

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Technika a technologie zpracování biologicky  
rozložitelných odpadů v bioplynové stanici Krásná Hora**

Bakalářská práce

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

Autor: Ondřej Sirotek

PRAHA 2018

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ondřej Sirotek

Technologická zařízení staveb

Název práce

**Technika a technologie zpracování biologicky rozložitelných odpadů v bioplynové stanici Krásná Hora**

Název anglicky

**Technique and technology processing of biodegradable waste in the biogas plant Krásná Hora**

---

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce je seznámit se současnou problematikou technických zařízení pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů v provozech bioplynových stanic. Uskutečnit analýzu technických zařízení pro energetické využití bioplynu a následně stanovit produkci bioplynu na bioplynové stanici Krásná Hora.

### Metodika

Metodika bakalářské práce vychází z určených klasifikačních, jakostních a specifikačních rámců vstupních surovin a finálního bioplynu z bioplynových stanic a charakteristiky souvisejících právních předpisů, technologie a techniky bioplynových stanic a legislativních podmínek zpracování biomasy.

Praktická část bakalářské práce zahrnuje analýzu technických zařízení pro energetické využití bioplynu pro provozy bioplynových stanic. Popis stávající bioplynové stanice a následně stanovit produkci vznikajícího bioplynu v závislosti na vstupních surovinách.

1 Úvod

2 Cíl práce

3 Metodika práce

4 Přehled řešené problematiky

5 Praktická část práce

6 Výsledky a jejich hodnocení

7 Závěr a doporučení

8 Seznam použitých zdrojů

9 Přílohy

**Doporučený rozsah práce**

40 – 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

Malatáček, 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**

2017/18 LS – TF

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Jan Malatáček, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra technologických zařízení staveb

---

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2017

**doc. Ing. Jan Malatáček, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 20. 03. 2018

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Technika a technologie zpracování biologicky rozložitelných odpadů v bioplynové stanici Krásná Hora 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.....

.....  
Ondřej Sirotek

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této bakalářské práce. Zejména 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. Dále děkuji panu Ing. Jiřímu Švastalovi za poskytnutí podkladů k vypracování praktické části.

**Abstrakt:** Tato bakalářská práce pojednává o problematice bioplynových stanic a zpracování biologicky rozložitelného odpadu anaerobní fermentací. První kapitola se věnuje obecnému úvodu. Ve druhé kapitole jsou uvedeny cíle, kterých se tato práce snaží dosáhnout. Ve třetí kapitole je popsána metodika práce. Čtvrtá kapitola se věnuje nejdůležitějším právním předpisům, shrnuje charakteristiku a vznik biomasy a popisuje technologii anaerobního zpracování biologicky rozložitelných odpadů a jednotlivé prvky strojní linky v bioplynové stanici. Je zde také charakterizován bioplyn. V praktické části je nejprve popsána bioplynová stanice v Krásné Hoře nad Vltavou. Na to navazuje analýza digestátu odebraného ve zmíněné stanici a poté je rozebrán vliv vstupních surovin na vytvářený bioplyn. Výsledky práce poukazují na pozitivní vliv vstupního poměru siláže a senáže 60:40, který vykazuje velmi podobnou produkci methanu jako poměr 70:30, avšak z ekonomického hlediska je mírně výhodnější. Ze získaných hodnot bylo zjištěno, že digestát vyhovuje vyhláškám 341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva a dále také to, že na aktuální průměrný obsah methanu (50,2 %) v bioplynu mají vliv servisní zásahy do technologických prvků bioplynové stanice, avšak změna dávkovacího poměru vstupních surovin žádný velký vliv nevykazovala.

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

**Summary:** This bachelor project deals with problems about biogas plants and of biodegradable waste treatment by the anaerobic digestion. The first chapter is devoting to general introduction. In the second chapter are stated aims, which this thesis is trying to reach. In the third chapter is described work methodology. The fourth chapter is dealing with the most important legislative regulations, summarizes characteristics and generation of biomass and describes the technology of anaerobic treatment of biodegradable waste and individual element of the machine line in the biogas plant. The also characteristics of biogas. In the practical part is first described the biogas plant in Krásná Hora nad Vltavou. This is followed by the analysis of the digestate collected in the mentioned station and then the influence of the feedstock on the produced biogas is analyzed. The results of the work point to the positive effect of the entry ratio of silage and sage 60:40, which shows very similar production of methane as a ratio of 70:30, but from the economic point of view it is slightly more advantageous. From the obtained values was found that the digestate complies with the regulations 341/2008 Coll. about details of the treatment with biodegradable waste and 474/2000 Coll. about laying down requirements for fertilizers and also that the actual average content of methane (50,2 %) in the biogas is affected by service interventions in the biogas plant's technological elements, but the change in the dosing ratio of feedstocks has no big significant effect.

**Key words:** biomass; fermenter; biogas; cogeneration unit

## Obsah

1	Úvod .....	1
2	Cíl práce .....	3
3	Metodika práce .....	3
4	Přehled řešené problematiky .....	4
4.1	Právní předpisy pro získávání energie z obnovitelných zdrojů.....	4
4.2	Biomasa.....	6
4.2.1	Popis biomasy a podmínky jejího vzniku .....	6
4.2.2	Energeticky využitelná biomasa.....	8
4.2.3	Získání energie z biomasy .....	9
4.3	Anaerobní fermentace .....	10
4.3.1	Fáze anaerobní fermentace .....	10
4.3.2	Vhodné materiály ke zpracování anaerobní fermentací .....	11
4.3.3	Vlastnosti materiálů zpracovatelné anaerobní fermentací .....	12
4.3.4	Čím je ovlivňována anaerobní fermentace .....	14
4.3.5	Dělení typů technologických systémů v bioplynových stanicích.....	16
4.3.6	Technologické sestavy v bioplynové stanici .....	22
4.4	Produkty anaerobní digesce .....	31
4.4.1	Digestát .....	31
4.4.2	Bioplyn .....	32
5	Praktická část práce.....	36
5.1	Popis bioplynové stanice Krásná Hora.....	36
5.2	Metodika analýzy digestátu, vstupních surovin a jejich vlivu na složení bioplynu .....	38
6	Výsledky a jejich hodnocení .....	39
6.1	Analýza digestátu .....	39

6.2	Vstupní suroviny a jejich vliv na složení bioplynu.....	42
7	Závěr a doporučení.....	45
8	Seznam použitých zdrojů .....	48

### **Seznam tabulek**

Tabulka 1 - Základní vlastnosti materiálů vhodných k anaerobní digesti

Tabulka 2 - Poměr obsahu uhlíku a dusíku v některých materiálech

Tabulka 3 - Shrnutí výhod a nevýhod suché fermentace

Tabulka 4 - Shrnutí výhod a nevýhod mokré fermentace

Tabulka 5 - Množství využívaných surovin

Tabulka 6 - Technické parametry kogenerační jednotky

Tabulka 7 – Stanovení vlhkosti a sušiny

Tabulka 8 - Stanovení C, N, H a S

Tabulka 9 - Stanovení hodnoty pH

Tabulka 10 - Obsah vybraných prvků v digestátu

Tabulka 11 – Porovnání limitní koncentrace rizikových prvků dle Vyhlášky 474/2000 Sb. a naměřenými hodnotami

Tabulka 12 - Dávky pevných substrátů a obsah methanu

Tabulka 13 - Rozdíly v nákladech při rozdílných poměrech siláže a senáže

### **Seznam obrázků**

Obr. 1 - Schéma fotosyntézy

Obr. 2 - Schéma oběhu živin

Obr. 3 - Schéma anaerobní fermentace

Obr. 4 - Způsoby zapojení reaktorů

Obr. 5 - Blokové schéma strojní linky pro anaerobní fermentaci tekutých organických odpadů

Obr. 6 - Různé způsoby míchání anaerobních reaktorů

Obr. 7 - Fermentory umístěné v lince

Obr. 8 - Košový (zvonový) fermentor

Obr. 9 - Schéma linky s garážovým fermentorem pro suchou fermentaci

Obr. 10 - Bezpečnostní hořák (fléra)



Obr. 11 - Princip kogenerační jednotky s pístovým spalovacím motorem

Obr. 12 - Válcový separátor

Obr. 13 - Kogenerační jednotka v Krásné Hoře

Obr. 14 - Graf průměrného měsíčního obsahu methanu v bioplynu

Obr. 15 - Graf závislosti produkce bioplynu na vstupním poměru siláže a senáže

# 1 Úvod

Se stále narůstající spotřebou elektrické energie si lidé zároveň více pokládají otázku, jaký je nejvýhodnější alternativní zdroj energie. Zásoby fosilního paliva (ropa, uhlí, zemní plyn) nelze čerpat do nekonečna. Mezi alternativní neboli obnovitelné zdroje se mezi vítr, vodu a sluneční záření řadí také biomasa. Obnovitelné zdroje energie byly používány od počátku lidské civilizace, jiné zdroje ani nebyly k dispozici. Pokud bude lidská civilizace pokračovat v žití na Zemi, pravděpodobně se opět dostane zpět do stavu, kdy budou opět dominovat obnovitelné zdroje, neboť ty neobnovitelné budou v brzké době vyčerpány. [1]

Primární výhodou obnovitelné energie je, že se do atmosféry uvolní méně potenciálně škodlivých emisí. Další výhodou je, že existuje mnoho forem obnovitelných zdrojů – lze využívat nejen biomasu, ale také vítr, slunce nebo vodu. Obnovitelné zdroje do jisté míry poskytují energetickou nezávislost. Mnoho zemí spoléhá na fosilní paliva, aby jejich společnost fungovala v rámci moderní definice. Tato paliva se však dovážejí z několika zemí, které pracují na řízení cen a dostupnosti. Rozvojem obnovitelných zdrojů energie mohou země pracovat na energetické nezávislosti s různorodým portfoliem. Přestože tyto zdroje potřebují čas na rozvoj, je třeba si uvědomit, že současná infrastruktura fosilních paliv má za sebou více než sto let vývoje. Výhodou je také to, že technologie pěstování a sklizně rostlinné biomasy jsou dobře zvládnuté a oproti těžbě a skladování fosilních paliv nemají takový vliv na životní prostředí. [2]

Jak už to však bývá, oproti výhodám vždy stojí nějaké nevýhody a omezení. Pro formy obnovitelné energie je nevýhodou například to, že jsou specifické pro konkrétní lokalitu. V suchých oblastech tedy nepostavíme vodní elektrárnu nebo nebudeme pěstovat biomasu. Oproti tomu však na takových místech lze budovat solární elektrárny, neboť tam bývá po většinu roku slunečno. Další nevýhodou je nekonstantní výroba energie. Biomasa v bioplynové stanici lze sice spalovat 24 hodin denně, avšak to neplatí pro solární nebo větrnou elektrárnu, které jsou závislé na denní době a oblačnosti, respektive na síle větru. Problémem produkce biomasy pro energetické účely je větší náročnost na finance, než je u klasických zdrojů energie. Další nevýhodou produkce biomasy pro energetické účely je to, že konkuruje jiným odvětvím – polní plodiny se používají hlavně pro výrobu potravin nebo krmiv, dřevo se používá jako stavební či konstrukční materiál nebo na výrobu papíru. Z toho vyplývá nutnost rozšiřování

ploch pro cílené pěstování energetické biomasy, avšak tyto prostory mohou být často omezené. [2] [3]

V České republice bylo k 31.12.2016 evidováno 567 bioplynových stanic o instalovaném výkonu 360 MW. V uvedeném roce bylo v bioplynových stanicích vyrobeno 2599 GWh elektřiny. Z 24,8 % se tak podíleli na výrobě elektrické energie z obnovitelných zdrojů v České republice, a ze 3,1 % na výrobě celkové elektrické energie. [4]

Tato bakalářská práce pojednává právě o využívání biomasy a jejího zpracování v bioplynových stanicích pomocí metody anaerobní fermentace. Nejdříve budou uvedeny právní předpisy pro provoz bioplynových stanic a využívání energie z obnovitelných zdrojů. Následně bude popsána biomasa a proces anaerobní fermentace, spolu s technologickými sestavami bioplynových stanic a výstupními složkami ze zpracování biomasy. V praktické části bude popsána bioplynová stanice v Krásné Hoře nad Vltavou. Bude provedena analýza digestátu odebraného ve zmíněné stanici a na to bude navazovat zhodnocení vlivu vstupních surovin na kvalitu bioplynu.

## 2 Cíl práce

Cílem teoretické části bakalářské práce je především charakterizovat biomasu a její druhy vhodné ke zpracování metodou anaerobní fermentace v zemědělských bioplynových stanicích. Vybrat a definovat charakteristické vlastnosti uvedených materiálů. Následně také informovat o právních podmínkách využití biologicky rozložitelných odpadů k energetickým účelům, hlavně o podmínkách týkajících se jejich zpracování anaerobní fermentací.

Dalším cílem teoretické části je vysvětlit současnou problematiku techniky a technologie zemědělských bioplynových stanic. Popsat proces anaerobní digesce spolu s jeho jednotlivými fázemi. Popsat jednotlivé technologie a prvky používané v provozech strojních linek při anaerobní fermentaci.

V praktické části je cílem popsat jednotlivé části bioplynové stanice Krásná Hora. Budou uvedeny výsledky z analýzy digestátu odebraného ve zvolené bioplynové stanici. Následně budou zhodnoceny vstupní materiály a jejich vliv na vytvářený a spalovaný bioplyn.

## 3 Metodika práce

Metodika práce vychází z určených klasifikačních, jakostních a specifikačních rámců vstupních surovin a finálního bioplynu z bioplynových stanic a charakteristiky souvisejících právních předpisů, technologie a techniky bioplynových stanic a legislativních podmínek zpracování biomasy.

Pro analýzy digestátu v praktické části této práce bude použit vzorek odebraný v bioplynové stanici Krásná Hora. Analýza proběhne ve Výzkumně vzdělávacím centru UniCRE. Bude stanovena sušina a pH a bude provedena prvková analýza. Naměřené výsledky budou porovnány s mezními hodnotami danými legislativou. Dále bude stanovena kvalita bioplynu v závislosti na vstupních surovinách.

## 4 Přehled řešené problematiky

### 4.1 Právní předpisy pro získávání energie z obnovitelných zdrojů

Jednou z vyhlášek zabývajících se biomasou je Vyhláška 341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady.

