

**Využití reaktoru s kalovým mrakem a externím  
separátorem biomasy pro výrobu metanu ze  
substrátu pro BPS**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Katedra:	Aplikovaných rostlinných biotechnologií
Vedoucí práce:	Prof. Ing. Stanislav Kužel CSc.
Autor práce:	Bc. Jakub Živný
Studijní program:	N4101 Zemědělské inženýrství
Studijní obor:	4106T019 Agroekologie

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub ŽIVNÝ**  
Osobní číslo: **Z11631**  
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**  
Studijní obor: **Agroekologie**  
Název tématu: **Využití reaktoru s kalovým mrakem a externím separátorem biomasy pro výrobu metanu ze substrátu pro BPS**  
Zadávající katedra: **Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií**

**Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :**

Cílem práce je provést optimalizaci sestaveného anaerobního reaktoru pro anaerobní digesci substrátu z BPS a navrhnout optimální technologii anaerobní digesce, např. IFBB (Integrated Generation of Solid Fuel and Biogas from Biomass).

Proveďte literární rešerši k zadanému tématu. Seznamte se s metodou stanovení CHSK.

V laboratoři se naučte rutinně stanovit CHSK v různých vzorcích. Podle schématu poskytnutém vedoucím práce sestavte pokusný reaktor. Proveďte porovnání různých režimů práce reaktoru v souladu s metodikou. Odkoušejte funkčnost reaktoru na konkrétním vzorku z BPS (teplota, míchání, inokulace, zatížení reaktoru podle CHSK modelového vzorku). Získané výsledky statisticky vyhodnoťte.

Vypracujte diplomovou práci dle Opatření děkana č. 13 ze dne 18. 12. 2009.

Rozsah grafických prací: tabulky, grafy, obrázky dle potřeby  
Rozsah pracovní zprávy: cca 50 - 60 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

- Wachendorf et al. (2009): Utilization of semi natural grassland through integrated generation of solid and biogas from biomass. I. Effect ... Grass and Forage Science, 64, 2, 132-143; II. Effect ... Grass and Forage Science, 64, 4, 354-363; III. Effect ... Grass and Forage Science, 65, 2, 185-199.
- Richter F. (2010): Impact of sward type, cutting date and conditioning temperature on mass and energy flows in the integrated generation of solid fuel and biogas from semi-natural Grassland. Doctoral thesis University of Kassel Department of Grassland Science and Renewable Plant Resources Witzenhausen.
- Kolář L. a kol. (2010): Agrochemical value of the liquid phase of wastes from fermenters during biogas production. Plant Soil Environ., 56, (1): 23-27.
- Kolář L. a kol. (2008): Agrochemical value of organic matter of fermenter wastes in biomass production. Plant Soil Environ., 54, (8): 321-328.
- Kolář L. a kol. (2009): Labile fractions of soil organic matter, its quantity and quality. Plant Soil Environ., 55, (6): 245-251.
- Straka F. a kol. (2006): Bioplyn - příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových stanic. Gas Praha.
- Schulz H., Eder B. (2004): Bioplyn v praxi. Hel Ostrava.
- Ušťák S. a kol. (2004): Anaerobní digesce BM a komunálních odpadů. CZ BIOM, Praha.
- Kára J. a kol. (2007): Výroba a využití bioplynu v zemědělství. VÚZT Praha, 2007.

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc.  
Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií

Datum zadání diplomové práce: 15. února 2012

Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2013

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentská 19  
370 05 České Budějovice

Ing. Karel Sachý, Ph.D.

proděkan pověřený vedením ZF

L.S.

prof. Ing. Jan, st. Moudrý, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 15. března 2012

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Prof. Ing. Stanislavu Kuželovi CSc. za odborné rady, metodické vedení práce a čas, který mi při její tvorbě věnoval. Dále bych chtěl poděkovat Prof. Ing. Ladislavu Kolářovi DrSc. za metodickou pomoc a Ing. Antonínu Wollnerovi za pomoc při práci v laboratoři.

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platné znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU), elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne

.....

Bc. Jakub Živný

## **Abstrakt:**

Cílem práce bylo porovnat funkci reaktoru s kalovým mrakem a externím separátorem biomasy při různých režimech.

Tento typ reaktoru se používá především v oblasti čištění odpadních vod a v této práci byl navržen pro výrobu bioplynu z biomasy, běžně používané v zemědělských bioplynových stanicích. Reaktorová sestava byla v laboratorních podmínkách sestavena z dostupných skleněných baněk, propojených pryžovými hadičkami a míchacím čerpadlem. Celé zařízení bylo ponořeno do vodní lázně vyhřívané termostatem.

Pro účely této práce byly použity vzorky z bioplynové stanice Týnec u Dobrušky na Mladoboleslavsku. Do reaktoru byla vpravena kapalná část, vzniklá po úpravě metodou IFBB (Integrated Generation of Solid Fuel and Biogas from Biomass). Princip této metody spočívá v separaci kapalné a pevné složky biomasy. Provoz reaktoru probíhal ve třech míchacích režimech: bez míchání, střední míchání, intenzivní míchání. Dále pak proběhlo porovnání provozu při teplotě 40 °C a 53 °C v režimu bez míchání. Toto sledování se provádělo po dobu pěti hodin.

Vzorky se odebíraly každou hodinu a po vysušení se stanovilo  $CHSK_C$  (chemická spotřeba kyslíku), které vyjadřuje stupeň odbourávání organické hmoty.

Z výsledků plyne, že na laboratorním zařízení se režim míchání nijak neprojevil. Ovšem změna teploty ze 40 °C na 53 °C se projevila zvýšeným odbouráním organické hmoty.

## **Klíčová slova:**

biomasa; bioplyn; digestát;  $CHSK$ ; IFBB; reaktor s kalovým mrakem a externím separátorem biomasy

**Abstract:****Abstrakt**

The aim of the study was to compare the reactor with sludge cloud and external separator biomass in different modes.

This type of reactor is principally used in wastewater treatment and in this work was designed for production of biogas from biomass, commonly used in agricultural biogas plants. The reactor assembly was prepared in the laboratory of the available glass flasks, connected by rubber tubing and mixing pump. The entire device was immersed in a water bath heated thermostat.

For the purpose of this work was used samples from biogas Týnec near Dobruška at Mladoboleslavsko. The reactor was injectable liquid portion, formed after adjustment method IFBB (Integrated Generation of Solid Fuel and Biogas from Biomass). The principle of this method consists in separating the liquid and solid components of biomass. Operation of the reactor was carried out in three stirring models: without stirring, medium stirring, intensive stirring. Further, the operation was compared at 40°C and 53 °C in a mode without stirring. This monitoring is carried out for five hours.

The specimens were taken every hour and after drying to COD (determine chemical oxygen demand), which expresses the degree of degradation of organic matter.

The results show that the laboratory device model stirring does not show. However, the temperature change from 40°C to 53°C showed an increased degradation of organic matter.

**Key words:**

biomass, biogas, digestate; COD; IFBB; reactor with sludge cloud and external separator biomass

## Obsah:

1	Úvod.....	9
2	Historie.....	10
3	Bioplyn.....	11
3.1	Charakteristika bioplynu .....	12
3.2	Proces výroby bioplynu.....	13
3.3	Faktory ovlivňující anaerobní rozklad .....	15
3.4	Charakteristika materiálů zpracovatelných anaerobní fermentací ...	18
4	Technologie výroby bioplynu.....	20
4.1	Rozdělení reaktorů .....	20
4.2	Rozdělení podle obsahu sušiny .....	21
4.3	Rozdělení podle dávkování substrátu.....	27
4.4	Vytápění reaktorů .....	28
4.5	Míchání reaktorů .....	29
5	Nakládání s bioplynem .....	30
6	Nakládání s digestátem .....	36
7	Metoda IFBB .....	37
8	Diagnostika procesu.....	42
9	Metodika .....	45
10	BPS Týnec u Dobrovice .....	50
11	Výsledky a diskuze .....	51
12	Závěr .....	56
13	Seznam příloh .....	58
14	Přílohy.....	59
15	Použitá literatura .....	62



# 1 Úvod

O obnovitelných zdrojích energie se v poslední době hovoří čím dál více. Je to způsobeno jednak úbytkem fosilních paliv a jednak zvyšující se produkcí skleníkových plynů, zapříčiněné právě jejich spalováním.

Bioplyn je také zařazen do skupiny obnovitelných zdrojů, ovšem oproti např. fotovoltaickým a větrným elektrárnám, má bioplynová elektrárna řadu výhod. Není závislá na počasí, je stabilní a dá se dobře regulovat. Také díky zvýhodněným výkupním cenám elektrické energie výrazně přispívá do rozpočtu zemědělců, kteří díky tomu mohou efektivněji hospodařit.

V posledních letech probíhala výstavba bioplynových stanic ve velkém rozsahu, což naznačují data České bioplynové asociace. Zatímco v roce 2011 byla celková výroba elektrické energie z bioplynu 868,2 GWh, tak v roce 2012 už to bylo 1406 GWh. V roce 2011 byl podíl bioplynu na obnovitelných zdrojích energie 11,6 % a v roce 2012 to bylo 15,9 %. V současnosti, k datu 31. 12. 2012, je v ČR 481 bioplynových elektráren o instalovaném výkonu 363,24 MW.

V současné době se objevují snahy o zefektivnění celého procesu výroby bioplynu. Jedná se například o efektivnější využití tepelné energie, které je dokonce finančně motivováno výhodnějšími výkupními cenami elektrické energie. Další možností je zvýšení výtěžnosti bioplynu různými způsoby předúpravy biomasy před vstupem do fermentoru a tím zvýšit její rozložitelnost.

Zajímavou možností zefektivnění je tzv. Integrovaná produkce pevných paliv a bioplynu z biomasy (Integrated Generation of Solid Fuel and Biogas from Biomass) zkráceně IFBB, která spočívá v oddělení kapalné a pevné složky. Výhodné je to zejména z důvodu, že látky vhodné pro spalování a nevhodné pro výrobu bioplynu zůstanou v složce pevné a látky problematické při spalování a vhodné pro výrobu bioplynu se převedou do složky kapalné. Z toho vyplývá, že pevnou část můžeme relativně ekologicky spalovat a kapalnou postoupit procesu anaerobní digesce se všemi výhodami, které tato metoda nabízí.

## 2 Historie

Anaerobní organismy produkující metan patří mezi nejstarší živé organismy na Zemi. Ale skutečně věrohodná novodobá historie bioplynu začíná těsně před koncem 19. století. Od roku 1897 byly v anglickém městě Exeter čištěny odpadní vody v uzavřených septicích. Postupy anaerobního zpracování kalů se pak rychle rozšiřují i v USA. Na počátku 20. století vznikl design nových „vyhňivacích“ nádrží. Z roku 1903 jsou známy pokusy W. O. Trávise s kontinuálním uspořádáním, které však nebyly aplikačně příliš úspěšné. Kolem roku 1905 vyvinul K. Imhoff dvouprostorovou nádrž s odděleným usazovacím a „vyhňivacím“ prostorem, která byla patentovaná roku 1907. Principem těchto nádrží byla separace toků kalu a vody tak, že zdržení zachycených kalů je vyšší a sedimentované kaly přitom podlehnou anaerobní fermentaci. Tento typ nádrží se rozšířil pod názvem „Emscherské studny“ nebo „Imhoffovy nádrže či usazováký“. První samotné zařízení pro anaerobní vyhňívání uvedli do provozu O'Shaughnessy a Watson roku 1910 v Birminghamu. Provozně úspěšný reaktor pro anaerobní stabilizaci kalů z čistírny odpadních vod byl navržen a vybudován na čistírně odpadních vod v Essenu-Rellinghausenu v roce 1924. Tento reaktor byl tvořen vyhřívanou nádrží, přičemž k jejímu otopu byl používán vznikající bioplyn. Díky ohřevu byl proces rozkladu kalu přiveden k velmi vysoké intenzitě a tento způsob zpracování vod se začal rychle rozšiřovat. Současně se zhruba od poloviny dvacátých let 20. století začalo rychle šířit i využití bioplynu (tehdy byl většinou nazýván plynem kalovým) k pohonu elektrických motorgenerátorů a pohonu vozidel. Od počátku let třicátých rovněž začíná intenzivní výzkum procesu anaerobní fermentace. Nová vlna zájmu a rozšíření technického poznání je pozorovatelná těsně po skončení 2. světové války. Výzkum metanogenů však také nezapomněl a Marvin P. Bryant uveřejnil v roce 1967 nové základní poznatky o metan produkujících anaerobech. Právě díky M. P. Bryantovi a jeho spolupracovníkům trvale roste naše poznání biometanizace pro lepší kontrolu a řízení technologických procesů. (Straka 2010)

### 3 Bioplyn

S pojmem BIOPLYN se v dnešní době setkáváme poměrně často, ale co to bioplyn vlastně je? Zde uvádím příklad z několika literárních zdrojů.

Bioplyn je produktem procesu metanizace – anaerobního rozkladu organických látek při technologických procesech anaerobní stabilizace kalů, anaerobní čištění odpadních vod, anaerobní stabilizaci agroindustriálních odpadů a skládkových tuhých odpadů. (Dohányos 1996)

Kára (2007) uvádí, že termínem bioplyn lze označovat všechny druhy plyných směsí, které vznikly činností mikroorganismů. Tím je vyjádřeno, že všechny druhy bioplynů anaerobního původu vznikají principiálně stejným způsobem, ať probíhá metanogenní proces pod povrchem země, v zaživacím traktu živočichů, zvláště pak přežvýkavců, ve skládkách komunálních odpadů, v lagunách nebo řízených anaerobních reaktorech.

„Můžeme tedy shrnout, že souhrnný termín „bioplyn“ přiřadila současná technická praxe výlučně pro plyný produkt anaerobní metanové fermentace organických látek uváděné též pod pojmy vyhnívání, anaerobní digesce, biometanizace anebo biogasifikace. V technologii čistírenských odpadních vod se často používá termín „anaerobní stabilizace kalů“ či zkráceně „stabilizace“, přičemž je míněno téměř vždy totéž: anaerobní fermentace.“ (Straka 2010)

V technické praxi se ustálilo používání názvu bioplyn pro plynou směs vzniklou anaerobní fermentací organických látek v umělých technických zařízeních. (Kára 2007)

Slejška a Váňa (2002) doporučují pro označení technologie výroby bioplynu z biologických odpadů používat termín **anaerobní digesce**. Jako další termíny přicházejí v úvahu anaerobní fermentace a anaerobní vyhnívání, protože neexistuje jednotně zavedený termín v rámci ČR ani ve světě (angl. *anaerobic digestion*, něm. *anaerobe Vergärung*, fr. *fermentation anaérobie* ). Termín anaerobní digesce je používán v anglicky mluvících zemích a je jasně definován s minimálními překryvy s jinými významy. Mnohé dokumenty týkající se využívání biologických odpadů jsou pouze v anglickém jazyce, obdobně je tomu u vědeckých a odborných

informací. Termín anaerobní digesce je rovněž nejčastěji používán v české odborné literatuře a má nejméně překryvů s obdobnými technologiemi (alespoň dle průzkumu na českém webu). Jako nevhodné se jeví termíny "anaerobní stabilizace" a "anaerobní zkvašování či kvašení". Anaerobní stabilizace je používána zejména pro čištění odpadních vod a má význam snížení rizikových vlastností daného odpadu. Podobný význam má tento termín v kompostárenství. Jde tedy pouze o označení jednoho aspektu celé technologie. Termín anaerobní kvašení není v oblasti výroby bioplynu z odpadů biologického původu používán. Termín "anaerobní fermentace" je používán v ČR i ve francouzsky mluvících zemích. Tento termín je možné považovat za synonymum anaerobní digesce. Rovněž termín "anaerobní vyhnívání" je v ČR používán a je pro změnu blízký německému *anaerobe Vergärung*.

