

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Hodnocení vstupních surovin pro bioplynové stanice (BPS)**

**vedoucí práce: Mgr. Eduard Ščerba, Ph.D.**  
**autor: Vojtěch Ouřada**

**2012**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vojtěch OUŘADA**  
Osobní číslo: **E11B0389P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Technická ekologie**  
Název tématu: **Hodnocení vstupních surovin pro bioplynové stanice (BPS)**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Popište současný stav využívaných vstupních surovin pro BPS.
2. Analyzujte tyto vstupní suroviny z hlediska energetické výtěžnosti a ekonomické a environmentální přijatelnosti.
3. Porovnejte dostupné technologie BPS s ohledem na jejich účinnost a provozní spolehlivost.
4. Navrhněte nejvhodnější řešení pro energeticky účinné, ekonomicky přijatelné a environmentálně šetrné suroviny pro BPS.



Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**


Seznam odborné literatury:

**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Eduard Ščerba, Ph.D.**  
Katedra elektroenergetiky a ekologie


Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan

V Plzni dne 17. října 2011



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

## **Anotace**

Tato bakalářská práce obsahuje základní informace o bioplynových stanicích. Jsou zde popsány technologie výroby bioplynu a jednotlivá technologická zařízení. Tato práce obsahuje rozdělení vstupních surovin, jejich popis a analýzu. Dále je v práci zhodnocena účinnost a provozní spolehlivost bioplynových stanic. Závěrem práce je návrh vhodné suroviny pro bioplynové stanice.

## **Klíčová slova**

Bioplynová stanice, bioplyn, fermentace, vstupní surovina, anaerobní fermentace, kogenerace

## **Evaluation of raw materials for biogas stations (BPS)**

### **Abstract**

This work provides basic information on biogas stations. It also describes the production of biogas technology and the individual technological equipment. This work includes the distribution of raw materials, their description and analysis. The effectiveness and reliability of operating biogas stations is evaluated too. The last part of work is a proposal of suitable raw material for biogas stations.

### **Key words**

Biogas station, biogas, fermentation, raw materials, anaerobic fermentation, combined heat and power

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/ diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou/bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 6.6.2012

Vojtěch Ouřada

.....

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat panu Mgr. Eduardovi Ščerbovi, Ph.D. za poskytnutí cenných rad a informací ke zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat obsluze BPS Všeruby za poskytnutí informací a ochotu při návštěvě.

## Obsah

ÚVOD.....	10
SEZNAM SYMBOLŮ.....	11
<b>1 BIOPLYNOVÝ PROCES .....</b>	<b>12</b>
1.1 VZNIK BIOPLYNU .....	12
1.2 VLASTNOSTI A KVALITA BIOPLYNU .....	14
1.3 BIOPLYNOVÉ TECHNOLOGIE .....	14
1.3.1 Mokrý fermentace .....	14
1.3.2 Suchá fermentace .....	15
<b>2 TECHNOLOGIE BIOPLYNOVÉ STANICE.....</b>	<b>16</b>
2.1 ROZDĚLENÍ BIOPLYNOVÝCH STANIC (BPS) .....	16
2.2 FERMENTOR.....	17
2.3 MÍCHACÍ TECHNIKA .....	18
2.3.1 Rychloběžné ponorné míchadlo s elektromotorem: .....	19
2.3.2 Horizontální (vertikální) pádlové míchadlo:.....	19
2.4 DÁVKOVACÍ ZAŘÍZENÍ .....	20
2.5 TOPNÁ ZAŘÍZENÍ.....	21
2.6 ČERPACÍ TECHNIKA .....	21
2.6.1 Odstředivé (rotační) čerpadlo.....	21
2.6.2 Objemové (plunžrové) čerpadlo.....	21
2.7 PŘÍPRAVNÉ A SKLADOVACÍ NÁDRŽE .....	22
2.8 KOGENERAČNÍ JEDNOTKY .....	22
2.8.1 Vlastnosti kogenerační jednotky .....	23
2.8.2 Výhody kogenerace .....	23
2.8.3 Motory a generátory pro kogenerační jednotky.....	23
<b>3 ROZDĚLENÍ VSTUPNÍCH SUROVIN.....</b>	<b>24</b>
3.1 FYZIKÁLNÍ A CHEMICKÉ VLASTNOSTI VSTUPNÍCH SUROVIN.....	25
<b>4 ANALÝZA VSTUPNÍCH SUROVIN.....</b>	<b>26</b>
4.1 ZVÍŘECÍ EXKREMENTY.....	26
4.2 BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝ KOMUNÁLNÍ ODPAD (BRKO).....	27
4.3 KUKUŘICE .....	27
4.4 TRVALÉ TRAVNÍ POROSTY (TTP).....	29
4.5 CUKROVKA A KRMNÁ ŘEPA .....	30
4.6 TOPINAMBUR HLÍZNATÝ .....	30
4.7 KRMNÝ ŠŤOVÍK .....	31
<b>5 HODNOCENÍ A POROVNÁNÍ BPS.....</b>	<b>32</b>
5.1 ÚČINNOST A EKONOMIKA BPS .....	32
5.2 PROVOZNÍ SPOLEHLIVOST BPS .....	33
5.3 EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ BPS .....	34
<b>6 NÁVRH VHODNÉ SUROVINY PRO BPS .....</b>	<b>35</b>
6.1 TTP + HNŮJ (KEJDA) + KUKUŘICE (KRMNÝ ŠŤOVÍK).....	35
6.2 NÁVRH BPS VŠERUBY .....	36



<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>38</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>39</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK.....</b>	<b>40</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ.....</b>	<b>40</b>
<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>1</b>

## Úvod

O problematice bioplynových stanic jsem se chtěl dozvědět více informací, a proto pro mě bylo velmi příjemné rozhodnutí vybrat si toto téma bakalářské práce. Tato bakalářská práce je zaměřena na seznámení se s problematikou bioplynových stanic. Práce obsahuje stručný popis bioplynové stanice a jednotlivých zařízení. Cílem této práce je popsat současný stav používaných vstupních surovin, jejich analýzu, energetickou výtěžnost a ekonomickou přijatelnost. Dále je zde uvedeno srovnání dostupných technologií BPS a návrh nejvhodnější vstupní suroviny.

V posledních letech se velmi často diskutuje o tom, že zásoby fosilních paliv klesají a je nutné hledat nové zdroje energie. Velká pozornost je kladena na obnovitelné zdroje energie. Jedním z nich jsou právě bioplynové stanice. Česká republika se zavázala vůči EU, že do roku 2010 bude 8 % celkové produkce elektrické energie vyrobeno z obnovitelných zdrojů. Velké část této energie je vyrobena vodními elektrárnami, nicméně v tomto odvětví nepředpokládám výrazný nárůst. Díky naší geografické poloze nepřipadá v úvahu ani využívání větrné ani sluneční energie. To ovšem neplatí o využití energie z biomasy. Výroba elektrické energie z biomasy se za poslední roky roste a vzhledem k tomu, že potenciál biomasy, není ještě zdaleka využit, bude i nadále růst. Od roku 2006 došlo v České republice k intenzivnímu rozvoji bioplynových stanic. Zplyňováním biomasy v bioplynové stanici vzniká bioplyn, který se spaluje v kogenerační jednotce, vzniká elektrická energie a teplo. Tímto způsobem lze zpracovávat jakoukoli biomasu, exkrementy hospodářských zvířat, kaly z ČOV, komunální odpady a tzv. biodpady. Bioplynové stanice vypouštějí minimum CO<sub>2</sub>, což zmírňuje skleníkový efekt a jsou šetrné k životnímu prostředí. Díky tzv. zeleným bonusům se výstavba bioplynové stanice stala velmi lukrativní záležitostí.

## **Seznam symbolů**

BPS – bioplynová stanice

TTP – trvalý travní porost

ČOV – čistírna odpadních vod

ČR – Česká republika

EU – Evropská unie

CH<sub>4</sub> – metan

CO<sub>2</sub> – oxid uhličitý

C – uhlík

N – dusík

BRKO – biologicky rozložitelný komunální odpad

BRO – biologicky rozložitelný odpad

# 1 Bioplynový proces

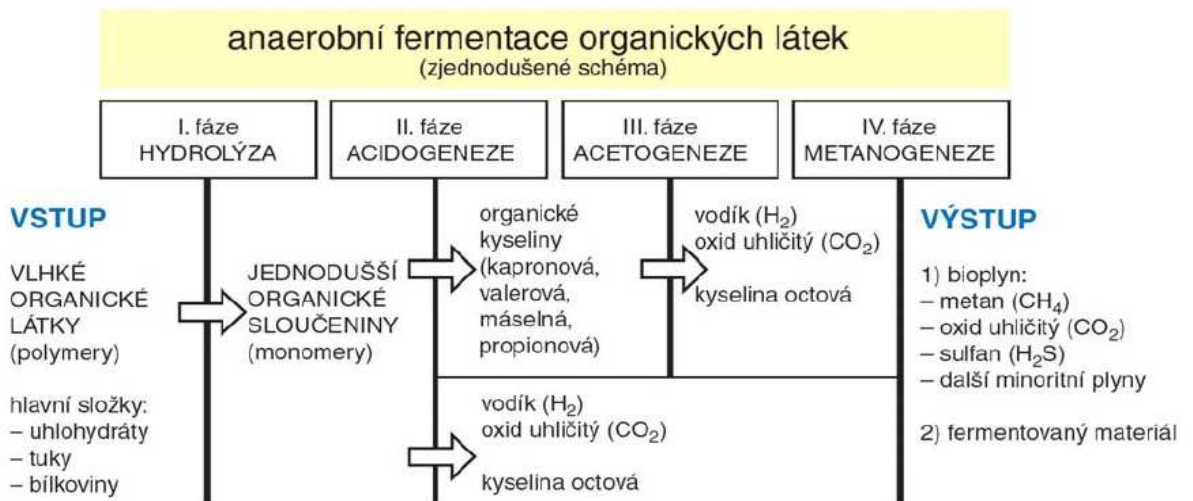
## 1.1 Vznik bioplynu

Bioplyn je složen ze směsi plynů, z nichž nejvíce převládá metan  $\text{CH}_4$  a oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ . Metan je v bioplynu zastoupen zhruba 60 %. Bioplyn vzniká na základě látkové výměny metanových bakterií, ke které dochází při rozkladu organické hmoty (hnůj, zelené rostliny, kal z čističek) bakteriemi za nepřístupu vzduchu (jedná se o anaerobní fermentaci nebo digesci). Anaerobní fermentace lze označit za kvašení. Vznik bioplynu závisí na řadě parametrů, základem je anaerobní prostředí, složení materiálu, teplotě prostředí, přístup (zde se spíše jedná o nepřístup)světla.

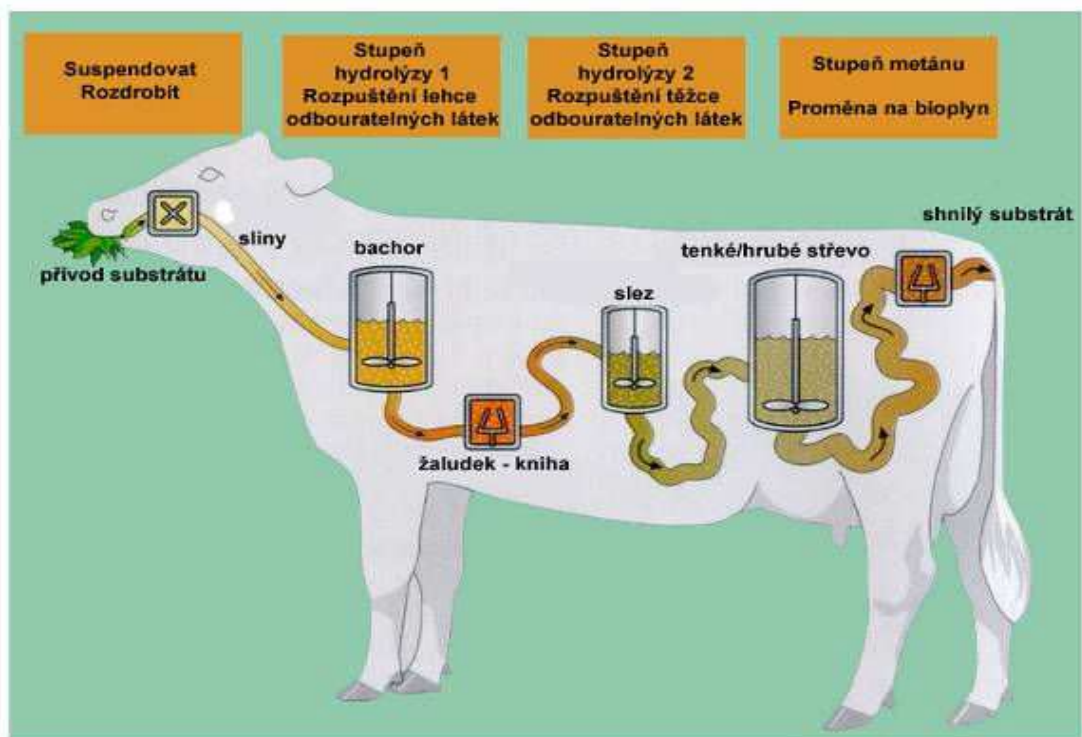
**Anaerobní fermentace** – jedná se o velmi složitý biochemický proces, který se skládá z mnoha dílčích na sebe navazujících fyzikálních, fyzikálně – chemických a biologických procesů.