Objektem této přednášky je nakládání s biologicky rozložitelnými odpady neboli bioodpady. V první části vyhlášky je uveden seznam bioodpadů a požadavky na kvalitu odpadů vstupujících do technologie materiálového využívání odpadů. Následně jsou vypsány požadavky na technické vybavení a provoz zařízení biologického zpracování bioodpadů v závislosti na množství druhu v něm upravovaných bioodpadů a technologické požadavky na úpravu bioodpadů. Tyto požadavky jsou ještě rozděleny v závislosti na množství a druhu zpracovávaných bioodpadů. Technické požadavky pro malá zařízení jsou tedy různá od požadavků na zařízení s vyšší kapacitou, než je stanoveno pro malá zařízení. [5]

Způsoby biologického zpracování bioodpadů, které jsou považovány za jejich využívání ve smyslu této vyhlášky, jsou řízené a kontrolované aerobní a anaerobní proměny těchto bioodpadů probíhajících v zařízeních k jejich zpracování, případně další způsoby využívání. Základními způsoby zpracování jsou kompostování a anaerobní digesce. V případě bioplynových stanic se uplatňuje zpracování anaerobní digestací, kterou se rozumí řízený a kontrolovatelný mikrobiální rozklad organických látek bez přístupu vzduchu v zařízení bioplynové stanice. Nejprve je nutné dosáhnout teploty zpracovávaného bioodpadu nejméně 55 °C a udržet ji po dobu nejméně 24 hodin bez přerušení, přičemž nezbytná celková doba procesu anaerobní digesce je více než 30 dnů. Zdržení může být i kratší než 30 dnů, avšak nejméně 20 dnů, jestliže pozorovatel zajistí, že produkovaný digestát trvale splňuje hodnoty stability dle jiného předpisu. Dosažení nižší teploty než 55 °C nebo kratší doby expozice náplně reaktoru touto teplotou je možné v případě, že bioodpad byl předem upraven při teplotě 70 °C po dobu 1 hodiny, nebo byl rekultivační digestát následně udržován při teplotě 70 °C po dobu 1 hodiny, nebo byl rekultivační digestát kompostován. Rekultivačním digestátem se rozumí výstup z anaerobní digesce, který je použitelný mimo zemědělskou a lesní půdu a nevykazuje pachy svědčící o nedostatečné stabilitě výstupu. [5]

V obsahu provozního řádu zařízení je uveden předpokládaný způsob využití výstupních surovin ze zařízení. Dále jsou uvedena opatření pro splnění požadavků na ochranu zdraví a

životního prostředí a opatření k provádění kontroly emisí pachů. V případě bioplynových stanic je nebytné také uvést jednoznačnou specifikaci vstupů do zařízení, jejich předpokládané množství a způsob skladování. Rovněž je nutné popsat průběh procesu anaerobní digesce bioodpadů, včetně její klasifikace podle sušiny substrátu a podle provozní teploty. Potom musí obsahovat také popis míst možného vývinu emisí pachových látek a popis způsobu nakládání s rekultivačním digestátem. V neposlední řadě musí být uvedena opatření k minimalizaci obtěžování a rizik z provozu zařízení jako jsou emise pachu, hluk, hmyz atd. [5]

Vyhláška také sděluje požadavky a kritéria pro hodnocení a kontrolu výstupů ze zařízení zpracovávajících bioodpady. Uvádí se zde limitní koncentrace vybraných rizikových látek a prvků pro zařazení výstupů do skupin, znaky jakosti rekultivačního digestátu jako jsou vlhkost (maximálně 98 hm. %), obsah celkového dusíku (minimálně 0,3 hm. %) a pH (6,5 – 9) a také jsou vypsány metody stanovení mikrobiologických ukazatelů. Dále je zde udávána četnost kontrol výstupů, která se odvíjí od jejich roční produkce. [5]

Dalším důležitým předpisem je Vyhláška 477/2012 Sb. o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů elektřiny, tepla nebo biomethanu a o stanovení a uchovávání dokumentů. Jsou zde uvedeny druhy a parametry podporovaných obnovitelných zdrojů a způsob vykazování množství cíleně pěstované biomasy na orné půdě při výrobě bioplynu. [6]

Vyhláška rovněž vypisuje podporované způsoby využití biomasy, kterou lze pro potřebu výroby elektřiny nebo tepla využít v procesech spalování, zplynování, spalování spolu s jinými druhy paliva, nebo při anaerobní fermentaci. Další část vyhlášky se týká dokumentů a záznamů o použitém palivu při výrobě elektřiny a tepla z obnovitelných zdrojů, které je nutno uchovávat v listinné podobě. [6]

Dále je popsána cíleně pěstovaná biomasa, která je definována jako biomasa, jež nepochází z definovaných plodin a energetických dřevin uvedených v příloze č.4 v této vyhlášce. Jednotlivé druhy biomasy jsou rozděleny do kategorií a každému druhu jsou přiřazeny určité typy podpor elektřiny a tepla. [6]

Energetický zákon, v celém znění Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), mimo jiné definuje základní podmínky podnikání v energetických odvětvích, kterými

se pro účely tohoto zákona rozumí elektroenergetika, plynárenství a teplárenství, a související práva a povinnosti jednotlivých podnikajících osob. [7]

Zákon je rozdělen v základě na dvě významné části. Jedná se o část obecnou, která je společná všem třem výše jmenovaných energetickým odvětvím. Základem pro znění zákona je definice podnikání v energetických odvětvích. V první řadě se zákon vyjadřuje k tomu, co je podnikání dle energetického zákona a že podnikání v energetických odvětvích je možné pouze na základě licence.[7]

Ve zvláštní části energetického zákona věnující se elektroenergetice jsou definováni účastníci trhu s elektřinou a jejich práva a povinnosti. Řeší se zde specifické situace jako třeba udělování autorizací, stav nouze, neoprávněná dodávka, odběr nebo distribuce elektrické energie. V oddílu, který se týká teplárenství, zákon přímo nejmenuje účastníky trhu s teplem, avšak účastníky lze odvodit z ustanovení textu zákona. Tato část zákona také upravuje právo na připojení ke zdroji tepla nebo rozvodnému zařízení, aby byl odběr tepelné energie zajištěn každému, kdo o to má zájem a splňuje zákonem určené podmínky. [7]

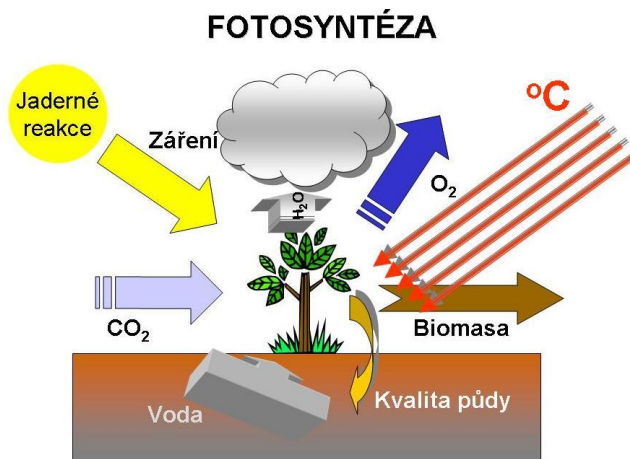
## 4.2 Biomasa

### 4.2.1 Popis biomasy a podmínky jejího vzniku

Obecně je pod pojmem biomasa míněna veškerá organická hmota na naší planetě, účastníci se koloběhu živin v biosféře. Je definována jako substance biologického původu (pěstování rostlin v půdě nebo ve vodě, chov živočichů, produkce organického původu, organické odpady). Biomasa je buď záměrně získávána jako výsledek výrobní činnosti, nebo se jedná o využití odpadů ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby, z komunálního hospodářství, z údržby krajiny a péče o ni. Z energetického původu je důležitá pouze ta biomasa, která je energeticky využitelná. Teoreticky je možné získávat energii ze všech forem biomasy, jelikož základem veškeré živé hmoty je uhlík a jeho chemické vazby, obsahující energii. [3] [8]

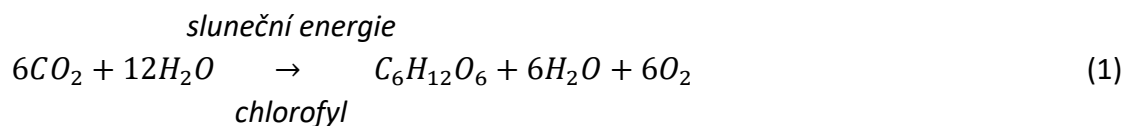
V zemské atmosféře a na zemském povrchu stále dochází k fyzikálnímu a chemickému oběhu prvků a sloučenin. Všechny látky, které jsou součástí oběhu, jsou složeny z chemických prvků. Biochemické reakce zabezpečují trvalý oběh biogenních prvků a transformují sluneční energii na chemickou. Hlavní úlohu mají fotochemické reakce a fotosyntéza, jejíž schéma je zobrazeno na Obr. 1. [3]

Obr. 1 - Schéma fotosyntézy [Zdroj: <http://www.prerezovatemata.cz/Portals/0/UkazkyMaterialu/fotosynteza.jpg>]



Za energetickou biomasu jsou tedy většinou považovány rostliny, neboť jsou schopny využívat slunečního záření k fotosyntéze, při které je využito jednoduchých anorganických látek – oxidu uhličitého a vody, k tvorbě energeticky bohatých sloučenin – cukrů. Jinak řečeno, v rostlinách je akumulována energie slunečního záření. [8]

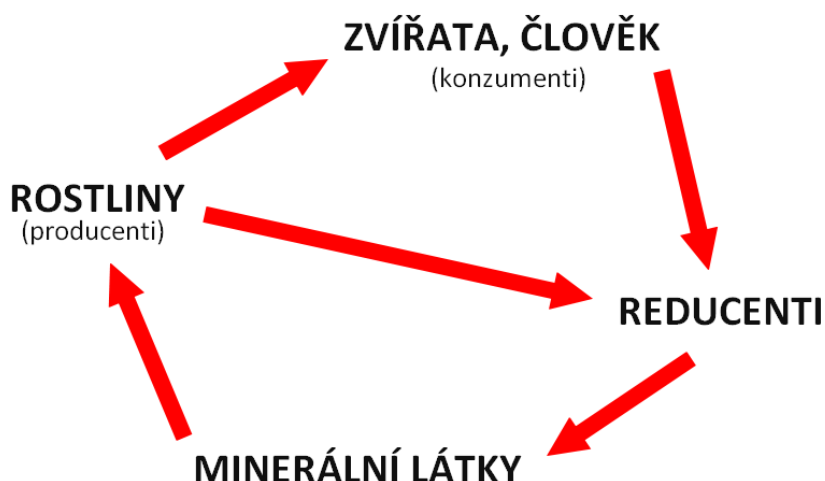
I když je mechanismus fotosyntézy složitější, je možné tuto biochemickou reakci za účasti světelné energie a chlorofylu obsaženého v rostlinách schematicky znázornit pomocí následující rovnice:



Praktickým výsledkem fotosyntézy je tedy jednak vytvoření organické hmoty, jednak uvolňování vznikajícího kyslíku do ovzduší, což umožňuje život všem živočichům na něj odkázaných. Život na Zemi i oběh látek v přírodě jsou tedy podmíněny působením energie slunečního záření. V ekosystému prochází energie potravinovým řetězcem. Prvním článkem jsou zelené rostliny (primární producenti), které slouží jako potrava bylinožravým živočichům (sekundární producenti nebo konzumenti prvního řádu). Bylinožravci jsou kořistí masožravců (konzumenti druhého řádu). Trofický řetězec uzavírají reducenti, kteří rozkládají odumřelé zbytky rostlin a živočichů na minerální prvky. Rozložené organické látky zase slouží rostlinám jako výživa. Na Obr. 2 je znázorněno schéma oběhu živin v přírodě. [3] [9]



Obr. 2 - Schéma oběhu živin [Zdroj: autor]



#### 4.2.2 Energeticky využitelná biomasa

Energetickou biomasu lze rozdělit do několika kategorií, které se však mohou částečně překrývat. Mezi biomasu se řadí fytomasa (hmota rostlin obecně), dendromasa (stromy speciálně), biopaliva (pevná, kapalná, plynná), biologicky rozložitelný odpad, cíleně pěstovaná biomasa (zejména byliny a rychle rostoucí dřeviny), odpadní biomasa. [10]

##### 4.2.2.1 Cíleně pěstovaná biomasa

Je to takový druh biomasy, jenž je uvedený v kategorii 1 v příloze č. 1 k Vyhlášce č. 477/2012 Sb. Dále je to taková biomasa, která nepochází z definovaných plodin a energetických dřevin uvedených v příloze č. 4 k výše uvedené vyhlášce a je pěstována pouze na vymezené půdě v České republice s doložením této podmínky. [6]

Předností cíleně pěstované biomasy je především její snadný výsev, krátké vegetační období a možnost využití i na neenergetické účely. Tyto plodiny by měly vykazovat vysoké výnosy, nejlépe kolem 33 – 55 tun na hektar, aby byly zaručeny slibné ekonomické zisky. Sklizeny by měly být obvyklými zemědělskými stroji, aby nebylo potřeba speciálně určených strojů, které by byly využívány pouze krátké období v roce. Při jejich výrobě by rovněž měla být nízká spotřeba energie. Měly by co nejlépe hospodařit s vodou a dusíkatými hnojivy, aby byl zajištěn jejich rychlý růst, produkce zelené hmoty a vysoká úroveň fotosyntézy. V neposlední řadě se od nich očekává dobrá odolnost proti přírodním vlivům, nemocem a zvěři. [8] [9]

Biomasou, pěstovanou záměrně k energetickému účelu, bývá nejčastěji cukrová řepa, obilí, brambory, cukrová třtina, konopí, olejiny a různé energetické dřeviny, jako třeba vrby, topoly a akáty. [3]

#### 4.2.2.2 Odpadní biomasa

Významnou část z celkového počtu potenciálu biomasy, použitelné jako alternativní obnovitelný zdroj energie, tvoří odpadní biomasa. Ta vzniká při různých činnostech a může být zdrojem energie, který je snadno přístupným a dále ho nelze využít jiným způsobem. [11]

Odpadní biomasu lze získat z mnoha odvětví lidské tvorby. Může jít například o odpad z rostlinné výroby, což jsou zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny, odpady z vinic a ze sadů, kukuřičná nebo řepková sláma a veškeré další odpady z likvidace křovin. Z výroby živočišné se jedná o zbytky krmiv a o exkrementy hospodářských zvířat, ať v tuhé podobě – hnůj, nebo kapalné podobě – močůvka, kejda. Odpadní biomasa vzniká také při těžbě a zpracování dřeva, kde se za odpad považují větve, kůra, pařezy, kořeny, piliny a hobliny. Využitelný je i biologicky rozložitelný komunální a průmyslový odpad, mezi který se řadí zbytky potravin, odpady z jatek, odpad z výroby cukru, mouky a papíru, kaly z odpadních vod a v neposlední řadě také odpadní rozložitelné zbytky z údržby zeleně a travnatých ploch. [3] [8]

#### 4.2.3 Získání energie z biomasy

Způsob, jakým bude z biomasy získávána energie, závisí převážně na jejích fyzikálních a chemických vlastnostech. Důležitým parametrem je vlhkost neboli zastoupení sušiny v biomase. Přibližná hranice mezi mokrymi a suchými procesy je 50 % hodnota obsahu sušiny. Pokud biomasa obsahuje méně než 50 % sušiny, hovoříme o suchých procesech. Je-li v biomase obsaženo více než 50 % sušiny, tak jde o procesy mokré. [3]

Existuje několik způsobů, kterými lze z biomasy dostat energii. Jedním způsobem je termochemická přeměna biomasy. Jde o suchý způsob zpracování biomasy a patří sem zplyňování, pyrolýza a také spalování, což je nejstarší metoda využívání energie z biomasy. Dalším způsobem je biochemická přeměna biomasy, která se řadí mezi mokré procesy. Zde se jedná o alkoholové a metanové kvašení. Další možností, jak zpracovat biomasu, je fyzikální a chemická přeměna biomasy. Mechanická úprava usnadňuje především přepravu biomasy a její následné využití na získání energie. Mezi tyto úpravy patří například řezání, drcení, mletí, štěpkování a peletování. Chemicky lze biomasu zpracovat esterifikací surových bioolejů.

Energii z biomasy lze také získat v podobě tepla při zpracování biomasy například kompostováním, aerobním čištěním odpadních vod nebo anaerobní fermentací pevných organických odpadů. Ze suchých procesů se v praxi nejvíce využívá spalování, a z mokrých procesů anaerobní fermentace. [3] [8]

### 4.3 Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace je velice složitý biochemický proces, který sestává z několika dílčích, na sebe navazujících fyzikálních, fyzikálně-chemických a biologických procesů. Tato metoda je považována za jednu z náročnějších metod, především vzhledem k nárokům na technické a stavební vybavení. Výsledným produktem této technologie je bioplyn. Ten je produkován anaerobními mikroorganismy, které patří mezi nejstarší živé mikroorganismy z doby, kdy atmosféra na Zemi ještě neobsahovala kyslík, který na ně působí jako prudký jed. Je proto tedy nesmírně důležité, aby byl zpracováván odpad hermeticky uzavřen bez přístupu vzduchu a byl dobře homogenizován. [3] [12] [13]

#### 4.3.1 Fáze anaerobní fermentace

##### 4.3.1.1 První fáze – Hydrolýza

První stádium rozkladu organické hmoty začíná v době, kdy prostředí ještě obsahuje vzdušný kyslík. Ten je postupně spotřebováván aktivitou aerobních bakterií, které nevyžadují bezkyslíkaté prostředí. Pro jejich činnost je důležitější obsah vlhkosti vyšší než 50 %. Tyto bakterie rozkládají makromolekulární rozpuštěné i nerozpuštěné organické látky (polysacharidy, lipidy a proteiny) na nízkomolekulární látky, které jsou rozpustné ve vodě pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů, jež jsou produkovány fermentačními bakteriemi. Tyto nízkomolekulární látky jsou schopny transportu skrze buněčné membrány do buňky, kde pokračuje jejich rozklad. Rychlost hydrolýzy bývá nejpomalejší ze všech procesů anaerobního rozkladu, může proto být časově limitujícím faktorem celého průběhu metanizace. [3] [12] [13] [14][15]

##### 4.3.1.2 Druhá fáze – Acidogeneze

Ve druhé fázi se již dokončí tvorba bezkyslíkatého prostředí. Produkty vzniklé při hydrolýze jsou během této fáze rozkládány uvnitř buněk dále na jednodušší organické látky jako jsou kyselina octová, alkohol, CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub> pomocí acidogenních bakterií. Při vyšší koncentraci

vodíku jsou vytvářeny vyšší organické látky, kyselina mléčná a ethanol. Složení a množství produktů je závislé na substrátu a na podmínkách procesu. Důkaz o rovnováze a správnosti celého procesu získáme sledováním obsahu nižších mastných kyselin. [3] [12] [13] [14] [15]

