

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

## **Technika a technologie zemědělských bioplynových stanic**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Autor: Milan Topol

PRAHA 2017

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Milan Topol

Technologická zařízení staveb

Název práce

Technika a technologie zemědělských bioplynových stanic

Název anglicky

Technique and technology of agricultural biogas plants

---

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je seznámit se současnou problematikou technologie a techniky provozu zemědělských bioplynových stanic. Uskutečnit analýzu vstupních surovin a následně porovnat možnosti technologického zpracování v zemědělských bioplynových stanicích.

Metodika bakalářské práce vychází z určených klasifikačních, jakostních a specifičních rámců tuhé a kapalné biomasy jako vstupních surovin do bioplynových stanic a charakteristiky souvisejících právních předpisů, technologie bioplynových stanic a legislativních podmínek zpracování biomasy.

Praktická část bakalářské práce zahrnuje analýzu vybraných vstupních surovin přicházející k fermentačnímu zpracování a následné zhodnocení zvolených technologií bioplynových stanic.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Charakteristika biomasy
4. Technologie a technika bioplynových stanic
5. Zhodnocení vstupních surovin a technologií bioplynových stanic
6. Závěr
7. Seznam literatury
8. Přílohy

Doporučený rozsah práce

50

Klíčová slova

biomasa, fermentor, bioplyn, kogenerační jednotka

---

Doporučené zdroje informací

Filip, J.; Oral, J.: Odpadové hospodářství II. 1. vydání. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2003. 78 s. ISBN 80-7157-682-4

Juchelková, D.; Fibinger, V.; Mika, J.: Metody nakládání s odpady. 1. vydání. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 1996. 62 s. ISBN 80-7078-309-5

Juchelková, D.: Likvidace a využití odpadů. Ostrava, VŠB TU Ostrava, 2000. ISBN 80-7078-747-3

Malaťák, J.; Vaculík, P.: Zpracování biologicky rozložitelných odpadů. ČZU v Praze, Technická fakulta, tisk. Powerprint, Praha 2008, 168 s., ISBN: 978-80-213-1747-5

Pastorek, Z.; Kára, J.; Jevič, P.: Biomasa obnovitelný zdroj energie, nakladatelství FCC Public, Praha 2004, 284 str., ISBN 80-86534-06-5

Straka, F.; a kolektiv.: Bioplyn. GAS s.r.o., Říčany 2003, s. 517, ISBN 80-7328-029-9

---

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 20. 1. 2015

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 4. 2015

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 10. 02. 2017

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Technika a technologie zemědělských bioplynových stanic vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne.....

.....  
Milan Topol

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji doc. Ing. Janu Malaťákovi, Ph.D., z Katedry technologických zařízení staveb České zemědělské univerzity v Praze, za odborné konzultace, cenné rady a připomínky při psaní této práce.

## **Technika a technologie zemědělských bioplynových stanic**

**Abstrakt:** Cílem této bakalářské práce je popsat techniku a technologii zemědělských bioplynových stanic. V první kapitole „Charakteristika biomasy“ je stručně definována biomasa a podmínky vzniku biomasy. Dále je uvedeno dělení biomasy využitelné k energetickým účelům, na biomasu cíleně pěstovanou a biomasu odpadní. Jsou popsány způsoby získání energie z biomasy a charakteristické vlastnosti materiálu pro anaerobní fermentaci. Následuje popis vhodných druhů materiálů pro zpracování anaerobní fermentací. Na závěr je charakterizován bioplyn, jeho složení a vlastnosti a uvedena legislativa týkající se biomasy a jejího zpracování. V kapitole „Technologie a technika bioplynových stanic“ je nejprve popsán proces a fáze anaerobní fermentace a uvedeny aspekty ovlivňující tento proces. Následuje dělení technologických systémů a podrobný popis jednotlivých prvků strojní linky bioplynových stanic. V praktické části bakalářské práce jsou zhodnoceny dvě zvolené technologie bioplynových stanic a provedena analýza vstupních surovin přicházejících k fermentačnímu zpracování.

**Klíčová slova:** biomasa, fermentor, bioplyn, kogenerační jednotka

## **Technique and technology of agricultural biogas plants**

**Summary:** The aim of this bachelor thesis is description of technique and technology of agricultural biogas plants. In first chapter „Characterisation of Biomass“ is definition of biomass and conditions of formation of biomass. Further there is division of biomass which is used for energy purposes with description of waste biomass and purposely grown biomass. Ways how energy is gained from biomass and characteristic properties of materials for anaerobic fermentation are stated. Then there are named suitable types of biomass for anaerobic fermentation. Finally characterisation of biogas, its composition and its properties also legislation about biomass and its use. In chapter „Technology and technique of biogas plants“ description of anaerobic fermentation, its phases and aspects which affect anaerobic digestion are stated. Further there is division of technological systems of biogas plants and detailed description of biogas plant components. In practical section is analysis of input material and also evaluation of biogas plants technologies.

**Key words:** biomass, digester, biogas, CHP unit

## Obsah

1	Úvod .....	1
2	Cíl a metodika práce.....	3
3	Charakteristika biomasy .....	4
3.1	Definice biomasy.....	4
3.2	Podmínky vzniku biomasy.....	4
3.3	Biomasa využitelná k energetickým účelům.....	5
3.3.1	Biomasa cíleně pěstovaná .....	6
3.3.2	Biomasa odpadní.....	6
3.4	Způsoby získání energie z biomasy .....	7
3.5	Charakteristické vlastnosti materiálu vhodného pro anaerobní fermentaci ...	7
3.5.1	Obsah sušiny .....	7
3.5.2	pH materiálu .....	8
3.5.3	Poměr uhlíkatých a dusíkatých látek .....	8
3.5.4	Obsah popelovin a jiných nežádoucích příměsí.....	8
3.6	Vhodné druhy materiálů pro zpracování anaerobní fermentací.....	8
3.7	Charakteristika bioplynu .....	11
3.7.1	Bioplyn a jeho složení .....	11
3.7.2	Vlastnosti bioplynu .....	12
3.8	Legislativa týkající se biomasy a jejího zpracování .....	13
4	Technologie a technika bioplynových stanic.....	15
4.1	Technologie výroby bioplynu.....	15
4.1.1	Anaerobní fermentace a její fáze.....	15

4.1.2	Aspekty ovlivňující průběh anaerobní fermentace.....	16
4.1.3	Dělení technologických systémů bioplynových stanic.....	17
4.2	Prvky strojních linek bioplynových stanic.....	20
4.2.1	Příjmová část.....	21
4.2.2	Reaktory (fermentory).....	21
4.2.3	Plynojemy (vyrovnávací zásobníky).....	26
4.2.4	Technologie čištění a úpravy bioplynu.....	30
4.2.5	Kalová koncovka.....	32
4.2.6	Konečné zpracování bioplynu.....	33
5	Zhodnocení vstupních surovin a technologií bioplynových stanic.....	36
5.1	Zhodnocení technologií bioplynových stanic.....	36
5.1.1	Výhody a nevýhody suché fermentace.....	36
5.1.2	Výhody a nevýhody mokré fermentace.....	38
5.2	Analýza vstupních surovin.....	40
5.2.1	Popis Bioplynové stanice Cítov.....	40
5.2.2	Laboratorní měření a závěrečné zhodnocení.....	42
6	Závěr.....	46
7	Seznam použité literatury.....	48



# 1 Úvod

S neustále rostoucí spotřebou energie, nárůstem populace a zmenšováním zásob fosilních paliv vyvstává problém, kde a jak paliva a energii získávat. K hledání alternativ přispívá i to, že například největší zásoby ropy leží v geopoliticky nestabilních oblastech, jako je například Rusko a Střední východ. Tento fakt následně způsobuje velké problémy se zásobováním fosilními palivy v případě krizových situací. Proto se státy světa snaží vyvíjet stále nové technologie a zvyšovat podíl získané energie z obnovitelných zdrojů. Jednou z možností, jak lze získávat energii, je právě zpracováním biomasy. Aspektem vyznívajícím kladně pro biomasu je fakt, že díky jejímu využití se výrazně přispívá k redukci emisí oxidu uhličitého v atmosféře, a tím i ke snížení skleníkového efektu, který způsobuje závažné změny klimatu. Jako příklad takového využití lze uvést spalování biomasy, kde aktivními prvky jsou uhlík a vodík. Plynnými produkty při dokonalém spalování jsou pak oxid uhličitý a vodní pára. Přitom vzniklé množství oxidu uhličitého téměř odpovídá množství uhlíku, které se spotřebuje během růstu biomasy, takže koncentrace v atmosféře dlouhodobě nenarůstá. Výhodné je rozhodně i to, že technologie sklizně a pěstování rostlinné biomasy jsou dobře zvládnuté a oproti těžbě, dopravě a skladování fosilních zdrojů energie mají menší záporný vliv na životní prostředí. Biomasa nemusí však být pouze záměrně pěstovaná pro energetické účely, v potravinářském průmyslu, při chovu hospodářských zvířat a v zemědělství vzniká velké množství odpadní biomasy, která má stále velký energetický potenciál, jenž lze dále využít. Díky tomu dochází ke zlepšení situace v problematice s nakládáním s biologicky rozložitelnými odpady. [1] [2] [3] [4]

Využívání biomasy jako energetického zdroje má, kromě těchto nesporných výhod, rovněž také své nevýhody a omezení. Jednou z hlavních nevýhod je větší finanční náročnost produkce biomasy pro energetické účely oproti klasickým zdrojům energie, což je hlavním důvodem, proč mají fosilní paliva oproti biomase stále navrch. Problémem je také to, že produkce energetické biomasy konkuruje jiným odvětvím, například polní plodiny jsou převážně používány pro výrobu potravin nebo jako krmivo pro hospodářská zvířata. Dřevo je zase primárně využíváno jako konstrukční materiál nebo jako vstupní surovina pro výrobu papíru. Ke zvyšování produkce biomasy je potřeba rozšiřovat plochy, kde se bude biomasa pěstovat nebo je potřeba zvýšit intenzitu výroby, což má za následek značné navýšení nákladů. S tím souvisí další problém, plochy, na kterých lze biomasu pěstovat, jsou omezené. [1] [3]

Jednou z dynamicky se rozvíjejících technologií, využívaných k produkci energie z obnovitelných zdrojů, je zpracování biomasy pomocí anaerobní fermentace v bioplynových

stanicích. Tato technologie zároveň řeší problém, jak smysluplně využít odpadní biomasu z potravinářského, dřevozpracujícího průmyslu a zemědělství, a proto si zaslouží pozornost.

Cílem této práce je seznámit právě s problematikou techniky a technologie zemědělských bioplynových stanic.

Bakalářská práce obsahuje v první části obecnou charakteristiku biomasy, její dělení a způsoby využití. Dále je pak popsána legislativa týkající se využití biomasy k energetickým účelům. Důraz je však kladen na využití biomasy v bioplynových stanicích, kdy je definován vhodný materiál ke zpracování anaerobní fermentací a popsány jeho charakteristické vlastnosti.

Další část je zaměřena na technologii a techniku využívanou v bioplynových stanicích. Jsou zde podrobně popsány procesy probíhající při anaerobní fermentaci, aspekty ovlivňující tento proces a dělení technologických systémů. Poté jsou podrobně charakterizovány jednotlivé prvky tvořící strojní linku zemědělských bioplynových stanic s ohledem na zpracovávaný materiál.

Na závěr je v praktické části bakalářské práce provedena analýza vstupního materiálu přicházejícího k fermentačnímu zpracování a následně zhodnoceny technologie mokré a suché fermentace.

## 2 Cíl a metodika práce

Cílem teoretické části bakalářské práce je v první řadě charakterizovat biomasu a druhy biomasy vhodné ke zpracování anaerobní fermentací v zemědělských bioplynových stanicích. Vyjmenovat a popsat charakteristické vlastnosti těchto materiálů. Rovněž také informovat o legislativních podmínkách využití biomasy k energetickým účelům, zejména pak o podmínkách týkajících se zpracování biomasy anaerobní fermentací.

Druhým cílem teoretické části je seznámit se současnou problematikou technologie a techniky zemědělských bioplynových stanic. Charakterizovat proces anaerobní fermentace a jeho fáze. Podrobně popsat jednotlivé technologie používané v zemědělských bioplynových stanicích a následně charakterizovat jednotlivé prvky, které jsou součástí strojní linky při anaerobní fermentaci.

V praktické části bakalářské práce je cílem zhodnotit dvě zvolené technologie bioplynových stanic, tedy mokrá a suchý způsob anaerobní fermentace. Dále je potřeba provést analýzu vstupního materiálu přicházejícího k fermentačnímu zpracování a následně zhodnotit naměřené výsledky.

Metodika bakalářské práce vychází z určených klasifikačních, jakostních a specifikačních rámců tuhé a kapalné biomasy jako vstupních surovin do bioplynových stanic a charakteristiky souvisejících právních předpisů, technologie bioplynových stanic a legislativních podmínek zpracování biomasy.

Pro zhodnocení vstupních surovin v praktické části této práce budou použity vzorky získané z Bioplynové stanice Cítov. Analýza proběhne v Laboratoři analýzy organických materiálů Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze. Bude stanovena prvková analýza vstupního materiálu, měření proběhne na analyzátoru LECO CHN 628+S, konkrétně bude naměřen obsah uhlíku, vodíku, dusíku a síry. Pomocí termogravimetrického analyzátoru LECO TGA 701 bude stanoven obsah popelovin a vlhkosti vzorku. Naměřené výsledky pak budou následně porovnány s výsledky analýz stejných materiálů nalezených v odborné literatuře.

### 3 Charakteristika biomasy

V této kapitole je charakterizována biomasa a popsány podmínky jejího vzniku. Dále jsou charakterizovány jednotlivé typy biomasy, jako je biomasa záměrně pěstovaná a biomasa odpadní. Vyjmenovány charakteristické vlastnosti biomasy vhodné pro anaerobní fermentaci a uvedeny druhy materiálů, které jsou vhodné k tomuto zpracování. V závěru kapitoly se nachází charakteristika bioplynu a popis související legislativy.

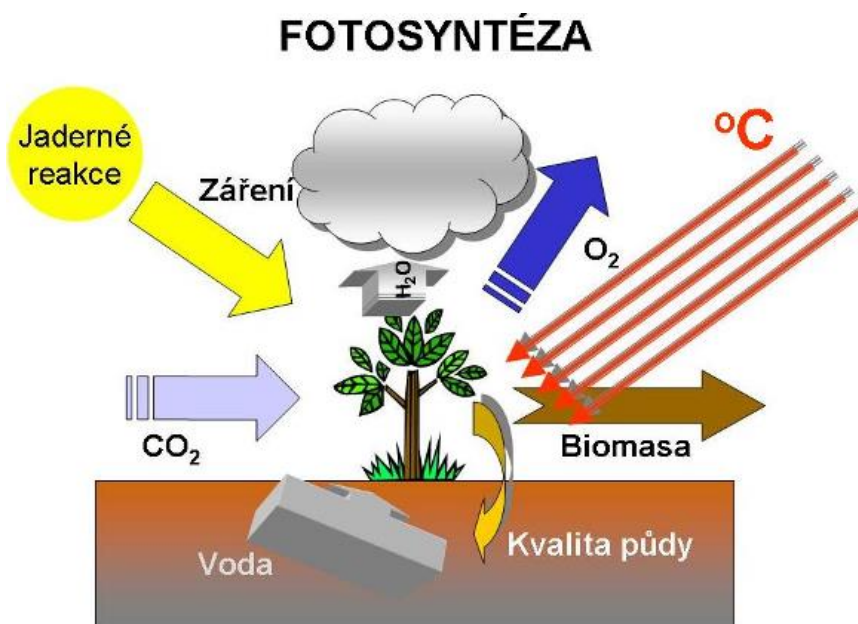
#### 3.1 Definice biomasy

Biomasu lze definovat jako hmotu organického původu. Lze ji také popsat jako veškerou živou přírodu, jež se zúčastňuje koloběhu živin v biosféře Země. Jsou to tedy veškeré organismy, jak rostlinného, tak živočišného původu. [1] [5] [6]

#### 3.2 Podmínky vzniku biomasy

Základním faktorem zabezpečujícím vznik biomasy, a tedy života na Zemi, je působení slunečního záření. Hlavní úlohu při koloběhu živin v biosféře má fotosyntéza, bez které by nebyl život na Zemi možný. Všechna energie potřebná pro život je totiž získávána právě skrze fotosyntézu. Její schématické znázornění je na obr.1. [1] [7]

Obr.1 Schéma fotosyntézy



Zdroj: <http://www.prurezovatemata.cz/Portals/0/UkazkyMaterialu/fotosynteza.jpg>

Fotosyntéza je proces, při kterém vzniká z vody a oxidu uhličitého, za působení enzymů, chlorofylu a za podpory sluneční energie, kyslík a cukry, tedy organické sloučeniny

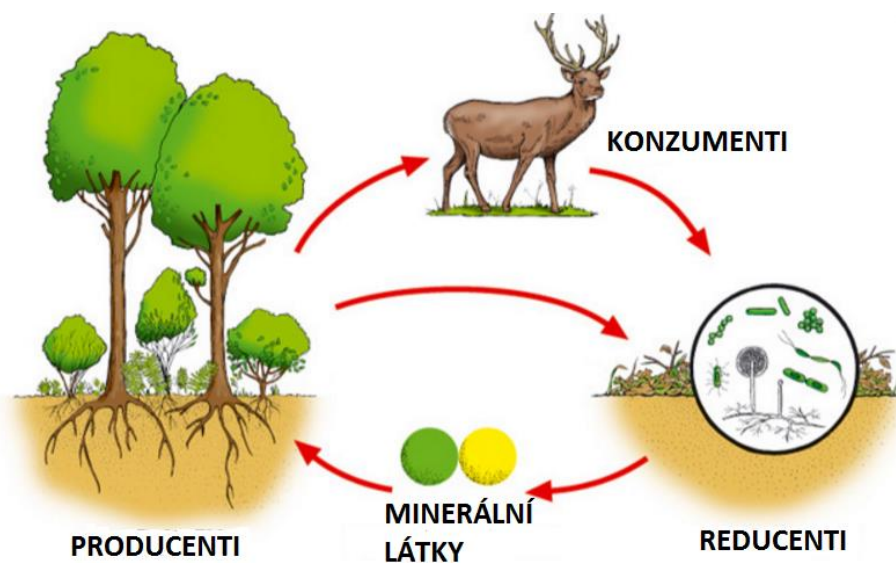
glukózy. Tyto sloučeniny jsou základními stavebními jednotkami rostlin, skládají se z uhlíku, vodíku a kyslíku. Do chemických vazeb právě mezi těmito prvky je ukládána sluneční energie. V případě přerušení těchto vazeb, například během trávení nebo při spalování, dojde k jejímu uvolnění ve formě chemické energie. [1] [7]

Kyslík vzniká při oxidaci vody a oxid uhličitý se redukuje na cukry, jak znázorňuje následující rovnice:



Výsledkem fotosyntézy je vznik organické hmoty a kyslíku. Fotosyntetické rostliny jsou prvním stupněm potravního řetězce, tzv. primárními producenty, a jsou potravou bylinožravých živočichů (sekundární producenti nebo konzumenti prvního řádu), kteří jsou kořistí masožravých živočichů (konzumenti druhého řádu). Řetězec je uzavřen reducenty, jejichž potravou jsou odumřelé zbytky rostlin a živočichů, které rozkládají na minerální prvky. Jedná se o houby, různé půdní mikroorganismy a hmyz. Tyto rozložené organické látky pak slouží rostlinám jako výživa. Tento koloběh je znázorněn na obr.2. [1] [8]