### 3.1 Charakteristika bioplynu

Princip vzniku bioplynu je ve všech výše zmíněných případech stejný. Ať už jde o zemní plyn, důlní plyn, kalový plyn, skládkový plyn, reaktorový plyn (bioplyn vytvořený v umělých podmínkách). Jeho fyzikální a chemické vlastnosti závisí na materiálových a procesních parametrech. V ideálním případě by bioplyn obsahoval pouze dva majoritní plyny a to metan ( $\text{CH}_4$ ) a oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ). V praxi je však surový bioplyn tvořen směsí dalších minoritních plynů, které mohou signalizovat přítomnost některých chemických prvků v materiálu nebo poruch anaerobní fermentace. (Kára 2007)

Vysoký obsah oxidu uhličitého znamená, že nebyly vytvořeny optimální podmínky pro anaerobní fermentaci. Přítomnost volného kyslíku s výjimkou počáteční fáze procesu může být zapříčiněna zavzdušněním pracovního prostoru. Tento stav je nežádoucí z hlediska tvorby výbušné směsi metanu se vzdušným kyslíkem. V bioplynu se mohou objevit stopy argonu, který je vzdušného původu, amoniaku a oxidu dusného. V případě komunálního odpadu se mohou v bioplynu ze skládky objevit stopy nežádoucích příměsí (například halogenuhlovodíků a jejich derivátů, atd.). Objeví-li se v bioplynu stopy vodíku, není to na závadu jeho energetické kvality, ale svědčí to o narušení rovnováhy mezi acidogenní a metanogenní fází, způsobené nadměrnou zátěží reaktoru surovým materiálem, nebo dochází k inhibičním účinkům potlačujícím rozvoj metanogenních organismů. Stopy oxidu uhelnatého mohou indikovat lokální vznik ložisek požáru při suché anaerobní fermentaci. Tato situace se vyskytuje především na skládkách, nikoli

v reaktorech. Velmi významným minoritním plynem je v některých případech sulfan ( $H_2S$ ) pocházející zpravidla z biochemických procesů při rozkladu proteinů (bílkovin). Obsah sulfanu v bioplynu je velmi proměnlivý. Při zpracování exkrementů z chovu skotu je jeho obsah zanedbatelný, u exkrementů prasat a drůbeže je naopak velmi vysoký, což působí potíže při následném konečném využití bioplynu. (Kára 2007)

### 3.2 Proces výroby bioplynu

Proces výroby bioplynu můžeme rozdělit do čtyř základních částí:

1. fáze – **Hydrolyza** – Začíná v době, kdy prostředí obsahuje vzdušný kyslík. Předpokladem pro její nastartování je mimo jiné dostatečný obsah vlhkosti nad 50 % hmotnostního podílu. Hydrolytické mikroorganismy ještě nevyžadují striktně bezkyslíkaté prostředí. Enzymatický rozklad mění polymery (polysacharidy, proteiny, lipidy, ...) na jednodušší organické látky (monomery).

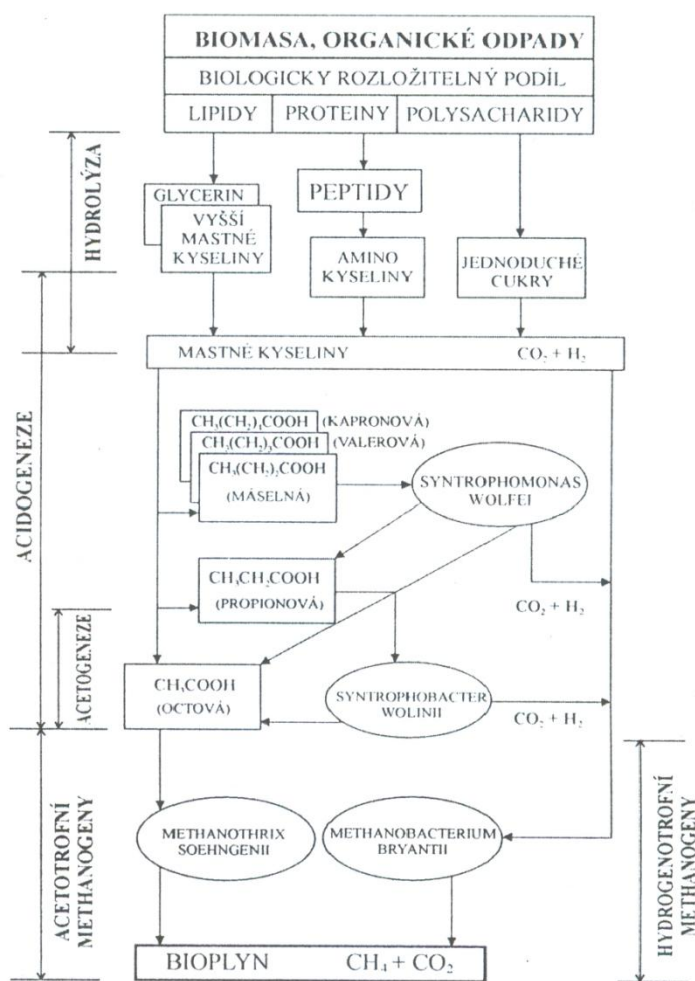
2. fáze – **Acidogeneze** – Zpracovávaný materiál může obsahovat ještě zbytky vzdušného kyslíku, v této fázi však dojde definitivně k vytvoření anaerobního prostředí. Zajistí to četné kmeny fakultativních anaerobních mikroorganismů, které se aktivují v obou prostředích. Vznik oxidu uhličitého, vodíku a kyseliny octové umožňuje metanogenním bakteriím tvorbu metanu. Kromě toho vznikají jednodušší organické látky (vyšší organické kyseliny, alkoholy).

3. fáze – **Autogeneze** – Někdy je označována jako mezifáze. Acidogenní specializované kmeny bakterií transformují vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý.

4. fáze – **Metanogeneze** – Metanogenní autotrofní bakterie rozkládají především kyselinu octovou na metan a oxid uhličitý, hydrogenotrofní bakterie produkují metan z vodíku a oxidu uhličitého. Určité kmeny metanogenních bakterií se chovají jako obojetné. (Kára 2007)

Schematické znázornění vzniku bioplynu je na obrázku 3.1.

Obr. 3.1 Schéma vzniku bioplynu z biologicky rozložitelných odpadů (Brandejsová, Příbyla 2009)



Podle Schulze (2004) probíhají tyto procesy, při kontinuálním plnění organickou hmotou, vedle sebe a nejsou odděleny ani místně ani časově, jak je tomu u většiny bioplynových stanic. Pouze při rozběhu bioplynové stanice, u dávkových (nespojitéch) procesů a u víceúrovňových bioplynových stanic probíhají fáze rozkladu odděleně. Po zahájení provozu stanice může proto trvat několik týdnů, než nastane 4. fáze, tj. tvorba metanu, a než vznikající bioplyn hoří.

Metanogeneze probíhá až pětkrát pomaleji než fáze předcházející. (Mužik a Kára 2009)

### **3.3 Faktory ovlivňující anaerobní rozklad**

#### **3.3.1 Vlhkost**

Metanové bakterie potřebují být zality vodou alespoň z 50 %. (Schulz 2004)

#### **3.3.2 Přístup vzduchu**

Metanové bakterie jsou striktně anaerobní (kyslík, který se dostane do procesu s čerstvým materiálem, nejprve spotřebují aerobní bakterie v první části procesu). (Schulz 2004)

#### **3.3.3 Přístup světla**

Světlo bakterie neničí, ale brzdí proces. (Schulz 2004)

#### **3.3.4 Teplota**

Pro horní mez adaptace mikroorganismů byly zjištěné hodnoty již mnohokrát významně posunovány. Po objevech bakterií žijících v horkých termálních pramenech o teplotách 80 – 100 °C následovaly objevy bakterií žijících v okolí hlubokomořských vývěrů horkých vod v prostředích o teplotách přesahujících 300 °C za tlaků 30 MPa. (Straka 2010)

Teplota ovlivňuje anaerobní digesci stejně jako všechny ostatní biochemické procesy – se zvyšující se teplotou vzrůstá rychlost všech probíhajících procesů. Avšak změnou teploty, a tím i rychlosti probíhajících pochodů, dochází k porušení dynamické rovnováhy procesu. Pro stabilní průběh anaerobního rozkladu je tedy nutné udržovat konstantní teplotu. Běžně se vyskytují tři typické teplotní oblasti, které jednotlivým bakteriálním kmenům vyhovují:

- psychofilní oblast – teploty pod 20 °C
- mezofilní oblast – teploty od 25 do 40 °C
- termofilní oblast – teploty nad 45 °C

(Mužík, Kára 2009)

Rozdělení mikroorganismů do teplotních skupin psychofilů, mezofilů a termofilů není úplně přesné. Různí autoři uvádějí trochu odlišné rozpětí teplot, případně jsou vkládány meziskupiny. Většina v současnosti provozovaných bioplynových stanic pracuje v mezofilní teplotní oblasti. (Mužík, Kára 2009)

Výkyvy teploty působí na celý proces nepříznivě. Schulz (2004) uvádí, že v mezofilní oblasti výkyv 2 až 3 °C bakterie akceptují, v oblasti termofilní by neměl být výkyv více než 1 °C.

Teplota také ovlivňuje kvalitu vzniklého plynu. Během fermentace při vyšších teplotních oblastech je obsah metanu nižší než při fermentaci za nižších teplot. Schulz (2004) tento jev vysvětluje rozdílnou rozpustností, tudíž i rozdílnou produkcí plynného CO<sub>2</sub>. Čím vyšší je produkce CO<sub>2</sub> tím nižší je procentuální produkce CH<sub>4</sub> v bioplynu.

### **3.3.5 Vliv pH**

V průběhu procesu se tento parametr mění. Na začátku převažuje aktivita acidogenů a pH může poklesnout na 4 – 6. Při hodnotách pH menších než 5 se mohou začít objevovat inhibiční látky na některé kmeny metanogenů. Dojde-li však za příznivých podmínek k jejich rozvoji, zvýší svojí aktivitou pH substrátu až na neutrální pH 7. Některé druhy metanogenů jsou schopny se rozvíjet i v silně alkalickém prostředí (pH 8 – 9). V praxi se optimální hodnota pH materiálu na vstupu do procesu upravuje homogenizací směsných materiálů nebo alkalickými přísadami. (Kára 2007)

### **3.3.6 Těžké kovy**

Četné těžké kovy mají na proces principiálně odlišné vlivy. Zatímco jejich nízké koncentrace jsou pro technologii potřebné jako stopově důležité nutriety, nárůst jejich koncentrací nad limitní meze působí inhibičně až toxicky. V praxi se nejvíce vyskytují Cu a Zn. Tyto kovy jsou často ve značných koncentracích přidávány k různým krmným doplňkům. Tyto prvky se dostávají do vstupních substrátů se zbytky krmiv a z exkrementů zvířat. Jejich rozpustné formy působí významnou inhibiční silou, kdy produkce metanu může poklesnout i pod 50 % tvorby za stavu bez inhibice. (Straka 2006)

### **3.3.7 Složení substrátu**

Pro optimální průběh anaerobního rozkladu je nutný správný poměr N a P k organickým látkám – C:N:P = 100:1:0,2, který je vzhledem k pomalému růstu anaerobních mikroorganismů mnohem nižší, než u aerobních procesů. Přítomnost některých stopových prvků (Ni, Co, Mo) zvyšuje metanogenní aktivitu. Zvyšuje růst



anaerobní biomasy a stimuluje její agregaci. Nepříznivě působí vyšší koncentrace těžkých kovů (Cu, Pb, Cr, Zn a j.), dále některé škodlivé oxidanty. Z organických látek negativně působí např. pesticidy, antibiotika, tenzidy, rozpouštědla a další specifické látky. (Dohányos 1996)

### **3.3.8 Rovnoměrný přísun substrátu**

Aby nedošlo k nadměrnému zatížení fermentoru, je třeba zajistit rovnoměrný přísun substrátu. (Mužík, Kára 2009)

### **3.3.9 Míchání substrátu**

Účelem míchání anaerobních reaktorů je udržení homogenního prostředí uvnitř reaktoru. Dohányos (1996) dále také uvádí další účely míchání:

- Míchání zabezpečuje dobrý kontakt aktivní biomasy s přivedeným substrátem, zamezuje místnímu přetížení, zlepšuje odvod reakčních zplodin.
- Mícháním se udržuje stejnoměrná teplota v celém objemu reaktoru, což je důležité k udržení dynamické rovnováhy probíhajících procesů.
- Rychlým rozmícháváním vstupujícího materiálu dochází k minimalizaci vlivu eventuelně přítomných toxických látek.
- Míchání působí proti tvorbě tzv. kalové deky v reaktoru a zamezuje tvorbě sedimentů na dně reaktoru.

V nepromíchávané fermentační nádrži se dá pozorovat po nějaké době segregace obsahu se současným vznikem vrstev, což zapříčiňuje rozdílná hustota jednotlivých částí obsažených látek použitých substrátů. Přitom se velká část bakterií díky vysoké hustotě nachází ve spodní části, zatímco rozkládaný substrát se často hromadí ve vrstvě horní. V takovém případě dochází ke kontaktu pouze v hraničních oblastech a tudíž k malému rozkladu. Navíc se tvoří plovoucí vrstva, která ztěžuje větrání plynu. (Průvodce výrobou a využitím bioplynu 2009)

Míchání je tedy důležitý aspekt procesu anaerobní digesce, ale má smysl míchat obsah reaktoru neustále? Straka (2006) uvádí, že spotřeba energie na míchání anaerobních reaktorů je důležitým faktorem rozhodujícím při volbě míchacího postupu. Jen ve výjimečných případech však jsou míchací systémy provozovány nepřetržitě. Zcela běžné jsou krátké míchací periody a výrazně delší časové úseky, kdy je reaktor v klidu. Pro míchání biometanizačních reaktorů je důležité občasné

přemístění reagující biomasy pro homogenizaci obsahu. Intenzivní a nepřetržité míchání výtěžky plynu vůbec nezvyšuje. Podle některých autorů je prokázáno i dokonce snížení výtěžků plynu při příliš intenzivním míchání. Příčinou snížení výkonu je poškozování vrstevnatých struktur složité skladby vzájemně spolupracujících vrstev mikroorganismů.

Kára (2007) uvádí ve své publikaci, že míchání by mělo postačovat v časovém fondu 5 až 20 %.

Před příliš častým mícháním varuje i Průvodce výrobou a využitím bioplynu (2009), protože především bakterie tvořící kyselinu octovou a bakterie podílející se na vzniku metanu tvoří úzké životní společenství, jež je důležité pro nerušený proces vzniku bioplynu. V nejhorším případě může dojít ke zhroucení procesu.

„Je třeba pečlivě zvolit způsob i periodu míchání podle druhu zpracovávaného organického materiálu tak, aby nebyla získaná energie zbytečně mařena málo účelným mícháním.“ (Kára 2007)

### 3.3.10 Doba zdržení

Doba zdržení v reaktoru po anaerobní stabilizaci kalů má svůj dolní limit stanoven z hlediska dodržení potřebné generační doby metanogenních mikroorganismů, protože při nižší době zdržení, než je generační doba, dochází k vyplavení biomasy z reaktoru. Horní hranice doby zdržení je dána velikostí zatížení a dosažením potřebné účinnosti rozkladu. (Dohányos 1996)

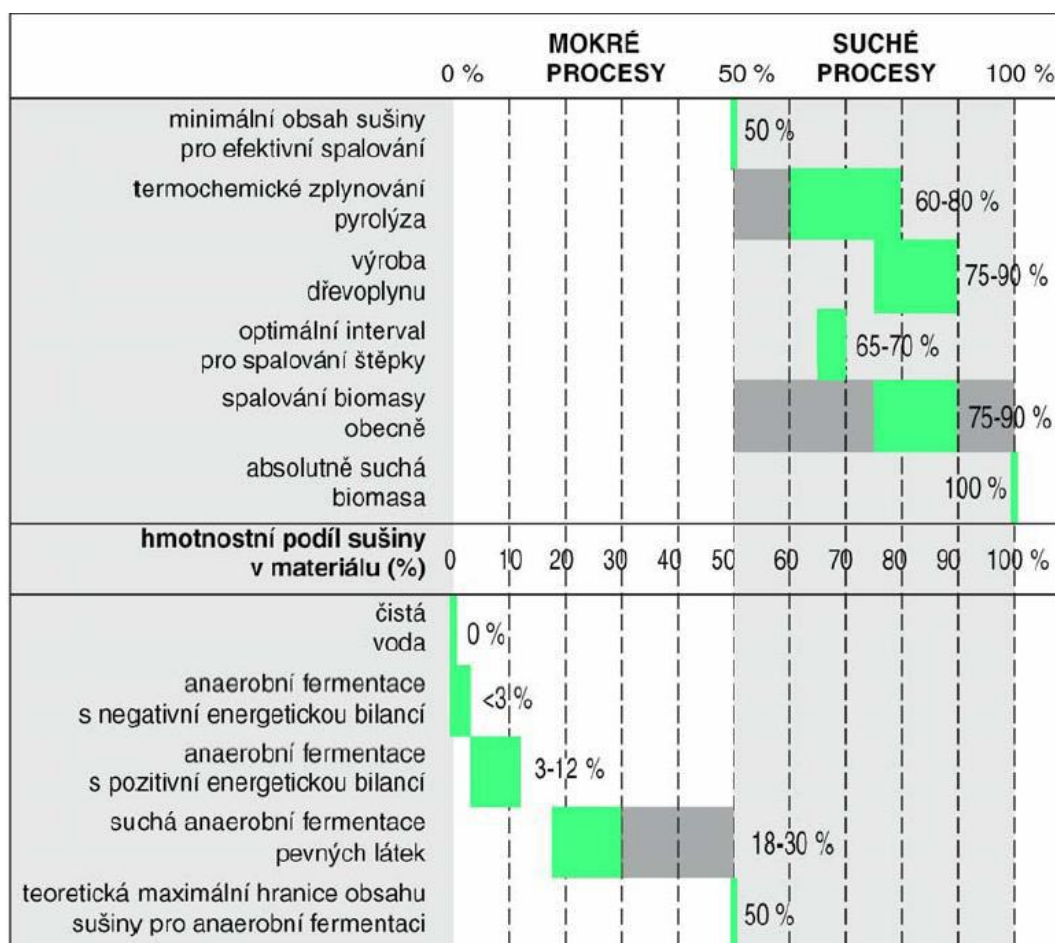
## 3.4 Charakteristika materiálů zpracovatelných anaerobní fermentací

- Nízký obsah anorganického podílu (popeloviny).
- Organický materiál s vysokým podílem biologicky rozložitelných látek.
- Optimální obsah sušiny pro zpracování pevných odpadů je 22 – 25 %, v případě tekutých odpadů 8 – 14 %. Tekuté **odpady s obsahem sušiny menší než 3 % jsou zpracovávány anaerobní fermentací s negativní energetickou bilancí** (proces je udržován na požadované provozní teplotě za předpokladu dodávky doplňkového tepla z externího zdroje). Pozitivní provozní bilance je dosahována zpravidla až při sušině tekutých odpadů vyšší než 3 – 5 %. Horní hranici optimálního obsahu sušiny tekutého odpadu tvoří vždy mez čerpatelnosti

materiálu. Absolutní hranice obsahu sušiny, při které ještě probíhá anaerobní fermentace, je 50 % (obr. 3.2). Heterogenní vlhkost v pevném organickém materiálu způsobuje, že v praktickém provozu je metanogeneze tlumena postupně a nikoli rázově. To je velmi významný faktor mající význam především při zpracování velkých objemů materiálů jako například skládek komunálních odpadů.

