

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH  
BUDĚJOVICÍCH**

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

2012

Kristýna Dvořáková

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4131 Zemědělství

Studijní obor: Agropodnikání

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vhodnost reaktoru s kalovým mrakem a externím separátorem  
biomasy pro výrobu metanu ze substrátu pro BPS Věžovate  
Pláně, zpracovaném technologií IFBB (Integrated Generation of  
Solid Fuel and Biogas from Biomass)

Vedoucí bakalářské práce  
prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc.

Autor  
Kristýna Dvořáková

České Budějovice, duben 2012

#### Prohlášení:

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské 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 1. 4. 2012

Kristýna Dvořáková

#### Poděkování:

Děkuji vedoucímu této diplomové práce prof. Ing. Stanislavu Kuželovi, CSc za podněty k vypracování této práce. Současně děkuji Ing. Eduardu Strosserovi za pomoc při stanovování  $CHSK_{Cr}$ . Rovněž děkuji doc. Ing. Janu Horáčkovi CSc, Ing. Josefu Marouškovi za sestavení a zahájení provozu pokusné reaktorové sestavy a Ing. Jiřímu Brožkovi za spolupráci a pomoci při práci v laboratoři.

## Abstrakt:

Cílem této práce byl výzkum činnosti reaktoru s kalovým mrakem a externím separátorem biomasy. Pokusné měření bylo prováděno v laboratoři na postavené reaktorové sestavě.

Výsledkem těchto měření byla účinnost odbourávání organických látek, která probíhala během činnosti reaktoru a byla stanovená jako  $CHSK_{Cr}$  v daném vzorku.  $CHSK_{Cr}$  byla měřena při teplotě 40 a 50°C vždy v době zdržení 5 hodin. Při teplotě 50°C bylo množství organické hmoty poměrně vysoké, kdy na začátku byla  $CHSK_{Cr}$  301,1 mg.l<sup>-1</sup> a na konci poklesla na 113,5 mg.l<sup>-1</sup>. Při teplotě 40°C nebylo odbourané množství již tak vysoké. Na začátku bylo změřeno 299,15 mg.l<sup>-1</sup>  $CHSK_{Cr}$  a na konci poklesla na 182,84 mg.l<sup>-1</sup>. Hmota, používaná v reaktoru byla získána pomocí technologie IFBB ze substrátu z BPS Věžovatá Pláně. Výsledkem technologie IFBB je tuhá a kapalná spíše kašovitá hmota. V pokusném měření byla použita pouze kapalná hmota jako provozní roztok reaktoru.

Reaktorová sestava byla složena ze skleněné nádoby – reaktoru a skleněného separátoru. Dále připojovací pryžové hadičky, skleněné trubičky, součástky pro vstup a výstup látek sestavy, ohřívač, čerpadlo. Pro přípravu vzorků k vyhodnocení byla použita horkovzdušná trouba (sušárna). Rovněž byl použit elektronický titrátor, jehož pomocí bylo uskutečněno hlavní vyhodnocování.  $CHSK_{Cr}$  byla vypočtena pomocí vzorce.

## Summary

The goal of this work was to research the activity of the reactor with a sludge cloud and external biomass separator. The experimental measurements were done in a laboratory on a built reactor set. The result of these measurements was the effectiveness of the degradation of organic substances that took place during the reactor activity and was established as  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  in the given sample.  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  was measured at a temperature of 40° C and 50° C at a constant holding time of 5 hours. At a temperature of 50° C, the amount of organic matter was relatively high; at the beginning the  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  was 301.1 mg.l<sup>-1</sup> and had decreased to 113.5 mg.l<sup>-1</sup> at the end. At a temperature of 40° C, the degraded amount was no longer as high. At the beginning,  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  was measured at 299.15 mg.l<sup>-1</sup> and had dropped to 182.84 mg.l<sup>-1</sup> by the end. The matter used in the reactor was obtained using IFBB technology from substrate from BPS Věžovatá Pláně. The result of the IFBB technology was a solid and a rather slurry liquid matter. In the experimental measurements, only the liquid matter was used as the operational reactor solution.

The reactor set consisted of glass containers – the reactor and a glass separator, as well as connecting rubber tubes, glass tubes, components for substance entrance and exit into and out of the set, a heater, and a pump. A convection oven (dryer) was used for preparing the samples for evaluation. Also used was an electronic titrator used for executing the main evaluations.  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  was calculated using a formula.

# 1 Obsah

1	Obsah.....	7
2	Úvod.....	8
3	Pojem bioplyn.....	9
4	Složení a kvalita bioplynu .....	10
5	Principy tvorby bioplynu.....	11
5.1	Anaerobní fermentace .....	11
5.1.1	Fáze anaerobního rozkladu.....	11
5.1.2	Životní podmínky pro metanové bakterie .....	12
5.2	Materiál vhodný pro anaerobní fermentaci .....	13
5.2.1	Sušina .....	13
5.2.2	Hodnota pH .....	14
5.2.3	Poměr C:N.....	14
5.2.4	Obsah příměsí.....	14
5.2.5	Postup nakládání se substrátem před samotnou fermentací .....	15
5.3	Využití odpadu z bioplynových stanic .....	15
6	Technologie výroby reaktorového bioplynu .....	17
6.1	Hlavní části bioplynové stanice.....	17
6.2	Dělení bioplynových technologií podle dávkování sur. materiálu.....	18
6.3	Dělení bioplynových technologií podle vlhkosti materiálu.....	18
7	Anaerobní reaktory.....	19
7.1	Reaktory se suspenzí biomasou.....	19
7.2	Imobilizace biomasy.....	20
7.3	Biofilmové reaktory.....	21
7.4	Reaktor UASB .....	21
7.5	Reaktor s kalovým mrakem s externím separátorem biomasy.....	22
7.6	Technologie IFBB .....	23
7.6.1	Biomasa .....	23
7.6.2	Možnosti technologie IFBB .....	23
7.7	Produkty technologií IFBB .....	24
8	Pokusná část .....	25
8.1	Metodika.....	25
8.1.1	Příprava substrátu a inokulačního roztoku .....	25
8.1.2	Reaktorová sestava .....	25
8.1.2.1	Popis sestavy .....	25
8.1.2.2	Provoz sestavy .....	26
8.1.3	Stanovení $CHSK_{Cr}$ .....	27
8.1.3.1	Postup stanovení metody $CHSK_{Cr}$ .....	27
8.2	Výsledky a diskuze .....	28
8.2.1	Provoz reaktorové sestavy s inokulem z BPS Věžovatá Pláně .....	28
8.2.1.1	Zjištění sušiny materiálu .....	30
8.2.1.2	Stanovení $CHSK_{Cr}$ při 50°C .....	30
8.2.1.3	Stanovení $CHSK_{Cr}$ při 40°C.....	31
8.3	Anketa mezi občany Dolní a Věžovaté Pláně .....	33
8.3.1	Závěr.....	35
8.3.2	Obrazová příloha pokusné části.....	36
8.3.3	Obrazová příloha BPS Věžovatá Pláně .....	39
9	Přehled použité literatury .....	43

## 2 Úvod

Bioplyn není žádným novodobým vynálezem, nýbrž je tak starý jako život na naší planetě. Nový život přece může vzniknout jen tehdy, když starý zanikne – to je princip platný v celé přírodě. Zatímco slunce fotosyntézou umožňuje růst nového života, organická hmota tvořená převážně vodou, bílkovinami, tuky, uhlohydráty a minerálními látkami se při odumírání rozkládá na své původní složky: oxid uhličitý, vodu a minerály. Přitom se uvolňuje energie.

Vedle jiných procesů rozkladu., jimiž jsou hoření, trávení, kvašení a trouchnivění, představuje rovněž vyhnívání takový proces přeměny. Při tomto procesu vzniká bioplyn.(1)

V současné době si můžeme všimnout vysokého nárůstu počtu nových bioplynových stanic různého typu, které zpracovávají různé organické substráty. Všechny ale bohužel zdaleka nepodávají požadovaný projektovaný výkon.

Existuje mnoho možných příčin nedostatečné funkce bioplynových stanic, mezi nejčastější patří: a) špatné provozování z důvodu neznalosti vlastního fermentačního procesu, b) chyby při výběru technologie, c) chyby v projekci a konstrukci a d) enormní snahy o úspory v investičních a provozních nákladech.

Prvořadým předpokladem, který bychom měli znát, aby funkce bioplynového reaktoru dobře fungovala je znalost vlastního fermentačního procesu. Bohužel si mnoho z nás myslí, že bioplynový reaktor je černá skříňka, do které se akorát přikládá a očekává se vynikající výkon. Musíme si ale uvědomit, že se jedná o složité biotechnologické procesy a to i přesto, že biotechnologie a bioinženýrství jsou na vysoké úrovni. Bez základních znalostí procesu bohužel nelze bioplynový reaktor a celou bioplynovou stanicí provozovat ani projektovat.

Bioplynové stanice jsou zařízeními, kde se spalováním obnovitelného zdroje energie – bioplynu – vyrábí teplo, popř. v kogenerační jednotce teplo a elektřina. Tyto energie byly dříve spotřebovávány především v místě výroby, dnes se však stále častěji dodává elektrická energie do sítě a odtud pak konečným zákazníkům. (2)

Bioplynem lze pohánět jak motory pro výkon mechanické síly, tak generátory proudu ve velkém výkonovém rozsahu od několika málo až po několik stovek kW.

Naproti tomu pro výkony řádu megawattů (více než 1000 kW) je v současnosti účelné vyrábět proud prostřednictvím parních turbogenerátorů využívajících spalování dřeva, slámy a jiných druhů suché biomasy.

Byly získány i rozsáhlé praktické zkušenosti s bioplynovými stanicemi. Díky tomu dnes již existují odborníci, kteří zemědělcům mohou při plánování a realizaci zařízení poskytnout pomoc.(11)



### 3 Pojem bioplyn

Termín „bioplyn“ v posledních letech 20. století zcela zobecněl a stal se nejen běžně rozšířeným mezi technickou odbornou veřejností, nýbrž i jistým synonymem čehosi ekologicky příznivého v majoritní laické veřejnosti. Snad právě díky popularizačním pokusům masmedií nejrůznějších typů i odborných úrovní byl v laické veřejnosti fixován dojem, že „bioplyn“ je sice možná páchnoucí, nicméně užitečný a ekologicky čistý plyn vznikající v živých organismech resp. působením těchto organismů.

