

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Energetické hodnocení bioplynové stanice**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel PARTYNGL**  
Osobní číslo: **E11N0033P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Energetické hodnocení bioplynové stanice**  
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

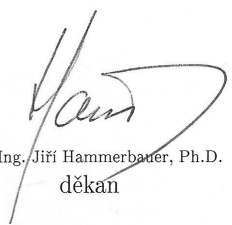
### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Objasněte problematiku týkající se využití bioplynové stanice (BPS) pro energetické účely, uveďte platná legislativní opatření.
2. Popište technologii BPS.
3. Stanovte látkovou a energetickou bilanci BPS.
4. Provedte ekonomické zhodnocení provozování BPS a posuďte její vliv na životní prostředí.
5. Navrhněte vhodné úpravy dané technologie.


Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Pavla Hejtmánková, Ph.D.**  
Katedra elektroenergetiky a ekologie  
Konzultant diplomové práce: **Ing. Zdeněk Bučko**  
Sokolovská uhelná a. s.  
Datum zadání diplomové práce: **14. října 2013**  
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2014**

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



  
Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

**Anotace**

Diplomová práce pojednává o problematice využití bioplynu k výrobě elektrické energie. Je zmíněn proces výroby tohoto plynu společně s jeho parametry a vlivy, které ovlivňují jeho fyzikální a chemické vlastnosti. V návaznosti je popsána technologie bioplynové stanice s následným zaměřením na konkrétní stanici Vintířov ve vlastnictví Sokolovské uhelné, právní nástupce, a.s. S ohledem na tuto stanici byla stanovena látková a energetická bilance provozu. Dále bylo provedeno ekonomické zhodnocení zakončené několika navrženými kroky pro zlepšení situace v budoucích sezónách. Závěr je věnován jak vhodným úpravám dané technologie, tak moderním prvkům pro rozšíření stanice.

**Klíčová slova**

Bioplyn, bioplynová stanice, anaerobní fermentace, kogenerační jednotka, technologie bioplynové stanice, organický Rankinův cyklus



**Abstract**

This master thesis deals with the issue of electricity production using biogas. First, it describes the biogas generation process together with its parameters and factors that influence its physical and chemical features. In the second stage, this thesis studies the technology of biogas plant with a special focus on Vintířov plant in the property of Sokolovské uhelné, právní nástupce, a.s. In view of this station, mass and energy balance of the process are determined. Finally, economic evaluation is made, suggesting several steps to improve the situation in future seasons and appropriate modifications of technology and modern elements for the expansion of the station are presented.

**Key words**

Biogas, biogas plant, anaerobic fermentation, cogeneration unit, technology of the biogas plant, organic Rankine cycle

## **Prohlášení**

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

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou 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 diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 7.4.2014

---

Bc. Pavel Partyngl

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval své vedoucí doc. Ing. Pavle Hejtmánkové, Ph.D., za ochotu, s níž se mi při práci věnovala, za připomínky, cenné rady a metodické vedení práce.

Děkuji také externímu konzultantovi Ing. Zdeňku Bučkovi ze SU, právní nástupce, a.s. za poskytnutí všech potřebných materiálů a informací, které byly potřebné pro realizaci této práce a dále za odborné vedení.

V poslední řadě děkuji celé své rodině, za podporu při psaní této diplomové práce.

## Obsah

Seznam použitých zkratk

|   |    |
|---|----|
| Úvod.....   | 12 |
| 1 Současný stav výroby a energetického využití bioplynu v ČR..... | 13 |
| 1.1 Bioplyn.....  | 14 |
| 1.2 Vznik bioplynu.....   | 14 |
| 1.2.1 Anaerobní fermentace.....                                   | 14 |
| 1.2.2 Podmínky pro vznik bioplynu.....                            | 16 |
| 1.3 Charakteristika bioplynu.....                                 | 17 |
| 1.3.1 Složení bioplynu.....                                       | 17 |
| 1.3.2 Fyzikální a chemické vlastnosti bioplynu.....               | 18 |
| 1.4 Zdroje vsázkových materiálů pro výrobu bioplynu.....          | 19 |
| 1.4.1 Biomasa záměrně pěstovaná pro produkci bioplynu.....        | 19 |
| 1.4.2 Biomasa odpadní.....  | 20 |
| 1.5 Legislativní předpisy vztahující se pro BPS.....              | 21 |
| 1.6 Vliv BPS na životní prostředí.....                            | 23 |
| 2 Technologie bioplynové stanice.....                             | 24 |
| 2.1 Skladování substrátu.....                                     | 25 |
| 2.2 Vstupní dávkovací zařízení.....                               | 25 |
| 2.3 Fermentor.....  | 26 |
| 2.3.1 Vyhřívání reaktorů.....                                     | 28 |
| 2.3.2 Míchání substrátu.....                                      | 28 |
| 2.4 Úprava bioplynu.....  | 29 |
| 2.5 Plynojem.....   | 30 |
| 2.6 Bezpečnostní hořák.....                                       | 30 |
| 2.7 Kogenerační jednotka.....                                     | 31 |
| 2.8 Koncový sklad.....  | 32 |
| 2.9 Uvedení BPS do provozu.....                                   | 33 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3     | BPS Vintířov .....                                | 33 |
| 3.1   | Umístění a stavba BPS .....                       | 34 |
| 3.2   | Technologie BPS Vintířov .....                    | 35 |
| 4     | Látková a energetická bilance BPS .....           | 37 |
| 4.1   | Návrh BPS z pohledu látkové bilance .....         | 37 |
| 4.2   | Reálný provoz BPS z pohledu látkové bilance ..... | 40 |
| 4.3   | Energetická bilance provozu .....                 | 42 |
| 4.3.1 | Vlastní elektrická spotřeba .....                 | 42 |
| 4.3.2 | Vlastní tepelná spotřeba .....                    | 43 |
| 4.3.3 | Shrnutí bilance energií BPS .....                 | 44 |
| 5     | Ekonomické hodnocení BPS Vintířov .....           | 45 |
| 5.1   | Investiční náklady .....                          | 46 |
| 5.2   | Provozní náklady .....                            | 47 |
| 5.3   | Tržby za prodej elektřiny a tepla .....           | 49 |
| 5.4   | Vlastní ekonomické hodnocení BPS .....            | 49 |
| 6     | Úpravy a rozšíření technologie BPS .....          | 50 |
| 6.1   | Reklamace míchadel substrátu .....                | 50 |
| 6.2   | ORC .....   | 51 |
| 6.3   | Odvodnění digestátu .....                         | 52 |
| 7     | Závěr .....                                       | 55 |

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam grafů

**Seznam použitých zkratk**

|                              |   |
|------------------------------|---|
| BPS                          | Bioplynová stanice  |
| CO                           | Oxid uhelnatý   |
| CO <sub>2</sub>              | Oxid uhličitý   |
| Cu                           | Měď   |
| DMV <sub>A</sub>             | Dolní mez výbušnosti plynné látky ve vzduchu                            |
| DMV <sub>O<sub>2</sub></sub> | Dolní mez výbušnosti plynné látky v kyslíku                             |
| EAU                          | Emisní povolenky  |
| EIA                          | Posuzování vlivů na životní prostředí (Environmental Impact Assessment) |
| ERÚ                          | Energetický regulační úřad  |
| H <sub>2</sub>               | Vodík   |
| H <sub>2</sub> O             | Voda  |
| H <sub>2</sub> S             | Sulfan  |
| CH <sub>3</sub> COOH         | Kyselina octová   |
| CH <sub>4</sub>              | Metan   |
| KGJ                          | Kogenerační jednotka  |
| LDS                          | Lokální distribuční síť   |
| N <sub>2</sub>               | Dusík   |
| NO <sub>2</sub>              | Oxid dusitý   |
| ORC                          | Organický Rankinův cyklus   |
| OZE                          | Obnovitelný zdroj energie   |
| RZZO                         | Registru emisí a zdrojů znečištění ovzduší                              |
| SUAS                         | Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s.                                |
| TOC                          | Uhlovodíky  |
| TS                           | Obsah sušiny  |
| TZL                          | Tuhé znečišťující látky   |
| Zn                           | Zinek   |

## **Úvod**

Systémy, využívající bioplyn jako zdroj energie, lze považovat za velice perspektivní, s neomezenými možnostmi do budoucna a přínosem pro životní prostředí. Můžeme jej však zatím brát jen jako dodatkový zdroj energie, jelikož není v současné době možné ve větším měřítku nahradit fosilní paliva. Navzdory tomuto faktu, se jedná o významnou část náhrady spalování fosilních paliv environmentálně vhodnějším materiálem. Bioplyn se v České republice řadí mezi obnovitelné palivo tvořící se z biomasy a je především využíván v kombinaci s kogenerační jednotkou k výrobě elektrické a tepelné energie. Výhodou je možnost spolehlivé regulace této technologie a to s vysokou účinností ve srovnání s jinými obnovitelnými zdroji.

Úvodní část diplomové práce je teoretickým základem, který je věnován problematice týkající se využití bioplynových stanic na našem území k výrobě elektrické energie. V této části je vysvětlen proces výroby, jsou uvedeny podmínky, které je nutné splnit a jsou nastíněny fyzikální a chemické vlastnosti společně s látkovým složením tohoto plynu. Dále jsou předložena platná legislativní opatření týkající se této problematiky.

Druhá kapitola popisuje používanou technologii v bioplynových stanicích. Je zde popsán celý technologický proces výroby bioplynu společně s popisem hlavních prvků stanice a jsou vysvětleny nutné úpravy plynu před jeho následným využitím.

Další část je zaměřena na výstavbu a provoz konkrétní stanice Vintířov ve vlastnictví Sokolovské uhelné, právní nástupce, a.s. V této kapitole byl proveden návrh stanice s následnou analýzou látkové a energetické bilance na základě reálných dat z provozu. Na základě tohoto propočtu společně s investičními a provozními náklady bylo vytvořeno vlastní ekonomické zhodnocení investice. V návaznosti byly uvedeny vlivy ovlivňující výsledek hodnocení a byla navržena doporučení pro zlepšení situace do budoucího provozu.

V závěru práce jsou uvedeny vhodné úpravy technologie BPS a návrhy na rozšíření o moderní zařízení pro navýšení celkového výkonu nebo snížení provozních nákladů.

Naše území díky své poloze a geografické struktuře není příliš vhodné pro výrobu energie ze solárních, větrných či vodních obnovitelných zdrojů, a proto je potřeba stále zdokonalovat technologii bioplynových stanic a využít jejich možností v co největším měřítku.

## 1 Současný stav výroby a energetického využití bioplynu v ČR

Hlavním důvodem výroby elektrické energie z biomasy v České republice je veřejná podpora těchto zařízení, a to finanční formou garantovaných výkupních cen za energii „Zelených bonusů“. Příznivý je také fakt konstantního a stabilního elektrického výstupu ve srovnání s jinými obnovitelnými zdroji, což ulehčuje napojení na elektrickou soustavu a zaručuje rezervní elektrický zdroj v krizových situacích. Z dalších důvodů lze vyzdvihnout rapidní pokles živočišné výroby v zemědělské oblasti, nízkou cenu rostlinných komodit, cenu hnojiv a stabilizování zemědělské výroby.

V roce 2010 byl celkový instalovaný výkon připojených BPS 84 MW, v roce 2011 se výkon vyšplhal na 128 MW. Aktuální hodnoty k datu 31. 7. 2013 ukazují masivní nárůst počtu stanic v České republice. Nyní je v provozu 487 BPS, z čehož je 317 zemědělských, 7 komunálních, 55 skládkových a 97 stanic využívající se u čističek odpadních vod. Celkový instalovaný výkon je 363,24 MW a výroba elektřiny je 1 406 GWh. Hodnota odpovídá přibližně 16% podílů výroby energie z obnovitelných zdrojů. Jak bylo zmíněno, v rámci ČR jsou nejrozšířenějším typem BPS zemědělské, a to s výkonem nad 550 kW. Následující obrázek č. 1 znázorňuje rozmístění všech typů BPS na našem území. [1]



Obrázek č. 1 Rozmístění BPS na území ČR [1]



## **1.1 Bioplyn**

Termínem *bioplyn* se rozumí všechny plynné směsi, které vznikly činností mikroorganismů. Přesněji definováno jako vzniklý produkt anaerobní metanovou fermentací organických látek. Tento proces vzniku probíhá v zaživacím traktu přežvýkavců, v lagunách, na skládkách komunálních odpadů, ale pro využití v energetice se převážně používá plyn tvořený v umělých technických zařízeních, tzv. anaerobních řízených reaktorech. Ideální bioplyn je tvořen převážnou částí metanu ( $\text{CH}_4$ ) a oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ). V technické praxi se však s ideálním plynem nesetkáme a proto jsou tyto složky pouze majoritní a doplněné o velké množství minoritních plynů a chemických látek.

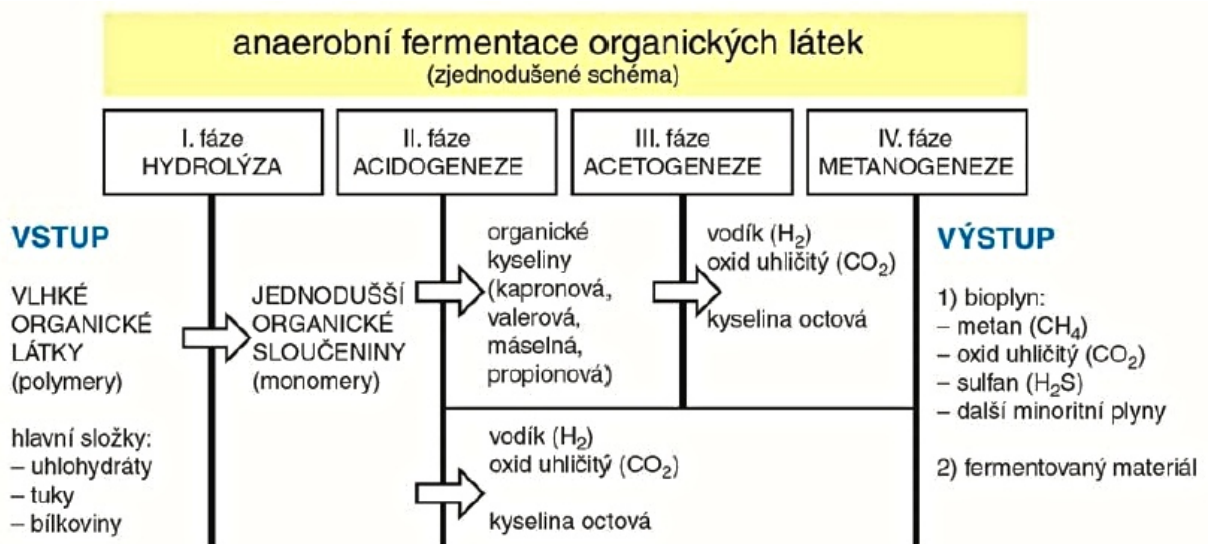
## **1.2 Vznik bioplynu**

Bioplyn vzniká během procesu, který se nazývá řízená anaerobní fermentace, anaerobní digestace, biogasifikace, vyhnívání nebo metanizace. Tento proces je ovlivněn řadou procesních a materiálových parametrů jako například vlhkost, teplota, pH, složení rozkládaného materiálu a mnoho dalších. Fermentace je procesem, probíhajícím bez přístupu vzduchu, při níž kultura mikroorganismů rozkládá biologicky rozložitelnou hmotu a to v několika částech.

Výstupním produktem tohoto procesu je bioplyn a digestát, což je stabilizovaná organická hmota neboli zbytková biomasa, která je většinou v tekutém stavu s nízkým podílem sušiny, tedy fugátem. Hmota obsahuje minerální živiny a hodnotné organické látky, pro své velmi dobré vlastnosti ji lze použít jako hnojivo.

### **1.2.1 Anaerobní fermentace**

Vznik bioplynu anaerobní fermentací je velmi složitý biochemický postup, skládající se ze souboru na sebe navazujících fyzikálních, fyzikálně-chemických a biologických procesů. V tomto postupu figuruje několik základních skupin anaerobních mikroorganismů, přičemž produkt jedné skupiny mikroorganismů v procesu se stává substrátem druhého. Proto porucha v řetězci může být kritická a může způsobit poruchy v celém systému.



Obrázek č. 2 Fáze anaerobní fermentace [2]

Jak je patrné z obrázku č. 2, který znázorňuje zjednodušené schéma anaerobní fermentace vlhkých organických materiálů, celý rozkladový proces lze rozdělit do čtyř základních fází.

- ❖ *I. fáze – Hydrolýza* – ve fázi jsou rozkládány makromolekulární rozpuštěné i nerozpuštěné organické látky (polysacharidy, proteiny, lipidy a další) na jednodušší organické sloučeniny neboli monomery pomocí mimobuněčně působících hydrolytických enzymů. Enzymy jsou tvořeny fermentačními bakteriemi. Předpokladem pro tento proces je dostatečný obsah vlhkosti nad 50% hmotnostního podílu, avšak není nutné striktně bezkyslíkaté prostředí. Společně s hydrolýzou probíhá většinou i acidogeneze. [2]
- ❖ *II. fáze – Acidogeneze* – zpracovávaný materiál z předchozí fáze obsahuje ještě zbytky vzdušného prostředí, avšak v této fázi dojde k naprosté přeměně prostředí na anaerobní tedy bezkyslíkaté. Další fermentací produktu hydrolýzy dochází k rozkladu na jednodušší organické látky (vyšší organické kyseliny, alkoholy a další) a zároveň dochází ke vzniku oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), vodíku (H<sub>2</sub>) a kyseliny octové (CH<sub>3</sub>COOH) jako konečného redukováného produktu. Procentuální podíl těchto látek závidí na složení substrátu a podmínkách procesu fermentace. [2]
- ❖ *III. fáze – Acetogeneze* – tato fáze je zvláštním případem acidogeneze, nazývaná také jako *syntrofní acidogeneze*. Je to mezifáze, při které dochází díky acidogením specializovaným kmenům bakterií k dalšímu štěpení substrátu na vodík, oxid uhličitý a kyselinu octovou. V tomto procesu dochází také ke štěpení vyšších organických kyselin, než je kyselina octová. Dále dochází ke štěpení alkoholů a aromatických látek. Vodík zde působí jako inhibitor celého procesu a jako součást zde potřebuje zastoupení metanogenu či sulfátu. [2]

- ❖ *IV. fáze – Metanogeneze* – finální proces při kterém dochází k vlastní tvorbě bioplynu. Tato fáze probíhá přibližně 5x pomaleji než tři předchozí, tomu je třeba přizpůsobit konstrukci bioplynových technologických zařízení a dávkování materiálu, jinak může dojít k přetížení fermentoru.