Obr.2 Schéma koloběhu živin



Zdroj: <http://www.szkola-marzen.pl/ekologia-3/>, vlastní úprava

### 3.3 Biomasa využitelná k energetickým účelům

V literatuře nalezneme mnoho aspektů, podle kterých se jednotlivé druhy biomasy rozdělují. Jelikož je práce zaměřena na energetické využití biomasy, postačí rozdělení na biomasu cíleně pěstovanou pro energetické účely a odpadní biomasu. [4]

### 3.3.1 Biomasa cíleně pěstovaná

Jak již název napovídá, tento druh biomasy se pěstuje pouze pro účely získání energie. Plodiny pěstované pro energetické využití se liší v některých ohledech od klasických plodin využívaných pro potravinářský průmysl a používaných jako krmivo pro zvířata. V následujícím textu jsou uvedeny určité znaky, které by měly energetické plodiny splňovat. [8]

Energetické plodiny by měly mít vysoké výnosy, slibné ekonomické zisky zaručí výnosy okolo 33–55 t.ha<sup>-1</sup>. Sklizeň by měla být zajištěna běžnými zemědělskými, popřípadě i lesnickými stroji a nástroji, aniž by bylo zapotřebí speciálních strojů, které by měly malé roční využití. Důležité rovněž je, aby docházelo k nízké spotřebě energie při jejich výrobě. Dále by měly co možná nejlépe využívat vodu a dusíkatá hnojiva ke svému růstu a zároveň produkovat velké množství zelené hmoty, kvůli zabezpečení vysoké úrovně fotosyntézy. Žádoucí je také odolnost proti povětrnostním vlivům, chorobám, plevelům a škůdcům. [8]

### 3.3.2 Biomasa odpadní

Kromě biomasy záměrně pěstované existuje ještě biomasa odpadní, která vzniká při různých činnostech a představuje snadno přístupný zdroj energie, který povětšinou nelze již jinak využít. Odpadní biomasa bývá zpracovávána velmi často přímým spalováním, dalším využitím může být bioplyňování. Může být však využita také při kompostování, kdy se využívá biologicky rozložitelných odpadů a pomocí aerobní fermentace se získává substrát, který může být aplikován do půdy, čímž se zlepšují její vlastnosti. [5] [9]

Mezi odpadní biomasu patří rostlinné zbytky ze zemědělské výroby, jako je kukuřičná, řepková sláma, zbytky z luk a pastvin a hojně zastoupená obilná sláma. Používá se pro přímé spalování, kdy se spaluje ve formě balíků v plně automatických zařízeních uzpůsobených k tomuto účelu. [1] [2]

Další skupinou jsou lesní odpady jako dřevní hmota z lesních probírek, větve, kůra, pařezy, odřezky, klest a jiné. Jedná se o surovinu, kterou již nelze pro jiný účel využít. Ve střední Evropě je to nejrozšířenější typ biomasy využívaný pro energetické účely. [1] [2]

Energetický potenciál mají i komunální organické odpady z venkovských sídel, jako jsou kaly z odpadních vod, dále organický podíl tuhých komunálních odpadů, odpadní organické zbytky z údržby zeleně a trávníků. [1]

Využitelný je i odpad z živočišné výroby, do kterého patří exkrementy zvířat, zbytky podestýlky a krmiv a odpady z mléčnic. [1]

Velký význam mají rovněž organické odpady z průmyslových a potravinářských provozů, což mohou být například odpady z jatek, z mlékárenských provozů, z lihovarů, nebo z dřevařských provozoven, mohou to být kupříkladu piliny, hobliny a různé odřezky. [1]

### 3.4 Způsoby získání energie z biomasy

Způsob, jak je biomasa využívána k energetickým účelům, závisí velkou měrou na chemických a fyzikálních vlastnostech biomasy. Podle vlhkosti, tedy podle obsahu sušiny, se rozlišují suché a mokré procesy. Hranici mezi těmito dvěma druhy procesů tvoří 50 % hodnota obsahu sušiny. U suchých procesů je tedy obsah sušiny větší než 50 %, naopak u mokrých procesů je obsah sušiny menší než 50 %. [1]

Rozlišuje se několik způsobů, jak lze energii z biomasy získat. Prvním z nich je termochemická konverze biomasy, jedná se o suchý způsob zpracování biomasy. Mezi termochemické zpracování patří procesy jako pyrolýza, spalování a zplyňování. Biochemické přeměny se naopak řadí mezi mokré procesy. Je to alkoholové kvašení a metanové kvašení. Dalším způsobem zpracování biomasy je fyzikální a chemická přeměna biomasy. Do této skupiny patří mechanický způsob konverze biomasy jako je například mletí, peletování, štípaní, lisování a drcení. Esterifikace surových bioolejů je chemickým způsobem přeměny. Posledním typem využití je získávání odpadního tepla při zpracování biomasy, např. při kompostování, aerobním čištění odpadních vod, aerobní fermentací tuhých organických odpadů. V praxi se ze suchých procesů převážně používá spalování biomasy, mezi mokrymi procesy převládá výroba bioplynu anaerobní fermentací. Z ostatních způsobů vyčnívá výroba metylesteru kyselin bioolejů, které se vyrábí ze semen olejnatých plodin. [1] [5]

### 3.5 Charakteristické vlastnosti materiálu vhodného pro anaerobní fermentaci

#### 3.5.1 Obsah sušiny

Ideální obsah sušiny se u zpracovávaných pevných odpadů pohybuje v intervalu 22 až 25 %, pro tekuté odpady je to 8 až 14 %. U zpracování tekutých materiálů o obsahu sušiny menším než 3 % je potřeba proces anaerobní fermentace udržovat na požadované teplotě pomocí dodávání doplňkového tepla z vnějšího zdroje, což má za následek zápornou energetickou bilanci tohoto procesu. Až při obsahu sušiny 3 až 5 % lze dosáhnout kladné energetické bilance. Horní hranice ideálního obsahu sušiny zpracovávaného tekutého odpadu je určena jeho mezí čerpatelnosti. Mezní hodnotou obsahu sušiny, při které stále probíhá anaerobní fermentace, je 50 %. [1]

### 3.5.2 pH materiálu

Číslo pH, vyjadřující kyselost nebo zásaditost látek, je dalším důležitým parametrem určujícím použitelnost materiálu k anaerobní fermentaci. Optimální hodnotou pH během vstupu do procesu je pH = 7 až 7,8. V průběhu procesu nezůstává hodnota konstantní, nýbrž se mění. V počátku převládá činnost acidogenních bakterií a pH se může snížit na hodnotu 4 až 6. Při hodnotě pH = 5 může začít docházet v substrátu ke snižování aktivity některých kmenů metanogenních bakterií, je-li však dosaženo optimálních podmínek, může dojít k jejich rozvoji a svou aktivitou mohou zvýšit hodnotu čísla pH až na pH = 7, tedy až na neutrální hodnotu. Některé kmeny metanogenních bakterií se dokáží rozvíjet i ve velmi zásaditém prostředí, při hodnotách pH = 8 až 9. Úprava pH materiálu před jeho vstupem do procesu anaerobní fermentace se v praxi provádí pomocí homogenizace, kdy je snahou, aby směsné materiály společně tvořili stejnorodou směs, nebo také přidáním alkalických (zásaditých) přísad. [1]

### 3.5.3 Poměr uhlíkatých a dusíkatých látek

Velký význam při určování použitelnosti daného materiálu má rovněž poměr uhlíkatých a dusíkatých látek. Za ideální hodnotu je považován poměr 30:1. Velké množství dusíkatých látek ve zpracovávané biomase může mít nepříznivý vliv na výsledné složení bioplynu, který poté může obsahovat minoritní množství plynů, jako je amoniak a oxid dusný. Mezi materiály s vysokým obsahem dusíku všeobecně patří exkrementy hospodářských zvířat. Naopak vysokým obsahem uhlíku se vyznačují materiály rostlinného původu. Dosažení optimální hodnoty poměru C:N se v praxi provádí pomocí mísení jednotlivých materiálů. [1]

### 3.5.4 Obsah popelovin a jiných nežádoucích příměsí

Materiál vhodný pro anaerobní fermentaci by měl obsahovat malý podíl anorganických látek (popelovin), jako je například sodík, draslík, vápník a hořčík. Nevhodný je také obsah nežádoucích příměsí, jako jsou všechny druhy antibiotik podávaných zvířatům ve formě léčivých prostředků nebo preventivně jako složka krmných směsí, tak jak je tomu u drůbeže. Antibiotika totiž negativně působí na mikrobiální rozvoj. K anaerobní fermentaci by neměl být použit materiál, který je již ve stádiu hnilobného rozkladu a také dlouhodobě skladovaný materiál, u kterého proběhne aerobní fermentace. [1]

## 3.6 Vhodné druhy materiálů pro zpracování anaerobní fermentací

U anaerobní fermentace organických substrátů se metan získává rozkládáním polysacharidů, bílkovin a tuků. Rozklad bílkovin má tu nevýhodu, že se při tomto procesu do



bioplynu uvolňují sirnaté složky, jako je například sulfan  $H_2S$ , který je žádoucí z bioplynu před konečným použitím odstranit. Při rozkladu tuků se dosahuje nejlepší výtěžnosti metanu, naneštěstí jejich obsah ve zpracovávaném substrátu nebývá vysoký. Hlavním zdrojem látek pro získávání metanu u fytomasy bývají polysacharidy. Produkce bioplynu, a též výsledného metanu, je tedy závislá na tom, jaké množství těchto látek vstupní materiál obsahuje. [1] [10]

Mezi vhodné materiály pro zpracování anaerobní fermentací patří zejména odpady, a to odpady různého původu, ať už pochází z živočišné výroby nebo potravinářského průmyslu, jako jsou například odpady ze zpracování ovoce a zeleniny, konzervářské odpady a odpady z výroby řepného cukru. Mohou to však být i organické složky komunálního odpadu, sesbírané například v restauracích, školách nebo nemocnicích. Další významnou skupinou jsou průmyslové odpady s obsahem celulózy, jako jsou odpady z papírenského průmyslu, papírenské kaly a odpady z dřevozpracujícího průmyslu. Ale rovněž také záměrně pěstované energetické plodiny jako je například kukuřice nebo tráva *Miscanthus*, čirok, slunečnice. Stejně tak některé dřeviny jako je topol nebo vrba, které však před jejich využitím musí být speciálním způsobem upraveny tzv. delignifikací. Jde o zpracování dřeva na buničinu, kdy dochází k přerušení vazeb mezi celulosou a hemicelulos s ligninem na látky rozpustné ve vodných varných roztocích jednak hydroxidu a hydrogensířičitanu sodného (sulfátový postup) nebo hydrogensířičitanu hořečnatého s podílem kyseliny siřičité (sulfitový postup). [9] [10] [11] [12] [13]

Za jeden z nejvyužívanějších odpadních materiálů pro anaerobní fermentaci jsou považovány exkrementy hospodářských zvířat. Přispívá k tomu přirozený obsah anaerobních bakterií, vysoký podíl vody, čímž je zajištěná dobrá míchatelnost a čerpatelnost, a to že se jedná o lehce dostupný materiál. V České republice jsou v živočišné výrobě hlavně chovány druhy hospodářských zvířat, jako je skot, prasata a drůbež. Exkrementy těchto druhů zvířat se značně liší. U skotu, jenž patří do skupiny přežvýkavců, je trávicí trakt přizpůsobený k rozkládání potravy s vysokým obsahem celulózy. Exkrementy skotu se vyznačují tím, že jsou v zažívacím ústrojí více rozloženy, to znamená, že mají menší energetický potenciál, než je tomu u prasat. Trus drůbeže má největší energetický potenciál z těchto druhů hospodářských zvířat. [9] [11]

U exkrementů hospodářských zvířat je zapotřebí rozlišovat, zda jde o fyziologickou produkci exkrementů, to znamená, že jde pouze o produkci tuhých výkalů a moči bez přidané ředící vody a skutečnou produkci, která je vždy vyšší než fyziologická hlavně o množství přidané vody. Fyziologickou produkci ovlivňuje to, o jaký druh zvířete se jedná, jeho stáří, hmotnost a druh používaného krmiva. Mladší zvířata oproti těm dospělým produkují více exkrementů vzhledem ke své hmotnosti a spotřebovanému krmivu. Z hlediska obsahu

organických látek jsou na tom nejlépe exkrementy drůbeže, po nich jsou výkaly skotu a na závěr exkrementy prasat. K přesnému určení množství energeticky využitelných exkrementů je velmi důležité znát obsah ředící vody, množství a skladbu krmiva. Substráty z exkrementů se dělí na substráty pevné, což je slamatý hnůj, jež lze zpracovat jak kompostováním, tak anaerobní stabilizací, a substráty tekuté, kdy se jedná o kejdu, kterou je možné zpracovávat jen anaerobně nebo kombinovaně. V praxi se vzhledem k nižší výtěžnosti metanu nezpracovává samotný hnůj a kejda, ale dochází ke kofermentaci s materiály s vyšší výtěžností. [9] [11]

U zpracování hnoje je produkce získaného metanu závislá na krmení zvířat, způsobu jejich ustájení a také na použitém materiálu pro podestýlku. [10]

Pro výrobu bioplynu je nejvýhodnější fytomasa se sklizňovou vlhkostí 45 % a s poměrem C:N v rozmezí 20:1 až 30:1, energetické plodiny pro anaerobní fermentaci by měly být sklizeny jako čerstvé zelené rostliny. Čím je totiž fytomasa sušší, tím se snižuje produkce bioplynu z ní získaného. Fytomasa s nižší vlhkostí a se širším poměrem C:N je lépe využitelná pro přímé spalování. [9] [10]

Chemické složení sušiny různých druhů rostlin je velice různorodé, hlavně pufrovitost, poměr C:N, obsah bílkovin, polysacharidů, ligninu atd. Kromě druhu rostlin ovlivňují chemické složení sušiny fytomasy také půdní a klimatické podmínky, hnojení, doba a způsob sklizně a způsob konzervace. Jako nejvhodnější druhy rostlin pro anaerobní fermentaci jsou považovány ty s vysokým obsahem glukózy, škrobu, celulózy a bílkovin. Naopak by tyto rostliny měli obsahovat malé množství hemicelulózy a ligninu, jež se vyznačují nízkou biologickou rozložitelností a na tvorbě metanu se prakticky nepodílí. Jejich zpracováním by mělo být dosaženo vysoké produkce bioplynu s obsahem metanu 50 až 65 %. [1] [9] [12]

Anaerobní fermentace fytomasy je oproti zvířecím exkrementům značně komplikovanější, a to díky vyšší koncentraci nízkopolymerních uhlovodíků, které jsou mikrobiologicky snadno přeměnitelné na organické kyseliny i vzhledem k nízké pufrovací kapacitě substrátu z fytomasy, která je několikanásobně nižší než u substrátu ze zvířecích exkrementů. Oba tyto aspekty způsobují nadměrné okyselení. Pufrovací kapacita u fytomasy se liší podle druhu a stáří rostlin, tzn. čím je starší, tím je její kapacita nižší. Nadměrnému okyselení při procesu metanogeneze lze zabránit přidáním louhu. [9]

Silážováním některých plodin, jako je například kukuřice, lze při dodržení optimálních podmínek značně zvýšit produkci metanu, což je zřejmě zapříčiněno tvorbou organických kyselin (kyselina mléčná), které jsou prekurzorem pro produkci metanu. [10]

## 3.7 Charakteristika bioplynu

### 3.7.1 Bioplyn a jeho složení

Bioplyn vzniká během procesu anaerobní fermentace, rozkladem organického materiálu anaerobními mikroorganismy za nepřístupu vzduchu. Jedná se o směs různých plynů, z nichž převažuje hlavně metan. [4]

Bioplynem lze nazvat všechny druhy plynných směsí, jejichž vznik je podmíněn činností mikroorganismů. Veškeré druhy bioplynů, které jsou anaerobního původu, vznikají principiálně velmi podobným způsobem. V technické praxi je bioplynem označována směs plynů vzniklá v technických zařízeních, jako jsou reaktory, digestory nebo laguny se zařízením jímajícím bioplyn. [1]

Jednotlivé složky bioplynu můžeme rozdělit na majoritní a minoritní složky. Mezi majoritní složky bioplynu patří zejména metan a oxid uhličitý. Obsah všech ostatních plynných látek je vždy o více než jeden řád nižší, u kvalitního bioplynu se tato hodnota pohybuje v úrovních nejvýše desetin procenta. [14]

Obsah dvou hlavních složek bioplynu je dosti proměnný, obsah metanu se pohybuje v rozmezí 50 až 85 % z celkového objemu. V nejlepším možném případě metan doplní 25 až 50 % oxidu uhličitého. Právě poměr metanu a oxidu uhličitého určuje kvalitu bioplynu, kdy snahou je, aby bioplyn obsahoval co možná největší množství metanu a malé množství oxidu uhličitého. Obsah těchto dvou složek je ovlivněn nejenom zpracovávaným materiálem, nýbrž také skladbou bakteriálních kultur, teplotou, pH, typem reaktoru a jinými vlivy. V reaktorovém bioplynu je obsah metanu stálou veličinou a každé kolísání o více než 2 % naznačuje, že se mění fermentační podmínky. Pokles obsahu metanu pod 55 % signalizuje, že mohl vzniknout technologický problém. Vysoký obsah oxidu uhličitého zase upozorňuje, že nedošlo k vytvoření ideálních podmínek pro anaerobní fermentaci. [1] [14] [15]

Oproti majoritnímu složení bioplynu je skladba minoritních příměsí o mnoho pestřejší, identifikované chemické sloučeniny se počítají na stovky. [14]

Jednou z minoritních složek v bioplynu je síra. Sulfan  $H_2S$  je jedinou sloučeninou síry, která může v bioplynu dosahovat významnějších hodnot, jedná se však o nežádoucí složku bioplynu, při spalování sulfanu totiž vzniká kyselina sírová, která je při kondenzaci vzniklých spalin příčinou koroze.  $H_2S$  má rovněž velmi negativní vliv na olejové náplně motorů. Množství obsaženého sulfanu, které se může v plynu vyskytovat, odpovídá složení zpracovávaného materiálu a je velmi proměnlivé. Hlavním vstupním zdrojem síry jsou látky bílkovinného charakteru. Vstupní materiál ve formě rostlinné biomasy obsahuje povětšinou

jen velmi málo bílkovin, hlavně pokud se jedná o biometanizaci dřevní hmoty, papíru a celulózy. Obsah sulfanu ve vzniklém plynu je tedy nižší, než je tomu například u zpracování exkrementů z chovu prasat a drůbeže, kde je velmi vysoký a působí značné problémy při konečném využití bioplynu. Na druhou stranu při zpracování exkrementů skotu je obsah sulfanu značně menší. [1] [14] [15] [16]

Další minoritní složkou je kyslík, který do procesu přichází v počáteční fázi nebo jeho přítomnost může být způsobena zavzdušňováním pracovního prostoru. Tento stav je velmi negativní, a to hlavně proto, že metan společně se vzdušným kyslíkem tvoří výbušnou směs. Dále se ve výsledném produktu mohou vyskytovat argon (pocházející ze vzduchu), amoniak a oxid dusný. V reaktorovém bioplynu se vyskytuje jen velmi malé množství halogenových uhlovodíků, a to za předpokladu, že zpracovávaná surovina jimi není kontaminována. Pokud se v bioplynu objeví stopy vodíku, nedochází ke zhoršení jeho energetické kvality, ale je to signál, že došlo k narušení rovnováhy mezi fází acidogenní a metanogenní, jako následek nadměrného zatížení reaktoru surovým materiálem, nebo dochází z různých příčin k potlačení vývoje metanogenních mikroorganismů. [1] [14]

### 3.7.2 Vlastnosti bioplynu

#### 3.7.2.1 Výhřevnost bioplynu a zápalná teplota

Výhřevnost bioplynu je hlavně určena množstvím obsaženého metanu v bioplynu. Minoritní složky jako je sulfan, vodík atd. mají jen velmi malý energetický význam, takže zanedbatelný. Pokud se jedná o zcela suchý bioplyn, je hodnota výhřevnosti téměř rovna spalnému teplu. Při 60 % obsahu metanu v bioplynu je hodnota výhřevnosti rovna přibližně  $21,5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ . Pokud je bioplyn vyčištěn a zůstane prakticky jen čistý metan, vzroste hodnota výhřevnosti bioplynu na hodnotu výhřevnosti metanu, tedy na  $35,8 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ . Důležitou vlastností bioplynu je jeho zápalná teplota, která má stejnou hodnotu jako teplota zápalnosti metanu, tedy 650 až 750 °C. [1] [9]

#### 3.7.2.2 Korozní vlastnosti bioplynu

Chemická koroze kovových materiálů je způsobena bioplynem, jednak díky jeho vysoké vlhkosti a vysoké koncentraci oxidu uhličitého a také díky přítomnosti  $\text{H}_2\text{S}$ . Vlhkost bioplynu představuje nepříjemnosti pro nelegované oceli i lehké slitiny za předpokladu přístupu vzduchu. Sulfan obsažený v bioplynu může způsobovat korozi i v prostředí bez přístupu vzduchu, sulfidická koroze napadá měď a její slitiny, jako jsou mosaz a bronz. Proti sulfidické korozi je nepříliš účinná i ochrana pokovováním materiálů, jako je například pochromování. [14]

Významným typem koroze způsobujícím problémy při transportu bioplynu je mikrobiální koroze. Odhaduje se, že nejméně 40 % korozních úbytků na vnitřních plochách plynových potrubí je způsobeno právě mikrobiální korozí, kdy v transportních potrubích dochází k pokrývání povrchů mikrobiálními povlaky. Tyto mikrobiální vrstvy mohou být silné až několik milimetrů. Přítomnost mikrobiálních organismů lze odhalit pomocí analýzy obsahu kyslíku v transportovaném plynu. [14]

### 3.8 Legislativa týkající se biomasy a jejího zpracování

Důležitou vyhláškou je Vyhláška 477/2012 Sb. o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchování dokumentů.

