

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů



Bioplynové stanice v ČR

Bakalářská práce

Autor bakalářské práce: Kamila Tůmová

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Josef Pošta, CSc.

2017 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kamila Tůmová

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

**Bioplynové stanice v ČR**

Název anglicky

**Biogas plants in the Czech Republic**

---

### **Cíle práce**

Vypracovat přehled bioplynových stanic v ČR, soustředit poznatky a zkušenosti s jejich provozem, zhodnotit jejich význam a perspektivy.

### **Metodika**

Osnova práce:

- 1) Úvod
- 2) Cíl a metodika práce
- 3) Bioplynové stanice v ČR – přehled a určení, technické parametry
- 4) Technologické procesy v bioplynových stanicích
- 5) Způsoby provozování
- 6) Technicko-ekonomické hodnocení provozu bioplynových stanic
- 7) Závěry
- 8) Literatura

Rámcová metodika:

Na základě literární rešerše formou výkladu popsat principy funkce bioplynových stanic. Popsat hlavní typy bioplynových stanic. Popsat a zhodnotit zkušenosti s provozem bioplynových stanic a posoudit jejich perspektivy.

### **Doporučený rozsah práce**

40 – 50 stran

### **Klíčová slova**

bioplynová stanice, fermentor, kogenerační jednotka, plynový spalovací motor

---

### **Doporučené zdroje informací**

- Matějka, J.: Projekt TA03020421 Technologická jednotka pro omezenou lokální výrobu biometanu nahrazujícího fosilní paliva především v dopravě a zemědělství. TAČR, program ALFA MPO: Bioodpad-bioplyn-energie. České ekologické manažerské centrum, 2009, dostupné na [http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Bioplyn\\_sesit.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Bioplyn_sesit.pdf)
- Papež, K.: Jak fungují bioplynové stanice. Hospodářské noviny, ISSN: 1213-7693, 23.6.2015
- Straka, F.: Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]. 3., zkrác. vyd. Praha: GAS, 2010, 305 s. ISBN 978-80-7328-235-6
- Wang, Y. et al.: CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and NO emissions from stored biogas digester effluent of pig manure at different temperatures. Agriculture, Ecosystems and Environment, Elsevier, ISSN 0167-8809, Volume 217, February 01, 2016,
- 

### **Předběžný termín obhajoby**

2016/17 LS – TF

### **Vedoucí práce**

prof. Ing. Josef Pošta, CSc.

### **Garantující pracoviště**

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Elektronicky schváleno dne 1. 3. 2016

**doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2016

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 24. 03. 2017

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Bioplynové stanice v ČR“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne: 28.3.2017

---

### **Poděkování**

Ráda bych poděkovala prof. Ing. Josefovi Poštovi, CSc. za odborné vedení práce, cenné rady a věcné připomínky při konzultacích a vypracování této bakalářské práce.

# Bioplynové stanice v ČR

## Anotace

Tato bakalářská práce pojednává o principu bioplynových stanic a jejich významem. Práce se zabývá vznikem bioplynu, jeho využitím a procesy probíhající v bioplynových stanicích. Dále popisuje různé typy bioplynových stanic a technologie, které se v nich používají. Závěr práce je věnován stručnému technicko-ekonomickému hodnocení.

**Klíčová slova:** bioplyn, bioplynová stanice, fermentace, kogenerace, kogenerační jednotka

## Biogas plants in the Czech Republic

## Annotation

This bachelor thesis deals a principle of biogas plants and their importance. The thesis deals with description of biogas creation, use of biogas and processes in biogas stations. Furthermore, this thesis describes different types of the stations and technologies used in them. In the conclusion of the thesis is a brief technical-economic evaluation.

**Keywords:** biogas, biogas plant, fermentation, cogeneration, combined heat and power unit

# Obsah

1. Úvod .....	1
2. Cíl a metodika práce .....	2
3. Biomasa .....	3
4. Bioplyn.....	3
4.1 Složení bioplynu .....	4
4.2 Podrobnější popis vzniku bioplynu .....	4
4.3 Bioplynové procesy .....	7
4.3.1 Aerobní fermentace .....	7
4.3.2 Anaerobní fermentace .....	9
4.4 Vlastnosti bioplynu .....	9
4.5 Vstupní suroviny pro výrobu bioplynu .....	10
4.5.1 Substráty ze zemědělství .....	11
4.5.2 Substráty z potravinářského průmyslu .....	11
4.5.3 Biologicky rozložitelné komunální odpady .....	11
4.6 Využití bioplynu.....	12
5. Bioplynová stanice.....	14
5.1 Historie bioplynu a bioplynových stanic na území ČR .....	15
5.2 Bioplynové stanice dle vstupů .....	15
5.2.1 Zemědělské .....	16
5.2.2 Průmyslové .....	16
5.2.3 Komunální.....	16
5.3 Mapa bioplynových stanic v ČR .....	17
6. Technologické procesy v bioplynových stanicích .....	19
6.1 Technologie suché fermentace .....	19
6.2 Technologie mokré fermentace .....	20
7. Standardní řešení bioplynových stanic.....	20
7.1 Fermentor .....	21
7.1.1 Hlavní a koncový fermentor.....	22
7.1.2 Horizontální konstrukční typ.....	22
7.1.3 Vertikální konstrukční typ .....	23
7.2 Plynojem .....	24
7.3 Kogenerační jednotka .....	25
7.3.1 Kogenerační jednotky se zážehovými plynovými motory .....	26
7.3.2 Kogenerační jednotky se vznětovými motory .....	27

7.3.3	Generátor.....	28
7.4	Uvedení bioplynové stanice do provozu.....	29
8.	Způsoby provozování v ČR.....	30
8.1	Legislativní úprava.....	30
8.2	Zelený bonus a výkupní ceny .....	32
9.	Technicko-ekonomické hodnocení provozu bioplynových stanic .....	34
9.1	Investiční náklady.....	35
9.2	Příjmy z provozu.....	36
9.3	Provozní náklady .....	36
9.4	Doba návratnosti investice.....	37
10.	Závěr .....	39
11.	Literatura .....	40
12.	Seznam obrázků.....	43



# 1. Úvod

V dnešní technické době rapidně stoupá spotřeba energie. Neobnovitelné zdroje ubývají a vážou na sebe řadu problémů, proto je potřeba tyto problémy řešit. Jedno z možných řešení může být využívání alternativních zdrojů energie. Mezi tyto zdroje patří především sluneční energie, energie z větrných a vodních elektráren a energie z biomasy.

Bioplyn je starý, tak jako život na naší zemi a tvorba bioplynu je tudíž přirozenou součástí přírody. Bioplynu v přírodě vzniká například v trávicích traktech přežvýkavců nebo mokřinách. Uvolňovat se může i ze skládek odpadů, rýžovišť nebo hnojišť.

Novodobá historie bioplynu začíná koncem 19. století, a v dnešní době se bioplyn mezi obnovitelnými zdroji profiluje jako moderní možnost získávání energie. Nejzajímavějším způsobem z hlediska spolehlivosti a regulovatelnosti je v současné době vyrábět elektrickou energii z biomasy prostřednictvím bioplynových stanic. V České republice dochází v posledních letech k jejich významnému rozvoji. Podíl na tomto rozvoji má nepochybně ekonomický a ekologický aspekt provozování těchto zařízení. Plnému rozvoji a potenciálu bioplynových stanic však brání především řada legislativních, administrativních, a technických bariér.

Předností bioplynových stanic je využití kogeneračních jednotek, které vyrábí jak elektrickou, tak i tepelnou energii, což znamená, že tato technologie má vysokou účinnost. K dalším výhodám patří i efektivní tvorba organického hnojiva a řešení nakládání s odpady. Bioplynové stanice mohou být řešením problémů likvidace komunálního odpadu na skládkách, neboť Evropská unie se snaží snížit obsah biologicky rozložitelného komunálního odpadu ukládaného na skládkách. Spalování těchto odpadů ve spalovnách je z důvodu vysokého obsahu vody energeticky a ekonomicky náročné a tím pádem i nevýhodné.

## 2. Cíl a metodika práce

Cílem této práce je na základě literární rešerše formou výkladu popsat principy funkce bioplynových stanic, soustředit poznatky a zkušenosti s jejich provozem a zhodnotit jejich význam a perspektivy.

### 3. Biomasa

Biomasa je jakákoliv organická složka živočišného či rostlinného původu, která je biologicky rozložitelná. Může jít o části výrobků, odpadů, zbytků z provozování zemědělství a lesnictví, zemědělské produkty, které jsou pěstované pro energetické účely a rovněž biologicky rozložitelná část komunálního a průmyslového odpadu.

Biomasa je všude kolem nás a v tuzemských podmínkách jde o obnovitelný zdroj energie, který by mohl v budoucnu nahradit zásoby uhlí a dalších fosilních paliv, které se v poslední době neustále zmenšují.

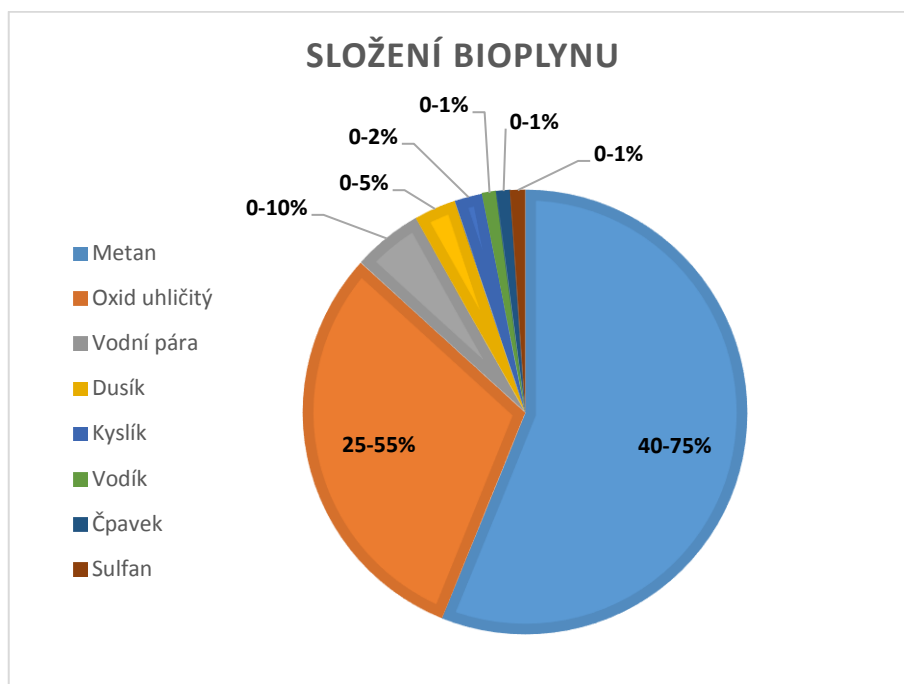
Biomasu k energetickým účelům lze také cíleně pěstovat, a to pomocí energetických plodin (řepka olejná, kukuřice, cukrová řepa atd.) nebo energetických lesů. Biomasu lze využít jako vstupní palivo k výrobě bioplynu, dřevoplynu a k výrobě kapalných paliv. Lze jí také využít k výrobě tepla a elektřiny, ale může sloužit i k pohonu vozidel. energii z biomasy získáváme chemickými nebo biochemickými procesy. Mezi základní technologie patří spalování, které doplňují technologie jako je zplyňování, pyrolýza, zkapalňování, esterifikace, fermentace, lisování, kvašení a jiné. [1]

### 4. Bioplyn

Bioplyn je směs plynů vznikajících při anaerobní digesci, což je proces, při kterém dochází k rozkladu organických materiálů (fermentace) za nepřístupu vzduchu ve vlhkém prostředí za pomoci působení anaerobních kultur mikroorganismů. Při tomto procesu, který může vznikat samovolně v přírodě (v rašeliništích, na dně jezer, v bachoru přežvýkavců atd.) nebo řízeně v bioplynových stanicích, dále vzniká krom bioplynu digestát. Digestát je tuhý zbytek z anaerobní digesce, který se dále využívá jako hnojivo, přídavek do kompostu nebo k úpravě povrchu terénu. [2]

## 4.1 Složení bioplynu

Bioplyn se skládá zejména z metanu (40-75 %), oxidu uhličitého (25-55 %) a malého množství dalších příměsí, jako například dusíku, kyslíku, vodíku, čpavku, vodních par a sulfanu. Podrobnější složení bioplynu je znázorněno na obrázku č. 1 .