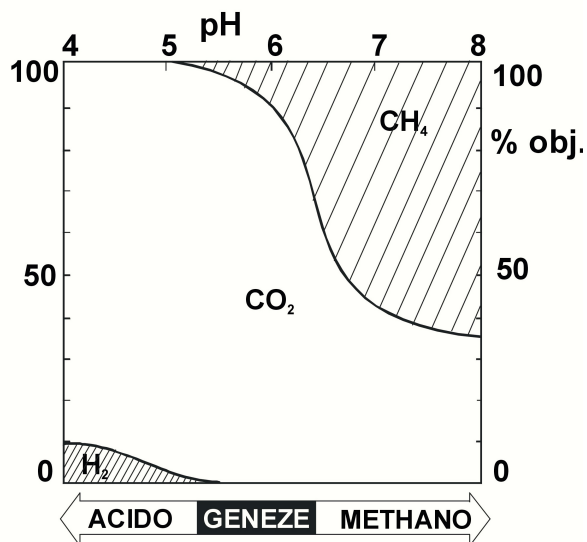
Dochází zde za pomoci *metanogenních acetotrofních bakterií* k rozkladu kyseliny octové ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) na metan ( $\text{CH}_4$ ) a oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) a následně *hydrogenotrofní metanogenní bakterie* produkují metan ( $\text{CH}_4$ ) z vodíku ( $\text{H}_2$ ) a oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ). Metanogenní organismy jsou důležitou skupinou a mají vysoce specifické požadavky na substrát a životní prostředí. Také odstraňují ze systému všechny vodík, působí jako samoregulátor a jsou schopny udržovat pH fermentačního média. Jejich generační doba je kolem šesti hodin. [2]

### 1.2.2 Podmínky pro vznik bioplynu

Jak je patrné z předchozí kapitoly, výroba bioplynu je velice složitý proces, který postupuje přes několik stádií, vznikajících ve většině technických zařízení simultánně. Proto musí probíhat za dodržování určitých podmínek, jakožto dlouhodobé udržování rovnováhy navazujících procesů. Udržení správného prostředí ovlivňují tyto faktory.

- ❖ *Vliv teploty a tlaku* – pro každý zasahující mikroorganismus do výroby bioplynu existují jiné požadavky na teplotu a tlak. *Psychrofilní* neboli chladnomilné mikroorganismy jsou málo významné a to kvůli pomalé produkční rychlosti. *Mezofilní* mikroorganismy v pásmu středních teplot se v reaktorových procesech využívají ve většině případů. Tyto teploty se pohybují v rozmezí 25 – 39 °C. Bakterie jsou náchylné na teplotní výkyvy, v podstatě by se denní teplota neměla měnit o více jak 2 – 3 °C. Dalšími výkonnými organismy jsou *termofilní* množící se v 40 – 55 °C. Pro horní mez teplotní adaptace existují případy bakterií žijící v horkých termálních pramenech o teplotách 80 – 100 °C, ještě extrémnější případy jsou bakterie žijící v okolí hlubokomořských vývěrů horkých vod o teplotách 300 °C a tlaku 30 MPa. Tyto případy jsou však pro technickou praxi bezvýznamné. Četné druhy bakterií se dokážou adaptovat na nové podmínky, ovšem většinou se jedná o adaptaci na vyšší teplotu, což nemá význam z hlediska větších nákladů na oteplení rektoru. Vliv tlaku zatím nebyl předmětem rozsáhlých zkoumání, avšak byla ověřena velká tolerance. [3]
- ❖ *Vliv vlhkosti prostředí* – vlhké prostředí je nezbytné pro existenci a růst bakterií, protože nejsou schopny žít v pevném substrátu. Proto je nutné zajistit dostatečnou vlhkost. [3]

❖ *Vliv hodnoty pH* – hodnota pH se mění v závislosti na aktuálním stádiu fermentace. Při aktivitě acidogenů může být pH relativně nízké o hodnotě kolem 4,0 – 5,8. Charakteristickým rysem probíhající metanogeneze je naopak nárůst hodnoty do rozmezí 6,0 – 7,0. Obrázek č. 3 znázorňuje změnu pH a procentní objem zastoupených složek při rozvoji metanogeneze. [3]



Obrázek č. 3 Závislost pH [3]

- ❖ *Přístup vzduchu a světla* – metanové bakterie nejsou schopné pracovat za přítomnosti vzduchu. Kyslík musí být zpracován v první fázi metanové fermentace. Také přítomnost světla razantně zpomaluje průběh procesu. [3]
- ❖ *Vliv těžkých kovů* – koncentrace kovů v substrátu je velice důležitá a pro technologii potřebná jako stopově důležité nutrienty. Pokud však nárůst jejich koncentrací překročí určitou mez, působí inhibičně až toxicky. Nejčastěji se vyskytujícími kovy jsou měď (Cu) a zinek (Zn). Tyto kovy se do substrátu dostávají společně s exkrementy zemědělského dobytku, protože se přidávají jako krmný doplněk nebo k veterinárním lizům. [3]

### 1.3 Charakteristika bioplynu

Bioplyn a jeho chemické a fyzikální vlastnosti závisí na použitých materiálech rozkládaného substrátu a procesních parametrech při výrobě.

#### 1.3.1 Složení bioplynu

Složení bioplynu je možné popsat z pohledu majoritních a minoritních složek. V ideálním případě se bioplyn skládá pouze z dvou majoritních složek, které představují metan (CH<sub>4</sub>) a oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>). Procentní zastoupení metanu se pohybuje v rozmezí 50 až 85 % a tedy v ideálním případě je objem doplněn oxidem uhličitým. V technické praxi je však bioplyn doplněn řadou minoritních látek, jako například vodík (H<sub>2</sub>), síra v podobě sulfanu (H<sub>2</sub>S), dusík (N<sub>2</sub>), stopové množství amoniaku, mastných kyselin a mnoho dalších. Při výstupu z metanizačního reaktoru obsahuje také vodu (H<sub>2</sub>O), jejíž objem záleží na teplotě procesu a musí být pro další technické využití odstraněna. Procentní zastoupení metanu v reálném bioplynu se pohybuje v menším rozmezí 60 – 65 %. [3]

Tabulka č. 1 Průměrné hodnoty složení bioplynu [4]

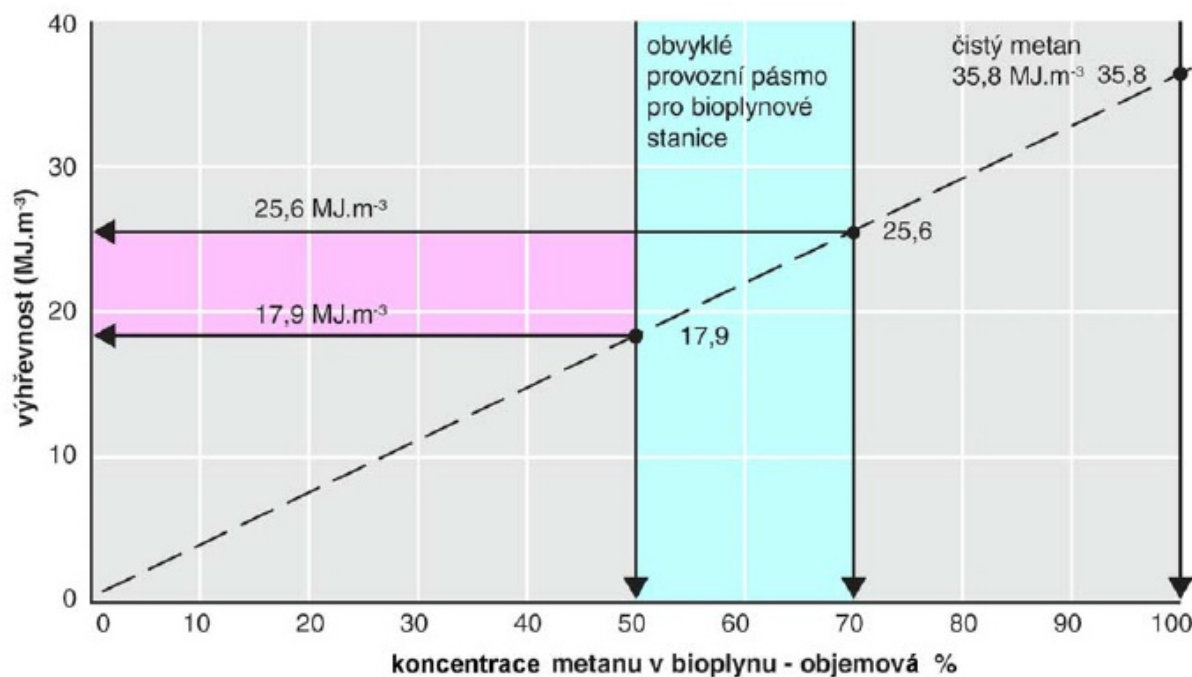
| Látka                            | Koncentrace v objemu |
|----------------------------------|----------------------|
| Metan (CH <sub>4</sub> )         | 50 – 75 %            |
| Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> ) | 25 – 45 %            |
| Voda (H <sub>2</sub> O)          | 2-7 % (20 – 40 °C)   |
| Sirovodík (H <sub>2</sub> S)     | 20 – 20 000 ppm      |
| Dusík (N <sub>2</sub> )          | < 2 %                |
| Kyslík (O <sub>2</sub> )         | < 2 %                |
| Vodík (H <sub>2</sub> )          | 2 %                  |

Objemové množství některých chemických prvků může signalizovat určitou poruchu procesu. Přítomnost kyslíku (O<sub>2</sub>) je možná jen v první počáteční fázi procesu, v dalších fázích může být příčinou zavzdušnění, tento stav je nežádoucí díky výbušnosti ve směsi s metanem. Vysoký podíl oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) znamená nevytvoření optimálních podmínek pro anaerobní fermentaci. Vodíku (H<sub>2</sub>) není na závadu, ale svědčí o narušení rovnováhy mezi acidogenní a metanogenní fází způsobenou nadměrnou zátěží reaktoru. Přítomnost sulfanu (H<sub>2</sub>S) je proměnlivá, při zpracování exkrementů skotu je zanedbatelná avšak z exkrementů prasat a drůbeže velmi vysoká a musí být částečně odstraněna. [2]

### 1.3.2 Fyzikální a chemické vlastnosti bioplynu

Existuje soubor vlastností určených k ověření kvality bioplynu pro spalování. Jejich určení představují náročné výpočty z oboru termodynamiky a termochemie, v této kapitole budou nastíněny pouze základy určitých vlastností.

❖ *Spalné teplo a výhřevnost* – spalné teplo představuje energii, která je rovna spálením látkového množství dané látky. Odečteme-li od této hodnoty výparné teplo vody, získáme výhřevnost. Obsažené minoritní složky mají zanedbatelný energetický význam a proto hodnota výhřevnosti je dána obsahem metanu (CH<sub>4</sub>). Následující obrázek zobrazuje výhřevnost bioplynu v závislosti na objemovém procentním množství metanu. [3]



Obrázek č. 4 Výhřevnost bioplynu v závislosti na koncentraci metanu [2]

- ❖ *Hranice zápalnosti* – hranice je 5 – 15% metanu ve směsi se vzduchem, tato koncentrace již tvoří výbušnou směs. Zápalná hodnota bioplynu je stejná jako pro metan 650 - 750 °C. [2]
- ❖ *Mez výbušnosti* – *Dolní mez výbušnosti* plynné látky v kyslíku ( $DMV_{O_2}$ ) nebo vzduchu ( $DMV_A$ ) představuje nejnižší koncentraci, kdy po iniciaci této směsi impulsem dojde ještě ke vznícení v uzavřeném prostoru. Hodnota závisí na teplotě a tlaku. Dále rozlišujeme *Horní mez výbušnosti*, která představuje nejvyšší koncentraci pro stejné podmínky. [3]

Mezi další vlastnosti lze zařadit *teoretickou teplotu plamene*, *rychlost spalovacích reakcí*, *Methanové číslo*, vlhkost plynu a také transportní vlastnosti plynu.

## 1.4 Zdroje vsázkových materiálů pro výrobu bioplynu

Složení biomasy, jako vstupního materiálu pro proces anaerobní fermentace je velice důležité a hlavními složkami pro vznik metanu jsou polysacharidy, proteiny a lipidy. Biomasa se skládá z nejrůznějších druhů biologicky rozložitelných odpadních materiálů a cíleně pěstované energetické plodiny. Takto lze rozdělit zdroje biomasy z hlediska jejího získávání.

### 1.4.1 Biomasa záměrně pěstovaná pro produkci bioplynu

- ❖ energetické plodiny lignocelulózou
  - energetické dřeviny (topoly, olše, akáty, vrby a další)
  - travní porosty

- obiloviny
- ostatní rostliny (sléz topolová, šťovík krmný, čirok a další)
- ❖ energetické plodiny škrobno-cukernaté
- brambory, cukrová řepa, cukrová třtina, kukuřice a další
- ❖ energetické plodiny olejnaté
- slunečnice, řepka olejná, len, dýně na semeno

#### 1.4.2 Biomasa odpadní

- ❖ rostlinné zbytky zemědělské prvovýroby a údržby krajiny
- tento odpad je nutné před použitím rozdrtit
- sláma obilná, kukuřičná řepka, zbytky po likvidaci křovin a lesních náletů, odpady ze sadů a vinic a další
- ❖ odpady z živočišné výroby
- odpady jsou základní substrát pro zemědělskou BPS, hodí se veškeré druhy hnojů, zbytky krmiv a pevných exkrementů vzniklých na farmách
- ❖ biologicky rozložitelné komunální odpady
- tento druh odpadů je nutné upravit, protože obsahuje velké množství nežádoucích látek
- kaly z odpadních vod, organický podíl tuhých komunálních odpadů, a další
- ❖ organické odpady z průmyslových a potravinářských výrob
- odpady jsou málo zatížené škodlivinami, mají zpravidla homogenní strukturu a poskytují vysoký výnos bioplynu
- odpady z provozu rostlinné produkce, odpady z jatek, mlékáren, lihovarů, vinařských provozoven a další
- ❖ odpady z lesního hospodářství
- dřevní hmota z lesního výseku, kůra, větve, pařezy a další [5]

Proces výroby bioplynu probíhá převážně v mokřím prostředí, proto jsou vhodné kapalné nebo vlhké materiály, jako například kejda, hnůj, tuky, zbytky jídla a další. Optimální obsah sušiny je v rozmezí 5 – 15 %, vše s ohledem na efektivní zatížení BPS.

Zvířecí exkrementy, které se využívají v zemědělských BPS, mají 40 – 60 % rozložitelnosti organické sušiny za dobu 25 – 30 dnů. Tabulka č. 2 poskytuje údaje o produkci bioplynu ze zvířecích exkrementů. Je patrné, že prasečí kejda ve srovnání s hovězí produkuje více bioplynu s větším obsahem metanu. [6]

Tabulka č. 2 Produkce bioplynu ze substrátu na bázi zvířecích exkrementů [6]

| Substrát      | Produkce bioplynu<br>m <sup>3</sup> /t | Produkce bioplynu<br>m <sup>3</sup> /t sušiny | Obsah metanu<br>v bioplynu [%] |
|---------------|--|---|--------------------------------|
| 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                             |

Při použití energetických rostlin jako zdroje biomasy, je rozložitelnost rostlinného substrátu 60 – 80 %, tedy vyšší než u zvířecích fekálií. Doba fermentace je také vyšší a to kolem 50 – 80 dnů z důvodu obsažení významného podílu neodbouratelných složek v rostlinách [6]. Následující tabulka č. 3 poskytuje údaje o produkci bioplynu ze substrátu energetických plodin a procentní objemové množství.

Tabulka č. 3 Produkce bioplynu ze substrátu na bázi energetických rostlin [6]

| Substrát            | Produkce bioplynu<br>m <sup>3</sup> /t | Produkce bioplynu<br>m <sup>3</sup> /t sušiny | Obsah metanu<br>v bioplynu [%] |
|---------------------|--|---|--------------------------------|
| Kukuřičná siláž     | 170 – 200                              | 450 – 700                                     | 50 – 55                        |
| Žito GPS siláž      | 170 – 200                              | 550 – 680                                     | 55                             |
| Cukrovka            | 170 – 180                              | 800 – 860                                     | 53 – 54                        |
| Krmná řepa bulvy    | 75 – 100                               | 620 – 850                                     | 53 – 54                        |
| Řepný chrást        | 70 – 80                                | 550 – 600                                     | 54 – 55                        |
| Travní senáž        | 170 – 200                              | 550 – 620                                     | 54 – 55                        |
| Tritikale GPS siláž | 79 – 87                                | 520 – 600                                     | 70 – 71                        |

## 1.5 Legislativní předpisy vztahující se pro BPS

Legislativa pro výstavbu a provoz BPS je velice obsáhlá a dotýká se řady odvětví. Níže jsou uvedeny nejdůležitější zákony, vyhlášky a nařízení dotýkající se provozu BPS v platném znění.

- ❖ *Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech* – Zákonu podléhají veškeré provozy, ve kterých se využívají nebo odstraňují odpady. Stanovuje pravidlo materiálového a energetického využití odpadů před skladováním, povinnosti původců odpadů a základní pravidla pro nakládání s biologicky rozložitelnými odpady.



