

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Zhodnocení provozu bioplynové stanice**

**autor:  
vedoucí práce:**

**Petr Kastner  
Ing. Petr Jindra**

**2012**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr KASTNER**  
Osobní číslo: **E10B0540P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Technická ekologie**  
Název tématu: **Zhodnocení provozu Bioplynové stanice**  
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 bioplynovou stanici Všeruby. Uveďte technické parametry zařízení i vstupní suroviny. Charakterizujete způsob připojení jednotky do el. sítě.
2. Diskutujte vliv vstupní suroviny na výkon jednotky.
3. Vyhodnoťte roční provoz jednotky. Porovnejte vlastní spotřebu jednotky nafta, el. energie) a výrobu. Analyzujte dosavadní spolupráci jednotky s el. sítí. Zjistěte počet a případně příčinu všech výpadků z provozu.
4. Uvažujte nad regulovatelností výkonu a spolehlivostí dodávky. Zhodnoťte možnosti využití jednotky pro potřeby regulace sítě.

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: **Ing. Petr Jindra**  
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



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

V Plzni dne 17. října 2011

## **Anotace**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na analyzování ročního provozu bioplynové stanice ve Všerubech. Jsou popsány vstupní suroviny a výstupní produkty a zhodnocena efektivnost celého procesu.

## **Klíčová slova**

Bioplynová stanice, bioplyn, výroba energie, využití tepla

## **Abstract**

This bachelor's thesis is focused on analyzing the annual operation of biogas plant in Všeruby. It describes feedstock and output products and evaluates the effectiveness of the process.

## **Keywords**

Biogas plant, biogas, energy production, use of heat

## Prohlášení

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

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

V Plzni dne 8. 6. 2012

Petr Kastner

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Petru Jindrovi, za cenné rady, připomínky a vedení. Dále děkuji panu Zdeňkovi Žambůrkovi za možnost prohlédnout si bioplynovou stanici Všeruby, za zodpovězení veškerých dotazů a hlavně za poskytnutí zásadních materiálů ke zpracování této práce.

# Obsah

ÚVOD .....	2
<b>1 BIOPLYNOVÁ STANICE.....</b>	<b>3</b>
1.1 VÝROBA BIOPLYNU .....	3
1.2 POPIS BIOPLYNOVÉ STANICE VŠERUBY.....	5
1.2.1 Dvoustupňový fermentor .....	5
1.2.2 Dávkovací zařízení.....	8
1.2.3 Technická budova – kogenerace .....	8
1.2.4 Koncový sklad digestátu.....	12
1.2.5 Technický sklep – přečerpávací jednotka.....	12
1.2.6 Přípojka vysokého napětí, trafostanice .....	13
1.2.7 Další části BPS Všeruby .....	14
<b>2 VLIV VSTUPNÍ SUROVINY NA VÝKON JEDNOTKY .....</b>	<b>15</b>
2.1 BIOMASA .....	15
2.2 ZDROJE BIOMASY.....	15
2.2.1 Kukuřičná siláž .....	16
2.2.2 Keřda + hnůj .....	17
2.2.3 Travní senáž.....	18
2.3 VLIV SUROVIN NA VÝKON BPS.....	19
<b>3 ROČNÍ PROVOZ JEDNOTKY .....</b>	<b>21</b>
3.1 ENERGETICKÁ BILANCE BPS VŠERUBY .....	21
3.1.1 Náklady na provoz .....	21
3.1.2 Příjmy.....	22
3.1.3 Bilance .....	22
3.2 VYUŽITÍ PŘEBYTKOVÉHO TEPLA.....	23
3.2.1 Současný stav BPS Všeruby .....	24
3.2.2 Návrhy možného využití tepla .....	25
3.2.3 Stirlingův motor .....	26
3.3 VYUŽITÍ PŘEBYTKOVÝCH SUROVIN .....	27
3.3.1 Digestát.....	27
3.3.2 Odpadní šlávy.....	28
<b>4 SPOLEHLIVOST BIOPLYNOVÉ STANICE.....</b>	<b>29</b>
4.1 VÝPADKY Z PROVOZU .....	29
4.2 SCHOPNOST REGULACE SÍTĚ .....	31
<b>5 ZÁVĚR .....</b>	<b>33</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>35</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>36</b>



## Seznam použitých obrázků

OBRÁZEK 1: SCHÉMA ANAEROBNÍ FERMENTACE [16].....	4
OBRÁZEK 2: VERTIKÁLNÍ ŘEŠENÍ FERMENTORU .....	5
OBRÁZEK 3: HORIZONTÁLNÍ ŘEŠENÍ FERMENTORU .....	5
OBRÁZEK 4: FERMENTOR S DÁVKOVACÍM ZAŘÍZENÍM.....	6
OBRÁZEK 5: DÁVKOVACÍ ZAŘÍZENÍ .....	8
OBRÁZEK 6: TECHNICKÁ BUDOVA S TRAFOSTANICÍ.....	9
OBRÁZEK 7: PRVNÍ KOGENERAČNÍ JEDNOTKA BPS VŠERUBY O VÝKONU 716 kW .....	10
OBRÁZEK 8: DRUHÁ KOGENERAČNÍ JEDNOTKA BPS VŠERUBY O VÝKONU 230 kW .....	10
OBRÁZEK 9: SKLAD DIGESTÁTU.....	12
OBRÁZEK 10: PŘEČERPÁVACÍ JEDNOTKA.....	13
OBRÁZEK 11: SKLADOVÁ PLOCHA PRO SILÁŽOVANOU KUKUŘICI .....	14
OBRÁZEK 12: EROZE PŮDY NA KUKUŘIČNÉM POLI.....	16
OBRÁZEK 13: CHLADÍCÍ ZAŘÍZENÍ BPS VŠERUBY .....	24
OBRÁZEK 14: SCHÉMA STIRLINGOVA MOTORU [17] .....	26
GRAF 1: SPOTŘEBA KUKUŘIČNÉ SILÁŽE V BPS VŠERUBY ZA ROK 2011 .....	17
GRAF 2: SPOTŘEBA ZVÍŘECÍCH EXKREMENTŮ V BPS VŠERUBY ZA ROK 2011 .....	18
GRAF 3: SPOTŘEBA TRAVNÍ SENÁŽE V BPS VŠERUBY ZA ROK 2011 .....	19
GRAF 4: ZASTOUPENÍ JEDNOTLIVÝCH SUROVIN V CELKOVÉM OBJEMU V BPS VŠERUBY ZA ROK 2011.....	20
GRAF 5: VÝNOS BIOPLYNU Z TUNY BIOMASY [10] .....	20
GRAF 6: ENERGIE DODÁVANÁ DO SÍTĚ BĚHEM ROKU 2011.....	21
GRAF 7: PROCENTUÁLNÍ HODNOTA DODANÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE Z MAXIMÁLNÍ MOŽNÉ .....	31

## Seznam symbolů

BPS	bioplynová stanice
OZE	obnovitelné zdroje energie
KJ	kogenerační jednotka
ČOV	čistírna odpadních vod
TTP	trvalé travní porosty
BSK <sub>5</sub>	biochemická spotřeba kyslíku (za 5 dní)
FVE	fotovoltaická elektrárna

## Úvod

V současnosti nabývají alternativní zdroje energie velkého významu. Alternativním zdrojem se myslí nefosilní, konkrétně např. energie slunce, vody, či biomasy. Energetické využití fosilních paliv není tak účinné, jak by společnost potřebovala a jejich zásoby rychle ubývají. Účinnost klasických tepelných elektráren dosahuje přibližně 34 – 48 % [2], spotřeba energií díky průmyslu, dopravě a zvyšující se životní úrovni nezastavitelně roste, a proto je důležité využívat všechny zdroje výroby energie, které máme k dispozici. Velký důraz by měl být kladen na opětovné využití odpadních produktů.

Tato bakalářská práce je zaměřena na energetické hospodaření bioplynové stanice ve Všerubech. Právě BPS z velké části využívají odpadních produktů zemědělství, čímž získávají energii tam, kde by jinak přišla vniveč. Výroba elektrické energie z biomasy za poslední roky rostla a díky potenciálu biomasy je zde předpoklad dalšího růstu.

Tato práce obsahuje stručný popis bioplynové stanice a jejích jednotlivých částí. Je zohledněn vliv vstupních surovin na účinnost procesů v BPS. Cílem je zhodnotit roční provoz BPS ve Všerubech a její možnosti ve využití produkovaného tepla a schopností regulování sítě.

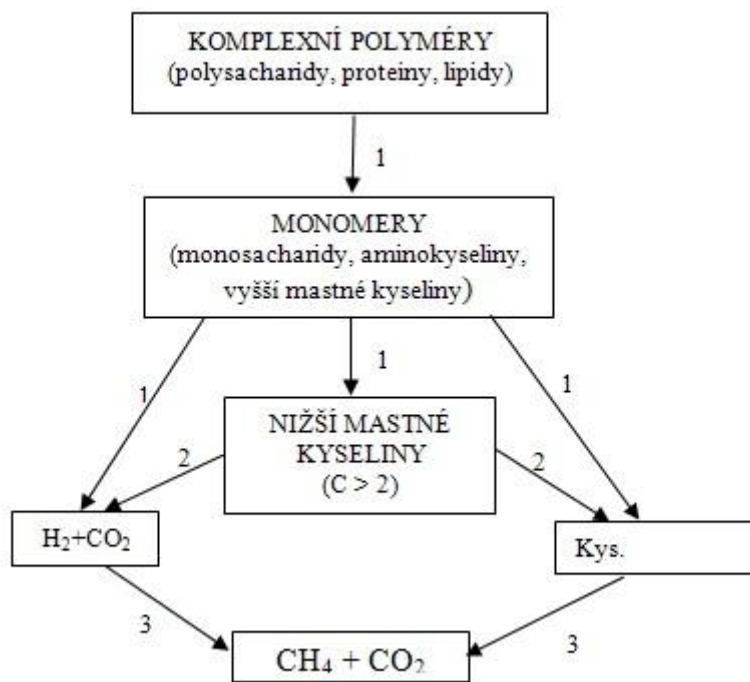
# 1 Bioplynová stanice

## 1.1 Výroba bioplynu

Bioplyn je organický plyn (majoritní složka je uhlíková sloučenina) vzniklý biologickou cestou. Získáváme ho při procesu zvaném anaerobní fermentace biomasy. Skládá se z různých plynů, převážně metanu (55 - 75 %), oxidu uhličitého (25 – 50 %), vody a podle původu bioplynu také ze sloučenin síry, chloru či fosforu. Biomasa se majoritně získává ze zemědělské činnosti, dále také v potravinářském průmyslu, při zpracování dřeva apod.