- Významným faktorem ovlivňujícím metanogenní fermentaci je pH materiálu. Viz kapitola 3.3:5
- Vhodnost materiálu pro anaerobní fermentaci může být významně narušena nežádoucími příměsemi. Jedná se zpravidla o látky potlačující mikrobiální rozvoj (všechny druhy antibiotik používaných pro léčení nebo jako preventivní součást krmné dávky hospodářských zvířat). Do pracovního prostoru reaktoru bychom také neměli dávat ani materiály, **kteří jsou již v hnilobném rozkladu.**
- Vhodnost materiálu pro anaerobní fermentaci může být narušena jeho předchozím zpracováním nebo manipulací. Dlouhodobým skladováním materiálu, při kterém proběhne proces aerobní fermentace, nebo fyzikálně-mechanickými účinky na materiál, se může narušit následný proces anaerobního zpracování takového „studeného“ materiálu.
- Poměr C:N je důležitý pro dobrý průběh anaerobního procesu. Je-li tento poměr vysoký, dochází k deficitu dusíku. Při nízkém poměru dochází k vysoké produkci amoniaku, který je při vyšších koncentracích toxický pro anaerobní bakterie, zejména metanogeny. Toxicky působí nedisociovaná forma amoniaku, jejíž koncentrace závisí především na pH, s vyšším pH silně vzrůstá. Optimální poměr C:N pro anaerobní fermentaci organické frakce tuhého odpadu se pohybuje okolo 25 až 30, vztaženo na biologicky rozložitelný uhlík, pro anaerobní fermentaci exkrementů hospodářských zvířat nebo jatečních a kafilerních odpadů se za optimální poměr C:N považuje 16 až 19. Za kritický se považuje poměr C:N 12. (Kára 2007, Dohányos 2009)

Obr. 3.2 Materiály vhodné pro anaerobní zpracování (Kára 2007)



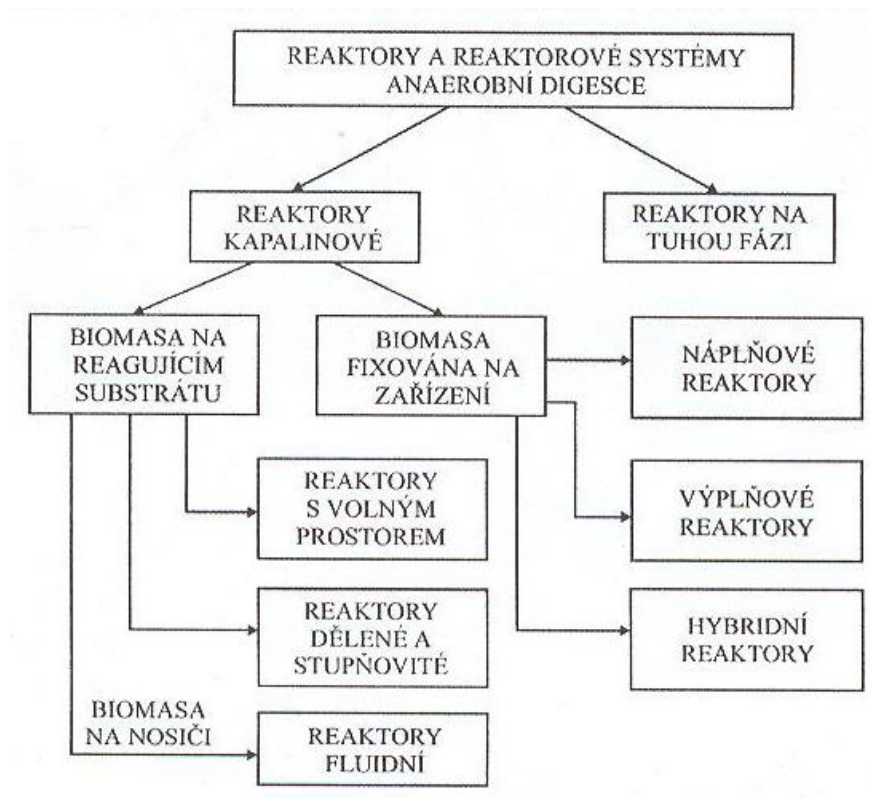
## 4 Technologie výroby bioplynu

Prapůvod anaerobních reaktorů je ale v čištění odpadních vod, kde se bioplyn začal využívat teprve začátkem 20. století. (Straka 2010)

### 4.1 Rozdělení reaktorů

Anaerobní reaktorové systémy můžeme podle způsobu fixace reagující biomasy rozdělit na systémy „prázdné“, tedy reaktory, v nichž je biomasa nesena na reagujícím substrátu (obr. 4.1). Tyto systémy patří mezi reaktory tzv. suspenzní, a kromě míchadel, topných systémů anebo usměrňovacích vestaveb není v reaktorech žádná výplň na rozdíl od systémů, kde je biomasa fixována na náplních či vestavbách reaktorových nádob. (Straka 2010)

Obr. 4.1 Dělení anaerobních reaktorů podle typů a systémů (Straka 2010)



## 4.2 Rozdělení podle obsahu sušiny

V technické praxi se rozdělil proces výroby bioplynu do dvou základních skupin:

- **Reaktory pro „suchou“ fermentaci (pro tuhou fázi)**
- **Reaktory pro „mokrou“ fermentaci (kapalinové)**

Přičemž se jako limitující hodnota rozdělení považuje 16 % sušiny.

Do obsahu 16 % lze materiál ještě čerpat a proces označujeme jako „mokrou“ fermentaci. Pokud hodnota sušiny přestoupí tuto mez, materiál již nelze čerpat, pak toto označujeme jako „suchou“ fermentaci. (Živný 2011)

Z biologického hlediska striktní rozdělení metod na mokrou a suchou fermentaci je zavádějící, neboť bakterie podílející se na fermentačním procesu potřebují pro své přežití tekuté médium. Také při definici obsahu sušiny zfermentovaného substrátu dochází stále znovu k nedorozumění, neboť často je

používáno více substrátů s rozdílnými obsahy sušiny. Bakterie ve svém bezprostředním okolí v obou případech potřebují dostatek vody. (Průvodce výrobou a využitím bioplynu 2009)

#### **4.2.1 Suchá fermentace (reaktory na tuhou fázi):**

##### **Fermentační koš + krycí zvon (systém Žilka):**

VÚZT Praha experimentálně ověřil tyto fermentační jednotky již v roce 1956 a poté i po roce 1984 na několika pracovištích pro zpracování chlévské mrvy a rostlinných zbytků. Tato zařízení byla speciálně vyvinuta pro fermentaci slamnaté mrvy, resp. stelivových materiálů. Reakce v těchto zařízeních probíhá pomaleji, neboť substrát je vyskládán do velkých drátěných košů, v nichž je po naplnění překryt plynotěsným zvonem a ponechán fermentaci. Zařízení tohoto typu nemají sice takové problémy jak naložit s tekutou složkou digestátu, ale na druhou stranu je systém velice náročný na plochu a na čas (především na manipulaci s materiálem). Reaktory nelze prakticky vytápět, což zvláště v zimě vede ke zpomalení rozkladných procesů. (Kára 2007)

##### **Kontejnerová metoda**

V kontejnerovém postupu jsou mobilní zásuvné fermentory naplněny biomasou a vzduchotěsně uzavřeny. Mikroorganismy obsažené v očkovacím substrátu, jenž je proměšován spolu s čerstvým substrátem, ohřívají substrát v první fázi, kdy je do fermentoru přiváděn vzduch. Dále probíhá kompostovací proces spojený s uvolňováním tepla. Poté co je dosaženo provozní teploty, je vypnut přívod vzduchu. Po spotřebě zaneseného kyslíku se aktivují anaerobní mikroorganismy a přemění biomasu na bioplyn, jako u mokré fermentace. (Průvodce výrobou a využitím bioplynu 2009)

##### **Fóliové – hadicové fermentory**

Pro tuto metodu se používá známá metoda fóliového silážování (silážování do vaku). Také zde je užíván aerobní kompostovací proces pro první zahřátí substrátu. K dalšímu plynulému vnášení tepla mohou být hadice položeny na betonový panel, ve kterém je integrováno podlažní topení. Ke zmenšení tepelných ztrát může být fóliová hadice při zaplňování potažena tepelnou izolací. Bioplyn je jímán sběrným

vedením, které je integrováno v hadici. (Průvodce výrobou a využitím bioplynu 2009)

### **Vanové – popř. tunelové fermentory**

Tyto systémy umožňují zdánlivě kontinuální proces ve vanách, popř. v tunelech. Průběh postupu se téměř shoduje s hadicovým systémem, dá se ovšem lépe kontrolovat. (Průvodce výrobou a využitím bioplynu 2009)

### **Pístové fermentory**

V oblasti odpadového hospodářství jsou už nějakou dobu používány pístové fermentory. Jsou konstruovány jakožto horizontální nebo vertikální a obsluhují se kontinuálně nebo semikontinuálně. Částečně integrované míchací vlny slouží lehčímu odplynování materiálu. V zemědělské výrobě bioplynu nehrají tyto postupy na základě vysokých technických nákladů kontinuální techniky, v této době, žádnou roli. (Průvodce výrobou a využitím bioplynu 2009)

### **Garážový systém**

Materiál je naskladněn čelním nakladačem a po uzavření vrat je ve vzduchotěsném prostoru rozkládán anaerobními bakteriemi. (Kára 2007)

Bioplynovou stanicí tvoří komplex několika staveb. Hlavními jsou hala s hranatými fermentory, manipulační hala, strojovna s kogenerační jednotkou, velín s elektrorozvodnou, perkolátní tanky, technologie výroby plynu, biofiltr, fléra.

Biomasa je navedena do fermentoru kolovým nakladačem. Po naplnění fermentoru jsou uzavřena plynotěsná vrata. Biomasa je vyhřívána podlahovým topením a postřikem perkolátu, který současně obnovuje mikrobiální kulturu na povrchu biomasy. Do tří dnů po navedení dojde k odstranění zbytkového kyslíku a stabilizaci celého anaerobního procesu. Vznikající bioplyn je odsáván do plynových vaků a dále odváděn do kogenerační jednotky. Zde je transformován na elektrickou energii při vzniku „odpadního“ tepla. Proces je diskontinuální, obvyklá délka cyklu je 28 dnů. Pro kontinuitu procesu se doporučuje pracovat minimálně se čtyřmi fermentory. Na konci cyklu je biomasa vyvezena a část vyfermentovaného substrátu je nahrazena novou biomasou v tzv. „směsném navýšení“ (poměr mezi starou, částečně vyfermentovanou biomasou a čerstvou biomasou). Proces je až na manipulaci s biomasou plně automatizován. (Karafiát a kol. 2009)

## **4.2.2 Mokr  fermentace (kapalinov  reaktory):**

V současné praxi se pro anaerobní digesci používají převážně tyto typy reaktorů. Tato skupina by se dala rozdělit do tří podskupin:

### **4.2.2.1 Horizontální**

Fermentory mají cylindrický tvar a jsou omezeny s ohledem na svůj objem, neboť jsou často vyráběny předem před místem umístění. Horizontální fermentory jsou provozovány paralelně, aby bylo možno zpracovávat větší množství substrátu. Protože jsou tyto fermentory zpravidla mnohonásobně delší než je jejich výška, tak se automaticky nastavuje tzv. pístový tok. Substrát přitom pomalu putuje od vnášecí strany ke straně výnosu. Možnost nechtěně z fermentoru vynášet nevykvašený materiál je tímto zmenšena a může tím být zaručena doba pobytu pro veškerý materiál s větší jistotou.

### **4.2.2.2 Vertikální**

Fermentory jsou převážně kruhové nádrže a jsou zhotoveny v místě realizace bioplynové stanice. (Průvodce výrobou a využitím bioplynu 2009)

### **4.2.2.3 Reaktory zpracovávající odpadní vodu**

V zemědělské praxi se s touto skupinou téměř nesetkáváme. Spíš bychom je mohli zařadit do středu zájmu lidí zabývajících se čištěním odpadních vod. Ve své diplomové práci se zabývám netradičním způsobem zpracování biomasy a to konkrétně výrobou bioplynu pouze z kapaln  složky, proto je nutné se s touto skupinou reaktorů seznámit. Tyto reaktory můžeme rozdělit do několika skupin:

- **Biomasa fixována na zařízení:**

#### Anaerobní filtr s průtokem zdola nahoru (UAF):

Kapalina postupuje od spodu nahoru, kde se odvádí vyčištěná voda. Charakteristickým rysem je, že většina biomasy se nachází ve formě suspenze ve spodní části reaktoru v prostorách mezi náplní, pouze malá část biomasy roste na povrchu náplně ve formě biofilmu. Nevýhoda je sklon k ucpávání. (Dohányos 1996)

#### Trubkový reaktor (DSFF):

Průtok je zde shora dolů a nedochází k problémům s ucpáváním. Náplň je orientovaná tak, že tvoří souvislé kanály (trubky) po celé výšce reaktoru. Biomasa



roste pouze na povrchu, tudíž nemůže dojít k nadměrné akumulaci biomasy nebo suspendovaných látek v reaktoru, neboť jsou kontinuálně vymývány. Je vhodný pro vody s větším obsahem suspendovaných látek. Nevýhoda je zdlouhavější zpracování, nutnost recirkulace a akumulace menšího množství biomasy. (Dohányos 1996)

#### Reaktor s volně loženou náplní s průtokem shora dolů:

Konstrukčně je podobný anaerobnímu filtru, pouze je opačný směr průtoku odpadní vody. Biomasa se zde nachází z větší části ve formě biofilmu a z menší části ve formě suspenze v prostorách náplně. Přebytek biomasy je vzhledem k průtoku shora dolů vyplavován z reaktoru. Tento reaktor spojuje výhody anaerobního filtru a trubkového reaktoru. (Dohányos 1996)

#### Reaktor s pohyblivou náplní – anaerobní rotační diskový reaktor (ARBC):

Jedná se o zakryté zařízení, kde jsou disky ponořeny do kapaliny. Dohányos (1996) uvádí, že při porovnání padesátiprocentního a stoprocentního ponoření se lepších výsledků podařilo dosáhnout při padesátiprocentním ponoření. Problémy s ucpáváním inertním materiálem nebo zarůstáním jsou zde eliminovány. Rotace disku totiž vyvozuje stříhové síly, které způsobují olupování nadměrných vrstev biofilmu. (Dohányos 1996)

#### **• Biomasa na reagujícím substrátu:**

##### Reaktor s kalovým ložem a vnitřním separátorem biomasy (UASB):

Biomasa zde tvoří separované vločky nebo granule. Kalové lože je víceméně fluidní vrstvou se specifickými vlastnostmi. Dobře agregovaná biomasa je stabilní, snáší dobře i relativně velké míchací síly. Vyplavování vloček biomasy, uvolněných z kalového lože, je zabráněno vestavěným separátorem, který umožňuje vynášeným částicám opětovou flokulaci a usazení. Důležitou součástí je separátor, který zachycuje a odvádí bioplyn z reaktoru, blokuje vyplavování biomasy a flotaci granulí, slouží jako bariéra proti náhlé expanzi kalového lože a do určité míry se podílí na čistícím efektu reaktoru i pokud jde o rozpuštěné látky. (Dohányos 1996)

##### Reaktor s kalovým mrakem externím separátorem biomasy:

Reaktor je svislá nádoba s průtokem odpadní vody zdola nahoru – anaerobní náplňová kolona. Svislý průtok odpadní vody a míchání pouze vznikajícím bioplymem umožňují vytvoření koncentračního gradientu biomasy v reaktoru. Ve

spodní části reaktoru se vytváří „kalový mrak“ složený z vločkovité biomasy. Část biomasy je vlivem flotace bioplynem vynášena z reaktoru a postupuje společně s vyčištěnou odpadní vodou do externího separátoru biomasy, kde se oddělí od kapalně fáze a podle potřeby se vrací zpět do reaktoru. Ve srovnání s UASB reaktorem, jde o jednodušší konstrukci reaktoru. Před separátorem musí být zařazeno odplynění. Ve srovnání s UASB je výkon o něco nižší. (Dohányos 1996)

#### Hybridní reaktor (UBF):

Jedná se o kombinaci reaktoru s kalovým mrakem a anaerobního filtru. Spodní část reaktoru je provozována jako reaktor s kalovým mrakem a v horní části je umístěna vrstva náplně, obdobná náplni u anaerobních filtrů. Jedná se o materiály, které jsou lehčí než voda, tudíž plavou. Voda je přiváděna odspodu. Náplň má funkci nosiče biomasy a působí jako separátor biomasy a vytváří příznivé podmínky pro granulaci biomasy ve spodní části reaktoru. Díky vysoké akumulaci biomasy je reaktor schopen zpracovávat i koncentrované odpadní vody při relativně krátkých dobách zdržení. (Dohányos 1996)

#### Reaktor se stupňovým kalovým ložem (USSB):

U reaktorů, které zpracovávají vody s vysokou koncentrací organického znečištění ve vysoce zatěžovaných reaktorech, je charakteristická vysoká produkce plynu. Ta způsobuje vysoce turbulentní prostředí, které může vyvolat zvýšené vyplavování kalu. Tento problém eliminuje reaktor USSB. Vychází z reaktoru UASB. Zjednodušeně lze říci, že staví několik modulů USAB na sebe, přičemž každý z nich má svůj separátor. Plynový prostor a hlavně odtah plynu. Toto uspořádání umožňuje větší zatížení oproti UASB. (Dohányos 1996)

#### Reaktor s vnitřní cirkulací (IC):

Jde o vertikální reaktor s dvojím separátorem plynné, pevné a kapalně fáze. Voda je přiváděna do spodní části reaktoru, kde vzniká největší část bioplynu. Bioplyn je odváděn vzestupnou trubkou do horní části reaktoru a strhává sebou část vody a vloček (princip mamutky). Voda a neusazené vločky jsou vráceny středovou trubkou na dno reaktoru. Bioplyn tedy vyvolává vnitřní recirkulaci, což způsobuje šetrné promíchávání kalového lože ve spodní části reaktoru. (Dohányos 1996)

Tyto skupiny reaktorů dokážou zpracovávat vody s vysokou koncentrací rozpuštěných látek. Rozebrali jsme si je podrobněji, protože v praktické části, je

použit *reaktor s kalovým mrakem externím separátorem biomasy*, který patří do této kategorie.