- ❖ *Zákon č. 458/2000 Sb., energetický zákon* – Udává podmínky a proces žádosti, získávání a udělení licence pro výrobu elektřiny, plynu a tepelné energie, práva a povinnosti výrobců elektřiny a plynu, náležitosti smluv o dodávce plynu konečnému zákazníkovi, právo pro připojení výrobců energie z OZE do distribuční sítě, podmínky autorizace výstavby zařízení atd.
- ❖ *Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší* – Udává povinnosti provozovatelů zdrojů znečištění ovzduší, vydávání povolení ke stavbě těchto zdrojů, stanovuje poplatky za znečištění ovzduší atd.
- ❖ *Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření s energií* - Udává pravidla uzemní a státní přípravy energetické koncepce, zavádí minimální účinnost pro zařízení na výrobu elektrické energie atd.
- ❖ *Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách* – Určuje postup vydání povolení k vypuštění odpadních vod do vod povrchových nebo podzemních a emisní limity. Dále stanovuje četnost, typ a místo odběrů vzorků a způsob provádění rozborů atd.
- ❖ *Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech* – Udává za jakých podmínek je možná produkce digestátu jako hnojiva při výrobě bioplynu atd.
- ❖ *Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na ŽP (EIA)*
- ❖ *Vyhláška č.383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady*
- ❖ *Směrnice EU č. 91/676/EEC nitrátová směrnice*
- ❖ *Nařízení vlády č.197/2003 Sb., - nařízení omezuje skladování biologicky rozložitelných odpadů do roku 2020 na 35 % úrovně roku 1995.*
- ❖ *Zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře využívání obnovitelných zdrojů* - obsahující cenová rozhodnutí ERÚ (Energetický regulační úřad), který každý rok udává minimální výkupní ceny elektrické energie z OZE tzv. „Zelené bonusy“. Při stanovení bonusů pro BPS je nutné zařadit stanici do kategorie.
- *Kategorie AF1* obsahuje BPS zpracovávající pouze cíleně pěstované energetické plodiny.

- *Kategorie AF2* obsahuje BPS zpracovávající biologicky rozložitelné odpady, které nemohou zpracovávat BPS z *kategorie AF1*.

## **1.6 Vliv BPS na životní prostředí**

Je-li BPS dobře navržena a provozována, převažují u ní velmi pozitivní vlivy na životní prostředí. Mezi tyto vlivy lze zmínit částečné zabránění samovolnému vzniku metanu v přírodě rozkladem jinak nevyužité biomasy. Protože tento plyn je velmi významným skleníkovým plynem. Dalším pozitivním jevem je vznik odpadu s velkou nutriční a výživnou hodnotou, využívaný v zemědělství. I přes tyto příznivé aspekty je BPS kategorizována jako zdroj znečištění ovzduší dle *Registrů emisí a zdrojů znečištění ovzduší (RZZO)* v souladu se zákonem č. 86/2002 *Sb.1, o ochraně ovzduší ve znění pozdějších předpisů*. Proto je zapotřebí vypracování procesu *Vyhodnocení vlivů na životní prostředí (EIA)*.

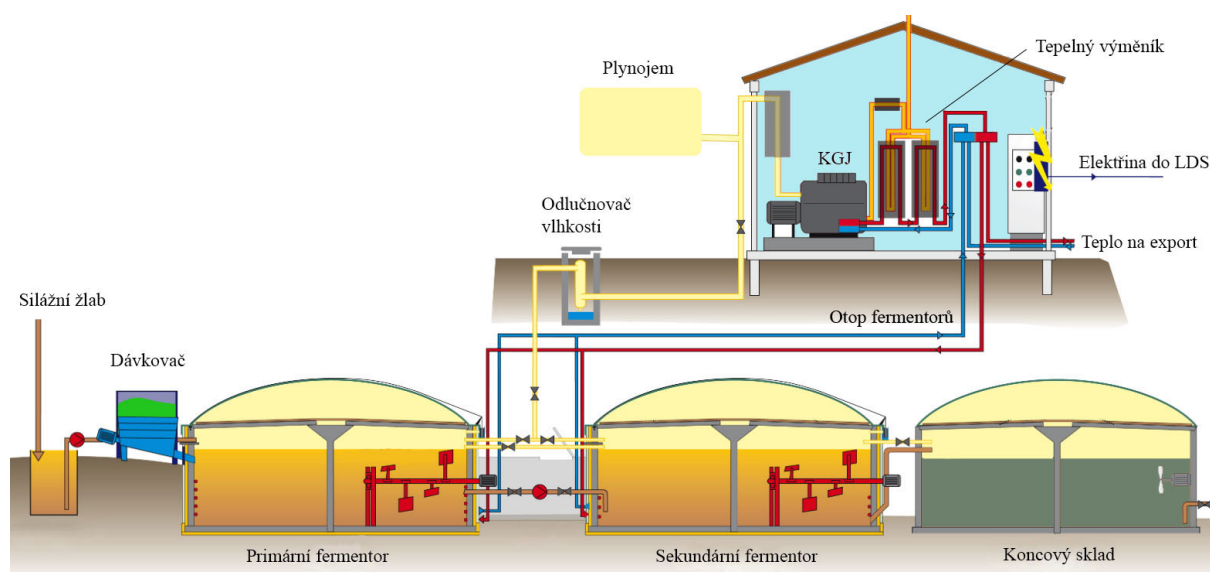
Na druhou stranu, je zapotřebí si uvědomit, že BPS může mít vliv na bezprostřední okolí. Stanice by neměla být zdrojem zápachu. Objevila se řada z nich, které tímto zdrojem jsou. To vytváří u značné části veřejnosti negativní postoj pro výstavbu. Zdroj může být vzniklý zápachem vstupních surovin či zápach ze zpracovaných substrátů. Tyto problémy jsou ale způsobeny špatným provozem stanice, jako jsou například rozlité substráty nebo neuklizené zbytky, v horším případě také nedokončený rozklad v procesu fermentace.

Dalším vlivem na okolí je zdroj emisí ze spalin KGJ. Na stanici je prováděno jedenkrát za pět let měření emisí autorizovanou osobou dle vyhlášky č. 205/2009, *o zjišťování emisí ze stacionárních zdrojů*. Mezi sledované znečišťující látky patří oxid uhelnatý (CO), oxid dusitý (NO<sub>2</sub>), tuhé znečišťující látky (TZL) a uhlovodíky (TOC). Na základě měření je provozovatel povinen zaplatit poplatek za znečišťování ovzduší.

Jako poslední vliv je možné zmínit nárůst četnosti pojezdů dopravní, manipulační a aplikační techniky, které se může projevit zvýšenou zátěží místních komunikací, zvýšenou hlučností a prašností. Tento problém je třeba řešit již v projektové dokumentaci stanice a včas se tak vyvarovat budoucím nepříjemnostem ze strany stížností veřejnosti.

## 2 Technologie bioplynové stanice

Bioplynová stanice je zařízení, které přeměňuje biomasu neboli substrát na bioplyn, digestát a pevnou složku fugát. Součástí stanice je kogenerační jednotka (KGJ), která spotřebovává bioplyn jako palivo a transformuje ho na teplo a pomocí generátoru na elektrickou energii sloužící pro pokrytí vlastní spotřeby a dodávku do distribuční sítě. V závislosti na používaném substrátu se BPS dělí na zemědělské, odpadové a využívající čistírenských odpadních vod. Výroba bioplynu probíhá kontinuálně a KGJ je schopna vyrábět energii přibližně 8300 h/rok, přičemž zbytek času je využit pro údržbu a případnou odstávku. Digestát obsahuje pouze humus a živiny, které se dále nerozkládají a výrazněji nezapáchají, proto je vhodný jako hnojivo. Následující obrázek č. 5 znázorňuje schéma výroby bioplynu.



Obrázek č. 5 Schéma výroby bioplynu

Vstupní surovina je zvážena na automatické váze a skladována v zásobnících. Následně je pomocí manipulační techniky přepravena do dávkovacího zařízení, které zajišťuje nadrcení substrátu a jeho diskontinuální, semikontinuální nebo kontinuální dopravu do fermentoru. V prostorách fermentačního reaktoru dochází k procesu anaerobní fermentace a tvoření bioplynu a digestátu. Digestát je po dané době přečerpán do koncového skladu, odkud je manipulační technikou dopraven na pole a využit jako hnojivo. Odčerpávaný bioplyn z reaktoru je vysušen, odsířen a dopraven do plynojem, který zaručuje skladování plynu a jeho konstantní tlak. Bioplyn je následně spalován v KGJ pro výrobu energie a tepla. Následující kapitoly popisují jednotlivé technické zařízení BPS.

## 2.1 Skladování substrátu

Skladování substrátu umožňuje kontrolu nad proměnlivou dodávkou biomasy. Existuje několik možností skladování substrátu jako například věžová sila, stabilní silážní stavby, silážní žlaby nebo vaky. Avšak nejčastěji používaným způsobem u BPS je skladování právě v silážním žlabu. Tyto žlaby jsou stavěné na volném prostranství a jsou ohraničené ze dvou nebo tří stran. Stěny žlabů jsou tvořeny z betonových panelů o výšce 4 – 6 m, šířka se pohybuje okolo 18 - 60 m a délka 60 - 100 m. Prostor těchto rozměrů je schopen pojmout kapacitu 2000 – 5000 tun.

V případě, že je do žlabu ukládán materiál, který má nižší podíl sušiny než 30 %, je nutné vybudovat odtokový kanál. Při skladovacím procesu dochází k udusávání materiálu, aby se zabránilo přístupu vody a vzduchu. Vhodné je také použití krycí plachty přes materiál, což je ekonomicky výhodnější řešení než žlab zastřešit. Porušení řádného skladování může způsobit degradaci materiálů a následné znehodnocení [7].



Obrázek č. 6 Silážní žlab BPS Vintířov [Foto Pavel Partyngl]

## 2.2 Vstupní dávkovací zařízení

Vstupní surovina se dodává do fermentačního reaktoru v podobě tuhé a tekuté složky. Pomocí manipulační techniky je substrát přemístěn ze silážního žlabu do dávkovače, který se skládá ze zásobníku, čehracích šnekových podavačů, šnekového dopravníku a vážicího zařízení.



Obrázek č. 7 Trioliet dávkovače pevného substrátu BPS Vintířov [Foto Pavel Partyngl]

Šnekové podavače mají po obvodu řezací nože, které slouží k nařezání materiálu při dávkování, například travní směsi. Následuje doprava materiálů pomocí šnekového dopravníku do krájecího zařízení zvaného macerátor. Zařízení se postará o rozmělnění substrátu, aby došlo k optimalizaci procesu fermentace a nejvyšší výtěžnosti plynu. Poté je substrát dávkován do fermentoru podle určeného časového plánu pro zajištění konstantní produkce plynu.

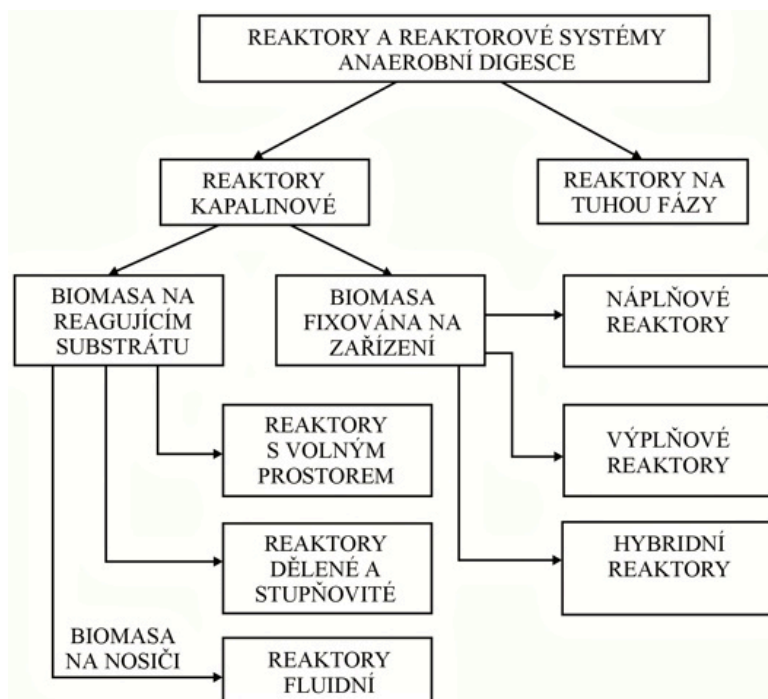


Obrázek č. 8 Macerátor BPS Vintířov [Foto Pavel Partyngl]

### 2.3 Fermentor

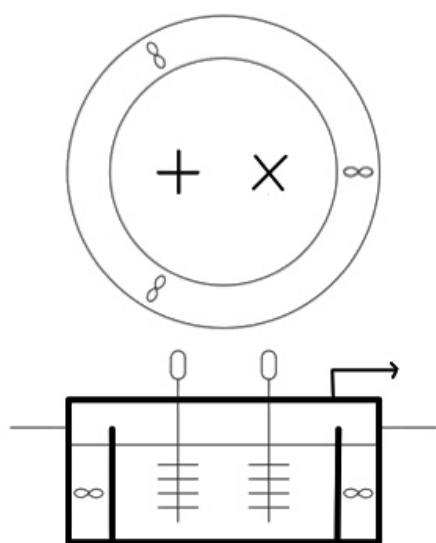
Řešení fermentovaného reaktoru závisí na vlastnostech dodávaného substrátu, velikosti tuhých částic a obsahu sušiny. Následující obrázek zobrazuje typy a rozdělení základních reaktorů používaných pro anaerobní fermentaci.



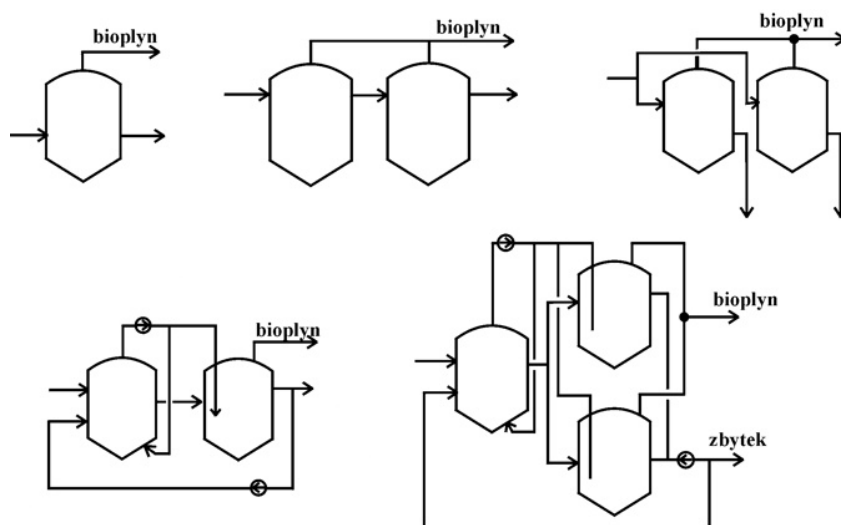


Obrázek č. 9 Rozdělení reaktorů [3]

Mezi reaktory na základě tuhé báze lze zařadit zvonové a nebo komorové reaktory. Tyto typy byly vyvinuty pro fermentaci slamnatých hnojů. Častěji používané typy jsou pro tekutý materiál, kde je rozhodující procentní zastoupení sušiny. Jsou konstruovány jako polozapuštěné či plně zapuštěné z železobetonového materiálu ve tvaru kruhu. Schéma takového reaktoru je zobrazeno na obrázku č. 10, tento typ se nazývá „kruh v kruhu“ a jedná se o nejrozšířenější fermentor. Reaktory se konstruují v jednoduchých nebo kombinovaných systémech, které řeší jejich sériové či paralelní řazení. Základní řešení systémů je vyobrazeno na obrázku č. 11. [3]



Obrázek č. 10 „Kruh v kruhu“ [3]

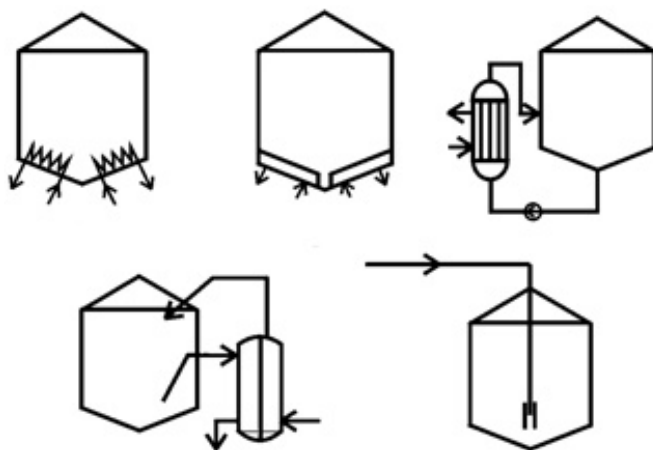


Obrázek č. 11 Řazení reaktorů [3]

Kombinované systémy, zvané také jako biometanizace dvoufázové digestace, se skládají z nejméně dvou reaktorů, přičemž každý má odlišné prostředí. První reaktor, do kterého vstupuje substrát z dávkovače, se nazývá *hlavní fermentor*. Tvoří se zde největší množství bioplynu. Reaktor obsahuje sedimentační sběrný kanál, kde se zachycují pevné usazeniny, a proto je nutné jej periodicky čistit. V pořadí druhý a většinou i poslední reaktor se nazývá *koncový fermentor* nebo *dofermentor*. Je buď tvořen vnitřním prstencem fermentační nádrže typu „kruh v kruhu“, a nebo stojí jako samostatný reaktor. Je to druhý stupeň ve kterém vzniká pouze 10 – 15 % bioplynu. Potrubí pro sběr bioplynu jsou propojena mezi oběma fermentory a svedena do plynojemu. Vzniklý digestát je odváděn čerpadly nebo přepadovým potrubím do koncového skladu.