Tento proces můžeme rozdělit do čtyř základních fází:

- I. fáze: **HYDROLÝZA** - pomocí anaerobních bakterií dochází k rozkladu polymerů (bílkoviny, uhlovodíky, proteiny, polysacharidy) na monomery. Pokud je v substrátu přítomen kyslík, tak ho bakterie všechen spotřebují. Obsah vlhkosti musí být větší než 50%, jinak bakterie nezačnou pracovat.
- II. fáze: **ACIDOGENEZE** - v této fázi dochází definitivnímu vytvoření anaerobního prostředí. Pomocí acidofilních bakterií dochází k rozkladu na organické kyseliny, oxid uhličitý, sirovodík a čpavek.
- III. fáze: **ACETOGENEZE** - acidogenní bakterie neboli octotvorné bakterie transformují vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý.
- IV. fáze: **METANOGENEZE** - pomocí metanových bakterií se rozkládá především kyselina octová na metan  $\text{CH}_4$ , oxid uhličitý  $\text{CO}_2$  a vodu. Metanogenní fáze probíhá přibližně 5x pomaleji než ostatní fáze. [1]



Obráze 1: Schéma anaerobní fermentace [1]



Obrázek 2: Potravní řetězec krávy [4]

Kráva je ve své podstatě malá bioplynová elektrárna. Zjednodušeně řečeno na principu potravního řetězce krávy funguje i bioplynová stanice. Na obrázku 2 je systematicky znázorněn potravní řetězec krávy. Pod jednotlivými částmi trávicího traktu, je možno si představit zařízení bioplynové stanice.

## 1.2 Vlastnosti a kvalita bioplynu

Vlastnosti bioplynu jsou velmi důležité pro jeho použití. Nejdůležitější je výhřevnost a hranice zápalnosti. Hodnota výhřevnosti je určena především obsahem metanu. Je lineární funkce, čím více metanu, tím větší výhřevnost. Hranice zápalnosti metanu ve směsi se vzduchem je velmi nízká 6 - 12 %. Zápalná teplota bioplynu je cca 650 - 750 °C. Bioplyn je pro člověka i ostatní živočichy velmi nebezpečný. Je těžší než vzduch a proto se zejména usazuje v různých prohlubeninách a podobně. [5]

### Vlastnosti bioplynu závisí na:

- obsah metanu CH<sub>4</sub> – minimálně 55 %
- stálost kvality plynu – je ovlivňována stabilitou chodu a emisí škodlivin
- obsah škodlivin – jsou to především sloučeniny síry, fluoru a chloru

### Kvalita bioplynu

Kvalita bioplynu závisí především na vlastnostech vstupních materiálů, které se podílely na jeho vzniku. Jedná se především o obsah sušiny ve vstupním materiálu. Dále je třeba brát v potaz způsob provozování zařízení BPS, teplotu ve fermentoru a dobu zdržení. Důsledkem toho je, že dochází k rozptylu hodnot ve výtěžnosti bioplynu při stejné vstupní surovině. Vlastnosti a kvalita bioplynu jsou závislé na původu jeho vzniku, což je patrné z tabulky 1.

**Tabulka 1: Obsah metanu**

Vznik bioplynu	Obsah CH <sub>4</sub> (obj.%)
čistírna odpadních vod	50-85
stabilizace kalů	60-70
zemědělské odpady	55-75
skládky	35-55

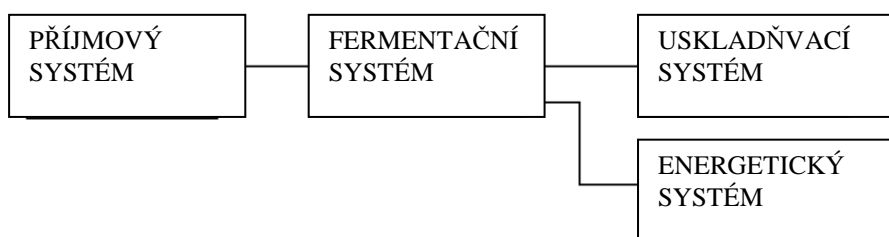
## 1.3 Bioplynové technologie

Základní dělení bioplynových technologií je na mokrou fermentaci a suchou fermentaci.

### 1.3.1 Mokrá fermentace

Vstupní surovina musí mít obsah sušiny do 12 %. Materiál s vyšším obsahem sušiny jako je hnůj, podestýlka, různé druhy travních senází a kukuřičných silází se před vstupem do

fermentorů ředí na odpovídající obsah sušiny kejdou nebo procesní vodou. Vyšší obsah sušiny může u mokré fermentace způsobit vážně provozní problémy. Je tedy velmi nutné dbát na to, aby obsah sušiny odpovídal dané technologii. Mokrý anaerobní fermentace probíhá v uzavřených velkoobjemových nádobách (fermentorech/reaktorech), které jsou vyhřívány na navrženou provozní teplotu (běžně 35°C až 55°C) a míchány. Technologie je tvořena 4 základními celky.



**Obrázek 3:** Blokové schéma systému BPS

**Příjmový systém** – slouží k přípravě a dávkování substrátu do fermentoru. Jedná se zejména o úpravu velikosti částic, míchání a homogenizaci.

**Fermentační systém** – zde probíhá vlastní anaerobní fermentace

**Uskladňovací systém** – stabilizovaný materiál je nutné po fermentaci vhodným způsobem uskladnit. Pro tento účel slouží skladovací nádrže.

**Energetický systém** – zde dochází k výrobě tepla a elektrické energie. [6]

### 1.3.2 Suchá fermentace

Vstupní surovina obsahuje 30 – 35 % sušiny. Anaerobní proces probíhá při teplotě cca 32 – 38 °C. Suchá fermentace se dělí na dvě technologie kontinuální a diskontinuální (vsázková).

**Diskontinuální technologie** – skládá se z meziskladu a několika komor, do kterých se dopravuje vstupní surovina. Anaerobní proces je řízen dávkováním procesní vodou. Nevýhoda je, že je nejdříve nutné vyprázdnit komory a poté naskladnit novým substrátem. Nastartování reakce trvá 3 dny, vlastní fermentace a produkce bioplynu trvá 24 – 27 dnů. Výhodou této technologie je, že lze pro vytvoření BPS využít již nevyužité objekty (např. staré kravíny, seníky a různé zemědělské objekty).

**Kontinuální technologie** – jedná se o velmi investičně a provozně náročnou technologii, která je využívána především pro zpracování komunálních a tříděných domovních odpadů.

Princip je obdobný jako u diskontinuální technologie. [6]

Technologie mokré fermentace je nejen v České republice, ale i ve světě z hlediska četnosti mnohem více rozšířená než technologie suché fermentace. Má širší uplatnění, je technicky propracovanější a provozně spolehlivější. Naopak nevýhoda je, že má bohatší technologické vybavení (čerpadla, míchadla) a tím se zvyšují investiční náklady a poruchovost. Suché technologie byly primárně navrženy pro zpracování komunálních bioodpadů a pro zemědělské provozy, kde jsou k dispozici substráty s vysokým obsahem sušiny. Velmi často se nesmyslně uvádí, že suché technologie mají vůči mokrým technologiím nižší výtěžnost bioplynu. Je třeba si uvědomit, že každá technologie má své výhody a nevýhody. Každá bioplynová stanice by měla být individuálně navržena tak, aby bylo docíleno maximální energetické výtěžnosti. Bohužel v ČR panuje mezi lidmi jakási nedůvěra v nakládání s komunálními a domovními odpady. Nepomáhají tomu ani přísné legislativní podmínky nakládání s komunálními bioodpady a proto ještě nějaký čas potrvá, než se u nás suché technologie zcela rozšíří.

## 2 Technologie bioplynové stanice

### 2.1 Rozdělení bioplynových stanic (BPS)

Bioplynové stanice důsledně rozlišujeme podle druhů vstupních surovin a to na tři základní skupiny.

**Zemědělské BPS** – jsou nejen u nás ale i v zahraničí nejvíce zastoupeny. Zpracovávají se pouze vstupní suroviny ze zemědělské prvovýroby, zejména statková hnojiva (hnůj, kejda), zbytky z rostlinné výroby, trávy a tzv. energetické plodiny, což jsou cíleně pěstované plodiny k energetickému využití (např. kukuřice). Jejich výstavba je situována do areálů zemědělských provozů. Zemědělské BPS lze hodnotit jako méně problematické a proces schvalování výstavby by měl být bezproblémový.

**Průmyslové (kofermentační) BPS** - vstupní suroviny tvoří výhradně nebo v určitém podílu tzv. rizikové vstupy. Mezi ně patří zejména jateční odpad, kaly z ČOV, kaly ze specifických provozů, tuky a masokostní moučka. Proces schvalování výstavby je o něco přísnější. Větší nároky jsou kladeny především na technologii, hygienická pravidla a na splnění všech provozních podmínek.

**Komunální BPS** – vstupní surovina pro zpracování je tzv. komunální bioodpad. Jsou to zejména odpady z údržby zeleně, vytríděné bioodpady z domácností a stravovacích provozů

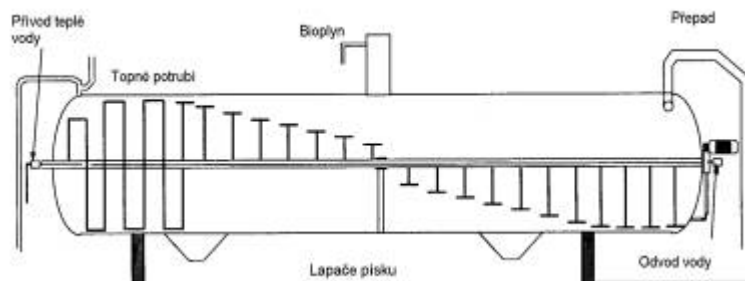


(restaurací a jídelen). Komunální BPS mají mnohem náročnější provozní technologii a to především příjmovou část. Biodpad obsahuje velké množství pachových látek a proto je nutné jej vhodným způsobem skladovat. [7]

## 2.2 Fermentor

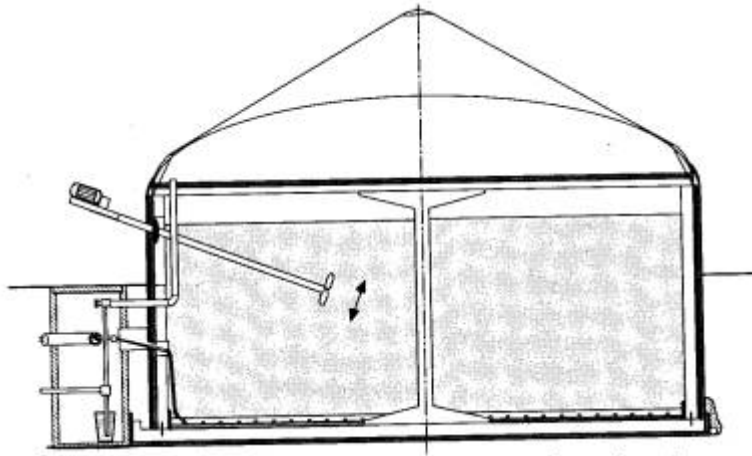
Fermentor je stavební kámen celé bioplynové stanice. Ve fermentoru probíhá anaerobní proces a dochází k rozmnožování mikrobiální kultury. Fermentor musí být vybaven dávkovacím zařízením, míchacím zařízením, ohřevem a homogenizačním zařízením. Součásti uvnitř fermentoru musí být zhotoveny z velmi odolných materiálů, neboť zde dochází k uvolňování velmi agresivních sloučenin plynů, které způsobují rychlou korozi. Používají se dva základní konstrukční typy fermentorů a to buď vertikální (stojící) nebo horizontální (ležící).