Dále ještě existují typy reaktorů, které zpracovávají vody s nízkou koncentrací organických látek. Jsou to například:

- Anaerobní reaktor s fluidním ložem
- Anaerobní reaktor s expandovaným ložem
- Anaerobní reaktor s expandovaným granulovaným ložem
- Přepážkový reaktor

A dále reaktory, které zpracovávají vody s vysokou koncentrací suspendovaných látek:

- Směšovací anaerobní reaktor
- Membránový reaktor

### **4.3 Rozdělení podle dávkování substrátu**

Podle způsobu plnění fermentoru surovým materiálem rozlišujeme technologie:

#### **4.3.1 Diskontinuální (s přerušovaným provozem, cyklické, atd.)**

Doba jednoho pracovního cyklu odpovídá době zdržení materiálu ve fermentoru. Používá se zvláště při suché fermentaci tuhých organických materiálů. Způsob manipulace s materiálem je v tomto případě náročný na obsluhu.

#### **4.3.2 Semikontinuální**

Doba mezi jednotlivými dávkami je kratší, než je doba zdržení ve fermentoru. Je to nejpoužívanější způsob plnění fermentorů při zpracování tekutých organických materiálů. Materiál se obvykle dávkuje jedenkrát až čtyřikrát za den, někdy i častěji. Materiál vstupující semikontinuálně do fermentoru má minimální vliv na změnu pracovních parametrů fermentoru (teplota, homogenita). Technologický proces lze snadno automatizovat a není tedy náročný na obsluhu.

#### **4.3.3 Kontinuální**

Používá se pro plnění fermentorů, které jsou určeny pro zpracování tekutých organických materiálů s velmi malým obsahem sušiny.

Vliv míchání na proces anaerobní digesce je popsán v kapitole 3.3.9.

## **4.4 Vytápění reaktorů**

### **4.4.1 Podlahové vytápění**

V podlaze jsou uloženy plastové výhřevné trubky. Tepelná izolace z desek z extrudovaného pěnového polystyrenu je v tomto případě uložena pod podlahovou deskou. (Schulz 2004)

### **4.4.2 Stěnové vytápění**

Lze uplatnit dvě varianty:

V prvním případě lze plastové trubky zalít do stěny. V druhém případě se trubky v určité vzdálenosti od sebe připevní na stěnu. (Schulz 2004)

Systém musí odolávat mechanickému namáhání a abrazi od míchané směsi, umožňuje však dosažení velké předávací plochy a většího rozdělení tepla, což je pro proces výhodné. (Kouřa 2008)

### **4.4.3 Externí výměník**

Straka (2010) uvádí, že systémy se složenými topnými hady a topnými systémy zabudovanými ve stěnách, resp. podlaze (duplikátorové soustavy) se příliš nevyužívají a to proto, že systém s topnými hady se špatně čistí a duplikátorové systémy mají nižší koeficient přestupu tepla. Proto se nabízí jako nejvhodnější řešení externí výměník, který je snadno oddělitelný pro opravy a čištění.

Kouřa 2008 tento systém doporučuje pro reaktory, které mají větší výšku než průměr.

### **4.4.4 Topení na hřídeli míchačky**

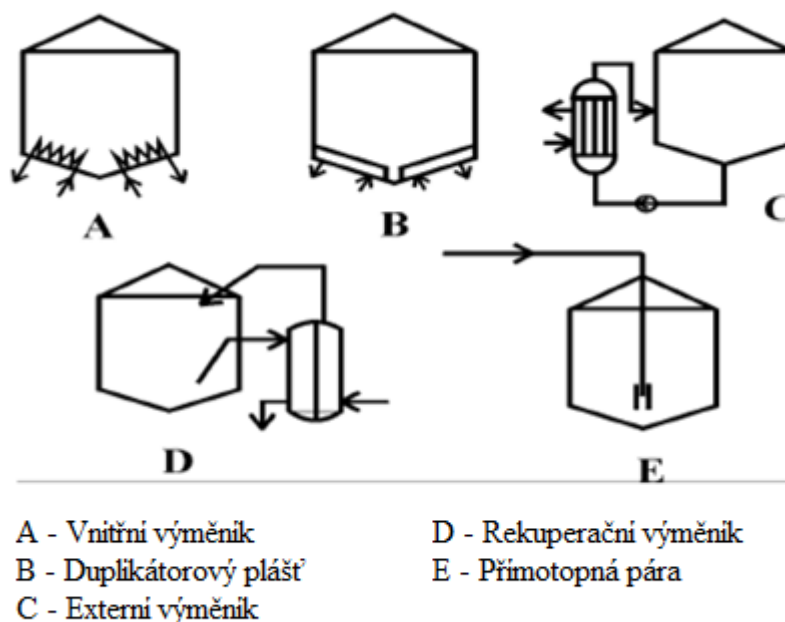
Tento typ se hodí velmi dobře pro horizontální cisternové nádrže s lopatkovým míchadlem. Pokud míchadlo není zapnuto nepřetržitě, je třeba počítat s tím, že v době klidu bude přestup tepla podstatně horší. (Schulz 2004)

### **4.4.5 Přímotopná pára**

Někteří autoři (Straka 2010, Kára 2007) uvádějí tento způsob, avšak s dovětkem, že se jedná o nepříliš často využívaný.

Různé způsoby ohřevu reaktorů jsou znázorněny na obrázku 4.1.

Obr. 4.1 Různé způsoby ohřevu reaktorů (Kára 2007)



## 4.5 Míchání reaktorů

Vliv teploty na proces anaerobní digesce je popsán v kapitole 3.3.4.

Minimální promísení kvasícího substrátu se koná vnášením čerstvého substrátu, tepelným konvekčním prouděním a vystupováním plynových bublin. Toto pasivní promísení každopádně není dostačující, proto nastupuje míchání aktivní.

**Míchací zařízení můžeme rozdělit do třech kategorií:**

### 4.5.1 Mechanické

#### Lopátková míchadla:

Užívají se v horizontálních fermentorech. Dochází k pístovému proudění. Lze promíchávat materiály se sušinou okolo 20 %. Vyhřívání lze realizovat topnými hady umístěnými na lopátkách.

#### Mlýnová míchadla:

Oproti vrtulovým nejsou příliš účinná. Dnes se téměř nepoužívají.

#### Ponorná vrtulová míchadla:

Jedná se o vodotěsný motor s vrtulí a jsou ponořeny do fermentoru. Tento mechanismus lze pomocí kladky výškově posunovat, proto můžeme rozmělnit plovoucí příkrov nebo usazeniny.

Nevýhoda je, že se mohou používat jen do teploty 40 °C, jinak by nedocházelo k dostatečnému chlazení.

#### Otočné tyčové mixéry:

Procházejí stropem nebo pláštěm fermentoru. Mohou pracovat i při vyšších teplotách. Mechanické části jsou umístěny mimo fermentor.

### **4.5.2 Pneumatické**

Jedná se o systém, kdy se ke dnu fermentoru vhání bioplyn a tím dochází pomocí vzhůru stoupajících plynových bublin k vertikálnímu pohybu a promísení substrátu.

Výhodou je, že mechanické části jsou umístěny vně fermentoru.

Nevýhoda je, že tento systém nemůže být použit pro reaktory s plovoucí vrstvou, neboť ji nedokáže rozmíchat. Hodí se spíše pro řídké substráty. (Průvodce výrobou a využitím bioplynu 2009)

### **4.5.3 Hydraulické**

K míchání slouží většinou výkonné centrální čerpadlo. Výhodou tohoto systému je, že se uvnitř reaktoru nenacházejí žádné pohyblivé části. Mechanické části jsou umístěny mimo reaktor a mohou být snadno udržovány. (Schulz 2004)

Tento způsob míchání může být používán jen pro řídké substráty, které nemají sklon k vytváření plovoucí vrstvy. (Průvodce výrobou a využitím bioplynu 2009)

## **5 Nakládání s bioplynem**

### **5.1 Kogenerace**

V praxi se nejvíce setkáváme s využitím bioplynu v kogeneračních jednotkách. Tato metoda dosahuje vysoké účinnosti přeměny energie z bioplynu na

elektrickou a tepelnou energii (80-90 %). Zhruba lze počítat, že přibližně 30 % energie bioplynu se transformuje na elektrickou energii, 60 % na energii tepelnou a zbytek jsou tepelné ztráty. Na výrobu 1 kWh elektrické energie (kWh<sub>e</sub>) je potřeba spálit v kogenerační jednotce cca 0,6-0,7 m<sup>3</sup> bioplynu s obsahem kolem 60 % metanu. Na výrobu 1kWh<sub>e</sub> a 1,27kWh<sub>t</sub> tedy bude potřeba cca 5-7 kg odpadní biomasy, 5-15 kg komunálních odpadů nebo 4-7 kg tekutých komunálních odpadů. Výhodou tohoto způsobu využití bioplynu je možnost prodeje elektrické energie za garantovanou cenu do sítě. (Mužík, Kára 2009)

## 5.2 Výroba biometanu

Mezi nejčastější alternativu ke kogeneračním systémům se dnes doporučuje využití bioplynu upraveného na biometan, který může být stlačený nebo zkapalněný a použitý jako pohonná hmota, nebo vtlačený do potrubní sítě zemního plynu. (Kára, Mužík 2012)

Před použitím bioplynu jako biomethanu musí být z plynu odstraněny nežádoucí složky, především oxid uhličitý, voda a sulfan. Metody úpravy a čištění plynu na kvalitu zemního plynu jsou již v současnosti dobře vyřešeny a v zahraničí jsou zejména využívány metoda PSA, vodní tlaková vypírka, chemická absorpce. Na vyčištění bioplynu se spotřebuje 5 – 8 % energie obsažené v bioplynu v závislosti na použité metodě. V České republice prozatím není k dispozici funkční zařízení pro čištění bioplynu na kvalitu zemního plynu. (Čermáková, Tenkrát 2011)

V Evropě se zabývá úpravou bioplynu několik firem. Čištění a separace složek bioplynu probíhá sorbcí ve vodě nebo v jiných reaktantech, jako aminy nebo uhličitany. Tyto metody využívají různé absorpční a adsorpční vlastnosti kapalin, nebo aktivního uhlí k oddělení oxidu uhličitého a metanu. Účinnost těchto metod je posílena změnou tlaku a teploty při střídání adsorpčních a regeneračních procesů. Sorbční látka, obvykle rozpouštědlo, se ochladí, aby dobře absorbovala oxid uhličitý, a pak se pro regeneraci ohřívá pro vypuzení maximálního množství CO<sub>2</sub>. Tyto technologie pracují s vysokou účinností využití metanu, ale jejich nevýhodou je, potřeba vysokých investičních nákladů. Lze je efektivně provozovat při zpracovací kapacitě surového bioplynu větší než 150 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. Kromě toho, že se technologicky jedná o složité chemické procesy, jsou i provozní zařízení komplikovaná a vyžadují častou kontrolu i údržbu. Zařízení pro využití bioplynu upraveného na motorové

palivo jsou provozována na velkých čistírnách odpadních vod a bioplynových stanicích ve Švédsku, Švýcarsku, Nizozemsku, Německu a Rakousku. (Kára, Mužík 2012)

Doprava a rozvod biometanu plynárenskou sítí se v současnosti běžně uskutečňuje ve Švédsku a Švýcarsku, kde existuje účinná státní podpora, a jsou formulovány požadavky na kvalitu těchto paliv. (Čermáková a kol. 2008)

Pro středně velké, nebo malé bioplynové stanice, či pro úpravu malé části z celkového množství produkovaného bioplynu nejsou tyto dostupné technologie ekonomicky efektivní. Pro vývoj levnější a jednodušší technologie by mohla být dobrou alternativou molekulová síta. Molekulová síta lze vybrat podle některých molekulárních charakteristik, jako například velikosti nebo tvaru mřížky, pro odstranění konkrétních kontaminujících látek ( $H_2O$ ,  $CO_2$  a  $H_2S$ ). Obzvláště vhodná jsou molekulární síta speciálně navržená pro metan, který otvory sít neprochází. Všechny ostatní nečistoty jako  $CO_2$ ,  $H_2O$ , nebo  $H_2S$  procházejí sítím neomezeně do „odpadu“ a čistý metan pak je ze síta odváděn. Nicméně, molekulární síta jsou poměrně drahá a potřebují periodickou regeneraci, což komplikuje a prodražuje konstrukci zařízení. (Kára, Mužík 2012)

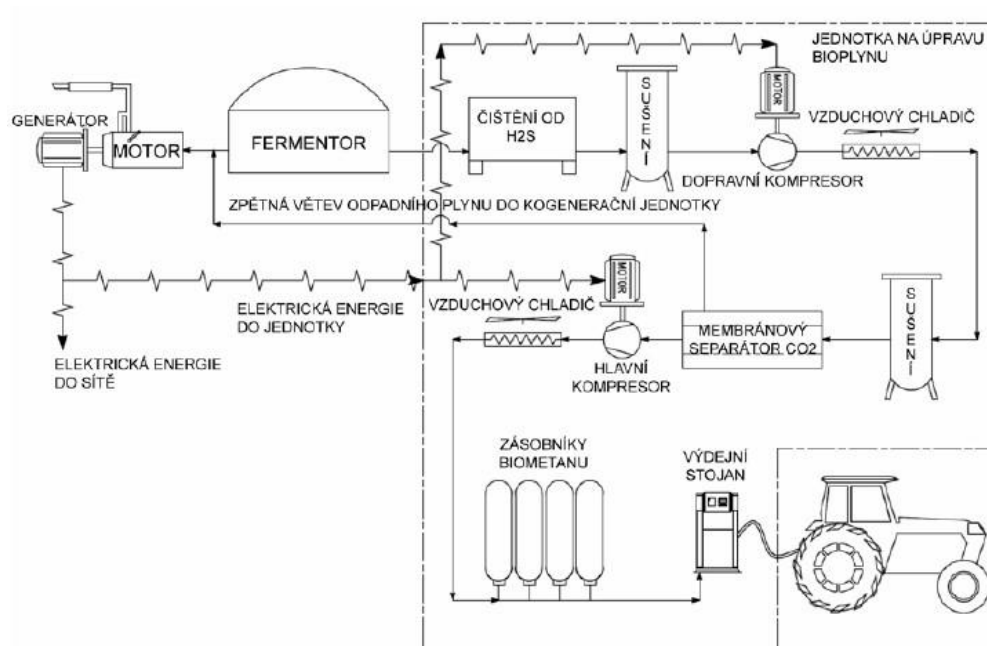
### **5.2.1 Popis zařízení na úpravu bioplynu na biometan**

Kompresní jednotka, kterou pro provoz navrhli Kára a Mužík (2012), pro úpravu bioplynu je určena k instalaci u stávajících bioplynových stanic a má pracovat paralelně s kogenerační jednotkou.