#### 4.3.1.3 Třetí fáze – Acetogeneze

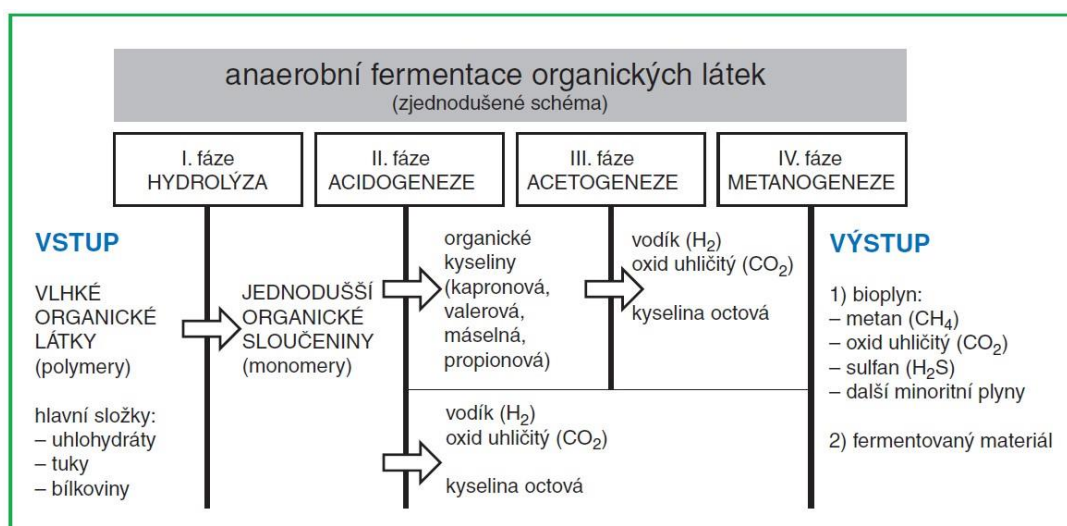
V tomto stadiu, někdy označovaném jako mezifáze, probíhá oxidace vyšších produktů vzniklých při acidogenezi na vodík, oxid uhlíčitý a kyselinu octovou. V této a v předchozí fázi roste kyselost prostředí. [3] [12] [13] [14] [15]

#### 4.3.1.4 Čtvrtá fáze – Metanogeneze

Během této fáze dochází k tvorbě metanu a oxidu uhličitého rozkladem kyseliny octové za pomoci metanogenní acetotrofních bakterií, které vytvoří zhruba 70 % metanu v bioplynu. Produkci metanu z vodíku a oxidu uhličitého zajišťují hydrogenotrofní bakterie. Tyto organizmy regulují množství vodíku v systému. Existují kmeny metanogenních bakterií, které se dokážou chovat jako hydrogenotrofní a acetotrofní zároveň, jsou tedy obojetné. Metan spolu s oxidem uhličitým, vytvořeným v této fázi, jsou dva hlavní plyny v bioplynu. [3] [13] [15]

Na Obr. 3 je znázorněno schéma anaerobní fermentace spolu se všemi výše zmíněnými fázemi.

Obr. 3 - Schéma anaerobní fermentace [3]



#### 4.3.2 Vhodné materiály ke zpracování anaerobní fermentací

Pojem biomasa je obecný výraz užívaný pro materiál, který je vhodný pro využití k energetickému účelu metodou metanogenní fermentace. Jako biomasa je v užší koncepci

považována organický materiál rostlinného původu, který vzniká pomocí fotosyntézy. Jako biomasu si ale lze představit také substanci biologického původu, zahrnující fytomasu (rostlinnou biomasu) pěstovanou na půdě nebo ve vodě, živočišnou biomasu, vedlejší organické produkty a organické odpady. Při anaerobní digesci běžných organických materiálů se metan získává rozkladem polysacharidů, lipidů a proteinů. Během rozkládání jinak dobře rozložitelných proteinů (bílkovin) se do vznikajícího bioplynu uvolňují složky na bázi síry, například sulfan  $H_2S$ . Tyto sírné složky je nutno v některých případech před konečným využitím bioplynu odstranit. Rozkládáním lipidů (tuků) lze dosáhnout nejlepší výtěžnosti metanu, avšak ve zpracovávaných materiálech jejich podíl nebývá vysoký. Klíčovým zdrojem látek pro tvorbu metanu bývají polysacharidy obsažené zvláště ve fytomase. [3]

Zbytková biomasa vzniká nejvíce v zemědělství. Z živočišné výroby se získávají exkrementy hospodářských zvířat. Takovýto substrát obsahuje vysoký podíl biologicky snadno rozložitelných látek, obsahující všechny potřebné živiny pro methanogenní mikroorganismy. V bioplynovém hospodářství se nabízí využívat kejdu skotu, prasat a drůbeže, podmíněně i slamnatý hnůj. Ze zemědělského odvětví lze zpracovávat také zbytky rostlin, pro které není další uplatnění, případně cíleně pěstovanou nepotravinářskou fytomasu, mezi kterou řadíme především šťovík, kukuřice, konopí a některé druhy trav. Zdrojem biomasy z komunální sféry jsou zbytky potravin sesbírané například ve školách, nemocnicích nebo restauracích. Důležitým zdrojem jsou také kaly z čistíren odpadních vod a odpady z údržby zeleně. Z průmyslových surovin lze využít zbytky ze zpracování potravin a nápojů, z výroby papíru a z cukrovarnických závodů. [12] [16] [17]

#### 4.3.3 Vlastnosti materiálů zpracovatelné anaerobní fermentací

Obecně lze říci, že každý organický materiál s vysokým obsahem těkavých látek a sušinou menší než 50 % se může využít pro anaerobní fermentaci. Kvůli efektivnímu zpracování je ale zapotřebí, aby vlastnosti použitých materiálů byly v daném optimálním rozmezí. Základní hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 1. [18]

Tabulka 1 - Základní vlastnosti materiálů vhodných k anaerobní digesci [18]

Organické látky [% suš.]	Sušina [%]	Poměr C:N	pH
nad 50	5-35	20 – 40:1	6,5 – 7,5

Vlastnosti lze ovlivnit vhodnou úpravou materiálu před vstupem do BPS, popřípadě složením vsázky při společné fermentaci různých druhů organických látek. [18]

#### 4.3.3.1 Obsah sušiny

U pevných odpadů je optimální obsah sušiny v rozmezí 22 – 25 %, u tekutých odpadů 8 – 14 %. Tekuté odpady, které mají obsah sušiny nižší než 3 %, jsou zpracovávány anaerobní fermentací se zápornou energetickou bilancí. To znamená, že se proces udržuje na potřebné provozní teplotě díky dodávání doplňkového tepla z externího zdroje. Až při přesáhnutí 4% obsahu sušiny v tekutých odpadech lze dosáhnout pozitivní energetické bilance. Horní hranici obsahu sušiny tekutých odpadů je určena mezí čerpatelnosti. Jako absolutní hranice obsahu sušiny, kdy ještě probíhá anaerobní digesce, se uvádí 50 %. [3]

#### 4.3.3.2 pH substrátu

Hodnota pH, kyselost nebo zásaditost, je významný faktor ovlivňující metanogenní fermentaci. Na vstupu do procesu se za optimální hodnotu pH považuje interval blízký neutrální hodnotě pH, tedy 7 – 7,8. Tento parametr se během procesu výroby bioplynu mění. Zpočátku, kdy převažuje aktivita acidogenů, může hodnota pH klesnout až na 4 – 6. Během hodnoty menších než 5 se mohou objevovat inhibiční účinky na některé kmeny metanogenů. Za příznivých podmínek však může dojít k jejich rozvoji a svou aktivitou zvýší pH zpět na neutrální hodnotu pH = 7. Některé kmeny bakterií tvořících metan mají schopnost rozvoje i v silně alkalickém prostředí, kdy pH dosahuje hodnot 8 až 9. Optimální hodnota pH materiálu se v praxi na vstupu do procesu upravuje alkalickými přísadami nebo homogenizací směsných materiálů. [3]

#### 4.3.3.3 Poměr C:N

Poměr uhlíkatých a dusíkatých látek je důležitým parametrem hodnocení vhodnosti materiálů pro anaerobní digesci. Jako optimální se považuje poměr 30:1. Vysoký obsah dusíkatých látek může způsobovat horší složení výsledného bioplynu, který pak obsahuje minoritní množství plynů, jako oxidu dusného nebo amoniaku. Velké množství dusíku obsahují například exkrementy hospodářských zvířat. Naopak materiálem s vysokým obsahem uhlíku jsou rostlinné produkty. Ideálního poměru C:N se v praxi dosahuje směřováním různých materiálů. V Tabulce 2 lze nalézt poměr C:N některých vybraných látek. [3]

Tabulka 2 - Poměr obsahu uhlíku a dusíku v některých materiálech [3]

Druh materiálu	C : N
Kůra	120 : 1
Piliny	500 : 1
Papír, karton	350 až 1000 : 1
Odpad z kuchyně	12 až 20 : 1
Odpad ze zeleniny	13 : 1
Posečená tráva	12 až 25 : 1
Odpad ze zahrad	20 až 60 : 1
Listí	30 až 60 : 1
Dřevěné štěpky	100 až 150 : 1
Drůbeží trus	10 : 1
Močůvka	2 : 1
Kejda skotu	10 : 1
Sláma obilná	60 až 100 : 1

#### 4.3.3.4 Výskyt popelovin a nežádoucích látek

Materiál by měl obsahovat malé množství anorganických látek, popelovin. Vhodnost materiálu se také snižuje se zvyšujícím-se obsahem nežádoucích příměsí. Jde zpravidla o látky omezující mikrobiální rozvoj, především o antibiotika, která se podávají ať už jako léčiva zvířatům, nebo jako součást krmných směsí pro drůbež. Nežádoucími příměsemi se rozumí také materiály, které jsou již ve fázi hnilobného rozkladu. Vhodnost materiálu pro anaerobní digesci může být narušena též předchozími úpravami nebo manipulací s materiálem. U některých druhů materiálů může například při dlouhodobém skladování docházet ke kompostování. [3]

#### 4.3.4 Čím je ovlivňována anaerobní fermentace

Anaerobní rozklad organických látek je ovlivňován celou řadou faktorů, které mění prostředí mikroorganismů a mají zásadní vliv na celý proces. Nejhlavnější aspekty, jež mají vliv na anaerobní fermentaci jsou uvedeny v předchozí kapitole. Proces však ovlivňují i další faktory, jako například vlhkost prostředí, které musí dosahovat vlhkosti minimálně 50 %, neboť metanové bakterie mohou pracovat a množit se pouze ve vlhkém prostředí. Je též vhodné

zamezit přístupu světla, neboť brzdí množení bakterií. Za nutnost se považuje zajistit rovnoměrný přísun substrátu, aby nedošlo k přetížení fermentoru. [18]

- **Vliv teploty**

Teplota ovlivňuje anaerobní fermentaci stejně jako všechny ostatní biochemické děje. S rostoucí teplotou se zvyšuje rychlost všech probíhajících procesů. Změnou teploty a tím i rychlosti probíhajících procesů však dochází k narušení dynamické rovnováhy procesu a může vést až k úplné havárii procesu. Dále dochází při vyšší teplotě ke zvýšení rozpustnosti některých organických látek, což je vhodné pro související transportní jevy. Dlouhodobou změnou teploty způsobíme změnu v zastoupení jednotlivých druhů mikroorganismů. Rozlišujeme čtyři typické teplotní oblasti, které jednotlivým kmenům bakterií vyhovují:

- kryofilní oblast – 0 až 7 °C
- psychofilní oblast – 5 až 27 °C
- mezofilní oblast – 27 až 40 °C
- termofilní oblast – 45 až 60 °C

Rozdělení do teplotních skupin není úplně přesné, různí autoři uvádějí odlišné rozpětí teplot. Většina reaktorů zemědělských bioplynových stanic pracuje v současnosti v mezofilní oblasti. Obecně lze tedy konstatovat, že pro udržení stabilního procesu a výroby rovnoměrného množství bioplynu je za potřebí zajistit konstantní teplotu. [14] [15] [18]

- **Vliv přítomnosti nutrientů**

Pro zapracování a zajištění provozu reaktorů je nutné dodržet správný poměr N a P k organickým látkám. Poměr živin CHSK : N : P by se měl pohybovat kolem 400 : 6,7 : 1. Mimo dusík a fosfor je nutná přítomnost řady mikronutrientů – Na, Ca, K, Fe, Mg, S, Se, W. Nepříznivé účinky způsobuje vyšší koncentrace těžkých kovů a přítomnost oxidantů. Většina substrátů přirozeného původu má množství nutrientů postačující. Avšak při anaerobní fermentaci kejdy a jiných produktů živočišné výroby bývá zvýšený přebytek amoniaku. Ten může za zvýšeného pH působit inhibičně až toxicky. [14] [15]

- **Vliv přítomnosti toxických a inhibujících látek**

Mezi toxické nebo inhibující látky řadíme látky, které mají nepříznivý vliv na biologický proces. Nejčastějšími inhibičními látkami bývají nižší mastné kyseliny a amoniak. Je však nutné



doplnit, že v obou případech tyto látky působí pouze v nedisociované formě. Znamená to, že inhibice těmito látkami je závislá na jejich celkové koncentraci v systému a na hodnotě pH. Při vysokém pH může inhibičně působit amoniak, při nízkém pak mastné kyseliny. Na koncentraci amoniaku působí taktéž teplota – s rostoucí teplotou roste koncentrace amoniaku. Při termofilním procesu je tedy inhibice amoniakem výraznější oproti mezofilnímu. [14] [15]

- **Vliv technologických faktorů**

Z technologických faktorů jsou nejdůležitější doba zdržení a míchání. Aby se docílilo homogenního obsahu substrátu v reaktoru, musí být dobře promícháván. To umožní co nejrychlejší a nejdokonalejší kontakt metanogenních bakterií se substrátem. [14]

Doba zdržení představuje parametr důležitý pro účinnost procesu z pohledu odbourání organického podílu substrátu a jeho přeměny na bioplyn. Zároveň je důležitým parametrem i pro růst anaerobní biomasy v reaktoru. Doba zdržení musí být dostatečně dlouhá, aby se zamezilo vyplavování potřebných mikroorganismů. Hydraulická doba zdržení představuje průměrný čas, po který biomasa zůstává v reaktoru. Doporučuje se, aby se zpracovávaný materiál nechával ve fermentoru po dobu 65 až 70 dní. To zajistí dostatečnou dobu pro udržení vysoké koncentrace aktivní biomasy a taktéž pro vysokou úroveň odbourání organické sušiny substrátu. [14] [15]

#### 4.3.5 Dělení typů technologických systémů v bioplynových stanicích

Existuje několik způsobů a technik, jak získávat z různých druhů organických materiálů bioplyn. V této kapitole budou rozebrány ty nejdůležitější.