Obrázek 1: Složení bioplynu [3]

## 4.2 Podrobnější popis vzniku bioplynu

Bioplyn vzniká při anaerobní digesci. Jedná se o proces, kdy směsná kultura bakterií v několika dílčích krocích rozkládá organickou hmotu. Produkt jedné skupiny bakterií se stane substrátem pro další skupinu. Celý tento proces je chemicky složitý a samotný bioplyn vzniká až v poslední fázi celého procesu. Tento proces můžeme rozdělit do čtyř základních fází.

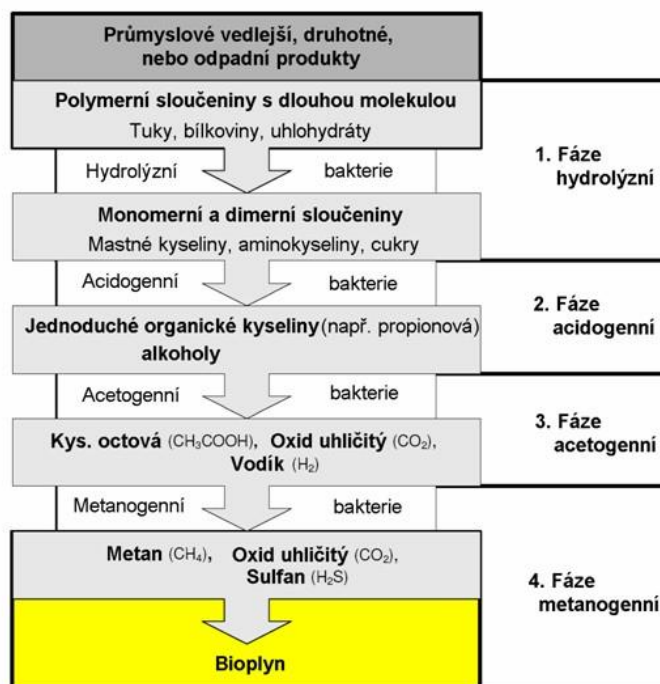
1. Hydrolýza – Tato fáze začíná, když prostředí obsahuje vzdušný kyslík a dalším předpokladem je vlhkost, která musí dosahovat více než 50 % hmotnostního podílu.

Hydrolytické mikroorganismy pomocí svých enzymů rozkládají vysokomolekulární organické látky (bílkoviny, uhlovodíky, tuky, celulóza)

na nízkomolekulární sloučeniny rozpustné ve vodě (aminokyseliny, jednoduché cukry, mastné kyseliny, voda...), které již mohou procházet dovnitř buněk. Rychlost hydrolýzy závisí na vstupních substrátech. Cukry společně se škrobem se přeměňují rychle, tuky pomaleji a lignin z dřevnatých částí rostlin se hydrolyticky nerozkládá. [3]

2. Acidogeneze – V této fázi dochází k rozkladu produktů hydrolýzy na organické kyseliny, oxid uhličitý, sirovodík a čpavek. Zbytek kyslíku ze substrátu je při této přeměně zcela spotřebován. Tuto přeměnu provádějí fakultativní mikroorganismy, které jsou schopné činnosti jak v kyslíkatém prostředí, tak i v bezkyslíkatém a vytvářejí tak trvalé anaerobní prostředí pro již jen anaerobní organismy. [3]
3. Acetogeneze – Jinak označována jako mezifáze. Během této fáze dochází pomocí acidogenních kmenů bakterií k přeměně vyšších organických kyselin na oxid uhličitý, vodík a kyselinu octovou, která je pak nejdůležitější vstupní látkou pro následnou tvorbu metanu. [3]
4. Metanogeneze – V poslední čtvrté fázi, dochází pomocí metanogenních acetotrofních bakterií k rozkladu kyseliny octové na oxid uhličitý a metan (již hlavní složky bioplynu). Tato fáze probíhá přibližně pětikrát pomaleji než předchozí tři fáze. [3]

Pro lepší pochopení jsou na obrázku č. 2 všechny tyto fáze graficky znázorněny.



Obrázek 2: Fáze výroby bioplynu anaerobní fermentací [4]

Z předešlého textu je zřejmé, že celý proces tvorby bioplynu je složitý proces a jeho rychlost závislý na mnoha faktorech. Pro stabilitu procesu anaerobní fermentace organických látek je velice důležitá optimální rovnováha v jednotlivých fázích, které probíhají s odlišnou rychlostí. Proto je třeba přizpůsobit konstrukci fermentoru i dávkování vstupního substrátu.

Kvalita bioplynu je určována podle obsahu metanu, který lineárně určuje jeho výhřevnost. Obecně platí, že čím vyšší je teplota, při němž bioplyn vzniká, tím rychleji dochází k rozkladu a zároveň k vyšší produkci bioplynu, ale tím se zkracuje doba vyhnívání a tím nižší je obsah metanu ve vzniklém bioplynu. Naopak nežádoucí složkou je sirovodík, který je po spalování příčinou tvorby kyseliny sírové, která při kondenzaci ze spalin způsobuje korozi. Sirovodík je nutno z bioplynu odstranit například pomocí chemické adsorpce do pevné látky FeO nebo Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. [5]

Aby výtěžnost metanu ze substrátu byla maximální je potřeba metanovým bakteriím zajistit co nejpříznivější životní podmínky, kterým jsou:

- vlhké prostředí (min 50 %)
- anaerobní prostředí
- hodnota pH (6,5 - 7,5)
- přísun živin
- velké kontaktní plochy
- nepřítomnost toxických a inhibujících látek
- zabránění přístupu světla (světlo bakterie neničí, ale brzdí proces)
- zatížení vyhnívacího prostoru (0,5-1,5 kg organické sušiny na m<sup>3</sup> za den)
- rovnoměrný přísun substrátu
- odplynování substrátu a stálou teplotu (0°C-70°C). [3,5]

### 4.3 Bioplynové procesy

Bioplynové procesy můžeme dělit do dvou základních skupin, podle toho, jestli procesy probíhají za přístupu vzduchu (aerobní fermentace) nebo naopak bez přístupu vzduchu (anaerobní fermentace).

#### 4.3.1 Aerobní fermentace

Tento druh fermentace je také znám pod pojmem kompostování, což je biologický proces přeměny biologického odpadu za přístupu vzduchu na kompost. Aby k tomuto procesu docházelo je zapotřebí hrubší a vzdušnější materiál, díky němuž mají mikroorganismy dostatečný přístup k vzduchu.

Kompostování lze rozdělit do tří kategorií. Na domácí kompostování, které probíhá v domácnostech, respektive na zahrádkách a proces výroby kompostu trvá řádově roky (při použití urychlovačů lze proces zkrátit na měsíce). [6]

Další kategorií je komunitní kompostování. Na této formě kompostování se podílí skupina lidí (škola, kolektiv zaměstnanců podniku, domácnosti žijící v sousedství apod.) s cílem využít svůj bioodpad a snížit tak své finanční náklady na pořízení. Do tohoto kompostu lze ukládat pouze zbytky z údržby zeleně a zahrad a zbytky rostlinné. Odpad pocházející z domácností se do komunitního typu kompostování ukládat nesmí. Takto vzniklý kompost slouží pouze pro potřeby komunity a je definován zákonem č. 314/2006Sb., kterým se mění zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 140/1961 Sb., trestní zákon, ve znění pozdějších předpisů. [6]

Třetí kategorií kompostování je průmyslové kompostování, kdy se biologický odpad zpracovává v centrálních kompostérech a podle procentuálního obsahu těžce rozložitelného bioodpadu se doba kompostování pohybuje mezi 60–100 dny. Během tohoto časového rozmezí je zapotřebí kompost jednou či dvakrát překopat (interval mezi jednotlivými překopávkami musí být delší než 21 dní).

Kompostování je složitý kontinuální proces, který probíhá ve třech fázích. První fáze se nazývá termofilní fáze a je v ní zahájen rozklad snadno rozložitelných makromolekul (cukry, bílkoviny, škrob atd.). Tato fáze trvá přibližně tři až čtyři týdny a vlivem aktivity mikroorganismů, které rozkládají celulózu a další součásti dřevní hmoty, roste teplota v této fázi na 50 až 70°C. Při této teplotě dochází k hygienizaci kompostu (vlivem teploty jsou ničeny patogenní organismy). Materiál je rozložen na dusičnany, oxid uhličitý, čpavek, aminokyseliny a polysacharidy. Po této fázi nastává fáze přeměny neboli mezofilní fáze. Tato fáze trvá šest týdnů a mikrobiologické aktivita klesá. Důsledkem toho pozvolně klesá i teplota na 40 až 45 °C. Začínají se zde objevovat drobní živočichové, kteří kompost homogenizují. Kompost tak získává stejnoměrnou hnědou barvu a drobivou strukturu. Nakonec přichází fáze dozrávání, kdy teplota klesá až na hodnotu okolní teploty. Hnojivý účinek není tak vysoký jako v předchozí fázi, ale zvyšuje se však účinnost humusu. [6,7]



### 4.3.2 Anaerobní fermentace

Druhým způsobem zpracovávání biologického odpadu je anaerobní fermentace, která se od aerobní fermentace liší zejména v technologickém procesu. Při tomto procesu se zabraňuje přístupu vzduchu a proces fermentace probíhá v tzv. fermentorech, za optimálně řízených podmínek. Mezi tyto podmínky patří například obsah sušiny, reakční teplota nebo pH. Tímto způsobem zpracovávání bioodpadu vzniká bioplyn, ze kterého se pomocí kogeneračních jednotek vyrábí elektrická a tepelná energie. Druhotný produkt, který při tomto procesu vzniká se nazývá digestát a využívá se jako kvalitní biologické hnojivo. Díky tomu, že proces probíhá v plynotěsném reaktoru a není doprovázen žádnými dalšími emisemi nežádoucích chemických složek, je výrazně redukován přirozený zápach z rozkladu organické hmoty. Anaerobní fermentaci lze podle obsahu sušiny rozdělit na suchou a mokrou fermentaci. [7,8]

Nevýhodou oproti aerobní fermentaci jsou vyšší investiční náklady na používané technologie a s tím i spojené provozní náklady. Tuto nevýhodu však kompenzuje energetický přínos bioplynu (výroba a prodej elektřiny, tepla a pohon dopravních prostředků).

## 4.4 Vlastnosti bioplynu

Bioplyn je vysoce hodnotným nositelem energie, a proto může být mnohostranně využíván. Jeho výhřevnost je v závislosti na obsahu metanu mezi 5,5 a 7,0 kWh/m<sup>3</sup>, v průměru tedy okolo 6,0 kWh/m<sup>3</sup>. Bioplyn je díky své hustotě 1,2 kg/m<sup>3</sup> lehčí než vzduch, což je důležité, neboť to znamená, že se nemůže hromadit u podlahy nebo v prohlubních. Zapalovací teplota je relativně vysoká a dosahuje okolo 700 °C, což je z bezpečnostního hlediska příznivý faktor. [9]

V tabulce č. 1 jsou znázorněny vlastnosti bioplynu v porovnání s jinými hořlavými plyny.

Plyn	Jednotky	Bioplyn	Zemní plyn	Propan	Metan	Vodík
Výhřevnost	kWh/m <sup>3</sup>	6	10	26	10	3
Hustota	kg/m <sup>3</sup>	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
Hustota v poměru k hustotě vzduchu		0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
Zapalovací teplota	°C	700	650	470	650	585
Max. rychlost postupu plamene ve vzduchu	m/s	0,25	0,39	0,42	0,47	0,43
Rozsah zapálené koncentrace plynu ve vzduchu	%	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80
Teoretická potřeba vzduchu	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	5,7	9,5	23,9	9,5	2,4

Tabulka 1: Spalovací parametry bioplynu ve srovnání s jinými hořlavými plyny [3]

#### 4.5 Vstupní suroviny pro výrobu bioplynu

Jako vstupní surovinu pro bioplynovou stanici může být v podstatě jakýkoliv druh biomasy, který splňuje základní podmínky materiálu vhodného k efektivní fermentaci. Podíl organických látek v substrátu musí být minimálně 50 % a obsah sušiny mezi 5-35 %. Dále by měl být poměr uhlíku a dusíku 20–40 : 1 a hodnota pH v rozmezí od 6,5–7,5. Na kvalitě a vlastnostech vstupního materiálu významně závisí výtěžnost bioplynu.