Základní schéma jednotky je na obr. 5.1. Surový bioplyn z fermentoru se odsílí, vysuší, a stlačí. Po prvním stupni komprese se plyn ochladí a znovu vysuší. Mezi výstupem 1. stupně a vstupem do 2. stupně kompresoru probíhá vlastní odlučování  $CO_2$ , za tlaku do 20 bar. K dočištění bioplynu byl použit membránový separátor v téže tlakové relaci. Po odstranění  $CO_2$  je biometan připraven pro použití, nebo uložen pod tlakem až do 250 bar. Odstraněním všech nečistot získáváme biometan, který kvalitativně odpovídá zemnímu plynu a lze jej použít jako palivo pro motorová vozidla, nebo vtlačit do potrubní sítě zemního plynu a využít v domácnostech, nebo k průmyslovým účelům. (Kára, Mužík 2012)

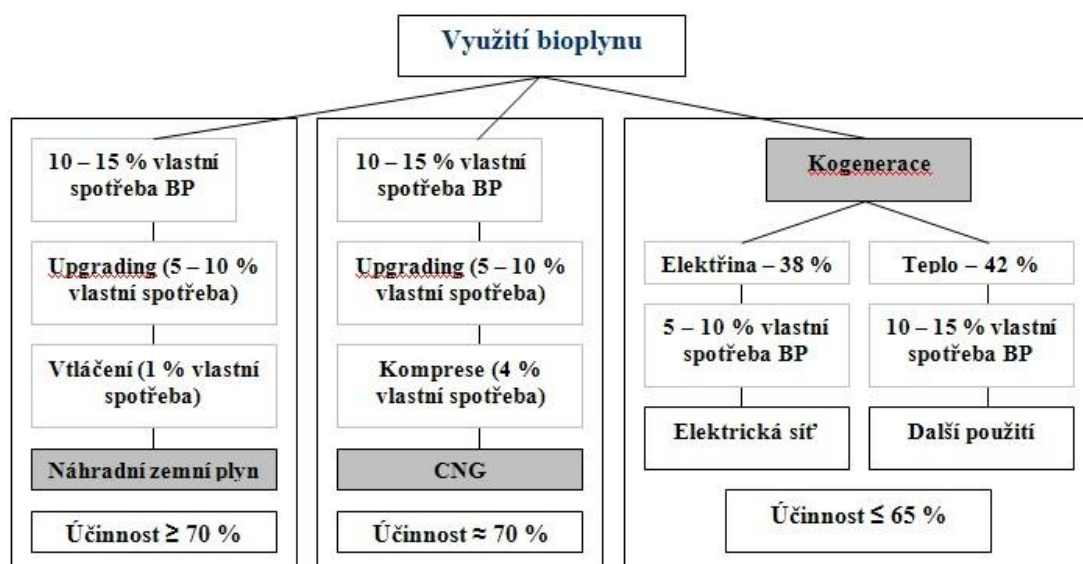


Obr. 5.1 Schéma kompresní jednotky na úpravu bioplynu (Kára, Mužík 2012)



Srovnání účinnosti alternativní úpravy bioplynu na biometan a tradičního využití v kogenerační jednotce je naznačeno v tabulce 5.2.

Obr. 5.2 Srovnání energetického využití bioplynu (Čermáková, Tenkrát 2011)



### 5.3 Trigenerace

Trigenerace znamená kombinovanou výrobu elektřiny, tepla a chladu. Technologicky se pak jedná o spojení kogenerační jednotky s absorpční chladicí jednotkou. To je výhodné zejména z pohledu provozu kogenerační jednotky, protože umožňuje využít teplo i v létě, mimo topnou sezónu. Snížené možnosti využití tepla z kogenerační jednotky v letních měsících vedou často k nasazení menších jednotek, než by bylo jinak vhodné. Pokud tedy dovedeme přeměnit teplo na chlad, nic nestojí v cestě tomu, aby kogenerační jednotka mohla naplno pracovat i přes léto. Vyrobený chlad může být využit všude tam, kde je zapotřebí klimatizace, může se jednat ovšem i o výrobu technologického chladu. Častým případem využití trigenerace je výroba tepla v zimních měsících a výroba chladu v létě. Vedle toho je však možná i současná výroba všech tří forem energie najednou. (webové materiály TEDOM)

### 5.4 Spalování v kotlích

Kára (2007) uvádí, že prakticky všichni výrobci hořáků nabízejí modifikace určené na spalování bioplynu. Běžné typy kotlů žádné další úpravy nepotřebují. Pokud bioplyn obsahuje vysoký obsah sirnatých sloučenin, především sulfan, je třeba je odstranit nebo provádět častější kontrolu a čištění teplosměnných ploch kotle a komínů. Dále uvádí, že z experimentů provedených na radiačním kotli se ukázal surový bioplyn jako nevhodný zdroj energie s ohledem na nežádoucí chemické reakce mezi některými složkami bioplynu a speciální keramickou výplní radiačních kotlů. Tento problém by se pravděpodobně podařilo odstranit čištěním bioplynu, což však technologii znevýhodňuje ekonomicky i náročnějším provozem z hlediska obsluhy.

### 5.5 Ostatní

Straka a Doucha (2011) uvádějí ještě další možnosti využití bioplynu:

- plynové turbíny a tzv. mikroturbíny
- plynové motory pohánějící kompresory chladicích systémů
- plynové kotle ohřívající médium absorpčních chladicích systémů
- výroba elektřiny na palivových článcích

- imerzní plynové hořáky (pro odpařování, resp. zahušťování, například odpadních vod)

Z hlediska běžného provozu však existují i poměrně nové možnosti pro využití bioplynu:

- výroba biovodíku (a s tím související využití CO<sub>2</sub> pro výživu řas)
- termofotovoltaika (resp. magnetohydrodynamické generátory MHD)
- Rankinovy cykly (ORC)

## 5.6 Zbytkový bioplyn

Zpravidla se zneškodňuje spalováním nebo vypouštěním havarijním vypouštěcím zařízením.

Hořák pro spalování zbytkového bioplynu se umísťuje 15 m od nadzemních objektů, musí mít samočinné zabezpečovací zařízení.

U nově budovaných a rekonstruovaných bioplynových stanic musí splňovat tyto podmínky:

- Při signálu nejvyššího naplnění plynojemu se otevře uzávěr plynu pro stabilizační (zapalovací) hořák a samočinně tento hořák zapálí
- Při signálu od pojistky plamene se otevře uzávěr plynu pro hlavní (spalovací) hořák, který se zapálí stabilizačním hořákem
- Nepřijde-li signál od pojistky plamene v bezpečnostní době (nezapálí se stabilizační hořák), musí dojít k uzavření a zablokování uzávěru plynu stabilizačního hořáku a musí být opticky i akusticky hlášena porucha.

Havarijní vypouštění musí být dimenzováno na průchod dvojnásobného množství objemu bioplynu, než je jeho průměrný hodinový vývin. Havarijní vypouštěcí zařízení musí být od ostatních budov a objektů vyvýšených nad okolní terén ve vzdálenosti rovné alespoň výšce budovy, nejméně však 6 m. Od nevyvýšených objektů (např. šachty), nejméně 3 m. (Brandejsová, Příbyla 2009)

## 6 Nakládání s digestátem

Pro zbytky po anaerobní digesci jsme v minulosti zavedli termín digestát. Tento termín je dnes možno nalézt v odborných slovnících i v názvosloví legislativních předpisů. Na digestáty jsou z hlediska legislativního kladeny zejména hygienické požadavky. Jedná se o splnění procesních hygienizačních parametrů, splnění limitních hodnot rizikových prvků a indikátorových organismů. (Váňa 2007)

V současné době se v zahraničí nejčastěji provádí anaerobní digesce kukuřičné siláže, dalších píceňin nebo energetických rostlin. Dále je často zbioplynována čerstvá nebo senážovaná travní fytomasa, jejímž zdrojem jsou nejen louky, ale též veřejná zeleň, golfová hřiště, apod. Sušina digestátu by měla minimálně obsahovat 25% spalitelných látek a 0,6% celkového dusíku. Takový digestát je považován za typové organické hnojivo vyrobené anaerobní fermentací ze statkových hnojiv. (Váňa 2007)

Schulz (2004) vyzdvihuje ve své publikaci fermentační proces a to, že pod vzduchovým uzávěrem zabráňuje ztrátám živin, kde na rozdíl od otevřeného skladování kejdy a hnoje nedochází ke ztrátám dusíku vyplavováním dešťovou vodou. Uvádí také, že se procesem zvýšil obsah amoniakálního dusíku a tím se zvětšuje riziko jeho úniku při aplikaci na pozemek.

Organický vázaný dusík v bioplynové kejdě je převážně tvořen odumřelými metanovými bakteriemi a v půdě je pomalu mineralizován. Obsah fosforu, draslíku a vápníku zůstává zachován. (Schulz 2004)

Provoz bioplynových stanic byl u nás i ve světě orientován jedinečně na zpracování zachyceného kalu v městských čistírnách odpadních vod ze stokové sítě. Surový kal totiž značně zapáchal, byl lepivý a obtížně sušitelný, vyhnitím tyto nepříjemné vlastnosti ztrácel. Bioplyn, zvaný tehdy „kalový plyn“, vznikající při procesu anaerobní digesce byl už v první polovině minulého století běžně využíván k spalování a k pohonu plynových motorů. (Kolář a kol. 2010)

Vyhnílý (ale dříve i surový) kal byl vždy považován za hnojivo především proto, že vznikal v poměrně značném množství a jiné uplatnění pro něj nebylo. Rozdíl proti dnešku byl jen v tom, že tehdy byl považován za hnojivo více méně z nouze a nikdo tehdy jeho hnojivé vlastnosti nepřeceňoval. (Kolář a kol. 2010)

Rostlinné zbytky a siláže nejsou bohatým zdrojem živin, a proto relativně nízké koncentrace živin v substrátech pro anaerobní digesci jsou pravidlem. Proto v kalech po anaerobní digesci nalézáme 1 – 4 % Ncelk v sušině, 0,7 – 1,2 % Pcelk v sušině, a to při obsahu 7 – 14 % sušiny snižuje koncentrace těchto živin v kalech s neupraveným obsahem vody zhruba desetkrát. Hmotu s 0,1 – 0,4 % Ncelk při současné ceně nafty, vysoké ceně zemědělské techniky i lidské práce můžeme považovat za „výborné hnojivo“, jak tvrdí výrobci technologie, jen velmi obtížně.

Kolář a kol. (2009) dále uvádějí, že: „Má-li být organická hmota označena jako organické hnojivo, musí splňovat základní požadavek: Musí být snadno mikrobiálně rozložitelná, aby byla schopna uvolnit pro půdní mikroorganismy potřebnou energii. Část této energie z exotermního procesu mineralizace pak může být převedena do endotermního procesu humifikace. Humusové látky svojí sorpční a hlavně iontovýměnnou kapacitou rozhodujícím způsobem ovlivňují nejen eluci živin z půdy, ale i samočisticí funkci půdy při kontaminaci xenobiotickými polutanty, tvorbu organo-minerálních komplexů půdních agregátů a mnoho dalších faktorů, které jsou významné pro potenciální půdní úrodnost. Produktivita humifikace závisí na poměru volné energie, vznikající v aerobních procesech transformace půdní organické hmoty, k produkci nízkomolekulárních organických sloučenin, které jsou prekursory humusu a vznikají hlavně v anaerobních procesech transformace.“

„O zlepšení organického materiálu anaerobní digescí nemůžeme vůbec mluvit. Jako hnojivo můžeme považovat kapalnou fázi spíše než fázi tuhou. Jestliže to považujeme jako hnojivo ve všeobecné rovině, tak neprotestujeme, protože kromě mírně vyššího obsahu minerálních živin rostlinám přístupných (nejvíce dusík), má větší iontovýměnnou kapacitu a vyšší pufrční kapacitu než materiál před anaerobní digescí, ale toto zvýšení je obecně málo podstatné“ (Kolář a kol. 2008)

## **7 Metoda IFBB**

Kužel a kol. (2010) navrhuji zajímavý postup, jenž němečtí autoři nazvali IFBB – Integrated generation of Solid Fuel and Biogas from Biomass ke kombinovanému využití fytomasy k výrobě pevných biopaliv z pevné fáze a bioplynu z kapalně fáze silážované hmoty travních porostů extrakcí teplou vodou

a následující separací pevné a kapalné fáze na šroubovém (šnekovém) lisu. To vede k obohacení kapalné fáze rozložitelnými organickými látkami, využitelnými při anaerobní digesti, i rostlinnými živinami K, Mg, P a N, které zlepšují agrochemickou hodnotu kapalné fáze po anaerobní digesti jako kapalného minerálního hnojiva.

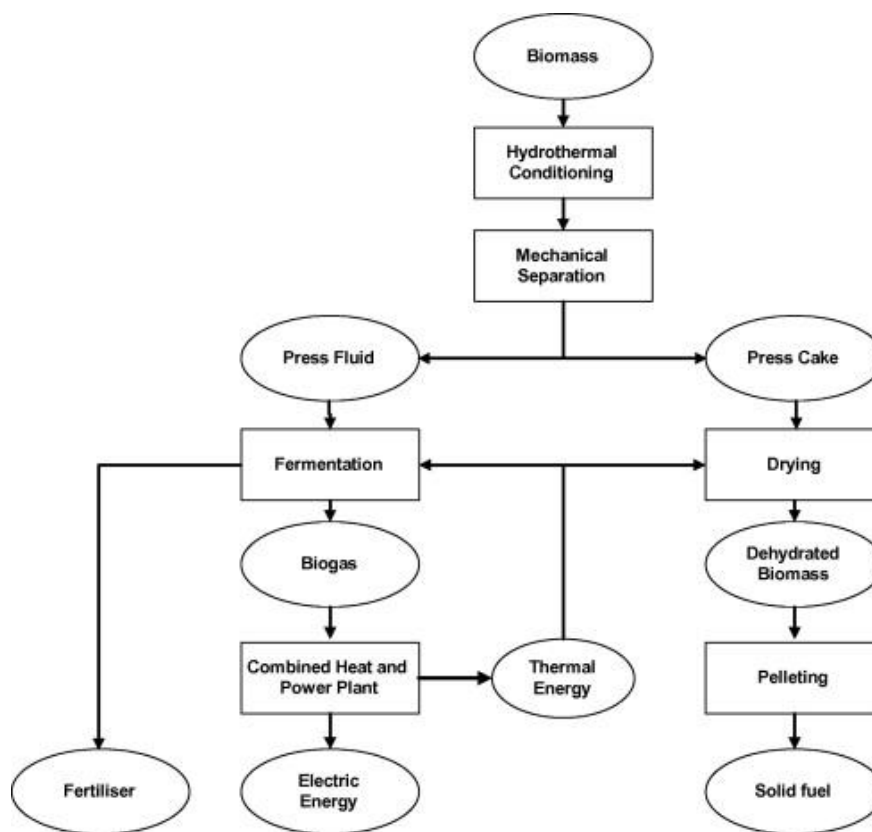
## **7.1 Princip IFBB**

Základním prvkem integrované výroby pevných paliv a bioplynu z biomasy systémem (Integrated generation of solid Fuel and Biogas from Biomass) je mechanická dehydratace po hydrotermální stabilizaci silážované biomasy. IFBB produkuje pevnou vláknitou část pro termické využití (Press cake) a kapalnou frakci s lehce stravitelnými složkami pro výrobu bioplynu (Press fluid). Kvalita paliva z mechanicky dehydrované siláže se zlepší ve srovnání s neupravenou biomasou, protože dojde k částečné eluci organických a minerálních látek, které jsou škodlivé pro spalování. (Hensgen et. al 2012)

Universita v Kasselu vyvinula systém pro výrobu energie z heterogenního a stárnoucího rostlinného materiálu integrovanou produkcí pevných paliv a bioplynu z biomasy. Jejím hlavním principem je, že biomasa projde hydrotermální stabilizací a následnou dehydratací pomocí šroubového lisu, což má za následek vznik kapaliny pro výrobu bioplynu a vylisovaného pevného zbytku určeného pro spalování jako tuhé palivo. Sušení vylisovaného zbytku odpadním teplem z kogenerace je klíčovým aspektem tohoto postupu. (Hensgen et. al 2011)

Schematicky je celý postup zobrazen na obrázku 7.1

Obr. 7.1 Postup technologický postup systému IFBB (Hensgen et. al 2012)



## 7.2 Spalování biomasy

Uvádí se, že spalování biomasy je z hlediska emisí oxidu uhličitého neutrální, neboť množství produkovaného oxidu uhličitého je srovnatelné s množstvím, spotřebovaným rostlinami při jejich růstu (fotosyntéza). Je to ovšem zjednodušený pohled, neboť stromy rostou desítky let a dřevo z nich se spálí okamžitě. Navíc při spalování biomasy vznikají i další škodliviny, a to některé velmi nebezpečné jako polyaromatické uhlovodíky, případně dioxiny. (Koloničný 2010)

**Dioxin není jedna látka nýbrž triviální název pro dvě skupiny sloučenin blízkých si strukturou a chemickým chováním.** Tyto skupiny jsou polychlorované dibenzodioxiny (PCDD) a polychlorované dibenzofurany (PCDF), přičemž první skupina zahrnuje asi sedmdesát a druhá asi sto třicet jednotlivých látek.