**Horizontální konstrukce** má výhodu v tom, že dochází k lepšímu promíchávání substrátu, což podporuje hygienizační efekt. Nevýhodou je nadměrná velikost povrchu nádrže, potřeba velkého prostoru na umístění nádrže a velké tepelné ztráty. Používají se zejména pro hovězí kejdy a hnoje.



**Obrázek 4:** Horizontální průtočný reaktor [8]

**Vertikální konstrukce** dosahují lepšího poměru mezi povrchem a objemem, čímž se snižují materiálové náklady a tepelné ztráty. Mohou být umístěny jak nadzemí tak podzemí. Nadzemní umístění je voleno pro oblasti s vysokým obsahem spodní vody. Výhoda je, že na tepelnou izolaci nádrže lze použít levnější materiály, naopak nevýhoda je, že nádrž je vystavena okolním povětrnostním vlivům a dochází ke značným tepelným ztrátám. Podzemní umístění má výhodu v tom, že nádrže nezabírají místo a jsou chráněny před povětrnostními vlivy, což se projeví snížením tepelných ztrát. Je však nutné plášť nádrže izolovat drahými izolačními materiály.



Obrázek 5: Vertikální reaktor [8]

### 2.3 Míchací technika

Míchadla slouží k promíchávání substrátu ve fermentoru, aby bylo dosaženo následujících efektů:

- čerstvý substrát se musí smíchat s již vyhnívajícím substrátem
- teplota ve fermentoru musí být co nejrovnoměrnější
- míchání zabraňuje vzniku plovoucího příkrovu a usazenin
- míchání zlepšuje látkové výměny bakterií

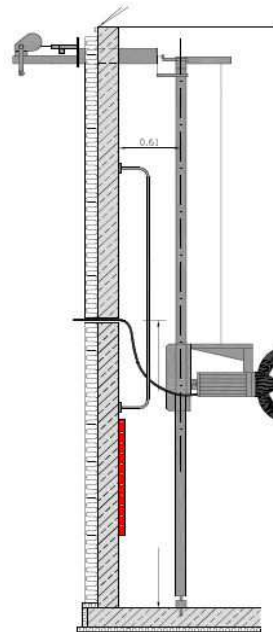
Míchadla se dělí na:

- 1. Mechanická** – lopatková a ponorná, dokážou zasáhnout celý vyhnívací prostor
- 2. Hydraulická** – používají se na nízkoviskózní (řídke) substráty, které nejsou příliš náchylné k vytváření plovoucího příkrovu a usazenin. Mají tu výhodu, že uvnitř fermentoru se nenachází žádné pohyblivé části. Tyto části jsou umístěny mimo fermentor a jsou snadno přístupné.
- 3. Pneumatická** – používají se v případech, kdy obsah fermentoru nemá být promícháván v celém rozsahu (hygienizační efekt).

Nejrozšířenější jsou míchadla mechanická a to zejména ponorná míchadla a horizontální (vertikální) lopatková míchadla. [2]

### 2.3.1 Rychloběžné ponorné míchadlo s elektromotorem:

Používá se ve vertikálních fermentorech. Vrtule je poháněná vodotěsně zapouzdřeným elektromotorem. Výhodou je výškové nastavení míchadla, které napomáhá k odstranění usazenin a plovoucího příkrovu. Nevýhodou je, že ponorné motory musí být používány do teploty cca 40°C jinak se dostatečně nechladí.



Obrázek 6: Rychloběžné ponorné míchadlo s elektromotorem [10]



Obrázek 7: Vertikální lopatkové míchadlo [11]

### 2.3.2 Horizontální (vertikální) pádlové míchadlo:

Jedná se o pomalu rotující účinné pádlové míchadlo určené pro fermentory od průměru 16 m a hloubky 5 m. Horizontální pádlové míchadlo zamíchá substrát jakékoliv velikosti

částic substrátu a poradí si i s vyšším obsahem sušiny. Velkou výhodou je nízká spotřeba elektrické energie, díky velkému průměru lopatek a nízké rychlosti otáčení. Rychlost otáčení lze jednoduše nastavit podle průměru fermentoru a druhu vstupní suroviny.

## 2.4 Dávkovací zařízení

Pro přípravu a následné dávkování vstupní suroviny slouží dávkovací zařízení. Dávkovací zařízení tvoří dávkovací zásobník s posuvnou podlahou, doplněné systém dopravních šneků. Zařízení musí být umístěno v těsné blízkosti fermentoru. Dávkovací zásobník je umístěn na tenzometrech, které slouží ke snímání hmotnosti a k přesnému nastavení množství dávkované vstupní suroviny. Celé zařízení je automaticky řízeno a ovládáno přes dotykový displej. Vstupní suroviny musí mít takové parametry, aby je šnekový dopravník dokázal dopravit do fermentoru. Vstupní suroviny se musí do dávkovacího zařízení plynule rozvrstvit, aby bylo dosaženo co nejlepší účinnosti. Plnění dávkovacího zařízení se provádí podle velikosti zásobníku.



Obrázek 8: Dávkovací zařízení [10]

## 2.5 Topná zařízení

Hlavní podmínkou pro dobrou činnost bakterií ve fermentoru je udržení optimální teploty. Teplotní pásma pro fermentační proces se dělí na psychrofilní (15 – 20 °C), mezofilní (35 – 40 °C) a termofilní (≈ 55 °C). Nejčastěji používaná pásma jsou mezofilní (vhodné pro zpracování prasečí a hovězí kejdy) a termofilní (pro zpracování kalů z ČOV). Teplota musí být konstantní, s jemným kolísáním se mění intenzita bioplynu. Velké rozdíly teplot jsou pro bioplynový proces velmi nebezpečné, mikroorganismy se nepřizpůsobí novým podmínkám, zahynou a zkolabuje celý bioplynový proces. Požadovaná teplota je zajištěna ohřevem substrátu přímo ve fermentoru nebo externě mimo fermentor. V prvním případě je fermentor osazen soustavou trubek. Jako topné medium je použita voda. Horká voda je přiváděna dovnitř fermentoru, kde dochází k výměně tepla. Tento systém se používá u menších a středních fermentorů. Pro větší fermentory se používá systém externí cirkulace reaktorové směsi přes tepelné výměníky, do nichž se přivádí voda. Tento systém umožňuje zároveň kvalitní promíchávání reaktorové směsi. K ohřevu vody se používají různé druhy kogeneračních knotek.

## 2.6 Čerpací technika

Čerpadla slouží k přepravě substrátů mezi fermentorem a jednotlivými nádržemi (např. k dávkování kapalných surovin nebo k přečerpávání digestátu). Používají se dva základní typy odstředivé (rotační) čerpadlo a objemové (plunžrové) čerpadlo.

### 2.6.1 Odstředivé (rotační) čerpadlo

Používá se pro dopravu řídkých kapalných substrátů o obsahu sušiny menší než 8%. Je konstrukčně jednoduché, nenáročné na údržbu a relativně robustní. Výkon čerpadla silně závisí na dopravní výšce.

### 2.6.2 Objemové (plunžrové) čerpadlo

Používá se pro dopravu kejdy s vyšším obsahem sušiny. Je samonasávací a mnohonásobně stabilnější vůči změnám tlaku. Výkon čerpadla je mnohem méně závislý na výšce. Z mnoha různých principů objemových čerpadel se nejvíce používají šnekové čerpadla a čerpadla s rotujícími pístky.

U většiny dnes stavěných bioplynových stanic se používá jedno centrální čerpadlo, s až šesti přívody pro čerpání kvasného substrátu a digestátu s možností napojení na libovolné množství distribučních cest pomocí rozdělovače. Přes jedno centrální místo je možné čerpat materiál z jakéhokoliv místa do jakékoliv části bioplynové stanice.



Obrázek 9: Centrální čerpadlo [11]

## 2.7 Přípravné a skladovací nádrže

**Přípravné nádrže** slouží k shromažďování kejdy. Odtud se přečerpává do fermentoru. Přídatné nádrže jsou zcela nebo jen částečně zapuštěné do země. Nechávací se otevřené, protože přísun vzduchu příznivě působí na započítí první, kyselá fáze bioplynového procesu.

**Skladovací nádrže** slouží k jímání vyhnílé kejdy (digestátu). Velikost nádrže musí být dimenzována na skladování digestátu po dobu 6 až 7 měsíců (v závislosti na klimatu). Z důvodu vegetačního klidu, kdy rostliny nepřijímají živiny. U většiny bioplynových stanic je nádrž zakryta foliovým poklopem, aby se zabránilo ztrátám na dusíku a případně jímání plyn vznikající dokvašováním.

## 2.8 Kogenerační jednotky

Kogenerace je současná výroba více forem energie z jednoho zařízení. V případě BPS to je elektrická energie a tepelná energie.

### 2.8.1 Vlastnosti kogenerační jednotky

Kogenerační jednotka pro BPS má asi 80 – 90 % účinnost, zhruba 30 % energie bioplynu se přemění na elektrickou energii, 60% na teplo a zbytek jsou tepelné ztráty. Výkonový rozsah kogeneračních jednotek pro BPS se pohybuje od stovek kW až do jednotek MW. Celková účinnost kogenerační jednotky zůstává s rostoucím výkonem téměř konstantní, naopak měrné náklady se snižují. Část tepelné energie se využívá pro ohřev fermentoru, část tepelná energie se v zimě nejčastěji využívá k vytápění stájí a domů. V létě je však teplo (pokud není využito jiným způsobem) nežádoucí a přes chladiče se vypouští do ovzduší. Při výběru kogenerační jednotky je nutné věnovat značnou pozornost. Důležitými aspekty jsou zkušenosti ostatních provozovatelů BPS, elektrická účinnost, volba velikosti a typu kogenerační jednotky.

### 2.8.2 Výhody kogenerace

**Úspora paliva** - 40% úspory paliva představuje kogenerační způsob výroby elektrické energie a tepla.

**Úspora nákladů na nákup energie** – ze stejného množství paliva lze získat až dvojnásobné množství energie.

**Minimalizace nákladů na rozvod energie** – teplo i elektrická energie vzniká na jednom místě a proto je dobré umístit BPS v blízkosti stájí a domů, které chceme vytápět. Tím odpadají náklady na rozvod energie.

**Výroba chladu** – vyrobené teplo lze přeměnit na chlad, kterým lze chladit motor kogenerační jednotky nebo se v současné době rozšiřuje tzv. trigenerace, což je kombinovaná výroba elektrické energie, tepla a chladu. Trigenerace je technicky velmi náročná záležitost a je využívána jen výjimečně.[13]

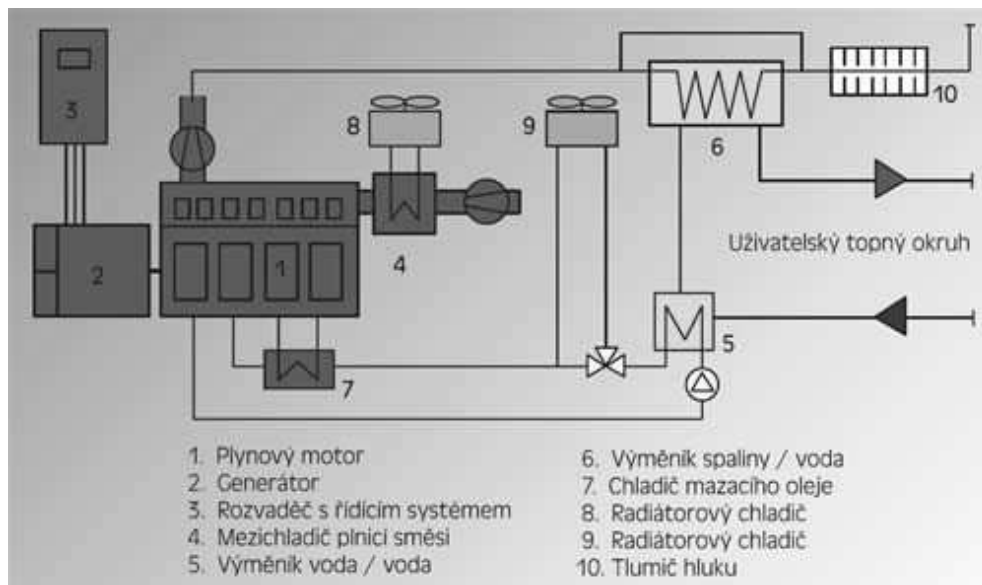
### 2.8.3 Motory a generátory pro kogenerační jednotky

Spalovací motor na bioplyn pohání generátor elektrické energie a zároveň se využívá teplo z chladícího média motoru (ze spalin).