##### Dle dávkování substrátu

##### 4.3.5.1 Diskontinuální dávkování

Tento typ dávkování je používán zejména při suché fermentaci. Jedná se o technologické systémy s přerušovaným provozem, přičemž doba jednoho pracovního cyklu se rovná času, po který je materiál zpracováván ve fermentoru. Při manipulaci s materiálem je vysoká náročnost na obsluhu. [3]

#### 4.3.5.2 Semikontinuální dávkování

Tohoto dávkování se využívá hlavně při zpracování tekutých materiálů. Čas mezi dávkami je kratší, než je doba zdržení materiálu uvnitř fermentoru. Dávkování probíhá jednou až čtyřikrát za den, avšak může to být i vícekrát. Takto vstupující materiál do fermentoru má velmi malý vliv na změnu pracovních podmínek fermentoru, jako je teplota nebo homogenita. U takového procesu lze snadno zavést automatické doplňování dávek a není tedy velká náročnost na obsluhu. [3]

#### 4.3.5.3 Kontinuální dávkování

Této technologie, kdy je vstupní substrát doplňován nepřetržitě, se využívá výhradně k plnění fermentorů určených pro zpracování organických materiálů s velmi malým obsahem sušiny. [3]

#### Dle konzistence substrátu

#### 4.3.5.4 Technologie suché fermentace

K suché fermentaci se používá substrát s podílem sušiny od 20 do 40 % (biomasa, hnůj, travní zeleň, ...) a během jeho zpracování se používá procesů termofilních, nebo častěji mezofilních, a to z důvodu nižších tepelných ztrát. K suché fermentaci se využívá tzv. garážových bioplynových stanic, kdy je materiál umístěn do paralelních fermentačních železobetonových boxů, poté je zde uzavřen a zahříván na provozní teplotu. Těchto boxů je obvykle navrženo několik vedle sebe (jsou řazeny paralelně) a celková produkce bioplynu je tak přes nestejnou produkci z jednotlivých boxů stálá. Při zpracování materiálu touto metodou se využívá diskontinuálního nebo kontinuálního doplňování substrátu. Doba zdržení zpracovávaného materiálu ve fermentoru je obvykle 10 až 60 dnů. Na konci tohoto procesu zůstává pevný zbytek (fermentát) a tekutý zbytek (perkolát), přičemž oba lze aplikovat na zemědělské pozemky. [12] [13] [19] [20]

#### Výhody

Při technologii zpracování suchou fermentací je možnost pracovat s heterogenním vstupním materiálem – může tedy obsahovat různé příměsi, jako je třeba hlína nebo cizorodé předměty. Důvod k tomu je způsoben absencí jakýchkoliv míchacích zařízení nebo čerpadel, které by mohly být těmito cizorodými předměty poškozeny. Z absence výše uvedených

technologických prvků plyne další výhoda, a to nižší pořizovací cena celé bioplynové stanice a také nízká spotřeba elektrické energie během jejího provozu, která by byla jinak potřebná k pohonu těchto zařízení. Další výhodou je to, že v některých případech není potřeba vstupní materiál nijak upravovat, je však pouze doporučováno jeho hrubé nadrcení. Při nedostatku vstupních surovin lze provozovat stanici s menším počtem aktivních boxů – diskontinuální provoz. Pokud máme přebytek vstupního materiálu, lze stanici jednoduše rozšířit vybudováním nového fermentačního boxu. [20] [21] [22]

### Nevýhody

Ve většině případů je účinnost rozkladu materiálu nižší než při mokré fermentaci a z toho vyplývající i nižší produkce bioplynu. Při naskladňovacím a vyskladňovacím procesu je nutná otevřená manipulace s odpadem. Je tedy otevřen fermentační box, přičemž dovnitř vnikne vzduch obsahující kyslík a tím pádem musí po každém navezení nového substrátu začít nový mikrobiální proces, přičemž náběh produkce bioplynu je vcelku pomalý. Nevýhodou je také následná nerovnoměrná produkce bioplynu a nemožnost zasahovat do procesu a ovládat jej. Kvůli absenci míchadel je způsobena nemožnost homogenizace a nerovnoměrnost teplot v různých vrstvách materiálu. Největším nedostatkem je ale pravděpodobně malý počet realizací bioplynových stanic s tímto systémem, a tím pádem nedostatek „referenčních informací“. V Tabulce 3 jsou shrnuty hlavní výhody a nevýhody suché fermentace. [20] [22]

*Tabulka 3 - Shrnutí výhod a nevýhod suché fermentace [Zdroj: autor]*

<b>Suchá fermentace</b>	
<b>VÝHODY</b>	<b>NEVÝHODY</b>
Cizorodé předměty ve vstupní hmotě	Nižší účinnost rozkladu
Nepotřebná úprava vstupních materiálů	Nutnost otevřené manipulace s bioodpadem
Nízká vlastní spotřeba energie	Výkyvy produkce bioplynu
Diskontinuální provoz	Pomalejší náběh technologie
Nižší nároky na obsluhu	Nehomogenita a nerovnoměrnost teplot
Jednoduché rozšíření o nové boxy	Nedostatek informací o systému z praxe

#### 4.3.5.5 Technologie mokré fermentace

Mokrá fermentace je nejrozšířenější aplikací anaerobní technologie. Tato technologie pracuje se vstupním materiálem s nízkým obsahem sušiny, přičemž její horní mez je dána mezí čerpatelnosti daného materiálu, nejčastěji však do 12 %. Dávkovat materiál lze kontinuálně, semikontinuálně nebo dávkově. Určenou denní dávku lze do fermentoru (reaktoru) dopravit jen 1x za den, avšak velmi často se celková dávka rozděluje do dvou až šesti dávek, které se dodávají během dne. Řízení dávkování je velmi důležitým faktorem ovlivňujícím produkci bioplynu. V případě nedostatečného dávkování se jeho produkce snižuje a kapacita bioplynové stanice není dostatečně využita. Když naopak dojde k přetížení reaktoru, dojde k okyselení fermentovaného materiálu a následně ke zkolabování fermentačního procesu. Pro správnost celého procesu je nutno materiál uvnitř reaktoru promíchávat pomocí míchadel a udržovat stabilní teplotu. Ta je uvnitř fermentoru udržována kolem 35 °C v případě mezofilních podmínek, případně okolo 55 °C při termofilních podmínkách. Pro termofilní proces je charakteristický hlubší rozklad organické hmoty a vyšší produkce bioplynu, na druhou stranu se ale vyznačuje nižší stabilitou fermentačního procesu. Doba zdržení materiálu v reaktoru je závislá na procesních a materiálových parametrech. Pohybuje se v rozmezí od 10 do 60 dní, v některých případech až do 90 dní. [13] [20] [22]

V těchto typech bioplynových stanic je často realizována kofermentace fytomasy s kejdou. Zpracování těchto dvou materiálů najednou umožňuje stabilizovaný proces produkce bioplynu díky pufrační schopnosti kejdy v substrátu a omezuje disfunkce vzniklé vyšším obsahem čpavku. Přidaná fytomasa způsobuje optimalizaci poměru C:N a kejda vnáší do substrátu potřebné živiny nezbytné pro rozvoj mikroflóry. Dávkování fytomasy do reaktoru je prováděno pomocí šnekového dopravníku. Provozní obsah sušiny po smíchání a dokonalé homogenizaci všech zpracovávaných materiálů se pohybuje okolo 10 %. [12] [13]

##### Výhody

Mokré technologie jsou častěji uplatňovány, jsou historicky rozšířenější a technicky více propracované. Proces je dobře kontrolovatelný a díky kontinuálnímu dávkování lze dosáhnout vysoké míry automatizace, což sníží nároky na množství pracovníků. Díky možnosti zpracovávat tekuté materiály spolu s tuhými a míchat je během procesu, je zaručena stálá produkce bioplynu. Fermentace probíhá výhradně v uzavřeném prostoru a veškerý aktivní

materiál je dopravován pomocí potrubí, tudíž do okolí neuniká nepříjemný zápach. Díky stabilní teplotě a lepší homogenizaci dochází k vyšší účinnosti rozkladu. Výstupní produkt (digestát) je dokonale zfermentovaný a tudíž nezapáchá. Oproti garážovým reaktorům používaným při suché fermentaci, které je nutno otevírat při dodávání materiálu, se fermentory mokré fermentace neotvírají. Je tedy dosaženo vyšší bezpečnosti, neboť uvnitř reaktorů je výbušné prostředí. [19] [20] [22]

### Nevýhody

Kvůli automatické dopravě substrátů, zajištění kontinuálního plnění, míchání a zpracování výstupního digestátu musí bioplynové stanice pracující na principu mokrého biozplynování obsahovat různá čerpadla, míchadla a separátory. Potřeba těchto technologických prvků způsobuje vyšší náklady na elektrickou energii potřebnou k pohonu těchto zařízení. S množstvím zařízení souvisí také možnost vzniku jejich poruch a náklady na servis a údržbu. S těmito zařízeními souvisí další nevýhoda, a tou je nutnost odstranění nežádoucích materiálů ze vstupujících substrátů (obaly, fólie, kamení), které by mohlo způsobit poruchy výše uvedených zařízení. [19] [22]

Anaerobní digesce tekutého substrátu vyžaduje objemné fermentory, a kvůli vysokému množství vstupující, a tím pádem i vystupující vody, je nutno budovat také velké zásobníky na výstupní digestát. Celý komplex bioplynové stanice má tedy vyšší náročnost na prostor. Problémem bývá rovněž záběh bioplynové stanice využívající tuto technologii, neboť je vyžadováno vytvoření optimálního poměru mezi počtem různých druhů fermentujících bakterií. V Tabulce 4 jsou shrnuty hlavní výhody a nevýhody mokré fermentace. [12]

*Tabulka 4 - Shrnutí výhod a nevýhod mokré fermentace [Zdroj: autor]*

<b>Mokrá fermentace</b>	
<b>VÝHODY</b>	<b>NEVÝHODY</b>
Větší rozšířenost → více informací	Vyšší spotřeba energie
Automatizace	Nutná údržba, možné poruchy
Možnost kofermentace	Nutnost odstranění nežádoucích materiálů
Uzavřený aktivní materiál, dokonale fermentovaný digestát – bez zápachu	Pomalejší záběh
Homogenizace substrátu	Vyšší obsah vody v digestátu

<b>Mokrá fermentace</b>	
<b>VÝHODY</b>	<b>NEVÝHODY</b>
Vyšší účinnost rozkladu a stabilní produkce bioplynu	Větší rozloha komplexu

#### Dle způsobu zapojení reaktorů

##### 4.3.5.6 Systémy jednostupňové anaerobní fermentace

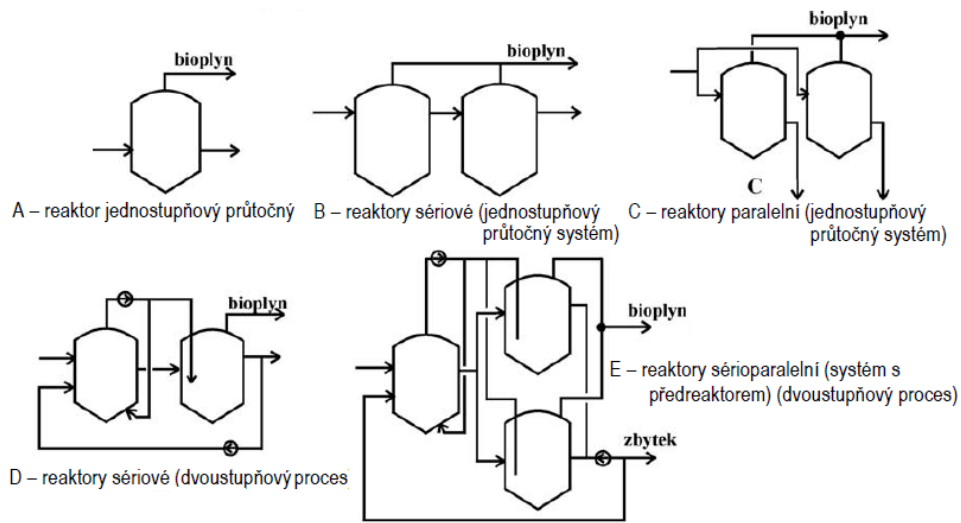
Technologie zpracování bioodpadu využívající metodu jednostupňové fermentace je technicky nejjednodušším systémem, při kterém je bioplyn vytvářen pouze pomocí jednoho fermentoru. V jednostupňových zařízeních se nijak neoddělují procesní fáze digesce (hydrolyza, fáze okyselení, vznik kyseliny octové a metanu), neboť všechny probíhají v jedné nádrži. Některé jednostupňové systémy však mohou být tvořeny i více reaktory, paralelně nebo sériově zapojenými. Jednotným znakem takto tvořených systémů je společný odběr bioplynu a liniový průtok fermentovaného materiálu. [23] [24]

##### 4.3.5.7 Systémy dvoustupňové anaerobní fermentace

Při dvoustupňové, případně vícestupňové metodě, se fáze oddělují do minimálně dvou nádrží s odlišným prostředím. Surový materiál vstupuje do předfermentoru, ve kterém probíhají acidogenní reakce. Určitá část bioplynu vyrobeného v předfermentoru je recyklována a vrací se do něj zpět. Zbytek bioplynu je přepouštěn probubláváním do následujících reaktorů, kde probíhají další fáze (acetogeneze a metanogeneze). Bioplyn vystupující z předreaktoru má vyšší obsah CO<sub>2</sub>, případně může obsahovat i H<sub>2</sub>, proto není možné ho slučovat s bioplynem vystupujícím z konečné fáze tohoto systému. [23] [24]

Uvedené způsoby zapojení reaktorů jsou znázorněny na Obr. 4.

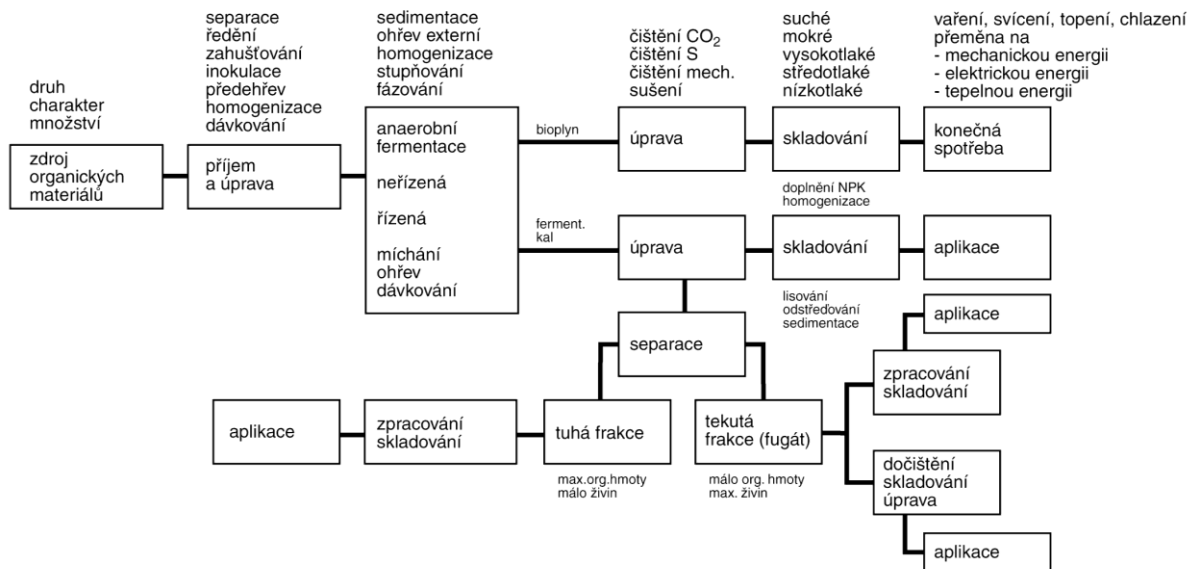
Obr. 4 - Způsoby zapojení reaktorů [23]



### 4.3.6 Technologické sestavy v bioplynové stanici

Schéma pracovní linky pro mokrou anaerobní fermentaci je znázorněno na Obr. 5. Jsou zde vyobrazeny nejdůležitější činnosti v daných částech linky.