**Dioxiny patří k nejjedovatějším látkám na zemi vůbec - dokonce ještě v koncentracích jedna ku miliardě jsou životu nebezpečné (jsou sedmdesátkrát jedovatější než kyanid draselný).** Navíc jsou látkami karcinogenními a teratogenními (schopnými poškozovat nenarozený plod). Dioxiny jsou nerozpustné

ve vodě, málo v tucích, nejlépe pak v chlorovaných organických rozpouštědlech. Organismem jsou zpracovávány a vylučovány velice pomalu, takže může docházet k jejich kumulaci v organismu (zejména v tukových tkáních), což vede ke kontaminaci potravních řetězců.

Dobře známá byla cesta vzniku PCDD/F při pyrolyzních procesech v topeništi reakcemi vedoucími od jiných organochlorových látek jako PVC ke vzniku chlorovaných fenolů, jejichž kondenzací polychlorované dibenzodioxiny vznikají. PCDD/F jsou ale detekovány i při procesech jako spalování biomasy, kdy tato cesta není možná. Sled reakcí vedoucích ke vzniku PCDD/F, kdy zdrojem chloru pro vznik organochlorových sloučenin jsou anorganické chloridy, se nazývá "syntéza de-novo". Tato teorie počítá s reakcemi odehrávajícími se na částicích uhlíku unášených ve spalinách, na které má prokazatelně katalytický vliv přítomnost mědi.

Syntéza de-novo se odehrává v teplotním rozmezí 200 - 400°C a aby probíhala úspěšně, musí být splněny určité podmínky. V reakčním prostoru musí být dostatečné množství chloru a dost částic uhlíku s jeho vysoce katalyticky aktivním povrchem. Vliv množství chloru v palivu na množství PCDD/F je sice zřetelný, ale až po překročení určité limitní hodnoty. Vzhledem ke vlivu vyššího obsahu chloru a také vyššímu podílu polévatého popela jsou emise PCDD/F z bylinných paliv výrazně vyšší než u dřeva. (Koutský a kol 2002)

Váňa (2003) uvádí, že emise PCDD/F jsou závislé především na technologii spalování. "Z literárních údajů vyplývá, že statisticky průkazná závislost koncentrace emisí PCDD/F na obsahu chloru v palivu nastává až při koncentraci Cl vyšší než 2000 mg/kg."

### **7.3 Výhody IFBB**

Tento systém je schopen vyrábět energii z biomasy rozsáhlých pastvin, což způsobuje obtíže při tradičním způsobu anaerobní digesce nebo při přímém spalování jako je seno. Technika IFBB produkuje skladovatelná tuhá paliva s vylepšenými spalovacími vlastnostmi a lehce stravitelnou kapalinu s vysokými výnosy metanu. (Hensgen et. al 2011)

Výhodu anaerobního rozkladu rozpuštěných látek vysvětluje ve své publikaci Dohányos a kol. (1996). Specifickým rysem je, že zde ztrácí svůj klíčový význam hydrolýza jako první a limitující stupeň rozkladného procesu. To představuje



ohromnou výhodou ve srovnání s rozkladem pevných odpadů, protože rychlost rozkladu rozpuštěného znečištění, až na metan a oxid uhličitý, jsou mnohem vyšší. Z toho vyplývá nejvyšší technologická přednost a to je kratší nezbytná doba zdržení vody v systému a tudíž menší objemy reaktorů.

Wachendorrf et al. (2009) uvádějí ve své práci, že do vylisovaného zbytku se dostane lignin, který je v procesu anaerobní digesce nerozložitelný a do vylisované kapaliny se naopak dostanou látky, lépe stravitelné a které působí škodlivě při spalování. Jedná se zejména o K, Cl a Mg. Naopak vápník (Ca), který je pro spalování příznivý, zůstává z větší části v pevné složce.

Nejdůležitějším prvkem IFBB je mechanická dehydratace v kombinaci s hydrotermální předpravou.

#### **Požadavky na dehydrataci a předúpravu:**

- Snížení obsahu vody ve hmotě po vylisování, aby se usnadnilo další sušení
- Snížení koncentrace minerálů v hmotě po vylisování, které se poškozují spalováním
- Obohacení vláknitých složek v hmotě po vylisování, protože jsou méně stravitelné anaerobní fermentací, ale tvoří důležité oxidovatelné, na uhlík bohaté složky pevných paliv
- Převod snadno rozložitelných organických látek do vylisované tekutiny, které jsou podrobeny anaerobní fermentací pro výrobu bioplynu

#### **Lisovací zařízení:**

Vhodné jsou šroubové lisovací zařízení, které mají vysokou míru macerace buněčných stěn v důsledku axiálního pohybu a oděru pod vysokým tlakem. (Richter 2010)

## **7.4 IFBB v tuzemsku**

Kužel a kol. (2010) zjistil, že postup IFBB lze aplikovat i na typický substrát používaný na českých bioplynových stanicích, kterými je směs kejdy skotu, kukuřičné siláže a travní senáže. Postup IFBB u tohoto substrátu zlepšuje agrochemickou hodnotu fugátu z výroby bioplynu, převodem chlóru do kapalné fáze umožňuje využít pevnou fázi jako materiál k výrobě pevných biopaliv se sníženým nebezpečím vzniku polychlorovaných dioxinů a dibenzofuranů při spalování.

Koncentrace minerálních živin v kapalně fázi při postupu IFBB po anaerobní digesci vlivem ředění vodou je však extrémně nízká, a proto její objemová hodnota je nepatrná.

## 8 Diagnostika procesu

Fermentor bioplynové stanice není tolik populární „betonová kráva“, kde je možné sledovat pouze množství a kvalitu vstupů a porovnávat tyto údaje s očekávaným výsledkem. Při tomto populárním srovnání nesmíme zapomínat, že skutečná kráva je velice dobře fungující „biochemickou výrobou“ s extrémně komplexním systémem autonomního řízení a regulace. Při vlastním řízení anaerobní digesce ve fermentoru bioplynové stanice je nutné zajistit, aby proces uvnitř nebyl pouze „černou skříňkou“, jejíž charakteristika končí teplotou a hodnotou pH. Proces fermentace bioplynové stanice si nezádá se středně náročnou chemickou výrobou a jako takový je možné jej řídit a optimalizovat. Cílem optimalizace je pak maximální ekonomická efektivita daná stabilitou a výkonností produkce bioplynu. (Štambaský 2011)

### 8.1 Hlavní faktory způsobující nestabilitu

Anaerobní rozklad organických látek je souborem několika procesů, které jsou v dynamické rovnováze. Změna jednoho vyvolá odezvu u ostatních. Každá změna některého z dílčích procesů může být příčinou celkové nestability procesu metanizace. Mezi hlavní faktory způsobující nestabilitu procesu metanizace patří:

- Změny teploty procesu
- Změny zatížení organickými látkami
- Změny ve složení a vlastnosti zpracovávaného materiálu
- Hydraulické přetížení
- Expozice toxickými látkami

### 8.2 Indikátory stavu procesu:

- V plynné fázi:
  - Množství vyprodukovaného plynu
  - Složení vyprodukovaného plynu (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>S)

- V kapalné fázi:
  - pH, celková koncentrace mastných kyselin, jednotlivé mastné kyseliny, kyselinová a zásaditá neutralizační kapacita, CHSK, celkový organický uhlík, rozpuštěné látky celkové, organické i anorganické (solnost), koncentrace nutrietů a jiných specifických látek, oxidačně redukční potenciál
- V tuhé fázi:
  - koncentrace suspendovaných látek a jejich organická frakce, koncentrace organického dusíku (často slouží jako měřítko množství biomasy), sedimentační a filtrační vlastnosti suspendovaných látek

Pro zemědělské bioplynové stanice zpracovávající pouze biomasu ze zemědělských výroby se jedná o charakterizaci a určení stupně odbourání organických látek (vlastní efektivita procesu), dále bilanci dusíku, a především pak kondici fermentačních a metanogenních bakteriálních kmenů. Celkem se jedná o zhruba 13 chemických parametrů. V případě využití specifických substrátů se samozřejmě musí přizpůsobit i rozsah analýz tak, aby pokrýval případné změny vyvolané těmito substráty (např. bio odpady). Chemické analýzy se standardně provádějí každých 14 dnů, v případě zjištění zhoršení stavu pak každý týden, nebo i častěji. Obecně je pak tento časový interval funkcí hydraulické doby zdržení. Optimálním řešením sledování procesu pak představuje online kontinuální chemická analýza. Tato možnost nejlépe odpovídá požadavkům na moderní sledování provozu, s okamžitým výstupem na řídicí počítač. Vlastním měřicím zařízením je zde infračervený spektrometr, kterým je možné sledovat složení nejen kapalné, ale i pevné fáze. Díky tomu je umožněno sledování a kontinuální analýza vstupních substrátů, díky které je např. možné automaticky regulovat vstupní dávku biomasy dle její aktuální sušiny, a tím vždy zajistit trvale konstantní vstup organické hmoty do fermentoru a tím i konstantní odezvu v tvorbě bioplynu. (Štambaský 2011)

### 8.2.1 Konkrétní parametry poukazující na stav procesu

#### Vyšší koncentrace kyseliny propionové

= vysoké zatížení reaktoru (Straka 2006)

#### Okyselené prostředí a přítomnost vodíku

= stav procesu jako celku

(Celý proces je na pH a přítomnost vodíku velmi choulostivý a okyselené prostředí spolu s nálezem vodíku v plynu signalizuje většinou rychle končící tvorbu metanu.) (Straka 2006)

#### Koncentrace CH<sub>4</sub> v bioplynu:

= není pravým indikátorem stability procesu, je spíše bilančním prvkem. Množství produkovaného metanu musí být v relaci s přiváděným zatížením. (Dohányos 1996)

#### Koncentrace CO<sub>2</sub> v bioplynu:

= vypovídací hodnota tohoto indikátoru stability procesu nemá vždy stejnou váhu. Podstatně citlivějším indikátorem stability je poměr koncentrace CH<sub>4</sub> a CO<sub>2</sub>.

Poměr CH<sub>4</sub> / CO<sub>2</sub> je dán charakterem organických látek na vstupu a při stabilním provozu se příliš nemění. Zvyšování koncentrace CO<sub>2</sub> v bioplynu souvisí se zvýšeným zatížením a vyčerpáním neutralizační kapacity. Nejnižší poměr CH<sub>4</sub> / CO<sub>2</sub> v bioplynu mají sacharidické substráty a je blízký jedné, nižší hodnota již indikuje nestabilitu procesu. (Dohányos 1996)

#### Koncentrace vodíku:

= patří mezi nejcitlivější indikátory stability procesu. Obecně lze konstatovat, že objevení se vodíku v bioplynu prakticky vždy signalizuje nestabilitu procesu. Existuje přímá a velice silná závislost mezi organickým přetížením nebo intoxikací procesu a vzrůstem koncentrace vodíku v bioplynu. Díky malé rozpustnosti vodíku ve vodě je změna jeho koncentrace v plynné fázi velice rychlá. (Dohányos 1996)

## 9 Metodika

Materiál odebraný na bioplynové stanici (BPS) se smísil ve stejném poměru, jako se dávkuje do BPS a to 4:1 (kukuřičná siláž : cukrovarnické řízky), dále se k němu přidala voda o teplotě 60 °C v poměru 1 : 1,25 (zvoleno tak, aby bylo možné kvalitně rozmělnit v mixéru a substrát byl ponořený). Materiál se rozmixoval a následně se celá směs umístila do sušárny nastavené na teplotu 60 °C, přiklopila se víčkem a nechala v klidu po dobu 30 minut. Po uplynutí doby se materiál vylišoval šroubovým lisem na ovoce, kde došlo k oddělení pevné frakce od kapalné.

Získaná kapalinu byla nadávkována do reaktoru v poměru 1:80, což odpovídá objemu 75 ml suspenze a 6 l vody.

Reaktor bylo nejprve nutno zapracovat tudíž se do reaktorové sestavy, zahřáté na provozní teplotu (53 °C), nadávkovalo inokulum a poté se postupně přidávala suspenze. Doba zapracování trvala 14 dnů. Poté začal pokusný úsek, kdy se sledovala hodnota CHSK po dobu 5 hodin.

Jako inokulum byl použit digestát odebraný přímo z fermentoru BPS Týnec a to v objemu 150 ml.

Délka sledovaného úseku byla 5 hodin. Každou hodinu se odebral vzorek o objemu 100 ml. Vzorek se umístil do sušárny a sušil se při teplotě 105 °C až do úplného vysušení.

### 9.1 Pokusná reaktorová sestava

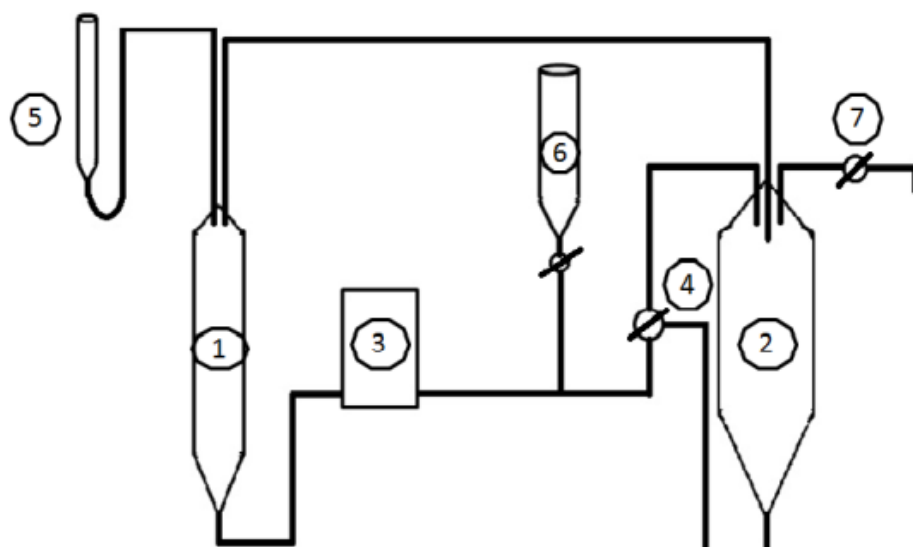
Pro dřívější výzkumné práce byl sestaven model reaktoru s plovoucím mrakem a externím separátorem biomasy, který je schematicky vyobrazen na obrázku č. 9.1

Takto sestavený reaktor může pracovat pouze, pokud je zapnuté oběhové čerpadlo, z čehož vyplývá, že musí být neustále zapnuto, což může v některých případech nežádoucím způsobem ovlivnit celý proces anaerobní digesce, jak například uvádí Straka (2010) viz kapitola 3.3.9.

Aby bylo možné analyzovat vliv míchání na proces anaerobní digesce, bylo nutné přistoupit k celkovému přebudování celé sestavy. Také bylo doplněno cirkulační čerpadlo, které není závislé na ohřevu a slouží pro míchání substrátu. Pro

zajištění stálé teploty byla celá sestava ponořena do vodní lázně, která je vyhřívána oběhovým termostatem. Také došlo k záměně válce, který sloužil jako reaktor (menší válec) za válec, který sloužil jako separátor (větší válec), neboť se toto zapojení zdá výhodnější z hlediska objemu. Schéma upravené sestavy použité v této metodice je na obrázku 9.2.

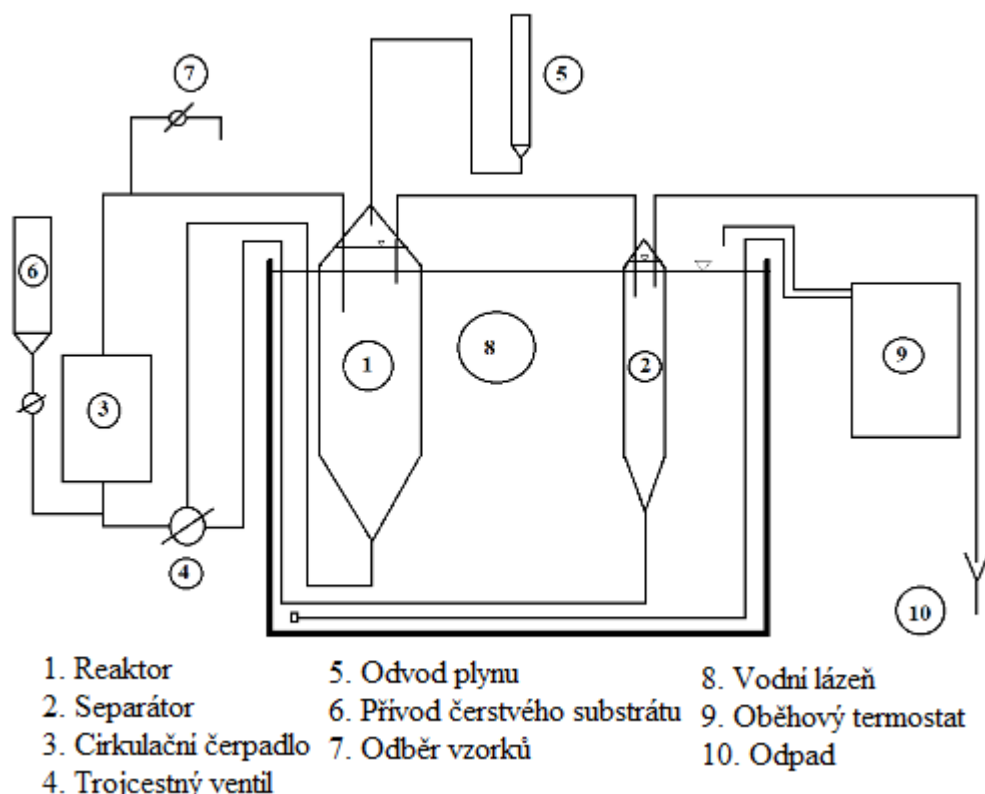
Obr. 9. 1 Reaktorová sestava původní verze (Brožek 2011)



1. Reaktor
2. Separátor
3. Čerpadlo - ohřivač - termostat
4. Trojcestný ventil

5. Odvod bioplynu
6. Nálevka na inokulum
7. Vypouštěcí ventil

Obr. 9. 1 Upravená reaktorová sestava



## 9.2 Metodika míchání

Ve své práci jsem se zabýval vlivem míchání na provoz anaerobního reaktoru s kalovým mrakem a externím separátorem. Pokus byl rozdělen do tří částí, ve kterých se sledoval vliv míchání na rozklad organické hmoty.