Při rozkladech a syntézách uskutečňovaných biochemickými cestami vzniká celá řada jednoduchých i složitějších plynných sloučenin. Ovšem, mnohé z těchto plynů a plynných směsí nemusí být vůbec do kategorie „bioplyn“ zahrnovány.

Jako názorný příklad může posloužit atmosférický kyslík. Již po stovky milionů let produkují nejrůznější rostliny kyslík od mikroskopických druhů až po obří a dlouhověké stromy a přitom nikdo kyslík bioplynem nenazývá. Atmosférický molekulární kyslík vzniká výlučně jen v biologických fotosyntetických procesech. Oxid uhličitý vznikající při ethanolovém kvašení cukrů je rovněž ryze biologickým plynným produktem a také není řazen mezi „bioplyny“. (4)

Názvem „bioplyn“ je obecně míněna plynná směs methanu a oxidu uhličitého. V plynném produktu dobře prosperujících methanogenních mikroorganismů představuje suma methanu a oxidu uhličitého hodnoty velmi blízké 100% (převaha methanu). V technické praxi se vždy nemusíme potkat s takto „ideálním“ bioplynem. Je zde ještě celá škála dalších plynů, které může bioplyn obsahovat. Mohou to být zbytky vzdušných plynů ( $N_2$ ,  $O_2$ , Ar), neúplně spotřebované produkty acidogeneze ( $H_2$ , přebytek  $CO_2$ ) anebo další minoritní a stopové příměsi z přecházejících anebo simultánních reakcí organické hmoty ( $H_2S$ ,  $NO_2$ , HCN, uhlovodíky i jejich deriváty většinou kyslíkaté i sirmé).

Zvláštní kapitola mezi bioplyny představují plyny tvořící se samovolně ve skládkách odpadů, které obsahují biologicky rozložitelné komponenty. I když jde principálně o zcela stejné procesy jako u reaktorové biomethanizace, bývá složení skládkových plynů mnohem proměnlivější.

Skládkový plyn je termín, který se někdy používá pro veškeré plyny, které lze odsát či navzorkovat z tělesa skládky odpadů bez ohledu na to, zda obsahuje třeba i jen 1% obj. methanu anebo i 10% obj. kyslíku. Kvalitní skládkový plyn se však svým složením velmi blíží reaktorovým bioplynům, především nízkými obsahy dusíku a velmi nízkými až nulovým i obsahy kyslíku při majoritním zastoupení pouze methanu a oxidu uhličitého. (4)

## 4 Složení a kvalita bioplynu

Bioplyn vzniká při anaerobním rozkladu organických látek, tzn. za nepřítomnosti kyslíku. Principiálně je každý organický materiál vhodný pro výrobu bioplynu, avšak ne všechny složky jsou stejně dobře rozložitelné. Např. silně dřevité rostliny, vzhledem k vysokému podílu uloženého ligninu, se rozkládají jen velmi pomalu. Proto také nejsou vhodné pro ekonomickou výrobu bioplynu. S pokračujícím dozráváním se u všech energetických rostlin zvyšuje podíl ligninu. Nežádoucím obsahu ligninu v substrátu zabráníme jen včasnou sklizní rostlin a jejich dobrou konzervací. Cílovou veličinou kvasného procesu je hořlavý metan, jehož podíl v bioplynu kolísá mezi 50 a 75%. Špičkového obsahu metanu 75% lze však dosáhnout pouze přidávkem příslušných kosubstrátů. Vedle metanu je v plynné směsi nejvíce zastoupen oxid uhličitý, a to 25-50%. Dále je v bioplynu možno nalézt různé stopové plyny. Následující tabulka předkládá přehled o složení bioplynu.

Složení bioplynu		
Složka	Vzorec	Koncentrace
metan	CH <sub>4</sub>	50-75%
oxid uhličitý	CO <sub>2</sub>	25-50%
voda	H <sub>2</sub> O	2-7%
sirovodík	H <sub>2</sub> S	cca 2%
dusík	N <sub>2</sub>	< 2%
vodík	H <sub>2</sub>	< 1%
amoniak	NH <sub>3</sub>	0-1%

Tabulka 1: Složení bioplynu

Kvalitu bioplynu v první řadě určuje poměr hořlavého metanu vůči nehořlavému oxidu uhličitému. Oxid uhličitý má „ředící“ účinky a je příčinou zvyšování nákladů, zejména při skladování bioplynu. Cílem je dosáhnout co největšího podílu metanu.

Obsah metanu v bioplynu ovlivňují následující faktory:

1. Složení živných látek substrátu
2. Řízení procesu
3. Teplota

Obsah metanu menší než 50% nezaručuje správnou funkčnost a výkonnost motoru kogenerační jednotky tepelné elektrárny. Kromě metanu a oxidu uhličitého jsou součástí bioplynové směsi sirovodík, dusík, amoniak a voda. Pozornost je třeba věnovat hlavně obsahu sirovodíku, protože tato složka způsobuje škody korozí na vedení plynu a v motoru tepelné elektrárny. Bioplyn je proto nutno odsiřovat, dále pak lze kvalitu plynu zvyšovat vykondenzováním (odlučováním) vody a škodlivého amoniaku. (6)

## 5 Principy tvorby bioplynu

Bioplyn je směsný plyn, který vzniká anaerobní methanovou fermentací organických materiálů. Tento proces lze nazývat i jako anaerobní digesci, biogasifikaci, vyhnívání, anaerobní stabilizace kalů – obecně methanizace.

Methanizace (biomethanizace) je soubor procesů, při nichž směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá biologicky rozložitelnou hmotu bez přístupu vzduchu. Konečnými produkty jsou stabilizovaná organická hmota (zbytková biomasa) a plyn – bioplyn, který je tvořen převážně methanem a oxidem uhličitým.(2)

Methanová fermentace je tedy soubor několika dílčích, na sebe navazujících procesů, na kterých se podílí několik základních skupin anaerobních mikroorganismů. Produkt jedné skupiny mikroorganismů se stává substrátem skupiny druhé, a proto výpadek jedné skupiny může způsobovat poruchy v celém systému. (3)

### 5.1 Anaerobní fermentace

Základním procesem pro správné fungování bioplynové stanice je anaerobní fermentace, tedy proces, kdy mikroorganismy rozkládají organický materiál bez přístupu vzduchu.

#### 5.1.1 Fáze anaerobního rozkladu

Anaerobní rozklad organických látek vyžaduje koordinovanou metabolickou součinnost různých mikrobiálních skupin a podle nich je možno tento proces rozdělit na následující čtyři fáze: (Obrázek 1)

◆Hydrolyza – je rozklad makromolekulárních rozpuštěných a nerozpuštěných organických látek (polysacharidy, lipidy, proteiny) na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů. Tyto enzymy jsou produkovány hlavně fermentačními bakteriemi. Vznikající nízkomolekulární látky jsou na rozdíl od vysokomolekulárních schopny transportu dovnitř buňky.

◆ Acidogeneze – rozklad na jednodušší organické látky (kyseliny, alkoholy, oxid uhličitý a vodík). Fermentací těchto látek se tvoří řada konečných redukovaných produktů, které jsou závislé na charakteru počátečního substrátu a na podmínkách prostředí.

◆ Acetogeneze – další štěpení substrátu až na vodík, oxid uhličitý a kyselinu octovou. Zároveň probíhá také acetogenní respirace oxidu uhličitého a vodíku homoacetogenními mikroorganismy.

Účast acetogenních mikroorganismů produkujících vodík na rozkladu je nezbytná, protože katabolizují propionovou kyselinu a ostatní organické kyseliny vyšší než octovou, alkoholy a některé organické sloučeniny.

◆ Methanogeneze – dochází zde pomocí methanogenních mikroorganismů k vlastní tvorbě bioplynu ze substrátů, kterými jsou jednoduhlíkaté látky, např. methanol, kyselina mravenčí, metylaminy, oxid uhličitý kyselina octová. (2)

Uvedené fáze procesu jsou následné, při kontinuálním provozu však probíhají současně. Pokud je anaerobní proces rozdělen technologicky do dvou stupňů, v prvním stupni obvykle probíhá hydrolytická nebo hydrolytická a acidogenní fáze. Acetogenezi nelze úplně prostorově oddělit od methanogenní fáze vzhledem k syntrofickému vztahu acetogenních bakterií produkujících vodík a methanogenních hydrogenotrofních bakteriích. (4)

### **5.1.2 Životní podmínky pro metanové bakterie:**

#### Vlhké prostředí

Metanové bakterie mohou pracovat a množit se jen tehdy, když jsou substráty dostatečně zality vodou.

#### Zabránění přístupu vzduchu

Metanové bakterie jsou striktně anaerobní. Je-li v substrátu přítomen kyslík, jako například v čerstvé kejdě, musejí ho aerobní bakterie nejprve spotřebovat.

#### Zabránění přístupu světla

Světlo sice bakterie neničí, ale brzdí.

#### Stálá teplota

Metanové bakterie pracují při teplotě mezi 0°C a 70°C. Rychlost procesu vyhnívání je na teplotě silně závislá, čím vyšší je teplota, tím rychleji nastává rozklad a tím vyšší je produkce plynu.