V této vyhlášce jsou vyjmenovány podporované způsoby využití biomasy. Při výrobě podporované elektřiny je to spalování nebo zplynování, současné spalování různých druhů paliva, anaerobní fermentace a spalování biokapalin. Dále při výrobě podporovaného tepla je to spalování nebo zplynování, společné spalování s druhotným zdrojem a spalování biokapalin. Jsou stanoveny dokumenty a záznamy, které je v případě využívání biomasy k energetickým účelům nutné uchovávat. [17]

Je charakterizována cíleně pěstovaná biomasa a pro získání podpory na elektřinu z obnovitelných zdrojů je stanoveno maximální množství cíleně pěstované biomasy použitelné v procesu anaerobní fermentace. Může to být maximálně 70 % podíl z celkové hmotnosti vstupních surovin při dodržení minimálních hodnot sušiny (příloha č.5), zbylých 30 % pak tvoří ostatní druhy biomasy uvedené v tab. č.2. v příloze č.1 této vyhlášky. [17]

V příloze č.1 této vyhlášky jsou popsány jednotlivé podporované druhy biomasy, jež jsou rozděleny do kategorií. Pro každý druh biomasy jsou pak stanoveny podporované procesy jejich využití. Rovněž jsou v příloze č.4 vyhlášky vyjmenovány i nepodporované druhy biomasy. [17]

Další významnou vyhláškou týkající se biomasy a jejího zpracování je Vyhláška č.341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady.

Předmětem této vyhlášky jsou bioodpady. Je zde stanoven seznam bioodpadů, požadavky na kvalitu odpadů vstupujících do technologie materiálového využívání bioodpadů. Dále jsou uvedeny technické požadavky na vybavení a provoz zařízení biologicky zpracovávajících bioodpady. Rovněž je popsán obsah provozního řádu těchto zařízení. [18]

Způsoby biologického rozkladu jsou řízené a kontrolované aerobní nebo anaerobní mikrobiální rozkladné procesy probíhající v zařízeních sloužících ke zpracování bioodpadů. Mezi hlavní způsoby biologického rozkladu patří kompostování a anaerobní digesce. [18]

Pro bioodpady uvedené v této vyhlášce v seznamu využitelných odpadů platí, že v případě zpracování anaerobní fermentací, je nutné, aby zpracovávaný bioodpad byl zahřátý nejméně na 55 °C a je nutné tuto teplotu udržet nejméně po dobu 24 hodin. Celková doba procesu anaerobní fermentace by měla být více než 30 dní. Avšak může být i kratší než 30 dní, a to minimálně 20 dní, za předpokladu že provozovatel zařízení dokáže zajistit, aby produkováný digestát splňoval hodnoty stability podle daného předpisu. Při zpracování bioodpadu ve formě fytomasy není vyžadováno dosažení a udržení minimální teploty. Použití nižší provozní teploty v reaktoru, než je 55 °C a kratší doba zdržení materiálu v reaktoru je povoleno, pokud byl bioodpad před samotným zpracováním upraven při teplotě 70 °C po dobu 1 hodiny, nebo pokud byl rekultivační digestát následně kompostován nebo zahříván na teplotu 70 °C po dobu 1 hodiny. Rekultivační digestát je stabilizovaný výstupní materiál z anaerobního zpracování bioodpadů, využitelný mimo zemědělskou a lesní půdu. [18]

Při anaerobní fermentaci je rovněž nutné dodržovat požadavky ve vztahu k ochraně podzemních a povrchových vod, zdraví a okolního prostředí. [18]

Obsahem provozního řádu bioplynové stanice by měl být předpokládán způsob využití výstupního materiálu, opatření pro zajištění požadavků na ochranu zdraví a životního prostředí a opatření k vykonávání kontrol emisí vzniklých pachů. Dále pak musí být jednoznačně specifikovány vstupní suroviny, jejich množství a způsob jejich skladování. Potom popis celého průběhu procesu anaerobní fermentace bioodpadů, klasifikace procesu podle obsahu sušiny a provozní teploty a doba zdržení vstupního substrátu v reaktoru. Rovněž je nutné uvést místa možného úniku emisí pachových látek a opatření zabráňující vzniku a záchytu těchto emisí během běžného provozu bioplynové stanice, ale i při mimořádných událostech. Důležité je také popsat způsoby nakládání s rekultivačním digestátem, avšak i s digestátem, který vzniknul při havarijních anebo dalších nastalých mimořádných situacích. Dále popis opatření k minimalizaci obtěžování a rizik z provozu bioplynové stanice, jako jsou emise pachových látek a znečišťujících látek, hluk, dopravní provoz atd. [18]

Obsahem přílohy č.5 k této vyhlášce je hodnocení a kontrola výstupů. Jsou zde stanoveny znaky jakosti rekultivačního digestátu, jako je vlhkost, pH a obsah celkového dusíku přepočteného na vysušený vzorek. Rovněž je zde uvedena četnost kontrol výstupů ze zařízení využívajících bioodpadů. [18]

## 4 Technologie a technika bioplynových stanic

V následující kapitole je v úvodu vysvětlen pojem anaerobní fermentace, vyjmenovány a charakterizovány jednotlivé fáze tohoto procesu a popsány aspekty ovlivňující proces biozplyňování. Dále je věnována pozornost dělení technologických systémů bioplynových stanic podle různých kritérií a na závěr kapitoly jsou popsány funkce a parametry jednotlivých technologických prvků tvořících strojní linku bioplynových stanic.

### 4.1 Technologie výroby bioplynu

#### 4.1.1 Anaerobní fermentace a její fáze

Anaerobní fermentace je složitý biochemický proces skládající se z několika na sebe navazujících fází, při kterém anaerobní mikroorganismy rozkládají organické látky za vzniku bioplynu. Jak slovo anaerobní napovídá, jedná se proces bez přístupu vzduchu. [1] [9] [14]

##### 4.1.1.1 První fáze – Hydrolýza

Prvním procesem při anaerobní fermentaci je hydrolýza. Jedná se o rozklad rozpuštěných, ale i nerozpuštěných makromolekulárních organických látek, jako jsou polysacharidy, proteiny (bílkoviny) a lipidy (tuky), na jednodušší nízkomolekulární látky. Výstupem jsou pak monosacharidy, glycerol, vyšší mastné kyseliny a aminokyseliny. Tento rozklad začíná tehdy, je-li ještě v prostředí stále přítomný vzdušný kyslík, hydrolytické mikroorganismy tedy nevyžadují anaerobní prostředí. Předpokladem pro započetí hydrolýzy je, aby se obsah vlhkosti zpracovávaného materiálu pohyboval nad 50 % hmotnostního podílu. V určitých případech bývá hydrolýza nejpomalejším procesem metanizace a může se tedy stát limitujícím parametrem celé anaerobní fermentace, je tomu tak například při zpracování pevných rostlinných substrátů. [1] [9] [14] [19]

##### 4.1.1.2 Druhá fáze – Acidogeneze

Acidogeneze je další stádium, při kterém dochází k rozkladu výstupních látek vzniklých při hydrolýze, a to na nižší mastné kyseliny, alkoholy, CO<sub>2</sub>, a H<sub>2</sub> pomocí acidogenních bakterií. Při acidogenezi může zpracovávaný materiál obsahovat jisté množství vzdušného kyslíku, ale právě při tomto procesu dochází ke vzniku bezkyslíkatého prostředí. Správný průběh a rovnováha celého procesu acidogeneze jsou kontrolovány sledováním obsahu nižších mastných kyselin. [1] [9] [14] [19]

#### 4.1.1.3 Třetí fáze – Acetogeneze

Acetogeneze je někdy označována za mezifázi. Jedná se o zvláštní případ acidogeneze, při kterém dochází k tvorbě kyseliny octové, vodíku a oxidu uhličitého oxidací výsledných produktů acidogeneze. [1] [9] [14] [19]

#### 4.1.1.4 Čtvrtá fáze – Metanogeneze

Závěrečnou fází je metanogeneze, při které jednak acetotrofní metanogenní bakterie rozkládají kyselinu octovou na metan a také oxid uhličitý, a za druhé dochází k produkci metanu pomocí hydrogenotrofních metanogenních bakterií z oxidu uhličitého a vodíku. Některé kmeny metanogenních bakterií se však dokáží chovat jako acetotrofní a hydrogenotrofní zároveň. Okolo 70 % metanu je produkováno acetotrofními metanogenními bakteriemi. [1] [14] [19]

### 4.1.2 Aspekty ovlivňující průběh anaerobní fermentace

Jak již bylo uvedeno v předešlých kapitolách, důležitými aspekty ovlivňujícími anaerobní fermentaci je poměr C:N, pH materiálu, ale vliv na tento proces má také teplota, množství amoniaku a různé technické a provozní parametry.

#### 4.1.2.1 Teplota

Teplota ovlivňuje růst a schopnost mikroorganismů přežít v daném prostředí. Čím nižší je teplota, tím pomaleji probíhají chemické a enzymatické reakce a rovněž i mikrobiální růst je pomalejší. Se stoupající teplotou jsou tyto reakce urychlovány, ale jen do určité optimální teploty. Pokud je tato optimální teplota překročena, dochází k trvalému poškození buněčných složek mikroorganismů. [10]

Biozplynování lze uskutečňovat jednak v mezofilním teplotním režimu, to znamená v intervalu teplot 35 až 40 °C a v termofilním teplotním režimu, v rozmezí teplot 55 až 60 °C. Část vyprodukované energie v BPS je tedy nutno spotřebovat na ohřev reaktoru. [9] [10]

U termofilních procesů dochází k vyšší produkci bioplynu, protože u těchto procesů nastává rychlé dosažení vysoké účinnosti rozkladu zpracovávaného materiálu. Další kladnou vlastností termofilních procesů je hygienizace, kdy dochází k hluboké destrukci patogenů, to je zvláště výhodné při zpracovávání materiálu s podezřením na hygienickou závadnost. Avšak nevýhodou těchto procesů jsou vyšší náklady na ohřívání reaktorů, popřípadě na jejich izolaci. U mezofilních procesů tedy dochází oproti těm termofilním k nižším teplotním ztrátám. Oba druhy procesů jsou na tom podobně, co se týče výtěžnosti metanu při anaerobní fermentaci fytohmoty. S přihlédnutím k nižším teplotním ztrátám u mezofilních



procesů a k tomu, že termofilní bakterie jsou citlivější na změny životního prostředí, zejména na změny teploty v reaktoru, jsou právě tyto aspekty důvodem, proč je mezofilních procesů využíváno častěji. [9] [11] [14] [20]

#### 4.1.2.2 *Technické a provozní parametry*

Také technické a provozní parametry ovlivňují průběh anaerobní fermentace. Je to například míchání, které zajišťuje dobrý kontakt mikroorganismů a substrátu, konstantní teplotu a homogenitu zpracovávaného materiálu v celém jeho objemu. Umožňuje rovněž uvolňování bioplynu ze zpracovávaného substrátu. Při nesprávném míchání může docházet ke snížení produkce bioplynu a k provozním problémům, jako je nežádoucí pění a vznik kapes uvnitř substrátu, které jsou vyplněny neuvolněným bioplynem. [10]

Rovněž hydraulická doba zdržení (HRT) může ovlivnit bioplynové procesy. Představuje průměrný čas, který zpracovávaný materiál stráví ve fermentoru. Její hodnota je rovna poměru objemu zpracovávaného materiálu a objemu reaktoru. Jako optimální hodnota doby zdržení materiálu v reaktorech se pro BPS, které se zabývají především zpracováním rostlinné biomasy, pohybuje v intervalu 65–70 dní. Zaručuje vysoký výnos metanu a dostačující dobu pro udržení vysokého obsahu aktivní biomasy a pro vysokou úroveň odbourání organické sušiny zpracovávaného materiálu. [10] [19]

#### 4.1.2.3 *Amoniak*

Hlavním zdrojem amoniaku při anaerobní fermentaci jsou bílkoviny. Je obsažen hlavně v moči, která se dostává do reaktoru spolu s kejdou. Amoniak, zejména ten volný, vyskytující se v reaktoru ve velkých koncentracích, může působit inhibičně na mikroorganismy anaerobního procesu. Jeho koncentrace narůstá se zvyšující se hodnotou pH a rovněž s rostoucí teplotou. To znamená, že u termofilních procesů v porovnání s těmi mezofilními je inhibice výraznější. Koncentrace amoniaku by se měla pohybovat pod  $80 \text{ mg.l}^{-1}$ , tak aby se zabránilo inhibičnímu efektu. [11] [19]

### 4.1.3 Dělení technologických systémů bioplynových stanic

#### Dělení podle obsahu sušiny zpracovávaného materiálu:

##### 4.1.3.1 *Suchý proces anaerobní fermentace*

Při suché fermentaci je podíl sušiny u zpracovávaného substrátu v intervalu od 20 do 40 %, nejčastěji se jedná o energetické plodiny a siláže. Dochází zde k využívání procesní kapaliny tzv. perkolátu jako inokula, sloužícího k přenesení mikroorganismů na materiál naskladněný v reaktoru, perkolát se nanáší postřikem. Při této metodě jsou využívány jak

termofilní, tak i mezofilní procesy, častěji však ty mezofilní. Pro zpracování materiálů suchou anaerobní fermentací se používá diskontinuálních a kontinuálních systémů. Doba pobytu materiálu ve fermentoru se pohybuje od 10 do 60 dní. Tento způsob procesu v České republice využívají pouze 2 % bioplynových stanic z celkového počtu všech fungujících bioplynových stanic. [4] [9] [11] [20]

#### *4.1.3.2 Mokrý proces anaerobní fermentace*

Horní mez obsahu sušiny udává čerpatelnost zpracovávaného materiálu, pro běžná kalová odstředivá čerpadla je to hodnota 12 %, u výkonnějších čerpadel, například vřetenových tato hodnota stoupne na 14 až 16 %. Avšak optimální hodnota obsahu sušiny materiálu se pohybuje v rozsahu 8 až 12 hmotnostních procent. Při mokrému způsobu je vstupní materiál rozptylován v roztoku, kdy je snaha dosáhnout co možná největší styčné plochy fermentovaného materiálu s mikroorganismy. Teplota ve fermentoru se nejčastěji pohybuje v rozsahu mezofilních teplot (30–45 °C), jsou však i případy, kdy se používá termofilní teploty, tedy teplotní rozsah 50–60 °C. Můžeme se však setkat i s kombinovaným teplotním systémem, a to u vícestupňových systémů, kdy v prvním stupni se teplota pohybuje v rozsahu mezofilních teplot a v druhém stupni v teplotách termofilních. Doba fermentace materiálu ve fermentoru je od 10 do 60 dnů, avšak může to být až 90. Materiál se přivádí do procesu dávkově (vsázkově), semikontinuálně nebo kontinuálně. Dávkovat denní množství lze jednou denně, nebo ho lze rozdělit na více částí a pak se dávkuje dvakrát až šestkrát denně. Lze se však u některých společností setkat i s dávkováním každou hodinu nebo dokonce půl hodinu, tento systém už se podobá kontinuálnímu dávkování. Kontrola dávkování je velice podstatná, protože v případě, že dávkování je nedostatečné, dochází ke snižování výroby bioplynu a kapacita BPS je tak nevyužita. Naopak při přetížení (předávkování) reaktoru, nastane překyselení zpracovávaného materiálu, a to vede až ke zkolabování fermentačního procesu. Až 98 % bioplynových stanic v České republice využívá právě mokrého způsobu fermentace. [4] [9] [20]

#### *4.1.3.3 Kofermentace*

Kofermentací se rozumí zpracování více typů organických materiálů současně při anaerobní fermentaci v jedné bioplynové stanici. Dá se říci, že se dají zpracovávat všemožné druhy materiálů při dodržení určitých podmínek, jako je například pH, teplota, konstantní složení substrátu. Pokud vhodné podmínky nejsou dodrženy, může dojít ke kolapsu celého procesu. Naproti tomu správné podmínky mohou způsobit nárůst efektivity produkce bioplynu, tedy účinnosti odbourávání organické hmoty. Nebo lze jejím užitím zabránit inhibici. [10] [21]

Provádí se například kofermentace fytomasy s kejdou, kdy podíl sušiny kejdy je vyšší než podíl sušiny fytomasy. Tento druh kofermentace přináší stabilizovaný proces produkce bioplynu, a to díky pufračním vlastnostem kejdy a přispívá ke snížení vzniku disfunkcí vznikajících díky vyšším koncentracím čpavku. Fytomasa v substrátu optimalizuje poměr uhlíku a dusíku a kejda přináší živiny a mikroelementy, které jsou nutné pro získání optimální mikroflóry. Při kofermentaci fytomasy s kejdou lze zvýšit efektivitu tradičních bioplynových stanic. [9]

#### Podle způsobu zapojení anaerobních reaktorů

##### *4.1.3.4 Systémy jednostupňové fermentace*

Technicky nejjednodušším systémem bioplynových stanic je výroba bioplynu anaerobní fermentací pouze pomocí jednoho fermentoru, tento systém se nazývá jednostupňovou fermentací. Jednostupňové systémy však mohou být tvořeny i více reaktory paralelně nebo sériově řazenými. Společným znakem těchto systémů je sdružený odběr bioplynu a liový průtok zpracovávaného materiálu. [14] [20]