Obrázek č. 3 znázorňuje graf ukazující teoretické hodnoty výtěžnosti u jednotlivých surovin. Podle původu biomasy můžeme substráty dělit do tří základních skupin. Substráty ze zemědělství, z potravinářského průmyslu a na biologicky rozložitelné komunální odpady. [10]

#### 4.5.1 Substráty ze zemědělství

V zemědělství vzniká nejvíce zbytkové biomasy. Jde především o odpady z živočišné výroby a zbytky rostlin. I přestože v poslední době stavy hospodářských zvířat v ČR klesají, tvoří statková hnojiva významný potenciál substrátů pro bioplyn. Exkrementy hospodářských zvířat je díky zpříšňující se legislativě obtížnější využívat jako hnojivo v rostlinné výrobě, a proto se výborně hodí jako vstupní surovina.

Hovězí i prasečí kejda se dá dobře kombinovat s ostatními substráty, a to především kvůli tomu, že mají relativně nízký obsah sušiny. Kejda je obvykle přiváděna k bioplynové stanici přímo nebo přes předjímku. Dalšími substráty, které vznikají v zemědělství jsou zbytky rostlinné výroby a cíleně pěstované energetické plodiny. Mezi tyto plodiny patří například kukuřice, která se pro výrobu bioplynu hodí svým vysokým výnosem energie na hektar. Dále sem můžeme zařadit žitnou siláž z celých rostlin, řepu nebo travní siláž. [11,12]

#### 4.5.2 Substráty z potravinářského průmyslu

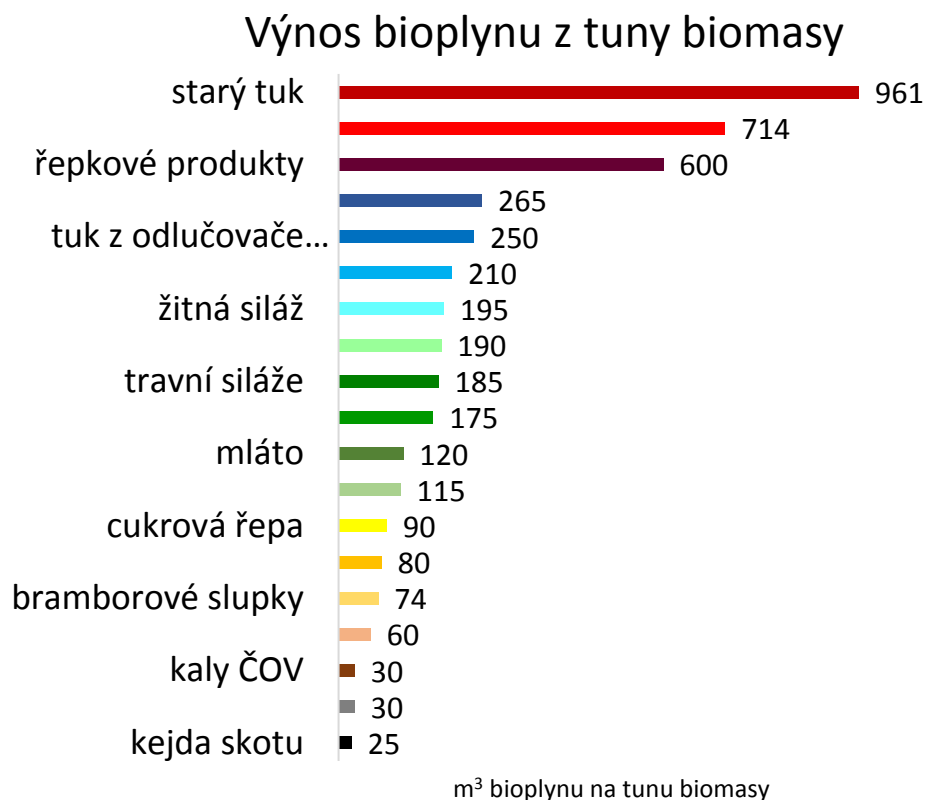
Přestože se materiály z potravinářského průmyslu dají často využít efektivně i jiným způsobem (např. jako krmiva či hnojiva) nebo je naopak nelze z důvodu obsahu nebezpečných látek využít po fermentaci jako hnojiva, představují určitý potenciál i pro zpracování v bioplynových stanicích. Zajímavé je například zpracování kuchyňských odpadů ze stravovacích zařízení. [11,12]

#### 4.5.3 Biologicky rozložitelné komunální odpady

Komunální sféra je dalším významným zdrojem biomasy. Biologický odpad tvoří asi 40 % komunálního odpadu a za určitých podmínek ho lze také využít k výrobě bioplynu. Jedná se například o separované odpady z domácností, z údržby obce, z činností živnostníků nebo můžeme hovořit také o odpadech z jatek. Kvalita těchto odpadů obvykle výrazně kolísá, proto znesnadňuje jejich zpracování a klade větší požadavky na kvalifikaci obsluhy. Pro zpracování tohoto materiálu je nutné pamatovat na chemické nečistoty (rizikové prvky) nebo na vysoký obsah dusíku, ale také i na mechanické nečistoty a příměsi. Tyto nečistoty se musí odstranit strojně nebo manuálně, aby neohrožily chod

bioplynové stanice. [12]

Dalším důležitým zdrojem biomasy jsou odpady z údržby zeleně a kaly z čištění odpadních vod. [11]



Obrázek 3: Výnosnost bioplynu podle vstupních surovin [10]

## 4.6 Využití bioplynu

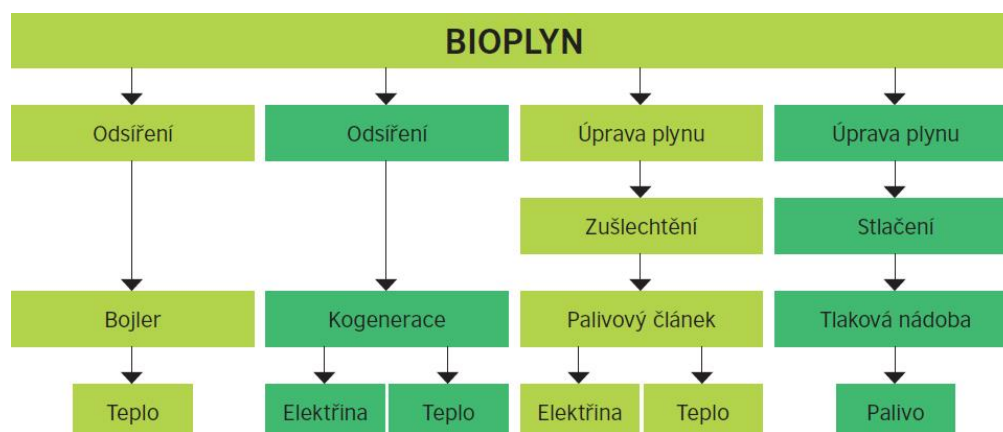
Bioplyn má velmi široké spektrum jeho využití a na rozdíl od jiných obnovitelných zdrojů energie (např. voda, slunce, vítr ...) dokáže vyprodukovat nejen teplo a elektrickou energii, ale má i mnoho jiných způsobů využití.

Nejjednodušší použití bioplynu, je jeho přímé spalování v kotlích a přeměna energie v něm na teplo. Tedy například při vaření, topení, ohřevu vody a podobné. Tento způsob se dnes prakticky skoro nevyužívá, jelikož s postupem času a vývojem nových technologií se tento způsob ukázal jako energeticky i ekonomicky neefektivní a přešlo se k účinnější kombinované výrobě tepla a elektrické energie. [5]

Další způsob využití bioplynu je kogenerace. Jedná se o nejčastější případ využití bioplynu, kdy se bioplyn využívá k tvorbě tepla a elektřiny. V tomto případě je bioplyn využíván jako palivo pro spalovací motor, který pohání generátor pro výrobu síťového napětí. Teplo z chlazení motoru spolu s výfukovými plyny se z části (25-49%) využívá k ohřevu fermentoru, ostatní teplo lze například využít k vytápění bioplynové stanice nebo přilehlých objektů. Při této metodě dochází k přeměně na tepelnou a elektrickou energii s 90% účinností. Přičemž přibližně jedna třetina je přeměněna na elektrickou energii a dvě třetiny energie na teplo. [5]

Trigenerace je druh kogenerace, při které se krom výroby tepla a elektrické energie vyrábí i chlad, který lze využít pro klimatizaci budov. Tato metoda se příliš nevyužívá, a to z důvodů vyšších investičních nákladů, ale nabízí efektivní využití přebytečného tepla v teplých měsících. [5]

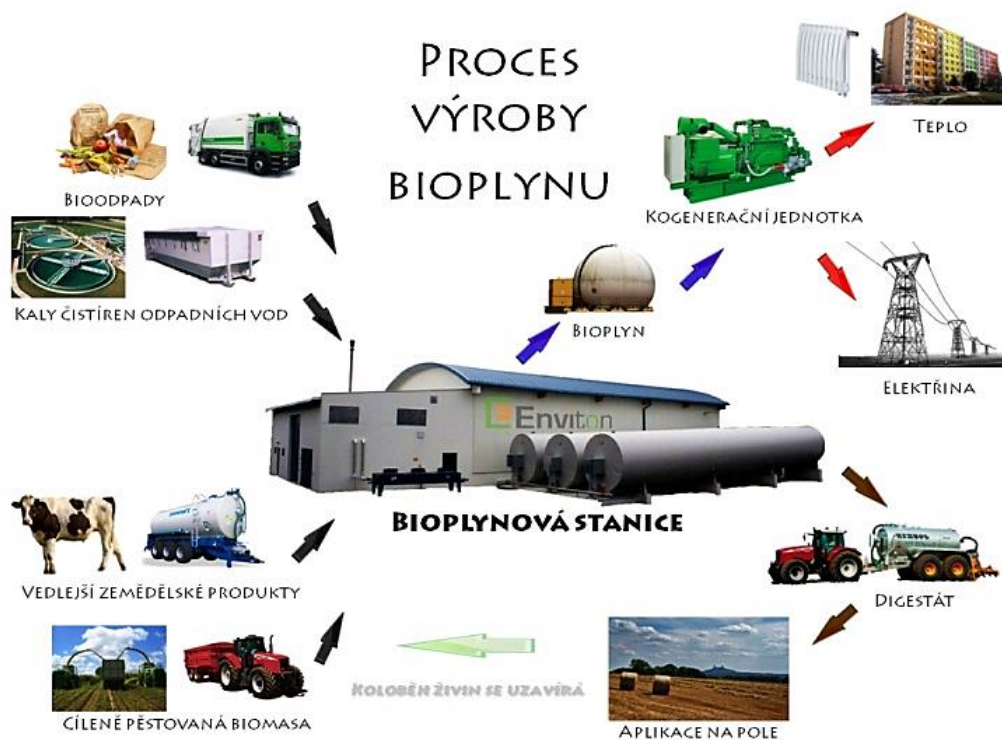
Dále se bioplyn využívá jako pohon spalovacích motorů a turbín k získání mechanické energie, nebo jako pohon dopravních prostředků. Bioplyn se dá také využít například i v palivových člancích. Na obrázku č. 4 je pak využití bioplynu graficky znázorněno. [5]



Obrázek 4: Využití bioplynu [2]

## 5. Bioplynová stanice

Jedná se o technologické zařízení, které je určeno ke zpracování biomasy. Zpracovává se zde velké množství materiálů organického původu pomocí řízeného procesu anaerobní fermentace. Tento proces probíhá za nepřístupu vzduchu ve fermentačních nádržích. Z ekologického hlediska je anaerobní fermentace efektivní způsob využití biomasy. Výsledkem tohoto procesu je bioplyn, který se pomocí kogenerační jednotky přeměňuje na elektrickou energii a teplo. Jako vedlejší produkt vzniká digestát (zbytek po fermentaci), který lze použít jako kvalitní hnojivo. Celý proces výroby bioplynu je znázorněn na obrázku č.5. [13]



Obrázek 5: Proces výroby bioplynu [2]

## 5.1 Historie bioplynu a bioplynových stanic na území ČR

Lidstvo využívá biomasu jako energetický zdroj už od doby, kdy se člověk naučil rozdělovat oheň. Po energii slunečního záření byla biomasa po miliardy let jediným dostupným zdrojem energie na Zemi.