Anaerobní fermentace je biochemický proces. K rozkladu organických látek (fermentaci) dochází bez přístupu vzduchu ve vlhkém prostředí působením anaerobních kultur mikroorganismů. Ideální podmínky pro bakterie panují při teplotách kolem 50°C, kdy se bioplyn tvoří nejrychleji. Celý proces anaerobní fermentace je chemicky složitý a samotný bioplyn vzniká až při závěrečné fázi procesu. Pro popis se dá rozdělit do čtyř fází: [3]

1. **Hydrolyza** – anaerobní mikroorganismy začínají rozkládat makromolekulární organické látky (bílkoviny, uhlovodíky, tuk, celulóza) na jednodušší monomery (aminokyseliny, jednoduché cukry, mastné kyseliny a voda), které již mohou procházet dovnitř buněk. Vlhkost musí dosahovat více než 50 % hmotnostního podílu.
2. **Acidogeneze** – zbytky kyslíku ze substrátu jsou zcela spotřebovány, tuto přeměnu provádějí fakultativní mikroorganismy, schopné činnosti v obou prostředích – kyslíkatém i bezkyslíkatém. Tyto bakterie tak vytvoří ideální prostředí pro již jen anaerobní organismy. Pomocí acidofilních bakterií probíhá rozklad na organické kyseliny, oxid uhličitý, sirovodík a čpavek.
3. **Acetogeneze** – acidogenní (octotvorné) kmeny bakterií převádějí vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý.
4. **Metanogeneze** – metanogenní acetotrofní bakterie rozkládají kyselinu octovou na metan a oxid uhličitý (již hlavní složky bioplynu), hydrogenotrofní bakterie převádějí vodík a oxid uhličitý také na metan. Tato fáze probíhá nejpomaleji.



Obrázek 1: Schéma anaerobní fermentace [16]

Rychlost celého procesu je citlivá na mnoho faktorů, zejména na konstantní teplotu (při prudkých změnách teploty bakterie odumírají), vhodné pH pro použité metanogenní bakterie (mezi 6,5 až 7,5), obsah stopových prvků (železo, nikl, kobalt, selen, molybden, wolfram), poměry dusíku k uhlíku a fosforu či celková kvalita biomasy (obsah sušiny).

Při pro bakterie vhodných vstupních podmínkách má vytvořený bioplyn obsah metanu mezi 55 – 70 % a výhřevnost 18 – 26 MJ.m<sup>-3</sup> [4] a je to vysoce kvalitní obnovitelný zdroj energie. Obsah metanu je základním parametrem kvality bioplynu lineárně určujícím jeho výhřevnost. Naopak sirovodík je zde problémovou složkou, jelikož je po spalování příčinou tvorby kyseliny sírové a ta při kondenzaci ze spalin způsobuje korozi. Proto je nutno sirovodík z bioplynu odstranit (např.: pomocí chemické adsorpce do pevné látky FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

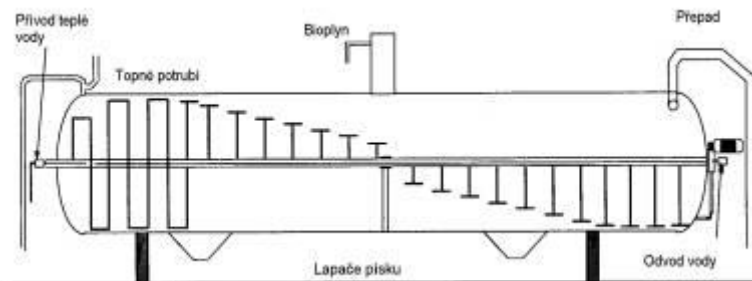
Bioplyn se po vzniku používá v kogeneračních jednotkách pro kombinovanou výrobu elektrické a tepelné energie.

## 1.2 Popis bioplynové stanice Všeruby

### 1.2.1 Dvoustupňový fermentor

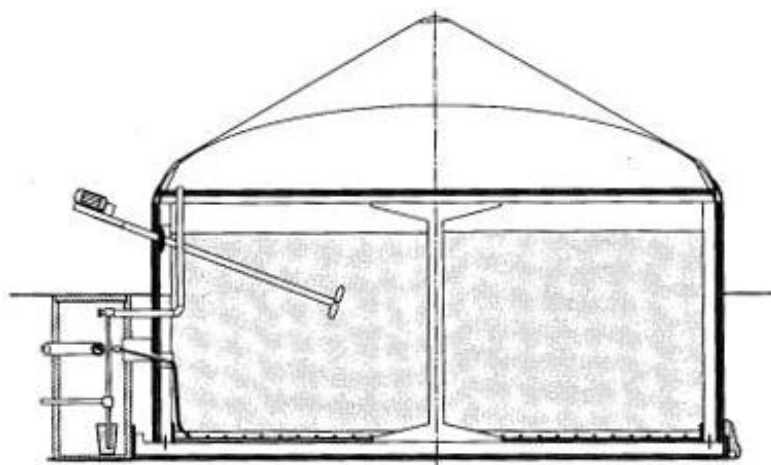
Fermentor je nejdůležitější část BPS, probíhají v něm veškeré biologické procesy. Musí být vyroben z velmi odolných materiálů, aby zde nedocházelo ke korozi vlivem agresivních sloučenin vzniklých při procesu vzniku bioplynu. Technologicky jsou používány dva typy fermentorů – horizontální a vertikální.

**Horizontální řešení:** konstruovány jsou jako válcové nádrže nad zemí, uložené pod mírným sklonem. Výhoda je ve snadnějším a levnějším míchání substrátu. Nevýhoda je ale v nutně větším prostoru zástavby a také zde vznikají větší tepelné ztráty.



Obrázek 2: Vertikální řešení fermentoru

**Vertikální řešení:** více praktikované řešení vzhledem k celkovým úsporám. Bývají umístěny i pod úroveň terénu. Jedná se vždy o betonovou konstrukci opatřenou tepelnou izolací a plynotěsnou vrstvou.



Obrázek 3: Horizontální řešení fermentoru

V BPS Všeruby je praktikováno vertikální řešení. Fermentor je složen z železobetonových nádrží uspořádaných jako „kruh v kruhu“. Na vnitřním kruhu je integrovaný nízkotlaký zásobník plynu a na vnějším je vstupní dávkovací zařízení. Skládá se z železobetonové jímky, základové desky a stěny z vodotěsného železobetonu. Zastropený je částečně železobetonovou monolitickou deskou, částečně plynojemem.

Součástí fermentoru jsou dále míchadla, nízkotlaký zásobník plynu s odsířením, plnicí potrubí, odváděcí potrubí a přepadové potrubí do koncového skladu.

Rozměry:

- Vnější Ø 38,5 m
- Vnitřní Ø 38 m
- Ø plynojemu: 16 m
- Ø vnitřního fermentoru: 20 m
- Objem vnějšího fermentoru: 4 508 m<sup>3</sup>
- Objem vnitřního fermentoru: 1 727 m<sup>3</sup>
- Celkový objem: 6235 m<sup>3</sup>



**Obrázek 4: Fermentor s dávkovacím zařízením**

Obnovitelné druhy surovin (např. kukuřičná siláž) se přivádí pomocí dávkovacího zařízení na tuhou složku. Fermentory jsou mezi sebou a s koncovým skladem propojeny přepadovým potrubím. Dopravuje-li se kvasný substrát do fermentoru, odtéká přepadovým potrubím stejné množství následně do koncového skladu.

Pro eliminaci plovoucích vrstev, pro homogenizaci substrátu a jeho míchání jsou fermentory vybaveny přestavitelnými ponornými motorovými míchadly. Ta také zajišťují, že i při vysokém obsahu sušiny lze obsah fermentorů čerpat a dopravovat potrubím. Míchadla dále slouží k rovnoměrnému rozložení teploty v objemu substrátu a lepší látkové výměně bakterií.

K řízení teploty a procesu ve fermentorech se zde používá teplovodní oběhové topení. Nerezové potrubí je upevněno na distančních prvcích na vnitřní straně pláště vnějšího a vnitřního fermentoru. Vyhříváno je vodou z kogenerační jednotky. Nadzemní oblasti a víko fermentoru jsou izolovány 8 cm tlustými deskami z extrudovaného polystyrenu. Stejně tak oblasti stěn, které jsou v kontaktu se zemí, ty jsou navíc nahnutím hlíny trvale upevněny. Extrudovaný polystyren je potažen bílou omítkou.

Všechny uzavírací prvky přicházející do kontaktu se substrátem jsou zdvojené. Tím je zaručeno zavření stěnových prostupů i při poruše jednoho uzavíracího šoupátka.

Ve stropní desce fermentoru je revizní otvor (cca 2,7 x 1,7 m), aby bylo možné po několikaletém provozu relativně bezproblémově odstranit sedimenty písku.

Vnitřní fermentor je plynotěsně uzavřen kuželovitě řezanými fóliemi a speciální upínací lištou. Mezi oběma kuželovými fóliemi se pomocí vnějšího radiálního dmychadla a přetlakové klapky vytváří optimální přetlak.

Surový plyn vyráběný anaerobním procesem se meziskladuje v nízkotlakém zásobníku plynu nad hladinou substrátu. Prostor vzniklý pod tímto nafukovacím kuželem slouží k tomu, aby membránová fólie mohla v závislosti na výrobě bioplynu stoupat a klesat a přitom byla chráněná před povětrnostními vlivy. Tlakové jištění nízkotlakého skladování plynu ve fermentorech je tu zajištěno přetlakovými a podtlakovými pojistkami bioplynu.

Surový plyn se kontrolovaným přidáváním vzduchu do prostoru s plynem odsiřuje a po vysušení kondenzací vodní páry se přivádí k energetickému využití v KJ. Vzdušné smíšené kultury bakterií způsobují vysrážení elementární síry a síranu oxidací sirovodíku. Kondenzát vznikající při vysoušení plynu se bez zbytků přivádí zpět do anaerobního procesu ve fermentorech. [5]



### 1.2.2 Dávkovací zařízení

Dávkovací zařízení na tuhou složku slouží k zásobování fermentoru nečerpatelnou biomasou, jakou je např. kukuřičná siláž či travní senáž. Samotné zařízení je kompaktní jednotka složená z elektricky poháněných šneků (dopravní šnek, mačkáč šnek atd.). Obnovitelné druhy surovin se dopravují dopravními šneky z podávacího zařízení a mačkáčemi šneky do fermentorů. Protože zařízení na získávání plynu se pro udržení stabilní a nepřerušované výroby plynu musí několikrát denně v konkrétně stanovených časových intervalech zásobovat živinami, je plnění automatizováno. Od personálu je pouze potřeba jej jednou denně naplnit.



Obrázek 5: Dávkovací zařízení

### 1.2.3 Technická budova – kogenerace

Tento objekt se skládá ze dvou samostatných místností - místnosti pro KJ a místnosti s hlavním el. rozvaděčem – řídicí místnost BPS. Obě místnosti jsou přístupny jak z venkovního prostoru, tak mezi sebou. V druhém patře technické budovy jsou umístěny výměníky tepla a tlumiče hluku na výfukových vedeních, chladicí zařízení a expanzní nádoby.