### 2.3.1 Vyhřívání reaktorů

Podmínkou pro správný průběh anaerobní fermentace je optimální teplota, a proto je potřeba vyhřívát reaktory. Tepelná energie pro vyhřívání je brána z tepelného výměníku kogenerační jednotky. Teplo je přiváděné k reaktoru a systémy pro předání tepla vyhřívá substrát. Mezi nejpoužívanější systémy patří vnitřní výměník, duplikátorový plášť, externí výměník, rekuperační výměník nebo přímotopná pára, které jsou znázorněny na obrázku č. 12. Reaktor je izolován, protože vyhřívání zejména v zimních měsících je velice náročné. [3]

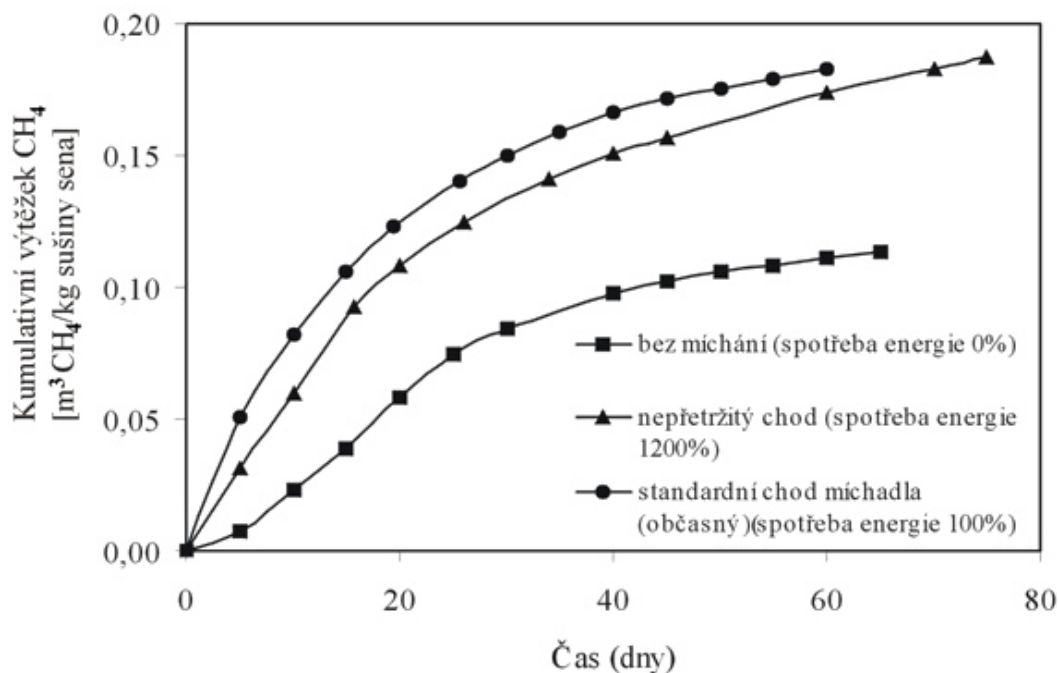


Obrázek č. 12 Způsoby otopu reaktorů [3]

### 2.3.2 Míchání substrátu

Další důležitou součástí reaktoru jsou míchadla. Jejich účel je homogenizovat a rozložit teplotu po celém obsahu fermentoru. Výkon, velikost a počet míchadel jsou závislé na typu substrátu, podílu sušiny v biomase a velikosti reaktoru. Také spotřeba energie na míchání je důležitým faktorem rozhodujícím při volbě zařízení. Intenzita míchání je různá s ohledem na dávkování čerstvého materiálu. Jen zřídka jsou míchací systémy v provozu nepřetržitě, dokonce je dokázáno, že nepřetržitý provoz nenavýšuje výtěžek plynu z důvodu porušení vrstevnatých struktur skladby spolupracujících vrstev mikroorganismů. Běžné jsou krátké

periody a delší klidový stav. Následující graf zobrazuje výtěžek metanu v závislosti na volbě míchacího režimu. [3]



Obrázek č. 13 Porovnání výtěžků metanu za různých režimech míchání [3]

## 2.4 Úprava bioplynu

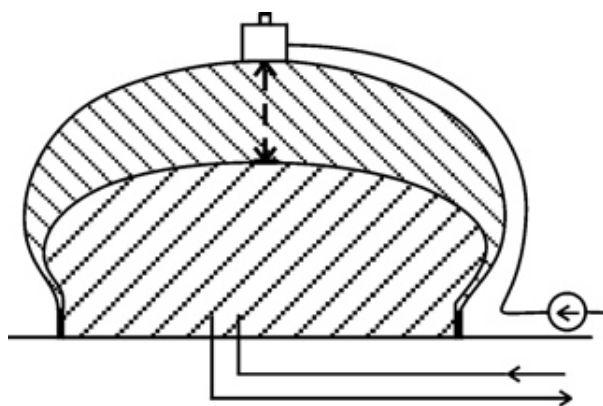
Úprava bioplynu není vždy vyžadována, ale lze jejím aplikováním předejít mnohým provozním problémům při využití tohoto plynu. Mezi hlavní úpravy lze zařadit odstranění nadměrné vlhkosti vysoušením a snížení obsahu síry v podobě sulfanu ( $H_2S$ ).

- ❖ *snížení obsahu vody* – sušení bioplynu lze provádět několika způsoby a to hlavně pro využití v KGJ. Nejpoužívanější způsob je snížení teploty plynu pod rosný bod vodní páry a následný ohřev. Mechanické nečistoty jsou odplaveny a následné zahřátí sníží relativní vlhkost. Tento proces je prováděn ve výměníku. Další způsob je aplikace odlučovačů vodní páry v nejnižším bodě plynového potrubí, kam vodní kondenzát spádem stéká. Kondenzát je většinou čerpán zpět do fermentoru. [8]
- ❖ *snížení obsahu sulfanu* – existuje mnoho způsobů prověřených za dlouhá léta, jak odstranit síru z plynu a to zejména v oblasti tlakových plynáren a provozoven na zpracování uhlí a ropy. Aplikace těchto postupů je možná ale ekonomicky velice nevýhodná a proto bylo nutné se uchýlit k méně nákladnému, účinností dostačujícímu způsobu využití pevného sorbentu jako například aktivní uhlí. Výrobci KGJ požadují maximální obsah sulfanu v bioplynu do  $500\text{mg/m}^3$ , protože při spalování většího množství dochází ke korozi zařízení díky tvoření kyseliny sírové. Aktivní uhlí je schopno zajistit oxidaci sulfanu a síry bez přítomnosti kyslíku s vysokou absorpční kapacitou až 25 % hmotnosti. [9]



## 2.5 Plynojem

Vytvořený bioplyn je vháněn do plynojemu pro jeho akumulaci, stabilizaci přetlaku plynu ve výrobním systému a také pro vyrovnání rozdílů mezi spotřebou a výrobou. Výroba bioplynu je nepřetržitá (avšak s malými výkyvy), také spotřeba je nerovnoměrná a to díky energetickým špičkám v elektrizační soustavě. Plynojemy lze rozdělit na nízkotlaké (< 50 kPa), středotlaké (1 až 2 MPa) a vysokotlaké (15 až 35 MPa). Také konstrukce je velice rozmanitá od mokrých plynojemů, válcových plynojemů po nejmodernější tlakové nádrže z kompozitních materiálů. V současné době jsou velmi rozšířené dvoumembránové plynojemy s pružným vnitřním i vnějším obalem, schéma tohoto systému je znázorněno na obrázku č. 14 a vyobrazení skutečného plynojemu na obrázku č. 15. [10]



Obrázek č. 14 Dvoumembránový plynojem [3]

Obrázek č. 15 Plynojem BPS Vintřův [Foto Pavel Partyngl]

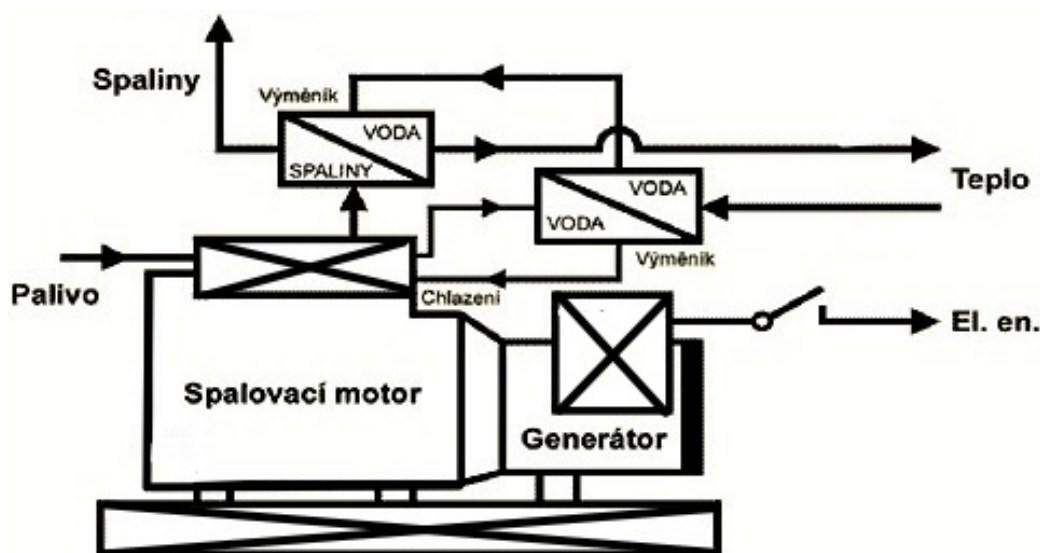
Plynojem se řadí mezi nízkotlaké, přičemž tlak udržuje tvar kulové membrány. Nízkotlaké dmyhadlo vhání vzduch do meziprostoru, čímž udržuje stálý přetlak plynu pod vnitřní membránou. Obě membrány jsou uchyceny na kovový rám přidělaný k betonové armatuře. Objem lze měřit akustickým zjišťováním vzdálenosti obou membrán. Každý plynojem musí být opatřen bezpečnostním zařízením, které samovolně uvolní přetlak do bezpečnostního hořáku.

## 2.6 Bezpečnostní hořák

Bezpečnostní hořák slouží k zabránění úniku bioplynu do atmosféry. Jedná se o zařízení, pracující s otevřeným ohněm a vysokonapěťovým zapalováním, proto musí být situováno v bezpečné vzdálenosti od budov a jiných zařízení. Bezpečnostní hořák je v provozu při odstávce BPS, KGJ a nebo při nadměrné produkci bioplynu. Chlazení hořáku je zajištěno vzduchem vháněným ventilátorem. [11]

## 2.7 Kogenerační jednotka

Pojmem kogenerace se rozumí současná výroba elektrické a tepelné energie v zařízení. Pokud je produkován také chlad (například pro klimatizaci) jedná se o trigenerační zařízení. Nejčastěji jsou k tomuto účelu využívány kogenerační jednotky (KGJ) na základu pístových spalovacích motorů, většinou zážehových. Existují také méně používané alternativní systémy jako například spalovací plynové turbíny, Stirlingovy motory a nebo palivové články. Tato řešení se využívají jen zřídka ve srovnání s pístovými motory. Při přestavbě těchto motorů na bioplyn stačí pouze nahradit zapalovací systém společně se speciálními svíčkami a následná výměna vstřikovacího nebo karburátorového systému plynovým směšovačem. Při spojení motoru s generátorem pro výrobu elektrické energie vznikne KGJ. Pro odvod tepelné energie je systém vybavován tepelnými výměníky pro využití tepla z chlazení bloku motoru, chlazení mazacího oleje a výfukových plynů. Následující obrázek č. 16 znázorňuje schéma KGJ s pístovým spalovacím motorem.

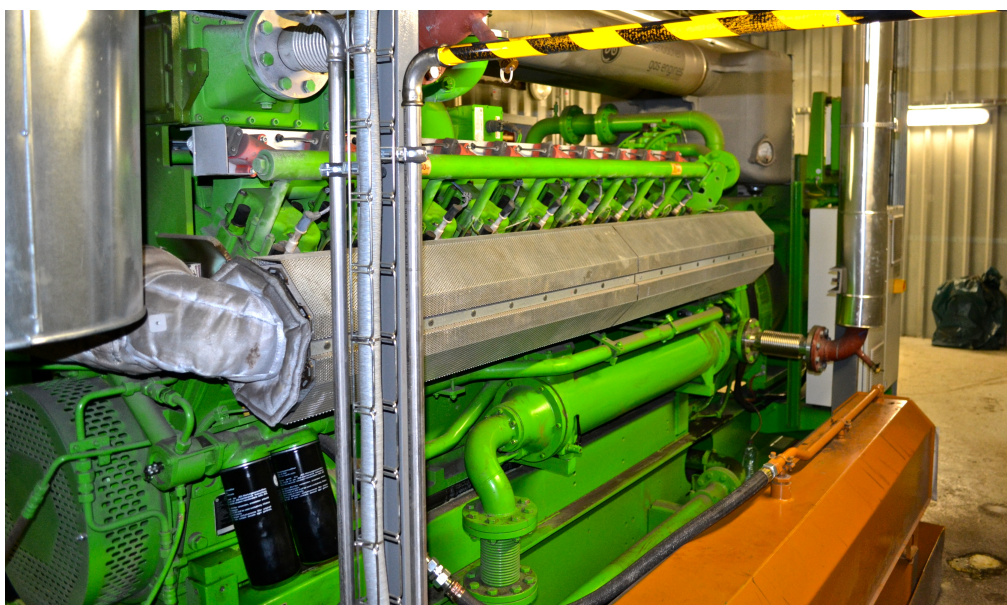


Obrázek č. 16 Princip kogenerační jednotky [Pavel Partyngl]

Takto vyrobené teplo se využívá pro ohřev fermentorů, ohřev užitkové vody a vytápění provozních a přílehlých budov. Elektrická energie je vyráběna trojfázovým synchronním generátorem, který je spojen spojkou k hřídeli motoru. Vyrobená energie je částečně spotřebována na chod BPS a pod podmínkami ve smlouvě s odběratelem dodávána do distribuční sítě přes transformátor. Před připojením generátoru do sítě je potřeba fázování systému pomocí synchronizační jednotky. Celková účinnost systému se pohybuje v rozmezí 80 – 90 % a skládá se z elektrické účinnosti 30 – 50 % a tepelné účinnosti, která se pohybuje kolem 40 % celkové [2].

KGJ a její příslušenství je situováno v samostatném objektu. Chladicí zařízení je umístěno vně budovy avšak v její bezprostřední blízkosti. Na českém trhu se vyskytuje několik společností dodávajících KGJ, mezi nejznámější lze zařadit TEDOM (ČR), GE JENBACHER (A) a Dreyer & Bosse Kraftwerke GmbH (DE).

**Příklad:** Na výrobu  $1 \text{ kWh}_e$  je třeba přivést do kogenerační jednotky  $0,6 - 0,7 \text{ m}^3$  bioplynu s průměrným obsahem metanu ( $\text{CH}_4$ )  $\approx 60\%$ . V praktickém provozu můžeme velmi hrubým odhadem počítat, že na výrobu  $1 \text{ kWh}_e$  a  $1,27 \text{ kWh}_t$  potřebujeme asi  $5 - 7 \text{ kg}$  biomasy,  $5 - 15 \text{ kg}$  komunálních odpadů,  $8 - 12 \text{ Kg}$  chlévské mrvy nebo  $4 - 7 \text{ m}^3$  tekutých komunálních odpadů [2].



Obrázek č. 17 Kogenerační jednotka GE JENBACHER BPS Vintířov [Foto Pavel Partyngl]

## 2.8 Koncový sklad

Koncový sklad je budován z železobetonu a konstruován ve tvaru kruhové jímky. Slouží k ukládání digestátu a fugátu. Sklad není nutné zastřešit ani utěsnit, protože zápach je minimální. Je nezbytné neustálé promíchávání pomocí ponorných míchadel. Doprava digestátu z fermentačního reaktoru je možná za pomoci čerpadel, ale častěji se využívá přepadová metoda, která je bezúdržbová a s nulovou spotřebou energie. Dimenzování kapacity koncového skladu je nepodcenitelné, protože sklad musí být schopen pojmout produkci fugátu za dobu delší než 4 měsíce. Tím je zaručena skladovací doba v období vegetačního klidu, kdy se pozemky nesmí hnojit.

## **2.9 Uvedení BPS do provozu**

Prvním krokem k úspěšnému provozu BPS je proces uvedení do chodu. Nejprve je nutné napuštění hlavního fermentoru. Pro napuštění lze využít vodu, lépe hovězí kejdu a pro zrychlení procesu je možné dopravit substrát z jiné BPS. Po napuštění fermentoru musí být substrát uveden do provozní teploty. K tomu jsou využívány externí zdroje tepla jako například práškových kotlů spalujících uhlí. Ohřev takového množství materiálu je záležitostí několika týdnů a je velice ekonomicky náročný. Proto je doporučováno BPS uvádět do provozu v letních měsících.

Vzniklý plyn je zatím spalován v bezpečnostním hořáku a po dosažení dané kvality je možné plyn začít spalovat v KGJ. Spouštění KGJ probíhá na prázdko a na částečný výkon. Je nutné nejprve jednotku zahřát na provozní teplotu, jinak hrozí prasknutí bloku motoru. Po uvedení systému na provozní otáčky je možné připojit generátor a spustit proces fázování pomocí synchronizační jednotky. Všechny kroky spouštění BPS jsou vedeny a kontrolovány pod dohledem pověřených osob.

## **3 BPS Vintířov**

Bioplynová stanice Vintířov je určena pro zpracování odpadů ze zemědělské živočišné výroby a pro zpracování pěstované biomasy v podobě senáží a kukuřičných siláží. Investorem stavby a také jejím vlastníkem je:

*Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s.*

*Staré náměstí 69*

*Sokolov*

*356 01*

Zhotovením stavby bioplynové stanice byla na základě vyhodnocení výběrového řízení pověřena firma TRIOL CZ, a.s.. Smlouva o dílo se zhotovitelem stavby byla uzavřena dne 21. 2. 2012. Zemědělská výroba spadající pod řízení SUAS byla orientována na produkci skotu a to zejména býčků a telat. Vedení společnosti rozhodlo jako výhodnější řešení orientovat zemědělskou výrobu na produkci biomasy pro výrobu elektřiny v nové BPS a následném omezení produkce skotu. Výhodnější aspekty pro stavbu byly:

- efektivně využít odpady ze zemědělské výroby
- snížení emise CO<sub>2</sub> až o cca 10 tis. tun/rok
- ekologicky přijatelnou výrobu elektřiny a tepla
- snížení spotřeby uhlí v SUAS o cca 9 tis. tun/rok



- kvalitní údržbu krajiny a zlepšení stavu půdy
- navýšení výnosů sekce Rekultivace za prodej elektřiny a tepla

Pro předběžné návrhy rozsah pozemků, které jsou vhodné pro pěstování biomasy a k potřebě pozemků pro živočišnou výrobu, byla navržena vhodná velikost BPS 1 000 kW<sub>el</sub>. Pro tento výkon je zapotřebí cca 15 000 tun/rok pěstované biomasy a hnůj ze zimního ustájení skotu v produkci 1000 tun/rok. Pro produkci biomasy je potřeba plocha půdy cca 600 ha, a proto bylo nutné snížit stavy skotu. Bylo nutné zohlednit snížení dotací na chov skotu. Investice byla vyhodnocena jako návratná s přiměřenou dobou návratnosti a odhadovaným přírůstkem zisku okolo 25 mil. Kč/rok [12].