##### *4.1.3.5 Systémy dvoustupňové fermentace*

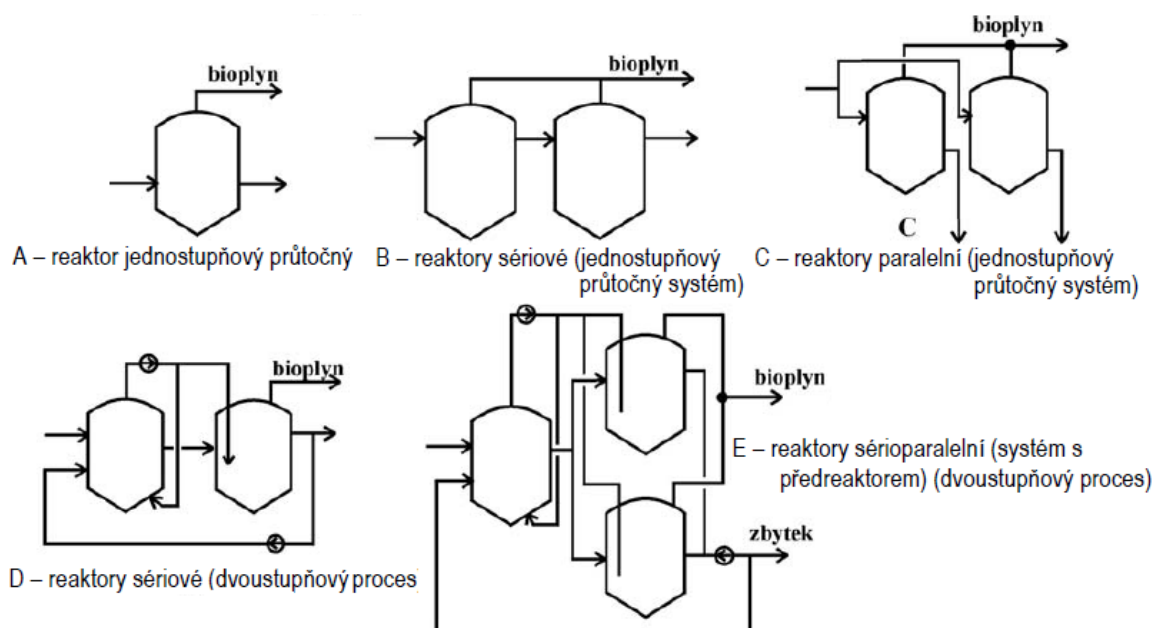
Dvoustupňové nebo též kombinované systémy se skládají minimálně ze dvou fermentorů s odlišným prostředím. Fermentor, do kterého vstupuje surový materiál, je někdy nazýván předreaktor a probíhají v něm acidogenní procesy. Určitá část bioplynu z těchto reaktorů je recyklována, vrací se zpět do reaktoru a další část je přepouštěna jen probubláváním do dalších reaktorů, kde probíhá acetogeneze a metanogeneze. Plyn z tohoto předreaktoru se vyznačuje vyšším množstvím CO<sub>2</sub> a někdy obsahuje i H<sub>2</sub> a není možné ho přímo mísit s vyrobeným bioplynem. Jednotlivé způsoby zapojení fermentorů znázorňuje obr.3. [14] [20]

#### Podle dávkování surového materiálu:

##### *4.1.3.6 Diskontinuální bioplynové technologie*

Diskontinuální nebo také s přerušovaným provozem, cyklické a dávkové jsou takové technologické systémy, kdy doba pracovního cyklu je rovna času zpracování materiálu ve fermentoru. Používá se převážně u suché fermentace tuhých materiálů. Způsob naskladňování a vyskladňování je náročný na obsluhu. [1]

Obr.3 Různé způsoby zapojení reaktorů [14]



#### 4.1.3.7 Semikontinuální bioplynové technologie

Jedná se o nejpoužívanější způsob plnění reaktorů pro zpracování tekutých materiálů, které jsou dávkovány pomocí čerpadel jednou, čtyřikrát ale i vícekrát za den. Doba mezi dávkami materiálu je kratší než doba, kdy je materiál zpracováván ve fermentoru. Při využití semikontinuálního dávkování má vstupující materiál jen velmi malý vliv na pracovní podmínky v reaktoru, jako je například teplota. Tento proces lze jednoduše automatizovat a díky tomu není náročný na obsluhu. [1]

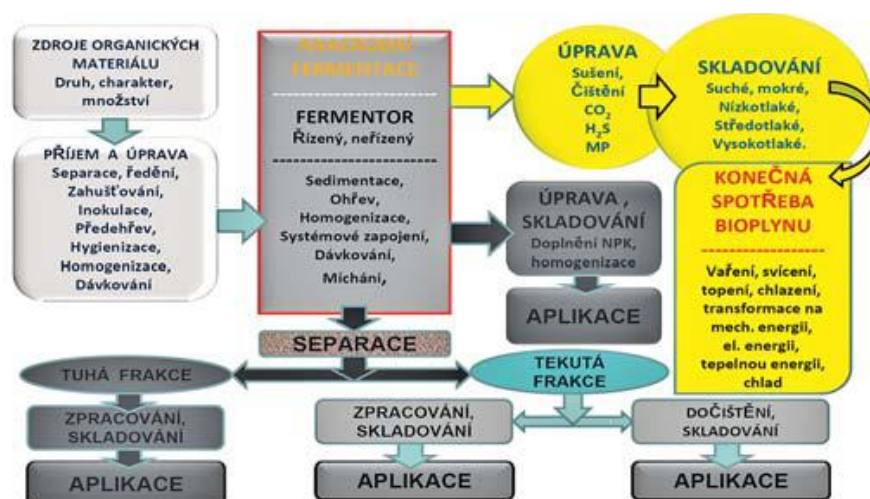
#### 4.1.3.8 Kontinuální bioplynové technologie

Tento druh technologického procesu je velice vhodný při dávkování surového materiálu, který je tekutý s velmi nízkým obsahem sušiny. Vstupní materiál se odvádí a stejně tak dávkuje do reaktoru nepřetržitě a dosahuje se kontinuální produkce bioplynu po celou dobu trvání procesu. [1] [12]

## 4.2 Prvky strojních linek bioplynových stanic

Schéma strojní linky pro anaerobní fermentaci tekutých materiálů je zachyceno na obr.4, kde jsou vyobrazeny nejdůležitější části linky spolu s činnostmi, jež jsou v těchto zařízeních prováděny.

Obr.4 Blokové schéma strojní linky BPS pro mokrou fermentaci [4]



#### 4.2.1 Příjmová část

Příjmové zásobníky se používají k úpravě zpracovávaného materiálu před vstupem do fermentoru. Probíhá zde odlučování netečného materiálu, jako je písek, sklo, kovy, kusy dřeva, kameny a podobně. Za účelem dosažení optimálních hodnot materiálových parametrů, jako je poměr uhlíkatých a dusíkatých látek, obsah sušiny nebo pH, se mísí jednotlivé druhy materiálů. Někdy je potřeba vstupní materiál naředit, popřípadě zahustit. Mezi další úkony prováděné v příjmových zásobnících patří homogenizace, hygienizace nebo inokulace. Někdy je v příjmových zásobnících započata anaerobní fermentace a to tak, že zde probíhá hydrolyza. [4]

Například u zpracování kejdy je příjmová část tvořena soustavou nádrží, tyto nádrže bývají betonové, plastové či kovové, disponují čerpacím a míchacím zařízením a obvykle také zařízeními na rozměňování zpracovávaného materiálu, tzv. macerátory, které materiál mělní pomocí rotujícího řezného média, většinou bývají zařazeny před čerpadlem. Velikost přípravných nádrží bývá přizpůsobena jednodenní produkci kejdy. [9] [22]

Z příjmového zásobníku je pak materiál dopravován do fermentoru. U čerpatelných materiálů je využito k transportu čerpadlo. U nečerpatelných materiálů se zásobník naplní čelním nakladačem a poté je dávkován do reaktoru například pomocí šnekových dopravníků. [11]

#### 4.2.2 Reaktory (fermentory)

Reaktory jsou nejdůležitější technický prvek strojních linek v bioplynových stanicích, rozhodují o výsledné funkci celé strojní linky. Proto nároky, které jsou na ně kladeny, jsou největší ze všech strojních prvků. [1] [9]

Pod pojmem fermentor si můžeme představit fermentor na mokrou nebo suchou fermentaci, lagunu s tekutým materiálem, reaktivní skládku a skládku tuhých organických odpadů. [4]

#### 4.2.2.1 Reaktory pro mokrou fermentaci

Tento druh reaktorů bývá nejčastěji postaven z plynotěsného betonu, kovu a plastu. Existuje mnoho kritérií podle, kterých se fermentory dělí. Prvním z nich je dělení podle tvaru, a to na válcové s horizontální osou (tubusy), které se užívají pro objemy do 150 m<sup>3</sup>, v ojedinělých případech až do 600 m<sup>3</sup>, válcové se svislou osou využívané pro větší objemy (100 až 10 000 m<sup>3</sup>), a to zejména díky svým lepším konstrukčním (pevnostním) vlastnostem. Válcové fermentory mohou mít jak rovné, tak i kónické dno, případně opačný konec nebo oboje. Další možné tvary reaktorů jsou kulové, polokulové nebo vejčité. [1] [4]

Podle umístění reaktorů vůči okolní úrovni terénu se rozlišují fermentory na nadzemní, polozapuštěné, podzemní. [4]

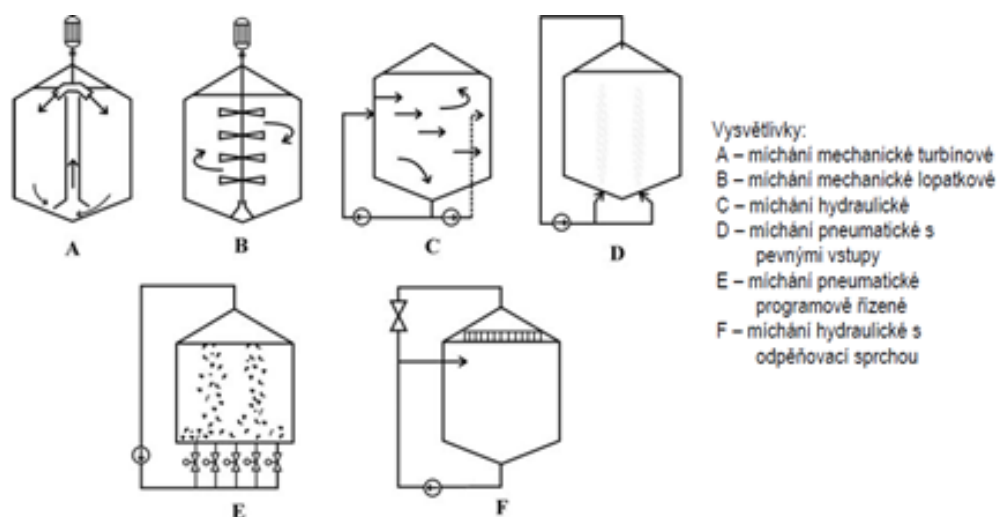
Důležitým aspektem pro správnou činnost bakterií je teplota, která se musí neustále udržovat na optimální hodnotě. Toho se docílí pomocí ohřevu materiálu uvnitř fermentoru nebo mimo něj. Vnitřní vytápění využívá horkou vodu, která se do reaktoru dopravuje pomocí soustavy kovových či plastových topných hadů, mezi těmito hady a zpracovávaným materiálem dochází ke sdílení tepla, využití tento typ ohřevu nalezne hlavně u malých a středních nádrží. Nevýhodou tohoto systému je jeho obtížné čištění, což má za následek, že složené topné hady se ne moc často využívají. Vnější vytápění využívá k ohřevu materiálu tepelné výměníky, skrze které ohříváný materiál protéká, topným médiem přiváděným do výměníku je znovu horká voda. Voda pro ohřev bývá produkována v horkovodních kotlích na spalování bioplynu anebo je ohřívána pomocí kogeneračních jednotek. Výměníky bývají konstruovány jako trubka v trubce, výměníky deskové a v dnešní době nejhojněji využívané výměníky šroubovicové nebo spirálové. K ohřevu lze použít duplikátorový plášť, kdy se fermentor s duplikátorovými stěnami skládá ze dvou válcových nádob a v prostoru mezi nimi proudí topné medium. Tento systém je však málo využívaný díky nižším hodnotám koeficientů přestupu tepla. Zřídka kdy je také využívána přímotopná pára, nejpoužívanějším typem vytápění je tedy ohřev pomocí externího výměníku, jehož předností je mimo jiné snadná oddělitelnost od systému při opravách a čištění. [9] [14]

Důležitým prvkem při udržování správné teploty ve fermentoru je kromě systémů ohřevu také izolace fermentorů, která zabraňuje vzniku velkých tepelných ztrát, to je důležité hlavně v zimě. Mezi nejčastěji používané materiály patří minerální vlna, která se vyznačuje nízkou cenou, dobrou odolností proti vysokým teplotám a mikrobiálnímu rozkladu.

Dalšími izolačními materiály jsou rohože z minerálního vlákna, jimiž se izolují zaoblené a zakřivené plochy nebo potrubí s velkým průměrem, pěnové hmoty a desky z extrudovaného polystyrénu. [23]

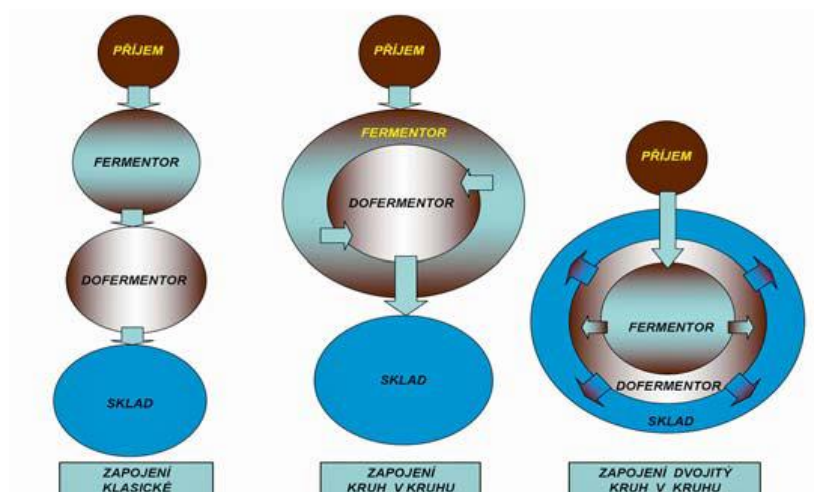
Reaktor je také vybavený míchacím zařízením. Jednou z variant míchacích systémů je například míchání materiálu pomocí externího čerpadla, které bývá kombinované s proplyňováním bioplynem. Je užitečné díky tomu, že zabraňuje sedimentaci písku na dně reaktoru a vytvoření kalového stropu na hladině kalu. Dalšími možnostmi míchání je míchání pomocí mechanických míchadel, jako jsou vrtulová ponorná, vrtulová tyčová, lopatková, pádlová, mlýnová, turbínová nebo kombinovaná. Míchání hydraulické a pneumatické je vhodné pro míchání materiálů s obsahem sušiny do 10 % hm. Nad touto hranicí se již využívá pouze mechanických míchadel, protože pneumatické či hydraulické míchání je málo účinné nebo dokonce nemožné. Jednotlivé typy míchacích zařízení fermentorů jsou znázorněny na obr.5. [4] [9]

Obr. 5 Jednotlivé typy míchacích zařízení fermentorů [14]



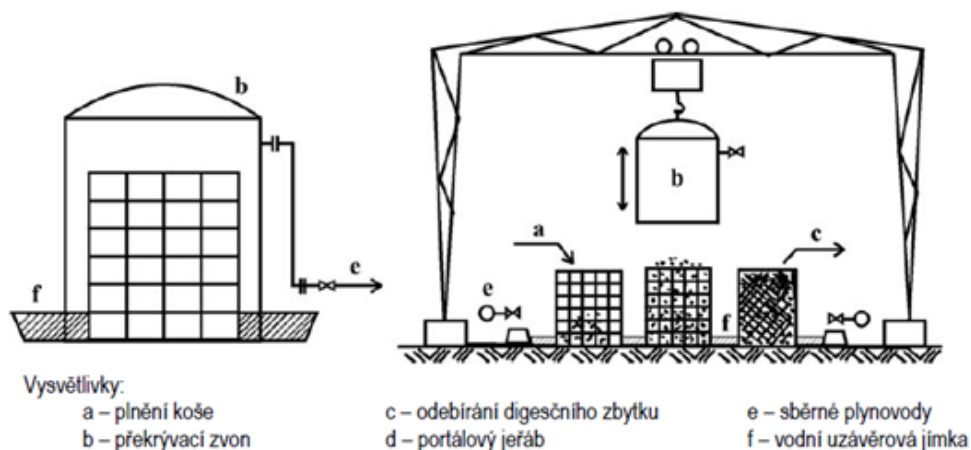
Při volbě správného míchacího systému se hlavně hledí na spotřebovanou energii potřebnou na míchání fermentorů. Jen zřídka kdy je fermentovaný materiál nepřetržitě míchán, o mnoho běžnější jsou krátké časové úseky, kdy dochází k promíchávání a mnohem delší časové intervaly, při kterých je fermentor v klidu. Nepřetržitě míchání materiálu v reaktoru totiž vůbec nezvyšuje produkci bioplynu, můžeme se setkat i s tvrzením, že naopak může být příčinou poklesu produkce metanu. Pečlivě je nutné volit i periodu míchání, aby nedocházelo ke zbytečným ztrátám energie neúčelným mícháním. Postačí míchání v 5 až 20 % časovém fondu a zároveň využívání klidových časových úseků trvajících 15 minut až několik hodin. [9] [14]

Obr. 6 Fermentory umístěné v lince [4]



Fermentační reaktory mohou tvořit propojený systém, jednou z klasických variant je soustava tvořená příjmovým zásobníkem, fermentorem, skladovacím zásobníkem. Novější bioplynové stanice ještě disponují kromě fermentoru s řízeným procesem dalším fermentorem s neřízeným procesem tzv. dofermentorem. Jedná se o mezistupeň mezi hlavním fermentorem a skladovacím zásobníkem. Z dofermentoru lze ještě získat dalších 5–20 % vyrobeného bioplynu. Kromě klasické soustavy, kdy jednotlivé celky na sebe v řadě navazují, existují i modifikace „kruh v kruhu“ či „dvojitý kruh v kruhu“. Tyto varianty jsou zobrazeny na obr.6. [4]

Obr. 7 Zvonový (košový) fermentor [14]