K chlazení jednotek je celá místnost odvětrávána pomocí tepelně řízených ventilátorů. Spaliny spalovacího motoru se po odebrání tepla odvádí výfukem do volného prostoru.

Ve druhé místnosti - řídicí rozvodné místnosti je umístěn hlavní rozvaděč BPS a rozvaděče jednotlivých technologických celků BPS. Dále se zde nachází zařízení na sledování kvality bioplynu a řídicí prvky pro obsluhu celé BPS.

Vedle technické budovy (ve venkovním prostoru) je hlavní chladicí zařízení (chlazení kogenerační jednotky). Pomocí něho se vypouští teplo, které není spotřebováno na ohřev směsi ve fermentoru, do okolí.



**Obrázek 6: Technická budova s trafostanicí**

### 1.2.3.1 Kogenerace

Pro energetickou přeměnu bioplynu na elektrický proud a teplo se používají dvě kogenerační jednotky. Kogenerace samotná znamená výrobu jak elektřiny, tak tepla. Zvyšuje se tak celková účinnost využití energie z paliv. Při výrobě elektrické energie se z paliva využije zhruba třetina energie, zbytek se ztrácí ve formě tepla (výfukové plyny, chlazení jednotky). Toto teplo není možné využít pro další výrobu elektřiny. V kogeneračním procesu je toto teplo využito na ohřev vody, která se již poté dá použít jako médium při vytápění přilehlých i vzdálených objektů, či jinými způsoby. Tímto způsobem lze zužitkovat z paliva až 80 % energie [6]. Kogenerační jednotky spalující bioplyn mají svá určitá specifika, která jsou dána složením plynu (především podílem  $\text{CH}_4$  v palivu) a také množstvím spáleného plynu za hodinu. Obsah metanu v bioplynu by neměl být nikdy nižší než 40 %. Při nižších koncentracích může docházet ke

zhasínání plamene a tím k snižování účinnosti a životnosti motoru. Pro správný chod motoru jsou důležité zejména tyto parametry:

- teplota plynu – neměla by překročit 40°C, dochází pak k nadměrnému namáhání armatur a řídicích jednotek
- vlhkost plynu
- spád potrubí
- tlak plynu
- výkyvy tlaku



**Obrázek 7: První kogenerační jednotka BPS Všeruby o výkonu 716 kW**



**Obrázek 8: Druhá kogenerační jednotka BPS Všeruby o výkonu 230 kW**

### 1.2.3.2 Odsíření bioplynu

Bioplyn ihned po opuštění fermentoru obsahuje mimo žádoucí plyny i určité procento sloučenin síry, především  $H_2S$ . Obsah sulfanu se v surovém bioplynu odvíjí od složení vstupního substrátu, typicky v koncentraci 500 - 50 000 ppm. Při spalování bez předchozího odsíření dochází k oxidaci na korozivní oxidy síry ( $H_2SO_4$ ). Důsledkem je poté závažná koroze motoru a pomocných zařízení a dochází k výraznému zkrácení životnosti celé kogenerační jednotky. To je důvodem, proč výrobci plynových motorů jako podmínku pro poskytnutí plné záruky na motory požadují, aby hodnota  $H_2S$  ve spalovaném bioplynu nepřekročila 250 ppm. [7]. Tato hodnota je celoročně podle záznamů dodržována i v BPS Všeruby.

Pro odstraňování  $H_2S$  z plynů se v praxi používají absorpční a adsorpční metody. Absorpční metody používají k odstranění sulfanu prací kapaliny (např. metanol), ve kterých se sulfan dobře rozpouští. Pro odstraňování sulfanu z relativně malých objemů bioplynu se naopak osvědčily především adsorpční metody, kdy se sulfan zachycuje na pevných adsorbentech. Používá se speciální impregnované aktivní uhlí, které je schopno zajistit oxidaci sulfanu na elementární síru i bez přítomnosti kyslíku v čištěném plynu.



### 1.2.4 Koncový sklad digestátu

Z fermentoru bioplynové stanice přetéká vykvašený substrát přepadovým potrubím do skladu digestátu. Tato jámka skladu digestátu je železobetonová kruhová nádrž o celkovém objemu 7 620 m<sup>3</sup>. Není zastropena ani nijak tepelně izolována. Pro odběr digestátu pak slouží přečerpávací jednotka umístěná v technickém sklepe.



Obrázek 9: Sklad digestátu

### 1.2.5 Technický sklep – přečerpávací jednotka

Jedná se o zastřešený prostor mezi koncovým skladem, fermentorem a vstupní jámkou. V tomto prostoru se nachází přečerpávací jednotka, umožňující přečerpávání substrátu mezi fermentory, koncovým skladem a vstupní jámkou. Čerpací centrum je umístěno v prostoru u paty fermentoru v šachtě pod úrovní dna a je na něj připojen motor míchadla fermentoru. Přívod kejdy je řešen ze vstupní jámky, odváděný substrát je pak čerpán z fermentoru přímo do skladovací jámky na digestát.

Pomocí tohoto zařízení se dá snadno ovlivňovat obsah vody a složení samotné směsi ve fermentoru.



Obrázek 10: Přečerpávací jednotka

### 1.2.6 Přípojka vysokého napětí, trafostanice

Stávající venkovní vedení VN vede jižně od areálu BPS. Z tohoto venkovního vedení VN je proveden svod VN typu 3xAXEKVCEY 1x70 mm<sup>2</sup>. Kabelové vedení je proti přepětí chráněno instalací omezovačů přepětí VN na odbočném sloupu. Kabel VN je veden od odbočného bodu podél silážního žlabu až k trafostanici. Kabel VN je uložen po celé délce v betonových žlabech v minimální hloubce 1 m. Produkce BPS Všeruby je přímo napojena do rozvodné sítě ČEZ Distribuce a.s., přes vlastní trafostanici TS (0,4/22 kV) vyvedena do veřejné rozvodné sítě 22 kV. Vyrobená elektrická energie je prodávána do distribuční sítě. Jištění trafostanice zejména na ochranu proti atmosférickému přepětí je na straně VN řešeno vysokonapět'ovými pojistkami.

### 1.2.7 Další části BPS Všeruby

Fléra slouží ke spalování přebytečného bioplynu při odstávce kogeneračních jednotek či při nadměrné produkci z fermentoru. Umístěna je ve vzdálenosti 15 m od kogeneračních jednotek. Plynovod je k ní veden v zemi.

Skladová plocha je silážní žlab pro siláže a senáže s obsahem sušiny nad 35 %. Je rozdělen na 8 částí ohraničených betonovými panely do výšky 3,2 m. Odtud jsou veškeré kontaminované vody svedeny kanalizací do jímky na kontaminované vody

Ze silážní jímky na kontaminované vody je možné přečerpávání do společného výdejního místa (přes centrální čerpadlo BPS umístěné v technickém sklepě). Stejně tak je možné centrálním čerpadlem a podzemním kanalizačním potrubím šťávy přečerpávat do vstupní jímky nebo do fermentoru či koncového skladu.



Obrázek 11: Skladová plocha pro silážovanou kukuřici

## 2 Vliv vstupní suroviny na výkon jednotky

### 2.1 Biomasa

Veškerý organický materiál dodávaný do fermentačního procesu BPS musí být v určitém množstevním poměru přesně navrhnutém pro potřeby použitých bakterií ve fermentoru. Souhrnně se tento materiál označuje jako biomasa.

Pojem biomasa je obecně definován jako hmota organického původu. Zákon 118/2005 Sb. ji označuje jako biologicky rozložitelnou část výrobků, odpadů a zbytků provozování zemědělství a hospodaření v lesích a souvisejících průmyslových odvětví, zemědělské produkty pěstované pro energetické účely a rovněž biologicky rozložitelná část vyříděného průmyslového a komunálního odpadu.

Biomasa použitelná k výrobě bioplynu se dělí na:

- cíleně pěstovaná fytomasa – travní senáž, siláž, vhodné druhy energetických rostlin (především kukuřice a řepka)
- odpady z chovu hospodářských zvířat – kejda, hnůj, trus, podestýlka
- bioodpady z údržby veřejné zeleně (tráva, listí, ale nikoli dřevo)
- bioodpady z domácností a ze zahrad
- prošlé potraviny a bioodpady z obchodů
- zbytky z jídelen, restaurací a hotelů
- bioodpady z podnikatelských provozů (pekárny, lihovary, pivovary, cukrovary, masokombináty) [8]

### 2.2 Zdroje biomasy

V BPS Všeruby se využívají hlavně zdroje ze zemědělské výroby a z obhospodařovaných ploch spadajících pod místní zemědělské družstvo. Využívá se výhradně směs kukuřičné siláže, hnoje + kejdy a travní senáže.



### 2.2.1 Kukuřičná siláž

V dnešní době je výroba bioplynu v BPS založena z valné většiny na využívání kukuřice, která se úspěšně šlechtí na rychle rostoucí odrůdy s vysokými výnosy nadzemní biomasy přímo pro účely BPS. Kukuřice má ze všech u nás pěstovaných kulturních rostlin nejvyšší výnosový potenciál na hektar, vysoký obsah sušiny (kolem 35 %) a nízký obsah vody po vysušení (do 10 %) [9].