**Motory** – používají se spalovací motory a to zejména zážehové motory, které spalují pouze bioplyn, a vznětové motory, ve kterých se pro vznícení používá tzv. zápalný paprsek ve

formě nafty či řepkového oleje. Výhodou tohoto řešení je vyšší elektrická účinnost, na úkor náročnějšího a dražšího servisu. Spalovací motory na bioplyn pohání

**Generátory** – v převážné většině případů se používají asynchronní generátory, zřídka generátory synchronní. Asynchronní generátory jsou levné a robustní, jejich nevýhoda je v tom, že při výpadku sítě nemůže vyrábět elektrickou energii a proto musí být BPS opatřena nouzovým agregátem. Naopak synchronní generátory touto nevýhodou nedisponují. [2]



**Obrázek 10:** Blokové schéma kogenerační jednotky [12]

### 3 Rozdělení vstupních surovin

Biomasa = hmota živočišného nebo rostlinného původu, které obsahuje organické látky, podle zákona č.180/2005 Sb. je to biologicky rozložitelná část výrobků, odpadů a zbytků z provozování zemědělství a hospodaření v lesích a souvisejících průmyslových odvětví, zemědělské produkty pěstované pro energetické účely a rovněž biologicky rozložitelná část vytríděného průmyslového a komunálního odpadu. [14]

#### Nejčastěji používané druhy biomasy pro použití v BPS

- Zvířecí exkrementy - kejda, hnůj, chlévská mrva, podestýlka.
- Fytomasa - siláže, senáže, vybrané druhy energetických rostlin (kukuřice, TTP, cukrovka, krmná řepa), ekonomicky neprodejně produkty (např. nezkrmené zbytky rostlin).
- Odpady ze zpracovatelského a potravinářského průmyslu (jatky, mlékárny, cukrovary, lihovary).



- Komunální a domovní odpady (BRKO, BRO)
- Speciální odpady (bioodpady z chemické výroby, masokostní moučka)
- Kaly z ČOV

V České republice se jako vstupní suroviny používané především energetické plodiny jako je kukuřice a TTP, dále jsou to zvířecí exkrementy, kaly z ČOV a jen velmi málo rozšířené bioodpady. Proto jsem si pro následnou analýzu vybral zejména tyto suroviny.

### 3.1 Fyzikální a chemické vlastnosti vstupních surovin

Fyzikální a chemické vlastnosti ovlivňují celou technologii bioplynové stanice. Mají vliv na průběh a stabilitu anaerobního procesu. Nejdůležitější je obsah sušiny, obsah dusíku a síry, pH, poměr C : N, nadměrný obsah písku, hlíny, soli, saponátů. Obsah sušiny závisí na zvolené technologii, množství a kvalitě vyrobeného bioplynu. Obsah síry (S) musí být pravidelně sledován a podléhá legislativním normám (zejména Zákonu o ochraně ovzduší). Síra se dostává do produkovaného bioplynu, kde následně ovlivňuje životnost plynových zařízení a spotřebičů (motory, kogenerační jednotky,...). S příjmem biomasy dochází ke vnosu dusíku (N) do anaerobního procesu. Jeho nadměrný obsah může mít negativní vliv na stabilitu anaerobního procesu. Anaerobní proces je velice citlivý na změnu hodnoty pH a proto by se hodnota pH vstupních surovin měla pohybovat kolem 7,5. Pro správný průběh anaerobní reakce je vhodné, aby vstupní suroviny měly vhodný poměr organického uhlíku a nutrientů. Zejména je důležitý poměr C : N. Optimální C : N je 25 – 30 : 1. Dobrá znalost vlastností vstupních surovin je pro chod a celou ekonomiku BPS velmi důležitá. Nejefektivnějším způsobem, jak dostat potřebné údaje o daném materiálu je podrobit jej příslušným zkouškám v tzv. testovacím reaktoru. Odtud lze získat přesné informace o výtěžnosti a energetickém obsahu bioplynu a poměrně mnoho dalších informací na vlastní provoz bioplynové stanice.

Nedílnou součástí BPS pro skladování a úpravu vstupních surovin, s přímou vazbou na jejich vlastnosti jsou silážní a senážní jámy, uzavřené mezisklady s odvětráním přes biofiltry, příjmové dávkovací zařízení na tuhou biomasu, příjmové homogenizační jímky na kapalnou biomasu, drtiče a hygienizační linky.

## 4 Analýza vstupních surovin

### 4.1 Zvířecí exkrementy

Do této skupiny patří hovězí kejda, prasečí kejda, hovězí hnůj, prasečí hnůj, chlévská mrva a drůbeží hnůj. Zvířecí exkrementy obsahují cca 40 – 60 % rozložitelné organické sušiny za dobu cca 25 – 30 dnů. V pokusných fermentorech bylo zjištěno, že po i po 30 dnech pokračuje rozklad organických látek prasečí kejdy, ovšem na úkor kvality bioplynu. Zpracováním zvířecích exkrementů od 1 kusu zvířat může ročně zabezpečit až 620 m<sup>3</sup> bioplynu s energetickým obsahem cca 13200 MJ. Přidáním 1kg slámy zvyšuje produkci bioplynu o 0,15 – 0,35 m<sup>3</sup>. V tabulce 2 je uvedena přibližná produkce od různých druhů zvířat.

**Tabulka 2:** Produkce exkrementů od jednotlivých druhů zvířat [3]

Kategorie zvířat	Produkce sušiny exkrementů kg suš. /den	Produkce exkrementů kg/den	Produkce bioplynu m <sup>3</sup> /den	Produkce bioplynu m <sup>3</sup> /rok
Dojnice	6	60	1,7	620
Hovězí žír, 350 kg	3	30	1,2	438
Jalovice, 330 kg	3, 5	35	0,9	328
Teleta, 100 kg	1,25	14	0,3	109
Prasata, 70 kg	0, 5	8,5	0,2	73
Prasnice, 170 kg	1	14	0,3	109
Selata, 10 kg	0,15	3	0,1	36
Selata, 23 kg	0,25	4	0,15	55
Nosnice, 2,2 kg	0, 036	0,23	0,016	5,8
Brojleři, 0,8kg	0,02	0,14	0, 009	3,3
Kozy, ovce	0,7	3,8	0,25	91
Koně	4,5	24	1,5	548

V tabulce 3 jsou patrné rozdíly mezi prasečí a hovězí kejdou. Prasečí kejdy je oproti hovězí lepší zdroj bioplynu a bioplyn produkovaný z prasečí kejdy má vyšší obsah metanu. Tento fakt lze vysvětlit tím, že potrava u krávy prošla trávicím procesem podobným anaerobní digesti. Jak už jsem v kapitole 1.1 zmiňoval, bioplynový proces je totožný s trávicím traktem krávy. Rozdíly mezi prasečím a hovězím hnojem jsou minimální.

**Tabulka 3:** Produkce bioplynu se substrátů na bázi zvířecích exkrementů [3]

Substrát	Produkce bioplynu m <sup>3</sup> /t	Produkce bioplynu m <sup>3</sup> /t sušiny	Obsah metanu v bioplynu v % obj.
Hovězí kejda	20 - 30	200 - 500	60
Prasečí kejda	20 - 35	300 - 700	65 - 70
Hovězí hnůj	40 - 50	210 - 300	60
Prasečí hnůj	55 - 65	270 - 450	60
Drůbeží hnůj	70 - 90	250 - 450	60

Použití zvířecích fekálií jako primární vstupní suroviny je jen u malého množství bioplynových stanic. Velká většina BPS používá tuto vstupní surovinu jako doplněk ke kukuřičné siláži nebo travní senáži, to zároveň zvyšuje produkci bioplynu.

## 4.2 Biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO)

Biologicky rozložitelný komunální odpad jako vstupní surovina pro BPS není v České republice téměř zastoupen. Za komunální odpad (bioodpad) jsou používány odpady z domácností, kuchyní, potravinářských provozů, použité potravinářské oleje apod. Oleje a tuky jsou velmi hodnotným materiálem s vysokým energetickým obsahem a bezproblémovými vlastnostmi pro zpracování fermentací. V České republice není tak jako v Německu popřípadě Rakousku příliš rozvinutý trh v oblasti nakládání s bioodpady. Tím pádem je zde odlišná cena odpadů i výkupní cena elektrické energie. Cenová úroveň u zpracovaných bioodpadů se pohybuje někde kolem 350 až 500 Kč za tunu, zatímco v zahraničí je to více než dvojnásobek této sumy. Z tohoto důvodu není BPS tak závislé na výkupní ceně elektrické energie a zpracování bioodpadu se významně podílí na ekonomice celé akce. Bohužel kvůli nízké výkupní ceně bioodpadů v ČR toto neplatí. V příloze 2 jsou uvedeny nejčastější používané bioodpady a jejich produkce metanu, které by se daly použít ke kofermentaci se zemědělskými substráty.

## 4.3 Kukuřice

Kukuřice je doposud nepřekonatelnou vstupní surovinou z hlediska energetické výtěžnosti. Díky propracované pěstitelské technologii se podařilo vytvořit tzv. hybridy kukuřice s vysokou energetickou výtěžností vhodné pro naše klimatické podmínky. Tyto hybridy obsahují méně zrna a obsah sušiny při sklizni se pohybuje kolem 28 – 32 %. Při obsahu sušiny nad 32 % dochází k nárůstu zrna, ke zvýšení rizika napadení siláže plísněmi, ke

zvyšování škrobu, který není v takovémto množství pro fermentaci potřebný a zvyšuje se obsah obtížně fermentovatelného ligninu, čímž klesá odbourovatelnost vlákniny. Optimální délka řezanky pro bioplyn po sklizni je 8mm. Když srovnám kukuřici vyšlechtěnou pro bioplynovou stanici a kukuřici určenou pro výživu skotu tak má zcela jiné vlastnosti při fermentaci. Kukuřice určená pro BPS setrvává ve fermentoru 30 - 40 dní oproti kukuřici určené k výživě skotu, která setrvává v bacheru přežvýkavců mnohonásobně méně. [3]

V České republice tvoří kukuřice velkou část osevních ploch. U zemědělců je velmi oblíbenou osevní plodinou. Kukuřice velmi rychle spotřebovává živiny z půdy, proto je nutné častěji dodávat živiny do půdy ve formě hnojení. Snižování živin v půdě způsobuje snížení výnosu a tím i energetické a ekonomické využití. Jak je známo kukuřice jen velmi málo zadržuje vodu. Nevhodným zvolením osevního postupu na svazích způsobuje nebezpečí vodních erozí.

V ČR se přibližně vysévá 200 000 ha kukuřice. Energetická výtěžnost kukuřice z 1 ha je až 9000 m<sup>3</sup> a 27 000 kWh<sub>el</sub> což představuje 324 000 MJ/ha. [5] Výnos bioplynu z tuny kukuřičné siláže je cca 170 – 200 m<sup>3</sup>. (viz tabulka 4). „Náklady na pěstování kukuřice při hektarovém výnosu 40 t zelené hmoty se pohybují v rozmezí 20500 – 24000 Kč/ha, což představuje 512 – 600 Kč/t.“ [3]

### **Silážování**

Celoroční provoz bioplynové stanice vyžaduje celoroční zásobování fermentoru organickou hmotou. Proto je nutné vstupní suroviny vhodným způsobem zakonzervovat. Mezi nejrozšířenější způsoby konzervace patří silážování. Silážování je proces ukládání zemědělské plodiny do silážního žlabu za stálého dusání. Celý prostor může, ale také nemusí být vzduchotěsně uzavřen.