#### 4.2.2.2 Reaktory pro suchou fermentaci

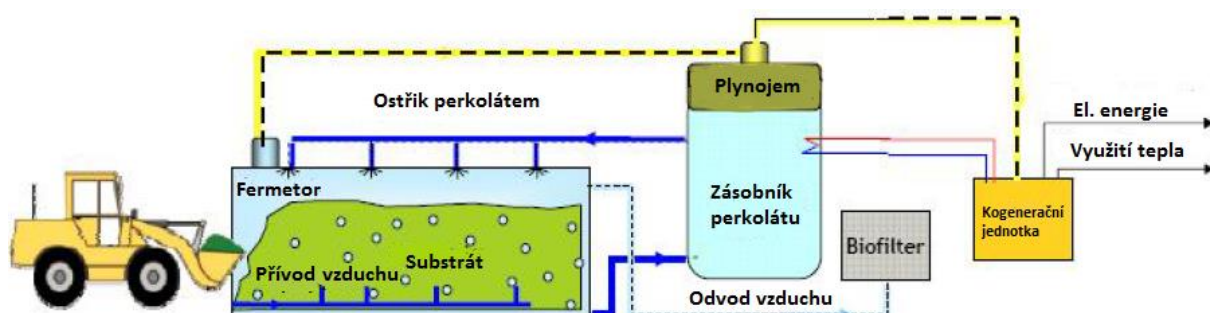
Mezi nejvyužívanější typ reaktoru pro suchou fermentaci patří tzv. reaktor zvonový neboli košový (na obr.7). Tento reaktor byl vyvinut speciálně pro fermentaci slamnatých hnojů, steliv ale i slámy. Tuhý organický materiál je dáván do velkých drátěných košů, které



jsou po jejich naplnění překryty plynotěsným zvonem, pod nímž probíhá fermentační proces. Reakce v těchto reaktorech probíhá pomaleji, avšak výhodou naopak je, že u těchto zařízení se nemusí tak často řešit problém s vypouštěním odpadních vod. Ale významnými zápory jsou časová náročnost, složitá manipulace a fermentory nelze s větší účinností vytápět, což je velkým problémem hlavně v zimě, protože dochází ke zpomalení rozkladných procesů. [14]

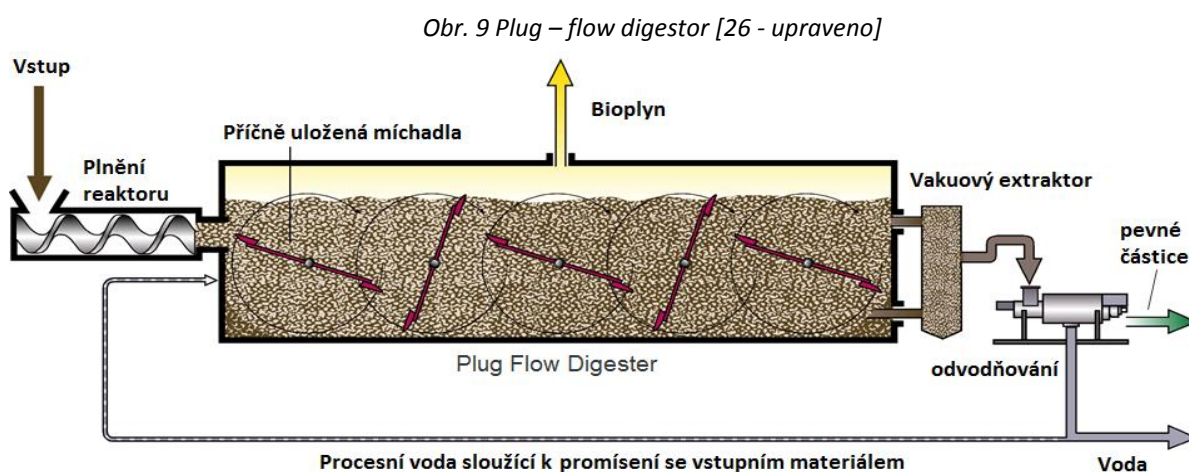
Garážové fermentory jsou pravděpodobně nejčastěji užívanými reaktory pro suchou fermentaci. Jak název napovídá, má reaktor vzhled garáže. Uvnitř reaktoru se oproti mokré fermentaci nenacházejí žádné pohyblivé části, to znamená, že nedochází k pohybu materiálu uvnitř digestoru. Nově naskladněný materiál je po uzavření fermentoru ostříkáván digestátem, který slouží jako perkolát. Pobyt materiálu ve fermentoru se obvykle pohybuje v rozmezí 20 až 30 dní, po uplynutí této doby se fermentor otevře, vyprázdní a naskladní novým materiálem a celý cyklus se opakuje. Naskladňování a vyskladňování se provádí například pomocí čelního nakladače. Vzniklý bioplyn se shromažďuje v plynojemu, z kterého je poté kontinuálně převáděn do jednotky zpracovávající bioplyn. Je obvyklé, že BPS pro suchou fermentaci používá tři až čtyři reaktory, kdy každý z nich se nachází v jiné fázi procesu. To zaručuje, že vždy alespoň jeden z nich je v produktivní fázi. Zbylé reaktory jsou buď ve fázi plnění, nebo vyprázdňování. Před vyprázdněním se musí z prostoru reaktoru odčerpat zbylý bioplyn, aby se zamezilo nebezpečí výbuchu. Vytápění se obvykle provádí pomocí perkolátu, tato kapalná fáze je ohřívána externím výměníkem tepla. Další možností vytápění je podlahové nebo stěnové vytápění. Princip fungování garážového fermentoru je naznačen na obr.8. [10] [24] [25]

Obr. 8 Schéma linky s garážovým fermentorem pro suchou fermentaci [24 - upraveno]



Dalším typem reaktoru pro suchou fermentaci je Plug – flow digestor (obr.9). Princip tohoto systému je založen na průtoku materiálu skrze horizontálně uložený digestor obdélníkového či válcového tvaru, kde dochází k míchání vstupního materiálu s digestátem pomocí systému horizontálně uložených míchadel, která mohou být umístěná příčně nebo podélně s osou reaktoru. Míchadla pracují přerušovaně, což má za následek snížení spotřeby energie. Vstupní materiál je obvykle shromažďován ve vstupním zásobníku a z něho je

posléze dopravován do reaktoru za pomoci šnekového dopravníku, dávkování materiálu je prováděno semi-kontinuálně nebo kontinuálně. Uvnitř reaktoru je materiál míchán a zároveň posouván směrem k jeho ústí. Míchání se provádí za účelem promísení vstupního materiálu s digestátem, zabránění sedimentace a vzniku plovoucích vrstev a v neposlední řadě umožňuje snadné uvolňování bublin bioplynu z materiálu. Bioplyn je z reaktoru odváděn skrze otvor v jeho horní části. Materiál protéká digestorem až k výstupnímu otvoru a přechází do zařízení, které odděluje pevnou složku a kapalnou složku (digestát), jehož část je znovu použita k promísení s čerstvým materiálem na počátku procesu. Zahřívání je prováděno pomocí stěnového nebo podlahového vytápění. Reaktor může být vyroben z železobetonu, oceli nebo laminátu. Pobyť materiálu v tomto typu digestoru se pohybuje v rozmezí 15 až 20 dní. V porovnání s předešlými typy reaktorů, jež pracují diskontinuálně, je systém Plug – flow v ohledu produkce bioplynu stabilnější a je také lépe automatizovatelný. [24] [26]



#### 4.2.3 Plynojemy (vyrovnávací zásobníky)

Uvnitř fermentoru dochází k nekonstantní produkci bioplynu, výkyvy ve výrobě nastávají například při míchacích a plnicích periodách. Spotřeba bioplynu se může během dne také měnit. Tyto rozdíly mezi výrobou a spotřebou jsou vyrovnávány právě plynojemy, ve kterých je bioplyn dočasně uložen před jeho konečným zpracováním. Doporučená kapacita plynojemu by měla být rovna jedno nebo dvoudenní produkci bioplynu, jako minimální použitelná kapacita se považuje jedna čtvrtina denní produkce. Správný výběr a dimenzování zásobníku výrazně přispívá ke zlepšení účinnosti, spolehlivosti a bezpečnosti bioplynové stanice a současně zajišťuje stálý přísun bioplynu a minimalizaci jeho ztrát. Všechny plynojemy musí být plynotěsné a odolné vůči tlaku a v případě, že nejsou umístěny uvnitř budovy také odolné proti UV záření a povětrnostním podmínkám. Z bezpečnostních důvodů musí být vybaveny přetlakovými a podtlakovými ventily. [1] [11] [14]

#### 4.2.3.1 Rozdělení plynojemů podle různých kritérií

Podle tlaku lze plynojemy rozdělit na nízkotlaké s přetlakem do 5 kPa a středotlaké a vysokotlaké s přetlakem nad 5 kPa. U středotlakých plynojemů se přetlak pohybuje v rozmezí od 5 do 400 kPa, u vysokotlakých plynojemů nad 400 kPa. [14]

Středo a vysokotlaké plynojemy lze dělit podle různých kritérií, a to podle konstrukce na kulové, válcové a potrubní, dále pak podle použitého materiálu na ocelové, plastové, kompozitní a kombinované. [14]

Základní rozdělení nízkotlakých plynojemů je na mokré a suché. Přičemž mokré se dělí na jednoduché a vícedílné teleskopické. U suchých plynojemů rozlišujeme plynojemy s pohyblivým pístem, a to buď s membránou, nebo s obvodovým těsněním. Dalším typem suchých plynojemů jsou membránové plynojemy, které mohou mít membrány v pevných pouzdrech, membrány zatěžované nebo membrány s protitlakem plynu. [14]

#### 4.2.3.2 Středo a vysokotlaké plynojemy

Tyto zásobníky se používají jen ve výjimečných případech, a to například u systému poskytujícího plyn pro pohon dopravních prostředků nebo do tlakových přepravních nádrží. Mohou být rovněž používány pro pneumatické míchání materiálu ve fermentoru, kdy mimo špičku dochází ke stlačení plynu, který je pak použit k promíchání během energetické špičky, kdy je vyžadována co možná největší výroba elektřiny. Středo a vysokotlaké zásobníky jsou navrhovány i pro velmi vysoké tlaky, a to až 30 MPa. Při volbě skladovacího tlaku se vždy musí přihlížet k ceně plynojemů a kompresního zařízení a také k nákladům na provoz těchto zařízení. Jelikož jsou pořizovací cena a náklady na provoz vysoké, jsou využívány u zemědělských bioplynových stanic jen zřídka kdy. [11] [14]

Relativní novinkou v této skupině plynojemů jsou jedno a dvouplášťové zásobníky z kompozitních materiálů, jako jsou laminované umělé hmoty. Vyznačují se nízkou hmotností a vysokou odolností proti korozi. Využitím dvouplášťových nádrží s vnitřním meziprostorem, lze zamezit úniku škodlivých emisí do ovzduší. V meziprostoru může být pro zvýšení bezpečnosti umístěn i detektor signalizující únik plynu z vnitřního zásobníku. [14]

#### 4.2.3.3 Nízkotlaké plynojemy

S tímto druhem plynojemů se lze v dnešní době setkat ve většině případů. U starších provozů lze nalézt povětšinou mokré zásobníky. Mokřým plynojemem může být samostatný zásobník plynu, jež je tvořen železobetonovou nebo ocelovou nádrží převážně s kruhovým půdorysem a ocelovým zvonem, který je do ní vsazen a zároveň ponořen do vody. Nebo zvon může být nainstalován přímo na fermentoru. Mezi zvonem a hladinou kapaliny je prostor pro skladování bioplynu. Při nárůstu množství bioplynu se zvon vynořuje, naopak při jeho úbytku

dochází k jeho ponoření. Přetlaku v zásobníku je dosahováno tím, že plyn je komprimován hmotností ocelového zvonu. Hlavní nevýhodou tohoto typu zásobníku je, že při nízkých teplotách je nutno jej zahřívat, aby voda nezamrzala. Problémem je rovněž i náchylnost ke korozi, obzvláště ocelového zvonu, hlavně při vyšším obsahu sulfanu ve skladovaném bioplynu. Korozi však lze zabránit pomocí nanášení ochranných nátěrů. Další nepříjemností mohou být skokové poklesy tlaku, jež jsou následkem zadrhávání zvonu ve vodících kladkách. [9] [14]

Se suchými plynojemy se můžeme v převážné většině případů setkat jako se systémy s uzavřením skladovacího prostoru pomocí membrán. Membránové nádrže mohou být konstruovány jako samostatné externí zásobníky plynu nebo mohou být přímo součástí fermentoru, kdy jsou upevněny na jeho horní hraně. [11] [14]

Suché jednomembránové zásobníky mohou být vyrobeny ve formě textilních nebo plastických vaků, které jsou s ohledem na bezpečnost vloženy do uzavřených ocelových či betonových nádob. Přetlaku ve vaku je dosahováno dmýcháním vzduchu nebo jiného netečného plynu nad membránu. Tyto vaky jsou navrženy také jako jednovrstevné zásobníky bez meziprostoru, v němž dochází k vyvozování přetlaku. Přetlak u těchto zásobníků je vytvářen pevnými nebo vodními zátěžemi či za pomoci pružících systémů. [14]

Mezi velmi často používané typy plynojemu se řadí dvoumembránové plynojemy, kde oba pláště jsou z pružného materiálu. Vnější plášť je neustále napínán tlakem vzduchu, který je vháněn do meziprostoru pomocí ventilátoru. Tlak vzduchu zároveň způsobuje přetlak ve vnitřní membráně, která slouží ke shromažďování bioplynu. Aby se zamezilo nadměrnému rozpínání vnějšího pláště, může být nad něj umístěná speciální síť. Plynojemy bývají vyrobeny z polyesterové tkaniny potažené vrstvou PVC, při využití tohoto druhu materiálu je pak není nutné zastřešovat. Jsou připevněny k ocelovému kruhovému rámu, jenž je napevno umístěn v betonové základové desce nebo jsou instalovány přímo na otevřený fermentor, na jeho horní hranu. Kapacita tohoto druhu plynojemu se může pohybovat v rozmezí od 100 m<sup>3</sup> až 4 500 m<sup>3</sup>. Jejich hlavními výhodami je dlouhá životnost, vysoká odolnost proti agresivním plynům, nízké náklady na zhotovení a na údržbu, využití celé kapacity a minimální namáhání membrány, což je zapříčiněno tím, že tlak v meziprostoru je stejný jako tlak ve vnitřní membráně. [9] [11] [14]

#### **4.2.3.4 Textilní vaky a matrace**

Převážně se jedná o rovnotlaké plynojemy, to znamená, že tlak ve skladovacím prostoru je roven atmosférickému tlaku, či je vytvořen malý přetlak pomocí závaží používaných k vyprazdňování zásobníku. Mohou mít různé tvary, může to být například válec ležící v betonovém korytě či válec, jenž je upevněn na nosné konstrukci horizontálně nad

podkladem. Další možností je vak tvaru vertikálně uloženého válce, jenž visí za jeho horní základnu. Existují i varianty, kdy jsou plynojemy ve tvaru ploché matrace. Stejně tak jako u dvoumembránových plynojemů, je i zde použita jako materiál polyesterová tkanina potažená PVC vrstvou. Jelikož se jedná o velmi jednoduchý systém, jsou textilní vaky a matrace jednou z nejlacinějších variant pro uskladnění vyrobeného bioplynu. Jako jistou nevýhodu lze uvést, že za tento typ zásobníku je potřeba umístit zvyšovací ventilátor, jenž vytváří přetlak nutný pro činnost spotřebičů. [9]

#### 4.2.3.5 Bezpečnostní hořák – fléra

Existují situace, kdy dochází k výrobě většího množství bioplynu, než je potřeba. Tato situace může nastat při poruše některého celku systému bioplynové stanice nebo při jeho údržbě, kdy plyn není možné uložit nebo dále využít. Z tohoto důvodu je každá bioplynová stanice vybavena bezpečnostním hořákem tzv. flérou, pomocí níž dochází ke spálení nadbytečného plynu. Toto řešení je nezbytné k odstranění jakéhokoliv bezpečnostního rizika a vzhledem k ochraně životního prostředí. Pokud není možné volně spalovat plyn, je nutné odplynění technologie a plyn ředit, kvůli výskytu toxických plynů jako je například sulfan, tak aby nedocházelo ke vzniku možných hygienických a bezpečnostních rizik. [11] [14]

Bezpečnostní hořáky musí splňovat dané emisní normy a dále jsou sledovány, jejich výkonnostní kritéria. Hlavně dva parametry, teplota spalování a doba zdržení spalovaného plynu v reakční zóně. Fléra musí zajistit co možná nejlepší spálení methanu, aby se minimalizovalo uvolnění nespáleného methanu a jiných vedlejších produktů nedokonalého spalování, jako je například oxid uhelnatý, do ovzduší. Vzhledem k optimalizaci spalovacího procesu ve fléře, musí být teplota spalování udržována v rozmezí od 850 °C do 1200 °C a minimální doba zdržení by měla být 0,3 sekundy. [11]

Nejčastěji užívaným typem jsou uzavřené fléry, které obsahují jeden nebo více hořáků uzavřených uvnitř válcového pouzdra z nerezového plechu. Spalovací komora je vyrobena z žáruvzdorné oceli. Proti povětrnostním vlivům je vnitřní prostor chráněn stříškou. Pouzdro zlepšuje izolační vlastnosti a zabraňuje poklesu teploty plamene, výsledkem je dokonalé spalování a nízké množství škodlivých látek uvolňovaných do ovzduší. Uzavřené fléry bývají vybaveny čidly pro sledování uvolňovaných emisí a pro kontrolu teploty. K regulaci teploty se může použít systém žaluziových klapek, kterými je ovládán přívod spalovacího vzduchu. Obsluha je obvykle velmi jednoduchá, protože zařízení je zcela automatické, vzhledem k bezpečnosti je však možno přejít i do manuálního ovládání. [11] [28] [29]

#### 4.2.4 Technologie čištění a úpravy bioplynu

Jak už bylo uvedeno dříve, bioplyn je směsí mnoha látek, některé z nich mají negativní vliv na funkci technologických prvků v bioplynové stanici. Mezi takové látky patří například voda, sulfan, oxid uhličitý atd.