Z hlediska teplotního režimu rozlišujeme methanizaci :

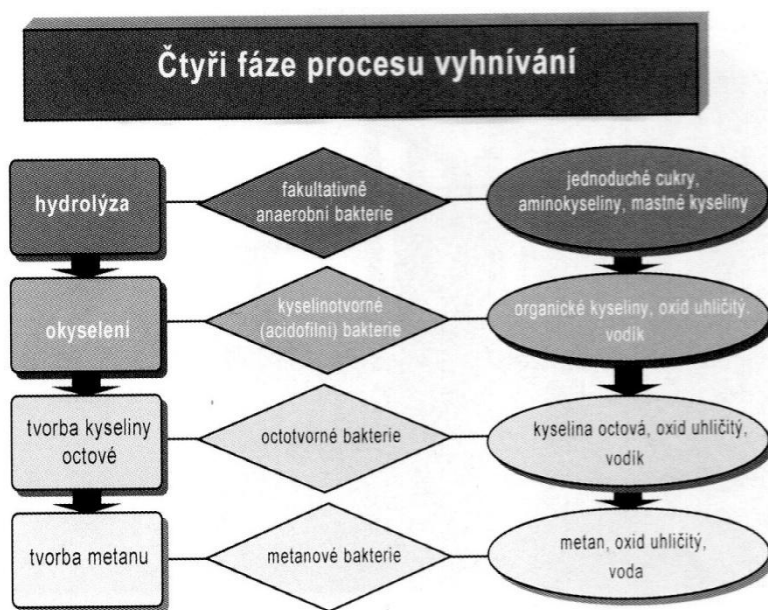
- Kryofilní – 0 až 5°C
- Psychofilní – 5 až 27°C
- Mezofilní – 27 až 45°C
- Termofilní – 45 až 60°C

#### Hodnota pH

Hodnota pH by slabě alkalickém prostředí měla ležet okolo 7,5. U kejdy a hnoje tento stav nastává většinou samovolně ve 2. fázi vyhnívacího procesu vlivem tvorby amonia.

## Přísun živin

Metanové bakterie nemohou rozkládat tuky, bílkoviny, uhlovodíky (škrob, cukr) a celulózu v čisté formě. Pro svou buněčnou stavbu potřebují rozpustné dusíkaté sloučeniny, minerální látky a stopové prvky. (1)



Obrázek 1: Čtyři fáze procesu vyhnívání

## 5.2 Charakteristika materiálu vhodného pro anaerobní fermentaci

Patří sem:

- Nízký obsah anorganického podílu (popelovin)
- Organický materiál s vysokým podílem biologicky rozložitelných látek (zpravidla se zpracovávají homogenizované směsi materiálů)

### 5.2.1 Sušina

Optimální obsah sušiny pro zpracování pevných odpadů je 22 – 25 %, v případě tekutých odpadů 8 – 14 %. Tekuté odpady s obsahem sušiny menším než 3 % jsou zpracovávány

anaerobní fermentací s negativní energetickou bilancí (proces je udržován na požadované provozní teplotě za předpokladu dodávky doplňkového tepla z vnějšího zdroje). Pozitivní energetická 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%.

Heterogenní vlhkostní pole v pevném organickém materiálu způsobuje, že v praktickém provozu je metanogeneze tlumena postupně a nikoliv rázově. To je velmi významný faktor mající význam především při zpracování velkých objemů materiálů, které jsou dostupné například na skládkách komunálních odpadů.

### 5.2.2 Hodnota pH

Významným faktorem ovlivňujícím metanogenní fermentaci je číslo pH (kyselost nebo zásaditost) materiálu. Za optimální hodnotu pH na vstupu do procesu se považuje interval blízký neutrální hodnotě  $pH = 7 \div 7,8$ .

V průběhu procesu se tento parametr mění. Na začátku převažuje aktivita acidogenů a číslo pH může poklesnout na  $4 \div 6$ . Při hodnotách pH substrátu menších než 5 se mohou začít objevovat inhibiční účinky na některé kmeny metanogenů. Dojde-li však za příznivých podmínek k jejich rozvoji, zvýší svojí aktivitou číslo pH substrátu až na neutrální hodnotu  $pH = 7$ .

Některé kmeny metanogenů jsou schopny se rozvíjet i v silně alkalickém prostředí ( $pH = 8 \div 9$ ). V praxi se optimální hodnota pH materiálu na vstupu do procesu upravuje homogenizací směsných materiálů nebo alkalickými přísadami.

### 5.2.3 Poměr C:N

Významným parametrem pro hodnocení vhodnosti materiálů pro anaerobní fermentaci je poměr uhlíkatých a dusíkatých látek. Za optimální se považuje pásmo kolem 30 : 1.

Vysoký obsah dusíkatých látek se může projevit negativně na složení bioplynu (obsahuje minoritní obsah plynů jako například amoniaku  $NH_3$  a oxidu dusného  $N_2O$ ). Mezi materiály s vysokým obsahem N patří exkrementy všech druhů hospodářských zvířat, opačný extrém (vysoký obsah C) tvoří materiály rostlinného původu. V praxi se optimálního poměru C:N dosahuje míšením různých materiálů.

### 5.2.4. Obsah příměsí

Vhodnost materiálu pro anaerobní fermentaci může být významně narušena nežádoucími příměsemi. Jedná se zpravidla o látky potlačující mikrobiální rozvoj, především o všechny druhy antibiotik používaných jako léčiva pro zvířata, nebo preventivně jako součást krmných směsí pro drůbež.

Do pracovního prostoru reaktorů bychom neměli dávat ani materiály, které jsou již ve hnilobném rozkladu.

### 5.2.5 Postup nakládání se substrátem před samotnou fermentací

Vhodnost materiálu pro anaerobní fermentaci může být narušena jeho předchozím zpracováním nebo manipulací. Dlouhodobým skladováním materiálu, při kterém proběhne proces aerobní fermentace (kompostování), nebo fyzikálně-mechanickými účinky na materiál (například při potrubní dopravě slamnaté chlévské mrvy, atd.) se může narušit následný proces anaerobního zpracování takového „studeného“ materiálu.

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

V anaerobním procesu se odbourává velký podíl organické sušiny, materiál se sám prakticky zahřívá velmi málo, získáme však bioplyn jako doplňkový zdroj energie.

Podle složení substrátu se vytvářejí vhodné podmínky pro množení určitých kmenů bakterií způsobujících rozklad organické látky. Množství mikroorganismů odpovídá jejich růstové křivce, na níž lze sledovat 6 fází:

1. *Lagová fáze* – mikroorganismy se postupně adaptují na dané podmínky.
2. *Fáze zrychleného růstu* – částečně přizpůsobené mikroorganismy se začínají množit.
3. *Fáze exponenciálního růstu* – zcela přizpůsobené mikroorganismy se silně množí, protože mají dostatečné množství živin.
4. *Fáze zpomaleného růstu* – rychlost růstu mikroorganismů se zpomaluje.
5. *Stacionární fáze* - vlivem počínajícího nedostatku živin je počet vznikajících a umírajících mikroorganismů v rovnováze.
6. *Fáze poklesu* – absolutní nedostatek živin způsobuje postupné odumírání a rozklad mikroorganismů.

Pro urychlení náběhu fermentačního procesu se využívá očkovací látky (inokulum) z fermentoru, v ustáleném provozním stavu nebo se používají sušené stimulatory obsahující metanogeny v inaktivovaném stavu. (7)

### 5.3 Využití odpadů (digestátu) z bioplynových stanic

Tvrzení, že odpady z fermentorů jsou výborné hnojivo, je to velmi povrchní tvrzení. Především se musíme ptát, jaké je to hnojivo: minerální či organické? Všichni praktici budou tvrdit, že organické.

Ale 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. Je to jen slabé hnojivo minerální, protože obsahuje jen málo minerálních živin (dusík, draslík), a to v přebytku vody. Při jejím rozkladu jsou uvolněny minerální živiny. Ale když se organická látka oxidačně nerozkládá, nemůže uvolnit minerální živiny.

K pokusům byla použita směs kejdy prasat a primárního kalu z kanalizační čistírny, která byla podrobena anaerobní digesci.

Bylo zjištěno, že kaly jako odpad z procesů anaerobní digesce jsou hnojivem spíše minerálním, než organickým a že z hlediska užití jako organické hnojivo jsou mnohem méně jakostním materiálem, než výchozí suroviny.

Dále bylo zjištěno, že digestát při výrobě bioplynu se skládá z pevné fáze a kapalné fáze neboli fugátu. Pevná fáze digestátu není organickým hnojivem, jelikož její organická hmota je velmi stabilní a není schopna sloužit půdnímu mikroedafonu jako rychlý zdroj energie. Není však ani hnojivem minerálním, jelikož přístupné živiny původní suroviny i z ní uvolněné během anaerobní digesce přešly do kapalné fáze – fugátu, ta může být považována za zředěné hnojivo, ale ne organické ale minerální.

Počet bioplynových stanic roste, a tudíž bude stále více digestátu, a nám se tedy nabízí otázka, kam s ním?

Digestát je materiálem, který může dobře zlehčit a provzdušnit těžší půdy. Efekt provzdušnění půdy může být z hlediska výnosů velmi zřetelný, neměl by však být ale připisován živinám, humusu a zvýšení mikrobiální aktivity půdy (projevům organických hnojiv).

Digestát je využitelným odpadem, nikoli organickým hnojivem.



## 6 Technologie výroby reaktorového bioplynu

Technologie anaerobní fermentace vznikly na počátku 20. století na základě odvětví čištění odpadních vod. V roce 1907 patentoval v Německu Imhoff nádrž se dvěma oddělenými sedimentačními prostory. Tento první reaktor je znám pod pojmem „emšerská studně“. Velmi se osvědčily pro čištění splaškových vod. Skutečně první anaerobní fermentační systém pro zpracování čistírenského kalu vznikl v roce 1910 v Birmigham v Anglii.

V následujících dvaceti letech se anaerobní procesy rozvíjely téměř pouze pro potřeby stabilizace čistírenského kalu. Provoz „emšerských studní“ přešel k vyhřívaným reaktorům. Účelem nebylo vyrábět energii, ale zpracovávat kal a odstraňovat z něj organické látky.

V druhé polovině 20. století se rozvíjely reaktorové procesy a výroba bioplynu se uplatňuje na škále odpadů, kam patří i odpady tuhé a také pěstovaná biomasa.

Současný stav poznání těchto procesů ukazuje, že lze materiály použít jako vstupní surovinu pro výběr komponent směsi, pokud jsou tyto složky biologicky rozložitelné.

### 6.1 Hlavní části bioplynové stanice

**Reaktor** – nejdůležitější součást bioplynových stanic, která rozhoduje o její kvalitní funkci. Reaktory rozdělujeme na válcové, betonové, kovové nebo plastové se svislou nebo vodorovnou osou. Reaktor je vybaven míchacím zařízením, ohřevem, homogenizačním a dávkovacím zařízením.