### 3.1 Umístění a stavba BPS

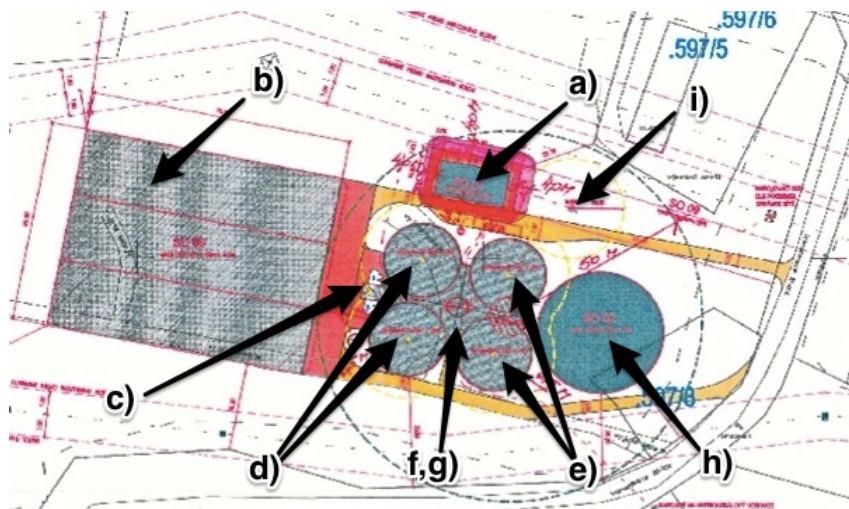
BPS Vintřívov byla postavena na pozemcích ve vlastnictví SUAS v blízkosti areálu lomu Jiří při silnici Vintřívov – Sokolov, spadající pod katastrální území Vintřívov u Sokolova. Areál nabízí potřebné plochy na výstavbu stanice a skladování vypěstované biomasy. Vzdušná vzdálenost od nejbližší obydlené zóny je 3 km. Z pohledu logistiky je lokalita ve středu oblasti vhodné pro pěstování biomasy a z hlediska životního prostředí nepředstavuje BPS výraznou zátěž. V blízkosti areálu se nachází dvě rozvodné stanice, které jsou vhodné pro napojení BPS pro vývod energie do distribuční sítě. BPS lze také využít pro krytí ztrát ve vedení a v rozvodnách. Přes areál vede elektrické vedení, které znehodnocuje lokalitu pro obytné účely. Také fakt, že prostor nenabízí zemědělské využití a vyskytuje se v blízkosti povrchového lomu, znehodnocuje pozemek. Obrázek č. 19 znázorňuje umístění BPS Vintřívov.



Obrázek č. 19 Umístění BPS Vintřívov [Pavel Partyngl]

Stanice je postavena na pozemkových parcelách č. 556/1, 592/15, 592/27, 597/1, 597/8 a skládá se z následujících stavebních a inženýrských objektů.

- a) budova kogenerace a velín
- b) 3x silážní žlab
- c) 2x dávkovač substrátu
- d) 2x hlavní fermentor
- e) 2x dofermentor
- f) strojovna čerpadel
- g) plynojem
- h) koncový sklad
- i) bezpečnostní hořák



Obrázek č. 20 Rozmístění objektů BPS Vintířov [Pavel Partyngl]

Licence pro BPS byla udělena v roce 2005 a stavba byla zahájena podle projektové dokumentace dne 22. 11. 2011. Zahájení zkušebního provozu bylo ode dne 24. 9. 2012 na 6 měsíců. V průběhu zkušebního provozu byly odstraněny veškeré nedostatky zjištěné při kontrolních prohlídkách a 1. 7. 2013 vydal stavební úřad souhlas s užíváním stavby.

### 3.2 Technologie BPS Vintířov

BPS je provozována jako dvojitá paralelní dvoustupňová fermentace ve dvou hlavních fermentorech a dvou dofermentorech. Biomasa je skladována ve tříkomorovém silážním žlabu o rozměrech každé komory 74,6x19,5x4 m a celkové kapacitě cca 18 000 m<sup>3</sup>, žlab je vyobrazen na obrázku č. 6. Na přemístění biomasy do dávkovače je využívána kolová manipulační technika.

Dávkování substrátu je zajištěno dvojicí dávkovačů značky TRIOLIET znázorněných na obrázku č. 7. Dávkovače mají horní plnění a dávkovací šnek. Navážení surovin do dávkovacího zařízení je prováděno dvakrát denně.

Jak již bylo zmíněno, pro anaerobní fermentaci jsou použity dva stupně v každé ze dvou linek s celkovým počtem čtyř fermentorů. Rozdělení zajišťuje lepší kontrolu nad procesem a v případě opravy nebo revize není potřeba odstavit celou výrobu. Optimální teplota byla stanovena na 42 °C. Reaktory jsou koncipované jako uzavřené, betonové kruhové nádrže o průměru 22 m a výšce 6 m a kapacitě všech cca 9 100 m<sup>3</sup>. Jsou navrženy pro dobu zdržení substrátu až 100 dní, přičemž reálná doba zdržení se pohybuje okolo 53 dnů. Doprava

substrátu z 1. stupně do 2. stupně je zajištěna přepadovým potrubím. Prostor mezi reaktory byl zakryt betonovým nosníkem a využit jako čerpadlové centrum.

Vyrobený digestát je přepadovým potrubím dopraven do koncového skladu zobrazeným na obrázku č. 18. Sklad je konstruován s kapacitou 6 600 m<sup>3</sup> a dokáže zadržet digestát na maximálně 6 měsíců.

Vytvořený bioplyn je zbaven sulfanu biologickou cestou přimícháváním přesně odměřeného množství vzduchu do fermentoru a ochlazením kondenzací zbavený vody. Produkce bioplynu se pohybuje kolem hodnoty 3 469 192 m<sup>3</sup>/r. Skladování bioplynu je v kulovém externím dvoumembránovém plynojemu značky Tecon CZ typ GS215 s měřením naplnění, který je zobrazený na obrázku č. 15. Objem plynojemu je 660 m<sup>3</sup>, operační tlak 20 mbar a průměr plynojemu je 11,46 m. Maximální produkce a odběr plynu je stanoven výrobcem na 600 m<sup>3</sup>/h. Měření naplnění probíhá za pomoci ultrazvukového senzoru Multiranger 100 s výstupním proudem v rozmezí 4-20 mA.

Vyrobený bioplyn je spalován v KGJ značky GE Jenbacher GmbH JMS 320GS - B. LC vyrobené v roce 2012, jednotka je zobrazena na obrázku č. 17. Minimální objemová procentní hodnota metanu (CH<sub>4</sub>) pro použití jako palivo je 52 % a maximální přípustné množství sulfanu (H<sub>2</sub>S) v plynu je 61 ppm. Jedná se o 20 válcový motor s instalovaným elektrickým výkonem 999 kW a spotřebou plynu při plném výkonu cca 520 m<sup>3</sup>/h. Jednotka je hlavní zdroj hluku, a proto je vybavena výfukovým tlumičem 65 dB a protivibračním uložením v samostatné místnosti v budově kogenerace [13].

Vyrobená elektrická energie z generátoru je vedena to transformátoru o výkonu 1600 kVA, který je umístěn v zastřešeném prostoru budovy kogenerace. Z tohoto transformátoru jsou vedeny tři jednožilové kabely 22 kV v zemním uložení do betonového sloupku a následně napojeny do distribuční sítě.

Celý provoz stanice klade poměrně malé nároky na personální obsluhu. Pracovník je vytížen max. 4 hodiny denně, v ostatní době probíhá plně automatizovaný provoz. Informace o stavu výroby jsou monitorovány a přenášeny na dispečink pomocí optického kabelu, který je napojen na datovou síť Sokolovské uhelné a.s.

Tabulka č. 4 Hlavní parametry technologického zařízení BPS Vintířov

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| <b>Instalovaný elektrický výkon KGJ</b>          | 999 kW                        |
| <b>Tepelný výkon KGJ s výměníkem spalin</b>      | 1037 kW                       |
| <b>Provozní doba KGJ za rok</b>                  | 8 200 h                       |
| <b>Celková roční elektrická energie</b>          | 6 957 MWh/rok                 |
| <b>Celková roční tepelná energie</b>             | 8 239 MWh/rok                 |
| <b>Zpracované vstupní suroviny</b>               | 17 475,5 t/rok                |
| <b>Vyrobený bioplyn</b>                          | 3 469 192 m <sup>3</sup> /rok |
| <b>Vyrobené množství digestátu (5 % sušiny)</b>  | 13 794 t                      |
| <b>Max. doba zdržení digestátu v kon. skladu</b> | 6 měsíců                      |
| <b>Fermentační objem celkový (2 linky)</b>       | 9 116 m <sup>3</sup>          |
| <b>Provozní teplota fermentoru</b>               | + 42 °C                       |
| <b>Doba zdržení substrátu ve fermentoru</b>      | 52 dnů                        |
| <b>Koncový sklad v celkové kapacitě</b>          | 6 600 m <sup>3</sup>          |
| <b>Kapacita plynojemu</b>                        | 660 m <sup>3</sup>            |
| <b>Transformátor</b>                             | 1,6 MVA                       |
| <b>Hořák zbytkového plynu</b>                    | cca 500 m <sup>3</sup> /h     |
| <b>Průměrná procesní sušina prim. fermentory</b> | 12-14 %                       |
| <b>Průměrná procesní sušina sek. fermentory</b>  | 8-9 %                         |
| <b>Průměrná procesní sušina koncového skladu</b> | 3-5 %                         |

## 4 Látková a energetická bilance BPS

Při návrhu BPS je nutné nejprve shrnout dostupné množství všech zpracovatelných materiálů a následně spočítat výtěžek bioplynu a jeho předpokládanou kvalitu. Z těchto hodnot je možné navrhnout objem reaktorů, plynojemu a také výkon KGJ. Následující kapitoly se budou věnovat předběžnému teoretickému a následně reálnému výpočtu bilance materiálových vstupů a výstupů a určení energetické bilance BPS Vřesová pro rok 2013.

### 4.1 Návrh BPS z pohledu látkové bilance

BPS Vřesová je určena pro zpracování odpadů ze zemědělské živočišné výroby produkované společností SUAS a pro zpracování cíleně pěstované biomasy na rekultivovaných pozemcích v podobě travních senáží a kukuřičných siláží. Předpoklad byl využití dvoustupňové technologie anaerobní fermentace s dostatečně dlouhou dobou zdržení substrátu 52 dní a mícháním tak, aby byl dostatečně odbourán i relativně vysoký podíl travních senáží. Z důvodu nepřetěžování reaktorů byla navržena i nižší měrná zátěž sušinou



na vstupu 1,5 kg TS/m<sup>3</sup> den. Před vstupem do reaktoru probíhá drcení substrátu extrudérem za současného ředění vratným fugátem. Následující tabulka udává předběžnou zadanou skladbu a množství zajištěných surovin.

Tabulka č. 5 Předběžná skladba surovin

| Surovina             | t vlhkého mat./rok | t TS/den     | % hmotnost |
|----------------------|--------------------|--------------|------------|
| Kukuřičná siláž (KS) | 3000               | 2,96         | 20,2       |
| Travní senáž (TS)    | 10000              | 9,86         | 67,2       |
| Slamnatý hnůj (SH)   | 1500               | 1,85         | 12,6       |
| <b>Celkem</b>        | <b>14500</b>       | <b>14,67</b> | <b>100</b> |

Na základě hodnot z tabulky č.5 je patrné, že celkový obsah sušiny na vstupu do fermentoru je 14,67 t TS/den. Díky výše uvedené podmínce o nepřetěžování reaktorů můžeme spočítat celkový potřebný kapalinový objem reaktorů.

$$14\,670 \text{ kg.TS/den} / 1,5 \text{ Kg.TS/m}^3 \cdot \text{den} = 9\,780 \text{ m}^3$$

Vypočítaná hodnota celkového objemu bude rozložena do dvou hlavních fermentorů a dvou dofermentorů. Doporučený obsah sušiny ve vstupu u takového složení substrátu a teplotě je 8-12 % celkové hmotnosti a lze regulovat vratným fugátem.

Je samozřejmé, že výtěžek plynu roste tím, jak v substrátu stoupá obsah rozpustných sacharidů. Kvalita dodávané biomasy je proměnlivá a proto při návrhu BPS je nutné počítat s variabilním výtěžkem bioplynu z daného množství materiálu. Následující tabulka č. 6 udává měrné výtěžky metanu (CH<sub>4</sub>) u vysoce, středně a málo kvalitního substrátu.

Tabulka č. 6 Měrný výtěžek metanu (CH<sub>4</sub>) [3]

| Surovina      | Vysoce kvalitní suroviny |                               | Středně kvalitní suroviny |                               | Málo kvalitní suroviny  |                               |
|---------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| <b>KS</b>     | 370m <sup>3</sup> /t TS  | 1095 m <sup>3</sup> /den      | 360m <sup>3</sup> /t TS   | 1065 m <sup>3</sup> /den      | 330m <sup>3</sup> /t TS | 976 m <sup>3</sup> /den       |
| <b>TS</b>     | 280m <sup>3</sup> /t TS  | 2760 m <sup>3</sup> /den      | 270m <sup>3</sup> /t TS   | 2662 m <sup>3</sup> /den      | 200m <sup>3</sup> /t TS | 1972 m <sup>3</sup> /den      |
| <b>SH</b>     | 140m <sup>3</sup> /t TS  | 259 m <sup>3</sup> /den       | 130m <sup>3</sup> /t TS   | 240 m <sup>3</sup> /den       | 100m <sup>3</sup> /t TS | 185 m <sup>3</sup> /den       |
| <b>Celkem</b> |                          | <b>4115 m<sup>3</sup>/den</b> |                           | <b>3968 m<sup>3</sup>/den</b> |                         | <b>3133 m<sup>3</sup>/den</b> |

Z tabulky je patrné, že při použití vysoce kvalitní biomasy jako substrát lze ze zadaného množství 14,67 t TS/den materiálu získat výtěžek 4 115 m<sup>3</sup> metanu denně. Naopak při použití málo kvalitního materiálu je výtěžek o poznání menší a to 3 133 m<sup>3</sup> metanu za den.

Předpokládané teoretické složení bioplynu bude 53 % metanu a 47 % oxidu uhličitého, minoritní složky lze při tomto odhadu zanedbat. Předpokládaná výhřevnost vytvořeného bioplynu ze zadaného složení surovin se bude pohybovat okolo hodnoty  $19 \text{ MJ/m}^3$ . Na základě znalosti složení vyrobeného bioplynu jsme schopni vypočítat jeho produkci a díky hodnotě výhřevnosti můžeme stanovit tepelný a elektrický výkon KGJ při účinnosti výroby elektrické energie 38 % a vztahu  $1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$  [14].

Tabulka č. 7 Předpokládané produkované veličiny BPS Vřesová

| Produkované veličiny | Vysoce kvalitní suroviny | Středně kvalitní suroviny | Málo kvalitní suroviny   |
|----------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Bioplyn za den       | 7 764,2 m <sup>3</sup>   | 7 487,3 m <sup>3</sup>    | 5912,8 m <sup>3</sup>    |
| Bioplyn za rok       | 2 833 933 m <sup>3</sup> | 2 732 864 m <sup>3</sup>  | 2 158 172 m <sup>3</sup> |
| Energie              | 6 146,6 MJ/h             | 5 927,4 MJ/h              | 4681 MJ/h                |
| Tepelná energie      | 1 707 kW <sub>th</sub>   | 1 646,5 kW <sub>th</sub>  | 1300,3 kW <sub>th</sub>  |
| El. energie (38%)    | 649 kWh <sub>el</sub>    | 626 kWh <sub>el</sub>     | 494 kWh <sub>el</sub>    |

Tabulka znázorňuje závislost teoretické produkce na kvalitě vstupních surovin. Je patrné, že ve srovnání při použití vysoce a málo kvalitní biomasy je propad produkce bioplynu a od ní se odvíjející produkce elektrické energie z ekonomického hlediska nezanedbatelný.

Hustotu bioplynu lze spočítat jako 53 % objemu – Metan (CH<sub>4</sub>) = 0,72 Kg/m<sup>3</sup> a 47 % objemu – Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) = 1,98 Kg/m<sup>3</sup>, tedy výsledná teoretická hustota vyrobeného bioplynu se pohybuje okolo 1,31 Kg/m<sup>3</sup>. Obsah popelovin (organicky nerozložitelné minerály z půdy obsažené v biomase) u substrátu tohoto složení se pohybuje kolem 5 % hmotnosti. Následující tabulka č. 8 ukazuje hodnotu stupně odbourání organické sušiny pro jednotlivé kvality biomasy.

Tabulka č. 8 Stupeň odbourání organické sušiny

|                                   | Vysoce kvalitní suroviny | Středně kvalitní suroviny | Málo kvalitní suroviny |
|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|
| Vstupní suroviny                  |                          | 14,67 t TS/den            |                        |
| Vst. sur. bez popelovin           |                          | 13,94 t TS/den            |                        |
| Výroba bioplynu                   | 10,17 t/den              | 9,81 t/den                | 7,75 t/den             |
| Fugát                             | 4,50 t/den               | 4,86 t/den                | 6,92 t/den             |
| Fugát bez popelovin               | 4,28 t/den               | 4,62 t/den                | 6,57 t/den             |
| Stupeň odbourání organické sušiny | 69,3 %                   | 66,7 %                    | 52,9 %                 |

Stupeň odbourání organické sušiny udává procentní podíl organicky rozložitelného materiálu v substrátu. Zbylé nezkvasitelné látky nebo látky, které se nerozložily za dobu zadržení ve fermentoru či dofermentoru, jsou ve formě fugátu dopraveny do koncového skladu.