Nevýhoda je ale v náročnosti na živiny a značné degradaci půdy. Kukuřice má totiž oproti jiným plodinám nedostatečný vegetační kryt a

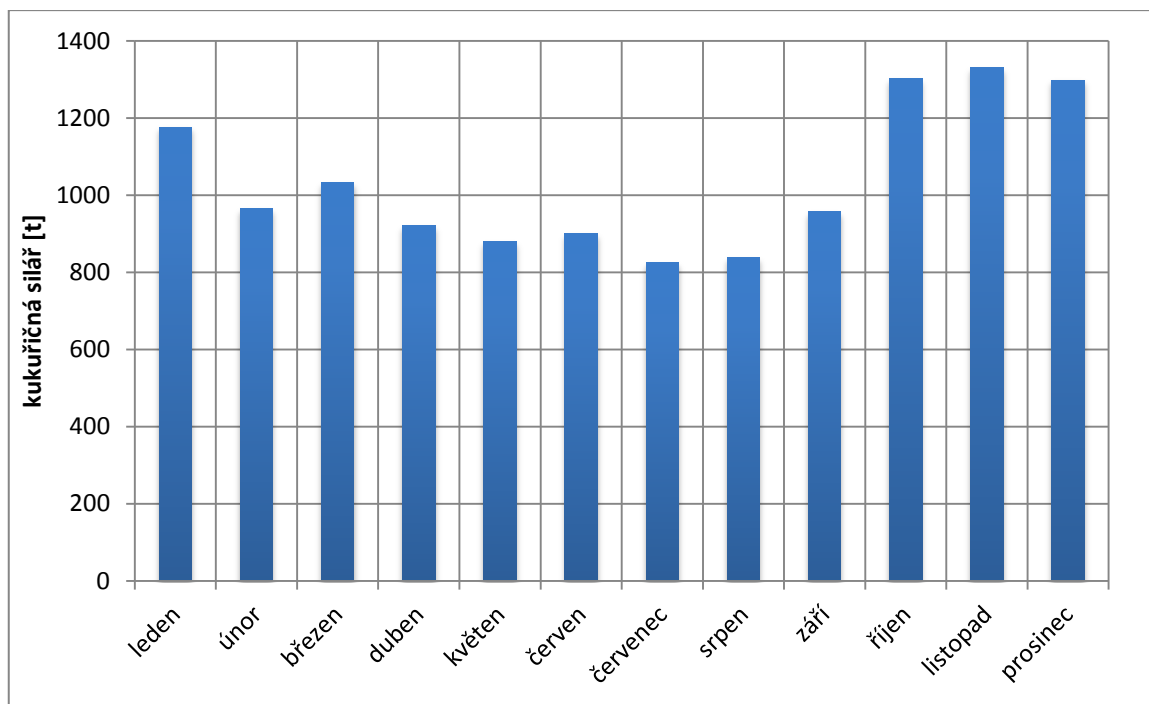


Obrázek 12: Eroze půdy na kukuřičném poli

malou schopnost zadržovat vodu a tak půda, na které je pěstována, trpí značnou vysychavostí a erozí. Jediné vhodné opatření proti vodní erozi je tak ve využívání ploch pod co nejmenší svahovitostí.

Většinu ploch na pěstování kukuřice vlastní přímo zemědělská společnost VŠEZEP s.r.o. vlastníci i BPS Všeruby, celkem se jedná o 400 ha. Z této plochy je využíváno 250 ha na spotřebu v bioplynové stanici. Pro pokrytí spotřeby zemědělského družstva i BPS se ještě nakupuje dodatečná kukuřice z dalších 70 ha od jiných vlastníků.

Pro nutnost nepřerušovaného dávkování do fermentoru BPS je třeba vhodného skladování kukuřičné biomasy. Toto se provádí silážováním, což je způsob konzervace, kdy se do jam pro to určených naváží hmota a postupně se udusává. Konzervace probíhá působením mléčného kvašení cukrů. Vlastní siláž si zachovává jak obsah živin, tak vitamínů použitého materiálu. Celý proces by měl nejlépe probíhat bez přístupu vzduchu, což však v BPS Všeruby není aplikováno z důvodu v těchto podmínkách špatného poměru cena/výkon. Výsledná hmota je pak méně energeticky vytěžitelná.



Graf 1: Spotřeba kukuřičné siláže v BPS Všeruby za rok 2011

### 2.2.2 Kejda + hnůj

Zvířecí exkrementy se používají v bioplynových stanicích jako doplňkové suroviny. Příznivě působí na proces fermentace tím, že dodávají potřebný uhlík a dusík v ideálním poměru pro procesy v reaktoru (v případě hovězího trusu primárně používaného v BPS Všeruby je poměr C:N 10:1 [2]). Součástí exkrementů jsou také různé druhy bakterií příznivě působící na rozklad látek ve fermentoru.

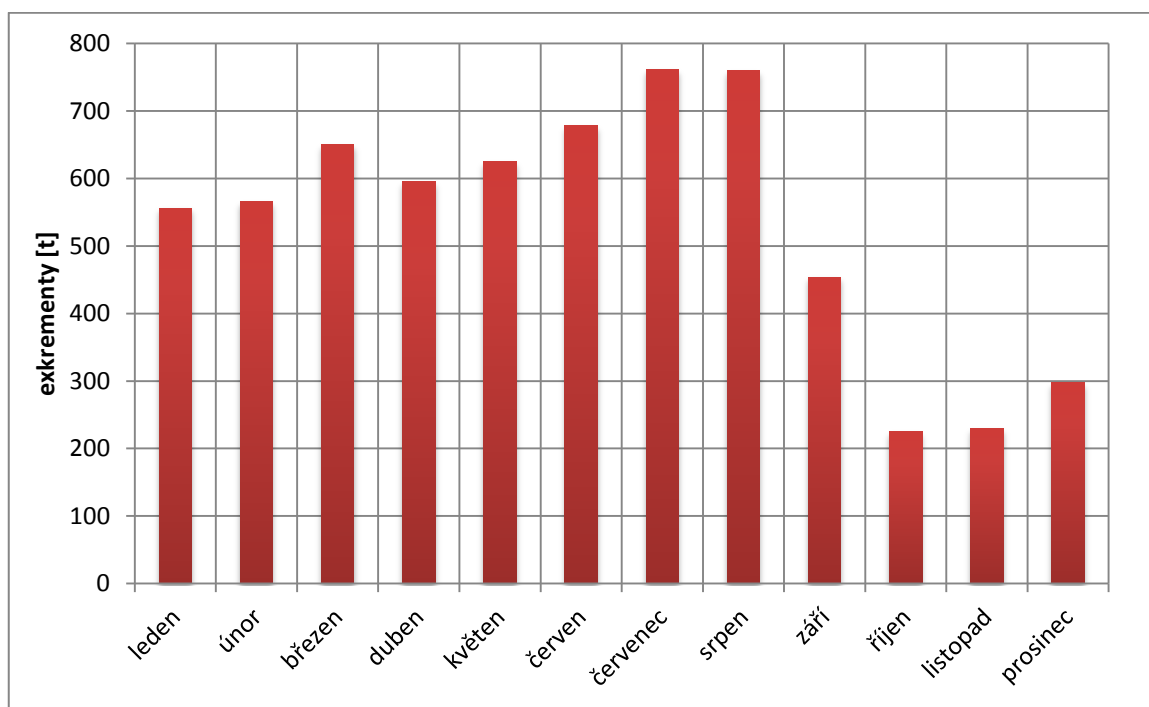
Kejda je obecně částečně zkvašená směs tuhých a tekutých výkalů hospodářských zvířat a zbytků krmiv s určitým podílem technologické vody. Kvalita produkované kejdy závisí především na:

- krmení, stáří a užitkovém zaměření zvířat
- obsahu vody
- ztrátách při skladování
- způsobu odklizení výkalů

Hnůj se poté od kejdy liší vyšším obsahem slámy (podestýlky).

V roce 2011 byla vedle areálu BPS Všeruby vystavěna stáj pro skot. Toto rozhodnutí hodnotím jako velice kladné, neboť trvalý příjem hovězí kejdy a hnoje je pro stanici posilou k dodávce ostatních surovin. Kravín má navíc pro zemědělské družstvo

mnoho dalších pozitiv – produkci mléka, prodej mladých kusů dobytka na chov či na porážku.



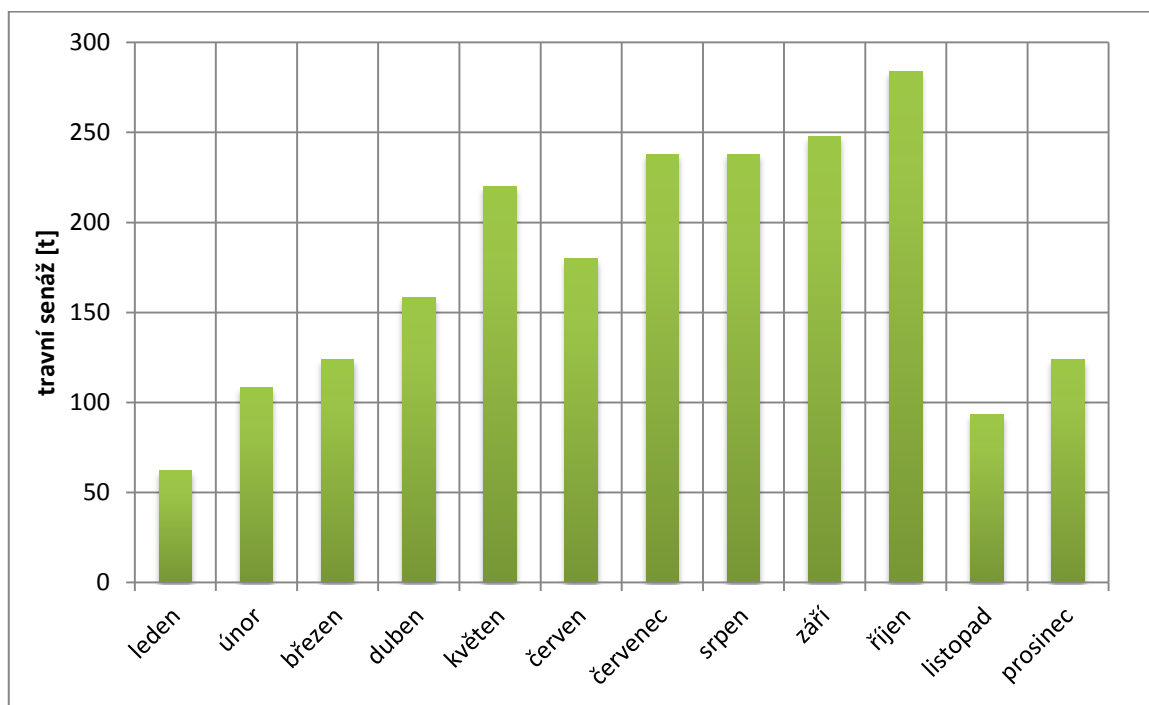
Graf 2: Spotřeba zvířecích exkrementů v BPS Všeruby za rok 2011

### 2.2.3 Travní senáž

Z hlediska množství surovin dodávaných do fermentoru BPS zastává travní senáž menší roli. Zcela ji ale vyloučit není také vhodné z několika důvodů. Se stále rostoucími cenami hnojiv, osiva i pronájmu pozemků se náklady na pěstování kukuřice zvyšují, nelze tak být závislý pouze na jednom druhu vstupní suroviny (nebezpečí škůdců). Jsou důležité také důvody agrotechnické a environmentální především s ohledem na ochranu půdy, půdní úrodnosti a vodních zdrojů. Větší využití travní senáže je výhodné především v horských a podhorských oblastech, kde je vzhledem k vyšší svahovitosti a klimatickým důvodům vhodné nahrazovat ornou půdu trvalými travními porosty. BPS Všeruby se nachází v Pošumaví, a tak jsou podmínky vhodné (zejména vzhledem k nízké průměrné teplotě) pro výraznější pěstování travních porostů.