##### 4.2.4.1 Sušení bioplynu

Vyrobený bioplyn je nasycen značným množstvím vodních výparů, je tedy zapotřebí tuto nadbytečnou vlhkost z bioplynu odstranit, aby se ochránila zařízení pro zpracování bioplynu, jako jsou například kogenerační jednotky, jež mohou být vlivem vody rychleji opotřebovávány nebo dokonce poškozeny. Poškození hrozí i jiným zařízením, proto je potřeba důsledně odstraňovat zkondenzovanou vodu z technologických zařízení, hlavně z plynojemů a také z potrubí, kde může jejím vlivem docházet k ucpávání a rovněž i ke korozi. Ke kondenzaci dochází z důvodu, že bioplyn při opuštění fermentoru obsahuje značné množství vodních par, které při zvýšení tlaku nebo snížení teploty začnou kondenzovat. U potrubí se problému s kondenzátem zabráňuje instalováním odlučovače kondenzátu, který se nachází v jeho nejnižším bodě. [4] [11] [14]

Ochlazování plynu v potrubí je jednou z nejjednodušších metod pro odstraňování přebytečné vlhkosti z bioplynu. Předpokladem pro účinné chlazení bioplynu v plynovodu je dostatečná délka potrubí. Pro zvýšení chladicího efektu je možné umístit plynovod pod zem. Další způsob je založen na principu tepelného čerpadla, kdy je plyn nejprve ve výměníku tepla ochlazován chladicím zařízením na teplotu 10 °C, poté dojde k odstranění zkondenzované vody, a nakonec se bioplyn znovu zahřeje za účelem snížení relativní vlhkosti, aby se zabránilo další kondenzaci v plynovodu. [4] [11] [14]

##### 4.2.4.2 Odstraňování oxidu uhličitého

Pro odstraňování oxidu uhličitého z bioplynu lze využít několika různých postupů, jako je například membránová separace, fyzikálně chemická absorpce, adsorpce změnou tlaku nebo chlazení. Mezi ne tak účinné metody patří vypírka oxidu uhličitého vodou, kdy dochází k protiproudému sprchování vodou. Nevýhodou je, že touto metodou dochází k odstranění nejenom oxidu uhličitého, ale rovněž i určitého podílu metanu. [4] [14]

##### 4.2.4.3 Odstraňování sulfanu

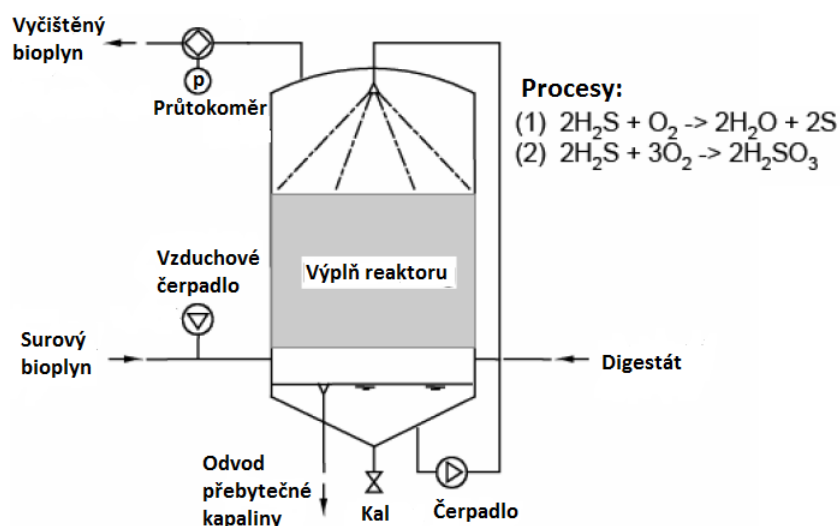
Odsiřování bioplynu je možné provádět pomocí různých metod, které mohou být chemické či biologické a mohou probíhat uvnitř nebo vně fermentoru. [11]

První a velmi používanou metodou je biologické odstraňování sulfanu uvnitř reaktoru. Jedná se o způsob, kdy se vhání vzduch do plynového prostoru v horní části fermentoru nebo

se provádí provzdušňování fermentovaného materiálu. Vzduch je přiváděn ve velmi malém množství, aby vyrobený bioplyn opouštějící reaktor neobsahoval kyslík. Při tomto procesu je sulfan oxidován sirnými bakteriemi, které jsou obsaženy v substrátu, na elementární síru, sírany nebo kapalnou kyselinu siřičitou v závislosti na teplotě a pH. Výsledná síra se pak usazuje na plovoucí vrstvě, pokud existuje, a na stěnách fermentoru. V praxi buď síra opouští reaktor společně s digestátem nebo se shromáždí a až pak se přimíchá do digestátu, s cílem zlepšit hnojivé vlastnosti digestátu. [4] [9] [11] [14]

Sulfan lze rovněž biologicky odstraňovat vně fermentoru, kdy proces probíhá ve speciálním samostatné odsiřovací nádrži. Tato metoda umožňuje kontrolu odsiřovacího procesu a přesné nastavení množství přidaného kyslíku. Reaktor tohoto zařízení je vybaven porézní výplní, jež slouží jako prostředí pro růst sirných bakterií. Má kónické dno, ve kterém se shromažďuje digestát, jenž je pak pomocí čerpadla dopravován potrubím do horní části k tryskám, kterými je ostříkována porézní výplň. Cílem sprchování je dodávání živin pro mikroorganismy. Bioplyn je přiváděn do spodní části reaktoru a proti jeho pohybu proudí malé množství vzduchu. Poté pomocí sirných bakterií dochází k oxidaci sulfanu a vzniká síra a sirné produkty. Čistý bioplyn pak opouští reaktor v jeho horní části, jak znázorňuje schéma reaktoru na obr.10. Procesní teplota je obvykle okolo 35 °C. [11]

Obr. 10 Schéma systému pro biologické odsiřování [11 - upraveno]



Mezi další metodu patří odstraňování sulfanu za pomoci oxidů železa. Při tomto procesu bioplyn proudí kolonou vyplněnou peletkami obsahující oxidy železa. Lze také využít zoxidované třísky a hobliny, vzniklé jako vedlejší produkt při obrábění železných materiálů. Pokud železné třísky již neplní svou čistící funkci, musí se třísky nahradit novými. [9]

Další metodou je oxidace hydroxidem železitým. Síra obsažená v sulfanu se váže na hydroxid železitý a vzniká sulfid železitý, jenž je potřeba likvidovat na skládce. V zemích západní Evropy došlo k vylepšení této metody, kde se ocelové hobliny a třísky ve směsi s

pojidy a chemickými látkami používají k výrobě čistící hmoty, která se dá pomocí okysličení znovu obnovit, to znamená, že ze sulfidu železitého se opět získá hydroxid železitý a elementární síra. Uvádí se, že jeden kilogram této čistící hmoty dokáže vyčistit 100 m<sup>3</sup> bioplynu od sulfanu, konečný obsah sulfanu je pak 0,35 %. Nejčastěji tento způsob čištění bioplynu používají drobná bioplynová zařízení. [9]

#### 4.2.5 Kalová koncovka

Výsledným produktem anaerobní digesce je fermentovaný materiál neboli digestát, jenž je považován za kvalitní hnojivo. Při procesu anaerobní fermentace dochází podle materiálových a procesních podmínek k rozložení 30 až 70 hm. % zpracovávaného organického materiálu. Z toho vyplývá, že množství zbylého digestátu je ve většině případů značné. Přispívá k tomu i fakt, že nejčastěji jsou fermentovány materiály s poměrně vysokou vlhkostí, která se ze substrátu během procesu nevyučuje. Pouze malá část odchází ve formě par s bioplynem. [4] [19]

U menších bioplynových stanic je kalová koncovka ukončena skladovacím zásobníkem digestátu. Jelikož lze digestát užívat jako hnojivo pouze ve vegetačním období, v zimním období musí být uskladněn. Kapacita těchto zásobníků tedy musí být dostatečná, obvykle odpovídá několikaměsíční produkci digestátu. V Evropských zemích je povinná minimální kapacita odpovídající produkci digestátu za 150 dní, doporučená 180 dní. Ze skladovaného digestátu lze ještě dodatečně získat určité množství bioplynu, k tomu se využívá gumotextilní folie, kterou se zásobník zakryje, zároveň se tím zamezuje úniku emisí methanu do atmosféry. Tímto procesem lze navýšit produkci bioplynu o 5 až 20 %. [4] [11] [19]

Větší bioplynové stanice užívají zařízení pro separaci tuhé složky a kapalné složky digestátu. Tento proces se užívá ke zlepšení hnojivých vlastností digestátu. V tuhé složce tzv. separátu zůstává malé množství živin jako je dusík, fosfor a draslík a používá se jako přísada do kompostů. Nebo může být vysušena například pomocí odpadního tepla a dále lisována do tvaru pelet, které se dají přímo spalovat nebo použít jako hnojivo. U kapalné složky (fugát) naopak můžeme nalézt větší množství těchto látek a můžeme ji využít jako kapalné hnojivo. [4] [10]

K separaci se používají různé technologie, první z nich je sedimentace v usazovacích nádržích. Používá se pro materiály s vysokým obsahem vody a je založena na rozdílech hmotností a hustot oddělovaných materiálů. Problém pro tuto metodu představují velmi jemné materiály s malými částicemi, jež je obtížné oddělit. [4] [10]

Další technologií oddělování pevné a tekuté frakce je odstředivání v odstředivkách. Stejně jako sedimentace je i tato metoda založena na rozdílu hmotnosti a hustoty materiálů, které mají být odděleny, ale efektivita je mnohem vyšší než u sedimentace. Považuje se za



nejúčinnější technologii oddělování separátu a fugátu. U kapalných materiálů je možné oddělovat částice o velikosti 25 až 20  $\mu\text{m}$ , v některých případech lze dosáhnout odstranění části elementů o velikosti menší než 4  $\mu\text{m}$ . [4] [10]

K separaci je možno využít šnekový separátor, pásový separátor, bubnový separátor s vnitřním nebo s vnějším nátokem, spádová síta, jejichž účinnost lze zvýšit použitím vibračního zařízení. Tekutá složka protéká skrze síto a pevná složka je na něm zachytávána. Účinnost prosévacího síta je ovlivněna velikostí jeho ok, obvykle to bývá 0,5 až 1 mm, což je více než je velikost většiny částic obsažených v surovém hnoji, tedy i separovaném digestátu. [4] [10]

#### 4.2.6 Konečné zpracování bioplynu

##### 4.2.6.1 Využití bioplynu pro výrobu tepla

Nejjednodušším způsobem, jak zpracovávat bioplyn, je jeho spálení v kotli s upravenými hořáky, které původně sloužily ke spalování zemního plynu. Tyto hořáky jsou poté schopny spalovat bioplyn, a tím produkovat teplo, jedná se hlavně o úpravu trysek hořáků, přívodu a rychlosti spalovacího vzduchu. Tato technologie se vyznačuje nízkými pořizovacími náklady, rovněž nízkými náklady na údržbu a dobrou spolehlivostí. Je to výhodná alternativa pro malé bioplynové stanice v podniku, který má velkou spotřebu tepla. Hlavně v zemích, kde je elektřina získaná ze zpracování bioplynu vykupována za nízké ceny. [10] [14]

Teplo je kromě spalování v kotlích vyráběno také jako vedlejší produkt při výrobě elektrické energie. Pomocí kogeneračních jednotek je produkováno jednak ve formě horké vody (70 až 90°), která slouží k chlazení bloku motoru a za druhé ve formě spalin. Spaliny se nejčastěji používají k výrobě horké vody pomocí spalinového výměníku nebo lze spaliny použít přímo, a to pro účely sušení nebo výroby páry. Výroba páry tímto způsobem však není příliš efektivní, výnosná začne být až při instalovaném výkonu 1 MW. Poměr vyrobeného tepla pomocí chlazení motoru a produkce spalin je zhruba 55:45 %. [19]

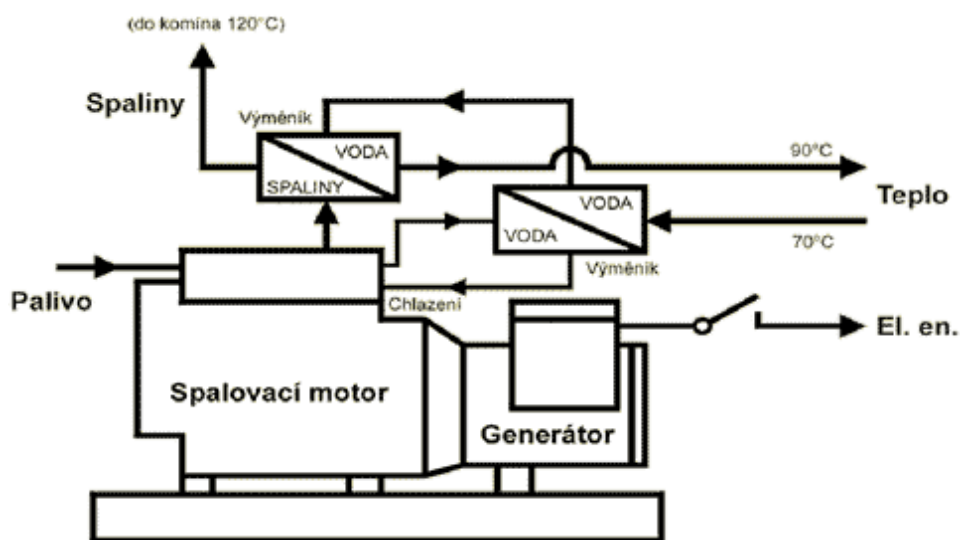
Využívání tepla je pouze doplňkovou formou výtěžku pro současné bioplynové stanice. Mezi způsoby jeho využití patří vytápění budov. Problémem je ale transport vyrobeného tepla ke spotřebiteli, hlavně to může být realizace teplovodů, v případě že nejsou postaveny. Jedná se totiž o finančně velmi náročnou operaci. Tím je limitována také vzdálenost, na kterou se vyplatí teplou vodu vést. Za efektivní se považuje realizace teplovodu do 1 km, na větší vzdálenost se vyplatí použít vedení plynové. [19]

Produkováno teplo se také využívá k vytápění fermentorů nebo sušení. Při sušení se musí přihlížet k tomu, zda není výhodnější využít místo tohoto zdroje např. zemní plyn či elektřinu. Při sušení zemědělských plodin je problém, že probíhá pouze v krátkém období

roku, tzn. není zajištěný dostatečný odbyt tepla po celý rok. Výhodnější situace je při sušení výrobků z dřevovýroby nebo pro sušení pelet vyrobených z digestátu, které se používají jako hnojivo. [19]

Přebytečné teplo je možné použít k výrobě elektrické energie za použití parního stroje, jenž pracuje pomocí páry vyrobené spalínovým výměníkem. Avšak účinnost této metody je velmi nízká, 10 až 15 % a vyznačuje se též nízkou spolehlivostí a rentabilitou, to hlavně díky tomu, že na tyto zdroje se nevztahuje podpora obnovitelných zdrojů energie. Bez této podpory je provoz finančně náročný. [19]

Obr.11 Princip kogenerační jednotky s pístovým spalovacím motorem



Zdroj: [http://www.bioplyn.cz/at\\_popis.htm](http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm)

#### 4.2.6.2 Využití bioplynu pro výrobu elektrické energie

Nejčastější způsob využití bioplynu je jeho zpracování v kogeneračních jednotkách (princip znázorněn na obr.11), kdy dochází současně k výrobě elektrické a tepelné energie. Jedná se o plynový motor, buďto přímo konstruovaný pro spalování bioplynu nebo o přestavěné Diesellovy nebo Ottovy motory, které pohání elektrický generátor. Kogenerační jednotky obsahují speciální tepelné výměníky sloužící k odvádění tepla z chlazení bloku motoru, chlazení mazacího oleje nebo chlazení výfukových plynů. Celková energetická účinnost kogeneračních systémů se pohybuje v intervalu od 80 do 88 % a vyrobí se 1/3 elektrické a 2/3 tepelné energie z celkového množství vyprodukované energie. Provoz kogeneračních jednotek je zcela automatický a nevyžaduje obsluhu, jsou totiž vybaveny řídicím systémem a stálou automatickou diagnostikou stavu. [9] [14]

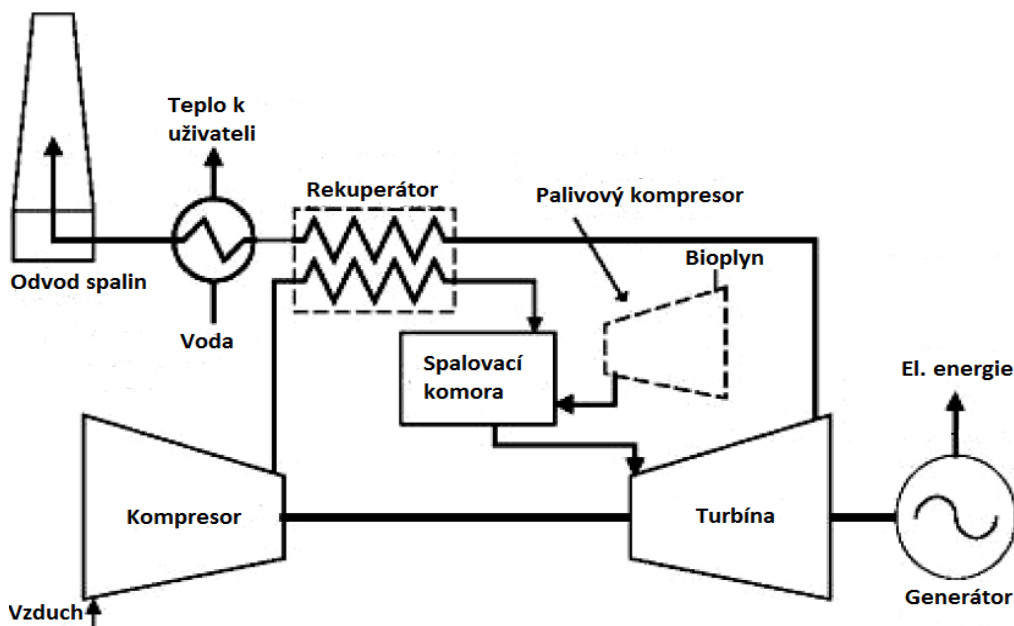
Při přestavbě Diesellového motoru na plynový pohon, se musí vzhledem k nemožnosti samovznícení plynu pouze teplem vyvolaným kompresí, jako je tomu u původní verze

motoru, instalovat zapalovací systém se speciálními zážehovými svíčkami. Jelikož se jedná o přestavbu vznětového motoru na zážehový, je tato přestavba složitější, než je tomu u zážehového Ottova motoru, kde se vstřikovací systém nebo karburátor nahradí plynovým směšovačem. Dieselův motor je však možné ještě přestavět do jiné varianty, a to na dvoupalivový motor. Kdy se používá kromě bioplynu i druhé palivo, může to být nafta, topné oleje nebo bionafta. Toto druhé palivo se vstřikuje do prostoru válce a vlivem tepla vyvolaného kompresí se vznítí společně se směsí bioplynu a vzduchu. Ottovy motory používají jako palivo pouze bioplyn s minimálním 45 % obsahem metanu. [10] [14]

Pro pohon bioplynem lze využít i plynové turbíny. V bioplynových stanicích se uplatnily turbíny s výkonem v rozmezí od 10 do 200 kW, které se také nazývají mikroturbíny. Jde o velmi jednoduché systémy, jež mají pouze jednu pohyblivou část. Jedná se o rotor dosahující otáček  $105\ 000\ \text{ot.}\cdot\text{min}^{-1}$ . Fungují následujícím způsobem. Vzduch je v kompresoru stlačen na 0,7 MPa a prochází skrz rekuperátor, kde dochází k jeho ohřátí pomocí výfukových plynů. Poté je vzduch vstřikován do spalovací komory a mísen s bioplynem. Vzniklé spaliny při průchodu turbínou předávají kinetickou energii lopatkám a dojde k jejímu roztočení. Z turbíny se přenáší energie na hřídel, jež pohání kompresor a elektrický generátor. Spaliny potom prochází rekuperátorem, kde dochází k jejich tepelné výměně s nově přichozím vzduchem. A následně směřují do dalšího výměníku tepla, ve kterém dochází k ohřevu vody, která může být pak dále využita. Funkce mikroturbíny je znázorněna na obr.12. [10] [14]

K výhodám mikroturbín patří nízké nároky na údržbu, vysoká spolehlivost, mohou spalovat nízkoprocentní bioplyny, a to až s 35% obsahem methanu. Dále jsou to nízké emise, dlouhá životnost a tišší chod v porovnání se spalovacími motory. Naopak nevýhodami jsou vysoké pořizovací náklady, citlivost vůči nečistotám a nižší elektrická účinnost. [10] [14]

obr. 12 Schéma funkce mikroturbíny [11 - upraveno]



## 5 Zhodnocení vstupních surovin a technologií bioplynových stanic

V první části této kapitoly je uvedeno zhodnocení technologií mokré a suché fermentace. Vyjmenovány výhody a nevýhody těchto technologií. V druhé části je pak analýza vstupního materiálu přicházejícího k fermentačnímu zpracování.

### 5.1 Zhodnocení technologií bioplynových stanic

V tab.č.1 je uvedeno porovnání hlavních vlastností mokrého a suchého způsobu anaerobní fermentace.

Tab.č. 1 – Porovnání hlavních vlastností jednotlivých technologií [1] [4] [20] [30]

<b>Porovnávané vlastnosti</b>	<b>Suchá fermentace</b>	<b>Mokrá fermentace</b>
<i>Obsah sušiny substrátu</i>	20-40 %	8-12 %
<i>Dávkování materiálu</i>	nejčastěji diskontinuálně	kontinuálně, semikontinuálně
<i>Zpracováváný materiál</i>	tuhé materiály	tuhé i kapalně materiály
<i>Provozní teplota</i>	mezofilní, termofilní režim	mezofilní, termofilní režim
<i>Doba zdržení</i>	10-60 dní	10-90 dní
<i>Procentuální zastoupení v ČR</i>	2%	98%

#### 5.1.1 Výhody a nevýhody suché fermentace

Nejužívanějším typem suchých fermentorů, jsou tzv. garážové reaktory, a právě ty budou dále hodnoceny.