V bioplynové stanici Všeruby, kterou jsem navštívil, používají otevřené silážování, tedy bez vzduchotěsného zakrytí siláže. Od provozovatele bioplynové stanice jsem se dozvěděl, že se energetický výtěžek kukuřice z otevřené siláže snižuje. Tyto ztráty se pohybují kolem 20 %. Další ztráty až 15 % vznikají při odebrání siláže a nezakrytí vybírací plochy. Tyto ztráty lze snižovat aplikací různých silážních přípravků, které snižují kyselinu mléčnou a zvyšují množství kyseliny octové. Kukuřice má před ostatními plodinami přednost díky velmi dobrému výnosu z 1 kg sušiny, výbornou silážovatelností a propracovanou pěstební technologií.

#### 4.4 Trvalé travní porosty (TTP)

Mezi trvalé travní porosty patří:

- luční porosty (tráva, jetel)
- přebytečná hmota z pastevních areálů (tzv. nedopasky)
- sklizená nadbytečná hmota z nerovnoměrného nárůstu píce v jarním období

V České republice tvoří trvalé travní porosty téměř jednu čtvrtinu zemědělské půdy. Když se rozhlédnu kolem svého bydliště, tak si nemohu nevšimnout, jak jsou trvalé travní porosty velmi špatně využívány. Ať už je to špatné obhospodařování nebo špatné hnojení. Hnojení je špatně aplikováno na zamrzlou (zasněženou) půdu, půda živiny nevstřebává, následné tání nebo déšť všechno odnese do potoků a řek. I když se zdá, že se v současné době situace pomalu zlepšuje, ještě pořád u nás v České republice není obhospodařování trvalých travních porostů na takové úrovni jako v Německu nebo Rakousku.

Travní fytomasa je z biomasy pro bioplynové stanice po kukuřici velmi energeticky dobrou vstupní surovinou. Splňuje základní požadavky pro výrobu bioplynu. Obsahuje velmi málo popelovin, má vysoký obsah organické hmoty a dosahuje optimálního poměru C : N, což je mezi 12 – 25 : 1 (ideální poměr C : N je 30 : 1). Ve výzkumných fermentorech bylo zjištěno, že travní fytomasa by se měla optimálně kombinovat s kukuřičnou siláží a kejdou, aby byla dosažena maximální produkce bioplynu. Podíl travní fytomasy by měl být cca 35 – 50 %, při vyšším podílu produkce bioplynu klesá. Postupným zkoumáním bylo zjištěno, že nejvhodnější travní fytomasa je z ranějších sklizní (před začátkem kvetení), s krátkou délkou stébla trávy. V našich klimatických podmínkách přichází v úvahu 3 fáze seče.

Složení trvalých travních porostů závisí na různých ekologických faktorech a samozřejmě na vhodném obhospodařování. Nejvýznamnější faktor obhospodařování je hnojení. Hnojení je cílená aplikace živin do půdy a podporuje rychlejší růst rostlin. Nejrozšířenější je hnojení dusíkem (N), fosforem (F), a jednou za 4-5 let vápnem. Například k dosažení výnosu 6 – 10 t suché hmoty při třísečném využití je obvykle nutné aplikovat 100 – 200 kg N.ha<sup>-1</sup>. Hnojení podléhá přísným legislativním předpisům.

Výměra TTP v ČR je cca 970 000 ha. Roční výnos vychází z geologických podmínek, půdního typu, druhu půd, nadmořské výšky a teploty, množství srážek, hladině spodní vody apod. Výnos bioplynu z tuny travní senáže je cca 170 – 200 m<sup>3</sup> (viz tabulka 4). „Při extenzivním ošetřování trvalých travních porostů (TTP) s celoročním hektarovým výnosem

16 t zelené hmoty se předpokládají náklady 13500 Kč/ha, což představuje jednotkový náklad 843 Kč/t. Při intenzivním obhospodařování TTP s celoročním hektarovým výnosem 28 t jsou celkové náklady 17500 Kč/ha, což představuje náklad 616 Kč/t.“ [3]

#### 4.5 Cukrovka a krmná řepa

Cukrovka a krmná řepa jsou plodiny s vysokým energetickým potenciálem. Bohužel v České republice není jako vstupní surovina téměř zastoupená. V Německu a v Rakousku mají technologické postupy pěstování a sklizně zcela propracované. Dlouhodobým výzkumem bylo zjištěno, že optimální surovinové složení by mělo být cca 1/3 hmotnosti bulev cukrovky (krmné řepy) a 2/3 hmotnosti kukuřičné siláže. Jedině tak lze zajistit nejvyšší energetický zisk. Cukrovku a krmnou řepu je nutné vhodným způsobem zakonzervovat, aby se dala použít celoročně. Technologie silážování je oproti kukuřici nebo TTP mnohem náročnější. Bulvy cukrovky (krmné řepy) se rozdrťí a míchají rozřezanou kukuřičnou hmotou nebo se bulvy silážují celé. Velký technický problém při silážování celých bulev je čištění od hlíny a kamení. Kamení a hlína by mohly způsobit zanesení reaktoru. Tento problém se řeší pomocí mobilních praček, kde se přímo na poli bulvy očistí od nečistot. [3]

„Z 1 ha cukrovky je energetická výtěžnost až 23 000 kW/h<sub>el</sub>.“ [3] Náklady na výnos z 1 ha jsou mnohonásobně vyšší než u TTP a kukuřice.

**Tabulka 4:** Produkce a vlastnosti bioplynu energetických rostlin [3]

Substrát	Sušina v %	NH4 % sušiny	Produkce bioplynu m <sup>3</sup> /t	Obsah metanu v bioplynu v % obj.
Kukuřičná siláž	20 – 35	1,1 – 2,0	170 – 200	50 – 55
Žito GPS siláž	30 – 35	4	170 – 200	55
Cukrovka	23	2,6	170 – 180	53 – 54
Krmná řepa bulvy	12	1,9	75 – 100	53 – 54
Řepný chrást	16	0,2-0,4	70 – 80	54 – 55
Travní senáž	25 – 50	3,5 – 6,9	170 – 200	54 – 55
Tritikale GPS siláž	27 – 41	3,8 – 4,2	79 – 87	70 – 71

#### 4.6 Topinambur hlíznatý

Jedná se o jednu z potencionálních plodin, která může být použita jako vstupní surovina pro BPS. Do Evropy byl přivezen z Ameriky v 16. Století. Jde o rostlinu dorůstající až do

výšky 250 cm, podobná slunečnici a její význam byl pouze dekorativní. Později se hlízy topinamburu začaly využívat jako potravina (místo brambor) a krmivo. Pěstování topinamburu není nijak náročné. Délka jeho vegetační doby je 4 – 8 měsíců. Byly provedeny testy, na základě kterých by bylo možné tuto plodinu použít jako substrát pro výrobu obnovitelné energie ve formě bioplynu. [9]

#### 4.7 Krmný šťovík

Krmný šťovík se u nás začal využívat jako energetická biomasa, především pro přímé spalování. Vzhledem k jeho skutečně velmi dobrým krmným hodnotám (vysoký obsah základních živin – N látek i cukrů) se uvažuje, že by se začal používat pro výrobu bioplynu. Jedná se o vytrvalou plodinu, která vydrží na svém stanovišti 10 (i více) let. Krmný šťovík se seje do úzkých řádků, tím pádem jej lze pěstovat i na svažitých pozemcích, kde má nyní kukuřice určité omezení a zajišťuje velmi dobrou protierozní ochranu půdy, a to stejně dobře jako zatravnění. Novelizace zemědělského zákona pro širokořádkové plodiny uvádí, že pěstovat tyto plodiny lze jen do 7° (dříve do 13°). V současné době, kdy je pěstování kukuřice rok od roku dražší a prostor pro pěstování je již 2 roky omezen se nabízí zavedení krmného šťovíku jako vstupní suroviny pro BPS. Poskytuje vůči TTP 2x až 3x větší výnosy a mnohem větší kvalitu, což může provozovatelům BPS přispět k jeho zavedení. Pro výrobu bioplynu se krmný šťovík sklízí na zeleno začátkem května, v červenci a začátkem září. Po každé sklizni probíhá silážování. Podle tabulky 6 je patrné, že siláž ze šťovíku je dle krmných hodnot vysoce kvalitní a to kvalitnější než vojtěška či kukuřice. [17]

**Tabulka 5:** Siláž z různých druhů rostlin [18]

g/kg v sušině	siláž z různých druhů rostlin		
	šťovík	vojtěška	kukuřice
NL – dusíkaté látky	194,56	166,7	113,1
tuk	20,45	36,6	29,8
vláknina	157,99	345,5	309,5
popeloviny	121,1	121,9	93,3
BNVL - bezdusíkaté látky výtažkové	508,62	329,3	433,4

V případech, kdy byl krmný šťovík používán v ČR na výkrm, se zvýšila dojivost i přírůstky mladého dobytka na výkrmu. Na základě těchto vypočítaných hodnot můžeme předpokládat, že krmný šťovík bude mít dobré výsledky i pro výrobu bioplynu. Díky těmto všem aspektům byly provedeny testy, ve kterých se porovnával výnos bioplynu s přidávkou

krmného šťovíku a s přidavkem kukuřice.

Bylo vytvořeno 5 variant testů [18]:

1. kontrolní kejda
2. digestát z BPS
3. 20 % kejdy + 20 % digestátu + přidavek 60 % zelené hmoty kukuřice, nebo šťovíku
4. 15 % kejdy + 15 % digestátu + přidavek 70 % zelené hmoty kukuřice, nebo šťovíku
5. 10 % kejdy + 10 % digestátu + přidavek 80 % zelené hmoty kukuřice, nebo šťovíku

Z grafu (viz příloha 2 a 3) vidíme, že s rostoucím počtem zdržení ve fermentoru roste i produkce bioplynu. Dále je patrné, že produkce bioplynu z krmného šťovíku je téměř totožná s produkcí kukuřice. Pokud srovnáme oba grafy, vidíme, že produkce bioplynu s příměsí 80% krmného šťovíku je v 5. testu dokonce vyšší než produkce kukuřice při témže množství. V současné době se provádí testy přímo na bioplynových stanicích a zkouší se, zda zavedení krmného šťovíku do fermentoru nijak nenaruší fermentační proces a první výsledky jdou v jeho prospěch.

## 5 Hodnocení a porovnání BPS

### 5.1 Účinnost a ekonomika BPS

V prvopočátcích výstavby bioplynových stanic byla jejich primární funkce zejména snížit množství problematických odpadů, jako je kejda nebo tekuté komunální odpady. V současné době může být hlavním důvodem ekonomická stránka, díky výhodným výkupním cenám elektrické energie a tepla z bioplynu. Účinnost BPS jako celku nelze s velkou přesností hodnotit, protože proces ve fermentoru BPS probíhá vždy na maximum. Hodnotí se především podle účinnosti kogenerační jednotky. Účinnost kogenerační jednotky BPS je zhruba mezi 80 – 90% (viz kapitola 2.8). Asi 30 % energie z plynu se přemění na elektrickou energii, 60 % na teplo a zbytek jsou tepelné ztráty. Z toho plyne, že při návrhu bioplynové stanice je nutné zohlednit i vznikající teplo, pokud jej nelze smysluplně využít, snižuje se energetická i ekonomická výtěžnost BPS. Vzniklé teplo lze využívat k vytápění domů, zemědělských areálů, dosoušení obilí a dřeva, nebo k přeměně na chlad. Bohužel při dnešních výhodných cenách elektrické energie se můžeme setkat s tím, že se s využitím tepla při realizaci BPS nepočítá. Bohužel to je i příklad BPS Všeruby, kde se přebytečné teplo vypouští



do okolního prostředí. To vše opět vyplývá ze správného návrhu, umístění a dostupnosti vstupních surovin BPS.

Zvýšení účinnosti a následné produkci bioplynu lze dosáhnout především optimalizací provozu. Jde především o vhodné správné skladování a úprava (větší rozmělnění) vstupních surovin, dále pak dodržení správných technologických parametrů.