Termín senáž se zavedl pro siláž s vysokým obsahem sušiny. Přesně daná hranice mezi senáží a siláží není ustanovena, ale obecně platí, že když obsah sušiny přesáhne 50 %, označují se pak takováto fermentovaná krmiva jako senáž. Protože senáž díky

většímu množství sušiny obsahuje méně vody než siláž, dochází zde k poklesu tvorby kyseliny mléčné.



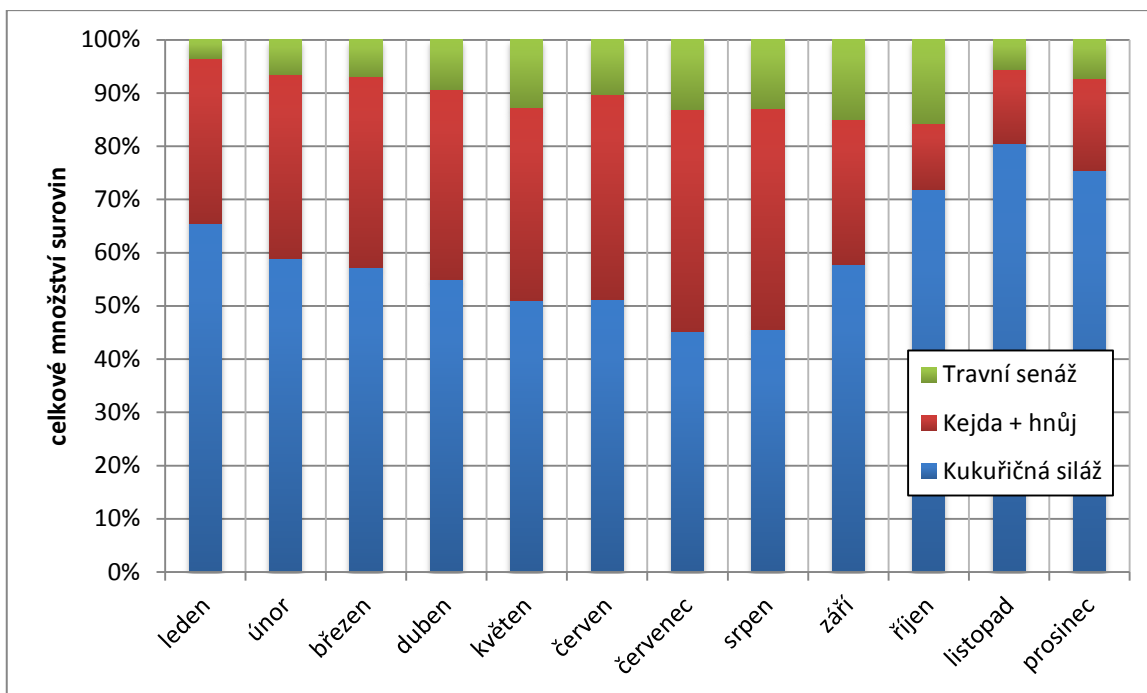
Graf 3: Spotřeba travní senáže v BPS Všeruby za rok 2011

### 2.3 Vliv surovin na výkon BPS

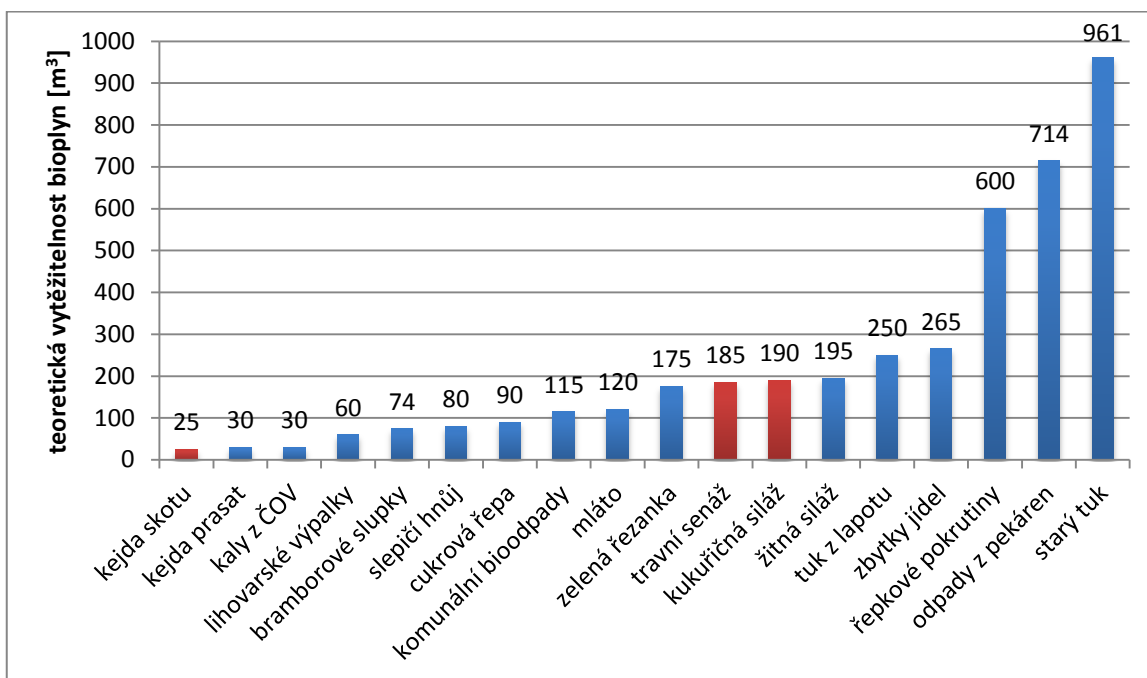
Celkové složení směsi pro BPS je dáno v první řadě dostupností surovin pro danou lokalitu. Pro zemědělské družstvo vlastníci bioplynovou stanicí u Všerub je limitující výměra vlastněných pozemků na pěstování kukuřice a TTP. Část kukuřičné siláže je dokupována, ale toto řešení je nutno z ekonomických hledisek omezovat.

Pro co možná nejvýnosnější provoz BPS je třeba dodávat do fermentoru jednotné složení vstupních surovin, vyvarovat se rychlým změnám poměru jednotlivých složek, případně tyto změny provádět v řádech měsíců.

Vzhledem k výbornému poměru množství bioplynu vytěžitelného z tuny biomasy navrhuji uvažovat nad zavedením potravinářských přebytků (např. z pekáren v blízkém okolí) jako další (sic minoritní) surovinu do fermentoru. Pokud by se vytvořila vhodná infrastruktura pro snadné dodávky takovéto suroviny do BPS Všeruby, vzrostla by výrazně produkce bioplynu.



Graf 4: Zastoupení jednotlivých surovin v celkovém objemu v BPS Všetřuby za rok 2011



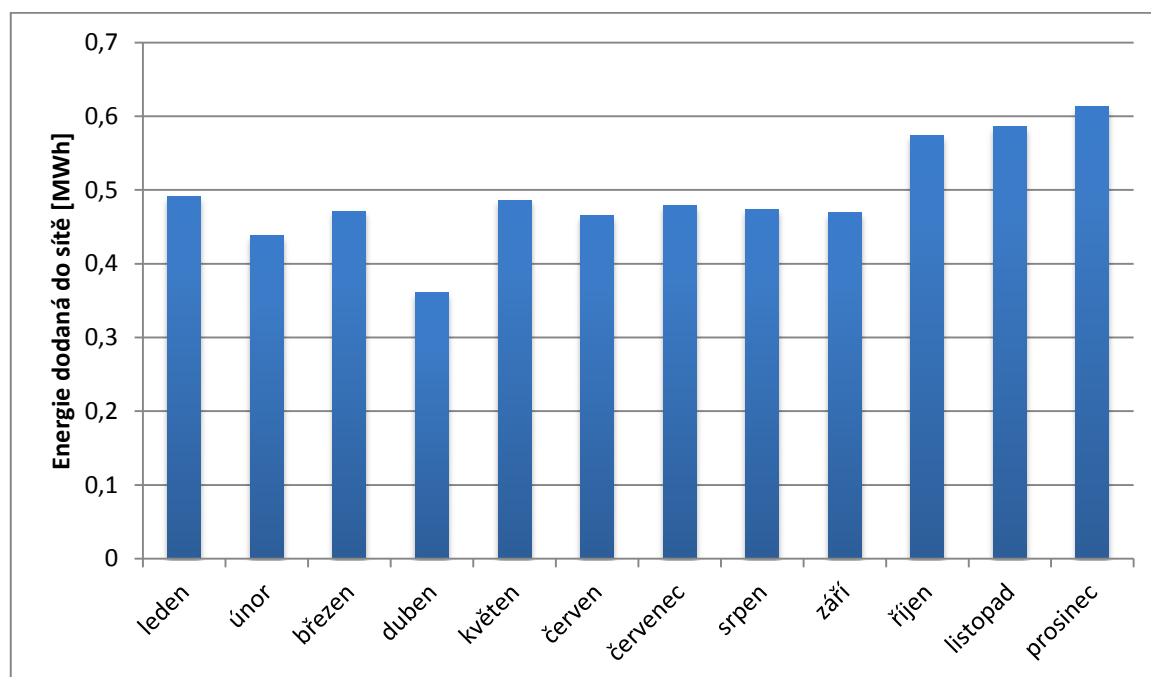
Graf 5: Výnos bioplynu z tuny biomasy [10]

## 3 Roční provoz jednotky

### 3.1 Energetická bilance BPS Všeruby

Původním cílem bioplynových stanic bylo snížit množství jinak těžko využitelných odpadů jako je kejda nebo komunální odpady. Nyní se ale při realizaci projektu klade velký důraz na zisk z prodeje elektrické energie, zvláště z důvodu poměrně dobré výkupní ceny.

BPS Všeruby měla až do září 2011 instalovaný výkon 716 KW, který zajišťoval jeden motor firmy Deutz Power Systems. Poté byl přidán druhý menší motor o výkonu 230 kW. Současný výkon celé BPS je tedy 946 kW. Tento nárůst je dobře patrný v grafu elektrické energie dodané do sítě za rok 2011. Dalším výrazným prvkem v tomto grafu je pokles za duben. Ten je dán 5 denní odstávkou motoru zapříčiněný velkou údržbou motoru, která se provádí vždy po 12.000 motohodinách. (viz. Kapitola 4.1)



Graf 6: Energie dodávaná do sítě během roku 2011

#### 3.1.1 Náklady na provoz

Mimo vlastní elektrickou spotřebu BPS, která je hrazena částí proudu přímo z kogeneračních jednotek se mezi náklady na provoz počítá zejména obsluha a údržba zařízení, dále pravidelný servis či monitoring zařízení a samozřejmě mzdy obslužného

personálu. Největší položkou je ale dodávka vstupních surovin. Hovězí kejda je brána jako odpadní produkt vedlejšího objektu stájí skotu. Travní senáž je zde používána spíše jako doplněk, náklady s ní spojené jsou obsaženy v ceně nafty za posečení, odvoz a senážování. Většinový podíl nákladů na provoz BPS tak padá na pěstování kukuřičné biomasy. Podle informací od pana Žambúrka se kukuřice z 20 % nakupuje za cenu 800 Kč/t a zbytek se pěstuje s náklady zhruba 600 Kč/t. což dohromady dělá náklad na kukuřičnou siláž 5 827 500 Kč za rok.