#### 4.2 Reálný provoz BPS z pohledu látkové bilance

Při volbě KGJ se investor rozhodl pro instalaci většího výkonu, než který byl navržen ze skladby zadaných surovin. Základem pro toto rozhodnutí bylo očekávané navýšení kvality dodávaných surovin pro následující sklizně z důvodu vyvážení digestátu jako hnojiva na zemědělské plochy, které bude zřetelné až v sezonách 2014 a 2015. Navýšení se může pohybovat v rozmezí 10 – 20 % v závislosti na surovině. Dalším faktem byl druhý stupeň plánované rekultivace o celkové rozloze 43 ha vlastních a 129 ha cizích pozemků. Aby byl využit potenciál KGJ již od začátku provozu, bylo rozhodnuto o dokoupení biomasy od zemědělských společností a pronájem polí v oblasti Kadaně pro pěstování kukuřice. Následující tabulka udává kvalifikovaný průměrný hektarový výnos plodin.

Tabulka č. 9 Průměrný hektarový výnos plodin

| Surovina                | Hektarový výnos |
|-------------------------|-----------------|
| Kukuřičná siláž         | 18 t/ha         |
| Kukuřičná siláž (Kadaň) | 14 t/ha         |
| Travní senáž            | 15 t/ha         |

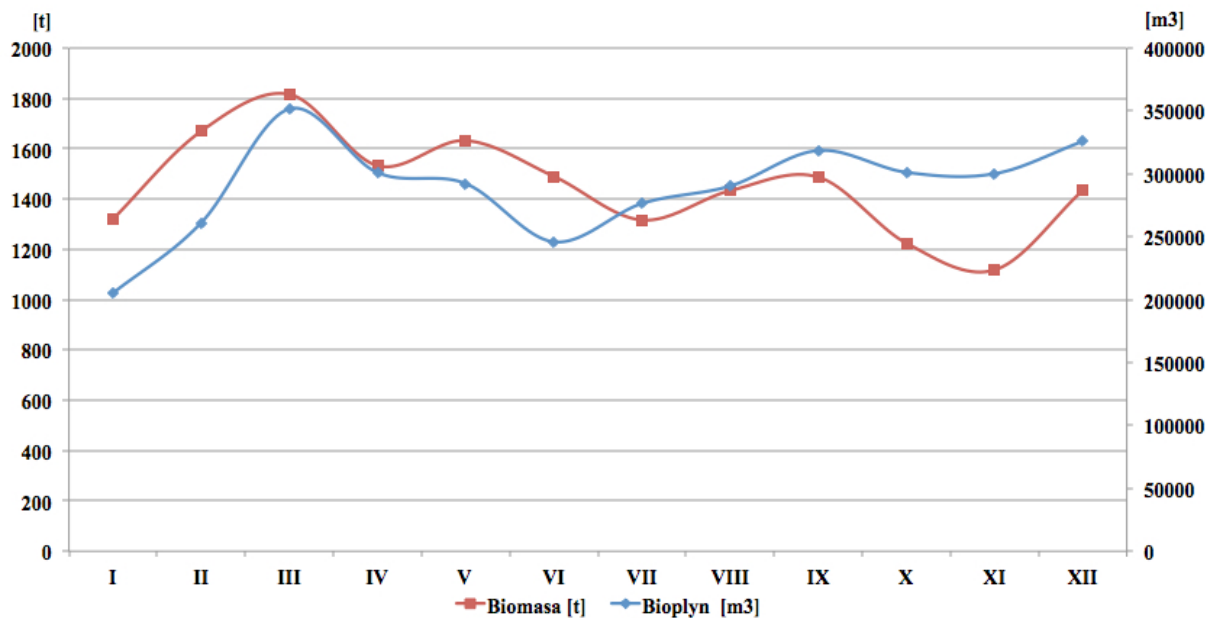
Opatření přináší okolo 30 % navýšení dodávané biomasy již v první sezoně 2013. Reálné složení vstupní biomasy zahrnuje několik položek s variabilním množstvím v závislosti na sklizni, sezóně a produkci kejdy. Tabulka č. 10 udává celkovou naměřenou skladbu vstupních surovin v tunách za první kompletní sezonu provozu 2013 v měsíčních intervalech.

Tabulka č. 10 Vstupní suroviny za rok 2013

| Surovina [t] | Kukuřice | Cílená senáž | Necílená senáž | Hnůj  | Vepř. kejda | Obilí | Kukuř. zrno | Celkem [t/měsíc] |
|--------------|----------|--------------|----------------|-------|-------------|-------|-------------|------------------|
| I.13         | 817      | -            | 84,5           | 175   | 245,86      | -     | -           | 1 322,36         |
| II.13        | 767,5    | -            | 501            | 217   | 163         | 21    | -           | 1 669,5          |
| III.13       | 495      | -            | 1 093          | 228   | -           | -     | -           | 1 816            |
| IV.13        | 283      | 500          | 509,5          | 240   | -           | -     | -           | 1 532,5          |
| V.13         | 310      | 500          | 574            | 248   | -           | -     | -           | 1 632            |
| VI.13        | 351,5    | 200          | 699            | 239,5 | -           | -     | -           | 1 490            |

|                             |               |              |                |                |               |             |             |                 |
|-----------------------------|---------------|--------------|----------------|----------------|---------------|-------------|-------------|-----------------|
| <b>VII.13</b>               | 305           | -            | 882,5          | 129            | -             | -           | -           | <b>1 316,5</b>  |
| <b>VIII.13</b>              | 310           | 114          | 937            | 72             | -             | -           | -           | <b>1 433</b>    |
| <b>IX.13</b>                | 300           | 406          | 781            | -              | -             | -           | -           | <b>1 487</b>    |
| <b>X.13</b>                 | 305           | 500          | 419            | -              | -             | 0,6         | -           | <b>1 224,6</b>  |
| <b>XI.13</b>                | 294           | 733          | -              | -              | -             | -           | 91          | <b>1 118</b>    |
| <b>XII.13</b>               | 310           | 280          | 340            | -              | 319           | 49          | 136         | <b>1 434</b>    |
| <b>Celkem [t/a]</b>         | <b>4 848</b>  | <b>3 233</b> | <b>6 820,5</b> | <b>1 548,5</b> | <b>727,86</b> | <b>70,6</b> | <b>227</b>  | <b>17 475,5</b> |
| <b>Procentní zastoupení</b> | <b>27,74%</b> | <b>18,5%</b> | <b>39%</b>     | <b>8,86%</b>   | <b>4,2%</b>   | <b>0,4%</b> | <b>1,3%</b> |                 |

Z tabulky je patrné rozložení surovin v závislosti na ročním období. Hodnoty také ukazují, že největší 39 % podíl biomasy zastává necíleně pěstovaná travní senáž částečně dokupovaná od zemědělských společností. Dávkování substrátu dávkovačem do fermentoru je poměrně rovnoměrné a není závislé na ročním období. Celkové zpracované množství biomasy pro rok 2013 je 17 475,5 tun. Jak již bylo řečeno, produkce bioplynu je závislá na vstupních surovinách. Tato závislost se však projeví až několik týdnů po dávkování substrátu, a to z důvodu jeho zadržení v reaktorech a pomalého procesu kvašení. Graf č. 1 vykresluje zmíněnou zpožděnou reakci produkce bioplynu na vstupních surovinách.



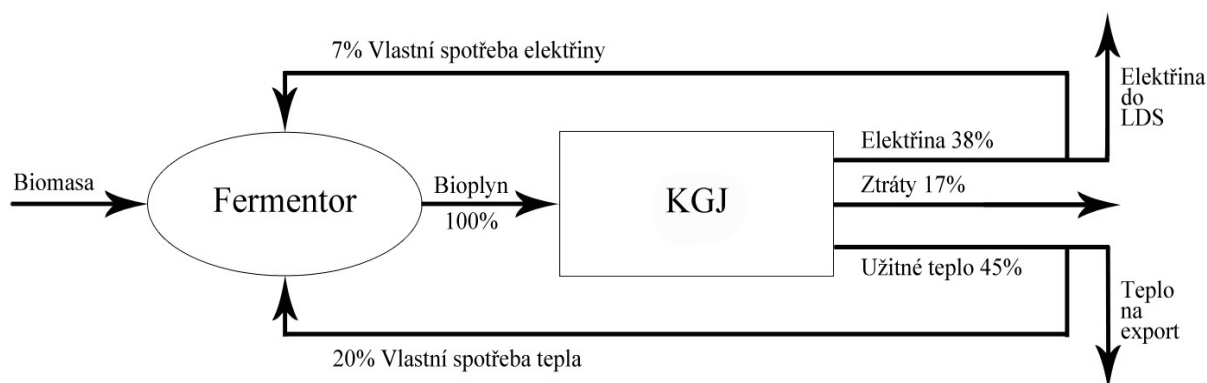
Graf č. 1 Závislost produkce bioplynu na vstupní biomase

Celková produkce bioplynu za rok 2013 je 3 469 192 m<sup>3</sup>, což je znatelně vyšší množství než při navrhování BPS. Obsah sušiny ve fermentoru zjištěný měřením se pohybuje okolo

hodnoty 9,78 % a obsah popelovin 2,36 % celkové hmotnosti. Vývoz digestátu za rok je na hodnotě 15 763 tun.

### 4.3 Energetická bilance provozu

Obrázek č. 21 znázorňuje teoretické bilanční schéma energie, kde důležitým faktorem pro provoz BPS je vlastní elektrická a tepelná spotřeba tvořící nezanedbatelnou složku. Následující kapitoly se budou věnovat určení těchto hodnot.



Obrázek č. 21 Bilanční schéma BPS [Pavel Partyngl]

#### 4.3.1 Vlastní elektrická spotřeba

Vlastní elektrická spotřeba je významnou veličinou, kterou je potřeba důkladně sledovat pro celkovou hospodárnost BPS. Z ekonomického hlediska na ni lze přihlížet jako na spotřebu, která snižuje množství exportní elektřiny do distribuční sítě. Nejvyšším průměrným využitím plného výkonu KGJ lze dosáhnout nejhospodárnějšího provozu stanice. Vlastní spotřebu lze rozdělit do tří základních skupin.

- ❖ *Vlastní technologická spotřeba* – spotřeba zahrnuje zařízení, která jsou nutná pro produkci bioplynu (dávkovače substrátu, míchadla fermentorů a koncového skladu, čerpadla a další)
- ❖ *Vlastní spotřeba KGJ* – spotřeba nutná pro chod kogenerační jednotky (chladicí zařízení, čerpadla palivové směsi, řídicí jednotka a další)
- ❖ *Ostatní vlastní spotřeba* – jedná se o spotřebu, která je nedůležitá z pohledu produkce bioplynu (osvětlení, výpočetní technika a další)

Pro stanovení vlastní spotřeby je nejprve nutné shrnout veškerá zařízení, která odebírají elektrickou energii při normálním provozu. Následující tabulka č.11 znázorňuje tyto zařízení s ohledem na jejich dobu provozu.

Tabulka č. 11 Souhrn technologických zařízení a jejich energetické spotřeby

| Zařízení                            | Příkon<br>[kW] | Doba chodu<br>[h/a] | Energetická spotřeba<br>[kWh/a] |
|-------------------------------------|----------------|---------------------|---------------------------------|
| 6x Míchadlo primárního fermentoru   | 66             | 1 792               | 118 260                         |
| 6x Míchadlo sekundárního fermentoru | 66             | 1 792               | 118 260                         |
| 3x Míchadlo koncového skladu        | 33             | 1 991               | 65 700                          |
| 2x Dávkovač TRIOLET                 | 68             | 547                 | 37 294                          |
| 2x Macerátor                        | 14             | 547                 | 7 658                           |
| 2x Separátor                        | 12             | 547                 | 6 564                           |
| 4x Čerpadlo vytápění                | 12             | 1 825               | 21 900                          |
| Spotřeba KGJ                        | 16             | 8 200               | 131 200                         |
| Dmychadlo odsíření                  | 8              | 8 200               | 65 600                          |
| Navážení pevného substrátu          | 34             | 1 603               | 54 502                          |
| Centrální čerpadlo                  | 6              | 1 825               | 10 950                          |
| 2x Čerpadlo substrátu               | 6              | 1 095               | 6 570                           |
| Čerpadlo plynojemu                  | 2              | 547                 | 1 094                           |
| Ostatní zařízení                    | -              | -                   | 25 000                          |
| Ostatní vlastní spotřeba            | -              | -                   | 23 873                          |
|                                     |                | <b>Celkem</b>       | <b>694 428</b>                  |

Výpočet vlastní spotřeby elektřiny udává celkovou průměrnou hodnotu 694 428 kWh za rok. Hodnota je ovšem velice variabilní a závislá na mnoha vlivech. Jak je patrné, mezi největší podíl se řadí spotřeba míchadel, proto jejich návrh, jak z hlediska počtu, tak z hlediska výkonu či doby provozu, nesmí být podceňován.

#### 4.3.2 Vlastní tepelná spotřeba

Produkce tepla v systému BPS je zajištěna tepelnými výměníky z chlazení bloku motoru, chlazení mazacího oleje a výfukových plynů. Přibližně 44 – 61 % vygenerovaného tepla je využito pro ohřev fermentorů na provozní teplotu. Je samozřejmé, že hodnota vlastní spotřeby tepelné energie je velkou měrou závislá na ročním období. Přesná reálná data BPS Vintířov nejsou zatím z provozu známá, protože se pracuje na metodě jejich měření.

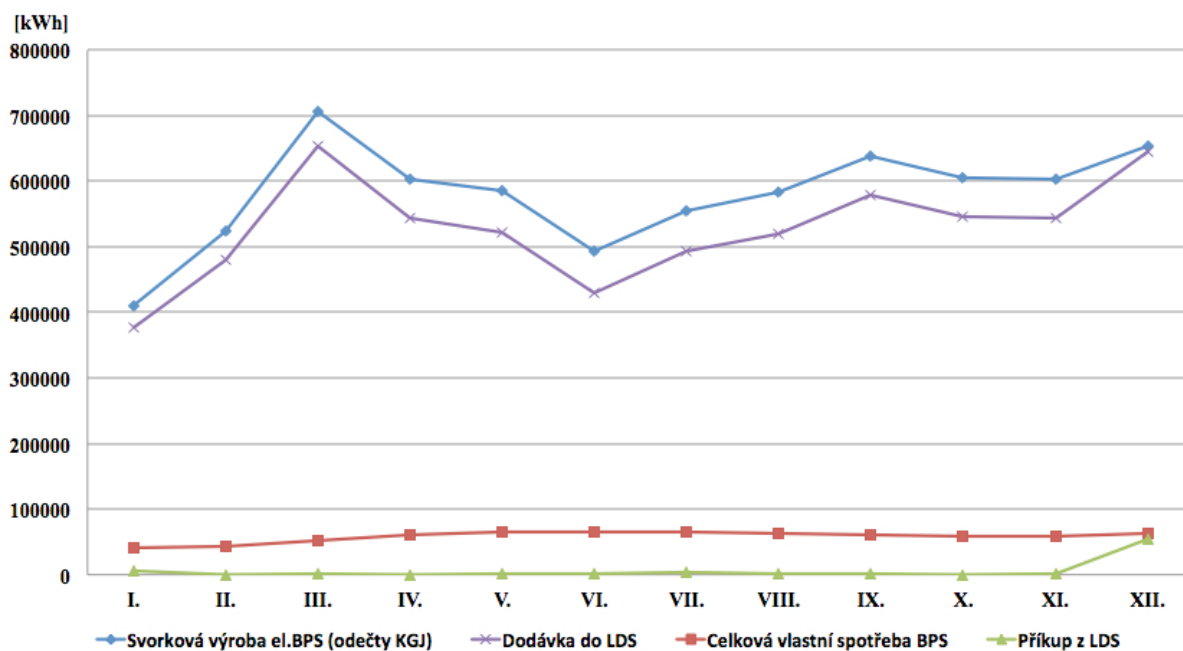
Z teoretických předpokladů je možné odhadnout, že 45 % celkové energie vyprodukovaného bioplynu se přemění na tepelnou energii. Za tohoto předpokladu lze stanovit roční produkci celkové tepelné energie okolo hodnoty 8 239 333 kWh. Vlastní spotřeba pro ohřev fermentorů se pohybuje okolo 50 % tedy 4 119 666 kWh. To je přibližně 14 830 GJ ročně a lze počítat, že stejné množství tepla je k dispozici ve formě teplé vody. Množství teplé vody je částečně dodáváno do zpětné větve teplovodu pro důl divize Jiří a zbytek je ochlazen chladícím systémem.

Podmínka stanovená Energetickým regulačním úřadem říká, že výrobce, který nárokuje podporu formou zeleného bonusu, je povinen efektivně využít vyrobenou tepelnou energii minimálně v úrovni 10 % vůči vyrobené elektřině v daném roce, s výjimkou elektřiny pro technologickou vlastní spotřebu pro výrobu elektřiny a tepla. [15]

Podmínka je splněna v BPS Vintířov formou ohřevu teplé vody pro důl divize Těžba. Minimální exportované množství tepla musí být v objemu 10 % z výroby elektřiny. Reálné množství exportované tepelné energie se ročně pohybuje okolo 12 000 GJ.

#### 4.3.3 Shrnutí bilance energií BPS

Pro zjištění elektrické energie dodávané do lokální distribuční sítě (LDS) je nutné změřit hodnoty svorkové výroby KGJ GE Jenbacher GmbH JMS 320GS. Maximální výkon jednotky je 999 kW, tohoto výkonu nelze v praxi trvale dosáhnout. Další důležitou hodnotou je přikupovaná elektrická energie z LDS, která pokrývá nadměrnou či rychle vzrůstající vlastní spotřebu, jejichž hodnotu nelze pokrýt z vlastní výroby a to z jakékoli příčiny. Veškeré tyto hodnoty jsou sledovány měřicím zařízením a pečlivě zaznamenávány pro analýzu. Následující graf č. 2 vykresluje výše zmíněné hodnoty v měsíčních intervalech pro rok 2013.



Graf č. 2 Bilance energie v měsíčních intervalech pro rok 2013

Je patrné, že hodnoty výstupního výkonu z KGJ jsou proměnlivé a zdaleka nedosahují maximálního možného výkonu zařízení. Následující tabulka č.12 udává celkové hodnoty pro rok 2013.