## 5.2 Provozní spolehlivost BPS

Na spolehlivost je při navrhování a realizaci BPS kladen velký důraz, především je to na použitou technologii, materiály, zařízení a provoz. Dnešní zařízení BPS kromě běžných servisních intervalů (např. generální prohlídka motoru kogenerační jednotky apod.) pracují s naprostou spolehlivostí. S příchodem nových vstupních surovin, došlo k rozšíření technologií BPS a tím i k vznikajícím novým problémům. Hlavním ukazatelem nesprávného fungování BPS je zápach. Do povědomí českého obyvatelstva se bohužel dostala fikce, že s existencí bioplynové stanice je i zápach. Faktem ovšem je, že v přítomnosti správně fungující BPS se zápach nevyskytuje. Hlavní kritéria spolehlivosti BPS jsou:

- 1.Vhodná technologie** – důležitým faktorem bezpečného a spolehlivého provozu je správný návrh technologie s ohledem na zpracované suroviny. Dalším aspektem je velikost fermentační nádrže s vazbou na dobu zdržení. Obecně platí, čím kratší doba zdržení, tím větší riziko zápachu. Doba zdržení menší než 20 – 30 dní už představuje značné riziko vzniku zápachu z digestátu. Důležitá je teplota, vlhkost a výška hladiny ve fermentoru.
- 2.Druh a složení vstupní suroviny** – u běžně používaných surovin (cíleně pěstovaná biomasa a statková hnojiva) není problém. U zpracování odpadů (jateční odpad, masokostní moučka, kaly z ČOV) je situace složitější a riziko problémů se zvyšuje. Typickým příkladem je dusík (N). V případě, kdy vstupní surovina obsahuje vysoké množství dusíku, zvyšuje se riziko jeho toxického působení, které se může projevit až kolapsem celého biologického procesu.
- 3.Míchání ve fermentoru** – volba správného míchacího zařízení je závislá na použití vstupní suroviny. Špatné zvolení nebo porucha míchacího zařízení může způsobit až zastavení anaerobního procesu.
- 4.Skladování digestátu** – důležitým faktorem je správné skladování a separace digestátu. U většiny BPS je možno uplatnit výstup z bioplynové stanice (digestát)

jako hnojivo dle zákona č. 308/2000 o hnojivech. [15]

I technologicky nejlepší bioplynová stanice musí mít vhodně vyškolenou pracovníky pro obsluhu. „Správný způsob řízení bioplynové stanice by měl ze strany dodavatele či projektanta zahrnovat především přípravu kvalitních provozních řádů, definujících možnosti a podmínky provozu navržené technologie s ohledem na přijímané suroviny. Problémy bývají v tomto směru zejména v nejednoznačném uvedení postupů obsluhy při příjmu materiálů do bioplynové stanice, v neřešených požadavcích na průběžné sledování základních parametrů a vlastností přijímaných materiálů, což platí zejména při zpracování odpadů, u kterých se mohou vlastnosti měnit.“ [15]

### 5.3 Ekonomické porovnání BPS

Pro ekonomické zhodnocení dostupných technologií jsem si vybral srovnání mezi zemědělskou BPS a zatím méně rozšířenou komunální BPS.

#### Investiční náklady BPS

Investiční náklady zemědělské BPS (mokrý fermentace) činí cca 100 000,- Kč na 1 kW instalovaného elektrického výkonu. Investiční náklady komunální BPS (mokrý fermentace) na bioodpad a jiné suroviny mohou být až dvojnásobné a to cca 200.000,- až 250.000,- Kč na 1 kW instalovaného elektrického výkonu

#### Náklady na provoz BPS

Provozní náklady zemědělské BPS jsou tvořeny především obsluhou zařízení, údržbou, servisem, separací digestátu a monitoringem provozu zařízení. Provozní náklady komunální BPS jsou navýšeny o halu pro příjem odpadů vybavenou vzduchotechnikou s biofiltrem, linkou pro příjem a separaci bioodpadů, separaci digestátu a řešení jeho skladování.

#### Příjem BPS

Příjem zemědělské BPS je prodané elektrické energie a tepla. Příjem komunální BPS je ještě rozšířen o poplatek za využití (zpracování) bioodpadu. Na našem tuzemském trhu s bioodpady ceny za využití (zpracování) bioodpadu velmi kolísají a proto je velmi složité stanovit aktuální cenu. V současnosti se cena bioodpadu pohybuje mezi 350 – 500 Kč za tunu. Výkupní cena elektrické energie pro rok 2010 jsou uvedeny v tabulce 5. Bohužel zde je potřeba zmínit, že vlastní spotřeba elektrické energie je u BPS na biologicky rozložitelný komunální odpad poměrně vysoká a to asi 15 – 30 % z celkové výroby, což je poměrně dost. Příjem z prodeje tepla zahrnuje jen velmi malou část, díky nízké ceně tepla. Kvůli těmto

aspektů je cena bioplynové stanice velmi vysoká.

**Tabulka 6:** Výkupní cena elektrické energie z bioplynu za rok 2010 [16]

Kategorie	Výkupní cena elektřiny do sítě Kč/kWh	Zelené bonusy Kč/kWh
AF1 BPS, využívající cíleně pěstované plodiny, primárně určené k energetickému využití, bez dalšího zpracování	4,12	3,15
AF2 BPS, využívající zemědělské a potravinářské odpady, kejdu, hnůj, trávu z veřejné zeleně, zbytky z kuchyní a další	3,55	2,58

## 6 Návrh vhodné suroviny pro BPS

V příloze na obrázku 11 je uveden graf celkové výtěžnosti bioplynu z tuny biomasy. Největší výtěžnost z tuny biomasy má starý tuk (použitý z tukového průmyslu) a to 961 m<sup>3</sup>.

Základem dosažení ekonomické a environmentální přijatelnosti BPS je její umístění a dostupnost vstupních surovin. BPS by měla být umístěna v těsné blízkosti objektů, které budou využívat vyrobené teplo, a zároveň bude spotřebovávat okolní odpady. Ideální řešení je zemědělský objekt se stájem, sušárnou obilí nebo dřeva a dostatečným prostorem pro skladování vstupních surovin. To vše ovšem závisí na schopnostech projektanta, jak se s daným problémem v příslušné oblasti vypořádá. Dostupnost vstupních surovin je klíčovým kritériem pro výstavbu bioplynové stanice a vhodné namíchání vstupních surovin je velmi náročná záležitost.

### 6.1 TTP + hnůj (kejda) + kukuřice (krmný št'ovík)

Rozhodl jsem se, že návrh vhodných surovin zúžím na oblast západních Čech. Oblast západních Čech v těsné blízkosti hranic s Německem se díky své velmi hojně zatravněné oblasti a rozšířenému zemědělství doslova vybízí k realizaci BPS. Přispívá tomu i fakt, že v současné době dochází k zatravnění (přeměna orné půdy na louky). Produkce bioplynu z TTP je mnohem efektivnější než ze zvířecích exkrementů o cca 50 – 70 %. Celková výměra TTP se i nadále rozšiřuje a v současné době v ČR činí zhruba 1 milion hektarů. Můj návrh kombinace TTP + hnůj (kejda) + kukuřice. Tento návrh se mi zdá po předchozí analýze jako ideální kombinace vstupních surovin z hlediska energetické a environmentální přijatelnosti. TTP jsou v krajině nezastupitelným prvkem, slouží k udržení celkové diverzity a plní mnoho důležitých funkcí v krajině (eroze, zadržování vody, apod.). Kukuřice je také při správném

postupu pěstování bezproblémová plodina. Důležité je zvolit vhodný poměr mezi vstupními surovinami, který je potřeba odzkoušet ve výzkumných fermentorech. Já osobně bych se přikláněl k poměru cca 40% TTP + 20% hnůj (kejda) + 40% kukuřice. Po ekonomické stránce je tato kombinace také velmi přijatelná. Při intenzivním obhospodařování TTP činí hektarový výnos 28 t s celkovými náklady cca 17 500 Kč/ha, to je 616 Kč/t. Náklady na pěstování kukuřice na hektarový výnos 40 t činí cca 24 000 Kč/ha, to je 512 – 600 Kč/t. I přes vyšší náklady na obhospodařování preferuji, aby primární surovinou byly právě TTP. Kvůli již zmíněným funkcím v krajině a environmentální přijatelnosti, nehledě na to, že TTP a kukuřice má stejnou výtěžnost bioplynu a to 170 – 200 m<sup>3</sup> (viz tabulka 4). Samozřejmostí je vhodné skladování vstupních surovin.

Další můj návrh zahrnuje zavedení krmného šťovíku, respektive částečné nahrazení kukuřice. To ovšem za předpokladu, že testy prokážou jeho použití pro výrobu bioplynu (viz kapitola 4.7). Mezi jeho nejdůležitější vlastnosti patří vytrvalost (až 10 let), 3 fáze seče i více, zároveň chrání půdu proti erozi, na rozdíl od kukuřice a je odolný vůči nízkým teplotám, proto je vhodný i do vyšších poloh, kde se kukuřici tak dobře nedaří. Pevně doufám, že se tato plodina v našich krajích hojně rozšíří a začne se používat pro výrobu bioplynu.

## 6.2 Návrh BPS Všeruby

Bioplynová stanice Všeruby byla uvedena do provozu prosinci 2009. Bioplynová stanice Všeruby používá technologii JOHANN HOCHREITER s.r.o.. V bioplynové stanici je instalována kogenerační jednotka Deutz o výkonu 716 kW. Fermentor je složen ze železobetonových nádrží uspořádaných jako „kruh v kruhu“. Jednotlivé fermentory jsou mezi sebou propojeny přepadovým a tlakovým potrubím. Na vstupní kruh je připojeno dávkovací zařízení. Vnitřní fermentor je plynotěsně uzavřen kuželovitou folií, v níž je integrován nízkotlaký zásobník plynu. Fermentor je osazen horizontálním a ponorným míchadlem sloužící k eliminaci plovoucích vrstev, homogenizaci a míchání substrátu. Topení je tvořeno soustavou nerezových trubek a je připevněno na vnitřní straně vnějšího i vnitřního fermentoru. Stěna nádrže je velmi dobře tepelně izolovaná a chráněna speciální folií. V blízkosti fermentační nádrže je umístěn koncový sklad, sloužící ke skladování digestátu. Vstupními surovinami jsou kukuřičná siláž, travní senáž a hnůj. Denně se dávkuje 32 t kukuřičné siláže, 18 t hnoje a 2 t travní senáže. Nevýhodou je, že teplo, která vzniká (kromě tepla sloužícího na ohřev fermentoru) je vypuštěno do okolního prostředí.

V těsné blízkosti BPS Všeruby se nachází drůbeží farma společnosti Česká drůbež s.r.o.. Drůbeží trus je poměrně problematický odpad, zejména kvůli svému složení a velkému zápachu. Můj návrh spočívá v tom, že by se drůbeží trus použil, jako další vstupní surovina a vzniklé teplo by se odvádělo do drůbeží farmy a vytápělo ji. Drůbeží trus má velmi dobrou výtěžnost bioplynu (viz tabulka 3) ovšem z biologického hlediska vyšší obsah síry, dusíku a nerozpustných anorganických látek. Aby se nerozpustné anorganické látky neusazovaly na dně fermentoru, bylo by potřeba vybudovat další menší fermentor, který by sloužil k odstranění nerozpustných látek a výstup z fermentoru by se napojil na hlavní fermentor. Dále by se muselo přikoupit dávkovací zařízení na drůbeží trus. Musel by se také odzkoušet vhodný poměr mezi vstupními surovinami tak, aby bylo docíleno největší výtěžnosti. Dále by se musel vybudovat teplovod, který by odváděl teplo do drůbeží farmy. Vybudování tohoto celého zařízení je spojeno s velkými náklady a problémem dohodnout vhodné podmínky pro obě společnosti. Velkou výhodou je snížení zápachu a především zátěže na okolní krajinu. V rozhovoru s majitelem BPS Všeruby jsem se o tomto návrhu zmínil, ovšem podle jeho výrazu jsem okamžitě poznal, že nepřipadá v úvahu. Byly mi sděleny výše uvedené aspekty, které by vedly k enormně vysokým nákladům a problémům při dávkování.

## Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo seznámit se s problematikou bioplynových stanic, popsat používané vstupní suroviny, zhodnotit je, provést analýzu a navrhnout nejvhodnější řešení.