**Bioplynová koncovka** – je sestavena z potrubí na dopravu bioplynu, bezpečnostní zařízení proti zpětnému zahoření bioplynu, dmychadlo, zásobník (plynojem), regulační a kontrolní prvky, zařízení na úpravu bioplynu (čištění od  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ , mechanických nečistot), zařízení na konečné využití bioplynu, hořák zbytkového bioplynu.

**Kogenerační jednotka** – ta může být v podobě pístového motoru, nebo mikroturbíny vyrábějící elektrický proud a teplo (ve formě ohřáté vody). Nicméně bioplyn nemusí být využit přímo v místě jeho výroby - tedy v kogenerační jednotce v areálu BPS. Po zmíněné úpravě na kvalitu zemního plynu může být dodán právě do rozvodné sítě zemního plynu, nebo přímo v místě stlačován do tlakových lahví a rozvážen na místa spotřeby. Rozhodující pro rychlou ekonomickou návratnost investic do BPS je využití tepla. Hlavně v České republice není teplo příliš využíváno a je přes chladicí soustavu kogenerační jednotky odváděno do atmosféry. Nejjednodušším využitím je jeho rozvod pro vytápění okolních podnikových nebo obecních objektů. Jsou-li objekty vhodné pro vytápění příliš daleko, vyplatí se uvažovat o vybudování plynovodu na bioplyn a umístění kogenerační jednotky až v místě využití tepla - tedy poblíž vytápěných objektů. Vybudovat plynovod je nejenom levnější, než stavba teplovodu, ale hlavně vedení plynu nemá v porovnání s vedením tepla žádné tepelné ztráty. Nevýhoda tohoto řešení je v tom, že stále musí být zajištěno vyhřívání fermentoru, které se nejčastěji zajišťuje kotlem spalujícím bioplyn, případně i další kogenerační jednotkou. Kogenerační jednotky na vytápění fermentoru mohou být rovněž dvě, přičemž jedna běží stále a ta druhá je spuštěna jen ve velmi chladném období. (9)

**Kalová koncovka** – je složena z armatur, dopravních čerpadel, homogenizátorů, skladů, separačních zařízení (spádové síto, šnekový lis, dekantér, rotační síto, pásový lis). Chemické čištění s biologickým stupněm je účelné tam, kde odvod tekutých frakcí končí v blížkvodoteči.

Radikálně však narůstá celková pořizovací hodnota a je účelné, když toto čištění můžeme vypustit a substrát použít jako hnojivo.

## **6.2 Rozdělení bioplynových technologií podle dávkování surového materiálu**

Diskontinuální (s přerušovaným provozem, cyklické, dávkové,...)

Používá se zvláště při suché fermentaci tuhých organických materiálů. Manipulace s materiálem je náročná na obsluhu.

Semikontinuální

Používá se při plnění fermentory při zpracování tekutých organických materiálů, ten se dávkuje 1x až 4x i vícekrát za den, vstupuje semikontinuálně do fermentoru a má malý vliv na změnu pracovních parametrů fermentoru jako je teplota a homogenita. Tento proces není náročný na obsluhu a lze ho snadno automatizovat.

Kontinuální

Je používán při plnění fermentorů, ty jsou určeny pro zpracování tekutých organických odpadů s velmi nízkým obsahem sušiny.

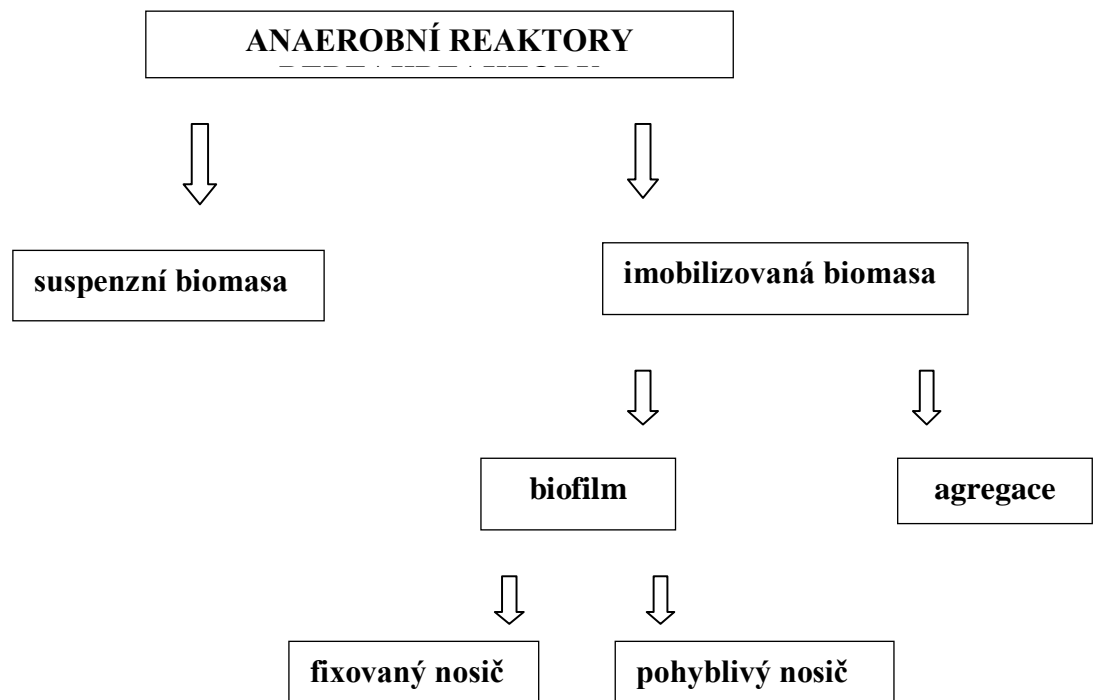
## **6.3 Dělení podle vlhkosti materiálu rozlišujeme technologie:**

Technologie na zpracování tuhých materiálů (18 -30% sušiny, může být i 50%, označujeme jako suchou fermentaci)

Technologie zpracování tekutých materiálů (obsahuje pouze 0,5 – 3%, označujeme jako mokrou fermentaci)

Technologie na výrobu bioplynu kombinované (se zápornou energetickou bilancí anebo s vyšším podílem sušiny 3 – 14% s kladnou energetickou bilancí). (10)

## 7 Anaerobní reaktory



Obrázek 2: Typové rozdělení reaktorů

Výkonnost reaktorů ovlivňují především následující faktory:

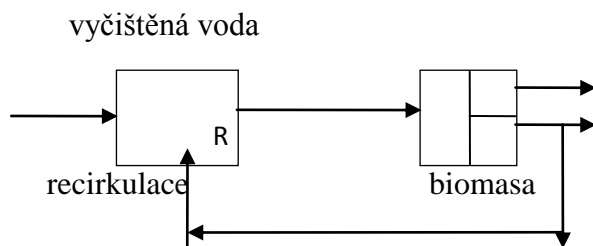
- množství biomasy, která zůstává v reaktoru i při vysokých zatíženích
- kontakt biomasy s přiváděným substrátem (odpadní vodou)
- specifická aktivita biomasy vůči danému substrátu

První dvě kritéria jsou přímo závislá na konstrukci reaktoru a způsobu kultivace biomasy. Aktivita biomasy závisí na její historii, tj. původu, stupni adaptace, morfologii apod. a na reakčních podmínkách (teplotě, koncentraci a charakteru substrátu, inhibici atd.).

### 7.1 Reaktory se suspenzí biomasou

Reaktory se suspenzí směsnou kulturou anaerobních mikroorganismů představují tradiční skupinu reaktorů, které jsou použitelné univerzálně pro nejrozmanitější druhy vod. Zatímco při zpracování odpadních vod s nízkými koncentracemi organického znečištění a u vod s převažujícím rozpuštěným znečištěním musel tento typ reaktorů ustoupit přednostem tzv. vysokovýkonných reaktorů, v oblasti vod s vysokým zastoupením suspendovaných látek si udržuje své nezastupitelné místo.

Čistící jednotka používající reaktor s biomasou v suspenzi se vždy skládá ze dvou základních částí: anaerobního reaktoru (R) a separačního zařízení (S) - viz. obrázek 3.



**Obrázek 3: Schéma technologického celku při použití reaktoru s biomasou v suspenzi**

V anaerobním reaktoru je třeba zabezpečit co nejdokonalejší homogenizaci odpadních vod. Toho je dosahováno buď mícháním reaktoru, (nejčastěji mechanickými míchadly, nebo bioplynem), případně homogenizačním efektem vzestupného proudu odpadní vody a vznikajícího bioplynu v tzv. „upflow“ reaktorech, tedy v reaktorech s vertikálním průtokem vody zdola nahoru.

K separaci vyčištěné vody a anaerobní biomasy může být použit řady procesů např. prostá sedimentace, usazování spojené s chemickou flokulací, usazování spojené s vakuovým odplyněním, nebo odplyněním aerací a dále flotace a centrifugace.

## 7.2 Imobilizace biomasy

Reaktory s imobilizovanou biomasou se vyznačují tím, že doba zdržení biomasy je podstatně delší než doba zdržení kapaliny a je nezávislá na době zdržení kapaliny. To umožňuje dosáhnout vysoké koncentrace anaerobní biomasy v reaktoru a tedy proces intenzifikovat. Druhým charakteristickým rysem je podélný průtok odpadní vody u většiny reaktorů této skupiny, zachovávající koncentrační gradient organických látek podél reaktoru.