Bioplyn jako takový se začal vyrábět až na přelomu 19. a 20. století. V této době se produkoval z kalů splaškových čistíren odpadních vod, proto byl tehdy označován za kalový plyn. Vznikající bioplyn byl jímán a využíván především k vytápění a svícení v provozech čistíren odpadních vod. K největšímu výzkumu těchto technologií docházelo ve 20. století. Zpočátku na čističkách odpadních vod, poté byla v roce 1947 v Darmstadtu postavena první bioplynová stanice pro zemědělské farmy. [13]

Postupem času klesl zájem o anaerobní technologie a začal stoupat a převažovat zájem o fosilní zdroje energie. Podíl biomasy jako zdroje energie je v dnešní době však vyšší než podíl ostatních obnovitelných zdrojů energie.

Na našem území byla 1. bioplynová stanice postavena ještě za bývalého Československa v roce 1974 v Třeboni. Tato bioplynová stanice je dodnes v provozu a zpracovává kejdu z velkovýkrmny prasat spolu s čistírenskými kaly. Do roku 1989 jich bylo vystaveno ještě několik, ale po tomto roce byla jejich výstavba z různých důvodů pozastavena (např. privatizace, změna legislativy atd.). Další bioplynové stanice se začaly stavět až po roce 1994 a v dnešní době je na území ČR okolo 500 bioplynových stanic. [14]

V České republice dochází k podstatnějšímu rozvoji těchto zařízení od roku 2005, což bylo způsobeno především vstupem našeho státu do Evropské unie. Tímto krokem se otevřela možnost spolufinancování z finančních zdrojů Evropské unie a na výstavbu bioplynové stanice lze čerpat různé dotace z programů ministerstva zemědělství, životního prostředí a průmyslu. Dalším významným faktorem, který také pozitivně ovlivnil tento rozvoj, bylo zlepšení výkupu elektrické energie z obnovitelných zdrojů.

## 5.2 Bioplynové stanice dle vstupů

Podle druhu zpracovávané biomasy, rozdělujeme bioplynové stanice na tři typy: zemědělské, průmyslové a komunální. Přičemž na našem území převažují zemědělské bioplynové stanice. V rozvoji komunálních bioplynových stanic v České republice brání především velké nedostatky ve zpracování komunálního odpadu. [15]

### 5.2.1 Zemědělské

Zemědělské bioplynové stanice zpracovávají jako vstupní surovinu statková hnojiva (keřda, hnůj atd.) a energetické plodiny (cíleně pěstované plodiny např.: kukuřice, cukrová řepa, luční tráva ...). Výhodou těchto vstupních surovin je jejich homogenita, a proto není potřeba je před vstupem do fermentoru dále upravovat. Tento druh bioplynových stanic patří v tuzemsku k nejrozšířenějším, a to díky tomu, že jejich výstavba nejčastěji probíhá přímo v areálech zemědělských provozů a jde o koncepčně jednodušší zařízení. Další výhodou jsou relativně levné technologie. To je způsobeno konkurenčním prostředím na trhu technologií i surovin. [15,16]

### 5.2.2 Průmyslové

Průmyslové bioplynové stanice používají výlučně nebo alespoň z části rizikové vstupy. Mezi tyto rizikové vstupy patří především jateční odpady, kaly z čističek odpadních vod a podobné. Díky tomu jsou kladeny větší nároky na technologii a na splnění všech provozních podmínek. Minimalizování rizika, která vyplývají ze vstupů, lze docílit dodržováním hygienických pravidel. [15,16]

### 5.2.3 Komunální

Komunální bioplynové stanice jsou určeny ke zpracování biologicky rozložitelného odpadu. Do této skupiny odpadů patří například biologicky rozložitelný komunální odpad, odpad z potravinářského průmyslu (prošlé potraviny, zbytky z restaurací a jídelen), zemědělský odpad, kaly z čističek odpadních vod a podobné. Díky nesourodému vstupnímu materiálu, mají komunální bioplynové stanice technologicky náročnější průběh zpracování vstupních surovin. Před vstupem do fermentoru musí odpad projít třídící linkou, homogenizací a dalšími hygienickými procesy. Tento proces musí být vhodně řízen, aby nedocházelo ke kolapsům procesu a případnému nepřiměřenému zápachu. [15,16]



### 5.3 Mapa bioplynových stanic v ČR

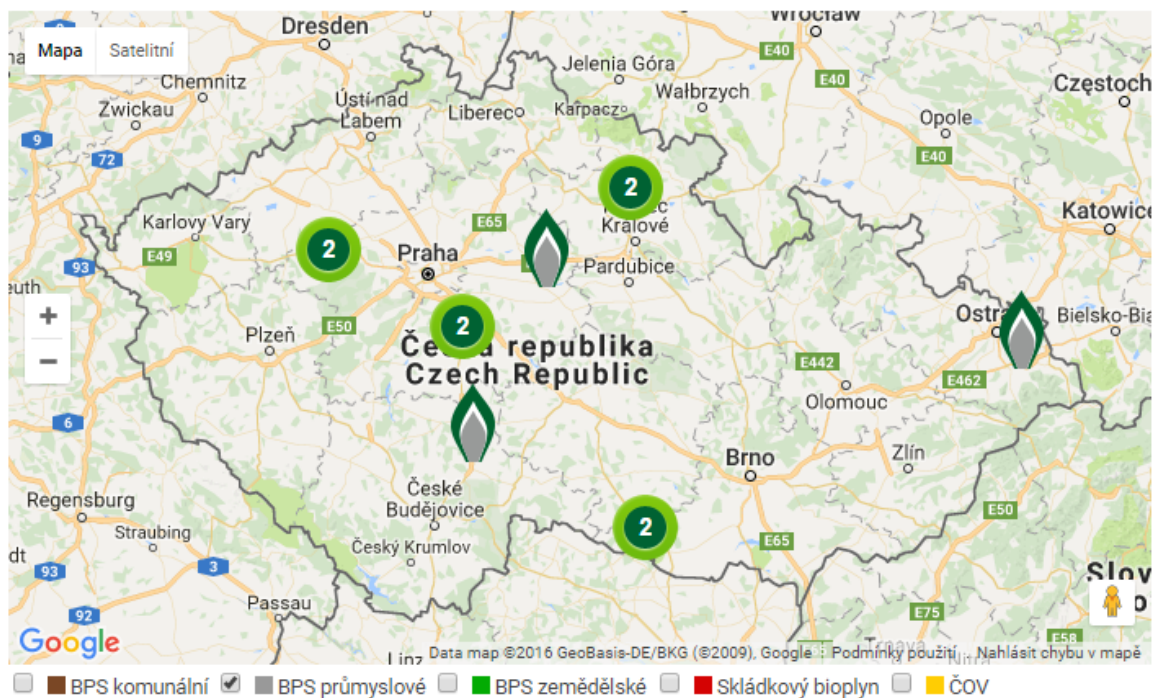
V České republice je vystavěno celkem 554 bioplynových stanic (viz. zdroj [17] citovaný k 2.22.2016). Z čehož je 382 zemědělských, 7 komunálních, 11 průmyslových, 56 na skládkách a 98 bioplynových stanic je provozováno v rámci čističek odpadních vod.



Obrázek 6: Mapa zemědělských BPS [17]



Obrázek 7: Mapa komunálních BPS [17]



Obrázek 8: Mapa průmyslových BPS [17]



Obrázek 9: Mapa ČOV [17]



Obrázek 10: Mapa skládkový bioplyn[17]

## 6. Technologické procesy v bioplynových stanicích

Jsou to technologie a procesy, které probíhají za nepřístupu vzduchu. Mezi tyto procesy patří anaerobní digesce. Při tomto procesu se v reaktorech bez přístupu vzduchu rozkládá organická hmota.

Dle obsahu sušiny ve zpracovávaném vstupním substrátu lze technologické procesy v bioplynových stanicích dělit na dvě základní. Na technologii suché a mokré fermentace.

### 6.1 Technologie suché fermentace

Tato technologie zpracovává substrát s množstvím sušiny v rozsahu 30-35 %. Nejčastěji se v suché anaerobní fermentaci používá mezofilní proces s rozsahem reakčních teplot 32-38 °C a optimálním pH mezi 6,5-7,5.

Termofilní proces s teplotním rozmezím 55-60 °C se využívá zřídka, ale jeho výhodou je samotná teplota, která zajišťuje hygienizaci procesu. Právě proto se nejčastěji využívá v souvislosti s hygienicky závadným materiálem. Nevýhodou tohoto procesu jsou vyšší tepelné ztráty substrátu.

Největší výhodou suché fermentace je menší množství vyhnílého digestátu. Digestát má větší koncentrovanost a zároveň menší spotřebu procesní vody na ředění, díky tomu jsou na to navazující problémy s jeho uplatněním na výstupu menší. [18,19]

## 6.2 Technologie mokré fermentace

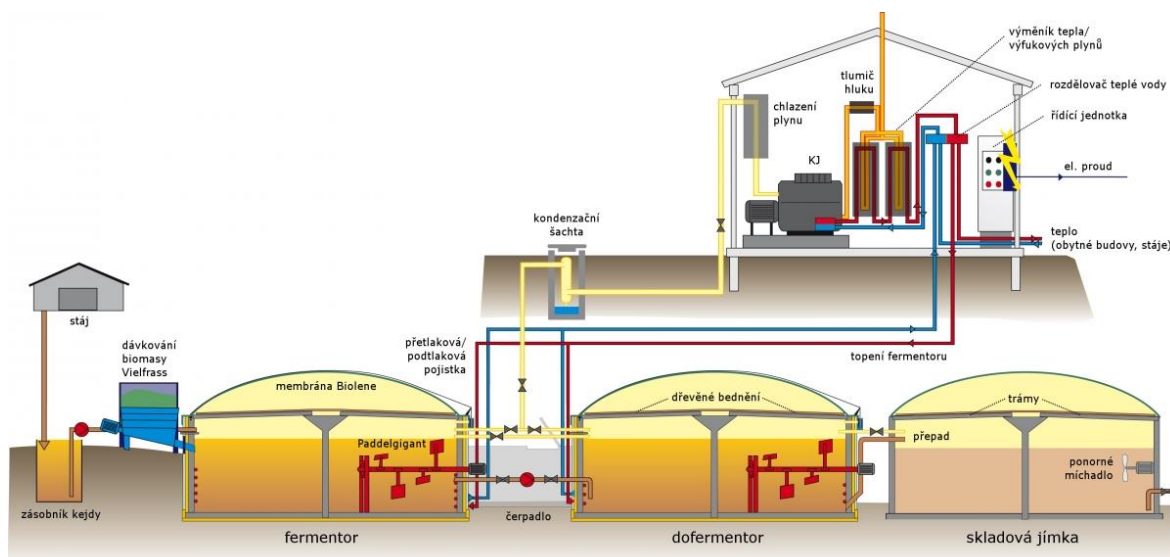
Tento druh technologie je nejpoužívanějším procesem výroby bioplynu. Obvykle využívá fermentoru s vertikální osou a obsah sušiny v substrátu je ideální v rozmezí 8-10 %. Substráty s vyšším obsahem sušiny je nutné před vstupem do fermentoru naředit na odpovídající obsah sušiny. To se provádí pomocí kejdy (hovězí nebo vepřové) nebo kalem z čističky odpadních vod. Substráty s nadměrným obsahem slámy nebo vyšším obsahem dřevin mohou u mokrých technologií působit vážné provozní problémy. Při shlukování těchto materiálů může docházet k tvorbě neprodyšné krusty, která by bránila postupu bioplynu. Dále může dojít k poruchám míchacího systému, ucpávání čerpadel apod. Aby celý proces mohl bezproblémově fungovat, je nutné pečlivě vybírat použitou technologii, přípravy surovin a systémy míchání. [19,20]

## 7. Standardní řešení bioplynových stanic

Každá bioplynová stanice je svým způsobem unikátní. Záleží na jejím návrhu a volbě konkrétní technologie, která závisí na předpokládané skladbě substrátů, teplotě fermentace, místních podmínkách, na využití zfermentovaných výstupů apod. Výběr technologie je také značně ovlivněn cenou její realizace, ale je třeba brát rovněž ohled na spolehlivost zařízení. [18]

Prvotním vstupem bioplynové stanice je biomasa, která stéká samospádem nebo se čerpá do homogenizační jímky. Homogenizační jímka je kovová nebo betonová nádrž, která je spolu s vhodně dimenzovanou uskladňovací nádrží prakticky vždy běžnou součástí farmy. Zhomogenizovaný odpad se umísťuje do hlavní části bioplynové stanice. Tuto část nazýváme fermentor a můžeme si ji představit jako velkou nádrž, kde se biomasa promíchává a zahřívá, přičemž dochází k rozkladu biomasy a současně k produkci bioplynu. Surovina po skončení fermentace nazývaná fugát, případně neseparovaný digestát, je uskladňována ve skladovací jímce, kde je poté pomocí separátoru rozdělen na tekutou a pevnou složku. Uvolněný bioplyn je odjímán do plynojemu, kde se upravuje