##### 5.1.1.1 Výhody suché fermentace

Mezi hlavní výhody rozhodně patří absence zařízení, jako jsou čerpadla a míchací zařízení, protože materiál není potřeba v reaktoru míchat. S tím samozřejmě souvisí nižší poruchovost stanice, rovněž nižší náklady na údržbu a náklady způsobené opotřebením jednotlivých zařízení. Z nepřítomnosti těchto zařízení také vyplývá, že náklady na strojní techniku jsou nižší než v případě některých systémů mokré fermentace a vzhledem k nižší spotřebě elektrické energie jsou i náklady na provoz nižší. [24] [31] [32]

Je to vhodná technologie pro získávání energie z biologicky rozložitelných komunálních, zemědělských a potravinářských odpadů. Vstupní materiál není nutné předem upravovat, je však doporučeno jej hrubě rozdrtit. Dojde-li k naskladnění reaktoru nevhodným materiálem, například s obsahem antibiotik nebo jiných škodlivých příměsí, nedojde k zastavení celého provozu bioplynové stanice, avšak dojde k vyprázdnění daného

fermentorů, který je pak následně naplněn nezávadným materiálem. Chod celého systému není tedy ohrožený. Rovněž nejsou kladeny tak vysoké nároky na čistotu substrátu, který může obsahovat příměsi jako je písek, dřevo, hlína, plasty a kovy. Dokonce lze zpracovávat materiály, jež jsou při mokrému způsobu anaerobní fermentace velice problémové. Je to například podestýlka obsahující piliny, které tvoří krusty ucpávající čerpadla. [24] [30] [31] [33]

Vzhledem k tomu, že se jedná o modulární konstrukci, lze bioplynovou stanici libovolně rozšířit o další reaktory při potřebě navýšení kapacity. Jelikož jde nejčastěji o diskontinuální provoz, lze při nedostatečném množství vstupních surovin nechat bioplynovou stanici v provozu s menším počtem pracujících reaktorů. [30] [32]

Co se týče výstupních materiálů, má suchá fermentace výhodu, že dochází k produkci menšího množství zfermentovaného materiálu (digestátu), který je více koncentrovaný. Obsahuje totiž o dost méně vody, než je tomu u mokrého procesu, kde se spotřebuje velké množství procesní vody na ředění. Vzhledem k těmto skutečnostem provozovatelé bioplynových stanic se suchou fermentací mají menší problémy s uplatněním digestátu. Vzniká suchý digestát, který není potřeba před následným využitím při kompostování nutně stlačovat nebo separovat. [32] [34]

#### *5.1.1.2 Nevýhody suché fermentace*

Hlavní nevýhodou je ve většině případů nižší účinnost rozkladu oproti mokré technologii, a tím i nižší produkce bioplynu. Odstranění tohoto nedostatku lze docílit pomocí zpracování většího množství materiálu, to ale vyžaduje zvětšení kapacity fermentoru nebo navýšení počtu reaktorů v bioplynové stanici, což značně navýší náklady na realizaci. [24] [30]

Dalším nedostatkem je, že v každém reaktoru musí začít vlastní mikrobiální proces zvlášť, nepříjemným jevem je také pomalý náběh produkce bioplynu. Samotný fermentační proces se vyznačuje nerovnoměrnou produkcí bioplynu a je neovladatelný. Fermentace v reaktoru není příliš efektivní vzhledem k tomu, že dochází k nerovnoměrnému skrápění naskladněného materiálu. Absence míchacího zařízení pak způsobuje nemožnost homogenizace a nerovnoměrnost teploty v jednotlivých vrstvách substrátu. [30]

Během naskladňování a vyskladňování je nutné dbát na bezpečnost vzhledem k možnosti výbuchu. Při využití zfermentovaného materiálu v zemědělství je nutné odstranit nežádoucí příměsi, jako mohou být obalové materiály ze zbytků potravin aj. Další nepříjemností může být problém se zápachem, jelikož koncový produkt je nedokonale

zfermentovaný. Nevýhodou je rovněž i poměrně malý počet realizací tohoto systému a z toho vyplývající nedostatek referenčních informací. [30] [33]

Shrnutí hlavních výhod a nevýhod suchého způsobu anaerobní fermentace je uvedeno v tab.č.2.

Tab.č.2 – Přehled hlavních výhod a nevýhod suché fermentace

Suchá fermentace	
Výhody	Nevýhody
→ Absence čerpadel a míchacích zřízení	→ Nižší účinnost rozkladu
→ Nižší poruchovost	→ Nižší a nerovnoměrná produkce bioplynu
→ Nižší náklady na údržbu a na provoz	→ Pomalý náběh produkce bioplynu
→ Vstupní materiál není nutno upravovat a může obsahovat příměsi – písek, hlína atd.	→ V každém reaktoru musí započít vlastní rozkladný proces
→ Modulární konstrukce - jednodušší navýšení kapacity	→ Vyšší počet obsluhujících pracovníků
→ Menší množství digestátu	→ Nebezpečí výbuchu při naskladňování a vyskladňování fermentoru
→ Suchý digestát - není třeba dále upravovat	→ Digestát zapáchá - nedokonale zfermentovaný

Zdroj: autor

## 5.1.2 Výhody a nevýhody mokré fermentace

### 5.1.2.1 Výhody mokré fermentace

Tato technologie je mnohem více rozšířená, technicky propracovanější a vzhledem k tomu mnoha aplikacemi provozně prověřená. Je možno dosáhnout vysoké míry automatizace, a tím snížit nároky na počet pracovníků. Jedná se o kontinuální proces, jenž je velmi dobře kontrolovatelný a díky tomu je zaručena stálá vysoká produkce bioplynu. Dochází k vyšší účinnosti rozkladu vzhledem k lepší homogenizaci materiálu a rovnoměrné teplotě zpracovávaného materiálu, díky jeho míchaní během procesu. Zpracovávaným materiálem může být jednak tekutý, ale rovněž i tuhý materiál. [30] [33]

Výstupní produkt fermentačního procesu je dokonale zfermentovaný, a tím pádem nezapáchá, výhodou také je, že se jedná o homogenní směs. Celkově se dá říci, že bioplynové stanice využívající mokré fermentace nezapáchají, důvodem je, že rozkladné procesy probíhají v uzavřeném systému a transport materiálu je mezi jednotlivými zařízeními realizován pomocí potrubí. V porovnání se suchou fermentací s garážovými fermentory se

jedná o bezpečnější technologii, protože nedochází k otevírání reaktorů, ve kterých při nedostatečném odčerpání bioplynu může dojít k výbuchu. [30]

Tab.č.3 Shrnutí hlavních výhod a nevýhod mokré fermentace

Mokrý fermentace	
Výhody	Nevýhody
→ Technicky propracovanější	→ Vyšší spotřeba energie k provozu - čerpadla, míchadla...
→ Více provozně prověřená	→ Vyšší provozní náklady a náklady na údržbu
→ Vysoká míra automatizace	→ Vyšší pravděpodobnost možných poruch
→ Stálá vysoká produkce bioplynu	→ Vyšší nároky na čistotu vstupního materiálu
→ Vyšší účinnost rozkladu	→ Objemné fermentory náročné na vyhřívání
→ Zpracovávat lze tuhý i tekutý materiál	→ Digestát obsahuje velké množství vody - velkoobjemové zásobníky digestátu
→ Digestát nezapáchá - dokonale zfermentovaný	→ Větší rozloha BPS

Zdroj: autor

#### 5.1.2.2 Nevýhody mokré fermentace

Přes řadu nesporných výhod má tato technologie i své nevýhody, kdy jednou z hlavních je bohatší technologická výbava a jiné příslušenství, jako jsou například různá čerpadla, míchací zařízení, drtiče a separátory, které zvyšují množství spotřebované energie nutné k provozu. S tím souvisí i vyšší provozní náklady a náklady na údržbu. Vzhledem k vyššímu počtu těchto zařízení se také rovněž značně zvyšuje pravděpodobnost možných poruch, které mohou komplikovat provoz bioplynové stanice. [33]

S výše uvedeným souvisí i vyšší nároky na čistotu zpracovávaného substrátu, který by neměl obsahovat příměsi, jako jsou například kameny, plasty, dřevo (hlavně piliny) a kusy kovových předmětů, které mohou způsobit poruchu čerpadel a drtičů. [30]

Při anaerobní fermentaci tekutých materiálů jsou vyžadovány objemné fermentory, které jsou náročné na vyhřívání. Celkově se také zvětšuje prostor, na kterém se bioplynová stanice tohoto typu rozkládá. Vzhledem k pomalé reprodukci rozkladných mikroorganismů dochází k potřebě delšího pobytu zpracovávaného substrátu v reaktoru, bývá to obvykle déle než 15 dní, což vede ke snížení jeho možného zatížení. Potíže také působí vcelku pomalý záběh bioplynových stanic využívající této technologie, při kterém se musí vytvořit optimální

poměr mezi množstvím hydrolytických, acidogenních, acetogenních a metanogenních bakterií. [9]

Vzhledem k velkému množství vody potřebné při zpracování materiálu mokrou fermentací, rovněž i výsledný digestát obsahuje velké množství vody, což vyžaduje výstavbu velkoobjemových zásobníků digestátu, jenž zvyšuje náklady na realizaci bioplynové stanice tohoto typu. [30]

Přehled hlavních výhod a nevýhod suchého způsobu anaerobní fermentace je uveden v tab.č.3.

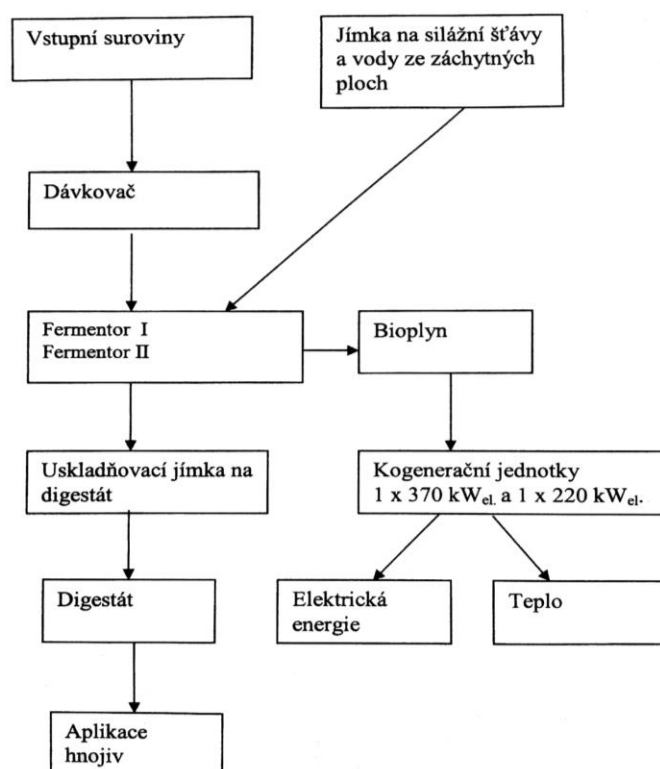
## 5.2 Analýza vstupních surovin

V této kapitole bude věnována pozornost rozboru vstupních materiálů při mokré fermentaci. Vzorky potřebné k měření byly poskytnuty společností Zemědělská Cítov a.s.

### 5.2.1 Popis Bioplynové stanice Cítov

Bioplynová stanice se nachází v obci Cítov na Mělnicku a jejím provozovatelem je společnost Zemědělská Cítov a.s. Jedná se bioplynovou stanicí využívající technologii mokré dvoustupňové fermentace, se dvěma kogeneračními jednotkami (technické parametry kogeneračních jednotek v tab.č.4) zpracovávajícími vyráběný bioplyn, celkové schéma stanice je vyobrazeno na obr. 13. [35]

Obr.13 Schéma Bioplynové stanice Cítov [35]





Tab.č.4 Kogenerační jednotky, technická data [35]

Technický parametr	Kogenerační jednotka č. 1	Kogenerační jednotka č.2
Příkon v palivu:	651 kW	946 kW
Elektrický výkon:	220 kW	370 kW
Tepelný výkon:	300 kW	433 kW
Elektrická účinnost:	33,8%	39,10%
Tepelná účinnost:	46,1%	44,70%
Celková účinnost:	79,9%	83,80%
Typ motoru:	zážehový	zážehový
Výrobce:	MAN Nutzfahrzeuge AG, SRN	MAN Nutzfahrzeuge AG, SRN

Přehled surovin je uveden v tab. č.5, údaje o množství surovin jsou orientační, přesné dávkování závisí na sušině a obsahu živin. Uvedené suroviny lze doplnit sezónními vstupy, jako je například zelená travní hmota, zbytky obilí a brambor, dále to pak může být i senáž, chlévská mrva apod. Vstupní materiál je do dávkovacího zařízení nakládán třikrát denně. Dávkování probíhá automaticky podle hmotnosti nebo podle času, a to do fermentoru, je však možné dávkovat materiál i do dofermentoru. Pro ředění vstupních surovin se využívá digestátu (recirkulace). Ředí se rovněž pomocí silážních šťáv a vody ze zachytných ploch bioplynové stanice. [35]

Ve dvou betonových reaktorech se substrát fermentuje a za pomoci bakterií dochází k produkci bioplynu, který je jímán pod dvouplášťové membránové plynojemy, nacházející se na obou fermentorech. Pod plynojemy probíhá také odsíření pomocí vhánění určitého množství vzduchu dle analýzy plynu. [35]

Bioplyn z fermentorů odchází přes servisní šachty, ze kterých vyústuje nerezové plynové potrubí, které se spojuje na střeše čerpacího centra a směřuje do země, kde na něj navazuje plastové potrubí. Plynovod má ještě jednu větev, která vede jen z dofermentoru a na plastové potrubí se napojuje v zemi. Z dofermentoru vede také speciální potrubí, které vede k bezpečnostnímu hořáku tzv. fléře. Kde dochází ke spalování plynu, který má špatné parametry nebo při jeho přebytku. [35]

Plyn je veden do chlazení a dále do kogeneračních jednotek. Tyto jednotky se skládají z motoru MAN a generátoru, který vyrábí elektrický proud. Elektřina je vedena přes trafostanici do elektrické sítě ČEZ. Odpadním teplem z chlazení motorů se vytápí fermentor a dofermentor na teplotu 42-44 °C. Zfermentovaný materiál je skladován ve třetí betonové nádobě (skladovací jímka digestátu) a pak dále zužitkován jako hnojivo. [35]

Tab.č.5 Přehled surovin v BPS Cítov [35]

Suroviny	Množství surovin (ročně)	Množství surovin (denně)
Cukrovarské řízky	700 t.rok <sup>-1</sup>	1,92 t.den <sup>-1</sup>
Siláž z kukuřice/obilovin	9 000 t.rok <sup>-1</sup>	24,66 t.den <sup>-1</sup>
Drůbeží trus	1 000 t.rok <sup>-1</sup>	2,74 t.den <sup>-1</sup>
<b>Celkem</b>	<b>10 700 t.rok<sup>-1</sup></b>	<b>29,32 t.den<sup>-1</sup></b>

## 5.2.2 Laboratorní měření a závěrečné zhodnocení

Vstupní suroviny potřebné k analýze byly poskytnuty společností Zemědělská Cítov a.s. V době odběrů vzorků bioplynová stanice zpracovávala substrát tvořený směsí kukuřičné siláže a drůbežního trusu, a to v poměru zhruba 9:1, jak je patrné z tab.č.5. Avšak skutečný poměr se může lišit, protože údaje o množství používaných surovin jsou pouze orientační. Drůbeží trus je dopravován ke zpracování ze sousední drůbežárny, jež je rovněž provozována společností Zemědělská Cítov a.s. Tato drůbežárna se specializuje na produkci vajec. Na obr.14 a obr.15 jsou znázorněny podoby vstupního materiálu.

Obr.14 Původní stav vstupního materiálu



Zdroj: autor

Obr.15 Upravený vstupní materiál pro potřeby měření



Zdroj: autor

V laboratoři analýzy organických materiálů na Technické fakultě České zemědělské univerzity v Praze pak byl vzorek vstupního materiálu podroben analýze a byl tak zjištěn obsah popela, vlhkosti a prvkové složení. Pro stanovení obsahu popelovin a vlhkosti bylo použito termogravimetrického analyzátoru LECO TGA 701. Stanovení prvkového složení, kdy byl zjištěn procentuální hmotností podíl uhlíku, vodíku, kyslíku, dusíku a síry, bylo provedeno pomocí analyzátoru LECO CHN 628+S se sírovým modulem.

Při měření termogravimetrickým analyzátozem se vzorky umístí do keramických kelímků, které jsou vloženy do otočného karuselu umístěného v pecní části přístroje. Po

celou dobu měření jsou kelímky, při každé otáčce karuselu, váženy. Tímto způsobem dojde k získání termogravimetrických křivek. Jedná se o křivky úbytku hmotnosti v závislosti na teplotě. Vlhkost vzorku byla stanovena při teplotě 107 °C a obsah popele v kyslíkové atmosféře při teplotě 550 °C.

Prvkové složení bylo určeno spálením vzorků a následnou analýzou spalin. Při použití modulu CHN byly nejprve vzorky cca o hmotnosti 0,1 g zabaleny do cínové fólie a poté spáleny. V modulu S bylo spáleno vždy cca 0,1 g vzorku analyzovaného materiálu v otevřené lodičce. Zařízení jsou propojena s počítačem, na kterém se zobrazují výsledky měření.

Chemické složení vstupního materiálu v bezvodém stavu z Bioplynové stanice Cítov, získané měřením, je uvedeno v tab.č.6 a v následujícím textu bude porovnáno s chemickými rozbory jednotlivých složek (kukuřičná siláž a drůbeží trus) tvořících vstupní substrát. Chemický rozbor vstupního materiálu v původním stavu je znázorněn v tab.č.7.

Tab.č.6 Chemický rozbor vstupního materiálu z BPS Cítov – suchý stav

Vzorek	Popel [% hm.]	C [% hm.]	H [% hm.]	N [% hm.]	S [% hm.]	O [% hm.]	C : N [% hm.]
Kukuřičná siláž + drůb. trus	6,16	45,83	6,03	2	0,16	39,82	23 : 1

Zdroj: autorova vlastní práce

Tab.č.7 Chemický rozbor vstupního materiálu z BPS Cítov – původní stav

Vzorek	Vlhkost [% hm.]	Popel [% hm.]	C [% hm.]	H (v hořlavině) [% hm.]	N [% hm.]	S [% hm.]	O (v hořlavině) [% hm.]
Kukuřičná siláž + drůb. trus	66,95	2,04	15,5	1,99	0,66	0,05	13,6

Zdroj: autorova vlastní práce

V tab. č.8 a č.9 je znázorněno chemické složení kukuřičné siláže v suchém stavu, tak jak jej uvádějí různí autoři. Lze vidět, že se výsledky od jednotlivých autorů liší. Z tohoto důvodu bylo nalezeno více chemických rozborů jak kukuřičné siláže, tak rovněž i drůbežního trusu a porovnáno s výsledky získanými analýzou vzorku z BPS Cítov.