Imobilizaci buněk rozdělujeme do čtyř hlavních kategorií:

- 1) Připojení na povrch vhodných nosičů
- 2) Zachycení v porézní matrici
- 3) Uzavření za polopropustnou membránu
- 4) Uměle vyvolaná vzájemná agregace buněk – je to metoda, která je v anaerobních technologiích velmi úspěšná, je využívána reaktory s tzv. granulovanou biomasou a ty jsou děleny do dvou skupin:

- reaktory s biomasou ve formě nárostů biofilmu na povrchu inertního materiálu

- tyto reaktory se dělí na:

- reaktory s pevnou náplní – s průtokem zdola nahoru (upflow)
- reaktory s pevnou náplní – s průtokem shora dolů (downflow)
- reaktory s pohyblivou náplní

- reaktory s agregovanou (granulovanou) biomasou

- tyto reaktory se dělí na:

- reaktory s vnitřním separátorem bioplynu a biomas
- reaktory s externím separátorem biomasy
- přepážkové reaktory

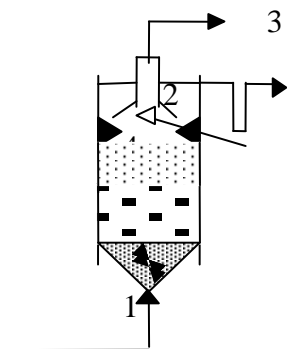
### 7.3 Biofilmové reaktory

V biofilmových reaktorech je biomasa fixována na pevném nosiči, přičemž podstatné je, že buňky jsou zde fixovány do matrice, která je vlastním produktem jejich činnosti. To znamená, že biofilm se stabilizuje na povrchu nosiče samovolně.

Důležitou vlastností biomasy v biofilmových reaktorech je její stratifikace, ke které dochází jak podélně, tak i v průřezu vrstvou biofilmu.

### 7.4 Reaktor UASB

Reaktory s kalovým ložem a vnitřním separátorem biomasy více známé pod označením UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) jsou prvním a nejvýznamnějším představitelem této skupiny. Tvůrcem moderní koncepce reaktoru, ve kterém byla poprvé vykultivována anaerobní biomasa ve formě granulí, je kolektiv prof. Lettingy z univerzity v nizozemském Wageningenu.(4)



Obrázek 4: Reaktor s kalovým mrakem

- 1 - přítok odpadní vody
- 2- odtok
- 3 - bioplyn
- 4 - separátor
- 5 - kalový mrak

Mezi hlavní principy procesu UASB patří:

- při zabezpečení příznivých fyzikálních a chemických podmínek tvoří anaerobní biomasa dobře separovatelné granule
- kalové lože je více méně fluidní vrstvou se specifickými vlastnostmi. Dobře agregovaná granulovaná biomasa je stabilní, snáší dobře i relativně velké míchací síly
- vyplavování částí biomasy, uvolněných z kalového lože je zabráněno vestavěným separátorem, který umožňuje vynášeným částicám, opětou flokulaci a usazení.

Nejdůležitějším faktorem dobré funkce UASB reaktoru je správné zapracování, na něm závisí kvalita vzniklé granulované biomasy. (4)

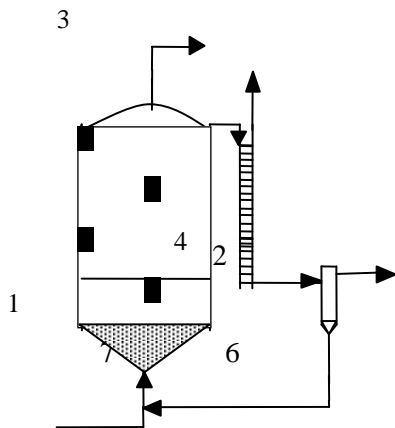
Z hlediska konstrukce reaktoru lze jako nejdůležitější označit tři faktory.

1. Příkladový systém. K zabránění tvorby kanálků v kalovém loži a zkratových proudů je nutno přítok rovnoměrně rozdělit po celé ploše reaktoru. Čím menší je vzestupná rychlost odpadní vody v reaktoru a produkce bioplynu, tím větší musí být hustota přítokových míst.
2. Druhou součástí reaktoru je separátor, jehož význam je klíčový pro funkci reaktoru v několika aspektech. Separátor zachycuje a odvádí bioplyn z reaktoru, blokuje vyplavování biomasy z reaktoru a flotací granulí, zachycenou biomasu vrací zpět do prostoru kalového lože, slouží jako bariéra pro náhle expanzi kalového lože a do určité míry se podílí na čistícím efektu reaktoru i pokud jde o rozpuštěné látky. Výběr materiálu separátoru je nutno přizpůsobit extrémním korozním podmínkám prostředí, v němž je umístěn.
3. Třetí konstrukční faktor je tvar a velikost reaktoru. Reaktory UASB mohou být válcovité i pravoúhlé, ocelové i betonové. Při dimenzování reaktoru musíme přihlížet k limitním hodnotám vzestupné rychlosti odpadní vody. Pro koncentrované odpadní vody je tedy limitujícím kritériem zatížení, tehdy může mít reaktor maximální výšku ve vztahu k jednotce objemu. Nejvhodnější výška reaktoru je 6 m, pokud se bude dále zvyšovat, mohou nastat potíže se separací biomasy.  
Trendem reaktorů vystavených v současné době je snaha vyhnout se velkým objemům reaktoru, systém spočívá ve spojování reaktorových jednotek do celků požadované velikosti.(4)

### **7.5 Reaktor s kalovým mrakem s externím separátorem biomasy**

Reaktorem je zde svislá nádoba s průtokem odpadní vody zdola nahoru. Svislý průtok odpadní vody a míchání pouze vznikajícím bioplynem umožňují vytvoření koncentračního gradientu biomasy v reaktoru. (4)

Ve spodní části reaktoru je vytvořen „kalový mrak“, který je 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 kapalné fáze a podle potřeby vrací zpět do reaktoru. Mezi reaktor a separátor je velmi často zařazováno odplynění, které zlepšuje účinnost separace biomasy.



**Obrázek 5: Reaktor s kalovým mrakem a vnějším separátorem biomasy**

- 1 – přítok odpadní vody
- 2 – odtok
- 3 – bioplyn
- 4 – kalový mrak
- 5 – odplyňovací zařízení
- 6 - separátor
- 7 - recirkulace

## **7.6 Technologie IFBB (Výroba pevného biopaliva a bioplynu z biomasy)**

### **7.6.1 Biomasa**

Hlavním substrátem pro zemědělské bioplynové stanice (BPS) je cíleně pěstovaná rostlinná biomasa. K pěstování rostlinné biomasy pro plynná biopaliva je k dispozici cca 9 % zemědělské půdy to představuje 390 tisíc ha. (3)

Rostlinná biomasa, kukuřičná a travní siláž, představuje přes 50 % hmotnostních všech substrátů. V přepočtu na obsah energie představuje rostlinná biomasa až 80 % energetického obsahu všech substrátů. Hlavním důvodem pro používání rostlinné biomasy k výrobě bioplynu je relativně vysoká produkce bioplynu z jednotky hmotnosti a zavedené agrotechnické postupy jejího pěstování, sklizně a konzervace. (3)

Obecně je biomasa látka organického původu, které lze využít jako zdroj energie např. spalování, zplyňování.

### **7.6.2 Možnosti technologie IFBB**

Technologie IFBB umožňuje vytvořit z biomasy jak bioplyn, tak i pevné palivo a to vše při dobré kvalitě. IFBB spočívá v hydrotermické úpravě biomasy s následným oddělením pevné a kapalné (suspenze) fáze pomocí šroubového lisu. Suspenze je dále vedena do bioplynového reaktoru. Pevný zbytek je následně vysušen a dále jsou z něj lisovány pelety. Na vysušení je využito tepla z kogenerační jednotky, která spaluje bioplyn. Vyrobené pelety již nemají nevýhody původní biomasy (mají vyšší teplotu tání popela srovnatelnou se dřevem, a nezanášejí tak spalovací komoru).(9)

## 7.7 Produkty technologií IFBB

Z této technologie lze získat 4 využitelné produkty:

1. Pevné biopalivo: Vhodné pro přímé spalování i pro zplyňování.
2. Elektrický proud: Vyráběn je v kogenerační jednotce, která je poháněna bioplynem. Zde vzniká i teplo, které je vedlejším produktem při výrobě elektrické energie.
3. Bioplyn: Je také možné bioplyn přímo nespalovat - a netvořit tak z něj elektrickou energii, ale uplatnit ho v jeho surovém, případně upraveném (na kvalitu zemního plynu) stavu. Takto se užije buď jako palivo pro motorová vozidla, nebo je přímo dodáván do plynové rozvodné soustavy.(9)
4. Digestát: Můžeme z něj vyrobit dobré kapalné hnojivo, pokud je koncentrované



## 8 Pokusná část

### 8.1 Metodika

#### 8.1.1 Příprava substrátu a inokulačního roztoku

Jako inokulum byl použit digestát z bioplynové stanice Věžovatá Pláně.

Substrát do pokusné reaktorové soustavy byl připraven technologií IFBB. Složení substrátu bylo silážovaná kukuřice, travní senáž a kejda dojného skotu v poměru 2:1:1.

Postup přípravy substrátu technologií IFBB byl následující:

1. Odebrali jsme vzorek čerstvého substrátu z bioplynové stanice Věžovatá Pláně (směs kukuřičné siláže, travní senáže a kejdy)
2. V laboratoři jsme hmotu rozmělnili mixérem v teplé vodě 60°C teplé. Objem teplé vody se rovnal objemu čerstvé hmoty z bioplynové stanice. Směs teplé vody a substrátu byla ponechána 30 minut v klidu bez zásahu při udržování teploty 60°C.
3. Směs jsme po 30-ti minutách přefiltrovali a pevnou část jsme následně zpracovali lisem na ovoce. Tekutý podíl jsme přidali k filtrátu.

Před samotným měřením jsme plnili reaktorovou sestavu filtrátem. Ten byl ředěn vodou v poměru 1:10 (filtrát : voda), abychom dosáhli úplného zaplnění sestavy. Při zahajování práce sestavy jsme přidali inokulační roztok v množství 100 ml. Množství substrátu (jeho filtrátu bylo 1 dm<sup>3</sup> a množství vody, které bylo nutné k zaplnění reaktorové sestavy činil 10 dm<sup>3</sup>. Po zahřátí celého objemu sestavy na měřící teplotu jsme odebrali vzorek pro stanovení CHSK<sub>Cr</sub> v nulté době zdržení.