Obr. 5 - Blokové schéma strojní linky pro anaerobní fermentaci tekutých organických odpadů [12]



#### 4.3.6.1 Příjmová část

V úvodní části celé linky se provádí úprava materiálu. Oddělují se zde inertní materiály jako písek, sklo, kovy a kameny, aby nedošlo k poškození. Dochází zde k promíchání různých druhů vstupních materiálů, aby bylo docíleno optimálních materiálových parametrů, tj. poměr

C:N, obsah sušiny a pH. Někdy je potřeba materiál naředit nebo zahustit, případně homogenizovat a hygienizovat. Z příjmového zásobníku pak dochází k dávkování do fermentoru. To se provádí čerpadlem, v případě čerpatelných materiálů, jako je například kejda, nebo vzduchotěsným šnekovým dopravníkem, který se používá při vkládání tuhých materiálů, např. siláže. [13]

#### 4.3.6.2 Reaktor (fermentor)

Reaktor je nejdůležitější technologickou částí anaerobního procesu, a proto jsou na něj kladeny ty nejvyšší nároky, především z důvodu vytvoření co nejideálnějšího prostředí pro vývoj mikrobiálních kultur. [12]

Fermentory pro mokrou fermentaci bývají postaveny nejčastěji z plynotěsného betonu, kovu a plastu. Můžeme je dělit podle tvaru, a to na válcové s horizontální osou, jejichž objem dosahuje 150 m<sup>3</sup>, ve výjimečných případech až 600 m<sup>3</sup>, a na válcové se svislou osou. Poslední jmenované se používají pro objemy až 10 000 m<sup>3</sup>, a to hlavně díky svým lepším pevnostním vlastnostem. Dno válcových fermentorů může být rovné nebo kónické. Mimo válcový tvar se můžeme setkat také s fermentory kulového tvaru, polokulového nebo vejčitého. [3] [23]

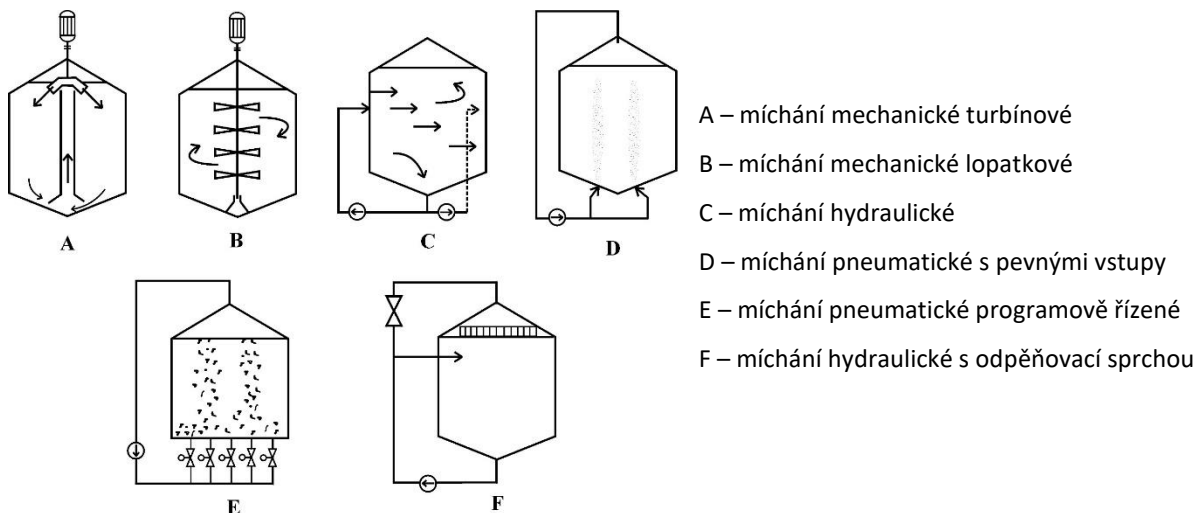
Nejdůležitějším kritériem pro správnou činnost bakterií je udržování stabilní teploty. Toho lze dosahovat dopravou horké vody, přiváděné do reaktoru systémem kovových nebo plastových topných hadů. Nevýhodou tohoto systému je jeho špatné čištění. Ohřevu materiálu však lze dosahovat ještě před vstupem samotných vstupních surovin do fermentoru. Toto vnější vytápění využívá tepelných výměníků, skrze které protéká ohříváný materiál, přičemž topným médiem je opět voda ohřívána pomocí kogeneračních jednotek. Můžeme se setkat s výměníky typu trubka v trubce, s deskovými výměníky, nebo v současnosti nejvyužívanějšími šroubovicovými a spirálovými výměníky. Vnější výměník je výhodný z důvodu jeho snadné oddělitelnosti od systému v případě oprav a při čištění. [12] [23]

Fermentor zpracovávající tekutý materiál musí být opatřen míchacím zařízením. Taková zařízení mohou být mechanická, mezi která řadíme ponorná vrtulová míchadla, vrtulová tyčová, lopatková, mýdlová, turbínová nebo kombinovaná. Jinými typy jsou míchadla hydraulická a pneumatická, která však lze využít pouze pro míchání materiálu s obsahem sušiny do 10 % hmotnosti. [12] [13]



Provedení uvedených míchacích zařízení je znázorněno na Obr. 6.

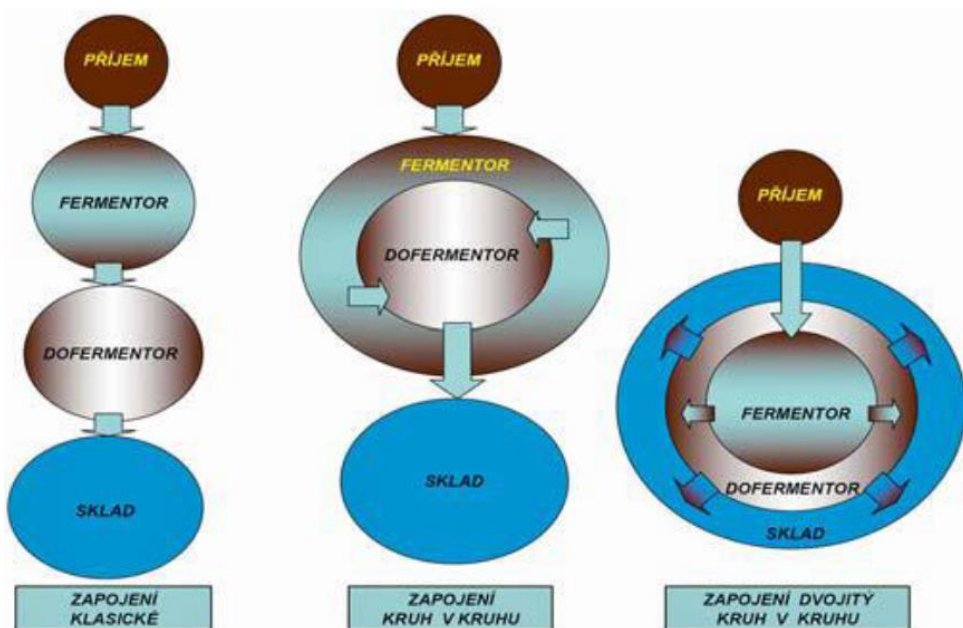
Obr. 6 - Různé způsoby míchání anaerobních reaktorů [12]



Důležitým faktorem při volbě míchacího postupu je spotřeba energie na míchání. Nepřetržité provozování míchacích systémů je jen ve výjimečných případech. Nejběžnější jsou krátké míchací periody a mnohem delší časové úseky, kde se s materiálem uvnitř materiálu nehýbe. Intenzivní a nepřetržité míchání výtěžky plynu vůbec nezvyšuje a někteří autoři dokonce tvrdí, že je tomu právě naopak. [23]

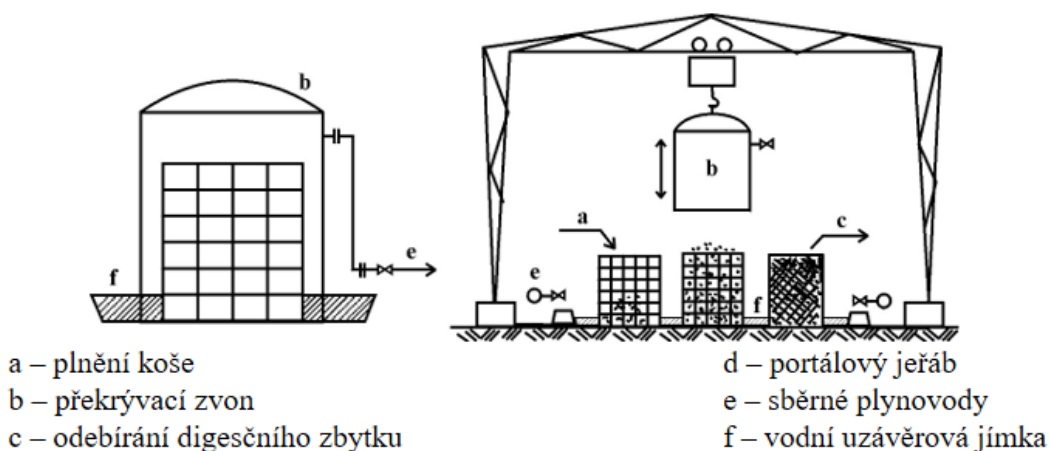
Fermentory mohou utvářet sestavu: klasickou soustavu tvoří příjmový zásobník, fermentor a skladovací zásobník. U novějších linek se můžeme za hlavním fermentorem s řízeným procesem setkat s dalším fermentorem s neřízeným procesem, kterému se odborně říká dofermentor. Je umístěn mezi hlavním fermentorem a skladovacím zásobníkem a lze z něj získat ještě 5-20 % vyrobeného bioplynu. Možnosti zapojení soustav fermentorů je znázorněno na Obr. 7.

Obr. 7 - Fermentory umístěné v lince [13]



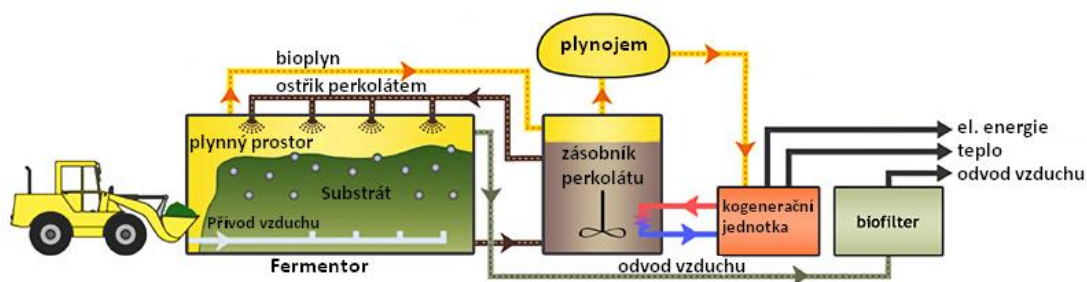
Fermentorů zpracovávajících suchý materiál je několik typů. Jedním z nich je košový neboli zvonový reaktor. Byl speciálně vyvinut pro fermentaci slamnatých hnojů, resp. steliv i samotné slámy. Průběh reakce v takovýchto zařízeních probíhá pomaleji, protože tuhý odpad je vyskládán do drátěných košů, po naplnění překrytých plynotěsným zvonem. Výhodou těchto systémů je, že se nemusí tak často řešit problém s odčerpáváním odpadních vod. Naopak hlavní nevýhodou je nemožnost dostatečně účinného vytápění, což je problém hlavně v zimě, kdy se vlivem nižší teploty zpomalují rozkladné procesy. Zvonový reaktor je znázorněn na Obr. 8. [12]

Obr. 8 - Košový (zvonový) fermentor [12]



Suchý materiál lze zpracovávat také v garážových reaktorech. Tento typ je asi nejrozšířenějším reaktorem pracujícím systémem suché fermentace. Uvnitř reaktoru nejsou žádné pohyblivé části, tudíž materiál je od navezení a vyvezení, které se provádí kolovým nakladačem, stále v klidu. Biomasa je uvnitř vyhřívána podlahovým topením, shora postříkávána perkolátem a doba jejího setrvání ve fermentoru je asi 28 dní. Za účelem nastolení alespoň částečné kontinuity procesu se doporučuje pracovat minimálně se čtyřmi fermentory, přičemž je každý v jiné fázi procesu, a tudíž je produkce bioplynu víceméně stálá. Bioplyn vzniklý při tomto procesu je shromažďován v plynojemu, z kterého je následně plynule přesouván do jednotky zpracovávající bioplyn. Princip garážového reaktoru je znázorněn na Obr. 9. [21]

Obr. 9 - Schéma linky s garážovým fermentorem pro suchou fermentaci [Zdroj: <http://www.herhof.com/fileadmin/media/produkte/Schema-Biogas-Verfahren-ENG.jpg> - upraveno]



#### 4.3.6.3 Plynojemy

Vytvořený bioplyn je skladován přímo v BPS ve vyrovnávacích plynojemech. Jejich účelem je vyrovnávat rozdíly mezi výrobou a spotřebou bioplynu. Akumulace plynu ve většině případů nepřesahuje 24 hodin a podle počtu a délek spotřebních cyklů je právě volena kapacita plynojemu. Materiál, ze kterého jsou plynojemy konstruovány bývá nejčastěji gumotextilní fólie, kov, plast, nebo železobeton v kombinaci s gumotextilním vakem. [13] [23]

Středotlaké a vysokotlaké plynojemy se používají v případech, kdy je potřeba poskytnout plyn pro pohon dopravních prostředků nebo do tlakových nádrží sloužící k přepravě plynu. Lze je také použít pro pneumatické míchání materiálu ve fermentoru, kdy se plyn mimo špičku stlačí, a následně během energetické špičky, kdy je požadována co největší výroba elektrické energie, se používá k promíchávání. Tyto typy zásobníků plynu jsou navrhovány na tlaky až 30MPa. [23]

Častěji se setkáme s nízkotlakými plynojemí. Starší výrobní systémy jsou vybaveny většinou tzv. mokkými plynojemí. Tím může být samostatný rezervoár plynu, který je tvořen železobetonovou nebo ocelovou nádrží a ocelovým zvonem do ní vsazeným a ponořeným do kapaliny, nejčastěji vody. Zvon může být případně umístěn přímo na fermentoru. V prostoru mezi zvonem a hladinou se ukládá bioplyn, který když přibývá, zvon se vynořuje, a naopak při jeho úbytku se zase zanořuje. Hmotnost zvonu působící na bioplyn způsobuje přetlak. Hlavní nevýhodou je nutnost zahřívání vody, aby v zimě nezamrzala. U suchých plynojemů se nesetkáme s vodními uzávěry. Téměř vždy se konstruují s uzavřením plynového prostoru membránami. Membránové zásobníky bývají vyráběny ve formě textilních nebo plastických vaků, které jsou kvůli bezpečnosti uloženy v uzavřených ocelových či betonových nádobách. Přetlaku je u tohoto typu plynojemů dosahováno vháněním vzduchu nad membránu. Velmi často bývají používány dvoumembránové zásobníky, přičemž oba obaly jsou z pružného materiálu. Mezi ně je za pomoci ventilátoru vháněn vzduch, který neustále napíná vnější plášť. Tento tlak zároveň vytváří přetlak uvnitř vnitřní membrány, kde se shromažďuje bioplyn. Kapacita těchto plynojemů se pohybuje mezi 100 m<sup>3</sup> až 4 500 m<sup>3</sup>. Hlavními výhodami jsou dlouhá životnost, značná odolnost proti agresivním plynům, nízké finanční náklady na výrobu a údržbu a minimální namáhání vnitřní membrány, neboť je na obou jejích stranách stejný tlak. [12] [23]

#### 4.3.6.4 Bezpečnostní hořák

Bioplynová stanice musí být opatřena hořákem (flérou), který spaluje přebytek produkovaného bioplynu. Cílem jeho použití je zabránění vypouštění nespáleného bioplynu do volné atmosféry při poruchách nebo během plánovaných údržeb. Hořák je dimenzován tak, aby bylo spáleno celkové maximální hodinové množství plynu. Bezpečnostní hořák je zachycen na Obr. 10. [12] [25]

Obr. 10 - Bezpečnostní hořák (fléra) [zdroj: autor]



#### 4.3.6.5 Zařízení na čištění a úpravu bioplynu

- **Sušení bioplynu**

Bioplyn vystupující z fermentoru je ohřátý na jeho pracovní teplotu a obsahuje značné množství vodních výparů, které je zapotřebí odstranit, aby nedocházelo k poškození zařízení zpracovávající bioplyn. Je potřeba řádně odstraňovat zkondenzovanou vodu z potrubí a z plynojemů, kde hrozí ucpávání a koroze. Problému s kondenzátem se u potrubí zabraňuje umístěním odlučovače kondenzátu do jeho nejnižšího bodu. Vysoušení bioplynu lze před některými zařízeními provádět i pomocí zařízení pracujícím na principu tepelného čerpadla, které ochladí bioplyn, odstraní kondenzát a následně sníží relativní vlhkost bioplynu jeho přehřátím. [13] [23]

- **Odstraňování oxidu uhličitého**

Oxid uhličitý je jedním ze dvou majoritních plynů v surovém bioplynu. Kromě korozivních účinků snižuje energetický potenciál bioplynu. Pro jeho odstraňování lze využít několika postupů, mezi které patří membránová separace, fyzikálně chemická absorpce,

adsorpce změnou tlaku nebo chlazení. Nižší účinnost čištění má potom protiproudé sprchování vodou. [13]

- **Odsiřování**

Odstraňování sirovodíku (sulfanu,  $H_2S$ ) z bioplynu ještě před spalováním v kogenerační jednotce je velice žádoucí, neboť sulfan negativně působí na životnost motoru a dalších strojních součástí, s kterými přijde do kontaktu. Sirovodík se v rámci zemědělských bioplynových stanic nachází v především v kejdě prasat. V kejdě skotu a slamnatém hnoji se vyskytuje jen v nepatrném množství. V bioplynu získaném z kejdy prasat se obsah sirovodíku pohybuje v rozmezí 3 – 4,5 mg/l, což je zpravidla mnohem více, než požadují výrobci motorů. [12]