### 9.2.1 Míchací cykly

#### 1- Bez míchání

Reaktor se naplnil a promíchal pouze při dávkování. Drobné promíchání proběhlo pouze při odebírání vzorku, což bylo nutné z toho důvodu, aby se k odběrovému místu dostal reprezentativní vzorek.

#### 2- Středně intenzivní míchání

Každých 30 minut se provedlo míchání v délce 5 minut, což odpovídá promíchání objemu reaktoru.

### 3- Intenzivní míchání

Míchání probíhalo v pětiminutovém intervalu. To znamená, že 5 minut se míchalo a 5 minut byla pauza.

## 9.3 Stanovení CHSK

Účinnost produkce aerobní biomasy vzhledem k vynaložené katabolické energii lze charakterizovat růstovým výtěžkem odvozeným ze spotřeby kyslíku na rozklad substrátu. Množství kyslíku potřebné pro oxidaci komplexního substrátu lze odhadnout na základě stanovení chemické spotřeby kyslíku (CHSK). V anaerobním systému, kde jsou jiné finální akceptory elektronů než kyslík, lze použít vztah ekvivalentu dostupných elektronů a jednoho molu kyslíku a používat pro míru energetického obsahu substrátu kyslíkové jednotky ve formě CHSK nebo TSK (TSK je teoretická spotřeba kyslíku na úplnou oxidaci dané organické látky vypočítaná z elementárního složení).

Stanovení CHSK je jednou z nejčastěji prováděných analýz ve vodohospodářských i dalších laboratořích, používá se pro návrh, řízení i kontrolu technologie procesu a u většiny hodnocených substrátů bývá tento údaj k dispozici. (Dohányos)

Chemická spotřeba kyslíku je definována jako hmotnostní koncentrace kyslíku, která je ekvivalentní hmotnosti silného oxidačního činidla spotřebovaného, za přesně vymezených reakčních podmínek zpracování vzorku vody, na oxidaci oxidovatelných látek obsažených v 1 litru vody. CHSK se udává v jednotkách  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$  případně v  $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ .

Metod stanovení CHSK je mnoho. V současné době se používají jen dvě. Jedna metoda používá jako oxidační činidlo manganistan draselný ( $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ ) a druhá metoda dichroman draselný ( $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$ ). Obě tyto metody jsou odlišné. Metoda s dichromanem je účinnější a hodnoty u ní bývají vyšší. (Horáková 2003)

### 9.3.1 $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$

Stanovuje se pouze u pitné a přírodní vody. Výhodou této metody je jednoduchost provedení, poměrně malá časová náročnost a malá spotřeba činidel i tepelné energie. Hlavní nevýhodou je nízký stupeň oxidace většiny organických



látek, což je důvod, proč není tato metoda chápána jako ukazatel obsahu organických látek, ale spíše jako uzanční ukazatel jakosti (znečištění) vody. (Horáková 2003)

### 9.3.2 CHSK<sub>Cr</sub>

Hlavní nevýhodou této metody je velká spotřeba činidel (navíc ekologicky závadných) i tepelné energie, ale i časová náročnost. Výhodou je vysoký stupeň oxidace většiny organických látek. Tato přednost byla hlavním důvodem, pro který bylo stanovení CHSK<sub>Cr</sub> ihned celosvětově zaváděno do praxe a to pro všechny druhy vod.

Metoda je založena na oxidaci organických látek obsažených ve vzorku dichromanem draselným v silně kyselém prostředí kyseliny sírové. Oxidace organických látek je katalyzována ionty  $\text{Ag}^+$  a probíhá v nadbytku dichromanu. Nespotřebované množství dichromanu se po ukončení oxidace zjistí odměrným stanovením, a to titrací. (Horáková 2003)

### 9.3.3 Postup stanovení CHSK<sub>Cr</sub>

Ke stanovení potřebujeme vysušený vzorek, proto bylo nutné odebrané vzorky sušit v sušárně zhruba 12 hodin.

- Nejprve navážíme 0,3 g vzorku s přesností na 3 desetinná místa
- Navážku přesypeme do baňky o objemu 300 ml
- Přidáme 50 ml dichromanu draselného ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )
- Přidáme 0,2 g síranu stříbrného
- Přidáme 40 ml koncentrované (96 %) kyseliny sírové ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- Do hrdla se umístí nálevka, která slouží jako zpětný chladič. Baňku umístíme do vroucí vodní lázně na dobu 90 minut. Během této doby se několikrát promíchá. Po uplynutí doby se baňka ochladí, nabere se vzorek 9 ml a dá se do kádinky (250 ml).
- Přidáme asi 100 ml destilované vody a 0,2 ml indikátoru
- Vzorek titrujeme Mohrovou solí až do zhnědnutí.

Poté odečteme objem spotřebované Mohrovy soli a dosadíme do vzorce.

$$CHSK_{Cr} = \frac{(a - b) \cdot 16}{n} [mg \cdot O^2 \cdot g^{-1}]$$

CHSK<sub>Cr</sub> – chemická spotřeba kyslíku

a – titrace vzorku [ml]

b – titrace slepého vzorku [ml]

n – navážka [g]

## 10 BPS Týnec u Dobrovice

Agrofarma Týnec s.r.o. se nachází zhruba jeden kilometr severovýchodně od města Dobrovice. Jedná se o společnost, která je orientovaná pouze na rostlinnou produkci. Kukuřičnou siláž vyrábí pouze pro potřeby bioplynové stanice (BPS) a cukrovarnické řízky získává v nedalekém cukrovaru. Kejdu dováží z jiné společnosti.

### 10.1 Základní parametry

Jedná se o dvoustupňovou technologii, která je složena z fermentoru, dofermentoru, na něž navazuje sklad digestátu. Fermentor má rozměry 24 x 6 m, dofermentor 24 x 6 m a sklad digestátu 30 x 8 m.

Kogenerační jednotka má výkon 889 kW

Obsah metanu je okolo 50 %

Sušina se pohybuje přibližně na hodnotě 12 %

Za rok se počítá s výrobou elektřiny na úrovni 7.009 MWh . rok<sup>-1</sup>

Vlastní spotřeba BPS včetně ztrát trafostanice je 6-7 %

### 10.2 Zpracovávaný materiál

Denní dávka:

**Kukuřičná siláž** – 40 t

**Cukrovarnické řízky** – 10 t

### Občasné dávkování:

#### **Ovoce, případně brambory**

Které nejsou vhodné pro lidskou spotřebu. Pokud se dávkuje do 1 t za den, neměla by se produkce bioplynu nijak zásadně projevit.

#### **Lihovarnické výpalky**

Dle původního plánu se měly dodávat občasně z důvodu naředění fermentoru, aby se zajistila odpovídající sušina. Po praktické zkoušce, se zjistilo, že významně narostl obsah sulfanu v bioplynu a proto se od tohoto substrátu upustilo.

#### **Kejda prasat**

Nahradila jako substrát lihovarnické výpalky a používá se nárazově, pokud je potřeba obsah fermentoru naředit, aby se zajistila určitá sušina obsahu.

(webové stránky farmy a ústní sdělení obsluhy)

## **11 Výsledky a diskuze**

Cílem práce bylo optimalizovat již sestavenou reaktorovou sestavu. Tento model je zmenšený reaktor s kalovým mrakem a externím separátorem biomasy, který se běžně používá pro čištění odpadních vod.

Reaktory pro zpracování odpadních vod pracují pouze s kapalnou složkou, ve které jsou rozpuštěné látky. Za těchto podmínek ztrácí hydrolýza jako první a limitující stupeň význam, což znamená, že oproti klasickým (v zemědělství běžným) fermentorům, celý proces probíhá rychleji a tudíž se zkracuje nezbytná doba zdržení, což zmenšuje požadavky na velikost reaktoru. (Dohányos 1996)

Použitím technologie přípravy substrátu IFBB jsme získaly materiál použitelný do tohoto typu reaktoru. Navíc získaná suspenze má mnohem příznivější složení, než materiál před úpravou. A to zejména převedení, pro anaerobní digesti nestravitelné, lignocelulózy do vylisované části a naopak pro spalování nevhodných prvků do části kapalné (K, Mg, Cl, N, S). (Richter 2010)

Po 14 dnech, kdy se reaktor zapracoval, jsme přestali dávkovat substrát a sledovali jsme pouze stupeň odbourání organické hmoty vyjádřené  $CHSK_{Cr}$ . V tabulce 11. 1 jsou uvedeny naměřené hodnoty pro režim „Intenzivní míchání,

v tabulce 11. 2 pro režim „Střední míchání“ a v tabulce 11. 3 pro režim „Bez míchání“. Teplota se pohybovala v termofilní oblasti, konkrétně 53 °C.

Reaktor bylo nutné zapracovat z toho důvodu, že by při náhlém zvýšení koncentrace organické hmoty (zatížení) došlo k přetížení reaktoru. Dochází k tomu tak, že se začnou velmi rychle tvořit kyseliny, v procesu acidogeneze a metanogenní bakterie je již nestíhají zpracovat a začnou se hromadit. Dojde tak k okyselení prostředí (mimo optimální rozsah 6,5 – 7,5), metanogeny začnou hynout a celý proces se zhroutí. (Dohányos 2008)

Jak je patrné z obr. 11. 1, tak intenzita míchání na tomto laboratorním zařízení neměla na rozklad materiálu vliv. Straka 2010 sice udává jisté reakce produkce bioplynu na režim míchání, ale tyto hodnoty byly dosaženy při delší době zdržení (60 dnů).

Tab. 11. 1 Hodnoty  $CHSK_{Cr}$  pro intenzivní míchání

Intenzivní míchání 53°C				
Doba zdržení [h]	Navážka [g]	a [ml]	CHSK [mg O <sub>2</sub> · g <sup>-1</sup> ]	CHSK prům. [mg O <sub>2</sub> · g <sup>-1</sup> ]
0	0,3003	1,25	66,60	66,56
	0,3007	1,25	66,51	
1	0,3011	1,25	66,42	66,43
	0,3010	1,25	66,45	
2	0,3001	1,25	66,64	65,32
	0,3000	1,20	64,00	
3	0,3014	1,15	61,05	59,80
	0,3006	1,10	58,55	
4	0,3019	0,70	37,10	38,53
	0,3003	0,75	39,96	
5	0,3006	0,40	21,29	21,30
	0,3004	0,40	21,30	

Tab. 11. 2 Hodnoty  $CHSK_{Cr}$  pro střední míchání

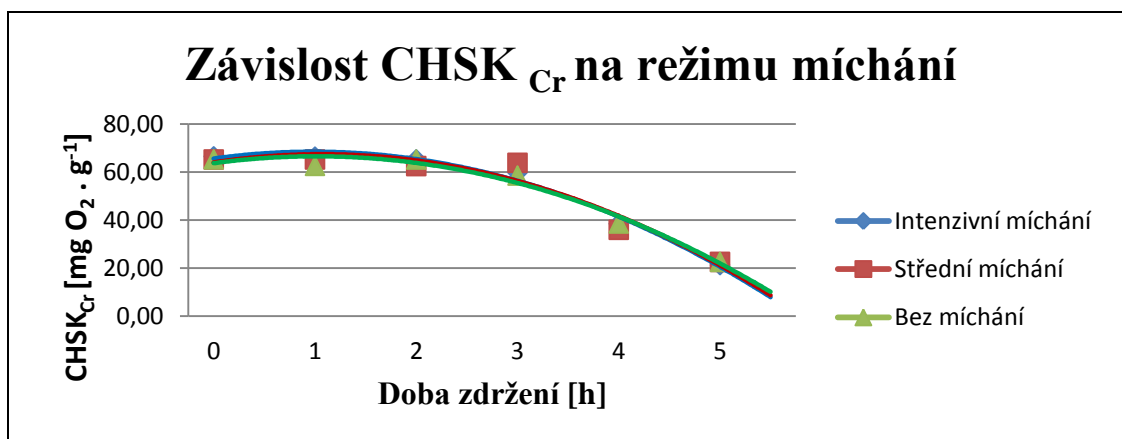
Střední míchání 53°C				
Doba zdržení [h]	Navážka [g]	a [ml]	CHSK [mg O <sub>2</sub> · g <sup>-1</sup> ]	CHSK prům. [mg O <sub>2</sub> · g <sup>-1</sup> ]
0	0,3004	1,25	66,58	65,27
	0,3002	1,20	63,96	
1	0,3004	1,20	63,91	65,27
	0,3002	1,25	66,62	
2	0,3005	1,10	58,57	62,53
	0,3008	1,25	66,49	
3	0,3010	1,30	69,10	63,88
	0,3001	1,10	58,65	
4	0,3000	0,65	34,67	35,99
	0,3002	0,70	37,31	
5	0,3006	0,50	26,61	22,62
	0,3005	0,35	18,64	

Tab. 11. 3 Hodnoty  $CHSK_{Cr}$  pro režim bez míchání

Bez míchání 53°C				
Doba zdržení [h]	Navážka [g]	a [ml]	CHSK [mg O <sub>2</sub> · g <sup>-1</sup> ]	CHSK prům. [mg O <sub>2</sub> · g <sup>-1</sup> ]
0	0,3001	1,20	63,98	65,32
	0,3000	1,25	66,67	
1	0,3004	1,05	55,93	59,95
	0,3001	1,20	63,98	
2	0,3003	1,25	66,60	65,27
	0,3003	1,20	63,94	
3	0,3005	1,10	58,57	58,58
	0,3004	1,10	58,59	
4	0,3000	0,75	40,00	38,62
	0,3007	0,70	37,25	
5	0,3006	0,45	23,95	22,64
	0,3002	0,40	21,32	

Drobné rozdíly v jednotlivých režimech jsem sice naměřil, ale to je pravděpodobně způsobeno chybou měření a to z několika důvodů. Laboratorní aparatura byla sestavena z dostupných pomůcek, tudíž nemůže konkurovat sofistikovanějším profesionálním zařízením. Dále při stanovení  $CHSK_{Cr}$  probíhala titrace pomocí byrety, a proto měření mohlo být zatíženo lidskou chybou při vyhodnocení zbarvení roztoku a odečtením ze stupnice (hodnoty byly zaokrouhleny).

Obr. 11. 1 Závislost  $CHSK_{Cr}$  na režimu míchání



Protože se ukázalo míchání jako nepodstatné, provedl jsem ještě porovnání práce reaktoru při nižší teplotě a to v režimu bez míchání, jehož hodnoty jsou uvedeny v tabulce 11.4. Rozdíl v odbourání organické hmoty je patrný na obrázku 11.2. K podobným výsledkům dospěl i Brožek (2011).