#### 8.1.2 Reaktorová sestava

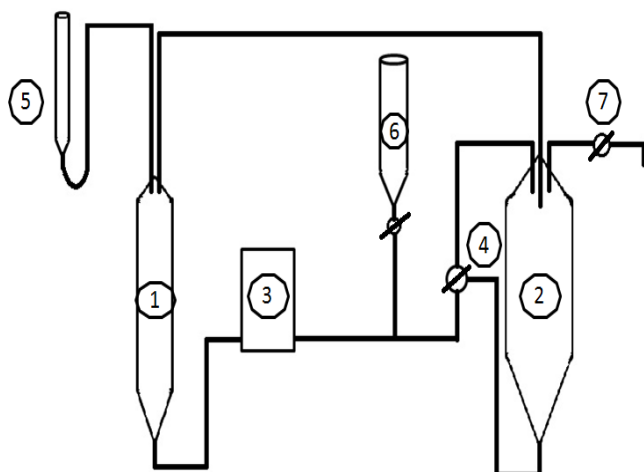
##### 8.1.2.1 Popis sestavy

K provádění pokusu jsme sestavili laboratorní reaktorovou soustavu, která vycházela z mírně upraveného typu reaktoru s kalovým mrakem a externím separátorem biomasy. Úprava spočívala především ve vypuštění odplynovacího zařízení, jež se obvykle nachází mezi reaktorem a separátorem. K vypuštění došlo proto, že v laboratorních podmínkách není nutné.

Laboratorní reaktorová sestava byla složena ze sedmi základních prvků. Tyto prvky byly mezi sebou propojeny plynárenskými hadičkami (obyčejné pryžové použity nebyly, jelikož na koncích praskaly) nebo skleněnými trubičkami (ty byly součástí baněk sloužících jako reaktory).

Reaktorová sestava byla složena z následujících 7 prvků:

1. Reaktor
2. Separátor
3. Čerpadlo - ohřivač - termostat
4. Trojcestný ventil
5. Odvod bioplynu
6. Nálevka na inokulum
7. Vypouštěcí ventil



Obrázek 6: Nákres reaktorové sestavy

### 8.1.2.2 Provoz sestavy

Reaktorová sestava byla naplněna čistou vodou o teplotě, která byla shodná s teplotou v laboratorní místnosti.

Za účelem měření byla na reaktoru nejprve nastavena digitálně požadovaná teplota provozního roztoku a dále pak zapnuto čerpadlo (to je spojeno do jednoho bloku s ohřivačem roztoku a termostatem). Po zahřátí vody v celé sestavě, která obsahuje asi tak 10 litrů, bylo přes nálevku nadávkováno inokulum a filtrát připravený ze substrátu technologií IFBB.

Během ustáleného provozu sestavy spočívala její obsluha pouze v kontrole případné netěsnosti ve spojích atp.

Hlavní činnost probíhala vždy jednou za hodinu - a to odebráním části provozního roztoku, abychom ho vysušili a následně stanovili  $CHSK_{Cr}$ , přičemž vzorek pro „nulové zdržení“ byl odebrán po zahřátí sestavy a nadávkování potřebných roztoků.

### 8.1.3 Stanovení $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$

$\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  (chemická spotřeba kyslíku) byla v pokusné části použita jako hlavní veličina popisující účinnost odbourávání organických látek při různých režimech práce reaktoru.

Chemická spotřeba kyslíku je definována jako množství kyslíku, které se za přesně vymezených uzančních podmínek spotřebuje na oxidaci organických látek ve vodě silným oxidačním činidlem. Udává se jako hmotnost kyslíku, která je ekvivalentní spotřebě oxidačního činidla, na 1 litr vody, obvykle v  $\text{mg l}^{-1}$ . (8)

Metod navržených pro stanovení CHSK a modifikací těchto metod je mnoho. Různé typy organických látek se různými oxidačními činidly a za různých reakčních podmínek (aciditních, teplotních, časových, s užitím nejrůznějších katalyzátorů atd.) oxidují do různého stupně. Proto metody na stanovení CHSK mají uzanční charakter a hodnoty získané při stanovení CHSK vody různými metodami nejsou obvykle porovnatelné. V dnešní době se k stanovení CHSK používají jen dvě, nyní už klasické metody. Jako oxidační činidlo používá jednak metoda s manganistanem draselným ( $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ ), nebo metoda s dichromanem draselným ( $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$ ). Metoda dichromanem draselným je účinnější. (8)

#### 8.1.3.1 Postup stanovení metody $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$

1. Prostřednictvím vypouštěcího kohoutu jsme odebrali asi 50 ml z reaktorové soustavy a následně jsme odměřili potřebný objem vzorku (5 nebo 10 ml)
2. Sušení tohoto vzorku jsme sušili při teplotě 70 °C až do úplného vysušení. Dle zkušeností je úplného vysušení dosaženo cca po 10 hodinách.
3. Do každého usušeného vzorku pomocí pipety jsme přidali 5 ml chromsírové směsi (0,4 N CHS).
4. Připravili jsme tzv. tři slepé vzorky. Do prázdné kádinky jsme nadávkovali 5 ml chromsírové směsi (0,4 N CHS).
5. Sušení všech vzorků „obohacených“ o chromsírovou směs jsme v sušárně prováděli při teplotě 125 °C po dobu 45 minut.
6. Během sušení jsme si připravili vzorky pro stanovení faktoru Mohrovi soli. Prováděli jsme opět 3 vzorky. Každý se skládal z 5 ml dichromanu draselného a 1,5 - 2 ml koncentrované kyseliny sírové. Množství jsme nadávkovali pipetou. Doplnili jsme destilovanou vodu v množství takovém, aby elektroda titrátoru byla ponořena (cca 40 ml destilované vody).
7. Dále jsme provedli titraci pomocí digitálního titrátoru. Titrátor umožňuje titraci jak v manuálním, tak automatickém režimu. První titraci jsme prováděli manuálně. Titrace spočívá v hledání tzv. bodu ekvivalence. Před začátkem titrace má být napětí naměřené elektrodou ve vzorku na hodnotě kolem 800 mV. Bod ekvivalence byl nejčastěji v hodnotách kolem 600 mV. Dosažení tohoto bodu se projeví samovolným poklesem napětí na elektrodě až na hodnotu kolem 580 mV.

Při manuální titraci je ručně dávkována Mohrova sůl do vzorků (jednotlivé přídavky jsou v řádech desetin až setin mililitru) a v následném sledování napětí na elektrodě a zjištění počátku jeho trvalého samovolného poklesu.

Při automatické titraci se Mohrova sůl dávkuje sama a je schopna najít bod ekvivalence. Někdy však v tomto hledání selže - to se pozná podle stále vysokého napětí (600 - 800 mV) na elektrodě a hlášení o ukončení měření. V případě selhání je nutno titraci opět spustit a zároveň si poznamenat množství již nadávkované Mohrovi soli. Toto množství pak přičíst k množství Mohrovi soli, jenž titrátor musel nadávkovat, aby se dostal na požadovaný bod ekvivalence.

- a) Titrace vzorků připravených v bodě 6 za účelem stanovení faktoru Mohrovi soli.
- b) Titrace vzorků ze sušárny

8. Výpočet  $CHSK_{Cr}$  podle vzorce:

### Výpočet $CHSK_{Cr}$

$$CHSK_{Cr}(mg \cdot l^{-1}) = \frac{(V_S - V_{MS}) \cdot f \cdot 1,6 \cdot 1000}{V_V}$$

$V_S$  průměrný objem Mohrovi soli spotřebované při titraci slepých vzorků (ml)

$V_{MS}$  objem Mohrovi soli spotřebované při titraci vzorku z reaktoru (ml)

$f$  faktor Mohrovi soli, který se vypočte pomocí vzorce 2

$V_V$  objem vzorku z reaktoru (ml)

### Výpočet faktoru Mohrovi soli

$$f = \frac{V_D}{V_{MSP}}$$

$V_D$  objem dichromanu draselného přidaného do vzorku pro stanovení faktoru (ml)

$V_{MSP}$  průměrný objem Mohrovi spotřebované pro titraci vzorků pro stanovení faktoru

## 8.2 Výsledky a diskuze

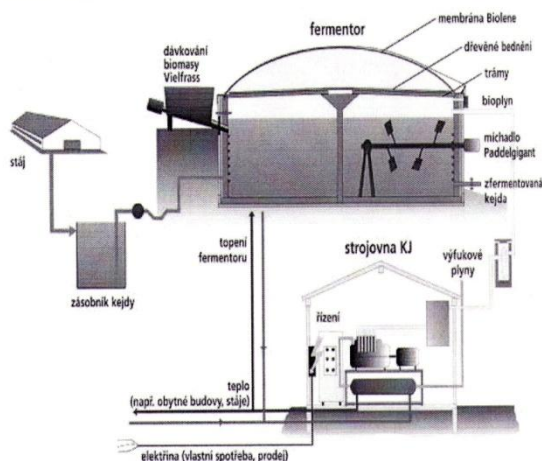
### 8.2.1 Provoz reaktorové sestavy s inokulem BPS Věžovatá Pláně

Bioplynová stanice Věžovatá Pláně je situována v místě dřívějšího kravína. Nachází se naproti rybníčku nad silnicí spojující obce Věžovatá a Dolní Pláně. Komunikace je odbočkou ze silnice z Kaplice – Nádraží do Českého Krumlova, od kterého je vzdálena 10 km.

Projekt této bioplynové stanice byl zrealizován společností AgriKomp Bohemia s.r.o., která je pouze Českou pobočkou Německé společnosti.

Zemní práce trvaly od 14. 9. 2008 do konce prosince. V následujících měsících byly práce pozastaveny z důvodu nepříznivého počasí. V únoru roku 2009 se začal rozbíhat fermentační proces na 100 kW, od 21. 4. 2009 bioplynová stanice pracuje na plný výkon. Je využito dvoustupňové fermentace.