Tabulka č. 12 Bilance elektrické energie pro rok 2013

| Typ energie                                      | Množství             | Procentuální zastoupení |
|--|----------------------|-------------------------|
| <b>Svorková výroba el. BPS (odečty KGJ)</b>      | 6 957 659 kWh        | 100 %                   |
| <b>Celková vlastní spotřeba BPS</b>              | 694 428 kWh          | 9,98 %                  |
| <b>Vlastní spotřeba technologií</b>              | 670 555 kWh          | 9,63 %                  |
| <b>Vlastní spotřeba ostatní</b>                  | 23 873 kWh           | 0,35 %                  |
| <b>Příkup z LDS</b>                              | 70 384 kWh           | -                       |
| <b>Dodávka do LDS – Prodej</b>                   | <b>6 333 615 kWh</b> | <b>91,03 %</b>          |
| <b>Vlastní spotřeba tepla pro ohřev ferment.</b> | <b>14 830 GJ</b>     | -                       |
| <b>Prodané teplo (důl divize Jiří)</b>           | <b>12 000 GJ</b>     | -                       |

Tabulka ukazuje vypočítané hodnoty z reálných naměřených veličin pro BPS Vintířov v roce 2013. Vlastní spotřeba elektrické energie stanice s hospodárným a ekonomicky přívětivým provozem by se měla pohybovat okolo 7 %. Tabulka udává hodnotu 9,98 %, to naznačuje větší spotřebu nebo nižší svorkovou výrobu KGJ. Tento problém může být způsoben relativně krátkou dobou provozu stanice (fáze náběhu), neoptimálním složením dostatečně kvalitních vstupních surovin a následným nižším výkonu KGJ či špatným zvolením doby chodu a příkonu některých technologických zařízení, například míchadel. Nejdůležitějšími hodnotami z ekonomického hlediska jsou dodávaná elektrická energie do lokální distribuční sítě a tepelná energie dodávaná do teplovodu divize Jiří. K prodeji za zelený bonus je 91,03% podíl celkové vyrobené elektřiny, tedy 6 333 615 kWh pro rok 2013 a okolo 12 000 GJ tepelné energie ve formě teplé vody pro důl divize Jiří.

## 5 Ekonomické hodnocení BPS Vintířov

Několik následujících kapitol je zaměřeno na hodnocení finanční náročnosti stavby, provozu a odhadované doby návratnosti investice. Bioplyn vyrobený řízenou anaerobní fermentací v BPS je považován za obnovitelný zdroj energie, tedy každá jednotka tepla a elektřiny takto vyrobená, nahrazuje určité množství neobnovitelného paliva, které by bylo jinak potřebné na jejich výrobu. Většina staveb BPS proto spadá do dotačního programu rozvoje venkova a je možné nárokovat dotace až ve výši 50 % z nákladů na stavbu, avšak BPS Vintířov spadající pod společnost SUAS nesplňuje kritéria v kategorii rozsah zemědělské výroby, a tedy nemůže nárokovat zmíněnou dotaci. Lze zde však nárokovat tzv. „Zelený bonus“ na výkup elektrické energie. Tento bonus je zajištěn legislativním opatřením,



především zákonem č. 180/2005 Sb., O podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, který garantuje výkupní cenu na 15 let. Další výhodou při stavbě BPS byl zvýšený bezplatný přiděl emisních povolenek na CO<sub>2</sub> (EAU) pro období po roce 2013 až v rozsahu investovaných finančních prostředků pro společnost SUAS, který je zajištěn zákonem 695/2004 Sb., O podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů.

## 5.1 Investiční náklady

Investiční náklady BPS Vintířov zahrnovaly pořízení dlouhodobého majetku ve formě technologií pro ekologické zpracování biomasy. Převážnou část nákladů tvořila výstavba objektu a s tím spojené náklady na projektovou dokumentaci, inženýrské činnosti, dodávku a montáž technologického zařízení. Následující tabulka č. 13 udává podrobnou rozvahu nákladů.

Tabulka č. 13 Rozpis nákladů stavby BPS Vintířov

| Popis nákladu                | Investice [Kč] | Podíl na celkové investici [%] |
|------------------------------|----------------|--------------------------------|
| Projektová příprava stavby   | 1 683 000      | 1,3                            |
| Stavební dozor investora     | 382 500        | 0,3                            |
| Příprava staveniště          | 892 500        | 0,7                            |
| Zemní práce                  | 2 040 000      | 1,6                            |
| Nádrže prim. fermentorů      | 13 285 000     | 10,54                          |
| Nádrže sek. fermentorů       | 13 285 000     | 10,54                          |
| Sběrná jímka                 | 220 575        | 0,2                            |
| Servisní chodba a sklep      | 2 745 075      | 2,2                            |
| Vyskladňovací stanice        | 473 280        | 0,4                            |
| Koncový sklad                | 6 502 500      | 5,2                            |
| Manipulační plocha           | 892 500        | 0,7                            |
| Plynojem s armaturou         | 905 250        | 0,7                            |
| Budova KGJ                   | 4 253 400      | 3,4                            |
| Přístupové schodiště         | 561 000        | 0,4                            |
| Silážní žlaby                | 11 475 000     | 9,1                            |
| Napojení na inženýrské sítě  | 318 750        | 0,3                            |
| Plot a bezpečnostní ochrana  | 397 800        | 0,3                            |
| Komunikace s BPS             | 1 020 000      | 0,8                            |
| Trafostanice a vedení výkonu | 2 422 500      | 1,9                            |
| Technologie prim. fermentorů | 3 949 185      | 3,1                            |
| Technologie sek. fermentorů  | 2 948 310      | 2,3                            |
| Technologie koncového skladu | 1 203 090      | 0,9                            |

|  |                    |            |
|--|--------------------|------------|
| <b>Technologie výdejního místa</b>     | 601 800            | 0,5        |
| <b>Dávkovací zařízení TRIOLIET</b>     | 3 455 760          | 2,7        |
| <b>Tech. centrální rozvaděče tepla</b> | 475 575            | 0,4        |
| <b>Tech. servisního sklepa</b>         | 3 551 640          | 2,8        |
| <b>Plynový soubor</b>                  | 5 304 255          | 4,2        |
| <b>Soubor kogenerační jednotky</b>     | 16 626 000         | 13,2       |
| <b>Elektrozařízení</b>                 | 4 824 600          | 3,8        |
| <b>Bleskovody a zemnění</b>            | 510 000            | 0,4        |
| <b>Olejové hospodářství</b>            | 320 280            | 0,3        |
| <b>Termogenerátor</b>                  | 17 000 000         | 13,7       |
| <b>Celkem</b>                          | <b>126 000 000</b> | <b>100</b> |

Je patrné z tabulky, že v rámci projektu byl pořízen majetek v celkové hodnotě 126.000.000,- Kč. Dále bylo potřeba vzhledem ke specifikům výroby zelené hmoty pro BPS doplnit mechanizaci o další stroje v celkové investici cca 15 mil. Kč.

- samojízdná řezačka s adaptéry – 6 mil.Kč
- dvě cisternové nástavby, z toho jedna s diskovým zapravovačem - 2 mil.Kč
- nesený dvojitý žací stroj s lamači a shazovacími pásy – 1,2 mil.Kč
- krmný vůz s vybírací frézou 10 m<sup>3</sup> - 1 mil.Kč
- sběrací návěs s řezáním – 2 mil.Kč
- secí stroj na kukuřici – 0,75 mil.Kč
- záložní krmný vůz pro zakládání krmiva zvířat – 1 mil.Kč
- traktor do krmného vozu – 1,05 mil.Kč

## 5.2 Provozní náklady

Provozní náklady stanice lze rozdělit do dvou skupin v závislosti na jejich vztahu k společnosti SUAS. První skupinou jsou náklady vnitropodnikové v přímém vztahu ke společnosti a druhou skupinou jsou externí náklady, které vznikají na základě kontraktu či dohody s externími subjekty. Následující tabulka č. 14 udává rozepsané náklady pro rok 2013.

Tabulka č. 14 Externí a vnitropodnikové náklady BPS Vintířov pro rok 2013

| <b>Položka externího nákladu</b>       | <b>Cena [Kč]</b> |
|--|------------------|
| <b>Opravy zařízení</b>                 | 1 599 864        |
| <b>Služby veterinární a zemědělské</b> | 753              |
| <b>Daně a poplatky</b>                 | 791 000          |

|  |                   |
|--|-------------------|
| <b>Ostatní provozní náklady (pojistné)</b> | 252 423           |
| <b>Odpisy</b>                              | 7 902 304         |
| <b>Ostatní materiál</b>                    | 100 112           |
| <b>Ostatní služby</b>                      | 99 000            |
| <b>Celkové externí náklady</b>             | <b>10 745 456</b> |
| <b>Položka vnitropodnikového nákladu</b>   |                   |
| <b>Biomasa - senáž travní</b>              | 12 891 499        |
| <b>Biomasa - senáž kukuřičná</b>           | 4 914 011         |
| <b>Biomasa - hnůj</b>                      | 499 051           |
| <b>Biomasa - obiloviny</b>                 | 89 227            |
| <b>Přikupovaná elektrická energie</b>      | 1 083 339         |
| <b>Systémové služby nákup. el. energie</b> | 624 155           |
| <b>Navážení senáže</b>                     | 1 546 212         |
| <b>Navážení hnoje</b>                      | 792 902           |
| <b>Navážení kejdy/močůvky/šťáv</b>         | 266 836           |
| <b>Vyvážení jímek</b>                      | 31 730            |
| <b>Protažení cest</b>                      | 4 260             |
| <b>Nakládání hnoje</b>                     | 71 280            |
| <b>Nakládání senáže</b>                    | 345 382           |
| <b>Krmení BPS (stroj+obsluha)</b>          | 1 968 262         |
| <b>Obsluha BPS (dělníci)</b>               | 312 965           |
| <b>Ostatní práce - BPS</b>                 | 163 010           |
| <b>Laboratorní měření vzorků - rozborů</b> | 153 941           |
| <b>Služby divize distribuce</b>            | 349 919           |
| <b>Spoje</b>                               | 1 332             |
| <b>Údržba a opravy</b>                     | 235 701           |
| <b>Zásobovací režie</b>                    | 954               |
| <b>Režie ZR</b>                            | 652 377           |
| <b>Celkové vnitropodnikové náklady</b>     | <b>26 995 251</b> |
| <b>Celkové náklady</b>                     | <b>37 740 807</b> |

Největší položku externích nákladů tvoří odpisy a převážnou část vnitropodnikových nákladů tvoří položky za přikupování biomasy. Celkové náklady stanice pro rok 2013 se dostaly na hodnotu 37 740 807 Kč.

### 5.3 Tržby za prodej elektřiny a tepla

Elektrická energie vyprodukovaná z BPS je dodávána do lokální distribuční sítě ve správě Divize zpracování za sjednanou prodejní cenu 1380 Kč/MWh. Dále je na energii uplatněn nárok na „Zelený bonus“, který je stanoven dle Cenového rozhodnutí ERU č.4/2012. BPS Vintířov spadá do kategorie AF1 a dále splňuje podmínku efektivního využití vyrobené tepelné energie, proto lze nárokovat 3060 Kč/MWh. Mezi další příjmy stanice jsou zařazeny tržby za prodej teplé vody pro důl divize Jiří za sjednanou cenu 180,2 Kč/GJ a příjmy z prodeje digestátu za cenu 91,05 Kč/t. Tabulka č. 15 uvádí kalkulaci tržeb pro rok 2013.

Tabulka č. 15 Kalkulace tržeb BPS pro rok 2013

| Produkt                           | Vyprodukované množství | Cena za jednotku | Cena za vyprodukované množství |
|-----------------------------------|------------------------|------------------|--------------------------------|
| <b>Elektřina - DZ</b>             | 6 333 615 kWh          | 1380 Kč/MWh      | 8 741 453 Kč                   |
| <b>Elektřina - „Zelený bonus“</b> | 6 333 615 kWh          | 3060 Kč/MWh      | 19 380 861 Kč                  |
| <b>Teplo</b>                      | 12 000 GJ              | 180,2 Kč/GJ      | 2 171 875 Kč                   |
| <b>Digestát</b>                   | 13794 t                | 91,05 Kč/t       | 1 256 000 Kč                   |
| <b>Tržby celkem</b>               |                        |                  | <b>31 550 190 Kč</b>           |

Kalkulace udává díky množstevním hodnotám produktů a cenám za jejich jednotky celkovou tržbu 31 550 190,- Kč za rok 2013.

### 5.4 Vlastní ekonomické hodnocení BPS

Po zjištění provozních nákladů a kalkulaci tržeb lze spočítat vlastní ekonomické hodnocení stanice, které stanoví roční výsledek hospodářské činnosti.

Tabulka č. 16 Vlastní ekonomické hodnocení

|                        |                       |
|------------------------|-----------------------|
| <b>Celkové náklady</b> | 37 740 807 Kč         |
| <b>Tržby celkem</b>    | 31 550 190 Kč         |
| <b>Roční zisk</b>      | <b>- 6 190 617 Kč</b> |

Jak je patrné, celkový roční zisk BPS Vintířov je záporný - 6 190 617 Kč. Hodnota je znepokojující, avšak očekávaná díky nepříznivým vlivům spojeným s provozem první celé sezóny 2013. Za těchto podmínek o době návratnosti investice nelze ani spekulovat. Následující odstavce jsou zaměřeny na tyto nepříznivé vlivy spojené s vysokými náklady či naopak s nízkou produkcí a tedy neuspokojivými tržbami.

Při pohledu ze strany produkce se výkon KGJ pohybuje okolo 85 % celkového instalovaného výkonu. To je způsobeno nedostatečným množstvím kvalitní biomasy. V následujících sklizních se počítá s navýšením kvality a množství dodávaných surovin z důvodu vyvážení digestátu jako hnojiva na zrekultivované plochy, které bude zřetelné až v sezonách 2014 a 2015 a bude se pohybovat v rozmezí 10 – 20 % v závislosti na surovině. To by mělo přiblížit výkon KGJ k maximálnímu instalovanému výkonu, a tedy zajistit navýšení tržeb přibližně o 2 300 000 Kč.

Při pohledu ze strany nákladů hrají velkou roli právě náklady za přikupovanou biomasu. Tento problém by měl částečně vyřešit zmíněný vývoz digestátu a dále plánovaný druhý stupeň rekultivace pozemků společnosti SUAS. Tyto kroky by měly přinést značnou úsporu nákladů za dokupování biomasy přibližně o 12 250 000 Kč.

Dalším faktem je vyšší vlastní spotřeba elektrické energie, která se pohybuje okolo hodnoty 9,98 %. Tento problém může být způsoben především špatným zvolením doby chodu a příkonu některých technologických zařízení, například míchadel.

Zásadním problémem je nemožnost nárokovat zmíněné dotace až ve výši 50 % z nákladů na stavbu, které by přinesli úsporu nákladů na odpisech až 4 000 000 Kč ročně. Naneštěstí tento fakt lze pouze zmínit, ale nelze jej uplatnit jako nápravu v následujících letech.

Zmíněné kroky by měli vést k očekávanému kladnému ročnímu zisku v příštích letech okolo 8 350 000 Kč. V tomto případě by se doba návratnosti pohybovala okolo 15 let plus ztrátové sezony, když nepočítáme doplatek ztrátových zisků.

## **6 Úpravy a rozšíření technologie BPS**

Závěrečná část diplomové práce je věnovaná vhodné úpravě technologie BPS a rozšíření o moderní zařízení pro zvýšení výkonu nebo snížení nákladů. Úpravy a rozšíření stanice vyplývají z nově nabytých zkušeností z více jak ročního provozu a rozhodnutí investora o vložení více finančních prostředků pro snížení doby návratnosti celého systému.

### **6.1 Reklamace míchadel substrátu**

Míchadla substrátu jsou největším spotřebičem z pohledu vlastní spotřeby technologické části BPS. Při stavbě stanice bylo instalováno šest míchadel pro substrát v hlavních a šest míchadel v sekundárních fermentorech. Příkony míchadel byly navrženy na hodnotu 11 kW každé, jejich celková roční spotřeba při změřené optimální době provozu

okolo 49 minut denně byla 236 520 kWh celkem. Při výpočtu byla zjištěna vlastní spotřeba BPS okolo 9,98 % celkové svorkové výroby KGJ. Hodnota je ekonomicky nepřívětivá, a proto byla věnována zvýšená pozornost největším spotřebičům, tedy míchadlům.

Začátkem roku 2014 byl podán návrh na prověření vlastní spotřeby se zaměřením na volbu míchadel zhotoviteli stavby TRIOL CZ, a.s.. Po měření byl uznán nárok na reklamaci a výměnu stávajících míchadel za silnější o příkonu 15 kW. Očekává se zlepšení spotřeby z důvodu snížení doby chodu o 80 % a dále budou méně zatížená jak při chodu tak při rozběhu, takže se sníží i odběr elektřiny při startu.

Instalace nových míchadel je naplánovaná na polovinu roku 2014 a jejich očekávaná roční spotřeba by se měla pohybovat okolo 129 024 kWh celkem při průměrné době chodu 10 minut denně. Tato výměna by měla snížit vlastní spotřebu stanice na hodnotu 8,4 % celkové svorkové výroby KGJ. Samozřejmě, je potřeba dbát na správnou viskozitu substrátu.

## 6.2 ORC

ORC (Organický Rankinův Cyklus) zařízení za pomoci vysokorychlostní turbíny přemění zbytkovou tepelnou energii spalin KGJ na elektrickou energii. Investiční komise SUAS rozhodla pro instalaci tohoto typu zařízení, kvůli navýšení využití energie získané z biomasy a následným snížením doby návratnosti celého systému BPS. Jako nejvhodnější typ byl vybrán model zařízení WB-1 od holandského výrobce Tri-O-Gen. Jedná se o kompaktní mobilní zařízení uspořádané v kontejnerové skříni určené pro venkovní prostory, jehož maximální výkon je 99 kW. Instalace zařízení byla provedena 09-12/2013 firmou POWER INVESTMENT, a.s.



Obrázek č. 22 ORC zařízení [Tri-O-Gen WB-1 Vario]

Zařízení bylo instalováno na stávající zpevněné betonové ploše k severní straně budovy kogenerace v ochranném pásmu kogenerační jednotky. Napojení bylo provedeno za tlumičem hluku spalínovodu a bylo opatřeno klapkou, kterou je možné řídit směr vyvedení spalín. Při uzavření klapky dojde k přivedení spalín na vstup zařízení ORC. Jednotka byla napojena kabelovým propojením z elektrorozvaděče do stávající trafostanice a potrubím chladicího okruhu na stávající chladicí zařízení KGJ.