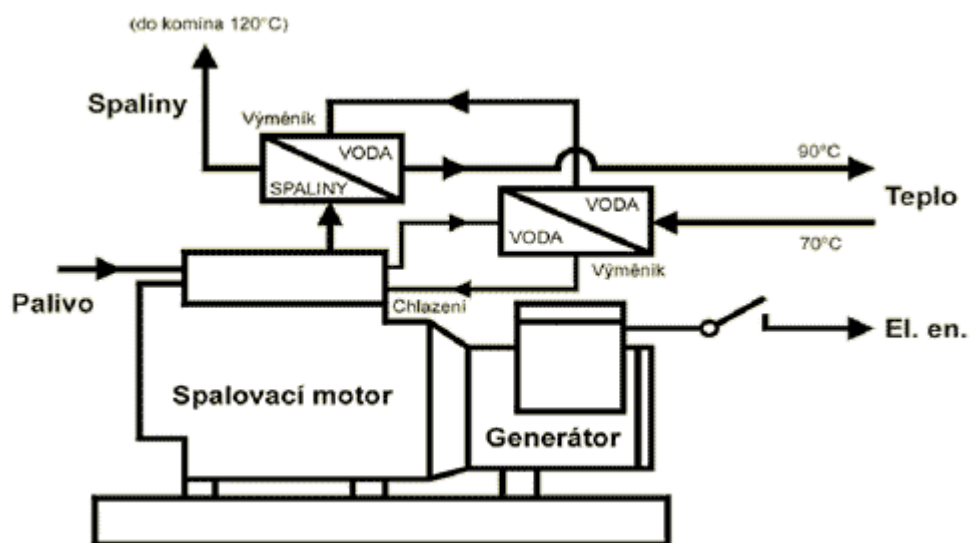
Častý způsob je odstraňování sulfanu pomocí oxidů železa. Tento proces spočívá v profukování plynu granulovanými materiály na bázi oxidů železa nebo vrstvou železných třísek, které lze jednoduše získat při obrábění železných materiálů. Čistící funkce používaných materiálů není nekonečná, tudíž se musí periodicky obměňovat. [3]

Velmi používaným způsobem odstraňování sulfanu se nazývá mikroaerace a spočívá ve vhánění velmi malého množství vzduchu do bioplynu nebo do fermentovaného materiálu uvnitř fermentoru. Veškerý kyslík obsažený v přidaném vzduchu reaguje za přítomnosti sirných bakterií se sirovodíkem za vzniku vody a síry. Voda a síra následně opustí reaktor spolu s digestátem, a jelikož se k oxidaci sulfanu využije veškerý kyslík, ve vystupujícím bioplynu se již žádný nevyskytuje. Jedná se o jednu z biologických metod odsiřování, které jsou vždy provozně i investičně výhodnější než chemické nebo fyzikálně chemické způsoby. [12] [13] [26]

#### 4.3.6.6 Zařízení pro energetické využití bioplynu

Nejběžnějším způsobem zpracování bioplynu je jeho přímé spalování v kogenerační jednotce, jejíž princip je znázorněn na Obr. 11. Kogenerační jednotka je zařízení pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. Jádrem kogenerační jednotky je pístový spalovací motor, upravený pro spalování bioplynu, vyrábějící mechanickou energii, která je následně generátorem převáděna na elektrickou energii. Celková energetická účinnost kogenerační jednotky se pohybuje mezi 80 a 90 %, přičemž 1/3 vytvořené energie představuje energii elektrickou a 2/3 pak energii tepelnou – ta lze využít mimo jiné pro ohřev fermentorů. Z 1 m<sup>3</sup> o průměrném obsahu methanu 60 % lze vyrobit získat 2 kWh elektřiny. [12] [15]

Obr. 11 - Princip kogenerační jednotky s pístovým spalovacím motorem [19]



K provozu kogenerační jednotky není třeba obsluhy, její řídicí systém je totiž plně automatický a zajišťuje trvalou automatickou diagnostiku stavu. Životnost kogeneračních jednotek a stabilita jejich provozu je ovlivněna hlavně složením bioplynu, teplotou, vlhkostí a tlakem a jeho výkyvy. Přítomnost některých nežádoucích příměsí, například sirovodíku, výrazně snižují životnost kogenerační jednotky. Podíl methanu ve spalovaném bioplynu by měl být alespoň 40 %. [12] [15]

Ke spalování bioplynu se jako kogenerační jednotky používají motory typu Ottova motoru, upraveného Diesellového motoru, nebo dvoupalivového motoru. Zážehové Ottovy motory jsou většinou přímo navrhovány pro spalování bioplynu, v tomto případě o obsahu methanu alespoň 45 %. Jelikož se při spalovacím procesu počítá s energeticky chudší směsí spalovaného plynu a větším obsahem kyslíku, je dosahováno vysokého výkonu motoru na jednotku paliva a zároveň nízkých emisí. Účinnost výroby elektřiny činí 34 až 40 % a konstrukční výkon těchto typů motorů je 100 až 1000 kW i více. Jejich hlavní nevýhodou je obecně vyšší pořizovací cena oproti vznětovým motorům.

Jelikož u přestavby Diesellového motoru na plynový pohon není možné samovznícení plynu pouze pomocí tepla vyvolaného stlačením, jako je tomu u originální verze motoru, je nutno opatřit zapalovací systém zážehovými svíčkami. Tato přestavba vznětového motoru na zážehový je složitější oproti změnám v Ottovo motoru, kde se pouze karburátor nebo vstřikovací systém nahrazuje směšovačem plynů. Další variantou přestavby Diesellového motoru je dvoupalivový motor. Jak již jeho název napovídá, probíhá v něm spalování dvou

médií – bioplynu a druhého paliva, což může být například nafta nebo bionafta. Druhé palivo je vstříkováno přímo do válcového prostoru a vlivem zvýšené teploty vyvolané kompresí dojde ke vznícení společně se směsí vzduchu a bioplynu. Dvoupalivové jednotky mají obvykle výkon do 300 kW. [15] [23] [27]

#### 4.4 Produkty anaerobní digesce

##### 4.4.1 Digestát

Digestát je produkt anaerobní fermentace biomasy, obvykle kapalného skupenství charakteru kejdy, využitelný jako kvalitní organominerální hnojivo. Množství vyprodukovaného digestátu je určeno základní hmotovou bilancí zařízení bioplynové stanice. Vzhledem k tomu, že se obvykle zpracovávají materiály s vysokou vlhkostí, je množství digestátu prakticky značné. Voda se totiž z anaerobního systému ztrácí pouze nevýznamnou částí, a to ve stavu páry s odcházejícím bioplynem, avšak enormní většina vody zůstává. [15]

Nijak neupravený digestát vystupující z bioplynové stanice je nejčastěji využíván jako hnojivo. Je možno ho charakterizovat jako tmavou kapalinu bez zápachu, s obsahem sušiny mezi 4 až 10 %. Digestát je produkován kontinuálně, jeho využití je ovšem možné pouze ve vegetační sezóně, je zakázáno ho aplikovat v zimním období. Během této doby je tedy digestát skladován v uskladňovacích nádržích či lagunách. Platí povinnost mít zaopatřené skladovací prostory pro digestát na 150 dní v roce, doporučená skladovací kapacita je pak 180 dní. Digestát se na místo určení aplikuje klasickými prostředky pro aplikaci kejdy či jiných kapalných hnojiv. Při jeho dlouhodobé aplikaci je třeba ho doplňovat běžným organickým hnojením. [15]

Využití digestátu v původní podobě může být pro provozovatele bioplynové stanice výhodné, proto je digestát v některých případech mechanicky separován. Tím vzniká pevná část (tzv. separát) a kapalná část (tzv. fugát). Výhodou je získání nového materiálu s vyšší hodnotou tuhého digestátu a zvýšení homogenity kapalného digestátu. Nevýhody v produkci separátu jsou hlavně zvýšené náklady na energii a zařízení pro jeho produkci a snížení hodnoty zbytkového fugátu po separaci. Obě vzniklé složky lze používat, stejně jako digestát, jako hnojivo. Kromě toho je fugát někdy vrácen zpět do bioplynové stanice. Separát může být použit jako surovina k výrobě hnojiv či substrátů a jako stelivo. [15] [28]

Oddělení tuhé a kapalné fáze lze provádět pomocí několika separačních technologií. Tou nejčastější bývá technologie kejdivých šnekových separátorů. Ne tak častou je pak



technologie dekantačních odstředivek. Minimálně jsou používány technologie jako zahušťování na odparkách, sítopásové lisy, kalolisy, kalová pole apod. Surový digestát (směs tekutin a pevných částic, převážně nezpracovaných částí rostlin) se čerpá do vlastního separátoru. Uvnitř je otáčející se šnek, který dopravuje směs do tlačné zóny. Zde je skrz štěrbinu protlačována separovaná tekutina (fugát) a pevné částice (separát) zůstanou uvnitř síta a postupně jsou vytlačovány ven. Takto získaný separát obsahuje 20 až 35 % sušiny. Kvalita obou vystupujících surovin je regulována tlakem v separátoru a také velikostí ok protlačovacího síta. Na Obr. 12 je zachycen válcový separátor. [15]

*Obr. 12 - Válcový separátor [zdroj: autor]*



## 4.4.2 Bioplyn

### 4.4.2.1 Co je bioplyn

Bioplyn je směs několika plynů, mezi nimiž převahuje metan. Je produktem procesu anaerobní fermentace, kdy za nepřístupu vzduchu dochází k rozkladu biomasy působením anaerobních mikroorganismů. Bioplyn vyrobený v bioplynových stanicích se používá jako palivo do kogeneračních jednotek, jenž pohánějí generátor. Lze ho využít také jako palivo při vytápění nebo po úpravě na kvalitu zemního plynu je distribuován rozvodným systémem. [13]

Jako palivo je průměrný bioplyn, jenž obsahuje 60 % methanu, charakterizován těmito parametry:

- minimální výhřevností asi  $21\,500\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-3}$ ;
- stechiometrickým poměrem vzduch – palivo  $5,71\text{ m}^3_{\text{vzduch}}\cdot\text{m}^3_{\text{plyn}}$ ;
- oktanovým číslem 130 [12]

Fyzikální a chemické vlastnosti vytvořeného bioplynu závisí na materiálových a procesních parametrech. Ideální bioplyn by obsahoval jen dva majoritní plyny – methan ( $\text{CH}_4$ ) a oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ). Obsah methanu se nejčastěji pohybuje od 50 do 75 %, v ideálním případě jej doplňuje 25 až 50 % oxidu uhličitého. Surový bioplyn je však v praxi tvořen příměsí dalších minoritních plynů, které mohou poukazovat na přítomnost některých chemických prvků ve vstupním materiálu nebo na poruchu v průběhu anaerobní fermentace. Obsah všech dalších plynných látek je pokaždé o více než jeden řád nižší, u kvalitního bioplynu se tato hodnota pohybuje v úrovních nanejvýš několika desetin procenta. [3] [23]

#### 4.4.2.2 Složení bioplynu

Kvalita bioplynu je udávána hlavně poměrem dvou majoritních složek, methanu a oxidu uhličitého. Z ekonomického hlediska uskladňování bioplynu se jeho výrobci snaží, aby měl co nejvyšší obsah methanu, a naopak co nejnižší obsah oxidu uhličitého. Obsah uvedených složek je ovlivněn nejen vstupním materiálem, který se v reaktoru zpracovává, ale také typem reaktoru, teplotou, hodnotou pH, skladbou bakteriálních kultur a dalšími vlivy. Bioplyn vystupující z reaktoru by měl mít stálou hodnotu obsahu methanu a pokud dochází ke kolísání o více než 2 %, poukazuje to na změnu fermentačních podmínek. Pokud jeho obsah poklesne pod 55 %, mohlo dojít k technologickému problému, který bude třeba odstranit. Vysoký obsah oxidu uhličitého se projevuje, pokud nebylo dosaženo optimálních podmínek pro anaerobní fermentaci. [3] [23] [29]

Skladba minoritních složek v bioplynu je mnohem pestřejší, chemické sloučeniny obsažené v malém množství se počítají na stovky. Jednou z nejdůležitějších minoritních složek je síra, obsažena v podobě sirovodíku (sulfanu)  $\text{H}_2\text{S}$ . Množství sirovodíku v bioplynu odpovídá složení vstupního materiálu a je velice proměnlivé. Hlavním zdrojem síry jsou látky bílkovinného charakteru, kterými jsou hlavně exkrementy z chovu prasat, vstupní materiál rostlinného původu obsahuje pouze velmi málo bílkovin. Oproti kejdě prasat se v kejdě skotu a slamatém hnoji skotu sulfan téměř nevyskytuje. Množství sirovodíku má značný vliv na korozní poškození technologického zařízení a při jeho vyšším obsahu je nutno provádět

odsiřování. Toto odstraňování se provádí nejčastěji chemickou adsorpcí  $H_2S$  do pevné látky na bázi železa ( $FeO$ ,  $Fe_2O_3$ ). Další možností jeho odstranění je biologická metoda, která využívá sírné bakterie, jež v aerobním prostředí oxidují sirovodík na elementární síru a sírany. [3] [12] [18] [23] [29]

Přítomnost další minoritní složky, kyslíku ( $O_2$ ), s výjimkou počáteční fáze procesu, může být způsobena zavzdušňováním pracovního prostoru reaktoru. Takovýto stav je z bezpečnostního hlediska nežádoucí, neboť směs methanu a vzdušného kyslíku tvoří výbušnou směs a mohlo by dojít k havárii. Bioplyn může obsahovat stopové množství argonu, který je vzdušného původu, oxidu dusného a amoniaku. V případě nalezení vodíku ( $H_2$ ) v bioplynu se nejedná o závadu na jeho energetické kvalitě. Je to však známka toho, že došlo k narušení rovnováhy mezi průběhem acidogenní a metanogenní fáze. To se může stát v případě nadměrného zatěžování fermentoru surovým materiálem, nebo když dochází k potlačování rozvoje metanogenních organismů. [3]

#### 4.4.2.3 Vlastnosti bioplynu

- **Výhřevnost**

Hodnota výhřevnost bioplynu je dána především majoritním obsahem methanu v bioplynu. Podíl ostatních minoritních plynů ( $H_2S$ ,  $H_2$ , ...) a některých dalších hořlavých plynů je prakticky zanedbatelný a v praxi se jejich energetický význam ani neuvažuje. V případě absolutně suchého bioplynu je jeho výhřevnost rovna spalnému teplu. Výhřevnost samotného methanu ( $CH_4$ ) je  $34,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ . Nejnižší výhřevnost má podle všech údajů bioplyn vytvořený při fermentaci kejdy skotu (při obsahu methanu okolo 60 %), a to v rozmezí  $19,6 - 21 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ . [3] [12] [13]

- **Hranice zápalnosti**

Hranicí zápalnosti methanu ve směsi se vzduchem je udávána hodnota 5 až 15 objemových procent. Při této koncentraci methanu již lze hovořit o výbušné směsi. Zápalná teplota bioplynu je stejná, jako zápalná teplota methanu, tedy v rozmezí  $650$  až  $750 \text{ }^\circ\text{C}$ . [3] [12]

- **Korozní vlastnosti**

Důvodem koroze kovových částí strojních prvků v bioplynové stanici je vysoká vlhkost bioplynu, zvýšená koncentrace oxidu uhličitého a značný vliv má také přítomnost sulfanu. Vlhký bioplyn způsobuje potíže především nelegovaným ocelím a lehkým slitinám za přítomnosti vzduchu. Kdežto sulfan způsobuje korozi i v bezkyslíkatém prostředí, představuje nebezpečí pro měď a její slitiny. [23]

## 5 Praktická část práce

### 5.1 Popis bioplynové stanice Krásná Hora

Bioplynová stanice se nachází ve městě Krásná Hora nad Vltavou na Příbramsku. Jejím provozovatelem je ZD Krásná Hora nad Vltavou a.s. Účelem její výstavby byla výroba energie z obnovitelných zdrojů ve formě elektrické energie a tepla. Jedná se o bioplynovou stanici využívající proces mokré dvoustupňové fermentace. Vznikající bioplyn se spaluje v kogenerační jednotce, která produkuje teplo a elektrickou energii. [25]

Jako primární zdroje energie jsou použity kukuřičná siláž, senáž a hovězí kejda. Všechny vstupní suroviny družstvo dodává z vlastních zdrojů a není tak závislá na vnějších dodavatelích. Dávkování vstupních surovin probíhá jednou za hodinu (tedy 12x denně), pevné substráty (siláž, senáž) jsou doplňovány ze zásobníku pomocí doplňovacího šneku, tekutý substrát (kejda) je dávkován do fermentoru čerpadlem. V případě potřeby může být do fermentoru přidáván tekutý fugát, aby byl nastaven požadovaný obsah sušiny. Dávkování surovin navržené výrobcem bioplynové stanice je uvedeno v Tabulce 5. Množství vstupujících surovin však jde nastavit na řídicím počítači, tudíž se skutečné hodnoty mohou lišit v závislosti na aktuálním obsahu živin ve vstupních surovinách a rozhodnutích obsluhy bioplynové stanice. [25]

Tabulka 5 - Množství využívaných surovin [25]