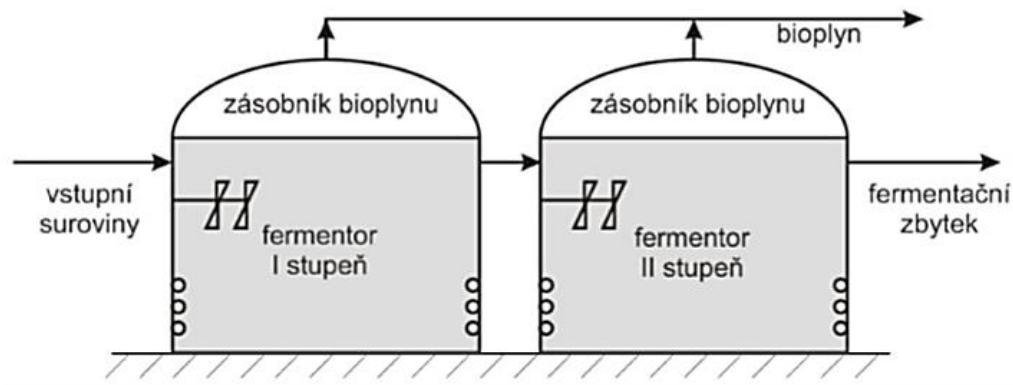
a čistí. Pokud má bioplyn sloužit k výrobě elektrické a tepelné energie, je po vyčištění spalován v kogenerační jednotce. Ta vyrábí nejen elektřinu, ale současně i teplo. Na obrázku č. 11 je pro lepší představení znázorněno funkční schéma bioplynové stanice agriKomp. [21]



Obrázek 11: Schéma bioplynové stanice [22]

## 7.1 Fermentor

Jedná se o jednu z nejdůležitějších částí bioplynové stanice, kde probíhají veškeré bioplynové procesy. Jde o velkou zateplenou železobetonovou jímku kruhového tvaru, ve které probíhá samotný proces anaerobní digesce. Většinou se setkáme s názvem dvoustupňový fermentor (viz obr. 12), kdy první stupeň nazýváme hlavní fermentor a druhý koncový fermentor neboli dofermentor. Oba tyto fermentory jsou mezi sebou a koncovým skladem propojeny přepadovým potrubím a čerpacím centrem. Technologicky jsou používány dva druhy fermentorů – horizontální a vertikální. [23]



Obrázek 12: Dvoustupňový fermentor [24]

### 7.1.1 Hlavní a koncový fermentor

K hlavnímu fermentoru je připojen šnekový dopravník pro přívod tuhého substrátu a potrubí pro přívod tekutého substrátu. Tvoří se zde nejvíce bioplynu a k zajištění přibližně stejné produkce plynu se provádí dávkování vícekrát denně po stejných dávkách. Nejdůležitější součástí fermentoru jsou pomaloběžná míchadla, která jsou umístěna v pravidelných rozestupech na kružnici. Počet míchadel je závislý na velikosti fermentoru.

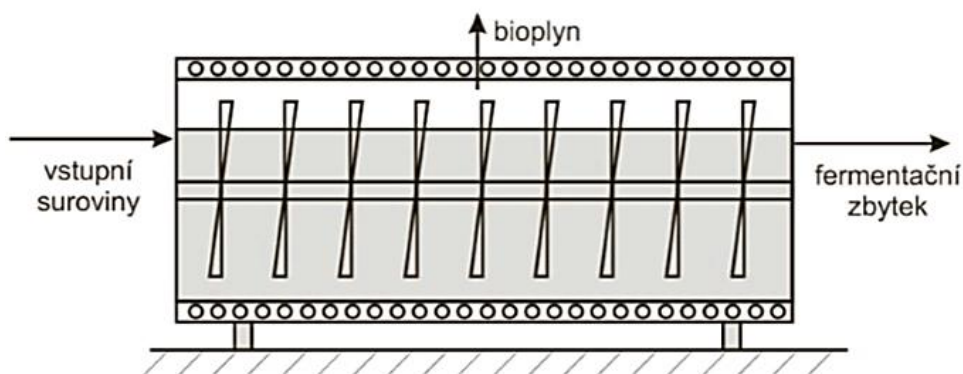
Další důležitou součástí hlavního fermentoru je teplovodní oběhové topení, které udržuje optimální teplotu ve fermentoru, což je zajištěno prostřednictvím tepelného senzoru. Fermentor dále obsahuje sedimentační sběrný kanál, který slouží k zachycení pevných příměsí nebo usazenin. Tvořící se bioplyn je odváděn z hlavního fermentoru do dofermentoru pomocí přepadu nebo nuceně prostřednictvím centrálního čerpadla. Koncový fermentor je tvořen vnitřním prstencem fermentační nádrže a vzniká zde 10-15 % produkce bioplynu. Standardně tu nebývá umístěno teplovodní přehřívání, proto je ohřev realizován přes stěnu, přes kterou prochází dostatečně velké množství tepla z hlavního fermentoru. [3,23]

### 7.1.2 Horizontální konstrukční typ

Tento typ fermentoru je konstruován jako válcová nádrž nad zemí v průměru zpravidla 2-3 metrů, která je uložena na betonových podstavcích pod mírným sklonem (3-5 %). Vstupní substrát se pak čerpá do výše položené části. Horizontální konstrukce má tu přednost, že zde lze instalovat velmi výkonné, energeticky úsporné a funkčně bezpečné

mechanické míchadlo. To zajišťuje snadnější a levnější promíchávání substrátu. Rychlost míchání se pohybuje mezi 1-3 otáčkami za minutu. Z toho vyplývá i nízká spotřeba energie na míchání. Tento typ fermentoru je zobrazen na obrázku č. 13.

Jeho nevýhodou je potřeba velkého prostoru na umístění nádrže. Dále zde díky nadměrné velikosti povrchu nádrže v poměru k jejímu objemu dochází k větším tepelným ztrátám. [23]

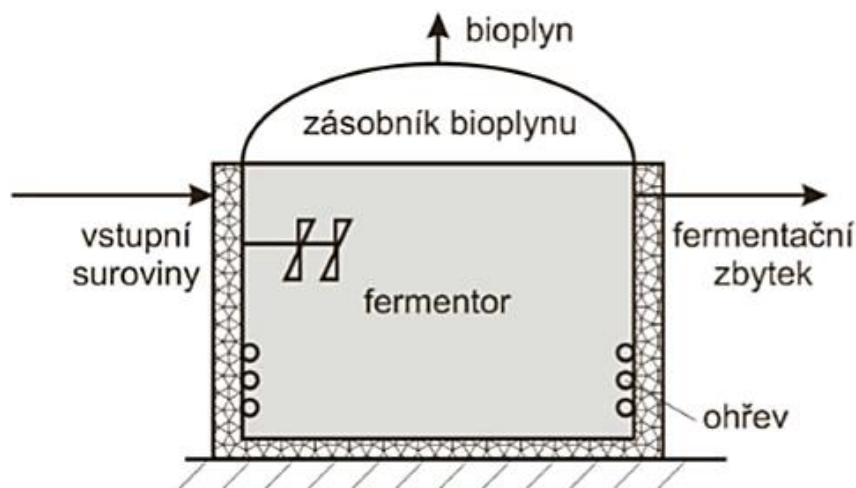


Obrázek 13: Fermentor horizontálního typu [24]

### 7.1.3 Vertikální konstrukční typ

Na obrázku č. 14 je zobrazen fermentor vertikálního typu. Vyhánějící nádrže tohoto typu bývají ze statických důvodů vyrobeny z betonu, mají kruhový průřez, jsou opatřeny tepelnou izolací a plynotěsnou vrstvou. Jako tepelná izolace se používá polystyrén, nebo jiný izolační materiál. Plynotěsnost zajišťuje kvalitní betonová konstrukce nádrže a střechy, která je případně doplněná plynotěsnou folií. Velikost průměru reaktoru bývá 8-18 metrů a hloubka se pohybuje mezi 3-6 metry.

Oproti horizontálnímu provedení mají tu výhodu, že zde lze dosáhnout lepšího poměru mezi povrchem a objemem, čímž se sníží materiálové náklady a tepelné ztráty, z tohoto důvodu je toto řešení více praktikované. [3,23]



Obrázek 14: Fermentor vertikálního typu [24]

## 7.2 Plynojem

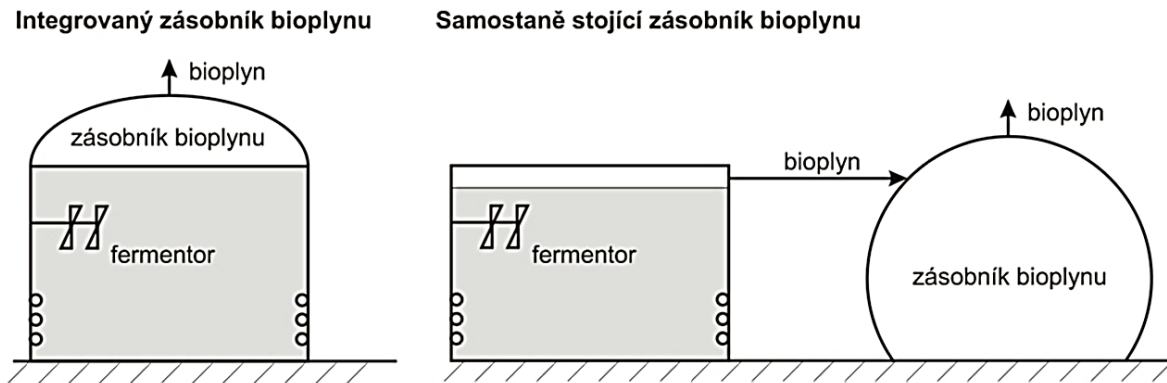
Z fermentoru je bioplyn odváděn pomocí plynového potrubí do kondenzační jednotky, kde se kondenzuje vodní para obsažená v bioplynu. Po zbavení bioplynu vodních par je bioplyn odváděn přímo do plynojemu (zásobník bioplynu), který má za úkol plyn u kontinuálně plněných fermentorů shromažďovat a oddělovat od pěny a kapalných částí. Dnes jsou využívány dvě konstrukční řešení plynojemů. Integrovaný zásobník bioplynu, který je umístěn na fermentoru nebo samostatně stojící zásobník bioplynu, viz obrázek č. 15.

Následovně je bioplyn pomocí plynového dmyhadla převáděn do kogenerační jednotky. Plynové dmyhadlo zajišťuje konstantní přívod bioplynu jak pro kogenerační jednotku, tak i pro bezpečnostní hořák.

Plynojemy, které se používají u bioplynových stanic můžeme podle konstrukčního materiálu rozdělit na kovové, plastové, gumotextilní a kombinované. A dále podle provozního tlaku na nízkotlaké (do 50 kPa), středotlaké (1 až 2 MPa) a vysokotlaké (15 až 35 MPa).

V současnosti se v zemědělství u bioplynových stanic používají převážně gumotextilní dvouplášťové plynojemy nebo gumotextilní vaky, které jsou umístěny v betonových nebo kovových válcích. Tyto plynojemy jsou nejčastěji nízkotlaké nebo středotlaké, můžeme se setkat ale i s podtlakovými plynojemy. [25]





Obrázek 15: Konstrukční řešení plynojemů [24]

### 7.3 Kogenerační jednotka

Do kogenerační jednotky vstupuje odsířený bioplyn, který musí nejprve projít kondenzační jámou, kde se oddělí přebytečná voda a následně plyn prochází dehydratačním zařízením, které plyn dosuší a odstraní zbývající vodu. Také se musí před vstupem do kogenerační jednotky provést odsíření, jelikož sirovodík působí velice korozivně a díky jeho přítomnosti v bioplynu se musí častěji měnit zapalovací svíčky ve spalovacím motoru kogenerační jednotky. Když je bioplyn zcela očištěný je veden do kompresoru, kde dochází k jeho stlačení a poté je přiveden do válců spalovacího motoru. Spalovací motor kogenerační jednotky musí být chlazen a získaná tepelná energie z motoru se využívá k pokrytí tepelných ztrát fermentoru nebo pro vytápění areálu. Nepotřebné teplo se uvolňuje pomocí vzduchových chladičů. [3]

Tím, že se bioplyn v kompresoru stlačuje, dochází k jeho prudkému ohřátí a je nutné jej ochladit prostřednictvím chladiče palivové směsi. Ten je ovládán automaticky z řídicího systému kogenerační jednotky.