Princip zařízení je modifikací Rankine - Clausiova cyklu, používaného v tepelných a jaderných elektrárnách. Zásadní odlišností je provozní kapalina. Místo vody je použit silikonový olej, který je vhodnější díky svým termodynamickým vlastnostem. Je schopný se při vysoké teplotě (300 °C) udržet v kapalném stavu i při značně nižším tlaku než voda. Ve výparníku předává olej své teplo do sekundárního okruhu, kde se vypařuje toluen a jehož páry jsou vedeny do turbíny, kde expandují a tím je roztáčena. Turbína je přímo spojena s generátorem. Páry jsou vedeny do chladicího systému, kde opět kondenzují. [16]

Provozem ORC jednotky a jejího příslušenství se nezmění emisní podmínky, protože zařízení není zdrojem znečištění. Dochází ke zvýšení energetického využití biomasy při dalším využití odpadního tepla z KGJ.

**Tabulka č. 17 Výpočet návratnosti investice ORC**

|                                     |                 |
|-------------------------------------|-----------------|
| Výkon ORC                           | 99 kW           |
| Provozní doba ORC za rok            | 8 200 h         |
| Roční výroba elektrická energie     | 811,8 MWh       |
| Prodejní cena (DZ + „Zelený bonus“) | 4 440 Kč/MWh    |
| Roční zisk investice                | 3 604 000 Kč    |
| Investice ORC                       | 17 000 000 Kč   |
| Doba návratnosti ORC                | <b>4,7 roku</b> |

Tabulka udává dobu návratnosti investice do ORC zařízení okolo 4,7 let. Výhodou jednotky je, že jediný náklad je vstupní investice. Další provoz je bez přídavných nákladů na chod a výrobce udává také provoz bezúdržbový. Celý systém lze sledovat a řídit online.

### 6.3 Odvodnění digestátu

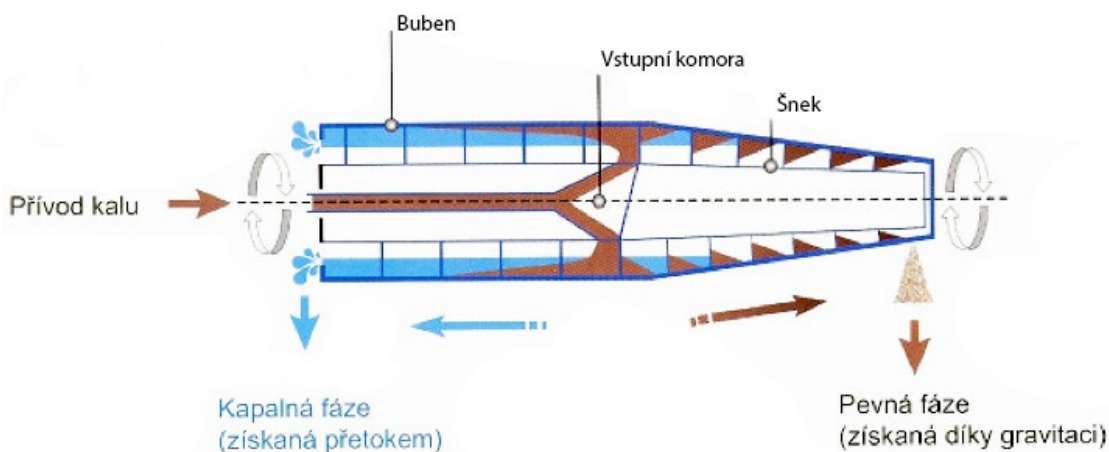
Velkým finančním problémem každé BPS je princip nakládání s odpadem procesu anaerobní fermentace, tedy s odpadním digestátem. Vedení SUAS bylo na počátku výstavby rozhodnuto o instalaci koncové sušárny digestátu za pomoci zbytkového tepla z procesu.

Stanice Vintířov vyprodukovala v minulém roce 13 794 t digestátu s obsahem sušiny okolo 5 %. To znamená, že 95 % digestátu je tvořeno vodou, která je dopravována na pole a nemá žádný hodnotný přínos, jen zvyšuje náklady na transport. Při výpočtu tepelné bilance bylo zjištěno, že zbytkové teplo, které se nevyužilo k ohřevu fermentorů nebo k prodeji do dolu divize Jiří pro splnění podmínky k nároku zeleného bonusu, se pohybuje okolo hodnoty 2 800 GJ ročně. Zbytkové teplo v žádném případě nestačí pro vysušení takového množství, a proto bylo potřeba nalézt jinou alternativu.

Základními kritérii při výběru alternativy byly nároky na obsluhu, nároky na provozní údržbu, energetické nároky, nároky na investici a dostatečně vysoký podíl dosahované sušiny na výstupu. Kritéria splňovaly hned tři možnosti technologie odvodňování a to technologie pásového lisu, dekantační odstředivka a nově se na trhu objevující šnekový lis.

Pásový lis je levný systém s otevřenou či plně uzavřenou konstrukcí, s velkou hlučností a nároky na trvalý dohled. Je schopen pracovat se vstupním digestátem s obsahem sušiny v rozmezí cca 2 - 5 %. Bohužel výstupní obsah sušiny není nijak vysoký, pohybuje se okolo 20 % a to i za použití flokulantu, tedy látky podporující sedimentaci kalu. [17]

Dekantační odstředivka je zařízení pracující plně automaticky bez nároku na dozor obsluhy. Uložení rotačního bubnu je horizontální a vstupní digestát je přiveden ve směru osy rotace bubnu. Následujícím působením odstředivé síly vzniklé rotací bubnu dochází k odstředění sušiny od digestátu, přičemž je možné opět použít účinků flokulantu pro zvýšení účinnosti. Bohužel, princip funkce požaduje velké otáčky odstředujícího bubnu a to klade velké nároky na spotřebu elektrické energie.

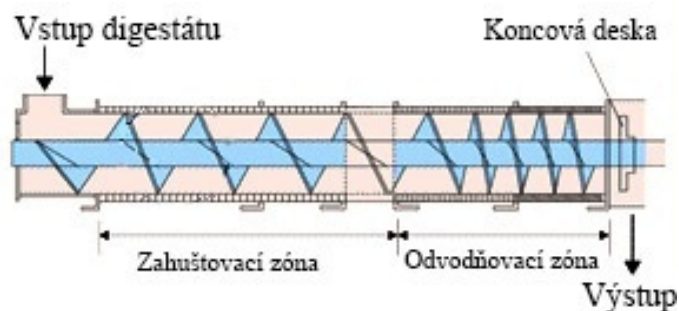


Obrázek č. 23 Princip funkce dekantační odstředivky [Odstředivky Andritz]

Proto nejvhodnějším zařízením se zdá být šnekový lis s nesrovnatelně nižšími provozními náklady i přes vyšší investici při nákupu tohoto zařízení. Systém je samozřejmě



také schopen pracovat bez dozoru obsluhy a slibuje také srovnatelný podíl sušiny na výstupu. Princip spočívá opět v prvotní aplikaci sedimentační látky flokulantu a následným přivedení digestátu do sací komory. První část bubnu ze síta se používá k částečnému odvedení vody a zahuštění za pomoci tlaku, vytvořeného pohybem šneku. Obsah sušiny se postupně zvyšuje pohybem digestátu do tlakové odvodňovací zóny bubnu. Tlak je zvyšován omezeným výstupním otvorem a změnou odsazení lopatek šneku, tím dochází k uvolnění další vody. [18]



Obrázek č. 24 Princip funkce šnekového lisu [20]

Pro jednodušší výběr z možností nabídnutých dnešní technologií byla vytvořena následující tabulka ukazující ekonomické srovnání všech navrhovaných možností.

Tabulka č. 18 Porovnání systémů na odvodnění [19]

| Parametr                              | Pásový lis       | Odstředivka      | Šnekový lis    |
|---------------------------------------|------------------|------------------|----------------|
| Pořizovací cena [Kč]                  | 900 000          | 1 450 000        | 2 900 000      |
| Instalovaný příkon [kW]               | 3,3              | 29,5             | 2,8            |
| Náklady na energie za 4 roky [Kč]     | 169 979          | 1 519 509        | 142 051        |
| Údržba za 4 roky [Kč]                 | 75 000           | 560 000          | 20 000         |
| Spotřeba vody denně [m <sup>3</sup> ] | 96               | 0                | 1              |
| <b>Náklady na 4 roky provozu [Kč]</b> | <b>1 085 939</b> | <b>2 079 509</b> | <b>163 511</b> |

Tabulka jasně ukazuje srovnání nákladů za období 4 let od instalace zařízení, kde šnekový lis poskytuje nesrovnatelně nízké náklady oproti pásovému lisu a odstředivce. Zařízení je schopné 24 hodinového provozu a jeho výstupní dosahovaný podíl sušiny se pohybuje okolo hodnoty 22 % při vstupní sušině 5 % [19].

Výsledkem hodnocení tedy je doporučení vedení SUAS investici do instalace šnekového lisu. I přes vyšší pořizovací cenu je investice výhodnější z dlouhodobého hlediska a to díky výrazně nižším provozním nákladům.

## **7 Závěr**

Bioplynové stanice odbourávají všechny nedostatky jak solárních, tak větrných elektráren i ostatních obnovitelných zdrojů, kde vlivem rychlé změny počasí může dojít k vytvoření velkého množství přebytečného výkonu a tím k riziku přetížení celé distribuční sítě. Mezi jejich výhody patří bezesporu spolehlivá regulovatelnost a stabilní výkon. Další příznivý vliv pro výstavbu těchto stanic je podpora ze strany legislativy ve formě dotací a garantované výkupní ceny tzv. „Zelený bonus“.

Cílem této diplomové práce byl popis technologie výroby bioplynu a provedení celkové analýzy provozu stanice Vintířov ve vlastnictví Sokolovské uhelné, právní nástupce, a.s. Při zpracování dat bylo objeveno několik nepříznivých jevů v podobě nevhodného složení málo kvalitní biomasy, příliš vysoké vlastní spotřeby stanice, vysokých nákladů za přikupování substrátu či absenci dotace na investici stavby. Ve výsledku všechny tyto jevy vedly k celkovému znepokojujícímu hodnocení a zápornému hospodářskému výsledku za první sezónu. Následně byl popsán postup ke zlepšení situace budoucího provozu v podobě zvýšení kvality vlastní biomasy, navýšení jejího množství díky druhému stupni rekultivace a především díky odhalení špatně navrženého systému míchání substrátu, který vedl ke zvýšení vlastní spotřeby a bude odstraněn v rámci reklamace.

Dále bylo uvedeno několik návrhů na rozšíření o moderní zařízení pro navýšení celkového výkonu nebo snížení provozních nákladů. Bylo představeno ORC zařízení jehož instalace proběhla koncem roku 2013 a které povede k navýšení výkonu systému. Následně byla analyzována zařízení pro odvodnění digestátu, která přispějí ke snížení provozních nákladů na transport. Výsledkem analýzy bylo doporučení pro vedení SUAS k instalaci ekonomicky nejpříznivějšího šnekového lisu.

V celkovém součtu všechna uvedená opatření povedou ke zlepšení ekonomické situace a tím k realizovatelné době návratnosti celkové investice BPS Vintířov.

## Použité zdroje

- [1] APIC-AK, *Aktuální přehled bioplynových stanic v České republice*. [online]. 2013 [cit. 2013-7-31]. Dostupné z: [www.apic-ak.cz/aktualni-prehled-bioplynovach-stanic-v-ceske-republice](http://www.apic-ak.cz/aktualni-prehled-bioplynovach-stanic-v-ceske-republice)
- [2] J. Kára, Z. Pastorek, E. Přibíl. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. Praha: VÚZT v.v.i., 2007. 117 s.
- [3] F. Straka. *Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]*. 2., rozš. a dopl. vyd. Praha [i.e. Říčany u Prahy]: GAS, 2006, 706 s. ISBN 80-732-8090-6.
- [4] CZ BIOM – ČESKÉ SDRUŽENÍ PRO BIOMASU. *Průvodce výrobou a využitím bioplynu*. 2009, 160 s.
- [5] P. Michal. *Bioplyn - energie ze zemědělství*. 2005, 22 s.
- [6] J.Švec, J. Kára, J. Váňa, J. Pastorek, E. Machálek. *Využití obnovitelných zdrojů energie v zemědělství – zemědělské bioplynové stanice, Vodní zdroje* Ekomonitor spol.s.r.o., Chrudim 2012
- [7] Ing. Radko Loučka, CSc., *Věžová síla, žlaby, vaky nebo balíky?*. In: *Agroweb* [online]. 1.4.2011 [cit. 2014-03-20]. Dostupné z: [www.old.agroweb.cz/Vezova-sila-zlaby-vaky-nebo-baliky\\_\\_s1582x55657.html](http://www.old.agroweb.cz/Vezova-sila-zlaby-vaky-nebo-baliky__s1582x55657.html)
- [8] KK-technology, *Zařízení pro úpravu bioplynu*. In: *Katalogový list č. 61*
- [9] K. Veselá, K. Ciahotný, A. Procházková, V. Vrbová, *Odstraňování sulfanu z bioplynu*. ČZU, *Katedra technologických zařízení staveb*. 23.3.2010
- [10] Ing. Jaroslav Kára, CSc. *Organický odpad a produkce bioplynu*. In: *Agroweb* [online]. 29.8.2008 [cit. 2014-03-20]. Dostupné z: [http://www.old.agroweb.cz/Organicky-odpad-a-produkce-bioplynu\\_\\_s250x31561.html](http://www.old.agroweb.cz/Organicky-odpad-a-produkce-bioplynu__s250x31561.html)
- [11] Hořák zbytkového bioplynu – FLÉRA. *PBS Power Equipment* [online]. [cit.2014-03-20]. Dostupné z: [www.pbspe.cz/cze/index.php?action=catalogue\\_detail&id=2](http://www.pbspe.cz/cze/index.php?action=catalogue_detail&id=2)
- [12] Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s. *Restrukturalizace zemědělské výroby v SUAS výstavbou bioplynové stanice*

- [13] GE Jenbacher GmbH & Co OHG, *Jenbacher gas engines, Technical Specification JMS 320 GS-N.L Natural gas 1.063kW el.*, A-6200 Jenbach, Austria
- [14] Joule. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-03-20].
- [15] Energetický regulační ústav, *Věstník r.12.*, Jihlava 27.11.2012
- [16] Pratt Whitney Power System Company, *Turboden Biomass Solution*, 16.5.2011
- [17] Aqua-Styl spol. s.r.o., *Dvoupásový pásový lis řady PLALIS PLDP*,
- [18] Alfa-Laval, *Katalogový list Šnekový lis Alfa Laval.*,
- [19] SOVAK., R. Badin, J. Fuxa, V. Fryauf., *Odvodňování kalu na ČOV Beroun.*, 9/2012
- [20] Zpracování kalů, Technologické postupy pro zpracování odpadních kalů, *Schéma šnekového odvodňovače AMCON* [online]. [cit. 2014-03-21]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/postupy.html>

## **Seznam obrázků**

Obrázek č. 1 Rozmístění BPS na území ČR [1]

Obrázek č. 2 Fáze anaerobní fermentace [2]

Obrázek č. 3 Závislost pH [3]

Obrázek č. 4 Výhřevnost bioplynu v závislosti na koncentraci metanu [2]

Obrázek č. 5 Schéma výroby bioplynu [Pavel Partyngl]

Obrázek č. 6 Silážní žlab BPS Vintířov [Foto Pavel Partyngl]

Obrázek č. 7 Trioliet dávkovače pevného substrátu BPS Vintířov [Foto Pavel Partyngl]

Obrázek č. 8 Macerátor BPS Vintířov [Foto Pavel Partyngl]

Obrázek č. 9 Rozdělení reaktorů [3]

Obrázek č. 10 „Kruh v kruhu“ [3]

Obrázek č. 11 Řazení reaktorů [3]

Obrázek č. 12 Způsoby otopu reaktorů [3]

Obrázek č. 13 Porovnání výtěžků metanu za různých režimů míchání [3]

Obrázek č. 14 Dvoumembránový plynojem [3]

Obrázek č. 15 Plynojem BPS Vintířov [Foto Pavel Partyngl]

Obrázek č. 16 Princip kogenerační jednotky [Pavel Partyngl]

Obrázek č. 17 Kogenerační jednotka GE JENBACHER BPS Vintířov [Foto Pavel Partyngl]

Obrázek č. 19 Umístění BPS Vintířov [Pavel Partyngl]

Obrázek č. 20 Rozmístění objektů BPS Vintířov [Pavel Partyngl]

Obrázek č. 21 Bilanční schéma BPS [Pavel Partyngl]

Obrázek č. 22 ORC zařízení [Tri-O-Gen WB-1 Vario]

Obrázek č. 23 Princip funkce dekantační odstředivky [Odstředivky Andritz]

Obrázek č. 24 Princip funkce šnekového lisu [20]

**Seznam tabulek**

Tabulka č. 1 Průměrné hodnoty složení bioplynu [4]

Tabulka č. 2 Produkce bioplynu ze substrátu na bázi zvířecích exkrementů [6]

Tabulka č. 3 Produkce bioplynu ze substrátu na bázi energetických rostlin [6]

Tabulka č. 4 Hlavní parametry technologického zařízení BPS Vintířov

Tabulka č. 5 Předběžná skladba surovin

Tabulka č. 6 Měrný výtěžek metanu (CH<sub>4</sub>) [3]

Tabulka č. 7 Předpokládané produkované veličiny BPS Vřesová

Tabulka č. 8 Stupeň odbourání organické sušiny

Tabulka č. 9 Průměrný hektarový výnos plodin

Tabulka č. 10 Vstupní suroviny za rok 2013

Tabulka č. 11 Souhrn technologických zařízení a jejich energetické spotřeby

Tabulka č. 12 Bilance elektrické energie pro rok 2013

Tabulka č. 13 Rozpis nákladů stavby BPS Vintířov

Tabulka č. 14 Externí a vnitropodnikové náklady BPS Vintířov pro rok 2013

Tabulka č. 15 Kalkulace tržeb BPS pro rok 2013

Tabulka č. 16 Vlastní ekonomické hodnocení

Tabulka č. 17 Výpočet návratnosti investice ORC

Tabulka č. 18 Porovnání systémů na odvodnění [19]

**Seznam grafů**

Graf č. 1 Závislost produkce bioplynu na vstupní biomase

Graf č. 2 Bilance energie v měsíčních intervalech pro rok 2013