Schéma bioplynové stanice



Obrázek 7: Schéma BPS

**Sběrná jímka** slouží pro sběr biologicky znečištěné povrchové vody a silážních šťáv.

**Fermentor** je železobetonová nádrž kruhového půdorysu o průměru 18 m a výšce 6 m, objem pro fermentát je 1 320 m<sup>3</sup>, strop je tvořen z dřevěných trámů a desek, na kterých je upevněna gumotextilní elastická membrána. Dřevěná konstrukce rozděluje nádrž na dvě části, kdy ve spodní míchací části probíhá fermentace a v horní části je jímán bioplyn, který membránu vydouvá do kopulovitě tvaru. Dolní část nádrže je zateplena deskami z extrudovaného polyesteru a na vnitřních stěnách osazena teplovodním vytápěním. Fermentor obsahuje míchací zařízení, vstupní dávkovač biomasy a výstupní čerpadlo.

**Dofermentor** je nádrž velice podobná fermentory, liší pouze v průměru, kdy výška je 20 m a šířka 6 m a v objemu, který je 1630 m<sup>3</sup>.

**Skladovací jímka** je nezakrytá železobetonová nádrž kruhového půdorysu o průměru 25 m a výšce 6 m, objem substrátu je 2850 m<sup>3</sup>. Koncová jímka je vybavena horizontálními ponornými míchadly. Pro vyprazdňování je zde elektrické šnekové čerpadlo.

Elektrický výkon této stanice byl od jejího počátku do listopadu roku 2011 250 kW. V listopadu bylo povoleno provozovateli bioplynové stanice zvýšit výkon na 500 kW. Bioplynová stanice při tomto výkonu denně zpracovává cca 6 tun hnoje, 16 tun kukuřičné siláže a 18 tun travní senáže. Celý substrát je ředěn 15 - ti m<sup>3</sup> vepřové kejdy denně. Provoz je předpokládán na 8 322 hodin ročně. Denní produkce konečného stabilizovaného digestátu je cca 23,24 tun a je využito jako kvalitní hnojivo na pozemcích provozovatele bioplynové stanice, kde je podíl živin: 9,1% dusíku, 2,6% fosforu a 9,4% draslíku. Výrobce kogenerační jednotky je firma Schnell ES 2507. Kogenerační jednotku tvoří motory z nákladních automobilů Scania, které jsou zároveň největším zdrojem výdajů na servisy a údržbu. Je nutné plyn odsířit pomocí uhlovodíkových filtrů, ale samotný motor a turbomíchadlo běží ve vysokých otáčkách, které způsobují přehřívání a proto, pokud dojde k výpadku a motor se nenahodí do několika sekund, olej, kterým se turbomíchadlo maže, se v něm zapeče a turbomíchadlo se v tomto případě musí opravit v horším případě vyměnit a to bohužel není levná záležitost.

Ročně je zde vyrobeno kolem 1 mil. m<sup>3</sup> bioplynu.

Digestát vzniklý ve stanici obsahuje 6-8% sušiny, kvasí s trochou přidané vody při 48°C. Plyn vyrobený z digestátu obsahuje 56% metanu a 42% oxidu uhličitého. Odpadní produkty používá provozovatel jako efektivní hnojivo.

### 8.2.1.1 Zjištění sušiny materiálu, ze kterého bylo připraveno inokulum, faktoru Mohrovi soli a spotřebu Mohrovi soli u slepých vzorků.

Materiál, z něhož bylo získáno inokulum pro pokusné reaktory byl získán z kalové koncovky BPS Věžová Pláně. Po jeho dopravení na katedru byl až do počátku pokusu udržován při teplotě 5 °C v chladicím zařízení. Před začátkem pokusu byl vyjmut z chladu a přefiltrován přes filtrační papír. Tento filtrát následně posloužil jako inokulum reaktorové sestavy pro oba pokusy - tedy jak při 50 °C, tak později při 40 °C. Mezi těmito dvěma pokusy bylo zbylé inokulum vloženo zpět do chladicího zařízení.

Sušina materiálu, z něhož bylo inokulum je proto počítána pouze jednou. Naopak, faktor Mohrovi soli a spotřeba Mohrovi soli na slepý vzorek je počítána pro každou teplotu měření zvlášť. Je to proto, že v době mezi vyhodnocováním jednotlivých pokusů byla doplněna nová Mohrova sůl.

	hmotnost vzorku (g)	sušina (%)
před vysušením	131,706	5,1
po vysušení	6,751	

**Tabulka 2: Stanovení sušiny pro přípravu inokula**

Obsah sušiny v kalové koncovce 5,1% (Tab. 2) je v zemědělských bioplynových stanicích je docela běžný.

### 8.2.1.2 Stanovení $CHSK_{Cr}$ při 50 °C

Pro výpočet  $CHSK_{Cr}$  bylo nutno nejprve stanovit faktor Mohrovi soli v titrátoru a také spotřebu Mohrovi soli na titraci slepých vzorků.

Vzorky z reaktoru by měly být odebírány víckrát, ale bohužel ale z časových důvodů byl každou hodinu odebírán pouze jeden vzorek.

stanovení faktoru MS		
vzorek (5 ml)	spotřeba MS (ml)	faktor MS
1	5,09	0,982318
2	5,09	
3	5,1	
průměr	5,09	

**Tabulka 3: Stanovení faktoru MS**

slepé vzorky	
vzorek (5 ml CHS)	spotřeba MS (ml)
1	9,88
2	9,95
3	9,91
průměr	9,91

**Tabulka 4: Stanovení spotřeby MS u slepých vzorků**

Čísla v Tabulkách 3 a 4, z nichž jsou následně počítány průměry si jsou docela podobná, tudíž je stanovení průměrných hodnot v obou tabulkách velmi přesné a může to být dáno i již zvládnutou metodikou jejich měření.

kádinka	doba zdržení vzorku (h)	Vzorek z reaktoru (ml)	přidáno chromsírové směsi (ml)	potřeba Mohrovi soli (ml)	CHSK <sub>Cr</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )
11	0	5	5	8,84	301,1
12	1	5	5	8,94	270,1
13	3	5	5	9,06	227,5
14	4	5	5	9,27	162,9
15	5	5	5	9,43	113,7

**Tabulka 5: Stanovení CHSK<sub>Cr</sub> při 50°C**

Výsledky CHSK<sub>Cr</sub> v Tabulce 5 při 50 °C se dají hodnotit jako výborné. Během měření došlo za pět hodin odbourání více než poloviny organických látek v substrátu. Odbourávání organických látek mělo navíc s prodlužující se dobou zdržení zrychlující průběh.

### 8.2.1.3 Stanovení CHSK<sub>Cr</sub> při 40 °C

Měření proběhlo 16. 12. 2010.

stanovení faktoru MS		
vzorek (5 ml)	spotřeba MS (ml)	faktor MS
1	5,58	0,959693
2	5,24	
3	5,17	
průměr	5,21	

**Tabulka 6: Stanovení faktoru MS**

slepé vzorky	
vzorek (5 ml CHS)	spotřeba MS (ml)
1	9,63
2	9,97
3	9,8
průměr	9,8

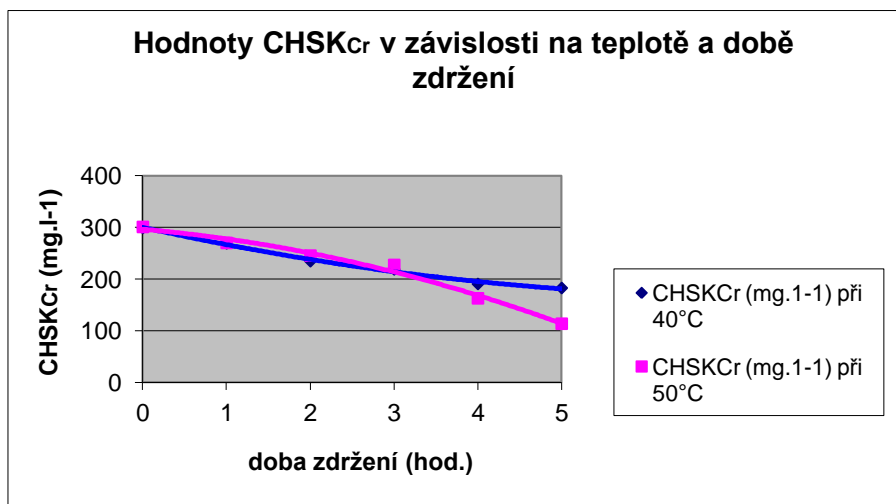
**Tabulka 7: Stanovení spotřeby Mohrovi soli u slepých vzorků**

Hodnoty v Tabulkách 6 a 7 jsou podobné hodnotám v Tab. 7 a 8 a svědčí tak o použití Mohrovi soli s obdobnými vlastnostmi pro obě měření (40 i 50°C).

kádinka	doba zdržení vzorku (h)	vzorek z reaktoru (ml)	přidáno chromsírové směsi (ml)	potřeba Mohrovi soli (ml)	CHSK <sub>Cr</sub>
					(mg.l <sup>-1</sup> )
0	0	10	5	8,01	299,15
1	1	10	5	8,20	269,29
2	2	10	5	8,42	234,71
3	3	10	5	8,52	218,99
4	4	10	5	8,70	190,70
5	5	10	5	8,75	182,84

**Tabulka 8: Stanovení CHSK<sub>Cr</sub> při 40°C**

Výsledek měření při 40 °C je uveden v Tabulce 8. Jak z jeho výsledků vyplývá, došlo rovněž k účinnému rozkladu organických látek. Největší skok v poklesu CHSK<sub>Cr</sub> byl pozorován mezi třetí a čtvrtou hodinou měření. Nicméně ani při konci (mezi čtvrtou a pátou hodinou) nebyl rozklad organických látek v reaktoru v útlumu.



**Graf 1: CHSK<sub>Cr</sub> při 40 a 50°C**



### 8.3 Anketa mezi občany Dolní a Věžovaté Pláně

Jelikož pocházím z vesnice, kde právě jedna z mnoha bioplynových stanic je postavena, rozhodla jsem se, že vypracuji krátký dotazník o tom, zda místní občané vědí, co bioplynová stanice je a k čemu slouží.