Kogenerační jednotka a její veškeré komponenty (např.: generátor, rozvody potrubí, oběhová čerpadla, ventilace apod.) se umísťují do samostatného objektu. Chladiče palivové směsi a vzduchové chladiče jsou umístěny mimo objekt, ale v těsné blízkosti strojovny.

Výfuk spalin z kogenerační jednotky se napojuje na tlumič hluku nebo tepelný výměník a je veden do venkovních prostor. Celý výfukový systém musí být dimenzován na krátkodobé rázy tlaku.

Větrání strojovny zabezpečuje přívod vzduchu pro kogenerační jednotku a současně vyvádí sálavé teplo ze strojovny. Větrání zajišťuje vzduchotechnika, která po uvedení kogenerační jednotky do provozu pracuje zcela v automatickém režimu.

Zařízení určená pro kogeneraci se v závislosti na účelnosti zařízení, požadovaném výkonu, investičních možnostech a dalších podmínkách, vybavují parními turbínami, spalovacími turbínami nebo spalovacími motory. [26]

### 7.3.1 Kogenerační jednotky se zážehovými plynovými motory

U kogeneračních jednotek s plynovými spalovacími motory se jako palivo používá především zemní plyn, bioplyn nebo důlní plyn (méně často pak pyrolýzní plyn, dřevoplyn nebo koksárenský plyn). Jednotky se vyrábějí ve výkonové řadě od cca 200 kW do cca 5 MW a instalují se tam, kde je potřeba menšího instalovaného výkonu (např.: nemocnice, hotely, malé průmyslové provozy apod.) U bioplynových stanice se používají nejčastěji motory o výkonu 250 až 1000 kW. Kogenerační jednotky, jenž spalují bioplyn nebo důlní plyn mají od jednotek spalující zemní plyn svá určitá specifika, která jsou dána složením plynu a také i množstvím plynu za hodinu, která jsme schopni pro spalování zajisti.

Zapalování směsi ve válci je prováděno pomocí jiskry zapalovací svíčky a díky nižšímu kompresnímu poměru jsou méně hlučné. Mají vyšší požadavky na kvalitu bioplynu a kritickými faktory jsou teplota plynu, tlak plynu, výkyvy tlaku, vlhkost plynu a spád potrubí.

Teplota plynu před vstupem do kogenerační jednotky by neměla překročit hodnotu 40 °C. Pokud je teplota vyšší, dochází k přílišnému tepelnému namáhání řídicích jednotek a armatur, což vede k častějšímu poškozování membrán a zároveň tím i k jejím netěsnostem.

Tlak plynu by se měl pohybovat v rozsahu 90-200 mbar a jeho výkyvy by neměly přesáhnout hodnotu 10 mbar/s. Výkyvy tlaku jsou ale nejvíce problematické u důlních plynů.

Spád potrubí se musí s ohledem na kondenzaci plynu volit co nejmenší, aby se zamezilo vodním zátkám, které se vytvářejí v prohlubních. S tvorbou vodních zátek souvisí také relativní vlhkost plynu, a to, pokud relativní vlhkost plynu dosahuje více jak 80 %.

Je nutné podotknout, že hodnoty kritických faktorů se liší podle konstrukčního uspořádání

a použitých materiálů, a proto každý výrobce kogeneračních jednotek uvádí tyto kritické hodnoty trochu jiné. Typickým představitelem kogenerační jednotky s tímto typem motoru jsou výrobky firmy Jenbacher (viz. obr. č. 16). [26]



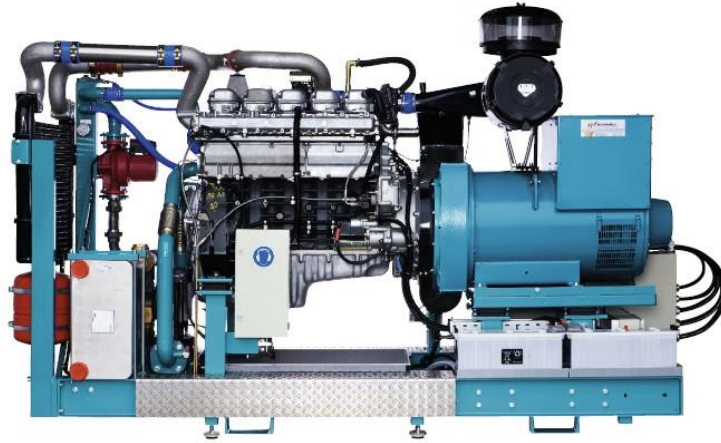
Obrázek 16: kogenerační jednotka GE Jenbacher [26]

### 7.3.2 Kogenerační jednotky se vznětovými motory

U kogenerační jednotky s tímto typem motoru, dochází k zapálení vstřikovaného paliva do stlačeného horkého vzduchu samovolně, při dosažení zápalné hodnoty paliva. Tento tepelný oběh se nazývá Dieselův. Kogenerační jednotky s tímto typem motoru (viz. obr. č. 17) vyrábí například německá firma Schnell.

Zápalným palivem je bioplyn a inicializačním palivem je kapalné palivo, které slouží jako zápalné medium spalovacího procesu. Nejčastěji se používá nafta, LTO nebo biopaliva, jako například bionafta nebo rostlinné oleje.

Tento motor má vyšší elektrickou účinnost, která se pohybuje okolo 43 %. Naopak oproti zážehovým motorům mají větší rozměry a vyšší kompresní poměr, tím pádem mají i vyšší hlučnost, za to snesou nižší kvalitu bioplynu. [27]



Obrázek 17: vznětový agregát se zápalným paprskem[28]

### 7.3.3 Generátor

U bioplynových stanic se k výrobě elektrického proudu většinou používají asynchronní generátory (zřídka kdy se používají synchronní) neboli trojfázové motory s kotvou na krátko, které se připojují na veřejnou síť. K výrobě elektrického proudu dochází v okamžiku, kdy je generátor poháněn otáčkami vyššími, než jsou otáčky dosahované v motorovém režimu. Tento proud je dodáván do sítě, ale zároveň je ze sítě odebíráno trochu proudu (jalový proud) na magnetické buzení. Buzení ze sítě zároveň stabilizuje počet otáček v určitých mezích, které jsou závislé na výkonu generátoru. Asynchronní generátory jsou robustní a levné, jejich hlavní nevýhoda spočívá v tom, že při výpadku sítě nemůže vyrábět proud, což vede k tomu, že nemůže sloužit jako nouzový agregát.

Proces, při kterém je generátor připojen k síti se nazývá fázování generátoru a je prováděn automaticky pomocí synchronizační jednotky. Synchronizační jednotka musí být navržena tak, aby odolávala trvalému plnému zatěžovacímu proudu generátoru a odolávala častým spínacím cyklům a proudům tvořících se v případě, že generátor nebude synchronizován. Dále musí být schopna provozu i za podmínek poruchy (např. zkratu). Než je generátor připojen k distribuční síti, musí být zajištěno, aby v okamžiku připojení generátoru nedošlo k proudovému rázu a k elektromagnetickému vyrovnávacímu pochodu.

K přifázování dojde v okamžiku, kdy jsou splněny určité podmínky. Jednou z podmínek je, že okamžité hodnoty napětí sítě  $U_S$  a napětí generátoru  $U_G$  musí být totožné, neboť rozdíl mezi oběma napětími by se při zapnutí projevil jako náraz jalového proudu. Nastavení napětí generátoru na napětí sítě se provádí pomocí buzení.

Dále musí být stejný i časový průběh napětí  $U_S$  a  $U_G$ . V případě odchylky dojde k nárazu činného proudu, který je vyvolán tím, že rotor generátoru se musí zpomalit nebo zrychlit, podle toho, jestli má generátor vyšší nebo nižší kmitočet než daná síť. Tento náraz způsobuje značné mechanické namáhání generátoru i kogenerační jednotky.

Třetí podmínkou při fázování je posun mezi napětím sítě  $U_S$  a napětím generátoru  $U_G$ . Tento posun musí být minimální, ale úhlová shoda je nutná, jinak vznikne proudový náraz způsobený rozdílem napětí obou fázorů, který způsobí vyrovnávací proud, jehož maximální hodnota stoupá s fázovým úhlem. Poslední podmínkou je stejný sled fází generátoru a sítě. [29]

## 7.4 Uvedení bioplynové stanice do provozu

Proces začíná napuštěním hlavního fermentoru, nejčastěji hovězí kejdou. Méně časté je napouštění fermentoru digestátem z jiné bioplynové stanice, což je ale z hlediska uvedení BPS do provozu rychlejší.

Poté je fermentor postupně ohříván na provozní teplotu, tento ohřev je prováděn externími zdroji. Nejčastěji se ohřev fermentoru provádí pomocí nahřívací kolony, která spaluje butan. Nevýhodou tohoto procesu je cena za spotřebovaný plyn a zapůjčení kolony, která se pohybuje v řádech několika tisíc korun. Druhým způsobem ohřevu fermentoru, který se uplatňuje především v zemědělských bioplynových stanicích, je využívání práškových kotlů na uhlí. Cena uhlí přitom mnohdy nevystoupá ani na 50 % ceny provozu nahřívací kolony. Zahřívání fermentoru pomocí elektrické energie se používá zřídka kdy, jelikož nahřívání fermentoru o několika tisících kubických metrů je ekonomicky velmi nevýhodné.

Doporučuje se, aby teplota ve fermentoru rostla o 1 °C za den, čehož je při tak velkém objemu velmi obtížné dosáhnout. Ideální je proto uvádět bioplynovou stanici do provozu v letních měsících. Celý proces ohřívání fermentoru na provozní teplotu trvá zhruba 6 týdnů.

Když je dosaženo optimální teploty, začne se dávkovat substrát a vzniklý bioplyn se začne spalovat nejprve prostřednictvím bezpečnostního plynové hořáku, a poté co se zvýší kvalita a množství bioplynu, se začne spalovat pomocí kogenerační jednotky. Celý proces uvedení bioplynové stanice do provozu trvá zhruba 4 měsíce.

Když je fermentor uveden do provozu a je zajištěn konstantní přísun bioplynu, může být zahájeno samotné spuštění kogenerační jednotky. Startování motoru kogenerační jednotky se provádí stejně jako u běžných spalovacích motorů, s tím rozdílem, že motor kogenerační jednotky se nesmí ihned po startu provozovat na plný výkon. Mohlo by dojít k prasknutí bloku motoru. Po dosažení provozní teploty se kogenerační jednotka pomocí synchronizační jednotky připojí k distribuční síti.

Za běžného provozu pracuje kogenerační jednotka 24 hodin denně po celý rok, pokud nejsou v plánu odstávky či údržby. Provozní doba ostatních spotřebičů v bioplynové stanici se pak pohybuje v minutách či hodinách denně v závislosti na spotřebiči.

Když dojde k odstavení provozu bioplynové stanice, vypne se kogenerační jednotka a zapne se bezpečnostní plynový hořák. V případě, že dojde k delší odstávce, sníží se množství dávkovaného substrátu. Množství substrátu, o které lze dávkování snížit, závisí na zkušenostech obsluhy. [30]

## 8. Způsoby provozování v ČR

Provoz a výstavbu bioplynových stanic upravuje legislativa, která je velice obsáhlou a odbornou oblastí, která se neustále vyvíjí a mění, jelikož výroba bioplynu se prolíná napříč několika odvětvími. Proto je pro účely této bakalářské práce v následující kapitole uveden pouze stručný výčet těch nejvýznamnějších zákonů a jejich doprovodných právních předpisů.

### 8.1 Legislativní úprava

*Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích* neboli energetický zákon upravuje podmínky podnikání na základě licence, která může být udělena jak fyzickým, tak i právnickým osobám na základě podané žádosti a dále také na prokázání zákonem stanovených předpokladů stanovených

vyhláškou č.426/2005 Sb., o podrobnostech udělování licencí pro podnikání v energetických odvětvích.

*Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů* upravuje v souladu se Směrnicemi EU způsob podpory elektřiny a tepla z obnovitelných zdrojů energie, druhotných energetických zdrojů a vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla.

*Zákon č. 406/2000 Sb. - o hospodaření energií a související předpisy* stanovuje práva a povinnosti fyzických i právnických osob při nakládání s elektrickou a tepelnou energií, a dále s plynem a dalšími palivy.