### 3.1.2 Příjmy

Veškeré příjmy v BPS Všeruby jdou z prodeje vyrobené elektrické energie. Teplo se zde nijak nevyužívá (kromě vlastní spotřeby stanice), není z něj tedy žádný příjem (viz. kapitola 3.2).

**Tabulka 1: Výkupní ceny elektrické energie z bioplynu pro rok 2009 – 2012 [11]**

Spalování bioplynu v BPS kategorie AF1 (zemědělské)	4,12 Kč za kWh	3,07 Kč za kWh
Spalování bioplynu v BPS kategorie AF2 (komunální)	3,55 Kč za kWh	2,50 Kč za kWh

Výkupní cena elektřiny pro zemědělské BPS (kategorie AF1) byla pro rok 2011 4,12 Kč/kWh. Za celý rok vyprodukovala BPS Všeruby 5,9 GWh, což dělá čistý příjem 24,34 miliónů Kč.

### 3.1.3 Bilance

Provoz BPS spotřebuje přibližně 7 % vyrobené elektrické energie [12]. Je zde tedy možnost posoudit, jestli není v individuálních případech ekonomicky výhodnější dodávat veškerou vyrobenou energii do sítě, a poté proud na vlastní spotřebu stanice zpětně levněji vykupovat. Myslím ale, že toto řešení je značně neekologické a rozhodně nepřispívá k regulačním schopnostem sítě (viz. Kapitola 4.2).

Celkově se za rok 2011 v BPS Všeruby spotřebovalo 12 432 tun kukuřičné siláže, která je dodávána z 320 ha zemědělské plochy. Z toho dostaneme podělením výtěžnost 38,85 t/ha kukuřičné biomasy. Při standardním obsahu sušiny 35 % se jedná o 13,6 tun sušiny/ha.

Produkce bioplynu je průměrně 320,6 m<sup>3</sup>/h, což dělá 7 694,4 m<sup>3</sup>/den. Výtěžnost bioplynu je ze všech tří složek (kukuřičná siláž, travní senáž a kejda) zhruba stejná,

průměrný podíl kukuřičné siláže v celkové hmotě je 60 %, tudíž se z ní vyprodukuje z celkového objemu bioplynu 4 616,6 m<sup>3</sup>/den. Průměrně se spotřebuje za den 34,5 tuny kukuřičné siláže. Opět při obsahu sušiny 35 % to dělá spotřebu 12 tun sušiny/den. Výtěžnost bioplynu z tuny sušiny poté dostaneme vydělením vyprodukovaného bioplynu z kukuřičné siláže denní spotřebou sušiny. Vyjde nám výtěžnost 384,7 m<sup>3</sup>/t sušiny.

Vynásobíme výtěžnost bioplynu z tuny sušiny výtěžností sušiny na hektar, vyjde nám produkce bioplynu 5 231,9 m<sup>3</sup>/ha. Průměrná produkce elektrické energie po rozšíření o druhou kogenerační jednotku je 19 000 kWh/den, což vydělíme produkcí bioplynu za den a zjistíme, že se vyrobí 2,47 kWh elektřiny/m<sup>3</sup>. Nyní již stačí vynásobit produkci bioplynu z hektaru vyrobenou elektřinou na m<sup>3</sup>, což je 12 922,8 kWh/ha a při ceně 4,12 Kč/kWh máme výsledek hrubého zisku 53 242 Kč/ha. Čistý zisk je poté po odečtu veškerých nákladů za vypěstování, sklizení a silážování mnohem nižší.

Největší fotovoltaická elektrárna u nás - FVE Vepřek - má výkon 35,1 MW, rozlohu 82,5 ha a za rok vyrobí 17,6 GWh (údaje za rok 2010) [2]. To dělá přepočtem vyrobenou elektřinu 213 333,3 kWh/ha, což je 16x větší zisk než z pěstování kukuřice. Tudíž by se mnohonásobně více vyplatilo místo pěstování kukuřice použít tyto pozemky na výstavbu FVE, i bez započítání vyšší výkupní ceny, která je pro nyní vybudované elektrárny 6,16 Kč/kWh. Dodávka energie z BPS je ale mnohem stabilnější, není závislá na počasí a výstupní suroviny zajišťují ekonomicky výhodný koloběh živin v zemědělství. Proto jsem osobně pro větší podporu BPS a jejich další výstavbu.

### 3.2 Využití přebytkového tepla

Při procesu spalování bioplynu v kogenerační jednotce dochází kromě výroby elektřiny také k významné produkci tepla, tak významné, že překonává až o polovinu produkci elektrické energie. Toto teplo pochází především z chlazení motoru, plnicí směsi, oleje, a výměníku tepla spalin. Problematika využití tohoto přebytkového tepla je v dnešní době nejzásadnější v dalším rozvoji souhrnných služeb nabízených bioplynovými stanicemi.

Z celkové produkce tepla je část vždy využívána pro vlastní procesy bioplynové stanice - zejména na tepelné ztráty fermentorů, na ohřev vstupní suroviny, případně na hygienizaci vstupní suroviny (snižování bakteriální kontaminace patogenními



mikroorganismy). Většinou se spotřeba tepla pro technologické ohřevy BPS pohybuje mezi 25 – 40 %, vyšší bývá v zimním období, v létě méně.

Obecně jsou možnosti využití tepla následující:

- vytápění objektů v bezprostředním okolí, zejména v areálu farmy
- vytápění obytných domů
- pro potřeby přidružených podnikatelských provozů

### 3.2.1 Současný stav BPS Všeruby

V případě jednotky u Všerub je přebytkové teplo (mimo tepla pro vlastní potřeby BPS) vedeno od kogeneračních jednotek teplovodem k objektům areálu farmy. Konkrétně jde o objekt se sociálním zázemím a o stáje dobytka (podlahové vytápění u napajedel, vytápění u vjezdu a výjezdu, ohřev napájecí vody a ohřev vody pro dojíací automaty). Stále je ale většina vyprodukovaného tepla nevyužita a je vypouštěno do vzduchu chladicí jednotkou vedle technické budovy. Z celkové produkce tepla připadá zhruba 30 % na vlastní spotřebu stanice, na další (výše jmenované) využití připadá odhadem 20 %, celkově je tedy zatím polovina tepla nevyužita. Přesné hodnoty nejsou bohužel k dispozici, jelikož nejsou v BPS Všeruby evidovány.



Obrázek 13: Chladicí zařízení BPS Všeruby

Nejlepší možností zamezující mrhání teplem a zároveň jeho ekonomicky a ekologicky nejvýhodnější způsob využití je, podle mého názoru, vytápění obytných domů v dostatečné blízkosti BPS. Od vesnice Všeruby je bioplynová stanice poměrně daleko (několik kilometrů) a tak tam není ekonomicky možné zavést teplovod. Na dotaz proč tedy nebyla BPS vystavěna blíže vesnici, se mi dostalo odpovědi, že takový byl původní záměr, ale občané ve veřejném referendu byli proti z obavy z možného zápachu a hluku. O ekologickém a levném zdroji tepla pro tuto příhraniční obec, kde jsou poměrně nízké průměrné teploty během roku, tak rozhodla neinformovanost občanů a

malé lobby ze strany vlastníků tehdy ještě neexistující BPS. Zápach ze zemědělských BPS je ale minimální, nesmí se zde podle zákona č. 185/2001 Sb. nijak zpracovávat odpady, a tak jediným možným zdrojem zápachu jsou zde jímky na šťávy či silážní jáma. Vyhnily digestát totiž po řádném procesu fermentace neobsahuje téměř žádné látky odpovědné za zápach, vše je zpracováno bakteriemi. Z vlastní zkušenosti mohu potvrdit, že v objektu BPS jsem necítil téměř žádný nevhodný zápach. Další zdroj obavy občanů – hluk – jsem na prohlídce stanice sice již zaznamenal, při případné výstavbě u obce ale investice do většího odhlučnění kogeneračních jednotek nepředstavuje nijak vysokou investici navíc.

### 3.2.2 Návrhy možného využití tepla

Nejlevnějším možným způsobem, a u nás často praktikovaným, bývají různé druhy sušárenských technologií. Jedná se o sušení obilí, dřeva, pilin, sypké biomasy, peletizační a briketovací linky. V první řadě je ale nevhodnější sušení a následné zpracování odpadního produktu fermentačního procesu – digestátu. Ten po opuštění fermentoru obsahuje mnoho vody (více než 90 %) a je možno ho sušit buď přímo, nebo po separaci na síťových nebo bubnových separátorech. Separací vzniknou dvě složky: tuhá část o přibližně 30 % obsahu sušiny a tekutá část, tzv. fugát. Tuto tekutou složku digestátu lze aplikovat jako tekuté hnojivo, jelikož i po fermentaci si prošlá biomasa zachovává látky důležité pro růst rostlin (N, P, K).

Při sušení digestátu se sice snižuje obsah vody, roste tak obsah organické sušiny a klesají náklady na skladování a přepravu na pole, ale dochází tím hlavně k výraznému snížení obsahu dusíku až o 95 %, čímž jsou dramaticky eliminovány hnojivé účinky. Dusík se v digestátu vyskytuje především ve formě amoniaku a sušením se uvolňuje do atmosféry, způsobuje silný zápach a po opětovném spadnutí spolu se srážkami působí k vyšší eutrofizaci vod. Sušení digestátu určeného přímo na hnojení pole tedy není efektivní způsob využití vyrobené tepelné energie [13]. Naopak při správné technologii sušení se vzniklý separát hodí pro výrobu pelet či briket. Pro zpracování úsušků se obvykle požaduje konečná vlhkost v rozmezí 10 – 15 %, tj. konečná sušina v rozmezí 90 – 85 % [14]. Používají se k tomuto účelu pásové sušárny dimenzované speciálně na konkrétní bioplynovou stanici pro ideální pokrytí produkce nadbytečného tepla.