Vstupní množství surovin	Množství	Sušina	Sušina	Množství
	[t.d <sup>-1</sup> ]	[%]	[t.d <sup>-1</sup> ]	[t.rok <sup>-1</sup> ]
Hovězí kejda	35,75	10	3,575	13 050
Kukuřičná siláž	16,16	32	5,171	5 900
Travní senáž	8,08	35	2,828	2 950
<b>Suma</b>	<b>60,00</b>		<b>11,574</b>	<b>21 900</b>

Materiál je dávkován do hlavního železobetonového fermentoru ve tvaru mezikruží, kde je fermentován za pomoci bakterií při mezofilním procesu za teploty cca 40°C. V hlavním fermentoru materiál setrvává průměrně 34 dní a následně se přes volný přepad dostává denně automaticky do koncového fermentoru, kde je doba zdržení v průměru 38 dní. Adekvátně dennímu přivedenému množství substrátu je prokvašený digestát čerpán centrálním čerpadlem do dvoukomorové přečerpávací jímky, která slouží k jímání digestátu před separací a k jímání odseparované tekuté části před přečerpáním do koncového skladu. Koncový sklad

fugátu tvoří dvě jímky o celkovém objemu 5640 m<sup>3</sup> a je dimenzován pro dobu skladování delší než 4 měsíce. Tekuté složky, digestát a separovaný fugát, se používají jako tekutá hnojiva. Separát, jež se vykazuje vysokým obsahem sušiny (25 %), je používán jako stelivo skotu ve stájích v areálu zemědělského družstva. [25]

Produkováný bioplyn je odsiřován odsiřovacím dmýchadlem, situovaným v prostoru kogenerační jednotky, protože je zde zajištěna dostupnost a ochrana před vnějšími vlivy. Dmýchadlo přivádí vzduch z vnějšího ovzduší do oblasti plynového přechodu mezi hlavním a koncovým fermentorem, a to v množství určeného pomocí analýzy plynu, avšak maximálně v 5 % produkce bioplynu. Bioplyn je následně z obou fermentorů veden do nízkotlakého plynojemu o objemu 445 m<sup>3</sup>, umístěného mezi fermentorem a provozní budovou. Bioplyn vedený do kogenerační jednotky může být odkloněn ke spalování do bezpečnostního hořáku. Odklonění, které lze provést ručně nebo se tak stane automaticky, nastává v případech poruchy či údržby kogenerační jednotky, při nadměrné produkci bioplynu nebo při jeho nevyhovující kvalitě. [25]

Bioplyn je spalován v kogenerační jednotce, která se skládá z plynového zážehového motoru a generátoru, který vyrábí elektrický proud. Elektřina je dodávána do sítě přes trafostanici. Spaliny vzniklé při spalovacím procesu v kogenerační jednotce jsou odvedeny přes katalyzátor a spalinový tlumič hluku nad budovu kogenerační jednotky. Vzniklé teplo je použito částečně uvnitř podniku k vytápění administrativní budovy a část je použita k vytápění sušárny. Parametry kogenerační jednotky v Krásné Hoře jsou uvedeny v Tabulce 6. Samotná jednotka je k vidění na Obr. 13. [25]

*Tabulka 6 - Technické parametry kogenerační jednotky [25]*

<b>Technický parametr</b>	<b>Hodnota</b>
Výrobce	GE Jenbacher GmbH
Typ motoru	Zážehový
Elektrický výkon	526 kW
Tepelný výkon	558 kW
Elektrická účinnost	40,39 %
Tepelná účinnost	42,89 %
Celková účinnost	83,28 %

Obr. 13 - Kogenerační jednotka v Krásné Hoře



## 5.2 Metodika analýzy digestátu, vstupních suroviny a jejich vlivu na složení bioplynu

Analýza digestátu, odebraného 5. listopadu 2017, proběhla ve Výzkumně vzdělávacím centru UniCRE. Před samotnou analýzou bylo nutné digestát ještě homogenizovat, neboť obsahoval nerozpuštěné látky (seno), které sedimentovaly u dna. Ve vzorku byla na sušících vahách KERN DBS stanovena sušina a vlhkost. Poté byla ve vysušeném vzorku provedena prvková analýza elementárním spalovacím analyzátořem CHNS. Bylo stanoveno pH vzorku a také byla provedena prvková analýza metodou ICP-OES. Výsledky všech měření jsou uvedeny v následující kapitole, spolu s jejich slovním ohodnocením.

Při návrhu bioplynové stanice bylo počítáno s dávkováním 35,75 tun hovězí kejdy, 16,16 tun kukuřičné siláže a 8,08 tun travní senáže denně. Tyto hodnoty nejsou během provozu konstantní a mění se podle potřeb. Poměr siláž:senáž se však stále drží na hodnotě 70:30, neboť tyto dvě suroviny jsou dákovány do zásobní nádrže dákovace pevných substrátů. Dákování do zásobní nádrže je prováděno krnmým vozem, opatřeným tenzometrickou vahou. Pracovník tedy přesně ví, kolik siláže a kolik senáže musí nabrat, aby dosáhl výše uvedeného poměru. Přísun pevného substrátu do fermentoru se následně uskutečňuje šnekem, a to do hloubky cca 1,5 m pod stálou provozní hladinu. [25]

Hovězí kejda se dávkuje každou půlhodinu čerpadlem z příjmové jímky, kam se kejda dostává samospádem, potrubím ze stájí v areálu podniku. V závislosti na tom, kolik kejdy a vody z proplachů z dojírny přiteče, určuje obsluha denní dávku tekutého substrátu. [25]

K analýze bioplynu se v bioplynové stanici Krásná Hora používá stacionárního měřícího přístroje BC20. Toto zařízení určuje obsah methanu, kyslíku, oxidu uhličitého a sirovodíku ve vytvářeném bioplynu. Koncentrace methanu a oxidu uhličitého se měří pomocí čidla tepelné vodivosti, jenž určuje směšovací poměr těchto plynů podle jejich odlišné tepelné vodivosti. Vzduch přidávaný do bioplynu kvůli odsíření a který by mohl zkreslit výsledek měření, se zjišťuje kyslíkovým čidlem. Jejich měření probíhá kontinuálně a naměřené hodnoty se aktualizují každých 5 minut. Sirovodík je zachycován elektrochemickým čidlem, které pracuje podobně jako baterie, avšak s rozdílem, že vyrábějí energii pouze v případě, je-li přítomen příslušný plyn. Měření sirovodíku je periodické, přičemž časový odstup mezi dvěma měřeními lze na zařízení nastavit od 30 minut do 8 hodin. [25]

## 6 Výsledky a jejich hodnocení

### 6.1 Analýza digestátu

#### Stanovení sušiny

Sušina a vlhkost byla stanovena na sušících vahách KERN DBS. Bylo naváženo 10 g vzorku digestátu a vzorek byl pomocí halogenového zářiče sušen do konstantní hmotnosti při 105 °C. Každé měření bylo 3x opakováno a výsledky byly zprůměrovány. Vysušený vzorek byl ponechán pro další analýzy. Sušina a vlhkost vzorku jsou uvedeny v Tabulce 7.

Tabulka 7 – Stanovení vlhkosti a sušiny

	Sušina [hm. %]	Vlhkost [hm. %]	Popeloviny v sušině [hm. %]
Vzorek digestátu	5,82	94,18	26,09

Vyhláška 341/2008 Sb. udává jako maximální možnou hodnotu vlhkosti digestátu 98 hm. %. Náš vzorek vykazuje nižší vlhkost a této podmínce vyhlášky vyhovuje.



## CNHS spalovací analýza

Vysušené vzorky byly před analýzou rozetřeny v achátové třecí misce. Následně byly spalovací analýzou stanoveny prvky C, N, H a S. Každé měření se opět opakovalo vícekrát a průměrné výsledky elementární analýzy analyzátozem Flash 2000 jsou uvedeny v Tabulce 8.

Tabulka 8 - Stanovení C, N, H a S

	<b>C</b> [hm. % sušiny]	<b>H</b> [hm. % sušiny]	<b>N</b> [g.kg <sup>-1</sup> sušiny]	<b>S</b> [g.kg <sup>-1</sup> sušiny]
Vzorek digestátu	36,6	4,60	30,1	5,80

Vyhláška 341/2008 Sb. říká, že obsah celkového dusíku přepočteného na vysušený vzorek musí být minimálně 0,3 hm. %. Z Tabulky 8 musíme tedy přepočítat obsah dusíku na hmotnostní procenta, a to podle rovnice (2).

$$N = \frac{N \left[ \frac{g}{kg} \text{ sušiny} \right]}{1000 \left[ g \text{ sušiny} \right]} \cdot 100 = \frac{30,1}{1000} \cdot 100 = \mathbf{3 \text{ hm. \%}} \quad (2)$$

Náš vzorek přesahuje minimální požadované množství. Zároveň ho lze také, podle vyhlášky 474/2000 Sb., považovat za vyhovující organické hnojivo, neboť jeho obsah sušiny, patrný z Tabulky 7, se nachází ve vyhláškou požadovaném rozmezí 3 – 13 %. [30]

## pH

U původního vzorku digestátu byla také potenciometricky stanovena hodnota pH. Výsledek je uveden v Tabulce 9.

Tabulka 9 - Stanovení hodnoty pH

	<b>pH</b>
Vzorek digestátu	8,26

Ve Vyhlášce 341/2008 Sb. je stanoveno povolené rozmezí hodnoty pH, a to mezi 6,5 a 9. Náš vzorek s pH 8,26 tedy opět vyhovuje.

## Prvková analýza ICP-OES

Pomocí instrumentace ICP-OES byly ve vzorku digestátu stanoveny vybrané chemické prvky. Stanovení bylo provedeno na ICP-OES spektrometru Optima 8000. Rozklad byl

proveden dvakrát a výsledné koncentrace byly zprůměrovány. Výsledek prvkové analýzy je uveden v Tabulce 10.

Tabulka 10 - Obsah vybraných prvků v digestátu

Prvek	Obsah	Prvek	Obsah	Prvek	Obsah
Al [mg.kg <sup>-1</sup> ]	28,3	Cr [mg.kg <sup>-1</sup> ]	0,53	Ni [mg.kg <sup>-1</sup> ]	0,42
As [mg.kg <sup>-1</sup> ]	< 1	Cu [mg.kg <sup>-1</sup> ]	7,63	P [mg.kg <sup>-1</sup> ]	691
B [mg.kg <sup>-1</sup> ]	2,58	Fe [mg.kg <sup>-1</sup> ]	276	Pb [mg.kg <sup>-1</sup> ]	< 1
Ba [mg.kg <sup>-1</sup> ]	4,36	K [g.kg <sup>-1</sup> ]	3,27	S [mg.kg <sup>-1</sup> ]	366
Be [mg.kg <sup>-1</sup> ]	< 0,2	Li [mg.kg <sup>-1</sup> ]	< 1	Se [mg.kg <sup>-1</sup> ]	< 1
Bi [mg.kg <sup>-1</sup> ]	< 1	Mg [mg.kg <sup>-1</sup> ]	610	Sr [mg.kg <sup>-1</sup> ]	5,67
Ca [g.kg <sup>-1</sup> ]	1,88	Mn [mg.kg <sup>-1</sup> ]	22,4	Ti [mg.kg <sup>-1</sup> ]	2,59
Cd [mg.kg <sup>-1</sup> ]	< 0,2	Mo [mg.kg <sup>-1</sup> ]	< 0,5	V [mg.kg <sup>-1</sup> ]	< 0,2
Co [mg.kg <sup>-1</sup> ]	< 0,2	Na [mg.kg <sup>-1</sup> ]	275	Zn [mg.kg <sup>-1</sup> ]	19,3

Z Tabulky 10 je patrné, že v digestátu jsou v hlavní míře zastoupeny prvky jako vápník a draslík. Ve větší míře se v něm nachází také fosfor, hořčík, síra, železo a sodík. Ve stopových koncentracích (< 50mg.kg<sup>-1</sup>) se vyskytují hliník, bór, baryum, měď, mangan, stroncium, titan a zinek.

Příloha 1 Vyhlášky 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva uvádí limitní hodnoty rizikových prvků ve hnojivech. Tyto prvky a jejich hodnoty pro organická a statková hnojiva se sušinou nejvýše 13 %, mezi něž spadá i námi analyzovaný vzorek digestátu, jsou uvedeny v Tabulce 11. V Tabulce 11 jsou pro porovnání uvedeny i hodnoty naměřené při prvkové analýze. Obsah žádného rizikového prvku se k limitní hranici ani zdaleka nepřibližuje. Pouze rtuť (Hg) bohužel nebyla měřená, tudíž nelze se sto procentní jistotou říci, že nepřesahuje nejvyšší povolenou koncentraci.

Tabulka 11 – Porovnání limitní koncentrace rizikových prvků dle Vyhlášky 474/2000 Sb. a naměřenými hodnotami

Prvek	Limitní koncentrace [mg.kg <sup>-1</sup> sušiny]	Naměřená koncentrace [mg.kg <sup>-1</sup> sušiny]
Cd	2	< 0,2
Pb	100	< 1
Hg	1	<b>neměřeno</b>
As	20	< 1
Cr	100	0,53
Cu	250	7,63
Mo	20	< 0,5
Ni	50	0,42
Zn	1200	19,3

## 6.2 Vstupní suroviny a jejich vliv na složení bioplynu

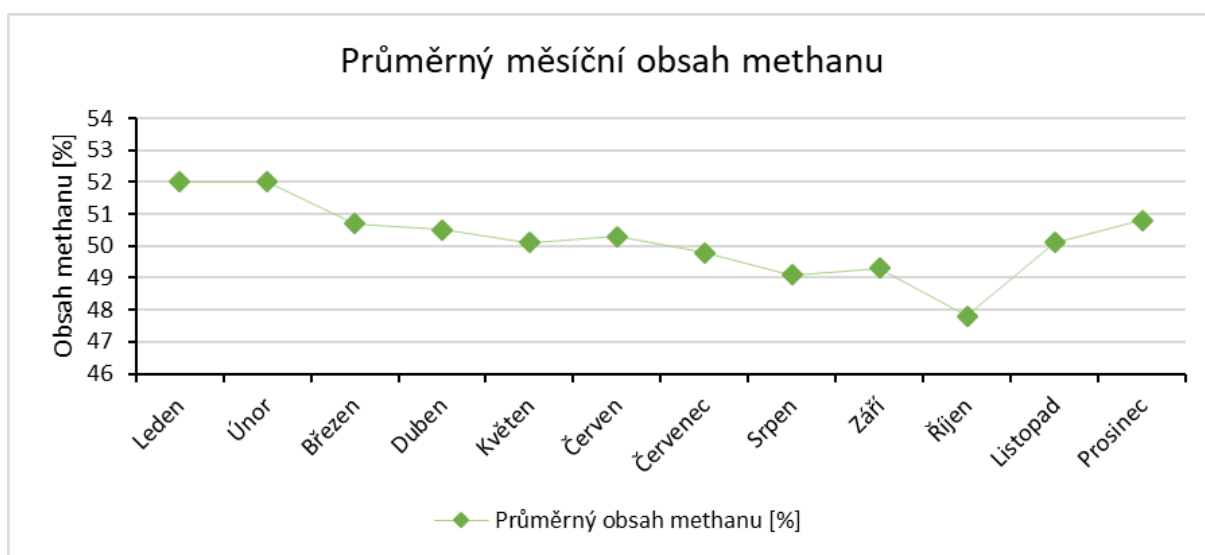
Jako vstupní suroviny do bioplynové stanice v Krásné Hoře se, jak již bylo zmíněno, používají hovězí kejda, kukuřičná siláž a travní senáž. V Tabulce 12 jsou vypsány celkové měsíční dávky pevných substrátů a měsíční průměrný obsah methanu. Nachází se v ní rovněž průměrné hodnoty za každé čtvrtletí roku 2017 a následný průměr za celý rok a rozpočítaná průměrná denní dávka v daném roce. Průměrná denní dávka siláže a senáže byla při návrhu bioplynové stanice stanovena v obou případech vyšší (str. 36, Tabulka 5). Snížená dávka siláže a senáže je kompenzovaná zvýšenou dávkou hovězí kejdy, která se v reálu pohybuje okolo 42 tun denně. Její dávkování se určuje v ovládacím programu v závislosti na naplnění příjmové jímky, aby nedošlo k jejímu přetečení. Dávka kejdy se v ovládacím programu navoluje v metrech krychlových a je složité ji přepočítávat na hmotnost, neboť její hustota se liší podle aktuálního množství srážek a vody z proplachů z dojírny.