V úvodu jsem se pro lepší pochopení celé problematiky zaměřil na bioplynový proces jako takový, vzniku bioplynu, jeho vlastnostech a kvalitě. Stručně jsem popsal používané technologie výroby bioplynu. V další kapitole jsem se zabýval rozdělením bioplynových stanic a popisem jejich jednotlivých technologických zařízení.

Následující kapitola zahrnuje popis nejvíce rozšířené vstupní suroviny v ČR. Provedl jsem jejich analýzu a zjistil, že nejvhodnější surovinou pro bioplynové stanice je kukuřice a TTP, zejména kvůli své energetické výtěžnosti a masovému rozšíření. Z porovnání kukuřičné siláže a senáže z TTP je patrné, že jednotkové náklady na senáž z TTP jsou o mnoho vyšší než z kukuřičné siláže. Zde musíme brát ale v potaz to, že trvalé travní porosty (TTP) tvoří nedílnou součást naší krajiny a proto je zároveň jejich obhospodařování i údržbou naší krajiny a to vede k zachování celkové diverzity a k udržení nezastupitelných funkcí v krajině. Na tento aspekt by se nemělo nikdy zapomínat.

V závěru práce jsem zhodnotil účinnost a provozní spolehlivost BPS. Z analyzovaných informací navrhl nejvhodnější vstupní surovinu pro současné BPS a pro BPS Všeruby udělal návrh na využití tepla a rozšíření vstupní suroviny.

Ekologické přínosy využití bioplynu v zemědělství jsou zejména v dosažení menších ztrát organických látek a jejich využívání, stabilita půdní reakce, lepší úrodnost a kvalita produktů rostlinné výroby a zejména snížení zápachu z velkochovů. Největší překážkou pro rozvoj bioplynových technologií v ČR jsou jejich relativně vysoké investiční náklady a náročné bezpečnostní požadavky, které jsou především u malých bioplynových stanic velkým omezením jejich dalšího rozvoje.

Bohužel jsem při analýze vstupních surovin nenašel dost podrobné informace, a proto je provedena dosti obecně. Při vypracování této bakalářské práce jsem se dozvěděl mnoho nových informací, které do budoucna určitě využiji. V příloze jsou vloženy fotografie, které jsem při návštěvě Bioplynové stanice Všeruby pořídil.

## Použitá literatura

- [1] Kára, J., Pastorek Z., Příbyl, E.: *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. VÚZT,v.v.i., Praha, 2007.
- [2] Schulz, H., Eder, B.: *Bioplyn v praxi*. HEL, Ostrava, 2004.
- [3] Švec, J., Kára, J., Váňa, J., Pastorek, J., Machálek, E.: *Využití obnovitelných zdrojů, energie v zemědělství, zemědělské bioplynové stanice*. Calisto-96, s.r.o., 2010.
- [4] Šafařík, M., Čejka M.: *Základní otázky přípravy a realizace projektů bioplynových stanic*. Persona o.p.s., 2010.
- [5] [http://www.bioplyn.cz/at\\_vlastnosti.htm](http://www.bioplyn.cz/at_vlastnosti.htm) [3.6.2011]
- [6] [http://www.bioplyn.cz/at\\_popis.htm](http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm) [3.6.2011]
- [7] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-technologie-celonarodniho-vyznamu> [5.6.2011]
- [8] [http://df.biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-z-odpadu-zivocisne-vyroby?add\\_disc=1](http://df.biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-z-odpadu-zivocisne-vyroby?add_disc=1) [5.6.2011]
- [9] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/topinambur-hliznaty-jako-substrat-pro-bioplynove-stanice> [3.6.2011]
- [10] [www.mt-energie.cz](http://www.mt-energie.cz) [3.6.2011]
- [11] <http://www.johann-hochreiter.cz/cs/technologie/> [3.6.2011]
- [12] <http://www.ekowatt.cz/uspory/kogenerace.shtml> [3.6.2011]
- [13] <http://kogenerace.tedom.com/kogeneracni-jednotky-download.html> [13.5.2012]
- [14] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-je-nezbytna-soucast-lidskeho-zivota> [13.5.2011]
- [15] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zakladni-problemy-pripravy-a-provozu-bioplynovych-stanic-v-ceske-republice> [5.6.2012]
- [16] [http://www.mzp.cz/cz/bioplynove\\_stanice](http://www.mzp.cz/cz/bioplynove_stanice) [10.5.2012]
- [17] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-kukurice-krmny-stovik> [4.6.2012]
- [18] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/krmny-stovik-a-jeho-vyuziti-pro-vyrobu-bioplynu> [4.6.2012]

## Seznam použitých tabulek

<b>Tabulka 1:</b> Obsah metanu.....	14
<b>Tabulka 2:</b> Produkce exkrementů od jednotlivých druhů zvířat.....	26
<b>Tabulka 3:</b> Produkce bioplynu se substrátů na bázi zvířecích exkrementů.....	27
<b>Tabulka 4:</b> Produkce a vlastnosti bioplynu energetických rostlin.....	30
<b>Tabulka 5:</b> Siláž z různých druhů rostlin.....	31
<b>Tabulka 6:</b> Výkupní cena elektrické energie z bioplynu za rok 2010.....	33

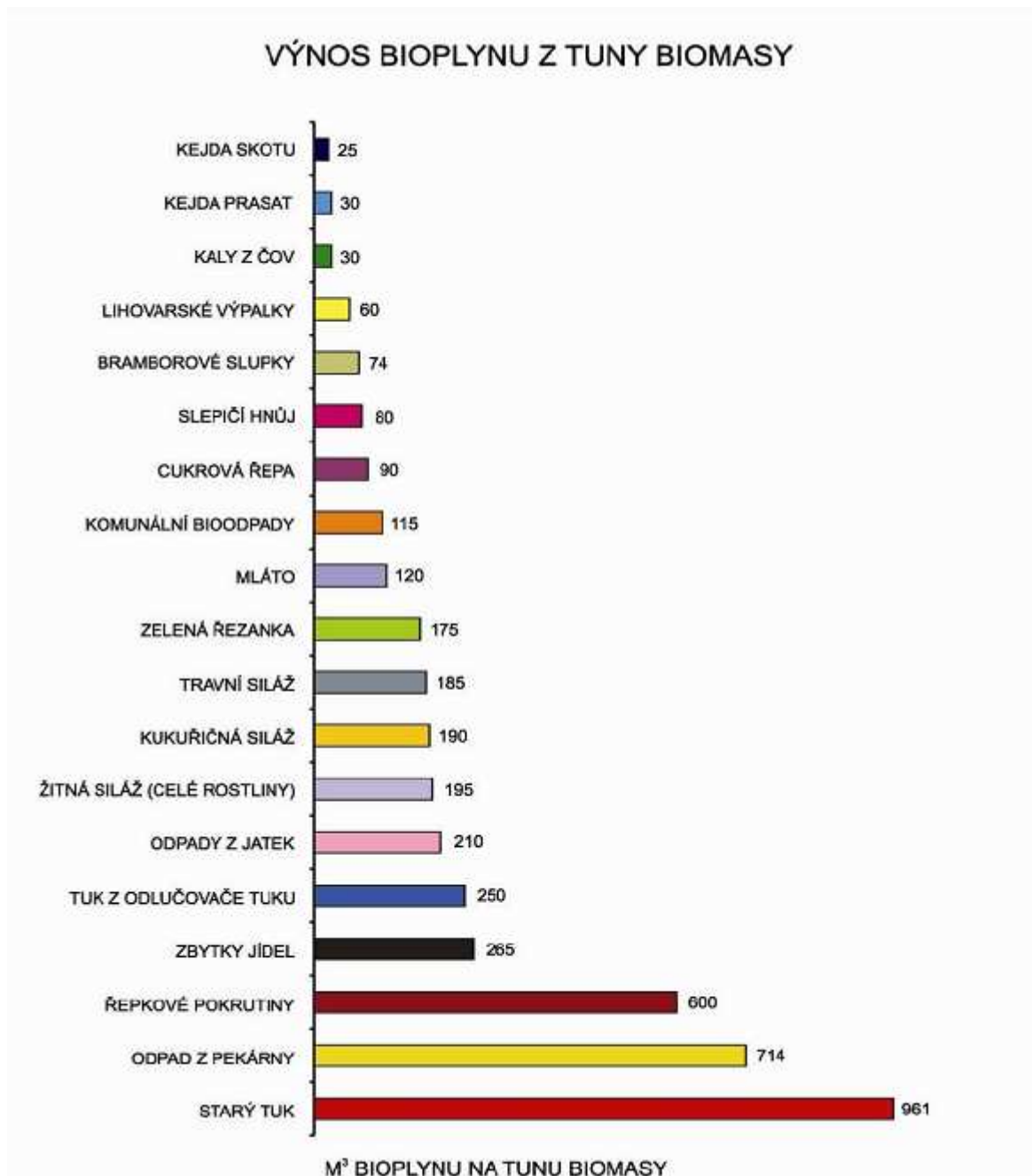
## Seznam použitých obrázků

<b>Obrázek 1:</b> Schéma anaerobní fermentace.....	13
<b>Obrázek 2:</b> Potravní řetězec krávy.....	13
<b>Obrázek 3:</b> Blokové schéma systému BPS.....	15
<b>Obrázek 4:</b> Horizontální průtočný reaktor.....	17
<b>Obrázek 5:</b> Vertikální reaktor.....	18
<b>Obrázek 6:</b> Rychloběžné ponorné míchadlo s elektromotorem.....	19
<b>Obrázek 7:</b> Vertikální lopatkové míchadlo.....	19
<b>Obrázek 8:</b> Dávkovací zařízení.....	20
<b>Obrázek 9:</b> Centrální čerpadlo.....	22
<b>Obrázek 10:</b> Blokové schéma kogenerační jednotky.....	24