*Nařízení vlády č. 63/2002 Sb., o pravidlech pro poskytování dotací ze státního rozpočtu na podporu hospodárného nakládání s energií a využívání jejích obnovitelných a druhotných zdrojů.* Toto nařízení stanovuje podmínky čerpání dotací ze státního rozpočtu.

*Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí* upravuje posuzování vlivů na životní prostředí a veřejné zdraví a postup fyzických osob, právnických osob, správních úřadů a územních samosprávných celků (obcí a krajů) při tomto posuzování.

Dle *Zákona č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu* neboli stavebního zákonu lze požádat o stavební povolení, které vydává stavební úřad, ale musí být též respektovány územní plány obcí. Podle *zákona č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci* musí být ke stavebnímu povolení předloženo platné integrované povolení, které stanovuje podmínky k provozu zařízení.

*Zákon č. 254/2001 Sb. - o vodách (vodní zákon) a související předpisy.* Tento zákon musí být respektován z hlediska ochrany životního prostředí a účelem tohoto zákona je chránit povrchové a podzemní vody a stanovit podmínky pro využívání vodních zdrojů. Tento zákon udává povinnost opatřit si povolení příslušného vodoprávního úřadu k vypouštění odpadních vod do vod povrchových nebo podzemních.

*Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší včetně jeho doprovodných vyhlášek a nařízení,* který též vyžaduje povolení stanovující emisní limity provozu bioplynových stanic.

*Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů.* Zákon, který upravuje pravidla pro předcházení vzniku odpadů a pro jeho následné nakládání s ním, tak aby byla dodržována ochrana životního prostředí a lidského zdraví. Provozovatel bioplynové stanice zpracovává biologicky rozložitelné odpady, a proto je povinen provozovat toto zařízení v souladu s tímto zákonem. Dále je nutné kladné vyjádření

příslušného orgánu ochrany veřejného zdraví ke zpracování provozního řádu. Jeho návrh se zasílá k odsouhlasení na krajský úřad.

*Zákon č. 156/1998 Sb., neboli zákon o hnojivech*, určuje použití digestátu jako organického hnojiva na zemědělské půdě. Podle tohoto zákona, je možné uvést digestát do oběhu prodejem nebo jiným způsobem pouze na základě jeho registrace (neplatí, pokud je digestát používán na pozemcích samotného producenta). K registraci je zapotřebí přiložit vzorek, aby bylo možné ověřit jeho vlastnosti. [31]

## 8.2 Zelený bonus a výkupní ceny

Zelený bonus je jednou z forem financování bioplynových stanic. Jedná se o jeden z dotačních programů na podporu obnovitelných zdrojů energie. Výše zelených bonusů v Kč/MWh je každoročně stanovována Energetickým regulačním úřadem (ERU), který při tom vychází ze zákona č.180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie.

Tento systém je výhodný v případě, kdy si výrobce část vyrobené elektrické energie spotřebovává, jelikož zelený bonus se získává na veškerou vyprodukovanou energii a nespotřebovaná energie se může volně prodat. Tato částka je pak přičtena k zelenému bonusu a není zde přitom stanovena hranice, kolik energie musíte sami spotřebovat a kolik jí musíte prodat distributorovi. Hranice rentability je 30 % vlastní spotřeby. [32]

Dalším benefitem zeleného bonusu je jednodušší získávání úvěru a snadnější jednání s úřady. Všechny subjekty, kterým můžete nespotřebovanou energii prodat lze nalézt na stránkách ERU. Vzhledem k tomu, že nelze energii skladovat a musí se využít okamžitě, může být pro někoho problém takto nabytou energii využít, proto zelený bonus není vhodný v místech, kde dlouhodobě nikdo nežije nebo v objektech, které mají vyšší spotřebu v zimě (např. domy s elektrickými přímotopy). Naopak je zelený bonus vhodný pro objekty se stálou spotřebou energie (např. mrazírny nebo budovy s klimatizací). Pokud je zvolena podpora pomocí zeleného bonusu, musí si výrobce ovšem sám najít odběratele energie. Tržní cena, za kterou je elektřina prodána, je dána dohodou mezi výrobcem energie a odběratelem (není stanovena Energetickým regulačním úřadem).

Investoři si mohou krom zeleného bonusu zvolit také výkup elektřiny za garantované výkupní ceny.



V případě výběru podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů ve formě výkupních cen má provozovatel regionální distribuční soustavy nebo provozovatel přenosové soustavy povinnost vykoupit veškerý objem vyrobené elektřiny z daného zdroje. Přecházet ze systémů zelených bonusů na systém výkupních cen nebo naopak je možné jednou ročně. Od 1.1.2013 došlo ke změně systému podpory, jejíž součástí je omezení možnosti volit podporu formou výkupních cen, nové zdroje s výkonem nad 100 kW mají nárok na podporu pouze formou zelených bonusů.

Stejně tak jako u zeleného bonusu výši výkupní ceny stanovuje Energetický regulační úřad a informace vydává jednou ročně prostřednictvím cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu z konkrétního dne, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie.

Výše zeleného bonusu, eventuálně výkupní ceny, záleží na více faktorech. Mezi tyto faktory patří především na datu uvedení bioplynové stanice do provozu, na velikosti instalovaného výkonu, na míře využití odpadního tepla z kogenerační jednotky a na kategorii, do které je konkrétní stanice zařazena.

Dle ERÚ se rozlišují dvě kategorie pro bioplynové stanice. Do kategorie AF1 se řadí bioplynové stanice, jejichž vstupním substrátem jsou cíleně pěstované plodiny, které jsou primárně pěstované pro energetické účely. V kategorii AF2 jsou zahrnuty bioplynové stanice, jejichž vstupním substrátem jsou odpady z potravinářství a zemědělství, travní porosty z údržby veřejné i soukromé zeleně, zemědělské meziprodukty vznikající z živočišné výroby při chovu hospodářských zvířat, jako je hnuj nebo kejda a další substráty, které jsou definovány vyhláškou. [33]

## 9. Technicko-ekonomické hodnocení provozu bioplynových stanic

Následující kapitola obsahuje technicko-ekonomické hodnocení provozu bioplynových stanic a zjednodušený náhled na investiční náklady, provozní náklady, příjmy z provozu a dobu návratnosti investice. Toto hodnocení je závislé na konkrétních podmínkách a situaci každé bioplynové stanice, proto je zde uveden pouze metodický návod, který je ukázán na fiktivním příkladu bioplynové stanice.

Předpokládaný provozovatel se rozhodl pro výstavbu bioplynové stanice střední velikosti v obci se 120 obydlými objekty, ve které je zemědělská farma s velkochovem hospodářských zvířat a kuřat. Bioplynová stanice by měla v obci vyřešit ekonomické i ekologické problémy. Především by měla řešit zpracování komunálního odpadu, výrobu tepla pro téměř celou obec, a ještě mít zisk z prodeje vyrobené elektrické energie dodávané do sítě.

Pro takto zvolený případ by se měl komplex skládat z bioplynové stanice s kogenerační jednotkou, z výtopny na spalování bioodpadu, teplovodního rozvodu tepla v celé vesnici, kterým by se přes předávací stanice v jednotlivých objektech celoročně dodávalo z bioplynové stanice teplo pro vytápění a pro ohřev užitkové vody do domů v obci. Cena takového projektu by se pak pohybovala okolo 90 milionů korun.

Za potenciální investory celého projektu pak můžeme považovat obec. Výstavbu komplexu zajišťuje investor (obec), který získal větší část finančních prostředků ze Státního fondu životního prostředí a zbytek financí je tvořen půjčkou od banky.

Vstupními surovinami může být organický odpad ze zemědělské farmy, ale i krmné a posklizňové zbytky. V případě vybavení stanice tepelnou hygienizací rizikových vstupních surovin bude stanice schopna zpracovávat a odstraňovat zbytky jídel a odpady z jatek, což může částečně řešit ekologické problémy obce.

Základním předpokladem pro provozní úspěšnost projektu bioplynových stanic, je správné vyhodnocení ekonomiky projektu. Při hodnocení ekonomiky provozu těchto zařízení nemůžeme přímo přebírat zkušenosti z jiných zemí například z Německa nebo

Rakouska, neboť v těchto zemích je díky rozvinuté ekonomice a trhu v oblasti nakládání s bioodpady odlišná cenová hladina odpadu i rozdílná úroveň výkupních cen elektrické energie.

V České republice se průměrná cenová úroveň u zpracovaných bioodpadů pohybuje kolem 350 až 500 Kč za tunu. V zahraničí tato úroveň dosahuje až dvojnásobku této hodnoty.

Z tohoto důvodu je třeba poukázat na nutnost vypracování kvalitní studie proveditelnosti hodnotící záměr v dlouhodobém časovém horizontu s cash-flow, proto je nutné z hlediska hodnocení popsat správně investiční a provozní náklady projektu a pokusit se i odhadnout jejich vývoj.

## 9.1 Investiční náklady

Investiční náklady jsou závislé na celé řadě faktorů a odvíjí se především od velikosti zařízení a instalované technologie. Běžné bioplynové stanice zemědělského typu střední velikosti s technologií mokré fermentace lze odhadnout na 100 000 Kč na 1 kW instalovaného elektrického výkonu. Naopak investiční náročnost komunální bioplynové stanice s technologií mokré fermentace, může být i více než dvojnásobná a pohybovat se tak v řádu 200 000 až 250 000 Kč na 1 kW instalovaného výkonu. Obecně platí, že čím menší velikost bioplynové stanice, tím jsou měrné investiční náklady větší. Hlavním důvodem je především vysoká cena zařízení na zpracování a třídění bioodpadu, náročnější separace, skladování či zpracování vstupů.

Návratnost investovaných nákladů, které se vkládají do bioplynové stanice, jsou závislé na době provozu kogenerační jednotky, a na využití vyrobených energií (elektrická a tepelná). Proto je vhodné, aby provozní doba kogenerační jednotky neklesla pod 8000 hodin ročně. Využití vyrobených energií by mělo být maximální, z toho důvodu se předpokládá, že provozovatel rozhodl spalovat bioplyn v kogenerační jednotce a vyrábět tak elektřinu a teplo.

Elektřinu z jednotky může investor prodat za regulované ceny do sítě a teplo z jednotky se z 30 % využije pro ohřev fermentoru a veškeré zbylé teplo se trvale dodá do rozvodu tepla v obci.

Dále může provozovatel sledováním a optimalizací vlastní energetické spotřeby, zejména pak z hlediska spotřeby elektrické energie (např.: u míchadel, čerpadel atd.), zvýšit ekonomickou efektivitu provozu.

Jsou případy, kdy je zvýšení investičních nákladů vhodné, a to zejména v případech kdy je výsledným efektem snížení provozních nákladů případně zvýšení výnosu. Mezi tyto případy patří například pořízení efektivnější technologie, která snižuje elektrickou spotřebu. Dále pořízení kvalitních materiálů a technologií pro zvýšení životnosti a v neposlední řadě celoroční využívání vyrobené tepelné energie.

## 9.2 Příjmy z provozu

Mezi příjmy z provozu bioplynové stanice patří především příjmy z prodeje elektřiny a tepla, a dále jsou také tvořeny poplatkem za využití nebo zpracování bioodpadu. V tomto případě se tedy investor rozhodl pro prodeje elektřiny za výkupní ceny, které letos činí 3350 Kč /MWh. [34]

Ceny za využití či zpracování bioodpadu velmi kolísají v závislosti na aktuální situaci na trhu, a proto je někdy velmi obtížné stanovit jejich cenu. V tomto případě by bylo vhodné provést laboratorní nebo poloprovozní zkoušky a stanovit efektivitu jejich zpracování a ekonomickou výtěžnost. Dle toho pak i započtení s tím souvisejících nákladů.

U výroby tepla může provozovatel požádat o podporu kombinované výroby u Ministerstva průmyslu a obchodu ČR. Naopak u výstupního digestátu v dnešní době není bohužel většinou reálné počítat s příjmem a obvykle se jedná o nákladovou položku, z toho důvodu je v tomto případě uvažován jako jediný výnos prodej elektřiny. Tento výnos bude 16 750 000,- při netto výrobě (po odečtení vlastní spotřeby) 5000 MWh ročně.

## 9.3 Provozní náklady

Mezi provozní náklady bioplynových stanic patří především náklady na servis a údržbu kogenerační jednotky, servis a údržbu pomocných zařízení (míchadla, čerpadla, dávkovače substrátu atd.), nebo například mzda obsluhy.