Tabulka 12 - Dávky pevných substrátů a obsah methanu [zdroj: autor]

	Dávka siláže [t]	Dávka senáže [t]	Průměrný obsah methanu [%]
Leden	478,5	205,1	52
Únor	405,4	173,8	52
Březen	429,9	184,3	50,7
1. čtvrtletí - průměr	437,9	187,7	51,6
Duben	406,4	174,2	50,5
Květen	433,2	185,6	50,1
Červen	422,4	207,3	50,3
2. čtvrtletí - průměr	420,7	189,0	50,3
Červenec	458,8	251,6	49,8
Srpen	428,5	183,7	49,1
Září	459	196,7	49,3
3. čtvrtletí - průměr	448,8	210,7	49,4
Říjen	429,3	211	47,8
Listopad	451,3	193,4	50,1
Prosinec	449,7	192,7	50,8
4. čtvrtletí - průměr	443,4	199,0	49,6
Rok 2017 - průměr	437,7	196,6	50,2
Rok 2017 - celkem	5252,4	2359,4	-
Denní průměr	14,4	6,5	50,2

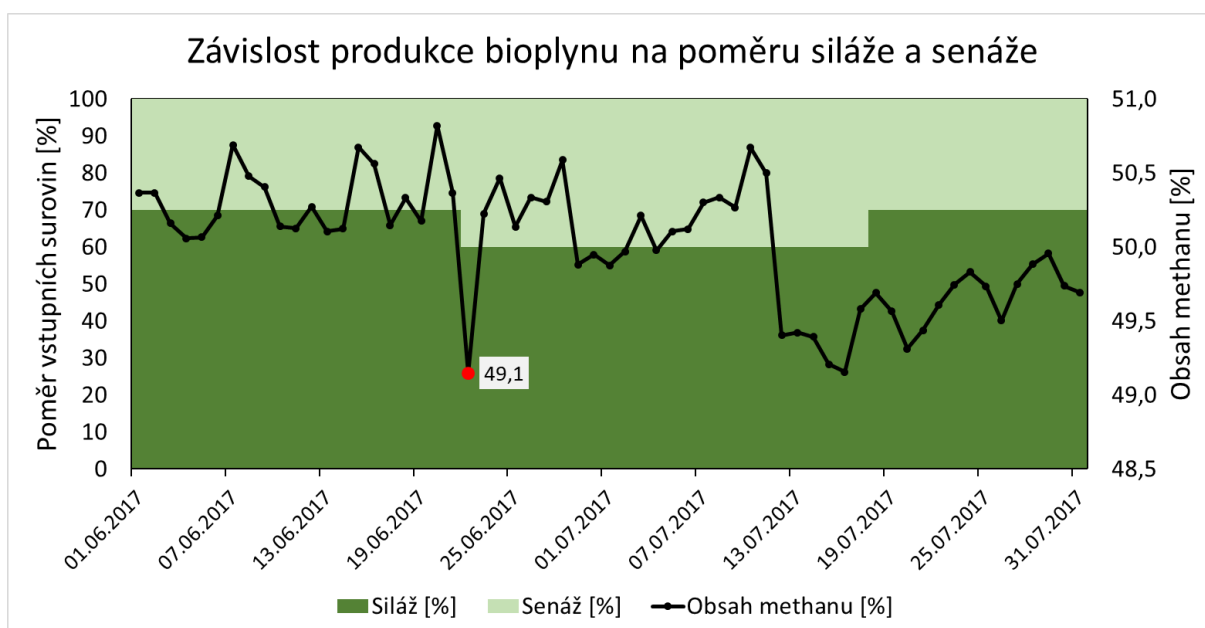
Ačkoliv se v průběhu celého roku 2017 dávkovalo podobné množství vstupních surovin, lze z grafu na Obr. 14 snadno vyčíst, že v průběhu roku měl průměrný obsah methanu klesající tendenci. Rozdíl mezi nejvyšší průměrnou hodnotou, která byla v lednu a únoru stejná (52 %), a nejnižší, která byla v říjnu (47,8 %), jsou 4,2 %. V měsících listopadu a prosinci však již obsah methanu začal růst.

Obr. 14 - Graf průměrného měsíčního obsahu methanu v bioplynu



Dávkovací poměr siláže a senáže byl v roce 2017 od zhruba poloviny června do poloviny července změněn z klasické hodnoty 70:30 na poměr 60:40 (siláž:senáž). Bylo tak učiněno z toho důvodu, že ZD Krásná Hora má velké množství luk s travním porostem, a tudíž vzniká nadbytek senáže a nestíhá se spotřebovat. Senáž má oproti siláži vyšší obsah sušiny, tudíž bylo nutno častěji a rychleji míchat obsah fermentoru a přidávat o něco více tekutého substrátu. Na Obr. 15 (graf) jsou znázorněny poměry siláže a senáže v červnu a červenci 2017 a také křivka znázorňující produkci bioplynu v tomto období.

Obr. 15 - Graf závislosti produkce bioplynu na vstupním poměru siláže a senáže [zdroj: autor]



Na první pohled se zdá, že hned první den při změně poměru se skokově snížil obsah methanu v bioplynu (v Obr. 15 znázorněno). K tomu však došlo z důvodu snížené vstupní dávky, neboť průměrná vstupní dávka siláže a senáže činila v červnu 21,9 tun, avšak v tento den byla celková vstupní dávka pevných substrátů 9,47 tun. V dalších dnech se již celková vstupní dávka pevných substrátů opět pohybovala okolo 22 tun.

Sníženou produkci bioplynu lze v znázorněném období sledovat od třetího týdne se změněným poměrem. Obsah methanu se zde skokově snížil o více než 1 % za jeden den, avšak následně nabral stoupající tendenci. Po konzultaci tohoto snížení s obsluhou bioplynové stanice bylo zjištěno, že změněný poměr vstupních surovin by však neměl mít značný vliv na kvalitu vyráběného bioplynu. Kolísání obsahu methanu v bioplynu okolo hodnoty 50 % je normální a je prakticky nemožné udržet jeho hodnotu na stejné neměnné hodnotě.

## 7 Závěr a doporučení

Hlavním úkolem této práce bylo vysvětlení problematiky technických zařízení zpracování biologicky rozložitelných odpadů v bioplynových stanicích. V práci byly definovány podmínky vzniku biomasy a pojem biomasa celkově. Byla charakterizována suchá a mokrá metoda anaerobní fermentace a u každé uvedeny jejich výhody a nevýhody. Rovněž byly popsány technologické prvky, objevující se ve strojních linkách bioplynových stanic.

Jako výhodnější byla zhodnocena metoda mokré fermentace, pro její možnost automatizace a snížení počtu pracovníků obsluhujících bioplynovou stanicí. Lze toho docílit tak, že materiály se do fermentoru dávkují automaticky, ať už šnekovým dopravníkem v případě pevných substrátů, nebo čerpadlem v případě kapalných materiálů. Odpadá také potřeba otevírat a zavírat fermentor a provoz bioplynové stanice a rovněž produkce bioplynu mohou probíhat kontinuálně.

Referenční bioplynovou stanicí byla zvolena zemědělská bioplynová stanice v Krásné Hoře, která byla v práci rovněž popsána a byly z ní získány hodnoty a vzorky, které byly použity pro praktickou část této práce.

Proběhla analýza digestátu získaného z bioplynové stanice v Krásné Hoře, kde bylo změřeno pH, obsah sušiny a byla rovněž provedena prvková analýza na nebezpečné prvky. Výsledky analýzy nám ukázaly, že digestát vyhovuje všem legislativním podmínkám, které

z naměřených hodnot bylo možné ověřit a z tohoto pohledu tedy lze digestát používat jako hnojivo.

Z hodnot získaných od ZD Krásná Hora a měřených v průběhu celého roku bylo po následném vytvoření tabulek a grafů zjištěno, že ačkoliv se množství vstupních surovin během roku výrazně nelišilo, obsah methanu v bioplynu až do října klesal. V tomto měsíci však také došlo k servisnímu zásahu, kdy bylo vyměněno čidlo v analyzátoru plynu a analyzátor v následujících měsících začal vykazovat vyšší hodnoty methanu. Lze tedy pouze odhadovat, zdali v průběhu roku skutečně docházelo ke zhoršování kvality bioplynu nebo zdali byly pouze měřeny špatné hodnoty z důvodu vadného čidla.

V Krásné Hoře byl v průběhu roku změněn poměr vstupů siláže ku senáži ze 70:30 na 60:40. Bylo tak učiněno z důvodu nutnosti spotřebovat přebytek zásob senáže, kterými podnik disponuje. Ačkoliv se z vytvořeného grafu zdálo, že by změněný poměr mohl mít vliv na snížení produkce methanu, po konzultaci s vedením bioplynové stanice bylo zjištěno, že se pravděpodobně jednalo pouze o dlouhodobou chybu měření z důvodu vadného čidla na analyzátoru plynu, které bylo v říjnu vyměněno a hodnoty z měření obsahu methanu začali stoupat. Lze tedy říci, že mezi vstupními poměry 70:30 a 60:40 není žádný zásadní rozdíl ve vlivu na kvalitu bioplynu. V současné době se dokonce jeví poměr 60:40 jako výhodnější, neboť je žádoucí rychleji spotřebovat zásoby senáže. Výhodou je rovněž to, že náklady na výrobu tuny senáže jsou levnější oproti nákladům na tunu siláže, což je znázorněno v Tabulce 13.

- Náklady na siláž: 1045,- Kč.t<sup>-1</sup>
- Náklady na senáž: 940,- Kč.t<sup>-1</sup>

Tabulka 13 - Rozdíly v nákladech při rozdílných poměrech siláže a senáže [zdroj: autor]

<b>Poměr 70:30</b>			
	<b>Množství [t.d<sup>-1</sup>]</b>	<b>Množství [t.rok<sup>-1</sup>]</b>	<b>Roční náklady [Kč]</b>
<b>Siláž</b>	14,4	5 256	5 492 520
<b>Senáž</b>	6,5	2 373	2 230 150
<b>Celkem</b>	20,9	7 629	7 722 670
<b>Poměr 60:40</b>			
	<b>Množství [t.d<sup>-1</sup>]</b>	<b>Množství [t.rok<sup>-1</sup>]</b>	<b>Roční náklady [Kč]</b>
<b>Siláž</b>	12,54	4 577	4 783 070
<b>Senáž</b>	8,36	3 051	2 868 316
<b>Celkem</b>	20,9	7 629	7 651 386

Po odečtení obou výsledných částek od sebe zjistíme, že za rok se díky změně poměru ušetří 71 285,- Kč. Ačkoliv to je kladný rozdíl, oproti ročním obrátům Zemědělského družstva v Krásné Hoře je to pouze nepatrná částka. Nicméně z dlouhodobého hlediska může hrát i takovéto na první pohled malé uspořené financí značnou roli.



## 8 Seznam použitých zdrojů

- [1] BECHNÍK, B. *Historie a perspektivy OZE - úvod* [online]. 2009 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/energeticka-politika/5348-historie-a-perspektivy-oze-uvod>
- [2] VITTANA. *Advantages and Disadvantages of Renewable Energy* [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://vittana.org/11-advantages-and-disadvantages-of-renewable-energy>
- [3] PASTOREK, Z. - KÁRA, J. - JEVIČ, P. *Biomasa - obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC Public, 2004. ISBN 80-86534-06-5.
- [4] DOŠEK, M. *Energetická soběstačnost a OZE* [online]. 2018 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/aktuality/energeticka-sobestacnost-a-oze.html>
- [5] ČESKO. *Vyhláška č. 341/2008 o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady* [online]. 2008 [cit. 2017-11-08]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-341>
- [6] ČESKO. *Vyhláška č. 477/2012 o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchovávání dokumentů* [online]. 2012 [cit. 2017-11-08]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-477>
- [7] VOŘÍŠEK, M. *Energetický zákon* [online]. 2015 [cit. 2017-11-08]. Dostupné z: <http://www.oenergetice.cz/energeticka-legislativa-cr/energeticky-zakon/>
- [8] VOBOŘIL, D. *Biomasa - využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR* [online]. 2017 [cit. 2017-11-08]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody/>
- [9] SLADKÝ, V. *Fytopaliva - obnovující se zdroj energie (I)* [online]. 2001 [cit. 2017-11-09]. Dostupné z: [www.tzb-info.cz/658-fytopaliva-obnovujici-se-zdroj-energie-i](http://www.tzb-info.cz/658-fytopaliva-obnovujici-se-zdroj-energie-i)
- [10] BECHNÍK, B. *Biomasa - definice a členění* [online]. 2009 [cit. 2017-11-09]. Dostupné z: <http://www.oze.tzb-info.cz/biomasa/5641-biomasa-definice-a-cleneni>
- [11] VALEČKO, Z. *Odpadní biomasa - perspektivní zdroj energie* [online]. 2004 [cit. 2017-11-

- 15]. Dostupné z: <http://www.odpady-online.cz/odpadni-biomasa-perspektivni-zdroj-energie/>
- [12] MALAŤÁK, J. - VACULÍK, P. *Zpracování biologicky rozložitelných odpadů*. Praha: Powerprint, 2008. ISBN 978-80-213-1747-5.
- [13] PASTOREK, Z. *Bioplyn - Obnovitelná energie z biomasy*. Praha: Profi Press, 2012.
- [14] DOHÁNYOS, M. *Anaerobní reaktor není černou skříňkou - teoretické základy anaerobní fermentace* [online]. 2008 [cit. 2017-11-15]. Dostupné z: <http://www.biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>
- [15] MATĚJKA, J. a kolektiv. *Studie využití bioplynu pro energetickou bezpečnost a rozvoj obcí a mikroregionů* [online]. 2014 [cit. 2017-11-15]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/files/ceska-bioplynova-asociace/uploads/files/Studie - BioReg.pdf>
- [16] PETŘÍKOVÁ, V. *Význam cíleně pěstovaných energetických plodin* [online]. 2009 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyznam-cilene-pestovanych-energetickych-plodin>
- [17] ZAFAR, S. *Potential biogas feedstock in middle east* [online]. 2016 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://www.ecomena.org/potential-biogas-feedstock-in-middle-east/>
- [18] KÁRA, J. - MUŽÍK, O. *Možnost výroby a využití bioplynu v ČR* [online]. 2009 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>
- [19] BIOPROFIT. *Anaerobní technologie* [online]. 2007 [cit. 2017-12-06]. Dostupné z: [http://www.bioplyn.cz/at\\_popis.htm](http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm)
- [20] ŠKORVAN, O. *Suchou, nebo mokrou fermentaci?* [online]. [cit. 2017-12-06]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/suchou-nebo-mokrou-fermentaci/>
- [21] KARAFIÁT, Z. - VÍTĚZ, T. - POSPÍŠIL, L. *Bioplynové stanice na „suchou“ fermentaci - šance pro energetické využití biologicky rozložitelných odpadů (BRO)* [online]. [cit. 2017-12-06]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stance-na-suchou-fermentaci-sance-pro-energeticke-vyuziti-biologicky-rozlozitelnych->

odpadu-bro

- [22] ERNST & YOUNG. *Analýza potenciálu energetického využití odpadů v ČR včetně ekonomického a regionálního vyhodnocení* [online]. 2015 [cit. 2017-12-06]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty\\_po8\\_opzp\\_2007\\_2013/\\$FILE/OODP-4\\_3\\_MZP\\_FIN-20160810.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/$FILE/OODP-4_3_MZP_FIN-20160810.pdf)
- [23] STRAKA, F. *Bioplyn - příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů*. Praha: GAS s.r.o., 2003. ISBN 80-7328-029-9.
- [24] ČESKÉ SDRUŽENÍ PRO BIOMASU. *Průvodce výrobou a využitím bioplynu* [online]. 2009 [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: [http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Pruvodce\\_vyrobou\\_vyuzitim\\_bioplynu\\_2.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Pruvodce_vyrobou_vyuzitim_bioplynu_2.pdf)
- [25] RUDA, P. *Souhrnná technická zpráva bioplynové stanice Krásná Hora*. Jistebnice: FARMTEC a.s., 2007.
- [26] POKORNÁ, L. *Anaerobní technologie* [online]. 2017 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://tvp.vscht.cz/anaerobie>
- [27] AL SEADI, T., a kolektiv. *Biogas handbook* [online]. 2008. [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: <http://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>
- [28] ÚSTŘEDNÍ KONTROLNÍ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÝ. *Digestáty a jejich využití v zemědělství* [online]. 2016 [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/458518/Digestaty\\_final2\\_WEB\\_optim.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/458518/Digestaty_final2_WEB_optim.pdf)
- [29] MICHAL, P. *Bioplyn - energie ze zemědělství* [online]. 2012 [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/legislativa/fyto-legislativa/bioplyn-energie-ze-zemedelstvi>
- [30] ČESKO. *Vyhláška č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva* [online]. 2000 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-474>