Tab.č.8 Chemický rozbor kukuřičné siláže v bezvodém stavu dle A. Giulia [36 - upraveno]

Popel celkem [% hm.]	C [% hm.]	H [% hm.]	N [% hm.]	S [% hm.]	O [% hm.]
6,98	44,18	5,52	0,53	0,1	37,69

Tab.č.9 Chemické složení kukuřičné siláže v bezvodém stavu dle M. Mikulíka [37 - upraveno]

Popel celkem [% hm.]	C [% hm.]	H [% hm.]	N [% hm.]	S [% hm.]
0,07	48,5	6,42	0,82	0,03

Chemické složení drůbežního trusu v suchém stavu, vycházející z měření různých autorů, je uvedeno. v tab.č.10, tab.č.11, tab.č.12 a tab.č.13.

Tab.č.10 Chemický rozbor drůbežního trusu v bezvodém stavu dle B. R. Bocka [38 - upraveno]

popel [% hm.]	C [% hm.]	H [% hm.]	N [% hm.]	S [% hm.]	O [% hm.]
15,7	27,2	3,7	2,7	0,3	23,1

Tab.č.11 Chemické složení drůbežního trusu v bezvodém stavu dle G. Quirogy [39 - upraveno]

popel [% hm.]	C [% hm.]	H [% hm.]	N [% hm.]	S [% hm.]
33,65	36,2	4,6	5,9	0,109

Tab.č.12 Chemický rozbor drůbežního trusu v bezvodém stavu dle S.G. Wiedemanna [40 - upraveno]

S [% hm.]	C [% hm.]	N [% hm.]
0,4	29	4,6

Tab.č.13 Chemické složení drůbežního trusu v bezvodém stavu dle F.A. Nicholsona [41 - upraveno]

S [% hm.]	N [% hm.]
0,5	6

Díky uvedeným rozborům lze říci, že kukuřičná siláž se oproti drůbežímu trusu vyznačuje vyšším obsahem uhlíku a nižším obsahem dusíku a síry. U kukuřičné siláže jsou hodnoty obsahu dusíku rovny 0,53 a 0,82 % hm. (tab.8 a tab.9). Drůbeží trus se vyznačuje, jak je patrné z chemických rozborů uvedených výše, hodnotami obsahu dusíku od 2,7 do 6 % hm. Takže u vstupního materiálu v bezvodém stavu lze zaznamenat, že vlivem přítomnosti drůbežního trusu došlo ke zhruba trojnásobnému nárůstu obsahu dusíku oproti hodnotám samotné kukuřičné siláže, a to na hodnotu 2 % hm. Drůbeží trus rovněž stojí za nárůstem

obsahu síry z původních 0,03 % hm. resp. 0,1 % hm. kukuřičné siláže na výsledných 0,16 % hm. suchého analyzovaného materiálu. Hodnota obsahu uhlíku u analyzovaného vzorku vstupního materiálu zůstala takřka stejná jako u kukuřičné siláže, zhruba 45 % hm. Drůbeží trus tedy tuto hodnotu výrazně neovlivnil, i přesto že obsah uhlíku může být až o 20 % hm. nižší, než je tomu u samotné kukuřičné siláže.

Z hodnot obsahu uhlíku a dusíku pro kukuřičnou siláž v tab.č.8 byla výpočtem získána hodnota poměru C:N rovna 83:1 a z tab.9 hodnota rovna 59:1. Pro drůbeží trus byl vypočten poměr C:N nejčastěji 6:1. Lze tedy říci, že vysoký obsah uhlíku a nízký obsah dusíku u kukuřičné siláže způsobuje několikanásobně vyšší poměr C:N oproti drůbežímu trusu. U analyzovaného vzorku, jenž je směsí těchto dvou surovin, je poměr C:N roven 23:1. Tato hodnota je nižší, než je uváděný ideální poměr 30:1. Jak je uvedeno v kapitole 3.4.3, může mít nižší poměr uhlíkatých a dusíkatých látek nepříznivý vliv na výsledné složení bioplynu, který poté může obsahovat plyny, jako jsou amoniak a oxid dusný.

U drůbežího trusu obsah popela může nabývat hodnot 15,7 resp. 33,65 % hm., jak je patrné z tab.č.10 a tab.č.11. Z tabulek č.8 a č.9 lze zjistit, že obsah popelovin u kukuřičné siláže je mnohem nižší, kdy je roven 0,07 % hm. resp. 6,98 % hm. Analyzovaný vzorek se vyznačuje obsahem popela rovným 6,16 % hm. U vstupního materiálu zpracovávaného anaerobní fermentací by měl být obsah popelovin co možná nejnižší.

## 6 Závěr

Jedním z cílů této práce bylo zhodnotit dvě zvolené technologie bioplynových stanic. K tomuto zhodnocení byl vybrán mokrá a suchý způsob anaerobního zpracování biomasy. U každé technologie byly vypsány jednotlivé výhody a nevýhody.

Z hlediska počtu realizací jednotlivých technologií je mnohem více využívanější mokrá fermentace oproti suché fermentaci. Přispívá k tomu hlavně fakt, že při tomto způsobu lze dosáhnout vyšší míry automatizace, a tím snížit počet pracovníků obsluhujících bioplynovou stanici. Toho lze docílit hlavně u čerpatelných materiálů, jako je hojně využívaná kejda hospodářských zvířat, kdy se k jejímu transportu, mezi jednotlivými technologickými celky strojní linky, používají čerpadla. Odpadá tak potřeba pracovníka, který by musel naskladňovat materiál do fermentoru, jako je tomu u suché fermentace. Při naskladňování a vyskladňování fermentoru u bioplynové stanice využívající suchý způsob je totiž vždy zapotřebí pracovní síly. K častějšímu využití mokré fermentace přispívá i vyšší účinnost rozkladu a vyšší produkce bioplynu, s tím souvisí i lépe zfermentovaný výstupní produkt (digestát), jenž je homogenní a nezapáchá. Suchá fermentace má však výhodu, že vstupní materiál nemusí být zbavován nežádoucích příměsí a lze tak získávat energii i z biologicky rozložitelné složky komunálních odpadů, což by mohlo v budoucnu vést k jejímu většímu rozšíření.

Dalším úkolem bylo zhodnotit vstupní materiál přicházející k anaerobnímu zpracování v bioplynových stanicích. Byl zanalyzován vzorek z Bioplynové stanice Cítov, která využívá technologie mokré fermentace. Jednalo se o směs kukuřičné siláže a drůbežního trusu, který pochází z přilehlé drůbežárny provozované stejnou společností jako bioplynová stanice. Byla stanovena prvková analýza, tedy konkrétně obsah uhlíku, dusíku, vodíku a síry. Dále pak obsah popelovin a vlhkost materiálu. Výsledky z měření byly porovnány s výsledky nalezenými v odborné literatuře.

Prvkové složení, zejména poměr uhlíkatých a dusíkatých látek, je důležité znát, protože ovlivňuje kvalitu vyrobeného bioplynu. Sledování obsahu síry, nacházejícího se ve zpracovávaném substrátu, je rovněž velmi důležité. Síra, konkrétně její sloučenina sulfan, má totiž ve vyrobeném bioplynu negativní charakter, a to hlavně díky korozním vlastnostem, které mohou způsobit poškození kogeneračních jednotek. Je tedy žádoucí provádět odsíření bioplynu.

Z analýzy vzorku vstupního materiálu jasně vyplynulo, že vzorek, jenž se skládal z kukuřičné siláže a drůbežního trusu, se právě vlivem přídavku drůbežního trusu vykazoval vyšším obsahem dusíku a síry, než je tomu u samotné kukuřičné siláže.

Při využívání tohoto druhu substrátu, tedy směsi kukuřičné siláže a drůbežního trusu, je nutné odsíření vyrobeného bioplynu, tak aby nedošlo k poškození spotřebičů zpracovávajících bioplyn. Rovněž je důležité dávkovat jednotlivé složky vstupního materiálu v takovém poměru, aby se poměr C:N co nejvíce blížil 30:1, kvůli dosažení ideálního složení vyprodukovaného bioplynu. Velké množství drůbežního trusu obsahujícího více dusíkatých látek totiž může způsobit, že vzniklý bioplyn bude obsahovat nežádoucí příměsi, konkrétně amoniak a oxid dusný.

## 7 Seznam použité literatury

- [1] PASTOREK, Z. – KÁRA, J. – JEVIČ, P. *Biomasa obnovitelný zdroj energie*. Praha: nakladatelství FCC Public, 2004. 284 s. ISBN 80-86534-06-5
- [2] JUCHELKOVÁ, D. *Likvidace a využití odpadů*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2000. 76 s. ISBN 80-7078-747-3
- [3] BECHNÍK, B. *Historie a perspektivy OZE – úvod* [online]. 2009-01-19, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/energeticka-politika/5348-historie-a-perspektivy-oze-uvod>
- [4] PASTOREK, Z. Bioplyn - energie z biomasy. In *Obnovitelné zdroje energie*. 1. vyd. Gruntorádová, H. a kol. 1. vyd. Praha: Profi Press, 2012. s. 36-57.
- [5] CELJAK, I. *Biomasa je nezbytná součást lidského života* [online]. 2008-12-22, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-je-nezbytna-soucast-lidskeho-zivota>
- [6] BECHNÍK, B. *Biomasa – definice a členění* [online]. 2009-05-15, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/5641-biomasa-definice-a-cleneni>
- [7] MCKENDRY, P. *Energy production from biomass (part 1): overview of biomass* [online]. 2002, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/infodroje.czu.cz/science/article/pii/S0960852401001183>
- [8] SLADKÝ, V. *Fytopaliva – obnovující se zdroj energie I* [online]. 2001-09-12, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/658-fytopaliva-obnovujici-se-zdroj-energie-i>
- [9] MALAŘÁK, J. – VACULÍK, P. *Zpracování biologicky rozložitelných odpadů*. ČZU v Praze, Technická fakulta. Praha: Powerprint, 2008. 168 s. ISBN 978-80-213-1747-5
- [10] LUOSTARINEN, S., NORMAK, A., EDSTRÖM, M. *Overview of biogas technology* [online]. 2011, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: [http://balticmanure.odeum.com/download/Reports/baltic\\_manure\\_biogas\\_final\\_total.pdf](http://balticmanure.odeum.com/download/Reports/baltic_manure_biogas_final_total.pdf)
- [11] AL SEADI, T., et al. *Biogas handbook* [online]. Esbjerg: University of Southern Denmark, 2008, [cit. 2017-03-01] Dostupné z: <http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/files/2013/10/BiogasHandbook.pdf>.
- [12] VÍTĚZ, T., et al. *Mineralogicko – chemická charakteristika fermentačních zbytků při výrobě bioplynu a možnosti jejich využití pro zlepšení vlastností půd* [online]. 2013, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/325087/MZE\\_fermentacni\\_zbytek\\_final\\_2013.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/325087/MZE_fermentacni_zbytek_final_2013.pdf)
- [13] BUK, V. *Výroba buničiny, papíru a lepenky* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <https://leporelo.info/delignifikace-dreva>
- [14] STRAKA, F., et al. *Bioplyn – příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů*. 2. rozšířené vydání. Říčany: GAS s.r.o., 2006. 706 s. ISBN 80-7328-090-6
- [15] MICHAL, P. *Bioplyn – energie ze zemědělství* [online]. 2012, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/legislativa/fyto-legislativa/bioplyn-energie-ze-zemedelstvi>



- [16] MUŽÍK, O., KÁRA, J. *Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR* [online]. 2009-03-04 [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>.
- [17] ČESKO. Vyhláška č. 477 ze dne 20. prosince 2012 o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchování dokumentů. Dostupné také z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=z&id=25170>, [cit. 2017-03-01]
- [18] ČESKO. Vyhláška č. 341 ze dne 26. srpna 2008 o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-341>, [cit. 2017-03-01]
- [19] MATĚJKA, J., et al. *Studie využití bioplynu pro energetickou bezpečnost a rozvoj obcí a mikroregionů* [online]. 2014, [cit.2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/files/ceska-bioplynova-asociace/uploads/files/Studie%20-%20BioReg.pdf>
- [20] Agronomická fakulta Mendelovy univerzity v Brně. *Bioplynové stanice* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: [http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/files/211/17223.pdf](http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/files/211/17223.pdf)
- [21] TIRSO, a.s. *Bioplynové stanice – Něco o bioplynu* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: [http://www.tirso.cz/02\\_bioplynovestanice.htm](http://www.tirso.cz/02_bioplynovestanice.htm)
- [22] SIWATEC, a.s. *NETZSCH Macerátory* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.siwatec.cz/siwatec/index.php?sekce=cerpadla-specialni-zarizeni-maceratory>
- [23] FREISLEBEN, J. *Bioplynové stanice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav procesního a ekologického inženýrství, 2008. 16 s. Vedoucí práce Ing. Lucie Houdková  
[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=5046](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5046)
- [24] WALTENBERGER, R., KIRCHMAYR, R. *Wet and Dry Anaerobic Digestion Processes* [online]. 2013, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: [http://www.valorgas.soton.ac.uk/Pub\\_docs/JyU%20SS%202013/VALORGAS\\_JyU\\_2013\\_Lecture\\_12.pdf](http://www.valorgas.soton.ac.uk/Pub_docs/JyU%20SS%202013/VALORGAS_JyU_2013_Lecture_12.pdf)
- [25] BIOFerm Energy Systems. *High Solids Digester: Dry Fermentation* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.biofermenergy.com/anaerobic-digestion-technology/dry-fermentation/>
- [26] STRABAG Umwelttechnik GmbH. *Dry digestion in Laran plug - flow digester* [online]. [cit. 2017-03-01] [http://www.strabag-umwelttechnik.com/databases/internet/\\_public/content.nsf/web/EN-STRABAGUMWELTTECHNIK.COMN-anlagenbau\\_trockenvergaerung.html](http://www.strabag-umwelttechnik.com/databases/internet/_public/content.nsf/web/EN-STRABAGUMWELTTECHNIK.COMN-anlagenbau_trockenvergaerung.html)
- [27] The Pennsylvania State University, College of Agricultural Sciences. *Plug Flow* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://extension.psu.edu/natural-resources/energy/waste-to-energy/resources/biogas/types-of-anaerobic-digesters/plug-flow>
- [28] Ústav využití plynu Brno, s.r.o. *Technický popis vysokoteplotní pochodně* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.uvp.cz/bioplyn/technicky-popis-vysokoteplotni-pochodne.html>
- [29] MIKULÁŠEK, J. *Projektová dokumentace bioplynové stanice Cítov*. Jihlava: AGROPROJEKT Jihlava, s.r.o. 2012

- [30] Ernst & Young, s.r.o. *Analýza potenciálu energetického využití odpadů v ČR včetně ekonomického a regionálního vyhodnocení* [online]. 2015, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty\\_po8\\_opzp\\_2007\\_2013/\\$FILE/OODP-4\\_3\\_MZP\\_FIN-20160810.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/$FILE/OODP-4_3_MZP_FIN-20160810.pdf)
- [31] POSPÍŠIL, L. *Výzkum „suché“ anaerobní fermentace různých druhů biomasy za účelem výroby bioplynu.* [online]. 2011-10-24 [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyzkum-suche-anaerobni-fermentace-ruznych-druhu-biomasy-za-ucelem-vyroby-bioplynu>.
- [32] BEKON Energy Technologies GmbH & Co. KG, *Energie budoucnosti suchá fermentace* [online]. 2015, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.bekon.eu/wp-content/uploads/2016/02/Brozura-BEKON-cesky.pdf>
- [33] ŠKORVAN, O. Suchou nebo mokrou fermentaci? [online]. 2012-02-15, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/suchou-nebo-mokrou-fermentaci/>
- [34] CZ Biom. *Spolehlivá a ověřená technologie bioplynové stanice.* [online]. 2020-12-18 [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/spolehliva-a-overena-technologie-bioplynové-stanice>.
- [35] Zemědělská Cítov. *Provozní řád podle zákona č.201/2012 Sb. o ochraně ovzduší – Bioplynová stanice Cítov.* Cítov: 2013.
- [36] GIULIO, A. et al. *Modeling of coupling gasification and anaerobic digestion processes for maize bioenergy conversion* [online] 2015, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0961953415300477>
- [37] MIKULÍK, M. *Suchá fermentace v maloobjemovém fermentačním reaktoru* [online]. 2011, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: [http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/S3\\_13.pdf](http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/S3_13.pdf)
- [38] BOCK, B.R. *Poultry litter to energy: Technical and economic feasibility* [online]. 1999, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: [http://www.brbock.com/RefFiles/PoultryLitter\\_Energy.doc](http://www.brbock.com/RefFiles/PoultryLitter_Energy.doc)
- [39] QUIROGA, G. et al. *Physico-chemical analysis and calorific values of poultry manure* [online]. 2010, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0956053X09005698>
- [40] WIEDEMANN, S.G., MCGAHAN, E.J., BURGER, M. *Layer Hen Manure Analysis Report* [online]. 2008, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <https://www.aecl.org/assets/RD-files/Outputs-2/1EC082A-Final-Report.pdf>
- [41] NICHOLSON, F.A., CHAMBERS, B.J., SMITH, K.A. *Nutrient composition of poultry manures in England and Wales* [online]. 1996, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0960852497860877?via%3Dihub>

## Seznam použitých zkratek, tabulek, grafů, obrázků

### Seznam zkratek

**pH** - potenciál vodíku neboli vodíkový exponent

**HRT** – hydraulic retention time, hydraulická doba zdržení

**BPS** – bioplynová stanice

**C:N** – poměr dusíkatých a uhlíkatých látek

**ČEZ** – České energetické závody

### Seznam tabulek

**Tab.č.1:** Porovnání hlavních vlastností jednotlivých technologií

**Tab.č.2:** Přehled hlavních výhod a nevýhod suché fermentace

**Tab.č.3:** Shrnutí hlavních výhod a nevýhod mokré fermentace

**Tab.č.4:** Kogenerační jednotky, technická data

**Tab.č.5:** Přehled surovin v BPS Cítov

**Tab.č.6:** Chemický rozbor vstupního materiálu z BPS Cítov – suchý stav

**Tab.č.7:** Chemický rozbor vstupního materiálu z BPS Cítov – původní stav

**Tab.č.8:** Chemický rozbor kukuřičné siláže v bezvodém stavu dle A. Giulia

**Tab.č.9:** Chemické složení kukuřičné siláže v bezvodém stavu dle M. Mikulíka

**Tab.č.10:** Chemický rozbor drůbežího trusu v bezvodém stavu dle B. R. Bocka

**Tab.č.11:** Chemické složení drůbežího trusu v bezvodém stavu dle G. Quirogy

**Tab.č.12:** Chemický rozbor drůbežího trusu v bezvodém stavu dle S.G. Wiedemanna

**Tab.č.13:** Chemické složení drůbežího trusu v bezvodém stavu F.A. Nicholsona

### Seznam obrázků

**Obr.1** Schéma fotosyntézy

**Obr.2** Schéma koloběhu živin

**Obr.3** Různé způsoby zapojení reaktorů

**Obr.4** Blokové schéma strojní linky BPS pro mokrou fermentaci

**Obr. 5** Jednotlivé typy míchacích zařízení fermentorů

**Obr. 6** Fermentory umístěné v lince

**Obr. 7** Zvonový (košový) fermentor

**Obr. 8** Schéma linky s garážovým fermentorem pro suchou fermentaci

**Obr. 9** Plug – flow digestor

**Obr. 10** Schéma systému pro biologické odsiřování

**Obr.11** Princip kogenerační jednotky s pístovým spalovacím motorem

**Obr. 12** Schéma funkce mikroturbíny

**Obr.13** Schéma Bioplynové stanice Cítov

**Obr.14** Původní stav vstupního materiálu

**Obr.15** Upravený vstupní materiál pro potřeby měření