K určení ročních nákladů je zapotřebí údržbu rozepsat do dvou částí. Na techniku a stavby. Při zjednodušeném výpočtu se na opravy techniky počítá s 4 % z 60 % celkové

investice a na údržbu staveb s 0,5 % z 40 % z celkové investice a na pojištění stanice se počítá s 0,5 % celkového objemu investic. Praxe ukazuje, že roční náklady bioplynové stanice se pohybují mezi 12-20 % celkové investice. Pro předpokládaného provozovatele by se tedy provozní náklady pohybovaly mezi 10-18 miliony Kč.

V čase může dojít ke změně provozních nákladů, což je způsobeno především zvýšením ceny vstupních surovin v období nízké sklizně, legislativními změnami nebo například stárnutím technologií a tím pádem nutností jejich oprav nebo výměny.

#### 9.4 Doba návratnosti investice

Pro hodnocení efektivnosti investice bioplynové stanice lze použít výpočet doby návratnosti vložené investice. Tato doba návratnosti se vypočítá ze vzorce č.1.

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad [1]$$

kde

$IN = N - D$

$N$  – jednorázové náklady na realizaci projektu (Kč)

$D$  – výše poskytnuté dotace (Kč)

$CF = V_{pr} - N_{pr}$

$V_{pr}$  – průměrné roční výnosy (Kč)

$N_{pr}$  – průměrné roční provozní náklady (Kč)

Zvolené údaje pro daný projekt:

Celkové náklady na realizaci projektu: 90 000 000,-

Dotace: 32 000 000,-

Výnosy: 16 750 000,-

Provozní náklady: 11 000 000,-

Pro bioplynové stanice obecně platí, že doba návratnosti investice do 5 let je velmi dobrá a do 10 let přijatelná. U bioplynových stanic, které jsou v provozu 15 let a více, dosáhne většina hlavních prvků své životnosti a je nutné počítat s vyššími náklady na údržbu a opravu. V tomto zjednodušeném případě vyšla prostá doba návratnosti 10,09 let. Bez dotace pak 15,6. Z toho vyplývá, že realizace takové investice bez dotace není z ekonomického důvodu výhodná.

## 10. Závěr

V dnešní době si většina z nás nedokáže představit život bez elektrické energie. Velmi nám ulehčuje život, a i proto jsme se na ní stali velice závislí. Zásoby fosilních paliv jako je uhlí, zemní plyn nebo ropa, ale rychle ubývají a není šance jejich dalšího vytvoření. Lidé si více uvědomují své zásahy do přírodního ekosystému a více využívají alternativních zdrojů energie. Díky tomu je dnešním trendem výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů.

Bioplynové stanice v porovnání s větrnými, vodními a solárními elektrárnami mají několik výhod. V tomto směru mezi výhody patří především regulovatelnost a dodávání stabilního výkonu. U větrných, vodních a solárních elektráren může díky rychlé změně počasí dojít k výrobě nadbytečné energie dodávané do elektrické sítě. Tím se zvyšuje riziko přetížení distribuční sítě a vzniku tzv. blackoutu. U bioplynových stanic může taky dojít k proměnlivosti výroby energie, ale tato proměnlivost nezávisí na počasí, ale především na složení substrátu a na zkušenostech řídicího operátora. Změna složení substrátu má značný dopad na produkci bioplynu.

V České republice je toto odvětví výroby energie zatím mladé, ale neustále se vyvíjí a rozšiřuje. Díky tomu u nás mají bioplynové stanice velký potenciál a brzy se mohou stát významnými dodavateli elektrické energie. Mají výhodu své všestrannosti, dokážou zpracovávat široké spektrum vstupního materiálu a v kombinaci s čističkou odpadních vod umožňuje stálé zásobování stanice substrátem.

Problematickým bodem oproti ostatním obnovitelným zdrojům je větší potřeba se o bioplynovou stanici starat. Musí se dovážet biomasa a ekologicky zpracovávat digestát. I přes tyto nevýhody je rozvoj bioplynových stanic v České republice velký a bioplyn má potenciál stát se jedním z hlavních zdrojů ekologicky vyrobené energie.

## 11. Literatura

[1] BECHNÍK, Bronislav. TZB-info: Historie a perspektivy OZE - biomasa I [online]. 14.9.2009 [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/biomasa/5902-historie-a-perspektivy-oze-biomasa-i>

[2] Technologie bioplynových stanic. Enviton [online]. 2008 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/technologie-bps>

[3] SCHULZ, Heinz. Bioplyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení - příklady. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2004, 167 s. ISBN 80-86167-21-6.

[4] PETŘÍKOVÁ, V. Fáze výroby bioplynu anaerobní fermentací. CZ Biom - České sdružení pro biomasu [online]. 2001-2009 [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/obrazek/faze-vyroby-bioplynu-anaerobni-fermentaci>

[5] MUŽÍK, Oldřich, KÁRA, Jaroslav: Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. Biom.cz [online]. 2009-03-04 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>. ISSN: 1801-2655.

[6] KOMPOSTUJ.CZ: Komunitní kompostování. KOMPOSTUJ.CZ: Bioodpad a kompostování [online]. 2015 [cit. 2016-02-25]. Dostupné z: <http://www.kompostuj.cz/vime-jak/komunitni-kompostovani>

[7] VÁŇA, Jaroslav a Miloslav MEZULIÁNIK. Nové perspektivy výroby průmyslových kompostů v České republice [online]. [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: <http://stary.biom.cz/mag/6.html>

[8] Biologické metody zpracování odpadu: Fáze procesu kompostování [online]. [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: [http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Faze\\_procesu\\_kompostovani.html](http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Faze_procesu_kompostovani.html)

[9] PASTOREK, Z., KÁRA, J., JEVIČ, P.: Biomasa – obnovitelný zdroj energie. Praha: FCC PUBLIC, 2004, 286s., ISBN 80-86534-06-5

[10] Pojmy bioplyn, anaerobní digesce, substrát a jeho produkce: Měrná produkce bioplynu [online]. [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: [http://agrokrut.cz/?page\\_id=114](http://agrokrut.cz/?page_id=114)

[11] Průvodce výrobou a využitím bioplynu [online]. Praha 6: CZ Biom – České sdružení pro biomasu, 2009 [cit. 2016-03-03]. 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).

[12] MUŽÍK, Oldřich, SLEJŠKA, Antonín: Možnosti využití anaerobní fermentace pro zpracování zbytkové biomasy. Biom.cz [online]. 2003-07-14 [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-anaerobni-fermentace-pro-zpracovani-zbytkove-biomasy>. ISSN: 1801-2655



- [13] MPO: Bioodpad-bioplyn-energie. České ekologické manažerské centrum, 2009, [cit. 2017-03-14]. Dostupné na [http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Bioplyn\\_sesit.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Bioplyn_sesit.pdf)
- [14] Bioplyn rozvíjí venkov: Historie bioplynek [online]. 2017 [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://bioplynrozvijivenkov.cz/historie-bioplynek/#rok-1974>
- [15] Členění bioplynových stanic. Enviton. [online]. © 2008 [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/cleneni-bps>
- [16] Nazeleno.cz: Bioplynové stanice [online]. 2015 [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/bioplynova-stanice.dic>. ISSN 1803-4160
- [17] Mapa bioplynových stanic. GBA-Česká bioplynová asociace. [online]. © 2013 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic>
- [18] Ministerstvo zemědělství. Desatero bioplynových stanic: aneb zásady efektivní výstavby a provozu bioplynových stanic v zemědělství [online]. 2007 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/260441/Desatero\\_BPS.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/260441/Desatero_BPS.pdf)
- [19] Bioprofit: Anaerobní technologie [online]. 2007 [cit. 2016-11-16]. Dostupné z: [http://www.bioplyn.cz/at\\_popis.htm](http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm)
- [20] KOUŘA, Jaroslav. Bioplynové stanice s mokřým procesem. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2008. Metodické pomůcky k činnosti autorizovaných osob. ISBN 978-80-87093-33-7.
- [21] Jak fungují bioplynové stanice? Ukázkový příklad zajímavého řešení z Třeboně. E-on: Ekobonus [online]. 2015 [cit. 2016-01-16]. Dostupné z: <http://www.ekobonus.cz/jak-funguji-bioplynovy-stanice-ukazkovy-priklad-zajimaveho-reseni-z-trebone>
- [22] Bioplynová stanice. ZOPOS: Přestavky a.s. [online]. 2017 [cit. 2016-11-16]. Dostupné z: <http://www.zopos.cz/bioplynova-stanice/>
- [23] KAJAN, Miroslav: Bioplyn z odpadů živočišné výroby. Biom.cz [online]. 2005-08-23 [cit. 2016-12-28]. Dostupné z WWW: <[http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-z-odpadu-zivocisne-vyroby?add\\_disc=>](http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-z-odpadu-zivocisne-vyroby?add_disc=>)>. ISSN: 1801-2655
- [24] Bioplynové stanice: Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta [online]. [cit. 2017-11-18]. Dostupné z: [http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/files/211/17223.pdf](http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/files/211/17223.pdf)
- [25] PASTOREK, Zdeněk a Jaroslav KÁRA. Zemědělec: Organický odpad a produkce bioplynu [online]. 2008 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://zemedelec.cz/organicky-odpad-a-produkce-bioplynu/>

- [26] TRÁVNÍČEK, Petr, KARAFIÁT, Zbyšek: Kogenerace pomocí plynových spalovacích motorů. Biom.cz [online]. 2009-04-15 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kogenerace-pomoci-plynovych-spalovacich-motoru>>. ISSN: 1801-2655.
- [27] ŠAROUN, Josef. Výroba elektrické energie v kogeneračních jednotkách [online]. Brno, 2010 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=29806](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29806). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Tomáš Caha.
- [28] MALÍK, Petr: Kogenerační jednotka s elektrickou účinností 47 %? Utopie?. Biom.cz [online]. 2010-03-03 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kogeneracni-jednotka-s-elektrickou-ucinnosti-47-utopie>>. ISSN: 1801-2655.
- [29] Fázování synchronního generátoru k síti [online]. [cit. 2016-02-03]. Dostupné z WWW :[http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni\\_materialy/se/cast\\_B\\_el\\_stroje/se\\_es\\_c2\\_fazovani.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/se/cast_B_el_stroje/se_es_c2_fazovani.pdf)
- [30] Straka, F.: Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]. 3., zkrác. vyd. Praha: GAS, 2010, 305 s. ISBN 978-80-7328-235-6
- [31] Enviton: Legislativa [online]. 2008 [cit. 2017-01-19]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/legislativa>
- [32] Liglass Trading: Vysvětlení pojmu - zelený bonus [online]. 2016 [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: <http://www.solar-liglass.cz/fotovoltaicke-dotazy-a-odpovedi/49-co-je-zeleny-bonus.html>
- [33] Nazeleno.cz: Zelený bonus [online]. 2015 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/zeleny-bonus.dic>.ISSN 1803-4160.
- [34] Energetický regulační věštník [online]. Jihlava, 2016, 8/2016 [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/2041142/ERV\\_8\\_2016/56a75c71-ea06-4417-b884-a49db34b2a9a](https://www.eru.cz/documents/10540/2041142/ERV_8_2016/56a75c71-ea06-4417-b884-a49db34b2a9a)

## 12. Seznam obrázků

Obrázek 1: Složení bioplynu [3] .....	4
Obrázek 2: Fáze výroby bioplynu anaerobní fermentací [4].....	6
Obrázek 3: Výnosnost bioplynu podle vstupních surovin [10] .....	12
Obrázek 4: Využití bioplynu [2].....	13
Obrázek 5: Proces výroby bioplynu [2] .....	14
Obrázek 6: Mapa zemědělských BPS [17].....	17
Obrázek 7: Mapa komunálních BPS [17] .....	17
Obrázek 8: Mapa průmyslových BPS [17].....	18
Obrázek 9: Mapa ČOV.....	18
Obrázek 10: Mapa skládkový bioplyn[17] .....	19
Obrázek 11: Schéma bioplynové stanice [22].....	21
Obrázek 12: Dvoustupňový fermentor [24].....	22
Obrázek 13: Fermentor horizontálního typu [24].....	23
Obrázek 14: Fermentor vertikálního typu [24] .....	24
Obrázek 15: Konstruktivní řešení plynojemů [24].....	25
Obrázek 16: kogenerační jednotka GE Jenbacher [26] .....	27
Obrázek 17: vznětový agregát se zápalným paprskem[28] .....	28