Jako další možnost je tu sušení pšenice, ječmene, kukuřice, řepky, apod. Zde je ale třeba k plnému využití roční spotřeby tepelné energie dobře navrhnout dodávky

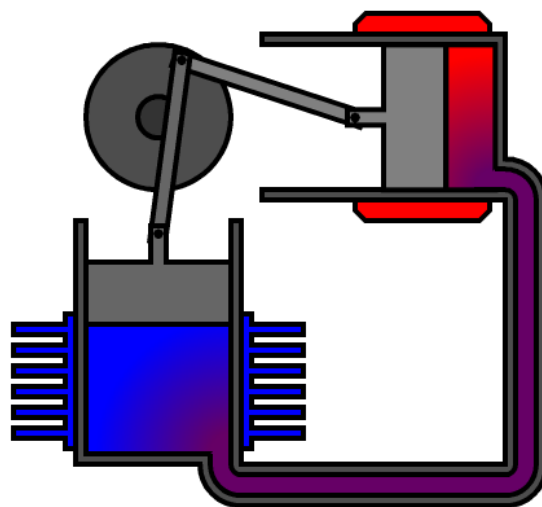
jednotlivých surovin podle jejich druhu a doby sklizně a mít k dispozici poměrně velké skladovací prostory. Tuto možnost proto doporučuji jen v kombinaci s dalšími surovinami pro sušení, kde jsou dodávky zajištěny i mimo dobu sklizně zemědělských plodin. Taková možnost spočívá v sušení štěpky, tedy odpadu lesní těžby a průmyslového zpracování dřeva. Štěpka je výborné topivo s výhřevností 8 - 15 MJ/kg [15]. Kvalita se hodnotí podle obsahu vody, kdy čerstvá štěpka po těžbě a zpracování obsahuje až 50 % vlhkosti, je tedy nutné je co nejvíce vysušit. Spolupráce s bioplynovou stanicí se tedy jeví jako velice dobré řešení pro zpracovatele štěpky.

Možnosti ve využití tepla se dají dále aplikovat na ohřev chovů teplomilných živočichů, např. slepic a ryb. V chovu ryb se jedná o tepelně vyhřívání líhně především pro kapry a lososovité ryby (pstruh duhový, siven americký). Tato možnost je ale velice nákladná na výstavbu a hodí se zejména pro oblasti s vysokým počtem rybníků, u nás tedy pro jižní Čechy. Slepíčárnu naopak hodnotím jako kladnou alternativu, odpadní produkty se opět hodí jako vstupní surovina do fermentoru stejně jako již používaná hovězí kejda.

Vytápění skleníků s využitím tepla z kogeneračních jednotek je také zajímavá alternativa. Tento způsob je hojně využíván v Holandsku, kde je pěstování květin i zeleniny tradicí. V této zemi je dokonce využívána technologie recyklace CO<sub>2</sub> (běžně vypouštěn do vzduchu), kdy je zvyšována jeho koncentrace v hermeticky uzavřených sklenících pro posílení fotosyntézy a tím větší růst rostlin. Tyto technologie jsou ale velice nákladné a v našich ekonomických podmínkách nerealizovatelné.

### 3.2.3 Stirlingův motor

Jedná se o druh tepelného motoru pracujícího na principu roztažnosti plynu při ohřívání. Plyn tlačí na píst a tím vyvolává přes klikovou hřídel otáčivý pohyb, který se poté generátorem dá přeměnit na energii elektrickou. Stirlingův motor má dva pracovní prostory, mezi nimiž může volně proudit plyn. Jeden z prostorů je ohříván externím zdrojem tepla, druhý je naopak chlazen. Existuje



Obrázek 14: Schéma Stirlingova motoru [17]

mnoho modifikací tohoto motoru - písty mohou být v samostatných nebo v jednom společném válci. Motor má velmi tichý chod, vysokou životnost, minimální poruchovost a jednoduchou konstrukci. Na druhou stranu potřebuje k lepší účinnosti vysoké tlaky plynu a kvalitní těsnění pístů, aby se omezily tlakové ztráty. Je také špatně regulovatelný. Energetická účinnost tohoto motoru bývá kolem 20 %. Nehodí se tedy jako primární motor do provozů, ale jako další řešení pro využití přebytkového tepla v BPS by byl výborný. Ovšem se v praxi vůbec nepoužívá z několika důvodů. Jeho konstrukce je teoreticky velmi jednoduchá, ale velký a dobře pracující stroj zatím nedokázal nikdo uvést do sériové výroby. Momentálně jsou ve výzkumu prototypy. Částečný úspěch měla například firma Stirling Systems AG (dříve SOLO Stirling GmbH). Obecně je v praxi velký problém zajistit dostatečný rozdíl teplot, náročné je zejména vyřešit levné a dostatečné chlazení jednoho válce. U BPS navíc nedosahuje teplota spalin dostatečných hodnot k účinnému ohřevu druhého válce. Velké rozměry také snižují jeho účinnost, motor je založen na rychlé výměně tepla a velké litinové části motoru s vysokou teplotní kapacitou tomu brání.

### **3.3 Využití přebytkových surovin**

#### **3.3.1 Digestát**

Hlavním výstupem fermentačního procesu BPS je stabilizovaný materiál v kapalné podobě – tzv. digestát. Ve fermentoru přijde biomasa díky bakteriím o velkou část organických látek (bílkoviny, uhlovodíky, atd.), obsah snadno rozložitelného uhlíku je redukován, ale ve zbylém materiálu zůstává žádoucí forma organického uhlíku (prekurzor humusových látek) a většina anorganických látek, lze ho tedy použít jako kvalitní organominerální hnojivo nebo jako surovinu pro výrobu kompostu, popř. jako rekultivační materiál. Kvůli méně nákladnému skladování a pro snazší manipulaci může být digestát odvodněním převeden do tuhé formy. Způsob nakládání s digestátem je různý v závislosti na konkrétních podmínkách ale vždy je zapotřebí jej řešit ještě před realizací projektu BPS.

Pokud nemá vlastník pro digestát žádné využití, musí se smluvně dohodnout s jinými odběrateli pro jeho odběr. V případě BPS Všeruby je veškerý digestát využit jako hnojivo na pole pro opětovné pěstování biomasy, je tedy zajištěn nezbytný koloběh živin a i ekonomicky je toto řešení nejlepší možné pro majitele BPS. Mimo vegetační

období ale platí omezení pro aplikace digestátu na půdu, proto je nutné vyřešit jeho skladování po většinu roku. K tomu slouží koncový sklad digestátu popsáný v kapitole 1.2.4.

Oproti klasickým stájovým hnojivům (surová kejda) má digestát navíc následující přednosti:

- dochází k redukci zápachu při manipulaci a hnojení
- koncentrace patogenů je významně redukována
- je omezena klíčivost semen plevelů
- snižuje se žíravý účinek surové kejdy na plodiny
- obsah žádoucích živin (P, K, N apod.) je zachován
- celkově přispívá ke zlepšení odolnosti plodin a nižší spotřebě pesticidů
- finanční úspora z hlediska náhrady minerálních hnojiv

### 3.3.2 Odpadní šťávy

Šťávy vytékají ze siláže pouze v období naskladňování (dusání), poté je to jen v zanedbatelném množství. Pokud je suchý podzim, do jímky nenatéká dešťová voda z přilehlých asfaltových ploch, jímka postačí tyto šťávy pojmout a postupně se zpracují ve fermentoru. Pokud kapacita nestačí, může se část přepustit do koncového skladu, kde se šťávy smísí s digestátem a poté se vyvezou na pole. Takto zředěné silážní šťávy již nejsou nebezpečné, jako jsou v čisté formě. Hrozbu představují, pokud například uniknou z jímky na šťávy do povodí, a tak výrazně zvýší BSK<sub>5</sub>, čímž dojde ve vodě k vyčerpání kyslíku potřebného pro dýchání vodních živočichů.

## 4 Spolehlivost bioplynové stanice

### 4.1 Výpadky z provozu

O výpadcích z provozu se ve spojení s bioplynovou stanicí mluví především o výpadcích kogeneračních jednotek. Ve fermentorech probíhá pomalý na vnějších podmínkách nezávislý proces podléhající jen konstantní dodávce vstupních surovin, tudíž zde (teoreticky) k neočekávaným příčinám výpadků z provozu ani docházet nemůže. Dochází k nim tak nejčastěji z důvodu přepětí v síti, čímž se aktivuje ochrana v rozvodné skříni a tím dojde k odstavení kogeneračních jednotek. Poté se musí výkonnější jednotka vždy znovu zprovoznit na místě, u menší to jde i vzdáleně přes internet, pokud se tedy nejedná o silné přepětí a není vyhozen hlavní jistič. Většinou v praxi vypadnou motory oba, tudíž dojezd je skoro vždy nutný. Dojezd do BPS z kanceláří v areálu zemědělského družstva trvá přibližně 15 minut. Celková doba výpadku tedy činí, když nejsou jiné problémy 20 – 30 minut. I přes noc je stále pověřena určitá osoba, která je v případě výpadku upozorněna přes internet a musí do stanice dojet. V plánu je do budoucna zajistit vzdálené spuštění i výkonnější jednotky, čímž by se výrazně zkrátila doba odstavení po výpadku. Přímo počet výpadků za měsíc není v BPS Všeruby zaznamenáván.

Mimo neočekávané výpadky se musí při provozu stanice počítat i s plánovanými údržbami kogeneračních jednotek. Oba motory jsou od firmy Deutz Power Systems, která v manuálu uvádí plán údržby jednotlivých částí motoru po určitých provozních hodinách (viz. Tabulka 2). Po 3000 motohodinách, tedy zhruba po každém půlroce, je tudíž třeba naplánovat půl až celodenní odstávku pro nezbytné opravy a seřízení.

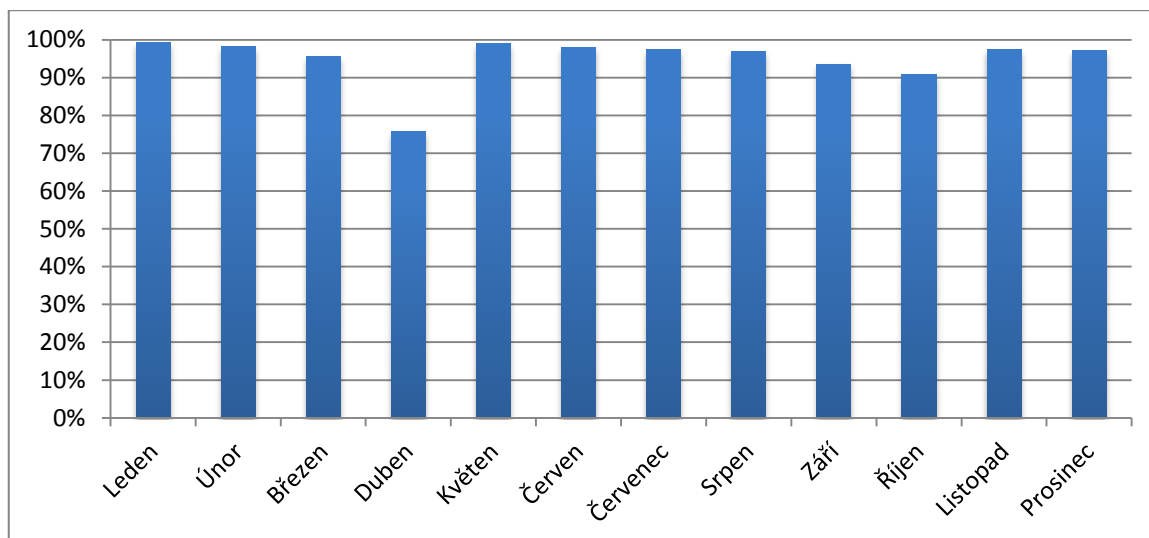
**Tabulka 2: Opatření údržby závislá na provozních hodinách motorů firmy Deutz Power Systems**

