - amóniové ióny; SO₄²⁻ - síranové anióny; Fe – obsah železa.

V porovnaní sledovaných parametrov s dosiahnutými hodnotami z hnojovice s maštal'ným hnojom, je evidentný kvantitatívny pokles produkcie bioplynu, čo mohla spôsobiť už spomínaná porucha v ohreve fermentora.

5 Záver

Vyrovnaná produkcia oxidu uhličitého s jeho spotrebou je nepopierateľnou potrebou pre zamedzenie tvorby skleníkových plynov a zamedzenie globálnych zmien, ktoré majú vplyv na celú našu planétu. Získavanie energie z biomasy nám umožňuje kontrolovať produkciu oxidu uhličitého vďaka schopnosti rastlín, pôvodcov biomasy, ho opäť spotrebúvať a tým uzavrieť jeho cyklus v prírode a to vo veľmi krátkom časovom rozpätí.

Z poznania súčasného stavu používania bioplynu je zrejmé, že vývoj a investície smerujú k využitiu potenciálu ktorý sa skrýva v biomase a jej spracovaní pre energetické účely. Vládne organizácie po celom svete vytvárajú smernice, zákony a v neposlednom rade aj tok peňazí, ktoré podporujú využívanie biomasy v celosvetovom meradle. Táto podpora plynie z presvedčenia a dlhodobých výskumov vedeckých tímov a ich projektov pracujúcich a dokladujúcich potenciál bioenergie, ktorý je z tohto pohľadu nepopierateľný.

Palivom z biomasy už dnes nemožno označiť len “monokulturálne” prírodné zdroje, akými sú drevené palivá, alebo jednozložkové zmesi biomasy. Dnešným trendom je práve kombinácia rôznych druhov zdrojov biomasy a využitie jej maximálneho potenciálu pre získanie energie práve vďaka tomuto zoskupovaniu jej rôznych pôvodov.

Spôsob, či technologický postup, premeny biomasy na energiu, je nemenej významná súčasť výskumu využitia potenciálu bioenergie, ktorou sa zaoberajú vedecké tímy spolu so samotným napredovaním tvorby biopalív. V súčasnosti sa na premenu biomasy využívajú systémy pri ktorých biopalivo premieňame na kombinácie elektrickej, tepelnej a mechanickej energie. To len potvrdzuje, že dnešný prístup vedie k efektívnemu a dokonalejšiemu využitiu bioenergie.

Na základe získaných výsledkov z tejto diplomovej práce je možno vysloviť záver a potvrdiť, že výskum a kombinácia zdrojov biomasy má z hľadiska efektívnosti a využiteľnosti biomasy svoje opodstatnenie a význam. Konkrétne testovaná biomasa - zasiláňovaný amaranthus je, na základe týchto výsledkov, použiteľná na produkciu bioplynu anaeróbnou fermentáciou ale za účelom dosiahnutia objektívnych záverov o možnom účinnom a komerčnom použití bude potrebné experimenty opäť zopakovať a vyhodnotiť pre spresnenie, alebo potvrdenie výsledkov.

6 Zoznam použitej literatúry

A Brief History of Biogas . 2010 [online] Glen Osmond Južná Austrália: The University of Adelaide, aktualizované 2010. [cit. 2010-11-06]. Dostupné na: <<http://www.adelaide.edu.au/biogas/history/>>.

Biogas Barometer – JULY 2008 . 2008 [online] Francúzsko: Observatoire des énergies renouvelables, aktualizované 2010. [cit. 2010-11-01]. Dostupné na: <http://www.eurobserv-er.org/pdf/baro186_a.pdf>.

BODÍK, Igor. a i. 2008. *Zvyšovanie produkcie bioplynu a výroby elektrickej energie na komunálnych ČOV*. Bratislava : FCHPT STU, 2008. 8 s.

DIN 38414 German standard methods for the examination of water, waste water and sludge; sludge and sediments (group S); determination of the amenability to anaerobic digestion (S 8), B. m. : B. v. ca. 1985

DOHÁNYOS, M. *et al.*: *Anaerobní čistírenské technologie*. Brno: NOEL 2000, 1998.

Ebenezer Rajkumar Abraham, Sethumadhavan Ramachandran, Velraj Ramalingam. *Biogas: Can It Be an Important Source of Energy?*. In: *Environmental Science and Pollution Research*, 2007, č.14, s. 67-71, ISSN: 0944-1344

GA-21 PLUS. 2008 [online] Veinna : madur electronics, aktualizované 2008. [cit. 2011-03-26].

Dostupné na: <http://www.madur.com/mdcom/Sites_GB/contact/gcontact.html>.

HESTER, R.E. – HARRISON, R.M. . 2003. *Sustainability and Environmental Impact of Renewable Energy Resources*. The Royal Society of Chemistry, 2003. s. 142
ISBN 0-85404-290-3.

JANÍČEK, František – DARUĽA, Ivan – GADUŠ, Ján a i. 2007. *Obnoviteľné zdroje energie 1, Technológie pre udržateľnú budúcnosť*. Pezinok : Renesans, s.r.o. , 2007. s. 176. ISBN 978-80-969777-0-3,.

KAPLAN, M.: *Wiley Electrical and Electronics Engineering Dictionary*. John Wiley & Sons, 2004. s. 885. ISBN: 978-0-471-40224-4

KELLY, Regina Anne. 2007. *Energy supply and renewable resources*. Infobase Publishing, 2007. s. 406. ISBN 10: 0-8160-6768-6, ISBN 13: 978-0-8160-6768-8

KOŠÍK, L. – GADUŠ, J.: *Konštrukčné riešenie homogenizačnej nádrže na predspracovanie substrátov*. In: *Nové trendy v konštruovaní a v tvorbe technickej dokumentácie*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2005, s. 64-69. ISBN 80-8069-517-2

MOCKAITIS, G.: *Anaerobic whey treatment by a stirred sequencing batch reactor (ASBR): effects of organic loading and supplemented alkalinity*. In: *Journal of Environmental Management London*, 2006, v. 79, n. 2, p. 198-206. ISSN 0301-4797

SMITH, Paul a i. 2001. *Facilities Engineering and Management Handbook - Commercial, Industrial, and Institutional Buildings*. McGraw-Hill Professional Publishing , 2000. s.1200 . ISBN-10: 007059323X. ISBN-13: 978-0070593237

VÁŇA, J.: *Biomasa pro energii a technické využití*. *Biom.cz*, [online] 25.3.2003. Dostupné na : <<http://biom.cz/index.shtml?x=129197>>.

What is Biogas . 2010 [online] Malmö, Švédsko: Svenskt Gastekniskt Center AB, aktualizované 2010. [cit. 2010-11-01]. Dostupné na: <<http://www.sgc.se/biogasfaq/>>.