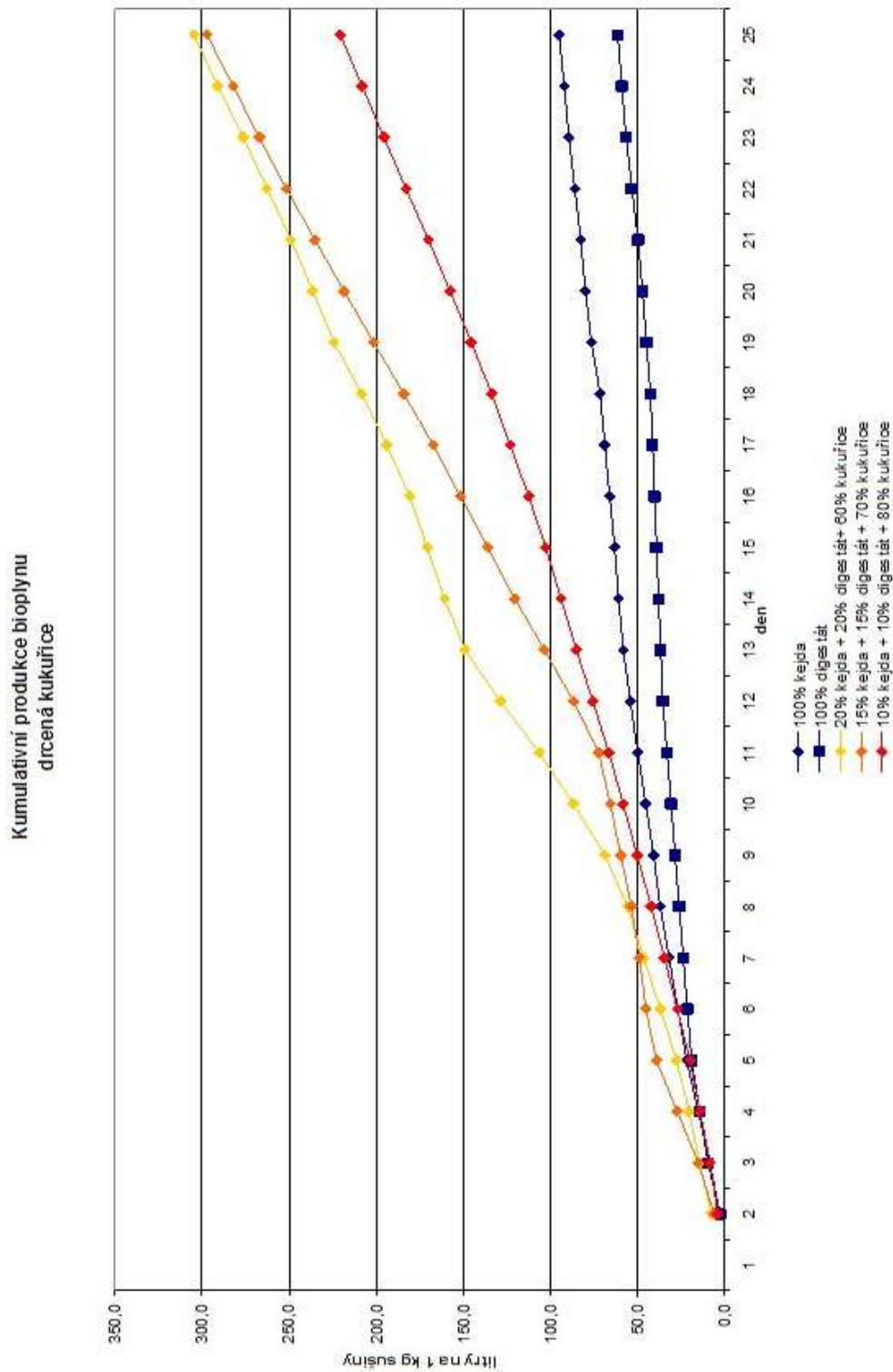
## Přílohy

### Příloha 1: Graf výnosu bioplynu z tuny biomasy



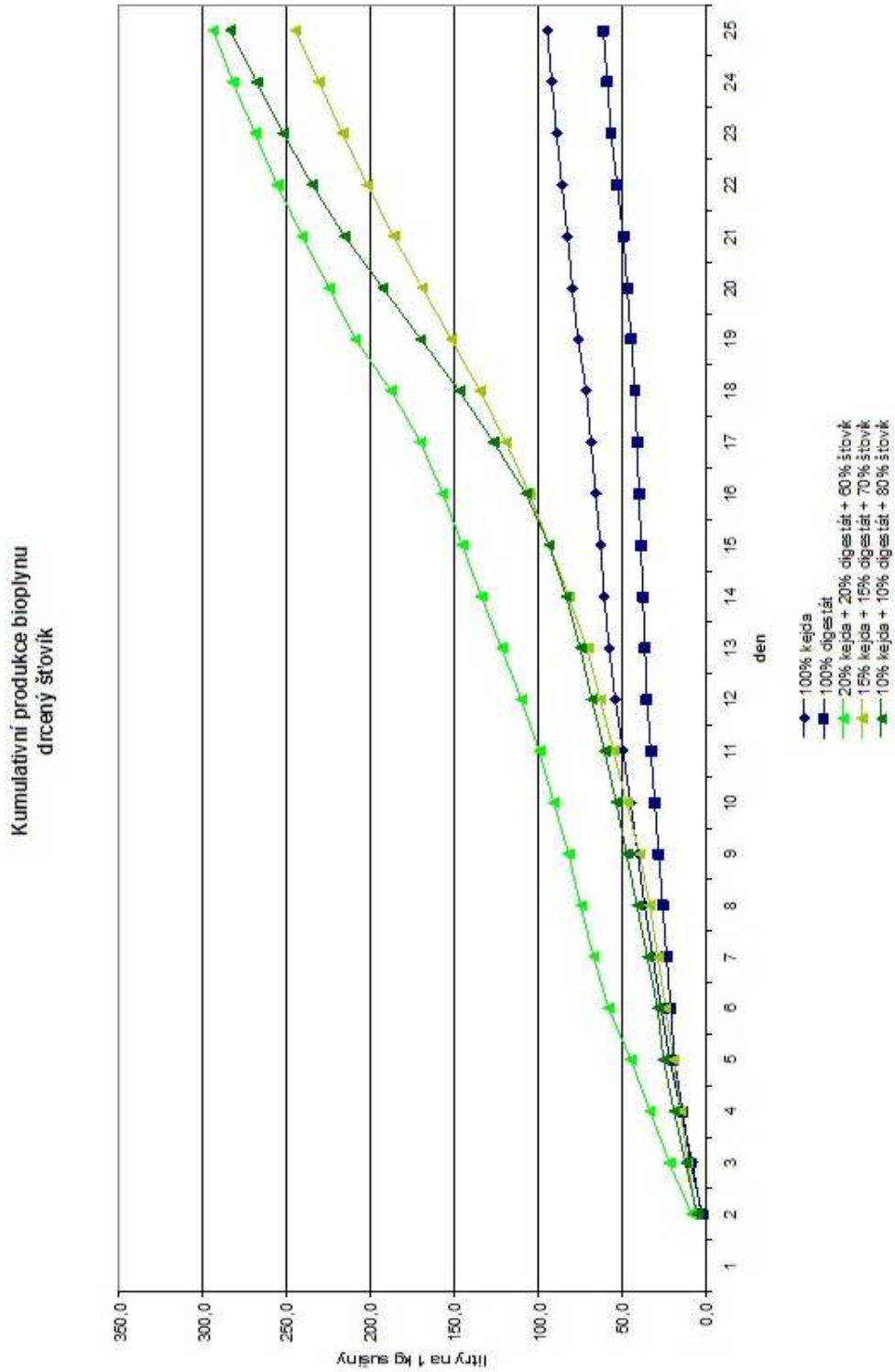
## Příloha 2:

## Kumulativní produkce bioplynu pro různé hmotnostní koncentrace kukuřice v sušině [18]



**Příloha 3:**

**Kumulativní produkce bioplynu pro různé hmotnostní koncentrace šťovíku v sušině [18]**



**Příloha 4:**

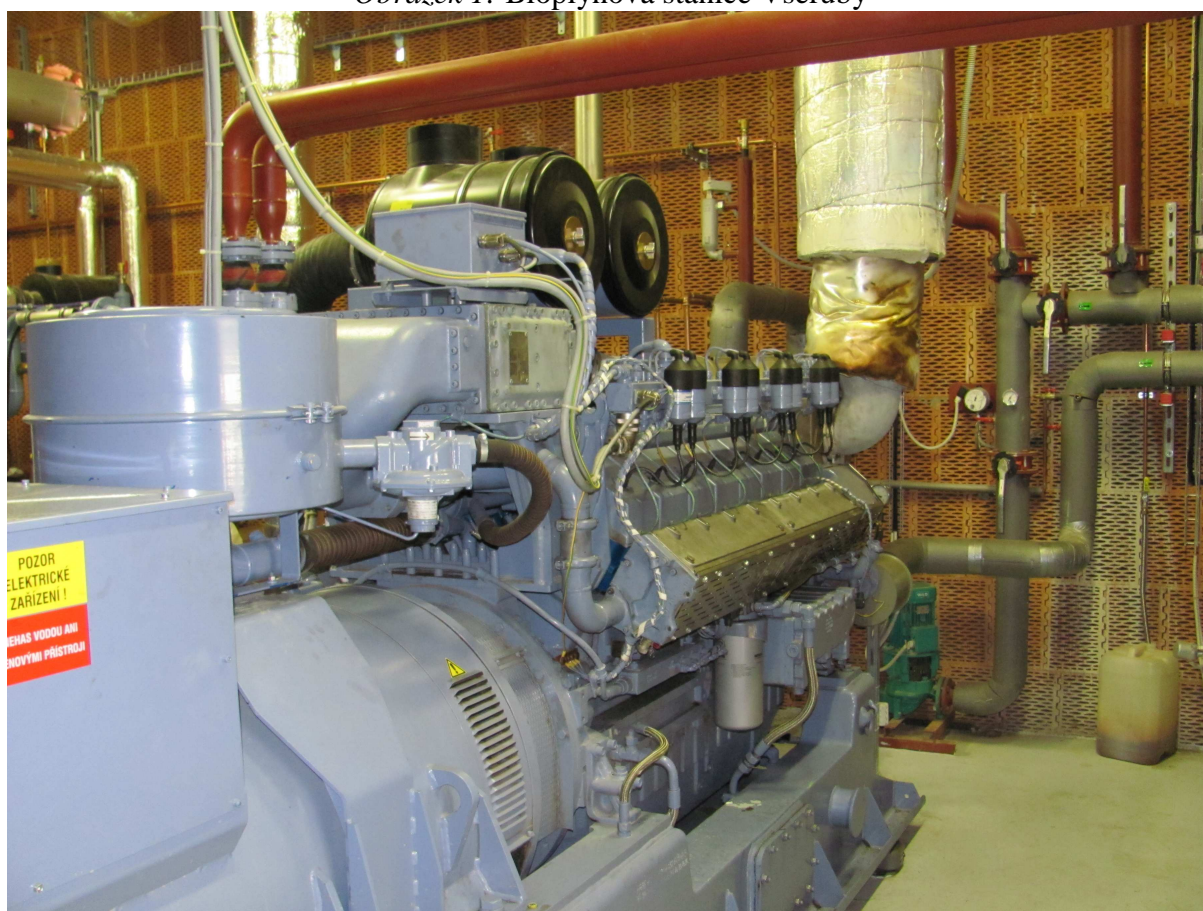
**Tabulka bioodpadů, které jsou vhodné ke kofermentaci se zemědělskými surovinami.**

<b>Bioodpad</b>	<b>Sušina %</b>	<b>Org. hmota % sušiny</b>	<b>N % sušiny</b>	<b>C : N</b>	<b>Produkce metanu m<sup>3</sup>/kg org. hmoty</b>
Pivovarské mláto	20 - 25	70 - 80	3,5 - 5,0	8 - 10	0,58 - 0,75
Chmelový extrakt	97	90	3-3,2	12	0,5 - 0,55
Surový glycerin(bionafta)	95 - 99	90 - 93	0	0	0,69 - 0,72
Bramborové slupky	12 - 15	90	5 - 8	13 - 19	0,55
Bramborová drť	12 - 14	90	0,5 - 1,0	45 - 90	0,65 - 0,70
Hlízová šťáva	3,7	70 - 75	4 - 5	7 - 10	1,0 - 1,2
Cukrovarnické řízký	22 - 26	95	0,45 - 0,65	30 - 50	0,25 - 0,30
Matoliny	40 - 50	80 - 90	1,5 - 3,0	15 - 30	0,64 - 0,69
Starý chleba	90	96 - 98	1,8 - 2,0	42	0,7 - 0,75
Obilné plevy	6 - 50	87 - 90	3 - 4	10 - 11	0,6
Melasa	70 - 85	85 - 95	1,5	14 - 27	0,36 - 0,49
Syrovátka	30 - 80	95	1,5	12 - 27	0,3
Ovocné výlisky	35 - 45	93	1,1	50	0,4
Zbytky olejnatých semen	85 - 92	97	1,4	9 - 12	0,58 - 0,62
Řepkové pokrutiny	88	93	5,6	8	0,58 - 0,62
Kuchyňské odpady	9 - 18	90 - 95	0,8 - 3,0	15 - 20	0,5 - 0,6
Separovaný domovní bioodpad	40 - 75	50 - 70	0,5 - 2,7	10 - 25	0,15 - 0,38
Tráva z údržby	12 - 20	83 - 92	2 - 3	15 - 22	0,55 - 0,68
Flotační kal z jatek	5 - 24	83 - 84	3,2 - 8,9	5 - 13	0,5 - 0,6
Obsah prasečích žaludků	12 - 15	80 - 84	2,5 - 2,7	17 - 21	0,2 - 0,3
Obsah bachorů	11 - 19	80 - 88	1,3 - 2,2	17 - 21	0,28 - 0,40
Masokostní moučka	8 - 30	90	2 - 7,5	11 - 18	0,5 - 0,6
Tuk z kuchyň. Lapolů	35 - 70	96	0,5 - 3,6	14 - 96	0,7 - 1,1
Zeleninové odpady	13 - 20	90	4 - 9	5 - 14	0,4

**Příloha 5: Fotografie BPS Všeruby – vlastní fotografie**



*Obrázek 1: Bioplynová stanice Všeruby*



*Obrázek 2: Motor kogenerační jednotky*



Obrázek 3: Pohled na střechu fermentoru



Obrázek 4: Sklad vstupních surovin – silážní jámy



Obrázek 5: Chladicí zařízení



Obrázek 6: Dávkovací zařízení



Obrázek 7: Skladovací nádrž



Obrázek 8: Jímací nádrž



Obrázek 8: Kukuřičná siláž



Obrázek 9: Travní senáž