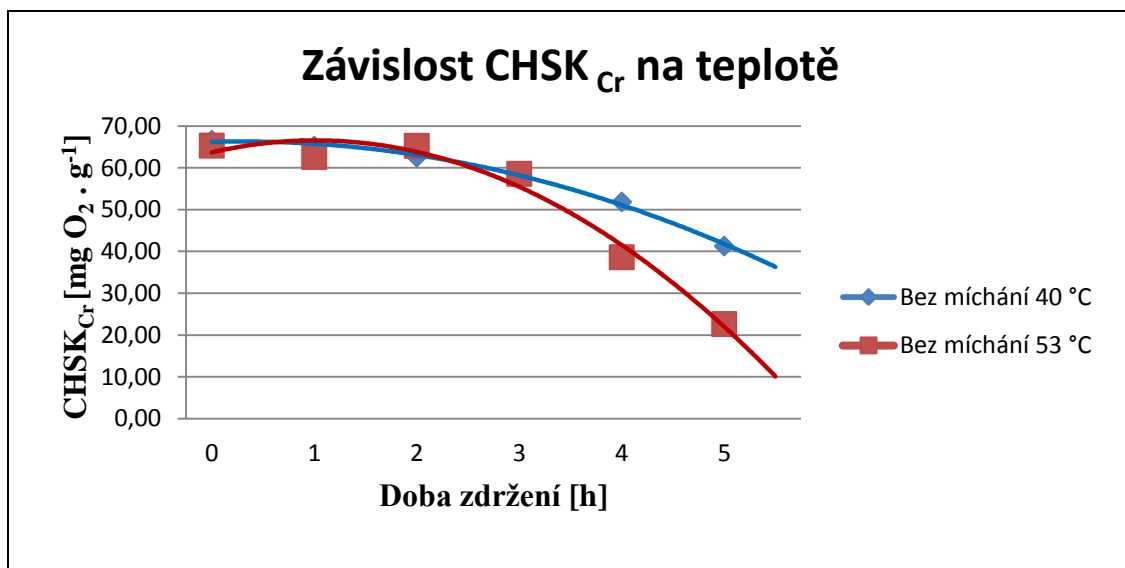
Tento rozdíl lze vysvětlit tím, že s rostoucí teplotou se zvyšují všechny biochemické procesy s tím i anaerobní digesce (Mužík, Kára 2009). Navíc se růstové rychlosti při adaptaci na termofilní podmínky zvyšují, většinou výrazně a někdy až několikanásobně (30 – 500 %). (Straka 2010)

Z tohoto závěru bychom mohli navrhnout pro praxi zvýšení provozních teplot a tím zvětšit rychlost procesu. Dokonce by došlo i k vyšší produkci bioplynu, ovšem tento pozitivní jev je vyvažován pro praxi významnými negativy, jako jsou: vyšší náklady na ohřev reaktoru, vyšší koncentrace alifatických karbonových kyselin ve fugátu, vyšší transfer volného amoniaku a sulfanu do fugátů. Další negativum je zisk bioplynu s nižším podílem  $CH_4$  a větším podílem  $CO_2$  než při mezofilních teplotách. Navíc termofilní bakterie jsou citlivější na výkyv teploty, což klade větší požadavky na kvalitu řízení procesu. (Straka 2010, Schulz 2004)

Tab. 11. 4 Hodnoty  $CHSK_{Cr}$  pro s režim bez míchání při 40 °C

Bez míchání 40 °C				
Doba zdržení [h]	Navážka [g]	a [ml]	CHSK [mg O <sub>2</sub> · g <sup>-1</sup> ]	CHSK prům. [mg O <sub>2</sub> · g <sup>-1</sup> ]
0	0,3003	1,25	66,60	66,62
	0,3001	1,25	66,64	
1	0,3007	1,25	66,51	65,23
	0,3002	1,20	63,96	
2	0,3009	1,15	61,15	62,55
	0,3002	1,20	63,96	
3	0,3003	1,15	61,27	58,57
	0,3007	1,05	55,87	
4	0,3012	1,00	53,12	51,85
	0,3005	0,95	50,58	
5	0,3004	0,80	42,61	41,28
	0,3003	0,75	39,96	

Obr. 11. 2 Závislost  $CHSK_{Cr}$  na teplotě



## 12 Závěr

V práci jsem se zabýval využitím reaktoru s kalovým mrakem a externím separátorem biomasy. Jako vstupní materiál jsem zvolil směs siláže a cukrovarnických řízků, která se používá na bioplynové stanici, patřící společnosti Agrofarma Týnec s. r. o.

Všechny vzorky použité při pokusu byly odebrány ze stejných silážních vaků, jako se dávkovali do bioplynové stanice. Jako inokulum byl použit digestát odebraný přímo z fermentoru. Po převezení byly vzorky umístěny do lednice v neprodyšném obalu, a odtud byly odebírány dle potřeby. Doba skladování nebyla delší jeden týden.

Kukuřičná siláž a cukrovarnické řízky byly nejprve smíchány v poměru stejném, jako se používá na bioplynové stanici Týnec a to v poměru 4:1, následně byly zpracovány podle metodiky IFBB (Integrated generation of solid Fuel and Biogas from Biomass) a to tak, že se tato směs zalila vodou o teplotě 60 °C a rozmixovala mixérem. Dále byl tento vzorek udržován při teplotě 60 °C po dobu 30 minut. Poté byla směs vylisována šnekovým lisem a tím se oddělila kapalná část od pevné. Kapalínu jsem následně odměřil a připravil k dávkování do reaktorové sestavy.

Před začátkem pokusu bylo nutné reaktorovou se stavu zapracovat a to tím způsobem, že se nadávkovalo inokulum a doplnilo čistou vodou, aby se reaktorová sestava kompletně zaplnila a byla možná cirkulace kapaliny. Postupně se přidával kapalný substrát, až se dosáhlo stabilního zatížení (po 14 dnech). V tu dobu se začalo sledovat odbourání  $CHSK_{Cr}$  po dobu 5 hodin. Každou hodinu jsem odebíral vzorek o objemu 100 ml, který se dále sušil a podle metodiky jsem stanovil  $CHSK$  dichromanovou metodou a titrací Mohrovou solí. ( $CHSK_{Cr}$ ).

Nejprve jsem zkoušel zjistit vliv různých režimů míchání na změnu  $CHSK_{Cr}$ , ale na tomto laboratorním zařízení se to nikterak neprojevalo, což mohlo být způsobeno relativně krátkou dobou sledování. Proto jsem ještě porovnal vliv změny teploty a to za provozu při 40 °C a 53 °C. Při tomto měření se již změna projevila a to ve prospěch režimu při teplotě 53 °C, kde se organická hmota odbourávala rychleji a to ve sledovaném časovém úseku 5 hodin o 65 %, zatím co při teplotě 40 °C jen o 38 % (odbouraného  $CHSK_{Cr}$ ). K dosaženým výsledkům je nutno dodat, že mohou být zatíženy větší chybou, neboť se jednalo o zařízení sestavené z částí



dostupných ve skladu a tudíž nemůže konkurovat sofistikovanějším průmyslovým zařízením. Také titrace byla prováděna pomocí ruční byrety a dokončení bylo signalizováno změnou barevného spektra, což není až tak přesné, jako automatický titrátor.

Výsledky ukazují, že reaktor s plovoucím mrakem a externím separátorem biomasy lze použít i na substrát používaný v běžné praxi. Kapalná složka, která prošla reaktorem, by se mohla po vhodné úpravě použít jako koncentrované kapalné hnojivo a teplo vzniklé v kogenerační jednotce by se mohlo využít k dosušení pevného zbytku po vylisování a výrobě pelet. Což by znamenalo zvětšení efektivity celé bioplynové stanice a umožnilo by to další příjem, neboť provozovatelé jsou dnes finančně motivováni, pokud toto teplo využívají.

## 13 Seznam příloh

Obr. 13. 1 Reaktorová sestava.....	59
Obr. 13. 2 Reaktor (vlevo) se separátorem (vpravo) naplnění vodou .....	59
Obr. 13. 3 Biomasa před rozmixováním .....	60
Obr. 13. 4 Biomasa po mixování.....	60
Obr. 13. 5 Biomasa po vylisování (pevná část).....	61
Obr. 13. 6 Titrace vzorku .....	61

## 14 Přílohy

Obr. 14. 1 Reaktorová sestava



Zdroj: Autor

Obr. 14. 2 Reaktor (vlevo) se separátorem (vpravo) naplněni vodou



Zdroj: Autor

Obr. 14. 3 Biomasa před úpravou



Zdroj: Autor

Obr. 14. 4 Biomasa po úpravě



Zdroj: Autor

Obr. 14. 5 Biomasa po vylisování (pevná část)



Zdroj: Autor

Obr. 14. 6 Titrace vzorku



Zdroj: Autor

## 15 Použitá literatura

1. [http://www.agrofarmatynec.cz/?page\\_id=10](http://www.agrofarmatynec.cz/?page_id=10)
2. *Průvodce výrobou a využitím bioplynu*. Praha: CZ Biom, 2009, 155 s. ISBN 978-80-903777-5-2.
3. BRANDEJSOVÁ, Eliška a Zdeněk PŘIBYLA. *Bioplynové stanice: (zásady zřízení a provozu plynového hospodářství)*. Praha: GAS, 2009, 118, [16] s. GAS. ISBN 978-80-7328-192-2.
4. BROŽEK, Jiří. *Využití reaktoru s kalovým mrakem a externím separátorem biomasy pro výrobu metanu ze substrátu pro BPS Chotýčany, zpracovaném technologií IFBB (Integrated Generation of Solid Fuel and Biogas from Biomass)*. České Budějovice, 2011. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc.
5. ČERMÁKOVÁ, Jiřina, Daniel TENKRÁT a Ondřej PROKEŠ. VŠCHT PRAHA, Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší. *Výroba a využití biometanu: Odpadové fórum 2008*. Milovy, 2008. Dostupné z: [http://www.petroleum.cz/upload/aprochem2008\\_ap\\_08.pdf](http://www.petroleum.cz/upload/aprochem2008_ap_08.pdf) [cit. 21. 2. 2013]
6. ČERMÁKOVÁ, Jiřina, TENKRÁT, Daniel: *Efektivní zhodnocení bioplynu*. *Biom.cz* [online]. 2011-08-22 [cit. 2013-02-21]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-zhodnoceni-bioplynu>>. ISSN: 1801-2655.
7. ČESKÁ BIOPLYNOVÁ ASOCIACE. [online]. [cit. 2013-04-10]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/>
8. DOHÁNYOS, Michal: *Zvyšování efektivity fermentace - nejnovější poznatky ve výzkumu a praxi*. *Biom.cz* [online]. 2009-02-25 [cit. 2013-02-25]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zvysovani-efektivity-fermentace-nejnovejsi-poznatky-ve-vyzkumu-a-praxi>>. ISSN: 1801-2655.

9. DOHÁNYOS, Michal. *Bilance tvorby bioplynu - metanizace*. ČESKÁ BIOPLYNOVÁ ASOCIACE. [online]. [cit. 2013-02-22]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/bilance-tvorby-bioplynu-metanizace.html>
10. DOHÁNYOS, Michal, Jana ZÁBRANSKÁ a Pavel JENÍČEK. *Anaerobní technologie v ochraně životního prostředí*. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, 1996, 172 s. ISBN 80-853-6890-0.
11. HENSGEN, F., F. RICHTER a M. WACHENDORF. *Integrated generation of solid fuel and biogas from green cut material from landscape conservation and private households*. *Bioresource Technology*. 2011, roč. 102, č. 22, s. 10441-10450. ISSN 09608524. DOI: 10.1016/j.biortech.2011.08.119. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852411012296>
12. HENSGEN, Frank, Lutz BÜHLE, Iain DONNISON, Mariecia FRASIER, Jim VALE, John CORTON, Katrin HEINSOO, Indrek MELTS a Michael WACHENDORF. *Mineral concentrations in solid fuels from European semi-natural grasslands after hydrothermal conditioning and subsequent mechanical dehydration*. *Bioresource Technology*. 2012, roč. 118, s. 332-342. ISSN 09608524. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.05.035. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852412007791>
13. HORÁKOVÁ, Marta: Chemická spotřeba kyslíku. Odd. 5.2.1; 5.2.2. In: HORÁKOVÁ a kol. *Analytika vody*. Str. 256 -268. VŠCHT Praha 2003. ISBN:
14. KÁRA, Jaroslav. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. Vyd. 1. Praha: VÚZT, 2007, 120 s. ISBN 978-80-86884-28-8.
15. KÁRA, Jaroslav, MUŽÍK, Oldřich: *Návrh malotonážního zařízení pro úpravu bioplynu na kvalitu zemního plynu*. *Biom.cz* [online]. 2012-12-10 [cit. 2013-02-21]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz-bioplyn/odborne-clanky/navrh-malotonazniho-zarizeni-pro-upravu-bioplynu-na-kvalitu-zemniho-plynu>>. ISSN: 1801-2655.
16. KARAFIÁT, Zbyšek, VÍTĚZ, Tomáš, POSPÍŠIL, Lukáš: *Bioplynové stanice na „suchou“ fermentaci – šance pro energetické využití biologicky rozložitelných odpadů (BRO)*. *Biom.cz* [online]. 2009-08-31 [cit. 2013-01-02]. Dostupné z

WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biopllynovy-stance-na-suchou-fermentaci-sance-pro-energeticke-vyuziti-biologicky-rozlozitelnych-odpadu-bro>>. ISSN: 1801-2655.

17. KOLONIČNÝ, Jan: *Emise při spalování biomasy*. *Biom.cz* [online]. 2010-06-07 [cit. 2013-02-26]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/emise-pri-spalovani-biomasy-2>>. ISSN: 1801-2655.
18. KOUTSKÝ, Martin, MACHNÍKOVÁ, Eva, HENKEL, Martin, DITTRICH, Martin, VOŠTA, Jan: *Emise při spalování biomasy*. *Biom.cz* [online]. 2002-08-07 [cit. 2013-02-26]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/emise-pri-spalovani-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.
19. Kolář L., Kužel S., Peterka J., Štindl P., Plát V.: *Agrochemical value of organic matter of fermenter wastes in biogas production*. *Plant Soil Environ.*, 54 (2008): 321-328
20. KOLÁŘ, Ladislav, VANĚK, Václav, KUŽEL, Stanislav: *Využití odpadů z bioplynových stanic. Racionální použití hnojiv - sborník z konference, 2009* ISBN 978-80-213-2006-2
21. KOUŘA, Jaroslav. *Bioplynové stanice s mokřým procesem*. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2008, 119 s. ISBN 978-80-87093-33-7.
22. KUŽEL, Stanislav, Ladislav KOLÁŘ, Jiří PETERKA a Jiřina HŘEBEČKOVÁ. *Jak efektivně využít digestát?*. In: *Energie 21: časopis obnovitelných zdrojů energie* / [online]. 3/10. Praha: Profi Press, 2010, 25.6.2010 [cit. 2013-02-04]. Dostupné z: [http://www.energie21.cz/archiv-novinek/Jak-efektivne-vyuzit-digestat\\_\\_s303x46878.html](http://www.energie21.cz/archiv-novinek/Jak-efektivne-vyuzit-digestat__s303x46878.html)
23. MUŽÍK, Oldřich, KÁRA, Jaroslav: *Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR*. *Biom.cz* [online]. 2009-03-04 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-biopllynu-v-cr>>. ISSN: 1801-2655.



24. RICHTER, Felix Sebastian. *Impact of sward type, cutting date and conditioning temperature on mass and energy flows in the integrated generation of solid fuel and biogas from semi-natural grassland*. Witzenhausen, 2010. Dostupné z: <http://kobra.bibliothek.uni-kassel.de/bitstream/urn:nbn:de:hebis:34-2011012135578/5/DissertationFelixRichter.pdf>. Doctoral thesis. University of Kassel. Vedoucí práce Prof. Dr. Michael Wachendorf, Prof. Dr. Detlev Möller.
25. SLEJŠKA, Antonín, VÁŇA, Jaroslav: *Anaerobní digesce, fermentace, stabilizace, vyhnívání či zkvašování?*. *Biom.cz* [online]. 2002-07-16 [cit. 2012-11-06]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-digesce-fermentace-stabilizace-vyhnivani-ci-zkvasovani>>. ISSN: 1801-2655.
26. STRAKA, František, DOUCHA, Jiří: *Nové možnosti energetického využití bioplynu*. *Biom.cz* [online]. 2011-07-11 [cit. 2013-03-14]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nove-moznosti-energetickeho-vyuziti-bioplynu>>. ISSN: 1801-2655.
27. STRAKA, František a Karel CIAHOTNÝ. *Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]*. 3., zkrác. vyd. Praha: GAS, 2010, 305 s. ISBN 978-80-7328-235-6.
28. SCHULZ, Heinz. *Bioplyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení - příklady*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2004, 167 s. ISBN 80-861-6721-6.
29. ŠTAMBASKÝ, Jan: *Chemická analýza v řízení bioplynových stanic*. *Biom.cz* [online]. 2011-07-27 [cit. 2013-01-03]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz-bioplyn/odborne-clanky/chemicka-analyza-v-rizeni-bioplynovych-stanic>>. ISSN: 1801-2655.
30. TEDOM Webové stránky firmy [cit. 22. 2. 2013] Dostupné z WWW: <http://kogenerace.tedom.com/trigenerace.html>
31. VÁŇA, Jaroslav: *Využití digestátů jako organického hnojiva*. *Biom.cz* [online]. 2007-04-25 [cit. 2013-02-04]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-digestatu-jako-organickeho-hnojiva>>. ISSN: 1801-2655.

32. WACHENDORF, M., F. RICHTER, T. FRICKE, R. GRAF<sup>2</sup> a R. NEFF. *Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. I. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on mass flows of organic and mineral plant compounds, and nutrient balances. Grass and Forage Science*. 2009, roč. 64, č. 2, s. 132-143. ISSN 01425242. DOI: 10.1111/j.1365-2494.2009.00677.x. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2494.2009.00677.x>
33. ŽIVNÝ, Jakub. *Výroba bioplynu z čerstvé travní hmoty*. České Budějovice, 2011. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Ing. Josef Frolík, CSc.