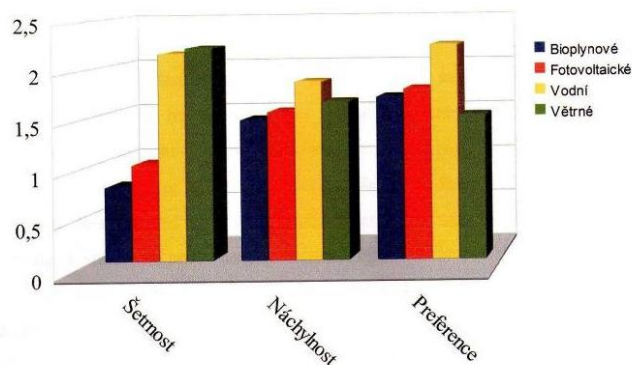
Z průzkumu vyplynulo, že 70% dotázaných podporuje alternativní zdroje energie, 27% je proti nim a pouhé 3% respondentů neví, co si o nich myslí.

Většina místních obyvatel, v procentech vyčíslitelných 64% si dokáže představit, jak bioplynové elektrárny fungují, ale pouze 18% má o celkové problematice bioplynových elektráren hlubší ponětí.

Co se týče zásahu do krajiny, jsem z dotazníku zjistila, že místním občanům příliš nevadí, že je tu vestavěna bioplynová elektrárna, jelikož se nachází v poli a její na zeleno natřené fermentory kupodivu dobře zapadají do okolní krajiny. Spíše ale místním občanům vadí a je na obtíž hluk, který ze stanice vychází a je slyšitelný hlavně v noci, kdy je ve vsi klid. Dalším negativním ukazatelem je zápach, který je hodně silný.

80% občanů důvěřuje bezpečnosti provozu stanic a 66% je přesvědčeno o tom, že v technologiích, které zpracovávají biomasu, je budoucnost. Podle 56% dotázaných jsou bioplynové elektrárny přínosem pro Českou Republiku a 44% si myslí, že bioplynové elektrárny jsou jen výplodem byznysu a lobismu ve vazbě na národní a evropské dotace.

V následujícím grafu jsem se pokusila znázornit, jak dotázaní posuzují jednotlivé alternativní zdroje energie na stupnici od 1 do 4, kde 1 je nejméně a 4 nejvíce, podle různých kritérií, kterými jsou tato: jejich šetrnost k životnímu prostředí, závislost na zdrojích (biomasa, sluneční svit, průtok, větrné proudy) společně s náchylností k výpadku a jako poslední museli dotázaní vybrat podle svých preferencí alternativní zdroj energie, který by použili, kdyby se ocitli v neobvyklé oblasti bez připojení k energetické síti, aby zajistili dostatek energie po celý den.



Graf 2: Posouzení alternativních zdrojů energie

Na závěr jsem se zabývala dvěma otázkami, kdy 1. byla: zdali dotázaní považují bioplynové elektrárny za strategický zdroj energie, který by byl klíčový v případě války nebo živelné katastrofy. Svou důvěru by bioplynovým stanicím dalo 25% občanů. 2. a zároveň poslední otázkou byla: zda jsou v současné Evropě, při nadvýrobě potravin, bioplynové elektrárny správnou volbou na konečnou realizaci zemědělské nadprodukce, kde „ano“ odpovědělo 55% a ne 45%.

### 8.3.1 Závěr

Záměrem mé práce bylo zkoumání činnosti reaktoru s kalovým mrakem a externím separátorem biomasy pomocí měření na reaktorové sestavě v laboratoři. Výzkum byl proveden technologií IFBB, která spočívá ve smíchání čerstvého substrátu z BPS Věžovatá Pláně s vodou o teplotě 60°C. Směs byla ponechána 30 minut v klidu, poté rozmixována mixérem.

Před samotným měřením byla provedena filtrace. Přefiltrovaný materiál byl použit jako náplň do reaktorové soustavy. Jelikož filtrát neobsahoval žádné hrubé části, které by mohly vytvořit neprůchodnost v problémových částech (např. čerpadlo, hlavní prvky v sestavě) reaktorové sestavy probíhalo používání s filtrátem bezproblémově.

Při výzkumném měření bylo zjištěno, že inokulum z BPS Věžovatá Pláně je vhodné pro fermentaci substrátu. Při teplotě 50°C bylo odbourané množství organické hmoty poměrně velké, kdy na začátku  $CHSK_{Cr}$  byla 301,1 mg.l<sup>-1</sup> a na konci poklesla na 113,7 mg.l<sup>-1</sup>.

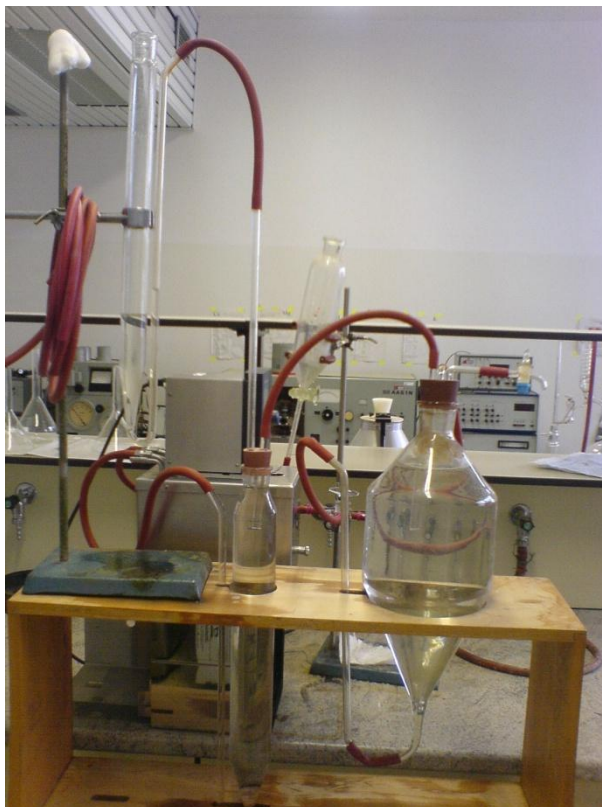
Naopak při 40°C nebylo odbourané množství tak vysoké jako při 50°C. Na začátku bylo změřeno  $CHSK_{Cr}$  299,15 mg.l<sup>-1</sup> a na konci poklesla na 182,84 mg.l<sup>-1</sup>.

Myslím si, že takto dobrých výsledků bylo dosaženo kvůli složení substrátu (kukuřičná siláž, travní senáž, chlévská mrva skotu), které jsou kvalitní, především tak chlévská mrva. Podle zjištění v jiných bioplynových stanicích nedávají ke vstupu chlévskou mrvu ale kejdu skotu.

### 8.3.2 Obrazová příloha pokusné části:



**Obrázek 8: Reaktorová sestava za provozu**



**Obrázek 9: Reaktorová soustava bez inokula**



**Obrázek 10: Titrátor**



**Obrázek 11: Vzorek na počátku titrace**



**Obrázek 12: Vzorek na konci titrace**

### 8.3.3 Obrazová příloha BPS Věžovatá Pláně



Obrázek 13: Bioplynová elektrárna ve Věžovaté Pláni



Obrázek 14: Krmivo (kukuřičná siláž + travní senáž + hovězí hnůj)



Obrázky 15, 16: Dávkořač krmiva + fermentor





**Obrázek 17: Fermentor (vlevo) a dofementor (vpravo)**



**Obrázky 18, 19: Místnost kontroly + čerpadla**



**Obrázky 20, 21: Teplovodní vytápění**





**Obrázek 22: Pohled do fermentoru**



**Obrázek 23: Pohled do dofermentoru**



**Obrázek 24: Skladovací jímka**



**Obrázky 25, 26: Odběr digestátu**



**Obrázek 27: Budova s kogenerátorem**



**Obrázek 28: Chlazení motoru**



**Obrázek 29: Kogenerační jednotka**



**Obrázek 30: Detail motoru**



**Obrázky 30, 31: Ovládací konzole fermentorů a motoru**



**Obrázek 32: Odvody teplého vzduchu**



**Obrázek 33: Sběrná jímka**

## 9 Přehled použité literatury

- (1) HEINZ SCHULZ, BARBARA EDER. *Bioplyn v praxi*. Přel. Marie Šedivá. 1.vyd. Ostrava: HEL, 2004. 168 s. ISBN 80-86167-21-6
- (2) Brandejsová Eliška, Příbyla Zdeněk. *Bioplynové stanice (Zásady zřizování a provozu plynového hospodářství)*. Praha: GAS s.r.o., 2009. 118s. ISBN 978-7328-192-2
- (3) *czba.cz* [online]. 2007 [cit. 2012-03-25]. Využití anaerobních mikrobiálních hub k intenzifikaci výroby bioplynu – Vstupní srovnání do zemědělských stanic. Dostupné z WWW:<http://www.czba.cz/vyuziti-anaerobnich-mikrobialnich-hub-k-intenzifikaci-vyroby-bioplynu.html>
- (4) Straka František, et al. *Bioplyn*. 1.vyd. Praha:GAS s.r.o., 2006. 706 s. ISBN 80-7328-090-6
- (5) Dohányos Michal, et al. *Anaerobní čistírenské technologie*. 1.vyd. Brno: NOEL 2000 s.r.o., 1998. 343s. ISBN 80-86020-19-3
- (6) Prokeš Karel, et al. *Bioplyn Základy kvasné technologie*. KWS OSIVA s.r.o. 2007. 86s.
- (7) Kára Jaroslav, et al. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. 1.vyd. Praha: VUZT, v.i.i., 2007. 117 s. ISBN 978-80-86884-28-8
- (8) Horáková Marta, et al. *Chemické a fyzikální metody analýzy vod*. Praha: SNTL. 1989. 99 – 111 s.
- (9) 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)*. 2011. 40. Diplomová práce. Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta.
- (10) Hodoval Jan. *Směsi kejdy a jiných pufrálních materiálů s biomasou a hodnocení jejich anaerobní digesce prostřednictvím testů methanogenní aktivity na aparatuře*. 2008. 91. Diplomová práce. Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta.
- (11) HABART, J.; STUPAVSKÝ, V. Potenciál zemědělských bioplynových stanic. *Energie* 21. 2010, III, 5, s. 18 - 20. ISSN 1833-0394.