<b>Popis údržby</b>	<b>1500 prov. hod</b>	<b>3000 prov. hod</b>	<b>12 000 prov. hod</b>	<b>24 000 prov. hod</b>	<b>48 000 prov. hod</b>
Kontrola vůle ventilu	X	X			
Údržba baterie	X	X	X	X	X
Kontrola ústrojí reg. otáček	X	X	X	X	X
Výměna zapal. svíček		X	X	X	X
Výměna vložky filtru oleje		X	X	X	X
Výměna filtru nasávacího vzduchu			X	X	X
Výměna nebo oprava hlav válců			X	X	X
Výměna vložek válců				X	X
Vyčištění turbodmychadla			X		
Čištění spalovacích prostor			X		
Výměna pryžových kompenzátorů					X
Kontrola hadicových vedení					X

Každá BPS je vybavena plynojemem - zásobníkem plynu nad vnitřním fermentorem, do kterého se zachytává při výpadku nadbytečný bioplyn. Tento plynojem tedy funguje jako jakýsi buffer a jako každý buffer se musí při naplnění opět vyprázdnit. Aby nedošlo k nechtěným ztrátám bioplynu, je potřeba, aby tedy po určité době jely KJ na zvýšený výkon a tím plynojem opět vyprázdnili. Čas, po který může být stanice mimo provoz se počítá na poměrně krátkou dobu (do hodiny), poté se aktivuje zařízení ke snížení přetlaku (spálení přebytečného plynu ve fléře). Další produkce plynu se dá ještě částečně snížit přerušením přívodu živin do fermentoru až do obnovení normálního provozu.

Celkovou dobu odstavení motorů a tedy pozastavení výroby energie lze zhruba vypočítat z evidence dodané energie do sítě vydělené energií, kterou by stanice

teoreticky dodala, pokud by motory bez přestávky běžely celý rok (viz. Graf 7). Opět lze pozorovat náročnou údržbu motoru v dubnu a také menší odstávky při připojování druhého motoru v září a říjnu. Z celkové roční doby provozu – 8760 hod – tedy běžela stanice 8318,35 hod. Po odečtu těchto hodnot vychází doba mimo provoz za rok 2011 na 18 dní a 10 hod.



Graf 7: Procentuální hodnota dodané elektrické energie z maximální možné

## 4.2 Schopnost regulace sítě

Elektrická rozvodná soustava v České republice patří k jedněm z nejlépe fungujících v Evropě, a to jak z hlediska technické úrovně, tak i z hlediska jejího řízení. Do konce minulého století, kdy OZE tvořily nepatrnou část energetických zdrojů, nebyla otázka stability sítě zásadním problémem. Teprve v poslední době dochází k obrovskému boomu OZE, obzvláště fotovoltaiky. Spolu s větrnou energií nelze jejich výkon ovlivnit ani přesně předvídat (je závislý na počasí). Tím nastává problém udržet poptávku po elektřině a její výrobu a distribuci ve vzájemné souhře. Množství vyrobené elektřiny se při plném výkonu neřízených OZE dostává nad možnou spotřebu a nastává tak nebezpečná situace, kdy může v nejhorší variantě dojít až ke zhroucení části energetické sítě – tzv. blackoutu. Jinak se musí nadbytečná energie neefektivním způsobem spotřebovávat.

Na rozdíl od solárních nebo větrných elektráren dodávají bioplynové stanice energii konstantně po celý den, jejich výkon není závislý na změnách počasí a v určitých mezích ho lze regulovat. Jsou tak prospěšným energetickým prvkem mezi OZE.



Problém regulování sítě pomocí BPS spočívá ve faktu, že výrobu elektřiny je možné jen časově posouvat, nikoli elektřinu nevyrobit (aby nedocházelo k finančním ztrátám). Jsou tedy potřeba dostatečné kapacity pro skladování bioplynu, což přináší dodatečné výdaje při stavbě BPS. U nás bohužel momentálně neexistuje legislativa podporující BPS jako malé zdroje regulace sítě. Jejich majitelé proto nemají důvod dimenzovat jejich zásobníky na kapacitu vhodnou k zadržování bioplynu i na několik hodin. Současná legislativa prospívá jen velkým regulačním zdrojům, jako jsou vodní přehradní elektrárny. Zde je snadné být dlouhou dobu mimo provoz, tedy ve stavu pohotovosti a být okamžitě připraven najet na plný výkon při potřebě regulace sítě. Poté tyto elektrárny vyrobí za krátkou dobu velké množství energie, což stát podporuje. V současnosti je tedy vyřešeno jen množství dodané regulační energie nikoli spolu s časem, po který se regulovalo. BPS by se uplatnili, pokud by se změnila legislativa a za kratší regulační časy (v řádech minut), které by pokryli největší výkyvy zatížení sítě, by byli více dotované.

Aplikace by byla poté taková, že proces fermentace by byl dimenzován na menší než skutečný výkon KJ. Při potřebě regulovat by se výkon snížil na krátkou dobu např. na 30 % jmenovitého výkonu a po odeznění přetížení sítě by jednotka najela na zvýšený výkon např. 120 % jmenovitého výkonu, na což jsou tyto jednotky stavěné. Ve výsledku by tím došlo k omezení špičkových výkonů a dosažení stabilní výroby elektřiny v dané oblasti. Celkový ušlý zisk daný menší produkcí bioplynu by se pak snadno zaplatil z vyšší výkupní ceny regulačního proudu. Nutná podmínka ale je, aby byl celý systém perfektně provázán a automaticky by reguloval výrobu v BPS v závislosti na potřebách sítě.

Řešením je tedy podpora od státu pro menší a rychlejší regulační zdroje, z nichž u nás mají vzhledem k rozšíření zemědělství největší potenciál právě bioplynové stanice.

## 5 Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo zhodnotit současný stav bioplynové stanice ve Všerubech s ohledem na energetickou efektivnost celého procesu. Pokusil jsem se nastínit hlavní problémy bioplynových stanic a nalézt možnosti ke zlepšení energetického (a tím i ekonomického) stavu.

Nejprve jsem v této práci popsal základní chemické procesy v bioplynových stanicích obecně, jak tedy vzniká samotný bioplyn, co ovlivňuje jeho kvalitu a množství obsažených látek. Poté jsem prošel jednotlivé technologické celky mnou popisované BPS a zjistil jejich význam v celém procesu výroby bioplynu.

V další kapitole jsem se zabýval vstupními surovinami BPS Všeruby. Používá se zde v nejvyšší míře kukuřičná siláž, poté travní senáž a hovězí exkrementy. Jednotlivě jsem zhodnotil jejich kvalitativní přínos fermentačnímu procesu, dostupnost pro tuto stanici a jejich celkové objemové zastoupení v průběhu roku 2011.

Další kapitola pojednává o energetickém hospodaření celé jednotky. Vyčíslil jsem příjmy a náklady stanice a vypočítal teoretický energetický a finanční zisk na hektar pěstované kukuřice. Ten jsem porovnal se stejným výstupem z fotovoltaické elektrárny. Poté jsem se zabýval největším energetickým plýtváním BPS Všeruby a i dalších bioplynových stanic, a to využitím vyprodukovaného tepla. Teplo je zde využíváno na vlastní ohřev fermentoru a v poslední době i na vytápění přilehlých stájí skotu. Stále je ale velká část vypouštěna chladicím zařízením do vzduchu, navrhl jsem proto několik možností jak teplo dále využít. V poslední části kapitoly jsem popsal využití odpadních produktů, které je myslím v této stanici zvládnuto výborně. Jelikož družstvo vlastníci BPS si zároveň pěstuje potřebné suroviny, zajišťuje si vhodným využitím těch výstupních levný koloběh živin.

Na závěr jsem krátce objasnil výpadky z provozu a tím roční spolehlivost celé stanice a zauvažoval nad využitím BPS jako zdroje pro regulační proud v okamžicích přepětí sítě.

Ekologický přínos bioplynových stanic jak v zemědělství, tak v energetice je dán vysokou účinností celého procesu a zajištěním koloběhu látek v přírodě. Současná legislativa státu ale více podporuje jiné OZE (zvláště fotovoltaiku), které mohou mít sice vyšší energetický výnos z hektaru potřebné plochy, ale celková ekologičnost daná drahou a náročnou výrobou poté klesá. Osobně jsem pro větší finanční podporu pro bioplynové stanice, např. v oblasti regulování sítě a tím dosažení jejího většího

rozšíření. Překonaly by se tím vysoké investiční náklady při výstavbě a dosáhlo by se lepšího využití organických odpadů po celé republice.

## Použitá literatura

- [1] Koukal F. - Bouda Z. - Bačáková M.: Energetický audit BPS Myslív u Všerub, 2008
- [2] <http://cs.wikipedia.org>
- [3] CZ Biom: Průvodce výrobou a využitím bioplynu, 2009
- [4] <http://ekobioenergo.cz/5-obnovitelne-zdroje/23-energie-biomasy.html>
- [5] [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)
- [6] <http://www.kombinovana-vyroba.cz/?id=1505#>
- [7] <http://www.novaenergo.cz/sluzby-a-produkty/systemy-odsireni-bioplynu>
- [8] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/dostatek-kvalitnich-vstupnich-surovin-pro-vyrobu-bioplynu>
- [9] <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/98-prehled-energetickych-plodin-jejich-vlastnosti-a-prepocty-jednotek>
- [10] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyteznost-bioplynu-z-jednotlivych-materialu>
- [11] [http://www.eru.cz/dias-browse\\_articles.php?parentId=113](http://www.eru.cz/dias-browse_articles.php?parentId=113)
- [12] <http://www.bioplynovestanice.cz/technologie-bps/>
- [13] <http://www.czba.cz/aktuality/suseni-digestatu-neni-efektivni-vyuziti-tepelne-energie.html>
- [14] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-podminky-a-moznosti-vyuziti-tepla>
- [15] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>
- [16] <http://biom.cz/cz/obrazek/schema-anaerobniho-rozkladu-za-tvorby-bioplynu>
- [17] [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Alpha\\_Stirling\\_frame\\_2.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Alpha_Stirling_frame_2.png)

## **Přílohy**

### **Přílohy na CD:**

Příloha 1: Evidence provozních hodnot - Všeruby 2011

Příloha 2: Evidence výroby el. energie - Všeruby 2011